Budownictwo energooszczędne w Polsce – stan i perspektywy

Wydawnictwa Uczelniane
Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego
w Bydgoszczy

Recenzenci

dr hab. inż. arch. Robert Barełkowski, prof. UTP prof. dr hab. inż. Dariusz Gawin
prof. dr hab. inż. Henryk Nowak dr hab. inż. Jerzy Zb. Piotrowski, prof. PŚk
prof. dr hab. inż. Adam Podhorecki dr hab. inż. arch. Marek A. Wołoszyn, prof. ZUT

Redaktor naukowy
dr inż. Maria Wesołowska

Redaktor merytoryczny
prof. dr hab. inż. Adam Podhorecki

Opracowanie redakcyjne i techniczne
mgr Dorota Ślachciak, mgr Michał Górecki, mgr inż. Daniel Morzyński

Projekt okładki
mgr inż. Daniel Morzyński

© Copyright
Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego
Bydgoszcz 2015

Utwór w całości ani we fragmentach nie może być powielany
ani rozpowszechniany za pomocą urządzeń elektronicznych, mechanicznych, kopiujących,
nagrywających i innych bez pisemnej zgody posiadacza praw autorskich.

ISBN 978-83-64235-74-0

Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego
Redaktor Naczelny
prof. dr hab. inż. Józef Flizikowski
ul. ks. A. Kordeckiego 20, 85-225 Bydgoszcz, tel. 52 3749482, 52 3749426
e-mail: wydawucz@utp.edu.pl http://www.wu.utp.edu.pl

Wyd. I. Ark. aut. 17,1. Ark. druk. 21,4.
Zakład Małej Poligrafii UTP Bydgoszcz, ul. ks. A. Kordeckiego 20

Spis treści

POLITYKA PAŃSTWA I KIERUNKI ROZWOJU BUDOWNICTWA ENERGOOSZCZĘDNEGO

Krajowy plan mający na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii – Tomasz Gałązka....7

Budynki biurowe o niemal zerowym zapotrzebowaniu na energię – Dariusz Heim....21

Budynki niskoenergetyczne – zmiana techniki i mentalności – Tomasz Kisilewicz....33

Uwarunkowania prawne budownictwa energooszczędnego w Polsce – Marek Ramczyk....45

Parametry budynków niemal zero-energetycznych w warunkach polskich – Edward Szczechowiak....57

UWARUNKOWANIA URBANISTYCZNO-ARCHITEKTONICZNE BUDOWNICTWA ENERGOOSZCZĘDNEGO

Energooszczędność procesów rozwoju miasta i jego struktur – Andrzej Baranowski....71

Quo vadimus? Fragmentacja a integracja myślenia o zrównoważonym środowisku zurbanizowanym – Robert Barełkowski....77

Projektowanie zrównoważone. Mit czy konieczność? – Lucjan Kamionka, Leszek Chodor....95

Kształtowanie budynków energooszczędnych w przestrzeniach miejskich – Katarzyna Zielonko-Jung....107

ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNO-MATERIAŁOWE ORAZ SYSTEMÓW TECHNICZNYCH W BUDOWNICTWIE ENERGOOSZCZĘDNYM

Energooszczędne rozwiązania instalacji oświetlenia wbudowanego w budynkach użyteczności publicznej – Piotr Cierzniewski, Karolina Kurtz-Orecka....119

Wpływ wymagań budownictwa energooszczędnego na spełnienie wymagań podstawowych ze szczególnym uwzględnieniem nośności i stateczności konstrukcji oraz ochrony przed hałasem – Łukasz Drobiec, Lech Misiewicz....131

Wpływ rozwiązań materiałowych przegród zewnętrznych na ich charakterystyki cieplne – Halina Garbalińska....143

Jakość powietrza w budynkach energooszczędnych – Jerzy Sowa....155

Energooszczędne rozwiązania instalacji centralnego ogrzewania i wentylacji w budynkach – Władysław Szaflik....167

ZASTOSOWANIE ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII

Energetyka słoneczna budynku – Dorota Chwieduk 177

Przykłady rozwiązań konstrukcji budynków w aspekcie OZE. Nieogrzewane ogrody zimowe a oszczędność energii cieplnej – Ewa Figiel.....187

Małe elektrownie wiatrowe – Zbigniew Goryca.....195

Przykłady rozwiązań konstrukcji budynków w aspekcie OZE. Przegroda zewnętrzna z baterią termiczną – Dorota Leciej-Pirczewska 205

Pompy ciepła jako podstawowe urządzenia ciepła i chłodu w instalacjach OZE – Jerzy Zbigniew Piotrowski 217

EFEKTYWNOŚĆ BUDYNKÓW ENEROOSZCZĘDNYCH

Optimum ekonomiczne wymagań energetycznych w odniesieniu do budynków w Polsce – Robert Geryło.....231

Optimum energetyczno-ekonomiczne rozwiązań instalacyjnych budynków energooszczędnych – Halina Koczyk, Małgorzata Basińska 241

Wpływ pasywnych systemów solarnych w energooszczędnych budynkach użyteczności publicznej na komfort wizualny użytkowników – Henryk Nowak, Łukasz Nowak, Elżbieta Śliwińska 253

Wielokryterialna ocena zrównoważonego rozwoju w budownictwie oraz efektywności energetycznej budynków – Konrad Witczak, Dariusz Gawin 265

KIERUNKI OCENY BUDYNKÓW ENEROOSZCZĘDNYCH

Konieczne zmiany w ocenie jakości cieplno-wilgotnościowej elementów budynków energooszczędnych – Andrzej Dylla, Krzysztof Pawłowski 281

System oceny budynków wg Małopolskiego Centrum Budownictwa Energooszczędnego – Małgorzata Fedorczak-Cisak, Marcin Furtak, Joanna Rucińska.....293

Kompleksowa ocena rozwiązań termomodernizacyjnych budynków użyteczności publicznej w cyklu całorocznym – Karolina Kurtz-Orecka.....303

Harmonizacja metod oceny środowiskowej, socjalnej i ekonomicznej budynków biurowych na przykładzie projektu OPEN HOUSE – Michał Piasecki.....313

Co to znaczy „zdrowy dom”? – Małgorzata Tafil-Klawe, Jacek J. Klawe 325

DOŚWIADCZENIA Z PROJEKTOWANIA I REALIZACJI BUDYNKÓW ENERGOOSZCZĘDNYCH W POLSCE

Budynki energooszczędne w praktyce – Anna Bać, Krzysztof Cebrat 333

POLITYKA PAŃSTWA I KIERUNKI ROZWOJU BUDOWNICTWA ENERGOOSZCZĘDNEGO

Krajowy plan mający na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii

Tomasz Gałązka

Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju, Departament Budownictwa,
e-mail: tomasz.galazka@mir.gov.pl

Streszczenie: W pracy omówiono zawartość i postanowienia Krajowego planu mającego na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii, który stanowi załącznik do przyjętej dnia 22 czerwca 2015 r. uchwały Rady Ministrów. Dokument stanowi wypełnienie upoważnienia zawartego art. 39 ust. 3 ustawy o charakterystyce energetycznej budynków, a także wymogu określonego w art. 9 ust. 1 dyrektywy 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków. W publikacji scharakteryzowano cel główny oraz cele pośrednie związane z poprawą efektywności energetycznej budynków wraz z harmonogramem ich osiągnięcia. Przedstawiono charakterystykę działań, głównie administracji rządowej, podejmowanych w celu promowania budynków o niskim zużyciu energii, wymagania w zakresie projektowania, budowy i przebudowy budynków w sposób zapewniający ich energooszczędność. Ponadto omówiono zmiany przepisów wpływających na efektywność energetyczną budynków oraz wskazano dostępne mechanizmy finansowe. Przybliżono również kwestie promowania wykorzystania odnawialnych źródeł energii w budynkach, potrzeby poprawy stanu technicznego budynków użytkowanych oraz wskazano na aspekt kompleksowego podejścia do efektywności energetycznej budynków.

Słowa kluczowe: efektywność energetyczna, budynki energooszczędne, charakterystyka energetyczna budynków, przepisy techniczno-budowlane, fundusze europejskie, prawo budowlane

1. Wprowadzenie

Sektor budownictwa wskazywany jest jako ten, w którym istnieje wiele możliwości podjęcia opłacalnych ekonomicznie działań, służących ograniczeniu degradacji środowiska, w tym ograniczeniu emisji szkodliwych substancji do atmosfery, zwiększeniu oszczędności surowców, ochronie zasobów naturalnych oraz bioróżnorodności. Działania te mogą jednocześnie przynieść wzrost innowacyjności, wdrożenie nowych technologii, zmniejszenie energochłonności, generowanie nowych miejsc pracy, a w rezultacie zwiększenie konkurencyjności gospodarki, zamożności obywateli oraz komfortu życia. W politykach oraz w dokumentach strategicznych ilekroć jest mowa o przyszłości budownictwa akcentowane są kwestie efektywności energetycznej budynków jako jedne z najistotniejszych, gdzie zauważalna jest podatność na innowacje oraz duży potencjał rozwoju [1-3].

W pracy przybliżono treść Krajowego planu mającego na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii, który stanowi załącznik do Uchwały Rady Ministrów z dnia 22 czerwca 2015 r. wydanej na podstawie upoważnienia określonego w art. 39 ust. 3 ustawy o charakterystyce energetycznej budynków [4] i jednocześnie jest on wypełnieniem zobowiązania wynikającego z art. 9 ust. 1 dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków [5], zgodnie z którą państwa członkowskie opracowują krajowe plany mające na celu zwiększenie liczby budynków o niemal zerowym zużyciu energii.

Ponadto publikacja zawiera prezentację powiązania Krajowego planu z prawem krajowym, prawem UE oraz dokumentami strategicznymi z zakresu efektywności energetycznej.

2. Postanowienia Krajowego planu

2.1. Wstęp. Geneza Krajowego planu

Zgodnie z art. 39 ust. 1 ustawy o charakterystyce energetycznej budynków, minister właściwy do spraw budownictwa, lokalnego planowania i zagospodarowania przestrzennego oraz mieszkalnictwa opracowuje projekt krajowego planu mającego na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii, który następnie na podstawie art. 39 ust. 3 ustawy zostaje przyjęty przez Radę Ministrów w drodze uchwały.

Krajowy plan powinien zawierać w szczególności:

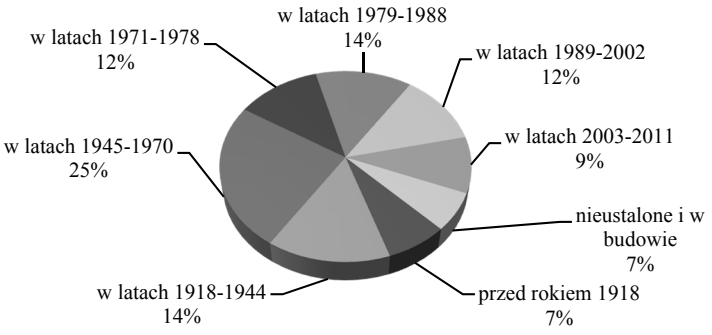
a) definicję budynków o niskim zużyciu energii oraz ich szczegółowe cechy,
b) działania administracji rządowej podejmowane w celu promowania budynków o niskim zużyciu energii, w tym w zakresie projektowania, budowy i przebudowy budynków w sposób zapewniający ich energooszczędność, oraz w celu zwiększenia pozyskania energii ze źródeł odnawialnych w nowych oraz w istniejących budynkach,
c) harmonogram osiągania celów, o których mowa w pkt. 2,
d) Powstanie Krajowego planu wiąże się z dążeniem do osiągnięcia celu głównego określonego w art. 9 ust. 1 dyrektywy 2010/31/UE, który stanowi, aby:
   – do dnia 31 grudnia 2020 r. wszystkie nowe budynki były budynkami o niemal zerowym zużyciu energii
   – po dniu 31 grudnia 2018 r. nowe budynki zajmowane przez władze publiczne oraz będące ich własnością były budynkami o niemal zerowym zużyciu energii.

Projekt dokumentu został przygotowany w Ministerstwie Infrastruktury i Rozwoju przy współpracy z członkami zespołu ds. opracowania projektu Krajowego planu, następnie przeszedł procedurę konsultacji oraz uzgodnień i ostatecznie został przyjęty przez Radę Ministrów.

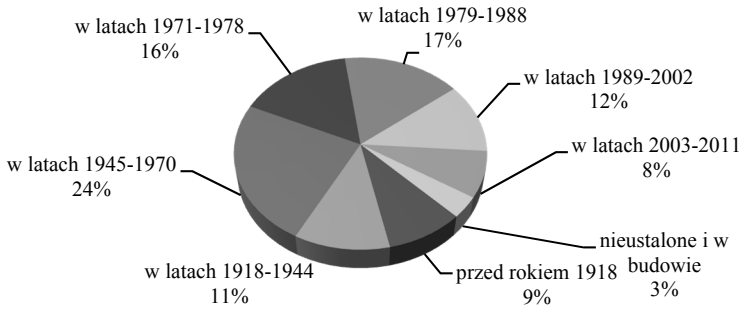
2.2. Przegląd krajowych zasobów budowlanych z uwzględnieniem ich energooszczędności oraz izolacyjności cieplnej

Ocena struktury wiekowej budynków zawarta w Krajowym planie została dokonana z wykorzystaniem danych zawartych w publikacji „Zamieszkane budynki" [6], która stanowi prezentację wyników Narodowego Spisu Powszechnego Ludności i Mieszkań przeprowadzonego w 2011 r., publikację „Opracowanie optymalnych energetycznie typowych rozwiązań strukturalno-materiałowych i instalacyjnych budynków" [7] oraz opracowania własne MIiR.

Strukturę wiekową budynków oraz mieszkań w Polsce przedstawiono na rysunkach 1 i 2. Według Narodowego Spisu Powszechnego Ludności i Mieszkań w 2011 r. liczba budynków w Polsce wynosiła 5,54 mln, a liczba mieszkań 12,96 mln.

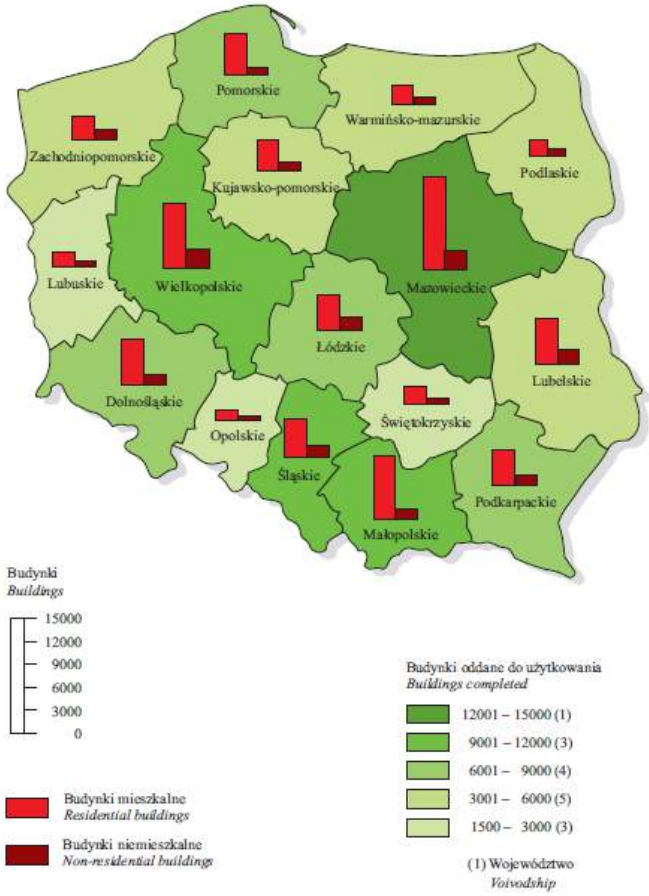


Rys. 1. Udział budynków według okresów wybudowania [3]



Rys. 2. Udział mieszkań według okresów wybudowania [3]

W przypadku budynków nowych skalę, której dotyczy zagadnienie poprawy charakterystyki energetycznej, można przedstawić na podstawie liczby budynków oddawanych do użytkowania. W 2013 r. oddano do użytkowania 99606 nowych budynków, z czego 77575 były to nowe budynki mieszkalne, a 22031 budynki niemieszkalne. W porównaniu z rokiem 2012 zanotowano spadek o 302 nowe budynki oddane do użytkowania [8].



Rys. 3. Budynki oddane do użytkowania według województw i rodzajów budynków w 2013 r. [8]

Gospodarstwa domowe w Polsce są jednym z największych konsumentów energii. Udział zużycia energii w gospodarstwach domowych w 2009 r. w finalnym zużyciu energii wyniósł 31%, co przekłada się na całkowite zużycie energii w sektorze budynków [9].

Szacuje się, iż na koniec 2011 r. w Polsce istniało 14,57 mln gospodarstw domowych, a w 2012 r. i na koniec 2013 r. ich liczba wzrosła odpowiednio o około 69,5 tys. i 56,6 tys. Jednocześnie w 2011 r. w Polsce było 13,7 mln mieszkań. W ostatnich latach obserwowany jest spadek jednostkowego zużycia energii w mieszkaniach, co związane jest z licznymi działaniami, które przede wszystkim mają na celu redukcję strat w sieciach ciepłowniczych, poprawę sprawności instalowanych urządzeń oraz ograniczanie strat ciepła przez przegrody zewnętrzne.

Istotne znaczenie w przypadku działań mających na celu poprawę efektywności energetycznej budynków ma struktura zużycia energii w gospodarstwach domowych. Struktura zużycia energii według potrzeb użytkowania w 2012 r. prezentowała się następująco: ogrzewanie pomieszczeń – 68,8%, przygotowanie ciepłej wody użytkowej – 14,8%, gotowanie posiłków – 8,3%, oświetlenie – 1,5%, urządzenia elektryczne – 6,6% [10].

Biorąc pod uwagę powyższe, kolejnym ważnym kryterium przeglądu budynków jest sposób zasilania ich w ciepło do ogrzewania.

W ogrzewaniu budynków mieszkalnych wyraźnie dominują paliwa stałe oraz ciepło sieciowe. Prawie połowa krajowych gospodarstw domowych (49,1%) użytkowała urządzenia grzewcze wykorzystujące paliwa stałe, spośród których największe zastosowanie miały dwufunkcyjne kotły centralnego ogrzewania, służące do wytwarzania ciepła i przygotowania ciepłej wody użytkowej. Takie kotły wykorzystywało 41,3% gospodarstw domowych ogrzewanych przy wykorzystaniu paliw stałych. Kotły jednofunkcyjne stosowało 31,9% gospodarstw ogrzewanych paliwami stałymi. W 19,2% gospodarstw stosowane były najbardziej tradycyjne urządzenia grzewcze – piece, głównie piece kaflowe. W 7% gospodarstw domowych wykorzystujących paliwa stałe używano kominków, przeważnie z wkładem zamkniętym. W pozostałych 0,6% gospodarstw jedynym urządzeniem grzewczym były kuchnie na paliwa stałe.

Ciepła sieciowego używało 41,5% wszystkich gospodarstw domowych. Wśród odbiorców ciepła z sieci zdecydowanie przeważali mieszkańcy budynków wielorodzinnych. Spośród konsumentów ciepła sieciowego, 60% używało go również do przygotowania ciepłej wody użytkowej [3, 10].

Do ogrzewania pomieszczeń stosowane były również gazowe kotły centralnego ogrzewania, które były użytkowane przez 9,8% gospodarstw domowych. Z kolei urządzenia grzewcze zasilane energią elektryczną stosowało 5,4 % gospodarstw domowych, z tym że stanowiły one ogrzewanie dodatkowe (pomocnicze) obok podstawowego systemu ogrzewania.

W zależności od roku wzniesienia, użytkowane budynki charakteryzuje zróżnicowanie pod względem poziomu zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną, co przedstawiono w tabeli 1. Na przestrzeni lat jest obserwowana tendencja spadkowa w zakresie wartości wskaźnika zapotrzebowania na energię.

O ograniczaniu strat ciepła z budynku przez przegrody zewnętrzne, a tym samym zmniejszeniu zużycia energii na ogrzewanie w budynkach świadczą również zmiany zachodzące w przepisach dotyczących współczynnika przenikania ciepła ścian zewnętrznych, stropów budynków oraz okien. Zmiany te można prześledzić na podstawie tabeli 2.

Tabela 1. Struktura wiekowa zasobów mieszkaniowych w Polsce i zużycie energii [3]

Lp.	Okres wzniesienia budynku	Budynki		Mieszkania		EP	EK
	lata	tys.	%	mln	%	kWh/(m^{2}rok)	kWh/(m^{2}rok)
1	przed 1918	404,7	7,3	1,18	9,1	> 350	> 300
2	1918-1944	803,9	14,5	1,45	11,2	300-350	260-300
3	1945-1970	1363,9	24,6	3,11	24,0	250-300	220-260
4	1971-1978	659,8	11,9	2,07	16,0	210-250	190-220
5	1979-1988	754,0	13,6	2,15	16,6	160-210	140-190
6	1989-2002	670,9	12,1	1,52	11,7	140-180	125-160
7	2003 –2007	321,6	5,8	0,60	4,6	100-150	90-120
8	2008-2011	205,1	3,7	0,41	3,2	–	–
9	w budowie	27,7	0,5	0,04	0,3	–	–
10	nieustalone	332,7	6,0	0,43	3,3	–	–
	razem	5544,3	100,0	12,96	100,0	–	–

Objaśnienia:
EP – wskaźnik określający roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną na jednostkę powierzchni pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza wyrażony w kWh/(m^{2}rok),
EK – wskaźnik określający roczne zapotrzebowanie na energię końcową na jednostkę powierzchni pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza wyrażony w kWh/(m^{2}rok).

Tabela 2. Zmiany wymagań w zakresie współczynnika przenikania ciepła U dla budynków wielorodzinnych – ogrzewanych do temperatury większej niż 16°C [3]

Polska norma lub przepisy	Ściana zewnętrzna	Stropodach	Strop nad nieogrzewaną piwnicą	Strop pod nieogrzewanym poddaszem	Okna i drzwi balkonowe
PN-57/B-024051 [a]	1,16-1,42	0,87	1,16	1,04-1,163	–
PN-64/B-034041 [a]	1,16	0,87	1,16	1,04-1,163	–
PN-74/B-034042 [b]	1,16	0,70	1,16	0,93	–
PN-82/B-020202 [b]	0,75	0,45	1,16	0,40	2,0-2,6
PN-91/B-020202 [b]	0, 55 0,70 [d]	0,30	0,60	0,30	2,0-2,6
Przepisy techniczno-budowlane (rok 1997) [b]	0,30-0,65 [c]	0,30	0,60	0,30	2,0-2,6
Przepisy techniczno-budowlane (rok 2002) [b]	0,30-0,65 [d]	0,30	0,60	0,30	2,0-2,6
Przepisy techniczno-budowlane (rok 2009) [b]	0,30	0,25	0,45	0,25	1,7-1,8
Przepisy techniczno-budowlane (rok 2014) [b]	0,25	0,20	0,25	0,20	1,3-1,5

Objaśnienia: [a] θ_i = 18 °C, [b] θ_i = 20°C, [c] w zależności od rodzaju ściany (z otworami lub bez), [d] w zależności od rodzaju i konstrukcji ściany.

2.3. Definicja budynków o niskim zużyciu energii

Zgodnie z art. 39 ust. 2 pkt 1 ustawy o charakterystyce energetycznej budynków, Krajowy plan zawiera między innymi definicję budynków o niskim zużyciu energii oraz ich szczegółowe cechy.

Powołując się na art. 2 pkt 2 dyrektywy 2010/31/UE, w którym zawarto najważniejsze definicje, przez „budynek o niemal zerowym zużyciu energii" należy rozumieć budynek o bardzo wysokiej charakterystyce energetycznej określonej zgodnie z wytycznymi zawartymi w załączniku I dyrektywy 2010/31/UE. Niemal zerowa lub bardzo niska ilość wymaganej energii powinna pochodzić w bardzo wysokim stopniu z energii ze źródeł odnawialnych, w tym energii ze źródeł odnawialnych wytwarzanej na miejscu lub w pobliżu.

Należy podkreślić, że w warunkach krajowych budynek o niemal zerowym zużyciu energii jest określany jako budynek o niskim zużyciu energii, o którym mowa w art. 39 ustawy o charakterystyce energetycznej budynków.

Krajowy plan zawiera rekomendowaną do stosowania w praktyce krajową definicję budynków o niskim zużyciu energii. Zgodnie z nią przez „budynek o niskim zużyciu energii" należy rozumieć budynek, spełniający wymogi związane z oszczędnością energii i izolacyjnością cieplną zawarte w przepisach techniczno-budowlanych, o których mowa w art. 7 ust. 1 pkt 1 ustawy – Prawo budowlane [11], tj. w szczególności dział X oraz załącznik nr 2 do rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie obowiązujące od 1 stycznia 2021 r. [12] (w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością – od 1 stycznia 2019 r.).

Poziom wymagań minimalnych przedstawiony w dziale X rozporządzenia oraz załączniku nr 2 do rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [12], ustalono w oparciu o rozporządzenie delegowane Komisji (UE) nr 244/2012 uzupełniające dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i ustanawiające ramy metodologii porównawczej do celów obliczania optymalnego pod względem kosztów poziomu wymagań minimalnych dotyczących charakterystyki energetycznej budynków i elementów budynków [13].

Aktualne poziomy wymagań oszczędności energii i izolacyjności cieplnej podlegają okresowym przeglądom oraz obowiązkom sprawozdawczym do KE, tak aby zapewnić aktualność i racjonalność ustanowionych wymagań.

Każdorazowa aktualizacja wymagań powinna uwzględniać korzyści związane z pobudzaniem innowacji poprzez tworzenie popytu na efektywne energetycznie materiały i technologie budowlane. Wymagania stawiane nowobudowanym budynkom powinny ponadto maksymalizować oszczędności związane z użytkowaniem budynku w całym cyklu jego życia w taki sposób, aby sumaryczne nakłady inwestycyjne na etapie budowy, jak i późniejsze koszty eksploatacji były najniższe.

2.4. Działania, regulacje w zakresie energooszczędności

Krajowy plan zawiera także omówienie działań administracji rządowej podejmowanych w celu promowania budynków o niskim zużyciu energii, w tym w zakresie projektowania, budowy i przebudowy budynków w sposób zapewniający ich energooszczędność, oraz zwiększenia pozyskania energii ze źródeł odnawialnych w nowych oraz istniejących budynkach oraz harmonogram osiągania celów, o których mowa w kontekście wskazanych działań.

Ponadto Krajowy plan zawiera między innymi pośrednie cele służące poprawie charakterystyki energetycznej nowych budynków na rok 2015, z myślą o przygotowaniu realizacji założeń, aby do dnia 31 grudnia 2020 r. wszystkie nowe budynki były budynkami o niemal zerowym zużyciu energii; oraz po dniu 31 grudnia 2018 r. nowe budynki zajmowane przez władze publiczne oraz będące ich własnością były budynkami o niemal zerowym zużyciu energii.

Cele pośrednie zakładają stopniową zmianę przepisów techniczno-budowlanych związanych z oszczędnością energii.

Za cel pośredni na rok 2015 należy uznać wymagania stawiane nowym budynkom obowiązujące od 1 stycznia 2014 r. zawarte w rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [12], które określają zarówno poziom izolacyjności termicznej przegród budowlanych, jak i kształtowanie odpo-

wiednio niskiej wartości wskaźnika EP. Celem pośrednim jest też dążenie do poziomu wymagań, który zacznie obowiązywać od 1 stycznia 2017 r. Stopniowa zmiana poziomu wymagań przyczyni się do płynnego dostosowania rynku budowlanego do zmieniających się przepisów. Jednocześnie w związku z ww. zmianami należy spodziewać się rozwoju innowacyjnych rozwiązań oraz stosowania nowych technologii z dziedziny budownictwa efektywnego energetycznie. Zmiany poziomu wymagań oszczędności energii i izolacyjności cieplnej, obowiązujące od 1 stycznia 2014 r. i te jakie zaczną obowiązywać od 1 stycznia 2017 r. oraz 1 stycznia 2021 r. stanowią harmonogram osiągnięcia określonych powyżej celów.

W tabeli 3 przedstawiono schemat osiągnięcia wymaganej wartości współczynnika przenikania ciepła dla ściany zewnętrznej nowego oraz przebudowywanego budynku wraz z harmonogramem jego osiągnięcia (poziom współczynnika przyjmowany zgodnie z rozporządzeniem w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie).

Tabela 3. Schemat osiągnięcia wartości współczynnika przenikania ciepła dla ściany zewnętrznej nowego budynku wraz z harmonogramem jego osiągnięcia [3, 12]

Element celu: maksymalna wartość współczynnika przenikania ciepła $U_C(max)$ [W/(m^2·K)] dla ściany zewnętrznej			
Harmonogram	od 1 stycznia 2014 r.	od 1 stycznia 2017 r.	od 1 stycznia 2021 r.*)
Element celu	pośredniego		głównego
Ściany zewnętrzne:			
a) przy $t_i \geq 16°C$	0,25	0,23	0,20
b) przy $8°C \leq t_i < 16°C$	0,45	0,45	0,45
c) przy $t_i < 8°C$	0,90	0,90	0,90
*) Od 1 stycznia 2019 r. - w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością.			

Art. 9 ust. 3 lit. c dyrektywy 2010/31/UE stanowi, że plany krajowe powinny zawierać informacje na temat polityk i środków finansowych lub innych środków przyjętych w celu promowania budynków o niemal zerowym zużyciu energii, w tym szczegóły na temat krajowych wymagań i środków dotyczących zużycia energii ze źródeł odnawialnych w nowych budynkach oraz istniejących budynkach poddanych ważniejszej renowacji.

Elementem strategii państwa jest promocja oraz tworzenie odpowiednich regulacji dotyczących oszczędności energii oraz ochrony środowiska.

Implementacja dyrektywy 2010/31/UE objęła modyfikację istniejących oraz wprowadzenie nowych regulacji, których celem jest ekonomicznie uzasadniona poprawa charakterystyki energetycznej budynków na skutek zmniejszenia zapotrzebowania na energię wykorzystywaną na potrzeby ogrzewania, chłodzenia, przygotowania ciepłej wody użytkowej i oświetlenia, a także zapewnienie odpowiedniego standardu energetycznego budynków projektowanych, wznoszonych oraz przebudowywanych.

Kwestie związane z oszczędnością energii i izolacyjnością cieplną, w odniesieniu do budynków projektowanych, nowobudowanych i przebudowywanych lub przy zmianie sposobu użytkowania, reguluje dział X rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

W wyniku nowelizacji ww. rozporządzenia od dnia 1 stycznia 2014 r. zmianie i uzupełnieniu uległy wymagania dotyczące wyposażenia technicznego budynku, parametrów wpływających na jego energooszczędność oraz jakość ochrony cieplnej. Powyższe

wymogi, tak jak dotychczas, będą miały zastosowanie przy projektowaniu budynków, ich budowie, przebudowie oraz zmianie sposobu użytkowania.

Zgodnie ze znowelizowanymi przepisami techniczno-budowlanymi budynek i jego instalacje ogrzewcze, wentylacyjne, klimatyzacyjne, ciepłej wody użytkowej, a w przypadku budynków użyteczności publicznej, zamieszkania zbiorowego, produkcyjnych, gospodarczych i magazynowych – również oświetlenia wbudowanego, powinny być zaprojektowane i wykonane w sposób zapewniający spełnienie wymagań minimalnych.

Przez wymagania minimalne rozumie się przede wszystkim:

– zapewnienie wartości wskaźnika EP, określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji, chłodzenia oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej, a w przypadku budynków użyteczności publicznej, zamieszkania zbiorowego, produkcyjnych, gospodarczych i magazynowych – również do oświetlenia wbudowanego, obliczonej według przepisów dotyczących metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynków, mniejszej od wartości granicznych określonych w rozporządzeniu,
– spełnienie wymagań izolacyjności cieplnej dla przegród oraz wyposażenia technicznego budynku określonych w załączniku nr 2 do ww. rozporządzenia.

Wymagania minimalne uznaje się za spełnione dla budynku podlegającego przebudowie, jeżeli przegrody oraz wyposażenie techniczne budynku podlegające przebudowie odpowiadają przynajmniej wymaganiom izolacyjności cieplnej, określonym w ww. rozporządzeniu.

Poziom wymagań w zakresie oszczędności energii i izolacyjności cieplnej będzie stopniowo podnoszony, aż do roku 2021.

W tabeli 4 przedstawiono harmonogram zmian cząstkowych maksymalnych wartości wskaźnika EP na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej w oparciu o postanowienia rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

Tabela 4. Harmonogram zmian cząstkowych maksymalnych wartości wskaźnika EP na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania c.w.u. [12]

Lp.	Rodzaj budynku	Cząstkowe maksymalne wartości wskaźnika EP_{H+W} [kWh/(m^2·rok)]		
		od 1.01.2014 r.	od 1.01.2017 r.	od 1.01. 2021 r.*)
1	Budynek mieszkalny: a) jednorodzinny a) wielorodzinny	 120 105	 95 85	 70 65
2	Budynek zamieszkania zbiorowego	95	85	75
3	Budynek użyteczności publicznej: a) opieki zdrowotnej a) pozostałe	 390 65	 290 60	 190 45
4	Budynek gospodarczy, magazynowy i produkcyjny	110	90	70
*) Od 01.01.2019 r. budynki zajmowane przez władze publiczne oraz będących ich własnością.				

System oceny energetycznej budynków wprowadzono przepisami ustawy - Prawo budowlane [11] i funkcjonował on w oparciu o te przepisy do dnia 8 marca 2015 r., a po tej dacie – w oparciu o przepisy ustawy o charakterystyce energetycznej budynków [4]. System ten obejmuje obowiązki związane z wydawaniem i przekazywaniem świadectw charakterystyki energetycznej budynków w określonych sytuacjach prawnych oraz prze-

prowadzanie okresowych kontroli systemów ogrzewania i systemów klimatyzacji w budynkach.

Celem ustawy z o charakterystyce energetycznej budynków jest promocja poprawy charakterystyki energetycznej budynków, a także udoskonalenie istniejącego systemu oceny charakterystyki energetycznej budynków przy uwzględnieniu dotychczasowego doświadczenia. W ustawie rozszerzono katalog osób uprawnionych do sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej, określono sposób przeprowadzania kontroli systemu ogrzewania lub systemu klimatyzacji, wprowadzono weryfikację sporządzanych świadectw oraz protokołów z kontroli – z urzędu lub na wniosek. Ponadto, utworzono centralny rejestr charakterystyki energetycznej budynków, obejmujący wykazy:

- osób uprawnionych do sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej,
- osób uprawnionych do kontroli systemu ogrzewania lub systemu klimatyzacji,
- świadectw charakterystyki energetycznej,
- protokołów z kontroli systemu ogrzewania lub systemu klimatyzacji,
- budynków, których powierzchnia użytkowa zajmowana przez organy wymiaru sprawiedliwości, prokuraturę oraz organy administracji publicznej przekracza 250 m^2 i w których dokonywana jest obsługa interesantów.

W związku z wprowadzoną nowelizacją przepisów dotyczących projektu budowlanego, od 3 października 2013 r. zaczęło obowiązywać nowe brzmienie rozporządzenia [14].

Nowelizacja objęła zmiany przepisów w zakresie opisu technicznego projektu budowlanego przez rozszerzenie obowiązku przeprowadzania analizy możliwości racjonalnego wykorzystania wysokoefektywnych systemów alternatywnych dla wszystkich budynków (do tej pory obowiązek ten dotyczył budynków o powierzchni użytkowej większej niż 1000 m^2) oraz zmianę zakresu analizy. Zgodnie z nowym brzmieniem § 11 ust. 2 pkt 12 ww. rozporządzenia, opis techniczny projektu architektoniczno-budowlanego powinien określać analizę możliwości racjonalnego wykorzystania wysokoefektywnych systemów alternatywnych zaopatrzenia w energię i ciepło, do których zalicza się zdecentralizowane systemy dostawy energii oparte na energii ze źródeł odnawialnych, kogenerację, ogrzewanie lub chłodzenie lokalne lub blokowe, w szczególności, gdy opiera się całkowicie lub częściowo na energii ze źródeł odnawialnych oraz pomp ciepła. Zastosowanie tych systemów powinno być rozważane na etapie sporządzania projektu budowlanego, który jest zatwierdzany w decyzji o pozwoleniu na budowę lub decyzji o zatwierdzeniu projektu budowlanego. Analiza może zostać przeprowadzona dla wszystkich znajdujących się na tym samym obszarze budynków o tym samym przeznaczeniu i o podobnych parametrach techniczno-użytkowych. Takie rozwiązania mają na celu upowszechnienie stosowania rozwiązań alternatywnych tam, gdzie ma to ekonomiczne, techniczne i środowiskowe uzasadnienie.

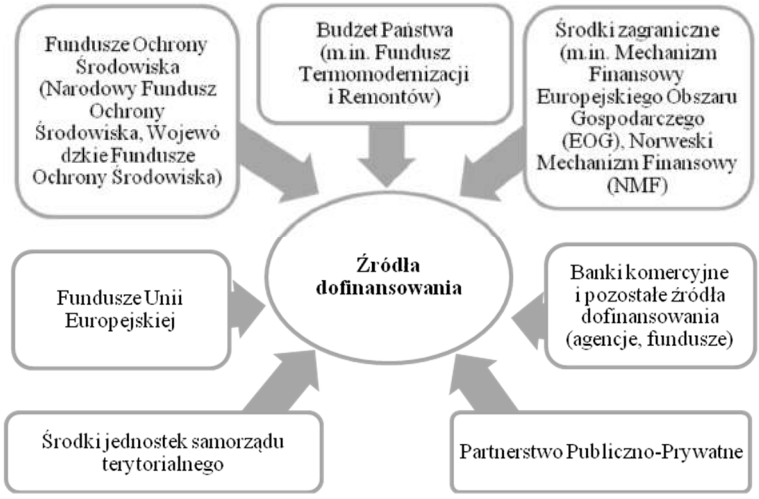
Kolejny istotnym aktem prawnym jest rozporządzenie w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej [15]. W rozporządzeniu uregulowano sposób wyznaczania charakterystyki energetycznej, również metodą opartą o faktycznie zużytą ilość energii, obliczenia dotyczące wielkości emisji CO_2 oraz udziału odnawialnych źródeł energii w rocznym zapotrzebowaniu na energię końcową, a także wzór świadectwa charakterystyki energetycznej. Ponadto w karcie świadectwa charakterystyki energetycznej należy podać zalecenia w zakresie możliwych środków poprawy wykorzystania energii. Osoba sporządzająca świadectwo, będzie miała obowiązek podzielenia się swoją fachową wiedzą, która w istotny sposób wpłynie na zmianę świadomości zarówno właściciela, jak i użytkownika budynku w zakresie możliwych, uzasadnionych ekonomicznie i efektywnych energetycznie termomodernizacji. W związku z tym, mając na uwadze art. 11 ust. 5 dyrektywy 2010/31/UE,

zaleca się, aby władze publiczne pełniące rolę wzorcową w zakresie charakterystyki energetycznej, w prowadzonych działaniach zmierzających do poprawy charakterystyki energetycznej budynków, których są właścicielami, brały pod uwagę zalecenia ujęte w świadectwie charakterystyki energetycznej.

2.5. Finansowe środki wsparcia

Wymienione w Krajowym planie działania dotyczące dofinansowania inwestycji zmierzających do poprawy efektywności energetycznej w budynkach są głównym, ale nie jedynym, źródłem finansowego wsparcia inwestycji wspierających rozwój budownictwa efektywnego energetycznie oraz wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Ważny jest odpowiedni podział dostępnych środków na poszczególne grupy beneficjentów i określone inwestycje. Wszystkie spośród wymienionych programów wspierają rozwój budynków o niskim zużyciu energii. W załączniku nr 2 do Krajowego planu przedstawiono dostępność środków finansowych w ramach poszczególnych programów z uwzględnieniem podziału na rodzaj budynku i grupy beneficjentów.

Na rysunku 4 przedstawiono możliwe źródła dofinansowania.



Rys. 4. Możliwe źródła dofinansowania inwestycji [3]

Na rysunku 5 przedstawiono dostępność wybranych środków finansowych w ramach poszczególnych programów omówionych w Krajowym planie dla poszczególnych grup beneficjentów.

Program		Stan budynku		Rodzaj budynku		Grupy beneficjentów												
		Nowobudowany	Istniejący	Mieszkalny	Użyteczności publicznej	Osoby fizyczne	Wspólnoty i spółdzielnie mieszkaniowe	Jednostki sektora finansów publicznych	Jednostki samorządu terytorialnego oraz ich związki	Podmioty świadczące usługi publiczne w ramach realizacji zadań własnych jednostek samorządu terytorialnego nie będące przedsiębiorcami	Uczelnie w rozumieniu ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym oraz instytuty badawcze	Przedsiębiorstwa			Samodzielne publiczne zakłady opieki zdrowotnej, podmioty lecznicze prowadzące przedsiębiorstwo w rozumieniu art. 551 Kodeksu cywilnego w zakresie udzielania świadczeń zdrowotnych	Organizacje pozarządowe, Kościoły i inne związki wyznaniowe wpisane do rejestru kościołów i innych związków wyznaniowych oraz kościelne osoby prawne	Przedsiębiorcy art. 43 kodeksu cywilnego	Ochotnicza Straż Pożarna
												małe	średnie	duże				
Dopłata do budowy domów energooszczędnych																		
LEMUR																		
Prosument																		
BOCIAN																		
Inwestycje energooszczędne w małych i średnich przedsiębiorstwach																		
KAWKA																		
GIS: Zarządzanie energią w budynkach użyteczności publicznej																		
PL04 środki norweskie																		
Szwajcarsko-Polski Program Współpracy. Cel 2.																		
POIiŚ. Priorytet inwestycyjny 4.3																		
FTiR Premie	Termo.																	
	Remont.																	
	Komp.																	

program dostępny

Rys. 5. Dostępność wybranych środków finansowych w ramach poszczególnych programów różnych grup beneficjentów [3]

3. Podsumowanie

Omówienie dokumentu Krajowego planu dokumentu ma przybliżyć jego główny cel, którym jest zapewnienie, aby do dnia 31 grudnia 2020 r. wszystkie nowe budynki były budynkami o niemal zerowym zużyciu energii oraz po dniu 31 grudnia 2018 r. nowe bu-

dynki zajmowane przez władze publiczne oraz będące ich własnością były budynkami o niemal zerowym zużyciu energii.

W ramach realizacji celu głównego opracowano definicję budynku o niemal zerowym zużyciu energii, która opiera się na obowiązujących przepisach techniczno-budowlanych i obejmuje liczbowy wskaźnik zużycia energii pierwotnej. Jednocześnie przez odpowiednie ukształtowanie wymagań oraz system oceny energetycznej budynku, pośrednio promowane jest wykorzystanie energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych.

Istotnym celem pośrednim na rok 2015 służącym poprawie charakterystyki energetycznej nowych budynków, z myślą o przygotowaniu realizacji celów głównych, jest zaostrzenie wymagań stawianych nowym budynkom w odniesieniu do oszczędności energii i izolacyjności cieplnej. Od 1 stycznia 2014 r. zaczęła obowiązywać znowelizowana treść rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Ponadto za cel pośredni należy uznać wszystkie działania, dzięki którym zmiana wymagań w latach kolejnych będzie łatwiejsza do osiągnięcia. Wśród nich należy przede wszystkim wymienić polityki i środki finansowe przyjęte w kontekście realizacji postanowień pośrednich i celu głównego.

Krajowy plan zawiera szereg informacji odnoszących się do poprawy efektywności energetycznej w budynkach istniejących, tak aby możliwie najlepiej niwelować różnice standardu między zabudową nową i istniejącą.

Poruszana tematyka jest tylko zasygnalizowaniem istoty zagadnienia, jakim są budynki o niskim zużyciu energii. Dążenie do realizacji celu głównego, niewątpliwie przyczyni się do poprawy jakości użytkowania budynków, komfortu cieplnego, wpłynie pozytywnie na finansowy aspekt utrzymania budynku, jak i jakość środowiska zewnętrznego. Jednocześnie jest to impuls do rozwoju rynku i techniki budowlanej. Budownictwo o niskim zużyciu energii stawia poważne wyzwanie wobec Państwa w tworzeniu przepisów prawa dla ekonomicznie uzasadnionej poprawy charakterystyki energetycznej, jak również w podnoszeniu świadomości społeczeństwa.

Literatura

1 Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego i Rady. Strategia na rzecz zrównoważonej konkurencyjności branży budowlanej i jej przedsiębiorstw. KOM(2012) 433.
2 Komunikat Komisji do Rady, Parlamentu Europejskiego, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego oraz Komitetu Regionów Inicjatywa Rynków Pionierskich Dla Europy KOM(2007) 860.
3 Uchwała Rady Ministrów z dnia 22 czerwca 2015 r. w sprawie przyjęcia „Krajowego planu mającego na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii".
4 Ustawa z dnia 29 sierpnia 2014 r. o charakterystyce energetycznej budynków (Dz. U. Poz. 1200 z późn. zm.).
5 Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (Dz. Urz. UE L 153 z 18.06.2010, str. 13).
6 Zamieszkane budynki. Narodowy Spis Powszechny Ludności i Mieszkań 2011, GUS, Warszawa 2014.
7 Opracowanie optymalnych energetycznie typowych rozwiązań strukturalno-materiałowych i instalacyjnych budynków. Strategiczny projekt badawczego pt. „Zintegrowany system zmniejszenia eksploatacyjnej energochłonności budynków". Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2013.
8 Budownictwo- wyniki działalności w 2013 r., GUS, Warszawa 2014.
9 Efektywność wykorzystania energii w latach 1999-2009. Informacje i opracowania statystyczne. GUS, Warszawa 2011.
10 Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2012 r. Informacje i opracowania statystyczne. GUS, Warszawa 2014.

11 Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (Dz. U. 2013 r. poz. 1409, z późn. zm.).
12 Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 75, Poz. 690, z późn. zm.).
13 Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) nr 244/2012 z dnia 16 stycznia 2012 r. uzupełniające dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i ustanawiające ramy metodologii porównawczej do celów obliczania optymalnego pod względem kosztów poziomu wymagań minimalnych dotyczących charakterystyki energetycznej budynków i elementów budynków (Dz. Urz. L 081, z dnia 21marca 2012 r., str. 18-36).
14 Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego (Dz. U. Poz. 462, z późn. zm.
15 Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz. U. Poz. 376).

National plan for increasing the number of the buildings with low energy consumption

Tomasz Gałązka

Ministry of Infrastructure and Development, Departament of Construction,
e-mail: tomasz.galazka@mir.gov.pl

Abstract: The article discusses the contents and provisions of the National Plan for increasing the number of buildings with low energy consumption, which is attached to the adopted on 22 June 2015. Resolution of the Council of Ministers. The document is the fulfillment authorization contained Art. 39 paragraph. 3 of the energy performance of buildings, as well as the requirement laid down in Art. 9 paragraph. 1 Directive 2010/31 / EU on the energy performance of buildings. The article describes the main objective and intermediate objectives related to improving the energy efficiency of buildings including a timetable for achieving them. The characteristic actions, mainly of government measures taken to promote buildings with low energy consumption requirements for the design, construction and alteration of buildings to ensure their efficiency. In addition, it discusses changes in regulations affecting the energy efficiency of buildings and identifies available financial mechanisms.
Also brought closer to issues of promoting the use of renewable energy sources in buildings, the need to improve the technical condition of the buildings in use, and pointed out the aspect of a comprehensive approach to energy efficiency in buildings. Article contains a presentation linking the national plan with national law, EU law and strategic documents in the field of energy efficiency.

Keywords: energy efficiency, near zero energy buildings, energy performance of buildings, equipment and technical regulations, European funds law, construction law

Budynki biurowe o niemal zerowym zapotrzebowaniu na energię

Dariusz Heim

Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka,
e-mail: dariusz.heim@p.lodz.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono możliwość uzyskania standardu zero-energetycznego budynku biurowego, przedstawiono metodykę oceny tego typu obiektów oraz wskazano potencjalne rozwiązania techniczne. Osiągniecie założonego celu możliwe jest poprzez zastosowanie po stronie produkcji aktywnych fasad fotowoltaicznych, zaś po stronie popytowej wysokowydajnych systemów wentylacji z odzyskiem ciepła oraz oświetlenia wbudowanego. Jednocześnie przeprowadzono zabiegi prowadzące do ograniczenia wymiany ciepła na drodze przenikania i fototermicznej konwersji energii promieniowania słonecznego przez co zminimalizowano okresowy wpływ zmian środowiska zewnętrznego na parametry wewnątrz budynku. Opisano realizację eksperymentalnego stanowiska badawczego wykonanego w jednym z budynków Politechniki Łódzkiej oraz założenia do prowadzenia dalszych badań.

Słowa kluczowe: fotowoltaika, fasada, energia, biurowy, symulacja, dynamika

1. Wprowadzenie

Jednym z aktualnych problemów współczesnego budownictwa jest uzyskanie jak najwyższych standardów energetycznych przy racjonalnym wykorzystaniu energii ze źródeł odnawialnych. Na przestrzeni ostatnich lat pojęcie budynku energooszczędnego ustąpiło miejsca nowym definicjom, które już obecnie określają przyszłe standardy budynków zero- a nawet plus-energetycznych. W przypadku dostępnych obecnie technologii możliwe jest uzyskanie obiektu o dodatnim bilansie energetycznym, w którym straty energii na potrzeby użytkowe pokrywane są z energii odnawialnej produkowanej na miejscu. Opłacalność danych rozwiązań jest silnie zależna od rodzaju obiektu i jego potrzeb energetycznych, jak i rodzaju zastosowanych technologii. Ważny jest również sposób i przyjęte granice bilansowania. Powyższe zagadnienia omówiono szczegółowo w rozdziale 2.

Obiekty biurowe stanowią jeden z typów, dla których uzyskanie standardu zero-energetycznego przy odpowiednich założeniach przestrzenno-funkcjonalnych może być stosunkowo łatwe. Po pierwsze są to obiekty, które ze względu na swoją specyfikę użytkowane są w ciągu dnia, czyli w okresie bezpośredniej dostępności energii promieniowania słonecznego. Tym samym energia odnawialna z promieniowania słonecznego wyprodukowana na miejscu może być bezpośrednio wykorzystana na pokrycie popytu. Po drugie stosunek zysków do strat ciepła zmienia tradycyjne proporcje energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia, a w szczególnych przypadkach może je całkowicie odwrócić. Prawidłowe rozwiązania architektoniczne, proporcje przegród i aktywne rozwiązania fasadowe pozwalają na uzyskanie układu zbilansowanego na przestrzeni całego roku. Po trzecie, bezpośredni dostęp do obiektu promieniowania słonecznego zapewnia istotne lub nawet całkowite ograniczenie zapotrzebowania na energię do oświetlenia. Dzięki aktywnym systemom fasadowym możliwe jest uzyskanie nie tylko światła rozproszonego ale również ograniczenie dostępu promieniowania spoza zakresu widzialnego. Mając na uwadze powyższe zało-

żenia teoretyczne podjęto próbę opracowania eksperymentalnej fasady zero-energetycznego budynku biurowego. Fragment rozwiązania został zrealizowany na jednym z budynków Politechniki Łódzkiej i poddany długoterminowym badaniom pod kątem wybranych parametrów.

W niniejszej pracy wykorzystano opracowaną koncepcje fasady budynku biurowego [1]. Fasada składa się z części transparentnej oraz pełnej. Część transparentną wykonano w technologii podwójnej ściany szklanej (*double skina facade*). Część zewnętrzną wykonano z pojedynczego oszklenia w technologii lamelowej o regulowanej przepuszczalności powietrza. Część wewnętrzną wykonano jako układ potrójnie szklony o podwyższonej izolacyjności termicznej. Część pełną fasady wykonano jako ścianę wentylowaną, ocieploną materiałem włóknistym. Zewnętrzna powierzchnia została pokryta modułami fotowoltaicznymi typu CIS. W dolnej części przewidziano otwory wlotowe i wylotowe systemu indywidualnej wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła. Wymiary zewnętrzne fasady wynoszą 2,40 × 3,00 m, zaś wewnętrzne 2,40 × 2,40 m. Różnice w wymiarach wynikają `z konstrukcji, grubości stropów międzykondygnacyjnych.

2. Standard budynku zero-energetycznego

Prawidłowe określenie na poziomie krajowym i międzynarodowym poszczególnych standardów budownictwa niskoenergetycznego jest niezwykle istotne dla potrzeb tworzenia nowych wymagań podstawowych jak i ram oraz zasad systemu wspierania tego typu budownictwa. W ostatnich latach pojawiło się wiele opracowań, w których autorzy podejmowali próbę ogólnego zdefiniowania budynku zero- lub niemal zero- energetycznego. Do ciekawszych prac z tego obszaru należą m.in. publikacje Kolokotsa i inni (2011) [2] oraz Kurnitski i inni (2014) [3]. Natomiast w obszarze budynków biurowych pewne rozwiązania zostały przedstawione przez Pikas E. i inni (2014) [4]. Jak wynika z ilości prac badawczych prowadzonych w ww. obszarze temat końcowej definicji pozostaje nadal otwarty.

Bez względu na rodzaj obiektu, którego ma dotyczyć definicja zależna ona będzie od przyjętych założeń oraz uwarunkowań lokalnych. Do podstawowych założeń należą:
- granice obszarów bilansowania;
- współczynniki wagowe;
- zasady bilansowania;
- uwarunkowania wewnętrzne;
- sposób oceny i weryfikacji.

Natomiast wśród uwarunkowań lokalnych wymienić należy te wynikające z warunków:
- klimatycznych;
- ekonomicznych;
- politycznych.

Rozpatrując granice obszarów bilansowania należy zwrócić uwagę na trzy aspekty. Określenie granic fizycznych tworzących obszar bilansowania, określenie sposobu bilansowania poszczególnych rodzajów nośników energii oraz określenie warunków brzegowych dla przyjętego obszaru bilansowania. Zdefiniowanie ich jest niezbędne dla wyznaczenia strumieni poszczególnych form energii na granicy bilansowej oraz warunków brzegowych, dla których te strumienie i ich wielkości zostały wyznaczone. Jeżeli dla pomieszczenia biurowego ściana zewnętrzna budynku jest granicą pomiędzy środowiskiem wewnętrznym i zewnętrznym to następuje przez nią wymiana ciepła przy pewnych, założonych warunkach po obu stronach przegrody. Jeżeli z daną przegrodą zewnętrzną zintegrowane są systemy energii odnawialnej to wyprodukowana energia może posłużyć do pokrycia zapotrzebowania wynikającego z pracy urządzeń i systemów w ramach danej

przestrzeni wewnętrznej. Przy takich założeniach granicą bilansową będzie obudowa budynku, bilansowanymi strumieniami energii ciepło oraz energia elektryczna, zaś warunkami brzegowymi parametry środowiska wewnętrznego i zewnętrznego.

Bilansując poszczególne strumienie np. ciepła i energii elektrycznej oraz chcąc porównać je ze sobą niezbędne jest uzyskanie wspólnego mianownika czyli analiza na poziomie energii pierwotnej. Najprostszym sposobem przejścia z energii końcowej na energię pierwotną jest zastosowanie ogólnie przyjętych współczynników nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej w_i. Takie podejście dotyczy obiektów zintegrowanych z systemem elektro-energetycznym wykorzystywanym jako bufor energii i pozwalających na bilansowanie zużycia w dłuższych okresach czasu np. miesiąca, sezonu lub roku. W takim przypadku nadmiar energii elektrycznej wyprodukowanej w okresie lata przez system OZE zintegrowany z budynkiem i oddany do sieci wliczany jest do pokrycia potrzeb ogrzewczych w okresie zimowym. W ramach tych samych nośników energii, przypisane współczynniki wagowe mogą ale nie muszą być symetryczne, co oznacza że energia wyprodukowana przez obiekt może mieć wyższy współczynnik niż energia pobrana z sieci. Jeśli jednak rozpatrujemy budynek w pełni autonomiczny wtedy uwzględnianie współczynników nakładu wydaje się nieuzasadnione. W rzeczywistości bilansowanie sprowadzamy do jednego rodzaju nośnika energii, czyli najczęściej zakładamy, że ogrzewanie, chłodzenie, wentylacja, napęd urządzeń etc., zasilane jest energią elektryczną.

Poza decyzją dotyczącą form energii poddanej bilansowaniu, wpływ na ostateczny wynik będzie miał długość przyjętego okresu analiz. W budynkach autonomicznych czyli odłączonych od sieci elektroenergetycznej okres powinien być jak najkrótszy, zaś w przypadku braku wewnętrznych magazynów energii wręcz jednodniowy. Najprostsze systemy akumulatorowe są w stanie podtrzymać działanie systemu przez okres kilku dni gorszych warunków nasłonecznienia, jednak nigdy nie będą one działały jako magazyn sezonowy. W tej sytuacji możliwe jest dodatkowe dostosowanie zapotrzebowania w zależności od przewidywanej dostępności energii ze źródeł odnawialnych. Należy jednak liczyć się z przypadkiem kiedy nastąpi chwilowy niedobór energii w wyniku ciągłych, niekorzystnych warunków meteorologicznych. Problem ten praktycznie nie istnieje w sytuacji współpracy systemu energetycznego obiektu z siecią elektroenergetyczną. W tym przypadku najbardziej uzasadnionym jest przyjęcie rocznego okresu bilansowego.

Czynnikiem mającym wpływ na ostateczny bilans energetyczny budynku jest oczekiwany poziom jakości środowiska wewnętrznego, w tym komfortu cieplnego. Wszystkie obiekty zero- lub prawie zero-energetyczne powinny zapewniać użytkownikom możliwie wysokie parametry komfortu na przestrzeni całego roku. Dlatego też w analizach należy bezwzględnie brać pod uwagę energię na ogrzewanie i chłodzenie, zaś ewentualna optymalizacja poszczególnych rozwiązań powinna uwzględniać letnie przegrzewanie się obiektów. Kolejnym istotnym czynnikiem jest dobowy okres użytkowania obiektu. W przypadku większości pomieszczeń biurowych okres ich użytkowania przypada w porze dnia i nie jest zazwyczaj dłuższy niż 8 godzin co w porównaniu z obiektami mieszkalnymi jest okresem trzykrotnie krótszym. W okresie zimowym zgodność czasu pracy systemu ogrzewczego z wewnętrznymi i zewnętrznymi (słoneczne) zyskami ciepła w istotny sposób obniży chwilowe zapotrzebowanie na energię, podczas gdy w okresie lata przyniesie efekt odwrotny. Mając na uwadze powyższe należy stwierdzić, że istnieje wiele uwarunkowań wynikających z rozwiązań funkcjonalno-architektonicznych determinujących możliwość uzyskania standardu budynku zero-energetycznego.

Wszystkie powyższe uwarunkowania występują jako założenia dla dokładnych analiz obliczeniowych na etapie projektowania i certyfikacji nowych obiektów. W rzeczywistych warunkach użytkowania nie jest jednak możliwe uzyskanie takich samych uwarunkowań

wewnętrznych i zewnętrznych przez co w każdym z przypadków konieczna jest weryfikacja w warunkach rzeczywistych. Najczęściej dotyczy ona następujących aspektów: uwarunkowań klimatycznych, sposobu użytkowania, spełnienia kryteriów jakości środowiska wewnętrznego, uzyskanych efektów energetycznych. Monitoring energetyczny obiektów jest niezbędny również w celu wyeliminowania pewnych nieprawidłowości lub korekty błędnych założeń projektowych oraz posiada dodatkową wartość edukacyjną dla jego użytkowników.

3. Założenia dla zero-energetycznego budynku biurowego

W celu zbadania możliwości uzyskania standardu budynku zero-energetycznego konieczne jest przyjęcie odpowiednich założeń, które dotyczą pomieszczenia pracy biurowej i mogą być ekstrapolowane do skali całego obiektu.

W dalszych analizach założono, że przedmiotowe pomieszczenie biurowe znajduje się w południowej części budynku, czyli ściana zewnętrza ma orientację południową. Ponadto przyjęto następujące założenia względem rozwiązań architektonicznych, fizyko-budowlanych, funkcjonalnych oraz użytkowych pomieszczenia, zgodnie z założeniami służącymi do realizacji eksperymentalnej fasady badawczej na budynku Politechniki Łódzkiej.

Przyjęto, że jedyną drogą wymiany ciepła pomiędzy pomieszczeniem a otoczeniem jest ściana zewnętrzna składająca się z części okiennej (1,44 m^2) oraz pełnej (4,32 m^2). Część pełna wykonana jest w technologii lekkiej ściany wentylowanej, ocieplonej wełną mineralną o współczynniku przenikania ciepła 0,20 W/(m^2K). Okno wykonano w technologii trójszybowej o współczynniku przenikania ciepła 1,00 W/(m^2K) – przypadek single skin facade (SSF). Biorąc pod uwagę obowiązujące przepisy ochrony cieplnej jest to rozwiązanie typowe. Od strony zewnętrznej ściana pełna pokryta jest panelami fotowoltaicznymi o średniosezonowej sprawności konwersji energii promieniowania słonecznego na poziomie 12%. Na części okiennej jako rozwiązanie alternatywne zastosowane układ podwójnej powłoki o strukturze zewnętrznej wykonanej w technologii lamelowej ze szkła zwykłego typu clear-float o grubości 4 mm – przypadek double skin facade (DSF). Pozostałe przegrody otaczające pomieszczenie przyjęto jako wewnętrzne o adiabatycznych warunkach wymiany ciepła.

Przyjęto, że pomieszczenie o powierzchni użytkowej 10 m^2 przeznaczone jest do pracy biurowej z komputerem 1 osoby dorosłej. Założono czas pracy w godzinach 8:00÷16:00, w których dla osoby pracującej zapewniono wymagany strumień powietrza wentylacyjnego na poziomie 20 m^3/osobę oraz temperatury powietrza wewnętrznego na poziomie 20÷26°C. Poza godzinami pracy przyjęto brak wentylacji oraz całkowite wyłączenie systemu ogrzewania/chłodzenia. Wentylacja realizowana jest w sposób indywidualny za pomocą centrali wentylacyjnej zintegrowanej z fasadą. Jako wewnętrzne zyski ciepła przyjęto łącznie 280 W/pomieszczenie, z czego 215 W jako ciepło jawne oraz 65 W jako utajone.

Wszystkie analizy wykonano metodą symulacyjną [5], prowadząc obliczenia z 60. minutowym krokiem czasowym. Przyjęto, że analizowany budynek znajduje się w mieście Łodzi, dla którego zestaw danych Typowego Roku Meteorologicznego został opracowany na podstawie normy ISO dla potrzeb pracy [6].

4. Ścieżki wymiany energii w pomieszczeniu biurowym

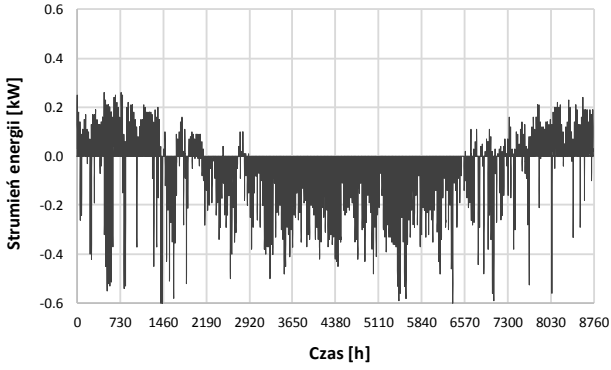
4.1. Ciepło

Z założeń sformułowanych w punkcie 3 wynika, że jedyną drogą wymiany ciepła jest przenikanie oraz wentylacja przez fasadę zewnętrzną. Tym samym samo rozwiązanie fasady będzie determinowało bilans cieplny pomieszczenia. Na rysunku 1 przedstawiono bilans

przepływu strumieni ciepła dla przedmiotowej fasady na przestrzeni roku.

Rys. 1. Bilans przepływu strumieni ciepła eksperymentalnej fasady w wariancie podstawowym (SSF).

Jak wynika z przedstawionego schematu zyski ciepła znacznie przekraczają straty przy czym ze względu na okres występowania niezbędne jest dostarczenie do systemu energii w postaci zarówno ciepła (58,39 kWh/rok) jak i chłodu (386,52 kWh/rok). Proporcje pomiędzy energią ogrzewczą a chłodniczą są zrozumiałe z uwagi na istotnie duże i niezależne od pory roku wewnętrzne zyski ciepła. Tym samym dla tak przyjętego rozwiązania wyjściowego konieczne będzie obniżenie łącznej ilości energii dostarczonej, głównie w sezonie letnim.



Rys. 2. Zmiana strumieni ciepła i chłodu dostarczanych przez system zewnętrzny dla przypadku SSF.

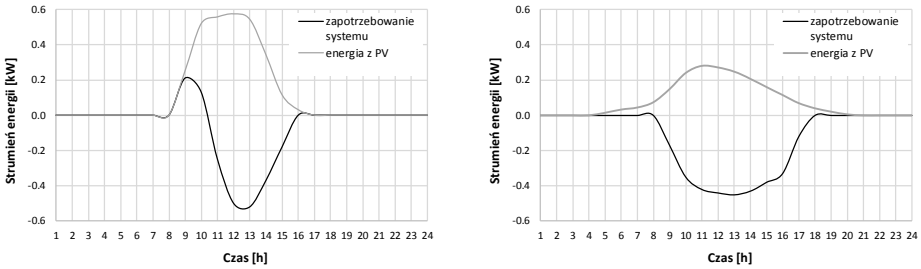
Aby lepiej zobrazować problem chwilowego niedoboru ciepła i chłodu wykonano analizę zmian zewnętrznych strumieni ciepła i chłodu na przestrzeni roku. Dla przypadku podstawowego wyniki zamieszczono na rysunku 2. Na ich podstawie należy stwierdzić, że maksymalne moce systemu chłodzenia są trzykrotnie wyższe niż systemu ogrzewania, przy czym konieczność chłodzenia pomieszczeń pojawia się również w wybrane dni miesięcy zimowych. W miesiącach maj-wrzesień, a także praktycznie przez cały kwiecień pomieszczenie nie wymaga natomiast ogrzewania. Istotne zmniejszenie zapotrzebowania na chłód następuje dopiero w miesiącach listopad-grudzień. Na tej podstawie można sformułować

wniosek, że dla analizowanego pomieszczenia biurowego długość sezonu chłodniczego jest znacznie większa niż grzewczego, co nie jest typowe w tradycyjnym podejściu do projektowania obiektów w warunkach Polski.

5. Koherentność zmian wybranych parametrów

Wprowadzanie do budynków zintegrowanych źródeł energii odnawialnej i innych technologii zależnych od zmiennych parametrów środowiska wewnętrznego wiąże się z koniecznością dokładnej analizy popytu i podaży energii oraz koniecznością jej ewentualnego magazynowania. Jak wspomniano wcześniej użyteczną formą zasobnika jest sieć elektroenergetyczna. Wprowadzając czasowe taryfy cen energii możliwe jest również stymulowanie zachowania odbiorców jako potencjalnych, wirtualnych zasobników energii. Sprawdzoną, choć niskowydajną formą magazynowania jest stosowanie zasobników w formie akumulatorów, zarówno energii elektrycznej jak i ciepła i chłodu.

Jeżeli jednak rozpatrujemy budynek jako system autonomiczny najkorzystniejszym rozwiązaniem jest bezpośrednie wykorzystanie nadmiaru wyprodukowanej energii na potrzeby bytowe. Sposób użytkowania obiektów biurowych a co za tym idzie ich potrzeby energetyczne jest praktycznie idealnie zgodny dostępem energii promieniowania słonecznego w cyklu dobowym. Oznacza to, że przez większość czasu jakakolwiek forma energii uzyskana z promieniowania słonecznego może być skutecznie wykorzystana do pokrycia zapotrzebowania tego typu budynków. Zależność tę dobrze ilustrują dwa przykładowe, dobowe profile przedstawione na rysunku 3 odpowiednio dla wybranego dnia zimy i lata. Wartości ujemne to zapotrzebowanie na chłód, zaś dodatnie to energia elektryczna uzyskana z zainstalowanych na fasadzie paneli PV. Istnieją oczywiście dni o mniej korzystnych warunkach nasłonecznienia w przypadku których zastosowanie niewielkich zasobników energii elektrycznej jest całkowicie uzasadnione. Mniejsza wydajność paneli fotowoltaicznych w okresie lata spowodowana jest ich południową orientacją i relatywnie względnie wysokim współczynnikiem odbicia zewnętrznego oszklenia.



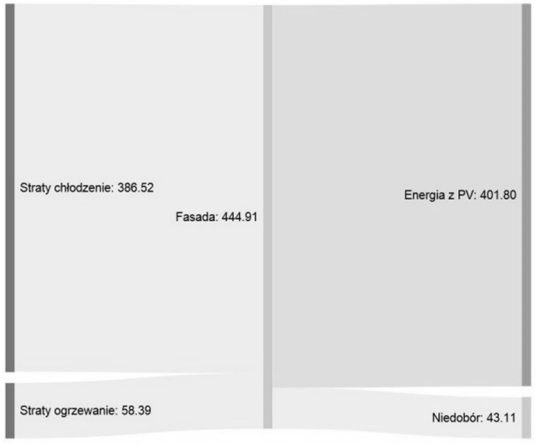
Rys. 3. Dzienny profil zapotrzebowania na ciepło/chłód oraz energii dostarczonej z paneli PV.

6. Zarządzanie podażą i popytem – proponowane technologie

6.1. Aktywacja ścian zewnętrznych budynku

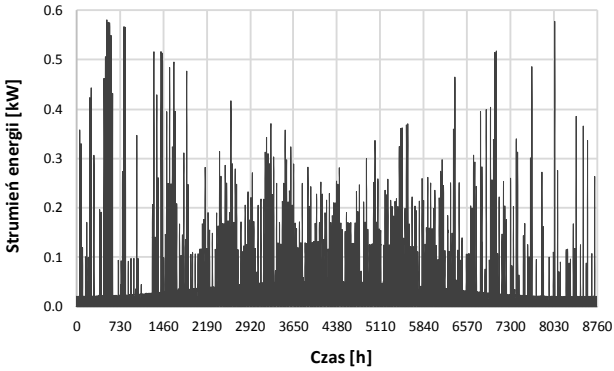
W kontekście przedstawionej problematyki efektywności energetycznej obiektów biurowych zaproponowano cztery rozwiązania mające na celu poprawę bilansu energetycznego budynku i doprowadzenie go do standardu budynku zero-energetycznego. Jako pierwsze zaproponowano zastosowanie aktywnych powłok zewnętrznych w postaci paneli fotowoltaicznych typu CIS. Rozwiązanie to jest akceptowalne zarówno pod względem architektonicznym z uwagi na jednolitą kolorystykę elewacji jak i kosztów przekraczających w niewielkim stopniu koszty wykonania elewacji szklanej. Takie rozwiązanie spełnia również

kryterium w obszarze granic bilansowych, gdyż panele PV zastosowano bezpośrednio na elewacji. Szczegółowe informacje dotyczące sposobu modelowania fasad wentylowanych, pokrytych panelami PV zamieszczono w pracy [7]. Na rysunku 4 pokazano roczne strumienie energii pobrane na potrzeby ogrzewania i chłodzenia oraz dostarczone przez system paneli PV. W podstawowym układzie istnieje niedobór energii dla analizowanego pomieszczenia na poziomie 43,11 kWh/rok co stanowi poniżej 10% całkowitego zapotrzebowania na ciepło i chłód.



Rys. 4. Bilans przepływu strumieni energii eksperymentalnej fasady w wariancie podstawowym (SSF) z panelami PV.

Jednocześnie dostępność energii elektrycznej wyprodukowanej przez fasadę PV jest w miarę stabilny w ciągu roku i zależy w głównej mierze od udziału składowej bezpośredniej promieniowania słonecznego dającej z zasady wyższe wartości natężenia. W przypadku miesięcy zimowych maksymalne wydajności osiągane przez panele są nieznacznie większe co spowodowane jest orientacją fasady. Szczegółowe wyniki zamieszczone zostały w formie przebiegu czasowego na rysunku 5. Najdłuższe zarejestrowane przerwy w dostępności promieniowania bezpośredniego wynoszą nie więcej niż 10 dni i są one jak najbardziej możliwe przy rzeczywistych warunkach pogodowych. W takiej sytuacji niezbędne jest zastosowanie dodatkowych akumulatorów energii oraz ewentualne korekty w pracy poszczególnych systemów. Ewentualny niedobór energii będzie też oczywiście zależny od chwilowego zapotrzebowania, które nie musi być specjalnie wysokie w danym okresie obliczeniowym, np. podczas pochmurnych dni lata lub okresów przejściowych.

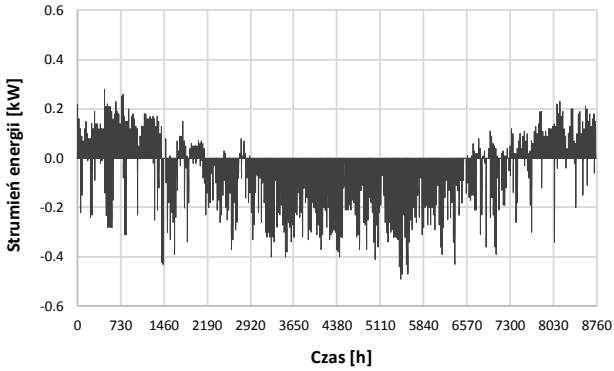


Rys. 5. Zmiana strumienia energii elektrycznej dostarczanej przez fasadę PV

6.2. Aktywacja elementów transparentnych

Kolejnym rozwiązaniem, wielokrotnie analizowanym przez zespół badaczy z Politechniki Łódzkiej [8] jest system podwójnych ścian transparentnych (double skin facade DSF) będących alternatywą dla tradycyjnych rozwiązań okiennych. W rozpatrywanym systemie ściany aktywnej zaproponowano rozwiązanie dwupowłokowe na części okiennej, w której powłokę zewnętrzną wykonano w technologii lameli szklanych o parametrach optycznych szkła typu clear-float. Analizując wpływ rozwiązania DSF na zmianę bilansu energetycznego przegrody (rys. 6) można zauważyć, że nawet poprawa właściwości jedynie niewielkiej części fasady może istotnie zmienić charakterystykę energetyczną pomieszczenia. Porównując wyniki zamieszczone na rysunku 6 z wynikami dla systemu SSF (rys. 1) widać zmniejszenie zapotrzebowania na energię o około 20%. Jest to głównie efektem ograniczenia zapotrzebowania na chłód, co dobrze ilustruje roczny przebieg zmian mocy chłodniczej (rys. 7) w porównaniu do wyników zamieszczonych na rysunku 2. Dodatkowa osłona szklana stanowi dla promieniowania słonecznego dodatkową barierę przez co część promieniowania odbijana jest od warstwy zewnętrznej oszklenia lub absorbowana w buforowej przestrzeni międzyokiennej.

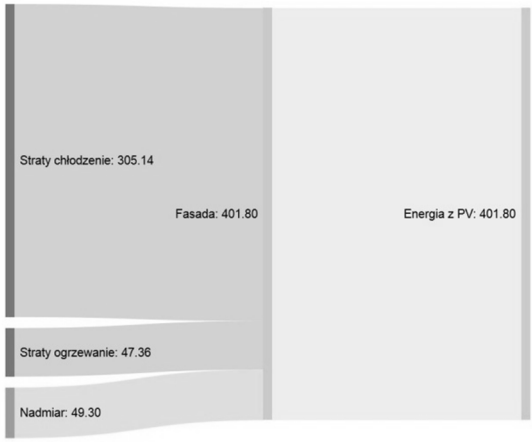
Rys. 6. Bilans przepływu strumieni ciepła eksperymentalnej fasady w wariancie z podwójną częścią transparentną (DSF)



Rys. 7. Zmiana strumieni ciepła i chłodu dostarczanych przez system zewnętrzny dla przypadku DSF

W okresie zimowym efekt ten jest mniej istotny z uwagi na niskie wartości wysokości kątowej słońca. Tym samym rozpatrując efektywność energetyczną całej ściany w przypadku rozwiązania z zastosowaniem systemu DSF otrzymujemy nadwyżkę energii elektrycznej uzyskanej z paneli PV w wysokości 49,30 kWh/rok (rys. 8).

Biorąc pod uwagę realny czas pracy (z pominięciem weekendów i świąt) mechanicznej wentylacji fasadowej przy mocy wentylatora 20 W energia potrzebna do jego napędu w skali roku wynosi 36,00 kWh/rok. Może ona być całkowicie zapewniona przez nadprodukcję energii elektrycznej.



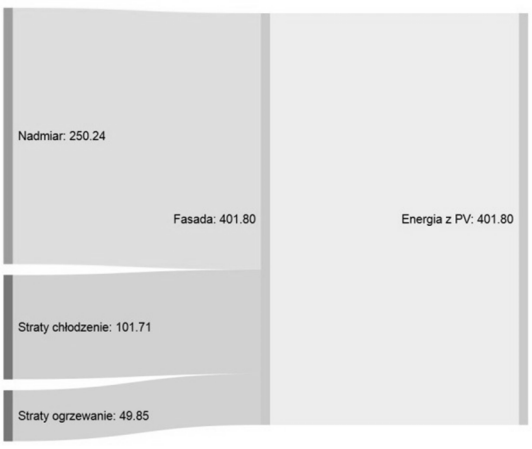
Rys. 8. Bilans przepływu strumieni energii eksperymentalnej fasady w wariancie z podwójną częścią transparentną (DSF) i panelami PV

7. Analiza wyników w aspekcie energii końcowej

Wszystkie dotychczasowe analizy oparte były o energię użytkową. Natomiast w rzeczywistości bardziej realne jest bilansowanie zapotrzebowania względem energii końcowej. Zakładając, że zarówno ciepło jak i chłód produkowane będą w miejscu odbioru, przyjęto całkowitą sprawność instalacji odpowiednio:

– dla ogrzewania 0,95,
– dla chłodzenia 3,00,

dzięki czemu rzeczywisty bilans energetyczny jest jeszcze bardziej korzystny i daje nadmiar energii elektrycznej na poziomie 250,24 kWh/rok (rys. 9). Taki poziom nadprodukcji energii pozwoli nie tylko na zasilanie wentylacji mechanicznej (36,00 kWh/rok), ale również oświetlenia uzupełniającego, którego maksymalne zapotrzebowanie na energię (ciągły czas świecenia trzech opraw typu LED w godzinach pracy biurowej) wynosi 81,00 kWh/rok. Pozostała cześć energii może zostać z powodzeniem spożytkowana do pokrycia zapotrzebowania sprzętu biurowego, choć jest to znacznie bardziej trudne z uwagi na wymagania dotyczące stabilności zasilania tego typu urządzeń.



Rys. 9. Bilans przepływu strumieni energii końcowej dla eksperymentalnej fasady w wariancie z podwójną częścią transparentną (DSF) i panelami PV

8. Wnioski

W pracy przedstawiono analizę energetyczną wykonaną dla przypadku pomieszczenia biurowego. Udowodniono teoretycznie możliwość uzyskania standardu budynku biurowego w oparciu o obecnie dostępne, choć nie do końca powszechne technologie.

Zaproponowano rozwiązanie, w którym elementy pełne ściany zewnętrznej pełnią rolę odnawialnych źródeł energii poprzez pokrycie ich panelami fotowoltaicznymi typu CIS. Produkcja energii elektrycznej zgodna w czasie z dobowymi potrzebami pomieszczenia na wentylację, oświetlenie i pracę urządzeń pozwala na ich zasilanie w sposób bezpośredni. W części transparentnej zaproponowano rozwiązanie podwójnej kurtyny z zastosowaniem dodatkowej warstwy osłonowej o budowie żaluzjowej. Pozwoliło to w znacznym stopniu na obniżenie zapotrzebowania na chłód w okresie letnim dzięki ograniczeniu bezpośredniej penetracji energii promieniowania słonecznego oraz tworząc bufor termiczny pomiędzy środowiskiem wewnętrznym a zewnętrznym.

Analizując zaproponowane rozwiązanie w kontekście energii końcowej stwierdzono znaczną nadwyżkę wyprodukowanej energii elektrycznej ponad poziom zapotrzebowania na energię dla potrzeb użytkowych, tj. ciepło/chłód, napęd urządzeń wentylacji mechanicznej oraz oświetlenia. Analizy wykonane zostały dla pewnego specyficznego przypadku o określonej, południowej orientacji względem stron świata. Rozwiązanie architektoniczno-funkcjonalne uzyskano na drodze optymalizacji wielokryterialnej, której wyniki zamieszczono m.in. w pracy [1] i [9]. Jednak dla rzeczywistej oceny poprawności przyjętych roz-

wiązań niezbędne jest wykonanie testów i badań in-situ w skali rzeczywistej. Dla potrzeb tego typu eksperymentów, na budynku Politechniki Łódzkiej zrealizowano dwie ściany badawcze, które zostały w pełni opomiarowane. Szczegółowe informacje nt. realizacji powyższego zadania zamieszczono w pracy zespołu autorskiego i realizatorskiego [10]. Kolejne dwie ściany badawcze realizowane są obecnie na budynku firmy Sto sp. z o.o. w Warszawie, przemysłowego partnera projektu GPEE [11]. Pierwsze wyniki teoretyczne nt. wydajności realizowanego systemu znaleźć można m.in. w pracy [12]. Powyższa instalacja badawcza pozwoli w okresie najbliższych kilku lat prowadzić badania nad efektywnością energetyczną w rzeczywistych warunkach klimatycznych, porównując także inne wybrane technologie i systemy. Dopiero rzeczywista ocena powyższych rozwiązań pozwoli na sformułowanie wniosków i zaleceń końcowych.

Niniejsza praca została sfinansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach projektu pt.: „Promowanie zrównoważonego podejścia do efektywności energetycznej w budownictwie jako narzędzia ochrony klimatu w miastach Niemiec i Polski: opracowanie technologii fasady dla potrzeb budynków o zerowej emisji” (GPEE).

Literatura

1. Heim D., Zbiciński I., Barecka M., Knera D., Machniewicz A., Szczepańska-Rosiak E., 2014. New facade developed for sustainable, zero-energy office building – theoretical assumptions and numerical analysis. 40th IAHS World Congress on Housing "Sustainable Housing Construction".
2. Kolokotsa D., Rovas D., Kosmatopoulos E., Kalaitzakis K. 2011. A roadmap towards intelligent net zero- and positive-energy buildings, Solar Energy 85, 3067-3084.
3. Kurnitski J., Buso T., Corgnati S.P., Derjanecz A., Litiu A., 2014. nZEB definitions in Europe, REHVA Journal-March.
4. Pikas E., Thalfeldt M., Kurnitski J., 2014. Cost optimal and nearly zero energy building solutions for office buildings. Energy and Buildings 74, 30-42.
5. Clarke A.J., 2001. Energy Simulation in Building Design, 2nd ed., Butterworth-Heinemann, Oxford.
6. Janicki M., Narowski P., 2013. Rozdz. 3. Dane meteorologiczne. Optymalizacja fasad podwójnych pod kątem oszczędności energii i jakości środowiska wewnętrznego. Łódź, 47-68.
7. Knera D., Heim D., 2014. A heat transfer model of a PV panel integrated with a "Rainscreen Cladding System". 13th International Conference on Simulation and Experiments in Heat and Mass Transfer - HEAT TRANSFER XIII, Coruna.
8. Heim D., Janicki M., 2013. Rozdz. 2. Systemy fasad podwójnych. Optymalizacja fasad podwójnych pod kątem oszczędności energii i jakości środowiska wewnętrznego, Łódź, 21-46.
9. Heim D., Knera D., Machniewicz A., 2014. Wybrane aspekty efektywności energetycznej ścian zewnętrznych obiektów biurowych, Wybrane zagadnienia budownictwa energooszczędnego. Płock, 31-42.
10. Borowczyński A., Butkiewicz D., Czarny D., Heim D., Knera D., Machniewicz A., 2015. Szczepańska-Rosiak E., Witkowski W. Eksperymentalne ściany badawcze budynku zero-energetycznego – założenia, projekt i realizacja. Materiały XV Konferencji Naukowo-Technicznej Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce. Łódź-Słok.
11. http://www.gpee.net/
12. Knera D., Heim D., 2015. Efektywność energetyczna eksperymentalnych fasad PV zainstalowanych na budynku biurowo-przemysłowym w warszawie, Materiały XV Konferencji Naukowo--Technicznej Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce. Łódź-Słok.

Nearly zero energy office buildings

Dariusz Heim

Faculty of Process and Environmental Engineering, Lodz University of Technology,
e-mail: dariusz.heim@p.lodz.pl

Abstract: Theoretical opportunity to achieve zero-energy standard for office buildings as well as the methodology of energy performance assessment were proposed in the paper. The proposition of optimized zero-energy façade with technical solution were developed. Active façade integrated photovoltaic system were proposed as a renewable energy source. To improve energy performance of the whole system, advanced individual mechanical ventilation as well as energy efficient LED supplementary lighting were applied. Other aspects of minimizing environmental effect on building energy performance e.g. by application of double skin transparent façade element were also considered. Finally, the experimental installation at Lodz University of Technology were described. The main conclusion is that theoretically it is possible to achieve the zero-energy standard of office building, however more experimental verification is also required to prove this thesis.

Keywords: photovoltaic, facade, energy, office, simulation, dynamic

Budynki niskoenergetyczne – zmiana techniki i mentalności

Tomasz Kisilewicz

Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska
e-mail: tkisilew@pk.edu.pl

Streszczenie: W pracy zasygnalizowano zmiany, jakich wymaga proces projektowania budynków niskoenergetycznych. Pokazano możliwość istotnego udziału w bilansie budynku biernie pozyskiwanej energii słonecznej, ale także konieczność i możliwości pasywnej ochrony przed przegrzewaniem. Podkreślono wagę zintegrowanego projektowania budynków niskoenergetycznych oraz obecność mitów i stereotypów na temat budownictwa.

Słowa kluczowe: bilans cieplny, pasywne pozyskiwanie energii, adaptacyjny komfort cieplny, zintegrowane projektowanie, pojemność cieplna

1. Wprowadzenie

Gwałtowny rozwój technologiczny sprawia, że mówi się obecnie o kolejnej rewolucji technicznej. W przypadku wielu dziedzin techniki, zwłaszcza silnie związanych z informatyką, rozwiązania sprzed kilka zaledwie lat uważane są za anachroniczne. W budownictwie tempo zmian jest wyraźnie wolniejsze, w większym stopniu dotyczy wyposażenia budynku niż samej struktury obiektu. Inna, bardzo istotna różnica polega jednak na tym, że nikt nie może sobie pozwolić na częstą i kompletną wymianę budynków. Wprowadzane dziś nowe rozwiązania i technologie dotyczą niewielkiej części istniejącej substancji budowlanej, a jednocześnie też dzisiejszy stan wiedzy i techniki budowlanej będzie jeszcze przez długi czas wpływał na warunki życia ludzi, zużycie energii czy też związane z tym skażenie środowiska. To przedłużone w czasie trwanie budynków powinno zachęcać czy wręcz wymuszać jego wysoką jakość i stosowanie standardów bazujących na najnowszych osiągnięciach techniki. Niestety, tak się zwykle nie dzieje. Zmiana standardów w budownictwie, zwłaszcza związanych z energochłonnością, jest najczęściej wymuszana poprzez zaostrzanie przepisów, a te z kolei poprzez umowy międzynarodowe czy dyrektywy unijne, jak to ma miejsce w ostatnich latach. O ile jednak wcześniejsza historia zmian przepisów miała raczej charakter ewolucyjny, to obecne i planowane na najbliższe lata zmiany wymagań mają charakter bardziej radykalny. W ciągu kilku lat mamy dokonać dużego skoku w zakresie konsumpcji energii w budynkach, projektując i wykonując budynki o niemal zerowym zapotrzebowaniu. Jeśli nawet to „niemal zerowe" zapotrzebowanie będzie oznaczało w odniesieniu do jednostkowej powierzchni kilkadziesiąt kilowatogodzin energii pierwotnej w ciągu całego roku, to będzie to zmiana ogromna. Skuteczne wprowadzenie takich przepisów wymaga istotnych zmian nie tylko w technice, ale i w mentalności projektantów, wykonawców i użytkowników budynków.

2. Na czym polegają zmiany

Jeden z nowych terminów, który zawdzięczamy idei zrównoważonego rozwoju w budownictwie, to jakość środowiska wewnętrznego (IEQ – Indoor Environment Quality). Istotą tego terminu jest bardzo szerokie spojrzenie na warunki panujące w budynkach.

Przedmiotem oceny jest więc nie tylko zespół parametrów składających się na komfort cieplny, ale także jakość powietrza, oświetlenie wnętrza, komfort akustyczny itd.

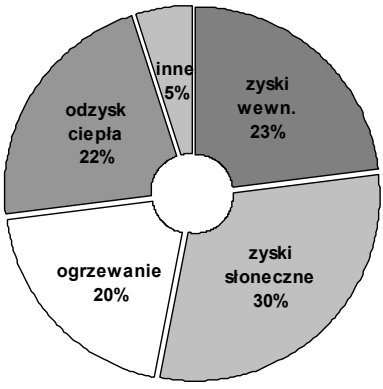
2.1. Struktura strat cieplnych

Najlepiej kojarzona z budownictwem niskoenergetycznym zmiana to bardzo skuteczna i ciągła izolacja termiczna przegród zewnętrznych. Pozwala ona na wyraźne ograniczenie przenikania ciepła przez zewnętrzną obudowę. Jeśli towarzyszą jej okna o bardzo wysokiej izolacyjności termicznej, to całość strat cieplnych przez przenikanie maleje nawet kilkakrotnie w stosunku do budynków standardowych. Jest to więc kompletna zmiana proporcji składników bilansu cieplnego. Straty cieplne przez obudowę stają się mało znaczącym składnikiem bilansu, a dominują straty cieplne związane z wentylacyjną wymianą powietrza oraz infiltracją. O ile jednak uzyskanie niezłej dokładności w obliczeniach przenikania ciepła przez przegrody jest w dużej mierze kwestią staranności i wysiłku włożonego w obliczenia mostków termicznych, to wentylacyjna i infiltracyjna wymiana powietrza jest kompletną niewiadomą, zwłaszcza w budynkach z wentylacją grawitacyjną. Tak więc istotny składnik bilansu cieplnego jest w inżynierskich obliczeniach wynikiem jedynie statystycznych szacunków i oczekiwań natury higienicznej.

Niezależnie jednak od możliwości dokładnego opisu strat ciepła związanych z wymianą powietrza, drugi po efektywnej izolacji termicznej, konieczny krok, jaki musi być wykonany na drodze do budownictwa niskoenergetycznego to uzyskanie kontroli nad wymianą powietrza w budynku oraz odzysk ciepła z powietrza wentylacyjnego. Po zastosowaniu wentylacji mechanicznej i rekuperatora o średniorocznej sprawności na poziomie 70% uzyskuje się kolejną, dużą redukcję strat cieplnych z budynku.

2.2. Struktura zysków cieplnych

Bardzo niskie zapotrzebowanie budynku na energię sprawia, że diametralnej zmianie ulega także druga strona bilansu cieplnego, tj. struktura zysków cieplnych i ogrzewania konwencjonalnego, potrzebnego do domknięcia bilansu termicznego.



Rys. 1. Struktura bilansu cieplnego energooszczędnych budynków zrealizowanych w programie Badawczym International Energy Agency [1]

Na rysunku 1 pokazano uśrednioną strukturę bilansu cieplnego dla 15 doświadczalnych budynków, zrealizowanych na całym świecie, w ramach programu badawczego International Energy Agency [1].

Budynki znacznie różniły się między sobą pod względem szczegółowych rozwiązań technicznych. Zdecydowanie różne były też warunki klimatyczne ich lokalizacji, Mimo to łatwo zauważyć można mały udział w bilansie cieplnym nieodnawialnej energii ogrzewania konwencjonalnego oraz znaczący udział energii słonecznej, bytowych zysków wewnętrznych i odzysku ciepła. Pokazane wartości znakomicie ilustrują znaczenie dla bilansu cieplnego budynku zysków, które dotąd w świadomości zarówno projektantów jak i użytkowników budynków miały znaczenie marginalne oraz wskazują kierunki dalszego rozwoju budownictwa energooszczędnego. Są liczne przykłady pasywnych budynków mieszkalnych zrealizowanych w Niemczech i Austrii, a więc w warunkach klimatycznych zbliżonych do polskich, w których biernie (praktycznie bezpłatnie) pozyskiwana energia słoneczna stanowiła nawet 40% bilansu cieplnego. Z kolei w budynkach o innej funkcji można oczekiwać dominującego w bilansie znaczenia większych zysków wewnętrznych. Z budownictwem energooszczędnym wiąże się także szereg sposobów i urządzeń do aktywnego pozyskiwania energii odnawialnej, pozwalających na dalsze zmniejszanie udziału w bilansie ogrzewania konwencjonalnego.

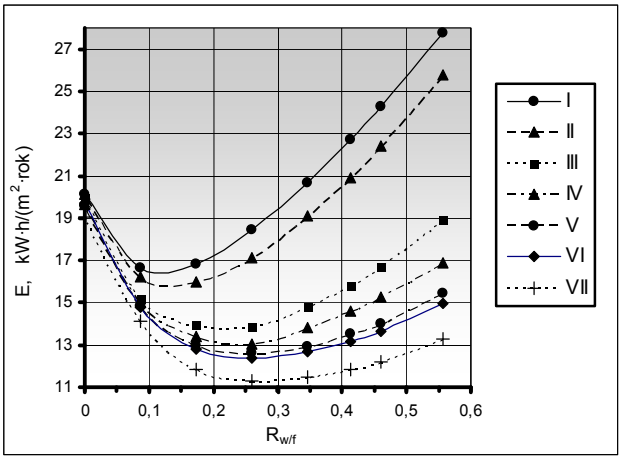
Kompletna zmiana proporcji w bilansie cieplnym budynku wiąże się jednak ze sporymi wyzwaniami projektowymi. Duży udział ogrzewania w bilansie budynku standardowego pozostawiał duży margines błędu przy obliczeniach innych składników, a niezbyt precyzyjny nawet system sterowania ogrzewaniem pozwalał w rzeczywistości na absorpcję chwilowych zysków cieplnych bez uciążliwego przegrzewania. Budynek o niskich stratach ciepła staje się bardzo wrażliwy na błędy projektowe czy sposób użytkowania dalece odbiegający od założonego. Bardzo łatwo może w nim dojść do przegrzewania wnętrza, niezbędne są środki aktywnej ochrony przed nadmiernymi zyskami, a do jego projektowania nie wystarczają już proste algorytmy, oparte na założeniu o stacjonarnym przepływie ciepła. Jako swego rodzaju paradoks można traktować fakt, że istotnym problemem w projektowaniu i realizacji budynków niskoenergetycznych staje się konieczność zaawansowanej ochrony przed przegrzewaniem. Jeśli jednak weźmie się pod uwagę wspomniane wcześniej kryterium jakości środowiska wewnętrznego oraz rosnące zapotrzebowanie na energię związaną z chłodzeniem, to wrażenie paradoksu mija, a pozostaje do rozwiązania ważny problem.

3. Wymagania budowlane a budownictwo energooszczędne

Polskie przepisy dotyczące właściwości termicznych budynków [2] ulegają stopniowym zmianom, stosownie do wymagań wynikających z energetycznych dyrektyw europejskich. Zmiany te dotyczą głównie wskaźnika zapotrzebowania na energię pierwotną oraz szczegółowych wymagań izolacyjnych. Nieco inny charakter mają przepisy dotyczące przeszklonej części obudowy zewnętrznej budynku. Bowiem, oprócz wymagań izolacyjności termicznej, pojawiają się tam warunki dotyczące wielkości okien oraz przepuszczalności promieniowania słonecznego przez oszklenie. Ograniczenie pola powierzchni okien ma wpływ zarówno na oświetlenie, ogrzewanie, jak i przegrzewanie wnętrza. Wymagania dotyczące przepuszczalności promieniowania, prowadzące *de facto* do obowiązkowego projektowania letnich osłon przeciwsłonecznych, zmierzają do wyposażenia użytkownika budynku w możliwość bronienia się przed nadmiarem zysków słonecznych. Istnienie takich wymagań w polskim prawie budowlanym, nawet jeśli nie są one dostatecznie egzekwowane przez nadzór budowlany, jest rzeczą bardzo pozytywną, zmusza bowiem projektanta do zwrócenia uwagi na aspekty oświetleniowe wnętrza, pozyskiwanie energii odnawialnej, a także na ryzyko przegrzewania budynku.

Nie należy traktować jednak tych wymagań jako wystarczającego narzędzia do projektowania budynków niskoenergetycznych z wysoką jakością środowiska wewnętrznego.

Charakter zmiennych w czasie zjawisk termicznych we wnętrzu budynku jest na tyle skomplikowany i zależny od wielu właściwości jego obudowy i wyposażenia, że użycie prostych wskaźników projektowych jest zwykle dalece niewystarczające.



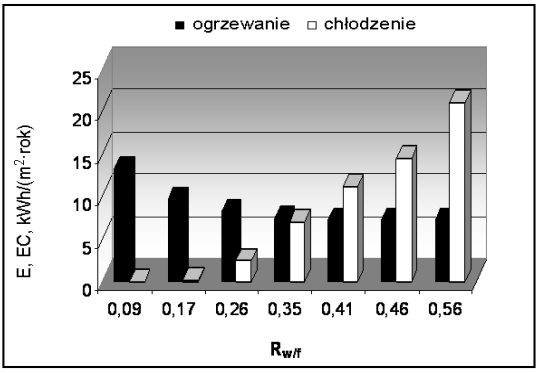
Rys. 2. Zapotrzebowanie pomieszczenia na energię do ogrzewania w zależności od proporcji powierzchni okna południowego do pola powierzchni podłogi $R_{w/f}$ i pojemności cieplnej budynku (pasywny standard izolacyjny, oszklenie niskoemisyjne 2-szybowe) [1]

Nr rysunku 2 przedstawiono wpływ pola powierzchni okna południowego na zapotrzebowanie pomieszczenia na ogrzewanie. Analizowano budynek zlokalizowany w Krakowie, o wysokiej izolacyjności termicznej całej obudowy i dla siedmiu wariantów pojemności cieplnej przegród. Przedmiotem obliczeń były jedynie okna zorientowane na południe, ponieważ tylko przy takiej orientacji możliwe jest uzyskanie dodatniego bilansu cieplnego okna w trakcie sezonu ogrzewczego i powiększenie udziału energii słonecznej w bilansie budynku. Okna o innej orientacji mają znaczenie oświetleniowe, ale mogą też stanowić potencjalne zagrożenie dla komfortu cieplnego ze względu na przegrzewanie.

Łatwo zauważyć, że w każdym wariancie pojemności cieplnej obecność okien o południowej orientacji i z oszkleniem izolacyjnym pozwala w pewnym stopniu obniżyć zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania w stosunku do obudowy pozbawionej okien. Dla poszczególnych wariantów pojemności cieplnej pomieszczenia, można wskazać taką wartość stosunku pola powierzchni oszklenia i podłogi, tj. wskaźnika przeszklenia $R_{w/f,opt}$, przy której zapotrzebowanie na ogrzewanie osiąga wartość minimalną. Jej przekroczenie wiąże się jednak z kolei z ponownym wzrostem zapotrzebowania na ogrzewanie. Największą redukcję ogrzewania można uzyskać w obiektach o dużej pojemności cieplnej, w nich także pożądana powierzchnia okien jest największa. Należy podkreślić, że słuszność powyższych spostrzeżeń jest jednak ściśle zależna nie tylko od pojemności cieplnej budynku, ale także od wybranych właściwości spektralnych zestawu szyb, izolacyjności obudowy, intensywności wymiany wentylacyjnej, skuteczności rekuperacji czy wreszcie lokalnego klimatu. Zmiana któregokolwiek parametru pociągnie za sobą zmianę pokazanych wyżej zaleceń projektowych.

Na rysunku 3 pokazano wartości wskaźników zapotrzebowania na ogrzewanie E i chłodzenie EC bardzo masywnego pomieszczenia, ale tym razem z izolacyjnym oszkleniem potrójnym. Przyjęto, że chłodzenie jest uruchamiane przy temperaturze powietrza wewnętrznego przekraczającej +25°C. Użycie tylko kryterium gwarantującego minimum

energii na ogrzewanie sugerowałoby wskazanie w tym przypadku (bardzo duża pojemność cieplna wnętrza i relatywnie mała przepuszczalność układu trzech szyb) jako wartości korzystnej bardzo dużych powierzchni okna południowego. Tymczasem kryterium minimalnego łącznego zapotrzebowania na energię ogrzewania i chłodzenia wymagałoby wskazania znacznie mniejszej wartości wskaźnika $R_{w/f,opt}$, z przedziału 0,17-0,26.



Rys. 3. Zapotrzebowanie pomieszczenia na energię do ogrzewania E i chłodzenia EC w zależności od proporcji pola powierzchni okna południowego do pola podłogi $R_{w/f}$ (pasywny standard izolacyjny, oszklenie niskoemisyjne 3-szybowe, budynek bardzo masywny) [3]

Nie jest więc zwyczajnie możliwe, żeby sformułować jednoznaczne zalecenia projektowe lub podać w przepisach budowlanych proste wskaźniki, które gwarantowały dobrą jakość środowiska wewnętrznego w oderwaniu od klimatu, orientacji okien, rodzaju oszklenia, izolacyjności i zdolności akumulacyjnych obudowy itp. Racjonalne projektowanie budynków niskoenergetycznych, zorientowane na minimalizację zużycia energii, przy jednoczesnym utrzymaniu komfortu cieplnego we wnętrzu budynku, wymaga w takim razie precyzyjnych, dynamicznych narzędzi obliczeniowych i wieloparametrowych analiz o charakterze optymalizacyjnym.

4. Pasywna ochrona przed przegrzewaniem

Poprzednio pokazano już jak wzrosło zagrożenie związane z przegrzewaniem budynków. W przypadku niskich strat cieplnych z budynku, nawet w okresie zimowym, chwilowe zyski wewnętrzne i słoneczne mogą prowadzić do powstania zbyt wysokiej temperatury i uciążliwych warunków lub konieczności mechanicznego chłodzenia. Obydwa aspekty tego zjawiska są bardzo niekorzystne. Ścisłe ograniczenia zapotrzebowania na energię pierwotną wymagają wykorzystania wszystkich możliwości oszczędzania energii, zwłaszcza w jej najbardziej kosztownej postaci energii elektrycznej. Przegrzewanie wnętrza z kolei nie może być akceptowane ze względu na jakość środowiska wewnętrznego. Konieczne jest więc projektowanie, w którym od początku dąży się do wyeliminowania lub przynajmniej znacznej redukcji przegrzewania, traktując mechaniczne chłodzenie w naszych warunkach klimatycznych jako ostateczność, a nie obowiązujący i ogólnie akceptowany standard.

Jeśli pozyskiwanie energii słonecznej w przeszklonym pomieszczeniu nazywa się pasywnym czy też biernym systemem słonecznym, to wykorzystanie najprostszych, naturalnych metod ochrony przed zbyt wysoką temperaturą można określać jako pasywna ochrona przed przegrzewaniem. W obydwu przypadkach „pasywność" oznacza unikanie dodatko-

wych nakładów energetycznych i jest zgodna z ideą budownictwa niskoenergetycznego i dążeniem do ograniczenia wpływu budynku na środowisko naturalne.

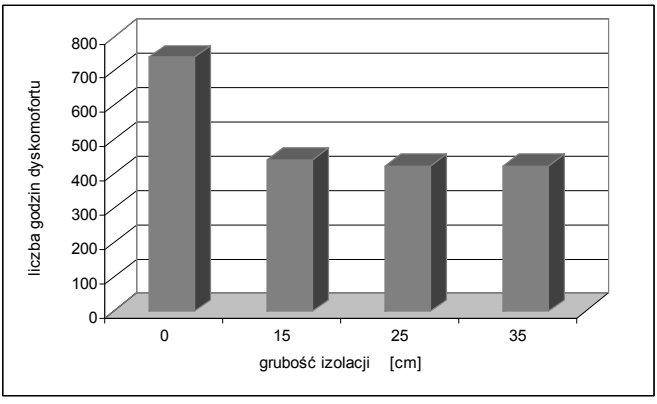
4.1. Izolacja termiczna przegród

Bardzo grube warstwy izolacji termicznej w budynkach rodzą obecnie pytania dotyczące ich wpływu na warunki letnie. Można spotkać opinie o negatywnym wpływie izolacji na temperaturę wnętrza w gorących okresach roku, tłumaczone blokowaniem możliwości rozładowania wnętrza z dziennych zysków słonecznych. Trudno byłoby na podstawie tych opinii wywnioskować od którego momentu, a raczej przy jakiej grubości, izolacja jest jeszcze korzystna, w zimie i w lecie, a kiedy zaczyna być przewymiarowana.

Podstawowe wyniki analizy symulacyjne związanej z tym problemem przedstawiono m.in. w publikacji [4]. W programie EnergyPlus modelowano powtarzalną kondygnację budynku w masywnej technologii konstrukcyjnej i z dwuwarstwową ścianą zewnętrzną. Przyjęto model wentylacji wnętrza zależny do temperatury zewnętrznej w trakcie dnia (od 1 do 0) i ze zwiększoną do 4 krotnością wymian w nocy. Okres symulacji był ograniczony do trzech najcieplejszych miesięcy w roku.

Metodą oceny warunków termicznych, powstających we wnętrzu budynku, było kryterium adaptacyjnego komfortu cieplnego wg metody ASHRAE Standard 55-2010. Ocena mikroklimatu związana z tzw. komfortem adaptacyjnym jest oparta na zaobserwowanym w praktyce stopniowym adaptowaniu się organizmu ludzkiego do warunków termicznych otoczenia w budynkach bez mechanicznego chłodzenia [5, 6]. Naturalny mechanizm adaptacji sprawia, że warunki, których wystąpienie w okresie chłodnym spowodowałoby znaczny dyskomfort użytkowników, w długim okresie wzrastającej temperatury mogą być traktowane jako akceptowalne. Warunkiem adaptacji jest jednak możliwość wpływu użytkownika na warunki (np. otwieranie okien), a także swobodna możliwość dopasowania odzieży do zmieniających się warunków [5, 8]. Podejście zastosowane w metodzie ASHRAE jest zbliżone do rozwiązania przyjętego w normie europejskiej EN 15251 [7]. Stosowanie tego podejścia jest, zgodnie normą [7], możliwe tylko przy małej (tj. zbliżonej do siedzącej) aktywności fizycznej użytkowników budynku.

Na rysunku 4 pokazano zależność ilości godzin dyskomfortu od grubości izolacji termicznej ścian zewnętrznych dla południowego pomieszczenia z dużym przeszkleniem. Przyjęto kryterium 90% akceptacji warunków w pomieszczeniu.



Rys. 4. Liczba godzin dyskomfortu w zależności od grubości izolacji termicznej ścian zewnętrznych w południowym pomieszczeniu powtarzalnej kondygnacji

Wyniki przedstawione na rysunku 4 nie pozostawiają wątpliwości, że izolacja termiczna ścian zewnętrznych nie pogarsza warunków w budynku, a to oznacza także, że domniemany efekt rozładowania nadwyżek ciepła do otoczenia poprzez ściany nie ma praktycznie miejsca. Powstające w budynku fale cieplne o dobowym okresie zmian penetrują w głąb przegród jedynie na stosunkowo niewielkie odległości. Izolacja cieplna chroni natomiast wnętrze przed silną falą zewnętrzną, pochodzącą od wysokiej temperatury zewnętrznej i skojarzonej absorpcji promieniowania słonecznego. Jako wyjściowy wariant standardowy budynku można przyjąć grubość izolacji termicznej 15 cm. Nikt bowiem nie kwestionuje obecnie sensu stosowania takiej grubości izolacji. Dodatkowo jednak, aby potwierdzić powyższe wnioski, wykonano obliczenia dla wariantu masywnej ściany pozbawionej całkowicie izolacji termicznej. Liczba godzin dyskomfortu wzrosła w tym przypadku w bardzo istotnym stopniu. Paradoksalnie jednak, część tego wzrostu może pochodzić także od dyskomfortu wywołanego zbyt niskim temperaturami we wnętrzu pozbawionym izolacji termicznej.

W przypadku płaskich stropodachów znaczenie izolacji termicznej dla ochrony wnętrza przed przegrzewaniem jest zupełnie jednoznaczne. Im grubsza jest warstwa izolacji, tym mniejsze jest obciążenie wnętrza zyskami słonecznymi intensywnie absorbowanymi na powierzchni stropodachu [9].

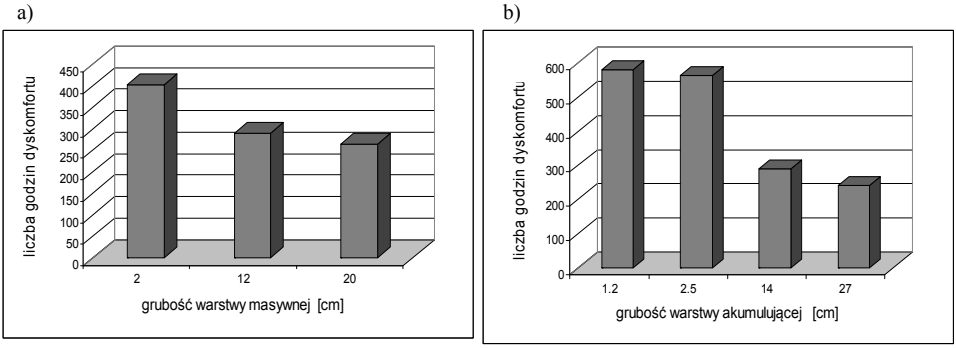
Należy więc stwierdzić, że efektywna izolacja termiczna przegród zewnętrznych nie pogarsza warunków cieplnych w budynkach w okresie letnim i nie jest przyczyną powiększania dyskomfortu we wnętrzu, a przeciwnie pozwala ograniczać czas jego trwania.

4.2. Pojemność cieplna budynku

Zdolność budynku do akumulacji dużych ilości energii jest od dawna znana jako czynnik stabilizujący zmiany temperatury we wnętrzu budynku, wywołane wahaniami temperatury zewnętrznej. Należy dodać do tego także możliwość magazynowania okresowo pojawiających się zysków cieplnych, np. od promieniowania słonecznego i ich późniejszej redystrybucji, co stwarza szanse na podwyższenie efektywności pozyskiwania energii słonecznej. W budynkach niskoenergetycznych, w których dąży się do maksymalnego pozyskiwania w sposób bierny energii słonecznej do wspomagania ogrzewania, taka możliwość będzie miała istotny wpływ na końcowy bilans cieplny budynku.

Drugi aspekt związany ze statecznością cieplną budynków to ich naturalna ochrona przed przegrzewaniem. Ogromna pojemność przegród tworzących budynek pozwala w okresie letnim przez długi okres czasu utrzymywać we wnętrzu budynku wyraźnie niższą niż w otoczeniu temperaturę operatywną. Dzięki stateczności cieplnej budynku możliwa jest redukcja obciążenia cieplnego i mocy urządzeń chłodzących, a w przypadku dobrze zaprojektowanej powierzchni okien (rozdz. 3) nawet pełna ochrona przed przegrzewaniem bez mechanicznego wspomagania.

Na rysunku 5 przedstawiono wyniki przykładowych obliczeń symulacyjnych silnie przegrzewanego pomieszczenia. Jak poprzednio, na osi pionowej znajdują się liczby godzin dyskomfortu dla wymaganego wysokiego (90%) poziomu akceptacji warunków we wnętrzu. Na rysunku po stronie lewej przedmiotem modyfikacji była jedynie grubość warstwy konstrukcyjnej płaskiego stropodachu nad ostatnią kondygnacją, zaś po stronie prawej zmieniano grubość masywnej warstwy ścian zewnętrznych i wewnętrznych w pomieszczeniu zlokalizowanym na kondygnacji wewnętrznej. Najmniejsze analizowane grubości warstw akumulujących odpowiadają pojedynczej warstwie tynku lub płyt gipsowo-kartonowych. Wartości maksymalne wynikają z realnych grubości warstw konstrukcyjnych, tj. żelbetowej płyty stropowej oraz muru ceglanego ścian.



Rys. 5. Liczba godzin dyskomfortu w zorientowanym na południe pomieszczeniu w zależności od grubości warstwy masywnej: płaskiego stropodachu nad ostatnią kondygnacją a) ścian b) powtarzalnej kondygnacji

W obydwu przypadkach istotny i pozytywny wpływ warstw masywnych na ograniczenie przegrzewania jest dobrze widoczny. Masywna płyta stropowa (rys. 5a), skutecznie blokuje przepływ zewnętrznej fali cieplnej do wnętrza, ale całkowite wyeliminowanie przegrzewania nie jest możliwe, bo głównym źródłem zysków cieplnych jest w tym pomieszczeniu duże okno południowe bez osłon zacieniających. Masywne ściany (rys. 5b), o ponad połowę w stosunku do lekkich przegród zmniejszają czas trwania przegrzewania. Ich zasługą jest także zmniejszenie wartości amplitudy temperatury w przegrzewanym wnętrzu [9].

Zwracając uwagę na przegrzewanie budynku można zauważyć, że projektowanie budynku niskoenergetycznego pozyskującego intensywnie energię odnawialną w lekkiej technologii konstrukcyjnej może nastręczać w naszym klimacie problemy. Wprowadzanie masywnych przegród w lekkim budynku tylko ze względów akumulacyjnych jest zwykle trudne do zaakceptowania. Szczególnego znaczenia dla ochrony wnętrza przed przegrzewaniem nabiera w tym przypadku racjonalny dobór pola powierzchni okien. W lekkich budynkach brak dostatecznej pojemności cieplnej może być częściowo rozwiązywany poprzez stosowanie materiałów fazowo-zmiennych (PCM) o dobrze dobranej temperaturze topnienia [10]. W tym przypadku nie masa, lecz ciepło przemiany fazowej daje szansę magazynowania znacznych ilości ciepła. W praktyce stosowane są najczęściej wewnętrzne płyty okładzinowe (np. dostępne na rynku płyty gipsowo-kartonowe) z domieszką materiałów fazowo-zmiennych, dobrze absorbujące wewnętrzne zyski cieplne, a także materiał izolacji termicznej z domieszką PCM [11], tłumiący falę temperatury przewodzoną przez lekką przegrodę.

4.3. Chłodzenie nocne

Intensywne, powtarzalne ładowanie przegród zyskami cieplnymi podczas dnia sprawia, że mimo dużej pojemności cieplnej rośnie wyraźnie ich temperatura, w konsekwencji także średnia temperatura we wnętrzu budynku. Utrzymanie zdolności stabilizujących obudowy wymaga zatem ciągłego rozładowywania akumulatorów. Jak pokazano wcześniej (podrozdz. 4.1), nie jest to możliwe na drodze przenikania ciepła przez całą przegrodę do środowiska zewnętrznego, ale odbywa się z powrotem do wnętrza. Intensywne nocne wentylowanie wnętrza pozwala w naszych warunkach klimatycznych skutecznie obniżać temperaturę powietrza wewnętrznego i skutecznie odbierać zmagazynowaną w masywnych przegrodach energię. Nawet podczas upalnego okresu temperatura powietrza zewnętrznego jest w nocy niższa od +20^{o}C, co pozwala uzyskać wystarczającą do skutecznego chłodzenia różnicę.

Jednak w budynkach pozbawionych mechanicznej wentylacji i przy bezwietrznej pogodzie, wymiana powietrza nawet przy otwartych oknach może być zbyt mała, aby intensywnie schładzać wnętrze. Konieczne jest więc wtedy mechaniczne wspomaganie wymiany powietrza, co będzie się wiązało oczywiście z pewnym poziomem hałasu i dodatkowym zużyciem energii. W budynkach z wentylacją mechaniczną kilkukrotna wymiana powietrza w ciągu godziny także spowoduje wzrost poziomu hałasu oraz zużycie energii. W takiej sytuacji nocne chłodzenie przestaje być rozwiązaniem całkowicie „pasywnym", mimo to nadal będzie jednak bardzo korzystną alternatywą w stosunku do mechanicznego chłodzenia.

Inne ograniczenie związane z nocnym chłodzeniem to wartość temperatury operatywnej, do której można schładzać pomieszczenie. W przypadku budynków mieszkalnych jest ona ograniczona tym razem minimalną wymaganą wartością zapewniającą komfort cieplny. W budynkach użytkowanych tylko w trakcie dnia możliwości nocnego chłodzenia są znacznie większe, a uzyskiwane efekty wyraźniejsze. W zaawansowanych rozwiązaniach budynków biurowych stosuje się też np. specjalne stropy z kanałami powietrznymi, przez które w trakcie nocy pompowane jest chłodne powietrze zewnętrzne.

Konsekwentna ochrona budynku przed przegrzewaniem wymaga poprawnego i świadomego sposobu użytkowania budynku, zgodnego w każdym szczególe z zaleceniami projektantów. W okresie wysokiej temperatury zewnętrznej, tj. przekraczającej temperaturę powietrza wewnętrznego, budynek powinien być skutecznie izolowany od otoczenia poprzez zamknięte okna i wentylację zredukowaną do niezbędnego minimum. Natomiast odwrotny scenariusz powinien być realizowany w trakcie nocy.

Powyżej zwrócono uwagę tylko na wybrane formy pasywnej ochrony przed przegrzewaniem. W praktyce jednak możliwości jest znacznie więcej, poczynając od tradycyjnych rozwiązań osłaniania okien przed zyskami słonecznymi od zewnątrz lub od wnętrza, poprzez różne formy „łamaczy" światła, a kończąc na oszkleniu o zmiennych właściwościach.

5. Oczekiwana zmiana mentalności projektantów i użytkowników budynków niskoenergetycznych

Zarysowane powyżej wybrane problemy projektowania i funkcjonowania budynków niskoenergetycznych wskazują, że konieczne są istotne zmiany w dotychczasowym podejściu. Budynki o niskim zapotrzebowaniu na energię, szczególnie wrażliwe na błędy projektowe, wymagają od samego początku harmonijnej pracy całego zespołu projektowego. Ten sposób działania jest często nazywany projektowaniem zintegrowanym. Świadomość powiązań jakie istnieją pomiędzy różnymi cechami budynku, a także świadomość wszystkich skutków podejmowanych zwykle na początku procesu decyzji architektonicznych, powinna wymuszać ścisłą współpracę wszystkich branż na wszystkich etapach. Tylko takie podejście ma szanse zakończyć się sukcesem w postaci budynku o niskim całkowitym zapotrzebowaniu na energię i jednocześnie wysokiej jakości środowiska wewnętrznego zarówno w zimie jak i w lecie. Nasz klimat stwarza także możliwości poprawnego funkcjonowania budynków bez mechanicznego chłodzenia, ale realizacja tego celu wymaga wiedzy i nowych, zaawansowanych narzędzi projektowych. Nie wystarczą do tego proste przepisy i wymagania budowlane. Skuteczniejszą presję może wywrzeć inwestor czy użytkownik budynku. Ale i od użytkowników budynków należy oczekiwać zmiany mentalności, polegającej na świadomej i zgodnej z zaleceniami projektantów eksploatacji budynku i jego coraz bardziej skomplikowanego wyposażenia. Mieszkania i domy są jedynym tak kosz-

townym produktem, jaki nabywamy podczas naszego życia bez najprostszej choćby instrukcji obsługi.

Powierzchowne spojrzenia na budownictwo niskoenergetyczne oraz lektura popularnej prasy na ten temat może wywołać skojarzenie, że synonimem budynku energooszczędnego może być tzw. „szklana architektura". W rozdziale 3 próbowano wyjaśnić, że nadmiernie obfite przeszklenie powoduje zarówno duże straty cieplne jak i konieczność intensywnego chłodzenia. Droga od przeszklonego budynku do budynku niskoenergetycznego może być więc bardzo daleka. Podobnie też, wyposażenie przypadkowego obiektu w kolektory, foto-ogniwa, pompy ciepła i wymienniki nie sprawia automatycznie, że staje się on dobrze zaprojektowanym niskoenergetycznym budynkiem. Dodatkowe urządzenia i instalacje pozwalają z pewnością obniżyć jego zapotrzebowanie na energię, ale nie musi to być do końca działanie racjonalne.

Z budownictwem, a w szczególności z budownictwem niskoenergetycznym, jest jeszcze wciąż związanych wiele nieporozumień, mitów i obiegowych opinii. Jedna z nich głosi, że budynek, a zwłaszcza ten przeznaczony na cele mieszkalne nie może być „termosem". Nie wiadomo, co prawda, co to znaczy i od jakiej na przykład grubości warstwy izolacyjnej budynek zaczyna być termosem, a kiedy jeszcze nim nie jest, ale nie przeszkadza to nikomu używać tego stwierdzenia. Duży opór mogą budzić także wymagania i zabiegi związane z wysoką szczelnością przegród zewnętrznych budynku. Można w tych obawach doszukiwać się oczywiście uzasadnionej troski o jakość powietrza wewnętrznego w dobrze izolowanej i szczelnej obudowie, ale ich bezpośrednią przyczyną jest zwykle nieporozumienie i brak informacji o zasadach działania wentylacji, o sposobie wykonania otworów wentylacyjnych czy wreszcie o zasadach określania i badania szczelności budynków. Porównanie obudowy budynku do termosu może być obecnie dobrze pojętym celem projektantów i pozytywnym werdyktem po jego wykonaniu, a nie negatywną oceną.

Podobnym źródłem nieporozumień i błędnych opinii jest wciąż tzw. „oddychanie" budynków i ich przegród. Trzeba dodać, że w dużej mierze to producenci i dystrybutorzy materiałów budowlanych i w jakiejś części projektanci i wykonawcy budynków czynnie podtrzymują te mity. Jak w każdej obiegowej opinii jest w tych stwierdzeniach ziarno prawdy, czasami też echo popełnionych w budownictwie błędów, ale w końcowym efekcie mamy do czynienia z poplątaniem wielu różnych wątków dotyczących wymiany powietrza, sorpcji wilgoci, dyfuzji pary wodnej, roli wentylacji itp. Tymczasem polskie przepisy budowlane są sformułowane jednoznacznie. Nieprzeźroczysta zewnętrzna obudowa budynku niskoenergetycznego, wyposażona w efektywną i ciągłą izolację termiczną, powinna być zgodnie z polskimi przepisami [2] całkowicie szczelna dla przepływu powietrza. W żadnym punkcie na jej powierzchni wewnętrznej, włącznie z mostkami termicznymi, nie powinny postawać warunki do rozwoju pleśni, a układ warstw w przegrodzie powinien zapewniać jej trwałość i ochronę przed degradacją wilgociową. Nie ma tu miejsca na „oddychanie", wymagana wymiana powietrza oraz usuwanie nadmiaru wilgoci z wnętrza budynku musi być realizowane przez wentylację.

Na rynku budowlanym są obecne zaawansowane materiały izolacyjne o bardzo niskich wartościach współczynnika przewodzenia ciepła w postaci np. aerożeli, mat aerożelowych czy materiałów próżniowych. Ich rozpowszechnienie jest jednak zwykle ograniczane przez wysoką cenę, ale także pewne problemy natury użytkowej. Trwają intensywne prace nad ich kolejnymi odmianami [13]. Wciąż jednak w ofercie niektórych firm budowlanych znajdują się materiały reklamowane jako produkt o znakomitych właściwościach izolacyjnych, a które takich właściwości nie posiadają, np. farby czy powłoki nanoszone pędzlem, jak np. Thermo Shield. Od dawna znane są i wykorzystywane w budownictwie właściwości refleksyjne metali, pozwalające na ograniczenie wymiany ciepła przez pro-

mieniowanie. Oferowane są obecnie wielowarstwowe zestawy folii metalicznych i z tworzyw sztucznych łączące efekty refleksyjne i oporu szczelin powietrznych. Czasem jednak producenci przesadzają znacznie z informacjami o uzyskiwanym w ten sposób oporze cieplnym takich zestawów, obiecując użytkownikom zbyt wiele.

6. Podsumowanie

Zmiana struktury bilansu cieplnego w budynkach niskoenergetycznych sprawia, że w stosunku do budynków standardowych wymagana jest istotna zmiana w sposobie ich projektowania, stosowanych narzędziach, przepisach budowlanych i sposobach eksploatacji. Potrzebne są nowe, lepsze narzędzia i procedury, które pozwolą na minimalizację całkowitego zapotrzebowania na energię konwencjonalną przy utrzymaniu jednocześnie wysokiej jakości środowiska wewnętrznego. Realizacja tego celu jest możliwa w dużej mierze poprzez zastosowanie prostych ideowo, pasywnych sposobów pozyskiwania odnawialnej energii i ochrony przed przegrzewaniem. Jednak faktyczne uzyskanie takich rezultatów jest możliwe jedynie przy zintegrowanym podejściu do procesu projektowania, bo niemal wszystkie decyzje projektowe są ze sobą wzajemnie powiązane. Natomiast właściwa eksploatacja budynków niskoenergetycznych wymaga zmiany mentalności i świadomości ich użytkowników.

Literatura

1. Kisilewicz T., 2008. Wpływ izolacyjnych, dynamicznych i spektralnych właściwości przegród na bilans cieplny budynków energooszczędnych. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, seria Inżynieria Lądowa, Monografia 364.
2. Warunki techniczne jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 wraz z późniejszymi zmianami (Dz.U. Nr 75, poz. 690 z dnia 15 czerwca 2002).
3. Kisilewicz T., 2013. Overheating – an unexpected side-effect of decreased heating demand. Proceedings of the 2nd Central European Symposium on Building Physics, Vienna, 125-130.
4. Kisilewicz T. Wpływ izolacji termicznej ścian na mikroklimat w budynkach w okresie letnim. Artykuł przyjęty do druku w Materiałach Budowlanych.
5. Pfafferott J.Ű., Herkel S., Kalz D. E., Zueschner A., 2007. Comparison of low-energy office buildings in summmer using different thermal comfort criteria. Energy and Buildings 39, 750-757, Elsevier.
6. Schweiker M., Brasche S., Bischof W., Hawighorst M., Wagner A., 2013. Explaining the individual process leading to adaptive comfort: Exploring physiological, behavioural and psychological reactions to thermal stimuli. Journal of Building Physics 36(4).
7. EN 15251 : 2007, Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.
8. Robinson D., Haldi F., 2008. An integrated adaptive model for overheating risk prediction. Journa of Building Performance Simulation 1(1), 43-55.
9. Kisilewicz T., 2015. Performance of building materials and whole enclosures in non-stationary thermal conditions. Artykuł przyjęty do publikacji w Procedia Engineering.
10. Zastawna-Rumin A., 2014. Phase change materials vs. internal temperature in a building, Czasopismo Techniczne – Architektura 8-A, Politechnika Krakowska.
11. Kosny J., Yarbrough D., Petrie T.W., Syed A., 2007. Performance of thermal insulation containing microencapsulated phase change material. International Thermal Conductivity Conference, Birmingham, AL.
12. Rode C., 2013. Global building physics. Journal of Building Physics 36(4), 337-352.
13. Jelle B.P., Gustavsen A., Baetens R., 2010. The path to the high performance thermal building insulation materials and solutions of tomorrow. Journal of Building Physics 34(2), 99-123.

Low Energy Buildings – change of technology and mentality

Tomasz Kisilewicz

Faculty of Civil Engineering, Cracow University of Technology,
e-mail: tkisilew@pk.edu.pl

Abstract: The article indicated a change, which is required in low energy building design process. The possibility of a significant share in the balance of the passive solar energy was presented, but also the necessity and possibility of passive protection against overheating. The importance of integrated design of low-energy buildings was emphasized and the presence of myths and stereotypes regarding this type of buildings was proved.

Keywords: thermal balance, passive solar gains, adaptive thermal comfort, integrated design, thermal capacity

Uwarunkowania prawne budownictwa energooszczędnego w Polsce

Marek Ramczyk

Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska,
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy,
e-mail: marek.ramczyk@utp.edu.pl

Streszczenie: Od lat osiemdziesiątych XX wieku budownictwo energooszczędne obejmujące budowę domów energooszczędnych i pasywnych, spełniających ostre kryteria energooszczędności – rozprzestrzenia się na całym świecie. W pracy – po przedstawieniu rysu historycznego budownictwa energooszczędnego – dokonano szczegółowego przeglądu regulacji prawnych dotyczących sektora budownictwa energooszczędnego w Unii Europejskiej i stanu ich wdrożenia w prawie polskim. Omówiono też konsekwencje wprowadzonych przepisów prawa w zakresie budownictwa energooszczędnego dla inwestorów, projektantów i firm związanych z sektorem budowlanym. Unia Europejska, a w tym i Polska, dotychczas nie wprowadziły jednak pełnych i kompleksowych uregulowań prawnych odnoszących się wyłącznie do budownictwa energooszczędnego.

Słowa kluczowe: budownictwo energooszczędne, energooszczędność, budynek energooszczędny, budynek pasywny, budynek o niemal zerowym zużyciu energii, podstawy prawne

1. Wprowadzenie

Budownictwo jest jednym z kluczowych obszarów, w których można dokonać znaczących oszczędności energii i minimalizować emisję gazów cieplarnianych. Stąd budynki energooszczędne i pasywne mają istotne znaczenie w kształtowaniu gospodarki niskoemisyjnej.

Budownictwo energooszczędne obejmuje budowę budynków energooszczędnych i budynków pasywnych. Podstawowym kryterium energooszczędności jest uzyskanie odpowiedniego wskaźnika rocznego jednostkowego zapotrzebowania na energię użytkową do celów ogrzewania i wentylacji (EUco), obliczonego zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury i Rozwoju w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej z dnia 27 lutego 2015 roku (Dz. U., 2015, poz. 376) [1]. Zgodnie ze standardami Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej przyjmuje się, że „budynek energooszczędny" to budynek, dla którego wskaźnik rocznego jednostkowego zapotrzebowania na energię użytkową do celów ogrzewania i wentylacji EUco $\leq$ 40 kWh/m², natomiast „budynek pasywny" charakteryzuje się wskaźnikiem rocznego jednostkowego zapotrzebowania na energię użytkową do celów ogrzewania i wentylacji EUco $\leq$ 15 kWh/m², przy czym w obowiązujących aktach prawnych nie ma precyzyjnych definicji tych pojęć. Budynek pasywny zapewnia bardzo wysoki komfort cieplny bez zastosowania tradycyjnej instalacji grzewczej lub klimatyzacyjnej, lecz poprzez wykorzystanie pasywnych źródeł ciepła (urządzenia elektryczne, promieniowanie słoneczne docierające przez przeszklenia fasad południowych, ciepło wydzielane przez mieszkańców/użytkowników) i radykalne zmniejszenie strat ciepła (przenikania ciepła przez ściany i odzysk ciepła z wentylacji). Dla porównania budynki standardowe (realizowane w tradycyjnej technologii i spełniające

aktualne przepisy) mają przedmiotowy wskaźnik energooszczędności na poziomie EUco = 90–120 kWh/m² [2, 3]. Dodatkowymi kryteriami – poza wskaźnikiem rocznego jednostkowego zapotrzebowania na energię użytkową do celów ogrzewania i wentylacji EUco – stosowanymi w ocenie energooszczędności budynków są: grubość warstwy izolacyjnej ścian zewnętrznych, współczynnik przenikania ciepła ścian zewnętrznych, grubość warstwy izolacyjnej dachu lub stropodachu, usytuowanie okien, współczynnik przenikania ciepła okien (łącznie z ramami okiennymi i ościeżnicami), system ogrzewania i wykorzystanie energii odnawialnej (w tym słonecznej) [4].

W 2010 roku w prawie unijnym wprowadzono definicję budynku o niemal zerowym zużyciu energii. Zgodnie z art. 2 pkt. 2 dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 roku w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (wersja przekształcona) (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 153 z dnia 18 czerwca 2010 roku) – wdrożonej w prawie polskim ustawą o charakterystyce energetycznej budynków z dnia 29 sierpnia 2014 roku (Dz.U., 2014, poz. 1200 z późniejszymi zmianami) – przez *„budynek o niemal zerowym zużyciu energii”* należy rozumieć budynek o bardzo wysokiej charakterystyce energetycznej określonej zgodnie z wytycznymi zawartymi w załączniku I dyrektywy, przy czym niemal zerowa lub bardzo niska ilość wymaganej energii powinna pochodzić w bardzo wysokim stopniu z energii ze źródeł odnawialnych, w tym z energii ze źródeł odnawialnych wytwarzanej na miejscu lub w pobliżu. W Polsce standard ten będzie obowiązywać od 1 stycznia 2021 roku dla wszystkich budynków, a dla budynków zajmowanych przez władze publiczne i będących ich własnością od 1 stycznia 2019 roku.

2. Rys historyczny budownictwa energooszczędnego

Określenie „budownictwo energooszczędne” pojawiło się w Europie Zachodniej w latach siedemdziesiątych XX wieku podczas pierwszego kryzysu energetycznego (naftowego). Kryzys paliwowy wymusił konieczność oszczędzania energii i rozpoczęcie na większą skalę wykorzystywania w budownictwie odnawialnych źródeł energii. W konsekwencji w latach osiemdziesiątych tego wieku zrodziła się koncepcja budowy domów energooszczędnych. W 1988 roku na Uniwersytecie Lund w Szwecji niemiecki fizyk i konstruktor Wolfgang Feist i Bo Adamson opracowali standardy budynku pasywnego, czyli takiego, który mógłby prawie całkowicie funkcjonować bez ogrzewania. Budynek wybudowany według tych standardów miałby roczne zapotrzebowanie na ciepło mniejsze niż 15 kWh/m² (co odpowiada spaleniu 1,5 l oleju opałowego lub 1,7 m³ gazu ziemnego lub 2,3 kg węgla kamiennego), a roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną łącznie z ciepłą wodą użytkową i energią elektryczną kształtowałoby się poniżej 120 kWh/m². Pierwszy na świecie eksperymentalny dom pasywny powstał w 1991 roku w Darmstadt (Niemcy). Został on zaprojektowany i zbudowany na podstawie standardów W. Feista i B. Adamsona przez zespół architektów H. Botta, K. Riddera i H. Westermeyera, a sfinansowany przez Ministerium für Wirtschaft und Technik w Hesji. Pionierski dom pasywny w Darmstadt jest budynkiem szeregowym z czterema mieszkaniami o powierzchni 156 m² każde, zbudowanym z nowoczesnych materiałów budowlanych i z wykorzystaniem nowatorskich rozwiązań architektonicznych. Jego lokalizacja dobrana jest w taki sposób, aby umożliwić optymalne wykorzystanie światła słonecznego. Wszystko to powoduje, że wskaźnik rocznego jednostkowego zapotrzebowania na energię użytkową do celów ogrzewania i wentylacji EUco tego budynku wynosi 10 kWh/m² [5].

Wysokie koszty budowy pierwszego w historii budynku pasywnego na jakiś czas zahamowały rozwój technologii budownictwa energooszczędnego. Jednak w 1996 roku z inicjatywy W. Feista powstaje Instytut Domów Pasywnych (Passivhaus Institut)

w Darmstadt, zajmujący się do dziś wdrażaniem idei domów pasywnych i optymalizacją komponentów do ich realizacji. Podczas realizacji budynku w Darmstadt wykreowano główną koncepcję budowy domu pasywnego. Powrócono do niej w 1998 roku poprzez wsparcie finansowe przez Unię Europejską w formie projektu CEPHEUS (w ramach programu Komisji Europejskiej THERMIE) budowy w Niemczech, Austrii, Szwajcarii, Szwecji i Francji 14 budynków (obejmujących 258 lokali mieszkalnych) w standardzie pasywnym [5]. W następstwie tego w ciągu kilkunastu lat na terenie Europy Zachodniej znacznie wzrosła liczba realizacji budynków energooszczędnych i pasywnych zarówno domów jednorodzinnych i wielorodzinnych, jak i budynków użyteczności publicznej.

Od lat osiemdziesiątych XX wieku idea budownictwa energooszczędnego rozprzestrzenia się na całym świecie. Większość struktur pasywnych buduje się w krajach niemieckojęzycznych i skandynawskich. Według danych z 2014 roku na świecie jest już około 40000 budynków pasywnych, z czego blisko połowa znajduje się w Niemczech [6].

Pierwszy w Polsce i w Europie Środkowo-Wschodniej certyfikowany – przez Instytut Domów Pasywnych (Passivhaus Institut) w Darmstadt – dom pasywny powstał w 2005 roku w Smolcu pod Wrocławiem. Wskaźnik rocznego jednostkowego zapotrzebowania na energię użytkową do celów ogrzewania i wentylacji EUco tego budynku w standardowym sezonie grzewczym wynosi 15 kWh/m². Ten sam dom wybudowany zgodnie z aktualnie obowiązującymi w Polsce normami zużywałby rocznie 123 kWh/m², czyli ponad 8-krotnie więcej [5]. Jedyną polską jednostką uprawnioną do certyfikacji budynków pasywnych jest Polski Instytut Budownictwa Pasywnego i Energii Odnawialnej im. Güntera Schlagowskiego w Gdańsku.

Wraz z rozwojem budownictwa energooszczędnego (w tym budownictwa domów o standardzie pasywnym) nastąpił też szybki rozwój firm budowlanych specjalizujących się w technologii budownictwa energooszczędnego, firm produkujących elementy budynków energooszczędnych (np. stolarka okienna, stolarka drzwiowa) oraz firm związanych z produkcją nowoczesnych materiałów budowlanych, urządzeń i instalacji niezbędnych do uzyskania standardu budynku energooszczędnego (pasywnego).

Dalszy rozwój budownictwa energooszczędnego zależy od skali wdrożenia koncepcji budynków samowystarczalnych (autonomicznych), wyposażonych w instalacje odnawialnych źródeł energii.

3. Podstawy prawne budownictwa energooszczędnego

W Polsce zgodnie z obowiązującym prawem najwyższym aktem prawnym jest Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2 kwietnia 1997 roku (Dz.U., 1997, Nr 78, poz. 483 z późniejszymi zmianami). Nie zawiera ona jednak regulacji prawnych odnoszących się bezpośrednio do zagadnienia budownictwa energooszczędnego. Uregulowania prawne w tym zakresie pośrednio wprowadza natomiast Unia Europejska. Polska przystępując do tej organizacji międzynarodowej – na mocy „Traktatu o przystąpieniu Rzeczypospolitej Polskiej do Unii Europejskiej podpisanego 16 kwietnia 2003 roku w Atenach" – ma obowiązek wprowadzania wszystkich aktów prawnych uchwalanych przez Unię Europejską. Artykuł 91 ust. 3 Konstytucji Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2 kwietnia 1997 roku zawiera bowiem zapis o następującym brzmieniu: „Jeżeli wynika to z ratyfikowanej przez Rzeczpospolitą Polską umowy konstytuującej organizację międzynarodową, prawo przez nią stanowione jest stosowane bezpośrednio, mając pierwszeństwo w przypadku kolizji z ustawami". Oznacza to, że każda uchwalona dyrektywa Unii Europejskiej musi zostać wdrożona w prawie polskim. Unia Europejska dotychczas nie wprowadziła jednak pełnych i kompleksowych uregulowań prawnych odnoszących się wyłącznie do budownictwa energooszczędnego. Uchwalone dyrektywy unijne regulują szersze zagadnienia (zwłaszcza

efektywność energetyczną) i tylko częściowo dotyczą budowy obiektów energooszczędnych i pasywnych. Stąd w tym zakresie prawodawstwo w Unii Europejskiej, a w tym i w Polsce, nie jest skodyfikowane w jednym wiodącym akcie prawnym (przepisy prawne są rozproszone w różnych aktach prawnych).

3.1. Regulacje prawne w prawodawstwie Unii Europejskiej

Obszaru budownictwa energooszczędnego w Unii Europejskiej dotyczą – przedstawione w porządku chronologicznym – następujące akty prawne i dokumenty [3, 7, 8]:

- dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2002/91/WE z dnia 16 grudnia 2002 roku w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 1 z dnia 4 stycznia 2003 roku),
- dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2006/32/WE z dnia 5 kwietnia 2006 roku w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych oraz uchylająca dyrektywę Rady 93/76/EWG (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 114 z dnia 27 kwietnia 2006 roku),
- rezolucja Parlamentu Europejskiego z dnia 31 stycznia 2008 roku w sprawie planu działania na rzecz racjonalizacji zużycia energii: sposoby wykorzystania potencjału (2007/2106(INI)) (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej C 68 E z dnia 21 marca 2009 roku),
- dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 roku w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 140 z dnia 5 czerwca 2009 roku),
- dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 roku w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (wersja przekształcona) (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 153 z dnia 18 czerwca 2010 roku),
- komunikat Komisji Europejskiej „Strategy for sustainable competitiveness of the construction sector and its enterprises", Bruksela, 31 lipca 2012 roku,
- dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z dnia 25 października 2012 roku w sprawie efektywności energetycznej, zmiany dyrektyw 2009/125/WE i 2010/30/UE oraz uchylenia dyrektyw 2004/8/WE i 2006/32/WE (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 315 z dnia 14 listopada 2012 roku).

W Unii Europejskiej sektor mieszkaniowy i usługowy, którego główną część stanowią budynki, obejmuje ponad 40% końcowego zużycia energii. Tendencja wzrostowa zużycia energii prowadzi do zwiększenia emisji ditlenku węgla przez ten sektor. Stąd w 2000 roku Rada Unii Europejskiej zaaprobowała plan działania Komisji Europejskiej w sprawie efektywności energetycznej i zażądała szczegółowych instrumentów prawnych dla sektora budowlanego. W konsekwencji została przyjęta dyrektywa 2002/91/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 2002 roku w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 1 z dnia 4 stycznia 2003 roku), której celem było ustanowienie konkretnych działań mających zapewnić wykorzystanie dużego niezrealizowanego potencjału oszczędności energii w sektorze budowlanym. W 2010 roku dyrektywa ta została zmieniona dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 roku w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (wersja przekształcona) (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 153 z dnia 18 czerwca 2010 roku).

W 2006 roku w celu poprawy efektywności wykorzystania energii przez użytkowników końcowych, zarządzania popytem na energię i wspierania produkcji energii ze źródeł odnawialnych przyjęto dyrektywę 2006/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia

5 kwietnia 2006 roku w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych oraz uchylającą dyrektywę Rady 93/76/EWG (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 114 z dnia 27 kwietnia 2006 roku). Ten akt prawny zobowiązuje państwa członkowskie UE do wprowadzania w życie metod oszczędzania energii i stosowania urządzeń energooszczędnych dla osiągnięcia celu ustalonego jako 9% oszczędności energii. Krajowy cel w zakresie oszczędności energii ma jednak charakter indykatywny i nie wiąże się dla państw członkowskich UE z prawnym obowiązkiem uzyskania tej wartości docelowej. Należy zwrócić uwagę, że przedmiotowa dyrektywa eksponuje wspieranie wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych, co może mieć pozytywny wpływ na rozwój budownictwa energooszczędnego.

Zagadnienia budownictwa energooszczędnego (zrównoważonego) zaakcentowano też w rezolucji Parlamentu Europejskiego z dnia 31 stycznia 2008 roku w sprawie planu działania na rzecz racjonalizacji zużycia energii: sposoby wykorzystania potencjału (2007/2106(INI)) ((Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej C 68 E z dnia 21 marca 2009 roku). Punkt 29. tego dokumentu, traktujący o wymogach eksploatacyjnych dotyczących budynków, zawiera wezwanie do Komisji Europejskiej do przedstawienia wiążącego warunku, aby wszystkie nowe budynki wymagające ogrzewania lub chłodzenia powstawały zgodnie ze standardami budynków pasywnych [2] lub odpowiednimi standardami budynków niemieszkalnych od 2011 roku oraz konieczności stosowania pasywnych rozwiązań w zakresie ogrzewania i chłodzenia od 2008 roku.

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 roku w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 140 z dnia 5 czerwca 2009 roku) stwarza warunki dla wspierania efektywności energetycznej w kontekście wiążącego celu w zakresie energii ze źródeł odnawialnych, której udział ma stanowić 20% łącznego zużycia energii w Unii Europejskiej do 2020 roku (ogólny cel krajowy dla Polski wynosi 15%). Taka regulacja prawna stwarza możliwości rozwoju budownictwa energooszczędnego poprzez wdrażanie w sektorze budowlanym instalacji odnawialnych źródeł energii. Możliwości te są silnie wspierane rygorystycznymi wymogami dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 roku w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (wersja przekształcona) (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 153 z dnia 18 czerwca 2010 roku), dotyczącymi efektywności energetycznej w sektorze budowlanym.

Zgodnie z zapisami dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 roku w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (wersja przekształcona) (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 153 z dnia 18 czerwca 2010 roku), stanowiącej nowelizację dyrektywy 2002/91/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 2002 roku w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 1 z dnia 4 stycznia 2003 roku), za kilka lat wszystkie nowo powstające budynki będą musiały spełniać wyższe standardy energetyczne. Unia Europejska nakłada na państwa członkowskie obowiązek, aby: 1) do dnia 31 grudnia 2020 roku wszystkie nowe budynki były budynkami o niemal zerowym zużyciu energii i 2) po 31 grudnia 2018 roku nowe budynki zajmowane przez władze publiczne i będące ich własnością były budynkami o niemal zerowym zużyciu energii. Poza tym państwa członkowskie zostały zobowiązane do opracowania krajowych planów mających na celu zwiększenie liczby budynków o niemal zerowym zużyciu energii, przy czym plany te mogą zawierać założenia zróżnicowane w zależności od kategorii budynku. Państwa członkowskie – na wzór sektora publicznego – muszą też opracować polityki i podejmować działania w zakresie opracowywania założeń służących pobudzaniu do przekształcania budynków poddawanych renowacji w budynki o niemal zerowym zużyciu energii. Przedmiotowa dyrektywa zawiera

także zapis, że Komisja Europejska do dnia 31 grudnia 2012 roku, a następnie co trzy lata, ma obowiązek publikowania sprawozdania z postępów państw członkowskich w zwiększaniu liczby budynków o niemal zerowym zużyciu energii. Następnie na podstawie tego sprawozdania Komisja Europejska ma obowiązek opracowania planu działania oraz w razie potrzeby proponowania środków mających na celu zwiększenie liczby takich budynków i zachęcania do opracowywania najlepszych praktyk w odniesieniu do opłacalnego ekonomicznie przekształcania istniejących budynków w budynki o niemal zerowym zużyciu energii.

W 2012 roku przyjęto również dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z dnia 25 października 2012 roku w sprawie efektywności energetycznej, zmiany dyrektyw 2009/125/WE i 2010/30/UE oraz uchylenia dyrektyw 2004/8/WE i 2006/32/WE (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 315 z dnia 14 listopada 2012 roku), która nakłada na państwa członkowskie obowiązek redukcji zużycia energii o 20% do 2020 roku. Po to, aby spełnić ten wymóg, należy upowszechnić stosowanie: inteligentnego opomiarowania zużycia energii, instalacji odnawialnych źródeł energii i technologii energooszczędnych. Międzynarodowa Agencja Energetyczna (IEA) największy potencjał wzrostu efektywności energetycznej dostrzega w budynkach i produkcji energii.

Wśród dokumentów Unii Europejskiej ważnych dla rozwoju sektora budowy obiektów energooszczędnych i pasywnych należy wymienić też komunikat Komisji Europejskiej „Strategy for sustainable competitiveness of the construction sector and its enterprises", opublikowany w Brukseli 31 lipca 2012 roku w odpowiedzi na kluczowe wyzwania stojące przed branżą budowlaną i konieczność poprawy jej konkurencyjności. Wynika z niego, że nowa strategia ożywienia sektora budowlanego w Unii Europejskiej do 2020 roku ma opierać się przede wszystkim na promowaniu budownictwa energooszczędnego.

3.2. Regulacje prawne w prawodawstwie polskim

Polska przystępując od 1 maja 2004 roku do Unii Europejskiej ma obowiązek zaimplementowania w prawie polskim każdej uchwalonej przez nią dyrektywy. Na dzień 30 kwietnia 2015 roku stan wdrażania unijnych aktów prawnych dotyczących budownictwa energooszczędnego do prawodawstwa polskiego nie jest pełny. Aktualnie w Polsce w obszarze budownictwa energooszczędnego obowiązują następujące akty prawne i dokumenty [9]:

- ustawa o charakterystyce energetycznej budynków z dnia 29 sierpnia 2014 roku (Dz. U., 2014, poz. 1200 z późniejszymi zmianami),
- rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej z dnia 27 lutego 2015 roku (Dz.U., 2015, poz. 376),
- rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju w sprawie sposobu dokonywania i szczegółowego zakresu weryfikacji świadectw charakterystyki energetycznej oraz protokołów z kontroli systemu ogrzewania lub systemu klimatyzacji z dnia 17 lutego 2015 roku (Dz.U., 2015, poz. 246),
- rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju w sprawie wzorów protokołów z kontroli systemu ogrzewania lub systemu klimatyzacji z dnia 17 lutego 2015 roku (Dz.U., 2015, poz. 247),
- rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie przeprowadzania szkolenia oraz egzaminu dla osób ubiegających się o uprawnienie do sporządzania świadectwa charakterystyki energetycznej budynku, lokalu mieszkalnego oraz części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową z dnia 21 stycznia 2008 roku (Dz.U., 2008, Nr 17, poz. 104 z późniejszymi zmianami),

- obwieszczenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie przeprowadzania szkolenia oraz egzaminu dla osób ubiegających się o uprawnienie do sporządzania świadectwa charakterystyki energetycznej budynku, lokalu mieszkalnego oraz części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową z dnia 28 maja 2013 roku (Dz.U., 2013, poz. 1210),
- rozporządzenie Ministra Finansów w sprawie obowiązkowego ubezpieczenia odpowiedzialności cywilnej osoby sporządzającej świadectwa charakterystyki energetycznej budynku, lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową z dnia 28 grudnia 2009 roku (Dz.U., 2009, Nr 224, poz. 1802),
- ustawa o efektywności energetycznej z dnia 15 kwietnia 2011 roku (Dz.U., 2011, Nr 94, poz. 551 z późniejszymi zmianami),
- rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej, wzoru karty audytu efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności energii z dnia 10 sierpnia 2012 roku (Dz.U., 2012, poz. 962),
- rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie sposobu obliczania ilości energii pierwotnej odpowiadającej wartości świadectwa efektywności energetycznej oraz wysokości jednostkowej opłaty zastępczej z dnia 4 września 2012 roku (Dz.U., 2012, poz. 1039),
- rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie przetargu na wybór przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej z dnia 23 października 2012 roku (Dz U., 2012, poz. 1227),
- obwieszczenie Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowego wykazu przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej z dnia 21 grudnia 2012 roku (M.P., 2013, poz. 15),
- rozporządzenie Ministra Finansów w sprawie obowiązkowego ubezpieczenia odpowiedzialności cywilnej audytora efektywności energetycznej z dnia 14 września 2011 roku (Dz.U., 2011, Nr 210, poz. 1248),
- ustawa „Prawo ochrony środowiska" z dnia 27 kwietnia 2001 roku (Dz.U., 2001, Nr 62, 627 z późniejszymi zmianami),
- ustawa „Prawo energetyczne" z dnia 10 kwietnia 1997 roku (Dz.U., 1997, Nr 54, poz. 348 z późniejszymi zmianami),
- „Polityka energetyczna Polski do 2030 roku", Ministerstwo Gospodarki, Warszawa, 10 listopada 2009 roku (dokument przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 10 listopada 2009 roku),
- Drugi „Krajowy Plan Działań dotyczący efektywności energetycznej dla Polski 2011", Ministerstwo Gospodarki, Warszawa, 10 sierpnia 2011 roku,
- ustawa „Prawo budowlane" z dnia 7 lipca 1994 roku (Dz.U., 1994, Nr 89, poz. 414 z późniejszymi zmianami),
- rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego z dnia 25 kwietnia 2012 roku (Dz.U., 2012, poz. 462),
- rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego z dnia 21 czerwca 2013 roku (Dz.U., 2013, poz. 762),

- rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 roku (Dz. U., 2002, Nr 75, poz. 690 z późniejszymi zmianami),
- rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 5 lipca 2013 roku (Dz.U., 2013, poz. 926),
- rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji w sprawie warunków technicznych użytkowania budynków mieszkalnych z dnia 16 sierpnia 1999 roku (Dz.U., 1999, Nr 74, poz. 836 z późniejszymi zmianami),
- rozporządzenie Ministra Infrastruktury zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych użytkowania budynków mieszkalnych z dnia 27 listopada 2009 roku (Dz.U., 2009, Nr 205, poz. 1584),
- ustawa o wspieraniu termomodernizacji i remontów z dnia 21 listopada 2008 roku (Dz.U., 2008, Nr 223, poz. 1459 z późniejszymi zmianami),
- obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o wspieraniu termomodernizacji i remontów z dnia 2 kwietnia 2014 roku (Dz.U., 2014, poz. 712),
- rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego z dnia 17 marca 2009 roku (Dz.U., 2009, Nr 43, poz. 346),
- rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie szczegółowego sposobu weryfikacji audytu energetycznego i części audytu remontowego oraz szczegółowych warunków, jakie powinny spełniać podmioty, którym Bank Gospodarstwa Krajowego może zlecać wykonanie weryfikacji audytów z dnia 17 marca 2009 roku (Dz.U., 2009, Nr 43, poz. 347),
- ustawa o odnawialnych źródłach energii z dnia 20 lutego 2015 roku (Dz.U., 2015, poz. 478),
- „Krajowy Plan Działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych", Minister Gospodarki, Warszawa, 2010,
- „Uzupełnienie do Krajowego Planu Działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych", Ministerstwo Gospodarki, Warszawa, 2 grudnia 2011 roku.

Ustawa o charakterystyce energetycznej budynków z dnia 29 sierpnia 2014 roku (Dz.U., 2014, poz. 1200 z późniejszymi zmianami) oraz rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej z dnia 27 lutego 2015 roku (Dz.U., 2015, poz. 376), rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju w sprawie sposobu dokonywania i szczegółowego zakresu weryfikacji świadectw charakterystyki energetycznej oraz protokołów z kontroli systemu ogrzewania lub systemu klimatyzacji z dnia 17 lutego 2015 roku (Dz.U., 2015, poz. 246), rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju w sprawie wzorów protokołów z kontroli systemu ogrzewania lub systemu klimatyzacji z dnia 17 lutego 2015 roku (Dz.U., 2015, poz. 247) i pozostałe akty wykonawcze do tej ustawy dokonują w zakresie swych regulacji wdrożenia w prawie polskim dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 roku w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (wersja przekształcona) (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 153 z dnia 18 czerwca 2010 roku). Ustawą o charakterystyce energetycznej budynków z dnia 29 sierpnia 2014 roku (Dz.U., 2014, poz. 1200 z późniejszymi zmianami) zmieniono jednocześnie ustawę „Prawo budowlane" z dnia 7 lipca

1994 roku (Dz.U., 1994, Nr 89, poz. 414 z późniejszymi zmianami) i ustawę o gospodarce nieruchomościami z dnia 21 sierpnia 1997 roku (Dz.U., 1997, Nr 115, poz. 741 z późniejszymi zmianami). Wprowadzone regulacje prawne oznaczają, że osiągnięcie celu budownictwa niemal zeroenergetycznego wymusza wprowadzenie nowych standardów projektowania i wymagań techniczno-budowlanych dla budynków oraz kreowanie instrumentów wspierających inwestorów planujących budowę lub zakup budynku energooszczędnego. Warto zwrócić też uwagę na ważność świadectwa charakterystyki energetycznej. Przepisy prawne określają, jakie budynki i lokale i w jakich sytuacjach muszą posiadać tzw. certyfikat energetyczny, czyli dokument przedstawiający informacje w zakresie rocznego potencjalnego zapotrzebowania na energię na cele centralnego ogrzewania, ciepłej wody użytkowej, wentylacji i klimatyzacji, a w przypadku budynku użyteczności publicznej także oświetlenia oraz zawierający porównanie tych informacji z danymi dla budynku referencyjnego.

Również rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego z dnia 21 czerwca 2013 roku (Dz.U., 2013, poz. 762) i rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 5 lipca 2013 roku (Dz.U., 2013, poz. 926) dokonują wdrożenia w prawodawstwie polskim dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 roku w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (wersja przekształcona) (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 153 z dnia 18 czerwca 2010 roku). Nowelizacja z dnia 21 czerwca 2013 roku rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego z dnia 25 kwietnia 2012 roku (Dz.U., 2012, poz. 462) zaostrza obowiązek dotyczący budynków, zawarty w § 11 ust. 2 pkt. 12, w zakresie wykonywania analizy możliwości racjonalnego wykorzystania, o ile są dostępne techniczne, środowiskowe i ekonomiczne możliwości, wysokoefektywnych systemów alternatywnych zaopatrzenia w energię i ciepło. Aktualnie odnosi się on zatem do wszystkich budynków bez względu na wielkość ich powierzchni użytkowej. Przez „wysokoefektywne systemy alternatywne zaopatrzenia w energię i ciepło" należy rozumieć zdecentralizowane systemy dostawy energii oparte na energii ze źródeł odnawialnych, kogenerację, ogrzewanie lub chłodzenie lokalne lub blokowe, w szczególności, gdy opiera się całkowicie lub częściowo na energii ze źródeł odnawialnych (w rozumieniu przepisów ustawy „Prawo energetyczne" z dnia 10 kwietnia 1997 roku (Dz.U., 1997, Nr 54, poz. 348 z późniejszymi zmianami)), oraz pompy ciepła. Natomiast nowelizacja rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 roku (Dz.U., 2002, Nr 75, poz. 690 z późniejszymi zmianami) od 1 stycznia 2014 roku wprowadza obowiązek, że budynki muszą spełniać jednocześnie wymagania co do dopuszczalnej wartości wskaźnika EP (roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną) oraz co do minimalnej izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych budynków (ścian, podłóg, dachów, stropów, okien i drzwi) i przewodów (instalacji centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej). Do końca grudnia 2013 roku wystarczyło spełnienie jednego z tych dwóch warunków. Jest to poważne wyzwanie dla projektantów, ponieważ o wartości wskaźnika EP dla konkretnego budynku decyduje kombinacja wielu czynników, takich jak: izolacja cieplna, sposób wentylacji, rodzaj paliwa do ogrzewania budynku, a nawet jego położenie [2]. W przedmiotowym rozporządzeniu odrębnie określono wymagania stawiane budynkom przebudowywanym.

Ustawa o efektywności energetycznej z dnia 15 kwietnia 2011 roku (Dz.U., 2011, Nr 94, poz. 551 z późniejszymi zmianami) wraz z aktami wykonawczymi w zakresie swych regulacji wprowadzają do prawa polskiego dyrektywę 2006/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5 kwietnia 2006 roku w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych oraz uchylającą dyrektywę Rady 93/76/EWG (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 114 z dnia 27 kwietnia 2006 roku) oraz częściowo dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 roku w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniającą i w następstwie uchylającą dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 140 z dnia 5 czerwca 2009 roku). Przedmiotowa ustawa jednocześnie zmieniła m. in.: ustawę „Prawo budowlane" z dnia 7 lipca 1994 roku (Dz.U., 1994, Nr 89, poz. 414 z późniejszymi zmianami), ustawę „Prawo energetyczne" z dnia 10 kwietnia 1997 roku (Dz.U., 1997, Nr 54, poz. 348 z późniejszymi zmianami) i ustawę „Prawo ochrony środowiska" z dnia 27 kwietnia 2001 roku (Dz.U., 2001, Nr 62, 627 z późniejszymi zmianami).

Jednak w 2012 roku uchwalono dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z dnia 25 października 2012 roku w sprawie efektywności energetycznej, zmiany dyrektyw 2009/125/WE i 2010/30/UE oraz uchylenia dyrektyw 2004/8/WE i 2006/32/WE (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 315 z dnia 14 listopada 2012 roku), m. in. uchylającą dyrektywę 2006/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5 kwietnia 2006 roku w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych oraz uchylającą dyrektywę Rady 93/76/EWG (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 114 z dnia 27 kwietnia 2006 roku) (zaimplementowaną już w prawie polskim). Polska dotychczas nie wdrożyła tej nowej unijnej dyrektywy dotyczącej efektywności energetycznej. Prace w zakresie nowej polskiej ustawy o efektywności energetycznej są w toku.

Drugi „Krajowy Plan Działań dotyczący efektywności energetycznej dla Polski 2011" z 10 sierpnia 2011 roku stanowi realizację zapisu art. 14 ust. 2 dyrektywy 2006/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5 kwietnia 2006 roku w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych oraz uchylającej dyrektywę Rady 93/76/EWG (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 114 z dnia 27 kwietnia 2006 roku). Dokument ten zawiera opis planowanych środków poprawy efektywności energetycznej określających działania mające na celu poprawę efektywności energetycznej w poszczególnych sektorach gospodarki, niezbędnych dla realizacji krajowego celu w zakresie oszczędnego gospodarowania energią na 2016 rok (uzyskanie oszczędności energii finalnej w ilości nie mniejszej niż 9% średniego krajowego zużycia tej energii w ciągu roku, przy czym uśrednienie obejmuje lata 2001-2005) [10].

Ustawa o wspieraniu termomodernizacji i remontów z dnia 21 listopada 2008 roku (Dz. U., 2008, Nr 223, poz. 1459 z późniejszymi zmianami) wraz z aktami wykonawczymi umożliwia podniesienie efektywności energetycznej już istniejących budynków. Jest jednym z najlepiej wykonywanych aktów prawnych w sektorze budownictwa. Większość starych budynków nie spełnia aktualnie obowiązujących wymogów budowlanych, w tym dotyczących certyfikacji energetycznej. Stąd wsparcie właścicieli i zarządców nieruchomości środkami finansowymi z Funduszu Termomodernizacji i Remontów pozwala realizować inwestycje termomodernizacyjne i remontowe, prowadzące do zwiększenia energooszczędności budynków.

Ustawa o odnawialnych źródłach energii z dnia 20 lutego 2015 roku (Dz.U., 2015, poz. 478) w zakresie swojej regulacji transponuje do prawa polskiego dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 roku w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniającą i w następstwie uchylającą dyrek-

tywę 2001/77/WE oraz 2003/30/WE (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 140 z dnia 5 czerwca 2009 roku) oraz dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z dnia 25 października 2012 roku w sprawie efektywności energetycznej, zmiany dyrektyw 2009/125/WE i 2010/30/UE oraz uchylenia dyrektyw 2004/8/WE i 2006/32/WE (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 315 z dnia 14 listopada 2012 roku). Ustawa ta jednocześnie zmieniła m. in. ustawę „Prawo energetyczne" z dnia 10 kwietnia 1997 roku (Dz.U., 1997, Nr 54, poz. 348 z późniejszymi zmianami) i ustawę „Prawo ochrony środowiska" z dnia 27 kwietnia 2001 roku (Dz.U., 2001, Nr 62, 627 z późniejszymi zmianami). Ustawa o odnawialnych źródłach energii z dnia 20 lutego 2015 roku (Dz.U., 2015, poz. 478) jest aktem prawnym komplementarnym w stosunku do ustawa o charakterystyce energetycznej budynków z dnia 29 sierpnia 2014 roku (Dz.U., 2014, poz. 1200 z późniejszymi zmianami), gdyż stwarza atrakcyjne dla inwestorów podstawy prawne wdrażania instalacji odnawialnych źródeł energii w budownictwie energooszczędnym.

4. Podsumowanie i wnioski

Unia Europejska dotychczas nie wprowadziła pełnych i kompleksowych uregulowań prawnych dotyczących wyłącznie budownictwa energooszczędnego. W tym zakresie przepisy prawne w Unii Europejskiej, a w tym i w Polsce, są rozproszone w różnych aktach prawnych. Najistotniejszą konsekwencją istniejących uregulowań prawnych jest to, że do dnia 31 grudnia 2020 roku wszystkie nowe budynki muszą być budynkami o niemal zerowym zużyciu energii oraz po 31 grudnia 2018 roku nowe budynki zajmowane przez władze publiczne i będące ich własnością muszą być budynkami o niemal zerowym zużyciu energii. Takie wymogi prawne powodują w Polsce pilną potrzebę uchwalenia przez Radę Ministrów krajowego planu mającego na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii [11], uwzględniającego m. in. instrumenty finansowe wspierające rozwój budownictwa efektywnego energetycznie i wykorzystanie odnawialnych źródeł energii.

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej z dnia 27 lutego 2015 roku (Dz.U., 2015, poz. 376).
2. Wnuk R., 2012.Budowa domu pasywnego w praktyce. Wydawnictwo Przewodnik Budowlany, Warszawa.
3. Płaziak M., 2013. Domy energooszczędne i pasywne jako nieunikniona przyszłość budownictwa w Polsce. Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego 21, 173-188.
4. Kaniszewska A. Wprowadzenie do budownictwa energooszczędnego i pasywnego. http://www.chronmyklimat.pl/projekty/energooszczędne, 2013.
5. Historia domów pasywnych, 2012. http://www.termoswiat.pl/domy-pasywne-i-energooszczędne
6. Domy pasywne czy energooszczędne? Wkrótce może nie być wyboru, 2014. http://serwisy.gazetaprawna.pl/nieruchomości..
7. Informacje o aktach prawnych Unii Europejskiej. http://www.europa.eu
8. Informacje o aktach prawnych Unii Europejskiej. http://buildingsplatform.org
9. Dane dotyczące polskich aktów prawnych. http://www.sejm.gov.pl
10. Drugi „Krajowy Plan Działań dotyczący efektywności energetycznej dla Polski 2011", Ministerstwo Gospodarki, Warszawa, 10 sierpnia 2011 roku, 4.
11. Projekt „Krajowego Planu mającego na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii", Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju", Warszawa, 14 kwietnia 2015 roku.

Legal conditions in the energy-efficient building industry in Poland

Marek Ramczyk

Faculty of Civil and Environmental Engineering and Architecture,
UTP University of Science and Technology in Bydgoszcz,
e-mail: marek.ramczyk@utp.edu.pl

Abstract: Since the 80. the energy-efficient building industry – covering energy-efficient and passive buildings construction, which follows the tough energy efficiency criteria– has been spreading all over the world. In this paper – after the presentation of energy-efficient building industry history – you can find a detailed analysis of legal regulations concerning energy-efficient building industry sector in the European Union and their implementation into the Polish legal system. We have also discussed the consequences of the legal regulations introduced in the energy-efficient building industry area, which might be useful for investors, designers and companies from construction industry. However, the European Union, including Poland, has not introduced any legal regulations exclusively regarding energy-efficient building industry.

Keywords: energy-efficient building industry, energy efficiency, energy-efficient building, passive building, building of nearly zero-energy, legal bases

Parametry budynków niemal zero-energetycznych w warunkach polskich

Edward Szczechowiak

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska,
e-mail: edward.szczechowiak@put.poznan.pl

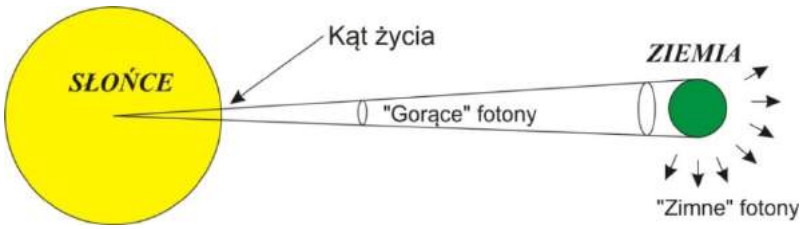
Streszczenie: W artykule przedstawiono kierunki rozwoju budynków o małym zużyciu energii, biorąc po uwagę wielorakie uwarunkowania występujące w Polsce. Dyrektywa UE o charakterystyce energetycznej budynków (EPBD – nowelizacja 2010/31/EU) zobowiązuje do wprowadzenia budynków niemal zero-energetycznych (nZEB) w latach 2019/2021. Minimalne wymagania wartości EP dla budynków nZEB określa się opierając na osiągnięciu minimalnego poziomu kosztu optymalnego – wyznaczonego dla warunków krajowych. Biorąc to pod uwagę określono zakresy zmian podstawowych parametrów energetycznych dla wybranych kategorii budynków.

Słowa kluczowe: budynek niemal zero-energetyczny, koszt optymalny w cyklu życia, energia użytkowa, nieodnawialna energia pierwotna

1. Wprowadzenie

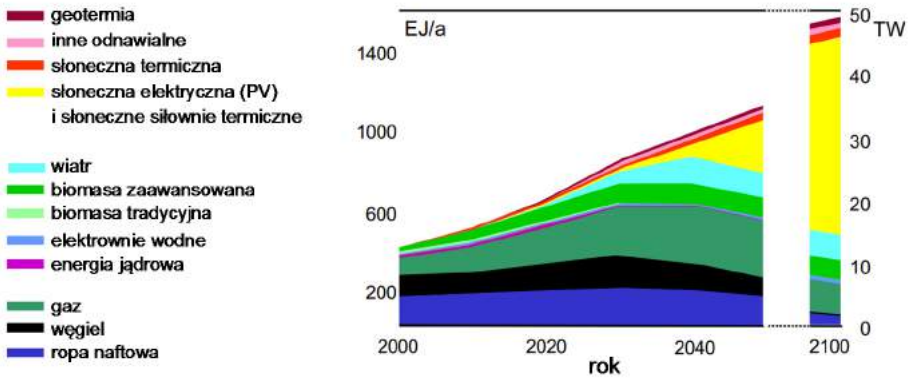
Budynki są znacznym konsumentem energii. W czasie eksploatacji zużywają ciągle jeszcze około 35-45% całkowitego rocznego zużycia energii w danym kraju, zależnie od warunków klimatycznych i poziomu rozwoju gospodarczego. W dłuższej perspektywie jest to nie do utrzymania i może być przyczyną kryzysów i zahamować dalszy rozwój współczesnej cywilizacji opartej na energii.

Dalszy wzrost zużycia energii wytwarzanej z paliw kopalnych ze względów ekologicznych i ekonomicznych jest dla przyszłego rozwoju społeczeństw bardzo niekorzystny. Stąd też poszukiwania rozwiązań efektywnych energetycznie oraz alternatywnych źródeł energii, szczególnie w najbliższym otoczeniu budynków, co pozwala na rozwój technologii wykorzystujących energię promieniowania słonecznego i energię ze źródeł odnawialnych. Zakłada się, że taka będzie przyszłość w zaopatrzeniu w energię (rys. 1 i 2).



Energia promieniowania słonecznego
– kąt życia 0,0025 deg

Rys. 1. Wykorzystanie energii promieniowania słonecznego: stała słoneczna – 1315 W/m^2 na granicy atmosfery



Źródło: German Advisory Council on Global Changer, 2003, www.wbgu.de

Rys. 2. Prognozy w zużyciu energii i sposobie pokrycia tego zużycia do końca XXI wieku

Jak wynika z tych prognoz, pod koniec XXI wieku będzie dominować produkcja energii, szczególnie elektrycznej z wykorzystaniem energii słonecznej.

Z uwagi na to, że udział sektora budowlanego w zużyciu energii jest najwyższy w porównaniu z pozostałymi sektorami, niezbędna jest więc nowa rewolucja, tak jak w XIX wieku była rewolucja przemysłowa. Nowa rewolucja została już zapoczątkowana pod nazwą **rozwój zrównoważony** (sustainable development).

Działania inwestycyjne w budownictwie powinny być więc zgodne z wymaganiami równowagi ekologicznej i energetycznej z otoczeniem, co znajduje już wyraz w aktualnym podejściu do projektowania, budowy i eksploatacji budynków. Jest to również priorytet w polityce energetycznej i ekologicznej wielu krajów i gremiów międzynarodowych, w tym również w krajach członkowskich Unii Europejskiej[1].

2. Rozwój budownictwa niskoenergetycznego

2.1. Zmiany w zużyciu energii budynków

Kryzysy energetyczne w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX wieku, wyczerpywanie się zasobów energii pierwotnej i ogólnoświatowe dążenie do wdrożenia idei zrównoważonego rozwoju doprowadziły do rozwoju technologii prowadzących do budynków o małym zużyciu energii. Pierwsze sformułowanie dotyczące pojęcia „budynek niskoenergetyczny" (energooszczędny) pojawiło się w 1977 roku (Amory Lovins) – jako efekt pierwszego kryzysu naftowego w roku 1974. Pierwsze takie budynki powstały w Korsgaard – Kopenhaga (1977 rok), Shick – Illinois, Elmroth – Stockholm.

Jaki to jest budynek o małym zużyciu energii (*Niedrigenergiehaus, low energy house*)? To taki, który zużywa o 50% mniej energii na ogrzewanie i wentylację, niż budynek tradycyjny wg ówczesnych standardów tj. z lat 1975-1980. Adamson (1979 rok) podaje, że dla południowej Szwecji jest to wartość poniżej 70 kWh/(m^2a).

Pierwsze sformułowanie „budynek pasywny" pojawiło się w roku 1988 (Adamsom – Szwecja), natomiast pierwsza realizacja w roku 1991 (Feist – Niemcy) [5].

[1] W Polsce jest to zawarte w Ustawie Prawo budowlane oraz w rozporządzeniach dotyczących warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (WT).

Budynki pasywne są pewną szczególną propozycją realizującą ideę zrównoważonego rozwoju poprzez bardzo niskie zużycie energii, a tym samym niską emisję zanieczyszczeń do środowiska naturalnego. Podstawy teoretyczne budynków pasywnych opracował Bo Adamson z Uniwersytetu w Lund – Szwecja. Całość koncepcji dla budynku mieszkalnego oparł na systemie wentylacyjnym budynku. Mianowicie, strumień powietrza nawiewanego niezbędny do zapewnienia jakości powietrza dla ludzi jednocześnie dostarcza bilansową ilość ciepła dla utrzymania komfortu cieplnego w sezonie grzewczym. Natomiast pierwsza koncepcja realizacji budynku pasywnego została opracowana pod koniec 1990 roku przez dr W. Feista w Instytucie Mieszkalnictwa i Środowiska (IWU) w Darmstadt – Niemcy, a pierwszy pasywny budynek mieszkalny został wybudowany w 1991 roku w Darmstadt [5].

Budynki pasywne wyróżnia pięć warunków, które powinny być spełnione:

- sezonowe zapotrzebowanie ciepła użytkowego dla ogrzewania – $\leq$15 kWh/m^{2}a,
- obliczeniowa moc cieplna układu ogrzewania – $\leq$10 W/m^2,
- zużycie energii pierwotnej dla wszystkich potrzeb – mniej niż 120 kWh/m^{2}a,
- zapewnienie komfortu cieplnego w lecie – przegrzanie powyżej 25°C, mniej niż 10% roku,
- bardzo dobra szczelność powietrzna obudowy budynku, potwierdzona testem Blower Door; $n_{50} \leq 0{,}6\ h^{-1}$.

Dodatkowo, wykorzystując odnawialne źródła energii, można jeszcze bardziej poprawić wskaźniki oceny opierając się na energii użytkowej lub pierwotnej, co prowadzi do budynku o standardzie niemal zero-energetycznym lub nawet plus energetycznym (nZEB, +ZEB). Rozwój tych budynków następuje od początku XXI wieku.

Ważne staną się nowe kierunki wiedzy, tj. klimatyka budynków oraz architechnologia. Będą to więc interdyscyplinarne dziedziny wiedzy, integrujące osiągnięcia nowoczesnej architektury, technologii budowlanej i techniki instalacyjnej z fizyką budowli, ekologią, klimatologią i ekonomią – tworzącą racjonalne podstawy systemowego projektowania obiektów, będących materialnym wyrazem realizacji idei zrównoważonego rozwoju. Będą to budynki zapewniające we wnętrzach komfort klimatyczny, przyjazne środowisku naturalnemu – a więc proekologiczne (green buildings), energooszczędne, a nawet „inteligentne" [10].

Prekursorskim opracowaniem tak ujętych zagadnień racjonalnego projektowania obiektów budowlanych i ich skupisk jest monografia Olgyaya wydana w Nowym Jorku w 1963 roku [15, 16]. Natomiast termin „architechnologia" (architechnology) został prawdopodobnie użyty po raz pierwszy w roku 1984 przez McIntyre'go i Sterling'a na konferencji w Sztokholmie. W ostatnim dwudziestoleciu literatura naświetlająca fizykalne podstawy projektowania budynków energooszczędnych, zrównoważonych ze środowiskiem znacznie się poszerzyła i wzbogaciła o cenne opracowania oryginalne. Na szczególną uwagę zasługują monografie Danielsa z roku 1997 i 1998 [4], Randalla z roku 2001 [18] oraz Hawkesa, McDonalda, Steemersa z 2002 roku [8], Laskowskiego (2005) [14] oraz Harvey'a [7] – systematyzujące aktualny stan wiedzy, wyznaczające kierunki rozwoju budynków w przyszłości i będące punktem wyjścia do dalszych rozważań i rozwoju.

2.2. Dyrektywy dotyczące budownictwa

Polityka prowadzona przez Unię Europejską po roku 2000 w zakresie budownictwa wyraźnie wskazuje kierunek przyszłościowy, który jest związany z promocją budynków neutralnych dla środowiska. Oznacza to, że budynki mają być tak zbudowane i eksploatowane, aby w minimalnym stopniu zużywały zasoby środowiska i zasoby paliw pierwotnych nieodnawialnych. W zakresie tym bardzo ważna jest dyrektywa UE

nr 2002/91/CE (+ 2010/31/EU), *w sprawie charakterystyki energetycznej budynków*, wprowadzona w Unii Europejskiej w 2002 roku i znowelizowana 19. maja 2010 r. [22].

Wersja przekształcona dyrektywy z 19 maja 2010 (2010/31/EU) wprowadza **budynki o niemal zerowym zużyciu energii (very low and close to zero energy buildings)**. Budynki takie charakteryzują się bardzo dobrą charakterystyką energetyczną, określoną na podstawie obliczonej (lub faktycznej zużytej) ilości energii w ciągu roku związanej z typowym użytkowaniem. Odzwierciedla ona zapotrzebowanie na energię dla ogrzewania i chłodzenia, wentylacji oraz zaspokojenia zaopatrzenia w ciepłą wodę. Niemal zerowa lub bardzo niska ilość wymaganej energii powinna pochodzić w bardzo wysokim stopniu z energii ze źródeł odnawialnych, w tym energii ze źródeł odnawialnych wytwarzanej na miejscu lub w pobliżu.

Ponadto ważny jest zapis (art. 9), że państwa członkowskie zapewnią, aby:

- po 31 grudnia 2020 r. wszystkie budynki nowe były budynkami o niemal zerowym zużyciu energii,
- po 31 grudnia 2018 r. wszystkie budynki nowe zajmowane przez władze publiczne oraz będące ich własnością były budynkami o niemal zerowym zużyciu energii.

2.3. Polityka energetyczna Polski w zakresie budownictwie

Polska wypełniając zobowiązania członkostwa w Unii Europejskiej dostosowała polskie przepisy prawne do wymagań dyrektywy w sprawie charakterystyki energetycznej budynków w wersji podstawowej z roku 2002 oraz w wersji przekształconej z roku 2010 [22]. Dotyczyło to zmian w ustawie – Prawo budowlane [24] oraz w przepisach szczegółowych zawartych w rozporządzeniach wykonawczych do ustawy.

Metoda przedstawiania energetycznych właściwości użytkowych i certyfikacji energetycznej budynków jest określona w normie PN EN 15217 i została wykorzystana w polskich przepisach szczegółowych.

W roku 2008 opublikowano trzy rozporządzenia wykonawcze Ministra ds. Budownictwa [26, 27, 28], związane w ustawą – Prawo budowlane [24].

Ponadto równolegle wprowadzona 5 kwietnia 2006 r. dyrektywa UE nr 2006/32/EC w sprawie efektywności użytkowania energii u odbiorcy końcowego i usług energetycznych oraz ustawa z 15 kwietnia 2011 r. o efektywności energetycznej są dopełnieniem kompleksowych działań legislacyjnych dla efektywności energetycznej w ogólności, a w budownictwie w szczególności [25].

2.4. Kryterium energetyczne w rozwoju budynków

Budynki energooszczędne pojawiły się w latach 1977-1980, pasywne w latach 1988--1991. Działania skoordynowane w zakresie budynków niemal zero-energetycznych nastąpiły dopiero w XXI wieku, a stosowne dyrektywy europejskie ukazały się w roku 2002. Oznacza to, że historia budynków efektywnych energetycznie jest bardzo krótka, biorąc pod uwagę historię budownictwa. Jednak z uwagi na wagę problemu dynamika zmian w tym zakresie jest już duża i aktualnie na rynku istnieją komponenty budowlane i materiały izolacyjne oraz systemy instalacyjne w zakresie HVAC, które pozwalają na budowę budynków niskoenergetycznych i pasywnych, czyli budynków o coraz mniejszym zużyciu energii w czasie ich eksploatacji. Oznacza to, że technicznie i technologicznie można już bez większego problemu zbudować każdy budynek o parametrach budynku niskoenergetycznego lub bardzo niskoenergetycznego. Koncepcja ogólna dla budynków przyszłości jest oparta na tych założenia, a plan wprowadzania budynków o małym zużyciu energii w wybranych krajach Unii Europejskiej pokazano w tabeli 1.

Tabela 1. Plan realizacji standardów budynków niskoenergetycznych w krajach UE

Kraj\Rok	2009	2010	2012	2013	2015	2017	2021
Dania		-25%[1)]			-50%[1)]		-75%[1)]
Niemcy	-30%[2)]		-30%[3)]				NFFB
Francja			LEB				E+
Holandia		-25%[1)]			-50%[1),4)]		ENB
Anglia		-25%[1)]		-44%[1),4)]		NZEB	
Polska				-5…17%[3)]		-23…35%[3)]	-41…52%[3)]

Oznaczenia: [1)] w odniesieniu do standardu z roku 2006; [2)] w odniesieniu do EnEV'02/07; [3)] w odniesieniu do poziomu z roku 2009; [4)] poziom domu pasywnego; NFFB – budynki bez zużycia paliw kopalnych do eksploatacji (Buildings to operate without fossil fuels); LEB – budynki niskoenergetyczne (Low Energy Buildings); E+ - budynki produkujące energię (Energy positive buildings); ENB – budynki neutralne energetycznie (Energy Neutral Buildings); NZEB - 0 emisji CO_2 netto dla ogrzewania, ciepłej wody, oświetlenia i wszystkich urządzeń domowych (0 net. CO_2, incl. heating, domestic hot water, lighting and all appliances)

Na potrzeby realizacji wymagań znowelizowanej dyrektywy o charakterystyce energetycznej budynków [23] wystarczy analizować następujące rodzaje budynków, ze względu na zapotrzebowanie na energię do ich eksploatacji:

– budynki spełniające minimalne wymagania energetyczne określone w przepisach krajowych – SEB (energy buildings regulation) – ustanowione w krajach europejskich w latach 2002-2008,
– budynki niskoenergetyczne – LEB (low energy buildings),
– budynki ultra-niskoenergetyczne (pasywne) – VLEB (very low energy buildings),
– budynki niemal zero energetyczne – nZEB (close to zero energy buildings, nearly zero energy buildings),
– budynki zero-energetyczne – ZEB oraz plus energetyczne – +ZEB.

Według powyższej klasyfikacji, budynki pasywne(PH) – to standard VLEP, a budynki niemal zero-energetyczne (nZEB) można określać następująco:

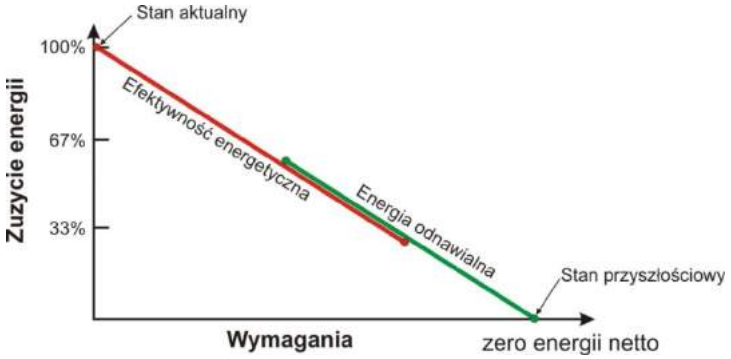
– okres przejściowy (nZEB = LEB + Energia odnawialna),
– docelowo – 2019/2021 (nZEB = VLEB + Energia odnawialna).

Technologie dla tego typu budynków zarówno dla małych domów mieszkalnych, jak również dla dużych budynków niemieszkalnych, wymagają projektowania i wykonawstwa zintegrowanego, wykorzystania pasywnego energii słońca, super okien, wysokiej szczelności powietrznej, bardzo dobrej izolacji termicznej i wyeliminowania mostków cieplnych, efektywnych systemów technicznego wyposażenia HVAC i odpowiednich algorytmów sterowania.

3. Budynki niemal zero-energetyczne jako rozwiązanie przyszłościowe

3.1. Definicja budynku niemal zero-energetycznego (nZEB)

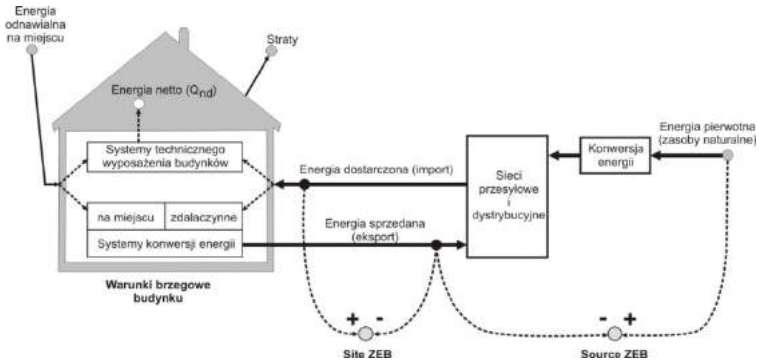
Znowelizowana dyrektywa o charakterystyce energetycznej budynków (EPBD) [22] definiuje ogólnie budynek o niemal zerowym zużyciu energii jako budynek o bardzo wysokiej efektywności energetycznej, jednak nie podaje żadnych minimalnych ani maksymalnych wartości zharmonizowanych wymagań. Od decyzji krajów członkowskich zależy jakie elementy będą uwzględnione. Dyrektywa wymaga jednak określenia przez kraje członkowskie wskaźnika zużywanej energii pierwotnej. Bardzo niskie lub niemal zerowe zapotrzebowanie energii powinno być pokryte w znacznym stopniu z odnawialnych źródeł energii lub z energii odnawialnej wytwarzanej na miejscu. Zasada ta graficznie została przedstawiona na rysunku 4.



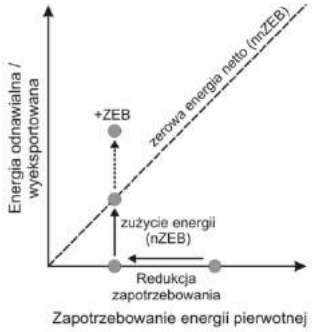
Rys. 4. Zasady dochodzenia do budynków niemal zero-energetycznych

Zgodnie z zawartą w dyrektywie regułą kosztów optymalnych, budynek niemal zero-energetyczny jest zdefiniowany jako budynek tak skonfigurowany, że wartość optymalna EP jest osiągana przy minimalnym koszcie globalnym, wyznaczonym w warunkach krajowych dla danej kategorii budynku.

Definicję budynku niemal zero-energetycznego można również odnieść do budynku **zero-energetycznego (ZEB)**. Budynek ZEB to budynek, w którym zużycie energii w ciągu roku przeliczonej na energię końcową (dostarczoną i sprzedaną) wyniesie zero (tzw. site ZEB), lub też w przeliczeniu na energię pierwotną (source ZEB) w ciągu roku wynosi 0 kWh/(m^{2}a) (rys. 5). Oznacza to, że budynek przez swoje niektóre systemy techniczne produkuje energię - wykorzystując zasoby energii odnawialnych, najczęściej w postaci ciepła i energii elektrycznej, która jest sprzedawana do sieci zewnętrznej. Saldo tych rozliczeń rocznych może być równe zero (**ZEB**), być mniejsze od zera (**nZEB**) lub być większe od zera **(+ZEB)** – rys. 6.



Rys. 5. Zasady bilansowania energii w budynku ZEB oraz nZEB



Rys. 6. Zasada bilansowania budynku nZEB, ZEB oraz +ZEB

W budynku **niemal zero-energetycznym (nZEB)** saldo rozliczeń rocznych energii pierwotnej dostarczonej i energii pierwotnej sprzedanej (wyeksportowanej), zgodnie z nowelizacją dyrektywy EPBD i normą PN-EN ISO 15603:2008 – jest dodatnie, czyli oznacza to, że budynek więcej zużywa energii niż sprzedaje.

W obliczeniach można wykorzystywać energię pierwotną lub emisję ditlenku węgla (CO_2) lub obydwa parametry jednocześnie. Dochodzenie do odpowiednich wartości wyróżniających budynki nZEB wymaga jednoczesnego działania na dwóch płaszczyznach (rys. 6):

- poprawa efektywności energetycznej budynku i technicznego wyposażenia,
- wprowadzenie energii odnawialnej.

Synergia tych dwóch działań pozwoli na uzyskanie odpowiednich efektów przyszłościowych, jednak wymaga to wprowadzenia projektowania zintegrowanego.

3.2. Metodyka obliczeń wg kosztu globalnego

Analiza zapotrzebowania energii użytkowej (EU), końcowej (EK) oraz pierwotnej (EP) dla poszczególnych kategorii budynków, wskazuje na potrzebę wyróżnienia pewnych grup budynków jako typowe i dla nich dokonuje się obliczeń ekonomicznych.

Określenie wartości EP_{max} następuje:

- według ram metodologii porównawczej do obliczania poziomu kosztu optymalnego minimalnych wymagań energetycznych dla budynków i elementów budynków (suplement do Dyrektywy 201/31/EU)
- na podstawie wymagań krajowych (koszty inwestycyjne i koszty eksploatacyjne, w tym ceny energii),
- z wykorzystaniem metody optymalnego kosztu globalnego (obliczenia dla okresu 20 lat dla budynków niemieszkalnych lub 30 lat dla budynków mieszkalnych),
- dla wybranych rodzajów budynków.

Koszty globalne budynków i ich elementów, w tym instalacji i źródeł energii, są obliczone jako zsumowanie początkowych kosztów inwestycyjnych oraz zdyskontowanych rocznych kosztów eksploatacyjnych (obejmujących koszty energii, utrzymania, operacyjne i ewentualnie dodatkowe) w okresie obliczeniowym.

Obowiązuje następujący wzór na koszty globalne (wg Suplementu do Dyrektywy 2010/31/EU oraz PN-EN 15459 Charakterystyka energetyczna budynków – Ekonomiczna ocena instalacji energetycznych budynków):

$$C_G(\tau) = C_i + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} \left(C_{a,i}(j) \times R_d(i) \right) - V_{f,\tau}(j) \right] \quad (1)$$

gdzie:

p – liczba lat eksploatacji budynku liczona od roku zerowego,
$C_G(t)$ – koszty globalne odniesione do roku początkowego t_o,
C_i – początkowe koszty inwestycyjne,
τ – okres obliczeniowy (30 lat w odniesieniu do budynków mieszkalnych i publicznych, 20 lat dla budynków niemieszkalnych o charakterze gospodarczym),
$C_{a,i}$ – roczne koszty eksploatacyjne w i-tym roku dla komponentów j (uwzględniające koszty bieżące, w tym koszty energii i periodyczne koszty likwidacji),
$R_d(i)$ – współczynnik dyskontowy dla roku i-tego,
$V_{f,t}(j)$ – końcowa wartość komponentu j na końcu obliczeniowego okresu (w odniesieniu do roku początkowego t_o); inaczej wartość rezydualna środka lub zestawu środków j na koniec okresu obliczeniowego (w odniesieniu do roku początkowego);

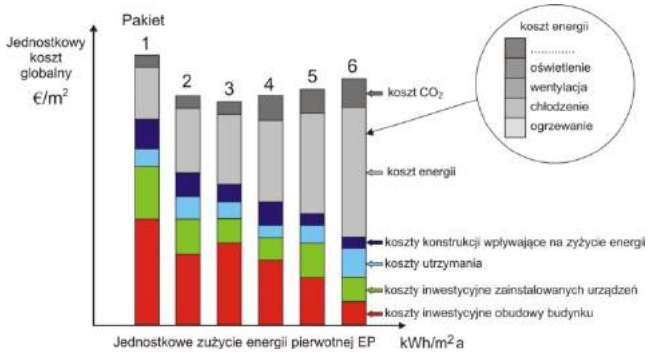
$$R_d(p) = \left(\frac{1}{1 + \frac{R_R}{100}} \right)^p \quad (2)$$

R_R – realna stopa procentowa z uwzględnieniem inflacji,
p – liczba lat eksploatacji budynku liczona od roku zerowego

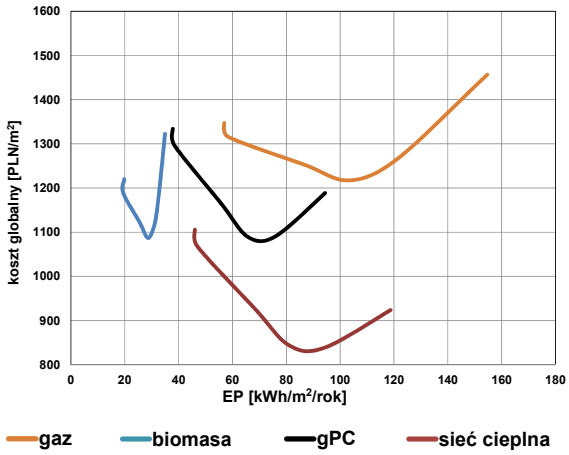
$$R_R = \frac{R - R_i}{1 + \frac{R_i}{100}} \quad (3)$$

R_i – stopa inflacji (1,2%),
R – rynkowa stopa procentowa (2,7%).

W wyniku obliczeń optymalnego kosztu globalnego dla danej kategorii budynków, przy określonych proporcjach kosztów materiałów i usług budowlanych oraz kosztów energii i obsługi – dla różnych standardów energetycznych budynków, pozwala na określenia minimalnego kosztu globalnego dla określonej wartości wskaźnika energii pierwotnej. Wartość ta jest przyjmowana jako standard EP_{max} dla **nZEB** (pakiet 3 na rys. 7). Wyniki przeprowadzonych obliczeń kosztu globalnego dla budynku jednorodzinnego i dla czterech źródeł energii przedstawiono na rys. 8. Najniższy koszt globalny uzyskano dla zasilania z sieci cieplnej (ciepło z kogeneracji) i odpowiada mu wartość EP = 88 kWh/m^{2}a.

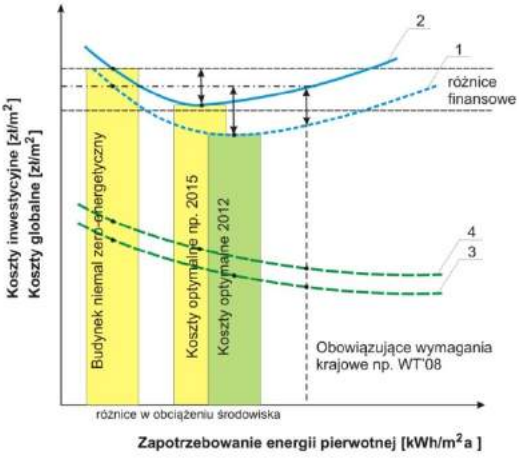


Rys. 7. Porównanie struktury jednostkowych kosztów globalnych w funkcji EP



Rys. 8. Analiza finansowa dla budynku jednorodzinnego – koszt globalny bez kosztów inwestycyjnych budowlanych (EP_{H+W} – przykład dla czterech źródeł energii – 2014)

Pokazane na rysunku 7 i 8 wartości EP dla kosztu globalnego dotyczą sytuacji ekonomicznej w okresie prowadzenia obliczeń. W przyszłości wartości te mogą się zmieniać, w szczególności będą obniżać się ceny technologii w zakresie energii odnawialnych, co pozwoli ewolucyjnie uzyskać standard docelowy budynku nZEB o wartościach EP zbliżonych do zera (rys. 9).



Rys. 9. Zasada dochodzenia do wartości docelowych wg optymalnych kosztów globalnych na tle kosztów inwestycyjnych: 1 – optymalny koszt globalny w roku np. 2012, 2 – optymalny koszt globalny w przyszłości np. w roku 2015, 3 – koszt inwestycyjny w roku np. 2012, 4 – koszt inwestycyjny w przyszłości np. w roku 2015

3.3. Wybrane parametry budynków nZEB

Wielkością podstawową w charakterystyce budynku jest zapotrzebowanie energii pierwotnej EP, jednak dla projektantów budynku ważne są współczynniki przenikania ciepła przegród zewnętrznych, które silnie wpływają na wartość energii użytkowej EU. Jednak na EU wpływa również w istotny sposób przepływ powietrza, zależny od

szczelności powietrznej i od układu wentylacyjnego, co nie zawsze jest doceniane. W budynkach nZEB jest to równie ważne, jak izolacyjność cieplna obudowy.

Obliczone wartości EP metodą kosztów globalnych dla wybranych kategorii budynków – zestawiono w tabeli 2. Wartości EP określone w warunkach technicznych z 2013 [26] należy uznać jako wartości maksymalne w latach 2017 i 2021, które powinny być w najbliższej przyszłości skorygowane, szczególnie wówczas, gdy obniżą się koszty technologii opartych o energię odnawialną (tab. 3).

Podobnie wyznaczone dla poziomu kosztów z lat 2013/14 - uśrednione współczynniki przenikania ciepła (U) przegród dla różnych materiałów izolacyjnych i różnych sposobów zaopatrzenia w energię zestawiono w tabeli 4, a w tabeli 5 wartości U podane w WT'13 [26].

Tabela 2. Obliczone wartości EP dla wybranych budynków – poziom kosztów 2013/14

Rodzaj budynku	EU_H [kWh/m^{2}a]	EP_H [kWh/m^{2}a]	EP_{H+W} [kWh/m^{2}a]
Budynek mieszkalny			
– jednorodzinny	66	83	97
– wielorodzinny	59	68	92
Budynek zamieszkania zbiorowego (hotel)	26	32	88
Budynek użyteczności publicznej (biurowy)	36	44	57
Budynek edukacyjny	39	47	71

Oznaczenia: H – ogrzewanie, W – ciepła woda;

Tabela 3. Maksymalne wartości EPH+W [kWh/m^{2}a] dla budynków różnych rodzajów wg WT'13 [26]

Rodzaj budynku	Od 01.2014	Od 01.2017	Od 01.2021*
Budynek mieszkalny			
– jednorodzinny	120	95	70
– wielorodzinny	105	85	65
Budynek zamieszkania zbiorowego	95	85	75
Budynek użyteczności publicznej	65	60	45
Budynek edukacyjny	39	47	71

Oznaczenia: H – ogrzewanie, W – ciepła woda; *od 01.2019 – w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością

Tabela 4. Obliczone średnie wartości U dla wybranych budynków – poziom kosztów 2013/14

Rodzaj budynku	SZ [kWh/m^{2}K]	STD [kWh/m^{2}K]	PG [kWh/m^{2}K]
Budynek mieszkalny			
– jednorodzinny	0,22	0,16	0,30
– wielorodzinny	0,24	0,16	0,30
Budynek zamieszkania zbiorowego (hotel)	0,25	0,16	0,30
Budynek użyteczności publicznej (biurowy)	0,25	0,16	0,30
Budynek edukacyjny	0,24	0,16	0,30

Oznaczenia: SZ – ściany zewnętrzne, STD – stropodach, PG – podłoga na gruncie;
Uwaga: okna we wszystkich przypadkach – U = 1,3 W/m^{2}K; szczelność powietrzna – n_{50} = 1,5 h^{-1}.

Tabeli 5. Wartości U_{max} [kWh/m^{2}K] dla przegród zmienne w czasie - wg WT'13 [26]

Rodzaj przegrody	2014	2017	2021
Ściana zewnętrzna	0,25	0,23	0,20
Stropodach/dach	0,20	0,18	0,15
Podłoga na gruncie	0,30	0,30	0,30
Okna	1,30	1,10	0,90

4. Uwagi końcowe

Wprowadzenie metodyki wyznaczania wartości maksymalnych EP opierając się na kosztach w obliczeniowym cyklu eksploatacji jest akceptowalnym narzędziem służącym do przekonania inwestorów do poprawy charakterystyki energetycznej i szybszego wdrażania budynków niskoenergetycznych, a w szczególności budynków nZEB. Oznacza to, że niskie koszty inwestycyjne nie mogą być kryterium oceny, a należy wprowadzić ocenę opłacalności opartą o koszty zdyskontowane inwestycyjne i eksploatacyjne. Powinno to być również uwzględniane w przetargach publicznych.

Poprawa standardów energetycznych budynków pozwala w szerszym stopniu zastosować efektywne technologie wykorzystujące energie odnawialne i związane z nimi rozwiązania oparte o energię odnawialną pozyskiwaną na miejscu. W ciągu najbliższych kilku lat budynki nZEB staną się standardem budownictwa w Unii Europejskiej.

Literatura

1. Attia S., 2010. Building Performance Simulation Tools: Selection Criteria and User Survey, Research Based Report, Universite Catolique de Louvain.
2. Clarke J., 2001. Energy Simulation in Building Design,.
3. Corgnati S.P., Fabrizio E., Filippi M., Monetti V., 2013. Reference buildings for cost optimal analysis: Method of definition and application. Applied Energy 102, 983-993.
4. Daniels K., 1998. Low-Tech, Light-Tech, Hight-Tech – Building in the Information Age. Birkhäuser, Basel.
5. Feist W., 1993. Passivhäuser in Mitteleuropa. Dissertation, Gesamthochschule Kassel.
6. Feist W., 1998. Das Niedrigenergiehaus. F.C. Müller Verlag Heidelberg.
7. Harvey L.D.D, 2006. A Handbook on Low-Energy Buildings and District-Energy Systems, Erthscan.
8. Hasting R., Wall M., 2007.Sustainable Solar Housing. Vol. 1 i 2. Earthscan London.
9. Hernandez P., Kenny P., 2010. From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). Energy and Buildings 42, 815-821.
10. Jansen R., 2004. Towards Energy Efficient Buildings in Europe. EuroACI London.
11. Kurnitzki J. i in., 2011. Jak zdefiniować budynek o niemal zerowym zużyciu energii? REHVA Journal 5 oraz Energia i Budynek 06(49) (opr. Panek A., tłum. Rucińska J.).
12. Kurnitzki J., 2011. How to calculate cost optimal nZEB energy performance? REHVA Journal 11.
13. Kurnitski J., Saari A., Kalamees T., Vuolle M., Niemela J., Tark T., 2011. Cost optimal and nearly zero (nZEB) energy performance calculations for residential buildings with REHVA definition for nZEB national implementation, Energy and Buildings 43, 3279-3288.
14. Laskowski L., 2005. Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku. Oficyna Wyd. Politechniki Warszawskiej.
15. Olgyay V., 1963. Design with Climate – Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. Van Nostrand-Reinhold. New York.
16. Olgyay V., Herdt J., 2004. The application of ecosystems services criteria for green building assessment. Solar Energy 77, 389-398.
17. Pikas E., Thalfeldt M., Kurnitski J., 2014. Cost optimal and nearly zero energy building solutions for office buildings, Energy and Buildings 74, 30-42.
18. Randall T. (ed.), 2001. Environmental Design – An Introduction for Architects and Engineers. Spon Press London.
19. Szczechowiak E., 2006.Efektywność energetyczna budynków. Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej. Budownictwo Lądowe LVIII, 25-44.
20. Szczechowiak E., 2008. Budynki energooszczędne i pasywne. Czysta Energia 3, 22-26.
21. Ziębik A., Hoinka K., 2013. Energy Systems of Complex Buildings. Springer Verlag London.

Dyrektywy, ustawy, rozporządzenia:

22. Directive 2002/91/CE of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings. (Official Journal EU. L 1 of 4.01.2003 + wersja przekształcona 210/31/EU z dnia 19 maja 2010 r.).
23. Directive 2006/32/EC of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on energy end use efficiency and energy services and repealing Council Directive 93/76/EEC (Official Journal EU L 114 of 27.4.2006).
24. Ustawa z dnia 19 września 2007 r. o zmianie ustawy – Prawo budowlane (Dz. U. nr 191, poz. 1373 z późn. zm.)
25. Ustawa o efektywności energetycznej z 15 kwietnia 2011 r. (Dz.U. nr 94/2011).
26. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6. listopada 2008 zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jaki powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. Nr 201 poz. 1238 z późn. zm.)
27. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6. listopada 2008 zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego (Dz.U. Nr 201 poz. 1239)
28. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6. listopada 2008 w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej (Dz.U. Nr 201 poz. 1240 z późn. zm.)

Nearly zero energy buildings parameters in polish conditions

Edward Szczechowiak

Faculty of Civil and Environmental Engineering, Poznan University of Technology,
e-mail: edward.szczechowiak@put.poznan.pl

Abstract: In this paper presents directions of development of low energy buildings, taking into account the multiple factors occurring in Poland. The Energy Performance of Building Directive (EPBD recast, 2010/31/EU) requires Member States to define minimum requirements of energy performance of buildings and buildings components and to introduce nearly zero-energy building (nZEB) in the years 2019/2021. The value of EP minimum requirements for nZEB determined based on the level of cost optimal – the designated national conditions. Taking this into consideration specified ranges of changes in energy parameters for the selected category of buildings.

Keywords: nearly zero-energy buildings, cost-optimal level in live cycle, need energy, primary energy

UWARUNKOWANIA URBANISTYCZNO-ARCHITEKTONICZNE BUDOWNICTWA ENERGOOSZCZĘDNEGO

Energooszczędność procesów rozwoju miasta i jego struktur

Andrzej Baranowski

Wydział Architektury, Politechnika Gdańska,
e-mail: baranowskiandrzej1@gmail.com

Streszczenie: Wyzwaniem dla najbardziej energochłonnej struktury osadniczej, jaką stanowi miasto jest zmniejszenie zużycia energii i zwiększenie w nim udziału energii ze źródeł odnawialnych. Wymaga to wprowadzenia koncepcji zrównoważonego rozwoju jako podstawy planowania i projektowania struktur oraz procesów miejskich. Ich planowanie wymaga harmonizowania środowiskowych, ekonomicznych i społeczno-kulturowych celów zrównoważonego rozwoju. Pod względem przestrzenno-technicznym oznacza to odejście od koncepcji miasta strefowego i rozproszonego na rzecz modelu miasta zwartego i wielofunkcyjnego. Pod względem społeczno-kulturowym niezbędna jest zmiana świadomości ekologicznej i wzorców zachowań mieszkańców i samorządu oraz zmiana systemu zarządzania miastem.

Słowa kluczowe: miasto zrównoważone, miasto inteligentne, miasto energooszczędne, energooszczędne gospodarstwo domowe, ślad ekologiczny.

1. Wprowadzenie

Paradygmat cywilizacji industrialnej oparty na wierze w niewyczerpywalność zasobów naszej planety, uległ załamaniu. Wyścig o wzrost gospodarczy był dotąd możliwy dzięki postępowi technicznemu akceptującemu rabunkową gospodarkę tymi zasobami. Rosnąca świadomość tego dramatycznego zagrożenia egzystencjalnego i krytyka dotychczasowej cywilizacji zaowocowały pojawieniem się paradygmatu zrównoważonego rozwoju, który miałby zapewnić harmonizowanie środowiskowych, społecznych i ekonomicznych celów rozwoju. Zrównoważony rozwój został zdefiniowany jako "rozwój zdolny do zaspokojenia potrzeb współczesnych w sposób nie naruszający możliwości zaspokojenia potrzeb przyszłych pokoleń" [1]. Jego zasady, to: poszanowanie zasobów, harmonizowanie środowiskowych, społecznych i ekonomicznych celów rozwoju oraz długookresowe podejście do planowania procesów rozwoju [2].

Postulat oszczędzania energii nie wymaga już dziś uzasadnienia; problemem nie jest pytanie, czy należy energię oszczędzać, lecz jak ją oszczędzać najskuteczniej. Sposoby organizacji struktur i form użytkowania przestrzeni życiowej człowieka oraz zarządzania nimi są dziś oceniane nie tylko z punktu widzenia jakości życia mieszkańców ale także na podstawie kryterium energooszczędności; te dwa hasła, *quality of life oraz zero carbon emission*, wyznaczają dziś kierunki kształtowania siedlisk ludzkich [3].

Zrównoważony rozwój jest błędnie interpretowany jako sposób poszukiwania równowagi pomiędzy mniej lub bardziej sprzecznymi partykularnymi celami różnych instytucji, organizacji i grup społecznych. Termin s*ustainability* nie oznacza jednak równowagi interesów, lecz długookresowe harmonizowanie celów rozwoju, a także trwałość i odporność na zakłócenia tych celów [2]. Metodologicznym *novum* koncepcji zrównoważonego rozwoju jest odejście od cząstkowego, sektorowego podejścia do problemów środowiskowych i ich hierarchizowania, na rzecz ujęcia całościowego, charakteryzującego się podejściem siecio-

wym, tzw. *nexus approach* [4], integrującym różne cele rozwoju i strategie ich osiągania. Miarą stopnia zrównoważenia triady celów środowiskowych, ekonomicznych i społeczno-kulturowych jest jego wynik końcowy, często określany terminem formuły *Triple Bottom Line,* lub *3P (people, planet, profits)* [5]. Koncepcja zrównoważonego rozwoju staje się całościową strategią kojarzenia ekonomicznych, społecznych i środowiskowych celów rozwoju [6].

Energooszczędność nie jest jedynie zadaniem technologicznym, jest także – a nawet przede wszystkim – wyzwaniem społeczno-kulturowym i ekonomicznym. Zużycie energii w poszczególnych sektorach działalności człowieka zmienia się. Jeszcze kilkanaście lat temu największym konsumentem energii był przemysł, dziś staje się nim mieszkalnictwo [7]. Problemem o charakterze cywilizacyjnym i kulturowym jest rosnąca mobilność mieszkańców. Jej źródłem są wzorce cywilizacyjne i kulturowe, traktujące zakupy i podróże jako miarę jakości życia.

Koncepcja zrównoważonego rozwoju została uznana przez międzynarodowe organizacje rządowe, naukowe i społeczne w licznych dokumentach i deklaracjach za intelektualną i etyczną podstawę formułowania strategii i programów operacyjnych zrównoważonych miast, osiedli i siedlisk; kryterium energooszczędności jest ich częścią.

2. Energooszczędne miasto

Miasto jest najbardziej energochłonną strukturą osadniczą. Równocześnie w skali globalnej rośnie udział mieszkańców miast w zaludnieniu Ziemi. Według danych ONZ w roku 2050 ok. 70% ludności świata (6 miliardów) żyć będzie w miastach; zarazem 80% światowego dochodu wytwarzane jest w miastach [8]. Światowa konsumpcja zasobów również skoncentrowana jest w miastach. W 2005 r. gospodarka światowa zużyła 60 miliardów ton zasobów i 500 eksadżuli energii; około 75% tych globalnych przepływów materiałowych i energetycznych było pochłanianych przez miasta [9]. Miasta pochłaniają 75% całkowitego zużycia energii w Europie. Jest oczywiste, że przyszłość miast stała się kluczowym problemem dyskusji o przyszłości naszej cywilizacji.

Do niedawna dyskusja nad przyszłością miast zogniskowana była na ich strukturze, jej gęstości, strefowaniu przestrzeni i podziale na funkcje. Taka wizja organizacji miasta nie sprawdziła się. Model miasta strefowego, sektorowego, podzielonego na dzielnice mieszkaniowe, przemysłowe i biurowo-handlowo-usługowe, okazał się strukturą zasobo- i energochłonną, wymuszającą nadmierne potrzeby transportowe.

Miasto jest nie tylko strukturą, ale i procesem. Jest sposobem życia w wymiarze społecznym i jednostkowym, zorganizowanym w postaci struktur przestrzennych środowiska zbudowanego i naturalnego. Idea miasta energooszczędnego nie może jednak ograniczać się do jego sfery przestrzenno-technicznej i do odpowiedniego projektowania jego struktur. Niemniej ważnym wyzwaniem okazuje się projektowanie procesów funkcjonowania miasta. Tu zaś istotnym czynnikami stają się sfera społeczno-kulturowa, a zwłaszcza organizacja i funkcjonowanie miejskiej społeczności, świadomość i wzorce zachowań mieszkańców i wreszcie sposób zarządzania (*Urban Governance*) [10]. Przez analogię do ekosystemów przyrodniczych miasto interpretowane jest jako swoisty ekosystem miejski, badany i kształtowany pod kątem sterowania przepływami zasobów i energii (*guiding natural energy flows*) [11].

Tabela 1. Struktura zużycia energii w miastach niemieckich w 2005 r. [7]

Sektory	%
gospodarstwa domowe	28,8
transport	28,7
przemysł	26,8
biznes, handel i usługi	15,7

Tabela 2. Struktura celów podróży w miastach niemieckich w 2005 r. [7]

Funkcje	%
praca	15
edukacja	6
biznes	8
dostawy i odbiory	9
prywatne	12
zakupy	19
wypoczynek	31

Nie istnieje uniwersalny model zrównoważonego miasta. Różnorodność struktur i procesów miejskich wymusza indywidualne traktowanie każdego przypadku; można tu jedynie wyodrębnić pewne kierunki poszukiwań. Zakwestionowany został transportochłonny model miasta rozproszonego; w opozycji do niego postulowane jest planowanie miasta zwartego, opartego na transporcie zbiorowym; jego mutacją jest koncepcja 'miasta małych odległości'.

W opozycji do miasta strefowego pojawia się koncepcja miasta wielofunkcyjnego, w którym sterowanie rozmieszczeniem miejsc zamieszkania, miejsc pracy i usług ma zmniejszyć potrzeby transportowe. Równocześnie skupianie celów podróży (*clustering trip ends*) może zapobiegać nadmiernej mobilności mieszkańców.

Nowością jest koncepcja inteligentnej urbanistyki i miasta inteligentnego (*smart urbanism, smart city*). Jej podstawą jest informatyczne monitorowanie procesów miejskich, umożliwiające rejestrację, kontrolę i sterowanie nimi dla zwiększenia efektywności infrastruktury miejskiej. Jest to swoiste sprzężenie technologii informacji z różnymi aspektami zarządzania miastem, infrastrukturą, usługami i doświadczeniem społecznym [9].

Zrównoważony rozwój nie jest możliwy bez kształtowania przyjaznej środowisku świadomości obywateli. Świadomość ta jest niezbędna dla skutecznego zarządzania miastem opartego na uczestnictwie. Przykładem jest Kalundborg (*Kalundborg Smart City*): samorządowe władze miasta promują koalicje przemysłu i osób prywatnych na rzecz tworzenia modeli danych wspomagających inicjatywy na rzecz gospodarowania energią i zamkniętego obiegu zasobów 'od kołyski do trumny' (*from cradle to coffin*) [9, 12]. Inny przykład, to Amsterdam (*Amsterdam Smart City*); 80 partnerów zrzeszających uczelnie, przedsiębiorstwa i służby miejskie, uczelnie i stowarzyszenia wspólnotowe testuje nowe technologie mające zaangażować mieszkańców w tworzeniu *low-carbon city* – miasta niskiej emisji węglowej [9].

Istnieją dwa podejścia do gospodarowania zasobami w mieście [8]. Pierwsze, to *Material Flow Accounting* (MFA), drugie to *Transition Analysis* (TA). W pierwszym przypadku przedmiotem badań jest przewidywanie i kalkulowanie przepływu zasobów, w drugim – zogniskowanie uwagi na powiązaniach systemów infrastruktury miejskiej (energia, woda, odpady itp.) w kontekście kulturowych, społecznych i etycznych uwarunkowań. Istotne jest to, że w przypadku miasta trzeba rozróżniać bezpośrednie i pośrednie przepływy zasobów, których źródła są wewnątrz miasta, lub poza miastem, w jego otoczeniu [9]. „Industrialni ekolodzy" zajmują się pomiarami przepływów, urbaniści są bardziej zainteresowani sposo-

bami zarządzania tymi współzależnymi przepływami materioenergetycznymi w systemach miejskich; te dwa podejścia powinny się dopełniać.

3. Dzielnica, wspólnota, osiedle

W życiu codziennym trudno jest uzmysłowić sobie skalę wpływu codziennych zachowań zwykłych użytkowników środowiska na jego stan globalny. Próbą całościowego pomiaru skumulowanego oddziaływania na środowisko jest koncepcja śladu ekologicznego (*ecological footprint*). Około 12 miliardów hektarów naszego globu to biologicznie czynna powierzchnia lądów i mórz – uprawy, pastwiska, lasy i strefy brzegowe; reszta jest względnie mało produktywna i są to pustynie, lodowce, tereny górskie i głębie oceaniczne. Dzieląc czynną powierzchnię przez liczbę mieszkańców globu (np ok. 7 miliardów), otrzymujemy bieżące obciążenie środowiskowe przypadające na osobę; jest to miarodajny, właściwy ślad dla zrównoważonego życia na tym globie. "Niski" ślad, to ok. 2 ha na osobę [3].

Koncepcja zrównoważonego rozwoju ewoluuje od programu odgórnego zarządzania miastem do procesu budowy świadomych społeczności miejskich, współdecydujacych o programach kształtowania miasta zrównoważonego. Oznacza to potrzebę zwiększania samodzielności dzielnic, osiedli i zamieszkujących je wspólnot i zarazem odejście od jednej uniwersalnej strategii zrównoważonego rozwoju na rzecz elastycznych lokalnych strategii oszczędzania zasobów i energii, dostosowanych do specyfiki poszczególnych struktur przestrzennych miasta (competing sustainability pathways) [6]. Zwiększanie samodzielności dzielnic i osiedli sprzyja zmniejszaniu potrzeb transportowych.

Przykładem poszukiwań zintegrowanego przepływu energii, wody i materiałów w osiedlu mieszkaniowym jest zrealizowane w Londynie osiedle mieszkaniowe Bed ZED, którego istotą jest zapewnienie śladu ekologicznego na poziomie 2 ha na osobę poprzez koncepcję zamkniętych cykli materiałowo-energetycznych (mała energetyka: ogniwa fotowoltaiczne, kolektory słoneczne, rekuperacja, analiza cyklu życiowego materiałów, kotłownia spalająca zrębki z plantacji wierzby), wodno-ściekowych (wykorzystanie wody opadowej, dualna instalacja wodno-kanalizacyjna, hydrobiologiczna oczyszczalnia ścieków z plantacją wierzby 'energetycznej'. W strukturze osiedla przewidziano także zwiększony udział powierzchni przeznaczonych na miejsca pracy, mający zredukować rozmiary dojazdów do pracy [3].

W 2011 r. Komisja Europejska zainicjowała program "Inicjatywa inteligentnych miast i społeczności", wykorzystujący doświadczenia wcześniejszego programu Sustainable Energy Communities "CONCERTO". Program wspiera wybraną grupę pionierskich miast z kilku krajów, które wraz ze współpracującymi z nimi sektorami przemysłu, nauki i biznesu wypracowują inteligentne rozwiązania, które mogłyby zostać skopiowane w innych miastach europejskich. Rozwiązania te powinny integrować wszystkich uczestników procesu planowania i jego implementacji. Dotychczasowe wyniki wskazują, że 58 społeczności w 23 krajach Unii jest w stanie zmniejszyć emisję CO_2 o 50% [10].

4. Budynek i gospodarstwo domowe

Projektowanie i realizacja tzw. ekologicznych budynków z uwzględnieniem odnawialnych źródeł energii, domów pasywnych, domów zero-energetycznych z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii ma już kilkudziesięcioletnią tradycję i jest stosunkowo najbardziej rozwiniętą dziedziną kształtowania środowiska zbudowanego.

W ich projektowaniu uwzględnia się warunki lokalizacyjne i lokalny klimat [13, 14].

Coraz większego znaczenia w projektowaniu nabiera kryterium oceny cyklu życiowego (*life cycle assessment*) budynku i zespołów zabudowy. Kryterium to rozpatruje struk-

tury miejskie w kategoriach procesu ich powstawania, funkcjonowania, odnowy i rozbiórki; elementem tej oceny jest udział energii wbudowanej (*embodied energy*). Rozbiórka budynku, to nie tylko kwestia odzysku materiałów; przed zespołem projektowym pojawia się wyzwanie uwzględnienia przyszłej rozbiórki (*design for disassembly*) i przygotowania terenu do innej formy użytkowania.

Przyszłością przyjaznego środowisku projektowania jest zwrócenie uwagi na użytkowników. W kształtowaniu świadomości środowiskowej i wzorców zachowań mieszkańców i użytkowników upatruje się dalszej, znaczącej redukcji zużycia zasobów, w tym energii. Na szczególną uwagę zasługuje tu gospodarstwo domowe – elementarna jednostka struktury społecznej miasta. Przykładem tegokierunku działania jest koncepcja *2000-Watt-Society* została opracowana w ramach programu *Novatlantis – Sustainability* w Basel w Szwajcarii [11]. Przedstawia ona projekt zmniejszenia zużycia energii *per capita* w gospodarstwie domowym na przykładzie czteroosobowej rodziny szwajcarskiej oraz niezbędne działania, jakie dla osiągnięcia założonego celu należy podjąć. Dotyczą one nie tylko warstwy technicznej ale przede wszystkim edukacji społeczno-kulturowej uczącej zmiany codziennych i sezonowych zachowań.

Tabela 3. Koncepcja redukcji zużycia energii w szwajcarskim gospodarstwie domowym wg projektu 2000-Watt-Society [11]

Sektory	2008	2000-Watt Society
Mieszkanie i praca	1900	470
Spożycie i zakupy konsumpcyjne	1440	520
Infrastruktura	1140	360
Zużycie energii elektrycznej	730	220
Mobilność (samochód)	610	150
Mobilność (samolot)	290	190
Mobilność (transport publiczny)	180	100
Razem	6290 W	2010 W

Koncepcja ta wskazała na istotną rolę dwóch czynników wpływających na bilans energetyczny gospodarstwa domowego. Pierwszy z nich, to jakość techniczna mieszkania i budynku, drugi dotyczy mobilności mieszkańców, a więc ich wyboru sposobu życia.

5. Zakończenie

Bilans energetyczny miasta nie jest prostą sumą bilansów gospodarstw domowych, budynków i transportu. Szczególnie niedoceniany i słabo rozpoznany pozostaje aspekt społeczny i kulturowy tego bilansu – a szerzej – procesu. Szczególnego znaczenia nabiera dzisiaj społeczny aspekt kwestii jakości życia: postulat kształtowania środowiskowej i obywatelskiej świadomości mieszkańców, mający na celu ich upodmiotowienie, które jest warunkiem uczestnictwa w zarządzaniu miastem, osiedlem, wspólnotą. Złożoność procesów funkcjonowania miasta zmusza także do zmiany koncepcji zarządzania tak skomplikowanym organizmem. W miejsce wielopoziomowej hierarchicznej struktury zarządzania strukturą miasta pojawia się koncepcja sieci – struktury poziomej (*nexus approach*). Jest ona propozycją integracji międzysektorowej w osiąganiu celów zrównoważonego rozwoju i polega na identyfikacji elementów sieci, współzależnych zjawisk i ustaleniu problemów węzłowych.

W poszukiwaniach miasta zrównoważonego pojawia się nurt projektowania idealnych miast przyszłości. Ich projekty budzą tyleż zachwytów nad niezwykłością rozwiązań prze-

strzennych i technologicznych, ile wątpliwości co do ich koncepcji społecznych i proekologicznych. Miasta przyszłości nie zwolnią nas od troski o przyszłość miast.

Literatura

1. Our Common Future, 1987. World Commission on Environment and Development, Oxford University Press.
2. Baranowski A. 1998. Projektowanie zrównoważone w architekturze. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.
3. Dunster B., Simmons C., Gilbert B., 2008. The ZED Book. Solutions for a shrinking world. Taylor & Francis.
4. Weitz N., Nilsson M., Davis M., 2014. A Nexus Approach to the Post-2015 Agenda. John Hopkins University Press.
5. Slaper T., Hall T., 2011. The Triple Bottom Line: What Is It and How Does It Work?. Indiana Business Review.
6. Newton P., 2001. Urban Form and Environmental Performance [w:] Achieving Sustainable Urban Form. Spon Press.
7. Hegger M., Fuchs M., Stark T., Zeumer M., 2007. Energy Manual; Sustainable Architecture. Birkhäuser Edition Detail.
8. Hodson M., Marvin S., Robinson B., Swilling M., 2014. Urban Dematerialization and Transitions Analysis. [In:] After Sustainable Cities? Routledge, 59-73.
9. Luque A., McFarlane C., Marvin S., 2014. Smart Urbanism [In:] After Sustainable Cities? Routledge, 74-90.
10. Urban Governance in the EU. Current challenges and Future Prospects. European Union Committee of the Regions 2011.
11. Baccini P., 2012. Designing urban systems: ecological strategies with stocks and flows of energy and material. [In:] Applied Urban Ecology; a Global Framework. Wiley-Blackwell, 54-65.
12. McDonough W., Braungart M., 2002. Cradle to Cradle. North Point Press.
13. Zielonko-Jung K., 2013. Kształtowanie przestrzenne architektury ekologicznej w strukturze miasta, Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
14. Majerska-Pałubicka B., 2014. Zintegrowane projektowanie architektoniczne w kontekście zrównoważonego rozwoju. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice.

Energy saving in the urban development processes and structures

Andrzej Baranowski

Faculty of Architecture, Gdańsk University of Technology,
e-mail: baranowskiandrzej1@gmail.com

Abstract: The challenge for the most energy intensive settlement system, that is the city, is the demand for reducing energy consumption and increasing the use of renewable energy. It is essential that the concept of sustainable development becomes the basis for planning urban processes and structures. The precondition for harmonizing environmental, economic and socio-cultural goals of the sustainable development is to apply the environment-friendly approach in urban planning. In spatial and technical terms it implies the shift from the concept of dispersed city to the idea of compact city. In socio-cultural terms it is crucial to change environmental awareness and standards of behaviour of the urbanites, local governments and urban governance systems.

Keywords: sustainable city, smart city, energy-saving city, energy-saving households, ecological footprint

Quo vadimus?
Fragmentacja a integracja myślenia o zrównoważonym środowisku zurbanizowanym

Robert Barełkowski

Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska,
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy,
e-mail: robert@armageddon.com.pl

Streszczenie: W swej działalności człowiek wielokrotnie dowodzi, że choć uważa własne decyzje za wynik racjonalnego rozumowania, podejmuje je w imię idei, które są niesprawdzone i których implementacja przynosi owoce złe obok tych dobrych. W pracy autor podejmuje próbę przyjrzenia się powiązanym ze sobą elementom obrazu energooszczędności jako trendu współcześnie standaryzowanego i narzucanego w formie regulacji prawnych. Rozważania mają na celu zapoczątkowanie dyskusji, czy wyznaczone cele są pryncypialne i czy powinny podlegać rewizji. Czy zasady oszczędzania energii są skonstruowane prawidłowo, czy są adekwatne do rozwoju cywilizacyjnego, czy też są produktem innych oddziaływań, niekoniecznie. przynosząc korzystne rezultaty. Konkluzją jest poszukiwanie propozycji rozwiązań systemowych, pozwalających usprawnić funkcjonowanie mechanizmów oszczędzania energii.

Słowa kluczowe: energooszczędność, rozwój zrównoważony, techniki oszczędzania energii.

Zrównoważony rozwój i energooszczędność to dwa ważne hasła pojawiające się w odniesieniu do kształtowania środowiska zurbanizowanego. Jakkolwiek zasady zrównoważonego rozwoju i towarzysząca im filozofia odwołują się do złożonego paradygmatu, a energooszczędność jest elementem pragmatycznej implementacji fragmentu koncepcji owego rozwoju, niekiedy nawet niekoniecznie zbieżnej, to obydwa pojęcia muszą być rozumiane jako definiujące nie tylko ideę i jej implementację, ale cel, kryteria i środki do ich osiągnięcia. Niewątpliwe są dwa podłoża formowania pojęć – klimatyczne i ekonomiczne. Implikacje, wynikające z wprowadzenia postulatów zrównoważonego rozwoju czy energooszczędności są na tyle głębokie, że skłaniają do przyjrzenia się, w jaki sposób realizowane są i na ile skutecznie tworzone elementy systemu odpowiedzialnego za to, aby sieć czynników umożliwiających racjonalne spożytkowanie dorobku myśli urbanistycznej, architektonicznej, inżynierskiej mogła działać prawidłowo. Z konieczności analiza zjawiska nie może być przedstawiona w formie całościowej, zamiast tego warto przyjrzeć się wybranym elementom panoramy problemowej, elementom, które w moim przekonaniu powinny być traktowane jako jeden z punktów wyjścia do dyskursu o tym, nie tylko jakie standardy realizowane są w ramach nurtu oszczędnościowego, nie tylko jakie cele są realizowane, ale czy cele te i środki określono w sposób prawidłowy oraz czy zarysowano prawidłowo pryncypia systemu standaryzującego postępowanie w budownictwie, architekturze i urbanistyce.

Szeroka perspektywa jest tu konieczna, aby dostrzec cały system odpowiadający za wdrażanie zrównoważonego rozwoju i energooszczędności. Oczywiście nie sposób skupić wzroku na wszystkim równocześnie, chodzi raczej o zdolność do diagnozowania nieoczekiwanych a rzeczywistych związków między zjawiskami determinującymi funkcjonowanie

społeczeństw, przestrzeni zurbanizowanej. Choć przegląd rozpocznę od wejrzenia w detaliczne kwestie, podejmę próbę pokazania luk systemu, miejsc wątpliwych, nieugruntowanych empirycznie, które odniosę z konieczności do postulatów zdających się być naprawczymi. Taka intencja – zalążka dyskursu – przyświeca sformułowaniu poniżej opisanych wniosków. Od polityki przestrzennej przez planowanie regionalne, planowanie miejscowe, po projektowanie jednostkowych obiektów – widać potrzebę spojrzenia w taki sposób, aby konstruować zintegrowany system w opozycji do poddanych fragmentacji marketingowych konstruktów, przyziemnie zorientowanych na nieodległym zysku, zamiast na dalekosiężnej prewencji chroniącej przed skutkami anonsowanych zmian klimatycznych, które wywoływać ma według tych zapowiedzi człowiek.

Concordia parvae res crescunt, discordia maximae dilabuntur.[1]
Dzięki zgodzie małe rzeczy rosną, przez niezgodę – wielkie upadają.
Gaius Salustius Crispus

Sentencja Salustiusza posłużyła w historii za ilustrację wielu zjawisk zarówno dotyczących sfery politycznej, jak i społecznej czy – w trawestacji – środowiskowej, kulturowej. Zgodę (a zatem i niezgodę) należy rozumieć szeroko jako zdolność wypracowania współzależnych mechanizmów składowych, wypełniających system koherentnymi działaniami. System, o ile ma działać prawidłowo, wymaga zgodności komponentów – nie wystarczy perspektywiczne, pozornie wszechogarniające spojrzenie. Problematyka środowiskowego oddziaływania przestrzeni zurbanizowanej zarówno w skali planistycznej, urbanistycznej czy architektonicznej jest strukturą działającą wielokierunkowo, w systemie organizacji top-down, naturalnie wyrażającym władzę administracji, porządek prawny, wszelkie odgórnie egzekwowane reguły, ale i bottom-up, w którym ludzie osobiście angażują się jako indywidualne osoby lub grupy, aby osiągnąć określone cele. Jest systemem naczyń połączonych, wrażliwym i transmitującym wpływy z jednej dyscypliny na obszar innej dyscypliny, stąd działanie przekraczające barierę określonego obszaru problemowego jest tak wielowątkowe. Wrażliwość związana jest z niezwykle trudnym do osiągnięcia ekwilibrium, ze sprzężeniami zwrotnymi, które pozorne zwycięstwo na jednym polu łatwo mogą zamienić na klęskę lub klęski na innych polach.

Drobiazgi, widziane z oddali jako komponenty całości, trzeba konstruować jako elementy większej machiny jako narzędzie do realizacji celów spójnych, skoordynowanych z innymi, niekoniecznie wyznaczającymi zbieżne, styczne trajektorie. Cele klimatyczne niekoniecznie oznaczają komfort człowieka i jest to do pewnego stopnia akceptowalne tak długo, jak równocześnie nie oznaczają na przykład rujnowania jakości środowiska zbudowanego czy rujnowania dorobku dziejowego przez negatywny wpływ na historyczną substancję.

Gospodarowanie energią w skali mikro – w skali pojedynczego gospodarstwa domowego, jest obszarem bezpośredniego zetknięcia się każdego użytkownika przestrzeni z problematyką energooszczędności. Oszczędzanie energii będzie zatem wyrażać dążenie do zminimalizowania poboru energii lub zminimalizowania jej strat i wskazywać będzie poprawę takiego bilansu z punktu widzenia końcowego użytkownika. Pojęcie energooszczędności jest jednak silnie niezdefiniowane, obciąża bowiem użytkownika konsekwencjami funkcjonowania złożonego systemu – producentów, zarządców sieci przesyłowych,

[1] Gaius Salustius Crispus, *De coniuratione Catilinae. Bellum Jugurthinum* (*Wojna z Jugurthą*), X. Inne tłumaczenie, na które można natrafić w polskiej literaturze to: "Niewielkie społeczności rozwijają się w harmonii, wielkie społeczeństwa rozpadają się przez niezgodę."

lokalnych sprzedawców, systemu prawnego i finansowych uwarunkowań determinujących opłacalność funkcjonowania domostwa wraz ze wszystkimi urządzeniami w nim działającymi. Co więcej, pojęcie energooszczędności ma immanentnie wpisany predykat wskazujący na istnienie punktu odniesienia, czegoś, co pozwala na wskazanie, że energia układu została zaoszczędzona, że w danej sytuacji przestrzennej element środowiska zbudowanego zmniejsza zużycie energii w stosunku do jednostki czasu.

Czym jest energooszczędność dla przeciętnego użytkownika? Potrzebna jest tu definicja aplikacyjna, niezdatna do stosowania w sposób ścisły, raczej utylitarny. Związana jest ze społeczno-gospodarczym aspektem funkcjonowania człowieka w zbiorowości i w kontekście procesów organizujących naszą cywilizację. Energooszczędność to zatem całokształt czynności, działań podejmowanych przez człowieka w celu uzyskania zmniejszenia zużycia energii w stosunku do jednostki czasu, a w ujęciu dotyczącym przestrzeni zbudowanej do uzyskania zmniejszenia zużycia energii obiektów i urządzeń trwale przypisanych do konkretnej lokalizacji, względnie cecha obiektu wyrażająca wynik tych działań. Ostatecznym wyznacznikiem staje się bilans energetyczny obiektu. Jednak bilans tylko w pośredni sposób kształtuje prawdziwą oszczędność energii. Oszczędność energii, z punktu widzenia końcowego użytkownika, nie jest bowiem i nie powinna być celem samym w sobie, a zmienność cen energii i monopolistyczna pozycja tych, którzy tę energię oferują na rynku źródeł najbardziej popularnych (energia elektryczna w zasilaniu, gaz ziemny w ogrzewnictwie) czynią jakiekolwiek kalkulacje niepewnymi, uzależnionymi od czynników nie mających nic wspólnego z parametrami budynku – regulowaną ceną energii, regulacjami nadrzędnymi w zakresie stymulowania jednych, a wygaszania innych sektorów rynku energetycznego, polityką energetyczną jako wypadkową określonych wpływów i pryncypiów gospodarczych konkurujących ze sobą podmiotów i państw.

Jakkolwiek mowa tu o rozszerzeniu problematyki budowlanej i architektonicznej o kontekst nienaukowy, lecz społeczny, to status nauki stosowanej nakazuje uwzględnianie takiego właśnie kontekstu. Warto porównać niżej omówione parametry.

Źródła popularyzatorskie podają, że skala wydatkowania energii na mieszkańca jest miarą rozwoju cywilizacyjnego, co nie jest do końca prawdą, bo oczywiście wyższy poziom wykorzystania energii na mieszkańca Kanady nie oznacza automatycznie wyższego poziomu życia, niż w przypadku mieszkańca Luksemburga[2]. Badanie Gesellschaft für Konsumforschung tak zwanego wskaźnika purchasing power, czyli odpowiednika względnej siły nabywczej, pokazuje, że w stosunku do średniej europejskiej wynoszącej umowną wartość referencyjną 100 Polacy mają do dyspozycji 45,5, czyli mniej niż połowę. Dane te należy uwzględniać w kontekście danych pokazujących produkt krajowy brutto na osobę. Zgodnie z danymi Eurostatu za rok 2014 wartość względna odnoszona do średniej europejskiej wyrażonej wskaźnikiem umownym 100 dla Polski wynosi 68, dla Niemiec 124, dla

[2] Wyniki badań purchasing power przeprowadzonego przez GfK Polonia, czyli polskiego oddziału GfK, za rok 2014. http://www.gfk.com/pl/news-and-events/press-room/press-releases/strony/wyniki-badania-gfk-purchasing-power-europe-2014.aspx. Dla porównania Niemcy dysponują siłą nabywczą na poziomie 164,6, Szwedzi na poziomie 162,6, a Francuzi na poziomie 149,8. Ze względu na podawane według różnych metodologii dane (w Polsce – na gospodarstwo, lecz wg niejasnego przelicznika, bez przywołania przeciętnej dzietności GUS – 2,58; w Niemczech per capita) porównanie kwoty wymaga przeliczenia wg wyżej wykazanych wskaźników. Jeśli dane (http://www.gfk.com/news-and-events/press-room/press-releases/Pages/GfK-Purchasing-Power-Germany-2014.aspx) dotyczące siły nabywczej Niemca wskazują na średni wynik 21179€ per capita, to w Polsce ten wynik kształtuje się na poziomie 5854€, czyli 3,5 krotnie mniej.

Francji 107, Danii 124, a Czech 84[3]. Wskaźnik odzwierciedlający stosunek siły nabywczej do GDP per capita pokazuje skalę obciążeń finansowych nakładanych na osobę – w Polsce to 0,67, podczas gdy w Niemczech to 1,33, we Francji 1,40, w Danii 1,36. Wykorzystanie energii elektrycznej przez osobę w skali roku wynosi w Polsce nieco powyżej 3700 kWh/rok[4] z prognozowanym wykorzystaniem zbliżającym się do 4000 kWh/rok według prognoz. W krajach EU wykorzystanie energii elektrycznej jest zazwyczaj wyższe, dla Niemiec wynosi nieco ponad 7000 kWh/rok, dla Francji przekracza 7800 kWh/rok, w Danii i w Czechach wynosi około 6500 kWh/rok. Pobór mocy na mieszkańca w Luksemburgu jest drastycznie wyższy i wynosi ponad 16000 kWh/rok, a w Norwegii około 25000 kWh/rok. Równocześnie ceny energii elektrycznej czy gazu kształtują się specyficznie – w Polsce cena 1 kWh dla odbiorcy indywidualnego (cele bytowe) wyniosła w 1 semestrze 2014 roku 14,21 C€[5] Dla porównania Niemcy płacą za 1 kWh 29,81 C€, Duńczycy aż 30,42 C€, ale Francuzi już 15,85 C€, a Brytyjczycy 19,18 C€. Czesi płacą 12,83 C€, a mieszkańcy Luksemburga 17,38 C€. Cena gazu naturalnego wynosi odpowiednio w Polsce 5,00 C€, w Niemczech 6,80 C€, w Danii 8,80 C€, we Francji 7,60 C€, w Czechach 5,60 C€. Podane koszty nie wchodzą w zakres wartości określonej jako siła nabywcza, oznacza to więc, że pomimo znacznie mniejszej konsumpcji energii na osobę (i na gospodarstwo domowe) w Polsce gospodarka energetyczna kosztuje przysłowiowego Kowalskiego znacznie bardziej, niż przeciętnego mieszkańca Unii Europejskiej.

Podane wyżej dane odnoszą się w naturalny sposób do kosztów, które w związku z inwestycją, a w powiązaniu z nią w związku ze standardami energooszczędnościowymi nałożonymi wskutek przepisów budowlanych czynią przedsięwzięcie i wysiłek oszczędnościowy racjonalnym lub nieracjonalnym. W analizie kosztów eksploatacyjnych w cyklu użytkowym obiektu (LCA – Life Cost Analysis) ciąg parametrów odniesienia dla przyjmowanych wartości związanych z energooszczędnością wskazuje krzywa optymalna[6]. Choć wzrost energochronności obiektów budowlanych jest korzystną i konieczną modyfikacją, to skala planowanych oszczędności powinna być realizowana w kontekście udziału danego rodzaju obiektów w ogólnym bilansie energetycznym, zdolności do zachowania potencjału rozwojowego (tak pod względem społeczno-gospodarczym, jak technicznym). Analizowane dane wskazują, że Kowalski, choć nie jest tak zamożny jak Schmidt czy Dubois, rywalizuje z nimi w obszarze inwestycyjnym nie dysponując nawet porównywalną bazą rozwojowo-badawczą w zakresie opracowywania technologii energooszczędnych, ich wdrażania i popularyzacji. Trzeba podkreślić, że racjonalność rozwiązań energochronnych, a konkretnie jego optimum, jest istotnym wyznacznikiem racjonalności rozwiązań nie tylko w skali mikro-, pojedynczego użytkownika, ale i w skali makroekonomicznej, czego skutecznie dowodzą Tronchin, Fabbri i Tommasino. Ujawniają oni bowiem, że zwiększona oszczędność powyżej progu optimum może oznaczać spadek efektywności energetycznej,

[3] Dane Eurostat http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/GDP_per_capita,_consumption_per_capita_and_price_level_indices.

[4] Dane wg http://www.prognostic.pl/-/pobor-mocy-elektrycznej-na-osobe-na-swiecie za rok 2008 z prognozą na lata następne.

[5] European Commission: 2014, Quarterly Report on European Electricity Markets, Market Observatory for Energy, DG Energy, Vol. 7, Is. 3, 3/2014, 37. 8,25 C€ bez podatków, co stawia Polskę na drugim po Słowacji miejscu jeśli chodzi o najwyższe ceny energii dla indywidualnego konsumenta w Europie Środkowo-Wschodniej i na pierwszym miejscu w regionie jeśli chodzi o opodatkowanie cen energii.

[6] Laustsen (2008: 36-38, 40-42). Szczególnie należy uwzględnić diagram nr 9 i diagramy nr 10 wskazujące na znaczne zawyżenie wymogów prawnych w krajach Europy w stosunku do krzywej optimum, przekraczające niekiedy wieleset procent optimum.

a zatem wzrost niekorzystnych tendencji całkowitego bilansu energii (nie tylko energii pierwotnej w rozumieniu polskich przepisów techniczno-budowlanych) w skali regionu czy kraju[7]. Są standardy osiągalne bez nadmiernych kosztów społecznych i ekonomicznych, są i takie, których realizacja wymaga przekroczenia granicy, poza którą spełnienie wymogów staje się uciążliwe, a niekiedy ekstremalnie uciążliwe.

> Dissonance is the truth about harmony. If the ideal of harmony is taken strictly, it proves to be unreachable according to its own concept.[8]
> Dysonans to prawda o harmonii. Jeśli ideał harmonii jest interpretowany w zbyt ścisły sposób, staje się, według kryteriów leżących u podstaw swojej idei, nieosiągalny.
>
> Theodor W. Adorno

Naturalnie Theodor Adorno odnosił kwestię harmonii do sztuki, dzieła sztuki. Co w trawestacji tego sformułowania na obszar nauk technicznych jest dysonansem, a co harmonią? Harmonia jest stanem nieosiągalnym, teoretycznym miejscem, w którym – gdyby zatrzymać procesy naturalne i cywilizacyjne – znaleźlibyśmy się w optimum. Optimum rozwoju, optimum użytkowania energii. To w oczywisty sposób nieziszczalne stadium jest zatem referencją, stanem odniesienia, czymś, co pozwala nam określić przedział stanów akceptowalnych, nieoddalonych zbyt silnie od optimum, by nie zagrażało to funkcjonowaniu środowiska naturalnego i środowiska zbudowanego (built environment). Elementy systemu wykazujące niezgodność, wyjątki, dają podstawę do rzeczywistego badania tego, jak daleko można przesuwać granicę. Jak bardzo obiekt może marnotrawić energię, by ciągle jeszcze było to akceptowalne i jak bardzo może ją oszczędzać, by wysiłek i środki włożone w tę oszczędność nie były absurdalne? W taki sposób wyidealizowany stan środowiskowej harmonii postrzegać musimy przez *exemplum* dysonansu.

Instytucje potrzebują dla realizacji swoich celów substancji budowlanej tak, jak człowiek potrzebuje mieszkania ze względów bytowych. Gdyby pominąć sektor komercyjny i skupić się wyłącznie na sektorze instytucjonalnym, państwowym, samorządowym, NGO, agencji, szkół, placówek służby zdrowia, wraz z podmiotami zależnymi, to okaże się, że udział tych obiektów w globalnym użyciu energii nie przekracza 5%[9]. Udział w porównaniu jest z sektorem komercyjnym dwukrotnie mniejszy, w porównaniu do sektora mieszkaniowego mniejszy 5,5 razy, sektorem transportowym mniejszy sześciokrotnie. Obszar, w którym niepodzielnie państwo – jego organ ustawodawczy i ministerstwa regulujące przepisy wykonawcze – stanowi reguły w sposób autonomiczny. Te reguły wyznaczone są z jednej strony przez przepisy techniczno-budowlane, z drugiej przez zakotwione w polityce zasady uznane apriorycznie za poprawne, choć ustalone według niespecjalnie klarownej metodologii.

Obszar instytucjonalny jest idealnym polem doświadczalnym pomimo faktu, że ma on najmniejszy udział w strukturze wydatkowania energii w środowisku zurbanizowanym. Przyczyn tego stanu rzeczy jest kilka. Po pierwsze obiekty wznoszone w sektorze publicznym to najczęściej obiekty trwałe, zatem wydatkowanie znaczniejszych kwot na projekt i eksperymentowanie z osiąganiem lepszych rezultatów jest tu uzasadnione – argument o wydatkowaniu nadmiernych środków byłby tu całkowicie od rzeczy, gdyby nie ewidentnie zła konstrukcja ustawy o zamówieniach publicznych preferująca rozwiązania oszczędne

---

[7] Tronchin, Fabbri i Tommasino (2014: 58-59).
[8] Adorno (1996: 110). Tłumaczenie własne autora (RB).
[9] Ibid. (7).

pozornie, utrudniająca egzekwowanie jakości. Choć są prawne przeszkody, aby to realizować, to właśnie w sektorze publicznym zwiększenie wydatków na opracowania projektowe – czyli *de facto* rozważne przygotowanie inwestycji – zwraca się później wielokrotnie, a stanowi jedynie ułamek kwoty inwestycyjnej. Po drugie środki w ten sposób wydatkowane służą uprawdopodobnieniu pozytywnego bilansu i pozyskaniu doświadczeń realizacyjnych tam, gdzie nie dotyka to bezpośrednio obszaru bytowego ludzi, a zarazem może być poddawane najwyższemu stopniowi kontroli. Po trzecie, instytucje mają najlepszy przegląd możliwych sposobów finansowania przedsięwzięć zaawansowanych technicznie i technologicznie, w przeciwieństwie do budownictwa indywidualnego czy komercyjnego, w którym wyrachowanie rynkowe jest najczęstszą metodą podchodzenia do problemu energooszczędności. Po czwarte – instytucje przed wprowadzeniem regulacji prawnych w życie testują ich realność i opłacalność zanim nałożą na użytkowników zbyt niskie lub zbyt wygórowane żądania sformułowane językiem prawnym, który albo doprowadzi do marnotrawstwa, albo zablokuje rynek i dalece ograniczy zdolność do generowania architektury wartościowej pod względem kulturowym. Przykładem są tu nieracjonalne regulacje narzucające – bez brania pod uwagę technologii, względnie łącznego rezultatu energetycznego generowanego przez projektowany obiekt – standardy w zakresie kształtowania maksymalnej ilości otworów okiennych[10].

Paradoks praktyki projektowej polega na tym, że najczęściej i ciągle instytucje stosują kryteria, którymi mogą kierować się osoby indywidualne, a nie gospodarze wspólnego majątku, umocowani na placówkach publicznych po to, aby krzewić określone postawy i formować zdrowy system funkcjonowania państwa. Przetargi i konkursy organizowane są nie w obszarze innowacyjności zachowań energetycznych budynku z uwzględnieniem koniecznych nakładów na przygotowanie właściwej formy budynku stanowiącej synergię postaci kulturowo znaczącej, wzbogacającej przestrzeń, ze zdolnością do twórczej implementacji systemów umożliwiających uzyskiwanie właściwych parametrów, lecz skoncentrowane na działaniach minimalizujących efekty energetyczne według zasady spełnienia tylko tego, co konieczne.

To istotne przeoczenie celowości działań architektonicznych i urbanistycznych, tego, że celem tych wysiłków jest moderowanie aktywności społecznej. Aktywność społeczna jest w znacznej mierze efektem zjawisk i potrzeb, oczekiwań i imperatywów, poddana naciskowi czynników nietechnicznych. Niektóre budynki powstają z myślą o dziesięcioleciach, w przypadku innych inwestor nie jest zdolny sięgnąć poza bieżącą potrzebę wygenerowania przestrzeni chronionej – tu i teraz, dla doraźnych celów. Presja społeczna i kształt struktur społecznych, w tym dzietność, mobilność, skala mobilności, migracje to czynniki, które nieuchronnie czynią z substancji budowlanej przedmiot niestałego użytkowania o dość niepewnych perspektywach. To szkielet instytucjonalny organizacji państwa, samorządu, jest tu opoką i wzorcem, nie zawsze jednak obserwować można tego przykłady.

[10] Zmiany w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2002 roku, Nr 75, poz. 690 ze zmianami) wprowadzone rozporządzeniem Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 7 lipca 2013 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków. technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2013 roku, poz. 926), w szczególności treść wybranych partii załącznika nr 2.

Conservation is a state of harmony between men and land.[11]
Ochrona [środowiska] to stan harmonii między człowiekiem i ziemią.
Aldo Leopold

Paradoksalne wydaje się teraz przywołanie definicji harmonii Leopolda – poprzednio wykazywałem przecież, że taki stan jest stanem wyimaginowanym, umownym. Jeśli poszukujemy go w obrębie jednego systemu, to jest tak w istocie, jeśli natomiast traktujemy go tak, jak Leopold – czyli jako związek między światem człowieka i naturą jako odrębnymi systemami, to ową harmonię można dostrzegać. Jeśli przyjąć, że jest to stan trwania pomiędzy wartościami granicznymi, pozwalającymi racjonalnie, a może komfortowo trwać zarówno człowiekowi, jak i naturze, to poszukiwane ekstrema – testowe wersje dysonansów systemowych – stają się *limes* obszaru akceptowanego, spełniającego zadane kryteria. Spełnienie tych kryteriów musi jednak być potwierdzone dowodami.

Perspektywa globalnego, w skali kraju, funkcjonowania budownictwa zamienia indywidualne przypadki z ich potrzebami i specyfiką w niemal czystą statystykę. Z tak usytuowanego punktu widzenia najwyraźniej rysują się główne tendencje – wysoki poziom udziału gospodarstw domowych w zużywaniu energii przekraczający 20%[12], duży udział paliw stałych w pozyskiwaniu energii cieplnej stanowiący około 50%, stosunkowo duży udział budownictwa posiadającego słabe właściwości energochronne – 50% budynków niedocieplonych[13], choć akurat ta statystyka ulega silnemu przeobrażeniu w ostatnich latach. Równocześnie jednak zauważa się zatrzymanie trendu zwiększania zużycia energii, zwłaszcza w budownictwie mieszkaniowym. Polska zatrzymała charakterystyczny dla lat 2002-2008 trend niemal 2% wzrostu zapotrzebowania mocy na gospodarstwo domowe, które w latach 2008-2012 oscyluje w okolicach 0%[14]. Wzrasta znacznie efektywność wykorzystania energii, dotąd niska, zbliżając się do poziomów średnich dla Wspólnoty Europejskiej.

Założenia polityki energetycznej dla Polski, jak i podpisanie pakietu klimatycznego postawiło przed Polską, przed polską administracją, a nade wszystko przed użytkownikami środowiska zbudowanego wysokie wymagania, których spełnienie nie jest kompatybilne z profilem, specyfiką użytkowania, indywidualnymi parametrami zasobu budowlanego. Warto zwrócić uwagę na fakt zróżnicowania źródeł energii u poszczególnych członków Unii Europejskiej (np. Francji z jej elektrowniami atomowymi czy Szwecji ze zwiększonym udziałem energetyki korzystającej z energii rzek). Nie można też nie dostrzegać różnic między na przykład krajami o wyższej temperaturze średniorocznej (nie tylko kraje basenu śródziemnomorskiego, ale i cieplejsze Francja, Belgia czy Holandia) a Polską czy krajami skandynawskimi, gdzie uwidacznia się gigantyczna dysproporcja w udziale wydatkowanej energii na cele ogrzewania. Inaczej przedstawia się też stan struktury zabudowy, jej kondycja i potrzeby związane z podtrzymaniem zasobu, koszty związane z utrzymaniem jej stanu technicznego. Zgodnie z danymi podawanymi przez Meijer, Itard i Sunikkę-Blank dla większości krajów Europy najintensywniejszy rozwój zabudowy przypadał na lata powojenne po rok 1970[15], podczas gdy w Polsce maksymalizacja w zakresie wznoszenia budynków przesunięta była o co najmniej 10 lat. Inaczej prezentują się deficyty w budownictwie mieszkaniowym i struktury rynków budowlanych oraz w zakresie sprzedaży i najmu.

[11] Leopold (1990: 243).
[12] GUS (2012: 74-76).
[13] Ibid. (83).
[14] Lapillone, Pollier i Samci (2015: 10).
[15] Meijer, Itard i Sunikka-Blank (2009: 540).

Naiwne stwierdzenia o dość programowym, a nieweryfikowalnym charakterze zawarte w raporcie Liszki, Pasierba i Wojtulewicza, stwierdzające po prostu, że wdrożenie pakietu klimatycznego w aspekcie efektywności energetycznej jest możliwe i pożądane, bo stawia Polskę w rzędzie krajów solidarnie realizujących ważne dla globu cele klimatyczne[16], ma szczególnie w kwestii implementacji wyśrubowanych regulacji prawnych, nierozwiązanych problemów systemów produkcji, przesyłu i dystrybucji energii, niskiej efektywności wielu systemów komunalnych czy po prostu wspomnianej wyżej specyfiki krajowej struktury przestrzeni zurbanizowanej charakter nie tyle raportu, co opartego o wybiórcze dane dowodzenia z góry założonej tezy tak, że zacierają się obszary umożliwiające weryfikację kontrowersyjnych tez autorów. Charakter materiału zamówionego potwierdza nie tylko sposób wnioskowania z charakterystyczną konstrukcją że nasz kraj może wdrożyć, a skoro może (bez względu na czynniki negatywne, których raport nie analizuje), to trzeba szybko opracować wszystkie niezbędne dokumenty i dostosować rzeczywistość do zaplanowanej wizji[17].

Kontrą dla takiego postrzegania jest zestaw złożonych zjawisk, w tym zjawisk społeczno-politycznych, ujawniających na przykład bezkrytyczną i bezproduktywną kalkę w polskich regułach oceny budownictwa energooszczędnego, które każe traktować użycie biomasy (także w eksploatacji budynków), źródła uznawanego za odnawialne, jako nie generującej emisji CO2, przed czym przestrzegał Komitet Naukowy przy Komisji Europejskiej w Kopenhadze[18]. Koncepcja pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych posiada rozliczne wady, szczególnie szkodliwa dla Polski jest koncepcja usiania krajobrazu nieefektywnymi w naszej strefie klimatycznej turbinami wiatrowymi, a dowodem na niską ich efektywność są – utajnienie danych właścicieli turbin z terenów nizin (czyli przeważającej części kraju), dane techniczne najnowszych turbin zestawione z danymi meteorologicznymi związanymi z satelitarnymi pomiarami prędkości wiatru na poziomie osi turbiny, a więc na efektywnym poziomie użytkowym turbiny. Wartości te wahają się pomiędzy 6% a 12% w zależności od typu, wysokości i lokalizacji – według danych producenta, a analizy sporządzane przez European Environment Agency są znacznie mniej entuzjastyczne w konkluzjach, niż polskie dokumenty w tej sprawie[19].

W omawianym opracowaniu brak jest analizy i bilansowania czynników pozytywnych z negatywnymi, stąd brak danych, na których można by się oprzeć we wnioskowaniu – te dane pozyskiwane z innych źródeł pokazują na istotne problemy w rozwoju budownictwa energooszczędnego, które aby trwać i się rozwijać, musi być kompatybilne z uwarunkowaniami rynkowymi, musi stanowić z jednej strony racjonalną alternatywę dla budownictwa tradycyjnego, także silnie skorygowanego co do parametrów eksploatacji przez ustalenia techniczno-budowlane, z drugiej być powiązane z zachętami, aby wybierać właśnie te rozwiązania. Równocześnie jednak, na co wskazują analizy rynku EU, nie można doprowadzić do różnie ocenianego, ale realnego i tym bardziej prawdopodobnego, im bardziej restrykcyjne regulacje lub bardziej sztucznie ustalony poziom zachęt finansowych i przymusu prawnego czyniący technologie energooszczędne atrakcyjnymi. Eufemizm, jakim określa

[16] Liszka, Pasierb i Wojtulewicz (2009: 26).

[17] Ibid. (24-25).

[18] EEA (2011: 6-8). Z oczywistych względów spalanie biomasy uwalnia CO2 związane w masie w trakcie procesów akumulacji energii przez rośliny. Jak podaje Komitet Naukowy EEA, emisja taka nie różni się znacząco od emisji ze spalania kopalin, stąd sformułowane w 2011 roku przestrogi przed nadinterpretacją korzyści wynikających z używania biomasy.

[19] EEA (2009: 23-24). Raport EEA pokazuje m.in. niską gęstość energii wiatru na km2 oraz średnio niski i niski potencjał obciążania turbin.

się to zjawisko, czyli „konkurencyjność", oznacza de facto zdolność do skutecznego funkcjonowania na rynku.

W chwili obecnej krajowa perspektywa postrzegania problematyki budownictwa energooszczędnego ukazuje krajobraz wątpliwie zachęcający. Z jednej strony jest to niezdecydowanie i brak koherencji zapisów prawnych. Jest rzeczą szkodliwą, aby wskaźnik energii końcowej (czy energii pierwotnej) wykorzystanej przy realizacji i późniejszej eksploatacji domu miał być kryterium na równi z współczynnikami przenikalności cieplnej i wskaźnikiem udziału powierzchni okien i przegród transparentnych w elewacjach – jeden parametr jest całościowy, podczas gdy dwa pozostałe skupiają się na tych czynnikach, które w sposób naturalny stanowią narzędzia do osiągania zadanego celu – uformowania określonego zachowania energetycznego budynku. Tworzenie kilkuprocentowego marginesu ruchu, skutkującego wprowadzeniem „generatora okien" do metodologii projektowej, jest aktem niemocy, niezdolności do panowania nad substancją budowlaną – w kraju, w którym ewidentnie naruszające ład przestrzenny samowole budowlane nie są ścigane, lecz legalizowane, próba dowodzenia, że dodatkowe cząstkowe kryterium w postaci wskaźnika A_{0max} będzie remedium na problemy energetyczne jest nietrafne i prowokuje raczej powstawanie architektonicznych potworków. Najistotniejsze ze względu na energooszczędność całego zasobu jest ukształtowanie technologii budowlanych, które staną się opłacalne i energooszczędne – to zdrowa zasada budująca rynek nie dla tych, którzy skutecznie lobbują za ustalaniem arbitralnie przyjmowanych regulacji prawnych, lecz którzy efektywnie opracowują i wdrażają konkretne rozwiązania inżynierskie – takie, które mają być odpowiednio tanie, by ich implementacja nie destabilizowała rynku nieruchomości. Czy takim działaniem jest wprowadzenie jako standardu referencyjnego wskaźnika 0,9 W/m^2K dla okien i fasad, wśród tych ostatnich bowiem do niedawna standardem było 1,7-2,1 W/m^2K i przeskok jakościowy oznaczać będzie albo drastyczny spadek jakości architektury (oszczędności materiałowe, drastyczna redukcja przegród przezroczystych, otwarć niezależnie od tego, czy wpływają istotnie czy nie wpływają na utrzymanie statusu obiektu energooszczędnego), albo drastyczny wzrost kosztów (wydatek na złożone i nie tak jeszcze popularne rozwiązania fasadowe), póki co nieadekwatny do osiąganych korzyści i nie wynikający ze skali oszczędności energetycznych będących pochodną takiego działania.

Z opracowania Ecofys z 2007 roku wyraźnie wynika, że opłacalność stosowania niektórych rozwiązań, naturalnie zależna od strefy klimatycznej, choć różna, osiąga w pewnym momencie swoje optimum. Dalszy wzrost powłoki termochronnej czy energochronnej nie przekłada się na istotne zyski energetyczne, choć przegroda zyskuje parametr „wymagany" według przepisów – widać to wyraźnie na przykład w wynikach opracowanych dla Sztokholmu, zbliżonego klimatycznie do terenów Polski. Analiza dotyczy zarówno budynków poddawanych renowacji, jak nowych – i jest przeprowadzana osobno dla każdego z wymienionych przypadków. Opłacalność wyznaczana jest ponadto osobno dla ścian, podłóg na gruncie i stropodachów (lub połaci dachowych). Należy zastrzec, że analiza ta jest pochodną wyznaczenia także określenia referencyjnego materiału termochronnego, trendu cen energii, ale i cen materiałów budowlanych i operuje na standardzie scenariusza WEO[20] – warto też zauważyć, że wzrost cen energii nie przekłada się automatycznie na wzrost opłacalności rozwiązań energooszczędnych, gdyż cena realizacji ocieplenia, a także późniejszego utrzymania budynku jest również generowana w oparciu o kalkulację energii zużywanej przez producenta materiałów budowlanych, dystrybutora, ewentualnych pośred-

[20] World Energy Outlook – model prognostyczny używany przez International Energy Agency do określania trendów długoterminowych w gospodarowaniu energią i rynku energetycznego. http://www.worldenergyoutlook.org/weomodel/.

ników i końcowego wykonawcy prac budowlanych czy modernizacyjnych. Zgodnie z powyższymi danymi grubość docieplenia stropodachu lub dachu powyżej 25 cm dla substancji nowej, a nieco ponad 20 cm dla substancji starej odwraca trend opłacalności, zaczynają powoli rosnąć koszty odtworzeniowe związane z okresowymi remontami substancji budowlanej[21]. Analogiczne zjawisko dostrzega się w przypadku ścian – w nowych jest to 15 cm, w starych około 12,5 cm[22]. W odniesieniu do podłogi na gruncie dla nowych budynków optimum opłacalności osiąga swoje maksimum przy 12 cm ocieplenia, a dla budynków istniejących 7 cm[23]. Biorąc pod uwagę dane klimatyczne oraz znormalizowaną prognozę rozwoju uwarunkowań kształtowania rynku budowlanego wraz z regulacjami je determinującymi opracowanie postuluje optimum dla Poznania, Gdańska i Warszawy na poziomie U = 0,21 W/m^{2}K dla ścian, U = 0,17 W/m^{2}K dla stropodachów i dachów, a U = 0,26 W/m^{2}K dla podłóg na gruncie[24].

W bilansie energetycznym obiektu wyraźnie zarysowuje się dysproporcja udziału między zmianą standardu ocieplenia, mającą zdecydowanie mniejszy wpływ na pozytywny rezultat, powoli tracącą wymiar opłacalności, a dającą znaczne oszczędności energetyczne regulacją obligującą do odzysku ciepła z obiegu powietrza – czyli VHR[25]. O ile dla Europy Wschodniej określono w analizie stosunkowo silny poziom energochronności (dla ścian U = 0,2 W/m^{2}K, dla podłóg U = 0,25 W/m^{2}K, dla dachów U = 0,18 W/m^{2}K), to okazuje się, że zwiększenie restrykcji dotyczących parametrów przegród zewnętrznych do odpowiednio 0,15, 0,2 i 0,12 W/m^{2}K da oszczędność rzędu 25%, podczas gdy proste rozwiązanie ustalenia wymiany ciepła w obiegu powietrza i nakazanie odzysku ciepła tamże daje od razu niemal 40% oszczędności w wydatkowaniu energii na 1 m^2. Poziom ten w obecnym systemie prawnym wyznaczono na 50%, ale Europa Północna ma ten poziom wyznaczony na 80% i w związku z tym silniejszą redukcję używanej energii[26]. Marginalne potraktowanie tego problemu, sprowadzenie go wyłącznie do wskaźnika odzysku ciepła, stoi w sprzeczności nie tylko ze znaną powszechnie strukturą strat energetycznych budynku, ale i z wskazaniami inżynierskimi, dyscyplinarnymi, podającymi konkretne naukowe podstawy do tego, by ten aspekt traktować priorytetowo. Dean Hawkes i Wayne Forster pokazują ten aspekt nie tylko w ogólnej dyskusji o efektywności energetycznej, ale w poszczególnych studiach przypadków, choćby w siedzibie Fundacji Beyelera w Bazylei, zaprojektowanej przez Renzo Piano[27] czy bardziej kanonicznym obiekcie Shepparda i Robsona Helicon Bldg w Londynie[28]. Przecież wentylacja konsumuje od 20-40% energii zużywanej w przeciętnym budynku jednorodzinnym, jest odpowiedzialna za 30-40% strat, podczas gdy dach tylko 8-20%, ściany 25-35%, a okna i drzwi 5-15% tamże, i choć straty zależą oczywiście od wielkości szkleń, to skala ograniczeń nakładanych przez współczynnik A0max jest irracjonalna. Co ciekawe, w budownictwie wielorodzinnym struktura strat nie ulega drastycznym zmianom – wentylacja to 30-40%, ściany 20-30%, dach 15-25%, a okna 15-25% gdy przeszklenia są naprawdę dużymi połaciami. Jerzy Żurawski podaje nawet, że w niektórych przypadkach straty spowodowane przez wentylację mogą sięgać ponad 45%[29]. Z kolei Paweł Lachman wskazuje, że przez rekuperację obniża się trzykrotnie straty powodowane

[21] Mowa tu o tzw. annual overall costs of operation. Boermans et al. (2007: 41).
[22] Ibid. (40).
[23] Ibid. (42).
[24] Ibid. (45-47).
[25] Ventilation Heat Recovery.
[26] Ibid. (51-53).
[27] Hawkes i Forster (2002: 164-173).
[28] Ibid. (146-154)
[29] Żurawski (2011: 1).

przez wentylację bez obniżania komfortu związanego z jakością powietrza, a równocześnie zmniejsza zapotrzebowanie na ciepło o około 30%. O ile bowiem kształtowanie przegród zewnętrznych odbywa się stopniowo, to zmiana typu – systemu obsługi wymiany powietrza jest znaczącym przeskokiem jakościowym i drastycznie zmienia bilans strat.

Wymogi termochronności określone dla Niemiec to dla ścian U = 0,28 W/m^{2}K (dla ścian bez szczeliny wentylacyjnej U = 0,35 W/m^{2}K, dla ścian piwnicznych 0,30 W/m^{2}K), dla stropów i stropodachów U = 0,20 W/m^{2}K, a dla podłóg U = 0,24 W/m^{2}K. Dla okien Niemcy przewidują wskaźnik U = 1,3 W/m^{2}K, uwzględniając łagodniejsze regulacje dla okien dachowych (U = 1,4 W/m^{2}K) i fasad (U = 1,4 W/m^{2}K), wyróżniając także drzwi zewnętrzne (U = 1,8 W/m^{2}K)[30].

Dla Danii analogiczne dopuszczalne wartości maksymalne to dla ścian U = 0,30 W/m^{2}K, dla stropodachów U = 0,25 W/m^{2}K, dla podłóg na gruncie U = 0,20 W/m^{2}K a dla okien U = 1,8 W/m^{2}K[31]. Interesującym wątkiem jest to, że dla budynków istniejących, a zwłaszcza dla części nowych przybudowywanych do budynków starszych obowiązują normy bardziej restrykcyjne. Prace renowacyjne muszą generować na przykład dla ścian U = 0,2 W/m^{2}K, a dla okien U = 1,65 W/m^{2}K, a prace nad ekstensjami istniejących budynków U = 0,15 W/m^{2}K, a dla okien U = 1,40 W/m^{2}K[32]. Równocześnie jednak Dania wyznaczyła, na tę chwilę jeszcze nieobligatoryjny, standard budynku 2020, którego parametry odbiegają od optimów ekonomicznych uśrednionych dla Unii Europejskiej o od 30% do 60%[33].

W Szkocji, dla której obowiązują wysoko restrykcyjne regulacje charakterystyczne dla regionu Europy Północnej, obowiązują wartości dla ścian U = 0,22 W/m^{2}K, dla podłóg U = 0,18 W/m^{2}K, a dla stropodachów U = 0,15 W/m^{2}K, przy czym standard dla okien ustalono na U = 1,6 W/m^{2}K[34].

Dla Anglii (i Walii) są to – dla ścian U = 0,30 W/m^{2}K, stropodachów U = 0,20 W/m^{2}K, a podłóg U = 0,25 W/m^{2}K, a dla okien, naświetli dachowych, fasad, kurtyn, drzwi wymogiem jest U = 2,0 W/m^{2}K w przypadku budownictwa mieszkaniowego[35], a dla ścian U = 0,35 W/m^{2}K, stropodachów U = 0,25 W/m^{2}K, a podłóg U = 0,25 W/m^{2}K, z kolei dla okien, naświetli dachowych, fasad, kurtyn, drzwi wymogiem jest U = 2,2 W/m^{2}K w przypadku budownictwa nie związanego z mieszkalnictwem[36]. Dla budynków istniejących stosuje się przy renowacjach fragmentarycznych wyśrubowane parametry dla stosowanych elementów, a poprawione dla całościowego bilansu danych przegród, co skutkuje zmianą wymogów dla przegród – dla ścian U = 0,3-0,55 W/m^{2}K, dla stropodachów U = 0,16-0,18 W/m^{2}K, dla podłóg U = 0,25 W/m^{2}K, a dla okien 1,6-1,8 W/m^{2}K w budynkach mieszkalnych[37], a w budynkach niemieszkalnych to dla ścian U = 0,28 W/m^{2}K, stropodachów

---

[30] EnEV (2014). http://www.vz-nrw.de/enev. Także Nichtamtliche Fassung der von der Bundesregierung am 16.10.2013 beschlossenen Fassung der Änderungsverordnung. Eine Lesefassung wird so bald wie möglich in das Internet eingestellt (34-35). Tabelle 1. Ausfuhrung des Referenzgebaudes.

[31] Aggerholm (2013: 24).

[32] Ibid. (26). Przepisy duńskie rozróżniają jednak specyfikę świetlików dachowych, naświetli i latarni, dla których łagodzą wskaźnik do 1,7 W/m2K.

[33] Ibid. (63-64).

[34] ScotGov (2015: 341). Jest to zbiór wymogów techniczno-budowlanych opublikowanych na stronie obejmujące wszystkie poprawki aż po standard 3.27, czyli poprawki z 1 października 2013 roku i poprzedzające.

[35] HMGov (2014a: 15).

[36] HMGov (2014b: 15). Wydziela się drzwi często użytkowane, łagodząc dla nich wskaźnik do U = 3,5 W/m2K.

[37] HMGov (2015a: 15, 18-20).

U = 0,16-0,18 W/m^{2}K, dla podłóg U = 0,22 W/m^{2}K, a dla okien 1,6-1,8 W/m^{2}K[38]. Istotą regulacji brytyjskich są jednak nie współczynniki przegród, tylko ogólne zachowanie energetyczne budynku. Nie do końca zrozumiała w dobie hołubienia i wspierania energooszczędności, konserwowana w przepisach dysproporcja między budynkami mieszkalnymi, którym narzuca się wyższe wymogi a budynkami niemieszkalnymi, którym pozwala się na większe straty energetyczne (powielone w regulacjach polskich). Jednak w regulacjach brytyjskich czy szkockich, a nawet duńskich dostrzega się po pierwsze lepiej skonstruowane proporcje wymogów w relacji do komponentów budynku, w zależności od ich udziału w całościowym bilansie, a po drugie zauważa się zrozumienie dla procesów przejściowych, dla warunkowego budowania stanu energooszczędności dla substancji budowlanej w zależności od jej metryki i podejmowanych wobec niej działań inwestycyjnych. W naszym kraju tych subtelności, dotykających także zasobu historycznie cennego, bardzo brakuje.

This book was written using 100% recycled words.[39]
Ta książka została napisana przy użyciu 100% recyklowanych słów.
Terry Pratchett

Można by sparafrazować słowa Pratchetta, znanego prześmiewcy, pisząc, że praca została napisany przy użyciu 100% recyklowanych słów i koncepcji. Można by też stwierdzić, że budownictwo stanie się plus energetyczne i nasze budynki będą w 100% samowystarczalne. Moją wątpliwość budzą jedynie zasady fizyki, entropia, obserwowane historycznie i współcześnie zbyt częste pomyłki faktyczne i planowe w nadmiernie optymistycznym postrzeganiu doktrynalnych rewolucji. Czy kształtujemy ład prawny i system w oparciu o dostępną wiedzę, sprawdzalne wyliczenia czy prognozy czynimy ustabilizowaną (w naszej wyobraźni) rzeczywistością jutra, która nieuchronnie musi się ziścić? Czy przepisy techniczno-budowlane i zasady oszczędzania energii mają nas dostosowywać do niepewnych koncepcji klimatycznych, w których niejasne jest to, czy nastąpi globalne ocieplenie, ochłodzenie czy też inne zmiany, których po prostu nie możemy i nie umiemy dziś określić, czy może jednak należy budować drogę dochodzenia do celu jakim jest redukcja energii (bez klimatycznego straszaka) po prostu ze względu na to, że to mądre i racjonalne, ale w duchu zrównoważonego rozwoju, w którym nie podcinamy własnej gałęzi, w którym zachowujemy dobrą kondycję współczesnych pokoleń i ustanawiamy zasadę wiążącą problem strat energii z problemem jest ekscesywnego użytkowania?

Skoro celem regulacji prawnych ma być uzyskanie stanu, w którym ogranicza się wydatkowanie energii, to wirtualna skala energii zużywanej przez obiekt niskoenergetyczny jest nieistotna – celem staje się przede wszystkim to, by zlikwidować nadmierne zużycie energii. Czy zatem oznacza to, że polski użytkownik zamieszkujący dom tradycyjny, nie spełniający norm, bardziej szkodzi klimatowi i czyni gospodarkę nieefektywną, niż użytkownik norweski, mieszkający w domu pasywnym, ale zużywający rocznie ponad 7 razy więcej energii? Czy można racjonalnie uznawać za wiążące takie same ustalenia dla substancji nowej i substancji starej, cennej, stanowiącej zasób o na przykład historycznej lub artystycznej wartości? Czy dobra kultury współczesnej można traktować jako bezrefleksyjny punkt wyjścia do uzyskania obiektu energetycznie zgodnego z jedynie słuszną linią postępowania wytyczoną współcześnie w ramach obowiązującej w EU doktryny?

Podejście akademickie nakazuje sceptycyzm i analizę zasadności wstępnie przyjmowanych założeń. Ze względu na charakterystykę problemu – jego interdyscyplinarny cha-

[38] HMGov (2015b: 17, 21).
[39] Pratchett, T.: 1988, *Wyrd Sisters*, Victor Gollancz, London.

rakter, niemożność oderwania sfery technicznej od sfery społecznej, znaczące konsekwencje ustaleń arbitralnych (arbitralnie przyjmowanych założeń stanowiących później warunki brzegowe dla ustalania co energooszczędne jest, a co nie) – konieczne jest także krytyczne spojrzenie na to, co definiuje dzisiejszy system generujący uwarunkowania dla powstawania energooszczędnego budownictwa. Czy system spełnia swoje zadanie? W jaki sposób gremia akademickie mogą kształtować i naprawiać wadliwe elementy systemu? Jak mogą wpływać na racjonalne kształtowanie tych gałęzi budownictwa, których zadaniem jest kształtowanie elementów sprzyjających zarówno oszczędzaniu, ale i budowaniu pozytywnego społecznego odbioru takich wysiłków, obciążających przecież kieszeń każdego, w tym najdrobniejszego z inwestorów? Czy zasadne jest wspieranie systemu bazującego na subsydiach – czyli nieefektywnych inżyniersko rozwiązaniach wspieranych znacznymi kwotami w różnych państwach? Czy nie należałoby wspierać nie tyle implementacji dofinansowywanych z budżetu – czyli de facto tworzenia fałszywych bytów rujnujących potencjalnie ważne fragmenty naszej gospodarki, bo nie pozwalających przebić się z bardziej efektywnymi rozwiązaniami – co finansować badania nad efektywnymi technologiami oszczędnościowymi?

Przestrogę dla tworzenia politycznie lub doktrynalnie skonstruowanych systemów wymogów dla budownictwa wypowiadali już Peter Colwell i James Kau w 1999 roku, wskazując, że przodująca we wprowadzaniu nowoczesnych technologii Kalifornia ustala uwarunkowania dla budowy obiektów powodujące nadmierne wymogi w stosunku do racjonalnego i efektywnego optimum na poziomie 74 milionów dolarów rocznie[40].

Traktując niniejsze opracowanie jako pracę dyskursywną, proponuję cztery zagadnienia wpływające na kwestię energooszczędności i jej implementację w budownictwie, których nie można pomijać przy rozstrzyganiu problemów szczegółowych, których nie sposób dostrzegać – moim zdaniem – we właściwym świetle bez spojrzenia interdyscyplinarnego.

1. Łańcuch pierwszy: Powiązanie skali efektywności energetycznej z konsumpcją energii i zdolnością społeczną do absorpcji zmian systemowych ukierunkowane na uzyskanie faktycznej praktyki oszczędzania energii, z uwzględnieniem skali efektywności poszczególnych źródeł OZE.
2. Łańcuch drugi: Wygenerowanie systemu budownictwa energooszczędnego zorientowanego na interdyscyplinarną analizę zjawiska energooszczędności (uwzględniającą złożoność form eksploatacji) i ostateczną całościową emisję w długoterminowej perspektywie użytkowania obiektu.
3. Łańcuch trzeci: orientacja problematyki energooszczędnej na dobrostanie człowieka, zdrowiu i komforcie, jako pryncypialnemu celowi działań cywilizacyjnych (w szczególności rozwiązania w zakresie wentylacji, równowagi temperaturowej.
4. Łańcuch czwarty: Powiązanie oczekiwań związanych z energochronnością ze świadomością walorów kulturowych, związanych z dziedzictwem historycznym i potrzebą ochrony cennych wartości urbanistycznych i architektonicznych.
5. Łańcuch piąty: Stworzenie instytucjonalnego wsparcia dla badań nad energooszczędnością, energochronnością i efektywnymi (szczególnie ekonomicznie efektywnymi) rozwiązaniami technicznymi i technologicznymi, wsparcie dla transferu rozwiązań do sfery aplikacyjnej.

System, na przykład ten dotyczący budownictwa mieszkaniowego, funkcjonuje w oparciu o indywidualnych użytkowników zamieszkujących pojedyncze domy – jednorodzinne, grupy użytkowników (wspólnoty) zamieszkujące domy wielorodzinne, a także

[40] Colwell i Kau (1999: 345-346).

systemy dystrybuujące ciepło czy energię elektryczną. Jednak brakuje tu jawnych danych na temat strat energetycznych systemu, który energię dostarcza. Brakuje rozpatrzenia czy jest racjonalnym utrzymywanie rozwiązań sieciowych scentralizowanych, gdy szansą na poprawę efektywności może być wdrożenie rozwiązań rozproszonych, lokalnych.

Powiązanie skali efektywności energetycznej z konsumpcją energii i zdolnością społeczną do absorpcji zmian systemowych ukierunkowane na uzyskanie faktycznej praktyki oszczędzania energii, z uwzględnieniem skali efektywności poszczególnych źródeł OZE.

Oszczędność energii z pewnością nie powinna polegać wyłącznie na ograniczaniu emisji energii przez budynki. Budownictwo musi odwoływać się do sfery społecznej i kształtować także nowe sposoby użytkowania przestrzeni w budynkach i przestrzeni zurbanizowanych. Architektura i budownictwo muszą być narzędziami współkreującymi nowe postawy wobec energii – inaczej mieć będziemy do czynienia z dysproporcjami i nieracjonalną sytuacją, w której kraje rozwijające się do tej pory w bardziej sprzyjających uwarunkowaniach ponoszą te same obciążenia co na przykład Polska, zmuszona odbudowywać pod komunistycznym jarzmem substandardową substancję budowlaną w latach powojennych. Bilansowanie energii powinno dotyczyć zarówno udziału OZE w formowaniu tego bilansu, jak skali zużywanej energii przez użytkownika, być może skali marnotrawienia energii. Przykładem takiego marnotrawienia jest wprowadzenie obowiązku zakupu przez indywidualnych użytkowników wyłącznie „ekologicznych" źródeł światła, podczas gdy przemysł był i jest z tej restrykcji zwolniony. Z kolei jeśli chodzi o OZE, to jest to obszar daleko idących deformacji, przeinaczeń w zakresie faktycznych korzyści środowiskowych – korzyści te są przeceniane, a negatywne oddziaływania środowiskowe bagatelizowane w imię dziwnie pojętej „ekologicznej" krucjaty – dyscypliny budownictwa i architektury powinny się tego skażenia wystrzec.

Odrębną kwestią jest problem pogodzenia skal gospodarowania energią – skala architektoniczna i budowlana spotyka się przecież ze skalą urbanistyczną (sieci), a wreszcie regionalną (systemy dystrybucji), gdzie brakuje klarownej informacji na temat skali energochronności systemu. W jakim stopniu końcowy użytkownik, a w jakim producent energii czy dystrybutor są obciążani kosztami braku dostosowania systemu energetycznego do potrzeb i wymogów współczesności – wydaje się, że te działania powinny być solidarnie rozkładane na poszczególnych użytkowników przestrzeni.

Wygenerowanie systemu budownictwa energooszczędnego zorientowanego na interdyscyplinarną analizę zjawiska energooszczędności (uwzględniającą złożoność form eksploatacji) i ostateczną całościową emisję w długoterminowej perspektywie użytkowania obiektu.

Istnieją już wdrożenia demonstrujące znakomicie potencjał budownictwa energooszczędnego, ale przecież obraz ten kształtowany jest przez przypadki raczej jednostkowe[41]. Robert Himmler pokazuje na przykład najnowsze realizacje niemieckie takie, jak dom jednorodzinny pod Stuttgartem – dom przy ul. Berghalde w Leonbergu, zaprojektowany przez Berschneider + Berschneider i wybudowany w 2011 roku. Dobre wyniki pomiarowe z eksploatacji wykazuje też zaprojektowany przez Hegger Hegger und Schleff Architekten budynek wielorodzinny Speicherstrasse ABG we Frankfurcie nad Menem, choć teza o tym,

[41] Lokalizację znanych obiektów typu zero-net energy oraz plus energy pokazano na mapie satelitarnej globu: http://batchgeo.com/map/net-zero-energy-buildings. Na tej podstawie można stwierdzić, że to projekt flagowy niemieckiego przemysłu, gdyż przede wszystkim ten kraj realizuje konsekwentnie oszczędnościowe postanowienia.

że obniżanie wysokości kondygnacji ma wyłącznie pozytywne skutki jest kontrowersyjna[42]. Problemem nie jest jednak tylko aspekt eksploatacji budynku, ale i jego powstawanie, rozbiórka, a także cykl i energetyczna efektywność powstawania komponentów, z których jest później złożony. Przypomina to o dylemacie, dyskutowanym jeszcze w ubiegłym wieku przez Demetriosa Porphyriosa, który stwierdził, że tylko tradycyjna i lokalna architektura osiąga ideał zrównoważonego rozwoju, bowiem korzysta z tego, co dostępne, każe postępować innowacyjnie z elementami łatwymi do przetworzenia i optymalizującymi użycie energii w procesie budowy, wreszcie ukierunkowana na trwanie zwiększa efektywność energetyczną wówczas, gdy odrzuca koncepcje tymczasowości, efemeryczności, dopuszczalności słabej jakości ze względu na ograniczony czas funkcjonowania i nieuchronny rozpad[43]. Badania przeprowadzone w Nowym Jorku wykazały, że budownictwo tradycyjne pod wieloma względami, także uwzględniającymi energetyczną efektywność, przewyższa budownictwo nowoczesne w ocenie użytkowników oraz ocenie parametrycznej (a więc obiektywnej)[44]. Znakomitym przykładem tego, jak niewiele energii potrzeba do wzniesienia i utrzymywania obiektu jest pozbawiony elementów kojarzonych z high tech budynek modelowy zaprojektowany i wybudowany przez Rintala Eggertsson Architects wraz ze studentami z University of Technology in Trondheim w Karnataka, w Indiach[45].

Orientacja problematyki energooszczędnej na dobrostanie człowieka, zdrowiu i komforcie, jako pryncypialnemu celowi działań cywilizacyjnych (w szczególności rozwiązania w zakresie wentylacji, równowagi temperaturowej).

Potrzebne jest prawidłowe ustalenie pryncypiów działań w ramach architektury i budownictwa. To, w jakim stopniu energooszczędność jest działaniem ukierunkowanym na poprawę jakości życia społecznego, w jakim na poprawie indywidualnego bytu, a w jakim na innych kwestiach, w tym na wsparciu dla wysokowyspecjalizowanego przemysłu i R&D, determinuje kierunek, w którym zmierzają przemiany cywilizacyjne. Zbyt małe zainteresowanie problematyką zdrowia w budownictwie, jakości powietrza, zależności między parametrami obiektów a kondycją człowieka pokazują ten aspekt budownictwa jako wyznacznik działań energooszczędnych. Podstawowym pytaniem powinno być zatem jak zredukować najważniejsze straty na wymianie powietrza równocześnie utrzymując prawidłowe procesy wymiany powietrza i odzysku energii cieplnej. Nowe rozwiązania w większym stopniu powinny określić, jaką temperaturę kształtować w obiekcie, i jak budować równowagę temperaturową przy użyciu elementów biernych i czynnych, aniżeli jak zapuszkować dom w półmetrowych warstwach styropianu.

Powiązanie oczekiwań związanych z energochronnością ze świadomością walorów kulturowych, związanych z dziedzictwem historycznym i potrzebą ochrony cennych wartości urbanistycznych i architektonicznych.

W chwili obecnej nie ma w Polsce prawnych regulacji, które wskazywałyby na systemową możliwość zachowywania pierwotnych rozwiązań budowlanych w obiektach historycznych, nie spełniających współczesnych wymogów. Nie jest to wyłącznie problem dostosowawczy i ekonomiczny. Jest to zasadniczy problem technologiczny i kulturowy. Dawne technologie źle znoszą bezrefleksyjne dostosowywanie do standardów współczesności, a substancja historyczna często wskutek zamknięcia zdawałoby się korzystnymi,

---

[42] Himmler (2015: 10-12, 14-16).

[43] Sammons (2008). http://www.traditional-building.com/Previous-Issues-08/FebFeature08.html, dostęp w dniu 15 lipca 2015.

[44] Cunningham (2014). http://humanepursuits.com/art-combining-arts/, dostęp w dniu 16 lipca 2015 roku.

[45] *Hut-to-Hut / Rintala Eggertsson Architects*, publikacja 15 stycznia 2013 roku. *ArchDaily*. dostęp w dniu 17 lipca 2015. http://www.archdaily.com/318424/hut-to-hut-rintala-eggertsson-architects.

zachowującymi energię powłokami podlega przyspieszonej deterioracji. Nadto obiekty funkcjonujące w rejestrze czy nawet ewidencji zabytków (gminnej czy wojewódzkiej) nie są automatycznie wyłączane spod władzy energooszczędnego dyktatu, w tym przypadku całkowicie bezsensownego.

Stworzenie instytucjonalnego wsparcia dla badań nad energooszczędnością, energochronnością i efektywnymi (szczególnie ekonomicznie efektywnymi) rozwiązaniami technicznymi i technologicznymi, wsparcie dla transferu rozwiązań do sfery aplikacyjnej.

Skuteczne wynalazki to takie, które radzą sobie dobrze w uwarunkowaniach ekonomicznych aktualnie obowiązujących, a nie takie, dla których trzeba zaprojektować system podatków, koncesji. Wsparcie finansowe w postaci zachęt dla producentów, także OZE, powinno być zamienione na wsparcie dla badań i rozwoju technologii optymalizujących pozyskiwanie lub konserwowanie energii. Badania pozwalają przecież uzyskać satysfakcjonujący, efektywny produkt, nie ma później potrzeby wspierać jego biznesowego bytu pieniędzmi podatnika. Za to badania i rozwój kształtują potencjał krajowy, który raz zbudowany będzie wielokrotnie przynosił efekty dla przemysłu, tak rodzimego, jak obcego, choć ulokowanego w Polsce. Będzie to też znakomity pomost do eksportu polskiej myśli wynalazczej i racjonalizatorskiej.

Nie potrafię dostrzec dokąd zmierzamy, budując aktualną rzeczywistość funkcjonowania dyscyplin budownictwa i architektury. Mając ogromne przekonanie o konieczności poprawy zachowań energetycznych budynków, osiedli, miast, mam jednocześnie krytyczny stosunek do wielu zjawisk wspierających przedsięwzięcia oparte na niesprawdzalnych ideach. Znakomite przykłady zakończonej z sukcesem implementacji budynków niskoenergetycznych, zero-energetycznych czy plus energetycznych przekonują mnie, że warto podejmować dalsze wysiłki, aby ten standard mógł być standardem dla przeciętnego Polaka, ale ze względów naukowych, interdyscyplinarnie łączącego uwarunkowania techniczne, komfort człowieka i zdolność do przyjęcia określonych obciążeń przez społeczeństwo jestem zaniepokojony przyjmowaniem przez Polskę standardów po to tylko, by być w czołówce. Czy lepiej mieć najbardziej wyśrubowane normy i najwięcej substancji budowlanej nie spełniającej wymogów – czy może lepiej mieć liberalne normy i najwięcej obiektów energooszczędnych, to oczywiście pytanie retoryczne. Nie normy, lecz rzeczywiste możliwości tworzą nasz, nie tylko krajowy, potencjał tworzenia środowiska zurbanizowanego.

Quo vadimus? Certus non sum.

Literatura

1. Adorno T., 1996. Aesthetic Theory, University of Minnesota Press, Minneapolis.
2. Aggerholm S., 2013. Cost-optimal levels of minimum energy performance requirements in the Danish Building Regulations, Danish Building Research Institute, Aalborg.
3. Amecke H., Deason J., Hobbs A., Novikova A., Xiu Y., Shengyuan Z., 2013. Buildings Energy Efficiency in China, Germany and the United States, CPI Report, Climate Policy Initiative, 04/2013, International Energy Agency, OECD (Organization for Economic Co-operation and Development), San Francisco.
4. Boermans T., Petersdorff C., Mikkers E., Voskens R., Horsley A., Siembab M., Maga C., 2007. U-Values for better energy performance of buildings, 10/2007, Ecofys GmbH, Cologne.
5. Brauner G., D'Haeseleer W., Gehrer W., Glaunsinger W., Krause T., Kaul H., Kleimaier M., Kling W.L., Prasser H.M., Pyc I., Schröppel W., Skomudek W., 2013. Electrical Power Vision. 2040 for Europe, The EUREL Task Force. Convention of National Associations of Electrical Engineers of Europe, Brussels.

6. Colwell P.F., Kau J.B., 1999. The Economics of Building Codes and Standards. [In:] F.A. Stitt (red.), Ecological Design Handbook. Sustainable Strategies for Architecture, Landscape Architecture, Interior Design, and Planning, McGraw Hill, New York, 337-359.
7. Cunningham J., 2014. How an Architect Builds: The Art of Combining All Arts, Humane Pursuits 31, październik, 5, http://humanepursuits.com/art-combining-arts/.
8. Hawkes D., Forster, W., 2002. Energy Efficient Buildings. Architecture, Engineering, and Environment. W.W. Norton, New York.
9. Himmler R., 2015. Energy Efficient Buildings. Case Studies from Germany. The Joint Graduate School for Energy and Environment, EGS Plan, Stuttgart, 28.
10. Lachman P., 2014. Jaka wentylacja w nowych, niskoenergetycznych domach? Konieczna rekuperacja? cz. 1, InstalReporter 2, 42-44.
11. Lapillone B., Pollier K., Samci N., 2015. Energy Efficiency Trends for households in the EU, Enerdata, Intelligent Energy Europe Programme of the European Union, Grenoble.
12. Laustsen J., 2008. Requirements in Building Codes, Energy Efficiency. Policies for the New Buildings, IEA Information Paper 03, International Energy Agency, OECD (Organization for Economic Co-operation and Development), Paris.
13. Leopold A., 1990. A Sand County Almanac. Ballantine Books, New York.
14. Liszka S., Pasierb S., Wojtulewicz J., 2009. Możliwości zwiększania efektywności energetycznej Polski w ramach wdrażania pakietu energetyczno-klimatycznego, raport, Fundacja na rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii w Katowicach, Katowice.
15. Meijer F., Itard I., Sunikka-Blank M., 2009. Comparing European residential building stocks: performance, renovation and policy opportunities. Building Research & Information 37(5-6), 533-551.
16. Sammons R., 2008. Leaving the Dark Ages. Traditional Building 2, 3, http://www.traditional-building.com/Previous-Issues-08/FebFeature08.html
17. Tronchin L., Fabbri K., Tommasino M.C., 2014. On the cost-optimal levels of energy-performance requirements for buildings: A case study with economic evaluation in Italy, International Journal of Sustainable Energy Planning and Management 03, 49-62.
18. Żurawski J., 2011. Wentylacja a jakość energetyczna budynków. Izolacje 8, 1-2.
19. Energieeinsparverordnung (EnEV), 2014. http://www.vz-nrw.de/enev [dostęp w dniu 15 lipca 2015 roku].
20. European Commission (EC): 2014. Quarterly Report on European Electricity Markets. Market Observatory for Energy, DG Energy 7(3), 3 quarter of 2014, European Commission, Brussels.
21. European Environment Agency (EEA): 2009. Europe's onshore and offshore wind energy potential. An assessment of environmental and economic constraints. EEA Technical report 6, European Environment Agency, Copenhagen.
22. European Environment Agency (EEA): 2011. Opinion of the EEA Scientific Committee on Greenhouse Gas Accounting in Relation to Bioenergy. Scientific Committee, 15 September 2011, European Environment Agency, Copenhagen.
23. Główny Urząd Statystyczny (GUS): 2012. Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2009 roku. Informacje i opracowania statystyczne, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
24. Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW): 2012. Określenie podstawowych wymogów, niezbędnych do osiągnięcia oczekiwanych standardów energetycznych dla budynków mieszkaniowych oraz sposobu weryfikacji projektów i sprawdzenia wykonanych domów energooszczędnych. ETAP I. Wytyczne do weryfikacji projektów budynków mieszkalnych, zgodnych ze standardem NFOŚiGW, robocza nazwa: standard NFOŚiGW2012, 23 sierpnia 2012 roku, Warszawa.

Akty prawne

25. HM Government (HMGov): 2014a. The Building Regulations 2010. 2013 edition. Conservation of fuel and power. Approved Document L1A. Conservation of fuel and power in new dwellings, NBS, RIBA, London.
26. HM Government (HMGov): 2014b. The Building Regulations 2010. 2013 edition. Conservation of fuel and power. Approved Document L2A. Conservation of fuel and power in new buildings other than dwellings, NBS, RIBA, London.

27. HM Government (HMGov): 2015a. The Building Regulations 2010. 2013 edition. Conservation of fuel and power. Approved Document L1B. Conservation of fuel and power in existing dwellings, NBS, RIBA, London.
28. HM Government (HMGov): 2015b. The Building Regulations 2010. 2013 edition. Conservation of fuel and power. Approved Document L2B. Conservation of fuel and power in existing buildings other than dwellings, NBS, RIBA, London.
29. HM Government (HMGov): 2013. The Building Regulations 2010. Conservation of fuel and power. Approved Document L1A.
30. The Scottish Government (ScotGov): 2015. Technical Handbook – Domestic, including the amendments with standard 3.27, Building Standards Division's Technical Handbooks, Edinburgh (dostępny także http://www.gov.scot/Topics/Built-Environment/Building/Building-standards/techbooks/techhandbooks/th2015dom-complete).
31. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2002 roku, Nr 75, poz. 690 ze zmianami).
32. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 7 lipca 2013 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2013 roku, poz. 926).

Quo vadimus? Fragmentation or integration of thinking related to the sustainable development of the urbanised environment

Robert Barełkowski

Faculty of Civil and Environmental Engineering and Architecture,
UTP University of Science and Technology in Bydgoszcz,
e-mail: robert@armageddon.com.pl

Abstract: Throughout the history human activities proved many times that seemingly the most reasonable motives, decisions grounded very deep and being the result of strict, disciplined rational thinking, in fact serve the unverified ideas, paradigms established socially that bring as much spoiled fruits as good ones. In this paper the author attempts to review the elements of panorama of the conservation of energy. This trend is contemporarily standardized and imposed with legal regulations. Considerations aim at starting the discourse on the subject of whether the goals of these regulations are principal or should they be revised. Are saving energy rules constructed appropriately? Are they properly adjusted to the level of development? Or maybe they have been conceived as a result of other influences, not necessarily bringing positive results? The article concludes by giving several systemic proposals to improve energy efficiency on a wider scale.

Keywords: energy saving, sustainable development, energy-efficient technology

Projektowanie zrównoważone. Mit czy konieczność?

Lucjan Kamionka, Leszek Chodor

Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach,
e-mail: luckam@tu.kielce.pl, lchodor@tu.kielce.pl

Streszczenie: W pracy omówiono problem projektowania zrównoważonego jako zadania wielokryterialnej optymalizacji procesu budowlanego w całym cyklu życia obiektu. Przeanalizowano najważniejsze, światowe metody certyfikacji budynków i pokazano przykłady budynków certyfikowanych w Polsce. Pokazano, że zadanie optymalizacji budownictwa i architektury zrównoważonej jest zadaniem optymalizacji stochastycznej, w którym analizuje się energię zużywaną przez budynek, kumulowaną w okresie jego życia z pobocznymi ograniczeniami związanymi z warunkami ekonomicznymi, ekologicznymi i eko-społecznymi.

Słowa kluczowe: **p**rojektowanie zrównoważone, wielokryterialne metody certyfikacji, optymalizacja stochastyczna w architekturze zrównoważonej, algorytmy genetyczne

1. Wprowadzenie

W okresie zagrożenia środowiska, kryzysów energetycznych - zrównoważony rozwój stał się główną strategią działań w gospodarce przestrzennej. Zrównoważony rozwój został zdefiniowany w roku 1987 w Raporcie „Nasza Wspólna Przyszłość" (Raport Brundtland), opracowanym przez Światową Komisję ds. Środowiska i Rozwoju ONZ. W roku 2006 Rada Europejska przyjęła odnowioną strategię zrównoważonego rozwoju Unii Europejskiej [15]. W roku 2010 wprowadzono nowelizację definicji charakterystyki energetycznej budynków oraz strategię stopniowego ograniczania zużycia energii w UE, tak aby w 2021 roku wszystkie nowe budynki były zero lub niemal energooszczędne [3]**.**

Trwały, zrównoważony rozwój oznacza, ze potrzeby obecnego pokolenia należy zaspakajać bez uszczerbku dla możliwości zaspakajania potrzeb przyszłych pokoleń. Łączy się z propagowaniem dynamicznej gospodarki przy pełnym zatrudnieniu obywateli i wysokim poziomie wykształcenia, ochrony zdrowia, spójności społecznej i terytorialnej oraz ochrony środowiska w świecie, w którym panuje pokój, bezpieczeństwo i poszanowanie różnorodności kulturowej [15].

Budownictwo jest największym sektorem gospodarki w aspekcie ekonomicznym, największym pod względem przepływu surowców. W budowle inwestuje się większość kapitału, zarówno finansowego jak i naturalnego. Rola budownictwa, a także architektury jako dziedziny wiedzy kształtującej przestrzeń w otoczeniu człowieka jest istotna w kreowaniu rozwoju zrównoważonego, w którym to aspekt energetyczny odgrywa rolę znaczącą.

Idea realizacji budownictwa i architektury w zgodzie z zasadami rozwoju zrównoważonego wkroczyła w etap powszechnego urzeczywistniania [4, 6-9, 17,19]. Powstają wielokryterialne metody oceny budynków, kodyfikujące standardy projektowania i realizacji. Opracowywane są projekty w zgodzie ze standardami, które są realizowane i wyróżniane certyfikatami cieszącymi się coraz większym prestiżem wśród użytkowników. Standardy, choć nie ujmują w pełni złożonego procesu projektowania zrównoważonego, to aspekt energetyczny stawiają na miejscu wiodącym, doceniając rolę racjonalnej konsumpcji energii.

Próba odpowiedzi na pytanie: „Projektowanie zrównoważone – mit czy konieczność?" jest istotna dla podkreślenia znaczenia i wagi poodejmowanych w tym zakresie działań.

2. Wielokryterialna optymalizacja procesu budowlanego w całym cyklu życia obiektu, a aspekt energetyczny

Ustalenia Wspólnoty Europejskiej na rok 2020 wyrażone w tzw. „Zielonej Księdze Efektywności Energetycznej" [1] zakładają:

- realizacje potencjalnych oszczędności w budynkach w zakresie energii zużytej na ogrzewanie, klimatyzację, ciepłą wodę i oświetlenie na poziomie 22%,
- podwojenie udziału odnawialnych źródeł energii z 6% do 12% w ogólnym zużyciu elektryczności,
- zwiększenie udziału ekologicznej energii elektrycznej z 14% do 22% w łącznym zużyciu energetycznym.

Problematyka zrównoważonego rozwoju nie była jednakowo rozumiana przez różne ośrodki, dlatego na konferencji w Oslo „Sustainable Building 2002" [10] próbowano poszukiwać definicji najbardziej odpowiednich w stosunku do stanu wiedzy i zaawansowania technicznego problematyki. Zidentyfikowano pięć cech budynków zrównoważonych.

- wydajne wykorzystanie energii,
- wydajne wykorzystanie surowców,
- zapobieganie zanieczyszczeniu,
- zharmonizowanie ze środowiskiem,
- zintegrowane i systemowe rozwiązywanie problemów.

Prowadzi to do realizacji następujących celów rozwoju zrównoważonego [16]:

- zmniejszenie zapotrzebowania na energię i zasoby naturalne przez przyjęcie standardu budownictwa energooszczędnego a w przyszłości budownictwa pasywnego,
- inteligentne stosowanie systemów techniki, wykorzystanie odnawialnych źródeł energii,
- racjonalne wykorzystanie zasobów naturalnych, stosowanie materiałów przyjaznych środowisku,
- rozwijanie koncepcji logistyki, która prowadziłaby do ograniczenia transportu podczas budowy i później funkcjonowania budynku,
- redukcja ilości zanieczyszczeń powietrza i wody, zmniejszenie ilości odpadów i ścieków oraz ciepła odpadowego,
- uwzględnienie podstawowej struktury klimatycznej obszaru przez odpowiednie kształtowanie i kombinację zabudowy, powierzchni, infrastruktury technicznej oraz ciągów zieleni,

W latach dziewięćdziesiątych powstały wielokryterialne metody badawcze zajmujące się zagadnieniami rozwoju zrównoważonego. Do najważniejszych należą (w nawiasie rok ogłoszenia):

- (1990) Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM), Wielka Brytania,
- (1993) Building Environmental Performance Assessment Criteria (BEPAC), Kanada,
- (1993) Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), USA,
- (1996) Haute Qualite Environmentale (HOE), Francja
- (1998) Green Building Challenge (GBC), państwa europejskie, Japonia, Kanada, USA,
- (2005) Green Building (GB), Unia Europejska,
- (2007) Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB), Niemcy.

W wielokryterialnej metodzie oceny BREEAM wykorzystuje się standardy na trzech poziomach oddziaływania na środowisko: globalnym, lokalnym i wewnętrznym, uwzględniając przegrody budynku, zainstalowane systemy techniczne, systemy zarządzania i obsługi.

W metodzie BEPAC ocenia się podjęte działania w zakresie pięciu podstawowych zagrożeń: zabezpieczenia warstwy ozonowej, jakości środowiska, transportu oraz zachowania zasobów naturalnych i tlenu.

Metoda LEED wprowadza standardy dla oceny budynków pod względem energooszczędności i wpływu na środowisko naturalne.

W metodzie HOE ocenę budowli prowadzi się według czterech głównych kryteriów: eko-budowa, eko-zarządzanie, komfort, zdrowie.

Celem metody GBC było: zdefiniowanie pojęcia „green building", pokazanie możliwości rozwoju wspólnych celów i ocen środowiska, przy równoczesnej akceptacji regionalnych i technicznych różnic, wskazanie kierunków działań oraz rozwoju specyfiki regionalnej krajom uczestniczącym w opracowaniu programu modeli ocen, identyfikacja czynników związanych z procesem oceny, promocja międzynarodowej wymiany informacji i pomysłów, promowanie ekologicznych technologii.

Europejska metoda GB ma za cel pomoc właścicielom oraz użytkownikom obiektów prywatnych i publicznym organizacjom w podnoszeniu energooszczędności oraz wprowadzaniu odnawialnych źródeł energii do substancji budowlanej.

Metoda DGNB wykorzystuje standardy ekologicznego budownictwa wypracowane w USA jej głównymi kryteriami są: aspekty ekologiczne, ekonomiczne, socjalno-kulturowe, funkcjonalne, techniczne oraz ocena całości procesu i lokalizacji budowli.

Kamionka w pracy [9] opracował metodę oceny budynków w aspekcie projektowania, która może mieć duże walory aplikacyjne.

Wśród metod oceniających obiekty budowlane w aspekcie zrównoważonego rozwoju, gdzie aspekt energetyczny pełni rolę znaczącą, do najbardziej dynamicznie rozwijających się, które osiągnęły znaczenie światowe należą: LEED i BREEAM oraz europejski program certyfikacyjny GB (UE). Zestawienia standardów projektowania i wykonawstwa obiektów budownictwa zrównoważonego w metodach BREEAM i LEED dokonano w tabeli 1.

Tabela 1. Standardy stosowane w metodach BREEAM oraz LEED (opr. L. Kamionka)

Czynnik	**Kategoria**	**Metoda**	
		BREEAM	LEED
Oszczędność energetyczna (uwarunkowania ekologiczno-ekonomiczne)	Efektywność energetyczna	Obligatoryjne zmniejszenie zużycia energii o min.10% w stosunku do norm brytyjskich i osiągnięcie założonych limitów emisji dwutlenku węgla. Zakres zmniejszenia 5 -40 kg/(m^2rok);	Zmniejszenia zużycia energii: budynki nowe 12-48% remontowane 8-26% Wykorzystanie źródeł energii odnawialnej 1-13%
Jakość użytkowania (uwarunkowania społeczne)	Komfort użytkowania	Osiągnięcie założonych parametrów komfortu i jakości użytkowania wnętrza budynku: – ogrzewanie, – oświetlenie, – wentylacja, – hałas, – skażenia mikrobiologiczne.	Ograniczenie zanieczyszczeń powietrza we wnętrzu budynku; Osiągniecie założonych parametrów: – oświetlenia naturalnego, – oświetlenia sztucznego, – komfortu cieplnego, – emisji substancji szkodliwych

cd. tabeli 1

Oszczędność wody, Surowców,materiałów (uwarunkowania ekologiczno-ekonomiczne)	Efektywność gospodarki wodno-ściekowej	Redukcja zużycia wody wewnętrznej w zakresie: 32 - 52 m^3/rok; Zastosowanie : – pomiarów i monitorowania obiegu wody, – urządzeń higieniczno-sanitarnych o wysokiej sprawności, – własnych oczyszczalni, – systemów wykorzystywania wody opadowej.	Osiągnięcie założonego zakresu redukcji zużycia wody pitnej w budynku: 20-40%. Osiągnięcie założonego zakresu redukcji zużycia wody do nawadniania terenu: 50-100%. Wykazanie redukcji generowania ścieków;
	Efektywność zużycia materiałów i surowców	Udokumentowanie zastosowania: – materiałów niskoenergetycznych i proekologicznych, – materiałów ponownego użycia, – materiałów z recyklingu, – - jakość i trwałość izolacji.	Zastosowanie materiałów pochodzących z recyklingu: 5-10%; Ponowne wykorzystanie materiałów: 5-10%; remonty: 55-95%; Użycie materiałów regionalnych: 10-20%; Zmniejszenie odpadów budowlanych: 50-75%
Oszczędność i jakość użytkowania (uwarunkowania ekologiczno-ekonomiczne)	Proekologiczne użytkowanie terenu	Ograniczenie w czasie realizacji inwestycji: – zanieczyszczenia powietrza, wody, terenu; – inwazyjności wykorzystania terenu. Aspekt rewitalizacji terenów. Zastosowanie: – założonego modelu zarządzania budynkiem i środowiskiem w aspekcie ekologicznym, – ekologicznych elementów transportu: – obiektów dla rowerzystów, – wykorzystanie transportu publicznego, – planowanie i organizacja dojazdów.	Ograniczenie: – dewastacji środowiska w czasie realizacji inwestycji. Aspekt ponownego wykorzystanie terenu. Zastosowanie ekologicznych elementów transportu: – infrastruktura rowerowa, – preferencje parkingowe dla pojazdów o niskiej emisji, – transport publiczny; Ograniczenie: – zanieczyszczenia powietrza, wody, terenu; – efektu „wyspy cieplnej”;
	Preferencje lokalne. Proekologiczna innowacyjność projektu	Zastosowanie innowacyjnych proekologicznych rozwiązań w projekcie i realizacji budynku.	Innowacyjność rozwiązań projektowych i realizacyjnych budynku. Zastosowanie regionalnych priorytetów

Duże znaczenie dla docelowego rozwoju budownictwa energooszczędnego mają parametry budynku pasywnego oraz standardy stosowane w metodzie GB (UE), które zestawiono w tabeli 2.

W procesie zintegrowanego projektowania ocenę rozwiązań projektowych należy poddać złożonej, wielokryterialnej ocenie, co umożliwiają programy komputerowe, symulujące zachowania energetyczne budynków w różnych sytuacjach projektowych. Programy

te wykorzystywane są aktualnie jako znaczące narzędzie w analizach ekonomiczno- energetycznych LCC, LCA i LCCA.

Tabela 2. Parametry „budynku pasywnego oraz standardy metody Green Building (opr. L. Kamionka)

Czynnik	Dom Pasywny	Green Building (UE)
Oszczędność energetyczna	**Standard energetyczny**: o Całkowity współczynnik przenikania ciepła dla budynku $U \leq 0{,}15$ W/(m^2 K); (zmniejszenie zużycia energii np. dla uwarunkowań polskich o ok.80%); o Standardy pośrednie: – współczynnik przenikania ciepła dla ścian $U \leq 0{,}13$ W/(m^2 K) – współczynnik przenikania ciepła dla dachów $U \leq 0{,}13$ W/(m^2 K) – współczynnik przenikania ciepła dla podłóg na gruncie $U \leq 0{,}13$ W/(m^2 K) – współczynnik przenikania ciepła dla okien $U \leq 0{,}80$ W/(m^2 K)	**Standard energetyczny**: o zmniejszenie zużycia energii o min. 25% w stosunku do norm obowiązujących w danym kraju o elementy budynku analizowane i oceniane tzw. moduły techniczne: – obudowa budynku; – oświetlenie; – usprzętowienie; – urządzenia elektryczne; – transformatory; – wentylacja; – klimatyzacja; – systemy grzewcze; – wykorzystanie energii słonecznej; – czynnik „trój-generacji” (moc mechaniczna, chłodzenie, ogrzewanie); – zastosowanie systemów zarządzania energią;

Najczęściej używane programy komputerowe zestawiono w tabeli 3.
Należy stwierdzić, że mimo ciągłego rozwoju, nawet aktualne wersje programów nie operują jeszcze pojęciami statystyki, a analizy zapotrzebowania na energię, planowania i kosztów prowadzone są w okolicznościach zdeterminowanych.

Tabela 3. Programy komputerowe, wykorzystywane w analizach energetycznych (opr. L. Kamionka)

Lp.	Program	Autor/dystrybutor	Zastosowanie	Rok powstania
1	BLAST	University of Illinois, USA	Zapotrzebowanie energii, analiza LCC, LCA	koniec lat 70.
2	DOE-2	National Laboratory, Lawrence Berkeley, USA	Zapotrzebowanie energii, planowanie	pocz. lat 80.
3	COMIS	National Laboratory, Lawrence Berkeley, USA	Przepływy wielostrefowe w budynku	koniec lat 80.
4	ENERGY PLUS	National Laboratory, Lawrence Berkeley, USA	Integracja programów: BLAST, DOE-2, COMIS	pocz. lat 90.
5	TRNSYS	Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, USA	Planowanie, modernizacja, zapotrzebowanie energii, systemy kompleksowe (kompatabilny z COMIS)	pocz. lat 70.
6	DEROB-LTH	Lund Institute of Technology, Sweden	Zapotrzebowanie energii, ogrzewanie, chłodzenie, komfort cieplny	koniec lat 80.
7	CILECCTA	Program wspierany przez Komisję Europejską	Pełna analiza kosztów cyklu życia budynków.	2009-2013
8	CERTO	Dolnośląska Agencja Energii i Środowiska	Wstępne, koncepcyjne analizy.	2009

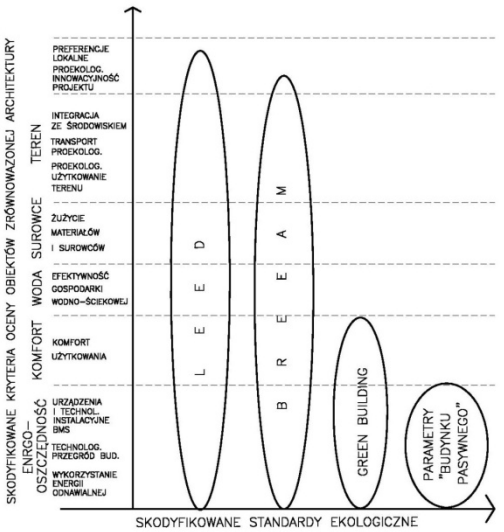
Powszechnie akceptowaną metodą do nowoczesnego zarządzania środowiskiem i ekologicznego badania cyklu życia produktu jest metoda LCA(Life Cycle Assessment) [13]. Metoda LCA jest w istocie procedurą oceny efektów, jaki dany wyrób wywiera na środowisko podczas całego życia na skutek wzrostu zużycia zasobów i zmniejszenia obciążeń środowiskowych. Metoda LCA jest traktowana jako „analiza od kołyski do grobu", a podstawowymi elementami tej metody są: (1) zidentyfikowanie i ocena ilościowa obciążeń wprowadzanych do środowiska, (zużycia surowców materiałów i energii oraz emisji i odpadów wprowadzanych do środowiska, (2) ocena potencjalnych wpływów tych obciążeń oraz (3) oszacowanie dostępnych opcji w celu zmniejszenia obciążeń. Ocena wpływu na środowisko może być prowadzona zarówno dla wyrobu, jak i dla jego funkcji, np. dla całego budynku.

Zaletami metody LCA jest to, że uwzględnia wszystkie czynniki, ekosystemy i ich elementy, a także powstawanie zanieczyszczeń, co umożliwia pełną ocenę wpływu na środowisko.

Mimo że metoda jest dobrze opisana w normach [13], to powszechnie wskazuje się, że jej wadą jest trudność zmierzenia szeregu ważnych efektów poprzez przyporządkowanie miary liczbowej (energii, kosztu, itd.) . Dlatego mamy kilka odmian metody LCA, m. in. metodę eco-indicator 99, w których stosowane są rozmaite miary indeksów inwestycji, jak na przykład: wskaźnik powstawania ozonu, czy wskaźnik radiacji.

Należy stwierdzić, że wada metody LCA, polegająca na trudności w przyporządkowaniu dobrze określonej miary liczbowej do ważnych efektów - może być w sposób naturalny rozwiązana w proponowanej w dalszej części niniejszej pracy stochastycznej metodzie certyfikacji i optymalizacji wraz z wprowadzeniem losowych zmiennych dyskretnych oraz symbolicznych, umożliwiających opis stanu efektu.

Analiza techniczno-ekonomiczna może być przeprowadzona metodą LCC (Life Cycle Costing), poprzez ocenę wielkości kosztów ponoszonych w całym cyklu życia budynku. i umożliwia porównanie alternatywnych rozwiązań projektowych oraz wybór rozwiązania optymalnego.



Rys. 1. Zakres problemowy skodyfikowanych standardów ekologicznych oceny budynku (L Kamionka)

Na rysunku 1 przedstawiono zakres problemowy skodyfikowanych standardów ekologicznych w wybranych metodach oceny budynku w aspekcie zrównoważenia. Metody certyfikacji energetycznej budynków Unii Europejskiej, zostały objęte systemem norm, których strukturę opisano w Raporcie technicznym [12]. Podstawową charakterystyką energetyczną budynku jest całościowy wskaźnik EP [14], będący algebraiczną sumą ważoną dostarczonej i oddanej energii w kWh/(m^{2}rok) w rozbiciu na nośniki energii. Energia zużywana na potrzeby budynku jest roczną ilością energii wymaganą do prawidłowej eksploatacji odniesioną do jednostki powierzchni budynku.

3. Wybrane przykłady obiektów zrównoważonych w Polsce

W Polsce coraz liczniej projektowane są i realizowane obiekty architektoniczne w zgodnie ze skodyfikowanymi standardami metod LEED, BREEAM, GB (UE) oraz zdefiniowanymi standardami budynku pasywnego. Kilkanaście budynków otrzymało już certyfikaty, a kilkadziesiąt jest na etapie wdrażania procedur.

3.1. Budynek z certyfikatem „Passivhaus”

Pierwszy projekt domu pasywnego w Polsce został zrealizowany pod Wrocławiem w Smolcu w roku 2007 (arch. Lipińscy). Maksymalizację solarnych zysków ciepła osiągnięto dzięki odpowiedniemu rozmieszczeniu okien na fasadach domu. Duże okna na południowo-zachodniej elewacji obok zapewnienia zysków energetycznych od promieniowania słonecznego nadały współczesny posmak architekturze wzmocniony dodatkowo centralnie umieszczonym kolektorem słonecznym na połaci dachu. Funkcję domu rozwiązano w sposób zbliżony do tradycyjnego jednak z elementami innowacyjnymi narzuconymi przez duże przeszklone płaszczyzny ściany jadalni i pokoju dziennego.
Kompaktowy charakter budynku potwierdza indeks A/V(=powierzchnia/kubatura), który wynosi 0,75, a dostawiony od strony zachodniej garaż o niezależnej konstrukcji pełni rolę bufora ciepła. Wyliczone zapotrzebowanie ciepła wynosi 13,7 kWh/(m^{2}rok). Do izolacji termicznej ścian zastosowano warstwę izolacyjną grubości 30-44 cm ze styropianu Platinum Plus, dzięki czemu uzyskano współczynnik U = ok. 0,1 W/(m^{2}K). Ściany wykonano z pustaków keramzytowych. Dodatkowym atutem takiego rozwiązania jest ich duża masa akumulacyjna. Więźbę dachową wykonano w sposób tradycyjny z krokwi drewnianych z zastosowaniem izolacji termicznej o łącznej grubości ok.45 cm. Współczynnik przenikania ciepła osiągnął wartość U = 0,08 W/(m^{2}K). Zastosowano certyfikowaną stolarkę okienną i drzwiową o współczynniku U = 0,7 W/(m^{2}K). Zaprojektowano wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła oraz zastosowano przeciwprądowy wymiennik ciepła ułożony poniżej strefy przemarzania na głębokości 1,5-2,0 m. W okresie zimowym temperatura powietrza, która jest dostarczana do budynku nie spada poniżej zera, zaś w okresie letnim jest schładzana do przyjemnych w odczuciach temperatur.

3.2. Budynek z certyfikatem „Green Building”

W 2009 roku Biurowiec Atrium City położony w centrum Warszawy jako pierwszy w Polsce otrzymał od Komisji Europejskiej certyfikat Green Building. Budynek ma wszystkie cechy charakterystyczne dla projektów realizowanych zgodnie ze standardami „Green Building”, tj. podwyższoną energooszczędność, wysoki komfort użytkowania oraz dbałość o walory architektoniczne. (arch. Kazimierski & Ryba). Atrium City zlokalizowany został na al. Jana Pawła II, w bezpośrednim sąsiedztwie ronda ONZ. Atrium City jest biurowcem klasy A. Obiekt spełnia najwyższe standardy zarówno w zakresie energooszczędności, jak i komfortu użytkowania, rozwiązań technicznych i bezpieczeństwa użytkowania. Zastosowano podniesione podłogi, grzejniki kanałowe, system klimatyzacji oparty na bel-

kach chłodzących, systemy kontroli dostępu, monitoring całodobowy. Połowa zużywanej podczas eksploatacji energii wykorzystywana jest na potrzeby działania instalacji wewnątrz budynku. Druga połowa to bezpośrednia konsumpcja najemców, użytkowników budynku. Całość obiektu nadzoruje Zintegrowany System Zarządzania Budynkiem BMS.

Wybudowano przegrody zewnętrzne o lepszych parametrach niż wymagają to obowiązujące normy i przepisy prawno-techniczne. Zastosowany system wentylacyjno-klimatyzacyjny wykorzystuje powietrze usuwane z przestrzeni biurowej do ogrzania przestrzeni atrium i poziomów garaży. W budynku zintegrowano poziom nasłonecznienia z oświetleniem pomieszczeń. Oświetlenie części wspólnych budynku jest zintegrowane z Centralnym Systemem Zarządzania Budynkiem.

3.3. Budynki z certyfikatem LEED

W 2009 roku został otwarty w Podkarpackim Parku Naukowo-Technicznym w Rzeszowie zakład należący do amerykańskiego koncernu Borg Warner produkujący turbosprężarki oraz komponenty układów doprowadzania powietrza i redukcji substancji szkodliwych w pojazdach osobowych i użytkowych. Jak przystało na amerykański koncern obiekt został zrealizowany zgodnie ze standardami LEED. Konstrukcja ścian zewnętrznych i dachu odpowiada najwyższym standardom izolacyjności. Realizacja obiektu, zastosowane materiały jak również technologie odpowiadają warunkom ekologicznym. W kompleksie zastosowano automatyczne zarządzanie energią, co wyraźnie, pozytywnie wpływa na jego bilans energetyczny.

W roku 2011 certyfikat LEED poziom złoty otrzymał Biurowiec Rondo 1, jako pierwszy budynek w Polsce, który przystąpił do certyfikacji już po zrealizowaniu, tj. w roku 2009. Biurowiec Rondo 1 wybudowano w latach 2003-2006 w śródmieściu Warszawy. W budynku znajdują się także centrum konferencyjne, kawiarnie, bistra, supermarket, banki, SPA. Wysokość konstrukcyjna 159 m, ilość kondygnacji nadziemnych 40. W budynku zastosowano kontrolę oświetlenia poprzez systemy technologii cyfrowej ”dali”. Biurowiec wykorzystuje także 10% energii wytworzonej przez elektrownię wiatrową. Zmniejszono także zużycie wody o 30%. Należy zauważyć, że zespół biurowy – siedziba Skanska-Property zlokalizowany w Atrium City (Warszawa Al. Jana Pawła II) otrzymał w roku 2010 certyfikat „LEED” – poziom srebrny.

3.4. Budynki z certyfikatem BREEAM

W Polsce w roku 2010 oddano do użytku trzy kompleksy biurowo-konferencyjne, które otrzymały certyfikaty BREEAM. Są to Trinity Park III i Crown Square obiekty zrealizowane w Warszawie oraz Business Point zrealizowany w Katowicach. W budynkach zastosowano energooszczędne systemy klimatyzacji, wentylacji, ogrzewania i oświetlenia jak również energooszczędne windy. Budynki posiadają rozbudowany system automatycznego zarzadzania BMS. Zastosowane materiały poddane zostały ścisłej selekcji w aspekcie ekologicznym. Wybór systemu kurtyn elewacyjnych poprzedzony został specjalistycznymi analizami w aspekcie oszczędności energetycznej.

Trinity Park III obiekt zlokalizowany w Warszawie przy ul. Domaniewskiej (arch. Jaspers & Eyers Partners) ma 6 kondygnacji nadziemnych oraz 3 kondygnacje podziemne.

Crown Square centrum biurowo-konferencyjne (arch. Ludwik Konior & Partners) zrealizowane w Warszawie przy ul. Przyokopowa ma 13 kondygnacji nadziemnych i 3 kondygnacje podziemne mieszczące parking dla 227 pojazdów. Katowice Business Point zespół biurowo-konferencyjny (arch. Jaspers & Eyers Partners, Czora&Czora) zrealizowano w pobliżu Silesia City Center w Katowicach. Obiekt ma 11 kondygnacji nadziem-

nych oraz 3 kondygnacje podziemne z garażem wyposażonym w ok. 200 miejsc parkingowych.

3.5. Projektowanie zrównoważone w budynkach niecertyfikowanych

Podejmowane są próby projektowania zrównoważonego budynków, które nie poddają się procedurze certyfikowania w określonych metodach oceny. Korzyści, jakie uzyskują twórcy i realizatorzy tych obiektów są wymierne i dotyczą sfer ekonomicznej, ekologicznej i społecznej.

W Kielcach na terenie Kampusu Politechniki Świętokrzyskiej zrealizowano budynek dydaktyczno laboratoryjny „Energis" Wydziału Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki. Budynek został zaprojektowany i zrealizowany w zgodzie z zasadami zrównoważonego rozwoju. Aspektowi energooszczędności poświęcono wiele uwagi i troski. Współczynniki przenikania ciepła dla ścian, dachu, podłóg na gruncie oraz dla okien są zbliżone do współczynników obowiązujących dla budynku pasywnego. Obiekt odpowiada standardom budynków o niskim zużyciu energii. „Energis" wyposażono w kolektory słoneczne o mocy 20 kW (4 szt.), w pompy ciepła o mocy 110 kW (4 szt.), sondy gruntowe (16 szt.) oraz studnię głębinową dla dwóch pomp ciepła.

W obiekcie zastosowano urządzenia wykorzystujące energię promieniowania słonecznego (ogniwa fotowoltaiczne, kolektory słoneczne) oraz energię zakumulowaną w gruncie i powietrzu (pompy ciepła, rekuperatory). Wykorzystanie najnowszych technologii w zakresie energooszczędności, instalacji sterującej BMS oraz doskonałej, jakości materiałów termoizolacyjnych pozwoliło na: znaczną samowystarczalność budynku pod względem energetycznym, ograniczenie strat energetycznych, minimalizowanie emisji zanieczyszczeń do otoczenia, zarządzanie i nadzorowanie funkcjonowania urządzeń i instalacji umożliwiających optymalne wykorzystanie energii. Oddany do użytkowania obiekt jest przykładem budynku inteligentnego realizowanego w zgodzie z zasadami zrównoważonego rozwoju, wykorzystującego najnowocześniejsze energooszczędne technologie. Posiada nowatorskie rozwiązania pozyskiwania i akumulowania ciepła oraz nowoczesne technologie informatyczne dla celów sterowania i monitoringu.

4. Proponowane uogólnienie metody optymalizacji budownictwa zrównoważonego

4.1. Aspekt energetyczny w proponowanym podejściu

W wielu pracach m.in. [2, 19] pokazano, że ograniczenie zużycia energii w działalności człowieka, a szczególnie w procesie budowy, użytkowania, modernizacji i rozbiórki obiektów budowlanych – jest podstawowym czynnikiem umożliwiającym zmniejszenie degradacji środowiska, w tym ograniczenie emisji gazów cieplarnianych.

Inne czynniki, uwzględniane w wielokryterialnych metodach certyfikacji) (pkt 2), są traktowane, jako dodatkowe ograniczenia zadania, choć mogą istotnie ograniczyć obszar dopuszczalnych rozwiązań i istotnie zmienić finalne rozwiązanie projektowe.

Projektowanie zrównoważone definiujemy więc jako zadanie opracowania projektu budynku dla minimalnego (rzadziej zadanego) poziomu zużycia energii w całym okresie życia. Ograniczeniami projektowymi są ograniczenia, wynikające z uwzględnienia szczególnych wymagań ekonomicznych, ekologicznych i eko-społecznych, w tym politycznych.

Podstawową funkcją celu (funkcją oceniającą) będzie energia zużywana przez budynek, czyli energia skumulowana w budynku podczas pozyskania surowców i wytworzenia materiałów, w czasie wznoszenia budynku, jego eksploatacji, głównie na: ogrzewanie, chłodzenie, wentylację, oświetlenie i remonty, a także energia przetworzenia, czyli energia

niezbędna do modernizacji i rozbiórki obiektu, a także zagospodarowania odpadów. Analizowanym okresem czasowym jest cały okres życia budynku od pierwszej do ostatniej operacji.

Pobocznymi ograniczeniami projektowymi są czynniki wymienione w tabeli 1, a nieujęte bezpośrednio w energii zużywanej. Będą to np.: stopień wykorzystania źródeł energii odnawialnej, skażenie mikrobiologiczne, stopień redukcji użycia wody, ograniczenie produkcji odpadów i zanieczyszczenia wnętrz oraz otoczenia, zastosowanie monitoringu i rozwiązań inteligentnych, zastosowanie materiału z recyklingu oraz innych.

Zaleca się aby każdy z czynników pobocznych został wprowadzony do matematycznego modelu zadania – funkcji lub funkcjonału celu poprzez zastosowanie stosowanych wag i mnożników Lagrange'a.

Podstawione zadanie dzieli się na kilka etapów: identyfikację układu (oszacowanie struktury układu, oraz statystycznych parametrów zmiennych wejściowych), estymację (dobór modelu analitycznego stanów rzeczywistych), redukcja modelu (szacowanie korelacji zmiennych oraz wybór zmiennych sprawczych- istotnych) i dobór modeli sterowania obiektem

Zadanie jest zidentyfikowane jako stochastyczne, więc istotne jest również identyfikacja niezawodnościowa układu.

Zadanie wstępne: identyfikacja struktury układu oraz zebranie danych statystycznych o elementach systemu, w tym o parametrach analizowanych procesów stochastycznych powinno polegać na szczegółowej analizie obiektów zrealizowanych, stąd waga przedstawienia dokonanego w pkt. 3.

W niniejszej pracy nie analizuje się szczegółowo wymienionych zagadnień.

4.2. Optymalizacja budownictwa zrównoważonego jako zadanie stochastyczne

Zauważmy najpierw, że wszystkie zmienne występujące w fundamentalnym zadaniu optymalizacji budownictwa zrównoważonego (pkt 2) są zmiennymi losowymi. Zadanie optymalizacji energii (analog metody LCC) lub kosztów (analog metody LCC), jest, więc zadaniem optymalizacji stochastycznej. Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji są szeroko opisane w literaturze. Są to konwencjonalne, klasyczne metody optymalizacji oraz stosunkowo nowe, metody optymalizacji globalnej (np.[11]).

W metodach optymalizacji globalnej obliczane są wartości funkcji celu dla pewnego zestawu statystycznie wybranych punktów, przy czym konkretny problem może wymagać specyficznej strategii doboru zestawu punktów. Skuteczność konkretnej metody zależy od właściwości danej funkcji celu, dlatego nie można mówić o metodach globalnej optymalizacji ogólnego zastosowania. Fundamentalne zadanie optymalizacji budownictwa zrównoważonego jest rozmyte (niezdeterminowane) samo w sobie, np. nie jest znany okres czasu życia obiektu, więc właściwymi metodami stochastycznej optymalizacji wydają się metody genetyczne, podlegające procesowi samouczenia się (metody adaptacyjne) [5].

Zastosowanie sieci neuronowych w dziedzinie pokrewnej do architektury i budownictwa w zadaniach mechaniki konstrukcji rozwija Waszczyszyn i in (np. praca [18]).

W celu przystosowania algorytmów i programów komputerowych metod genetycznych, dla każdego indywidualnego zadania, należy określić następujące elementy: podstawową reprezentację potencjalnych rozwiązań; sposób tworzenia początkowej populacji metody adaptacyjnej; funkcję celu ze stosownymi mnożnikami Lagrange'a i/lub funkcje ograniczeń; podstawowe operatory genetyczne; i inne parametry, takie jak: prawdopodobieństwo zastosowania poszczególnych operatorów genetycznych.

W zadaniu optymalizacji stochastycznej, funkcja celu może być osiągnięta z zadanym prawdopodobieństwem. Dlatego należy ustalić akceptowane poziomy niezawodności energetycznej i odpowiadające prawdopodobieństwa. Brak jest prac na ten temat. Wymagane jest przeprowadzenie badań, analogiczne do tych, które doprowadziły do opracowania standardów określania niezawodności konstrukcji budowlanych [15], a które zostały wdrożone w podstawowej normie do projektowania konstrukcji (Eurokod 0). Wdrożono w niej trzy klasy niezawodności konstrukcji, stowarzyszone z konsekwencjami zniszczenia odpowiadającej klasy budynków (rolniczych, zwykłych, monumentalnych).

5. Uwagi i wnioski

W pracy przedstawiono aspekt energetyczny projektowania zrównoważonego w budownictwie i architekturze w kontekście wielokryterialnych metod oceny budynków

Z rozważań zamieszczonych w pracy, wynika, że we współczesnym świecie projektowanie budownictwa i architektury należy prowadzić w zgodzie z zasadami zrównoważonego rozwoju. Opinie, wskazujące na to, że takie podejście jest mitem i wynika raczej z mody, a nie z rzeczywistej potrzeby – powinny pozostać bez komentarza. W ślad za wagą problemu, jego analizy należy prowadzić poprawną metodologią, wytyczającą prawidłowy trend, uwzględniającą wszystkie istotne czynniki i wiarygodną na akceptowalnym poziomie ufności.

Zaproponowano metodę optymalizacji projektowania zrównoważonego uogólnioną na losowe warunki rzeczywiste. Pokazano, że zadanie projektowania, certyfikacji oraz optymalizacji budownictwa i architektury zrównoważonej jest zadaniem stochastycznym. Zalecono stosowanie metod genetycznych ze szczególnym uwzględnieniem sieci neuronowych.

Współczesne programy komputerowe analiz zapotrzebowania na energię, planowania i kosztów prowadzone są w warunkach zdeterminowanych, dlatego zachodzi pilna potrzeba rozbudowy tych programów na warunki losowe i operowanie językiem niezawodności energetycznej. W celu wdrożenia podejścia stochastycznego należy zbudować bazę danych, zrealizowanych budynków pasywnych i energooszczędnych. W niniejszej pracy opisano kilka polskich budynków certyfikowanych według uznanych światowych standardów.

Proponowana stochastyczna metoda certyfikacji i optymalizacji może w sposób naturalny usunąć wady metody LCA, polegające na trudności w przyporządkowaniu dobrze określonej miary liczbowej do ważnych efektów. Należy wprowadzić losowe zmienne dyskretne oraz symboliczne, umożliwiające słowny opis efektu i operowanie przedziałami wartości.

Wymagane jest opracowanie i wdrożenie systemu definicji, kryteriów i procedur niezawodności energetycznej budynków, a w dalszej kolejności niezawodności zrównoważonej. Potrzeba podejścia stochastycznego do problemu projektowania zrównoważonego nie jest mitem, z pełną analogią do pytania zawartego w tytule pracy odnośnie podejścia deterministycznego.

Literatura

1. Biuletyn Polskiego Towarzystwa Certyfikacji Energii 3, 2005, Poznań, 1-2.
2. Chodor L., Architektura zielona, zrównoważona, πWiki Encyklopedia Architekta i Inżyniera [http://chodor-projekt.net/wiki/zielona-architektura/ dostępne 20 maj 2015]
3. Dyrektywa 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków Dz. Urz. UE L 153/13 z dnia 18.06.2010
4. Hagan S., 2001. Taking Shape. A new contract between architecture and nature. Architectural Press
5. Haykin S.S., 2009. Neural Networks and Learning Machines, Prentice Hall.

6. Kamionka L., 2010. Standardy architektury zrównoważonej jako istotny czynnik miasta oszczędnego na przykładzie wybranych programów certyfikacyjnych, Ogólnopolska Konferencja Naukowa Instytutu Projektowania Urbanistycznego, Miasto Oszczędne, Kraków 28-29.05.2010, Czasopismo Techniczne Architektura 6-A, 27-38.
7. Kamionka L., 2010. Architekt jako kreator i koordynator procesu projektowania architektury zrównoważonej – synergia projektowa. Czasopismo Techniczne Architektura 107(7-A/2), 152-157.
8. Kamionka L., 2011. Zagadnienia oceny i certyfikacji obiektów architektury zrównoważonej, Kwartalnik Architektura i Urbanistyka 3. Polska Akademia Nauk.
9. Kamionka L., 2012. Architektura zrównoważona i jej standardy na przykładzie wybranych metod oceny, Monografie, Studia, Rozprawy M30. Politechnika Świętokrzyska, Kielce.
10. Pettersen T. D., (ed.), 2002. Sustainable building 2002, 3rd Internationale Conference on Sustainable Building, Oslo, EcoBuild.
11. Pinter D.J., (ed.), 2006. Global Optimization. Scientific and Engineering Case Studies, Springer.
12. PKN-CEN/TR 1516: 2009. Raport techniczny: Wyjaśnienie ogólnych powiązań różnych Norm Europejskich z dyrektywą EPBD, Dokument „Umbrella".
13. PN-EN ISO 14040 do 43: 2000. Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia.
14. PN-EN 15217: 2008. Charakterystyka energetyczna budynków. Metody wyrażania charakterystyki energetycznej i certyfikacji energetycznej budynków.
15. PN-ISO 2394: 2000. Ogólne zasady niezawodności konstrukcji budowlanych.
16. Rezolucja legislacyjna Parlamentu Europejskiego w sprawie zmienionej strategii zrównoważonego rozwoju, 2002. Dz. Urz. UE 300E P6 TA (2006/0272 z dnia 15.06.2006). Building, Oslo, EcoBuild.
17. Richter E., Nowak K., Krauze H., Nowak H.A., 2001. Modernizacja budynków mieszkalnych w Niemczech. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa.
18. Stang A., Hawthorne C., 2005. The Green House. The New Directions in Sustainable Architecture greenhouse, Princeton Architectural Press, New York, The National Building Museum Washington, D.C.
19. Waszczyszyn Z., Pabisek E., Miller B., Kaliszuk J., 2014. Sieci neuronowe w mechanice konstrukcji metalowych: nowa dojrzała metoda obliczeniowa. [W:] Chodor L. (red.), Zwięzłe Referaty, Konferencja Naukowo-Techniczna ZK20914, Konstrukcje metalowe, Kielce-Suchedniów, 75-78.
20. Wines J., 2008. Zielona Architektura. Taschen.

Sustainable design. A myth or necessity?

Lucjan Kamionka, Leszek Chodor

Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kielce University of Technology
e-mail: luckam@tu.kielce.pl, lchodor@tu.kielce.pl

Abstract:. The paper discusses the problem of sustainable design as multi-criteria optimization task of the construction process throughout the building life cycle. It analyzes the most important worldwide method of building certification and presents examples of buildings certified in Poland. It is shown that optimizing sustainable construction and architecture is the task of stochastic optimization, where the energy consumed by the building is being analyzed, cumulated within the life cycle, with secondary restrictions related to economic, ecological and eco-social conditions.

Keywords: Sustainable design, multi-criteria certification methods, stochastic optimization in sustainable architecture, genetic algorithms

Kształtowanie budynków energooszczędnych w przestrzeniach miejskich

Katarzyna Zielonko-Jung

Wydział Architektury, Politechnika Warszawska,
e-mail: katarzyna.zielonko-jung@arch.pw.edu.pl

Streszczenie: Większość ludzi na świecie zamieszkuje miasta, więc to one tworzą najczęściej kontekst współczesnej architektury. W otoczeniu miejskim naturalne środowisko, w tym czynniki klimatyczne, ulegają silnemu przekształceniu. Ich charakterystyka ma duże znaczenie dla budynków nakierowanych na oszczędność energii i pozyskiwanie jej ze źródeł odnawialnych.

Temat pracy porusza problem związku kształtowania zabudowy miejskiej z warunkami mikroklimatu, jaki wytwarza się w jej sąsiedztwie. Dokonano analizy, w jaki sposób w ich przestrzeniach zurbanizowanych transformowane są naturalne elementy klimatu: temperatura, nasłonecznienie, warunki aerodynamiczne. Podstawą przeprowadzonych rozważań są badania pochodzące z różnych źródeł literaturowych oraz własne, a także wybrane projekty budynków ekologicznych o charakterze miejskim. Celem analizy jest nakreślenie zależności pomiędzy geometrią zabudowy (proporcje geometryczne wnętrz urbanistycznych, formy budynków) a charakterem zjawisk występujących w jej otoczeniu. Na tej podstawie, w drugiej części opracowania, zaprezentowano ogólne wnioski dotyczące konsekwencji, jakie zależności te mają dla możliwości stosowania rozwiązań energooszczędnych w budynkach tworzących ulicę. Wyodrębniono kilka zasad dotyczących ich doboru i modyfikacji, które wydają się właściwą drogą kształtowania architektury energooszczędnej sytuowanej w miejskiej zabudowie.

Słowa kluczowe: architektura bioklimatyczna, architektura energooszczędna, eko-miasto, rozwój zrównoważony

1. Wprowadzenie

Zasady dotyczące projektowania budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię i pozyskujących ją ze źródeł odnawialnych w dużym stopniu opierają się na tworzeniu optymalnych relacji pomiędzy obiektem budowlanym a środowiskiem naturalnym. Obszary miejskie tworzą specyficzny kontekst środowiskowy. Charakteryzują się one między innymi: dużą intensywnością zabudowy, deficytem otwartej przestrzeni i terenów biologicznie czynnych, dużą emisja zanieczyszczeń i ciepła antropogenicznego. Naturalne czynniki klimatyczne ulegają transformacji. Do najistotniejszych różnic w stosunku do terenów niezurbanizowanych należą: mniejsze usłonecznienie (5-15%), większe zachmurzenie (5-10%), mniejszy dopływ promieniowania słonecznego (10-30%), wyższa temperatura, zmniejszenie różnic między temperaturą dnia a nocy, zmniejszenie prędkości wiatru (20-30%), przyspieszanie wiatru o niskich prędkościach, zmiany kierunków wiatru (10-20º), mniejsza przezroczystość atmosfery, większa częstotliwość mgieł. Nasuwa się zatem pytanie o charakter relacji pomiędzy budynkiem a środowiskiem w przypadku otoczenia miejskiego.

Podjęte rozważania dotyczą zjawisk klimatycznych zachodzących w obszarze wnętrz urbanistycznych stworzonych przez zwartą zabudowę miejską. Zjawiska te mają charakter

pośredni między zjawiskami obserwowanymi na większych obszarach (klimat lokalny w skali osiedli, fragmentów dzielnic o jednorodnej strukturze) a warunkami wnętrz budynków. Ta strefa oddziaływania zjawisk klimatycznych nazywana jest sąsiedztwem budynku. Szacuje się, że jej zakres obejmuje promień ok. 1000 m [1]. Charakteryzuje ją duże zróżnicowanie warunków klimatycznych występujące w krótkim czasie, na małym obszarze. Zjawiska te nie są w pełni zbadane przez współczesną naukę. Wiadomo, że istnieją ścisłe zależności między ich przebiegiem, a kształtem zabudowy oraz, że mają wyraźny wpływ na charakterystykę energetyczną budynków i jakość mikroklimatu ich wnętrz. Artykuł ten jest próbą przybliżenia tej rzadko podejmowanej problematyki i wykazania, że jej uwzględnienie jest niezbędne dla określenia drogi rozwoju budownictwa energooszczędnego, adekwatnego do uwarunkowań polskich miast.

Poniżej dokonano analizy zależności, jakie występują pomiędzy kształtem zabudowy a wybranymi elementami mikroklimatu, w skali jej bezpośredniego sąsiedztwa. Omówiono czynniki najsilniej wpływające na gospodarkę energetyczną budynków: nasłonecznienie, temperaturę i przepływ powietrza.

2. Mikroklimat wnętrz urbanistycznych a kształt zabudowy

Zabudowa miejska wyznacza geometrię wnętrz urbanistycznych miasta. Dwa podstawowe typy tych wnętrz to ulica i plac (plac publiczny lub np. wnętrze w kwartale zabudowy). Znawcy klimatologii odnoszą się najczęściej do parametru wyrażającego proporcję wysokości budynków w stosunku do odległości między nimi: H/S. Im większą wartość ma ten współczynnik, tym większa intensywność zabudowy i tym "głębsze" jest wnętrze ulicy bądź placu.

2.1. Nasłonecznienie i temperatura

Od współczynnika H/S zależy między innymi ilość i rozkład promieniowania słonecznego, które trafia do przestrzeni między budynkami i pada na ich ściany. Część promieniowania, które bezpośrednio dociera pomiędzy budynki, ulega odbiciu lub wypromieniowaniu do atmosfery. Pozostała część jest akumulowana w powierzchniach tworzących masy termiczne: utwardzonym podłożu oraz ścianach i dachach budynków (rys. 1). Rozkład energii słonecznej zależy także od orientacji zabudowy względem stron świata.

Przykładowy rozkład promieniowania podaje Tim Oke, na podstawie analizy nasłonecznienia ulicy w Vancouver w Kanadzie, położonej na osi północ-południe, o współczynniku H/S = 0,9 [2]. Według przytoczonych badań, ok. 60% promieniowania w godzinach południowych trafiło jako ciepło do przestrzeni w obrębie kanionu, 30% zostało zakumulowane w powierzchniach, a 10% zostało zniwelowane przez parowanie powierzchni. Największa część energii cieplnej trafiła na podłoże oraz do górnych stref przestrzeni, mniejsza na ściany budynków. Ściana wschodnia została poddana najintensywniejszemu promieniowaniu w godzinach porannych. Zauważalny, choć mniejszy wzrost odnotowano popołudniu. Spowodowany był promieniowaniem odbitym od przeciwległej ściany. Na ścianie zachodniej rozkład był analogiczny, ale w odwrotnych porach dnia. Na podłożu i w górnej warstwie powietrza szczyt promieniowania nastąpił w godzinach południowych.

Rozkład energii promieniowania słonecznego jest ściśle uzależniony od głębokości tzw. kanionu ulicznego. Im jest głębszy, tym bardziej nierównomiernie jest ona dystrybuowana. Zależności te analizował Anthony J. Arnfield. Porównał on wartości promieniowania docierające do różnych stref przestrzeni ulicy (strefa pieszych, podłoże, ściany budynków) w zależności od parametru H/S (uwzględnił wartości H/S = 0,25, 0,5, 1, 2, 3 i 4), orientacji ulicy (na osi północ-południe i wschód-zachód) oraz szerokości geograficznej [3].

Pod względem gospodarki energetycznej budynków, najbardziej interesujące są zależności dotyczące promieniowania padającego na ich ściany. Generalnie, im głębszy kanion uliczny, tym mniej promieniowania do nich dociera. Według Arnfielda dla szerokości geograficznej Polski, w czerwcu, ściany ulicy o współczynniku H/S = 0,25 położonej na osi północ-południe, otrzymują czterokrotnie więcej promieniowania niż ściany ulicy przy H/S = 4. Dla prostopadłej ulicy różnica jest około dwukrotna. Im głębszy profil, tym mniejsze znaczenie ma orientacja ulicy. Dla H/S o wartości 2, 3 i 4 promieniowanie jest zbliżone dla obu rozważanych orientacji. Płytsze kaniony (H/S ≤ 1) są bardziej „wrażliwe" na zmianę orientacji. Ściany eksponowane na wschód i zachód przyjmują sumarycznie więcej energii promieniowania słonecznego niż ściany ulicy prostopadłej. Zimą orientacja ulicy nie wpływa wyraźnie na insolację ścian dla wszystkich badanych profili ulicy.

Rozkład promieniowania słonecznego w przestrzeni ulicy wpływa na jej charakterystykę termiczną. Latem temperatura panująca w przestrzeni ulicy jest wyraźnie wyższa niż w strefie ponad dachami. Największe różnice występują nocą w głębokich kanionach ulicznych, gdy ciepło zakumulowane w powierzchniach, oddawane jest do atmosfery. Zimą różnice są nieznaczne.

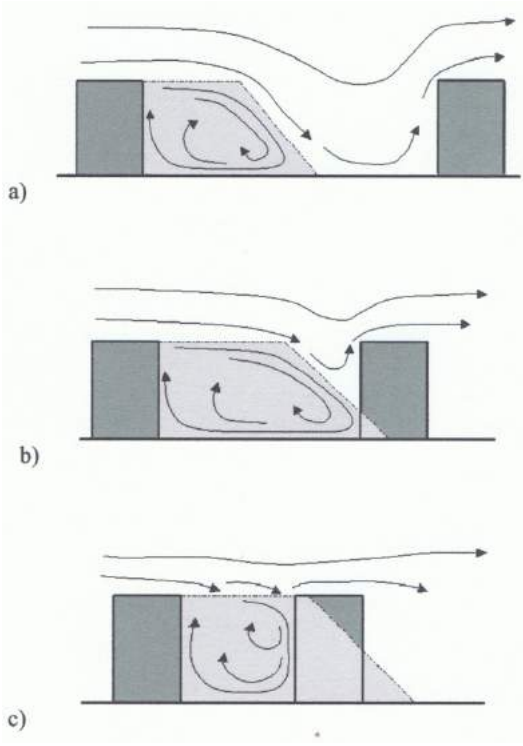
Przestrzeń ulicy podlega także zróżnicowaniu termicznemu w tym samym czasie. W przypadku nasłonecznionych ulic występują różnice temperatur powietrza i powierzchni. Temperatura powierzchni poddawanej bezpośredniemu promieniowaniu może być nawet do 10°C wyższa niż powietrza, podczas gdy ściana zacieniona może być o kilka stopni od niego chłodniejsza. W przypadku wąskich, głębokich ulic znacznemu zróżnicowaniu podlega temperatura ścian przeciwległych (nawet do 20°C, przy orientacji ulicy wschód-zachód) oraz stref dolnych i górnych tej samej ściany, poza północną [4].

2.2. Przepływ powietrza

Cyrkulacja powietrza we wnętrzach urbanistycznych ma znaczenie zarówno dla komfortu jej użytkowników, jak i charakterystyki energetycznej budynków. Istotne jest, aby wiatr pozwalał na wymianę powietrza w przestrzeni ulic i placów i chronił je przed letnim przegrzewaniem. Jednak jego prędkość nie powinna być zbyt duża, zwłaszcza w okresach zimnych, ze względu na dyskomfort przechodniów i zwiększanie potrzeb grzewczych budynków. Według Katarzyny Klemm, niewystarczająca wentylacja występuje przy temperaturze 25ºC i prędkości poniżej 3 m/s, zaś potrzeba ochrony przed wiatrem, gdy temperatura jest niższa niż -5ºC, a prędkość przekracza 1 m/s [5].

Proces wymiany powietrza w obszarze kanionu ulicznego, podobnie jak w przypadku nasłonecznienia, zależy od parametru H/S, szczególnie, gdy wiatr wieje prostopadle do osi ulicy. Jej przestrzeń można podzielić na dwie strefy cyrkulacji: strefę recyrkulacji i wentylacji [6,7]. Ta pierwsza znajduje się przy zawietrznej ścianie budynku, w strefie podciśnienia. W jej obrębie powietrze wiruje w sposób pokazany na rysunku 2. Strefa wentylacji

znajduje się przy ścianie nawietrznej przeciwległego budynku. Powietrze z górnych stref wnika do kanionu, by unieść się ku górze (rys. 2a). W miarę zmniejszania szerokości ulicy, obszar wentylacji zmniejsza się (rys. 2b). Poniżej pewnej wartości krytycznej następuje całkowity brak wentylacji, a powietrze podlega zamkniętemu ruchowi wirowemu (rys. 2c). Wówczas w przestrzeni ulicy zalega zanieczyszczone, nagrzane powietrze, tworzy się mgła. Wentylowanie naturalne budynków jest nieskuteczne.



Rys. 2. Schemat cyrkulacji powietrza w przestrzeni ulicy przy wiatrach prostopadłych; strefa recyrkulacji zaznaczona kolorem szarym, opracowanie własne na podstawie [6, 7]

Precyzyjne określenie optymalnych proporcji wymiarów przekroju ulicy ze względu na warunki aerodynamiczne, nie jest możliwe, gdyż kształt zabudowy w dalszym otoczeniu – unikatowy dla każdej sytuacji – zmienia charakterystykę wiatru. Szacunkowe przedziały wskazanych wartości H/S, podawane przez poszczególnych autorów nie pokrywają się, ale analizując je można przyjąć, że gdy współczynnik ten jest mniejszy niż 0,37, przy wiatrach prostopadłych do ulicy występuje intensywna wymiana powietrza, a gdy jest większy niż 0,74, powietrze nie ulega wymianie [8].

Ważne są także inne cechy przestrzenne zabudowy, np. zróżnicowanie wysokości budynków, ciągłość pierzei elewacyjnych, bramy i podcięcia, formy dachów. Na przykład "szczelnie" zabudowane ulice o współczynniku $H/S \geq 0{,}33$ tworzą kanały zasysające strumienie powietrza (efekt wąskiego kanału). Przewężenia ulicy powodują gwałtowne przyspieszenia wiatru (efekt dyszy). Pojedyncze obiekty o znacznie większej wysokości niż

zabudowa sąsiednia, wywołują z kolei pionowy ruch powietrza (efekt wiru spływającego) [9]. Choć zjawiska te bywają uciążliwe dla przechodniów, mogą korzystnie intensyfikować wymianę powietrza w strefach zastoju.

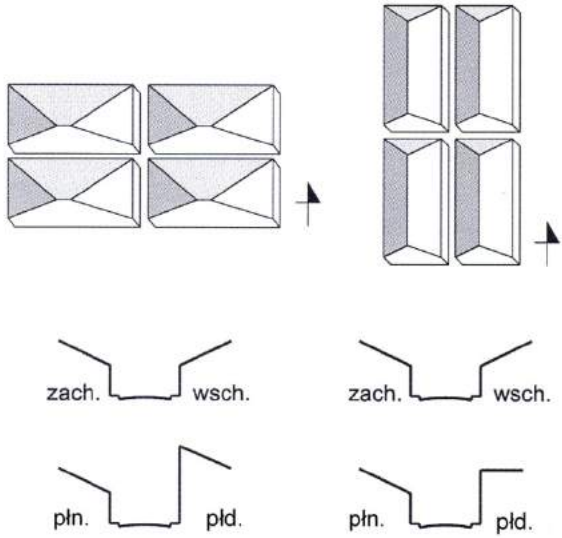
3. Rozwiązania energooszczędne w budynkach na terenach silnie zurbanizowanych

W porównaniu z terenem otwartym, intensywnie zabudowane przestrzenie miejskie ograniczają możliwości stosowania rozwiązań nakierowanych na oszczędność energii i pozyskiwanie jej ze źródeł odnawialnych. Do najpoważniejszych problemów zaliczyć można samozacienianie zabudowy, trudność jej optymalnego orientowania względem słońca, ograniczenie naturalnego wentylowania przestrzeni miejskich i budynków, tendencje do przegrzewania latem. Ich nasilenie jest wprost proporcjonalne do intensywności zabudowy.

Powszechnie znane, "podręcznikowe" zasady kształtowania budynków energooszczędnych dotyczą sytuacji, w których kontekst otoczenia nie wpływa zasadniczo na uwarunkowania mikroklimatyczne. W przypadku zwartych przestrzeni miejskich istnieje konieczność selektywnego wyboru znanych rozwiązań bądź ich modyfikowania tak, by odpowiadały indywidualnym możliwościom danej działki oraz potrzebom budynków i przestrzeni miejskich. Zakres tego opracowania nie pozwala na obszerną analizę w tym zakresie. Omówiono jednak pewne kierunki, które wydają się właściwą drogą dochodzenia do rozwiązań przestrzennych dostosowanych do uwarunkowań mikroklimatycznych charakterystycznych dla miasta .

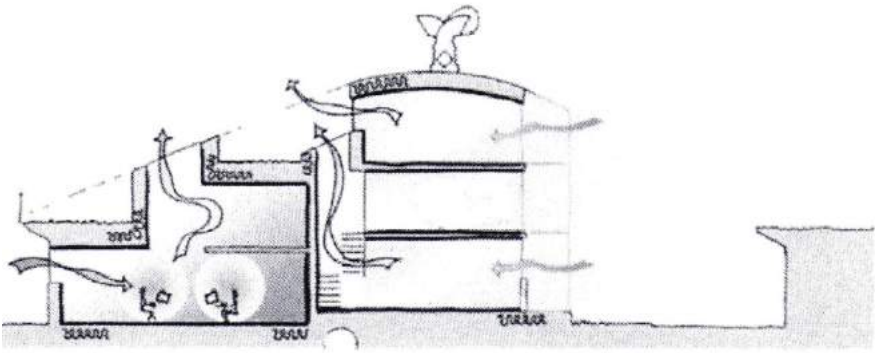
3.1. Geometria wnętrz urbanistycznych

Podstawowym zaleceniem dla budynków energooszczędnych jest dążenie do zwartości formy oraz wyeksponowania jej na zyski słoneczne. Układ ulicy sprzyja formom zwartym. Trudniejsze jest jednak dążenie do pasywnego pozyskiwania energii cieplnej ze słońca. W przypadku głębokich kanionów ulicznych dolne partie budynków czerpią ze słońca w niewielkim stopniu, nawet przy orientacji południowej. Trudno także wykorzystać możliwości formowania planu budynku tak, by otwierał się na ekspozycję południową, a elewacja północna została zminimalizowana (zasada tzw. koperty słonecznej). Podczas projektowania warto jednak rozważyć możliwości ukształtowania profilu pionowego ulicy w sposób zgodny z tą zasadą. Przykładowe rozwiązania pokazano na rysunku 3 [4].



Rys. 3. Schematyczne przykłady różnicowania wysokości zabudowy w układzie ulicy prowadzącego do maksymalizacji zysków słonecznych i minimalizacji strat ciepła, opracowanie własne na podstawie [4]

Korzystne może okazać się wprowadzenie asymetrii profilu ulicznego, płaszczyzn skośnych lub zaokrąglonych. Dzięki temu można "otworzyć" nawet niezbyt szeroką ulicę na słońce oraz zróżnicować powierzchnie elewacji dobrze i słabo nasłonecznionych na korzyść tych pierwszych (rys. 4). Powierzchnie nachylone mogą zaś posłużyć do sytuowania instalacji aktywnie pozyskujących energię słoneczną. Podobne zasady kształtowania profilu ulicy mają także znaczenie dla cyrkulacji powietrza. Rozszerzanie ulic w górnych strefach może ograniczyć opisywane wyżej trudności wentylowania wąskich ulic przy wiatrach prostopadłych.



Rys. 4. Osiedle mieszkaniowe BedZED w Londynie (proj. ZEDfactory). Przekrój budynku ukształtowanego wg zasady tzw. koperty słonecznej w układzie pionowym [10]

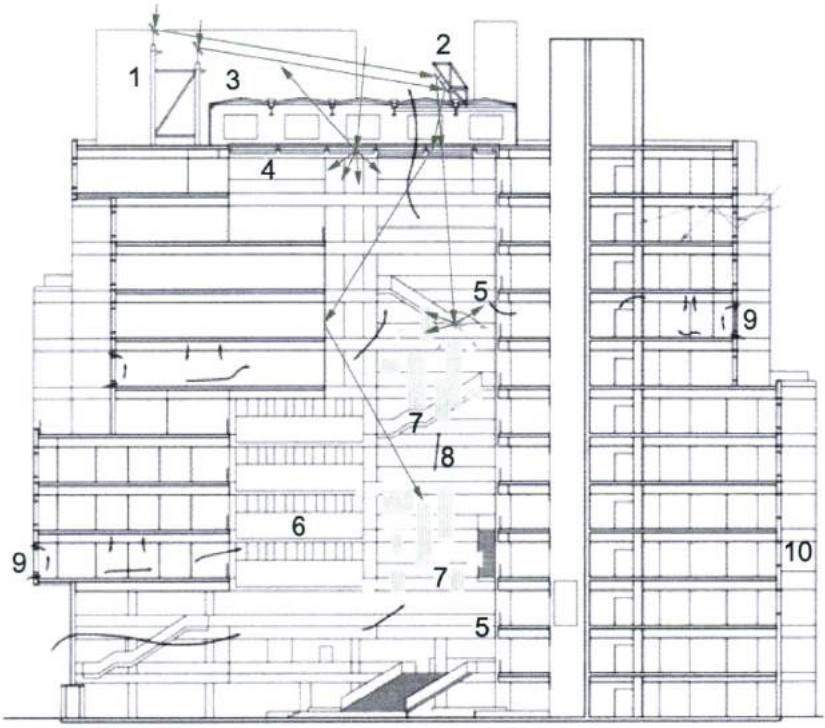
3.2. Strefowanie wertykalne

Wytyczne do projektowania energooszczędnych budynków zalecają grupowanie pomieszczeń wg potrzeb termicznych i świetlnych, czyli tzw. strefowanie funkcji. I tak, pomieszczenia o dużym zapotrzebowaniu na ciepło i światło (np. strefy dzienne mieszkań) i dużych rozmiarach, powinny zajmować strefy lepiej eksponowane na słońce (południowe, zachodnie), a pomieszczenia o mniejszym zapotrzebowaniu, generujące ciepło i niewielkie, strefy gorzej nasłonecznione. W przestrzeni ulicy, zastosowanie typowego strefowania funkcji nie zawsze jest możliwe, zwłaszcza gdy proporcje profilu ulicy powodują zacienienie dolnej strefy przez znaczną część dnia. W tej sytuacji rozważać można różnicowanie funkcji budynków w pionie, w zależności od warunków nasłonecznienia. Dolne kondygnacje powinny mieścić funkcje nie wymagające bezpośredniego dostępu promieniowania oraz o dużym obciążeniu termicznym. Górne kondygnacje, o znacznie większych możliwościach w zakresie pasywnego pozyskiwania energii słonecznej, powinny mieścić funkcje związane ze stałym przebywaniem ludzi i dużych potrzebach w zakresie bezpośredniego oświetlenia światłem dziennym.

Podobna zamiana układu horyzontalnego na wertykalny dotyczyć może zasad rozmieszczania elementów przeszklonych, ukierunkowanych na pasywne pozyskiwanie energii słonecznej. W niezacienianych budynkach wolnostojących należy umieszczać duże okna i struktury szklarniowe od południa. Od wschodu i zachodu udział przeszkleń względem ścian pełnych powinien być mniejszy, a od północy powinno być ich jak najmniej. Tak więc różnicowanie wielkości przeszkleń odbywa się na obwodzie budynku. W przypadku ulic różnicowanie to może przebiegać wertykalnie, czyli dolne strefy powinny mieć mniej okien niż górne, lepiej nasłonecznione. Analogicznie, zewnętrzne elementy ochrony przeciwsłonecznej (np. wysunięte części elewacji, okiennice, żaluzje, rolety) mogą być potrzebne jedynie w górnych pasach ścian.

3.3. Niezależność od orientacji

Dla budynków tworzących zwarte ulice najwłaściwsze mogą się okazać rozwiązania prowadzące do oszczędności energii, które nie wymagają określonej orientacji względem stron świata. Należą do nich te, w których elementy pozyskujące energię odnawialną lokalizowane są na płaszczyznę dachu, a nie na elewacjach. W zabudowie miejskiej to właśnie dachy tworzą najkorzystniejszą płaszczyznę do sytuowania instalacji aktywnie pozyskujących energię: kolektorów słonecznych, ogniw fotowoltaicznych, turbin wiatrowych. Są bowiem mniej narażone na zacienianie i przesłanianie niż ściany budynków. Dachy mają także znaczenie dla możliwości stosowania elementów przestrzennych pozyskujących energię z sposób pasywny i regulujących mikroklimat wnętrz budynków np. przestrzeni atrialnych i elementów kominowych. O ile prawidłowe zastosowanie atrium z przeszkloną elewacją w budynku tworzącym ulicę jest możliwe jedynie przy właściwej orientacji względem słońca i braku zacieniania przez sąsiednią zabudowę, o tyle atrium wewnętrzne jest rozwiązaniem uniwersalnym (rys. 5).



Rys. 5. Przekrój przez budynek biurowy w Cambridge, (USA, proj. Behnisch & Partner) ze schematem wentylacji i oświetlenia budynku światłem dziennym (instalacja heliostatyczna na dachu i w atrium); strzałkami szarymi zaznaczono drogę pozyskiwania słonecznego promieniowania świetlnego, czarnymi – wentylację naturalną; heliostat (1), zwierciadło (2), przeszklenie dachu atrium (3), żaluzje ruchome (4), „ściana świetlna" z żaluzjami odbijającymi światło (5), panele stalowe (6), system płytek odbijających światło (7), naturalny ruch powietrza zużytego (8), ściana dwupowłokowa z otworami wentylacyjnymi (9), elewacje z otwieranymi oknami (10), opracowanie własne na podstawie [11]

Orientacja budynku i stopień zacienienia jego ścian nie wpływa zasadniczo na sposób działania takiego atrium. Pozwala ono także na poprawę warunków oświetlenia wnętrza światłem dziennym, które w przypadku ciasnych wnętrz urbanistycznych mogą być niezadowalające.

Korzystne mogą się także okazać mało popularne w Polsce, kominy słoneczne i wieże wiatrowe. Pod względem bioklimatycznym działają podobnie jak atria, ale mają charakter zdecentralizowany, przez co mniej wpływają na układ przestrzenny budynku. Dzięki nim budynki o głębokich traktach mogą osiągnąć komfortowe warunki mikroklimatu wnętrza (równomierne oświetlenie światłem dziennym, naturalna wymiana powietrza) i funkcjonalną elastyczność.

Dachy są także możliwością dla ekspansji roślinności. Wprowadzanie jej na płaszczyzny dachowe w zwartej zabudowie jest bardziej uzasadnione niż na terenach otwartych, bogatych w tereny biologicznie czynne. Oprócz wielu innych zalet, zieleń dachowa ko-

rzystnie wpływa na warunki termiczne budynku, izolując go przed zimnem i chroniąc przed przegrzewaniem.

3.4. Zaawansowanie technologiczne, energia ze źródeł odnawialnych

Trudności ze swobodą orientowania budynków w układzie ulicy i ich słaba ekspozycja na słońce ogranicza możliwości stosowania pasywnych metod pozyskiwania energii i racjonalnego nią gospodarowania. Proste, tradycyjne zasady związane z formowaniem budynków, kształtowaniem ich układu przestrzenno-funkcjonalnego, rozwiązywaniem elewacji, zdecydowanie łatwiej wykorzystać w budynkach wolnostojących. W układzie ulic, zwłaszcza intensywnie zabudowanych, konieczne jest ich przekształcanie oraz uzupełnianie rozwiązaniami technologicznymi.

O ile wykorzystanie energii cieplnej słońca jest utrudnione w przestrzeniach miejskich, o tyle stanowią one unikatowy potencjał dla wykorzystania energii wiatru. Aktualny stan wiedzy i dostępne technologie nie pozwalają go w pełni wykorzystać, ale jest to z pewnością obszar rozwojowy. Przejawem zainteresowania tą formą energii są pierwsze realizacje obiektów wysokościowych z turbinami wiatrowymi (np. Bahrain World Trade Center w Manamie, proj. Atkins; Pearl River Tower w Guangzhou, proj. SOM; Castle House w Londynie, proj. Hamiltons Architects). Podejmowane są także próby integrowania drobnych nieuciążliwych elementów pozyskujących wiatr (np. turbiny o pionowej osi obrotu, elementy z materiałów piezoelektrycznych) z budynkami o niewielkiej skali.

4. Podsumowanie

Analizując uwarunkowania mikroklimatyczne danej przestrzeni, można określić jej energetyczny potencjał, a także rozpoznać problemy wymagające rozwiązania. Istotne jest, by widzieć projektowany budynek lub zespół budynków, nie jako wartość jednostkową, ale jako element większego fragmentu zabudowy. Taki sposób myślenia tworzy nową wartość dla rozważań nad kierunkami rozwoju budownictwa energooszczędnego i wykorzystania odnawialnych źródeł energii na terenach zurbanizowanych. Tkanka miejska, projektowana całościowo lub uzupełniana, powinna tworzyć harmonijny układ - nie tylko ze względu na uwarunkowania urbanistyczne, ale także mikroklimatyczne i energetyczne. Wprowadzenie nowej zabudowy wymaga rozważań, w jaki sposób należy ją kształtować, by nie pogorszyć warunków istniejących, i czy w sytuacjach problematycznych, możliwa jest ich poprawa. Dotyczy to szczególnie zjawisk aerodynamicznych, których badania dowodzą, że konsekwencje wprowadzenia nowego budynku mogą być odczuwalne dalej niż tylko w jego bezpośrednim sąsiedztwie.

Zarysowana w tym opracowaniu charakterystyka uwarunkowań mikroklimatycznych przestrzeni ulic miejskich pokazuje, z jak złożonymi zagadnieniami mamy do czynienia. Stan wiedzy na ich temat nie jest wystarczający i wymaga pogłębiania. Uwidacznia się szczególna rola badań interdyscyplinarnych, które podjęte we wczesnym etapie projektu, mogą znacząco wpłynąć na logikę tworzenia i dobierania rozwiązań energooszczędnych.

Literatura

1. Ratti C., Di Sabatino S., Britter R., 2006. Urban Texture Analysis with Image Processing Techniques: Winds and Dispersion, Theoretical and Applied Climatology 84, 77-90.
2. Oke T.R., 1981. Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat Island: Comparison of Scale Model and Field Observation, International Journal of Climatology 1, 237-254.
3. Arnfield A.J., 1990. Street Design And Urban Canyon Solar Access, Energy And Building 14, 117-131.
4. Ali-Toudert F., 2005. Dependence of Outdoor Thermal Comfort on Street Design in Hot and Dry Climate, www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/2078/pdf/diss_freidok_ali_toudert_fazia.pdf. Dostęp 15. 03 2012.
5. Klemm K., 2011. Kompleksowa ocena warunków mikroklimatu w luźnych i zwartych strukturach urbanistycznych, Sekcja Fizyki Budowli, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN. Studia z Zakresu Inżynierii 75, Warszawa.
6. Daniels K., 1997. The Technology Of Ecological Building, Birkhauser Berlin.
7. Harman I.N., 2003. The Energy Balance Of Urban Areas, praca doktorska na Wydziale Meteorologii Uniwersytetu w Reading.
8. Zielonko-Jung K., 2013. Kształtowanie architektury ekologicznej w strukturze miasta, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
9. Flaga A., 2008. Inżynieria wiatrowa. Arkady Warszawa.
10. Hegger M., Fuchs M., Stark T., Zeumer M., 2008. Energy Manual. Sustainable Architecture. Birkhauser Berlin.
11. Hegger M., Fuchs M., Stark T., Zeumer M., 2008. Energy Manual. Sustainable Architecture. Birkhauser Berlin.

Energy-efficient buildings in urban space

Katarzyna Zielonko-Jung

Faculty of Architecture, Warsaw University of Technology
e-mail: katarzyna.zielonko-jung@arch.pw.edu.pl

Abstract: Most of the world population lives in the cities, which most often serves as the background for contemporary architecture. In the urban setting, natural environment, including climate, is greatly transformed. Its characteristics have a strong impact on energy-efficient buildings that seek to regain energy from natural sources.

The article deals with the shaping of urban surroundings in relation to the microclimate in their vicinity. The surroundings transform natural climatic components, such as temperature, the amount of sunlight and wind. Drawing from literature and research findings (including the author's own research), a number of environmentally friendly urban projects have been analysed and discussed. The objective of this analysis is to outline interrelations between the geometry of the urban structure (proportions between streets and form of the buildings) and the climatic phenomena emergent in their proximity. This allows to draw general conclusions related to what consequences these interrelations may have for the use of energy-efficient mechanisms and designs applied to buildings on a street. Several general guidelines for their selection and modification have been named that seem to be the right way for energy-efficient architecture in the street urban context.

Keywords: Bioclimatic architecture, energy-efficient architecture, eco-city, sustainable development

ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNO-MATERIAŁOWE ORAZ SYSTEMÓW TECHNICZNYCH W BUDOWNICTWIE ENERGOOSZCZĘDNYM

Energooszczędne rozwiązania instalacji oświetlenia wbudowanego w budynkach użyteczności publicznej

Piotr Cierzniewski[1], Karolina Kurtz-Orecka[2]

[1] Wydział Elektryczny, [2] Wydział Budownictwa i Architektury,
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie,
e-mail: cierz@zut.edu.pl, karolinakurtz@gmail.com

Streszczenie: Regulacje prawne w Unii Europejskiej dążą do ograniczenia zużycia energii na potrzeby oświetlenia wbudowanego w budynkach użyteczności publicznej. W pracy przedstawiono akty prawne związane z efektywnym projektowaniem oświetlenia wbudowanego oraz zawarte w nich wymagania jakościowe i ilościowe, dotyczące oświetlenia wbudowanego w budynkach użyteczności publicznej. Do podstawowych parametrów otoczenia świetlnego uwzględniających światło sztuczne i światło dzienne zalicza się: rozkład luminancji i natężenia oświetlenia, kierunkowość światła oraz oświetlenia w przestrzeni wnętrza, zmienność światła (poziomy i barwa światła), oddawanie barw i wygląd barwy światła czy olśnienie. Wskazano wymagania odnoszące się do pomieszczeń biurowych, wprowadzone przez normę PN-EN 12464:2012 [1]. Podano także wymagania energetyczne oświetlenia miejsc pracy w budynkach użyteczności publicznej na podstawie normy PN-EN 15193:2010 [2] oraz przepisów techniczno-budowlanych. Ponadto w pracy przedstawiono sposoby zmniejszania zużycia energii na potrzeby oświetlenia wbudowanego w budynkach użyteczności publicznej oraz ich wpływ na parametry energetyczne budynku poprzez zastosowanie: odpowiedniej aranżacji pomieszczeń, automatyki budynkowej do sterowania oświetlenia oraz wykorzystanie światła dziennego.

Słowa kluczowe: oświetlenie miejsc pracy, natężenie oświetlenia, efektywność energetyczna, źródło światła, skuteczność świetlna, równomierność oświetlenia

1. Wymagania prawne dotyczące oświetlenia i instalacji oświetlenia wbudowanego

1.1. Unijne akty prawne regulujące wymagania stawiane oświetleniu wbudowanemu w obiektach budowlanych

W krajach Unii Europejskiej dąży się między innymi do zmniejszenia zużycia energii elektrycznej na potrzeby oświetlenia wbudowanego. Świadczą o tym regulacje prawne dotyczące zarówno opraw oświetleniowych, źródeł światła, jak i całych instalacji oświetlenia wbudowanego, takie jak:

- Dyrektywa 2005/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 6 lipca 2005 r. określająca ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów wykorzystujących energię oraz zmieniająca dyrektywę Rady 92/42/EWG,
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/28/WE z dnia 11 marca 2008 r. zmieniająca dyrektywę 2005/32/WE ustanawiającą ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów wykorzystujących energię, dyrektywę Rady 92/42/EWG oraz dyrektywy 96/57/WE i 2000/55/WE, w odniesieniu do uprawnień wykonawczych przyznanych Komisji,

- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE z dnia 21 października 2009 r. ustanawiająca ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów związanych z energią,
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (zmieniająca Dyrektywę 2002/91/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 2002 r.),
- Dyrektywa 2000/55/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 września 2000 r. w sprawie wymogów efektywności energetycznej stateczników do oświetlenia fluorescencyjnego,
- Rozporządzenie Komisji (WE) NR 245/2009 z dnia 18 marca 2009 r. w sprawie wykonania dyrektywy 2005/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla lamp fluorescencyjnych bez wbudowanego statecznika, dla lamp wyładowczych dużej intensywności, a także dla stateczników i opraw oświetleniowych służących do zasilania takich lamp, oraz uchylające dyrektywę 2000/55/WE Parlamentu Europejskiego i Rady,
- Rozporządzenie Komisji (UE) NR 347/2010 z dnia 21 kwietnia 2010 r. zmieniające rozporządzenie Komisji (WE) nr 245/2009 w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla lamp fluorescencyjnych bez wbudowanego statecznika, lamp wyładowczych dużej intensywności oraz stateczników i opraw oświetleniowych służących do zasilania takich lamp,
- Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) nr 244/2012 z dnia 16 stycznia 2012 r. uzupełniające dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i ustanawiające ramy metodologii porównawczej do celów obliczania optymalnego pod względem kosztów poziomu wymagań minimalnych dotyczących charakterystyki energetycznej budynków i elementów budynków,
- Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) nr 874/2012 z dnia 12 lipca 2012 r. uzupełniające dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/30/UE w odniesieniu do etykietowania energetycznego lamp elektrycznych i opraw oświetleniowych,
- Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1194/2012 z dnia 12 grudnia 2012 r. w sprawie wykonania dyrektywy 2009/125/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla lamp kierunkowych, lamp z diodami elektroluminescencyjnymi i powiązanego wyposażenia.

Bezpośrednio z Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE związana jest norma europejska PN-EN 15193: 2010 „Charakterystyka energetyczna budynków, wymagania energetyczne dotyczące oświetlenia" [2].

1.2. Akty prawne regulujące wymagania stawiane oświetleniu wbudowanemu w obiektach budowlanych w Polsce

W Polsce zagadnienia dotyczące oświetlenia miejsc pracy oraz zużywanej energii na potrzeby oświetlenia wbudowanego regulują między innymi:

- Ustawa z dnia 15 kwietnia 2011 r. o efektywności energetycznej (Dz.U. 2012 nr 0 poz. 962 z późniejszymi zmianami),
- Ustawa z dnia 29 sierpnia 2014 r. o charakterystyce energetycznej budynków (Dz.U. 2014 nr 0 poz. 1200),
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz. U. 2015 nr 0 poz. 376) [3],

- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późniejszymi zmianami) [4],
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 10 sierpnia 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej, wzoru karty audytu efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności energii (Dz.U. 2012 nr 0 poz. 962),
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 23 października 2012 r. w sprawie przetargu na wybór przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej (Dz.U. 2012 nr 0 poz. 1227),

Wymagania dotyczące oświetlenia miejsc pracy w wnętrzach określa norma zharmonizowana PN-EN 12464-1: 2012 „Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy – Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach”[1] zgodnie, z którą podstawowymi parametrami otoczenia świetlnego uwzgledniającymi światło sztuczne i światło dzienne są:

- rozkład luminancji,
- natężenia oświetlenia,
- kierunkowość światła, oświetlenia w przestrzeni wnętrza,
- zmienność światła (poziomy i barwa światła),
- oddawanie barw i wygląd barwy światła czy olśnienie przykre.

Wprowadzone przez normę [1] wymagania dotyczą parametrów oświetleniowych zalecanego i wymaganego, takich jak:

- poziomu eksploatacyjnego natężenia oświetlenia (E_m) oraz jego równomierności (U_0) w miejscu pracy, otoczeniu miejsca pracy i tła,
- poziomu natężenia oświetlenia oraz jego równomierności na suficie i ścianach,
- współczynnika oddawania barw (R_a),
- temperatury barwowej (T_{CP}),
- ujednoliconej oceny olśnienia (UGR_L).

Wymagania oświetleniowe dla pomieszczeń biurowych w zależności od obszarów, zadania lub działalności wykonywanej zgodnie z normą [1] przestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wymagania oświetleniowe dla pomieszczeń biurowych w zależności od obszarów, zadania lub działalności wykonywanej

Typ obszaru, zadanie lub działalność	E_m	UGR_L	U_0	R_a
	lx	-		-
Obszary ruchu	100	28	0,40	40
Schody, schody ruchome, chodniki ruchome	100	25	0,40	40
Windy, dźwigi	100	25	0,40	40
Segregowanie, kopiowanie itp.	300	19	0,40	80
Pisanie, czytanie, przetwarzanie danych	500	16	0,60	80
Rysowanie techniczne	750	19	0,70	80
Stanowiska CAD	500	19	0,60	80
Pokoje konferencyjne i pokoje spotkań	500	19	0,60	80
Miejsca recepcji	300	22	0,60	80
Archiwa	200	25	0,40	80

Ponadto norma [1] zaleca, aby współczynniki odbicia światła od głównych powierzchni rozpraszających we wnętrzu mieściły się w zakresie: od 0,7 do 0,9 w odniesieniu do sufitów, od 0,5 do 0,8 dla ścian, od 0,2 do 0,4 w przypadku podłóg oraz od 0,2 do 0,7 dla głównych przedmiotów w pomieszczeniu, jak meble, maszyny oraz inne.

Poza wskazanymi wymaganiami, ważne jest również spełnienie warunków dotyczących energii zużywanej na potrzeby oświetlenia wbudowanego W_t [kWh], która zgodnie z normą PN-EN 15193: 2010 [2] składa się z energii wykorzystywanej przez oprawy oświetleniowe $W_{L,t}$ [kWh] (wytwarzające wymagane oświetlenie) oraz energii „pasożytniczej" $W_{P,t}$ [kWh] – energii zużywanej na ładowanie baterii opraw awaryjnych (gdy źródła światła oprawy są wyłączone), jak i na podtrzymywanie systemów kontroli opraw (gdy źródła światła oprawy są wyłączone). Wyliczana jest według zależności:

$$W_t = W_{L,t} + W_{P,t} \tag{1}$$

Przy wyznaczaniu W_t uwzględnia się techniki minimalizowania zużycia energii, tj.:

- kontrolowanie stałego poziomu natężenia oświetlenia (na zasadzie zmiennego wykorzystywania przewymiarowanej mocy instalowanej w nowym urządzeniu) – F_C,
- sterowanie i regulacja opraw oświetleniowych (na zasadzie ograniczania czasu świecenia opraw i okresowego obniżania poziomu natężenia oświetlenia) – F_O,
- wykorzystywanie światła naturalnego (przy kontrolowanym doświetlaniu światłem sztucznym w porze dziennej) – F_D.

Obliczanie energii zużywanej przez oprawy $W_{L,t}$ przeprowadza się z uwzględnieniem mnożenia mocy instalowanej przez F_C, czasu świecenia opraw w porze dziennej t_D przez F_O oraz F_D, czasu świecenia opraw w porze poza dzienną t_N przez F_O. W zależności od przypadków, wartości współczynników zależnych są przyjmowane ≤ 1.

Przyjęty sposób obliczania energii wynika z poniżej podanych zależności:

$$W_{L,t} = \frac{\left(P_n \cdot F_C\right) \cdot \left[\left(t_D \cdot F_O \cdot F_D\right) + \left(t_N \cdot F_O\right)\right]}{1000} \tag{2}$$

gdzie: P_n – moc [W] wszystkich opraw oświetleniowych w pomieszczeniu lub strefie, t_D – czas [h] czas funkcjonowania oświetlenia z udziałem światła dziennego (tabela 2), t_N – czas [h] czas funkcjonowania oświetlenia bez udziału światła dziennego (tabela 2), F_C – czynnik dotyczący zużycia całkowitej zainstalowanej mocy, gdy działa sterowanie utrzymujące stały poziom natężenia w pomieszczeniu lub w strefie wzór (3), F_D – czynnik zużycia całkowitej zainstalowanej mocy, zależny od dostępności światła dziennego w pomieszczeniu lub strefie (tab. 3), F_O – czynnik dotyczący zużycia całkowitej zainstalowanej mocy oświetleniowej, zależny od okresu obecności osób w pomieszczeniu lub strefie (tabela 4).

Tabela 2. Standardowe godziny rocznego działania w zależności od typu budynku

Typy budynków	Standardowe godziny rocznego działania		
	t_D	t_N	t_O
Biura	2250	250	2500
Budynki na cele edukacyjne	1800	200	2000
Szpitale	3000	2000	5000
Hotele	3000	2000	5000
Restauracje	1250	1250	2500
Obiekty sportowe	2000	2000	2000
Usługi hurtowe i detaliczne	3000	2000	5000
Zakłady produkcyjne	2500	1500	4000

Tabela 3. Wpływ światła dziennego w budynkach ze sterowaniem

Typy budynków	Standardowe godziny rocznego działania	
	Typ sterowania	F_D
Biura, obiekty sportowe, produkcja	Ręczne	1,0
	Ściemnianie fotokomórkowe z czułością na światło dzienne	0,9
Restauracje, hurt i detal	Ręczne	1,0
Budynki na cele edukacyjne Szpitale	Ręczne	1,0
	Ściemnianie fotokomórkowe z czułością na światło dzienne	0,8
Uwaga Zakłada się, że co najmniej 60% oświetleniowego obciążenia podlega sterowaniu		

Uzyskiwany efekt energetyczny określa się poprzez stosowanie współczynnika stałego poziomu natężenia oświetlenia (F_C), przez który mnoży się instalowaną moc opraw przy obliczaniu energii zużywanej na potrzeby oświetlenia. Współczynnik F_C jest stosunkiem średniej mocy wykorzystywanej przez określony czas do mocy instalowanej opraw oświetleniowych. Zwykle jest okresem pełnego cyklu konserwacji oświetlenia (wymiany źródła światła lub czyszczenia oprawy). Wartość współczynnika F_C jest wartością uśrednioną, zależną od wartości współczynnika utrzymania *MF*. Obliczana jest na podstawie dwóch brzegowych wartości współczynnika utrzymania, początkowej i końcowej (odniesionej do czasu wyznaczającego koniec cyklu):

$$F_C = \frac{(1 + MF)}{2} \tag{3}$$

gdzie: *MF* – założona w projekcie wartość współczynnika utrzymania poziomu natężenia oświetlenia, gdy stosowana jest regulacja natężenia oświetlenia, w praktyce jego wartość wynosi przeważnie 0,8-0,9; gdy nie zastosowano regulacji to przyjmuje się 1,0.

Tabela 4. Wpływ obecności dla budynków ze sterowaniem

Typy budynków	Standardowe godziny rocznego działania	
	Typ sterowania	F_D
Biura, edukacja	Ręczne	1,0
	Automatyczne z przyłączonym obciążeniem ≥ 60%	0,9
Detal, produkcja, sport i restauracja	Ręczne	1,0
Hotel	Ręczne	0,7
Szpital	Ręczne (jakieś automatyczne sterowanie)	0,8
Uwaga: Automatyczne sterowanie z czułością na obecność powinno być rozmieszczone w liczbie co najmniej jedno urządzenie na jedno pomieszczenie, a w dużych wnętrzach – co najmniej jedno urządzenie na 30 m^2		

Energię pasożytniczą, $W_{p,t}$, jeśli nie może być szacunkowo obliczana na podstawie danych deklarowanych, przyjmuje się ryczałtowo. Przy braku dokładnych danych dla pomieszczeń lub stref, w których występują systemy kontroli opraw i oświetlenie awaryjne, moc pasożytniczą można wyznaczyć z zależności:

$$W_{P,t} = \sum_{1}^{j} W_{p,cj} \cdot A_{fj} + \sum_{1}^{i} W_{p,emi} \cdot A_{fi} \tag{4}$$

gdzie: $W_{p,cj}$ – energia [kWh/(m^{2}rok)] podtrzymywania systemów kontroli opraw, gdy źródła światła opraw nie są włączone, przyjmuje wartość 5 kWh/(m^{2}rok); $W_{p,emi}$ – energia

[kWh/(m^{2}rok)] ładowania baterii awaryjnych opraw oświetleniowych, gdy źródła światła nie są włączone, przyjmuje wartość 1 (kWh/m^{2}rok); A_{fj} – powierzchnia pomieszczenia lub strefy, w których występują systemy kontroli opraw; A_{fi} – powierzchnia pomieszczenia lub strefy, w których występuje oświetlenie awaryjne. W obliczeniach zapotrzebowania energii na potrzeby oświetlenia wbudowanego brana pod uwagę powierzchnia pomieszczeń może być inna od powierzchni liczonej w bilansie potrzeb cieplnych budynku. Na podstawie określonej rocznej energii W_t, zużywanej przez oświetlenie w budynku, wyznacza się (przy jej odniesieniu do całkowitego podłogowego pola A gdzie zainstalowane jest oświetlenie w budynku) energię jednostkową zużywaną w roku [kWh/(m^{2}rok)]. Za miarę wydajności energetycznej oświetlenia w budynku przyjmuje się liczbowy wskaźnik energii na oświetlenie – *LENI* (*Lighting Energy Numeric Indicator*) obliczany według zależności:

$$LENI = \frac{W_t}{A} \tag{5}$$

Wartość wskaźnika *LENI* jest podstawą do wyznaczenia rocznego zapotrzebowania na energię końcową dostarczaną do budynku dla wbudowanej instalacji oświetlenia $Q_{k,L}$ zgodnie z rozporządzeniem [3] i obliczana jest według zależności:

$$Q_{k,L} = LENI \cdot A \tag{6}$$

Na postawie energii końcowej $Q_{k,L}$ zgodnie z rozporządzeniem [3] i obliczane jest roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemu wbudowanej instalacji oświetlenia $Q_{p,L}$ według zależności:

$$Q_{p,L} = Q_{k,L} \cdot w_{el} \tag{7}$$

gdzie: w_{el} – współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie energii elektrycznej. Współczynnik w_{el} dla sposobu zasilania budynku w energię elektryczną z sieci elektroenergetycznej systemowej wynosi 3, natomiast dla zasilania z OZE wynosi 0.

Roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemu wbudowanej instalacji oświetlenia $Q_{p,L}$ odpowiada wartości wskaźnika ΔEP_L na potrzeby oświetlenia wbudowanego zgodnie z rozporządzeniem [4], który nie powinien przekroczyć wartości podanych w tabeli 5 w odniesieniu do budynków użyteczności publicznej nowych lub przebudowywanych.

Tabela 5. Cząstkowe maksymalne wartości wskaźnika ΔEP_L na potrzeby oświetlenia

Rodzaj budynku	Cząstkowe maksymalne wartości wskaźnika ΔEP_L na potrzeby oświetlenia, kWh/(m^{2}rok), w zależności od czasu działania oświetlenia w ciągu roku t_0		
	od 01.01.2014	od 01.01.2017	od 01.01.2021*)
Budynek użyteczności publicznej:	dla $t_0 < 2500$ h/rok $\Delta EP_L = 50$ dla $t_0 \geq 2500$ h/rok $\Delta EP_L = 100$	dla $t_0 < 2500$ h/rok $\Delta EP_L = 50$ dla $t_0 \geq 2500$ h/rok $\Delta EP_L = 100$	dla $t_0 < 2500$ h/rok $\Delta EP_L = 25$ dla $t_0 \geq 2500$ h/rok $\Delta EP_L = 50$
*) Od 01.01.2019 r. w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością.			

2. Sposoby zmniejszania zużycia energii na potrzeby oświetlenia wbudowanego w budynkach użyteczności publicznej

2.1. Źródła światła i ich parametry

Odpowiedni dobór źródeł światła i opraw oświetleniowych bezpośrednio wpływa na efektywność energetyczną instalacji oświetlenia wbudowanego w budynku. Przy wyborze źródeł światła należy zwrócić uwagę na następujące ich parametry:

- strumień świetlny Φ [lm] – całkowita moc światła emitowanego z danego źródła,
- skuteczność świetlna η [lm/W] – określa iloraz strumienia świetlnego emitowanego przez określone źródło światła do pobieranej przez nie energii w jednostce czasu,
- trwałość źródła światła T [h] – określa sumę godzin świecenia, w czasie którego źródło spełnia wymagania norm,
- współczynnik oddawania barw R_a – określa, jak dobrze postrzegane są barwy oświetlonych przedmiotów w stosunku do oświetlania ich światłem słonecznym,
- moc źródła światła P_n – moc energii elektrycznej pobierana przez źródło,
- temperatura barwowa T_{CP} [^{0}K] – jest to obiektywna miara wrażenia barwy danego źródła światła.

W tabeli 6 zestawiono parametry wybranych źródeł światła użytkowanych w budynkach użyteczności publicznej. Z przedstawionego zestawienia wynika, że najbardziej opłacalna inwestycją jest zainstalowanie LED-owych źródeł światła, jednak mają one najsłabszy współczynnik oddawania barw, dlatego w pomieszczeniach lub strefach, gdzie ważne jest rozpoznawanie kolorów, powinno korzystać się ze źródeł żarowych, bo tylko one mają współczynnik oddawania barw R_a równy 100.

Tabela 6. Parametry wybranych źródeł światła

Typ źródła światła	Moc źródła P_n	Strumień świetlny Φ	Skuteczność świetlna η	Trwałość T	Współczynnik oddawania barw R_a	Temperatura barwowa T_{CP}	Cena
	[W]	[lm]	[lm/W]	[h]	-	[^{0}K]	[zł]
Żarówka 60W E27	60	660	11	1000	100	2700	1,00
Żarówka 100 W E27	100	1400	14	1000	100	2700	1,32
EcoClassic 42W E27	42	630	15	2000	100	2800	3,61
EcoClassic 70W E27	70	1200	17,1	2000	100	2800	8,90
Softone 12W E27	12	630	52,5	12000	81	2700	26,00
Softone 23W E27	23	1320	57,4	12000	81	2700	37,00
CorePro LE-Dbulb 9W E27	9	806	89,6	15000	80	2700	27,70
MASTER LEDbulb 18W E27	18	1521	84,5	25000	80	2700	105,78
MASTER TL-D 18W/840	18	1300	72,2	12000	85	4000	7,30
MASTER TL-D 36W/840	36	3100	86	12000	85	4000	9,72

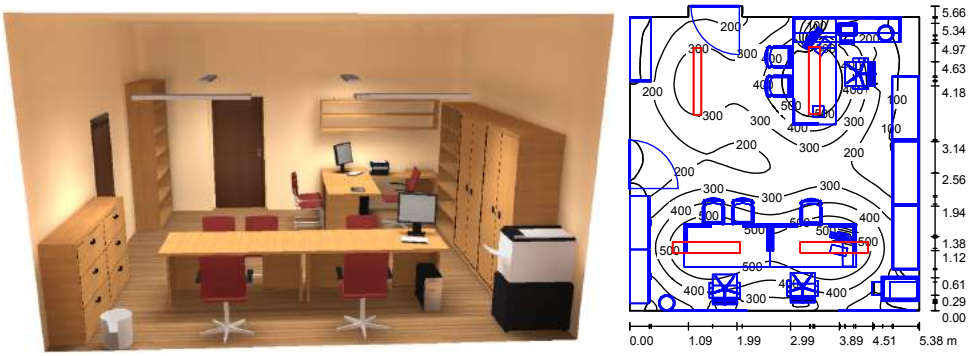
ST8A-HF 8.9W/840	8,9	1100	124	50000	80	4000	96,74
Greenlux GXLT002	22	2400	109	50000	80	4200	92,25

2.2. Wpływ aranżacji wnętrza i umeblowania na zapotrzebowanie energii na potrzeby oświetlenia

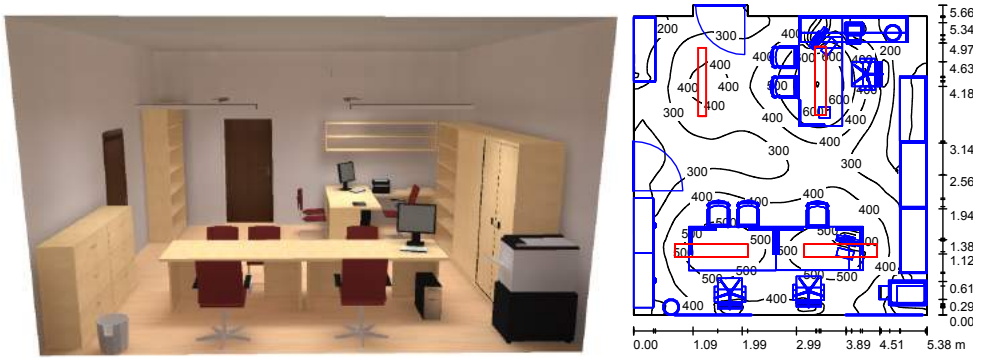
Przy projektowaniu oświetlenia światłem sztucznym należy spełnić wymagania podane w tabeli 1 wymuszające na projektantach wykonanie wizualizacji rozkładu oświetlenia w pomieszczeniu, ponieważ tylko na postawie modelu można wyznaczyć płaszczyzny pracy, ocenić czy prawidłowo zostały dobrane i rozmieszczone oprawy oświetleniowe oraz spełnione zostały wymagane parametry oświetlenia w pomieszczeniu. Konieczne jest jednak uprzednie przygotowanie aranżacji wnętrza przez architekta uwzględniającej materiały i kolorystykę przegród oraz mebli, gdyż mają one bezpośredni wpływ na otrzymane wyniki [5, 6, 7].

Na rysunku 1 przedstawiono otrzymane w wyniku symulacji w programie DIALUX wizualizacje oświetlenia oraz izolinie natężenia oświetlenia na płaszczyźnie na wysokości 0,8 m w przykładowym pomieszczeniu biurowym z aranżacją wnętrza. Do oświetlenia pomieszczenia zastosowano następujące oprawy:

- BCS640 W15L125 1xLED24/840 MLO-PC – szt. 1,
- BPS640 W21L125 1xLED48/840 MLO-PC – szt. 3.



Rys. 1. Wizualizacja oświetlenia oraz izolinie natężenia oświetlenia na płaszczyźnie na wysokości 0,8 m w przykładowym pomieszczeniu biurowym o powierzchni 29,57 m^2, z uwzględnieniem kolorystyki wyposażenia



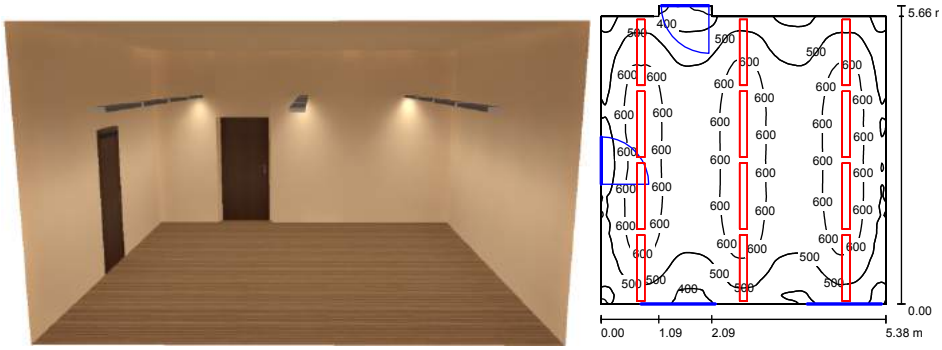
Rys. 2. Wizualizacja oświetlenia oraz izolinie natężenia oświetlenia na płaszczyźnie na wysokości 0,8 m w przykładowym pomieszczeniu biurowym o powierzchni 29,57 m^2, z wykończeniem powierzchni oraz wyposażeniem w jasnej kolorystyce

Na rysunku 2 przedstawiono otrzymane w wyniku symulacji w programie DIALUX wizualizacje oświetlenia oraz izolinie natężenia oświetlenia na płaszczyźnie na wysokości 0,8 m w pomieszczeniu biurowym wraz z aranżacją w odróżnieniu od pomieszczenia pokazanego na rysunku 1 zastosowano jasne kolory ścian podłóg i mebli. Do oświetlenia pomieszczenia zastosowano następujące oprawy:

- BCS640 W15L125 1xLED24/840 MLO-PC – szt. 1,
- BPS640 W21L125 1xLED48/840 MLO-PC – szt. 1,
- SP480P W24L134 1xLED35S/840 ACC-MLO – szt. 2.

Bardzo często zdarza się, że projektanci oświetlenia nie otrzymują od inwestora aranżacji pomieszczenia. W takiej sytuacji oświetlenie projektowane jest z uwzględnieniem płaszczyzny roboczej o powierzchni całego pomieszczenia, na wysokości 0,8 m nad podłogą. Na rysunku 3 przedstawiono wyniki symulacji oświetlenia takiego przypadku z zastosowaniem na utrzymanie wymaganych parametrów oświetlenia następujących opraw:

- BCS640 W15L125 1xLED24/840 MLO-PC – szt. 12.



Rys. 3. Wizualizacja oświetlenia oraz izolinie natężenia oświetlenia na płaszczyźnie na wysokości 0,8 m w pomieszczeniu biurowym bez aranżacji wnętrz

Tabela 7. Wyniki symulacji oświetlenia i wyznaczone na ich podstawie parametry energetyczne

Pomieszczenie/ powierzchnia pracy	E_m	U_0	P_n	$LENI$	$Q_{k,L}$	$Q_{p,L}$	ΔEP_L
	[lx]	[-]	[W]	[kWh/(m^{2}rok)]	[kWh/rok]	[kWh/rok]	[kWh/(m^{2}rok)]
rys. 1 biurko pojedyncze	517	0,73	168	14,2	420	1260	42,6
rys. 1 biurko łączone	548	0,72					
rys. 2 biurko pojedyncze	581	0,75	144	12,17	360	1080	36,5
rys. 2 biurko łączone	504	0,76					
rys. 3 całe pomieszczenie	541	0,65	252	21,31	630	1890	63,9

Z przedstawionego w tabeli 7 zestawienia wynika, że zastosowanie aranżacji wnętrz na skutek ograniczenia płaszczyzn roboczych tylko do blatów biurek, pozwala na zmniejszenie mocy i parametrów energetycznych oświetlenia wbudowanego w pomieszczeniu o 33% w odniesieniu do sytuacji braku aranżacji. Zastosowanie dodatkowo jasnej kolorystyki przegród i wyposażenia umożliwia, w analizowanym przypadku, dalsze zmniejszenie mocy zainstalowanej i parametrów energetycznych o 14,3%.

2.3. Wpływ automatyki budynkowej do sterowania oświetlenia na zapotrzebowanie energii na potrzeby oświetlenia

Zgodnie z normą [2] duże znaczenie dla poprawy efektywności energetycznej instalacji oświetlenia wbudowanego ma zastosowanie automatyki budynkowej do sterowania i regulacji oświetlenia w budynku. Większość oferowanych obecnie w sprzedaży opraw oświetleniowych ma możliwość regulacji strumienia świetlnego z nich wychodzącego. Dzięki temu można zmniejszać jasność świecenia opraw, a wraz z nią zużycie energii elektrycznej. Obecnie inteligentne instalacje sterujące oświetleniem składają się z następujących elementów:

- modułów sterujących,
- czujników natężenia oświetlenia,
- czujników ruchu,
- czujników obecności i ruchu,
- pilotów i paneli sterujących obecnie najczęściej komunikujących się z modułami sterującymi za pomocą fal radiowych,
- oprawy z zainstalowanymi elektronicznymi układami przystosowanymi do współpracy z modułem sterującym.
- interfejs umożliwiający komunikację użytkownika z systemem, przy użyciu komputera, tableta i smartfona z zainstalowanym specjalistycznym oprogramowaniem.

Zgodnie z normą [2] zastosowanie układów automatycznych do regulacji i sterowania oświetlenia znacząco wpływa na wartość współczynnika *LENI*. W tabeli 8 przedstawiono wyniki obliczeń parametrów energetycznych dla pomieszczenia przedstawionego na rysunku 3 przy zastosowaniu:

- układów regulacji i sterowania oświetleniem utrzymujący stały poziom natężenia oświetlenia na powierzchni pracy,
- układów regulacji i sterowania oświetleniem wykorzystujących detekcje obecności i ruchu,
- układów regulacji i sterowania oświetleniem wykorzystujących natężenie światła dziennego.

Tabela 8. Wyniki obliczeń parametrów energetycznych w pomieszczeniu biurowym z rysunku 3 przy zastosowanych układach automatyki do sterowania oświetleniem

Zastosowany układ automatyczny sterowania	*LENI*	$Q_{k,L}$	$Q_{p,L}$	ΔEP_L
	[kWh/(m^{2}rok)]	[kWh/rok]	[kWh/rok]	[kWh/(m^{2}rok)]
Bez zastosowania automatyki	21,31	630	1890	63,9
Z układami utrzymujący stały poziom natężenia oświetlenia	24,17	715	2145	72,5
Z układami detekcji obecności i ruchu	24,17	715	2145	72,5
Z układami wykorzystującymi światło dzienne	24,39	721	2164	73,2
Z układami pełnej automatyki do sterowania oświetlenia	20,70	612	1837	62,1

Na podstawie danych i wyznaczonych wielkości zestawionych w tabeli 8, zastosowanie automatyki budynkowej przy oświetleniu opartym o LED-owe źródła światła sztucznego w pomieszczeniu biurowym przedstawionym na rysunku 3 nieznacznie wpływa na poprawę parametrów energetycznych oświetlenia wbudowanego, a prosty czas zwrotu inwe-

stycji może wynosić nawet kilkanaście lat. W tabeli 9 przedstawiono wyniki analogicznych obliczeń parametrów energetycznych dla pomieszczenia przedstawionego na rysunku 2. Uzyskane wielkości wskazują, że zastosowanie automatyki budynkowej przy oświetleniu opartym na LED-owych źródłach światła w pomieszczeniu biurowym przedstawionym na rysunku 2 (z jasną kolorystyką wnętrza) pogarsza parametry energetyczne oświetlenia wbudowanego w tym pomieszczeniu. W tym przypadku urządzenia służące o sterowania oświetleniem pobierają energię elektryczną – pasożytniczą $W_{p,t}$ – określaną ryczałtowo w wielkości 5 kWh/(m^{2}rok). W przypadku analizowanego pomieszczenia przedstawionego na rysunku 2 przy zastosowanie pełnej automatyki do sterowania i regulacji oświetlenia powoduje zużycie energii stanowiące aż 56% energii zużywanej tylko przez oprawy oświetleniowe zainstalowane w pomieszczeniu, stanowiąc istotne dodatkowe obciążenie energetyczne.

Tabela 9. Wyniki obliczeń parametrów energetycznych w pomieszczeniu biurowym z rysunku 2 przy zastosowanych układach automatyki do sterowania oświetleniem

Zastosowany układ automatyczny sterowania	*LENI*	$Q_{k,L}$	$Q_{p,L}$	ΔEP_L
	[kWh/(m^{2}rok)]	[kWh/rok]	[kWh/rok]	[kWh/(m^{2}rok)]
Bez zastosowania automatyki	12,17	360	1080	36,5
Z układami pełnej automatyki do sterowania oświetlenia	13,97	413	1240	41,9

3. Podsumowanie

Projektowanie, budowa i przebudowa instalacji oświetlenia wbudowanego w budynkach użyteczności publicznej wymaga spełnienia wielu zaleceń zawartych w przepisach mających na celu spełnienie wysokich wymagań ilościowych dotyczących oświetlenia wbudowanego, takie jak: eksploatacyjne natężenie oświetlenia, zużywanie energii na potrzeby oświetlenia wbudowanego oraz jakościowe: ograniczenie olśnienia, temperatura barwowa źródeł światła czy współczynnik oddawania barw.

W celu ograniczenia zużycia energii na potrzeby oświetlenia wbudowanego należy dążyć przede wszystkim do stosowania w oprawach oświetleniowych źródeł światła charakteryzujących się wysoką skutecznością świetlną. W obecnej chwili najbardziej efektywnymi źródłami dla budynków użyteczności publicznej są źródła LED-owe, którymi można w wielu wypadkach bez potrzeby wymiany oprawy zastępować źródła żarowe i jarzeniowe. Jednak przy wymianie tylko źródła światła należy zwrócić uwagę na stan samej oprawy, jakość odbłyśnika, lastra czy klosza, gdyż mają one istotny wpływ na sprawność świetną oprawy (stosunek strumienia świetnego wychodzącego z oprawy do strumienia źródła światła w niej umieszczonego). Przy okazji realizacji prac remontowych bądź przebudowy należy wziąć pod uwagę także wymianę samych opraw.

Projektując, przebudowując czy remontując pomieszczenia warto wykonać dla nich symulacje rozkładu oświetlenia wraz z aranżacją wnętrza, stosując jasne kolory ścian, podłóg czy mebli. Pozwoli to na racjonalny wybór i rozmieszczenie opraw oświetleniowych, zmniejszając zużycie energii elektrycznej.

Ostatecznie przy stosowaniu opraw z LED-owymi źródłami światła należy sprawdzić, czy zastosowanie automatyki budynkowej do sterowania oświetleniem jest inwestycją opłacalną, pod względem energetycznym i finansowym.

Literatura

1. Polska Norma PN-EN 12464-1: 2012. Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy – Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach. PKN, Warszawa.
2. Polska Norma PN-EN 15193: 2010. Charakterystyka energetyczna budynków. Wymagania energetyczne dotyczące oświetlenia. PKN, Warszawa.
3. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej. Dz.U. 2015, poz. 376.
4. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz. U. 2002, nr 75 poz. 690 (z późn. zm.).
5. Cierzniewski P., Kudła J., Paplicki P., Wardach M., 2012. Wybrane aspekty efektywnego projektowania instalacji oświetleniowych w obiektach użyteczności publicznej. Przegląd Elektrotechniczny 88(12a), 197-199.
6. Cierzniewski P., Kurtz-Orecka K,. 2014. Wybrane zagadnienia projektowania efektywnego energetycznie oświetlenia wbudowanego w pomieszczeniach biurowych. Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury. Journal of Civil Engineering, Environment and Architekture 31(61), 83-92.
7. Cierzniewski P., Wardach M., Zarębski T., 2015. Wybrane aspekty projektowania instalacji oświetlenia wewnętrznego w budynkach biurowych pod kątem charakterystyki energetycznej. Wiadomości Elektrotechniczne 83(1), 3-6.

Energy efficiency solutions of built-in lighting installation in public buildings

Piotr Cierzniewski[1], Karolina Kurtz-Orecka[2]

[1] *Faculty of Electrical Engineering, West Pomeranian University of Technology Szczecin, e-mail: cierz@zut.edu.pl*

[2] *Faculty of Civil Engineering and Architecture, West Pomeranian University of Technology Szczecin, e-mail: karolinakurtz@gmail.com*

Abstract: Legal regulations in the European Union aim to reduce energy consumption for lighting purposes of built-in public buildings. The paper presents legal acts related to cost and energy effectiveness design and qualitative and quantitative data contained herein regarding the built-in lighting in public buildings. Basic parameters related to ambient light, artificial light and daylight are the following: the distribution of luminance and illumination, light directionality and lighting in the interior space, light variability (light levels and color), color rendering and color appearance of light or glare. Requirements related to offices, introduced by the national standard PN-EN 12464: 2012 [1] have been specified. The energy requirements for workplace lighting in public buildings in accordance with the national standard PN-EN 15193: 2010 [2] and building regulations have also been given. In addition, the paper presents methods for reducing energy consumption for lighting purposes of built-in public buildings and their impact on the building energy performance through the use of the following: room arrangement, building automation, the control of lighting and the use of daylight.

Keywords: lighting of work places, illumination, energy efficiency, light source, luminous efficiency, illumination uniformity

Wpływ wymagań budownictwa energooszczędnego na spełnienie wymagań podstawowych ze szczególnym uwzględnieniem nośności i stateczności konstrukcji oraz ochrony przed hałasem

Łukasz Drobiec[1], Lech Misiewicz[2]

[1] *Katedra Konstrukcji Budowlanych, Wydział Budownictwa,Politechnika Śląska w Gliwicach, e-mail: lukasz.drobiec@polsl.pl*

[2] *SOLBET sp. z o.o., e-mail: lech.misiewicz@solbet.pl*

Streszczenie: W pracy opisano wpływ wymagań budownictwa energooszczędnego na spełnienie wymagań podstawowych, zwłaszcza w budynkach wzniesionych z autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK). Wskazano na niebezpieczeństwa związane ze stawianiem wymagań dotyczących oszczędności energii i izolacji cieplnej ponad innymi wymaganiami podstawowymi. Podano przykłady, gdzie zastosowanie dodatkowej izolacji wpływa negatywnie na nośność, bezpieczeństwo pożarowe, higienę i zdrowie oraz izolacyjność akustyczną ścian.

Słowa kluczowe: budownictwo energooszczędne, wymagania podstawowe, izolacyjność termiczna, izolacyjność akustyczna, ochrona przeciwpożarowa

1. Wprowadzenie

Polska jest jednym z tych krajów, w których konstrukcje murowe są najpowszechniejszym sposobem wykonywania ścian budynków [1]. Od bardzo dawna najpopularniejszym materiałem budowlanym stosowanym w Polsce do budowy ścian murowanych jest autoklawizowany beton komórkowy (43% całego rynku materiałów budowlanych do wykonywania ścian, a druga ceramika ma 31%) [2].

Budynki z murowanymi ścianami wykonanymi z autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK) od zawsze były uważane za energooszczędne. Zmiany w polskim prawie związane z jego dostosowaniem do przepisów UE oraz rewolucja materiałowa i technologiczna będąca ich następstwem spowodowały jednak pewnego rodzaju rewizję tego poglądu. Tendencja do podwyższania wymagań dotyczących izolacji cieplnej przegród wygenerowała przekonanie, że wszystkie ściany należy ocieplać, niezależnie od materiału, z którego są one wykonane. Nieprzemyślane dokładanie i zwiększanie grubości izolacji termicznej może jednak prowadzić do pogorszenia się innych ważnych parametrów budynków.

Temat budownictwa energooszczędnego dominuje w branży budowlanej, szczególnie wśród naukowców i osób mających decydujący wpływ na określanie wymagań, a tym samym kierunków rozwoju budownictwa w Europie i w Polsce. Już od ponad 20 lat budownictwu energooszczędnemu poświęcana jest znacząca część dokumentów Komisji i Parlamentu Europejskiego. Zgodnie z nimi wszystkie kraje UE są konsekwentnie zobowiązywane do wdrażania coraz to bardziej podwyższonych wymagań izolacyjności cieplnej i oszczędności energii. Z innych zagadnień związanych z budownictwem, porównywalnie dużo miejsca i czasu poświęca się w UE tylko ochronie środowiska oraz zrównoważonemu wykorzystaniu zasobów naturalnych.

Polskie prawo budowlane, podobnie jak prawo europejskie, oparte jest na wymaganiach podstawowych, a obowiązek ich spełnienia dotyczy znakomitej większości obiektów budowlanych w całym cyklu ich życia [3-5]. Rozporządzenie nr 305/2011[4], nazywane również rozporządzeniem CPR (Construction Products Regulation), w całości obowiązuje również w Polsce i określawarunki wprowadzania do obrotu oraz udostępniania na rynku wyrobów budowlanych poprzez ustanowienie zharmonizowanych zasad wyrażania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych w odniesieniu do ich zasadniczych charakterystyk. Zasadnicze charakterystyki wyrobów połączone są w znormalizowanych specyfikacjach technicznych z wymaganiami podstawowymi podanymi w załączniku I do rozporządzenia [4]:

1. Nośność i stateczność
2. Bezpieczeństwo pożarowe
3. Higiena, zdrowie i środowisko
4. Bezpieczeństwo użytkowania i dostępność obiektów
5. Ochrona przed hałasem
6. Oszczędność energii i izolacja cieplna
7. Zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych

Z zapisów załącznika I [4] wynika, że nadrzędnymi wymaganiem w stosunku do obiektów budowlanych w UE jest zapewnienie zdrowia i bezpieczeństwa oraz ochrona środowiska naturalnego człowieka. Oznacza to, że równie ważne jest takie zaprojektowanie i wykonanie konstrukcji budynku, aby zminimalizować ryzyko jego awarii/katastrofy, jak i zapewnienie ochrony mieszkańców i użytkowników przed niekorzystnymi czynnikami atmosferycznymi czy też przed hałasem. Hałas jest wymieniany przez mieszkańców i użytkowników budynków jako jedna z największych uciążliwości i jednocześnie jest przyczyną wielu chorób (choroby układu krążenia, psychiczne itd.). Projektanci powinni zapewnić mieszkańcom i użytkownikom odpowiednie warunki oraz komfort i klimat wewnątrz budynku nie tylko dlatego, aby mieć satysfakcję z dobrze wykonanej pracy, ale również dlatego, że zobowiązani są do tego przepisami prawa budowlanego.

Sama idea budownictwa energooszczędnego jest jak najbardziej słuszna. Problemem jest sposób jej realizacji, czyli mniej lub bardziej świadome stawianie wymagania podstawowego nr 6 wyżej od pozostałych.

Z przepisów prawnych jednoznacznie wynika, że podstawowe wymagania dotyczące obiektów budowlanych należy traktować jako równoważne. Tak też powinni podchodzić do realizacji każdej inwestycji nie tylko projektanci i wykonawcy, ale również urzędnicy i eksperci odpowiedzialni za prawo budowlane. Niestety, na poziomie tworzenia prawa krajowego widoczny jest duży jest brak zrozumienia podstawowych zasad obowiązujących w budowlanym prawodawstwie europejskim.

2. Spełnienie wymagań podstawowych zgodnie z obowiązującymi przepisami krajowymi

Od ponad dziesięciu lat Polska jest członkiem UE, ale krajowe przepisy budowlane zaczęto dostosowywać do prawa europejskiego znacznie wcześniej. Wymagania podstawowe pojawiły się w polskim prawie budowlanym już w 1994 roku [6]. Od 2002 rozporządzenie określające, jakim warunkom powinny odpowiadać obiekty budowalne, zostało znacząco zmienione [7]. W kolejnych latach zawarte w nim wymagania były uaktualniane, między innymi te dotyczące oszczędności energii i izolacyjności cieplnej.

W ustawie – Prawo budowlane [3] zapisano, że obiekt budowlany wraz ze związanymi z nim urządzeniami budowlanymi należy, biorąc pod uwagę przewidywany okres użyt-

kowania, projektować i budować w sposób określony w przepisach, w tym techniczno-budowlanych, oraz zgodnie z zasadami wiedzy technicznej, zapewniając spełnienie wymagań podstawowych zgodnie z rozporządzeniem 305/2011[4].

W ustawie [3] dalej dodano, że obiekt budowlany należy użytkować w sposób zgodny z jego przeznaczeniem i wymaganiami ochrony środowiska oraz utrzymywać w należytym stanie technicznym i estetycznym, niedopuszczając do nadmiernego pogorszenia jego właściwości użytkowych i sprawności technicznej, w szczególności w zakresie związanym z wymaganiami, o których mowa powyżej. Zapisano również, że kto przy projektowaniu lub wykonywaniu robót budowlanych w sposób rażący nie przestrzega powyższych przepisów, podlega karze grzywny.

Obowiązek jednoczesnego spełnienia wszystkich wymagań podstawowych wynika również z zapisów w rozporządzeniu w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego [8].

W rozporządzeniu [7] poszczególne wymagania podstawowe nie są przedstawione w sposób równoważny. Część działów, dotyczących: bezpieczeństwa pożarowego, bezpieczeństwa użytkowania oraz oszczędności energii i izolacyjności cieplnej, zawiera szczegółowe zasady i wymagania. Pozostałe: bezpieczeństwo konstrukcji, higiena i zdrowie oraz ochrona przed hałasem i drganiami, zawierają tylko ogólne zasady oraz odniesienia do norm znajdujących się w załączniku, a ich skromna objętość sprawia wrażenie, że te tematy są mniej ważne. W praktyce nikt nie lekceważy bezpieczeństwa konstrukcji, bezpieczeństwa pożarowego czy też oszczędności energii i izolacyjności cieplnej. Niestety ciągle jeszcze do wyjątków należy świadome projektowanie, uwzględniające spełnienie wymagań ochrony przed hałasem i drganiami, a także higieny, zdrowia i ochrony środowiska.

3. Wymagania budownictwa energooszczędnego i ich wpływ na spełnienie pozostałych wymagań

Polska, tak jak i inne kraje UE, jest zobowiązana do wdrażania dyrektyw Parlamentu Europejskiego i Rady Europy. Wśród nich są również dyrektywy dotyczące oszczędzania energii i budownictwa energooszczędnego. W Polsce w ostatnich latach ustanowiono lub znowelizowano szczególnie dużo różnych aktów prawnych dotyczących tych zagadnień [3, 4, 7, 9, 10, 11]. Zgodnie z ustawą [9] uchwalony został „Krajowy plan mający na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii". Zawarte są w nim definicje budynków o niskim zużyciu energii oraz ich szczególne cechy. Jest to realizacja głównego celu dyrektywy 2010/31/UE [12], którym jest doprowadzenie do tego, aby po 2020 roku wszystkie nowe budynki w UE były budynkami o niemal zerowym użyciu energii (od 2019 roku będzie to dotyczyło budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością).

Zgodnie ze znowelizowanym w 2013 roku rozporządzeniem [7] w trzech etapach (od 2014, od 2017 i od 2021) zaostrzane są w Polsce wymagania w zakresie efektywności energetycznej budynków. Warunkiem spełnienia wymagań określonych w rozporządzeniu [7] jest nieprzekroczenie przez budynek maksymalnej wartości wskaźnika EP (zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do określonych celów),osiągają minimalną izolacyjność cieplną przegród i wyposażenia technicznego budynku, charakteryzują się odpowiednią powierzchnią okien, spełniają wymagania dotyczące kondensacji pary wodnej, szczelności i wymiany powietrza. Zgodnie z rozporządzeniem [7] budynek powinien być również zaprojektowany i wykonany w taki sposób, aby ograniczyć ryzyko jego przegrzewania w okresie letnim. W tej sytuacji trudno jest lekceważyć temat ochrony cieplnej,

szczególnie, że jest on od wielu lat dominującym nie tylko w nowych przepisach, ale i wydawnictwach technicznych i różnego rodzaju opracowaniach naukowych.

Osiągnięcie przyjętych celów wymaga wprowadzenia zupełnie nowych standardów projektowania, a także wykonawstwa budynków. Dzisiaj wymagania i oczekiwania większości inwestorów (szczególnie deweloperów) sprowadzają się do maksymalnego ograniczenia kosztów. Niestety, powszechnie uważa się, że wymagania wynikające z przepisów, należy spełnić tylko w takim zakresie, w jakim może to być łatwo sprawdzone, albo może grozić zbyt dużymi konsekwencjami.

Od wielu lat najprostszym i najpowszechniej stosowanym sposobem na spełnienie wymagań ochrony cieplnej jest stosowanie coraz to grubszych warstw izolacji. Dopiero w ostatnich latach, gdy warstwy izolacji cieplnych zaczęły osiągać grubości znacznie przekraczające grubość warstw konstrukcyjnych, coraz powszechniej zaczęto stosować materiały o lepszych właściwościach niż tradycyjne: styropian i wełna mineralna. Spowodowało to znaczący wzrost produkcji i sprzedaży nie tylko nowych rodzajów izolacji termicznych (np. PIR, PUR), ale również ABK lekkich odmian.

Jeżeli projektowanie koncentruje się głównie na spełnieniu wymagań ochrony cieplnej, bardzo łatwo można popełnić błędy w innych obszarach. Skala i waga tych błędów zaczyna być istotna dopiero po uwzględnieniu znacznie zaostrzonych wymagań ochrony cieplnej, a ich dostrzeżenie może być trudne, jeżeli projektuje się w oparciu o tradycyjne rozwiązania i dotychczasowe doświadczenia. Tym bardziej trudno jest liczyć na poprawienie tych błędów w kolejnych fazach realizacji inwestycji, na przykład podczas budowy, czy później w trakcie użytkowania. W istniejącym budynku takie poprawki są zazwyczaj bardzo kosztowne, a przypadku problemów z hałasem, często najlepszym sposobem skutecznego ich wyeliminowania jest wyburzenie wadliwego obiektu i wybudowanie prawidłowo od nowa!

3.1. Nośność i stateczność konstrukcji

Tradycyjnie materiały budowlane o dużej gęstości i twardości (kiedyś: kamień naturalny, klinkier, obecnie: beton, silikaty, stal itd.) uznawane są za materiały o dużej wytrzymałości i trwałości. Z takich materiałów budowano przed wiekami i wiele z tych obiektów i budynków zachowało się do dzisiaj. Odpowiednią izolacyjność cieplną i akustyczną uzyskiwano poprzez znaczące zwiększenie grubości ścian. Wraz z rozwojem przemysłowym i związanym z tym postępem w sposobach budowania, a także dążeniem do ograniczenia kosztów, zmniejszano grubości ścian. Zaczęto też stosować materiały izolacyjne do ocieplania przegród zewnętrznych. Grubość izolacji potrzebna do spełnienia rosnących wymagań ochrony cieplnej ciągle zwiększała się, dlatego prowadziło to ponownie do zwiększania całkowitej grubości ścian. Jednym z rozwiązań było zastąpienie warstwy konstrukcyjnej ściany szkieletem (najczęściej drewnianym), wypełnionym materiałem termoizolacyjnym. W ten sposób można było ograniczyć grubość ściany i zapewnić izolacyjność cieplną na bardzo dobrym poziomie. Z drugiej strony, taki sposób budowania ma bardzo wiele wad, jak np. drastycznie obniżenie izolacyjności i komfortu akustycznego, czy też pojemności cieplnej ścian, nie wspominając o ograniczeniach w użytkowaniu czy bezpieczeństwie pożarowym.

Jednym z rozwiązań jest stosowanie do budowy ścian materiałów łączących na odpowiednim poziomie właściwości wytrzymałościowe i izolacji cieplnej. Takim materiałem jest autoklawizowany beton komórkowy (ABK). Zastosowanie ABK pozwoliło na budowanie ścian zewnętrznych niewysokich budynków spełniających zarówno wymagania ochrony cieplnej, jak i przed hałasem. Już przed kilkunastu laty pojawiły się w Polsce ABK lekkich odmian, najpierw gęstości 400, a później 350. Przy grubości bloczków (elementów

murowych) 360 mm, a później 420 mm można z nich było wymurować jednowarstwowe konstrukcyjne ściany zewnętrzne, spełniające wymagania izolacyjności cieplnej $U_{Cmax} \leq 0{,}3$ W/m^{2}K, a nawet $U_{Cmax} \leq 0{,}25$ W/m^{2}K [14]. Podstawowym zastosowaniem dla tych rozwiązań były ściany budynków jednorodzinnych, jedno i dwukondygnacyjnych, ale powstawały też wyższe budynki. Obliczenia ścian obciążonych głównie pionowo wykazują, że mury o grubości 0,42 m z betonu komórkowego o wytrzymałości na ściskanie 2 MPa (klasa gęstości 300 lub 350) mogą być stosowane w czterokondygnacyjnych budynkach mieszkalnych ze stropami o rozpiętości do 6 m.

Pomimo początkowych sukcesów, taki sposób budowania nie jest w Polsce powszechny. Za to w sąsiednich Niemczech, w niektórych landach, nadal znaczna część ścian zewnętrznych budynków jednorodzinnych jest wykonywana w systemie ścian jednowarstwowych z ABK. Postęp w technologiach produkcji ABK daje możliwość ciągłego poprawiania właściwości (w tym izolacyjności cieplnej) przy zachowaniu wystarczającej wytrzymałości. Realne jest oczekiwanie osiągnięcia w ciągu kilku najbliższych lat możliwości budowania jednowarstwowych zewnętrznych ścian konstrukcyjnych z ABK spełniających wymaganie $U_{Cmax} \leq 0{,}2$ W/m^{2}K przy grubości ściany około 40 cm. Ściany takie, z uwagi na swą nośność będą mogły być stosowane w budynkach jednorodzinnych oraz jako ściany wypełniające ustroje szkieletowe.

W zależności od rodzaju konstrukcji budynku oraz materiałów zastosowanych do jej wykonania różny jest również wpływ sposobu wykonania przegród zewnętrznych na spełnienie poszczególnych wymagań. W przypadku ścian jednowarstwowych (jednomateriałowych) technologia i jakość wykonania mają tu decydujące znaczenie. W przypadku ścian funkcyjnych, czyli takich, w których warstwa izolacji cieplnej ma zapewnić spełnienie wymagań ochrony cieplnej i oszczędności energii, a pozostałe warstwy mają zapewnić spełnienie pozostałych wymagań, wpływ sposobu i jakości wykonania ma najczęściej mniejsze znaczenie.

3.2. Bezpieczeństwo pożarowe

Najprostszy sposób spełnienia zwiększonych wymagań oszczędności energii i izolacyjności cieplnej polega na zwiększeniu grubości warstw izolacji cieplnej. Z uwagi na charakterystykę większości materiałów wykorzystywanych do wykonania tej izolacji, ma to znaczący wpływ na spełnienie wymagań związanych z bezpieczeństwem pożarowym budynków [15]. W przypadku palnych, powszechnie stosowanych izolacji cieplnych, np. polistyrenu (EPS, XPS) czy poliuretanu (PUR, PIR), zwiększenie grubości oznacza zwiększenie gęstości obciążenia ogniowego, co związane jest z większą ilością materiałów palnych. Niewiele lepsza jest sytuacja w przypadku nowszych rozwiązań materiałowych, jak również tych klasyfikowanych jako niepalne. Dla przykładu można wskazać na problem odpowiednio trwałego zamocowania warstwy izolacji cieplnej nad otworami w strefie nadproży w taki sposób, aby była zapewniona wymagana klasa odporności ogniowej. Zastosowanie nadproży ze zbrojonego ABK pozwala na uniknięcie lub zminimalizowanie konieczności stosowania warstw ocieplenia, problematycznych ze względu na ochroną przeciwpożarową.

Ściany wykonane z ABK cechują się dobrą izolacyjnością cieplną i z reguły jako mury jednowarstwowe, bardzo dobrze spełniają wymagania dotyczące bezpieczeństwa pożarowego [16]. Świadome projektowanie ścian z uwagi na warunki pożarowe, zgodnie z normami europejskimi, w tym przypadku PN-EN 1996-1-2 [17], pozwala na spełnienie drugiego wymagania podstawowego.

3.3. Higiena, zdrowie i środowisko

Budynki charakteryzujące się niskimi wartościami współczynników przenikania ciepła przegród zewnętrznych, szczelne, z kontrolowaną wymianą powietrza w połączeniu z systemowymi rozwiązaniami klimatyzacji i ogrzewania, stwarzają wysokie niebezpieczeństwo rozwoju drobnoustrojów, zwiększenia stężenia gazów i pierwiastków promieniotwórczych oraz powstania innych zagrożeń dla zdrowia ludzi i zwierząt. Złożoność i obszerność zagadnienia nie pozwala na jego szersze omówienie w tym miejscu. Należy jednak podkreślić jego wagę i bezpośrednią zależność od wymagań ochrony cieplnej i izolacji termicznej.

3.4. Ochrona przed hałasem

Ochrona przed hałasem jest ciągle najbardziej lekceważonym przez deweloperów, projektantów i urzędników wymaganiem podstawowym. Jednocześnie, jak pokazują badania, jest to jedna z największych bolączek, z jakimi borykają się właściciele i użytkownicy nowych mieszkań, często nawet tych określanych mianem luksusowych czy o podwyższonym standardzie. W ostatnich latach liczba spraw sądowych, jakie są wytaczane z powodu uciążliwości hałasu przez zdesperowanych właścicieli mieszkań w nowych budynkach wielorodzinnych, wzrasta w postępie geometrycznym. Dopóki temat ochrony przed hałasem nie znajdzie rozwiązania w odpowiednich przepisach i ich egzekwowaniu przez urzędników i nadzór budowlany, to problem ciągle będzie „głośny".

Najprostszym i najpewniejszym sposobem na zapewnienie dobrej izolacyjności akustycznej jest stosowanie masywnych (ciężkich) przegród, dlatego bardzo trudno jest w prosty sposób zapewnić jednoczesne spełnienie wymagań ochrony cieplnej i ochrony przed hałasem.

Można się spotkać z nieprawdziwą opinią, że niektóre materiały izolacji cieplnej (np. wełna mineralna) są również dobrą izolacją przed hałasem. Sama, nawet bardzo gruba warstwa wełny mineralnej, ma z praktycznego punktu widzenia pomijalną izolacyjność akustyczną. Znajduje natomiast zastosowanie w odpowiednio ukształtowanych i zamocowanych konstrukcjach warstwowych, mających czasem nawet wysoką izolacyjność akustyczną. Jednak takie przegrody są stosunkowo skomplikowane w wykonaniu i bardzo wrażliwe na błędy wykonawcze. Jednocześnie należy się liczyć z tym, że w przypadku lekkich przegród warstwowych przenoszenie dźwięków drogami bocznymi jest najczęściej kilkukrotnie wyższe niż w przypadku przegród masywnych.

Większość wymagań ochrony cieplnej i izolacyjności termicznej stwarza niebezpieczeństwo znacznego pogorszenia izolacyjności akustycznej w budynku. Zarówno od dźwięków powietrznych (zewnętrznych i wewnętrznych), jak również uderzeniowych.

Beton komórkowy jest materiałem lekkim, co jak wiadomo, nie sprzyja dobrej izolacyjności akustycznej. Z drugiej strony budowa/struktura betonu komórkowego w znacznie lepszym stopniu tłumi drgania, co przenosi się na lepszą izolacyjność akustyczną ścian z ABK niż to wynika z prawa masy dla betonu, silikatów czy ceramiki pełnej. W Niemczech „z urzędu" dodaje się ścianom z ABK 2 dB, chociaż na podstawie badań w budynkach można przyjąć, że jest to przeważnie od 4 do 6 dB.

Najprostszym i najpewniejszym sposobem wykonania ściany, ze względu na spełnienie wymagań ochrony przed hałasem, jest jej wybudowanie jako przegrody jednowarstwowej, z materiałów „ciężkich" takich jak beton, silikaty, czy pełne cegły ceramiczne. Ale nie można zapominać o tym, że dźwięki powietrzne pomiędzy pomieszczeniami przenoszą się nie tylko drogą bezpośrednią przez ścianę rozdzielającą, ale również przez stropy i ściany boczne, w tym ścianę zewnętrzną. To przenoszenie następuje zarówno w poziomie (w ramach jednej kondygnacji), ale również w pionie (z jednej kondygnacji na drugą).

W tym przypadku ściany z betonu komórkowego są materiałem, który ze względu na swą budowę/strukturę, jednocześnie współuczestniczy w izolacji cieplnej ścian zewnętrznych i ogranicza przenoszenie dźwięków wzdłuż ścian – i to zarówno w kierunku poziomym, jak i pionowym. Zaleta ta jest widoczna szczególnie wyraźnie w stosunku do ścian wykonanych z pustaków ceramicznych, które ze względu na swą budowę (dużo cienkich ścianek) dobrze przenoszą dźwięki.

3.4.1. Ocieplenie ścian zewnętrznych metodą lekką-mokrą (systemy ETICS)

Ocieplenie ścian zewnętrznych metodą lekką-mokrą (systemy ETICS) z zastosowaniem styropianu lub wełny lamelowej, doprowadza najczęściej do powstania układu rezonansowego i tym samym do znaczącego pogorszenia izolacyjności akustycznej od hałasu zewnętrznego (przeważnie od 2 do 4 dB).W ETAG004 [18] określono, że w przypadku braku badań izolacyjności akustycznej określonego systemu ETICS, należy przyjąć pogorszenie izolacyjności akustycznej o 8 dB! W tym miejscu należy zwrócić uwagę na to, że jeszcze bardzo często ocieplenia ścian metodą lekką-mokrą wykonuje się stosując przypadkowo dobrane materiały (kryterium wyboru: cena!), a nie sprawdzone rozwiązania systemowe.

W przypadku ścian zewnętrznych z oknami, już przy ich powierzchni większej niż 20% całkowitej powierzchni ścian, będą one najczęściej dominującym i najsłabszym akustycznie elementem, a izolacyjność pełnej części ściany będzie odgrywała drugorzędną rolę. Inaczej jest w przypadku ścian pełnych bez okien, na przykład ścian szczytowych. Tu sposób wykonania ocieplenia ma decydujący wpływ na to, w jakim stopniu spadnie izolacyjność akustyczna w porównaniu do tej samej ściany bez ocieplenia [19-22]. Należy zwrócić uwagę na to, że lekkie ocieplenia bez tynku przyklejane do przegród masywnych (np. stropy garaży) również powodują obniżenie izolacyjności akustycznej [20].

O ile w przypadku hałasu zewnętrznego negatywny wpływ ocieplenia ścian zauważalny jest głównie w przypadku ścian pełnych, o tyle w przypadku hałasu wewnętrznego, ściany z ociepleniem systemem ETICS, w znacznie większym stopniu zwiększają boczne przenoszenie dźwięków zarówno w pionie, jak i w poziomie.

3.4.2. Szczelność budynku

Jednym z wymagań ochrony cieplnej, jakie są stawiane przed budynkami jest zachowanie odpowiedniej szczelności. Szczelne przegrody zewnętrzne mają również znacząco lepszą izolacyjność akustyczną. Należy jednak zapewnić odpowiedni poziom wymiany powietrza w pomieszczeniach. Rozszczelnienie okien pogarsza w znaczący sposób izolacyjność akustyczną, podobnie, zamontowanie w oknach prostych nawiewników. W zależności od powierzchni okna oraz konstrukcji i sposobu zamontowania nawiewnika, wypadkowa izolacyjność akustyczna okna z nawiewnikiem może być nawet o 10 dB niższa od izolacyjności akustycznej samego okna.

3.4.3. Okna

Można przyjąć, że najsłabszymi elementami ścian zewnętrznych, zarówno w przypadku ochrony cieplnej, jak i ochrony przed hałasem, są okna. Powszechnie uważa się, że okna charakteryzujące się lepszą izolacyjnością cieplną, są również lepsze pod względem izolacyjności akustycznej. Jednak nie jest to do końca prawda. W tablicy 1 porównano poszczególne wymagania z właściwościami okien oraz przedstawiono ich wpływ na ochronę cieplną i izolacyjność akustyczną. Przy wyborze okien projektant, oprócz sprawdzenia wartości właściwości użytkowych związanych z ochroną cieplną (np. współczynnika przenikania ciepła U dla całego okna), powinien również ocenić, czy wskaźniki izolacyjności akustycznej właściwej (R_w, R_{A1}, R_{A2}) mają odpowiednie wartości w zależności od poziomu

hałasu zewnętrznego dla pory dnia i nocy. Należy przy tym pamiętać, że wymagana izolacyjność cieplna okien, jak i wszystkich ścian zewnętrznych, jest dla całego budynku taka sama. Natomiast wymagana izolacyjność akustyczna dla poszczególnych elewacji może być znacząco różna. W zależności od wysokości nad poziomem terenu, może się zmieniać również w ramach jednej elewacji (może być znacząco różna dla poszczególnych kondygnacji).

Tablica 1. Porównanie wybranych wymagań i właściwości okien pod względem ich wpływu na ochronę cieplną i ochronę przed hałasem

Wymaganie/właściwość	Ochrona cieplna	Ochrona przed hałasem
Ciężar powierzchniowy szyb	Nie ma znaczenia	Im większy tym lepiej
Różne grubości szyb w oknie	Nie ma znaczenia	W zależności od źródła hałasu i częstotliwości może poprawiać izolacyjność akustyczną
Odległości pomiędzy szybami	Im większe, tym lepiej	Im większe, tym lepiej. Przy oknach trójszybowych odległości pomiędzy szybami powinny być znacząco różne.
Wypełnienie przestrzeni pomiędzy szybami	Duże znaczenie ma rodzaj zastosowanego gazu	Duże znaczenie ma rodzaj zastosowanego gazu – najlepiej SF, ale to pogarsza izolacyjność cieplną
Rama	Duże znaczenie – ważny jest kształt przekroju (liczba komór)	Duże znaczenie - przynajmniej część komór powinna być wypełniona materiałem izolacyjnym.
Montaż i zamocowanie	Duże znaczenie	Duże znaczenie - do uszczelnienia należy użyć odpowiednich „ciężkich" pianek.
Rolety zewnętrzne	Poprawiają izolacyjność cieplną. Najkorzystniejsza odległość pomiędzy roletą i szybą wynosi ok 50 mm.	Lekkie rolety (do ok. 5kg/m^2) zamocowane w odległości do 30 mm od szyby mogą pogorszyć izolacyjność akustyczną. Ciężkie rolety (powyżej 8 kg/m^2) poprawiają izolacyjność akustyczną. Ważna jest odległość pomiędzy roletą i szybą: przy 50 mm poprawa wynosi ok 3 dB, a przy 150 już ok 10 dB.

3.4.4. Dach

Tradycyjnie większość dachów ma konstrukcję drewnianą – szczególnie w małych budynkach, na przykład jednorodzinnych. Duża powierzchnia dachów spadzistych powoduje, że jest to jedna z tych części budynku, przez którą w największym stopniu następują straty ciepła. Po to, aby w jak największym stopniu ograniczyć te straty, dach należy szczególnie starannie zaizolować termicznie. Tradycyjnie izolacja układa się w przestrzeni pomiędzy krokwiami. Ze względu na izolacyjność akustyczną dachu, należy zadbać o to, aby przestrzenie pomiędzy krokwiami były wypełnione w całości.

Innym problemem jest ochrona cieplna w lecie. W tym okresie, podczas bezchmurnych i bezwietrznych dni, powierzchnie dachów nagrzewają się do bardzo wysokich temperatur. W zależności od masy i konstrukcji dachu, bardzo szybko wzrasta również temperatura w pomieszczeniach na poddaszu. Jednym z najskuteczniejszych rozwiązań eliminujących te niedogodności, jest budowanie masywnych dachów spadzistych, z wykorzystaniem płyt ze zbrojonego betonu komórkowego z dodatkową warstwą izolacji termicznej pod pokryciem dachu. Znacznie wyższa masa powierzchniowa takiej konstrukcji powoduje nie tylko to, że ma ona dużą bezwładność cieplną, ale również bardzo dobrą izolacyjność akustyczną. Nabiera to szczególnego znaczenia tam, gdzie występuje duże obciążenie hałasem lotniczym.

3.4.5. Urządzenia klimatyzacyjne i wentylacyjne

Wysokie i ciągle rosnące wymagania ochrony cieplnej i oszczędności energii powodują konieczność instalowania różnego rodzaju urządzeń będących bardzo często źródłem hałasu instalacyjnego, uciążliwego dla mieszkańców i użytkowników danego budynku, ale również dla sąsiadów. Hałas ten może się przenosić zarówno drogą powietrzną, jak i materiałową.

Poważnym problemem są urządzenia zlokalizowane na dachu lub kondygnacji technicznej budynku (np. centrale wentylacyjne i klimatyzacyjne, wentylatory, pompy, agregaty). Należy pamiętać nie tylko o ograniczeniu uciążliwości tych urządzeń jako źródeł hałasu i drgań w budynku, w którym się znajdują, ale również na skutecznym ograniczeniu oddziaływania na otoczenie, np. sąsiednie budynki. Konieczne jest stosowanie sprawdzonych rozwiązań, dostosowanych do konkretnych urządzeń i warunków oraz instalowanych przez specjalistów.

Kanały wentylacyjne są jedną z dróg przenoszenia hałasów i to nie tylko instalacyjnych. Szczególnie, że zgodnie z przepisami mogą, na przykład w budownictwie wielorodzinnym, być podłączone do kilku mieszkań. Nie jest rzadkością, że właśnie w ten sposób w nowych budynkach „o wysokim standardzie" sąsiedzi mogą się tak podsłuchiwać, jak to robili Krzyżacy w stosunku do swoich gości w zamku w Malborku! Inną uciążliwością wynikającą ze źle zaprojektowanej instalacji wentylacyjnej jest przenikanie zapachów pomiędzy niezależnymi pomieszczeniami, np. mieszkaniami.

3.4.6. Izolacyjność cieplna ścian wewnętrznych

Polska jest jedynym obok Belgii krajem w Europie, w którym wprowadzono wymaganie izolacyjności cieplnej dla ścian wewnętrznych oddzielającymi mieszkania od ogrzewanych klatek schodowych. Wprowadzenie wymagania $U_{Cmax} \leq 1{,}0$ [W/m^{2}K] powoduje konieczność ograniczenia izolacyjności akustycznej tych przegród do bardzo niskiego poziomu, albo konieczność stosowania bardzo kosztownych rozwiązań technicznych i konstrukcyjnych.

Należy zaznaczyć, że nie ma wiarygodnych badań i analiz uzasadniających wprowadzenie takiego wymagania izolacyjności cieplnej.

4. Podsumowanie

W obowiązującym w Unii Europejskiej prawie budowlanym nastąpiły w ostatnich latach zasadnicze zmiany [4], wymuszające na wszystkich uczestnikach procesu inwestycyjnego nowe spojrzenie na budynek. Dzisiaj najważniejszy jest użytkownik, jego zdrowie i bezpieczeństwo, dlatego również przy wyborze materiałów budowlanych należy zwracać uwagę na to, w jakim stopniu ułatwią lub utrudnią one spełnienie wszystkich wymagań podstawowych.

Zapewnienie możliwie najwyższego poziomu oszczędności energii i izolacyjności termicznej w budownictwie ma bardzo duże znaczenie. W Europie najwięcej energii zużywa się w budownictwie do ogrzania i podczas użytkowania budynków, dlatego dążenie do osiągnięcia postawionych w prawie europejskim celów jest tak ważne.

Jednocześnie nie należy zapominać, że w budynkach, dla przebywających w nich ludzi jak i zwierząt, powinny być stworzone odpowiednie warunki niezagrażające ich zdrowiu i życiu. Pod tym względem nie ma uzasadnienia dla uprzywilejowania wymagania oszczędności energii i izolacyjności cieplnej w stosunku do wymagań ochrony przed hałasem, a także higieną, zdrowiem i środowiskiem.

Paradoksalnie, jak pokazuje praktyka, wielu projektantów ma również problemy ze spełnieniem wymagań związanych z oszczędnością energii i izolacyjnością cieplną. Mniej

lub bardziej świadomie popełniane są błędy, na przykład przy obliczeniach współczynnika przenikania ciepła U_C. Problem dotyczy wszystkich elementów przegród zewnętrznych, a nie tylko ścian czy dachów. Nieuwzględniana jest złożona budowa przegród, a także poprawki ze względu na pustki powietrzne w warstwach izolacji czy też łączniki mechaniczne przechodzące przez warstwę izolacji. Przyjmowane są również nieprawidłowe wartości cieplne (współczynniki przewodzenia ciepła i opór cieplny) materiałów budowlanych [13].

W pracy zwróciliśmy uwagę na te obszary, które mają znaczący wpływ na zapewnienie odpowiedniej izolacyjności cieplnej budynków i oszczędność energii, a które jednocześnie przy nieprawidłowym zaprojektowaniu i wykonaniu, mogą powodować odczuwalne problemy dla użytkowników ze względu na niespełnienie innych równie ważnych wymagań. Podane przez nas przykłady i obszary nie stanowią oczywiście pełnego katalogu możliwości popełniania błędów. Zależało nam bardziej na zwróceniu uwagi na konieczność całościowego podejścia do projektowania, budowania i użytkowania budynków, uwzględniającego spełnienie wszystkich wymagań na każdym etapie życia budynku.

Literatura

1. Misiewicz L., 2004. Rynek materiałów budowlanych do wznoszenia ścian w Polsce i Unii Europejskiej. Materiały Budowlane 4, 67-70.
2. Misiewicz L., 2014. Rynek materiałów budowlanych do wznoszenia ścian w Polsce w 2014 roku. Materiały Budowlane 4, s. 1.
3. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (Dz.U. 1994 r. Nr 89, poz. 414 z późn. zm.).
4. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) NR 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 88/5 z 4.4.2011).
5. Misiewicz L., 2015. Spełnienie wymagań podstawowych przy remontach i wzmocnieniach budynków budownictwa ogólnego. XXX Warsztaty Projektanta Konstrukcji Budowlanych. Budownictwo ogólne, t. III, Szczyrk 49-72.
6. Rozporządzenie Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa z dnia 14 grudnia 1994 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 1995 r. Nr 10 poz. 46).
7. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2002 r. Nr 75 poz. 690 z późn. zm.).
8. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego (Dz.U. 2003 r. Nr 120 poz. 1133 z późn. zm.).
9. Ustawa z dnia 29 sierpnia 2014 r. o charakterystyce energetycznej budynków (Dz.U. 2014 poz. 1200).
10. Ustawa z dnia 20 lutego 2015 o odnawialnych źródłach energii (Dz.U. 2015 poz. 478).
11. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 3 czerwca 2014 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. 2014 poz. 888).
12. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 153/13 z 18.6.2010).
13. Łaskawiec K., 2014. Parametry cieplne ścian z ABK oraz metodologia ich wyznaczania. Materiały Budowlane 6, 106-107.
14. Małecki M., Małolepszy J., Misiewicz L., 2014. Beton komórkowy – materiał budowlany z przyszłością. VIII Konferencja Dni Betonu, Wisła, s. 691-701.

15. Sulik P., Papis B., 2015. Wybrane zagadnienia bezpieczeństwa pożarowego mające wpływ na rynek izolacji. Konferencja Izolacje. Materiały konferencyjne, 245-258.
16. Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A., 2014. Konstrukcje murowe według Eurokodu 6 i norm związanych. Tom 2. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa.
17. PN-EN 1996-1-2:2010/NA:2010P: Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych. Część 1-2: Reguły ogólne. Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe.
18. ETAG 004 Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with Rendering. 2013 EOTA.
19. Dulak L., 2012. Wpływ ocieplenia na izolacyjność akustyczna ściany zewnętrznej. Materiały Budowlane 8, 10-12.
20. Nurzyński J., 2012. Lekki system ocieplania ETICS – czy właściwości cieplne idą w parze z akustyką, Czasopismo Techniczne. Budownictwo 2-B, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 315-322.
21. Nurzyński J., 2009. Wpływ bezspoinowego systemu ocieplania na właściwości akustyczne ściany. 55. Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB, Kielce–Krynica. [W:] „Problemy naukowo-badawcze budownictwa", t. I, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 609-616.
22. Instrukcja ITB nr 447/2009. Złożone systemy izolacji cieplnej ścian zewnętrznych budynków ETICS. Zasady projektowania i wykonanie. Warszawa.

The influence of energy-saving requirements on the basic requirements with particular focus on load bearing capacity and stability of construction and noise abatement

Łukasz Drobiec[1], Lech Misiewicz[2]

[1]Department of Building Structures, Faculty of Civil Engineering, Silesian University of Technology, e-mail: lukasz.drobiec@polsl.pl
[2] SOLBET sp. z o.o., e-mail: lech.misiewicz@solbet.pl

Abstract: The paper describes the effect of energy-saving requirements on the basic requirements in buildings. The dangers of treating energy saving and thermal insulation requirements as more important than other basic requirements have been described. Some examples where applying additional insulation acts negatively in terms of load bearing capacity, fire safety, hygiene, health, and sound insulation of walls have been presented.

Keywords: energy-saving structures, basic requirements, thermal insulation, acoustic insulation, fire protection

Wpływ rozwiązań materiałowych przegród zewnętrznych na ich charakterystyki cieplne

Halina Garbalińska

Wydział Budownictwa i Architektury, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, e-mail: halina@zut.edu.pl

Streszczenie: W pracy opisano ewolucję wymagań związanych z ochroną cieplną budynków w trakcie ostatnich dziesięcioleci oraz ich wyraźną radykalizację w perspektywie nadchodzących lat, wieńczoną koniecznością projektowania i wykonywania nowych budynków w standardzie zero-energetycznym. Tak radykalne zaostrzenie przepisów pociąga za sobą potrzebę przeprowadzenia rewolucyjnych wręcz zmian w podejściu do sposobu projektowania i wykonywania współczesnych budynków – z przeniesieniem zainteresowania głównie na kwestie energooszczędności. W pracy zaprezentowano wybrane nowatorskie rozwiązania materiałowe, których wdrożenie do praktyki mogłoby przynieść wyraźne oszczędności energetyczne. Z konieczności ograniczono się jedynie do omówienia dwóch grup zagadnień, związanych z kwestią izolacyjności i akumulacyjności cieplnej przegród budowlanych. Odniesiono się zarówno do materiałów tradycyjnie stosowanych w budownictwie, jak również przedstawiono możliwości związane z zastosowaniem aerożeli, paneli próżniowych, materiałów fazowo-zmiennych oraz izolacji transparentnych.

Słowa kluczowe: energooszczędność, izolacyjność cieplna, akumulacyjność cieplna, aerożele, panele próżniowe, materiały fazowo-zmienne, izolacje transparentne

1. Wprowadzenie

W drugiej połowie XX wieku zaznaczył się bardzo wyraźnie trend popularyzacji zasad zrównoważonego rozwoju, wynikający z narastającej świadomości gwałtownego zubożania naturalnych zasobów Ziemi. Znalazło to swój wyraz w raporcie ONZ z 1987 roku, zatytułowanym „Nasza wspólna przyszłość". Zdefiniowano w nim pożądany kierunek rozwoju jako taki, „który pozwala zaspokajać potrzeby obecnych pokoleń bez narażania przyszłych pokoleń na niemożność zaspokajania ich potrzeb". Priorytetowe znaczenie w tym zakresie ma branża energetyczna, gdyż około 87 % produkowanej na świecie energii pochodzi z nieodnawialnych paliw kopalnych, takich jak: węgiel kamienny i brunatny, ropa, gaz ziemny. Przy czym największe rezerwy oszczędnościowe tkwią w sektorze budownictwa, przemysłu i transportu, które należą do najbardziej energochłonnych.

Aktualnie w krajach UE wdraża się szereg programów i inicjatyw, służących poprawie bezpieczeństwa energetycznego krajów członkowskich poprzez ograniczenie zapotrzebowania na energię i redukcję jej zużycia. Zainicjowanie działań oszczędnościowych w tym obszarze ma swoje przesłanki ekonomiczne, ekologiczne, ale również polityczne. Bowiem dane wskazują, że uzależnienie krajów UE od dostaw paliw i surowców energetycznych z krajów niestabilnych politycznie i gospodarczo kształtuje się na poziomie 60-70%. Statystyki dowodzą, że największy udział w zużyciu energii ma niestety budownictwo. Ponad połowa z produkowanej energii, uzyskiwanej ze spalania kopalin, jest przeznaczana właśnie na potrzeby budowy oraz utrzymania budynków.

2. Rozwój wymagań dot. oszczędności energii w budynkach

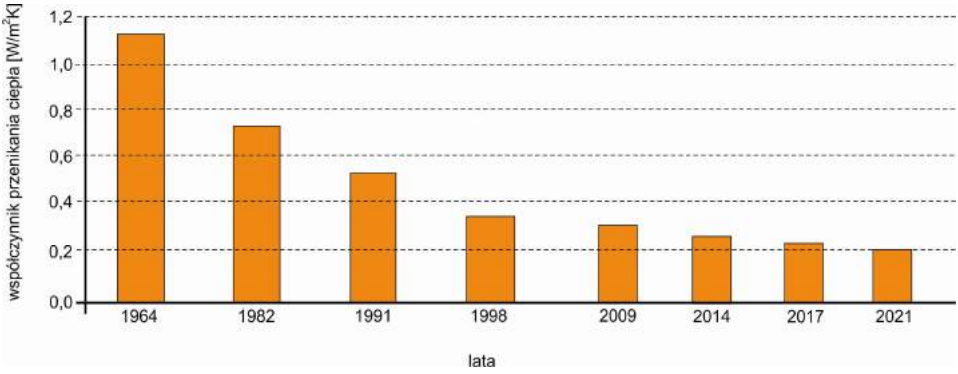
Pierwsze formalne wymagania krajowe dotyczące ochrony cieplnej ujęte zostały w normie PN-64/B-03404. Na przykład dla ściany zewnętrznej współczynnik przenikania ciepła mógł wynosić 1,16 W/(m^{2}K) przy położeniu budynku w środkowej i wschodniej Polsce (mur „na 2 cegły") oraz 1,40 W/(m^{2}K) w Polsce zachodniej (mur „na 1 ½ cegły").

Istotne obniżenie granicznych wartości współczynnika przenikania ciepła U przegród zewnętrznych wiązało się z wprowadzeniem od 1.01.1983 r. normy PN-82/B-02020 [1]. Natomiast kolejną redukcję granicznych współczynników U narzuciła norma PN-91/B-02020 [2], która zaczęła obowiązywać od 1.01.1993 r.

Należy podkreślić, że do roku 1998 maksymalne wartości współczynników przenikania ciepła z niewielkimi wyjątkami określane były w polskich normach. Natomiast od roku 1998 wartości graniczne są podawane w rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [3]. Przepisy zawarte w „Warunkach Technicznych" podlegają nieustannej nowelizacji, ustalając graniczne wartości współczynników przenikania ciepła U przegród zewnętrznych na coraz to niższych poziomach. Zmiany wprowadzone Rozporządzeniem Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. [4], dotyczą m.in. dopuszczalnych wartości współczynników U, skokowo obniżanych w kolejnych punktach czasowych: 1.01.2014 r., 1.01.2017 r., 1.01.2021 r. oraz 1.01.2019 r. w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością.

3. Poprawa termoizolacyjnych właściwości przegród budowlanych

Na rysunku 1 przedstawiono na przykładzie ściany zewnętrznej, jak kształtowały się dotychczasowe wymagania dotyczące maksymalnych dopuszczalnych wartości współczynnika U i jakie są propozycje dalszych ich zmian. Odnosząc pierwsze przepisy z zakresu ochrony cieplnej do dzisiejszych wymogów, zauważa się niemal 5-krotny spadek granicznej wartości U, jaki wystąpił w minionych 50 latach – od wartości 1,16 W/(m^{2}K) w 1964 r. do wartości 0,25 W/(m^{2}K) w 2014 r., [5].



Rys. 1. Dopuszczalne wartości współczynnika przenikania ciepła ścian obowiązujące w Polsce w latach 1964-2021 [5]

3.1. Tradycyjne materiały do izolacji cieplnej

Stopniowy wzrost wymagań, formułowanych w odniesieniu do współczynnika U zewnętrznych przegród budowlanych, przekładał się na systematyczne zwiększanie grubości,

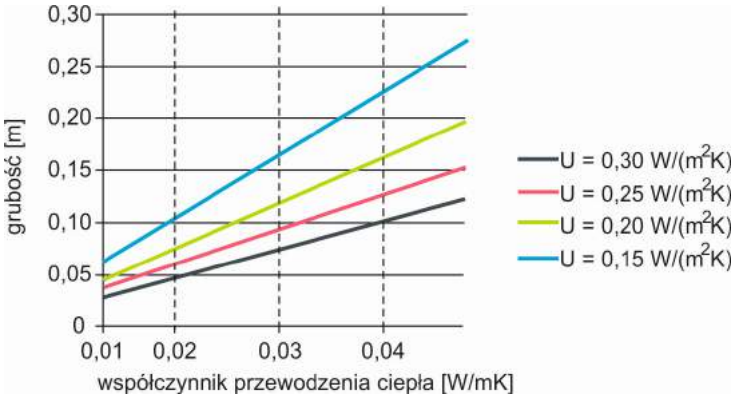
w przypadku stosowania tradycyjnych materiałów izolacyjnych. W tabeli 1 zestawiono wymagane grubości różnych materiałów w budynkach pasywnych, tj. charakteryzujących się współczynnikiem przenikania ciepła na poziomie U = 0,15 W/(m^{2}K) [6].

Tabela 1. Minimalna grubość wybranych izolacji termicznych w domach pasywnych [6]

Rodzaj izolacji	Minimalna grubość [cm]
Sprasowana słoma	55
Szkło piankowe	52
Płyty korkowe	30
Wełna mineralna	28
Styropian	28
Polistyren ekstrudowany	23

Z powyższych danych wynika, że w przypadku tradycyjnych rozwiązań, po dodaniu warstw konstrukcyjnych, przegrody osiągają łączną grubość ponad 70 cm, co generuje trudności w konstruowaniu budynków odbiegających od form prostopadłościennych. Rozwiązanie w postaci „kostki" kojarzone z budownictwem lat 60. i 70. odstrasza współczesnych inwestorów, nawet tych wykazujących dużą świadomość ekologiczną [7].

W związku z tym ostatnie lata naznaczone są rozwojem technologicznym w zakresie wytwarzania materiałów izolacyjnych o stopniowo obniżanej przewodności cieplnej. Na rysunku 2 przedstawiono, na ile można zmniejszyć grubość izolacji, poprawiając jej współczynnik przewodności cieplnej – przy różnych wartościach współczynnika U.



Rys. 2. Grubość warstwy izolacji cieplnej w funkcji jej współczynnika przewodzenia ciepła, gwarantująca uzyskanie współczynnika U = 0,15; 0,20; 0,25 lub 0,30 W/(m^{2}K) [8]

Najlepsze aktualnie dostępne na rynku tradycyjne wyroby, takie jak wełna mineralna, styropian EPS oraz polistyren ekstrudowany XPS charakteryzują się współczynnikiem $\lambda \geq 0{,}03$ W/mK. Płyty z pianek uzyskują wartości $\lambda \geq 0{,}02$ W/mK. Natomiast najniższym współczynnikiem λ odznaczają się obecnie wyroby zawierające aerożele krzemionkowe – od około 0,015 W/mK w matach oraz od około 0,007 W/mK w panelach próżniowych [8].

3.2. Wyroby na bazie aerożeli

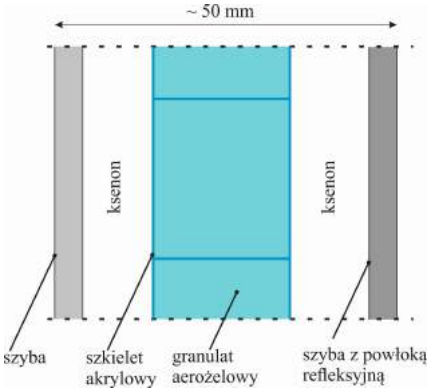
Obecnie występuje kilkadziesiąt rodzajów aerożeli, ale najczęściej wykorzystywany w praktyce budowlanej jest aerożel krzemionkowy. Produkowany jest w postaci granulatu o wielkości ziaren 0,01÷4 mm i wprowadzany jako wypełnienie mat, wykonanych z włókien,

np. szklanych lub polimerowych. Specyficzny rozmiar większości porów (średnio $20 \cdot 10^{-9}$ m) zdecydowanie spowalnia przenoszenie ciepła przez powietrze zawarte w materiale, co obniża przewodność cieplną wyrobu w postaci mat do około 0,014 ÷ 0,020 W/mK [8].

Bardzo dobre właściwości termoizolacyjne, ale również niezła wytrzymałość, izolacyjność akustyczna, ognioodporność, hydrofobowość oraz elastyczność mat aerożelowych kwalifikują je nie tylko do powierzchniowego docieplania przegród zewnętrznych, ale do stosowania w sytuacjach, gdy tradycyjne termoizolacje nie mogą być zastosowane jako docieplenie, z uwagi chociażby na konieczność ograniczenia grubości izolacji. Ma to miejsce w przypadku np. ościeży okiennych i drzwiowych, wnęk podokiennych, wewnętrznych ścian i stropów oddzielających pomieszczenia ogrzewane od nieogrzewanych, płyt balkonowych, drzwi zewnętrzne itp.

Czysty aerożel lub występujący w postaci granulatu, oprócz wymienionych właściwości, posiada jeszcze jedną zaletę, a mianowicie przepuszcza światło. Daje to duże możliwości nowoczesnego kształtowania przegród zewnętrznych, które poza pełnieniem tradycyjnych funkcji, związanych z ochroną przed czynnikami zewnętrznymi (zimna, gorąca, hałasu itp.), dodatkowo umożliwią doświetlanie wnętrz światłem rozproszonym.

Granulat aerożelowy – nanogel, wypełniający przestrzenie międzyszybowe wyraźnie poprawia właściwości izolacyjne okna, zarówno cieplne, jak i akustyczne. Współczynnik przenikania ciepła takiego okna to około 0,4 W/(m^{2}K).

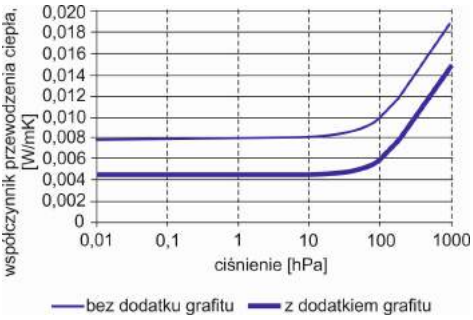


Rys. 3. Schematyczny przekrój przez okno z warstwą aerożelu w przestrzeni międzyszybowej

Aerożeloferuje duże możliwości kształtowania nowoczesnych, energooszczędnych przegród budowlanych. Obok niekwestionowanych zalet, wykazuje jedną podstawową wadę, jaką jest cena. Na razie maty aerożelowe są ponad dwudziestokrotnie droższe w stosunku do standardowych materiałów termoizolacyjnych.

3.3. Panelepróżniowe VIP (Vacuum Insulation Panel)

Przenoszenie energii w obrębie granulatu aerożelowego odbywa się w dwojaki sposób – mechanizmem przewodzenia (obejmującego krzemionkę w obrębie ziaren i na ich styku oraz powietrze zawarte w porach i w przestrzeni między ziarnami) oraz mechanizmem promieniowania cieplnego. Zmniejszenie skuteczności pierwszego z nich uzyskuje się poprzez obniżenie ciśnienia, ograniczające przenoszenie ciepła przez powietrze. Natomiast redukcję udziału promieniowania uzyskuje się, wprowadzając dodatki obniżające jego przepuszczalność, np. grafit. Rysunek 4 obrazuje skuteczność obydwu tych zabiegów.



Rys. 4. Wpływ ciśnienia na przewodność cieplną granulatów aerożelowych [9], na podstawie [8, 10]

Przykładem praktycznego wykorzystania wyżej opisanych zjawisk są próżniowe panele izolacyjne, zwane panelami VIP. Składają się one z materiału mikro-nanoporowatego, zwanego „rdzeniem", zapakowanego próżniowo w szczelną membranę, zwaną „folią" [11].

Do wykonania rdzenia panelu stosowane są: włókna szklane, otwartokomórkowa pianka poliuretanowa, otwartokomórkowa pianka polistyrenowa, nanożel i krzemionka pirogeniczna [12]. Przy czym ta ostatnia stosowana jest najczęściej do wykonywania paneli VIP wykorzystywanych w budownictwie [13]. Odznacza się ona niską przewodnością cieplną, bardzo dużą powierzchnią właściwą i nanoporowatością (> 90%) [11].

Szczelna osłona pokrywająca rdzeń zapewnia możliwość utrzymania we wnętrzu panelu znacznego podciśnienia. Z reguły zbudowana jest ona z trzech warstw: zewnętrznej warstwy ochronnej (np. politereftalanu etylenowego, środkowej warstwy zaporowej (np. folii aluminiowej) oraz wewnętrznej warstwy uszczelniającej (np. polietylenu) [14].

Rys. 5. Przekrój przez próżniowy panel izolacyjny, fot. M. Bochenek

W celu wydłużenia okresu użytkowania paneli VIP pożądane jest umieszczenie wewnątrz rdzenia osuszaczy/pochłaniaczy, których zadaniem jest ciągła absorpcja pary wodnej (osuszacz) i gazów (pochłaniacz), które pozostały w rdzeniu lub dostały się do niego ze środowiska zewnętrznego [11]. W przypadku zastosowania w rdzeniu krzemionki – ona sama pełni rolę osuszacza.

Panele VIP mają szereg zalet związanych głównie z możliwością zapewnienia bardzo niskich współczynników przenikania ciepła przegród ($U < 0{,}10$ W/(m^{2}K)), przy stosunkowo niewielkiej grubości izolacji. Na razie podstawową wadą jest bardzo wysoka cena w porównaniu do izolacji tradycyjnych oraz konieczność respektowania restrykcyjnych wytycznych dotyczących transportu, składowania i montażu, opisanych w [11].

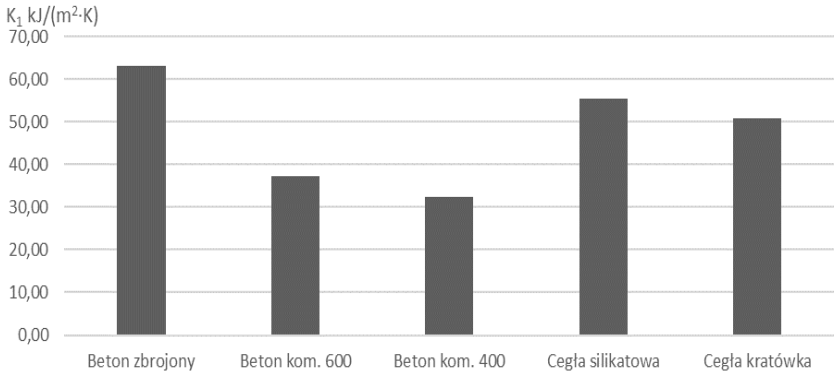
4. Poprawa akumulacyjnych właściwości przegród budowlanych

Nieodległa perspektywa projektowania budynków „o niemal zerowym zużyciu energii" wymusza zmianę dotychczasowego podejścia do kształtowania przegród zewnętrznych, od których w minionych latach oczekiwano jedynie coraz to wyższej izolacyjności termicznej. Tymczasem bilans cieplny budynku w znacznym stopniu zależy nie tylko od jego parametrów izolacyjnych, ale również od parametrów akumulacyjnych. Pojemność cieplna przegród budowlanych pozwala bowiem na gromadzenie chwilowych nadwyżek energii, pochodzącej np. z promieniowania słonecznego czy zysków bytowych. Późniejsze uwalnianie nagromadzonej energii służy wspomaganiu systemu ogrzewania budynku w rozciągniętym w czasie okresie, wyraźnie dłuższym niż okres bezpośredniego trwania zysków. Pozwala to na obniżanie zużycia energii na ogrzewanie oraz na poprawę mikroklimatu, co związane jest z tym, że przegrody o dużej pojemności cieplnej zauważalnie redukują wahania temperatury we wnętrzu budynku [15].

4.1. Możliwości akumulacyjne tradycyjnych materiałów budowlanych

W artykule [15] przeprowadzono analizę zachowania się dwuwarstwowej ściany zewnętrznej – o tak dobranej izolacji termicznej, aby przegroda spełniała już wymagania dot. współczynnika U na rok 2021 r. Obliczenia dynamicznych charakterystyk cieplnych wykonano dla pięciu wariantów, różniących się jedynie rodzajem użytych materiałów konstrukcyjnych. Na warstwę nośną, o jednakowej w każdym przypadku grubości 24 cm, przyjęto: beton zbrojony, silikat drążony, cegłę kratówkę, beton komórkowy klasy 400 i 600. Oceniano efekty oddziaływania odmiennych parametrów akumulacyjnych tej warstwy, przy quasi-stacjonarnym przepływie ciepła. Dało to możliwość przeprowadzenia oceny przegrody, nie tylko z uwagi na jej parametry izolacyjne, ale również właściwości dynamiczne, mające wpływ na zużycie energii w budynku oraz na komfort cieplny.

Na rysunku 6 zestawiono wartości wewnętrznych powierzchniowych pojemności cieplnych dla poszczególnych wariantów.

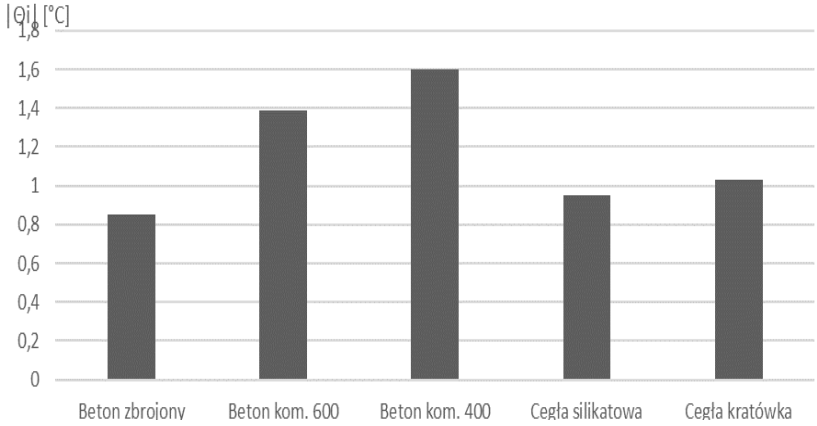


Rys. 6. Wewnętrzne powierzchniowe pojemności cieplne dla okresu wahań wynoszącego 24 h [15]

Najwyższe wartości otrzymano w przypadku zastosowania betonu zbrojonego, co stanowi efekt specyficznej relacji między jego ciepłem właściwym c_v a przewodnością cieplną λ. Najgorzej wypadł beton komórkowy, który charakteryzuje się najniższymi wartościami ciepła właściwego i współczynnika λ.

Przeanalizowano również, jak zachowują się poszczególne warianty dla zadanych zmian temperatury zewnętrznej. Przyjęto ją na poziomie –10 °C i fluktuacji dziennej rów-

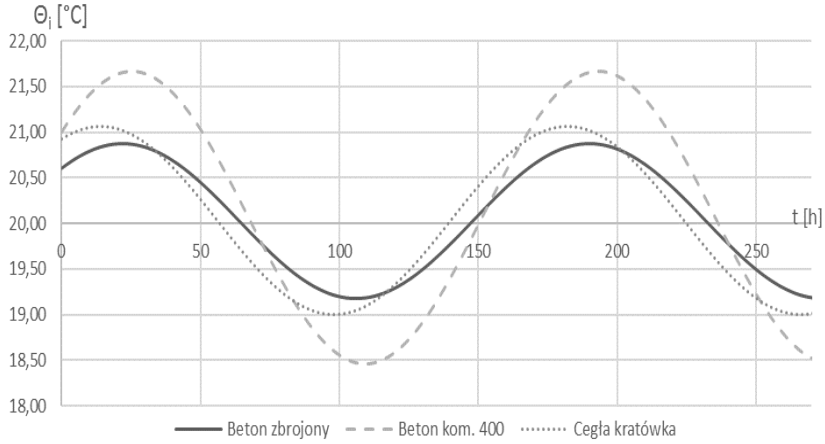
nej 10 °C. Średnią temperaturę wewnętrzną przyjęto +20 °C, przy czym założono stałą wartość amplitudy wewnętrznego strumienia ciepła. Zapewniło to możliwość przeprowadzenia oceny porównawczej wahań temperatury w pomieszczeniu – patrz rysunek 7.



Rys. 7. Amplitudy temperatury wewnętrznej dla okresu wahań wynoszącego 24 h [15]

Materiały o wysokim cieple właściwym wykazują najkorzystniejsze wielkości amplitud. Natomiast beton komórkowy, mimo najlepszych właściwości izolacyjnych, prowadził do wystąpienia największych wartości odchyleń od temperatury średniej.

Na rysunku 8 zilustrowano rozkłady wahań temperatur, uzyskane dla wybranych trzech wariantów: betonu zwykłego, komórkowego klasy 400 oraz cegły kratówki.



Rys. 8. Wykres rozkładu temperatury wewnętrznej dla okresu wahań równego 24 h [15]

Przedstawione powyżej wyniki wskazują, że o ile zastosowane w przegrodach warstwowych materiały termoizolacyjne (o wysokim oporze cieplnym) pozwalają na istotne ograniczenie strat energii, o tyle dobrze dobrane materiały konstrukcyjne (o wysokim cieple właściwym) mogą stanowić efektywne akumulatory energii, obniżające skutecznie wahania temperatury we wnętrzu. Przyczynia się to do poprawy warunków mikroklima-

tycznych oraz sprzyja obniżeniu zapotrzebowania na energię konwencjonalną w sezonie grzewczym, jak również na ewentualne chłodzenie w okresie wysokich temperatur zewnętrznych.

4.2. Materiały zmiennofazowe PCM (PhaseChange Materials)

Miarą pojemności cieplnej materiałów budowlanych jest ich ciepło właściwe. Wartości odnoszące się do wybranych materiałów zestawiono w tabeli 2. W przypadku np. betonu, cegły, płyty gipsowej jego wartość plasuje się na poziomie ok. 1 kJ/(kg·K). W zestawieniu wyróżniają się materiały PCM. Mają one wyraźnie wyższą efektywną pojemność cieplną, gdyż akumulacja ciepła jest nie tylko wynikiem zwiększania ich temperatury (ciepło właściwe, ang. *sensibleheat*), ale głównie jest związana z przemianą fazową, charakteryzującą się dużym ciepłem przemiany, tzw. ciepłem utajonym (ang. *latentheat*). Udział ciepła utajonego jest jednocześnie znacznie większy niż ciepła właściwego [16].

Tabela 2. Dane nt. ciepła właściwego wybranych materiałów, m.in. PCM, będącego mieszaniną kwasów tłuszczowych (temperatura topnienia 22°C , efektywne ciepło właściwe dla zakresu 18-28°C, [16]

Materiał	Gęstość [kg/m^3]	Pozorne ciepło właściwe[kJ/(kg·K)]	Pozorne ciepło właściwe [MJ/(m^3·K)]
Woda	1000	4,2	4,2
Beton	2300	1,0	2,3
Stal	7800	0,47	3,67
Płyta gipsowa	1400	0,84	1,18
Cegła	1600	0,84	1,34
Drewno	600	1,6	0,96
PCM	870–1000	18,0	15,7–18,0

Materiały zmiennofazowe zwane PCM to materiały zdolne do przechowywania i uwalniania dużych ilości energii poprzez topnienie i zestalanie w danej temperaturze. PCM wykorzystuje energię przechowywaną w wiązaniach chemicznych. Przepływ energii cieplnej następuje, gdy materiał zmienia fazę z ciekłej na stałą lub ze stałej na ciekłą.

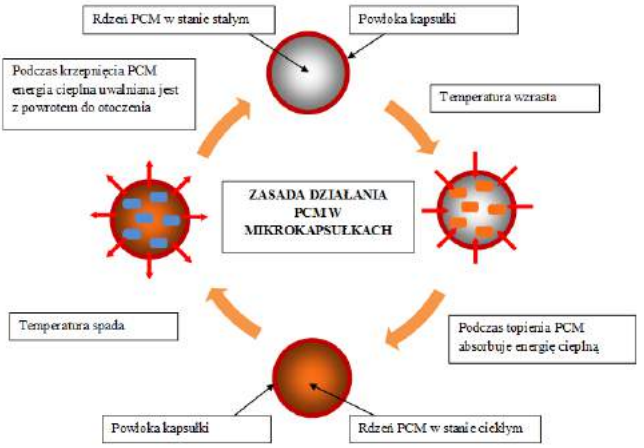
Z uwagi na wyraźnie różne właściwości, materiały zmiennofazowe dzieli się na dwie główne kategorie: organiczne i nieorganiczne. Zarówno jedne, jak i drugie mogą mieć różne temperatury zmiany fazy, przemiany ciepła utajonego, przewodności cieplnej itp. [17].W artykule [16] zestawiono tabelarycznie najbardziej popularne materiały organiczne i nieorganiczne – z podaniem podstawowych parametrów fizycznych, w tym temperatury przemiany fazowej.

W literaturze znaleźć można także opisy szeregu badań, skutkujących wypracowaniem rozwiązań pozwalających na eliminację, lub znaczącą redukcję wielu wad materiałów zmiennofazowych. Przykładowo, gdy materiał zmiennofazowy ma zbyt niską przewodność cieplną można dodać inny materiał o wyższej przewodności cieplnej, np. grafit w formie proszku lub włókna, bądź np. wióry metalowe.

W pracy [18] omówiono, jakie właściwości powinny mieć materiały PCM, aby kwalifikowały się do zastosowania w budownictwie. Priorytetowym wymogiem jest to, aby wytrzymywały tysiące cykli topnienia-zestalania bez zmiany początkowych parametrów.

Opis substancji organicznych i nieorganicznych, które mogą być potencjalnie użyte jako PCM w budownictwie można również znaleźć np. w [19]. Podstawowym wymogiem jest właściwa temperatura topnienia, gwarantująca spełnienie kryteriów komfortu cieplnego. Przy czym materiały PCM służące do stymulowania komfortowej temperatury w pomieszczeniach mieszkalnych powinny reagować na stosunkowo niewielkie gradienty temperatur.

W przeszłości testowano różne sposoby wprowadzania materiału zmiennofazowego w materiał budowlany, tj. włączanie bezpośrednie, zanurzanie i kapsułkowanie [20]. Za najbardziej popularną metodę uznaje się obecnie mikrokapsułkowanie [21]. Zamknięcie PCM w kapsułce daje pewność, że nie wydostanie się on w trakcie zmiany fazy i nie wejdzie w bezpośredni kontakt z materiałem budowlanym, wpływając negatywnie na jego wytrzymałość i inne parametry techniczne. Zasadę działania materiału zmiennofazowego zamkniętego w mikrokapsułkach objaśniono na rysunku 9.



Rys. 9. Schemat obrazujący zasadę działania PCM w mikrokapsułkach [9, 21], na podstawie [22]

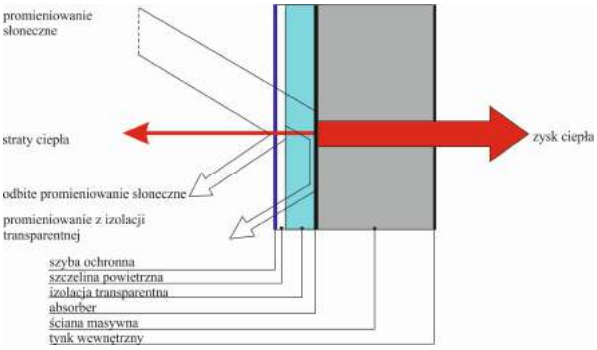
Wyróżnia się pasywne i aktywne systemy wykorzystujące PCM. W systemach pasywnych domieszkuje się materiałami PCM warstwy wykończeniowe, np. tynki, płyty gipsowo-kartonowe, itp.). Gromadzą one energię pochodzącą z promieniowania słonecznego, wnikającego przez otwory okienne lub padającego na zewnętrzne ściany budynku. Natomiast w systemach aktywnych energia pochodząca z promieniowania jest pochłaniana przez czynnik roboczy kolektora słonecznego, a następnie akumulowana w materiale PCM. Podobnie można magazynować energię w wymiennikach geotermalnych.

5. Równoczesna poprawa izolacyjności i akumulacyjności przegród – izolacje transparentne (Transparent Insulation)

Izolacje transparentne są to wielofunkcyjne izolacje nowej generacji, które nie tylko ograniczają straty energii cieplnej, ale zapewniają dodatkowe akumulowanie energii pochodzącej z promieniowania słonecznego.

Tłumacząc znaczenie nazwy „izolacje transparentne”– pod pojęciem izolacja, należałoby rozumieć izolację cieplną, a określenie transparentna należałoby tłumaczyć jako przepuszczalna, w odniesieniu do większej części widma promieniowania słonecznego, a nie tylko jej części związanej z promieniowaniem świetlnym. Izolacja ta podobnie jak inne struktury przepuszczające promieniowanie cieplne, dobrze przepuszcza promieniowanie krótkofalowe, natomiast trudno przepuszcza promieniowanie długofalowe (podczerwone), będące główną składową promieniowania emitowanego z powierzchni różnych elementów budowlanych oraz stanowiących wyposażenie pomieszczeń.

Promieniowanie słoneczne padające na powierzchnię tradycyjnej przegrody ulega znaczącemu odbiciu, a jedynie w niewielkiej ilości przechodzi w kierunku do wnętrza pomieszczenia. Natomiast w przypadku przegrody wyposażonej w izolację transparentną, promieniowanie słoneczne padające na powierzchnię przegrody ulega odbiciu w nieznacznym stopniu, natomiast w większości ulega absorpcji na powierzchni masywnej ściany.



Rys. 10. Wymiana ciepła w ścianie z transparentną izolacją cieplną [23], na podstawie [24, 25]

Obecnie do produkcji izolacji transparentnych wykorzystuje się głównie następujące materiały: tworzywa sztuczne, szkło, aerożele krzemionkowe, celulozę, ciekłe kryształy. Izolacja transparentna to pakiet wypełnień komórkowych, przylegających do elewacji budynku, pomalowanej na czarny kolor. Niekiedy na styku wprowadza się szczelinę powietrzną. Pakiet od strony otoczenia jest zabezpieczony półprzeźroczystą powłoką chroniącą go przed zanieczyszczeniami. Budowa i zasada działania izolacji transparentnej w okresie letnim i zimowym została opisana w artykule [26].

6. Podsumowanie

Dokonujące się w ostatnich latach restrykcyjne zaostrzanie przepisów w krajach Unii Europejskiej powoduje, że współczesne wyroby do izolacji cieplnej z założenia muszą odznaczać się możliwie najniższą wartością współczynnika przewodzenia ciepła λ, celem zminimalizowania ilości energii przenoszonej przez obudowę budynku.

Niezależnie od tego, w procesie projektowania energooszczędnych przegród należy uwzględnić, że w budynku oprócz strumieni ciepła przenikających przez poszczególne przegrody, pojawiają się również strumienie ciepła pochodzące ze źródeł wewnętrznych (oświetlenie, urządzenia elektryczne, użytkownicy) oraz strumienie energii promieniowania słonecznego, wnikającego np. przez okna i akumulowanego we wnętrzu budynku. To, w jakim stopniu procesy te będą wpływały na bilans energetyczny, zależy m.in. od pojemności cieplnej poszczególnych elementów tworzących strukturę budynku.

Istotne znaczenie ma również fakt, że duża pojemność cieplna elementów położonych po wewnętrznej stronie przegrody wpływa korzystnie na mikroklimat pomieszczeń, łagodząc spadki temperatury w przerwach ogrzewania w okresie zimowym oraz opóźniając przegrzewanie pomieszczeń w czasie upalnych dni.

W efekcie trudno uznać za optymalne przegrody z lekkich materiałów konstrukcyjnych i lekkich materiałów izolacyjnych. Wprawdzie znakomicie ograniczają one przenikanie ciepła, ale z uwagi na małą pojemność nie są w stanie absorbować energii z ww. źródeł.

Zmierzając zatem w kierunku rozwiązań korzystnych pod względem energetycznym, jak również mikroklimatycznym, należałoby preferować przegrody o dobrej izolacyjności

(niska przewodność cieplna termoizolacji), a jednocześnie o znacznej akumulacyjności (wysoka pojemność cieplna materiałów stanowiących warstwę wewnętrzną). To ostatnie uzyskuje się, dobierając odpowiednie materiały konstrukcyjne i wykończeniowe oraz wykorzystując m.in. materiały zmiennofazowe. Duże korzyści energetyczne mogą przynieść także wdrażane do praktyki budowlanej niekonwencjonalne rozwiązania, takie jak np. izolacje transparentne, które zapewniają możliwość podniesienia zarówno izolacyjnych, jak i akumulacyjnych walorów przegród zewnętrznych.

Literatura

1. PN-82/B-02020: Ochrona cieplna budynków.
2. PN-91/B-02020: Ochrona cieplna budynków. Wymagania i obliczenia.
3. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2002 r. nr 75, poz. 690, ze zm.)
4. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2013 r. poz. 926)
5. Garbalińska H., 2014. Zastosowanie nowoczesnych technologii na rzecz poprawy energooszczędności przegród budowlanych. Ogólnopolska Konferencja GUNB, Warszawa, 11-38.
6. Węglarz A., 2009. Poprawianie efektywności energetycznej budynków w Polsce. Materiały Budowlane 1, 38-40.
7. Węglarz A., 2012. Perspektywy branży izolacyjnej w kontekście polityki energetycznej prowadzonej w Unii Europejskiej. Konferencja „Izolacje 2012". Warszawa 1-2 marca, 9-18.
8. Geryło R., 2013. Nowe technologie w termoizolacji budynków. Inżynier budownictwa – miesięcznik Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa 9, 84-86.
9. Garbalińska H., 2014. Zastosowanie nowoczesnych materiałów w celu poprawy parametrów cieplnych przegród budowlanych. Materiały Budowlane 5, 117-119.
10. Geryło R., Pietruszka B., 2010. Wdrożenie nowych metod badawczych w Laboratorium Fizyki Cieplnej, Instalacji Sanitarnych i Środowiska, sprawozdanie roczne, Biblioteka ITB.
11. Bochenek M., 2012. Izolacje próżniowe (VIP) – właściwości i przykłady zastosowań w budownictwie. Konferencja „Izolacje 2012" Warszawa 1-2 marca, 109-115.
12. Mukhopadhyaya P., Kumuran M.K., Normandin N. et al., 2008. High performance vacuum insulation panel development of alternative core material. Journal of Cold Regions Engineering 22, 103-123.
13. Simmler H., Brunner S., 2005. Vacuum insulation panels for building application. Basic properties, aging mechanism sand service life. Energy and Building 37, 1122-1131.
14. Wegger E., Jelle B.P., Sveipe E., et al., 2011. Accelerated Laboratory Ageing of Vacuum Insulation Panels. XII DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components, Porto, April 12-15.
15. Garbalińska H., Strzałkowski J., 2015. Dynamiczne charakterystyki cieplne ścian zewnętrznych przy quasi-stacjonarnym przepływie ciepła. Inżynieria i Budownictwo 5, 248-250.
16. Jaworski M., 2012. Zastosowanie materiałów zmiennofazowych PCM w budownictwie. Materiały Budowlane 2, 30-33.
17. Ermolli S. R., Koukkari H., Braganca L., 2011. Phase change materials in building elements. COST Action C25, Sustainability of constructions, Integrated approach towards sustainable constructions, Summary report of co-operative activities 1, Gutenberg, Malta, 245-256.
18. Sharma A., Tyagi V.V., Chen C.R., Buddhi D., 2009. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13, 318- 345.
19. Zalba B., Marin J.M., Cabeza L.F., Mehling H., 2003. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications. Applied Thermal Engineering 23, 251-283.
20. Zhou D., Zhao C.Y., Tian Y., 2012. Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications. Applied Energy 92, 593-605.

21. Garbalińska H., Bochenek M., 2012. Sposoby wbudowywania materiałów zmiennofazowych w elementy ścienne. Materiały Budowlane 2, 36-38.
22. http://www.microteklabs.com/how-they-work.html
23. Garbalińska H., 2014. Nowatorskie technologie umożliwiające poprawę energetycznych walorów ścian zewnętrznych. Materiały Budowlane 6, 120-122.
24. Pogorzelski J.A., 2002. Materiały Budowlane 1, 59-60.
25. Radziszewska-Zielina E., 2004. Transparentna izolacja cieplna (TIC). Przegląd Budowlany 1, 38-41.
26. Lewandowski W.M. Lewandowska-Iwaniak W., 2010. Bilans cieplny w budynku. Zastosowanie izolacji transparentnych (cz. 1). Rynek instalacyjny 12.

The influence of material solutions of envelope components on their thermal characteristics

Halina Garbalińska

Faculty of Civil Engineering and Architecture,West Pomeranian University of Technology Szczecin, e-mail: halina@zut.edu.pl

Abstract: This paper describes the evolution of requirements related to the heat insulation of buildings during the recent decades, as well as their clear radicalization in the perspective of upcoming years, culminating with the need to design and develop new buildings in a zero-energy standard. In case of public utility buildings, this requirement shall become effective in January 2019, and in case of other newly erected buildings – in January 2021. This radical tightening of regulations results in a need to carry out revolutionary changes in the approach to design and develop modern buildings – with a shift of focus primarily onto the issues of energy-efficiency. This paper presents selected innovative material solutions, the implementation into practice of which could bring measurable savings in energy lost through envelope components. Out of necessity, the report is limited to discuss only two groups of issues associated with the issue of thermal insulation and thermal accumulation of envelope components. The paper also refers to materials traditionally used in building construction, as well as presents possibilities associated with the use of aerogels, vacuum panels, phase-change materials and transparent insulation.

Keywords: energy efficiency, thermal insulation, thermal accumulation, aerogels, vacuum panels, phase-change materials, transparent insulation

Jakość powietrza w budynkach energooszczędnych

Jerzy Sowa

Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska,
e-mail: jerzy.sowa@is.pw.edu.pl

Streszczenie: W ostatnich latach odnotowuje się silny wzrost zainteresowania wznoszeniem budynków energooszczędnych. Od 31 grudnia 2020 r. wznoszenie jedynie budynków niemal zero-energetycznych stanie się obowiązkiem we wszystkich Państwach członkowskich UE. Problemy z jakością powietrza w pomieszczaniach były skutkiem ubocznym większości kampanii poświęconych oszczędności energii w budownictwie. Istnieje ryzyko, że taka sytuacja pojawi się także tym razem. W artykule przedstawiono zatem różne technologie kształtowania jakości powietrza wewnętrznego i ich wpływ na zużycie energii. Omówiono także zagadnienia relacji pomiędzy jakością środowiska wnętrz a zużyciem energii z perspektywy zintegrowanych ocen środowiskowych budynków. Przeanalizowano również problemy jakie towarzyszą uzupełnianiu certyfikatów energetycznych budynków o informacje o środowisku wewnętrznym. Opisano także problemy z jakością powietrza w istniejących budynkach energooszczędnych. W podsumowaniu zdefiniowano działania, jakie powinny być podjęte w Polsce, aby zminimalizować ryzyko wystąpienia problemów z jakością powierza w budynkach niemal zero-energetycznych.

Słowa kluczowe: budynki energooszczędne, jakość powietrza wewnętrznego, certyfikacja, metody oceny

1. Wprowadzenie

Badania mitochondrialnego DNA człowieka wskazują, że korzeni ludzkości należy poszukiwać w tropikalnych i subtropikalnych regionach Ziemi. Migracja na obszary o chłodniejszym klimacie była możliwa dzięki rozwojowi intelektu i wynalazkom takim jak odzież, wznoszenie siedzib oraz używanie ognia. Na terenach północnej Europy ludzie pojawili się dopiero ok. 10-40 tys. lat temu. Jest to czas zbyt krótki na pojawienie się fundamentalnych zmian genetycznych, dlatego można uznać, że ludzie są nadal przystosowani do życia w środowisku zbliżonym do podzwrotnikowego klimatu afrykańskiej sawanny [1]. Dlatego też w klimacie umiarkowanym i chłodnym, gdzie w budynkach ludzie spędzają nawet ok. 90% czasu, starają się utrzymywać wartości temperatury powietrza w zakresie 20-25°C.

Należy jednak pamiętać, że powłoka budynków nie tylko pasywnie zmienia parametry cieplne wnętrza, ale także pełni rolę dwustronnego filtra między środowiskiem zewnętrznym a wewnętrznym. Z tego powodu stężenia zanieczyszczeń powietrza wewnątrz i na zewnątrz budynków się różnią. Duże zagrożenie dla ludzi mogą stwarzać szkodliwe zanieczyszczenia emitowane we wnętrzach. Po to, aby w większym stopniu kontrolować mikroklimat i jakość powietrza wnętrza, budynki wyposaża się w systemy ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji (HVAC).

Sposób wykorzystania wnętrz zmienia się na przestrzeni wieków. Nie używa się już otwartego ognia do przygotowania posiłków i ogrzewania pomieszczeń. Z drugiej strony do pomieszczeń wprowadza się nowe produkty syntezy chemicznej emitujące wiele wcześniej niespotykanych zanieczyszczeń. Jednocześnie rosnąca presja na zmniejszenie zużycia energii, w tym także na cele systemów HVAC, sugeruje ograniczanie kontroli środowiska

wnętrz. Niestety po kampaniach związanych z oszczędnością energii obserwuje się zazwyczaj nową falę problemów z jakością powietrza wnętrz.

Po raz pierwszy problem jakości powietrza wewnętrznego zyskał rozgłos na skutek kryzysu paliwowego w latach siedemdziesiątych XX wieku. W krajach wysokorozwiniętych zaobserwowano wtedy zjawisko sukcesywnego wzrostu przypadków nieakceptowania jakości powietrza wewnątrz pomieszczeń przez pracowników klimatyzowanych biur. Zjawisko zostało ocenione formalnie przez WHO (1982 r.) jako "Sick Building Syndrome-SBS". Do głównych symptomów tego syndromu chorobowego zalicza się: podrażnienie błony śluzowej nosa, suchość i podrażnienie gałki ocznej, suchość i podrażnienie gardła, suchość i podrażnienie skóry, ból głowy, ogólne zmęczenie i letarg [2].

W Polsce problemy z jakością powietrza zaczęto dostrzegać na początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku. Kampanie informacyjne mające na celu racjonalizację zużycia energii propagowały wtedy radykalne doszczelnienie budynków, co w budynkach z wentylacją grawitacyjną bez nawiewników powietrza, doprowadziło do wzrostu wilgotności i w konsekwencji zagrożenia mikologicznego [3]. Także znaczną część przypadków zatruć tlenkiem węgla należy przypisać działaniom zmierzającym do oszczędności zużycia energii. W Polsce w latach 2005-2011 liczba przyjęć do szpitali z powodu zatruć tlenkiem węgla wahała się w granicach od 2,5 do 5 tyś rocznie, przy czym liczbę zgonów spowodowanych zatruciem CO szacuje się na 300-400 rocznie [4]. Uważa się, że w latach dziewięćdziesiątych XX wieku ofiar było więcej, ale trudno dotrzeć do wiarygodnych danych na ten temat.

Zmiana technologii pracy biurowej (komputery, drukarki, kopiarki etc.) i stosowanie nowych materiałów wykończeniowych sprawiło, że wiele budynków biurowych wzniesionych w Polsce zgodnie z wymaganiami Rozporządzania Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [5] nie spełnia oczekiwań użytkowników.

Na forum konferencji w Krynicy pierwszy przekrojowy referat poświęcony problemom jakości powietrza wewnętrznego wygłoszono już w 1994 roku [6].

2. Kształtowanie jakości powietrza wewnętrznego

Istnienie wokół człowieka przestrzeni powietrznej stanowi nieodzowny czynnik funkcjonowania organizmu ludzkiego, przy czym cechy charakteryzujące tę przestrzeń mogą być bardziej lub mniej dla niego przyjazne. Ocena obiektywnie i subiektywnie odczuwanej jakości otaczającego powietrza może uwzględniać cztery aspekty [6]:

- skład chemiczny mieszaniny powietrza, w tym obce normalnemu stanowi zanieczyszczenia gazowe,
- cząstki stałe przenoszone przez powietrze (zanieczyszczenia pyłowe, mikroorganizmy),
- parametry powietrza wpływające na odczucia zapachowe (np. temperatura i wilgotność powietrza),
- czynniki fizyczne: prędkość ruchu powietrza, fale akustyczne, jonizacja, niejonizujące promieniowanie elektromagnetyczne itp.

W celu aktywnego kształtowania jakości powietrza wewnętrznego można wykorzystywać kilka technologii. Różnią się one celem stosowania, zużyciem energii oraz wpływem na środowisko zewnętrzne (tab. 1).

Tabela 1. Porównanie technologii stosowanych w celu poprawy jakości powietrza w pomieszczeniach

Lp.	Technologia stosowana w celu poprawy jakości środowiska wnętrz	Cel technologii	Wpływ na zużycie energii	Rzeczywisty wpływ na środowisko zewnętrzne
1	Kontrola źródeł zanieczyszczeń powietrza	Zmniejszenie stężenia zanieczyszczeń powietrza w pomieszczeniu	Brak lub zmniejszenie na skutek mniejszych wymagań w stosunku do wentylacji	Zmniejszone stężenia zanieczyszczeń powietrza (wewnątrz i na zewnątrz)
2	Wentylacja	Rozcieńczanie i usuwanie zanieczyszczeń powietrza generowanych w pomieszczeniach	Zwiększone zużycie energii do transportu powietrza	Emisja gazów cieplarnianych w trakcie produkcji energii, zwiększenie zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego
3	Oczyszczanie powietrza i filtracja	Zmniejszenie stężenia zanieczyszczeń powietrza w pomieszczeniu	Zwiększa opory przepływu powietrza, wymagane dodatkowe, zużycie energii	Produkcja gazów cieplarnianych w trakcie produkcji energii,
4	Sprzątanie: odkurzanie mechaniczne, czyszczenie powierzchni	Zmniejszenie stężenia cząstek stałych powietrzu w pomieszczeniu poprzez usuwanie pyłu osiadłego	Wymaga dodatkowej energii do pracy odkurzaczy	Zwiększone zanieczyszczenie chemiczne powietrza w pomieszczeniach (od środków czyszczących)
5	Stosowanie pestycydów	Ochrona przez grzybami pleśniowymi, insektami i gryzoniami	Brak	Zwiększona ekspozycja na półlotne związki organiczne
6	Używanie lamp UV	Dezynfekcja powierzchni narażonych na rozwój bakterii, wirusów, pleśni	Zużycie energii do zasilania lamp UV	Generowanie ozonu i niekontrolowane reakcje chemiczne pomiędzy zanieczyszczaniami powietrza
7	Regulacja parametrów cieplno-wilgotnościowych powietrza	Zapewnienie komfortu i odczucia dobrej jakości powietrza	Zużycie energii do ogrzewania, ochładzania, nawilżania i osuszania	Emisja gazów cieplarnianych w trakcie produkcji energii
8	Wywołanie ruchu powietrza	Zapewnienie dodatkowego chłodzenia i odczucia dobrej jakości powietrza	W przypadku wentylatorów dodatkowe zużycie energii	Emisja gazów cieplarnianych w trakcie produkcji energii

Można zaobserwować, że zdecydowanie najbardziej atrakcyjną technologią jest kontrola źródeł emisji zanieczyszczeń. Nie tyko poprawia ona jakość powietrza we wnętrzach, ale także nie powoduje zwiększenia zużycia energii oraz wpływa korzystanie na środowisko zewnętrzne. W praktyce jej stosowanie oznacza:

- stosowanie niskoemisyjnych materiałów budowlanych i wykończeniowych,
- w miarę możliwości usuwanie sprzętu biurowego do oddzielnych pomieszczeń lub wydzielonych przestrzeni nieprzeznaczonych do pobytu ludzi,
- rezygnację z otwartego spalania paliw w budynkach,
- zakaz palenia tytoniu,
- niedopuszczanie do rozwoju pleśni i namnażania się bakterii.

W Polsce dopuszczalne stężenia i natężenia czynników szkodliwych dla zdrowia, wydzielanych przez materiały budowlane, urządzenia i elementy wyposażenia w pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi określa Zarządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej [7]. Niestety jakkolwiek Internetowy System Aktów Prawnych – ISAP prowadzony przez Kancelarię Sejmu RP podaje, że jest to akt prawny obowiązujący to budzi to poważne wątpliwości. W dniu 17 października 1997 roku weszła w życie Konstytucja RP. W artykule 87 nie wymienia się zarządzeń jako źródeł prawa powszechnie obowiązującego. Sądy administracyjne uchylały już rożnego typu decyzje podejmowane w oparciu o zarządzenia jako niezgodne z Konstytucją. Ponadto, jest to akt prawny stosunkowo mało znany i rzadko stosowany w praktyce.

Za podstawową metodę zapewniania jakości powietrza w Polsce uważa się wentylację. Jest ona postrzegana jako istotny czynnik zwiększający zużycie energii w budownictwie i z tego powodu dąży się do jej ograniczania. Jednocześnie w przypadku najbardziej powszechnych systemów wentylacji grawitacyjnej polski system prawa budowlanego jest niespójny.

Minimalna intensywność wentylacji w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej, niezależnie od przyjętego rodzaju, przyjmuje się zgodnie z Polską Normą PN-83/B-3430/Az3:2000 [8]. W przypadku wentylacji grawitacyjnej architekci/projektanci nie wykonują przy tym żadnych obliczeń, co sprawia, że w tej fazie procesu budowlanego nie jest możliwe stwierdzenie poprawności (a właściwie błędów) działania tego systemu. W praktyce spotykane intensywności wentylacji są znacznie mniejsze od wymaganych. Jednocześnie na potrzeby obliczania charakterystyki energetycznej budynków [9] przyjmuje się wartości strumienia powietrza zbliżone co prawda do spotykanych w rzeczywistości, ale znacznie poniżej wartości minimalnych.

Należy także pamiętać, że w odniesieniu do budynków użyteczności Norma [8] nie uzależnia wymaganej intensywności wentylacji od emisji zanieczyszczeń z materiałów budowlanych, co jest powszechną praktyką w Europie, a stosowna metoda opisana jest w Normie Europejskiej PN-EN- 15251:2007 [10].

3. Zagadnienia jakości powietrzawnętrz a certyfikaty energetyczne

Pierwotna Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (2002/91/UE) [11] w sprawie charakterystyki energetycznej budynków, zanim w pełni została wdrożona w Krajach Członkowskich, uległa przekształceniu w roku 2010 [12].

Warto zauważyć, że Dyrektywa stwierdza, iż termin „budynek" oznacza konstrukcję zadaszoną, mającą ściany, w której do utrzymania klimatu wewnętrznego stosowana jest energia. Stwierdzenie to dość jasno precyzuje co jest celem (klimat wewnętrzny), a co tylko środkiem realizacji (energia).

Zagadnienia klimatu wewnętrznego pojawiają się w dyrektywie 2002/91/EC kilkukrotnie. W artykule 4 stwierdzono, że państwa członkowskie podejmą niezbędne środki celem zapewnienia, aby ustalone zostały minimalne wymagania dotyczące charakterystyki energetycznej budynków lub modułów budynków w celu osiągnięcia poziomów optymalnych pod względem kosztów. Wymagania te powinny uwzględniać ogólne wewnętrzne warunki klimatyczne – aby uniknąć w ten sposób ewentualnych negatywnych efektów, takich jak nieodpowiednia wentylacja – a także warunki lokalne i projektowaną funkcję oraz wiek budynku. Stwierdzenie to wskazuje, iż twórcy dyrektywy byli świadomi, iż brak wymagań odnośnie środowiska wewnętrznego może prowadzić do nadmiernego ograniczania wentylacji, a w konsekwencji do problemów z jakością powietrza w pomieszczeniach.

W nowej wersji dyrektywy zniknął zapis ze starszej wersji, aby w dużych budynkach użyteczności publicznej umieszczaniu w miejscu wyraźnie widocznym dla ogółu certyfika-

tu energetycznego towarzyszyła informacja podająca rekomendowany zakres temperatury oraz wyświetlenie bieżącej wartości temperatury oraz, gdy jest to zasadne, także innych parametrów mikroklimatu w budynku [11].

Zapis ten stwarzał szerokie pole do interpretacji. Dla jednych oznaczał rekomendację jedynie do graficznej prezentacji bieżącej wartości temperatury powietrza w budynku, a inni wywodzili z tego zapisu sugestię podawania szczegółowej informacji na temat jakości środowiska wewnętrznego, praktycznie „uproszczonego certyfikatu środowiskowego". Z jednej strony informacje te mogłyby gwarantować, że budynek zapewnia określony, wymagany prawem minimalny poziom jakości środowiska. Z drugiej strony certyfikat stwierdzający, że systemy techniczne budynku są w stanie utrzymywać wysoki poziom jakości środowiska mógłby stanowić uzasadnienie dla dodatkowego, ale racjonalnego z punktu widzenia celu, zużycia energii.

W chwili obecnej brak jest jednak niestety sprawdzonych i powszechnie akceptowanych metodyk oceny środowiska wewnętrznego budynków. Pewne prace w tym zakresie podejmowano przy opracowywaniu normy EN 15251 [10]. Rozważano wtedy różne sposoby przedstawiania jakości powietrza wewnętrznego, oparte m.in. na:

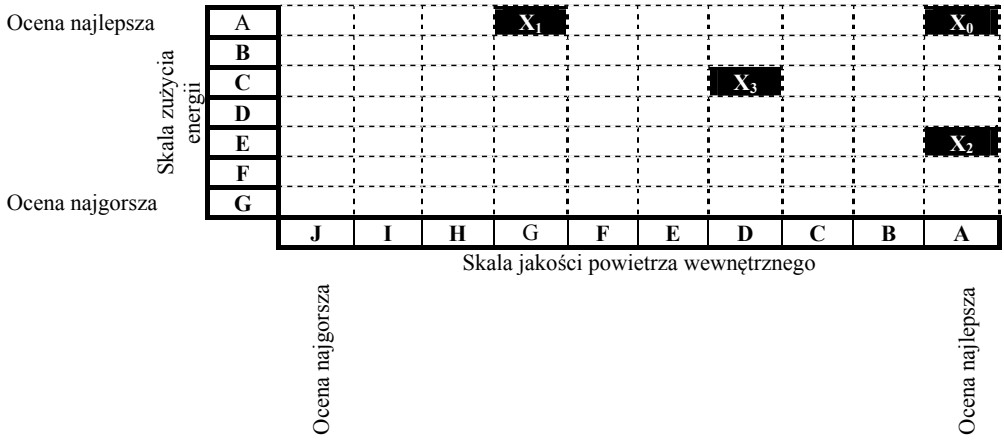
- kryteriach środowiskowych użytych w trakcie projektowania (nowe budynki),
- całorocznych symulacjach komputerowych środowiska wewnętrznego oraz zużycia energii (budynki nowe oraz istniejące),
- długookresowych pomiarach wybranych parametrów środowiska wewnętrznego (budynki istniejące),
- subiektywnych odpowiedziach ludzi w badaniach ankietowych (budynki istniejące).

Główne trudności dotyczyły faktu, iż parametry oceny środowiska wewnętrznego są silnie zmienne w czasie i w przestrzeni. Powstaje zatem problem zdefiniowania kryteriów, na podstawie których można by stwierdzać, czy budynek spełnia wymagania dla konkretnej kategorii. Jedną z możliwości jest zdefiniowanie udziału dopuszczalnego udziału powierzchni i maksymalnego udziału czasu, w którym wymagania dla danej kategorii nie są dotrzymane. Przykładowo wymagania można uznawać za spełnione o ile w pomieszczeniach, które reprezentują co najmniej 95% powierzchni użytkowej, parametry dla danej kategorii są niedotrzymywane przez nie więcej niż określony odsetek (np. 3% lub 5%) czasu użytkowania dla dnia, tygodnia, miesiąca i roku.

Druga trudność dotyczyła agregacji różnych kryteriów środowiskowych do postaci wskaźnika zintegrowanego. Podejmowane próby integracji 6 wskaźników:

- parametry termiczne w zimie,
- parametry termiczne w lecie,
- jakość powietrza oraz intensywność wentylacji,
- oświetlenie,
- środowisko akustyczne,
- ryzyko wystąpienia przeciągu

do jednego wskaźnika nie powiodły się. Gdyby taki proces się udał, możliwe byłoby wystawienie dwuwymiarowego certyfikatu wskazującego nie tylko ilość zużytej energii, ale także uzyskany efekt w postaci jakości środowiska wewnętrznego (rys. 1).



Rys. 1. Dwuwymiarowy, hipotetyczny certyfikat budynku w przypadku stosowania dodatkowej oceny środowiska wewnętrznego [13]

Można zatem wyobrazić sobie sytuację, w której kupujący lub wynajmujący podejmowałby decyzję czy preferuje:

X_1 – budynek o niskim zużyciu energii, ale z umiarkowaną jakością powietrza,

X_2 – budynek z bardzo dobrą jakością powietrza, ale umiarkowanie energooszczędny,

X_3 – budynek energooszczędny w stopniu zadowalającym, z dobrą jakością powietrza.

Teoretycznie oczywiście możliwe jest także stworzenie budynku idealnego (X_0), charakteryzującego się jednocześnie bardzo niskim zużyciem energii, jak i wysokim poziomem jakości środowiska. W praktyce byłby to jednak budynek charakteryzujący się bardzo wysokim kosztem inwestycyjnym trudnym do zaakceptowania dla przyszłych klientów (najemców).

Rolę informacji na temat jakości powietrza w budynku mogą także pełnić ekrany wyświetlające wyniki bieżących pomiarów wybranych parametrów decydujących o jakości powietrza. Zazwyczaj zaleca się, aby wyniki parametrów cieplno-wilgotnościowych uzupełnić o stężenia dwutlenku węgla jako najprostszego wskaźnika jakości powietrza. Możliwe są jednak także bezpośrednie pomiary innych zanieczyszczeń gazowych. Przy obecnym poziomie rozwoju technik pomiarowych możliwe jest zamontowanie czujników i wyświetlaczy w każdym pomieszczaniu (rys. 2). W przypadku, gdy montowany jest tylko jeden wyświetlacz w pobliżu certyfikatu powstaje problem reprezentatywnej lokalizacji czujników. W przypadku, gdy budynek zajmuje instytucja odwiedzana przez interesantów warto, aby była to sala obsługi klientów, w której użytkownicy mogą sami zweryfikować własne odczucia w wyświetlanymi wynikami pomiarów.

Rys. 2. Przykład prostego rejestratora temperatury powietrza, wilgotności i stężenia CO_2 (z progami alarmowymi) na stanowisku pracy biurowej (fot autora)

4. Jakość powietrza wewnętrznego w zintegrowanych ocenach obiektów budowlanych

W celu oceny relacji pomiędzy zużyciem energii a jakością środowiska w budynkach warto przeanalizować rożne metody zintegrowanej oceny obiektów budowlanych. Na świecie powstało wiele takich metod, a do najbardziej znanych należą [14]:

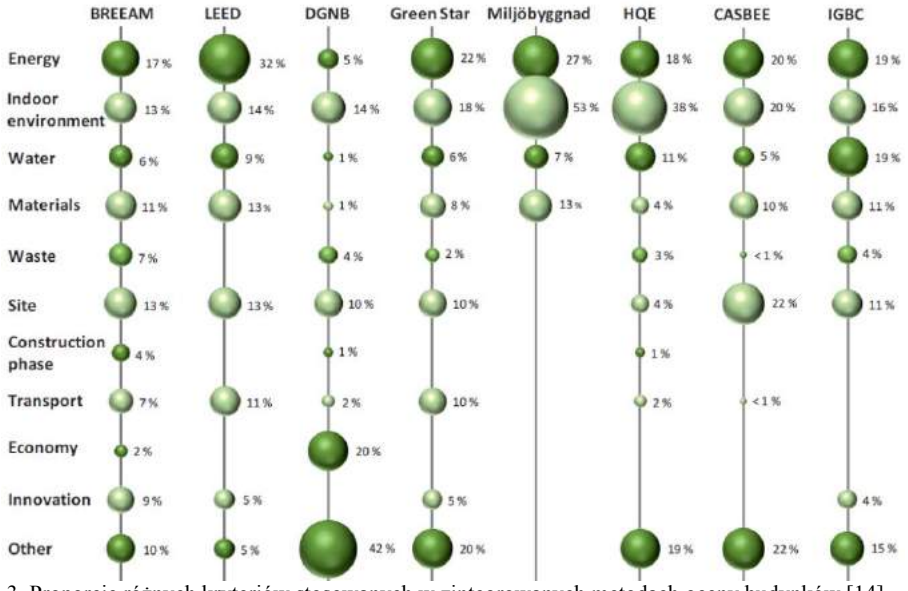
- BREEAM (Wielka Brytania, 1990),
- LEED (USA, 2000),
- DGNB (Niemcy, 2009),
- Green Star (Australia, 2002),
- Miljöbyggnad (Szwecja, 2009),
- HQE (Francja, 2004),
- CASBEE (Japonia, 2002),
- IGBC (Indie, 2007).

Wszystkie w wymienionych powyżej metod biorą pod uwagę wiele kryteriów. Zróżnicowanie kryteriów w końcowej ocenie przedstawiono na rysunku 3 [14].

W kontekście omawianej tematyki szczególną uwagę warto zwrócić na wzajemne relacje udziału kryterium zużycia energii i kryterium środowiska wewnętrznego. O ile w amerykańskiej metodzie LEED przyjmuje się, że zagadnienia zużycia energii są ok 2,3 razy bardziej znaczące (32%/14%) to już w nowszych europejskich metodach (DGNB, Miljöbyggnad, HQE) energia jest mniej istotna od środowiska wewnętrznego. Odpowiedni stosunek dla tych metod zawiera się w zakresie 0,35-0,5.

Powstała także polska metoda E-Audyt opracowana przez Panka [15]. Ocena prowadzona w częściach zwanych działami przeprowadzana jest w sposób czterostopniowy. Najniższy stopień to ocena na poziomie subkryterium, następnie na poziomie kryterium, podkategorii i kategorii, które składają się na ocenę działu. Subkryteria odnoszą się do oceny cech na poziomie szczegółowym.

Zestawienie subkryteriów i typowych wag używanych do oceny podkategorii Q1 Jakość powietrza i wentylacji przedstawia tabela 2 [16].



Rys. 3. Proporcje różnych kryteriów stosowanych w zintegrowanych metodach oceny budynków [14]

Tabela 2. Kryteria i subkryteria podkategorii jakość środowiska wewnętrznego wraz z zestawem wag domyślnych dla budynku użyteczności publicznej [16]

Q JAKOŚĆ ŚRODOWISKA WEWNĘTRZNEGO (15%)		Waga
Q1	Jakość powietrza i wentylacji	25%
Q1.1	Kontrola wilgotności	25%
Q1.1.1	Kontrola wilgotności w przegrodach budowlanych	100%
Q1.1.2	Kontrola aerozolu wodnego pochodzącego z mokrych wież chłodniczych i wody stojącej w części rozprowadzającej instalacji wentylacyjno-grzewczej	0%
Q1.2	Kontrola zanieczyszczeń	25%
Q1.2.1	Kontrola rozprzestrzeniania się włókien mineralnych	25%
Q1.2.2	Kontrola emisji lotnych związków organicznych (VOC)	25%
Q1.2.3	Migracja zanieczyszczeń powietrznych pomiędzy pomieszczeniami	25%
Q1.2.4	Kontrola obecności radonu	0%
Q1.2.5	Lokalizacja czerpni powietrza	10%
Q1.2.6	Skuteczność filtracji	15%
Q1.3	Wentylacja i doprowadzenia świeżego powietrza	25%
Q1.3.1	Wentylacja naturalna za pomocą okien zwróconych w jedną stronę	100%
Q1.3.2	Wentylacja naturalna oparta na przewietrzaniu	0%
Q1.4	Skuteczność wentylacji w strefie przebywania ludzi	25%

5. Jakość powietrza w istniejących budynkach energooszczędnych

Wyniki badania nad zadowoleniem użytkowników budynków niemal zero energetycznych w Niemczech, Austrii i Szwajcarii opublikował Mlecnik i współautorzy [17]. W ramach projektu badawczego zebrano kwestionariusze od 90 (z 414 rozesłanych) użytkowników domów. Wszystkie budynki były sprzedawane przez deweloperów jako budynki o bardzo niskim zużyciu energii, budynki pasywne lub budynki o zerowym zużyciu energii. Bardzo ciekawe są wyniki odpowiedzi na temat przyczyn zakupu takiego domu. Niskie koszty energii, które wskazało 49% respondentów znalazły się dopiero na 3 miejscu. Najwięcej wskazań uzyskało kryterium „wielkość domu" 66%, a na drugim miejscu ulokowała „jakość środowiska w domu" 61%. Zdecydowana większość ankietowanych była zadowolona z jakości środowiska wnętrz, co było ściśle skorelowane z zadowoleniem z działania systemu wentylacji. Spośród 19% użytkowników, którzy narzekali na działanie wentylacji, w odniesieniu do ocen środowiska wewnętrznego, przeważały oceny umiarkowane lub złe.

Badanie jakości powietrza w 24 energooszczędnych budynkach mieszkalnych w Kalifornii opisał Less i współautorzy [18]. Badaniem objęto budynki korzystające z różnych programów certyfikacyjnych (LEED Platinum, Passive House, the Living Building Challenge, Deep Energy Retrofit). Okazało się, że średnia intensywność wymiany powietrza w budynkach z wentylacją naturalną i mechaniczną były bardzo zbliżone (liczba wymian powietrza wynosiła odpowiednio $n = 0{,}3\ h^{-1}$ i $n = 0{,}32\ h^{-1}$). Pomimo tak niskiej intensywności wentylacji średnie tygodniowe mediany stężeń formaldehydu i aldehydu octowego były na poziomie 50% budynków oddawanych do użytku w Kalifornii przed 2008. Było to możliwe, gdyż w prawie wszystkich budynkach stosowano procedury wyboru niskoemisyjnych materiałów budowlanych.

Szczegółowy opis badania mikroklimatu budynku energooszczędnego budynku biurowego zlokalizowanego w Belgii przedstawiono w publikacji [19]. Budynek był początkowo projektowany jako budynek pasywny, ale po dodaniu dużej powierzchni paneli fotoelektrycznych stał się budynkiem zero energetycznym. W budynku nie przewidziano ani regulacji wilgotności powietrza ani mechanicznego chłodzenia, a jedynie wentylację nocną wspomaganą gruntowym wymiennikiem ciepła.

Pomiary przeprowadzone zimą i wiosną wykazały, że temperatura powietrza utrzymywana jest przez 100% czasu w granicach komfortu zdefiniowanych przez normę PN-EN 15251 [10]. Jednocześnie zaobserwowano, że przez ponad 25% czasu wilgotność względna powietrza utrzymywała się poniżej 30%. Latem przez ok. 3% czasu użytkowania pomieszczania temperatura powietrza w biurach przekraczała 26°C, ale nigdy nie przekroczyła wartości 28°C.

Używając kryteriów zgodnych z PN-EN 13779 [20] oceniono jakość powietrza jako dobrą, gdyż przez ok. 70% czasu utrzymywała się ona w klasie IDA 1, przez 36% w klasie IDA 2 i tylko przez ok. 4% czasu w klasie IDA 3. Jednakże w trakcie badań - zwłaszcza rano - odczuwano dość silny zapach stęchlizny, co było spowodowane zapewne zanieczyszczaniem mikrobiologicznym instalacji.

W badaniu ankietowym oprócz zapachu stęchlizny użytkownicy skarżyli się na:

- zbyt mały ruch powietrza,
- zbyt silną dobową fluktuację temperatury powietrza,
- okresowe przegrzewanie w lecie,
- zbyt mało światła dziennego.

Politechnika Poznańska jest właścicielem budynku doświadczalnego, wykonanego w standardzie budynku pasywnego, który oprócz funkcji laboratorium w skali 1:1, jest także miejscem pracy dla kilku przedstawicieli kadry naukowo-dydaktycznej. Budynek

wyposażony jest w system wentylacji mechanicznej i charakteryzuje się bardzo dużą szczelnością. Michałkiewicz i Basińska [21] przedstawili wyniki badań mikrobiologicznych przeprowadzanych w tym obiekcie na przestrzeni trzech lat. Badano liczby następujących mikroorganizmów: bakterie mezofilne, bakterie psychrofilne, gronkowce, promieniowce, *Pseudomonas fluorescens* oraz grzyby mikroskopowe. W budynku stwierdzono okresowe skażenie powietrza pod względem mikrobiologicznym, nie manifestujące się jednak objawami zdrowotnymi u użytkowników pomieszczeń.

Przytoczone w rozdziale informacje na temat jakości powietrza w istniejących budynkach energooszczędnych nie mogą być generalizowane. Uczulają one jednak na dużą gamę zagadnień związanych w relacjami pomiędzy dążeniem do energooszczędności a jakością powietrza w pomieszczeniach.

6. Podsumowanie

Skutkiem ubocznym większości kampanii poświęconych oszczędności energii w budownictwie były problemy z jakością powietrza w pomieszczaniach. Istnieje poważne ryzyko, iż także powszechne wznoszenie budynków w standardzie budynków niemal zero energetycznych może spowodować nową falę zagrożeń. Największe problemy mogą dotyczyć budynków, w których nie będzie produkowana lokalnie energia.

Aby w przyszłości zminimalizować ryzyko dla użytkowników, w najbliższym czasie należałoby podjąć szereg działań. Wprowadzić obowiązek, aby w budynkach użyteczności publicznej certyfikatom energetycznym towarzyszyły informacje na temat jakości powietrza wewnętrznego. Niestety, ze względu na brak dostatecznej wiedzy, w chwili obecnej nie jest jednak możliwe opracowanie wiarygodnych jednowskaźnikowych zintegrowanych ocen środowiska wewnętrznego. Racjonalnym wydaje się jednak promowanie stosowania automatycznych czujników CO_2, a w przypadku pomieszczeń z otwartym spalaniem paliw także czujników CO.

Jednocześnie należy dążyć do uporządkowania regulacji prawnych dotyczących jakości powietrza w pomieszczeniach:

- Minister Zdrowia powinien wypełnić delegację z Art. 11 ust 1 Ustawy Prawo budowlane i w drodze rozporządzania określić znowelizowane dopuszczalne stężenia i natężenia czynników szkodliwych dla zdrowia wydzielanych przez materiały budowlane, urządzenia i elementy wyposażenia w pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi,
- norma PN-EN 15251 powinna być przywołana do stosowania jako obowiązująca i powinna zostać dokonana wykładnia terminów „budynek o bardzo niskiej emisji zanieczyszczeń" oraz „budynek o niskiej emisji zanieczyszczeń",
- Polska Norma PN-83/B-3430 powinna zostać wycofana, ale jej wybrane fragmenty mogłyby się stać się częścią Rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

Doświadczenia zebrane w różnych projektach badawczych w budynkach energooszczędnych wskazują, że proces projektowania z rozbudowaną fazą wstępną i szczegółowy odbiór techniczny (ang. *commissioning*) są skutecznym sposobem unikania błędów związanych zarówno z efektywnością energetyczną, jak i z jakością środowiska wnętrz. Specyfikę tego procesu w odniesieniu do budynków niemal zero-energetycznych opisali Kantola i Saari [22]. W skład zespołu powinni wchodzić co najmniej: przyszły właściciel/użytkownik, główny wykonawca, projektant, projektant systemów HVAC oraz dostawca systemów HVAC.

Podsumowując należy stwierdzić, że w Polsce jeszcze nie jesteśmy gotowi na powszechne wznoszenie energooszczędnych lub pasywnych budynków, które byłyby tak

dobrze zaprojektowane i wykonane, aby nie stwarzały problemów eksploatacyjnych. Z grona praktyków zgłaszane są opinie, że częściową przyczyną tego zjawiska są ograniczone programy kształcenia na uczelniach technicznych w dziedzinie fizyki budowli i efektywnego wykorzystania energii [23]. W tym kontekście wydaje się w pełni uzasadnione sformułowanie postulatu, aby dokonać przeglądu zakładanych efektów kształcenia i programów kształcenia na wyższych uczelniach przygotowujących przyszłą kadrę na potrzeby budownictwa.

Literatura

1. Sundell J., 2004. On the history of indoor air quality and health. In doorAir 14, 7, 51-58.
2. European Concerned Action (COST 613) Report No 4 Sick Building Syndrome, 1989. A Practical Guide. Commission of the EuropeanCommunities, Luxembourg.
3. Sowa J., 2001. Termomodernizacja a jakość powietrza w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej, Nowoczesna stolarka a fizyka i mykologia budowlana. Polskie Stowarzyszenie Mykologów Budownictwa, Wrocław 19-20 kwietnia, 43-47.
4. Krzyżanowski M., 2013. Zatrucia tlenkiem węgla w Polsce i Europie. Międzynarodowa Konferencja „Czujka dymu i czujnik tlenku węgla, czyli mała inwestycja duże bezpieczeństwo", Warszawa 8-9.10.
5. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 (z późn. zm.).
6. Jędrzejewska-Ścibak T, Sowa J, 1994. Jakość powietrza w budynku, XL Konferencja Naukowa KILiW i KN PZiTB. Problemy Naukowo-Badawcze Budownictwa, Budownictwo a Środowisko, Krynica '94, tom 1, 227-238.
7. Zarządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 12 marca 1996 r. w sprawie dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia, wydzielanych przez materiały budowlane, urządzenia i elementy wyposażenia w pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi. M.P. 1996 nr 19 poz. 231.
8. PN-83/B-03430/Az3:2000. Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania.
9. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 3 czerwca 2014 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw charakterystyki energetycznej Dz.U. 2014 poz. 888.
10. PN-EN 15251:2012. Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego dotyczące projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków, obejmujące jakość powietrza wewnętrznego, środowisko cieplne, oświetlenie i akustykę, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
11. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2002/91/EC z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.
12. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (wersja przekształcona).
13. Sowa J., 2009. Certyfikacja jakości powietrza w budynkach użyteczności publicznej – utopia czy konieczność? Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja 7-8, lipiec- sierpień, Warszawa, 56-59.
14. Swegon Air Academy. Simply GREEN: A Quick Guide to Environmental and Energy Certification Systems for Sustainable Buildings. 2012. Swegon Air Academy.
15. Panek A., 2005. Holistyczna metoda oceny oddziaływania obiektów budowlanych na środowisko naturalne uwzględniająca zasady zrównoważonego rozwoju. Raport projektu 5 T07G00722, Warszawa.
16. Panek A, Sowa J, 2008. Jakość środowiska wewnętrznego w zintegrowanych ocenach obiektów budowlanych. Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce 2007. Wydział Inżynierii Środowiska, Warszawa, 181-192.
17. Mlecnik, E., et al., 2012. End-user experiences in nearly zero-energy houses. Energy and Buildings 49, 471-478.
18. Less B, et al., 2015. Indoor air quality in 24 California residences designed as high-performance homes. Science and Technology for the Built Environment 21.1, 14-24.
19. Verbeeck, G, Meex E., 2013. Monitoring of Indoor Climate of a Net Zero Energy Office in Flanders.
20. PN-EN 13779:2008, Wentylacja budynków niemieszkalnych – Wymagania dotyczące właściwości instalacji wentylacji i klimatyzacji, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.

21. Michałkiewicz M., Basińska M., 2013. Ocena jakości powietrza wewnętrznego w budynku pasywnym. Rynek Instalacyjny, t. 1-2, 19-24.
22. Kantola M., Saari A., 2014.Commissioning for nearly zero-energy building projects. Construction Innovation 14.3, 370-382.
23. Żurawski J., 2015. Problemy eksploatacji budynków pasywnych w Polsce. Materiały Konferencyjne Izolacje 2015. Kierunki rozwoju izolacji a wyzwania budownictwa niskoenergetycznego. Warszawa 9-10 kwietnia, 191-199.

Air quality in energy efficient buildings

Jerzy Sowa

Faculty of Environmental Engineering, Warsaw University of Technology,
e-mail: jerzy.sowa@is.pw.edu.pl

Abstract: In recent years, a strong increase in energy-efficient buildings has been observed. Moreover, from December 31, 2020 it will become compulsory in all EU Member States to construct only nearly zero-energy buildings. As problems with indoor air quality have been a side effect of most of previous campaigns on energy savings in construction, there is a risk that such a scenario will also happen this time. Thus, the paper presents different technologies used for indoor air quality and their impact on energy consumption. Moreover, the paper discusses the issues related to relationships between indoor environment quality and energy consumption from a perspective of integrated environmental assessments of buildings. The problems associated with supplementing energy certificates of buildings with information about the indoor environment are also analysed. The paper also describes the problems of indoor air quality in existing energy-efficient buildings. In conclusions, the actions that should be taken in Poland to minimize the risk of problems with indoor air quality in nearly zero-energy buildings have been defined.

Keywords: energy-efficient buildings, indoor air quality, certification, evaluation methods

Energooszczędne rozwiązania instalacji centralnego ogrzewania i wentylacji w budynkach

Władysław Szaflik

Wydział Budownictwa i Architektury, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, e-mail: wladysław.szaflik@zut.edu.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono stosowane rozwiązania systemu ogrzewania i wentylacji w budynkach, charakteryzujące się zmniejszonym zapotrzebowaniem na energię pierwotną w porównaniu z instalacjami klasycznymi. Omówiono sposoby obniżenia zużycia energii przez odpowiednie rozwiązanie i wyposażenie instalacji ogrzewczej i wentylacyjnej.

Słowa kluczowe: instalacje energooszczędne, centralne ogrzewanie, wentylacja, zużycie energii w budownictwie

1. Wprowadzenie

Pomieszczenia są ogrzewane i wentylowane po to, aby ludzie komfortowo się w nich czuli. Stosowane są różne rozwiązania ogrzewania i wentylacji pomieszczeń w budynkach. W pracy zwrócono uwagę na możliwość zmniejszenia zużycia energii pierwotnej na ogrzewanie i wentylację z zachowaniem warunków komfortu cieplnego w pomieszczeniach i przedstawiono sposoby realizacji tego zamierzenia. Zmniejszenie zużycia energii przez instalacje centralnego ogrzewania można zrealizować poprzez:

- przyjęcie korzystnego pod względem energetycznym sposobu ogrzewania pomieszczenia,
- przyjęcie niskich parametrów czynnika grzejnego w instalacji,
- przyjęcie systemu regulacji instalacji centralnego ogrzewania,
- montaż energooszczędnej pompy obiegowej,
- odpowiednie zaizolowanie przewodów c.o.,
- zastosowanie wysokosprawnego źródła ciepła i optymalne wykorzystanie energii chemicznej paliwa.

Zmniejszenie zużycia energii na wentylację można osiągnąć poprzez:

- zastosowanie regulacji strumienia powietrza zależnej od potrzeb, np. w oparciu o czujniki stężenia CO_2,
- zastosowanie odzysku ciepła z powietrza wywiewanego przy użyciu wysokosprawnych wymienników ciepła,
- nawiewanie powietrza do pomieszczeń poprzez gruntowe wymienniki ciepła,
- montaż energooszczędnego wentylatora,
- przyjęcie niskiej prędkości przepływu powietrza w kanałach i centralach.

2. Sposób ogrzewania pomieszczenia i parametry instalacji

Ludzie przebywający w określonym pomieszczeniu chcą się czuć komfortowo. Jednym z odczuwanych parametrów jest temperatura. Jeżeli w danych warunkach termicznych użytkownikom nie jest ani za ciepło, ani za zimno, to jej wartość nosi nazwę temperatury

komfortu cieplnego. Jej odczucie zależy od aktywności człowieka i izolacyjności odzieży, którą on nosi a jej wartość jest sprawą indywidualną.

Człowiek będący w pomieszczeniu odczuwa temperaturę promieniujących przegród pomieszczenia i temperaturę powietrza [1]. Parametr, który reprezentuje te odczucia nosi nazwę temperatury operatywnej (operacyjnej) i określa się ją w przybliżony sposób jako średnią arytmetyczną średniej ważonej temperatury t_{prz} powierzchni F_i przegród oraz temperatury powietrza $t_{pow.}$. Oblicza się ją z zależności:

$$t_{operat} = \frac{t_{pow} + t_{prz}}{2} \tag{1}$$

gdzie:

$$t_{prz} = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_{i\,prz} F_{i\,prz}}{\sum_{i=1}^{n} F_{i\,prz}} \tag{2}$$

Pomieszczenia z dużymi powierzchniami przeszklonymi, na których temperatura powierzchni wewnętrznej jest niższa niż w przypadku ścian, wymagają nieco wyższej temperatury powietrza, aby zachować odpowiednią temperaturę operatywną.

W pomieszczeniach, gdzie występują duże powierzchnie o wyższej temperaturze, temperatura operatywna będzie zachowana przy niższej temperaturze powietrza w pomieszczeniu. W związku z tym w przypadku ogrzewania niskotemperaturowego o dużych powierzchniach grzejnych średnia ważona temperatura przegród jest stosunkowo wysoka i powoduje, że odpowiednią temperaturę operatywną można osiągnąć przy niższej temperaturze powietrza. Efektem tego jest zmniejszenie zużycia ciepła do ogrzewania.

3. Automatyczna regulacja instalacji centralnego ogrzewania

System automatycznej regulacji instalacji centralnego umożliwia osiągnięcie znacznych oszczędności zużycia ciepła. Składa się on z:

- układu sterującego pracą źródła ciepła wyposażonego w tak zwaną automatykę pogodową oraz sterującego pracą pompy,
- układu regulacji stabilizującego różnicę ciśnień na poszczególnych pionach lub grzejnikach,
- termostatycznych zaworów grzejnikowych.

W wyniku pracy układu regulacji pogodowej w źródle ciepła zmniejszają się straty ciepła „na przesyle", poprawiają się warunki pracy zaworów termostatycznych, wzrasta sprawność źródeł ciepła oraz w przypadku niesprawnych zaworów termostatycznych następuje eliminacja znacznego przegrzewania pomieszczeń, w których takie zawory się znajdują.

Układ stabilizujący różnicę ciśnień na poszczególnych pionach i grzejnikach poprawia warunki pracy zaworów termostatycznych i zapobiega hałasom. Przyczynia się w ten sposób do poprawy komfortu termicznego w pomieszczeniu i optymalizuje przekazywanie energii przez grzejnik.

Bardzo ważnym elementem regulacji jest termostatyczny zawór regulacyjny. Zawór taki najczęściej składa się z głowicy termostatycznej i samego zaworu.

Zawór termostatyczny został stworzony w roku 1943 przez Madsa Clausena – właściciela firmy Danfoss [2]. W 1965 r. głowica termostatyczna stała się oddzielną częścią zaworu, do tego roku był to jeden element. Na początku stosowano działające samoczynnie

głowice, wyposażone w czujnik temperatury w formie zbiorniczka (mieszka) wypełnionego gazem, cieczą o dużej rozszerzalności cieplnej lub substancją stałą (woskiem) o pokojowej temperaturze topnienia oraz znacznej różnicy objętości pomiędzy fazą stałą a ciekłą. Głowice te mają możliwość ustawienia żądanej wartości temperatury w pomieszczeniu, działają one z pewnym opóźnieniem.

W ostatnim czasie pojawiły się elektroniczne głowice termostatyczne zasilane bateriami alkalicznymi. Mają one szereg możliwości, oto niektóre z nich:

- możliwość nastawy temperatury w okresie podwyższonej i obniżonej temperatury z dokładnością do 0,5°C,
- możliwość ustawienia maksymalnie trzech zmiennych okresów obniżonej temperatury dla każdego dnia,
- zmienne okresy obniżenia temperatury z dokładnością do 0,5°C,
- funkcja otwartego okna,
- tryby regulacji ogrzewania – szybkie lub umiarkowane

Głowice elektroniczne mogą niemal bezzwłocznie reagować na zmianę temperatury. Mogą być sterowane centralnie z jednego panelu regulacyjnego lub być wyposażone w regulatory indywidualne. Wymiana starych termostatów na elektroniczne może generować w typowym budownictwie mieszkalnym oszczędności energii nawet ponad 20%. Wymieniając ręczne zawory grzejnikowe na elektroniczne, można zaoszczędzić ponad 40% ciepła [2].

W ostatnim latach pojawiły się zawory grzejnikowe pełniące funkcję stabilizatora i ogranicznika różnicy ciśnień na grzejniku, przystosowane do montażu głowicy termostatycznej [2].

4. Energooszczędne pompy obiegowe

Ważnym parametrem charakteryzującym pompy obiegowe centralnego ogrzewania jest zużycie energii elektrycznej do ich napędu. Unia Europejska obligatoryjnie wprowadza nowe energooszczędne ich rozwiązania. W rozporządzeniu [7] podano obowiązujący terminarz dotyczący wprowadzania pomp obiegowych na rynek wewnętrzny: produkowane obecnie bezdławnicowe, wolno stojące pompy obiegowe, z wyłączeniem projektowanych do głównych obiegów w układach kolektorów słonecznych oraz do układów grzewczych, muszą mieć wskaźnik energochłonności nie większy niż 0,27 od stycznia 2013 r., zaś od sierpnia 2015 r. można sprzedawać bezdławnicowe, wolno stojące pompy obiegowe oraz bezdławnicowe pompy obiegowe zintegrowane z innymi produktami o wskaźniku energochłonności nie większym niż 0,23. Spowoduje to wycofanie z rynku większości typów pomp obiegowych o niskiej efektywności energetycznej.

Jako kryterium oceny pomp został wprowadzony wskaźnik energochłonności (EEI), stosowany też w przypadku innych urządzeń pobierających energię elektryczną i zastępujący, określane wg niejednoznacznych zasad, dobrowolne klasy energetyczne [3].

Wskaźnik EEI jest tworzony na podstawie rozkładu wydajności pompy w trakcie eksploatacji, a nie dla jednego (najczęściej optymalnego) punktu pracy. W czasie eksploatacji pompa obiegowa pracuje ze zmienną wydajnością. Cały zakres pracy pompy podzielono na cztery przedziały [4]. Na podstawie uśrednionych danych statystycznych opracowano uproszczony rozkład obciążeń. Zgodnie z tym rozkładem w [5] przedstawiono metodykę obliczania EEI.

Postęp w zakresie zmniejszenia energochłonności zespołów pompowych odbył się w ostatnich latach nie poprzez bardziej sprawne wirniki pomp, gdzie możliwości poprawy są bardzo małe, lecz poprzez inteligentne sterowanie i bardziej sprawne napędy. Rozporzą-

dzenie [6] dotyczące indukcyjnych silników elektrycznych podniosło wymagania dotyczące ich sprawności i narzuciło terminarz zmian.

Oprócz silników indukcyjnych pojawiły się bezszczotkowe silniki synchroniczne na magnesy trwałe (PM). Porównując sprawności silników indukcyjnych z silnikami z magnesami trwałymi można stwierdzić, że w zakresie dużych prędkości obrotowych sprawność silników z magnesami trwałymi jest większa o około 10%, a w miarę obniżania obrotów wyraźnie rośnie. Z tego wynika coraz powszechniejsze stosowanie tych silników do napędu pomp obiegowych.

Postęp w technice pomp obiegowych doprowadził do tego, iż możliwości poprawy ich sprawności stały się bardzo niewielkie. Równolegle pojawiły się tanie układy regulacji nowoczesnych silników o dużych sprawnościach, skutkiem tego jest poprawa efektywności energetycznej całego zespołu pompowego pracującego ze zmienną prędkością obrotową przy rożnych wydajnościach i wymaganych ciśnieniach. Wprowadzone w Unii wymagania dotyczące wskaźnika energochłonności (EEI) takich układów pompowych [4] wynikają z kompleksowego traktowania produktu, jakim jest pompa obiegowa. Obniżenie wskaźnika energochłonności jest możliwe przez prowadzenie inteligentnej regulacji pompy, która przy jej braku nie spełniałaby wymagań rozporządzenia UE [5].

5. Izolacja przewodów c.o.

Analizując instalację centralnego ogrzewania można zauważyć, że część przewodów od źródła ciepła do grzejników może być prowadzona przez pomieszczenia nieogrzewane. Przewody oddają ciepło do otoczenia. Strumień oddawanego ciepła zależy od temperatury w pomieszczeniu i izolacji przewodu. W przypadku braku izolacji lub niedostatecznej jej grubości, ciepło to jest niepotrzebnie tracone.

6. Optymalne wykorzystanie energii chemicznej paliwa

Źródło ciepła powinno w jak największym stopniu wykorzystywać energię chemiczną zawartą w spalanym paliwie. Takim rozwiązaniem jest jednoczesne otrzymywanie energii elektrycznej i ciepła. W elektrowniach cieplnych podstawowym procesem jest produkcja energii elektrycznej, podczas której wytwarzane jest dodatkowo ciepło odpadowe, które jeżeli nie zostanie zagospodarowane, jest bezproduktywnie odprowadzone do wód lub atmosfery (należy tu nadmienić że emisja ciepła to też zanieczyszczanie środowiska) [7].

W energetyce zawodowej i przemysłowej znanym i stosowanym od dawna sposobem poprawy opłacalności ekonomicznej przetwarzania energii jest równoczesne wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła na cele grzewcze. Jest ono nazywane gospodarką skojarzoną lub kogeneracją. Właśnie dzięki jednoczesnemu otrzymywaniu energii elektrycznej i ciepła gospodarka skojarzona realizuje wymóg oszczędnego wykorzystania surowców energetycznych. W wyniku maksymalnego wykorzystania pierwotnej energii chemicznej zawartej w paliwie, gospodarka skojarzona w znacznym stopniu przyczynia się do zmniejszenia użycia paliw, a w ten sposób do poszanowania zarówno zasobów surowcowych, jak i środowiska naturalnego.

W ostatnich latach coraz głośniej mówi się o kogeneracji rozproszonej. Jest to skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła w układach położonych w bezpośrednim sąsiedztwie odbiorców energii, także z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii. Jest jak gdyby przeciwieństwem zaopatrzenia w ciepło i w prąd z jednej centralnej elektrociepłowni. Zaletą kogeneracji rozproszonej jest uniknięcie kosztownej budowy sieci cieplnej i związanych z pracą tej sieci strat ciepła. Rozproszenie źródeł energii na danym obszarze powoduje zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego.

Odmianą lub inną formą kogeneracji rozproszonej jest mikrokogeneracja polegająca na skojarzeniu wytwarzania energii elektrycznej i ciepła w urządzeniach o małej i średnich mocy [8]. Mikrokogenereacja może być stosowana we wszystkich obiektach, gdzie występuje jednoczesne zapotrzebowanie na energię elektryczną i ciepło. Największe korzyści z jej stosowania uzyskuje się tam, gdzie zapotrzebowanie na te dwa rodzaje energii jest mało zmienne bądź stałe. Stosowana też jest sprzedaż energii do krajowego systemu energetycznego. Użytkownikami takich układów skojarzonych mogą być zarówno odbiorcy indywidualni, jak również szpitale i ośrodki edukacyjne, centra sportowe, hotele i obiekty użyteczności publicznej, oczyszczalnie ścieków.

Trwają ciągłe pracę nad coraz nowszymi systemami stosowanymi w układach skojarzonego pozyskiwania ciepła i energii elektrycznej. Obecnie można wyróżnić kilka głównych systemów, wykorzystujących:

- silniki tłokowe,
- mikroturbiny z roboczym czynnikiem organicznym,
- silniki Stirlinga,
- ogniwa paliwowe.

Sprawność całkowita tych układów wynosi około 90%, przy czym sprawność produkcji energii elektrycznej zawiera się w przedziale (10-40)%. Należy pamiętać że średnia sprawność wytwarzania prądu elektrycznego w siłowniach (elektrowniach) cieplnych wynosi około 40%. Najwyższa sprawność elektryczna możliwa do osiągnięcia występuje dla układów gazowo-parowych sprzężonych poprzez tzw. kocioł odzysknicowy, dochodzi nawet do 55-60% [6].

Wysoka sprawność całkowita układów skojarzonych pozwala na efektywne wykorzystanie energii zawartej w dostarczanym do urządzenia paliwie, co prowadzi do znacznej redukcji kosztów wytwarzania energii, kosztów energii dla użytkowników, a także obniżenia zużycia paliw, redukcji emisji zanieczyszczeń oraz ograniczenia strat przesyłowych. Efektywność stosowania układów skojarzonych poprawia zastosowanie niskoparametrowych odbiorników ciepła i sprężarkowych pomp ciepła.

Obecnie mikrosiłownie pracujące w układzie skojarzonym nie są jeszcze szeroko stosowane. Wynika to między innymi z tego, że nie są jeszcze powszechnie znane i są stosunkowo drogie.

Możliwość zmniejszenia zużycia energii daje także montaż coraz szerzej stosowanych kotłów kondensacyjnych [9]. Należy zwrócić uwagę na to, że od 26 września 2015 r. w 30 krajach Europejskiego Obszaru Gospodarczego zacznie obowiązywać Dyrektywa Europejska ErP (Ekoprojekt). Ustanawia ona wymóg minimalnej sprawności, maksymalnego poziomu emisji tlenków azotu oraz poziomu emitowanego hałasu przez wprowadzane do sprzedaży urządzenia związane z produkcją energii. Konsekwencją Ekoprojektu będzie brak możliwości wprowadzenia do obrotu wszystkich gazowych kotłów niekondensacyjnych o mocy poniżej 400 kW (z wyjątkiem kotłów z grupy B11).

Sprawność kotła odnosi się do jego obciążenia cieplnego, które jest iloczynem strumienia spalanego gazu i wartości opałowej. Nie stanowi ono całkowitej energii możliwej do wykorzystania otrzymanej w procesie spalania paliwa, bo nie uwzględnia ciepła zawartego w parze wodnej odprowadzanej ze spalinami. Skraplając tę parę wodną wykorzystuje się tę energię w większym stopniu. Przy całkowitym wykropleniu pary wodnej zawartej w spalinach sprawność kotła zasilanego wysokometanowym gazem ziemnym może osiągnąć teoretycznie nawet 111%.

Kotły kondensacyjne mają tak rozwiniętą powierzchnię wymiany ciepła, że temperatura spalin spada prawie do temperatury ścianek kotła. Jeżeli ta temperatura jest niższa od temperatury punktu rosy, następuje skraplanie pary wodnej zawartej w spalinach. Najle-

piej, aby projektowa temperatura zasilania czynnika obiegowego w centralnym ogrzewaniu była niższa od temperatury kondensacji wynoszącej około 55°C. Sprawność takiego kotła zależy od parametrów pracy instalacji. Kotły kondensacyjne mogą także współpracować z tradycyjnymi grzejnikami. Wtedy kondensacja zachodzi w części sezonu ogrzewczego. Z tego powodu lepszym rozwiązaniem jest współpraca tych źródeł ciepła z niskotemperaturowymi systemami ogrzewania, na przykład płaszczyznowymi.

7. Sterowany system wentylacji

W okresie niskich temperatur powietrze doprowadzane do pomieszczenia należy podgrzać do panującej w nim temperatury. Wartość strumienia powietrza wentylacyjnego wynika z normy PN-83/B-03430 i z wymogów higieniczno-sanitarnych. Najlepiej, aby ilość dostarczanego do pomieszczenia powietrza odpowiadała chwilowemu jego zapotrzebowaniu i taka jest idea wentylacji sterowanej zależnie od potrzeb. Przy takim sterowaniu najmniejsze ilości powietrza wentylacyjnego i największe oszczędności energetyczne występują w okresach, kiedy pomieszczenia nie są użytkowane, a w których występuje minimalne dyżurne zapotrzebowanie na powietrze. Przyjmowanym wskaźnikiem, decydującym o intensywności wymiany powietrza, jest zawartość w powietrzu substancji będącej wynikiem metabolizmu człowieka lub związanej z procesami użytkowania pomieszczeń. W przypadku wentylacji sterowanej zapotrzebowaniem wskazane jest stosowanie układów wywiewnych mechanicznych. Wentylacja sterowana zapotrzebowaniem łączy oszczędność energii z wysoką jakością powietrza wewnętrznego i ma szereg zalet związanych ze zmniejszeniem strumienia powietrza wentylacyjnego [10]:

- zmniejszenie ilości powietrza wentylacyjnego w budynku,
- zmniejszenie ilości energii zużywanej przez wentylator,
- rzadsza konserwacja filtrów, przewodów i kratek wentylacyjnych,
- dłuższa żywotność wentylatorów,
- zmniejszone średnice przewodów,
- zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych.

W systemach wentylacji sterowanej zapotrzebowaniem o intensywności wymiany powietrza najczęściej decydują:

- wilgotność powietrza,
- obecność użytkowników,
- stężenie dwutlenku węgla,
- stężenie lotnych związków organicznych.

Parametrem najpowszechniej stosowanym do regulowania intensywności wymiany powietrza jest wilgotność powietrza; o takiej wentylacji mówi się, że jest higrosterowalna.

8. Odzysk ciepła z powietrza wywiewanego

Najbardziej efektywne, a przy tym najczęściej stosowane rozwiązanie umożliwiające ograniczenie zużycia energii na podgrzewanie powietrza wentylacyjnego to odzysk ciepła. Przy takim rozwiązaniu konieczne jest stosowanie wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej. Należy pamiętać, że po zmianach Rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, które weszły w życie 1 stycznia 2014 roku, wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła należy stosować dla obiektów o strumieniu wywiewanego powietrza większym lub równym 500 m^3/h (wcześniej 2 000 m^3/h, a jeszcze dawniej 10 000 m^3/h).

Dla współcześnie produkowanych wymienników ciepła (rekuperatory i regeneratory – wymienniki obrotowe) sprawność odzysku ciepła z powietrza usuwanego z pomieszczeń,

dla nominalnych warunków pracy wynosi od 70 do 90%. Przy temperaturze niższej od (-4÷ -9)°C [11] następuje zamarzanie na przegrodach wymiennika wykraplającej się z wywiewnego powietrza pary wodnej i zwiększanie oporów przepływu przez wymiennik. Proces ten zależy od temperatury powietrza zewnętrznego oraz wilgotności powietrza wywiewanego. Aby nie dopuścić do zamarzania pary wodnej, stosowane są różne sposoby, między innymi podwyższenie temperatury powietrza świeżego poprzez zastosowanie gruntowego wymiennika ciepła (GWC).

9. Zastosowanie powietrznych gruntowych wymienników ciepła

Gruntowy powietrzny wymiennik ciepła (GPWC) to urządzenie wykorzystujące temperaturę gruntu. W okresie zimowym poniżej poziomu gruntu od pewnej głębokości temperatura jest wyższa niż temperatura powietrza, natomiast latem niższa. Powietrze świeże służące do wentylacji budynków przepływa pod powierzchnią gruntu. W okresie zimowym powietrze to pobiera ciepło z gruntu i się podgrzewa. Powoduje to obniżanie strumienia ciepła na jego podgrzanie. Natomiast w okresie letnim powietrze wentylacyjne oddaje ciepło do gruntu i w ten sposób się schładza, co poprawia komfort cieplny i zmniejsza zapotrzebowanie na energię przy ewentualnym ochładzaniu powietrza. Projektując wymiennik należy przewidzieć studnię zbierającą kondensat w okresie letnim i możliwość jego odprowadzania.

Gruntowe powietrzne wymienniki ciepła można podzielić na:.

- wymienniki żwirowe,
- wymienniki płytowe,
- wymienniki rurowe.

Gruntowy, żwirowy wymiennik ciepła to warstwa żwiru znajdująca się poniżej poziomu terenu, przez którą przepływa powietrze zewnętrzne zanim zostanie dostarczone do centrali wentylacyjnej i dalej do pomieszczeń wentylowanego budynku. Wymiennik wykonuje się w ten sposób, że w wykopie umieszcza się warstwę płukanego żwiru o granulacji 40-80 mm, z jednej strony umieszcza się kolektor rozprowadzający powietrze, równolegle z drugiej strony kolektor zbierający. Złoże izoluje się od góry warstwą styropianu – poprawia to jego efektywność cieplną.

Gruntowy płytowy wymiennik ciepła zbudowany jest z umieszczonych w wykopie dwóch równoległych płyt połączonych ze sobą, pomiędzy którymi znajdują się kanaliki, którymi pomiędzy kolektorem rozprowadzającym a zbierającym przepływa powietrze wentylacyjne. Powietrze po przepłynięciu między płytami kierowane jest do centrali wentylacyjnej w wentylowanym budynku i dalej do pomieszczeń.

Gruntowy rurowy wymiennik ciepła wykonany jest z rur ze specjalnego tworzywa o wyższej niż klasyczne przewodności cieplnej; rury te mogą być pokryte wewnątrz warstwą ograniczającą rozwój bakterii. Rury te zakopywane są na głębokości 1,5÷2,5 m. Głębokość ta wynika z kompromisu pomiędzy nakładami na wykonanie wymiennika a zyskami wynikającymi z temperatury na danej głębokości [12].

Rurowe gruntowe wymienniki ciepła dzieli się na wymienniki jednorurowe i wymienniki wielorurowe.

Wymienniki jednorurowe stosuje się dla obiektów o niedużym zapotrzebowaniu na powietrze wentylacyjne, najczęściej dla budynków jednorodzinnych. Dla typowego domu długość wymiennika wynosi 40÷60 m. Przewód ten może być prosty lub łamany.

Wymiennik wielorurowy składa się z dwóch równoległych kolektorów: rozprowadzającego i zbierającego, połączonych najczęściej prostopadłymi do nich przewodami. Układ taki jest stosowany, gdy brak jest miejsca pod wymiennik innego typu lub aby obniżyć całkowitą stratę ciśnienia w wymienniku. Rozwiązanie to znalazło zastosowanie przy wentylacji hipermarketów i innych obiektów o dużym zapotrzebowaniu powietrza.

10. Podsumowanie

Sposoby umożliwiające obniżenie zużycia energii związane są z odpowiednim rozwiązaniem i wyposażeniem instalacji ogrzewczej i wentylacyjnej. W referacie omówiono rozwiązania instalacji centralnego ogrzewania i wentylacji, pozwalające na zachowanie warunków komfortu cieplnego w pomieszczeniach oraz umożliwiające efektywne wykorzystanie i zmniejszenie zużycia energii pierwotnej zawartej w paliwie w stosunku do powszechnie stosowanych obecnie rozwiązań.

Literatura

1. Rietschel H., Raiß W., 1972. Ogrzewanie i klimatyzacja. T.I, Arkady, Warszawa.
2. http://pl.heating.danfoss.com/Default.html z dnia 15.04.2015
3. Świtalski P., Jędral W., 2012. Kryteria jakości pomp wirowych. Pompy Pompownie 4(147), 32-35.
4. Rozporządzenie Komisji (WE) Nr 641/2009 w sprawie wykonania dyrektywy 2005/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla pomp cyrkulacyjnych bezdławnicowych wolno stojących i pomp cyrkulacyjnych bezdławnicowych zintegrowanych z produktami.
5. Karaśkiewicz K., Jędral W., 2013. Badania i ocena wskaźnika energochłonności pomp obiegowych. Energetyka, wrzesień, 679-682.
6. Rozporządzenie Komisji (WE) Nr 640/2009 w sprawie wykonania dyrektywy 2005/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla silników elektrycznych.
7. Kubski P., 2005. Skojarzona gospodarka cieplno-elektryczna. Energia, ciepło i chłód. Nafta & Gaz Biznes – marzec.
8. Janowski T., Holuk M., 2011. Zastosowanie silników Stirlinga w mikrokogeneracji domowej, Prace Instytutu Elektrotechniki 249.
9. http://www.broetje.pl/grupy_produktow/kotly-kondensacyjne/ (dostęp z dnia 15.04.2015).
10. http://www.aereco.com.pl/wentylacja-higrosterowana (dostęp z dnia 15.04.2014).
11. Rosiński M., 2008. Odzyskiwanie ciepła w wybranych technologiach inżynierii Środowiska, Oficyna Wydawnicza Politechnik Warszawskiej.
12. http://www.rehau.com/pl-pl/budownictwo/odnawialne-zrodla-energii/gruntowy-powietrzny-wymiennik-ciepla z dnia 15.04.2015

Energy-saving solutions of central heating and ventilation systems in buildings

Władysław Szaflik

Faculty of Civil Engineering and Architecture, West Pomeranian University of Technology Szczecin, e-mail: wladysław.szaflik@zut.edu.pl

Abstract: The paper presents solutions of central heating and ventilation systems applied in buildings with smaller primary energy demand in comparison to classic systems. The ways to reduce the energy consumption with a suitable solution and the equipment for heating and ventilation systems as well as heat source have been discussed.

Keywords: energy-saving systems, central heating, ventilation, energy consumption in building engineering

ZASTOSOWANIE ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII

Energetyka słoneczna budynku

Dorota Chwieduk

Instytut Techniki Cieplnej, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa, Politechnika Warszawska, e-mail: dorota.chwieduk@itc.pw.edu.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono kilka podstawowych zagadnień tworzących problematykę współczesnej energetyki słonecznej budynku. Podkreśla wpływ oddziaływania energii promieniowania słonecznego na budynek i jego szczególną rolę w bilansie energetycznym nowych energooszczędnych budynków. W publikacji opisano, jak wykorzystanie energii promieniowania słonecznego w budynku powoduje zmniejszenie jego energochłonności i wprowadza zintegrowane podejście do efektywnego wytwarzania, przesyłu i użytkowania energii. Podkreśla rolę tworzenia świadomej „słonecznie" koncepcji architektoniczno-energetycznej budynku. Odnosi się do tradycyjnych rozwiązań energetyki słonecznej, systemów aktywnych instalacyjnych i pasywnych wykorzystywanych w budownictwie od lat. Pokazuje, jak obiekty budowlane stają się obecnie coraz bardziej również systemami energetycznymi. Dzieje się tak szczególnie, dzięki rozwojowi technologii energetyki słonecznej zintegrowanych z obudową budynku, do których zapewne należy przyszłość nowoczesnego budownictwa.

Słowa kluczowe: energetyka słoneczna, bilans cieplny budynku, koncepcja architektoniczno-energetyczna, efektywność energetyczna w budownictwie, systemy słoneczne, technologie energetyki słonecznej zintegrowane z budynkiem

1. Wprowadzenie

Energia promieniowania słonecznego ma zarówno charakter deterministyczny, jak i stochastyczny. Napromieniowanie słoneczne zależy od miejsca na kuli ziemskiej i jest zdeterminowane wzajemnym usytuowaniem danego miejsca a położeniem Słońca na nieboskłonie w danym czasie. Zależności geometrii sferycznej pomiędzy Ziemią i dowolnym na niej punktem a Słońcem opisują ich wzajemne usytuowanie pozwalające wyznaczyć napromieniowanie w dowolnym czasie [1, 2]. Napromieniowanie słoneczne można wyznaczyć dla danej godziny dnia, miesiąca i roku. Jest to jednakże tylko oszacowanie, bowiem dostępność promieniowania słonecznego do danego miejsca na Ziemi zależy od zjawisk stochastycznych, związanych przede wszystkim ze zmiennym w czasie zachmurzeniem i przejrzystością atmosfery (związanymi z zanieczyszczeniem środowiska), wpływającymi na jej transmisyjność i absorpcyjność. Dostępność promieniowania zależy także od warunków lokalnych, a przede wszystkim od ukształtowania otoczenia danego miejsca. Każdy budynek na Ziemi jest więc pod wpływem zróżnicowanego, zmiennego w czasie, oddziaływania promieniowania słonecznego. Istotne jest, aby koncepcja architektoniczna i projekt budowlany w odpowiedni sposób uwzględniały to oddziaływanie, i aby mogło być ono kontrolowane.

Współczesne budynki dzięki działaniom na rzecz zmniejszenia ich energochłonności wykazują się znaczną redukcją strat ciepła przez wszystkie elementy obudowy budynku, tj. ściany zewnętrzne, okna, stropodachy, podłogi na gruncie, itp. Co więcej odpowiednio zaprojektowana bryła, struktura i zastosowane materiały, a także lokalizacja budynku (w tym usytuowanie względem stron świata i obiektów w sąsiedztwie) oraz koncepcja użytkowania poszczególnych stref, pomieszczeń budynku, uwzględnia oddziaływanie ener-

gii promieniowania słonecznego. Budynek może ponadto zawierać aktywne i pasywne systemy słoneczne, tworząc współczesny dom „słoneczny" o niskim zużyciu energii, który wykorzystuje energię zawartą w środowisku, będąc przy tym przyjazny dla otoczenia (środowiska). Przykład takiego budynku pokazany jest na rysunku 1.

Rys. 1. Dom „słoneczny" pod Warszawą, wskaźnik rocznego zużycia energii pierwotnej na potrzeby ciepła 20 kWh/m^2

Dzięki standardowym energooszczędnym technologiom i rozwiązaniom w budownictwie, a także nowoczesnym technikom pozyskiwania i przetwarzania energii promieniowania słonecznego w ciepło użyteczne i energię elektryczną oraz kojarzenie ich z innymi technologiami energetyki odnawialnej i efektywności energetycznej, coraz częściej mogą być realizowane budynki niemal zero-energetyczne, samowystarczalne energetycznie lub nawet tzw. energetycznie dodatnie, czyli wytwarzające energię na własne potrzeby, gdzie nadwyżki oddawane są do sieci.

2. Oddziaływanie energii promieniowania słonecznego na budynek

Bilans cieplny budynku kształtują strumienie energii (większość w postaci ciepła) przepływające przez jego obudowę oraz strumienie powietrza (a więc i ciepła), wymieniane przez infiltrację i wentylację, a także wewnętrzne źródła ciepła [2-8]. W wyniku przepływu strumieni ciepła i istnienia źródeł wewnętrznych zmieniają się warunki cieplne w budynku. Promieniowanie słoneczne jako fala elektromagnetyczna dociera bezpośrednio do wnętrza budynku poprzez przegrody przezroczyste, czyli okna i inne przeszklone elementy elewacji budynku. Jest pochłaniana w elementach wewnętrznych pomieszczeń, przede wszystkim w przegrodach wewnętrznych, powodując wzrost energii wewnętrznej ośrodków, które tworzą te przegrody. W efekcie rośnie temperatura przegród i innych elementów, które pochłaniają ciepło. W ten naturalny sposób zachodzi zjawisko konwersji fototermicznej w elementach wewnętrznych budynku. Pozyskane ciepło powoduje wzrost temperatury pomieszczeń, co zimą jest korzystne, natomiast latem może powodować przegrzewanie pomieszczeń. Przegrzewanie jest szczególnie wyraźne w nowoczesnych budynkach o dużej izolacyjności cieplnej i szczelności obudowy.

Przeprowadzono szereg analiz symulacyjnych wpływu energii promieniowania słonecznego na bilans cieplny budynku przy wykorzystaniu własnego kodu obliczeniowego [2, 3, 7]. W tabeli 1 i 2 przedstawiono jedno zestawienie niektórych z uzyskanych wyni-

ków, które obrazuje, jak istotny w bilansie ciepła pomieszczeń zwróconych na południe jest udział energii przepływającej przez okna. Wybrany przykład dotyczy pomieszczenia o względnie dużych oknach (4 m^2 przy powierzchni podłogi 16 m^2). W przypadku strumieni przepływających do wnętrza przez przeszklenia mamy do czynienia właśnie ze strumieniem napływającej energii promieniowania słonecznego. W tabeli 1 przedstawiono miesięczne sumaryczne wartości zysków lub strat (znak ujemny) przez przegrody zewnętrzne – ściany (Q_{sc}) i okna (Q_{ok}) oraz wskutek wentylacji (Q_w). Widoczna jest dominująca rola okien w kształtowaniu bilansu energetycznego. Począwszy od marca do końca października zyski znacznie przewyższają straty, dochodząc do bardzo wysokiego, niepożądanego poziomu latem, co oznacza potrzebę chłodzenia rozważanego pomieszczenia przez 8 miesięcy w roku. Ujemna wartość Q_{hc} oznacza, że do pomieszczenia musi być dostarczone ciepło do ogrzewania, wartość dodatnia oznacza, że z pomieszczenia musi być odbierane ciepło w celu jego chłodzenia. Z kolei tabela 2 przedstawia roczne sumaryczne zapotrzebowanie na ciepło (znak ujemny) lub chłód dla rozważanego pomieszczenia z uwzględnieniem podstawowych składowych bilansu cieplnego.

Tabela 1. Miesięczne sumaryczne zyski lub straty ciepła (znak ujemny) przez przegrody zewnętrzne – ściany (Q_{sc}) i okna (Q_{ok}) oraz wskutek wentylacji (Q_w), a także wynikowe zapotrzebowanie (Q_{hc}) na ciepło (znak ujemny) lub chłód

Q [MJ]	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q_{hc}	-637	-277	9	360	643	702	796	821	559	189	-332	-638
Q_w	-169	-147	-135	-84	-45	-19	-7	-13	-42	-85	-118	-148
Q_{sc}	-64	-52	-46	-23	-4	4	9	7	-5	-26	-44	-57
Q_{ok}	-405	-78	190	469	691	717	793	827	607	300	-170	-433

Tabela 2. Roczne sumaryczne zapotrzebowanie na ciepło (znak ujemny) lub chłód i podstawowe składowe bilansu cieplnego dla rozważanego pomieszczenia

Energia	Q_h[MJ/rok]	Q_c[MJ/rok]
Q_{hc}	-1882	4073
Q_w	-1011	-
Q_{sc}	-319	18
Q_{ok}	-1083	4589

Wybrany przykład dotyczy pomieszczenia z dużymi oknami, aby pokazać iż w pewnych warunkach w nowych budynkach o wysokiej izolacyjności przegród zewnętrznych i dużej wewnętrznej pojemności cieplnej, wskutek oddziaływania promieniowania słonecznego na przeszklone przegrody, zyski ciepła są tak duże, iż zapotrzebowanie na chłód przewyższa zapotrzebowanie na ciepło (w rozważanym przypadku przeszło dwukrotnie).

3. Ograniczenie energochłonności budynku a wykorzystanie energii słonecznej

Działania na rzecz ograniczenia energochłonności budynków są widoczne na całym świecie, a szczególnie w Europie, od wielu lat (np. sporządzanie charakterystyk energetycznych budynków [8]) i to zarówno w odniesieniu do nowobudowanych budynków, jak i budynków istniejących, poddawanych procesom termomodernizacji. Jednakże, podejście do sposobów zmniejszenia energochłonności budynków ulega zmianom, poza efektywnością energetyczną, coraz bardziej istotne staje się wykorzystanie energii odnawialnej, w tym energii słonecznej.

W przypadku tradycyjnych instalacji energetycznych (systemów grzewczych i instalacji elektrycznych) analizę energooszczędności prowadzi się z reguły oddzielnie dla zagadnień związanych z wytwarzaniem energii i oddzielnie w odniesieniu do jej finalnego wykorzystania. Producent energii zajmuje się podażą energii. Kupuje paliwo pierwotne, interesując się przede wszystkim jego jakością i ceną. Następnie dąży do jak najbardziej wydajnego wykorzystania zakupionego paliwa w procesie produkcji energii, co związane jest ze zmniejszeniem energochłonności bloku wytwórczego: elektrowni, elektrociepłowni, czy też ciepłowni. Producent energii prowadzi działania na rzecz zwiększenia sprawności procesu konwersji energii pierwotnej (paliwa) na energię końcową i ograniczenia emisji szkodliwych gazów oraz innych substancji do otoczenia. Z kolei odbiorca końcowy tworzy popyt na energię. Interesuje się zmniejszeniem zużycia dostarczanej energii. Energii, która jest dla niego gotowym produktem, na którego jakość i sposób dostarczania nie ma wpływu. Odbiorca końcowy prowadzi natomiast różnego typu działania na rzecz energooszczędności w samym budynku, w tym w jego instalacjach. Najpierw dąży do zmniejszenia zapotrzebowania na energię, co przede wszystkim czyni, poprawiając izolacyjność cieplną obudowy budynku. Następnie koncentruje się na ograniczeniu energochłonności działania wewnętrznych instalacji w budynku, redukując w ten sposób zużycie energii końcowej.

W przypadku wykorzystania energii słonecznej i innych energii odnawialnych, stosuje się całościowe podejście do spraw energooszczędności. Przykłada się taką samą wagę do oszczędzania energii w procesie jej pozyskiwania, przetwarzania, przesyłania, jak i do jej wykorzystania końcowego. Użytkownik budynku jest bowiem zarówno producentem energii, jak i jej odbiorcą. Wszystkie procesy energetyczne odbywają się na miejscu i może sam nimi zarządzać oraz ustalać warunki pracy. Co więcej, realizację celu zmniejszenia energochłonności budynku, rozpoczyna od zmniejszenia zapotrzebowania na energię. W przypadku redukcji zapotrzebowania na ciepło oznacza to nie tylko zastosowanie odpowiedniej, wysokiej izolacyjności i pojemności cieplnej budynku, ale także jego odpowiednią koncepcję architektoniczną i budowlaną, umożliwiającą w jak największym stopniu wykorzystanie energii zawartej w środowisku, w tym energii słonecznej. Odpowiednie elementy obudowy budynku mogą wpływać na zwiększenie lub zmniejszenie oddziaływania promieniowania słonecznego na wnętrze budynku. Do zaplanowanego, znacznie ograniczonego zapotrzebowania na ciepło i chłód, dobiera i wymiaruje odpowiednie instalacje.

Wykorzystanie energii słonecznej w budynku, aktywnych systemów słonecznych (a także pomp ciepła), doprowadziło do zmian w projektowaniu instalacji grzewczych. Standardowe źródła ciepła i instalacje grzewcze są projektowane (zgodnie z normami) na pokrycie szczytowych obciążeń grzewczych (ekstremalne warunki pogodowe, tj. minimalne temperatury powietrza zewnętrznego w danej strefie klimatycznej). Natomiast instalacje słoneczne nie powinny być projektowane na warunki ekstremalne, w odniesieniu do mocy zainstalowanej (tak jak ma to miejsce w przypadku tradycyjnych źródeł ciepła), bowiem oznaczałoby to znaczne rozbudowanie instalacji, a przez to istotne zwiększenie nakładów inwestycyjnych, przy i tak praktycznie niemożliwym zaspokojeniu w 100% wymagań ogrzewczych, zwłaszcza w krajach wyższych szerokości geograficznych. Przewymiarowanie instalacji skutkowałoby problemami z nadmiarem ciepła latem i koniecznością jego usuwania. Słoneczne instalacje grzewcze (c.w.u.) projektuje się (wymiaruje) na zaspokojenie potrzeb ogrzewania ciepłej wody użytkowej latem. Natomiast instalacje słoneczne typu kombi: c.w.u. + ogrzewanie pomieszczeń, powinny być projektowane do całkowitego pokrycia zapotrzebowania na ciepło w okresie wiosny (chociaż zwykle wymiarowanie instalacji słonecznych tego typu jest bardziej złożone).

Wykorzystanie energii słonecznej do celów grzewczych spowodowało kompleksowe traktowanie wszystkich zjawisk energetycznych zachodzących w budynku, począwszy od

pozyskiwania energii jako „paliwa pierwotnego", poprzez jej przetwarzanie do postaci energii końcowej, jej przesyłanie do odbiorcy, aż do wykorzystania końcowego przez użytkownika. Przed zastosowaniem systemu słonecznego konieczne jest przeprowadzenie wszelkich działań na rzecz redukcji zapotrzebowanie na energię i to zarówno w nowopowstającym budynku, jak i w już istniejącym, poprzez przeprowadzenie odpowiednich działań termomodernizacyjnych.

4. Świadoma „słonecznie" koncepcja architektoniczno-energetyczna budynku

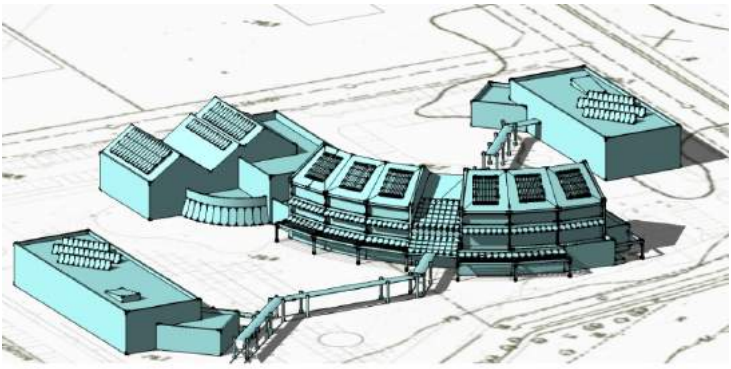
Wykorzystanie energii słonecznej narzuca konieczność tworzenia koncepcji architektonicznej budynku ściśle skojarzonej z funkcją energetyczną poszczególnych elementów obudowy i jej wnętrza. Powoduje to także konieczność odpowiedniego projektowania i wykonania budynku, pod kątem stosowania specyficznych rozwiązań architektonicznych, budowlanych i instalacyjnych, lub przeprowadzenie odpowiednich prac termomodernizacyjnych w budynku już istniejącym. Wykorzystanie energii słonecznej i innych niekonwencjonalnych rozwiązań skutkuje koniecznością współpracy architektów z inżynierami różnych branż oraz ze specjalistami do spraw niekonwencjonalnych rozwiązań i energetyki odnawialnej, w tym przypadku słonecznej. Taka współpraca daje gwarancje, że budynek będzie obiektem niskoenergetycznym, pozwalającym na wydajne wykorzystanie dostępnej energii słonecznej i efektywną współpracę wielozródłowych instalacji energetycznych.

Nowoczesne „świadome słonecznie" tworzenie zintegrowanej koncepcji architektoniczno-energetycznej budynku wymaga zwrócenia uwagi na następujące czynniki [2, 3]:

- stworzenie odpowiednich warunków nasłonecznienia i oświetlenia światłem dziennym poprzez:
  - usytuowanie budynku i jego kształt zapewniające stworzenie odpowiednich warunków nasłonecznienia i oświetlenia światłem dziennym,
  - koncepcję wnętrza budynku, w tym rozmieszczenie poszczególnych pomieszczeń, w zależności od ich funkcji i czasu użytkowania;
- stworzenie lub modernizacja obudowy i wnętrza budynku w celu ich przystosowania do biernego pozyskiwania, magazynowania, rozprowadzania i wykorzystania energii promieniowania słonecznego; co oznacza stosowanie systemów pasywnych dopasowanych do danych warunków klimatycznych; systemy zalecane do stosowania w krajach niższych szerokości geograficznych (np. typowa ściana Trombe'a) mogą być niewskazane do stosowania w krajach wyższych szerokości geograficznych,
- dobór tradycyjnych elementów obudowy budynku do funkcji osłony przed nadmiernym promieniowaniem słonecznym (zadaszenia, okapy, gzymsy); przewidzenie stosowania niekonwencjonalnych elementów zacieniających: paneli fotowoltaicznych, zewnętrzne półki świetlne, itp.,
- projektowanie lub wykorzystanie istniejącego środowiska zewnętrznego (drzewa, zieleń pnąca, itp.) do okresowego, planowanego ograniczenia dostępu promieniowania słonecznego do wnętrza budynku,
- uwzględnienie możliwości wykorzystania środowiska zewnętrznego do naturalnego chłodzenia i wentylacji, wstępne chłodzenie lub grzanie powietrza wentylacyjnego w elementach struktury budynku i w gruncie,
- uwzględnienie i przystosowanie elementów obudowy budynku, w tym ich rozwiązań strukturalnych i materiałowych, do integracji z elementami pasywnymi, semipasywnymi i aktywnymi systemów słonecznych, tworzenie systemów słonecznych zin-

tegrowanych z budynkiem (BIST – Building Integrated Solar Thermal, BIPV – Building Integrated Photovoltaics, BIPVT – Building Integrated Photovoltaics –Thermal),
- przystosowanie rozwiązań strukturalnych, materiałowych i instalacyjnych budynku do wykorzystania energii odnawialnej innej niż słoneczna (np. energii wiatru) i odpadowej (np. odzysk ciepła z układów wentylacyjnych).

Wszystkie z powyższych czynników brane są pod uwagę w mniejszym lub większym stopniu w zależności od wielkości budynku, jego lokalizacji (w mieście, pod miastem, na wsi, itd.), otoczenia budynku i jego przeznaczenia. Na rysunku 2 przedstawiono wstępną, niestety nie zrealizowaną, koncepcję Centrum Badawczego PAN Jabłonna. Przeznaczenie i wielkość poszczególnych budynków miało decydujący wpływ na stworzone propozycje wykorzystania rozwiązań słonecznych systemów aktywnych i pasywnych.



Rys. 2. Wstępna koncepcja Centrum Badawczego PAN Jabłonna autorstwa P. Murza-Mucha

Do niedawna wykorzystanie energii słonecznej w budynku kojarzyło się przede wszystkim z wykorzystaniem słonecznych systemów pasywnych i aktywnych. Słoneczne systemy pasywne przybierają zarówno tradycyjne formy (ściana Tromba, Tromba – Mitchela, Balcomba, [9-10], jak i różne nowe modyfikacje ścian kolektorowych i kolektorowo-magazynujących [11]. Dla naszych warunków klimatycznych wskazane jest stosowanie przeszklonej przestrzeni buforowej wbudowanej w budynek [2]. Problemy rozwiązań pasywnych i efektywności energetycznej są szczególnie istotne w miastach [12] i budynkach użyteczności publicznej [13]. Słoneczne cieplne systemy aktywne są rozwiązaniami instalacyjnymi, uznawanymi za dojrzałą, choć nadal niekonwencjonalną technologię grzewczą [14].

5. Technologie energetyki słonecznej zintegrowane z budynkiem

Energetyka słoneczna budynku to obecnie nie tylko koncepcja architektoniczno-budowlana, to także rozwiązania instalacyjne wpływające w znacznym stopniu na tę koncepcję. Coraz częściej elementy aktywnych systemów słonecznych stanowią elementy obudowy budynku i są jej integralną częścią. Systemy BIST Building Integrated Solar Thermal i BIPV Building Integrated Photovoltaics, pojawiają się coraz częściej w nowoczesnym budownictwie niskoenergetycznym. Budynek staje się nie tylko obiektem architektoniczno-budowlanym, ale także systemem energetycznym, pozyskującym i przetwarzającym energię na miejscu dla potrzeb jego użytkowników. Jednakże wznoszenie budynków jako zintegrowanych, kompleksowych obiektów architektoniczno-energetycznych, to nadal przyszłość.

Instalacja słoneczna jest uznawana za zintegrowaną z budynkiem, jeśli stanowi ona jego integralny element, bez tego elementu budynek traci swoją funkcjonalność. Systemy takie realizowane są poprzez zastępowanie typowych elementów struktury budynku i materiałów budowlanych elementami systemów słonecznych zarówno kolektorami słonecznymi (BIST), modułami fotowoltaicznymi (BIPV), jak i urządzeniami hybrydowymi tzw. PV/T – Photovoltaic thermal hybrid solar collector [15] (wspomniane wcześniej BIPVT).

Spośród technologii słonecznych zintegrowanych z budynkiem najczęściej stosuje się technologie płaskich kolektorów cieczowych zintegrowanych z połacią dachu. Takie rozwiązanie ułatwia proces montażu kolektorów w nowych budynkach, a w budynkach istniejących może być stosowane przy modernizacji dachu. Przyczynia się to do zmniejszenia nakładów inwestycyjnych, zmniejszając liczbę instalowanych elementów (kolektor jest jednocześnie połacią dachu) i w konsekwencji koszt robocizny. Kolektory zintegrowane z dachem zalecane są do stosowania także ze względu na ograniczanie strat ciepła. Izolacja dachu stanowi bowiem równocześnie izolację cieplną kolektorów słonecznych. Jednocześnie poprawia się efekt wizualno-estetyczny. Widok „sterczących" na dachach kolektorów często nie jest akceptowany, zarówno przez architektów, jak i użytkowników. Przy odpowiednich warunkach nasłonecznienia, zdeterminowanych pochyleniem, orientacją i brakiem zacienienia kolektorów, nawet znaczne powierzchnie dachu mogą być przeznaczone pod instalacje z kolektorami słonecznym.

W budynkach w systemach aktywnych wykorzystywane są też płaskie kolektory powietrzne, skojarzone z systemem wentylacji lub z systemem magazynowania ciepła w złożu kamiennym. Kolektory powietrzne mogą być zintegrowane z połacią dachu, jednakże coraz częściej stosuje się kolektory powietrzne w postaci ścian osłonowych, pojedynczych lub złożonych elementów elewacji w systemach pasywnych.

Do podstawowych rozwiązań systemów słonecznych cieplnych, zintegrowanych z budynkiem, uwzględniając te wymienione powyżej, należą:

- kolektory słoneczne cieczowe lub powietrzne stanowiące powierzchnię pochylonych połaci dachu budynku,
- kolektory cieczowe wbudowane w fasadę południową budynku,
- kolektory słoneczne cieczowe, płaskie i próżniowe, stanowiące balustrady, przegrody balkonowe,
- ściany słoneczne będące kolektorami powietrznymi, stanowiącymi ściany zewnętrzne pełne lub perforowane, o strukturze kanałowej, zintegrowane z systemem ogrzewania, wentylacji i chłodzenia/klimatyzacji budynku,
- ściany PVT, czyli przegrody zewnętrzne z reguły stanowiące fasadę południową, będące hybrydą paneli fotowoltaicznych, skojarzonych z kolektorami słonecznymi powietrznymi, cieczowymi lub z dwoma czynnikami grzewczymi: powietrzem i wodą, zintegrowane z systemem ogrzewania i wentylacji,

Z kolei do podstawowych systemów słonecznych fotowoltaicznych zintegrowanych z budynkiem, należą rozwiązania z panelami fotowoltaicznymi stanowiącymi:

- obudowę zewnętrzną ścian zewnętrznych,
- elementy przeszklonych fasad i dachów, zapewniające poza produkcją energii elektrycznej odpowiedni dostęp światła dziennego do wnętrza budynku,
- dachówki,
- elementy zadaszeń i okapów oraz innych struktur zacieniających budynek, a także innych obiektów, np. zadaszenie otwartych parkingów,

- elementy dodatkowe obudowy budynku, np. okiennice pełniące funkcję zacieniającą, równocześnie zintegrowane z układem ogrzewania i chłodzenia powietrznego pomieszczeń.

Na rysunku 3 przedstawiono przykład zastosowania paneli fotowoltaicznych jako okapów zacieniających w budynku instytutu badawczego CIEMAT w Madrycie, Hiszpania.

Rys. 3. Przykład BIPV – paneli fotowoltaicznych zintegrowanych z obudową budynku, CIEMAT, Madryt

Stosowanie elementu instalacji słonecznej jako elementu budowlanego, ma swoje konsekwencje w postaci zwiększonych wymagań wytrzymałościowych, przeciwpożarowych, akustycznych, itd. Co więcej, inne będą wymagania dla płaskiego kolektora, który będzie fragmentem fasady południowej budynku, a inne dla kolektora płaskiego lub próżniowego stanowiącego element balustrady tarasu czy balkonu. Istotna jest estetyka i trwałość takich elementów. Urządzenia takie są swoistą hybrydą urządzenia grzewczego i elementu budowlanego. Dostęp do nich, jak i ich ewentualna naprawa lub wymiana, powinny być względnie proste i muszą być przeprowadzone przez odpowiednio przeszkolone osoby, znające zarówno techniki grzewcze, jak i budowlane. Urządzenia wykorzystywane jako elementy zintegrowane, powinny charakteryzować się długą żywotnością, wysoką jakością wykonania i dużą niezawodnością działania (większymi niż standardowe).

Rynek rozwiązań zintegrowanych budowlano-energetycznych dopiero powstaje. Istnieje potrzeba tworzenia wielu rozwiązań, kojarzących technologie energetyki słonecznej z technologiami budowlanymi, wykorzystywane do ogrzewania, chłodzenia, wentylacji i wytwarzania energii elektrycznej. Istnieje konieczność znormalizowania produkcji, konstruowania, instalowania i wykorzystania urządzeń i systemów energetycznych, będących również elementami budowlanymi. Technologie energetyki słonecznej zintegrowane z obudową budynku są dopiero na początku swojej ścieżki rozwoju. Należy jednakże oczekiwać, że to właśnie do takich rozwiązań należy przyszłość. Budynek będzie stanowił bowiem zintegrowany twór architektoniczno-budowlano-energetyczny.

Literatura

1. Duffie J.A., Beckman W.A., 1991. Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley & Sons, Inc., New York.
2. Chwieduk D., 2011. Energetyka słoneczna budynku. Arkady.
3. Chwieduk D., 2014. Solar energy in buildings. Thermal Balance for Efficient Heating and Cooling. Elsevier. Academic Press.

4. Piotrowski J.Z., Stroy A.F., Olenets M.O., 2015. Mathematical model of the thermal-air regime of a ventilated attic. Journal of Civil Engineering and Management 21(6), 710-719.
5. Piotrowski J.Z., Stroy A.F., Olenets M.O., 2013. Mathematical modelling of the steady state heat transfer processes in the convectional elements of passive solar heating systems. Archives of Civil and Mechanical Engineering 13(3), 394-400.
6. Kisilewicz T., Nowak K., 2006. Wpływ oszklonej strefy buforowej na bilans cieplny budynku. Czasopismo Techniczne 5-B. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 277-286.
7. Chwieduk D., 2008. Some aspects of modeling the energy balance of a room in regard to the impact of solar energy. Solar Energy 82**,** Elsevier, 870-884.
8. Gawin D., Sabiniak H.G., 2010. Świadectwa charakterystyki energetycznej. Łódź, ArCADiasoft Chudzik.
9. Anderson B. Solar Energy, 1975. Fundamentals in Building Design. Total Environmental Action, Inc., Harrisville, New Hampshire.
10. Balcomb J.D. Passive Solar Buildings. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1992.
11. Kolokotsa D., Santamouris A., Karlessi T., 2012. Passive Solar Architecture. [In:] Comprehensive Renewable Energy 3. (ed. S. Kalogirou), Elsevier, 637-665.
12. Tombazis A.N., Preuss S.A., 2001. Design of passive solar buildings in urban areas. Solar Energy 70(3), Elsevier Science Ltd., 311-318.
13. Nowak H., Włodarczyk D., Nowak Ł., Śliwińska E., Staniec M., 2010. Efektywność aktywnych i pasywnych systemów słonecznych w energooszczędnych budynkach użyteczności publicznej w Polsce. Czasopismo Techniczne. B, Budownictwo 107(4), 143-152.
14. Thirugnanasambandam M., Iniyan S., Goic R., 2010. A review of solar thermal technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14, 312-322.
15. Souliotis M., Tripanagnostopoulos Y., Kalogirou S., 2010. Thermosiphonic Hybrid PV/T Solar Systems. Polska Energetyka Słoneczna 1-4/2009, 1/2010, PTES–ISES, 28-31.

Informacja: Prace badawcze dotyczące systemów słonecznych zintegrowanych z obudową budynku są prowadzone w ramach projektu COST Action TU1205 Building Integrated Solar Thermal Systems – BIST.

Solar energy in buildings

Dorota Chwieduk

Institute of Heat Engineering, Faculty of Power and Aeronautical Engineering, Warsaw University of Technology, e-mail: dorota.chwieduk@itc.pw.edu.pl

Abstract: The paper presents some main fundamental issues of modern problems related to solar energy in buildings. The influence of solar radiation on a building and its role in the energy balance of a building is underlined. The paper describes how the utilization of solar energy in buildings causes the reduction of energy consumption and introduces an integrated approach to the effective energy production, transmission and use. A role of 'consciously-produced' solar energy architectural and energetic concept of a building is underlined. The paper refers to traditional solutions of solar energy applications in buildings, i.e. active and passive solar systems used for many years. It has been shown how present buildings become the energy systems as well. It has been mainly due to the development of building-integrated solar energy technologies that are the future of modern building sector.

Keywords: solar energy, energy balance of a building, architectural-energy concept of a building, energy efficiency in buildings, solar systems, building integrated solar energy technologies

The presented research studies on building integrated solar systems are developed under the COST Action TU1205 Building Integrated Solar Thermal Systems – BIST.

Przykłady rozwiązań konstrukcji budynków w aspekcie OZE. Nieogrzewane ogrody zimowe a oszczędność energii cieplnej

Ewa Figiel

Wydział Budownictwa i Architektury, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, e-mail: figiel@zut.edu.pl

Streszczenie: Praca dotyczy ogrodu zimowego – elementu umożliwiającego pasywne korzystanie z energii słonecznej. Przeprowadzono w nim analizę energetyczną nieogrzewanego ogrodu zimowego, a także zwrócono uwagę na przebiegi temperatur w pomieszczeniu z nim sąsiadującym. Instrumentem do tej analizy był niekomercyjny program numeryczny do symulacji stanów termicznych budynku i hydraulicznych instalacji grzewczej. Przy jego pomocy porównano zużycie energii cieplnej dwóch domów jednorodzinnych, różniących się tym, iż tylko jeden z nich posiadał przybudowany do fasady południowej tzw. zimny (nieogrzewany) ogród zimowy. Zbadano także wpływ kilku wariantów geometrii ogrodu zimowego na możliwość redukcji zużycia ciepła i przebiegi temperatur w nim oraz przyległym do niego pomieszczeniu.

Słowa kluczowe: ogrody zimowe, oszczędność energii, pasywne wykorzystanie energii słonecznej

1. Wprowadzenie

Nieogrzewane ogrody zimowe nazywane są także oranżerią lub przeszklonym pomieszczeniem dobudowanym przeważnie do boku już istniejącego budynku mieszkalnego. Ostatnie z określeń najbardziej trafnie oddaje obecnie istotę tych obiektów. Współczesne ogrody zimowej są bowiem pomieszczeniami z dużymi przeszkleniami przylegającymi do najbardziej nasłonecznionej części fasady budynku. Temperatura w ogrodzie zimowym w okresie całego roku różni się zarówno od temperatury zewnętrznej, jak i temperatury przyległych pomieszczeń wewnętrznych znajdujących się w kubaturze ogrzewanej budynku. Dzięki temu, że nawet w okresie zimowym jest średnio o kilka stopni wyższa od zewnętrznej (rys. 5) pomieszczenia te są wykorzystywane często do hodowli roślin. Zaletą oranżerii jest możliwość użytkowania jej jako dodatkowego pokoju w sprzyjających warunkach głównie w okresie przejściowym (wiosną, jesienią). Ogrody zimowe, wykorzystując do ogrzewania w sposób pasywny energię słoneczną sprawiają, iż korzystne dla ludzi warunki termiczne można w nich uzyskać także w pewnych okresach sezonu grzewczego bez udziału konwencjonalnego systemu ogrzewania. Przy dostatecznym natężeniu promieniowania słonecznego można wtedy otworzyć drzwi lub okna znajdujące się między pomieszczeniem przyległym a ogrodem zimowym i również w ten sposób osiągać oszczędności energii cieplnej. Poza tym ogrody zimowe stanowią bufor cieplny i są niewątpliwie elementem dodatkowej ochrony cieplnej budynku. Chronią też przed hałasem zewnętrznym zwłaszcza przy lokalizacji budynku w pobliżu ruchliwej ulicy oraz przyczyniają się do poprawy warunków komfortu cieplnego w pomieszczeniach do nich przyległych. Przeszklone ściany pozwalają, na przykład w porównaniu z tarasami, wydłużyć zarówno w cyklu dziennym, jak i rocznym okres, w którym można się cieszyć widokiem otaczającej przyrody. Dzięki tym walorom ogrody zimowe przeżywają swój renesans i zdobywają

coraz większą popularność. Należy zauważyć, że nie są one wynalazkiem ubiegłego wieku. Ogrody zimowe bardzo podobne do wznoszonych obecnie powstawały w Europie już na początku wieku XIX.

Przeszklone nieogrzewane dobudówki można często spotkać w budynkach o standardzie pasywnym lub niskoenergetycznym. Jednakże bardzo często, ogrodom zimowym przypisuje się zbyt duży potencjał oszczędności energii cieplnej lub też odwrotnie nie uważa się ich wcale za obiekty mogące przyczynić się do jakichkolwiek korzyści energetycznych. Nawet w przypadku tzw. zimnych, nieogrzewanych ogrodów zimowych wiele osób ma wątpliwości, czy wybudowanie szklanej ściany nie spowoduje w domu nadmiernych strat ciepła.

Nieogrzewany ogród zimowy może przyczynić się do oszczędności energii, ale tylko pod warunkiem przestrzegania pewnych zasad dotyczących jego właściwego zaprojektowania, wykonania i lokalizacji. W wyniku przeprowadzonych pomiarów [4] stwierdzono nawet niewielką redukcję zużycia energii cieplnej nawet w przypadku ogrodów przylegających do strony północnej budynku, jednak dla uzyskania bardziej wymiernych korzyści energetycznych konieczna jest lokalizacja południowa lub południowo-zachodnia. Zimowa oranżeria powinna być koniecznie oddzielona przegrodą od ogrzewanej części budynku. Jeżeli zostanie w pełni zintegrowana z przestrzenią mieszkalną, to rozwiązanie takie skutkuje znacznym zwiększeniem zużycia energii z powodu dużych strat ciepła w wyniku przenikania przez powierzchnie przeszklone.

Poprawnie zaprojektowany i wykonany ogród zimowy stanowi element umożliwiający pasywne wykorzystanie energii słonecznej. Zależnie od tego, jaką część fasady budynku obejmuje, może w mniejszym lub większym stopniu wpływać na redukcję strat ciepła pomieszczeń przyległych.

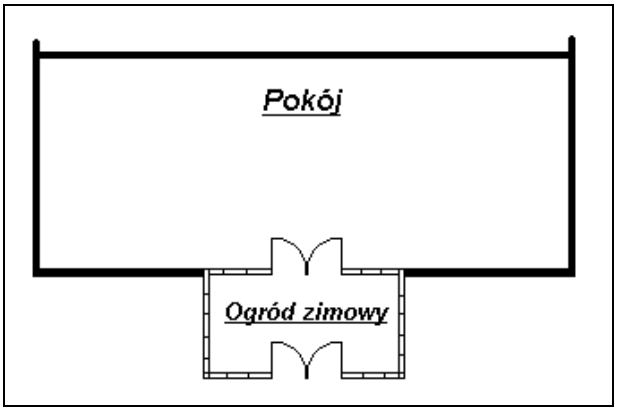
2. Analiza numeryczna nieogrzewanego ogrodu zimowego

Analizę numeryczną ogrodu zimowego jako elementu umożliwiającego wykorzystanie energii słonecznej w sposób pasywny wykonano pod kątem oceny możliwości obniżenia zużycia energii cieplnej do ogrzewania budynku. Posłużył do tego niekomercyjny program numeryczny do symulacji nieustalonych stanów termicznych budynku i hydraulicznych instalacji centralnego ogrzewania o nazwie Q4HKTM [1,2]. Dane klimatyczne przyjęto dla roku porównawczego dla miasta Berlina TRY [3]. Pierwszy wariant (wariant A) przyjęty do symulacji dotyczył budynku w zabudowie bliźniaczej o powierzchni ogrzewanej 185,6 m^2 i kubaturze 560,2 m^3, który nie miał dobudowanego ogrodu zimowego. Symulowany obiekt charakteryzował się dość dobrą izolacyjnością cieplną (U dla ściany zewnętrznej 0.22 W/(m^2K), dla dachu 0,28 W/(m^2K)) i można go zaliczyć do typu budynków masywnych. W drugim wariancie analizy numerycznej (wariant B) każdą połowę bliźniaka z wariantu A wyposażono w dobudowany ogród zimowy obejmujący ok. 15 m^2 fasady południowej budynku (dwie kondygnacje). Powierzchnia rzutu poziomego tego ogrodu zimowego wynosiła 6,41 m^2. Przyjęto, iż jest on wykonany jest ze szkła izolacyjnego, niskoemisyjnego o współczynniku U = 1,4 W/m^2.

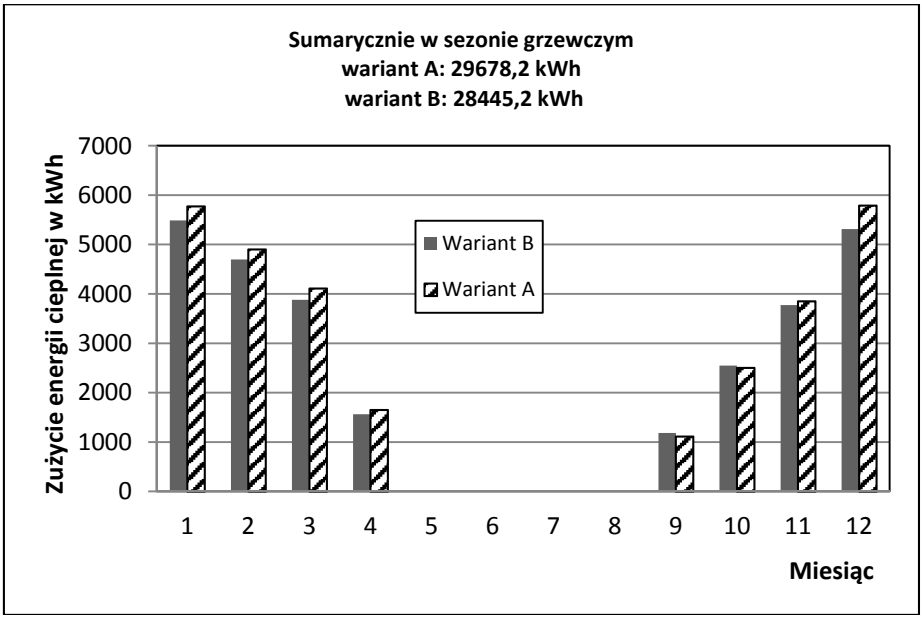
3. Wyniki symulacji dla całego okresu sezonu grzewczego

W okresie sezonu grzewczego obejmującego osiem miesięcy zużycie energii cieplnej w przypadku budynku B z ogrodem zimowym wyniosło 28445,2 kWh, zaś w przypadku domu A bez tego ogrodu 29678,6 kWh. Wynik symulacji dla poszczególnych miesięcy przedstawiono na rysunku 2. Uzyskano stosunkowo niewielką bo ok. 4% redukcję zużycia energii cieplnej do celu ogrzewania w budynku z oranżerią w porównaniu do wariantu bez

ogrodu zimowego. Nie jest ona duża, lecz należy wziąć pod uwagę fakt, że zużycie to dotyczy całego budynku, a na kształtowanie się warunków termicznych większej części pomieszczeń znajdujących się w domu B ogród zimowy nie miał istotnego wpływu (oranżeria obejmowała jedynie niewielką część fasady południowej). Dlatego w dalszej części pracy celowo skupiono się tylko na pomieszczeniu w budynku, na które ogród zimowy oddziałuje bezpośrednio, to jest pokojem przyległym do ogrodu zimowego (rys. 1).



Rys. 1. Ogród zimowy wraz z pokojem przyległym w wariancie B – szkic sytuacyjny

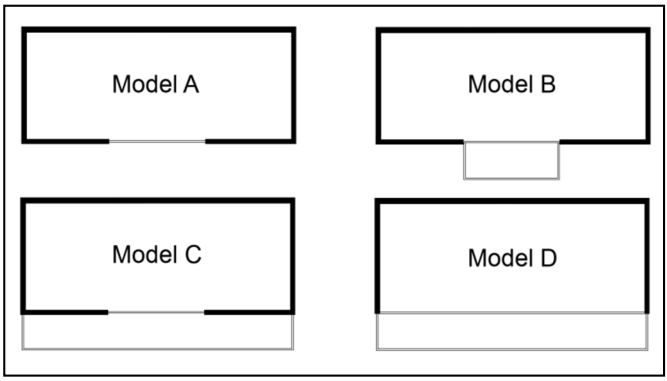


Rys. 2. Porównanie zużycia energii w obu budynkach w poszczególnych miesiącach sezonu grzewczego. Wariant A – budynek bez ogrodu zimowego, wariant B – budynek z ogrodem zimowym

4. Wyniki symulacji dla ogrodu zimowego i przyległego do niego pokoju

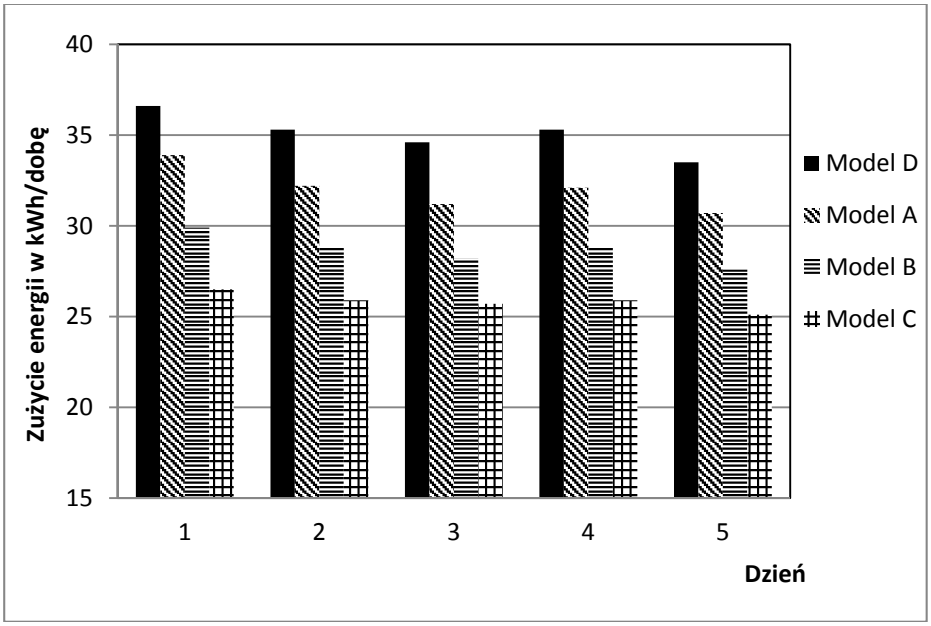
Zbadano wpływ ogrodu zimowego na zużycie energii oraz przebieg temperatury operacyjnej tE w pokoju przyległym. Temperatura operacyjna jest znanym od lat kryterium służącym do oceny komfortu cieplnego i jest w przybliżeniu średnią arytmetyczną temperatury powietrza oraz średniej temperatury powierzchni przegród w pomieszczeniu. Do symulacji przyjęto założenie 0,5-krotnej wymiany powietrza wentylacyjnego w ciągu godziny. Uwzględniono wymianę powietrza między ogrodem zimowym a pokojem przyległym. Analizą objęto 4 różne warianty geometrii przeszklenia ogrodu zimowego i pokoju (rys. 3). Otrzymane różnice w zużyciu energii przedstawiono na przykładzie kilku dni stycznia na rysunku 4. Dla badanych modeli przykładowo w miesiącu styczniu (TRY) otrzymano następujące wartości zużycia energii w pokoju:

- Model A: 942,9 kWh (100%)
- Model B: 858,3 kWh (91%)
- Model C: 751,3 kWh (80%)
- Model D: 1013,7 kWh (108%)

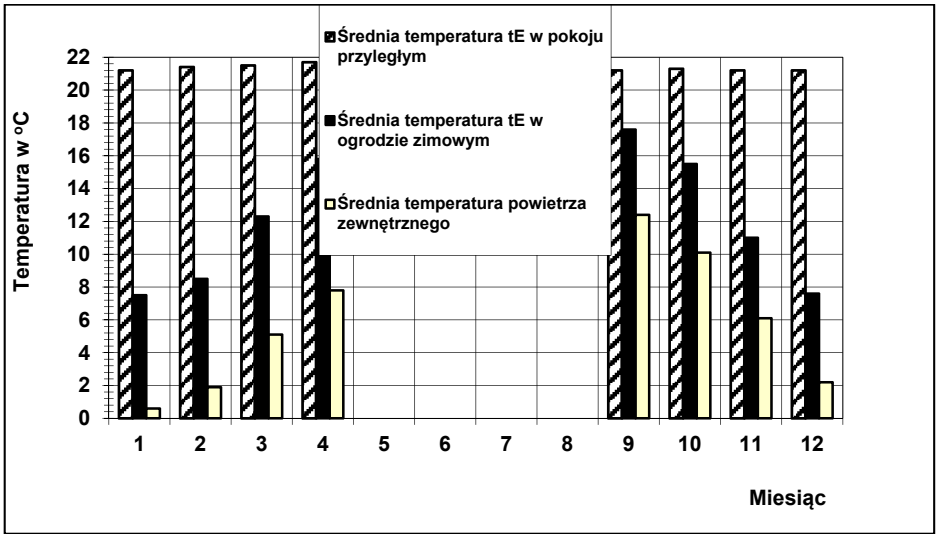


Rys. 3. Schematy 4 modeli geometrii przeszklenia pokoju oraz ogrodu zimowego. Model A – bez ogrodu zimowego (wariant budynku A); Model B – z niezmienionym geometrycznie ogrodem zimowym (wariant budynku B); Model C – przeszklenie pokoju bez zmian, ogród zimowy o szerokości i wysokości całej ściany południowej budynku; Model D – jak Model C ale z pełnym przeszkleniem ściany południowej pokoju

Szczególnie wyraźnie widoczne jest działanie ogrodu zimowego jako buforu cieplnego w modelu C. Oszczędność energii sięga w styczniu 20% w porównaniu z wariantem bez szklanej przybudówki. Duże przeszklenie pokoju w modelu D przyczyniło się natomiast do zwiększonego o około 8 % zużycia energii cieplnej. Analizując powyższe modele w okresie całego sezonu grzewczego można stwierdzić, że nawet ograniczając zagadnienie energetycznego oddziaływania ogrodu zimowego tylko do bezpośrednio przyległego do niego pomieszczenia nie uzyskujemy znacznych różnic w zużyciu energii we wszystkich wariantach z ogrodem zimowym w porównaniu do wariantu bez tego ogrodu (maksymalnie kilkunastoprocentowa redukcja zużycia energii w modelu C). Należy przy tym zauważyć, że w przypadku bardzo dobrze zaizolowanej przegrody między ogrodem zimowym a pokojem przyległym obniżenie zużycia energii dzięki szklanej przybudówce będzie bardzo niewielkie.



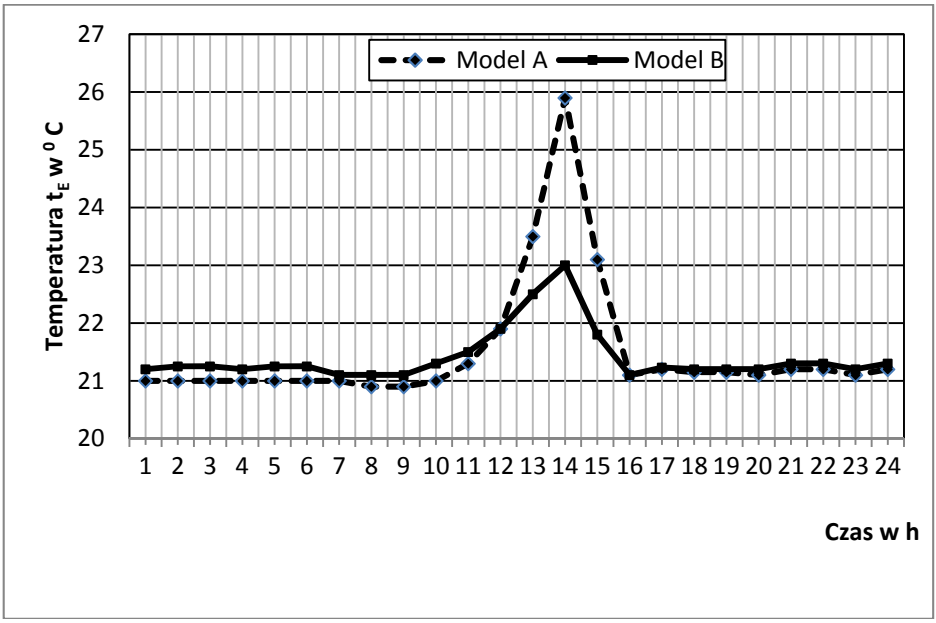
Rys. 4. Dobowe zużycie energii w pokoju przyległym do ogrodu zimowego w pierwszych pięciu dniach miesiąca stycznia (TRY) dla modeli A,B,C,D



Rys. 5. Średnie miesięczne temp. powietrza zewnętrznego, temp. operacyjna tE w ogrodzie zimowym i pokoju przyległym w sezonie grzewczym

Na rysunku 6 przedstawiono różne przebiegi temperatury operacyjnej w pokoju przyległym do ogrodu zimowego dla wybranego dnia charakteryzującego się dużym udziałem bezpośredniego promieniowania słonecznego (24 styczeń) dla modelu A oraz B. Szczegól-

nie w przypadku modelu A bez ogrodu zimowego widoczny jest znaczny, nadmierny przyrost temperatury w godzinach popołudniowych, spowodowany dużymi zyskami od promieniowania słonecznego przez okno (pomimo odcięcia dopływu czynnika grzewczego przez zawory termostatyczne).



Rys. 6. Przebieg temp. operacyjnej tE w pokoju przyległym do ogrodu zimowego dnia 24 stycznia (TRY)

5. Wnioski

Dla okresu sezonu grzewczego zużycie energii cieplnej w symulowanym budynku z ogrodem zimowym (wariant B) było mniejsze jedynie o ok. 4% w porównaniu z budynkiem bez oranżerii (wariant A). Oszczędność energii cieplnej do ogrzewania pomieszczenia przyległego do ogrodu zimowego była największa w przypadku modelu C, gdy ogród zimowy obejmował całą powierzchnie fasady (w sezonie grzewczym ok. 12%). Należy pamiętać, że podane wartości procentowe odnoszą się jedynie do symulowanego obiektu i przyjętych założeń obliczeniowych. Redukcja zużycia energii cieplnej dla innych warunków klimatycznych, konstrukcji i lokalizacji budynku oraz ogrodu zimowego będzie przyjmować inne wartości. Z przeprowadzonej analizy wynika jednakże, iż w warunkach naszego klimatu nie uzyskujemy znacznych różnic w zużyciu energii w budynkach z ogrodem zimowym w porównaniu z analogicznymi obiektami, ale bez takiego ogrodu. Przy obecnych i obowiązujących w przyszłości wysokich standardach izolacyjności termicznej przegród korzyść energetyczną związaną z budową szklanej oranżerii należy uznać za stosunkowo niewielką.

Literatura

1. Zöllner, G., 1978. Jahresenergieverbrauch von HD-Induktionsklimaanlagen. Rechnerische Prozeßsimulation und Verbrauchsmessung. Praca doktorska, TU Berlin.
2. Figiel, E., 1997. Regelgüte der Raumtemperatur und Fremdenergienutzung in beheizten Gebäuden bei Anwendung thermostatischer Heizkörperventile. Rechnerische Gebäude- und Anlagensimulation. Praca doktorska, TU Berlin.
3. Testreferenzjahre- Meteorologische Grundlagen für technische Simulation von Heiz- und Raumlufttechnischen Anlagen, 1991. BINE-Profi-Info-Service. Publikationsbroschure. Fachinformationszentrum Karlsruhe.
4. Pisthol, W., 2000. Handbuch der Gebäudetechnik. Werner Verlag GmbH, Düsseldorf.
5. Figiel E., 2005. Nieogrzewane ogrody zimowe. Symulacja numeryczna zachowań termicznych. Informacja INSTAL 5, 66-69.

Examples of building construction solutions from a renewable energy perspective. The role of unheated winter gardens in saving energy

Ewa Figiel
Faculty of Civil Engineering and Architecture, West Pomeranian University of Technology Szczecin, e-mail: figiel@zut.edu.pl

Abstract: The paper describes the opportunity of passive solar energy use in winter gardens. Not only does it contain the energy analysis of an unheated winter garden, but it also describes the thermal comfort of the room as well as the adjacent room. The tool used for the analysis is a noncommercial numerical program that conducts simulations of the dynamic and hydraulic system behaviors of the building. With its help two one-family houses of the same design have been compared, the only difference between them being that one has had a winter garden at the southern facade. It has also been examined how different geometric properties of the winter garden affect the possibility of reducing heat consumption and the temperature course in the adjacent room.

Keywords: winter gardens, energy saving, use of passive solar energy

Małe elektrownie wiatrowe

Zbigniew Goryca

Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach,
e-mail: zgoryca@tu.kielce.pl

Streszczenie: W pracy omówiono zagadnienia związane z małymi elektrowniami wiatrowymi. Podano podstawowe konstrukcje turbin wiatrowych, prądnic współpracujących z tymi turbinami oraz omówiono układy przetwarzania energii. Określono sposób zabezpieczenia turbiny przed skutkami zbyt silnych wiatrów oraz podano wpływ układów sterowania. Na rysunkach 3, 5, 6, 7 i 10 podano przykłady małych elektrowni wiatrowych, generatorów i układów sterowania zbudowanych z udziałem autora.

Słowa kluczowe: mała elektrownia wiatrowa, turbina wiatrowa, generator

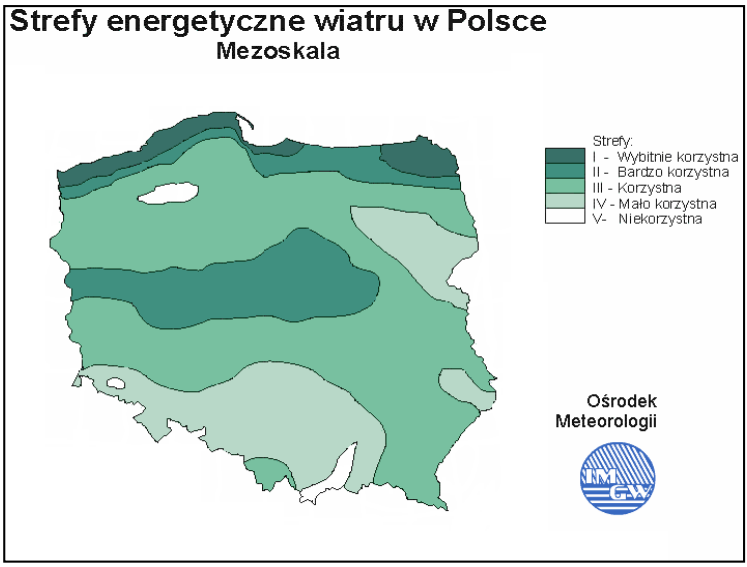
1. Wprowadzenie

Wzrost cen energii elektrycznej i unijne naciski na zwiększenie udziału „zielonej energii" w ogólnej wielkości energii wytwarzanej powodują wzrost zainteresowania wykorzystaniem siły wiatru do produkcji tej energii. Do wzrostu zainteresowania małymi elektrowniami wiatrowymi przyczynia się także, ostatnio uchwalona ustawa prosumencka. Duża grupa odbiorców indywidualnych zainteresowana jest małymi konstrukcjami przeznaczonymi do zasilania domów jednorodzinnych lub przeznaczonymi do wspomagania systemów grzewczych w takich domach. W celu obniżenia kosztów i podwyższenia sprawności przetwarzania energii wiatru w energię elektryczną buduje się bezprzekładniowe konstrukcje [1-3, 5-7, 13], w których turbina wiatrowa mocowana jest bezpośrednio na wale generatora. W elektrowniach takich wykorzystywane są turbiny wiatrowe o pionowej VAWT lub poziomej HAWT osi obrotu. Oba typy turbin mają swych zwolenników i przeciwników ostatnio jednak w pobliżu budynków mieszkalnych lub bezpośrednio na nich częściej budowane są małe turbiny wiatrowe o pionowej osi obrotu, gdyż są one ciche i nie wymagają kierunkowania na wiatr. Turbiny te mają niewielkie prędkości obrotowe i mały moment rozruchowy i dlatego współpracujące z nimi prądnice muszą mieć dużą liczbę biegunów i wyjątkowo mały moment zaczepowy [8, 9] zapewniający start turbiny przy małej prędkości wiatru. Elektrownie wiatrowe o poziomej osi obrotu są bardziej rozpowszechnione. Stosowane w nich turbiny wiatrowe osiągają wyższe prędkości obrotowe, co bezpośrednio rzutuje na niższą w porównaniu z VAWT cenę elektrowni, ale wymagają one kierunkowania na wiatr i są głośniejsze.

Moc uzyskiwana z elektrowni wiatrowej zależy od trzeciej potęgi prędkości wiatru i dlatego do zapewnienia produkcji dużej ilości energii elektrycznej niezbędna jest odpowiednia lokalizacja elektrowni. Przy budowie dużych elektrowni wiatrowych przeprowadza się roczne pomiary prędkości wiatru w punkcie planowanej inwestycji. Przy lokalizacji małych elektrowni decydujące znaczenie ma szorstkość terenu i warunki zabudowy. Na ilość produkowanej w takich elektrowniach energii mają także wpływ układy sterowania [11, 14] i układy przetwarzania energii [12].

2. Warunki wiatrowe w Polsce

Polskie warunki wiatrowe w porównaniu z innymi krajami europejskimi nie są imponujące. Najlepiej określa je mapa wiatrowa Polski zbudowana na podstawie wieloletnich pomiarów (rys. 1).



Rys. 1. Aktual**n**a mapa wiatrowa Polski

Najlepsze warunki wiatrowe są w pasie linii brzegowej Bałtyku i w północno-wschodniej części województwa podlaskiego. Dobre warunki wiatrowe panują w pasie od Berlina do Warszawy. Lokalizacja dużych elektrowni wiatrowych poza tym obszarem jest mało opłacalna. Przy lokalizacji małych elektrowni wiatrowych inwestorzy nie kierują się powyższą mapą, a rozpatrują tzw. szorstkość terenu oraz lokalizację dużych obiektów w pobliżu elektrowni. Do rozpatrywanych obiektów przysłaniających wiatr należą rozległe i wysokie budynki oraz kępy wysokich drzew. W miastach przy wysokich budynkach tworzą się często „korytarze powietrzne" poprawiające w znacznym stopniu warunki wiatrowe sugerowane przez powyższą mapę. Lokalizacja małej elektrowni wiatrowej w takim korytarzu przynosi zazwyczaj bardzo dobre rezultaty.

3. Rodzaje turbin stosowanych w małych elektrowniach wiatrowych

W małych elektrowniach wiatrowych o pionowej osi obrotu stosowane są najczęściej turbiny Darrieusa. Twórcą tej turbiny był Georges Darrieus, który opatentował konstrukcję w 1931 roku (rys. 2).

Rys. 2. Podstawowa konstrukcja turbiny Darrieusa

Zaletami tej konstrukcji są: praca przy wszystkich kierunkach wiatru, znaczna prędkość obrotowa i wysoka sprawność, zaś wadą praktycznie brak momentu rozruchowego. Dlatego obecnie coraz częściej stosowane są modyfikacje konstrukcji Darrieusa przedstawione na rysunku 3, w których moment rozruchowy jest znaczny.

Rys. 3. Turbiny typu H-Darrieus

Drugim rodzajem turbin o pionowej osi obrotu są turbiny opracowane przez fińskiego naukowca Savoniusa w 1922 roku. Podstawowe odmiany tej konstrukcji przedstawione są na rysunku 4.

Rys. 4. Turbiny typu Savoniusa

Turbiny Savoniusa charakteryzują się małymi prędkościami obrotowymi i związaną z tym cichą pracą oraz dużym momentem rozruchowym. Ich wadą jest mała moc uzyskiwana z jednostki powierzchni i wysoka cena. Stosowane są w przypadkach, gdzie decyduje wysoka trwałość i pewność działania, a cena i mała moc są drugorzędne.

Turbiny wiatrowe o poziomej osi obroty mają prostszą konstrukcję oraz niższą cenę i dlatego są bardziej rozpowszechnione. Podstawowym rodzajem jest turbina trójłopatowa pracująca najwydajniej przy wiatrach o średniej i dużej prędkości. Przy wiatrach o niskich prędkościach lepiej sprawdzają się turbiny o większej liczbie łopat, które mają większy moment rozruchowy i dzięki temu często stosowane są nie do produkcji energii elektrycznej a do pompowania wody. Na rysunku 5 pokazane są przykładowe konstrukcje turbin HAWT.

Rys. 5. Turbiny wiatrowe o poziomej osi obrotu

4. Generatory stosowane w małych elektrowniach wiatrowych

Obecnie w małych elektrowniach wiatrowych stosowane są wyłącznie generatory z magnesami trwałymi [10]. Decyduje o tym ich wysoka sprawność i małe wymiary oraz stosunkowo prosta konstrukcja. Stojan takich generatorów zbudowany jest z blach prądnicowych. W żłobkach tych blach umieszczone jest trójfazowe, miedziane uzwojenie, w którym indukuje się napięcie zaś wirnik to stalowy pierścień, na którym naklejone są magnesy. Ruch wirnika powoduje powstawanie napięcia proporcjonalnego do prędkości obrotowej. W zależności od prędkości obrotowej generatora na wirniku umieszcza się kilkanaście lub kilkadziesiąt [4] magnesów o przemiennej biegunowości. Na rysunku 6 przedstawiono typową konstrukcję stojana i wirnika, a na rysunku 7 widok kompletnego generatora.

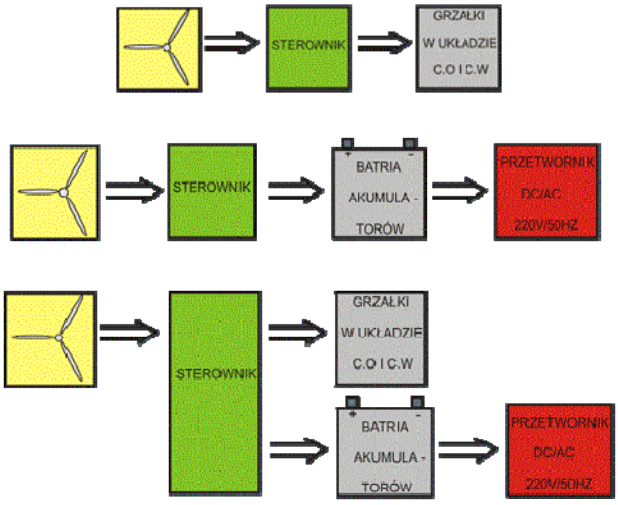
Rys. 6. Widok stojana i wirnika generatora z magnesami trwałymi

Rys. 7. Widok generatora o mocy 1,5 kW i prędkości obrotowej 120 obr/min

W amatorskich konstrukcjach elektrowni wiatrowych można spotkać generatory bezrdzeniowe charakteryzujące się brakiem momentu zaczepowego i znacznymi wymiarami w porównaniu z generatorami ze stojanami wykonanymi z ferromagnetycznych blach. Generatory takie mają uzwojenia zalane żywicą epoksydową lub poliestrową znacznie utrudniającą chłodzenie i z tego względu narażone są w wysokim stopniu na usterki termiczne. Plusem takich konstrukcji jest prostota i możliwość wykonania w amatorskich warunkach.

5. Układy przetwarzania energii w małych elektrowni wiatrowych

Energia wiatru przetwarzana w turbinie wiatrowej w energię mechaniczną może być przetwarzana i zużytkowana na kilka sposobów. Poniżej na rysunku 8 podano podstawowe z nich.



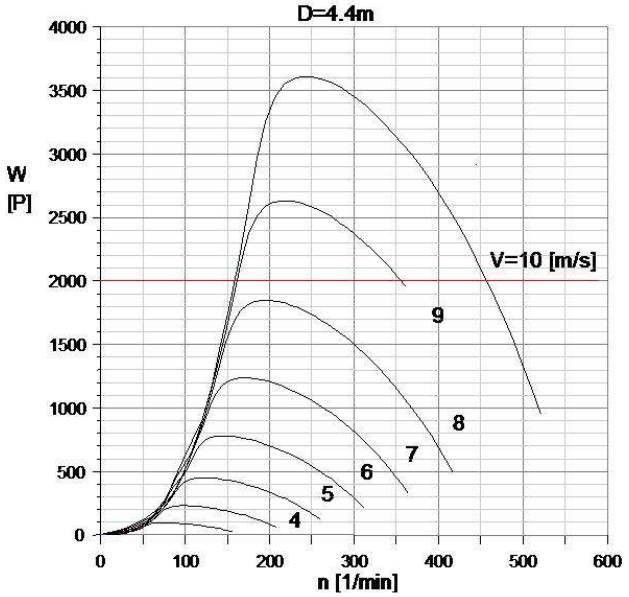
Rys. 8. Układy przetwarzania energii stosowane w małych elektrowniach wiatrowych

Najprostszym i najtańszym sposobem wykorzystania energii elektrycznej pochodzącej z małej elektrowni wiatrowej jest wykorzystanie jej do podgrzewania wody w układzie centralnego ogrzewania lub podgrzewanie wody wykorzystywanej do celów gospodarczych.

Drugim sposobem jest zamiana energii z elektrowni w energię oddawaną do krajowej sieci energetycznej lub praca na wybraną sieć. Po to, aby zrealizować taką przemianę, niezbędne jest zastosowanie baterii akumulatorów i przetwornic zamieniających stałe napięcie akumulatorów na napięcie przemienne o odpowiednich parametrach. W trzecim układzie część energii jest oddawana do sieci energetycznej, a część wykorzystywana do podgrzewania wody. Szczególnym zainteresowaniem cieszą się teraz układy ze zwrotem energii do sieci o czym zadecydowała ostatnio uchwalona ustawa o odnawialnych źródłach energii zwiększająca znacznie ceny energii uzyskiwanych ze źródeł odnawialnych. We wszystkich powyższych układach przetwarzania energii występuje sterownik, którego zadaniem jest maksymalne wykorzystanie energii uzyskiwanej z turbiny wiatrowej.

6. Układy sterowania stosowane w małych elektrowniach wiatrowych

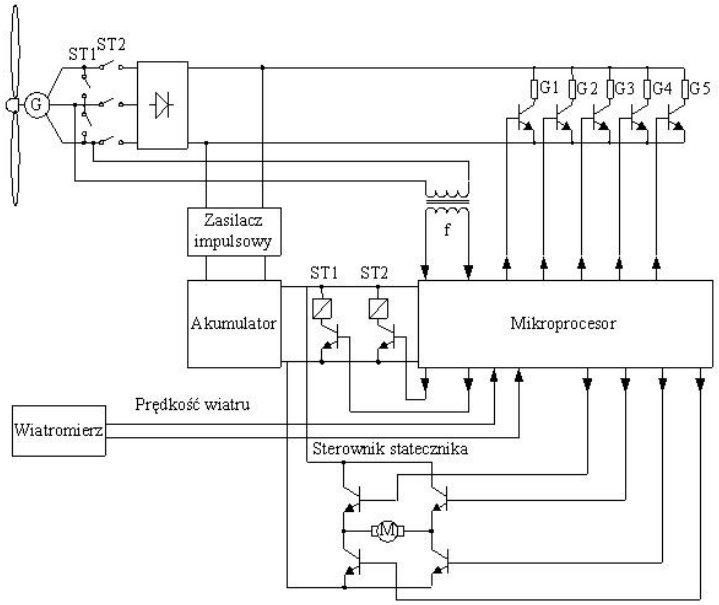
Jak wspomniano wcześniej energia uzyskiwana z turbiny wiatrowej jest zależna od trzeciej potęgi prędkości wiatru. Dobrą ilustracją mocy uzyskiwanej z małej turbiny jest rysunek 9.



Rys. 9. Moc uzyskiwana z trójłopatowej turbiny wiatrowej o średnicy 4,4 m

Na małych wysokościach, na których montowane są małe elektrownie wiatrowe, wiatr ma dużą zmienność i duże zawirowania. W tych warunkach, aby pracować w punkcie mocy maksymalnej, konieczne jest ciągłe dopasowywanie obciążenia do mocy aktualnie wytwarzanej przez turbinę wiatrową. Temu zadaniu służą układy sterowania zmieniające wartość obciążenia. Schemat blokowy jednego z możliwych układów pokazano na rysunku 10.

Układ działa następująco: mikroprocesor kontroluje prędkość obrotową generatora oraz prędkość wiatru. Przy prędkości obrotowej 120 obr/min zostaje włączony stycznik ST2, który przyłącza do generatora obciążenie w postaci grzałek (G1 – G4). W zależności od prędkości obrotowej generatora i prędkości wiatru włączane są różne kombinacje grzałek. Grzałki mają moc stopniowaną w systemie dwójkowym i dzięki temu przy czterech grzałkach można uzyskać 16 stopni obciążenia generatora. W rozpatrywanym przykładzie grzałki mają moc odpowiednio 250 W, 500 W, 1000 W i 2000 W. Włączenie wszystkich grzałek obciąża generator mocą 3750 W. Grzałka G5 o mocy 3000 W służy do znacznego zmniejszenia prędkości obrotowej generatora i późniejszego jego zwarcia stycznikiem ST1. Zwarcie to stanowi jeden z dwóch stopni zabezpieczenia małej elektrowni wiatrowej przed skutkami zbyt silnych wiatrów. Przy prędkości wiatru 20 m/s następuje wychylenie statecznika ustawiającego turbinę na wiatr i turbina ustawia się równolegle do kierunku wiatru. Dodatkowo zwiera się generator przez styki stycznika ST1. Gdy prędkość wiatru zmaleje, następuje wyprostowanie statecznika i rozwarcie generatora. W układzie sterowania grzałkami zastosowano łączniki półprzewodnikowe z uwagi na dużą zmienność prędkości wiatru i związaną z nią dużą liczbę przełączeń w układzie obciążenia.



Rys. 10. Układ sterowania małej elektrowni wiatrowej

Zaletą układu jest jego uniwersalność – po zmianie oprogramowania i zmianie mocy grzałek może on być stosowany w elektrowniach o różnych mocach. Układ zapewnia 16 stopni obciążenia i dzięki temu możliwe jest dopasowanie obciążenia do mocy wytwarzanej w turbinie wiatrowej. Dwa stopnie zabezpieczenia przed silnymi wiatrami chronią elektrownię przed uszkodzeniem. Układ zapewnia długotrwałą i bezobsługową pracę elektrowni wiatrowej.

7. Wnioski

Małe elektrownie wiatrowe stanowią niezbędny element wielu hybrydowych układów zasilania. W polskich warunkach klimatycznych najwięcej energii można z nich uzyskać w okresie jesienno-zimowym – wtedy, gdy zapotrzebowanie na energię cieplną i elektryczną wzrasta, a energia uzyskiwana z promieniowania słonecznego jest najmniejsza w roku. Uchwalona ostatnio ustawa o odnawialnych źródłach energii sprzyja rozwojowi małych elektrowni wiatrowych i stwarza warunki do sprzedaży energii elektrycznej po cenach gwarantujących zwrot nakładów inwestycyjnych w okresie kilku lat. Wybór rodzaju i mocy turbiny wiatrowej powinien być poprzedzony analizą warunków wiatrowych w miejscu lokalizacji elektrowni.

Literatura

1. Czuczman J., Czerepanjak M., Sczur I., Golubowski P., 2005. Generatory synchroniczne do autonomicznych, bezprzekładniowych elektrowni wiatrowych. XII Konferencja „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych", Ustroń 18-20 maja.
2. Goryca Z., 2014. Elektrownia wiatrowa o pionowej osi obrotu i mocy 3 kW, Wiadomości Elektrotechniczne 11, 37-39.
3. Goryca Z., Ziółek M., 2014. Elektrownia wiatrowa VAWT o mocy 1 kW z systemem zdalnego sterowania. Wiadomości Elektrotechniczne 1.

4. Goryca Z., Kwolek W., 2014. Wolnoobrotowy generator do małej elektrowni wodnej, „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych", Rytro 28-30 maja, Zeszyty Problemowe, Maszyny Elektryczne 101, 39-42.
5. Goryca Z., Młodzikowski P., 2009. Analiza konstrukcji bezprzekładniowych prądnic do małych elektrowni wiatrowych, Konferencja Podstawowe Problemy Energoelektroniki, Elektromechaniki i Mechatroniki" PPEEm, Wisła 14-17 grudzień.
6. Polak A., Beżański A., 2005. Małe elektrownie wiatrowe – przykłady praktycznego zastosowania, XII Konferencja „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych", Ustroń 18-20 maja.
7. Rossa R., Białas A., 2011. Prądnica synchroniczna z magnesami trwałymi do przydomowych elektrowni wiatrowych. XX Konferencja „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych", Rytro 25-27 maja.
8. Goryca Z., Malinowski M., Pakosz A. Wielobiegunowa maszyna z magnesami trwałymi o zredukowanym momencie zaczepowym, Patent nr 218930.
9. Goryca Z., Malinowski M., Pakosz A. Wielobiegunowa prądnica do elektrowni wiatrowej o pionowej osi obrotu i małym momencie zaczepowym, Zgłoszenie patentowe nr P.397885 z dnia 24.01.2012.
10. Goryca Z., 2014. Wolnoobrotowa prądnica o mocy 3 kW do elektrowni wiatrowej lub wodnej. „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych", Rytro 28-30 maja, Zeszyty Problemowe, Maszyny Elektryczne 101, 31-34.
11. Pakosz A., Goryca Z., 2013. Regulator poziomu obciążenia małej elektrowni wiatrowej, „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych", Rytro 22-24 maja, Zeszyty Problemowe, Maszyny Elektryczne 99, 129-133.
12. Rolak M., Kot R., Malinowski M., Goryca Z., Szuster J.T., 2011. AC/DC converter with Maximum Power Point Tracking algorithm for complex solution of Small Wind Turbine. Przegląd Elektrotechniczny 6.
13. Rolak M., Kot R., Malinowski M., Goryca Z., Szuster J.T., 2011. Design of Small Wind Turbine with Maximum Power Tracking Algoritm, 20th IEEE International Symposium on Industrial Electronics IEEE-ISIE 2011, Gdańsk 27-30 czerwca.
14. Goryca Z., 2009. Układ sterowania obciążeniem do małej elektrowni wiatrowej, XVII Konferencja „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych", Rytro 27-29 maja.

Small wind power plants

Zbigniew Goryca

Faculty of Environmental Engineering, Geothermic and Energy Engineering,
Kielce University of Technology,
e–mail: zgoryca@tu.kielce.pl

Abstract: The paper presents issues related to small power plants. The main construction of wind turbines, generators driving turbines and power converters have been shown. The influence of localization of power plants and controlling systems on the amount of energy generated in these power plants have been given. Examples of small wind power plants developed by the authors have also been presented.

Keywords: Small wind power plant, wind turbine, generator

Przykłady rozwiązań konstrukcji budynków w aspekcie OZE. Przegroda zewnętrzna z barierą termiczną

Dorota Leciej-Pirczewska

Wydział Budownictwa i Architektury, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, e-mail: dlp@zut.edu.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono analizę możliwości wykorzystania niskotemperaturowego czynnika płynącego w przewodach umieszczonych w ścianie zewnętrznej do ograniczenia strat ciepła budynku. Przewody takie tworzą aktywną barierę termiczną dla ciepła przenikającego z ogrzewanego pomieszczenia. Straty ciepła zależą od konstrukcji, położenia i temperatury bariery. W związku z tym przeanalizowano wpływ tych parametrów na opłacalność wykorzystania przegród z barierą termiczną w budownictwie.

Słowa kluczowe: ogrzewanie, straty ciepła, bariera termiczna

1. Wprowadzenie

Wraz z uświadomieniem sobie ograniczoności zasobów i wyczerpywania się kopalnych źródeł energii, ludzie coraz dokładniej zaczęli analizować jej zużycie. Stosunkowo duża ilość energii przeznaczana jest na ogrzewanie budynków, stąd nieprzypadkowo wzrasta zainteresowanie nowoczesnymi rozwiązaniami umożliwiającymi redukcję tego zużycia. Istotne staje się podnoszenie sprawności systemów i urządzeń stosowanych w ogrzewnictwie. Zastosowanie czynnika grzejnego o niskiej temperaturze poprawia efektywność pozyskiwania energii ze spalania paliw i z niekonwencjonalnych źródeł energii.

Jednocześnie rozwój systemów ogrzewania budynków dąży do zapewnienia jak najlepszych warunków komfortu cieplnego. Takie korzyści może przynieść stosowanie niskotemperaturowego ogrzewania przez promieniowanie. Obliczeniowa temperatura czynnika grzejnego w tych ogrzewaniach jest niższa niż w układach tradycyjnych, co wpływa korzystnie na komfort cieplny i jakość powietrza wewnętrznego oraz powoduje redukcję zużycia ciepła. W porównaniu z tradycyjnym ogrzewaniem konwekcyjnym charakteryzuje się znacznie większym udziałem wymiany ciepła przez promieniowanie. W związku z tym temperatura powietrza w ogrzewanym pomieszczeniu może być obniżona o 1÷2°C, przy zapewnieniu porównywalnego komfortu cieplnego. Niższa temperatura wpływa na redukcję strat ciepła i mniejsze zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania.

Można wyróżnić trzy przypadki temperatury czynnika płynącego w przewodach umieszczonych w przegrodzie pomieszczenia:

- przypadek 1 – temperatura czynnika jest wyższa od temperatury w pomieszczeniu, w tym przypadku czynnik ogrzewa pomieszczenie,
- przypadek 2 – temperatura czynnika zawarta jest pomiędzy temperaturą w pomieszczeniu a temperaturą w miejscu umieszczenia przewodów w przegrodzie bez przewodów, przy takim rozwiązaniu ograniczane są straty ciepła przez przenikanie pomieszczenia,
- przypadek 3 – temperatura czynnika jest niższa od temperatury w miejscu umieszczenia przewodów w przegrodzie bez przewodów – następuje chłodzenie pomieszczenia.

Kiedy analizowaną przegrodą pomieszczenia jest ściana, to dla pierwszego przypadku mamy do czynienia z ogrzewaniem ściennym. Źródłem ciepła dla tego typu ogrzewań mogą być tzw. alternatywne źródła energii, czyli między innymi energia zgromadzona w gruncie, wodzie i powietrzu transportowana na wyższy poziom energetyczny za pomocą pomp ciepła, czy też kolektory słoneczne. Źródła te przy niższych temperaturach podgrzewanego czynnika charakteryzują się wyższą sprawnością, można wykorzystać również do ogrzewania energię odpadową. Dzięki tym rozwiązaniom można zaoszczędzić energię pierwotną zgromadzoną w paliwach kopalnych.

Dla drugiego przypadku, w ścianie występuje aktywna bariera termiczna dla przenikającego na zewnątrz ciepła. Taki sposób wykorzystania czynnika o stosunkowo niskiej temperaturze stosowany jest ostatnio do ograniczania strat ciepła przez przenikanie w różnych systemach, m.in. w systemie ISOMAX [4, 5], ISOACTIVE-3D [6], BT&SONS Kft [7].

W trzecim przypadku czynnik przepływający przez ścianę chłodzi pomieszczenie. Efekt ten może być wykorzystany w okresie letnim, przy czym przy ustalaniu parametrów wody chłodzącej należy przeanalizować również wpływ jej temperatury na ewentualne wykraplanie się pary wodnej w przegrodzie.

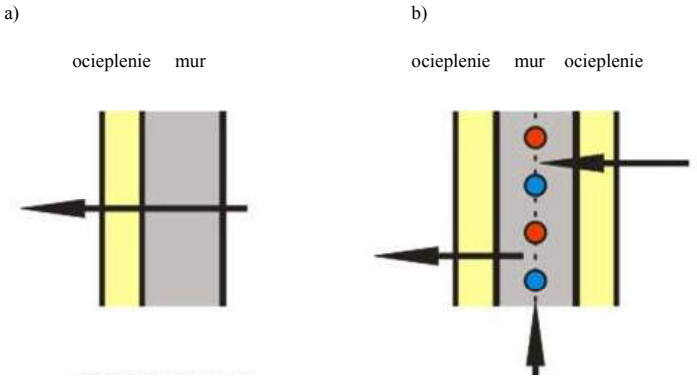
W niniejszym referacie przeanalizowano zagadnienia strat ciepła przez przenikanie dla przypadku, kiedy przewody umieszczone w ścianie stanowią aktywną barierę termiczną.

2. Aktywna bariera termiczna

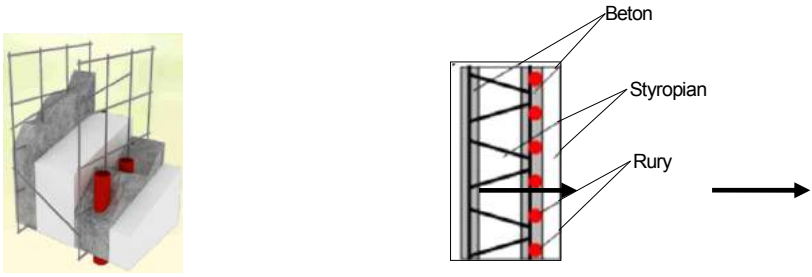
Rozwiązanie z aktywną barierą termiczną jest stosunkowo nowe, ale coraz częściej wykorzystywane w budownictwie energooszczędnym. Między innymi technologia obiektów niskoenergetycznych w systemie ISOMAX [4, 5] opiera się na zastosowaniu takich przegród. W systemie tym ściana zewnętrzna zbudowana jest z 12,5 cm płyty styropianowej, połączonej poprzez opatentowane żebra betonowe z drugą 12,5 cm płytą styropianową. Pomiędzy nimi umieszczone są meandralnie rury PP. Przestrzeń pomiędzy tymi płytami styropianowymi wypełniona jest BIO-POR-betonem. Konstrukcja takiej przegrody opiera się na rdzeniu, w którym utrzymywana jest stała temperatura, który po obu stronach jest dobrze zaizolowany cieplnie. Bariera termiczna jest osiągana dzięki zapewnieniu stałego przepływu niskoparametrowego medium przez odpowiednio rozmieszczone w rdzeniu przewody. Zastosowanie przegrody z barierą termiczną zapobiega wykraplaniu się pary wodnej oraz znacznie redukuje straty przenikania ciepła z budynku poprzez stworzenie blokady przepływu ciepła z obszarów o wyższym do obszarów o niższym poziomie energetycznym. Na rysunku 1 przedstawiono schemat takiej przegrody.

Na Węgrzech stosowane są przegrody z barierą termiczną o nieco innej konstrukcji. W technologii ISOACTIVE-3D [6] ściana zewnętrzna zbudowana jest z płyt styropianowych o grubości 5 cm (zewnętrzna) i 15 cm połączonych za pomocą specjalnej metalowej siatki zatopionej w betonie lekkim. W zewnętrznej warstwie betonu umieszczone są rury PP. Podobnie jak w systemie ISOMAX bariera termiczna jest osiągana dzięki stałemu przepływowi niskoparametrowego czynnika przez przewody. Schemat takiej przegrody przedstawiono na rysunku 2.

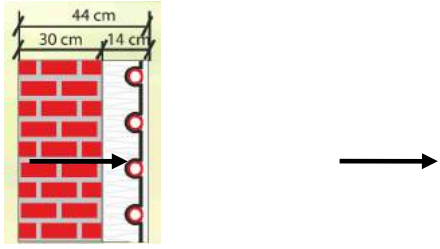
Przegroda z barierą termiczną BT&SONS Kft zbudowana jest z 30 cm Porothermu, zaizolowanego styropianem grubości 14 cm, w którym po stronie zewnętrznej umieszczone są również rury PP, których płynie niskoparametrowy czynnik. Schemat takiej przegrody przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 1. Schemat ocieplonej przegrody zewnętrznej: a) tradycyjnej, b) z barierą termiczną systemu Isomax [4]



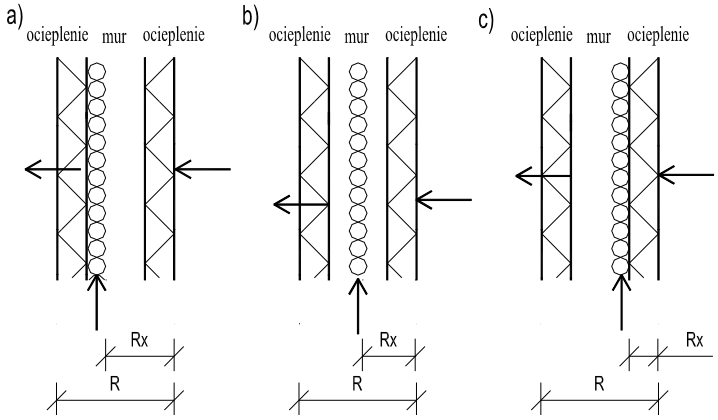
Rys. 2. Widok i schemat przegrody zewnętrznej z barierą termiczną w technologii ISOACTIVE-3D [6]



Rys. 3. Schemat przegrody zewnętrznej z barierą termiczną BT&SONS Kft [7]

3. Temperatura bariery termicznej

Przegrody z barierą termiczną ograniczają straty ciepła przenikającego z ogrzewanych pomieszczeń budynku. Istotne jest miejsce, w którym znajdują się przewody z czynnikiem grzejnym. Przykładowo w ścianach systemu ISOMAX przewody z rur PP, w których płynie czynnik grzewczy powinny znajdować się dokładnie w osi przegrody. W rzeczywistości mogłyby one znajdować się w dowolnym miejscu betonowego rdzenia (rys. 4). W przegrodach stosowanych na Węgrzech przewody z płynącym czynnikiem grzejnym zlokalizowane są po zewnętrznej stronie przegrody.



Rys. 4. Schemat ocieplonej przegrody zewnętrznej z barierą termiczną: a) przewody z rur PP znajdują się po zewnętrznej stronie rdzenia, b) przewody z rur PP znajdują się w osi rdzenia (przegroda systemu Isomax), c) przewody z rur PP znajdują się po wewnętrznej stronie rdzenia

Temperatura medium płynącego w barierze termicznej może być dowolna. Jej wartość przy różnych temperaturach zewnętrznych determinuje efektywność stosowania przegrody z barierą termiczną. W związku z tym w dalszej części pracy przedstawiono, jak konstrukcja przegrody, położenie przewodów i temperatura bariery wpływają na straty ciepła przenikającego z ogrzewanego pomieszczenia.

Przeanalizowano różne warunki, w jakich taka przegroda funkcjonuje. Przyjęto, że temperatura wewnętrzna w ogrzewanym pomieszczeniu jest stała i wynosi Ti = + 20ºC, a analizę temperatury w przegrodzie przeprowadzono dla każdej z pięciu stref klimatycznych, dla projektowych (obliczeniowych) temperatur zewnętrznych (Te = -16ºC, -18ºC, -20ºC, -22ºC oraz -24ºC), dla średnich temperatur zewnętrznych w sezonie grzewczym (Te = +2,6ºC dla I strefy, +2,1ºC dla II i II strefy oraz +1,3ºC dla IV i V strefy klimatycznej [2]) oraz dla umownej temperatury końca sezonu grzewczego Te = +12ºC.

Określono rozkład temperatury w przekroju poprzecznym przegrody. Dla przegrody o konstrukcji przedstawionej na rysunku 4 uzależniono je od stosunku oporu cieplnego R_x (opór przegrody od strony wewnętrznej do analizowanego miejsca w przegrodzie) do całkowitego oporu przegrody R. Pozwala to na podstawie znajomości oporów cieplnych na proste określenie temperatury dla dowolnej przegrody.

W tabeli 1 zestawiono wartości temperatury medium płynącego w przewodach zlokalizowanych w warstwie konstrukcyjnej przegrody dla rozpatrywanych temperatur i różnych położeń przewodów. Jeżeli temperatura medium płynącego w przegrodzie byłaby niższa niż przedstawiona w tabeli to aktywna bariera termiczna będzie dodatkowo chłodzić przegrodę zamiast ograniczać straty ciepła z ogrzewanego pomieszczenia.

Przy usytuowaniu aktywnej bariery termicznej w osi przegrody ($R_x/R = 0,5$), aby spełniała ona swoją rolę to średnia jej temperatura w ciągu sezonu grzewczego powinna być wyższa dla I strefy od 11,3ºC dla II i III od 11,05ºC a w IV i V strefie klimatycznej od 10,65ºC. Przy końcu sezonu temperatura ta powinna być znacznie wyższa – minimum powinna ona wynosić 16ºC. Przy zmianie położenia bariery jej temperatura powinna także ulegać zmianie. Im mniejszy będzie względny opór cieplny pomiędzy barierą a ogrzewanym pomieszczeniem, tym wyższa powinna być jej temperatura i odwrotnie – im bardzie na zewnątrz umieszczona jest wężownica stanowiąca barierę termiczną, tym temperatura płynącego w niej czynnika może być niższa. I tak dla przegród stosowanych na Węgrzech

średnia temperatura bariery powinna być odpowiednio wyższa dla I strefy od 6,65 ºC i 6,93 ºC dla II i III od 6,26 ºC i 6,56 ºC, a w IV i V strefie klimatycznej od 5,65 ºC i 5,96 ºC. Pod koniec sezonu grzewczego minimalna temperatura bariery to 13,86 ºC oraz 14 ºC.

Tabela 1. Minimalne temperatury bariery termicznej dla różnych jej położeń i dla różnych temperatur zewnętrznych

R_x/R	Zewnętrzna temperatura obliczeniowa					Średnia temperatura sezonu grzewczego			Temp. końca sezonu
	-16ºC I strefa	-18ºC II strefa	-20ºC III strefa	-22ºC IV strefa	-24ºC V strefa	2,6ºC I strefa	2,1ºC II i III strefa	1,3ºC IV i V strefa	12ºC
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20
0,1	16,40	16,20	16,00	15,80	15,60	18,26	18,21	18,13	19,20
0,2	12,80	12,40	12,00	11,60	11,20	16,52	16,42	16,26	18,40
0,3	9,20	8,60	8,00	7,40	6,80	14,78	14,63	14,39	17,60
0,4	5,60	4,80	4,00	3,20	2,40	13,04	12,84	12,52	16,80
0,5	2,00	1,00	0,00	-1,00	-2,00	11,30	11,05	10,65	16,00
0,6	-1,60	-2,80	-4,00	-5,20	-6,40	9,56	9,26	8,78	15,20
0,7	-5,20	-6,60	-8,00	-9,40	-10,80	7,82	7,47	6,91	14,40
0,8	-8,80	-10,40	-12,00	-13,60	-15,20	6,08	5,68	5,04	13,60
0,9	-12,40	-14,20	-16,00	-17,80	-19,60	4,34	3,89	3,17	12,80
1,0	-16,00	-18,00	-20,00	-22,00	-24,00	2,60	2,10	1,30	12,00
Przegroda o konstrukcji typu ISOMAX (rys.1)									
	2,00	1,00	0,00	-1,00	-2,00	11,30	11,05	10,65	16,00
Przegroda o konstrukcji typu ISOACTIVE-3D (rys.2)									
	-7,03	-8,54	-10,04	-11,54	-13,04	6,93	6,56	5,96	14,00
Przegroda o konstrukcji typu BT&SONS Kft (rys.3)									
	-7,63	-9,16	-10,70	-12,23	-13,77	6,65	6,26	5,65	13,86

Zgodnie z założeniami systemu Izomax barierę termiczną tworzy stale przepływające w rdzeniu medium o temperaturze od około +7ºC (okres zimowy) do +15ºC (okres przejściowy) [5]. Przewody umieszczone są w osi przegrody. W takich warunkach stała temperatura w rdzeniu przegrody wynosi od około +8ºC zimą do +16ºC w okresie przejściowym [5].

4. Wpływ temperatury i położenia bariery termicznej na straty ciepła pomieszczenia

Zastosowanie przewodów z ciepłym medium w warstwie konstrukcyjnej przegrody zewnętrznej może powodować zarówno ograniczenie, jak i podwyższenie strat ciepła z ogrzewanych pomieszczeń. Przeanalizowano to dla przegrody pokazanej na rysunku 5.

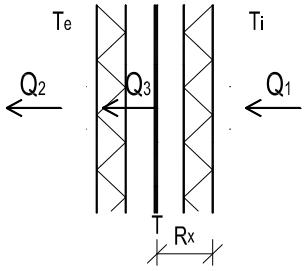
Za straty ciepła ogrzewanego pomieszczenia przyjmuje się strumień ciepła $\dot{Q}_1$ od pomieszczenia do bariery termicznej. Zaś za straty ciepła przegrody przyjmuje się strumień ciepła $\dot{Q}_2$ oddawany przez ścianę zewnętrzną. Strumień ciepła oddawany lub pobierany przez barierę określono jako $\dot{Q}_3$. Całkowite straty ciepła budynku przez przegrodę $\dot{Q}_4$ są określane jako suma strumieni ciepła oddawanego przez czynnik płynący w barierze termicznej i pomieszczenie $(\dot{Q}_1 + \dot{Q}_3)$ (ciepło przekazywane do bariery jest uwzględniane w całkowitych stratach ciepła). W dalszej analizie posłużono się wartościami względnymi

odniesionymi do strat ciepła przegrody bez bariery termicznej w funkcji względnego oporu cieplnego przegrody dla różnej względnej różnicy temperatury φ:

$$\varphi = \frac{T_i - T}{T_i - T_e} \tag{1}$$

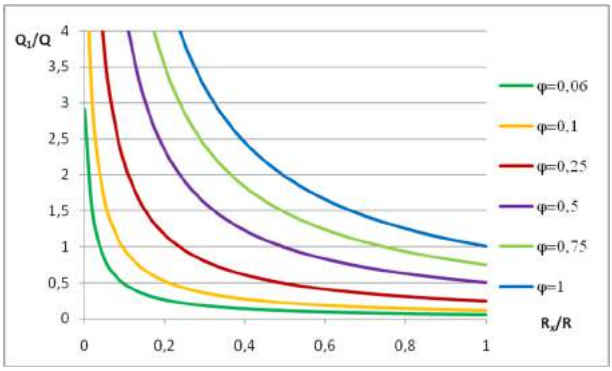
gdzie:

T_i – temperatura wewnętrzna, °C,
T_e – temperatura zewnętrzna, °C,
T – temperatura medium płynącego w przewodach, °C.



Rys. 5. Schemat przegrody zewnętrznej z barierą termiczną z zaznaczonymi strumieniami ciepła

Na rysunku 6 przedstawiono względne straty ciepła z ogrzewanego pomieszczenia przez przegrodę z barierą termiczną, na rysunku 7 względne całkowite straty ciepła pomieszczenia i bariery, zaś na rysunku 8 względne straty ciepła bariery termicznej.

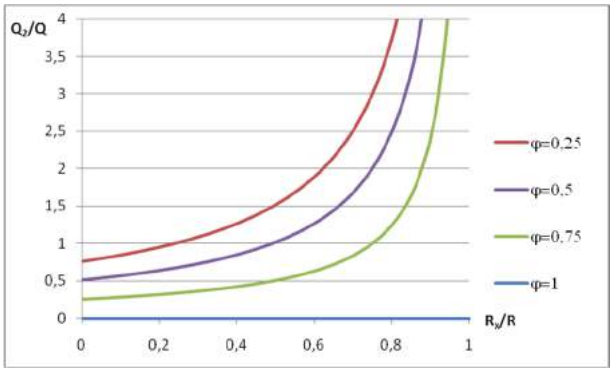


Rys. 6. Względne straty ciepła ogrzewanego pomieszczenia w funkcji względnego oporu cieplnego przegrody dla różnej względnej różnicy temperatury φ

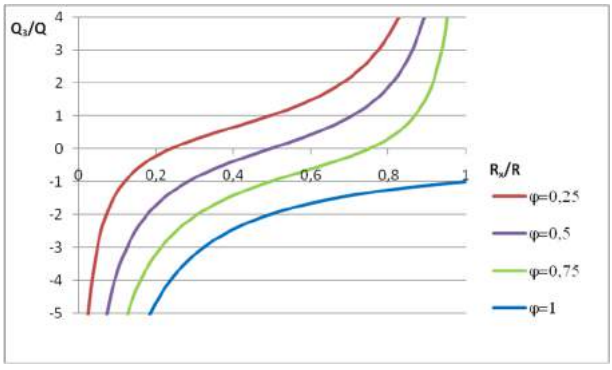
Na przedstawionych na rysunku 6 wykresach widoczny jest wzrost strat ciepła z ogrzewanego pomieszczenia wraz ze wzrostem współczynnika φ (obniżaniem się temperatury czynnika). Można też zauważyć, że wraz z przybliżaniem się bariery termicznej do wewnętrznej powierzchni przegrody ($R_x/R \rightarrow 0$) następuje również wzrost strat ciepła ogrzewanego pomieszczenia.

Względne straty przegrody na zewnątrz wynikają z temperatury bariery i miejsca jej usytuowania. Im czynnik ma niższą temperaturę, tym one są niższe. Jeżeli temperatura bariery równa się temperaturze zewnętrznej (φ = 1) to straty ciepła wynoszą zero. Przy

wyższych temperaturach czynnika w miarę przesuwania bariery na zewnątrz straty ciepła przegrody rosną.



Rys. 7. Względne straty ciepła przegrody w funkcji względnego oporu cieplnego przegrody dla różnej względnej różnicy temperatury φ

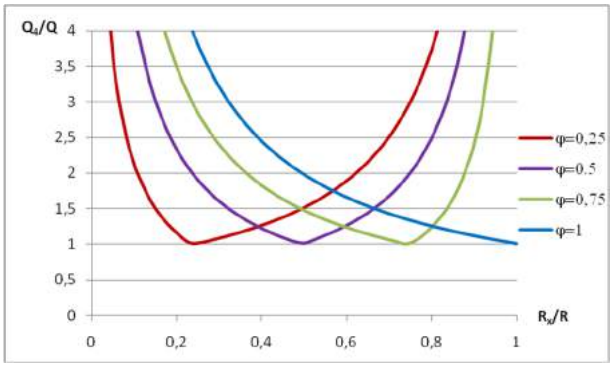


Rys. 8. Względne straty ciepła bariery termicznej w funkcji względnego oporu cieplnego przegrody (R_x/R) dla różnej względnej różnicy temperatury φ

Jeżeli, przy określonej różnicy temperatur, temperatura bariery jest niższa niż w przegrodzie bez bariery to następuje ogrzewanie czynnika płynącego w barierze. Czyli część ciepła grzejnego, traconego przez pomieszczenie, zawracana jest z powrotem do budynku. Można to zauważyć na rysunku 8 (ujemne wartości strat ciepła).

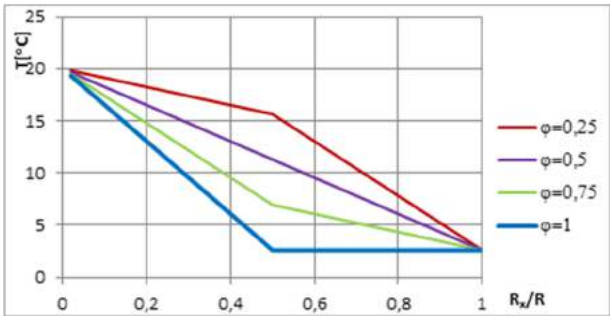
Na rysunku 9 pokazano względne sumaryczne straty ciepła grzejnego i bariery termicznej. Zysków ciepła bariery od pomieszczenia na tym wykresie nie uwzględniono ze względu na to, że energia płynąca przez barierę jest najczęściej energią o znacznie niższym potencjale niż energia grzejna.

Należy podkreślić, że zastosowanie bariery termicznej zawsze powoduje zwiększenie sumarycznego strumienia ciepła oddawanego do otoczenia z pomieszczenia i bariery termicznej niż budynku bez bariery. Straty ciepła bariery rosną wraz z przemieszczaniem się przewodów z czynnikiem na zewnątrz przegrody oraz spadkiem współczynnika φ.



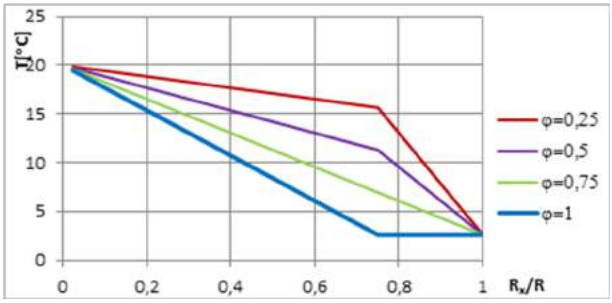
Rys 9. Względne sumaryczne straty ciepła grzejnego i bariery termicznej (bez uwzględniania zysków ciepła bariery od pomieszczenia) w funkcji względnego oporu cieplnego przegrody (R_x/R) dla różnej względnej różnicy temperatury φ

Całkowite straty ciepła zależą od umieszczenia bariery termicznej w przegrodzie oraz jej średniej temperatury. Jeżeli opór cieplny R_x pomiędzy płaszczyzną bariery termicznej a pomieszczeniem jest odpowiednio duży, to bariera powoduje zmniejszenie strat ciepła pomieszczenia. W przeciwnym wypadku przegroda pracuje jak bez bariery lub następuje chłodzenie pomieszczenia przez barierę i powiększenie strat ciepła pomieszczenia.

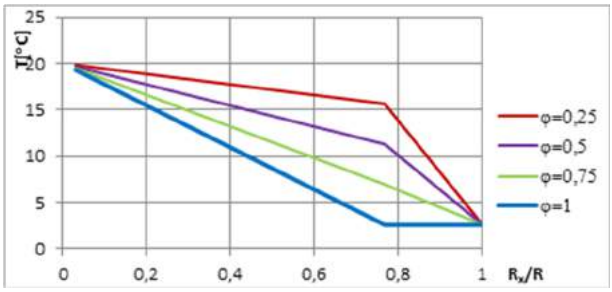


Rys. 10. Rozkład temperatury w przegrodzie z barierą termiczną systemu ISOMAX w funkcji względnego oporu cieplnego przegrody dla I strefy klimatycznej dla średniej dla sezonu grzewczego temperatury zewnętrznej (Te = 2,6 ºC) dla różnej względnej różnicy temperatury φ

Na wykresach na rysunkach 10-12 przedstawiono przykładowe rozkłady temperatur w przegrodach (odpowiednio trzech wyżej zaprezentowanych systemów) otrzymane dla średniej temperatury zewnętrznej dla sezonu grzewczego w I strefie klimatycznej (2,6ºC). Na wykresach tych przedstawiono również rozkłady temperatur w przegrodach przy zastosowaniu bariery termicznej przy różnej temperaturze płynącego w niej medium. Widać, że zbyt niska temperatura czynnika powoduje chłodzenie przegrody. Po to, aby sytuacja taka nie miała miejsca, dla przegrody systemu ISOMAX względna różnica temperatur φ musi być mniejsza od 0,5, co w przypadku umieszczenia bariery w środku przegrody oznacza, że dopiero czynnik o temperaturze powyżej 11,3ºC umożliwia ograniczenie strat ciepła ogrzewanego pomieszczenia. Dla przegród stosowanych na Węgrzech wystarczy, aby względna różnica temperatur φ była mniejsza od 0,75, czyli dla przyjętych temperatur oznacza to, że ograniczenie strat ciepła ogrzewanego pomieszczenia zachodzi przy temperaturze czynnika wyższej od 6,95ºC.



Rys. 11. Rozkład temperatury w przegrodzie z barierą termiczną systemu ISOACTIVE-3D w funkcji względnego oporu cieplnego przegrody dla I strefy klimatycznej dla średniej dla sezonu grzewczego temperatury zewnętrznej (Te = 2,6 ºC) dla różnej względnej różnicy temperatury φ



Rys. 12. Rozkład temperatury w przegrodzie z barierą termiczną BT&SONS Kft w funkcji względnego oporu cieplnego przegrody dla I strefy klimatycznej dla średniej dla sezonu grzewczego temperatury zewnętrznej (Te = 2,6ºC) dla różnej względnej różnicy temperatury φ

5. Opłacalność stosowania bariery termicznej

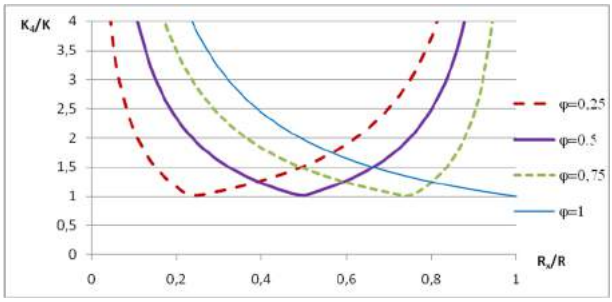
Bariera termiczna oraz ogrzewanie pomieszczenia mogą być zasilane z różnych źródeł ciepła. W zależności od stosunku jednostkowych kosztów ciepła dostarczanego do bariery termicznej (niskotemperaturowe ciepło uzyskanego np. ze źródeł odnawialnych) oraz jednostkowych kosztów ciepła do ogrzewania pomieszczenia, stosowanie bariery termicznej może być bardziej bądź mniej ekonomicznie uzasadnione.

W celu określenia opłacalności stosowania bariery termicznej przeanalizowano różne warunki pracy takiego układu. Wybrane wyniki przedstawiono na rysunkach 13-17. Wykresy przedstawiają stosunek całkowitych kosztów ogrzewania budynku z barierą termiczną do całkowitych kosztów ogrzewania budynku bez takiej bariery w funkcji względnego oporu cieplnego przegrody dla różnej względnej różnicy temperatury φ.

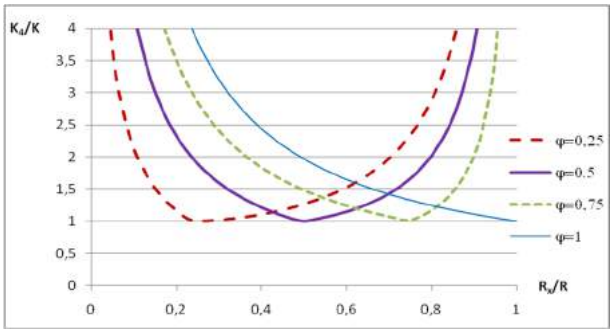
Całkowite koszty ogrzewania budynku z barierą termiczną K_4 określono jako sumę kosztów ogrzewania pomieszczenia i kosztów ciepła dla potrzeb bariery termicznej, przy czym przedstawiono pięć wariantów cenowych. Koszt jednostkowy energii zasilającej barierę wynosi 100%, 75%, 50%, 25% i 10% kosztów energii zasilającej instalację ogrzewczą.

Stosowanie bariery termicznej zaczyna być opłacalne, gdy koszt jednostki ciepła dla potrzeb bariery termicznej będzie, co najwyżej równy około połowie kosztu jednostki ciepła zużywanego na ogrzewanie. Przy tym stosunku cenowym ogrzewanie z wykorzystaniem bariery jest tańsze od ogrzewania bez niej, tylko przy względnej różnicy temperatur $\varphi \leq 0{,}25$.

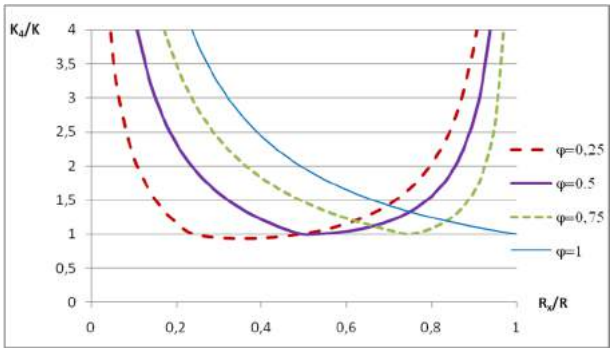
Wraz z obniżaniem jednostkowych kosztów ciepła dostarczanego do bariery stosowanie jej staje się opłacalne dla większych względnych różnic temperatur φ. Minimalizacja kosztów związana jest z pewnym przesunięciem bariery na zewnątrz przegrody.



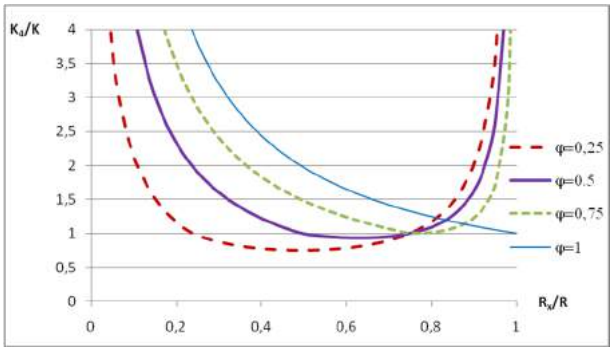
Rys. 13. Względne całkowite koszty ogrzewania budynku w funkcji względnego oporu cieplnego przegrody dla różnej względnej różnicy temperatury φ przy założeniu, że koszt jednostki ciepła dla potrzeb bariery termicznej oraz koszt jednostki ciepła zużywanego na ogrzewanie są sobie równe



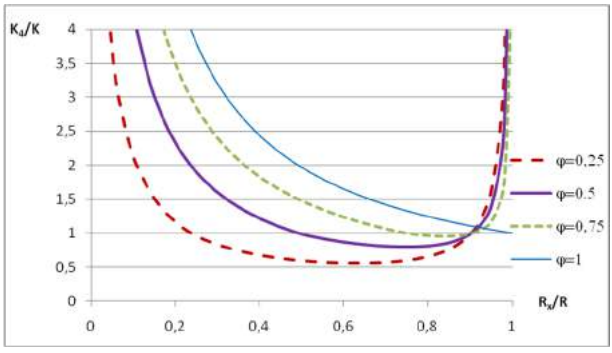
Rys. 14. Względne całkowite koszty ogrzewania budynku w funkcji względnego oporu cieplnego przegrody dla różnej względnej różnicy temperatury φ przy założeniu, że koszt jednostki ciepła dla potrzeb bariery termicznej stanowi 75% kosztu jednostki ciepła zużywanego na ogrzewanie



Rys. 15. Względne całkowite koszty ogrzewania budynku w funkcji względnego oporu cieplnego przegrody dla różnej względnej różnicy temperatury φ przy założeniu, że koszt jednostki ciepła dla potrzeb bariery termicznej stanowi 50% kosztu jednostki ciepła zużywanego na ogrzewanie



Rys. 16. Względne całkowite koszty ogrzewania budynku w funkcji względnego oporu cieplnego przegrody dla różnej względnej różnicy temperatury φ przy założeniu, że koszt jednostki ciepła dla potrzeb bariery termicznej stanowi 25% kosztu jednostki ciepła zużywanego na ogrzewanie



Rys. 17. Względne całkowite koszty ogrzewania budynku w funkcji względnego oporu cieplnego przegrody dla różnej względnej różnicy temperatury φ przy założeniu, że koszt jednostki ciepła dla potrzeb bariery termicznej stanowi 10% kosztu jednostki ciepła zużywanego na ogrzewanie

6. Podsumowanie

W artykule przedstawiono analizę możliwości wykorzystania niskotemperaturowego czynnika płynącego w przewodach umieszczonych w ścianie do ogrzewania pomieszczeń. Przewody takie tworzą aktywną barierę termiczną dla strat ciepła przenikającego z ogrzewanego pomieszczenia. Straty te zależą od położenia przewodów i temperatury bariery. W związku z tym przeanalizowano warunki, w jakich przegroda może funkcjonować i na tej podstawie określono minimalną temperaturę medium płynącego w rurkach tworzących barierę termiczną oraz miejsce położenia tych rurek w przekroju przegrody, dla którego bariera termiczna nie jest aktywna.

Po to, aby bariera termiczna ograniczała straty ciepła z ogrzewanego pomieszczenia temperatura medium płynącego w przegrodzie musi być wyższa od temperatury w przekroju, w którym ona się znajduje w przegrodzie bez bariery. Zależy ona od temperatury panującej po obu stronach przegrody (tabela 1).

Wzrost współczynnika φ (obniżanie się temperatury czynnika tworzącego barierę) powoduje wzrost strat ciepła z ogrzewanego pomieszczenia i jednocześnie spadek straty ciepła przegrody i bariery. Wraz z przybliżaniem się bariery termicznej do wnętrza przegrody rosną straty ciepła z ogrzewanego pomieszczenia i jednocześnie maleją całkowite straty ciepła pomieszczenia i straty ciepła bariery termicznej.

Wykorzystanie przegrody z barierą termiczną zaczyna być korzystnym rozwiązaniem, gdy jednostkowe koszty związane z funkcjonowaniem bariery stanowią nie więcej niż około połowę jednostkowych kosztów ogrzewania pomieszczenia. Im koszt ciepła wykorzystanego przez barierę termiczna jest niższy, tym bardziej opłacalne jest jej zastosowanie.

Literatura

1. Leciej-Pirczewska D., Szaflik W., 2006. Wpływ temperatury bariery termicznej w ścianie budynku na straty ciepła. X Forum Ciepłowników Polskich, Międzyzdroje.
2. Mizielińska K., Olszak J., 2006. Gazowe i olejowe źródła ciepła małej mocy. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
3. Ulbrich R., Radlak G., 2005. Application of environmental energy in modern solutions of passive buildings based on Isomax system. Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej, s. Inżynieria Środowiska.
4. www.isomax.com.pl
5. www.isomax.lu
6. www.isoactive-3d.hu
7. www.btandsons.hu

Examples of building constructions in the aspect of RES. Envelope component with an active thermal barrier

Dorota Leciej-Pirczewska

Faculty of Civil Engineering and Architecture, West Pomeranian University of Technology Szczecin, e-mail: dlp@zut.edu.pl

Abstract: The analysis presents the possibility of using low-temperature medium flowing in pipes placed in the wall for space heating. The pipes form an active thermal barrier for the heat losses penetrating from the heat space. The losses depend on pipe location and the barrier temperature. Therefore, the conditions, under which the bulkhead may operate, have been analyzed.

Keywords: space heating, losses of the heat, thermal barrier

Pompy ciepła jako podstawowe urządzenia ciepła i chłodu w instalacjach OZE

Jerzy Zbigniew Piotrowski

Katedra Fizyki Budowli i Energii Odnawialnej, Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki, Politechnika Świętokrzyska, e-mail: piotrowski@tu.kielce.pl

Streszczenie: Pompy ciepła są obecnie urządzeniami, które intensywnie zastępują tradycyjne urządzenia do produkcji ciepła/chłodu i stanowią podstawowe wyposażenie instalacji OZE. W pracy dokonano przeglądu technologicznego stosowanych pomp ciepła, także w ujęciu historycznym, podano przykłady zastosowań i analizę ekonomiczną z wyliczeniem czasu zwrotu nakładów. Analiza potwierdza opłacalność stosowania pomp ciepła, a średni okres zwrotu dodatkowych nakładów wynikających z zastosowania tych urządzeń, szczególnie w technice grzewczej, wynoszący do 11 lat, zachęca do powszechnego ich stosowania.

Słowa kluczowe: pompy ciepła, urządzenia ciepła i chłodu, instalacje OZE, analiza ekonomiczna

1. Wprowadzenie

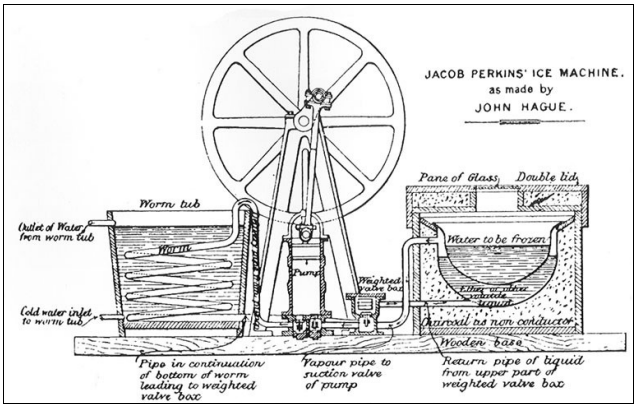
Pompy ciepła od pewnego czasu są coraz częściej stosowane jako urządzenia wytwarzające ciepło i chłód i stanowią podstawowe wyposażenie instalacji OZE. O ile w technice chłodniczej jest to podstawowe urządzenie stosowane od wielu lat, to w instalacjach grzewczych staje się bardzo popularne, głównie za sprawą korzystania z parametrów niskotemperaturowych. Obecnie można śmiało sformułować tezę, że w technice grzewczej, w najbliższej przyszłości właśnie pompy ciepła zastąpią tak popularne kotły na tzw. paliwa pierwotne lub nieodnawialne: węgiel, gaz, olej opałowy. I to nie tylko w odniesieniu do domów mieszkalnych jednorodzinnych, ale również wielorodzinnych i przede wszystkim budynków użyteczności publicznej, biurowych, sportowych itp. Postawioną tezę potwierdził m.in. R. Jacobs [1] słowami „…Ogrzewanie przez spalanie jest równie stare jak ludzkość. W najbliższych latach prawdopodobnie zacznie być traktowane jak relikt przeszłości. Paliwa pierwotne są zbyt cenne, żeby używać ich do spalania tylko po to, aby ogrzać pomieszczenie do 20°C…”. Jeżeli doda się do tego podstawową zaletę układów z pompami ciepła: wytwarzania ciepła i chłodu w sposób bezemisyjny lub niskoemisyjny, a w przyszłości w układach hybrydowych wytwarzanie energii elektrycznej, to zmasowana ekspansja pomp ciepła na wszystkich płaszczyznach, również gospodarczych w sektorze wytwórczym, jest kwestią najbliższej przyszłości, o ile już ten czas nie nastąpił.

2. Rozwój pomp ciepła

Pompa ciepła została zdefiniowana w literaturze technicznej jako maszyna cieplna lub jako urządzenie chłodnicze do przekazywania energii ciepła lub chłodu na drodze procesów termodynamicznych z ośrodków o niższej temperaturze do ośrodków o temperaturze wyższej. Konwersja energii w pompach ciepła może odbywać się na różnych poziomach egzer-

getycznych. Ich historia ma już prawie 200 lat i jest powiązania z odkryciami w dziedzinie chłodnictwa. W 1810 roku J. Leslie skonstruował pierwszy absorpcyjny agregat chłodniczy. Dwadzieścia lat później J. Perkins zbudował chłodziarkę sprężarkową (rys. 1) [2].

N.S. Carnot w 1824 roku jako pierwszy dokonał opisu relacji między ciepłem a pracą. Książka Carnota [3] została opublikowana prywatnie, ale miała ogromny wkład w uporządkowanie zasad związanych z energią mechaniczną, która może zostać przekształcona całkowicie w energię cieplną, natomiast ciepło jako źródło energii może tylko częściowo zostać przekształcone w energię mechaniczną. Jednak dopiero W. Thomson w 1852 roku opisał szczegółowo zasady działania pomp ciepła i udowodnił, że maszyny chłodnicze mogą być wykorzystywane również do ogrzewania [2]. Trzy lata później skonstruował parownię w jednej z warzelni soli w Austrii. W wyniku sprężania powietrza maszyna ogrzewała opary solanki, a uzyskane ciepło trafiało ponownie do użytku. Dalszy rozwój technologii chłodniczo – grzewczej nastąpił dzięki rozpowszechnianiu energii elektrycznej. W 1928 roku T.G. Haldane skonstruował pierwszą instalację do ogrzewania domu opartą na amoniakalnym agregacie sprężarkowym.



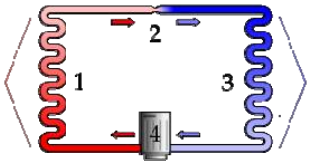
Rys. 1. Schemat sprężarkowej pompy chłodzącej J. Perkinsona [2]

Poważne braki węgla, które spowodowane były wybuchem II wojny światowej pozwoliły na kolejne intensywne prace nad technologią pomp ciepła. Największe inwestycje z tamtego okresu zasilały między innymi budynki biurowe i urzędy w Zurychu i innych miastach Szwajcarii. Spadek cen ropy i rozwój energetyki jądrowej po wojnie przyczynił się jednak do spadku zainteresowania tą technologią, które utrzymało się na niskim poziomie aż do lat 70.

Ponownym impulsem do rozwoju prac nad pompami ciepła był kryzys naftowy, dzięki któremu, poczynając od lat 80., można zauważyć coraz powszechniejsze zastosowanie tych urządzeń. Obecnie najwięcej pomp ciepła w funkcji grzewczej wykorzystywane jest w Szwecji, gdzie około 1,6 miliona domów wyposażona jest w te urządzenia. W Polsce pierwsze pompy ciepła zainstalowano pod koniec lat 80. W tym okresie w układ grzewczy oparty o te urządzenia, które zresztą funkcjonują do dnia dzisiejszego, wyposażony został budynek biurowy centrali spółki Exbud w Kielcach, uchodzącym wtedy za jeden z nowocześniejszych budynków tej klasy w kraju. Inwestor zastosował w nim szereg nowych i niestosowanych ówcześnie rozwiązań technologicznych zarówno instalacyjnych jak i konstrukcyjnych.

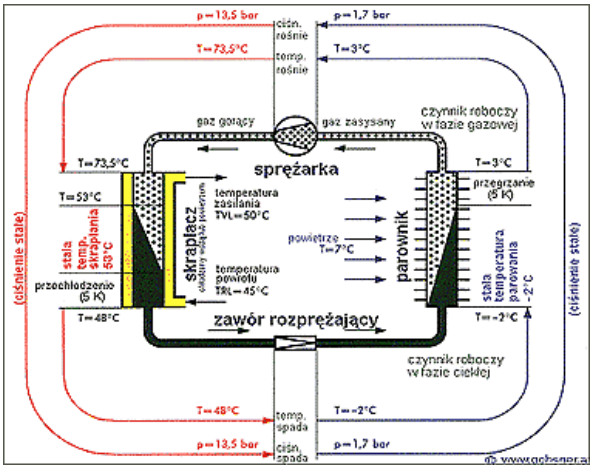
3. Zasada działania

Najlepiej zasadę działania obrazuje rysunek 2. W obiegu zamkniętym ($V = const.$) znajduje się specjalnie termicznie dobrany czynnik, który pod wpływem oddziaływania stosunkowo niskiej temperatury zewnętrznej, absorbując ciepło, ulega parowaniu (rys. 2 – (3)). Następnie czynnik w postaci pary poddany jest sprężaniu ($p \neq const.$) (rys. 2 – (4)) i jego entalpia wzrasta. Jednocześnie, dla zachowania równowagi termodynamicznej ($p \cdot V / T = const.$), wzrasta temperatura ($T \neq const.$), która odbierana jest z układu w skraplaczu (rys. 2 – (1)). Wzrost temperatury jest proporcjonalny do stopnia sprężenia pary czynnika w sprężarce. Poprzez zawór rozprężny (rys. 2 – (2)) czynnik wraca do parownika. Ciepło wyzwolone w procesie skraplania jest źródłem grzewczym, przekazywanym zwykle przez wymiennik, dla urządzeń zewnętrznej sieci grzewczej. Należy zwrócić uwagę, że absorbując ciepło w procesie parowania (rys. 2 – (3)), energia (entalpia parowania) pozyskiwana jest z otoczenia, tzn. ulega schłodzeniu otoczenie parownika, co jest prostym przykładem chłodziarki. Innymi słowy pompa ciepła w zależności od potrzeb spełnia rolę urządzenia grzewczego lub chłodniczego.

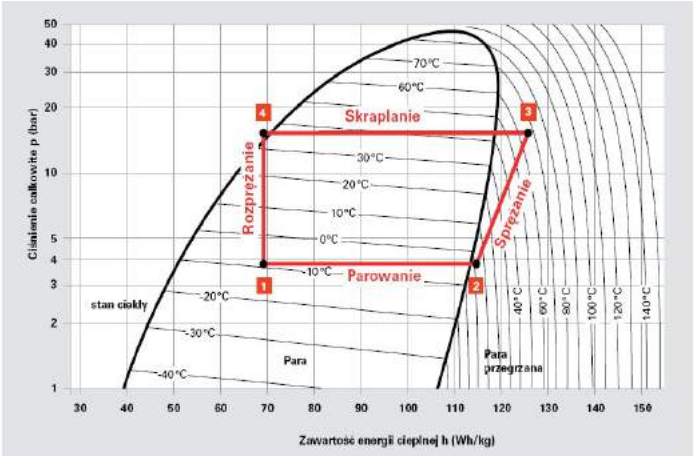


Rys. 2. Schemat działania pompy ciepła w układzie grzania (1) i chłodzenia (3)

Na rysunku 3 przedstawiono zasadę działania pompy ciepła w układzie inżynierskim, z rozpisanymi, przykładowymi zmianami temperatury i ciśnienia. Na rysunku 4 zaprezentowano zasadę działania pompy ciepła w postaci wykresu logarytmicznego przemian termodynamicznych w funkcji temperatury i ciśnienia.



Rys. 3. Zasada działania pompy ciepła z uwidocznionymi zmianami temperatur i ciśnień [1]



Rys. 4. Opis działania pompy ciepła w postaci wykresu logarytmicznego przemian termodynamicznych w funkcji temperatury i ciśnienia [1]

Najważniejszym parametrem charakteryzującym pompy ciepła jest współczynnik wydajności lub efektywności *COP* (*ang. Coefficient of Performance*). Jest to iloraz mocy grzewczej pompy ciepła i niezbędnej do napędu sprężarki mocy elektrycznej, albo inaczej: ile *kW* ciepła otrzyma się z każdego *kW* prądu elektrycznego. Zwykle w danych technicznych *COP* podawany jest zgodnie z normą EN 255 dla parametrów 0^0C temperatury na wejściu do pompy ciepła z dolnego źródła i 35 ^{0}C na zasilaniu systemu grzewczego. Im wyższa wartość współczynnika *COP* pompy ciepła, tym wyższa jest jej efektywność. Zgodnie z nowymi wytycznymi UE wprowadzono również współczynnik *SCOP* (*SPF*) (*ang. Seasonal Coefficient of Performance*), czyli sezonowy współczynnik efektywności energetycznej. Oznacza on całkowity wskaźnik efektywności wszystkich urządzeń wchodzących w skład systemu grzewczego (oprócz pompy ciepła także źródła ciepła, grzałki w zbiorniku akumulacyjnym itp.) dla całego wyznaczonego sezonu grzewczego. Posługując się rysunkiem 4 współczynnik *COP* można wyliczyć opierając się na wzorze (1). Po podstawieniu do (1) ilości odpowiadających punktom (2), (3) i (4) z rys. 4 otrzymano *COP* = 4,75.

$$COP = (h3 - h4) / (h3 - h2) \quad (1)$$

gdzie:

- h2 – entalpia (zawartość ciepła) na początku sprężania – 114 Wh/kg (rys. 4 – (2)),
- h3 – entalpia na końcu procesu sprężania / początek przekazywania ciepła – 126 Wh/kg (rys. 4 – (3)),
- h4 – entalpia na końcu procesu skraplania / koniec przekazywania ciepła – 69 Wh/kg (rys. 4 – (4)).

Nieodzowne dla funkcjonowania pompy ciepła jest dostarczenie, najczęściej naturalnego, źródła ciepła, wzbudzającego parowanie czynnika wewnętrznego. Ciepło do zasilania pomp ciepła czerpane jest najczęściej z tzw. dolnego źródła ciepła, tzn. mającego temperaturę niższą od temperatury w obiegu termodynamicznym. Może ono pochodzić z gruntu, pozyskiwane poprzez system kolektorów (sond, wymienników) pionowych lub poziomych lub z pompowanej bezpośrednio wody głębinowej. Może pochodzić wprost z powietrza zarówno wewnętrznego jak i zewnętrznego, a także z innych źródeł np. akumulatorów

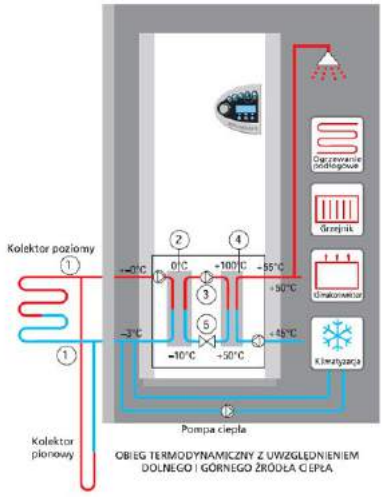
ciepła, studni geotermalnych, jako odzysk ciepła z kanalizacji itp.. Często rodzaj zasilania pompy decyduje o określeniu jej funkcji np. pompa klimatyzacyjna powietrze – powietrze, pompa grzewcza powietrze – woda, woda – woda itd.

4. Zróżnicowanie technologiczne

Różnice technologiczne między pompami związane są z przeznaczeniem i funkcją urządzenia. Zasadniczy podział to przeznaczenie do grzania, chłodzenia lub klimatyzacji (chłodzenia/grzania). Na rysunku 5 przedstawiono pompę ciepła wykorzystaną do instalacji grzewczej, z uwzględnieniem dolnego i górnego źródła ciepła. Przez górne źródło ciepła określa się elementy (zbiornik ciepłej wody) lub całą instalację grzewczą, w której pompa ciepła zasila górne źródło w parametr o temperaturze porównywalnej do temperatury w obiegu termodynamicznym. Na rysunku 5 pokazany jest również układ zasilania klimatyzacji, w której czynnik schłodzony pochodzi z obiegu kolektor – wymiennik pompy ciepła. Najczęściej w ten sposób zasilana jest tzw. klimatyzacja płaszczyznowa (w posadzce, ścianie itp.), a system określa się nazwą „chłodzenie pasywne".

Dominujące na rynku konstrukcje klimatyzatorów bazują na pompach ciepła, gdzie źródłem ciepła jest powietrze zewnętrzne. Czynnikiem pogarszającym nieco współczynnik efektywności powietrznej pompy ciepła jest konieczność odszraniania lameli parownika przy niższych temperaturach zewnętrznych. potrzebna jest do tego dodatkowa energia cieplna. Dlatego najnowsze urządzenia klimatyzacyjne z funkcją chłodzenia/grzania, posiadają dodatkową instalację podgrzewania powietrza zewnętrznego (w opcji grzewczej). Pozwala to na działanie urządzenia czerpiącego powietrze zewnętrzne jako źródło ciepła nawet w temperaturze -20°C. Urządzenia te osiągają stosunkowo wysoki COP nawet przekraczający 5.

Warunki klimatyczne mają znaczący wpływ na wydajność urządzeń klimatyzacyjnych, dlatego Unia Europejska podzieliła Europę na trzy strefy termiczne: ciepłą, umiarkowaną i zimną, w której znajduje się Polska. W każdej strefie funkcja chłodzenia/grzania w klimatyzatorze używana jest przy innych temperaturach i w konsekwencji z innym współczynnikiem wydajności urządzenia.



Rys. 5. Pompa ciepła w instalacji grzewczej (1 – kolektor – wymiennik gruntowy, 2 – wymiennik ciepła połączony z parownikiem, 3 – sprężarka, 4 – skraplacz połączony z wymiennikiem ciepła, 5 – zawór rozprężny) [1]

Zróżnicowanie technologiczne obejmuje również sposób zasilania. Obok stosowanego zasilania energią elektryczną, są również urządzenia zasilane gazem. Występują także pompy magnetyczne, hydrosoniczne, resorpcyjne, laserowe, termoakustyczne itd.

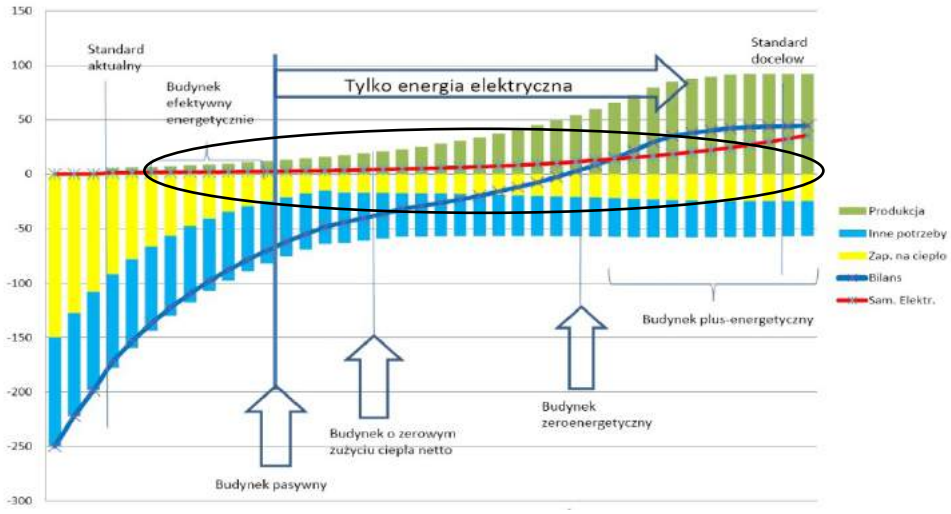
W Polsce dominujące na rynku instalacyjnym są rozwiązania techniczne pozwalające w sposób efektywny wytwarzać ciepło i chłód w układach mono- i biwalentnych. W układach biwalentnych obok pompy ciepła występują najczęściej kotły grzewcze na paliwa tradycyjne oraz grzałki elektryczne. W takiej instalacji wystarczy pompa ciepła o odpowiednio mniejszej mocy i mniejszym (tańszym) źródle dolnym. Na rynku polskim można wyróżnić pompy ciepła w układzie powietrze – powietrze, powietrze wewnętrzne oraz zewnętrzne, woda (solanka) – woda, z gruntowym wymiennikiem ciepła w układzie poziomym lub pionowym, gruntowe w układzie studziennym (studnie wykonane jako dwufunkcyjne czerpalno-zrzutowe).

Innym, ważnym ze względów eksploatacyjnych różnych źródeł odnawialnych, jest wykorzystanie akumulatorów ciepła. Coraz częściej wykorzystywane są przestrzenie pod piwnicami lub obok budynków w gruncie. Odgrodzone przegrodami i dobrze zaizolowane, wypełnione kruszywem, gromadzą energię cieplną najczęściej z kolektorów słonecznych. W okresie obniżonych temperatur nagromadzone ciepło jest dolnym źródłem dla pomp ciepła, regenerowanym w trakcie eksploatacji energią słoneczną. Występują również akumulatory wodne, gdzie dodatkowo wykorzystuje się podczas schładzania zmianę stanu skupienia i w ten sposób regeneracja połączona jest z dużym uzyskiem ciepła. Uwalniana jest wtedy dużo większa ilość energii (około 8-10 krotnie) niż podczas zwykłego obniżania temperatury [4].

Obok typowych rozwiązań pomp ciepła w układach klimatyzacyjnych, alternatywnym rozwiązaniem jest tzw. „chłodzenie pasywne", gdzie sprężarka pompy ciepła nie jest używana i pozostaje „pasywna". W tym rozwiązaniu wykorzystuje się możliwość naturalnego schładzania. Latem temperatura wody głębinowej i samego gruntu na większych głębokościach jest niższa niż temperatura pomieszczeń oraz ich otoczenia. Po to, aby zastosowanie tego typu rozwiązania było możliwe, wymagane są niewielkie zmiany konstrukcyjne: dodatkowy wymiennik ciepła z układem odpowiednio sterowanych zaworów trójdrogowych i pomp obiegowych.

W przypadku tzw. „chłodzenia aktywnego", jego efektywność jest czterokrotnie wyższa w porównaniu z pasywnym, ponieważ do działania wykorzystuje pracę sprężarki. Wiąże się to jednak z większym zużyciem energii elektrycznej. Warto przy tym zaznaczyć, że mimo tego zapotrzebowanie energetyczne takiego systemu jest niższe niż w przypadku tradycyjnej klimatyzacji. Chłodzenie aktywne umożliwiają tzw. pompy odwracalne, które funkcjonują analogicznie do systemu lodówki. Po to, aby pompa ciepła zaczęła chłodzić, wystarczy odwrócić bieg jej działania. Pompy odwracalne wykorzystują do chłodzenia kompresor oraz specjalny zawór czterodrogowy. Zmieniając jego pozycję, odwraca się obieg pompy, co powoduje, że skraplacz i parownik zamieniają się funkcjami. Pozostała część procesu odbywa się w sposób analogiczny do metody pasywnej, jednak dzięki sprężarce wydajność jest znacznie większa. Podczas procesu chłodzenia budynek staje się źródłem energii, pompa ciepła odbiera energię z budynku i oddaje ją do otoczenia, najlepiej do akumulatorów ciepła.

Na rysunku 6 przedstawiono stan i możliwe trendy w zakresie działań energooszczędnych, przewidywany rozwój budownictwa w różnej klasie energetycznej oraz zmianę efektywnych ekonomicznie standardów energetycznych w budynkach. Wyróżniony obszar praktycznie nie może istnieć bez systemów opartych na pompach ciepła oraz magazynowaniu energii.



Rys. 6. Wpływ rozwoju technologii na zmiany efektywnych ekonomicznie standardów energetycznych w budynkach (na osi rzędnych oznaczono efektywność energetyczną w kWh/m^2/rok)

5. Zastosowania i analiza opłacalności

Zastosowanie pomp ciepła w budownictwie jest bardzo szerokie. W branży instalacyjnej obejmuje znaczny obszar od techniki grzewczej, pozyskiwania i akumulowania ciepła po wentylację, chłodnictwo i klimatyzację. Pompy ciepła stosowane są we wszystkich rodzajach budynków: od mieszkalnych jedno- i wielorodzinnych, biurowych, budynków użyteczności publicznej po obiekty sportowe. Do pozyskiwania ciepła służą niektóre budowle jak tunele czy sieci kanalizacyjne, a na cele akumulacji ciepła wykorzystywane są podbudowy i podłoża gruntowe dróg i placów.

Kolejność postępowania przy doborze pomp ciepła, głównie z uwagi na opcję grzewczą, można sprowadzić do zasad:

- wyznaczenie zapotrzebowania budynku na moc cieplną,
- wyznaczenie zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową,
- wybór rodzaju i parametrów ogrzewania (powietrzne, wodne: nisko-, średniotemperaturowe),
- wybór źródła ciepła niskotemperaturowego (powietrze zewnętrzne, grunt, woda powierzchniowa, głębinowa itp.),
- dobór systemu pracy pompy ciepła (monowalentny, monoenergetyczny, biwalentny),
- wybór typu i wielkości pompy ciepła w zależności od rodzaju źródła ciepła i wymaganych parametrów pracy,
- dobór wielkości dolnego źródła np. dla pompy ciepła typu solanka – woda.

Przykład już niemalże klasycznego zastosowania pompy ciepła do ogrzewania budynku jednorodzinnego, z dolnym, gruntowym źródłem ciepła i możliwy dobór urządzenia przedstawiono w tabeli 1. Parametry analizowanego budynku są następujące:

- powierzchnia ogrzewana 160 m^2;
- moc obliczeniowa (III strefa, Kraków) – 8 kW;
- ilość mieszkańców – 4 osoby;
- dzienne zużycie ciepłej wody użytkowej – 240 l;
- wymagana temperatura pomieszczeń –21°C.

Tabela 1. Dobór pompy ciepła dla budynku jednorodzinnego [1]

Pompa ciepła 10 kW (80/W35 wg EN 14511)		COP wg EN 14511: 4,4	COP wg EN 14511: 4,8
Odwierty pionowe	Ogrzewanie podłogowe 100% → 35/28		
	podwójna U-rura : PE32 (40 W/m.b.)	3 x 82 m.b. (246 m.b.)	3 x 84 m.b. (252 m.b.)
	współczynnik efektywności sezonowej wg VDI 4650	4,50	4,92
	czas pracy sprężarki	1884 h/rok	1838 h/rok
	Ogrzewanie grzejnikowe 100% → 55/45		
	podwójna U-rura : PE32 (40 W/m.b.)	3 x 76 m.b. (228 m.b.)	3 x 78 m.b. (234 m.b.)
	współczynnik efektywności sezonowej wg VDI 4650	3,75	4,03
	czas pracy sprężarki	1947 h/rok	1915 h/rok
Kolektor gruntowy	Ogrzewanie podłogowe 100% → 35/28		
	rura PE32 (liczba pętli po 100 m.b.)	695 m.b. (7 pętli po 100 m.b.)	727 m.b. (8 pętli po 100 m.b.)
	wymagana powierzchnia kolektora	minimum 503 m²	minimum 526 m²
	współczynnik efektywności sezonowej wg VDI 4650	4,43	4,81
	czas pracy sprężarki	1859 h/rok	1816 h/rok
	Ogrzewanie grzejnikowe 100% → 55/45		
	rura PE32 (ilość pętli po 100 m.b.)	543 m.b. (6 pętli po 100 m.b.)	556 m.b. (6 pętli po 100 m.b.)
	wymagana powierzchnia kolektora	minimum 393 m²	minimum 402 m²
	współczynnik efektywności sezonowej wg VDI 4650	3,67	3,92
	czas pracy sprężarki	1918 h/rok	1891 h/rok

Poniżej podano kilka przykładów zastosowania pomp ciepła, w różnym zakresie i dla różnych budynków o funkcji mieszkalnej wielorodzinnej i użyteczności publicznej [1, 5]. Są to przykłady obiektów eksploatowanych, dla których podano rzeczywisty uzyskany efekt ekonomiczny obejmujący okres kilkuletni.

- Szkoła podstawowa w Cedrach Wielkich (woj. pomorskie). Poddana pełnej termomodernizacji w 2001 roku, modernizację systemu kotłowni węglowej na instalację grzewczą c.o. i c.w.u. z pompami ciepła (135 kW) przeprowadzono w 2012 roku. Dolne źródło dla pomp ciepła w układzie woda – woda ze studni głębinowej (1 czerpalna, 2 zrzutowe). Uzyskany efekt: 3,5-krotne zmniejszenie kosztów eksploatacji z 65-70 tys. zł/rok na 16-20 tys. zł/rok.
- Szkoła podstawowa w Cedrach Małych (woj. pomorskie). Poddana pełnej termomodernizacji w 2002 roku, modernizację systemu kotłowni węglowej na instalację grzewczą c.o. i c.w.u. z pompami ciepła (105 kW) przeprowadzono w 2012 roku. Dolne źródło dla pomp ciepła w układzie woda – woda ze studni głębinowej (1 czerpalna, 2 zrzutowe). Uzyskany efekt: 3,5 – krotne zmniejszenie kosztów eksploatacji z 64-68 tys. zł/rok na 15-18 tys. zł/rok.
- Instytut Rybactwa Śródlądowego w Olsztynie, Zakład w Rutkach. Termomodernizacja budynku w 2003, modernizację systemu kotłowni olejowej na instalację grzewczą c.o. z pompami ciepła (100 kW) przeprowadzono w 2011 roku. Dolne źródło dla pomp ciepła w układzie woda – woda z istniejącej studni głębinowej. Uzyskany efekt: 6-krotne zmniejszenie kosztów eksploatacji z 120 tys. zł/rok na 16-20 tys. zł/rok.
- Pasywna szkoła podstawowa w Budzowie (woj. dolnośląskie). Wybudowana w 2012 roku szkoła spełnia założenia budynku pasywnego, oprócz dobrej izolacyjności, zastosowanej wentylacji z rekuperacją, instalacji kolektorów słonecznych, łamaczy światła i specjalnego szkła okiennego, budynek odznacza się bardzo dobrą szczelnością. Zastosowano układ grzewczy z pompami ciepła i kolektorami gruntowymi solanka–woda. Analiza kosztów grzania (ok. 8 tys. zł/rok) w stosunku do kosztów w ujęciu tradycyj-

nym (ok. 50 tys. zł/rok) oznacza zwrot różnicy w kosztach nakładów na instalację grzewczą w ciągu 11 lat.

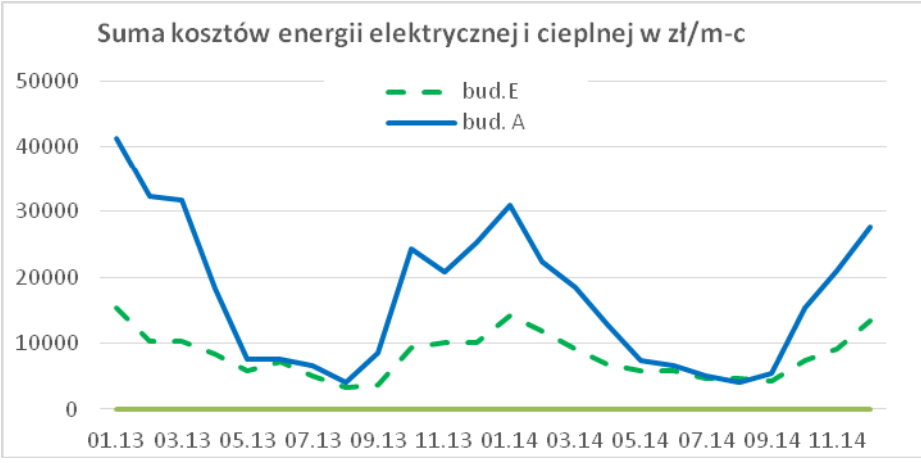
- Budynek wielorodzinny w Przytocznej (woj. lubuskie). Wybudowany w 2012 roku posiada 20 mieszkań o średnim metrażu 45 m^2. Moc grzewcza na potrzeby c.o. 64 kW, c.w.u. 35 kW. Zainstalowane zostały absorpcyjne pompy ciepła, wspomagane w szczytowym zapotrzebowaniu kondensacyjnym kotłem grzewczym, a w okresie letnim kolektorami słonecznymi. Ciepło ze wszystkich urządzeń kierowane jest do bufora stałotemperaturowego o pojemności 2000 l, skąd ciepło kierowane jest na potrzeby c.o. i c.w.u. Aktualnie średni koszt ogrzewania i ciepłej wody na mieszkanie wynosi 84,- zł/m-c i jest mniejszy ok. 3-krotnie od kosztów wynikających z tradycyjnego rozwiązania.
- Budynek dydaktyczno-laboratoryjny Energis Politechniki Świętokrzyskiej. Wybudowany w 2012 roku, o pow. użytkowej 5121 m^2, kubaturze 23367 m^3. Obiekt o parametrach konstrukcyjnych zbliżonych do pasywnego, posiadający system inteligentnego zarządzania BMS, z kilkoma systemami sprężarkowych pomp ciepła działającymi na użytek systemu grzewczego, wentylacyjnego, klimatyzacyjnego (rys. 7). Moc grzewcza na potrzeby c.o. i wentylacji oszacowano na 110 kW. W celu porównawczym dokonano analizy kosztów dostarczanej energii elektrycznej i cieplnej dla budynku Energis (oznaczonego literą E) i innego budynku dydaktycznego uczelni (oznaczonego literą A), poddanego termomodernizacji i kapitalnemu remontowi instalacji. W budynku E dostarczana jest dodatkowo energia cieplna z węzła na minimalnym poziomie, szczególnie w okresach przejściowych, w których nie pracuje jeszcze układ grzewczy z pompami ciepła, a jednocześnie występuje potrzeba zasilania nagrzewnic w centralach wentylacyjnych. W budynku A instalacja c.o. zasilana jest w całości z węzła cieplnego. W tabeli 2 dokonano porównania rozwiązań budowlanych i instalacyjnych dla budynku E i A.

Rys. 7. Zestawienie rozwiązań instalacyjnych współpracujących z pompami ciepła w budynku Energis

Tabela 2. Porównanie rozwiązań budowlanych i instalacyjnych w budynkach E i A

Rozwiązania bud. i inst.	Budynek E	Budynek A
Izolacyjność przegród	$U_ś$=0,16 U_d=0,09U_o=0,99	$U_ś$=0,35 U_d=0,25U_o=1,8
Centralne ogrzewanie	4 pompy ciepła, węzeł cieplny dla ok.10% potrzeb cieplnych	Węzeł cieplny
Ciepła woda użytkowa	Kolektory słon.i pompy pow.-woda	Przepływowe podgrzew.elektryczne
Wentylacja	Nawiewno-wyw.z rekuperacją	Nawiewno-wyw.dla ok.15% kubatury
Klimatyzacja	Pompy ciepła pow.-pow. oraz chłodz. pasywne (płaszczyznowe)	Brak
Fotowoltaika	Udział ok. 6% w całk.potrzebach	Brak
Absorbery ciepła	Przegrody do zasilania akumulatorów dla pomp ciepła	Brak
Oświetlenie	Regulowane	Bez regulacji
BMS	Zarządzanie energią cieplną i elektr.	Brak
Oznaczenia: $U_ś$, U_d, U_o - wsp.przenikania ciepła dla ścian zewn, stropodachu, okien w W/(m^2·K).		

Przebieg kosztów poniesionych w budynku E i A, łącznie na energię cieplną i elektryczną w poszczególnych miesiącach obrazuje rysunek 8. Rocznie różnica w kosztach wynosi średnio ok. 80000 zł. Po dokonaniu analizy różnicy kosztów inwestycyjnych, między rozwiązaniami instalacji z pompami ciepła i tradycyjnym z węzła cieplnego, wyliczony zwrot nakładów powinien nastąpić po 9 latach.



Rys. 8. Porównanie sumy kosztów energii cieplnej i elektrycznej w budynku E i A

6. Wnioski

Pompy ciepła w najbliższej przyszłości w dużym stopniu zastąpią źródła ciepła opalane tradycyjnymi, tzw. nieodwracalnymi nośnikami energii.

Spodziewany jest rozwój w kierunku poprawy COP pomp ciepła w środowisku niskotemperaturowym, upowszechnianie stosowania akumulatorów i rozwiązań konstrukcyjnych w postaci absorberów ciepła do wspomagania zasilania pomp ciepła.

Analiza ekonomiczna pozwala określić czas zwrotu różnicy nakładów między instalacjami pomp ciepła i tradycyjnymi na ok. 8-11 lat.

W pracy wykorzystano badania i analizy finansowane z Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka w ramach Projektu 1. Działanie 1.1 PO IG Poddziałanie 1.1.2, umowa NR POIG 01.01.02-10-106/09-00.

Literatura

1. Mania T., 2014. Praktyczne zastosowanie instalacji hybrydowych układów pomp ciepła w budownictwie i przemyśle. Materiały Polskiego Stowarzyszenia Pomp Ciepła, Gdańsk.
2. Thomson W., 1882. Ice Machines. Journal of the Society of Arts.
3. Carnot N.S., 1824. Reflexions sur la Puissance Motrice du Feu. ChezBachelier, Paris.
4. Sobierajski J., Starzomska M., Piotrowski J.Z., 2009. Odnawialne źródła energii. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej.
5. Piotrowski J.Z. i in., 2014. Konstrukcyjno-instalacyjne rozwiązania w kierunku optymalnego kształtowania mikroklimatu pomieszczeń mieszkalnych wraz z mikrobiologicznym kryterium oceny szczelności obudowy i systemów wentylacji. Raport końcowy z realizacji Pakietu Tematycznego PT 7.5. Pracy badawczej Nr POIG 01.01.02-10-106/09-00.

Heat pumps as fundamental heating and cooling devices in renewable energy system

Jerzy Zbigniew Piotrowski

Department of Structure Physics and Renewable Energy, Faculty of Enviromental Engineering, Geomatics and Power Engineering, Kielce University of Technology,
e-mail:piotrowski@tu.kielce.pl

Abstract: Currently, heat pumps commonly replace traditional devices that produce heat/cold and are basic elements used in renewable energy systems. The paper presents the review of technological applications of heat pumps through history as well as the examples of the use and economical analysis with payback period determination. The analysis confirms the profitability of the heat pump use and the mean payback period of additional costs related to the application of these devices in heating systems amounting to 11 years is an incentive for their common use.

Keywords: heat pumps, heat/cool generating devices, renewable energy systems, economical analysis

EFEKTYWNOŚĆ BUDYNKÓW ENERGOOSZCZĘDNYCH

Optimum ekonomiczne wymagań energetycznych w odniesieniu do budynków w Polsce

Robert Geryło

Instytut Techniki Budowlanej w Warszawie, e-mail: r.gerylo@itb.pl

Streszczenie: Dyrektywa 2010/31/UE wprowadziła konieczność stosowania w poszczególnych krajach UE wymagań w odniesieniu do charakterystyki energetycznej budynków, ustalonych na poziomie optymalnym pod względem kosztów. W Rozporządzeniu delegowanym Komisji UE nr 244/2012 podano metodę, służącą do określenia zestawów rozwiązań technicznych, których zastosowanie prowadzi do uzyskania najniższego kosztu całkowitego związanego z zapotrzebowaniem budynków na energię. Różnice krajowych warunków ekonomicznych powodują, że nawet przy przyjęciu bardzo zbliżonych zestawów rozwiązań technicznych uzyskuje się różne wartości optimum ekonomicznego wymagań, czego przykładem jest porównanie między Polską a Niemcami.

Słowa kluczowe: charakterystyka energetyczna budynków, optimum ekonomiczne wymagań energetycznych, koszt całkowity, wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną

1. Wprowadzenie

Współczesne wymagania stawiane budynkom w zakresie oszczędności energii i izolacyjności cieplnej są znacznie ostrzejsze niż w przeszłości, a zgodnie z Dyrektywą 2010/31/UE [1] od roku 2021 wszystkie nowe budynki w krajach UE będą musiały spełniać kryteria niemal zerowego wykorzystania energii. Standard budynków zeroenergetycznych (ZEB – zero energy building), według większości zaproponowanych definicji [2-7], charakteryzuje się niemal zerowym wynikiem bilansu strat i zysków ciepła w budynku oraz pozyskiwaniem w budynku lub jego sąsiedztwie energii ze źródeł odnawialnych.

W Rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady nr 305/2011 [8] ustanowiono jako jedno z wymagań podstawowych, że: „Obiekty budowlane i ich instalacje grzewcze, chłodzące, oświetleniowe i wentylacyjne muszą być zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby utrzymać na niskim poziomie ilość energii wymaganej do ich użytkowania, przy uwzględnieniu potrzeb zajmujących je osób i miejscowych warunków klimatycznych. Obiekty budowlane muszą być również energooszczędne i zużywać jak najmniej energii podczas ich budowy i rozbiórki. „Dyrektywa 2010/31/UE wprowadziła pojęcie charakterystyki energetycznej budynków, którą zdefiniowano jako obliczoną lub zmierzoną ilość energii, niezbędną do zaspokojenia zapotrzebowania związanego z typowym użytkowaniem budynku na potrzeby jego ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, oświetlenia pomieszczeń i przygotowania ciepłej wody. W ustawie o charakterystyce energetycznej [9] pod pojęciem tym przyjęto zbiór danych i wskaźników energetycznych budynku lub części budynku, określających całkowite zapotrzebowanie na energię niezbędną do jego użytkowania zgodnie z przeznaczeniem. Dyrektywa 2010/31/UE wprowadziła ponadto konieczność stosowania w poszczególnych krajach UE wymagań w odniesieniu do charakterystyki energetycznej budynków ustalonych na „poziomie optymalnym pod względem kosztów".

W celu uwzględnienia regulacji europejskich Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dn. 5 lipca 2013 r., zmieniające rozporządzenie

w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, wprowadziło stopniowe zaostrzanie przepisów w latach 2014-2021, do poziomu odpowiadającego standardowi budynków o niemal zerowym wykorzystaniu energii. Zgodnie z Dyrektywą 2010/31/UE nowe przepisy powinny dotyczyć również budynków podlegających przebudowie. W Polsce na ogół nie przeprowadza się kompleksowych prac dotyczących całego budynku, ale wykonuje się etapami odrębnie roboty budowlane, które obejmują np. wymianę okien, docieplenie ścian i innych przegród zewnętrznych oraz wymianę systemów grzewczych. Zgodnie z obecnymi przepisami każdy taki etap prac należy prowadzić w sposób zapewniający osiągnięcie poziomu wymaganego w odniesieniu do nowych budynków.

2. Metoda określania optymalnego pod względem kosztów poziomu wymagań charakterystyki energetycznej

Metodę obliczania optymalnego pod względem kosztów poziomu wymagań krajowych w odniesieniu do charakterystyki energetycznej budynków określa, stosowane bezpośrednio we wszystkich państwach członkowskich, Rozporządzenie delegowane Komisji UE nr 244/2012 [10]. Procedura określenia poziomu wymagań obejmuje następujące kroki.

1. Określenie budynków referencyjnych

W poszczególnych państwach członkowskich UE przyjmuje się budynki referencyjne w kategoriach:

– budynki jednorodzinne,
– budynki wielorodzinne,
– budynki niemieszkalne: biurowe, oświatowe, szpitalne, hotelowe i inne rodzaje budynków wykorzystujących energię.

Dla każdej kategorii określa się co najmniej jeden nowy budynek referencyjny oraz co najmniej dwa użytkowane, które mają zostać poddane renowacji.

2. Wybór zestawów rozwiązań technicznych

Dla każdego budynku referencyjnego określa się zestawy rozwiązań technicznych mających istotny wpływ na charakterystykę energetyczną, w tym oparte na wykorzystaniu energii ze źródeł odnawialnych, a także kogeneracji ciepła i energii elektrycznej oraz pompy ciepła. Przyjmuje się również zestawy rozwiązań technicznych, odpowiadające potrzebom standardu budynków o niemal zerowym wykorzystaniu energii.

3. Obliczenia wskaźnika rocznego zapotrzebowania budynków na energię pierwotną

Dla każdego budynku referencyjnego, stosując przyjęte zestawy rozwiązań technicznych, oblicza się roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną do celów ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, przygotowania ciepłej wody i oświetlenia. W obliczeniach zapotrzebowania na energię pierwotną stosuje się, ustanowione na poziomie krajowym, współczynniki konwersji w odniesieniu do energii pochodzących z różnych źródeł, wyrażające nakłady energii pierwotnej w celu dostarczenia jej do budynków. Uwzględnia się również możliwość produkcji energii.

4. Obliczenia kosztu całkowitego

W obliczeniach uwzględnia się wszystkie koszty związane z charakterystyką energetyczną budynków (rys. 1), w okresie obliczeniowym 30 lat. Pomija się koszty, które nie mają wpływu na charakterystykę energetyczną oraz koszty, które są takie same we wszystkich ocenianych zestawach rozwiązań technicznych. W obliczeniach uwzględnia się następujące kategorie kosztów:

– początkowe koszty inwestycyjne,

– koszty okresowego odtwarzania elementów budynków i systemów technicznych,
– koszty usunięcia ww. elementów,
– koszty związane z wykorzystaniem energii (możliwe jest również uwzględnienie dochodów z tytułu wytworzonej energii).

W obliczeniach na poziomie makroekonomicznym uwzględnia się koszt emisji gazów cieplarnianych. W obliczeniach stosuje się prognozę ewolucji cen energii, przy czym koszty określa się jako wartości rzeczywiste z wyłączeniem inflacji. Wartość rezydualną (w ostatnim roku przyjętego okresu obliczeniowego) elementów budynków i systemów technicznych określa się za pomocą amortyzacji liniowej początkowego kosztu inwestycji lub kosztu odtworzenia danego elementu do końca okresu obliczeniowego, dyskontując ją na początek okresu obliczeniowego. Okres amortyzacji określa się z uwzględnieniem ekonomicznego czasu użyteczności poszczególnych elementów.

W poszczególnych państwach członkowskich UE ustala się do obliczeń wartości stopy dyskontowej wyrażające przewidywaną zmianę rzeczywistej (z wyłączeniem inflacji) wartości pieniądza w czasie. Stopa dyskontowa nie jest wielkością obserwowalną i jednolitą, ponieważ zależy m.in. od krajowych warunków ekonomicznych, np. oprocentowania długoterminowych kredytów bankowych. Wyższa stopa dyskontowa – zazwyczaj wyższa niż 4%, z wyłączeniem inflacji – odzwierciedla krótkoterminowe, czysto komercyjne podejście do wyceny. Niższa stopa – zazwyczaj od 2% do 4%, z wyłączeniem inflacji, lepiej oddaje korzyści, jakie uzyskuje się z poprawy charakterystyki energetycznej budynków, jakie uzyskuje się w czasie 30-letniego okresu obliczeniowego.

W analizie finansowej (mikroekonomicznej) właściwej z punktu widzenia indywidualnych inwestorów wartość kosztu całkowitego określa się zgodnie ze wzorem:

$$K_{g,0} = K_0 + \sum_{i}^{n} K_i - V \tag{1}$$

w którym:

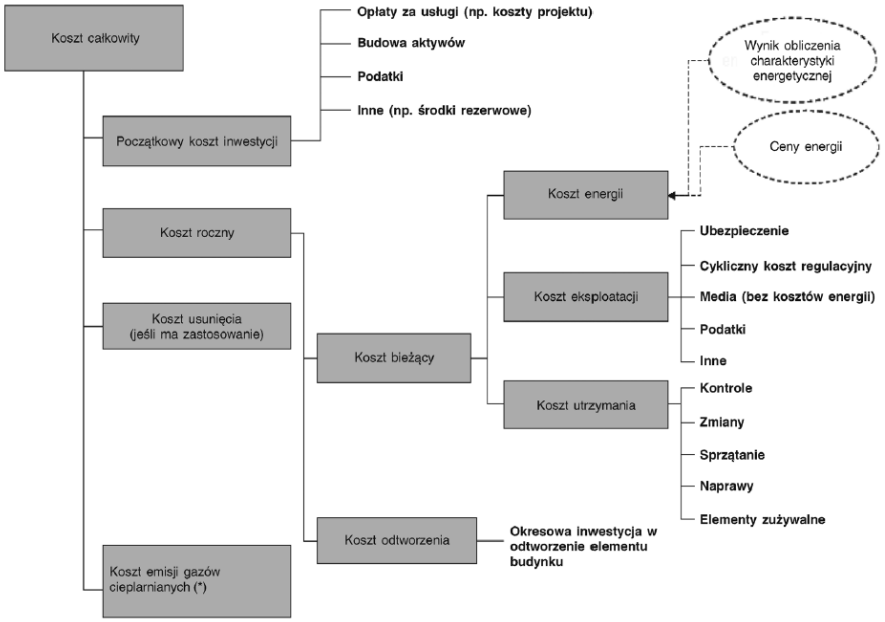
n – liczba lat przyjętego okresu obliczeniowego - 30 lat,

$K_{g,0}$ – koszt całkowity wyrażony w wartościach zdyskontowanych do początku okresu obliczeniowego,

K_0 – początkowy łączny koszt inwestycyjny zestawu rozwiązań technicznych,

$\sum_{i}^{n} K_i$ – suma pozostałych kosztów, w poszczególnych latach okresu obliczeniowego, zdyskontowanych do początku okresu obliczeniowego,

V – wartość rezydualna określona przez amortyzację liniową początkowych kosztów zestawu rozwiązań technicznych lub kosztów odtworzenia elementów zestawów, ustalona na koniec okresu obliczeniowego, zdyskontowana do początku okresu obliczeniowego.



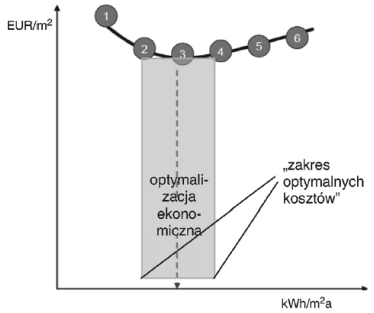
Rys. 1. Kategorie kosztów uwzględnionych w europejskiej metodzie określania wymagań energetycznych według [11]

5. Przeprowadzenie analizy wrażliwości

Analizę wrażliwości stosuje się w ocenach ex ante w celu określenia wpływu możliwych przyszłych zmian podstawowych założeń dotyczących warunków ekonomicznych. W procedurze uwzględnia się ocenę wpływu możliwych zmian stopy dyskontowej i np. scenariuszy ewolucji cen energii w odniesieniu do zastosowanych nośników.

6. Określenie optymalnego poziomu wymagań według kryterium ekonomicznego

Optymalny pod względem kosztów poziom wymagań w odniesieniu do charakterystyki energetycznej budynków określa wartość wskaźnika o najniższym koszcie całkowitym. Jeżeli występują zestawy, które charakteryzują się zbliżonymi kosztami, jako optimum można przyjąć najniższą wartość wskaźnika. Zasadę wyznaczania optimum zilustrowano na rysunku 2.



Rys. 2. Zestaw rozwiązań technicznych o najniższym koszcie jest najniżej położonym punktem na krzywej (na rysunku powyżej jest to zestaw nr 3); jego położenie na osi poziomej określa optymalny pod względem kosztów poziom wymagań dotyczących charakterystyki energetycznej, wyrażony w kWh/m^2·rok, według [11]

3. Główne założenia techniczne i warunki ekonomiczne

Do obliczeń optimum ekonomicznego wymagań energetycznych w Polsce przyjęto zestawy rozwiązań technicznych o głównych właściwościach mających wpływ na charakterystykę energetyczną budynków według tabeli 1. Zapotrzebowanie budynków na nieodnawialną energię pierwotną określono z uwzględnieniem podanych w tabeli 2 wartości współczynników nakładu tej energii. Dla porównania podano również wartości przyjęte w Niemczech.

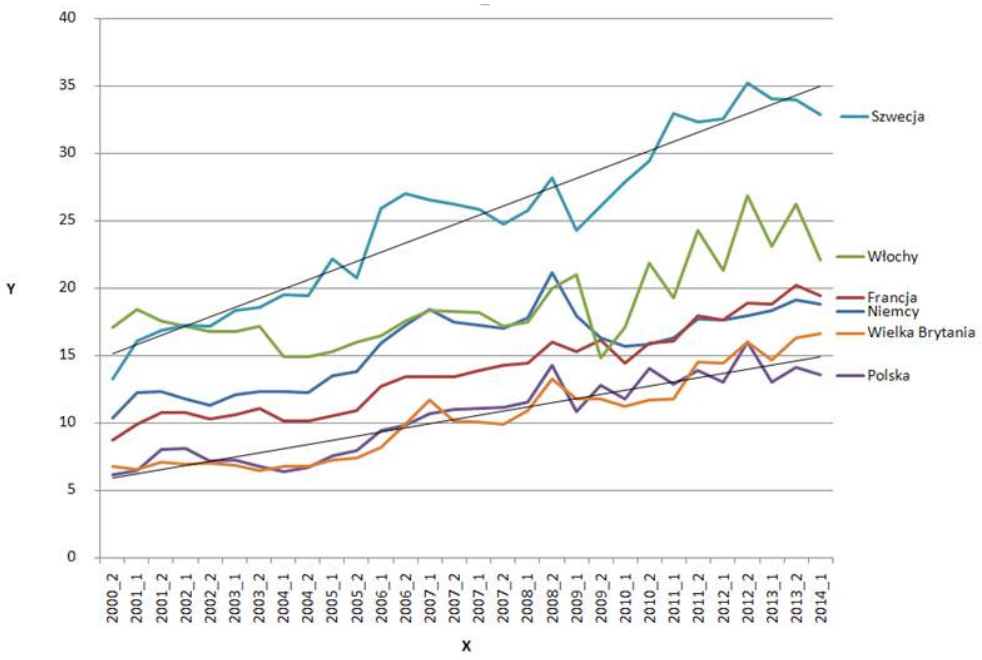
Porównanie warunków ekonomicznych w Polsce i wybranych krajach UE przedstawiono na rysunku 3 – ceny gazu dla indywidualnych odbiorców; rysunku 4 – ceny energii elektrycznej dla indywidualnych odbiorców oraz na rysunku 5 – wartości stopy bazowej do określenia stopy dyskontowej.

Tabela 1. Główne właściwości techniczne rozwiązań technicznych przyjęte do analizy w Polsce i Niemczech [12]

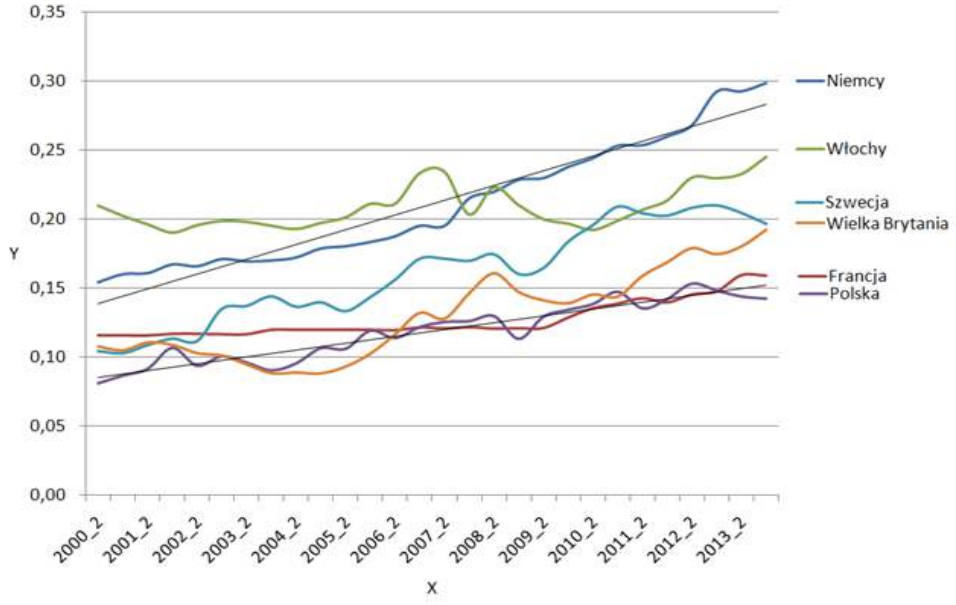
Obudowa		
Współczynnik przenikania ciepła przegród:	Polska	Niemcy
- ściany zewnętrzne	0,3; 0,25; 0,2; 0,15 W/(m^2·K)	0,28; 0,20; 0,12 W/(m^2·K)
- dachy	0,25; 0,2; 0,15; 0,11 W/(m^2·K)	0,20; 0,14; 0,08 W/(m^2·K)
- podłogi na gruncie	0,45; 0,35; 0,25; 0,2 W/(m^2·K)	0,35; 0,18 W/(m^2·K)
- okna	1,8; 1,3; 0,9 W/(m^2·K)	1,3; 1,0; 0,75 W/(m^2·K)
- drzwi zewnętrzne	2,6; 1,8; 1,3 W/(m^2·K)	nie określono w raporcie
Szczelność obudowy na przenikanie powietrza	3; 1,5; 1; 0,6 h^{-1}	1,0 h^{-1}
Systemy techniczne		
Wartości całkowitej sprawności systemów technicznych ogrzewania pomieszczeń i przygotowania ciepłej wody ze źródłem:		
- kocioł gazowy lub olejowy	(0,85; 0,87; 0,89; 0,9) i 0,53	0,88; 0,85
- kocioł na pelety	(0,64; 0,65; 0,67; 0,68) i 0,43	nie określono w raporcie
- gruntowa pompa ciepła	(3; 3,1; 3,2) i 2,0	nie określono w raporcie
- ciepło sieciowe	(0,8; 0,82; 0,85; 0,86) i 0,64	nie określono w raporcie
Poziom odzysku ciepła z powietrza wentylacyjnego	brak; 60% 80%, 90%	brak; 70%; 90%

Tabela 2. Współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej w Polsce i Niemczech [12]

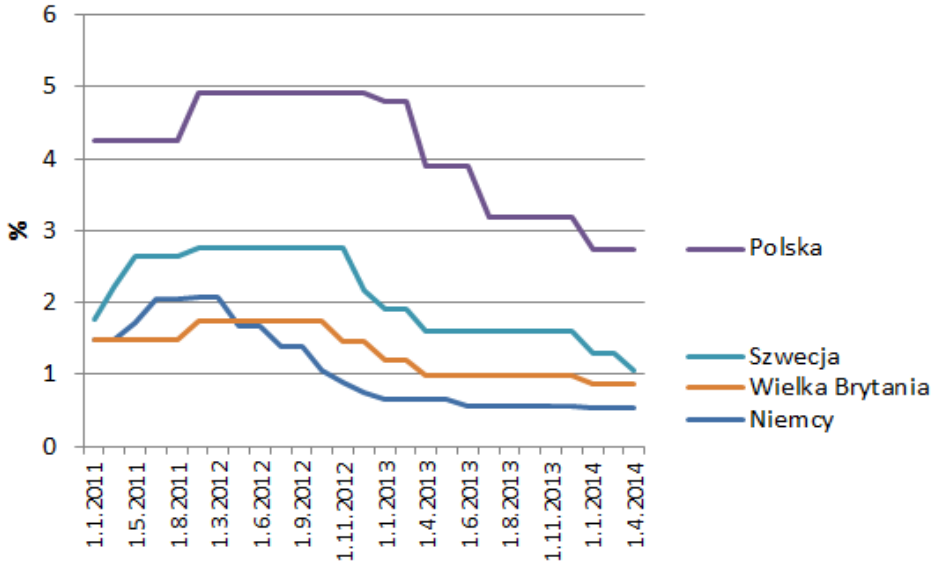
Pochodzenie energii, która musi być dostarczona do budynku	Rodzaj nośnika energii lub energii	Współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej	
		Polska	Niemcy
Wytwarzanie energii w budynku	gaz, olej opałowy	1,1	1,1
	węgiel	1,1	-
Lokalne odnawialne źródła energii	biomasa	0,2	0,2
Ciepło systemowe, sieciowe pochodzące ze współwytwarzania energii elektrycznej i ciepła (kogeneracji)	paliwa kopalne	0,8	0,7
Ciepłe systemowe, sieciowe z ciepłowni	węgiel kamienny	1,3	1,3
Systemowa sieć elektroenergetyczna	energia elektryczna	3	2,6
			2,0 (od 2014)
			1,8 (od 2016)



Rys. 3. Zmiany cen gazu dla indywidualnych odbiorców w wybranych krajach UE od 2000 do 2014 r.; na osi X – kolejne półrocza, na osi Y – cena brutto w Euro za GJ uzyskany z gazu naturalnego, dla odbiorców indywidualnych w wybranych krajach UE (Opracowanie własne na podstawie danych EUROSTAT-u)



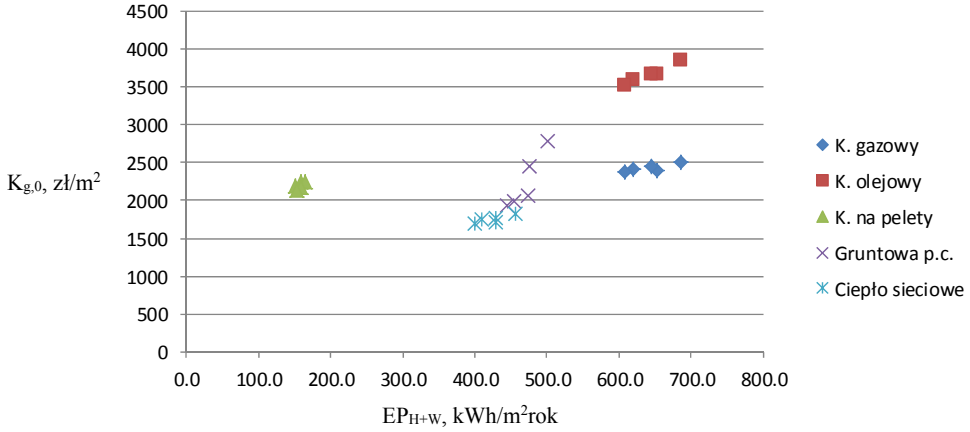
Rys. 4. Zmiany cen energii elektrycznej dla indywidualnych odbiorców w wybranych krajach UE od 2000 do 2014 r. Na osi X – kolejne półrocza, na osi Y – cena brutto w Euro za kWh (Opracowanie własne na podstawie danych EUROSTAT-u)



Rys. 5. Wartości stopy bazowej według KE, do określenia stopy dyskontowej (stopa dyskontowa = stopa bazowa powiększona o 100 punktów bazowych)

4. Ilustracja sposobu określenia optimum ekonomicznego na przykładzie wybranego budynku referencyjnego w Polsce

Obliczenia według procedury określonej w Rozporządzeniu delegowanym Komisji UE nr 244/2012 umożliwiają określenie kosztów całkowitych $K_{g,0}$ związanych z różnymi zestawami rozwiązań technicznych. W celu ilustracji sposobu określenia optimum ekonomicznego, na rysunku 6 przedstawiono przykładowe wyniki obliczeń w odniesieniu do istniejącego budynku szpitalnego o powierzchni użytkowej około 10000 m^2, poddanego renowacji. Na wykresie podano wyniki obliczeń w odniesieniu do 25 różnych wariantów rozwiązań technicznych o właściwościach według tabeli 1. Najniższą wartość kosztów całkowitych, około 1700 zł/m^2, uzyskano przy wartości wskaźnika zapotrzebowania budynku na energię do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody około 400 kWh/m^2rok. Wysoka wartość wskaźnika związana jest z dużym jednostkowym zapotrzebowaniem na ciepłą wodę w budynku szpitalnym. W wariancie tym zastosowano: przegrody charakteryzujące się najniższymi wartościami współczynnika przenikania ciepła, najwyższy poziom odzysku ciepła z powietrza wentylacyjnego oraz źródło w postaci ciepła sieciowego.



Rys. 6. Przykładowe wyniki obliczeń – wykres kosztów całkowitych $K_{g,0}$ związanych z zastosowaniem różnych wariantów rozwiązań technicznych w zależności od uzyskanych wartości wskaźnika EP_{H+W} rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody

5. Wymagania ustalone ww. metodą w odniesieniu do budynków w Polsce i porównanie z optimum ekonomicznym wymagań energetycznych w Niemczech

Polskie wymagania w zakresie charakterystyki energetycznej budynków mieszkalnych i niemieszkalnych określono w Rozporządzeniu Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dn. 5 lipca 2013 r., zmieniającym rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Do zestawienia optimum ekonomicznego wymagań energetycznych w Polsce i Niemczech wybrano najbardziej porównywalną kategorię – jednorodzinne i wielorodzinne budynki mieszkalne. W tabeli 3 podano maksymalne dopuszczalne wartości wskaźnika rocznego zapotrzebowania budynków na energię do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej.

W obu krajach uwzględniono bardzo zbliżone zestawy rozwiązań technicznych elementów budynków i ich systemów technicznych (tabela 1). Istnieją natomiast różnice w przyjętych warunkach klimatycznych (rys. 3) oraz ekonomicznych. Wyższe koszty energii (rys. 4 i 5) oraz niższe wartości stopy dyskontowej (rys. 6) powodują, że w Niemczech uzyskuje się wyższe wartości kosztów całkowitych. Wymagania w odniesieniu do budynków mieszkalnych, ustalone na poziomie optymalnym pod względem kosztów, są natomiast w takich warunkach wyższe w Polsce niż w Niemczech.

Tablica 3. Wartości optymalne wskaźnika zapotrzebowania budynków mieszkalnych na energię do ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej w Polsce i Niemczech (dodatkowo podano wymagania w Polsce obowiązujące od 2017 i 2021 r.)

Rodzaj budynku mieszkalnego	Maksymalne dopuszczalne wartości wskaźników EP_{H+W}, w kWh/(m^2·rok)			**Poziom optymalny EP_{H+W} w Niemczech na podstawie [12], kWh/(m^2·rok)**
	od 1 stycznia 2014 r. (poziom optymalny)	od 1 stycznia 2017 r.	od 1 stycznia 2021 r.	
Jednorodzinny	**120**	95	70	**93**
Wielorodzinny	**105**	85	65	**69**

6. Podsumowanie

Metoda obliczania optymalnego pod względem kosztów poziomu wymagań krajowych w odniesieniu do charakterystyki energetycznej budynków, ustalona w Rozporządzeniu delegowanym Komisji UE nr 244/2012, umożliwia określenie zestawów rozwiązań technicznych, których zastosowanie prowadzi do uzyskania najniższego kosztu całkowitego związanego z zapotrzebowaniem na energię różnych rodzajów budynków. W ocenie nie uwzględnia się natomiast istotnego sprawdzenia, czy i kiedy zwracają się poniesione koszty inwestycyjne uzyskania określonego poziomu charakterystyki energetycznej oraz nie rozpatruje się społecznej możliwości ich poniesienia.

Wprowadzenie konieczności ustanawiania wymagań dotyczących charakterystyki energetycznej budynków według ww. metody kosztowej tworzy mocne sprzężenie z możliwościami technicznymi rynku budowlanego. Zgodnie z Dyrektywą 2010/31/UE wymagania podlegają przeglądowi w regularnych odstępach czasu, nie dłuższych niż pięć lat oraz, w razie potrzeby, są uaktualniane w celu uwzględnienia postępu technicznego w sektorze budowlanym i ewolucji cen wynikającej z innowacji i upowszechniania się technologii.

Różnice w warunkach ekonomicznych w poszczególnych krajach powodują, że nawet przy przyjęciu bardzo zbliżonych zestawów rozwiązań technicznych elementów budynków i ich systemów technicznych uzyskuje się istotnie różne wartości optimum kosztowego wymagań w zakresie maksymalnego wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną, czego przykładem jest porównanie między Polską a Niemcami.

Literatura

1. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/21/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (wersja przekształcona).
2. Hernandez P., Kenny P., 2010. From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings. Energy and Buildings 42.
3. Marszal A.J., i in., 2011. Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies, Energy and Buildings 43.
4. Torcellini P. i in., 2006. Zero Energy Buildings A Critical Look At The Definition, National Renewable Energy Laboratory.
5. Kurnitski J. i in., 2013. REHVA nZEB technical definition and system boundaries for nearly zero energy buildings, REHVA Raport 4.
6. Maldonado E. i in., 2012. Implementing the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) Country Reports.
7. Atanasiu B. i in., 2011. Principles for nearly zero-energy buildings. BPIE Report.
8. Rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady nr 305/2011 z 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych.
9. Ustawa z dnia 29 sierpnia 2014 r. o charakterystyce energetycznej budynków, Dz.U. 2014 poz. 1200.
10. Rozporządzenie Delegowane Komisji UE nr 244/2012, z dnia 16 stycznia 2012 r., uzupełniające dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i ustanawiające ramy metodologii porównawczej do celów obliczania optymalnego pod względem kosztów poziomu wymagań minimalnych dotyczących charakterystyki energetycznej budynków i elementów budynków.
11. Wytyczne uzupełniające rozporządzenie delegowane Komisji (UE) nr 244/2012 z dnia 16 stycznia 2012 r. uzupełniające dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i ustanawiające ramy metodologii porównawczej do celów obliczania optymalnego pod względem kosztów poziomu wymagań minimalnych dotyczących charakterystyki energetycznej budynków i elementów budynków 2012/C 115/01.
12. Sprawozdania krajowe, https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings.

The economic optimum of energy requirements for buildings in Poland

Robert Gerylo

ITB Building Research Institute, e-mail: r.gerylo@itb.pl

Abstract: Directive 2010/31/EU has introduced the necessity for application of requirements to the energy performance of buildings that are set in each Member States at the cost-optimal level. For this purpose the method set out in the Delegated Regulation of the EU Commission No. 244/2012 has been used, which enables the identification of technical solution sets for different types of residential and non-residential buildings and that result in the lowest total cost associated with the energy demand. Differences between national economic conditions are the reason for differences between cost-optimal levels, even assuming very similar sets of technical solutions. The presented example is the comparison between Poland and Germany.

Keywords: energy performance of buildings, economic optimum of energy requirements, total cost, indicator of annual non-renewables prime energy demand

Optimum energetyczno-ekonomiczne rozwiązań instalacyjnych budynków energooszczędnych

Halina Koczyk, Małgorzata Basińska

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska,
e-mail: halina.koczyk@put.poznan.pl, malgorzata.basinska@put.poznan.pl

Streszczenie: W pracy wykorzystano metodę kosztów globalnych do oceny energetycznej wybranych rozwiązań technicznego wyposażenia budynków w zależności od przeznaczenia i funkcji budynku. Do oceny zastosowano metodę kosztów globalnych zawartą w PN-EN 15459 *Charakterystyka energetyczna budynków – Ekonomiczna ocena instalacji energetycznych budynków*. W pracy analizowano całkowity koszt budynku, będący sumą kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych w założonym okresie eksploatacyjnym, dla budynku mieszkalnego 30 lat. Analizie poddano dwa budynki mieszkalne różniące się współczynnikiem kształtu, dla których założono zmienność obudowy i potrzeb wentylacyjnych. Jakość systemów technicznych różnicowano w zależności od standardu energetycznego poprzez podanie współczynników sprawności regulacji i emisji, dystrybucji oraz akumulacji. Dla wszystkich analizowanych wariantów założono zastosowanie czterech systemów dostarczania energii do budynku, opartych na gazowym kotle kondensacyjnym, na cieple sieciowym z kogeneracji, gruntowej pompie ciepła oraz na kotle na biomasę.
Metodą kosztów globalnych wyznaczono optymalny poziom wartości wskaźnika energii pierwotnej w zależności od źródła ciepła, który porównano z obecnie obowiązującymi w Polsce wymaganiami.

Słowa kluczowe: dyrektywa europejska, koszt globalny, budynki mieszkalne, budynki hotelowe

1. Wprowadzenie

Wybór systemu ogrzewania i wentylacji zależy od wielu czynników, z których najważniejsze to:

- przeznaczenie, konstrukcja budynku, wymagania architektoniczne,
- wymagania komfortu cieplnego i technologiczne,
- lokalne warunki zaopatrzenia w ciepło,
- wymagania prawne i ekologiczne,
- wymagania i możliwości finansowe inwestora.

Lokalne warunki dostępności paliw, uzbrojenie terenu i wymagania ekologiczne determinują wybór rodzaju paliwa lub podłączenie do centralnego systemu ciepłowniczego.

Przeznaczenie budynku i jego standard energetyczny decydują o wyborze nośnika ciepła zastosowanego w instalacjach. Do kompleksowego wyboru systemów instalacyjnych w powiązaniu z ochroną cieplną budynku służy metoda kosztów globalnych.

W pracy zaprezentowano podstawowe zależności tej metody wraz z przykładami wyboru rozwiązania dla domów jednorodzinnych.

2. Przykłady rozwiązań instalacji do utrzymania klimatu i c.w.u. w zależności od przeznaczenia i funkcji budynku [1]

Przyjęte rozwiązania instalacyjne zależą od przeznaczenia i wymagań budynku w zakresie utrzymania komfortu klimatycznego. Przy projektowaniu instalacji należy uwzględnić:
- zakres zmian parametrów komfortu cieplnego (sezon grzewczy, sezon chłodzenia),
- wymagania dotyczące jakości powietrza,
- projektowe obciążenie cieplne, zmienność obciążenia w czasie sezonu grzewczego,
- projektowe obciążenie chłodnicze, zmienność obciążenia w czasie sezonu chłodzenia,
- niezbędne projektowe strumienie powietrza wentylacyjnego – jako funkcję gęstości zasiedlenia i czasu użytkowania w ciągu doby (tygodnia),
- profil użytkowania w ciągu doby i tygodnia.

Wyżej wymienione parametry decydują o:
- strukturze układu instalacyjnego, który może obejmować:
  - układ ogrzewania i wentylacji,
  - układ ogrzewania, wentylacji i chłodzenia,
  - klimatyzację;
- wymaganiach dla źródeł ciepła i chłodu;
- wymaganiach dla układów sterowania i regulacji (SAR).

W referacie przedstawiono przykładowe rozwiązania instalacyjne dla energooszczędnych budynków mieszkalnych jednorodzinnych i hotelowych.

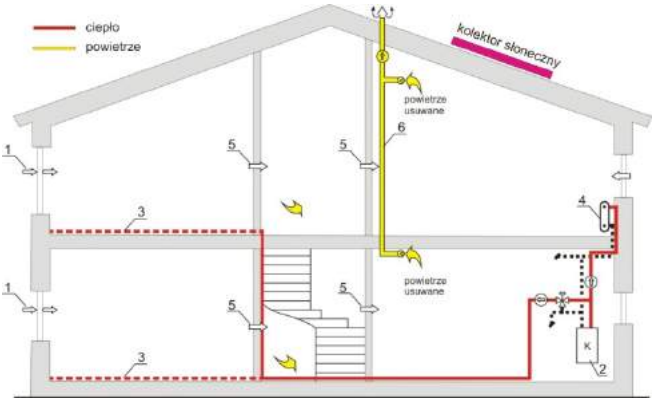
2.1. Domy mieszkalne jednorodzinne

Projektując system ogrzewania i wentylacji należy wziąć pod uwagę wymaganie generalne związane z realizacją dyrektywy europejskiej, a mianowicie wymóg energooszczędności i wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych.
Zoptymalizowane energetycznie rozwiązania układów HVAC dla budynków jednorodzinnych (bez chłodzenia) obejmują:
- ogrzewanie:
  - źródła ciepła: kocioł kondensacyjny, gruntowa pompa ciepła (GPC), kocioł na pelety; wspomagająco kolektory słoneczne w układzie przygotowania c.w.u.,
  - system ogrzewania: płaszczyznowy, grzejnikowy lub mieszany;
- instalacja c.w.u. zasilana przez zasobnik biwalentny (BS), instalacja dla małego budynku bez cyrkulacji, dla rozległego z cyrkulacją;
- wentylacja – mechaniczna wywiewna sterowana według obciążenia, ewentualnie hybrydowa lub nawiewno-wywiewna z wysokosprawnym odzyskiem ciepła (minimum 50 lub 70%); regulowana obciążeniowo, np. w funkcji stężenia CO_2, oraz z wykorzystaniem harmonogramu czasowego, ew. kontrola dostępu; do odzysku ciepła stosowany wymiennik krzyżowo-przeciwprądowy lub obrotowy; opcjonalnie rurowy gruntowy powietrzny wymiennik ciepła (GWC) – uwzględniany w przyjętej sprawności odzysku ciepła.

Wspólnymi cechami rekomendowanych systemów są:
- ogrzewanie niskotemperaturowe podłogowe, ewentualnie grzejnikowe,
- wentylacja – mechaniczna wyłącznie ze zmienną ilością powietrza w funkcji jakości powietrza (CO_2), ewentualnie hybrydowa higrosterowalna (sterowana w funkcji wilgotności powietrza w pomieszczeniu),
- wykorzystanie energii słonecznej – kolektory słoneczne termiczne (KS).

Przykładowe rozwiązania zoptymalizowanych energetycznie systemów HVAC dla budynków jednorodzinnych przedstawiono na rysunkach 1-3.
Na rysunku 1 pokazano system ogrzewania, wentylacji i c.w.u. dla budynku jednorodzinnego z wentylacją mechaniczną wywiewną sterowaną według obciążenia ewentualnie hybrydową. W rozwiązaniu takim dopływ powietrza zewnętrznego jest realizowany za pomocą nawiewników – częściej higrosterowalnych, rzadziej sterowanych różnicą ciśnień po obu stronach nawiewnika; a wywiew za pomocą kratek wywiewnych sterowanych stężeniem CO_2 lub kratek higrosterowalnych. Przepływ powietrza w strefie pośredniej (klatki schodowe, korytarze) zapewniają kratki tranzytowe w ścianach między strefami.

Pozostałe podstawowe komponenty instalacji to:
- ogrzewanie podłogowo-grzejnikowe,
- źródło ciepła – kocioł kondensacyjny,
- kolektory słoneczne – dodatkowe źródło ciepła na cele c.w.u.



1 – nawiewniki higrosterowalne
2 – kocioł kondensacyjny
3 – ogrzewanie podłogowe
4 – grzejnik
5 – otwory transferowe
6 – wentylacja hybrydowa lub mechaniczna wywiewna

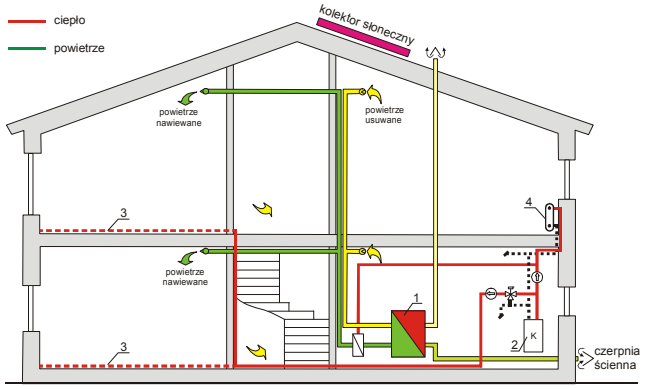
Rys. 1. Budynek jednorodzinny – ogrzewanie podłogowo-konwekcyjne, źródło ciepła na cele c.o. i c.w.u. – kocioł kondensacyjny, wentylacja hybrydowa lub mechaniczna wywiewna

Na rysunku 2 przedstawiono system ogrzewania, wentylacji i c.w.u. dla budynku jednorodzinnego o następującej charakterystyce:
- ogrzewanie podłogowo-grzejnikowe,
- źródło ciepła – kocioł kondensacyjny,
- kolektory słoneczne – dodatkowe źródło ciepła dla przygotowania c.w.u.,
- wentylacja mechaniczna nawiewno-wywiewna z wysokosprawnym odzyskiem ciepła opartym na rekuperatorze (WRG) w centrali,

Rysunek 3 przedstawia system ogrzewania, wentylacji i c.w.u. dla budynku jednorodzinnego o charakterystyce:
- ogrzewanie podłogowo-grzejnikowe,
- źródło ciepła – pompa ciepła z sondami pionowymi jako źródłem dolnym,
- kolektory słoneczne – dodatkowe źródło ciepła dla przygotowania c.w.u.,
- wentylacja mechaniczna z wysokosprawnym odzyskiem ciepła (GWC i WRG).

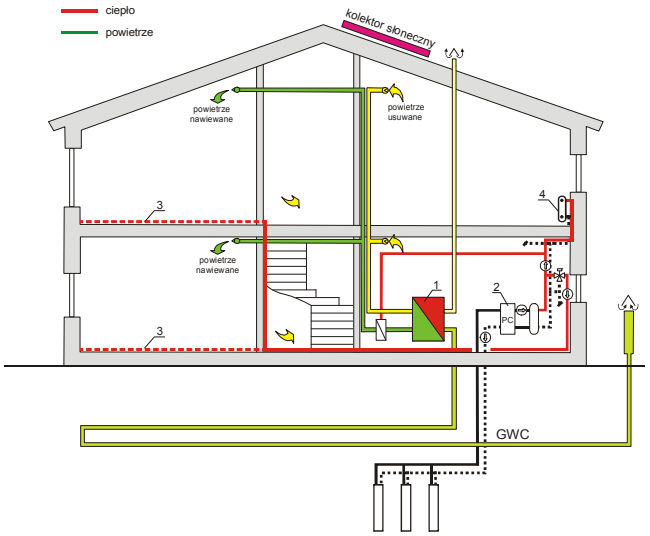
W opcji z wymiennikiem gruntowym (GWC) uzyskuje się dodatkowo możliwość umiarkowanego chłodzenia pomieszczeń budynku w okresie letnim.
W rozwiązaniach instalacji wentylacji dominują rozwiązania instalacji nawiewno-wywiewnej z wysokosprawnym odzyskiem ciepła o współczynniku efektywności $\geq 70\%$

z regulacją według obciążenia np. w funkcji stężenia CO_2, oraz z wykorzystaniem harmonogramu czasowego. Do odzysku ciepła jest stosowany wymiennik krzyżowo-przeciwprądowy (WRG), opcjonalnie z powietrznym rurowym gruntowym wymiennikiem ciepła (GWC).



1 – centrala wentylacyjna z odzyskiem
2 – kocioł kondensacyjny
3 – ogrzewanie podłogowe
4 – grzejnik

Rys. 2. Budynek jednorodzinny – ogrzewanie podłogowo-konwekcyjne, źródło ciepła na cele c.o. i c.w.u. – kocioł kondensacyjny, wentylacja mechaniczna nawiewno-wywiewna z odzyskiem ciepła



1 – centrala wentylacyjna z odzyskiem
2 – pompa ciepła
3 – ogrzewanie podłogowe
4 – grzejnik

Rys. 3. Budynek jednorodzinny – ogrzewanie podłogowo-konwekcyjne, źródło ciepła na cele c.o. i c.w.u. – pompa ciepła, wentylacja mechaniczna nawiewno-wywiewna z odzyskiem ciepła (rekuperator w centrali WRG oraz gruntowy wymiennik ciepła GWC)

Rozwiązania układów dla budynków jednorodzinnych z modułem chłodzenia obejmują zastosowanie chłodzenia w wybranych pomieszczeniach, najczęściej z uzyciem klimatyzatorów lokalnych w systemie „split", lub chłodzenia centralnego z wykorzystaniem chłodu z gruntu – pasywne źródło chłodu lub gruntowa pompa ciepła (GPC)

2.2. Budynki hotelowe

Odmienna sytuacja będzie występować w budynkach hotelowych, zwłaszcza o wyższym standardzie, gdzie układy klimatyzacyjne są standardem.
Zoptymalizowane energetycznie rozwiązania układów HVAC dla budynków hotelowych klimatyzowanych z restauracją obejmują:

- ogrzewanie:
  - źródła ciepła: kocioł kondensacyjny, gruntowa pompa ciepła (GPC), kolektor słoneczny,
  - system ogrzewania:
    moduł pokoju hotelowego:
    - grzejniki (sprzężone z klimakonwektorem indukcyjnym 2-rurowym),
    - klimakonwektor indukcyjny w systemie 4-rurowym,

    restauracja (kawiarnia): grzejniki,
    sale konferencyjne: grzejniki;
- chłodzenie:
  - źródła chłodu: agregat wody chłodzącej, pompa ciepła sprzężona z wymiennikiem chłodzenia pasywnego,
  - system chłodzenia:
    moduł pokoju hotelowego:
    - klimakonwektor indukcyjny w systemie 2-rurowym (sprzężony z grzejnikiem),
    - klimakonwektor indukcyjny w systemie 4-rurowym,

    restauracja (kawiarnia):
    - system powietrzny ze zmienną ilością powietrza (VAV), bilans powietrza sprzężony z wentylacją kuchni

    sale konferencyjne:
    - system powietrzny ze zmienną ilością powietrza (VAV);
- wentylacja:
  moduły pokoi hotelowych:
  - system powietrzny – powietrze pierwotne do klimakonwektorów indukcyjnych, zmienna ilość powietrza (VAV) w funkcji zajętości pokoi hotelowych, centrale z wysokosprawnym odzyskiem ciepła (WRG),

  restauracja (kawiarnia):
  - oddzielne centrale z wysokosprawnym odzyskiem ciepła (WRG) dla sali konsumpcyjnej i zaplecza kuchennego,
  - zmienna ilość powietrza dla sali konsumpcyjnej (VAV) w funkcji jakości powietrza i temperatury dla funkcji chłodzenia, centrale z wysokosprawnym odzyskiem ciepła (WRG).

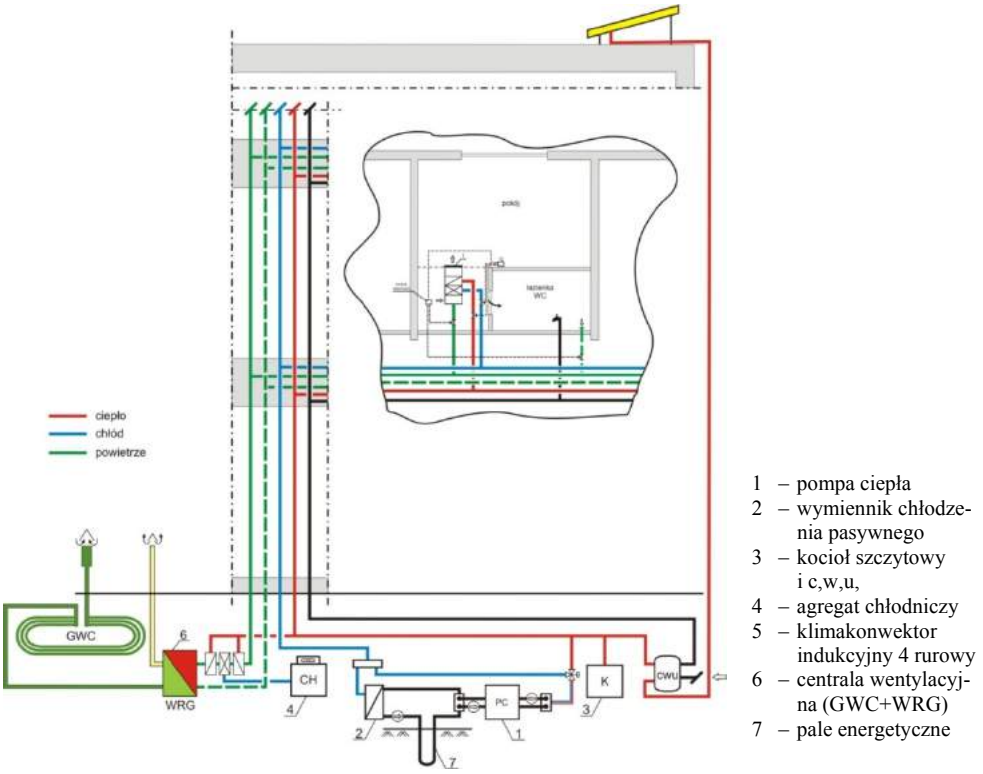
Rekomendowane rozwiązania dla modułów mieszkalnych z chłodzeniem w budynkach hotelowych obejmują dwa rozwiązania podstawowe:

- układ z grzejnikiem konwekcyjnym dla ogrzewania i klimakonwektorem indukcyjnym (wentylatorowym) w systemie 2-rurowym – dla chłodzenia,
- układ z klimakonwektorem indukcyjnym (wentylatorowym) w systemie 4-rurowym – dla chłodzenia i ogrzewania.

W obydwu przypadkach klimakonwektor może być zastąpiony belką chłodzącą lub sufitem chłodzącym.
Przykładowy system HVAC w standardzie ultra-niskoenergetycznym dla budynku hotelowego przedstawiono na rysunku 4.

Głównymi elementami tego systemu są:

- źródła ciepła:
  - pompa ciepła współpracująca z sondami gruntowymi (dolne źródło ciepła),
  - kolektory słoneczne,
  - kocioł rezerwowy i c.w.u.;
- źródła chłodu:
  - wymiennik chłodzenia pasywnego z sondami gruntowymi w obiegu,
  - agregat wody lodowej dla chłodnicy w centrali wentylacyjnej (funkcja osuszania);
- system w pomieszczeniach: ogrzewanie i chłodzenie klimakonwektorami indukcyjnymi lub wentylatorowymi w systemie 4-rurowym;
- wentylacja: GWC i WRG.



Rys. 4. System HVAC dla budynku hotelowego – część mieszkalna, standard ultra-niskoenergetyczny

Rozwiązania SAR dla budynków hotelowych mogą być zbliżone do stosowanych w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych lub w budynkach użyteczności publicznej. System sterowania w tych budynkach powinien uwzględniać zajętość pokoi hotelowych i otrzymane informacje o działaniach użytkowników wpływających na znaczne zużycie energii – np. otwarcie okna w sezonie grzewczym i w okresie letnim (okres chłodzenia) przekazywać do elementów wykonawczych. W zależności od klasy hotelu, w takiej sytuacji SAR, aby wpłynąć na zachowanie użytkownika, może np. zatrzymać dopływ ciepła lub chłodu do urządzeń w pomieszczeniu.

3. Metoda optymalnych kosztów globalnych dla budynku wraz z systemami technicznymi

Ogólne założenia do obliczeń zgodne są z metodyką kosztów optymalnych zawartą w dokumentach roboczych uzupełniających przekształconą Dyrektywę w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (Dyrektywa 2010/31/EU tzw. Recast EPBD) [2]. Koszty globalne budynków i ich elementów, w tym instalacji, obliczone są jako zsumowanie początkowych kosztów inwestycyjnych oraz zdyskontowanych rocznych kosztów eksploatacyjnych (obejmujących koszty energii, utrzymania, operacyjne i ewentualnie dodatkowe) w okresie obliczeniowym. W odniesieniu do roku początkowego uwzględniają początkowe koszty inwestycyjne oraz zdyskontowane w okresie obliczeniowym roczne koszty eksploatacyjne pomniejszone o wartość końcową każdego z uwzględnianych komponentów. Podstawową zależność na koszt globalny w odniesieniu do roku początkowego przedstawia zależność (1).

$$C_G(\tau) = C_{in,inv} + \sum_{j=1}^{j_x}\left[\sum_{i=1}^{\tau}\left(\mathrm{C_{a,i}(j)}\cdot R_d(i)\right) - V_{f,\tau}(j)\right] \tag{1}$$

Metoda kosztów globalnych dla ustalenia wymagań charakterystyki energetycznej dla budynków różnego przeznaczenia była wykorzystywana i przedstawiona m.in. w pracach [3-5].
W analizie uwzględnia się wartość pieniądza w czasie opisaną roczną stopą inflacji R_i oraz rynkową stopą procentową WIBOR.

3.1. Założenia początkowe do metody kosztów globalnych

W obliczeniach kosztów globalnych przyjęto następujące założenia ogólne:

- Koszty początkowe inwestycji (w roku zerowym) określono według stanu na I kwartał 2012 roku [6].
- Koszty eksploatacyjne wyznaczono jako sumę kosztów utrzymania i operacyjnych (ustalonych kwotowo), kosztów energii według aktualnych taryf, a także periodycznych kosztów likwidacji.
- Czas życia oraz ewentualny koszt utylizacji poszczególnych elementów budynków i systemów technicznych przyjęto według Aneksu A do normy PN-EN 15459:2007 [7].
- Okres analizy dla budynków mieszkalnych założono na poziomie 30 lat.
- Parametry makroekonomiczne: inflacja – 0,5%, WIBOR – 3,0%, wzrost cen energii w czasie równy inflacji.

3.2. Opis analizowanych budynków

Analizę przypadku przeprowadzono dla dwóch typów budynków jednorodzinnych. Pierwszy w zabudowie wolnostojącej o powierzchni ogrzewanej A_f = 164 m^2 oraz o współczynniku kształtu na poziomie A/V = 0,67 oznaczony jako **Bud_A**. Budynek drugi (**Bud_B**) to budynek sześcio-segmentowy o współczynniku kształtu A/V =0,45, w każdym z segmentów układ funkcjonalny przyjęto jak w budynku Bud_A.

3.3. Opis wariantów technicznych

W analizie uwzględniono cztery różne poziomy standardów izolacyjnych zgodnie z wymogami obowiązującymi w Polsce w 2013 roku [8] – wariant **SEB**, kończąc na wariancie **VLEB**, które odpowiadają jakości izolacji budynków niskoenergetycznych. W tabeli 1 przedstawiono zestawienie współczynników przenikania ciepła przegród budow-

lanych, udział mostków termicznych i szczelności budynku w zależności od wariantu. Różne poziomy szczelności znajdują odzwierciedlenie w kosztach inwestycyjnych. Założono, że wariant **SEB*** jest wariantem o 15% korzystniejszym w odniesieniu do wariantu **SEB**.

Tabela 1. Współczynnik przenikania ciepła przegród budowlanych, udział mostków termicznych oraz szczelności budynku w zależności od standardu energetycznego

Warianty	współczynnik U, $W/m^2/K$						mostki cieplne, %	szczelność, n_{50}, h^{-1}
	ściana	podłoga na gruncie	dach	drzwi	okno(1)			
SEB	0,30	0,45	0,25	2,60	1,80	0,70	15	3,0
SEB*	0,25	0,35	0,20	1,80	1,30	0,60	15	3,0
LEB	0,20	0,30	0,16	1,80	1,30	0,60	10	3,0
VLEB	0,15	0,20	0,12	1,30	0,90	0,55	5	1,0

(1) współczynnik przepuszczalności promieniowania słonecznego

W ramach prowadzonych analiz przewidziano następujące warianty układów wentylacyjnych:

- **W1** naturalna (dla wentylacji naturalnej nie brano pod uwagę infiltracji),
- **W2** hybrydowa realizowana przez higrosterowane kanały wentylacyjne,
- **W3** mechaniczna wywiewna,
- **W4** mechaniczna nawiewno-wywiewna w zależności od obciążenia, odzysk ciepła 50%,
- **W5** mechaniczna nawiewno-wywiewna w zależności od obciążenia, odzysk ciepła 70%.

Dla wszystkich analizowanych wariantów założono zastosowanie czterech systemów dostarczania energii do budynku opartych na kotle kondensacyjnymgazowym (wariant **GCB**), na cieple sieciowymz kogeneracji (wariant **DH**), gruntowej pompie ciepła (wariant **GHP**) oraz na kotle na biomasę (wariant **PB**).W tabeli 2 przedstawiono sprawności oraz współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii (lub energii) końcowej do ocenianego budynku dla analizowanych źródeł.

Tabela 2. Sprawności oraz współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej dla analizowanych wariantów i źródeł

Warianty	Współczynnik emisji [%]							η_d [%]	$\eta_{H,g}$ [%]	$\eta_{W,g}$ [%]	w_i
	TW_1	**TW_2**	**TW_3**	**TW_4**	**TW_5**	**TW_6**	**TW_7**				
	SEB W1	SEB* W2	LEB W3	LEB W4	VLEB W4	VLEB W5	VLEB W5				
GCB	93	95	98	98	99	99	99	95	96	90	1.1
DH	93	95	98	98	99	99	99	95	91	92	0.8
GHP	93	95	98	98	99	99	99	95	340	320	3.0
PB	93	95	95	95	99	99	99	95	72	72	0.2

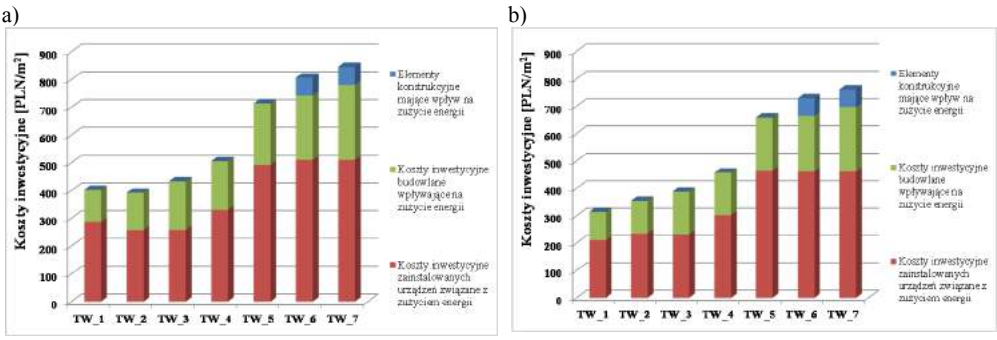
Wariant TW_7 (tab. 2) jest wariantem, dla którego uzyskano wartość energii użytkowej dla budynku na poziomie Q_U = 15 $kWh/m^2/a$ odpowiadającym budynkom pasywnym. Energię użytkową na cele ogrzewania i wentylacji $Q_{H,nd}$ obliczono zgodnie z rozporządzeniem [9].

3.4. Koszty inwestycyjne

Jednostkowe koszty przyporządkowano do poszczególnych kategorii, do których zaliczono:

- elementy konstrukcyjne wpływające na zużycie energii – rolety przeciwsłoneczne,
- koszty inwestycyjne zainstalowanych urządzeń związane z zużyciem energii – kominy, źródło ciepła, instalacje centralnego ogrzewania, przygotowania ciepłej wody oraz wentylacji,
- koszty inwestycyjne budowlane wpływające na zużycie energii – okna, izolacja cieplna,
- koszty inwestycyjne budowlane – bryła budynku, instalacja wodno-kanalizacyjna, gazowa i elektryczna.

Na rysunku 5 przedstawiono, przykładowo dla kotłowni gazowej, jednostkowe koszty budowlane dla analizowanych budynków w zależności od wariantu. Na wykresie nie uwzględniono kosztów inwestycyjnych budowlanych, które dla budynku **Bud_A** kształtowały się na poziomie 1788 PLN/m^2, a dla **Bud_B** – 1676 PLN/m^2.



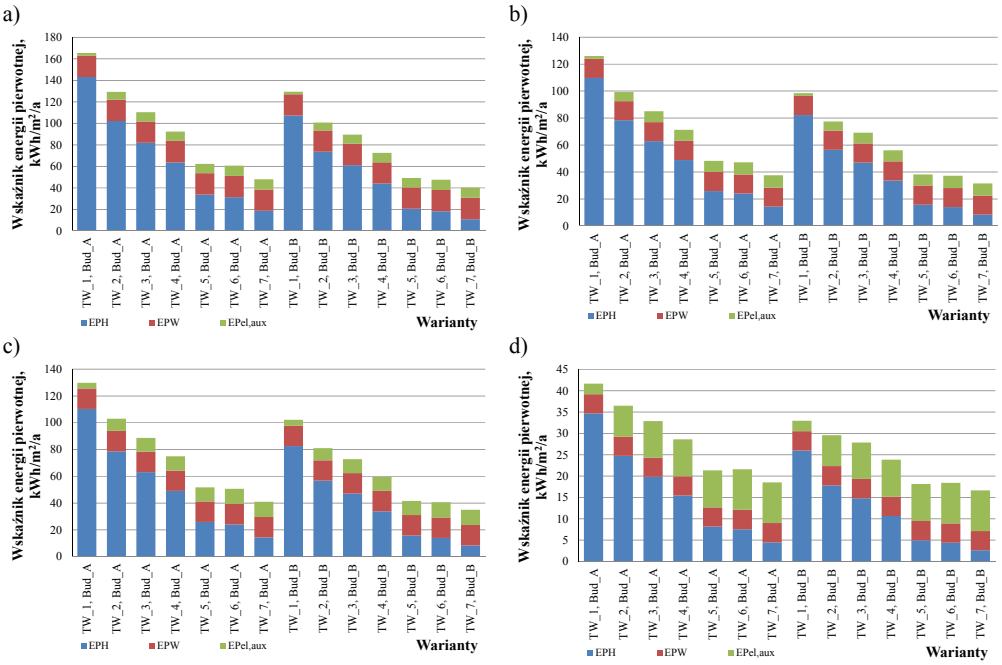
Rys. 5. Jednostkowe koszty budowlane dla analizowanych budynków, kotłownia gazowa w PLN/m^2: a) Bud_A , b) Bud_B

4. Wybór rozwiązań według kryterium optymalnego kosztu globalnego

4.1. Energia pierwotna

W zależności od analizowanych wariantów, zakres wartości wskaźnika energii pierwotnej na potrzeby ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody dla analizowanych źródeł ciepła zawiera się w granicach zgodnych z rysunkiem 6. Dla każdego z budynków wartość energii pierwotnej na cele przygotowania ciepłej wody jest stała niezależnie od analizowanego wariantu (EP_w = 19,9 kWh/m^2/a).

Wartości energii pierwotnej maleją wraz z obniżeniem współczynnika kształtu budynku. Poprawa obudowy budynku oraz kontrola nad nawiewanym powietrzem do budynku sprowadza się do obniżenia wskaźnika energii pierwotnej dla budynków. Dla kotłowni gazowej – budynek Bud_A o 71%, budynek Bud_B o 69%. Niskie wartości energii pierwotnej dla kotła na biomasę wynikają z przyjmowanego do analiz współczynnika nakładu dla warunków polskich na poziomie w_H = 0,2.



Rys. 6. Zmienność wskaźnika energii pierwotnej dla analizowanych budynków i różnych źródeł ciepła w kWh/m^2/a: a) GCB, b) DH, c) GHP d) PB

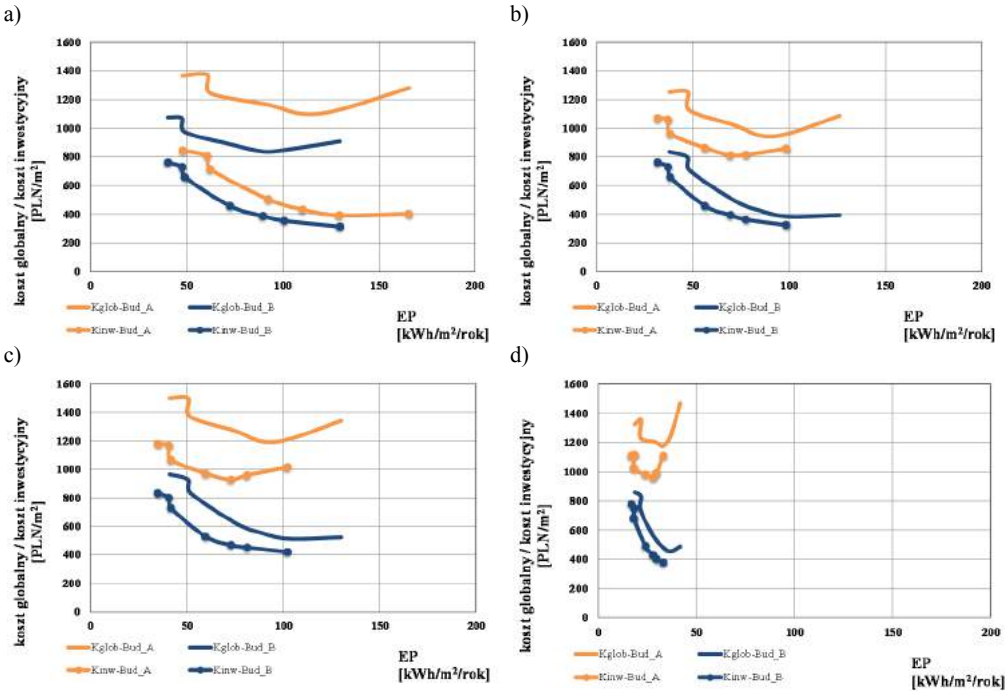
4.2. Optimum wskaźnika energii pierwotnej

Wykorzystując metodę kosztów globalnych w oparciu o 7 punktów zmienności wskaźnika energii pierwotnej (TW_1 do TW_7), dla każdego budynku i analizowanego źródła ciepła,wyznaczono optymalny poziom wskaźnika energii pierwotnej EP_{opt} (rys. 7).
Z osiągnięciem minimum kosztów globalnych związane jest zmniejszenie wskaźnika EP w stosunku do obowiązujących w 2013 roku wymagań cieplnych w Polsce średnio o 27,3%. Koszty inwestycyjne budowlane nie wpływają na położenie punktu minimum.
W zależności od zastosowanego źródła ciepła w budynku ulega zmianie optymalny, pod względem kosztów globalnych, punkt EP_{opt}; najniższą wartość osiąga dla kotłowni na biomasę, najwyższą – dla najczęściej stosowanego w Polsce w nowych kotłowniach rozwiązania opartego na kotle gazowym. Różnica w kosztach globalnych pomiędzy źródłami w budynku wynika głównie z kosztów źródła ciepła oraz kosztów energii. W przypadku kotłowni na biomasę uwzględniono dodatkowo koszty obsługi. Wartości EP_{opt} maleją wraz z obniżeniem współczynnika kształtu budynku.

W tabeli 3 podsumowano wyznaczony metodą kosztów globalnych optymalny poziom wskaźnika energii pierwotnej dla analizowanych budynków i źródeł ciepła.

Tabela 3. Optymalny poziom wskaźnika energii pierwotnej dla analizowanych budynków i źródeł ciepła

Budynek	EP_{opt}			
	GCB	DH	GHP	PB
Bud_A	114,0	89,6	93,8	32,6
Bud_B	92,2	72,0	73,3	27,8



Rys. 7. Zmienność kosztów globalnych dla analizowanych budynków i różnych źródeł ciepła w kWh/m^2/a; a) GCB, b) DH, c) GHP d) PB

4.3. Podsumowanie

Obecnie obowiązujące przepisy podają dopuszczalną wartość energii pierwotnej na cele ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody [8] dla budynku jednorodzinnego na poziomie – 120 kWh/m^2/a – dla budynku wielorodzinnego – 105 kWh/m^2/a. Polski rząd wprowadził program dochodzenia do wymagań cieplnych standardu niskoenergetycznego stopniowo zmniejszając dopuszczalne wskaźniki energii pierwotnej w odniesieniu do roku 2014 o 20% w roku 2017 oraz o 40% w 2021. Z przeprowadzonej analizy wynika, że osiągnięcie wymagań w przyszłości będzie jedynie możliwe poprzez działania nie tylko po stronie obudowy cieplnej budynku, ale zwłaszcza po stronie kontroli przepływu powietrza w budynku oraz wyborze źródła ciepła opartego na odnawialnych źródłach energii.

Literatura

1. Strategiczny projekt badawczy pt.: Zintegrowany system zmniejszenia eksploatacyjnej energochłonności budynków. Zadanie badawcze: Opracowanie optymalnych energetycznie typowych rozwiązań strukturalno-materiałowych i instalacyjnych budynków. Zleceniodawca NCBiR. Nr umowy: SP/B/2/76638/10. Warszawa – Poznań, 2010-2013.
2. The recast of the Energy Performance of Buildings Directive 2010/31/UE of 19 May 2010.
3. Pikas E., Thalfeldt M., Kurnitski J., 2014. Cost optimal and nearly zero energy building solutions for office buildings. Energy and Buildings 74, 30-42.
4. Kurnitski J., Saari A., Kalamees T., Vuolle M., Niemela J., Tark T., 2011. Cost optimal and nearly zero (nZEB) energy performance calculations for residential buildings with REHVA definition for nZEB national implementation. Energy and Buildings 43, 3279-3288.

5. Kurnitski J., Saari A., Kalamees T., Vuolle M., Niemelä J., Tark T., 2013. Cost optimal and nearly zero energy performance requirements for buildings in Estonia. Estonian Journal of Engineering 19(3), 183-202.
6. Biuletyn cen obiektów – BCO. Sekocenbud I kwartał 2012.
7. PN-EN 15459:2007 Charakterystyka energetyczna budynków – Ekonomiczna ocean instalacji energetycznych w budynkach. Warszawa.
8. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, 2013. Dz.U. poz. 926.
9. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej, 2008. Dz.U. nr 201, poz. 1240.

Energy and economy optimum for installation solutions in energy-efficient buildings

HalinaKoczyk[1], Małgorzata Basińska[2]

Faculty of Civil and Environmental Engineering, Poznan University of Technology
e-mail: halina.koczyk@put.poznan.pl, e-mail: malgorzata.basinska@put.poznan.pl

Abstract: The article describes a global cost method to assess selected solutions of building technical equipment depending on the intended use and function of a building. The global cost method included in PN-EN 15459 "Energy performance of buildings – Economic evaluation procedure for energy systems in buildings" has been used for assessment. The paper analyzes the total cost of a building as the sum of investment and operating costs within the prescribed period of 30 years for a residential building. Two residential buildings of different form factor have been analyzed. Housing variations and ventilation needs has been assumed. The quality of technical systems has been diversified depending on the energy standard by defining the efficiency factors of adjustment and emission, distribution and accumulation. For all analyzed variants the following four systems of delivering energy to the building based on the following have been assumed: gas condensing boiler, network cogeneration heat, geothermal heat pump and biomass fired boiler.
The global cost method has been used to determine the optimal level of primary heat energy based on heat source. The level has been compared to current requirements in Poland.

Keywords: European Union directive, global cost methodology, residential buildings, hotel buildings

Wpływ pasywnych systemów solarnych w energooszczędnych budynkach użyteczności publicznej na komfort wizualny użytkowników

Henryk Nowak, Łukasz Nowak, Elżbieta Śliwińska

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wrocławska,
e-mail: henryk.nowak@pwr.edu.pl, lukasz.nowak@pwr.edu.pl, elzbieta.sliwinska@pwr.edu.pl

Streszczenie: W budynkach użyteczności publicznej, o dużym stopniu przeszklenia elewacji, bilans rocznych zysków słonecznych może być kształtowany poprzez zastosowanie różnego rodzaju konstrukcji zacieniających, w tym nadwieszeń poziomych nad oknami. Można również zastosować zestawy szyb zespolonych o odpowiednio dobranych charakterystykach radiacyjnych, np. szyb z powłokami spektralnie selektywnymi. Oba te elementy, oprócz oczywistego wpływu na roczny bilans cieplny budynku, wpływają również znacząco na parametry mikroklimatu pomieszczeń i komfort cieplny oraz wizualny użytkowników. W artykule przedstawiono wybrane wyniki badań i obliczeń wpływu poziomych nadwieszeń zacieniających oraz wpływu szyb okiennych z odpowiednimi powłokami spektralnie selektywnymi na komfort wizualny użytkowników.

Słowa kluczowe: budynki użyteczności publicznej, słoneczne systemy pasywne, nadwieszenia zacieniające, radiacyjne właściwości zestawów szyb, komfort wizualny

1. Wprowadzenie

Przeszklona część elewacji jest jednym z elementów mających największy wpływ na kształtowanie rocznego bilansu cieplnego budynku oraz komfortu cieplnego i wizualnego użytkowników. Jedną z możliwości kształtowania bilansu zysków słonecznych budynku w ciągu roku jest zastosowanie różnego rodzaju konstrukcji zacieniających. Są to głównie nadwieszenia poziome [1], skrzydła zacieniające (elementy pionowe przy oknach) oraz żaluzje stałe bądź regulowane. Konstrukcje zacieniające mają bardzo duży wpływ na ilość energii promieniowania słonecznego docierającego do pomieszczeń, na roczny bilans cieplny budynku [2-4] oraz na komfort cieplny [5, 6] i wizualny. Kształtowanie rocznego bilansu cieplnego budynków o dużym stopniu przeszklenia może być również realizowane poprzez zastosowanie zestawów szyb zespolonych o odpowiednio dobranych charakterystykach radiacyjnych, które uzyskuje się przez pokrywanie szyb specjalnymi powłokami spektralnie selektywnymi lub przez barwienie szyb w masie.

Zarówno zewnętrzne konstrukcje zacieniające, jak i szyby z odpowiednimi właściwościami radiacyjnymi, oprócz oczywistego wpływu na roczny bilans cieplny budynku, wpływają również znacząco na parametry mikroklimatu pomieszczeń i komfort cieplny oraz wizualny użytkowników.

W pracy przedstawiono wybrane wyniki badań oraz analizy obliczeniowej wpływu poziomych nadwieszeń zacieniających oraz szyb okiennych z odpowiednimi powłokami spektralnie selektywnymi na komfort wizualny użytkowników.

2. Opis badań

Prowadzone badania dotyczyły różnych aspektów wpływu pasywnych systemów wykorzystania energii słonecznej w budynkach użyteczności publicznej, w związku z czym opis badań wymagał doprecyzowania poszczególnych rodzajów badań symulacyjnych i doświadczalnych.

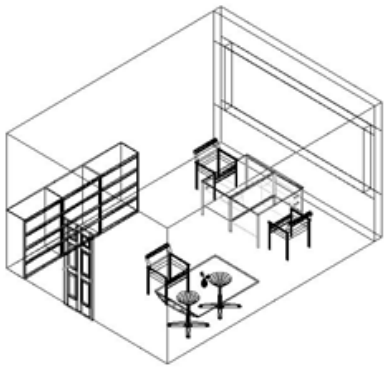
2.1. Symulacje komputerowe natężenia oświetlenia światłem dziennym w pomieszczeniu z nadwieszeniami horyzontalnymi

Do symulacji w programie Desktop Radiance przyjęto zorientowane na południe pomieszczenie biurowe (rys. 1) w budynku nieosłoniętym przez inne budynki i zlokalizowanym we Wrocławiu (współrzędne geograficzne: 51º07' N, 17º02' E). Wymiary podstawy pomieszczenia wynoszą 6,0 x 4,5 m i są oparte na siatce projektowej 1,5 x 1,5 m, która jest standardową siatką stosowaną w planowaniu pomieszczeń biurowych. Wysokość kondygnacji wynosi 3,2 m. Ściany pomieszczenia pokryto farbą o współczynniku odbicia światła 0,71. Współczynnik odbicia światła dla farby sufitu wynosi 0,86, zaś dla materiału podłogi 0,17.

Okno o wysokości 1,5 m wykonano ze szkła niebarwionego o współczynniku przepuszczalności światła 0,88 i współczynniku odbicia światła 0,08. W oknie zastosowano zestaw dwóch szyb o grubości 6 mm każda odsuniętych od siebie o 12 mm. W zależności od wariantów symulacji okno było niezacienione lub wyposażone w nadwieszenie zacieniające.

W celu określenia wartości natężenia oświetlenia światłem dziennym w pomieszczeniu konieczne było umiejscowienie w analizowanym pomieszczeniu siatki wirtualnych czujników na wysokości 1,00 m, aby mierzyć natężenie światła w miejscu pracy (na tzw. płaszczyźnie roboczej). Symulacje wykonano dla czterech dni roku: 21 marca, 22 czerwca, 23 września i 22 grudnia. Obliczeń dokonywano w kroku godzinnym. Średni roczny współczynnik zmętnienia atmosfery (ang. *turbidity factor*) dla miasta w klimacie umiarkowanym przyjęto na poziomie 3,75.

Do analizy przyjęto trzy typy zachmurzenia nieboskłonu: bezchmurny, częściowo zachmurzony i całkowicie zachmurzony oraz badano wpływ stanu zachmurzenia na wartość i rozkład natężenia światła dziennego w zależności od analizowanej pory roku.



Rys. 1. Widok aksonometryczny analizowanego pomieszczenia

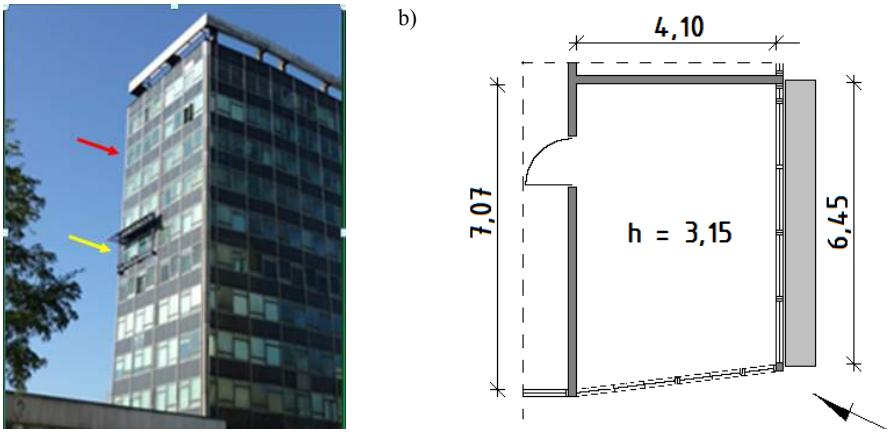
Do pracy w pomieszczeniach biurowych wymagany poziom natężenia oświetlenia światłem dziennym wynosi 500 lx. Przy mniejszym natężeniu oświetlenia konieczne jest używanie światła sztucznego. Powszechnie wiadomo, biorąc pod uwagę komfort wizualny użytkowników budynku, że najzdrowszym rodzajem oświetlenia jest właśnie światło

dzienne. Powinno się więc dążyć do możliwie maksymalnego wykorzystania naturalnego oświetlenia budynków. Należy jednak pamiętać, że zbyt duże natężenie oświetlenia wnętrz powoduje ”olśnienie” (oślepianie) użytkowników, co pogarsza ich komfort wizualny, a w konsekwencji obniża się wydajność ich pracy.

2.2. Pomiary natężenia światła dziennego w pomieszczeniu z nadwieszeniem zacieniającym

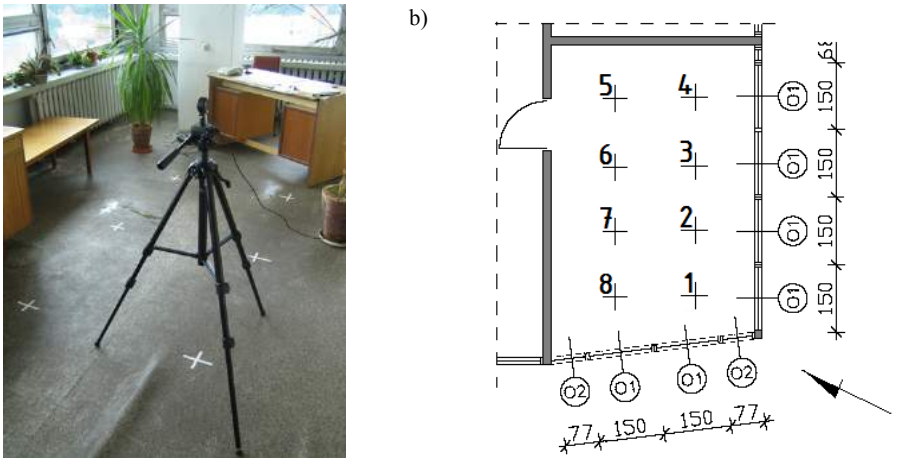
Pomiary wpływu nadwieszenia zacinającego zrealizowano w budynku Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej. Do pomiarów wytypowano dwa bliźniacze pokoje położone na VI i IX piętrze w południowo-zachodniej części budynku (rys. 2a).

a) b)



Rys. 2. Pomiary komfortu wizualnego: a) lokalizacja pomieszczeń: górna strzałka – pomieszczenie referencyjne, dolna strzałka – pomieszczenie zacienione, b) rzut pomieszczenia z wymiarami, szary prostokąt od kierunku SE to położenie nadwieszenia w pomieszczeniu na VI piętrze

a) b)



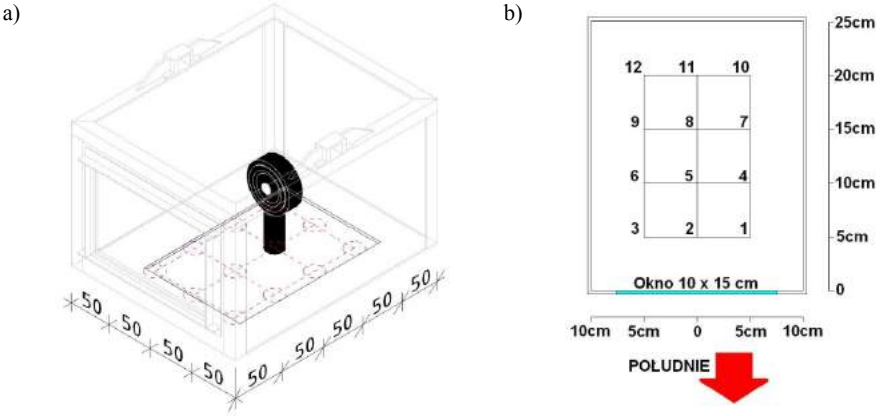
Rys. 3. Pomiary natężenia światła dziennego w pomieszczeniu: a) stanowisko pomiarowe – statyw z głowicą G.L.100, b) punkty pomiarowe

Południowa i zachodnia fasada w obu tych pomieszczeniach jest mocno przeszklona. Oba pomieszczenia, o układzie jak na rysunku 2b, mają powierzchnię 21,3 m^2 oraz kubaturę 67,1 m^3. Część przezierna (około 70% powierzchni) fasady budynku stanowiły okna aluminiowe z podwójnymi szybami o gr. 5 mm, z przestrzenią międzyszybową o szer. 12 mm wypełnioną powietrzem. W jednym z tych pomieszczeń – na VI piętrze – została zamocowana od strony południowej nadwieszona konstrukcja zacieniająca, wydatnie zmniejszająca penetrację słońca w okresie letnim, a drugie pomieszczenie na IX piętrze pełniło funkcję referencyjną.

Pomiary przeprowadzono za pomocą luksomierza Sonopan L-100 z głowicą fotometryczną G.L-100 umieszczoną na statywie (rys. 3a), wykonując pomiary co godzinę w tak samo rozmieszczonych punktach w obu pomieszczeniach (rys. 3b).

2.3. Pomiary natężenia światła dziennego w zależności od rodzaju przeszklenia

Pomiary natężenia światła dziennego w pomieszczeniu wykonano na modelu pomieszczenia ze względu na trudność wymiany przeszklenia w rzeczywistym budynku. Analizowany model pomieszczenia składał się z obudowy o wymiarach 250 x 200 x 150 mm (rys. 4a), w której dno miało system przesuwnych płytek umożliwiających zmianę położenia głowicy fotometrycznej G. L-100 (rys. 4b). Analizowane punkty pomiarowe przedstawiono na rysunku 3. Obudowa była skonstruowana tak, aby nie było możliwości dostania się przypadkowych strumieni światła do wnętrza obudowy. Od strony frontowej wykonano otwór, który wokół posiadał prowadnice umożliwiające zamontowanie szyby o wymiarach 100 x 150 mm, co przekładało się na stopień przeszklenia równy 50%. Przed każdymi pomiarami wyznaczano ustawienie obudowy przeszkloną elewacją prostopadle do kierunku południa za pomocą kompasu oraz poziomowano obudowę.



Rys. 4. Pomiary natężenia światła dziennego w modelu pomieszczenia: a) widok na wnętrze modelu pomieszczenia z głowicą pomiarową G.L.100, b) punkty pomiarowe

Pomiary prowadzono dla dwóch warunków nasłonecznienia: dla nieba bezchmurnego oraz całkowicie zachmurzonego. Dla każdej próbki wykonano pomiary w 12. punktach wewnątrz obudowy, co pozwoliło na zbudowanie siatki punktów i umożliwiło wykonanie wykresu powierzchniowego. Wszystkie sesje pomiarowe zaczynano od pomiaru referen-

cyjnego dla powietrza, czyli pomiar, gdy w miejscu otworu okiennego nie było żadnej próbki. W pomiarach przeanalizowano szyby bezbarwne, barwione bez powłok, barwione z powłokami refleksyjnymi oraz szybę bezbarwną ze szkła matowego. Wartości współczynnika przepuszczalności światła dziennego LT zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Rodzaje analizowanych szyb w pomiarach natężenia światła dziennego w modelu pomieszczenia

Lp.	Opis szyby	Współczynnik przepuszczalności światła dziennego LT [-]
1	pomiar referencyjny – otwór okienny bez szyby	1,000
2	bezbarwna, zwykła	0,890
3	zielona, zwykła	0,790
4	brązowa, zwykła	0,620
5	szara, zwykła	0,570
6	niebieska, powłoka refleksyjna od zewnątrz	0,410
7	brązowa, powłoka refleksyjna od zewnątrz	0,220
8	grafit, powłoka refleksyjna od zewnątrz	0,190
9	bezbarwna, powierzchnia matowa od zewnątrz	b.d.

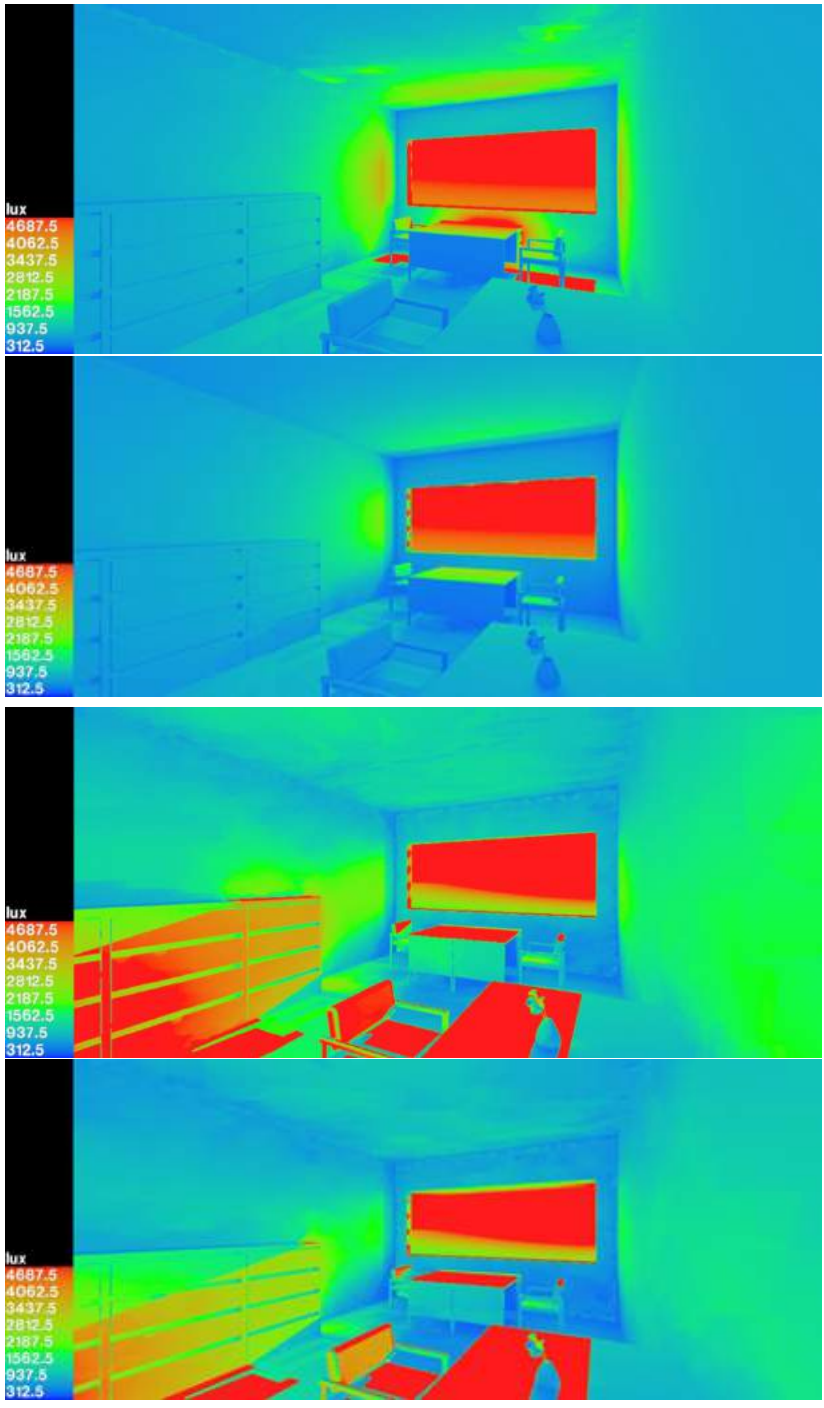
3. Wyniki badań

3.1. Natężenie światła dziennego a nadwieszenia zacieniające

Wartości zbyt wysokiego natężenia światła dziennego w pomieszczeniu, mogące prowadzić do tzw. „olśnienia" (oślepienia) użytkowników budynku, mogą być w pewnym stopniu regulowane za pomocą odpowiedniego wysięgu nadwieszeń horyzontalnych lub jego odległości od górnej krawędzi okna. Wizualizacje symulacji rozkładu natężenia światła dziennego, przy bezchmurnym nieboskłonie, w pomieszczeniu biurowym o orientacji południowej niezacienionym i zacienionym nadwieszeniem o wysięgu 1,00 m i odległości od okna 0,20 m przedstawiają rysunki 5a i 5b (22 czerwca) oraz 5c i 5d (22 grudnia).

Warunki oświetlenia światłem dziennym w pomieszczeniu niezacienionym przy najwyższych położeniach słońca – w dniu 22 czerwca (rys. 5a) obrazują, że mamy do czynienia z dużą iluminacją w części pomieszczenia przyległej do okna (promieniowanie bezpośrednie) oraz jednolitymi, komfortowymi warunkami oświetlenia światłem dziennym w bardziej oddalonej od okna części pokoju. Zastosowanie nadwieszenia zacieniającego w sposób znaczący zmienia charakter rozkładu iluminacji w pomieszczeniu (rys. 5b). Promieniowanie bezpośrednie jest zredukowane do zera, czego efektem jest niemal jednolity rozkład natężenia światła dziennego w analizowanym pomieszczeniu.

Przy najniższych położeniach słońca – w dniu 22 grudnia (rys. 5c) w pomieszczeniu występuje bardzo wysoki poziom iluminacji związany z dużą strefą odbierającą promieniowanie bezpośrednie w głębiej położonej części pokoju. Strefa ta jest zdecydowanie mocniej oświetlona od strefy położonej przy oknie. Zastosowanie nadwieszenia (rys. 5d) nie wprowadza żadnych istotnych zmian w rozkładzie i wartościach natężenia światła dziennego w pomieszczeniu. Nadwieszenie nie jest w stanie zablokować promieniowania bezpośredniego emitowanego przez nisko położoną tarczę słoneczną. Można zauważyć jedynie nieznaczne osłabienie natężenia oświetlenia światłem dziennym, zwłaszcza na bocznych ścianach analizowanego pomieszczenia.

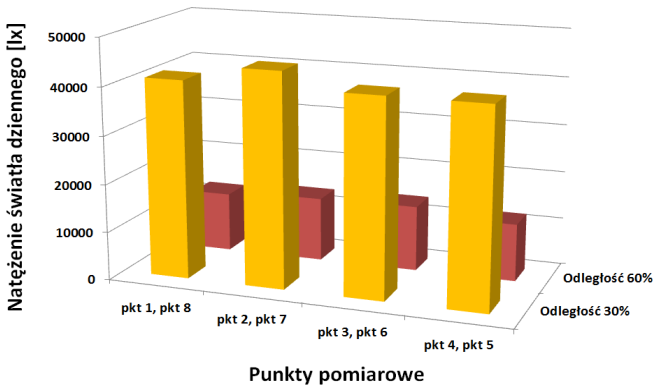


Rys. 5. Wpływ nadwieszenia zacieniającego na rozkład natężenia światła dziennego w pomieszczeniu biurowym o godz. 12:00: a) 22 czerwca, bez zacienienia, b) 22 czerwca, z nadwieszeniem, c) 22 grudnia, bez zacienienia, d) 22 grudnia, z nadwieszeniem

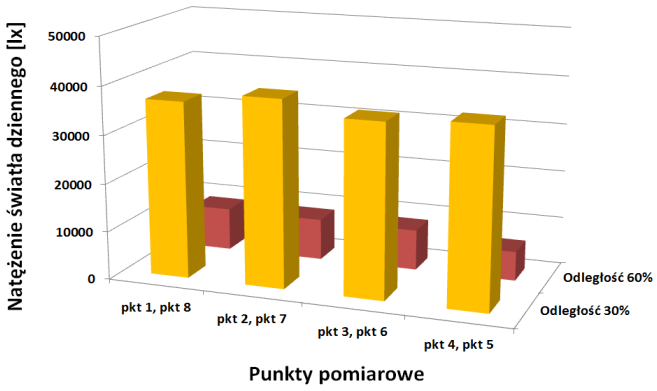
Przeprowadzone pomiary natężenia światła dziennego w pomieszczeniu zacienionym nadwieszeniem horyzontalnym oraz referencyjnym, niezacienionym pozwoliły na uzupełnienie wniosków uzyskanych z symulacji.

W pomieszczeniu bez nadwieszenia zacieniającego wyraźniej pojawia się zjawisko tzw. pasa przyokiennego (rys. 6a i 7a), w którym obserwuje się dużo większe wartości natężenia światła niż w położonych dalej od okna częściach pomieszczenia. W pomiarach zanotowano średnio 2,5-krotnie większe wartości natężenia światła w pasie przyokiennym niż w pozostałej części pomieszczenia. W związku z tym stanowiska pracy ulokowane w pasie przyokiennym od strony południowej mogą być narażone na zbyt duże natężenie światła, które może skutkować dyskomfortem wizualnym użytkowników. Istotną poprawą takiej sytuacji może być zastosowanie nadwieszenia zacieniającego, które poprzez ograniczenie nadmiaru promieniowania bezpośredniego niweluje efekt pasa przyokiennego (rys. 6b i 7b). Gdy słońce jest nisko (rys. 6a, b), nadwieszenie jako element geometryczny działa zdecydowanie słabiej. W pomiarach o godz. 9:00, przy czystym niebie, nadwieszenie ograniczyło ilość światła dziennego w pasie przyokiennym (punkty 1-4) tylko o 12%, a w dalszej części pomieszczenia o 38% (punkty 5-8).

a)

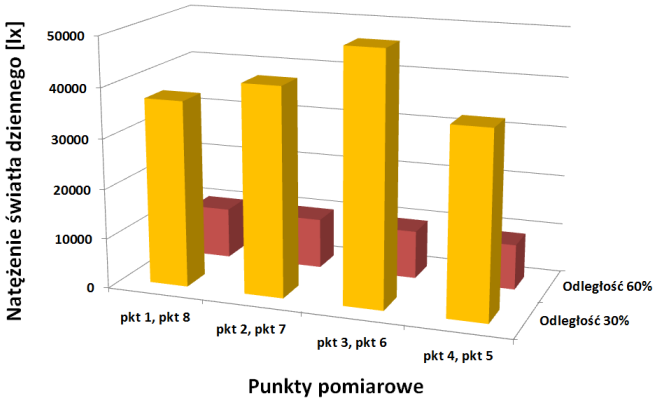


b)

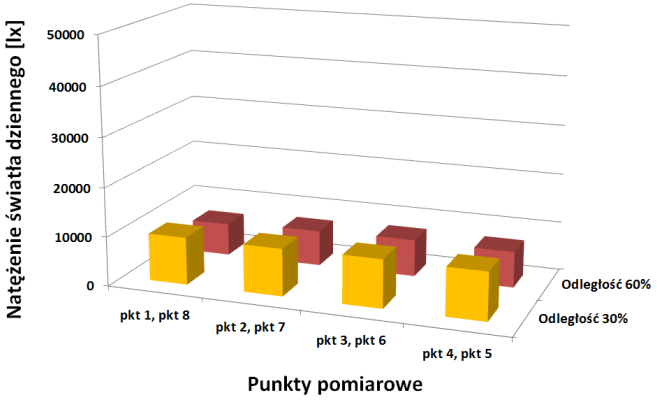


Rys. 6. Wpływ nadwieszenia zacieniającego na natężenie oświetlenia światłem dziennym pomieszczenia biurowego w dniu 23 września o godz. 9:00, pomiary przy bezchmurnym nieboskłonie; na wykresach pokazano są wartości natężenia światła dziennego w pomieszczeniu: a) bez zacienienia, b) z nadwieszeniem

a)



b)



Rys. 7. Wpływ nadwieszenia zacieniającego na natężenie oświetlenia światłem dziennym pomieszczenia biurowego w dniu 23 września o godz. 12:00, pomiary przy bezchmurnym nieboskłonie, na wykresach przedstawione są wartości natężenia światła dziennego w pomieszczeniach: a) bez zacienienia, b) z nadwieszeniem

Warto jednak zauważyć, że zastosowanie nadwieszenia zacieniającego wyraźnie redukuje wartości natężenia światła dziennego w pomieszczeniu w stosunku do pomieszczenia referencyjnego w okresie dnia około południa, gdy słońce jest wysoko nad horyzontem (rys. 7b). Wtedy jego wpływ na ograniczenie ilości światła dziennego w pasie przyokiennym (punkty 1-4) wynosi aż 77%, a w dalszej części pomieszczenia mniej, bo około 26% (punkty 5-8).

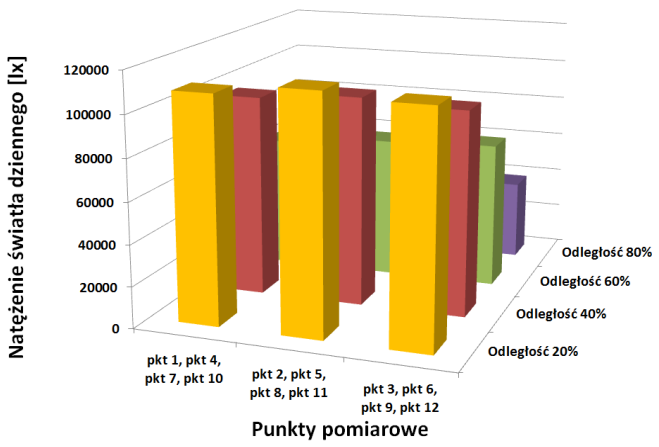
3.2. Natężenie światła dziennego a radiacyjne charakterystyki szyb

Przedstawione na rysunku 8 wykresy pokazują pomierzone wartości natężenia oświetlenia światłem dziennym, przy bezchmurnym nieboskłonie, w modelu pomieszczenia, o godzinie 12:00, dla czterech wybranych analizowanych typów szyb (pomiar referencyjny, szyba bezbarwna, szyba zabarwiona w masie na kolor szary z powłoką refleksyjną przeciwsłoneczną i szyba matowa). Widać na wykresach, że kiedy słońce jest w jednym ze swoich najwyższych położeń, rozkład natężenia staje się praktycznie symetryczny.

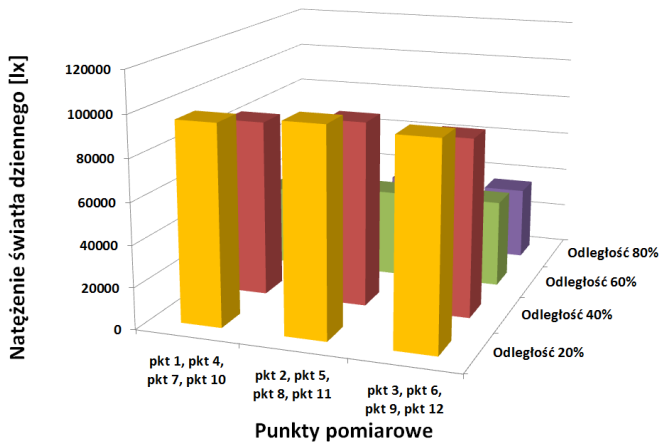
Warto zauważyć, że zastosowanie różnych szyb wyraźnie różnicuje wartości natężenia światła dziennego w pomieszczeniu w stosunku do pomieszczenia referencyjnego. Wpływ rodzaju przeszklenia na ograniczenie ilości światła dziennego w pasie przyokiennym (punkty pomiarowe 1-3) jest na poziomie od 13% dla szyby bezbarwnej, do nawet około 79% dla szyby szarej przeciwsłonecznej. Natomiast dla najgłębszej części pomieszczenia wynosi od 8% dla szyby bezbarwnej do około 77% dla szyby szarej przeciwsłonecznej (punkty 10-12).

Zastosowanie szkła matowego w oknie może wynikać nie tylko z potrzeby uzyskania prywatności w danym pomieszczeniu, ale również, jak pokazują wyniki analiz, może być bardzo przydatne przy rozpraszaniu promieniowania słonecznego tak, aby uzyskać większą równomierność oświetlenia wnętrza światłem dziennym. Większa równomierność jest związana z niższymi wartościami natężenia w małej odległości od okna oraz większymi w części dalej położonej w porównaniu z szybami przeziernymi. Skutki zastosowania szkła matowego w celu poprawy równomierności oświetlenia pomieszczenia światłem dziennym są zauważalne głównie w warunkach czystego nieba – są wyraźnie wyższe wartości natężenia światła dziennego w głębi pomieszczenia (rys. 8a, b i d, odległość 80%).

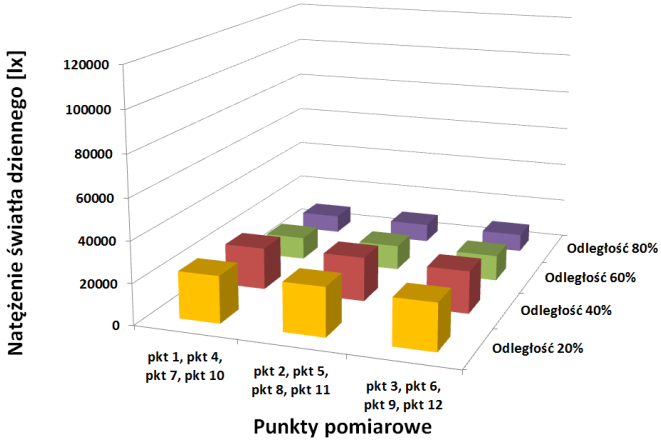
a)



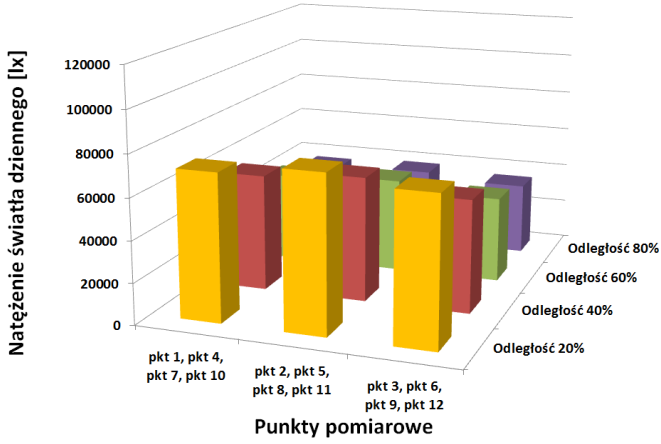
b)



c)



d)

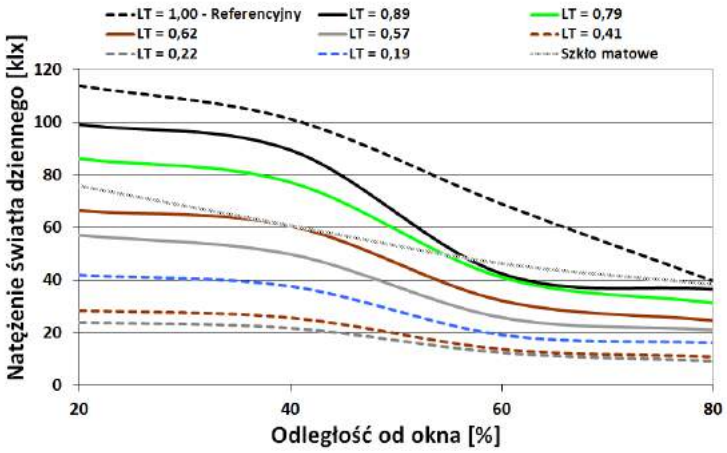


Rys. 8. Wpływ radiacyjnych charakterystyk szyb na wartości natężenia oświetlenia światłem dziennym pomieszczenia biurowego w dniu 10 lutego o godz. 12:00; na wykresach przedstawione są wartości natężenia światła dziennego w modelu pomieszczenia: a) pomiar referencyjny, b) szyba o LT = 0,89, c) szyba o LT = 0,19, d) szyba matowa

Jego wpływ na ograniczenie ilości światła dziennego w pasie przyokiennym (punkty 1-3) jest na poziomie 35% czyli więcej niż dla szyby brązowej o LT = 0,62 (rys. 9, odległość od okna 20%), a dla najgłębszej części pomieszczenia jest to tylko 5% (punkty 10-12). Oznacza to, że ilość światła dziennego w głębi pomieszczenia, przy zastosowaniu szyby matowej, jest praktycznie porównywalna z pomiarem referencyjnym (bez szyby) (rys. 9, odległość od okna 80%).

Przedstawiony na rysunku 9 wykres dotyczy natężenia światła widzialnego padającego na płaszczyznę pionową w funkcji odległości od płaszczyzny okna w godz. 12:00 słonecznego dnia o bezchmurnym niebie.

Przedstawione wyniki dotyczą pomiarów w osi modelu pomieszczenia (punkty 2, 5, 8 i 11). Zmieniając rodzaj szyby, otrzymujemy w efekcie różną ilość światła dziennego w pomieszczeniu, jednak jego rozkład jest dokładnie zależny od wartości współczynnika LT. Również im większa odległość miejsca od okna, tym mniej światła dziennego do niego dociera.



Rys. 9. Zależność natężenia światła dziennego w pomieszczeniu w zależności od odległości od okna. Pomiar wykonany o godz. 12:00 przy bezchmurnym nieboskłonie

Ciekawą właściwością charakteryzuje się szkło matowe (próbka 9), które wskutek praktycznie całkowitego rozproszenia padającego na okno promieniowania słonecznego powoduje lepsze doświetlenie dalszej części pomieszczenia, a rozkład natężenia światła w funkcji odległości od okna maleje prawie liniowo. W związku z czym można powiedzieć, że szkło matowe pozwala zredukować zjawisko zbyt dużych wartości natężenia światła dziennego w pasie przyokiennym oraz pozwala na lepsze doświetlenie dalszej części pomieszczenia dzięki rozpraszaniu padającego promieniowania słonecznego.

4. Podsumowanie

Komfort wizualny, podobnie jak komfort cieplny i akustyczny, jest jednym z ważniejszych elementów użytkowych i funkcjonalnych z punktu widzenia użytkowników budynków i innych obiektów budowlanych. Warunki oświetleniowe wywierają istotny wpływ na szybkość i dokładność wykonywania danej czynności oraz na zdrowie ludzi. Komfort wizualny, jak można się było spodziewać, zależy od wielu parametrów i jest wielkością subiektywną.

Dla dobrej praktyki oświetlenia istotne jest, aby obok wymaganych poziomów natężenia oświetlenia, spełnione były inne jakościowe i ilościowe potrzeby ludzi. Wymagania oświetleniowe wynikają z uwzględnienia trzech podstawowych potrzeb człowieka:

- wygody widzenia, przy której pracownicy (użytkownicy) mają dobre samopoczucie; wpływa to również pośrednio na wzrost wydajności pracy,
- wydolności wzrokowej, przy której pracownicy są w stanie wykonywać zadania wzrokowe, nawet w trudnych warunkach i w wydłużonym czasie,
- bezpieczeństwa.

Dla komfortu wizualnego dobór przesłon przeciwsłonecznych, nie tylko nadwieszeń, powinno się rozpatrywać na podstawie takich kryteriów, jak: przezroczystość, zapewnienie prywatności w nocy, poziom kontaktu wzrokowego z otoczeniem zewnętrznym, zapobieganie olśnieniu, użycie światła dziennego czy zapewnienie naturalności kolorów.

Prezentowane badania naukowe wykonano w ramach projektu „Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa i trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju" w ramach pakietu tematycznego: „PT 7. Oszczędność energii i problemy zrównoważonego rozwoju w budownictwie i tematu badawczego „TB 7.2. Metoda oceny budynków użyteczności publicznej z pasywnymi systemami wykorzystania energii słonecznej pod kątem oszczędności energii oraz komfortu cieplnego i wizualnego ludzi" współfinansowanego przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka. Projekt realizowano w latach 2010-2014.

Literatura

1 Wlodarczyk D., Nowak H., 2009. A simple method of determining the influence of the overhang on windows solar gains. Eleventh International IBPSA Conference Glasgow, Scotland, 27-30th July, 1617-1622.
2 Nowak H., Nowak Ł., Śliwińska E., Staniec M., 2014. TB 7.2 Metoda oceny budynków użyteczności publicznej z pasywnymi systemami wykorzystania energii słonecznej pod kątem oszczędności energii oraz komfortu cieplnego i wizualnego ludzi. Raport końcowy, Raporty PWroc., Ser. SPR 5.
3 Ourghi R., Al.-Anzi A., Krarti M.A., 2007. A simplified analysis method to predict the impact of shape on annual energy use for office buildings. Energy Conversion & Management 48, 300-305.
4 Nowak H., Nowak Ł., Śliwińska E., Staniec M., 2013. Effect of horizontal overhangs and glazing with spectral radiative properties on annual thermal balance of the building and thermal comfort. [W:] Contributions to building physics: Proceedings of the 2nd Central European Symposium on Building Physics, 9-11th September, Vienna, Austria, ed. by A. Mahdavi, B. Martens. Vienna: Vienna University of Technology, 767-774, Wiedeń.
5 Śliwińska E., Nowak H., Nowak Ł., Staniec M., 2012. Wpływ konstrukcji zaciemniającej na komfort cieplny ludzi w budynkach o dużym stopniu przeszklenia, Czasopismo Techniczne – Budownictwo 109(3), 2-B, 415-422.
6 Lai A.C.K., Mui K.W., Wong L.T., Law, L.Y., 2009. An evaluation model for indoor environmental quality (IEQ) acceptance in residential buildings. Energy and Buildings 41, 930-936.

The impact of passive solar systems in low-energy public buildings on the visual comfort of users

Henryk Nowak, Łukasz Nowak, Elżbieta Śliwińska

[1] Faculty of Civil Engineering, Wroclaw University of Technology,
e-mail: henryk.nowak@pwr.edu.pl,lukasz.nowak@pwr.edu.pl, elzbieta.sliwinska@pwr.edu.pl

Abstract: The annual solar gains in public buildings with a large percentage of glazing can be shaped with different kind of shading construction, including horizontal overhangs over the windows. Glazing with a special coating of spectral radiation properties can be also applied. Both these elements in addition to the obvious impact on the annual heat balance of a building also affect the microclimate parameters and the thermal and visual comfort of users. The paper presents selected results of the research and the analysis of the influence of horizontal overhangs and glazing with special spectral radiation properties on visual comfort.

Keywords: public buildings, passive solar systems, shading overhangs, radiation properties of glazing, visual comfort

Wielokryterialna ocena zrównoważonego rozwoju w budownictwie oraz efektywności energetycznej budynków

Konrad Witczak[1,2], Dariusz Gawin[2]

[1] Rockwool Polska sp. z.o.o,

[2] Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Politechnika Łódzka,
e-mail: konrad.witczak@p.lodz.pl, dariusz.gawin@p.lodz.pl

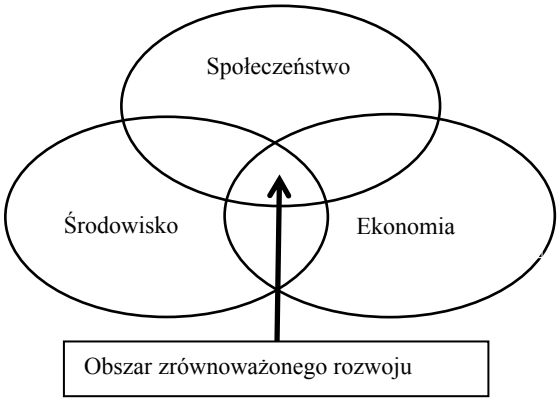
Streszczenie: W pracy przedstawiono zakres norm dotyczących oceny zrównoważonego rozwoju w budownictwie, opracowywanych przez Komitet Techniczny CEN/TC 350 „Sustainability of constructionworks". Omówiono wskaźniki stosowane do oceny budynków w trzech podstawowych obszarach rozwoju zrównoważonego, tj. aspekcie ekonomicznym, społecznym i środowiskowym. Szerzej opisano wskaźniki służące ocenie efektywności energetycznej budynków z punktu widzenia norm dotyczących rozwoju zrównoważonego budynków, jak również projektu normy określającej m.in. wymagania stawiane budynkom odpowiadającym tzw. standardowi nZEB (ang. *nearly zero energybuildings*).

Słowa kluczowe: rozwój zrównoważony budynków, efektywność energetyczna budynków, ocena cyklu życia budynków

1. Wprowadzenie

W okresie ostatnich kilku lat w sektorze budownictwa komercyjnego w Polsce i na świecie bardzo popularnymi stały się wielokryterialne systemy oceny środowiskowej budynków, jak np. LEED, BREEAM czy DGNB. Do chwili obecnej opracowano już kilkanaście takich systemów oceny budynków. Jedne kraje tworzyły własne systemy od podstaw, inne adoptowały do swoich lokalnych warunków dobrze znane i rozwinięte systemy już istniejące. Tak duża liczba systemów oceny środowiskowej oraz zróżnicowane i liczne kryteria przez nie stosowane, pozwalają na sformułowanie wniosku, że nie istnieje jeden idealny system oceny, a uzyskanie przez dany budynek oceny bardzo dobrej w jednym systemie nie oznacza automatycznie uzyskania porównywalnej oceny w innym systemie. Z pewnością dobrą cechą omawianych systemów jest to, że starają się one uporządkować i skwantyfikować szereg zagadnień związanych ze zrównoważonym rozwojem w budownictwie i pokazują, że projektowanie budynków zgodnych z tym paradygmatem nie jest rzeczą ani łatwą, ani oczywistą. Proces projektowania budynków, ukierunkowany na uzyskanie wysokiej oceny w jednym z wielokryterialnych systemów oceny środowiskowej, wymaga od projektantów podejścia holistycznego, gdyż często poprawiając jeden aspekt oceny, np. związany z efektywnością energetyczną budynku, możemy równocześnie pogorszyć parametry oceny związane z jakością środowiska wewnętrznego. Wymusza to projektowanie budynków przez wieloosobowe zespoły fachowców, reprezentujących różne branże, już od wczesnych fazach prac nad samą koncepcją obiektu.

Obok licznie występujących komercyjnych systemów oceny budynków, w ramach prac komitetów technicznych Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego CEN (fr. *Comité Européen de Normalisation*) powstają także normy europejskie, związane z wdrażaniem zasad zrównoważonego rozwoju w budownictwie.



Rys. 1. Filary zrównoważonego rozwoju

Opracowaniem podstawowego zakresu norm, służącego ocenie wpływu budynków na trzy grupy zagadnień, stanowiących filary zrównoważonego rozwoju, tj.: środowiskowych, społecznych i ekonomicznych, zajmuje się Komitet Techniczny CEN/TC 350 „Zrównoważony rozwój w budownictwie" (ang. *Sustainability of construction works*). W Polsce, tzw. komitetem lustrzanym CEN/TC 350 jest KT PKN 307 ds. Zrównoważonego Budownictwa. Samo pojęcie zrównoważonego rozwoju jest bardzo ogólne i obszerne, przez co dotyczy wielu aspektów, na które wpływ mają budowle inżynierskie, a wśród nich budynki. Przede wszystkim zestaw opracowywanych norm definiuje rozwój zrównoważony jako umiejętność znalezienia części wspólnej pomiędzy trzema obszarami, mianowicie: ekonomii, środowiska naturalnego oraz społeczeństwa (rys 1). Dlatego też, szereg dokumentów opracowywanych przez CEN/TC 350 ma charakter porządkowy, pozwalający na odnalezienie się projektantowi w mnogości parametrów określających wpływ budynku na trzy ww. grupy zagadnień. Należy zauważyć, że ten ogólny schemat rozwoju zrównoważonego może dotyczyć wielu dziedzin działalności człowieka, nie tylko samego budownictwa. Znalezienie obszaru wspólnego, łączącego te trzy zróżnicowane aspekty, oznacza dążenie do projektowania budynku, który byłby w jak najmniejszym stopniu uciążliwy dla środowiska naturalnego, w jak największym stopniu spełniał oczekiwania użytkowników od strony komfortu przebywania w takim budynku, przy jak najmniejszych kosztach ekonomicznych podczas całego cyklu życia (istnienia) budynku. Co warte podkreślenia, normy te, w przeciwieństwie do wspomnianych we wstępie systemów oceny, nie narzucają hierarchii poszczególnych kryteriów, nie wprowadzają współczynników wagowych pomiędzy nimi, ani nie wprowadzają metody oceny budynku sprowadzającej się do wyznaczenia jednego, końcowego wskaźnika obejmującego *de facto* kilkadziesiąt różnych parametrów. Normy w uporządkowany sposób, w ramach trzech ww. filarów rozwoju zrównoważonego, przedstawiają szereg parametrów, które należy wziąć pod uwagę podczas projektowania budynku mającego spełniać kryteria zrównoważonego rozwoju.

W związku z tym podstawowy podział norm jaki proponuje CEN/TC 350 to ich usystematyzowanie w trzech w/w filarach (tab. 1). Dodatkowo wprowadzono także podział na stopień uszczegółowienia, który może dotyczyć zarówno pojedynczych wyrobów, jak i całych budynków. Do chwili obecnej ten drugi sposób podziału (tj. wg poziomu uszczegółowienia)wprowadzony został odpowiednimi normami w filarze dotyczącym zagrożeń środowiskowych. Praca dotyczy przede wszystkim oceny spełnienia kryteriów zrównowa-

żonego rozwoju na poziomie całego budynku, tzw. „poziomu budynku". Skupia się więc na trzech normach:

1) w ramach oceny wpływu budynku na środowisko naturalne: PN – EN 15978 „Zrównoważone obiekty budowlane – Ocena środowiskowych właściwości użytkowych budynków – Metoda obliczania" [1],

2) w ramach oceny wpływu budynków na komfort ich użytkowników („ocena społeczna"): PN – EN 16309 „Zrównoważoność obiektów budowlanych. Ocena socjalnych właściwości użytkowych – Metoda obliczania" [2] (do polskiej normalizacji wprowadzono, jako odpowiednik angielskiego terminu „sustainability", nie najlepiej brzmiące w języku polskim, pojęcia tzw. „zrównoważoności" budownictwa, obiektu, wyrobu itp., które będą stosowane w dalszej części pracy, pomimo zastrzeżeń Autorów co do jego językowej poprawności),

3) w filarze ekonomicznym (aktualnie projekt normy): prPN-EN 16627 „Zrównoważoność obiektów budowlanych – Ocena ekonomicznych właściwości budynków" [3].

Tabela 1. Podział wybranych norm dotyczących oceny kryteriów zrównoważonego rozwoju przez obiekty budowlane

	OCENA ŚRODOWISKOWA	**OCENA SPOŁECZNA**	**OCENA EKONOMICZNA**
Ramy metodyczne	PN-EN 15643 – 1 Zrównoważoność obiektów budowlanych – Ocena zrównoważoności budynków – Część 1: Zasady ogólne		
	PN EN 15643 – 2 Zrównoważone obiekty budowlane – Ocena budynków – Część 2: Zasady oceny właściwości środowiskowych	PN EN 15643 – 3 Zrównoważone obiekty budowlane – Ocena budynków – Część 3: Postanowienia dotyczące oceny socjalnych właściwości użytkowych	PN EN 15643 – 4 Ocena budynków – postanowienia dotyczące właściwości ekonomicznych
POZIOM BUDYNKU	**PN - EN 15978 Zrównoważone obiekty budowlane - Ocena środowiskowych właściwości użytkowych budynków – Metoda obliczania**	**PN - EN 16309 Zrównoważoność obiektów budowlanych - Ocena socjalnych właściwości użytkowych budynków – Metoda obliczania**	**prEN 16627 Zrównoważoność obiektów budowlanych - Ocena ekonomicznych właściwości budynków – Metoda obliczania**
Poziom wyrobu	PN EN 15804 Zrównoważoność obiektów budowlanych – Deklaracje środowiskowe wyrobów – Podstawowe zasady kategoryzacji wyrobów budowlanych		

2. Etapy cyklu życia budynku

Zgodnie z założeniami przyjętymi przez w/w normy, ocenę cech ekonomicznych i środowiskowych obiektów budowlanych należy przeprowadzić w całym cyklu życia (istnienia) tychże obiektów. W języku angielskim podejście to określa się jako *„from cradle to grave"*(„od kołyski do grobu"). Normy służące do oceny socjalnych właściwości użytkowych obejmują obecnie fazę użytkowania budynku. W przypadku oceny właściwości środowiskowych w cyklu życia budynku mówi się o metodzie LCA (*ang. Life Cycle*

Assessment), natomiast w przypadku oceny właściwości ekonomicznych obiektów budowlanych mówimy o metodzie LCC (*ang. Life Cycle Costing*). Więcej na temat zakresu tych dwóch metod (LCA, LCC) napisano w dalszej części publikacji, która dotyczy norm PN – EN 15978 i prEN 16627. W celu uporządkowania pojęć związanych z metodami LCA i LCC oraz ułatwienia przeprowadzania oceny tymi metodami, omawiane normy dzielą cykl życia budynku na cztery podstawowe etapy:

1) etap produkcji wyrobów (fazy A1 – A3), zwany także etapem „od kołyski do bramy", (*ang. „from cradle to gate"*),
2) etap budowy (fazy A4 – A5),
3) etap użytkowania (fazy B1 – B7),
4) etap końca życia (fazy C1 – C4).

Na każdy z wymienionych wyżej czterech etapów składa się z kilka faz (tab. 2).

Tabela 2. Podstawowe fazy cyklu życia budynku występujące w ocenach LCA i LCC

<table>
<tr><th colspan="14">Informacje o ocenie budynku</th></tr>
<tr><th colspan="13">Cykl życia budynku</th><th rowspan="2">Informacje uzupełniające poza cyklem życia budynku</th></tr>
<tr><th colspan="3">Etap wyrobu</th><th colspan="2">Etap budowy</th><th colspan="5">Etap użytkowania</th><th colspan="4">Etap końca życia</th></tr>
<tr><td>A1</td><td>A2</td><td>A3</td><td>A4</td><td>A5</td><td>B1</td><td>B2</td><td>B3</td><td>B4</td><td>B5</td><td>C1</td><td>C2</td><td>C3</td><td>C4</td><td>D</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Dostawa surowców</td><td rowspan="3">Transport</td><td rowspan="3">Wytwarzanie</td><td rowspan="3">Transport</td><td rowspan="3">Proces budowy instalacji</td><td rowspan="2">Użytkowanie</td><td rowspan="2">Konserwacja</td><td rowspan="2">Naprawa</td><td rowspan="2">Wymiana</td><td rowspan="2">Renowacja</td><td rowspan="3">Rozbiórka</td><td rowspan="3">Transport</td><td rowspan="3">Przetwarzanie odpadów</td><td rowspan="3">Usuwanie odpadów</td><td rowspan="3">Korzyści i obciążenia poza granicą systemu</td></tr>
<tr><td colspan="5">B6 Zużycie energii w fazie użytkowania</td></tr>
<tr><td colspan="5">B7 Zużycie wody w fazie użytkowania</td></tr>
</table>

Przedstawiony wyżej podział cyklu życia budynku jest bardzo ogólny i zawiera minimalny zakres etapów, dla których należy przedstawić wyniki obliczeń wpływu budynku na środowisko (ocena LCA) oraz obliczeń ekonomicznych (ocena LCC). Samo wykonanie obliczeń zgodnych z podejściem LCA lub LCC dla danego produktu, usługi, budynku, wymaga już znacznie dokładniejszego zapoznania się z technologią jego produkcji, wznoszenia i funkcjonowania, a także zdefiniowania w ramach tych technologii tzw. procesów jednostkowych, ich granic oraz strumieni energii i masy (np. odpady, woda, emisja zanieczyszczeń, itd.) na granicy tychże procesów. Przedstawienie wyników ww. analiz w podziale na kluczowe etapy cyklu życia budynku, pozwala na rozpoznanie faz najbardziej istotnych ze względu na powstawanie ewentualnych zagrożeń dla środowiska i generowania kosztów ekonomicznych. Wyraźny podział na poszczególne etapy cyklu życia budynku znacznie ułatwia również interpretację wyników prowadzonych tzw. analiz wrażliwościowych, dotyczących wpływu budynku na środowisko naturalne lub właściwości ekonomiczne budynku.

Dane o zagrożeniach środowiskowych z etapu wyrobu, czyli z faz A1 – A3, stają się już coraz bardziej dostępne także w Polsce, dzięki wprowadzaniu przez producentów materiałów budowlanych, tzw. deklaracji środowiskowych wyrobów EPD*(ang. Environmental-Product Declarations)*. Są to deklaracje środowiskowe III typu. Dokładniej zasady sporzą-

dzania tego rodzaju deklaracji wyjaśnia norma PN – EN 15804 „Zrównoważoność obiektów budowlanych – Deklaracje środowiskowe wyrobów - Podstawowe zasady kategoryzacji wyrobów budowlanych", [4]. Ponieważ producenci, którzy zdecydują się na opracowanie tego typu deklaracji dla swoich produktów, zobligowani są do przeprowadzenia analizy wpływu na środowisko co najmniej faz od A1 do A3, czyli tzw. oceny od „kołyski do bramy". W związku z tym, zgodnie z wyjaśnieniami normy PN – EN 15084 deklaracje tego typu nie są narzędziem służącym do porównania cech środowiskowych poszczególnych wyrobów. Producent danego wyrobu może uwzględnić w EPD wyniki analiz z pozostałych faz cyklu życia, ale nie ma takiego obowiązku. Dopiero pełna analiza LCA, czyli uwzględnienie wszystkich etapów cyklu życia danych wyrobów w ocenianym budynku, daje możliwości obiektywnego porównania wpływu poszczególnych wyrobów na środowisko. Wyroby mające np. korzystniejszy profil środowiskowy na etapie samej produkcji mogą wykazywać gorsze właściwości wpływu na środowisko na etapie użytkowania budynku (np. w związku z ich częstszą konserwacją) lub także na etapie ich usunięcia, utylizacji lub recyklingu. Obliczone, na potrzeby deklaracji EPD, parametry zagrożeń środowiskowych odnosi się do tzw. jednostki deklarowanej wyrobu. W zależności od jego rodzaju, jednostką deklarowaną może być 1kg, 1m^3 lub 1 szt. wyrobu. W Polsce deklaracje środowiskowe III typu (EPD) nie są obecnie wymagane. Niektóre kraje europejskie wymagają posiadania przez producentów tego typu deklaracji, np. Belgia. W innych krajach (np. Niemcy, Norwegia) posiadanie deklaracji EPD wymusza sam rynek. W Polsce opracowywaniem deklaracji środowiskowych III typu zajmuje się m.in. Instytut Techniki Budowlanej, który jest członkiem Stowarzyszenia podmiotów wykonujących deklaracje środowiskowe EPD w Europie – *ECO – PLATFORM.*

3. Społeczne aspekty rozwoju zrównoważonego budynków

Zestaw parametrów służących ocenie wpływu budynku na komfort jego użytkowania przedstawia norma PN – EN 16309 : 2014 „Zrównoważoność obiektów budowlanych – Ocena socjalnych właściwości użytkowych budynków". W przeciwieństwie do norm dotyczących wpływu budynku na środowisko naturalne oraz aspektów ekonomicznych, opisywana norma określa zasady i wymagania służące ocenie właściwości społecznych budynków jedynie w fazie ich użytkowania. Może być stosowana do wszystkich rodzajów budynków ze względu na ich przeznaczenie, a także do budynków nowoprojektowanych, jak i istniejących. Społeczne aspekty „zrównoważoności budynków" podzielono na sześć głównych kategorii: 1) dostępność do budynku, 2) adaptowalność, 3) zdrowie i komfort, 4) wpływ na sąsiedztwo, 5) utrzymanie i konserwacja, 6) ochrona i bezpieczeństwo. Wymienione wyżej główne kategorie obejmują w sumie kilkanaście różnych parametrów, za pomocą których przeprowadza się ocenę wpływu budynku na komfort jego użytkowania:

1) ocena **dostępności** obejmuje m.in.: występujące ułatwienia dotyczące samego wejścia do budynku, w tym uwzględnienie potrzeb osób niepełnosprawnych, ułatwienia dotyczące poruszania się wewnątrz budynku oraz dostęp do wyposażenia oraz infrastruktury technicznej budynku,
2) ocena **adoptowalności** obejmuje m.in.: potencjalne możliwości dostosowania budynku do bieżących wymagań użytkowników: np. demontaż elementów budynku (ścian działowych budynku, elementów elewacji), łatwy dostęp do elementów instalacji budynku wraz z możliwością jej przebudowy,
3) w ramach kategorii **zdrowie i komfort** ocenia się: komfort cieplny, jakość powietrza wewnętrznego, komfort akustyczny, komfort wizualny, cechy przestrzenne,

4) ocena **wpływu na sąsiedztwo** obejmuje takie elementy jak: emisja hałasu, emisje zanieczyszczeń, olśnienie i zacienienie, wstrząsy i wibracje,
5) w kategorii **utrzymanie i konserwacja** ocenia się m.in. częstotliwość i długość planowanych czynności konserwacyjnych, wpływ tych czynności na ewentualne zmiany sposobu użytkowania budynku podczas prac konserwacyjnych, a także wpływ na bezpieczeństwo użytkowników budynku,
6) w ramach oceny kategorii **bezpieczeństwo i ochrona** uwzględnia się m.in.: odporność budowli na nagłe zmiany pogodowe, trzęsienia ziemi, eksplozje, pożary, a także ochronę przeciwko włamaniom i aktom wandalizmu, ochronę przeciw zakłóceniom w działaniu sieci zasilających.

Spośród wszystkich wymienionych wyżej sześciu podstawowych kategorii opisujących wpływ budynku na jego użytkowników, kategorią najbardziej związaną z efektywnością energetyczną budynków jest **zdrowie i komfort.** Ocenę **komfortu cieplnego** pomieszczeń przeprowadza się na podstawie obliczeń wskaźników: przewidywanej średniej oceny PMV (ang. *predicted mean vote*) i przewidywanego odsetka osób niezadowolonych PPD (ang. *predicted percentage dissatisfied*) [5]. Dodatkowo należy uwzględnić także parametry dyskomfortu lokalnego, takie jak: asymetrię temperatury promieniowania w okresie letnim i zimowym, prędkość powietrza wentylacyjnego. W ocenie parametrów PMV i PPD uwzględnia się oczywiście sposób użytkowania pomieszczeń (aktywność metaboliczna użytkowników), opór cieplny odzieży użytkowników, wilgotność powietrza wewnętrznego oraz temperaturę operatywną. Sama norma PN – EN 16309 nie zawiera wymagań dotyczących odpowiednich wartości wymienianych parametrów oceny komfortu cieplnego. Norma ta jedynie je wylicza i odsyła do innych norm lub dokumentów, które określają odpowiednie wartości wymaganych parametrów, w zależności od rodzaju i klasy projektowanych pomieszczeń, np. ze względu na oczekiwany poziom komfortu cieplnego. W ramach oceny komfortu cieplnego taką normą jest np. norma PN –EN 15251 [6]. Ocenę jakości powietrza wewnętrznego, zgodnie z normą PN – EN 16309, dokonuje się w wyniku obliczeń stężenia dwutlenku węgla [ppm] lub przyjęcia minimalnych strumieni powietrza wentylacyjnego w przypadku, gdy pomieszczenia ze względu na swój charakter narażone są na emisję innych niebezpiecznych dla zdrowia ludzkiego substancji, ocenę ryzyka wzrostu pleśni zgodnie z normą EN ISO 13788 oraz tam, gdzie uzasadnione, ocenę stężenia tlenku węgla [ppm] i radonu [Bq/m^3]. Kolejną ocenianą podkategorią zdrowia i komfortu jest **komfort akustyczny**, w ramach którego oblicza się takie parametry, jak: czas pogłosu, izolacyjność akustyczna od dźwięków powietrznych i uderzeniowych pochodzących z ocenianego budynku, izolacyjność akustyczna od dźwięków powietrznych i uderzeniowych pochodzących od sąsiadujących budynków, izolacyjność akustyczna od dźwięków powietrznych pochodzących ze środowiska zewnętrznego (np. ruch uliczny, samolotowy). Ocenę **komfortu wizualnego** przeprowadza się osobno dla oświetlenia pomieszczeń światłem sztucznym (natężenie oświetlenia, współczynnik oddawania barw – Ra, współczynnik ograniczenia olśnienia przykrego – UGR) i dziennym (współczynnik oświetlenia dziennego DF, ang. *daylight factor*).

Zaletą ww. wskaźników jest to, że definiują one odbiór parametrów komfortu użytkowania pomieszczeń w sposób zbliżony do percepcji komfortu przez użytkowników tychże pomieszczeń, np. w zakresie dostępu światła naturalnego takim parametrem jak współczynnik oświetlenia dziennego DF, w zakresie komfortu cieplnego wskaźnik PMV. Jednak ich zastosowanie w praktyce projektowej wymaga użycia skomplikowanych programów symulacyjnych, wykorzystujących co najmniej godzinowe dane meteorologiczne, oraz zdefiniowania wielu dodatkowych danych, z którymi duża część projektantów nie miała dotychczas do czynienia. Obowiązujące wymagania warunków technicznych [7] starają się, w pewien uproszczony sposób, odnosić do problematyki komfortu użytkowania, m.in.

poprzez: niskie współczynniki przenikania ciepła dla przegród zewnętrznych, maksymalne wartości współczynnika przepuszczania promieniowania słonecznego dla oszklenia w okresie letnim, minimalne proporcje powierzchni okien do powierzchni podłóg. Taki sposób definiowania wymagań, jak i ich implementacji w projektach budynków, jest dużo prostszy w porównaniu do prowadzenia obliczeń symulacyjnych, jednak należy mieć na uwadze, że nie gwarantuje on jeszcze zaprojektowania budynku o wysokich parametrach użytkowych.

4. Ocena wpływu budynku na środowisko naturalne

Jak wspomniano wcześniej zarówno norma PN – EN 15804, odnosząca się do poziomu wyrobu, jak również norma PN – EN 15978,do oceny wpływu budynkuna środowisko naturalne, definiują cztery podstawowe grup oddziaływań, a w nich w sumie ponad dwadzieścia kwantyfikowalnych parametrów.

Pierwszą grupę stanowią **parametry opisujące oddziaływania środowiskowe**:

- potencjał globalnego ocieplenia GWP (*ang. Global Warming Potential*) wyrażony jako ekwiwalent emisji CO_2 [kg],
- potencjał uszczuplenia startosferycznej warstwy ozonowej ODP (*ang.Ozon Deplition Potential*) wyrażony jako ekwiwalent emisji CFC 11 [kg],
- potencjał zakwaszenia gleby i wody AP (*ang. Acidification Potential*) wyrażony jako ekwiwalent emisji SO_2 [kg],
- potencjał eutrofizacji EP (*ang. Eutrophication Potential*) wyrażony jako ekwiwalent emisji $(PO_4)^{3-}$[kg],
- potencjał tworzenia ozonu troposferycznego POCP (*ang. troPospheric Ozone Creation Potential*) wyrażony jako ekwiwalent etylenu [kg],
- potencjał uszczuplenia zasobów abiotycznych ADP (*ang. Abiotic Depletion Potential*): ADP – pierwiastki: dla zasobów niekopalnych wyrażony ekwiwalentem Sb [kg], ADP – paliwa kopalne: dla zasobów kopalnych wyrażony wartością kaloryczną netto [MJ].

Kolejną grupę opisującą oddziaływanie wyrobów budowlanych i budynków na środowisko naturalne są **parametry opisujące zużycie zasobów:**

- zużycie odnawialnej energii pierwotnej, z wyłączeniem zasobów odnawialnej energii pierwotnej stosowanej jako surowce (wartość opałowa) [MJ wartości kalorycznej netto],
- zużycie zasobów odnawialnej energii pierwotnej stosowanej jako surowce [MJ wartości kalorycznej netto],
- całkowite zużycie zasobów odnawialnej energii pierwotnej (energia pierwotna i zasoby energii pierwotnej stosowane jako surowce) [MJ wartości kalorycznej netto],
- **zużycie nieodnawialnej energii pierwotnej, z wyłączeniem zasobów nieodnawialnej energii pierwotnej stosowanej jako surowce [MJ wartości kalorycznej netto],**
- zużycie zasobów nieodnawialnej energii pierwotnej stosowanej jako surowce [MJ wartości kalorycznej netto],
- całkowite zużycie zasobów nieodnawialnej energii pierwotnej (energia pierwotna i zasoby energii pierwotnej stosowane jako surowce) [MJ wartości kalorycznej netto],
- zużycie materiałów wtórnych [kg],
- zużycie odnawialnych paliw wtórnych [MJ wartości kalorycznej netto],
- zużycie nieodnawialnych paliw wtórnych [MJ wartości kalorycznej netto],
- zużycie zasobów słodkiej wody [m^3].

Przedostatnią grupę parametrów uwzględnianych w ocenie odziaływania na środowisko zewnętrzne stanowią **ilości odpadów** powstających w cyklu życia wyrobu lub budynku:

- odpady niebezpieczne [kg],
- odpady inne niż niebezpieczne [kg],
- odpady radioaktywne [kg].

Ostatnią grupą parametrów uwzględnianych w ocenie LCA wyrobów lub budynków są tzw. **informacje środowiskowe opisujące strumienie wyjściowe** w postaci:
– elementów do ponownego zastosowania [kg],
– materiałów do recyklingu [kg],
– materiałów od odzyskania energii [kg],
– energii wyeksportowanej [MJ na nośnik energii].

Jak można zauważyć, spośród szerokiej listy wymienionych wyżej parametrów oddziaływania budynków na środowisko naturalne, obecne wymagania warunków technicznych [7] odnoszą się bezpośrednio tylko to jednego z nich. Tym parametrem jest „zużycie nieodnawialnej energii pierwotnej z wyłączeniem zasobów nieodnawialnej energii pierwotnej stosowanej jako surowce", które wyrażane jest w świadectwach charakterystyk energetycznych budynków za pomocą wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną – EP, [kWh/(m^2·rok)]. Ze względu widzenia efektywności energetycznej budynków, z wymienionej wyżej listy parametrów, istotne jest jeszcze „zużycie odnawialnej energii pierwotnej, z wyłączeniem zasobów odnawialnej energii pierwotnej stosowanej jako surowce". Suma energii pierwotnej nieodnawialnej i odnawialnej daje **całkowitą energię pierwotną**. Należy zaznaczyć, że również niektóre z systemów wielokryterialnej oceny środowiskowej budynków, wspomnianych we wprowadzeniu, także wymagają podania ilości energii dostarczanej do budynku ze źródeł odnawialnych jak i nieodnawialnych. Takim systemem jest przykładowo DGNB, gdzie do oceny efektywności energetycznej budynków uwzględnia się m.in. niskie zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną oraz całkowitą energię pierwotną [8]. Bazowanie jedynie na wskaźniku zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną mogłoby prowadzić do błędnej oceny oraz interpretacji wyników dotyczących charakterystyk energetycznych budynków. Bardzo dobrym potwierdzeniem tej opinii może być analiza deklarowanych przez producentów ciepła sieciowego w ciągu ostatnich kilku lat wskaźników nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej – tabela 3.

Tabela 3. Deklarowane przez dostawców wskaźniki nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej dla ciepła sieciowego

Miasto	Zakład	Rok	wartość wskaźnika w_i
Warszawa	PGNiG Termika s.a.	2012	0,79
Poznań	Dalkia	2013	0,71
Łódź	Dalkia	2013	0,36
Suwałki	PEC sp. zo.o.	2013	0,97
Lublin	LPEC sp. zo.o.	2012	0 (*słownie:* zero)
Lublin	LPEC sp. zo.o.	2013	0,82
Kraków	MPEC s.a	2012	0,21
Kraków	MPEC s.a.	2013	0,62
Wrocław	ZEC Kogeneracja s.a.	2013	0,82

W tabeli 4 zamieszczono wyniki obliczeń zapotrzebowania na energię użytkową, końcową oraz nieodnawialną pierwotną otrzymane wg obecnie obowiązującej metodyki obliczania charakterystyki energetycznej budynku dla przykładowego budynku wielorodzinnego [9]. Obliczenia wykonano dla następujących lokalizacji: Lublin, Łódź, Kraków i Suwałki, przyjmując wskaźniki w_i z tabeli 3.

Budynek składa się z 20 lokali mieszkalnych o łącznej powierzchni użytkowej mieszkalnej wynoszącej 1361 m^2. Mieszkania znajdują się na 4 kondygnacjach. Założono, że przegrody zewnętrzne budynku spełniają wymania odnośnie współczynnika przenikania ciepła U obowiązujące od 2021 rok. Dla ścian zewnętrznych wyniósł on więc 0,19

W/(m^{2}K), dla stropodachu – U = 0,14 W/(m^{2}K), dla okien – U = 0,9 (g_c = 0,5). Zgodnie z aktualną metodyką obliczania charakterystyki energetycznej budynków, poziom jednostkowych, wewnętrznych zysków ciepło przyjęto jako równy 7,1 W/m^2. Podstawowy strumień powietrza wentylacyjnego przy wentylacji grawitacyjnej (V_o) wyniósł 1568 m^3/h, zaś dodatkowy strumień powietrza infiltrującego przez nieszczelności (V_{inf}): 760 m^3/h. Zatem łączny, średni strumień powietrza wentylacyjnego na jedno mieszkanie w analizowanym budynku wyniósł 116 m^3/h. Na podstawie opisanych wyżej założeń udział strat ciepła przez przegrody zewnętrzne wyniósł 45% (współczynnik strat ciepła przez przenikanie – H_{tr} = 690 W/K), a udział strat ciepła przez wentylację 55% (współczynnik strat ciepła przez wentylację – H_{ve} = 861 W/K). Źródłem ciepła dla systemu ogrzewania oraz ciepłej wody użytkowej był węzeł dwufunkcyjny. Sprawność całkowita systemu ogrzewania budynku wynosiła 80%, a systemu c.w.u. -70%. W obliczeniach uwzględniono także energię przeznaczoną na działanie urządzeń pomocniczych w systemach c.o. i c.w.u., w których nośnikiem energii była energia elektryczna (w_i = 3,0).

Co nie budzi zaskoczenia, najkorzystniej ze względu na wielkość zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną wypadają warianty budynku, które zasilane są ciepłem z sieci o najniższych wskaźnikach w_i, czyli zlokalizowane w Lublinie (dane z 2012 r.), w Krakowie (dane z 2012 r.) oraz w Łodzi (dane z 2013 r.), (patrz tabela 4). Pozostałe dwa z przedstawionych wskaźników, czyli EK (zapotrzebowania na energię końcową wliczając c.o., c.w.u. i urządzenia pomocnicze) oraz EU_{CO} (energia użytkowa na cele ogrzewania), we wszystkich analizowanych przypadkach, są do siebie zbliżone, choć najbardziej ze względów pogodowych odbiega przypadek rozpatrywany w Suwałkach. Interesująco przestawiają się wyniki obliczeń dotyczące wariantu lokalizacji w Lublinie, gdzie na podstawie wskaźnika w_i, podanego dla 2013 r., pomimo spełnienia wymagań cząstkowych (tj. dot. współczynników U) budynek nie spełniłby wymagania warunków technicznych dotyczącego wskaźnika EP po roku 2021 (EP_{max} = 65 kWh/m^{2}rok). Natomiast dla 2012 roku (*wi = 0 !)* ten sam budynek najprawdopodobniej byłby najbardziej efektywnym energetycznie budynkiem w Polsce, wykonując ocenę jedynie na podstawie wskaźnika EP.

Tabela 4. Wyniki obliczeń wskaźników EP, EK i EUco dla analizowanego budynku wielorodzinnego

Lokalizacja	deklarowany wskaźnik w_i dla ciepła sieciowego	**EP [kWh/(m^2 rok)]**	EK [kWh/(m^2 rok)]	EU_{CO} [kWh/(m^2 rok)]
Łódź	0,36 (2013 r.)	**31**	72	30
Kraków	0,21 (2012 r.)	**20**	73	31
Kraków	0,62 (2013 r.)	**50**	73	31
Lublin	0 (słownie: *zero*) (2012 r.)	**5**	78	34
Lublin	0,82 (2013 r.)	**68**	78	34
Suwałki	0,97 (2013 r.)	**90**	89	43

Zgodnie z wymaganiami dyrektywy 2010/31/UE (tzw. recast EPBD) wszystkie budynki projektowane od 2021 roku muszą być budynkami o niemal zerowym zapotrzebowaniu na energię *(*ang. *nZEB – nearly zero energybuilding*), [10]. Każdy z krajów członkowskich Unii Europejskiej ma prawo do zdefiniowania własnego „niemal zerowego" zapotrzebowania na energię jako wymagania dla budynków. Jednak zgodnie z w/w dyrektywą procedura wyznaczania standardu „nZEB" i wynikających z niego wymagań warunków technicznych, musi bazować na obliczeniach ekonomicznych tzw. minimalnego kosztu całkowitego. Pojawia się więc w warunkach technicznych próba łączenia wymagań dotyczących efektywności energetycznej budynków z opłacalnością ekonomiczną rozwiązań podnoszących tą efektywność. Więcej informacji o obliczeniach kosztu całkowitego przedstawiono

w kolejnym rozdziale artykułu. Bardziej systematyczny sposób dochodzenia do standardu „nZEB"z punktu widzenia samych metod poprawiających efektywność energetyczną budynków zawiera projekt normy EN 15603 „Energetyczne właściwości użytkowe budynków". Projekt ten precyzyjnie wyjaśnia, że budynek w standardzie „nZEB" nie może być zdefiniowany tylko w oparciu o jeden wskaźnik, np. zapotrzebowanie na całkowitą lub nieodnawialną energię pierwotną. Po to, aby budynek spełniał założenia standardu „nZEB" powinien zostać zaprojektowany i wykonany zgodnie z zachowaniem następujących kolejno po sobie trzech rodzajów wymagań:

1) niskie zapotrzebowanie na energię użytkową, przy zachowaniu odpowiedniej jakości komfortu użytkowania. W tym celu wykorzystuje się techniki pasywne zapobiegające nadmiernym stratom ciepła w okresie grzewczym ale także ograniczające ryzyko przegrzewania w okresie letnim,
2) niskie zapotrzebowanie na całkowitą energię pierwotną. Całkowita energią pierwotną jest sumą energii pierwotnej zawartej paliwach odnawialnych i nieodnawialnych. Spełnienie, więc tego warunku wymaga zastosowania wysokosprawnych systemów ogrzewania, chłodzenia i c.w.u. bez względu na rodzaj zastosowanych nośników energii. Jest to więc wymóg odnoszący się także do niskiego zapotrzebowania na energię końcową,
3) niskie zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną. Dopiero w trzecim wymaganiu kładzie się nacisk na zastosowanie odnawialnych źródeł energii, gdyż tylko przy takim podejściu (tj. spełnienie dwóch wcześniejszych wymagań) mogą one pokryć znaczne potrzeby zaopatrzenia budynku w energię.

Zarówno obowiązująca jeszcze norma PN - EN 15603:2008, jak i projekt jej zmiany, mówią o obliczaniu wskaźnika definiującego efektywność energetyczną budynku E_{we} (np. energia końcowa lub pierwotna)jako wielkości wynikającej z rocznego bilansu energii pobranej przez budynek z sieci ($E_{we,del,i}$) oraz oddanej przez budynek do sieci ($E_{we,exp,i}$):

$$E_{we} = \sum_i E_{we,del,i} - \sum_i E_{we,exp,i} \tag{1}$$

Zdaniem autorów, charakter wprowadzonych zmian w Warunkach Technicznych [7], jak np. łączne spełnienie wymagań cząstkowych (np. współczynnika przenikania ciepła – U) oraz ogólnych (wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną – EP) należy uznać za właściwy. Spełnienie zarówno wymagań cząstkowych, które przekładają się bezpośrednio na zmniejszenie zapotrzebowania na energię użytkową oraz ogólnych, czyli zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną zbliża krajowe przepisy do celu jakim jest osiągnięcie tzw. standardu budynków o niemal zerowym zapotrzebowaniu na energię. Należy jednak podkreślić, że sprawą bardziej dyskusyjną od charakteru wymagań, jest ich poziom. Zwłaszcza w odniesieniu do samego wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną. Ze wszystkich wymienionych wyżej wskaźników, a więc EU_{CO}, EK oraz EP, ten ostatni dzięki możliwościom jakie daje uwzględnienie odnawialnych źródeł energii, jest najbardziej elastycznym wskaźnikiem, a pomimo to spełnienie jego wymaganych wartości w przypadkach wielu budynków, zwłaszcza użyteczności publicznej, jest bardzo trudne. Tym bardziej należy być bardzo ostrożnym przy formułowaniu ewentualnych wymagań dotyczących efektywności energetycznej budynku bazujących na wskaźnikach zapotrzebowania na energię użytkową lub końcową.

5. Ocena właściwości ekonomicznych budynków

Zasady przeprowadzenia oceny ekonomicznych właściwości budynków nowych oraz istniejących opracowywane są w ramach projektu normy EN 16627 „Ocena właściwości

ekonomicznych budynków". Reguły obliczeń właściwości ekonomicznych zawarte w omawianym projekcie normy bazują na metodzie oceny kosztów cyklu życia budynku (LCC) obejmującej wszystkie fazy tego cyklu (tab. 2). Omawiana norma ogranicza jednak zakres oceny ekonomicznej tylko do samego budynku, bez uwzględniania kosztów towarzyszącej danemu budynkowi infrastruktury zewnętrznej, np. dróg dojazdowych, instalacji wodociągowych itd. Jednocześnie, co ważne ze względu ustalania wymagań dotyczących efektywności energetycznej budynków, norma wyraźnie wyjaśnia, że opisana w niej metodyka obliczania kosztów cyklu życia różni się od przyjętej metodyki obliczania tzw. kosztu całkowitego stosowanego w celu ustalania minimalnych wymagań dotyczących efektywności energetycznej budynków [10, 11]. Obydwie metody należą do metod dyskontowych, w których jako podstawową przyjmuje się stopę dyskontową równą 3%. Zarówno metoda zastosowana przy określaniu minimalnych wymagań dotyczących efektywności energetycznej budynków, jak i metoda opracowywana w ramach prac nad normą EN 16627, w koszcie całkowitym uwzględniają sumę wartości bieżącej początkowych kosztów inwestycji, sumę kosztów utrzymania oraz eksploatacji, oraz koszty usunięcia.

Początkowe koszty inwestycji oznaczają wszystkie koszty poniesione do momentu oddania inwestorowi budynku. Koszty te obejmują projektowanie, zakup elementów budynku, podłączenie do mediów oraz procedury związane z rozruchem eksploatacyjnym. **Koszty utrzymania** oznaczają koszty przeznaczane na planowane naprawy budynku, koszty kontroli, sprzątania, ochrony itp. **Koszty eksploatacji** to koszty związanie z opłatami ze media i ewentualnymi kosztami ubezpieczenia. **Koszty energii**– związane z zapotrzebowaniem budynku w nośniki energii. **Koszty usunięcia** oznaczają koszty likwidacji budynku (ewentualnie elementów budynku), który osiągnął koniec cyklu życia i obejmują prace rozbiórkowe, transport i recykling. Ostatnia kategoria kosztów, a więc koszty usunięcia, nie musi być uwzględniania podczas obliczeń kosztu całkowitego wykonywanego na potrzeby określania minimalnych wymagań dotyczących efektywności energetycznej budynków. Wszelkie dodatkowe obciążenia finansowe, jak np. podatki VAT, opłaty środowiskowe, a także zachęty finansowe jak np. dotacje, gwarantowane ceny zakupu energii, należy uwzględnić w obliczeniach kosztu całkowitego. Zgodnie z rozporządzeniem 244/2012 [11], ustalanie wymagań dotyczących efektywności energetycznej budynków na podstawie minimalnego kosztu całkowitego wymaga przyjęcia okresu obliczeniowego wynoszącego 30 lat w odniesieniu do budynków mieszkalnych i publicznych oraz okresu obliczeniowego wynoszącego 20 lat w odniesieniu do budynków niemieszkalnych o charakterze gospodarczym. W obliczeniach LCC, zgodnych z opracowywaną normą EN 16627, przyjęcie okresu obliczeniowego może być uzgodnione z inwestorem. W celu zdyskontowania do kosztów bieżących ewentualnych wartości rezydualnych, pozostających po przyjętym okresie obliczeniowym, zarówno zgodnie z rozporządzeniem 244/2012, jak i projektem normy EN 16627, można wykorzystać amortyzację liniową. Dodatkowo, w obliczeniach kosztu całkowitego wykonywanego na potrzeby określenia minimalnych wymagań dotyczących efektywności energetycznej, kraje członkowskie powinny zastosować tzw. podejście makroekonomiczne i finansowe. W podejściu makroekonomicznym, w koszcie całkowitym uwzględnia się dodatkowo koszty związane z emisją dwutlenku węgla. Decyzję, które z dwóch podejść zostanie wybrane do określenia minimalnych wymagań dotyczących charakterystyki energetycznej budynków, pozostawiono krajom członkowskim, a poziom przyjętych ostatecznie wymagań nie powinien być niższy o 15% w stosunku do tych obliczonych jako optymalne, czyli dające najniższy koszt całkowity w przyjętym okresie obliczeniowym. Poniżej przedstawiono równanie opisujące tzw. podejście finansowe, służące do obliczenia kosztów całkowitych przy założonym okresie eksploatacji budynków.

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} \left(C_{a,i}(j)\ x\ R_d(i) \right) - V_{f,\tau}(j) \right] \quad (2)$$

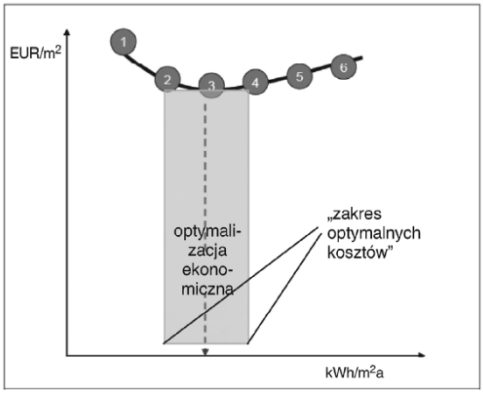
gdzie:

τ – oznacza okres obliczeniowy,
$C_g(\tau)$ – koszt całkowity w okresie obliczeniowym,
C_I – początkowe koszty inwestycji w odniesieniu do środka lub zestawu środków j,
$C_{a,i}(j)$ – roczny koszt eksploatacji budynku w roku i po zastosowaniu środka lub zestawu środków j,
$V_{f,\tau}(j)$ – wartość rezydualna środka lub zestawu środków j na koniec okresu obliczeniowego (zdyskontowana do roku zerowego),
$R_d(i)$ – współczynnik dyskontowy dla roku i w oparciu o przyjętą stopę dyskontową r, który należy obliczyć wg wzoru:

$$R_d(p) = \left(\frac{1}{1 + r/100} \right)^p \quad (3)$$

gdzie p oznacza liczbę lat od okresu zerowego, a r rzeczywistą stopę dyskonta.

Zestaw środków j należy rozumieć jako ulepszenia budynków, które prowadzą do zmniejszenia zapotrzebowania budynku na energię pierwotną. Za optymalne rozwiązania, służące określeniu minimalnych wymagań dla budynków, należy rozumieć takie zestawy środków, po zastosowaniu których obliczony koszt całkowity jest najniższy (rys. 2). Jeżeli kilka zestawów środków daje bardzo podobny koszt całkowity należy wybrać ten zestaw ulepszeń, który daje mniejszą wartość zapotrzebowania na energię pierwotną.



Rys. 2. Wizualizacja wyboru optymalnego wariantu w oparciu o obliczenia kosztów całkowitych wg [11]

Metoda szacowania kosztów całkowitych wg rozporządzenia 244/2012 różni dodatkowo tym, od podejścia prezentowanego w projekcie normy EN 16627, że w metodzie normowej uwzględnia się wszystkie koszty związane z eksploatacją i utrzymaniem budynku. Mogą to być więc koszty związane np. z pracą wind, instalacji alarmowych, infrastruktury telekomunikacyjnej. W ramach obliczania kosztów całkowitych na potrzeby ustalania minimalnych wymagań dotyczących efektywności energetycznej budynków, koszty związane z energią to ogrzewanie, chłodzenie, ciepła woda użytkowa, oświetlenie wbudowane

oraz tzw. energia pomocnicza służąca obsłudze w/w rodzajów instalacji. Pomimo tego, że zgodnie z zapisami dyrektywy 2010/31/UE, obliczenia dotyczące ustalania minimalnych wymagań w sprawie efektywności energetycznej budynków, oparte są na dyskontowej metodzie kosztu całkowitego, to jednak zakres przyjmowanych w tych obliczeniach danych jest dużo mniejszy niż w metodzie opisanej projektem normy EN 16627.

Zdaniem autorów norma EN 16627 powinna jednak dać możliwość uwzględnienia korzyści finansowych z energii eksportowanej do sieci już w module B6, czyli w fazie cyklu życia dotyczącej zużycia energii podczas użytkowania budynku. Wówczas sposób bilansowania energii oraz jej kosztów – w jednej fazie cyklu życia budynku, byłby zgodny z podejściem definiowania efektywności energetycznej budynków, w tym standardu „nZEB", przedstawionym w normie EN 15603. Według aktualnego projektu normy EN 16627 korzyści finansowe wynikające z eksportowania energii z budynku do sieci, mogą być uwzględniane w obliczeniach LCC dopiero w module informacyjnym D (Tabela 2), a więc dopiero jako informacje uzupełniające.

6. Podsumowanie

Na całym świecie budownictwo stanowi jeden z podstawowych sektorów działalności człowieka. Budownictwo pochłania ogromne zasoby środowiska naturalnego, a ludzie średnio spędzają w budynkach większość czasu swojego życia. W związku z tym istnieje silna potrzeba doskonalenia oraz wdrażania nie tylko jakościowych, ale także ilościowych metod oceny wpływu budynków na środowisko naturalne, otoczenie oraz przebywających w nich użytkowników. Oprócz samej efektywności energetycznej budynków, co do której w ostatnich latach w przepisach obowiązujących w Polsce, zaszły największe zmiany, opisane w pracy normy znacznie szerzej patrzą na odpowiedzialną gospodarkę zasobami. Rozpatrują nie tylko zasoby energetyczne, ale również materiałowe i to w całym cyklu istnienia budynku. W tym celu normy te wprowadzają miary oceniające m.in. zarządzanie powstającymi odpadami, zdolnością zastosowanych materiałów i technologii do ponownego użycia lub recyklingu. Na równi z aspektami środowiskowymi, ocenia się także wpływ budynków na szeroko rozumiany komfort i zdrowie użytkowników. Dążenie do powstawania budynków, które przy jak najmniejszym, negatywnym wpływie na środowisko naturalne, zapewniałyby jak największy komfort jego użytkowania, wymaga od projektantów podejścia holistycznego, bazującego na szerokiej wiedzy projektanta z zakresu poruszanych zagadnień w ramach budownictwa zrównoważonego, ale także zespołowej współpracy wszystkich branż już we wczesnych fazach prac nad projektem.

Literatura

1. PN – EN 15978 „Zrównoważone obiekty budowlane – Ocena środowiskowych właściwości użytkowych budynków – Metoda obliczania.
2. PN – EN 16309 „Zrównoważoność obiektów budowlanych. Ocena socjalnych właściwości użytkowych – Metoda obliczania".
3. prPN-EN 16627 „Zrównoważoność obiektów budowlanych – Ocena ekonomicznych właściwości budynków".
4. PN – EN 15804 „Zrównoważoność obiektów budowlanych – Deklaracje środowiskowe wyrobów - Podstawowe zasady kategoryzacji wyrobów budowlanych",
5. PN – EN ISO 7730 : 2006 Ergonomia środowiska termicznego – Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów miejscowego komfortu termicznego.
6. PN – EN 15251 : 2012 Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego dotyczące projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków, obejmujące jakość powietrza wewnętrznego, środowisko cieplne, oświetlenie i akustykę.

7. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
8. DGNB Manual – New office and administrative buildings, Version 2012.
9. Rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 3 czerwca 2014 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw charakterystyki energetycznej.
10. Dyrektywa 2010/31/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.
11. Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) nr 244/2012 z dnia 16 stycznia 2012 r. uzupełniające dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i ustanawiające ramy metodologii porównawczej do celów obliczania optymalnego pod względem kosztów poziomu wymagań minimalnych dotyczących charakterystyki energetycznej budynków i elementów budynków.
12. Górzyński J., 2007. Podstawy analizy środowiskowej wyrobów i obiektów, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne Warszawa.

Multi-criteria sustainable development assessment in construction and the energy efficiency assessment of buildings

Konrad Witczak[1,2], Dariusz Gawin[2]

[1]Rockwool Polska sp. z.o.o.,
[2] Faculty of Civil Engineering, Architecture and Environmental Engineering,
Lodz University of Technology,
e-mail: konrad.witczak@p.lodz.pl, dariusz.gawin@p.lodz.pl

Abstract: 'Sustainability' is currently becoming a popular slogan – also in the building construction sector. Adopted from abroad, the so called 'green schemes', that is, multi-criteria building rating schemes are becoming very popular in Poland, especially in office building sector. The paper reviews main standards related to the sustainable development of construction works that focus on the parameters concerning the social, environmental and economic aspects of buildings. More attention has been devoted to the comparison of energy efficiency assessment parameters of the buildings referred to in these standards and the corresponding requirements present in the current Polish regulations.

Keywords: sustainability in construction works, energy efficiency of buildings, life cycle assessment of buildings

KIERUNKI OCENY
BUDYNKÓW ENERGOOSZCZĘDNYCH

Konieczne zmiany w ocenie jakości cieplno-wilgotnościowej elementów budynków energooszczędnych

Andrzej Dylla, Krzysztof Pawłowski

Wydział Budownictwa, Architektury Inżynierii Środowiska,
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy,
e-mail: kboifb@utp.edu.pl, krzypaw@utp.edu.pl

Streszczenie: Realizacja obowiązujących wymagań technicznych w zakresie cieplno-wilgotnościowym polega na sprawdzeniu wielu parametrów całego budynku, ale także jego przegród zewnętrznych i ich złączy. W pracy podjęto dyskusję w zakresie następujących zagadnień fizykalnych z uwzględnieniem standardów budownictwa energooszczędnego:

– analiza wpływu uwzględnienia przepływów ciepła w polu (2D) i (3D) – mostków cieplnych, przy ocenie izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych i ich złączy,
– analiza oceny całego budynku w aspekcie energetycznym za pomocą wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energie pierwotną EP [kWh/(m^2·rok)] w aspekcie struktury materiałowej obudowy budynku,
– analiza metod obliczeniowych i oceny przegród zewnętrznych i ich złączy w aspekcie wilgotnościowym (kondensacja powierzchniowa i kondensacja międzywarstwowa).

Na podstawie przedstawionych analiz i przykładów obliczeniowych autorzy zaproponowali wprowadzenie istotnych zmian w zapisach istniejących w „Warunkach technicznych" oraz metodologii sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej budynków.

Słowa kluczowe: budynek energooszczędny, jakość cieplno-wilgotnościowa

1. Przenikania ciepła z uwzględnieniem przepływów dwu- i trójwymiarowych – metody obliczeniowe

Znowelizowane Rozporządzenie [1] wprowadza m.in. nowe (niższe od obowiązujących do końca 2013 roku) wartości maksymalnych współczynnika przenikania ciepła $U_{c(maks.)}$ [W/(m^2·K)] dla przegród zewnętrznych budynków. Spełnienie kryterium cieplnego polega na utrzymanie wysokiej termoizolacyjności wszystkich przegród otaczających ogrzewane wnętrze: U_c (U) ≤ $U_{c(max)}$ $U_{(max)}$, gdzie U_c, U, $U_{c(max)}$, $U_{(max)}$ − oznaczają odpowiednio: współczynnik przenikania ciepła określonej przegrody w budynku oraz jego dopuszczalną wartość maksymalną, ustaloną dla pewnej grupy przegród (ściany, stropodachy, posadzki na gruncie, okna, itp.

Zagadnienia fizyki cieplnej budowli sprowadzają się przede wszystkim do analizy cieplno-wilgotnościowej przegród zewnętrznych budynków, poddanych oddziaływaniom zmiennych w czasie temperatur zewnętrznych i wewnętrznych. W wielu przypadkach rozwiązanie przepływu ciepła sprowadza się przenikaniu ciepła przez płaską przegrodę budowlaną w polu jednowymiarowym (1D), bez uwzględnienia przepływu ciepła w polu dwuwymiarowym (2D) i trójwymiarowym (3D). Jednak realnym (rzeczywistym) polem wymiany ciepła jest zazwyczaj przegroda zewnętrzna jako fragment budynku, a więc połączona systemem złączy z przegrodami dowiązującymi (stropem, ścianą zewnętrzną lub wewnętrzną lub podłogą na gruncie). W obrębie przegrody mogą występować miejsca

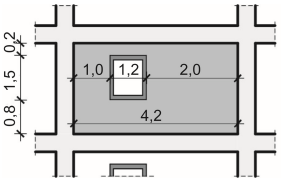
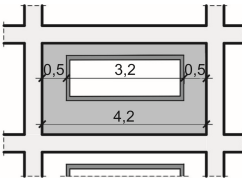
zaburzające jej ciągły charakter – wstawki materiałowe, stolarka okienna i drzwiowa, zmienna grubość izolacji cieplnej. W tych wszystkich przypadkach pojawia się pole temperatur: płaskie (2D) lub przestrzenne (3D), zmieniające istotnie procedurę prowadzenia obliczeń cieplno-wilgotnościowych przegrody. Jeżeli powstałe płaskie lub przestrzenne pole temperatur w istotny sposób zmienia ukształtowany w polu jednowymiarowym prostolinijny przebieg izoterm i adiabat – zakrzywiając je, wówczas można mówić o mostku cieplnym (termicznym) w przegrodzie lub złączu [2].

Wpływ mostków cieplnych w stratach ciepła, przed wprowadzeniem zmian w rozporządzeniu [3] w 2008 roku, uwzględniano wprowadzając do obliczeń wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ [W/(m·K)] lub zryczałtowanego dodatku (ΔU) w zależności od geometrii analizowanej przegrody. Należy podkreślić, że obecnie obliczane wartości współczynnika przenikania ciepła U_c oraz wartości graniczne $U_{c(max)}$ $U_{(max)}$ wg rozporządzenia [1], dla pojedynczej przegrody, nie uwzględniają dodatkowych strat ciepła wynikających z występowania mostków cieplnych. Poniżej przedstawiono przykłady obliczeniowe obrazujące wpływ przepływów (2D) i (3D) na całkowite straty ciepła przez przegrody budowlane.

Pierwszy przykład pochodzi z normy PN-EN ISO 14683 [4] dotyczący zastosowania wartości orientacyjnych liniowego współczynnika przenikania ciepła do obliczeń współczynnika przenoszenia ciepła H [W/K]. Do analizy wybrano jednokondygnacyjny budynek z płaskim dachem, podłogą na gruncie. Obliczenia wykonano w trzech wariantach obliczeniowych, przyjmując wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ [W/(m·K)] przy zastosowaniu całkowitego wymiarowania wewnętrznego (Ψ_i) – wariant I, zewnętrznego (Ψ_e) – wariant II oraz całkowitego wewnętrznego (z dwoma ulepszonymi detalami mostka cieplnego) – wariant III. Udział analizowanych mostków cieplnych w całkowitych stratach ciepła kształtuje się odpowiednio: 42% (wariant I), 36% (wariant II). Natomiast „poprawienie tych dwóch detali mostków cieplnych spowodowało zmniejszenie współczynnika przenoszenia ciepła przez mostki cieplne o 41% z 69,85W/K do 41,50 W/K oraz zmniejszenie całkowitej wartości współczynnika przenoszenia ciepła o 17% ze 164,41 W/K do 136,06 W/K" [4]. Zastosowanie wartości orientacyjnych liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ [W/(m·K)] wg [4] powoduje uzyskanie niemiarodajnych wartości strat ciepła przez przegrody budowlane (zawyżone lub zaniżone). Należy podkreślić, że wg [4] „Przy wyborze konkretnej metody zaleca się, aby jej dokładność odpowiadała dokładności w obliczeniach całkowitego przenoszenia ciepła uwzględniających długości liniowych mostków cieplnych. Dostępne metody określania Ψ zawierają obliczenia komputerowe (typowa dokładność ±5%), katalogi mostków cieplnych (typowa dokładność ±20%), obliczenia ręczne (typowa dokładność ±20%) i wartości orientacyjne (typowa dokładność od 0% do 50%)". W związku z tym cytowane przykłady obliczeniowe mogą być obarczone znaczącym błędem przy szacowaniu strat ciepła przez przegrody budowlane. W treści [4] zauważono także stwierdzenie: „w Tablicy A.2 podano wartości orientacyjne, obliczone dla parametrów reprezentujących sytuacje najgorszego przypadku. Wartości te można stosować przy braku określonych danych dotyczących mostków cieplnych. Zaleca się rozszerzenie lub zmianę Tablicy A.2, jeśli jest to odpowiednie, na podstawie danych krajowych, w celu uwzględnienia szczegółów konstrukcyjnych zwyczajowo stosowanych". Dlatego na podstawie prowadzonych badań własnych, przez autorów pracy, opracowano własne algorytmy obliczeniowe w zakresie uwzględnienia przepływów dwuwymiarowych (2D) w całkowitych stratach ciepła zarówno dla całego budynku oraz pojedynczej przegrody budynku, które przedstawiono m.in. w pracach [2, 5, 6].

Przykład drugi dotyczy analizy współczynnika przenikania ciepła dla pojedynczej ściany parteru budynku z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych. W tabeli 1 przedstawiono ścianę zewnętrzną z oknem różnej wielkości oraz jej parametry cieplne.

Tabela 1. Analiza parametrów cieplnych ściany zewnętrznej budynku – źródło [5]

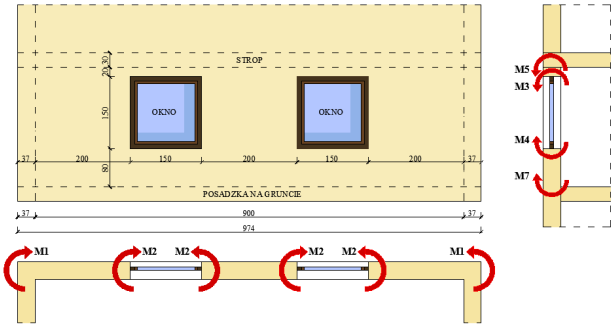
	
$\mathbf{U_{1D}}$ = 0,252 W/(m^2·K)	$\mathbf{U_{1D}}$ = 0,252 W/(m^2·K)
$\mathbf{A_i}$ = 8,70 m^2, $\mathbf{A_e}$ = 10,95 m^2	$\mathbf{A_i}$ = 5,70 m^2, $\mathbf{A_e}$ = 7,95 m^2
$\mathbf{H_D}$ = 2,979 W/K	$\mathbf{H_D}$ = 2,409 W/K
$\mathbf{U_{2D}}$ = 0,252 W/(m^2·K)	$\mathbf{U_{2D}}$ = 0,303 W/(m^2·K)
$\mathbf{U_{1D}}$ – współczynnik przenikania ciepła w polu jednowymiarowym $\mathbf{A_i}$, $\mathbf{A_e}$ – pole powierzchni ściany po wymiarach wewnętrznych (i), po wymiarach zewnętrznych (e) $\mathbf{H_D}$ – współczynnik strat ciepła między przestrzenią ogrzewaną a środowiskiem zewnętrznym $\mathbf{U_{2D}}$ – współczynnik przenikania ciepła z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych	

Uwzględnienie realnie występujących w przegrodach dwu- i trójwymiarowych przepływów ciepła może prowadzić do znaczących różnic wartości parametrów cieplnych (U, H), charakteryzujących przegrody tego samego budynku. Przegrody (ściany) z dużą powierzchnią otworów okiennych lub z niektórymi, trudnymi w ograniczeniu mostkami cieplnymi (balkony, nadproża, narożniki), mogą mieć wysokie wartości współczynnika U i stwarzać zagrożenie kondensacji wilgoci na wewnętrznej powierzchni przegród.

W przykładzie trzecim przedstawiono analizę wpływu mostków liniowych na wartość współczynnika przenikania ściany zewnętrznej parteru budynku (rys. 1) z zastosowaniem wartości Ψ [W/(m·K)] w dwóch wariantach: I (wg normy PN-EN ISO 14683:2008 [4]), II (wg obliczeń własnych prezentowanych w [6]).

Tabela 2. Wyniki obliczeń strat ciepła przez ścianę zewnętrzną parteru budynku – źródło [6]

Parametry obliczeniowe	Warianty obliczeniowe	
	I	II
współczynnik przenikania ciepła w polu jednowymiarowym $\mathbf{U_C}$ **($\mathbf{U_{1D}}$)** [W/(m^2·K)] określony wg PN-EN ISO 6946:2008 [7]	**0,259**	
straty ciepła przez pełną ścianę: $\mathbf{U_C \cdot A_i}$ [W/K]	4,66 (*37%*)	4,66 (*66%*)
straty ciepła wynikających z występowania mostków cieplnych $\mathbf{\Sigma \Psi_i \cdot l_i}$ [W/K]	8,06 (*63%*)	2,416 (*34%*)
bezpośredni współczynnik przenoszenia ciepła między przestrzenią ogrzewaną lub chłodzoną a środowiskiem zewnętrznym przez obudowę (ściana) $\mathbf{H_D = U_{ci} \cdot A_i + \Sigma \Psi_i \cdot l_i}$ [W/K]	12,72 (*100%*)	7,076 (*100%*)
współczynnik przenikania ciepła z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych $\mathbf{U_k}$ **($\mathbf{U_{2D}}$)** [W/(m^2·K)]	**0,597**	**0,332**



Rys. 1. Geometria ściany zewnętrznej i identyfikacja liniowych mostków cieplnych – źródło [6]

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń (tab. 2) można stwierdzić, że zastosowanie wartości Ψ [W/(m·K)] wg [4] nie uwzględniających struktury materiałowej przegród zewnętrznych i ich złączy powoduje uzyskanie wyników orientacyjnych (na poziomie szacowania wstępnego).

Podejmując dyskusję dotyczącą metod obliczeniowych w zakresie przenikania ciepła z uwzględnieniem przepływów dwu i trójwymiarowych (2D i 3D), nie należy zapominać o stratach ciepła przez przenikanie przegród stykających się z gruntem, które należą do trudniejszych w obliczeniach praktycznych. Wymagania cieplne sformułowane w rozporządzeniu [1] w tym przypadku dotyczą spełnienia dwóch kryteriów:

– w zakresie współczynnika przenikania ciepła podłogi na gruncie – $U \leq U_{max}$,
– podłoga na gruncie powinna mieć izolację cieplną obwodową z materiału izolacyjnego w postaci warstwy o oporze cieplnym co najmniej 2,0 $(m^2 \cdot K)/W$.

Autorzy zwracają uwagę, że w rozporządzeniu [1] nie sformułowano wymagań cieplnych (U_{max}) przez podłogi i ściany podziemia pomieszczeń ogrzewanych oraz przez podłogi w pomieszczeniach nieogrzewanych i podłóg podniesionych.

W zapisach podstawowej normy europejskiej PN-EN ISO 13370 [8] podano cztery, o różnym stopniu dokładności, sposoby obliczania stacjonarnych strat ciepła do gruntu. Wyróżniono metody:

A. pełne obliczenie komputerowe 3D, o największej dokładności, stosowane do rzeczywistych kształtów części budynku stykającej się z gruntem,
B. obliczenie komputerowe 2D przybliżonych empirycznie części podziemnych budynku,
C. przybliżone obliczenie wg wzorów empirycznych PN-EN ISO 13370 [8] stosowane dla podziemi, uzupełnione obliczeniem numerycznym 2D – które uwzględnia wpływ mostków cieplnych,
D. orientacyjne obliczenie wg wzorów jw. (poz.3) uzupełnione przyjęciem wpływu mostków cieplnych wartościami współczynników Ψ zgodnie z normą PN EN ISO 14683 [4].

Dość powszechne jest również stosowanie w obliczeniach parametru EP [kWh/(m^2·rok)] innej, orientacyjnej metody podanej w normie PN-EN 12831 [9], która z założenia nie spełnia kryterium wymaganej w obliczeniach cieplnych dokładności, zupełnie, pomijając wpływ mostków cieplnych.

Wskazanie tak wielu metod określania strat ciepła do gruntu wprowadza niepotrzebny bałagan przy wykonywaniu obliczeń cieplnych, bowiem kryteria stosowania poszczególnych metod nie są jasno określone. Szczegółowe analizy obliczeń w tym zakresie przedstawiono w pracy [5]. Wyniki rozwiązanych w [5] przykładów, przygotowane oparte na algorytmach metod − dokładnej trójwymiarowej symulacji komputerowej oraz uznanej za najbardziej zaawansowaną metody przybliżonej wg PN-EN IS0 13370 [8], z poprawką na

działanie mostków wg PN-EN ISO 10211 [10], rzucają światło na skalę dokładności proponowanych w normach przybliżeń. Zarówno w wymaganych przez rozporządzenie [1] obliczeniach cieplnych, jak i ustaleniach dotyczących świadectw charakterystyki energetycznej, metoda przybliżona jest uznana za poprawną, mimo jej stosunkowo niedużej dokładności dla niektórych przypadków posadowień budynków. Inne, wspomniane wcześniej, metody przybliżone i orientacyjne, zdaniem autorów, nie powinny być aktualnie dopuszczone do stosowania, czekając na konieczne uzupełnienia i poprawki zwiększające ich dokładność.

Niżej podano, niewymagające komentarza, zestawienie tabelaryczne dwóch istotnych parametrów obliczanych w [5], przygotowane dla trzech typów analizowanych podziemi i podłóg budynków w kontakcie z gruntem. Parametry uzyskano w wyniku zastosowania obu porównywanych metod. Wyniki związane z parametrem H_g [W/K], włączają do jego wartości mierzalne wpływy mostków w całym przyziemiu, w tym dodatkowy jego wpływ na ścianę powyżej płaszczyzny a – a (w wysokości równej 3-krotnej jej grubości), a więc całkowitą wartość liniowego współczynnika przenikania ciepła w złączu.

Tabela 3. Parametry cieplne budynków o różnym posadowieniu, obliczone metodą numeryczną i przybliżoną (wg PN-EN ISO 13370) – źródło [5]

Typ konstrukcji	Podłoga na gruncie		Podziemie ogrzewane		Podziemie nieogrzewane	
Metoda obliczeń	**H_g** [W/K]	**U** [W/(m²·K)]	**H_g** [W/K]	**U** [W/(m²·K)]	**H_g** [W/K]	**U** [W/(m²·K)]
trójwymiarowa numeryczna (przykład wg [5])	**30,452**	0,339	**56,372**	0,438	**40,880**	0,456
	(7.2)		(7.3)		(7.4)	
przybliżona normowa (przykład wg [5])	**34,049**	0,304	**51,530**	0,400	**41,320**	0,460
	(7.5)		(7.6)		(7.7)	

Jak wynika z przytoczonych, dość fragmentarycznych porównań, dokładność rezultatów uzyskanych metodą przybliżoną na ogół nie odbiega (w nadmiarze lub niedomiarze) więcej jak 10-11 % od rozwiązań uznanych za dokładne, w odniesieniu do podłóg na gruncie i podziemi ogrzewanych. Jest to stosunkowo dużo, szczególnie przy bilansowaniu budynków o niskim zużyciu energii (pasywnych) i sugeruje prace nad zwiększeniem dokładności metody przybliżonej w tym zakresie. W przypadku podziemi nieogrzewanych obie metody są zbieżne w granicach błędów obliczeniowych.

2. Współczynnik zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP budynku lub jego części – metody obliczeniowe

Zgodnie z wymaganiami sformułowanymi w rozporządzeniu [1], oprócz spełnienia kryterium izolacyjności cieplnej dla pojedynczych przegród zewnętrznych U_c (U) $\leq U_{c(max)}$ $U_{(max)}$, jednocześnie należy zaprojektować budynek pod kątem wskaźnika **EP** [kWh/(m²·rok)] o wartości mniejszej niż wartości maksymalne EP_{max} [kWh/(m²·rok)] podane w rozporządzeniu [1]. Należy także podkreślić, że wartości EP_{max} [kWh/(m²·rok)] uległy znacznemu zaostrzeniu, np. w przypadku budynków mieszkalnych jednorodzinnych (od 1.01.2021 roku) do wartości 70 [kWh/(m²·rok)]. Obliczenia charakterystyki energetycznej budynku przeprowadza się, opierając się na rozporządzeniu [11]. Do podstawowych parametrów charakterystyki energetycznej budynku można zaliczyć:

- **EU** [kWh/(m²·rok)] – wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową, uwzględniający cele ogrzewania i wentylacji, przygotowania ciepłej wody użytkowej i chłodzenia oraz zyski ciepła: wewnętrzne w zależności od rodzaju pomieszczeń

i budynku, od promieniowania słonecznego przez powierzchnie oszklone – określany metodą bilansów miesięcznych w odniesieniu o indywidualnych parametrów powietrza wewnętrznego i zewnętrznego.

- **EK** [kWh/(m^2·rok)] – wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową dla systemu grzewczego, przygotowania ciepłej wody użytkowej, chłodzenia, wbudowanej instalacji oświetlenia wbudowanego (nie dotyczy budynków mieszkalnych) i technicznych (jako energia pomocnicza), uwzględniający średnią sprawność systemów – określany na podstawie składowych zapotrzebowania na energię użytkową.
- **EP** [kWh/(m^2·rok)] – wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną dla systemu grzewczego, przygotowania ciepłej wody użytkowej, chłodzenia, wbudowanej instalacji oświetlenia wbudowanego (nie dotyczy budynków mieszkalnych) z dodaniem zastosowania energii pomocniczej dla systemów, uwzględniający współczynniki nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii lub energii dla systemów technicznych $\mathbf{w_i}$ – określany na postawie składowych zapotrzebowania na energię końcową.
- $\mathbf{E_{CO2}}$ [t_{CO2}/(m^2·rok)] – jednostkowa wielkość emisji CO_2, pochodząca z procesu spalania paliw przez system grzewczy, przygotowania ciepłej wody użytkowej, chłodzenia, oświetlenia wbudowanego oraz urządzenia pomocnicze w systemach technicznych.
- $\mathbf{U_{OZE}}$ [%] – udział odnawialnych źródeł energii w rocznym zapotrzebowaniu na energię końcową.

Budynki projektowane i wznoszone w przyszłości będą charakteryzowały się coraz mniejszą energochłonnością w fazie budowy i eksploatacji. Obok działań zmierzających do unowocześnienia sieci instalacyjnych – ogrzewczych, wentylacyjnych, klimatyzacyjnych, poprawienia ich sprawności i przystosowania do wykorzystania energii odnawialnej: wiatrowej, słonecznej, itp., oczekiwać należy na istotne zmiany w konstrukcji obudowy termoizolacyjnej budynków.

Szczególne znaczenie ma dbałość o indywidualne rozwiązania materiałowe przegród zewnętrznych i ich złączy, pogrubienie warstw termoizolacyjnych przegród, staranniejsze odizolowanie budynku od gruntu, lepsze wykorzystanie nasłonecznienia – wszystkie te zabiegi inżynierii budowlanej prowadzić mogą do znacznego obniżenia wskaźnika EP budynku, nawet do 50 % wartości obecnie wymaganej. Są to zasadniczo graniczne możliwości obniżania strat cieplnych, a można je osiągnąć wspólnym wysiłkiem architekta, konstruktora oraz projektanta instalacji grzewczych budynku. Ich wspólne działanie, polegające w pierwszej kolejności na usunięciu błędów w konstrukcji obudowy, co umożliwiają współczesne metody obliczeniowe fizyki budowli, może wykreować **budynek niskoenergetyczny.**

Sprowadzenie oceny całego budynku w aspekcie energetycznym tylko do wartości wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energie pierwotną **EP** [kWh/(m^2·rok)], określanego wg obowiązującej metodologii powoduje, że osłona budynku staje się aspektem drugorzędnym. Wskaźnik **EP** nie powinien być jednym, miarodajnym parametrem w zakresie energooszczędności budynków nowo projektowanych i modernizowanych.

3. Sprawdzenie kondensacji wilgoci w przegrodach budowlanych – metody obliczeniowe

Wymagania w zakresie wilgotnościowym wg rozporządzenia [1] powinny zostać sprawdzone odpowiednimi metodami obliczeniowymi, a w szczególności określić:

- Czynniki temperaturowe złączy w przegrodach budynku dla potwierdzenia wymagania: $f_{Rsi} \geq f_{Rsi(kryt)}$. Sprawdzenia wymagają wszystkie złącza (w zależności od ich rodzaju), obliczeniem dwu- lub trójwymiarowym. Wymienione obliczenia stanowią

o istocie realizacji warunku niedopuszczenia do kondensacji powierzchniowej na przegrodach osłaniających budynek.

- Wielkości rocznego zawilgocenia przegród zewnętrznych budynku w wyniku migracji pary wodnej, celem oceny ich zdolności przeciwstawiania się nadmiernemu zawilgoceniu wewnętrznemu (międzywarstwowemu).

Współczesne obliczenia cieplno-wilgotnościowe powinny więc korzystać z obszernej bazy danych, którą w Polsce należy dopiero utworzyć bądź uzupełnić, z wydzieleniem klimatu stref regionalnych i poszczególnych miejscowości. Określenie czynnika temperaturowego f_{Rsi} [-] w analizowanym złączu przegród zewnętrznych wymaga określenia temperatury minimalnej na wewnętrznej powierzchni przegrody oraz w miejscu mostka cieplnego, przy założeniu odpowiednich temperatur powietrza wewnętrznego (Θ_i) i zewnętrznego (Θ_e) i dla mostków cieplnych zastosowania przestrzennego modelu przegrody wg PN-EN ISO 10211:2008 [10]. Natomiast wymaganą wartość granicznego czynnika temperaturowego $f_{Rsi(kryt)}$ ustala się w funkcji temperatury t_i oraz zawartości wilgoci, φ_i, pomieszczenia, którego dotyczy. Wymienione parametry (temperatura wewnętrzna oraz zawartość wilgoci w pomieszczeniu) przesądzają o wartości czynnika temperaturowego $f_{Rsi(kryt)}$, decydującej granicy w ocenie poprawności rozwiązań konstrukcyjnych złącza. Wg normy PN-EN ISO 13788:2003 [12] czynnik temperaturowy $f_{Rsi(kryt)}$ oblicza się lub przyjmuje w zależności od zastosowanego w budynku rodzaju wentylacji (wentylacja grawitacyjna – dominująca w budownictwie mieszkaniowym lub wentylacja mechanicznej, będąca często składnikiem systemów klimatyzacyjnych, pozwalających w prawie dowolny sposób kształtować właściwości mikroklimatu wnętrz). W tabeli 4 zestawiono wyniki obliczeń wartości granicznej czynnika temperaturowego $f_{Rsi(kryt)}$ określonego różnymi metodami.

Tabela 4. Obliczenie krytycznej wartości czynnika temperaturowego dla trzech przypadków wentylacji pomieszczeń – źródło [5]

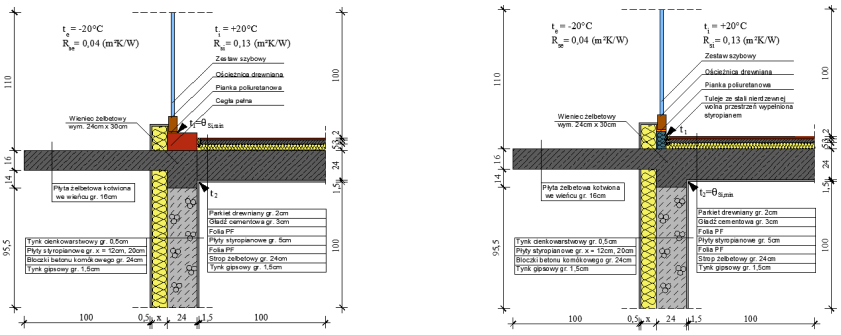
Metoda	m-c	Θ_e [ºC]	φ_e [%]	p_e [Pa]	Δp [Pa]	φ_i [%]	Θ_i [ºC]	Θ_{kr} [ºC]	f_{Rsi} [-]
A	I	-3,0				55	20	14,1	**0,743**
A	II	-1,6				55	20	14,1	0,726
B	XII	-0,5	89	522	810		16	14,6	**0,886**
B	I	-3,0	87	414	810		16	13,3	0,858
B	II	-1,6	85	454	810		16	13,8	0,875
C	I	-4,8				50	24	16,4	0,736 **0,72***)

– metoda: **A** (stała wilgotność wnętrza – klimatyzacja), **B** (wilgotność wnętrza zmieniająca się w funkcji klasy wilgotności pomieszczenia – wentylacja grawitacyjna), **C** (wnętrze o temperaturze ti ≥ 20ºC oraz wilgotności φ_i=50% zdefiniowanej wg [1] – wentylacja grawitacyjna)
– lokalizacja budynku (metoda A i B – Kraków, metoda C – Białystok,
– klasa wilgotności pomieszczeń 4 (metoda B)
*) wartość graniczna określona wg rozporządzenia [1]

W rozporządzeniu [1], mimo uznania normy PN-EN ISO 13788 [12] za obowiązującą w projektowaniu, istnieje **odstępstwo** od jej wymagań, polegające na przyjęciu średniej miesięcznej wilgotności względnej powietrza wewnętrznego w stałej wartości φ_i = 0,50 (50%) (punkt 2.2.2 Załącznika nr 2 [1]) dla pomieszczeń z temperaturą wewnętrzną równą co najmniej 20°C. Równocześnie dopuszczono (bez obliczeń) dla tych pomieszczeń przyjmowanie wartości czynnika $f_{Rsi(kryt)}$ = 0,72, co praktycznie oznacza rezygnację z ustalania klas wilgotności pomieszczeń zaopatrzonych w wentylację grawitacyjną. To odstępstwo, nie pozwala na uwzględnienie w obliczeniach wilgotnościowych realnych warunków loka-

lizacyjnych (klimatycznych) oraz mikroklimatycznych badanego budynku, przynajmniej w odniesieniu do pomieszczeń o temperaturze wewnętrznej $\Theta_i \geq 20°C$, dość drastycznie obniżając poziom wymagań w zakresie ochrony przed zagrzybieniem budynków położonych w Polsce w ostrzejszych strefach klimatycznych (strefa IV i V).

W pracy przedstawiono szczegółową analizę parametrów złącza ściany zewnętrznej z balkonem oraz drzwiami balkonowymi w dwóch wariantach montażu ościeżnicy: wariant I – ościeżnica przymocowana do cegły pełnej za pomocą pianki poliuretanowej, wariant II – ościeżnica podparta przez tuleje ze stali nierdzewnej z wypełnieniem wolnej przestrzeni styropianem (rys. 2). Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 4.



Rys. 2. Rozwiązania materiałowe połączenia ściany zewnętrznej z wspornikową płytą balkonową – opracowanie własne [13]

Tabela 4. Wyniki obliczeń temperatur minimalnych i czynnika temperaturowego f_{Rsi} analizowanych złączy

Parametry fizykalne złącza	Wariant I		Wariant II	
grubość izolacji [m]	0,12	0,20	0,12	0,20
ocena ryzyka kondensacji powierzchniowej (temperatury minimalne przy: Θ_e = -20°C, Θ_i = 20°C)				
t_1 (Θ_1) [°C]	8,97	8,99	12,95	13,63
t_2 (Θ_2) ($\Theta_{si,min.}$) [°C]	10,51	11,96	9,66	11,16
f_{Rsi} [-]	0,724	0,725	0,742	0,779

W aspekcie oceny cieplno-wilgotnościowej najbardziej korzystnym rozwiązaniem jest zastosowanie ościeżnicy z tulei ze stali nierdzewnej z wypełnieniem. Rozwiązanie wg wariantu I generuje obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody do poziomu, w którym występuje ryzyko kondensacji powierzchniowej, ponieważ $f_{Rsi} < f_{Rsi,\ kryt.}$. Wartość graniczna (krytyczna) czynnika temperaturowego, uwzględniając parametry powietrza wewnętrznego i zewnętrznego, analizowanych wariantów obliczeniowych, wynosi $f_{Rsi(kryt)} = \mathbf{0,778}$. Jednak stosując wartość graniczną czynnika temperaturowego na poziomie $f_{Rsi(kryt)} = \mathbf{0,72}$ (dopuszczoną przez przepisy prawne [1]), złącze z temperaturą minimalną na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego (8,97°C), spełnia wymaganie w zakresie uniknięcia kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody.

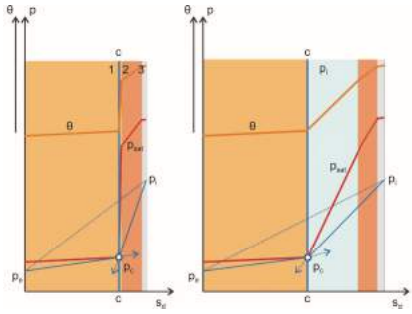
Metody używane przy identyfikacji i ustaleniu ilości wody kondensacyjnej we wnętrzu przegrody mają ugruntowane podstawy naukowe opisane w pracy [5]. Proste metody stacjonarne służą jedynie celom informacyjnym, rozpoznawczym. Dokładniejsze procedury sprawdzające ilości wody kondensacyjnej korzystać muszą z bilansu wilgoci, sporządzonego dla całego roku. Dobrze znane i powszechnie stosowane w krajach UE metody, opisane normą PN-EN ISO 13788 [12] spełniają te kryteria. Pełne ich stosowanie ogranicza wąska baza danych klimatycznych dla terenu Polski − dostępna w celach projektowych.

Bardziej zaawansowane metody numeryczne rozpatrujące transport dyfuzyjny pary wodnej łącznie z przemieszczaniem się wody kapilarnej, jak na razie mają znaczenie ograniczone do badania zjawiska wysychania przegród z wilgoci początkowej, chociaż możliwe jest ich stosowanie (wymagają obszernej biblioteki danych wejściowych) w ocenie stanu wilgotnościowego przegród (metoda WUFI).

Pełniejszej analiza dostarcza metoda Glasera, która polega na uwzględnieniu warunków granicznych, z jakimi oddziałuje na przegrodę zmieniające się środowisko, które w rytmie cyklu rocznego, decyduje o narastaniu niebezpieczeństwa kondensacji wewnętrznej w zimie, w lecie mogąc prowadzić do wysuszenia przegrody. Tylko bilans roczny wilgoci, z uwzględnieniem specyficznych warunków klimatycznych lokalizacji budynku może udzielić informacji o ogólnej kondycji przegrody, o możliwości neutralizowania zimowego niekorzystnego zawilgocenia. Przegrody wysychające w okresie miesięcy ciepłych spełniają ze względów fizykalnych warunek konieczny poprawności konstrukcji. Jednak mimo korzystnego bilansu rocznego wilgoci, znaczniejsza kondensacja wewnętrzna w okresie zimowym, dotykająca warstw położonych w strefie temperatur ujemnych w przegrodzie, może znacznie pogorszyć ich właściwości cieplne, wynikające z niedostatecznej mrozoodporności poszczególnych materiałów użytych do budowy. Pojawia się więc warunek dodatkowy − zapewnienia poprawności konstrukcji ze względu na zawilgocenie wewnętrzne. Znaczne zawilgocenie jastrychów i gładzi cementowych, umieszczonych pod pokryciami stropodachów, może być powodem szybkiej degradacji tych elementów w wyniku zamarzania, nawet gdy zawilgocenie jest krótkotrwałe. Taki sam proces destrukcji może zagrozić ścianom zewnętrznym, szczególnie trójwarstwowym.

Poniżej przedstawiono przykład zastosowania prostej metody dyfuzyjnej informujący o stanie wilgotnościowym ściany trójwarstwowej (przykład 13.4 w pracy [5]). Rozwinięciem tych obliczeń jest metoda Glasera pozwalająca ocenić w sposób dokładniejszy możliwości kondensacji i wysychania z wilgoci wnętrza przegrody na przestrzeni roku. Metodą Glasera zbadano stan wilgotnościowy dwóch różniących się budową ścian trójwarstwowych (przykład 13.5 w pracy [5]). Poddano ocenie stan wilgotnościowy ściany dla dwóch różnych materiałów termoizolacyjnych: wełny mineralnej i styropianu, użytych alternatywnie, przyjmując budynek w Warszawie z wentylacją grawitacyjną w 3/4 klasie wilgotności pomieszczeń (dla $t_e < 0$ºC $\rightarrow \Delta p = 810$ Pa).

Na rysunku 3 przedstawiono w skali oporów dyfuzyjnych (oś pozioma) wykresy temperatury t, ciśnienia pary wodnej nasyconej p_{sat} oraz rzeczywistego ciśnienia cząstkowego pary wodnej p dla dwóch przypadków termoizolacji ściany.



Rys. 3. Analiza wilgotnościowa ściany trójwarstwowej ocieplonej alternatywnie: a) wełną mineralną, b) styropianem

Wykresy p i p_{sat} przecinają się, przegroda w obu przypadkach jest zagrożona kondensacją wewnętrzną wilgoci. Występuje jedna wewnętrzna płaszczyzna kondensacji wilgoci c w styku termoizolacji z licówką (płaszczyzna międzywarstwowa 1), ciśnienie p_c = 413 Pa. Obliczono także ilości kondensującej wilgoci g w płaszczyźnie c, odpowiednio: dla izolacji z wełny mineralnej $g_c = 563 \cdot 10^{-10}$ kg/(m^2·s) – w okresie miesięcznym $g_{(m)}$ = 0,146 kg/m^2 oraz dla izolacji ze styropianu $g_c = 172 \cdot 10^{-10}$ kg/(m^2·s) – w okresie miesięcznym $g_{(m)}$ = 0,044 kg/m^2. Rezultaty obliczeń wskazują na fakt gromadzenia się wewnątrz przegrody (dla obu rodzajów termoizolacji) wilgoci kondensacyjnej. Nie można jednak odpowiedzieć na pytanie, czy bilans roczny wilgoci wykaże możliwość wysuszenia przegrody w okresie letnim, co jest koniecznym warunkiem jej akceptacji technicznej. W drugim etapie obliczeń przeprowadzono bilans wilgoci w okresie roku kalendarzowego dla dwóch wariantów ocieplenia (wełną mineralną lub styropianem) posługując się metodą Glasera wg PN-EN ISO 13788 [12]. Szczegółowe obliczenia przedstawiono w pracy [5] – przykład 13.5. Bilans zawilgocenia i wysychania przegrody w ciągu roku kalendarzowego prowadzi się miesiącami, wykorzystując wartości ciśnienia. Bilans roczny wilgoci narastająco wynosi (tabela 13.12. [5]) odpowiednio dla ściany z izolacją z wełny mineralnej 0,441 kg/m^2 natomiast z izolacją ze styropianu 0,054 kg/m^2.

Prezentowane przykładowo wyniki obliczeń w czytelny sposób ilustrują proces gromadzenia (kondensacji) i wysychania (parowania) wilgoci w rozważanej przegrodzie w ciągu roku. W obu przypadkach, w okresie od października do kwietnia, przegroda akumuluje wilgoć, przy czym przy osłonie styropianowej, ilość tej wilgoci jest zdecydowanie mniejsza niż przy wełnie mineralnej. W okresie cieplejszym (od maja do września) przegroda wysycha, jednak bilans roczny jest niekorzystny, a ilość pozostałej w przegrodzie wilgoci znaczna (szczególnie w przypadku osłony z wełny mineralnej). Ocena wilgotnościowa ściany zewnętrznej trójwarstwowej, ocieplonej zarówno wełną mineralną, jak i styropianem wypada niepomyślnie. Obie przegrody gromadzą w okresie zimowym wilgoć kondensacyjną, która nie jest w stanie wyparować w okresie letnim.

Żadna z podanych dotychczas metod nie dostarcza dokładnych prognoz stanu zawilgocenia przegrody, przydatnych w analizie procesu jej wysychania z wilgoci budowlanej. Mało skomplikowany w aplikacjach numerycznych, model Künzela, którym można porównawczo dokonywać analiz stanów wilgotnościowych przegród, z uwzględnieniem złożonego procesu migracji wilgoci. Korzystając z materiałów prezentowanych w internecie [14], można opisać metodę WUFI.

Niestacjonarna metoda badania migracji wilgoci w przegrodzie, wykorzystując efektowne możliwości wizualizacyjne technik komputerowych, jest znakomitym narzędziem poznawczym i dydaktycznym. Jej przydatność praktyczna, w analizie indywidualnych przypadków przegród, budzi jednak wątpliwości, z uwagi na piętrzenie trudnych do ścisłego ustalenia danych wejściowych − zmiennych i nieprzewidywalnych, jak chociażby niektóre dane klimatyczne wykorzystywane w tej metodzie.

4. Podsumowanie i wnioski końcowe

Dążenie do spełnienia standardu budownictwa energooszczędnego powinno opierać się na jasnych, precyzyjnych zasadach wynikających z podstawowych zasad szeroko rozumianej „fizyki budowali" z zastosowaniem nowoczesnych narzędzi numerycznych.

Na podstawie prowadzonych przez autorów pracy badań, obliczeń i analiz sformułowano tezę o konieczności wprowadzenia istotnych zmian w zapisach istniejącego rozporządzenia [1] oraz metodologii sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej budynków [11] a w szczególności:

1. Przywrócenie obliczania realnych wartości współczynników $\mathbf{U_{max}}$ poszczególnych przegród budynku z uwzględnieniem przepływów dwuwymiarowych, a dla przegród w kontakcie z gruntem trójwymiarowych. Przedstawione powyżej oraz w pracach [2, 5, 6] przykłady obliczeniowe potwierdzają potrzebę prowadzenia profesjonalnych dokładnych obliczeń przy zastosowaniu programów komputerowych z uwzględnieniem parametrów powietrza wewnętrznego i zewnętrznego. W obliczeniach inżynierski w aspekcie cieplno-wilgotnościowym autorzy proponują korzystanie z profesjonalnych katalogów mostków cieplnych. Obniżanie wartości granicznych współczynników przenikania ciepła $\mathbf{U_{max}}$ bez uwzględniania przepływów ciepła w polu (2D) i (3D) czyli mostków cieplnych, powoduje rzeczywiste dopuszczenie większych strat ciepła przez przegrody budowlane i ich złącza. Ponadto zasadne staje się określenie wartości granicznych liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ_{max} na poziomie 0,10-0,20 W/(m·K) w zależności od specyfiki analizowanego złącza.
2. Koniecznym wydaje się pełne korzystanie z normy PN-EN ISO 13788 [12] w zakresie analizy przegród i ich złączy w aspekcie wilgotnościowym. Zasadne staje się wycofanie z zapisów rozporządzenia [1] zapisu dopuszczającego stosowanie wartości granicznej $\boldsymbol{f_{Rsi}}$ na poziomie 0,72. Autorzy zauważają potrzebę opracowania wytycznych projektowych w aspekcie wilgotnościowym z określeniem wartości krytycznych $\boldsymbol{f_{Rsi}}$ przy uwzględnieniu specyficznych warunków parametrów powietrza wewnętrznego i zewnętrznego.
3. Procedury obliczeniowe w zakresie sprawdzenia kondensacji międzywarstwowej, uwzględniające procedury metody Glasera, stają się dla projektantów – inżynierów budownictwa bardzo skomplikowane i często pomijane w procesie projektowania. Autorzy proponują potrzeba opracowania katalogów z poprawnymi rozwiązaniami przegród zewnętrznych i ich złączy z uwzględnieniem wykluczenia ryzyka występowania kondesacji międzywarstwowej.
4. Obliczanie parametrów charakterystyki energetycznej budynków lub części budynków powinno opierać się na jasnych procedurach obliczeniowych wg jednoznacznej metodologii bez odsyłania do wielu norm przedmiotowych, które elementy bilansu energetycznego budynku traktują w sposób uproszczony a niektóre wskaźniki przyjmowane są jako orientacyjne. Autorzy zalecają sformułowanie wymagań w zakresie wartości granicznej wskaźnika zapotrzebowania na energię użytkową **EU** [kWh/(m^2·rok)] dla analizowanego budynku lub jego części.

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz.U. 2013. poz. 926.
2. Dylla A., 2009. Praktyczna fizyka cieplna budowli. Szkoła projektowania złączy budowlanych. Wydawnictwa Uczelniane UTP w Bydgoszczy.
3. Rozporządzeni Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny być odpowiadać budynki i ich usytuowanie WT-2008.
4. PN-EN ISO 14683:2008. Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne.
5. Dylla A., 2015. Fizyka cieplna budowli w praktyce. Obliczenia cieplno-wilgotnościowe. Wydawnictwa PWN SA Warszawa.
6. Pawłowski K., 2013. Projektowanie przegród zewnętrznych w świetle nowych warunków technicznych dotyczących budynków WT2013, Wydanie Specjalne IZOLACJE 2/2013, Warszawa,.
7. PN-EN ISO 6946:2008. Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.

8. PN-EN ISO 13370:2008. Cieplne właściwości użytkowe budynków. Wymiana ciepła przez grunt. Metoda obliczania.
9. PN-EN 12831:2006. Instalacje grzewcze w budynkach – Metoda obliczania obciążenia cieplnego.
10. PN-EN ISO 10211:2008. Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.
11. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. z 18 marca 2015 r., poz. 376).
12. PN-EN ISO 13788: 2003. Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku, Temperatura powierzchni wewnętrznej umożliwiająca uniknięcie krytycznej wilgotności powierzchni wewnętrznej kondensacji, Metody obliczania.
13. Dybowska M., Pawłowski K., Kształtowanie parametrów fizykalnych złączy ścian zewnętrznych z płytą balkonową. Czasopismo Materiały budowlane 5/2015, s. 97-99
14. PC-Programm zur Berechnung das gekoppelten Wärme-und Feuchtetransports in Bauteilen, WUFI (Program do cieplno-wilgotnościowego projektowania przegród budowlanych w Polsce, WUFI-POL), Franhofer Institut für Bauphysik.

Essential changes in the assessment of hygrothermal quality elements in energy-effcient buildings

Andrzej Dylla, Krzysztof Pawłowski

Faculty of Civil and Environmental Engineering and Architecture,
UTP University of Science and Technology in Bydgoszcz,
e-mail: kboifb@utp.edu.pl, krzypaw@utp.edu.pl

Abstract: The realization of existing requirements in terms of hygrothermal features depends on checking multiple building parameters and also its envelope components and their junctions. The article discusses the following physical subjects including energy-saving construction standards:

- the impact analysis of heat flows in the field (2D) and (3D) – thermal bridges, with the evaluation of thermal insulation of envelope components and their junctions based on available literature or numerical tools,
- the analysis of the building assessment in energy aspect with the indicator of non-renewable primary energy demand EP [kWh/(m^2·year)] in the material structure of the building envelope,
- the analysis and evaluation of computational methods of envelope components and their junctions in relation to humidity (surface condensation and inter-layer condensation).

Based on the analysis and calculation examples, the authors suggest to introduce significant changes in the provisions of "Technical Conditions" and the methodology of preparing energy performance certificates.

Keywords: energy-efficient building, hygrothermal quality

System oceny budynków wg Małopolskiego Centrum Budownictwa Energooszczędnego

Małgorzata Fedorczak-Cisak[1], Marcin Furtak[2], Joanna Rucińska[3]

[1] Małopolskie Centrum Budownictwa Energooszczędnego, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska, e-mail: mporanna@wp.pl

[2] Małopolskie Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska, e-mail: mfurtak@pk.edu.pl

[3] Narodowa Agencja Poszanowania Energii S.A., e-mail: jrucinska@nape.pl

Streszczenie: Kierunki rozwoju polityki europejskiej w sektorze budownictwa ściśle wiążą się ze zwiększeniem efektywności energetycznej budynków. Wpływa to bezpośrednio na ograniczenie emisji CO_2 do atmosfery oraz poprawę jakości życia. Budynki energooszczędne muszą zapewniać przyjazny klimat mieszkańcom, przy jednoczesnym niewielkim obciążeniu środowiska. Takie parametry mogą być potwierdzone poprzez certyfikację budynków. Pierwszym w Polsce certyfikatem budynków energooszczędnych jest certyfikat wprowadzony w Małopolsce. W pracy przedstawiono metodykę opracowania i założenia Małopolskiego Certyfikatu Budynków Energooszczędnych.

Słowa kluczowe: budownictwo energooszczędne, certyfikacja budynków, certyfikat MCBE

1. Wprowadzenie

Polityka europejska w zakresie wytycznych i działań zmierzających do poprawy efektywności energetycznej bardzo mocno skupia się na sektorze budownictwa, odpowiadającym za około 40% światowego zużycia energii. Zrównoważone, energooszczędne budownictwo to w najbliższych latach nie tylko moda, ale konieczność.

Jakość projektowanych budynków potwierdzają certyfikaty oceny budynków. Systemy ocen budynków, w zależności od przyjętych kryteriów, pozwalają na ocenę budynku zarówno w aspekcie zużywanej energii, jak i wpływu na środowisko i użytkowników. Ważne jest, aby do oceny wzięto pod uwagę lokalne warunki klimatyczne i społeczne.

Małopolskie Centrum Budownictwa Energooszczędnego Politechniki Krakowskiej wprowadziło certyfikat, który potwierdza parametry budynku energooszczędnego, wpływające na jego zużycie energii, rzetelne wykonanie budynku oraz jego wpływ na zdrowie i samopoczucie użytkowników. Dokument jest pierwszym opracowanym w Polsce certyfikatem budynków energooszczędnych, spełniającym założenia budynków o niemal zerowym zapotrzebowaniu na energię, których wdrożenie nakładają na Polskę dyrektywy Unii Europejskiej. Certyfikat MCBE został opracowany we współpracy z Małopolskim Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego, Narodową Agencję Poszanowania Energii oraz Polską Akademię Nauk.

2. Budownictwo o niemal zerowym zapotrzebowaniu na energię

Unia Europejska promuje zrównoważone i energooszczędne budownictwo. Jest to spowodowane wieloma czynnikami: wyczerpywaniem energetycznych paliw kopalnych, globalnym ociepleniem, wzrostem zawartości dwutlenku węgla oraz innych zanieczyszczeń

w atmosferze. Głównym dokumentem dającym wytyczne prowadzenia polityki krajów europejskich w tym zakresie jest pakiet klimatyczny 3 x 20 (czyli 20% redukcja emisji gazów cieplarnianych, 20% poprawa efektywności energetycznej, udział energii odnawialnej w bilansie energetycznym danego kraju wynosił 20%) [1]. Na mocy przyjętych dyrektyw, między innymi Dyrektywy 31/2010/UE [2], kraje członkowskie UE określają parametry budynków o niemal zerowym zapotrzebowaniu na energię, dostosowane do swoich warunków klimatycznych i społecznych. Z różnym stopniem zaangażowania są przyjmowane krajowe przepisy wykonawcze zakładające wdrożenie tego typu budynków w Europie. Wspólna, europejska definicja budynków o niemal zerowym zużyciu energii zakłada, że takie budynki powinny charakteryzować się znacznie obniżonym poziomem zapotrzebowania na energię w stosunku do budynków tradycyjnych oraz że ta energia powinna być w dużej mierze wyprodukowana lokalnie z odnawialnych źródeł energii. W świetle takich przepisów efektywność energetyczna budynków stała się sprawą ważną i konieczną.

Zgodnie z przedstawionymi przepisami europejskimi oraz krajowych niezbędne jest poprawne projektowanie, wykonywanie i użytkowanie budynków o niemal zerowym (niskim) zużyciu energii. Wiele krajów, w szczególności Niemcy, Austria, kraje skandynawskie, promuje budownictwo pasywne, które jest zgodne z wymaganiami europejskimi. Polska nie ma doświadczenia w projektowaniu i realizacji budynków o tak niskim zapotrzebowaniu na energię. Bardzo ważnym elementem służącym potwierdzeniu poziomu energooszczędności tego typu budynków oraz ich jakości budowlanej i użytkowej jest sprawdzenie parametrów pod kątem odpowiedniej izolacyjności cieplnej, zapotrzebowania na energię, spełnienia wymagań komfortu użytkowania czy zastosowania ekologicznych materiałów.

Gwarancją dobrego projektu architektoniczno-budowlanego oraz poprawnego wykonania obiektu jest **certyfikacja**, która wskaże poprzez ocenę odpowiednio wybranych parametrów, wymagany standard.

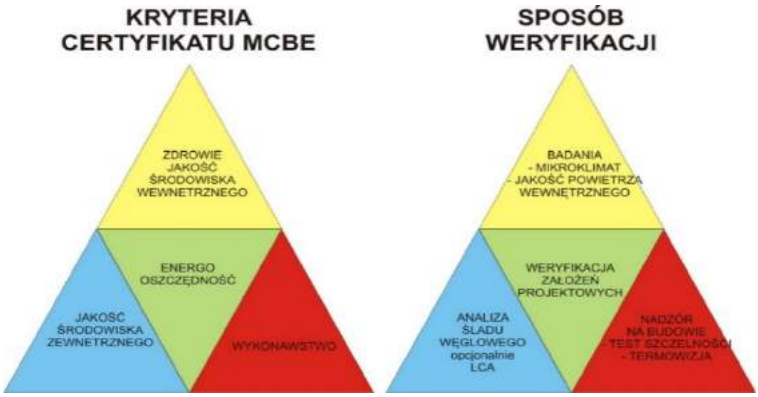
Proces certyfikacji może obejmować zarówno proces koncepcji i projektowania jak i proces budowy oraz użytkowanie obiektu.

3. Małopolski Certyfikat Budownictwa Energooszczędnego

Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom inwestorów oraz projektantów, Małopolskie Centrum Budownictwa Energooszczędnego, jednostka Politechniki Krakowskiej wspólnie z partnerami: Małopolskim Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego, Narodową Agencją Poszanowania Energii oraz Polską Akademią Nauk (Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią) opracowało **Certyfikat Małopolskiego Budynku Energooszczędnego**.

Naukowcy i eksperci do opracowania modelu Małopolskiego Budynku Energooszczędnego, wzięli pod uwagę regionalne warunki klimatyczne i określili wytyczne, jakie powinien spełniać taki budynek, aby był uznany za energooszczędny, zdrowy i przyjazny środowisku.

Certyfikat MCBE PK jest **pierwszym** opracowanym w Polsce certyfikatem budynków energooszczędnych, spełniających założenia polskiej definicji budynków o niemal zerowym zapotrzebowaniu na energię. Kryteria oraz sposoby weryfikacji Certyfikatu MCBE przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Kryteria na których oparty jest Certyfikat MCBE oraz sposób ich weryfikacji

4. Małopolski Certyfikat Budynków Energooszczędnych - metodyka[3-23]

Założenia do Certyfikatu MCBE zostały opracowane przez zespół naukowców, którzy przy wykorzystaniu programów do obliczeń cieplnych oraz uwzględnieniu lokalnych uwarunkowań wyznaczyli optymalne modele małopolskich budynków energooszczędnych. Dane wejściowe obejmowały różne typy budynków – od budynków jednorodzinnych mieszkalnych, poprzez budynki wielorodzinne, użyteczności publicznej i obiekty sportowe. Po przeprowadzeniu analiz określono parametry, jakie powinien spełniać budynek energooszczędny zlokalizowany w Małopolsce.

a. Dane meteorologiczne

Województwo małopolskie jest zróżnicowane pod względem warunków klimatycznych. Występują w nim trzy różnorodne strefy klimatyczne zgodnie z normą PN-82/B-02403. Eksperci MCBE przyjęli, że certyfikat MCBE będzie uwzględniał różne warunki klimatyczne Małopolski. W najbliższym czasie certyfikat zostanie opracowany dla wszystkich stref klimatycznych Polski.

Do obliczeń wykorzystano dane pogodowe zamieszczone na stronie Ministerstwa Infrastruktury i Rozwoju dla stacji meteorologicznych reprezentujących dane obszary województwa małopolskiego: Kraków III strefa klimatyczna, Nowy Sącz IV strefa klimatyczna oraz Zakopane V strefa klimatyczna.

b. Rodzaje analizowanych budynków

Obliczenia wykonano dla następujących typów budynków:

- **budynek jednorodzinny**, analiza obejmowała trzy budynki jednorodzinne o różnym współczynniku kształtu A/V, budynek parterowy, budynek z poddaszem użytkowym, budynek dwukondygnacyjny z poddaszem nieużytkowym,
- **budynek wielorodzinny**, analiza obejmowała cztery budynki wielorodzinne o różnym współczynniku kształtu A/V,
- **budynek mieszkalny z częścią usługową**, analiza obejmowała jeden budynek mieszkalny wielorodzinny z częścią usługową na parterze,
- **budynek użyteczności publicznej**, analiza obejmowała dwa budynki biurowe o różnym współczynniku A/V, dwa budynki szkoły o różnym współczynniku A/V oraz jeden budynek o większej wysokości kondygnacji, np. hala sportowa,
- **budynek handlowy**, analiza obejmowała dwa budynki handlowe o różnym współczynniku A/V.

W tabeli 1 zestawiono dane geometryczne analizowanych budynków.

Tabela 1. Dane geometryczne budynków poddanych analizie

Model budynku	Pow. użytkowa	Kubatura budynku obejmująca powierzchnię o regulowanej temperaturze	A/V	Udział przeszklenia w przegrodach zewnętrznych
	m^2	m^3	1/m	-
Jednorodzinny 1	150	367,5	0,66	0,09
jednorodzinny 1 z garażem	178,9	448,6	0,63	0,07
Wielorodzinny 2	122,1	310,9	0,73	0,09
Jednorodzinny 3	149,2	356,3	0,8	0,08
Wielorodzinny 1	5286,7	13713,7	0,32	0,23
Wielorodzinny 2	2627,3	6581,7	0,35	0,20
Wielorodzinny 3	1956,1	4996,9	0,44	0,18
Wielorodzinny 4	966,53	2404,8	0,47	0,16
Wielorodzinny z częścią usługową	1956,1	5175,9	0,44	0,18
Część mieszkalna	1480,3	3749,2		
Część usługowa	475,8	1426,7		
Biuro 1	4952,8	17209,2	0,10	0,60
Biuro 2	11031,4	38873,4	0,12	0,59
Hala sportowa 1	633,4	2620,4	0,41	0,06
Budynek handlowy 1	10062,1	83313,9	0,16	0,00
Budynek handlowy 2	2261,2	13197,4	0,26	0,06
Szkoła 1	2651	10668,7	0,18	0,07
Szkoła 2	2663,7	11156,4	0,31	0,07

c. Wartości przyjęte do analizy

W analizie przyjęto we wszystkich budynkach następujące wartości współczynników przenikania ciepła przegród zewnętrznych zgodne z wymaganiami Certyfikatu MCBE.

Obliczenia zapotrzebowania na energię końcową i pierwotną do ogrzewania wykonano dla dwóch powszechnie stosowanych rozwiązań instalacyjnych. Pierwsze z nich to instalacja centralnego ogrzewania zasilana z kotła gazowego, natomiast drugie to instalacja centralnego ogrzewania zasilana z miejskiej sieci ciepłowniczej.

W analizie uwzględniono dwa rodzaje wentylacji: naturalną oraz mechaniczną nawiewno-wywiewną z odzyskiem ciepła o maksymalnej sprawności odzysku ciepła wynoszącej 80%. Szczelność budynku w przypadku wentylacji naturalnej wynosi n_{50} = 3,0 1/h, natomiast w przypadku wentylacji mechanicznej n_{50} =1,5 1/h. W warunkach technicznych zapisano, że w budynku o wysokości do 9 kondygnacji może być stosowana wentylacja grawitacyjna lub mechaniczna. W budynkach wyższych należy stosować wentylację mechaniczną wywiewną lub nawiewno-wywiewną. W związku z powyższym w budynkach wielorodzinnych zastosowano zamiast wentylacji naturalnej wentylację mechaniczną wyciągową. Szczelność budynku w przypadku wentylacji wyciągowej wynosi n_{50} =1,5 1/h.

Obliczenia zapotrzebowania na energię końcową i pierwotną do chłodzenia wykonano przy założeniu systemu chłodzenia z indywidualnymi klimatyzatorami. Energia do napędu urządzeń dostarczana jest z sieci elektroenergetycznej.

System oświetlenia było oceniany w budynkach użyteczności publicznej, handlowych oraz w części usługowej budynku wielorodzinnego.

Obliczenia uwzględniają energię zużywaną przez urządzenia pomocnicze w systemie ogrzewania, przygotowania ciepłej wody użytkowej, wentylacji.

Obliczenia zapotrzebowania na energię końcową i pierwotną do przygotowania ciepłej wody użytkowej wykonano dla dwóch powszechnie stosowanych rozwiązań instalacyjnych. Pierwsze z nich to instalacja przygotowania c.w.u. zasilana z kotła gazowego natomiast drugie to instalacja przygotowania ciepłej wody użytkowej zasilana z miejskiej sieci ciepłowniczej.

Sprawności cząstkowe przyjętych systemów ogrzewania, chłodzenia oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej określono zgodnie z rozporządzeniem w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej [5]

Współczynniki nieodnawialnej energii pierwotnej są zgodne z rozporządzaniem w sprawie sporządzania charakterystyki energetycznej budynku oraz danymi podawanymi na stronach przedsiębiorstw ciepłowniczych zostały przyjęte:

− gaz sieciowy w = 1,1;
− energia elektryczna w = 3,0;
− MPEC Kraków 2013 w = 0,62;
− MPEC Nowy Sącz = 1,3;
− dla Geotermii Podhalańskiej = 0,39.

5. Wyniki analizy budynku jednorodzinnego

Z uwagi na zakres prac w artykule przedstawiono jedynie wyniki analizy wybranego budynku jednorodzinnego bez układu chłodzenia. W tabeli 2 zestawiono wyniki wskaźnika zapotrzebowania energii pierwotnej EP budynku w różnych wariantach zastosowanych systemów, źródeł oraz orientacji względem stron świata. W tabeli 2 wyróżniono wartości mniejsze do maksymalnego wskaźnika zapotrzebowania energii pierwotnej EP zawartego w warunkach Technicznych obowiązujących od 1 stycznia 2014 r., czyli 120 kWh/(m^2 rok). Kolorem czerwonym dodatkowo wskazano rozwiązania umożliwiające spełnienie wymagań obowiązujących po 1 stycznia 2021 r., w których EP_{max} = 70 kWh/(m^2 rok).

Tabela 2. Wyniki analizy dla budynków jednorodzinnych bez układu chłodzenia dotyczące wskaźnika EP

Rodzaj budynku	**Źródło zasilania**	**w_i**	**Wskaźnik zapotrzebowania energii pierwotnej EP [kWh/(m^{2}rok)]**				
-	-	-	N	E	S	W	SH*
Podstawowy III strefa klimatyczna (Kraków)	gaz	1,1	131,7	131,4	131,1	132,1	131,6
Podstawowy IV strefa klimatyczna (Nowy Sącz)	gaz	1,1	123,5	123,2	122,8	124,1	123,4
Podstawowy V strefa klimatyczna (Zakopane)	gaz	1,1	145,2	144,7	144,5	145,9	145,1
Podstawowy III strefa klimatyczna (Kraków)	MPEC Kraków 2013	0,62	**69,3**	**69,1**	**69,0**	**69,5**	**69,2**
Podstawowy IV strefa klimatyczna (Nowy Sącz)	MPEC Nowy Sącz	1,3	123,9	123,6	123,1	124,5	123,8
Podstawowy V strefa klimatyczna	Geotermia Podhalańska	0,39	**52,1**	**52,0**	**51,9**	**52,4**	**52,1**
Went. mech. III strefa klimatyczna (Kraków)	gaz	1,1	**114,8**	**114,7**	**114,4**	**115,3**	**114,8**

cd. tabeli 2

Went. mech. IV strefa klimatyczna (Nowy Sącz)	gaz	1,1	**108,0**	**107,7**	**107,5**	**108,5**	**107,9**
Went. mech. V strefa klimatyczna (Zakopane)	gaz	1,1	122,1	121,6	121,3	122,6	121,9
Went. mech. III strefa klimatyczna	MPEC Kraków 2013	0,62	**67,4**	**67,3**	**67,2**	**67,6**	**67,4**
Went. mech. IV strefa klimatyczna	MPEC Nowy Sącz	1,3	**107,0**	**106,7**	**106,4**	**107,5**	**106,9**
Went. mech. V strefa klimatyczna	Geotermia Podhalańska	0,39	**53,9**	**53,7**	**53,6**	**54,0**	**53,8**

* wartość wskaźnika zapotrzebowania energii pierwotnej do ogrzewania wyznaczona jako średnia z wartości dla budynku o orientacji N,E,S i W

6. Zastosowanie Odnawialnych Źródeł Energii

Ponieważ analiza wskazała, że przy zastosowaniu tradycyjnych, konwencjonalnych źródeł energii nie można spełnić warunków ochrony cieplnej zawartych w [3], dodatkowo dla każdego typu budynku oraz lokalizacji rozważono zastosowanie:

1. pomp ciepła na potrzeby centralnego ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej,
2. ogniw fotowoltaicznych,
3. kolektorów słonecznych do przygotowania ciepłej wody użytkowej,
4. zastosowania do ogrzewania kotła na biomasę.

W tabeli 3 zestawiono wyniki analizy dla budynku jednorodzinnego bez systemu chłodzenia.

Tabela 3. Wyniki analizy wskaźnika EP dla budynku jednorodzinnego bez systemu chłodzenia oraz zastosowaniem odnawialnych źródeł energii.

Lokalizacja/rodzaj wentylacji/ źródło zasilania c.o. i c.w.u.	**Wartość max certyfikatu EP_{ref} [kWh/(m²a)]/ EP'_{ref} [kWh/(m²a)]**		**EP [kWh/(m²a)] w tym produkcja energii z paneli PV**	***EP* [kWh/(m²a)] w tym produkcja energii z kolektorów słonecznych**
-	Standard	Premium		
III strefa klimatyczna (Kraków) wentylacja naturalna/gaz	70,0/70,0	70,0/70,0	-20,0	115,2
IV strefa klimatyczna (Nowy Sącz) wentylacja naturalna/gaz	70,0/65,8	70,0/65,8	-28,2	107,0
V strefa klimatyczna (Zakopane) wentylacja naturalna/gaz	70,0/86,6	70,0/86,6	-6,5	128,7
III strefa klimatyczna (Kraków) wentylacja naturalna/sieć ciepłownicza	70,0/70,0	70,0/70,0	-82,4	61,4
IV strefa klimatyczna (Nowy Sącz) wentylacja naturalna/sieć ciepłownicza	70,0/65,8	70,0/65,8	-27,8	107,4
IV strefa klimatyczna (Zakopane) wentylacja naturalna/sieć ciepłownicza	70,0/86,6	70,0/86,6	-99,5	47,2
went. mech III strefa klimatyczna (Kraków) wentylacja mechaniczna/gaz	70,0/70,0	70,0/70,0	-36,8	98,4
IV strefa klimatyczna (Nowy Sącz) wentylacja mechaniczna/gaz	70,0/65,8	70,0/65,8	-43,7	91,5
V strefa klimatyczna (Zakopane) wentylacja mechaniczna/gaz	70,0/86,6	70,0/86,6	-29,7	105,5

cd. tabeli 3

III strefa klimatyczna (Kraków) wentylacja mechaniczna/sieć ciepłownicza	70,0/70,0	70,0/70,0	-84,2	59,6
IV strefa klimatyczna (Nowy Sącz) wentylacja mechaniczna/sieć ciepłownicza	70,0/65,8	70,0/65,8	-44,7	90,5
V strefa klimatyczna (Zakopane) wentylacja mechaniczna/sieć ciepłownicza	70,0/86,6	70,0/86,6	-97,8	48,9

7. Wartości parametrów charakterystycznych Małopolskiego Certyfikatu Budynku Energooszczędnego [26]

Po przeprowadzeniu dokładnych analiz zapotrzebowania na energię różnych typów budynków określono parametry jakie powinny spełniać budynki zlokalizowane w różnych strefach Małopolski, aby osiągnąć standard certyfikatu Małopolskiego Budynku Energooszczędnego. Wprowadzono dwa standardy certyfikacji: Certyfikat MCBE Standard oraz Certyfikat MCBE Premium. W Certyfikację MCBE Premium określono ostrzejsze wymagania dla spełnienia wskaźnika zapotrzebowania na energię użytkową EU oraz rozszerzono zakres badań budynku w stanie użytkowania o badania które można przeprowadzić w określonych warunkach klimatycznych – termowizję oraz badanie mikroklimatu. Tabele 4 oraz 5 podają wartości wskaźników zapotrzebowania na energię pierwotną oraz użytkową. Eksperci postanowili wprowadzić do oceny budynków wskaźnik energii użytkowej, ponieważ jest on oceną jakości ochrony cieplnej budynków.

Wartości współczynnika przenikania ciepła przegród budynku spełniającego założenia Certyfikatu MCBE są ostrzejsze od wymagań WT2021 dla ścian zewnętrznych i podług na gruncie. W pozostałych przypadkach są jednoznaczne z WT2021.

Tabela 4. Referencyjny wskaźnik zapotrzebowaniana energię użytkową do ogrzewania i chłodzenia EU'ref uwzględniający wartość współczynnika poprawkowego związanego z lokalizacją budynku ΔE

Rodzaj budynku	**Referencyjny wskaźnik zapotrzebowania energii pierwotnej $EU'_{ref}=EU_{ref}\Delta E$ [kWh/(m²rok)]**							
	Certyfikat Standard				**Certyfikat Premium**			
	Kraków	Nowy Sącz	Tarnów	Zakopane	Kraków	Nowy Sącz	Tarnów	Zakopane
budynki jednorodzinne	60,0	58,8	56,4	74,3	40,0	39,2	37,6	49,5
budynki wielorodzinne	40,0	39,2	37,6	49,5	30,0	29,4	28,2	37,1
budynki jednorodzinne z instalacją chłodzenia	62,5	61,3	58,8	77,4	42,5	41,7	40,0	52,6
budynki wielorodzinne z instalacją chłodzenia	42,5	41,7	40,0	52,6	32,5	31,9	30,6	40,2
użyteczności publicznej	60,0	58,8	56,4	74,3	40,0	39,2	37,6	49,5
użyteczności publicznej z instalacją chłodzenia	65,0	63,7	61,1	80,5	45,0	44,1	42,3	55,7
wielorodzinny z częścią usługową i wielorodzinny z częścią usługową z systemem chłodzenia	średnia ważona z wartości wskaźnika dla danej funkcji względem powierzchni użytkowej poszczególnych części				średnia ważona z wartości wskaźnika dla danej funkcji względem powierzchni użytkowej poszczególnych części			

Tabela 5. Referencyjny wskaźnik zapotrzebowania na energię pierwotną do ogrzewania i chłodzenia EP'ref uwzględniający wartość współczynnika poprawkowego związanego z lokalizacją budynku ΔE

Rodzaj budynku	Referencyjny wskaźnik zapotrzebowania energii pierwotnej $EP'_{ref}=EP_{ref}\Delta E$ [kWh/(m^{2}rok)]							
	Certyfikat Standard				Certyfikat Premium			
	Kraków	Nowy Sącz	Tarnów	Zakopane	Kraków	Nowy Sącz	Tarnów	Zakopane
budynki jednorodzinne	70,0	68,6	65,8	86,6	70,0	68,6	65,8	86,6
budynki wielorodzinne	70,0	68,6	65,8	86,6	70,0	68,6	65,8	86,6
budynki jednorodzinne z instalacją chłodzenia	75,0	73,5	70,5	92,8	75,0	73,5	70,5	92,8
budynki wielorodzinne z instalacją chłodzenia	75,0	73,5	70,5	92,8	75,0	73,5	70,5	92,8
użyteczności publicznej	120,0	117,6	112,8	148,5	95,0	93,1	89,3	117,6
użyteczności publicznej z instalacją chłodzenia	145,0	142,1	136,3	179,5	120,0	117,6	112,8	148,5
wielorodzinny z częścią usługową i wielorodzinny z częścią usługową z systemem chłodzenia	średnia ważona z wartości wskaźnika dla danej funkcji względem powierzchni użytkowej poszczególnych części				średnia ważona z wartości wskaźnika dla danej funkcji względem powierzchni użytkowej poszczególnych części			

W przypadku certyfikatu Standard w czasie rzeczywistego użytkowania należy wykonać badanie szczelności oraz badanie jakości powietrza wewnętrznego (stężenie zanieczyszczeń z materiałów budowlanych). W budynkach starających się o uzyskanie certyfikatu Premium badania należy uzupełnić o: badanie termowizyjne (detekcja wad), badanie mikroklimatu zima (przy $t_e<-5^0$C), badanie mikroklimatu latem (przy $t_e>+20^0$C) oraz wyznaczyć wskaźniki komfortu cieplnego PMV.

Ostatnim elementem Certyfikatu MCBE jest obliczenie śladu węglowego. Jest to szczególnie istotne z punktu widzenia oddziaływania budynku na środowisko zewnętrzne, którego efektem jest na przykład tworzenie efektu cieplarnianego. Ślad węglowy mówi o całkowitej sumie emisji gazów cieplarnianych emitowanych bezpośrednio lub pośrednio przez budynek. Ślad węglowy wyrażony jest w ekwiwalencie CO_2, a obejmuje emisje dwutlenku węgla, metanu, podtlenku azotu i innych gazów szklarniowych. Rozszerzeniem analizy śladu węglowego może być analiza LCA – zużycia energii w całym cyklu życia obiektu od momentu pozyskiwania surowców, przez proces projektowania, wznoszenia, użytkowania budynku aż do momentu procesu rozbiórki i recyklingu materiałów.

8. Podsumowanie i wnioski

O energooszczędności budynku decyduje wiele czynników. Po pierwsze projekt budynku musi być wykonany zgodnie z zasadami zintegrowanego projektowania. Muszą być przyjęte odpowiednie założenia projektowe dotyczące współczynników przenikania ciepła oraz doboru systemów instalacji, co wpływa na ilość zużycia energii. Równie ważna jest jakość materiałów wykorzystanych do wybudowania budynku oraz staranność jego wykonawstwa. Kompleksowa weryfikacja całego procesu, zarówno projektowego, jak i wykonawczego, jest trudnym zadaniem dla inwestora, ponieważ wymaga wiedzy z wielu dziedzin inżynierskich. Certyfikacja budynków energooszczędnych jest koniecznym elementem weryfikacji budynków pod kątem zapewnienia odpowiedniej ochrony cieplnej, jakości wykonania, sprawdzenia, czy budynek zapewnia komfort użytkowania mieszkańcom oraz dobrą jakość powietrza, a także jak oddziałuje na środowisko zewnętrzne. Certyfikat

MCBE opracowany przez naukowców i ekspertów z zakresu modelowania budynków energooszczędnych daje pewność, że budynek, który go uzyskał jest energooszczędny, komfortowy i ekologiczny oraz dostosowany do lokalnych warunków klimatycznych. Eksperci po przetestowaniu certyfikacji w województwie małopolskim rozszerzą założenia certyfikacji na obszar całego kraju.

Analizy będące podstawą do określeniem parametrów budynków spełniających wymagania Certyfikatu MCBE pozwoliły sformułować szereg wniosków dla optymalnego projektowania budynków energooszczędnych, które przedstawiono poniżej:

Wnioski na podstawie wyników obliczeń zapotrzebowania na energię budynków jednorodzinnych, wielorodzinnych oraz użyteczności publicznej:

- zastosowanie maksymalnych wartości współczynników przenikania ciepła nie jest wystarczające do spełniania wymagań przepisów technicznych,
- wyniki tego samego budynku w różnych strefach klimatycznych różnią się zarówno w przypadku energii użytkowej jak i pierwotnej,
- zastosowanie źródeł energii o niskiej wartości współczynnika nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej pozwala na spełnienie wymagań,

Zalecenia dla projektowania budynków energooszczędnych:

- dokładne przeanalizowanie charakterystyki energetycznej budynku na etapie projektu
- zastosowanie w projekcie przegród zewnętrznych o niskich wartościach współczynnika przenikania ciepła
- eliminacja mostków ciepła dobranie wysokosprawnego systemu odzysku ciepła w wentylacji stosowanie zacienienia stałego i ruchomego,
- odpowiedni dobór systemu i źródeł w tym OZE,
- stosowanie urządzeń „energooszczędnych" w analizowanych systemach,
- kontrola procesu budowlanego – stosowanie dobrej jakości materiałów i urządzeń,
- dbałość o jakość wykonywanych prac.

Analiza projektu od **etapu koncepcji** pozwoli na spełnienie wymagań dla Certyfikatu MCBE Standard i Premium.

Literatura

1. RAPORT. Potencjał efektywności energetycznej i redukcji wybranych grupach użytkowania energii. Droga naprzód do realizacji pakietu klimatyczno-energetycznego.
2. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków. Dz.U. UE L 153 z 18.06.2010.
3. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa I Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
4. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z 25 kwietnia 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego. Dz.U. 2012, poz. 462.
5. Rozporządzenie Ministra infrastruktury i Rozwoju z dnia 3 czerwca 2014 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw charakterystyki energetycznej.
6. Ustawa z dnia 29 sierpnia 2014 r. o charakterystyce energetycznej budynków Dz.U. z 2014 r. poz. 1200.
7. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lutego 2015 r. W sprawie wzorów protokołów z kontroli systemu ogrzewania lub systemu klimatyzacji.
8. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lutego 2015 r. W sprawie sposobu dokonywania i szczegółowego zakresu weryfikacji świadectw charakterystyki energetycznej oraz protokołów z kontroli systemu ogrzewania lub systemu klimatyzacji.

9. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r., w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej.
10. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 10 sierpnia 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej, wzoru karty audytu efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności energii. Dz.U. 58 2012, poz. 962.
11. Polska norma PN-B-03421:1978 – „Wentylacja i klimatyzacja – Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi".
12. Polska norma PN-B-03430:1983/Az3:2000 – „Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej – Wymagania".
13. Norma europejska PN-EN 13790:2008 – „Energetyczne właściwości użytkowe budynków – Obliczanie zużycia energii do ogrzewania i chłodzenia".
14. Norma europejska PN-EN 12524:2002 – „Materiały i wyroby budowlane – Właściwości cieplno-wilgotnościowe – Stabelaryzowane wartości obliczeniowe".
15. Norma europejska PN-EN ISO 6946:2008 – „Komponenty budowlane i elementy budynku – Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła – Metoda obliczania".
16. Norma europejska PN-EN ISO 10077-1:2007 – „Cieplne właściwości użytkowe okien, drzwi i żaluzji – Obliczanie współczynnika przenikania ciepła – Część 1: Postanowienia ogólne".
17. Norma europejska PN-EN ISO 10211:2008 – „Mostki cieplne w budynkach – Strumienie ciepła i temperatury powierzchni – Obliczenia szczegółowe".
18. Norma europejska PN-EN ISO 13370:2008 – „Cieplne właściwości użytkowe budynków – Przenoszenie ciepła przez grunt – Metody obliczania".
19. Norma europejska PN-EN ISO 13789:2008 – „Cieplne właściwości użytkowe budynków – Współczynniki przenoszenia ciepła przez przenikanie i wentylację – Metoda obliczania".
20. Norma europejska PN-EN ISO 14683:2008 – „Mostki cieplne w budynkach – Liniowy współczynnik przenikania ciepła – Metody uproszczone i wartości orientacyjne".
21. Oprogramowanie wspomagające projektowanie i analizy energetyczne w budownictwie.
22. Treść programu priorytetowego, wytyczne techniczne oraz definicje i pojęcia stosowane w zapisach programu NFOŚiGW LEMUR.
23. http://www.gdrc.org/uem/lca/lca-define.html
24. www.mcbe.pl

Building assessment in accordance with the Malopolska Energy-Efficient Building Centre

Małgorzata Fedorczak Cisak[1], Marcin Furtak[2], Joanna Rucińska[3]

[1]Malopolska Center of Energy Efficient Buildings Cracow University of Technology, e-mail: mporanna@wp.pl
[2]Malopolska Laboratory of Energy Efficient Buildings, Civil Engineering, Cracow University of Technology, e-mail: mfurtak@pk.edu.pl
[3] National Energy Conservation Agency S.A., e-mail: jrucinska@nape.pl

Abstract: The trends in development of European policy related to the construction sector are linked to the increased energy efficiency of buildings. It influences the limits of CO_2 emissions and improves the quality of life. Energy-efficient buildings must provide friendly microclimate with a small environmental impact at the same time. These parameters can be confirmed with the building certification. The first energy-efficient building certificate in Poland has been introduced in Malopolska. The paper presents a methodology to develop and the assumptions related to the Malopolska Certificate of Energy-Efficient Buildings.

Keywords: energy-efficient building, building certification, MCBE Certificate

Kompleksowa ocena rozwiązań termomodernizacyjnych budynków użyteczności publicznej w cyklu całorocznym

Karolina Kurtz-Orecka

Wydział Budownictwa i Architektury, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, email: karolinakurtz@gmail.com

Streszczenie: Powszechnie stosowane w zadaniach termomodernizacyjnych algorytmy wyboru rozwiązań optymalnych odnoszą się do zapotrzebowania na energię do celów ogrzewania i wentylacji, zaniedbując potrzeby chłodnicze. Rozbieżne warunki oceny proponowanych w audytach energetycznych usprawnień, wynikające z sezonowej zmienności warunków klimatycznych oraz zróżnicowane stawki opłat za energię wykorzystywana do celów ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń, wymagają wprowadzenia kompleksowej oceny rozwiązań termomodernizacyjnych nie tylko w złożonym modelowaniu energetycznym, ale również w prostych algorytmach oceny. W pracy przedstawiono analizę porównawczą rozwiązań termomodernizacyjnych obejmujących wybiorczo tylko okres grzewczy i tylko sezon chłodniczy. Zaproponowano rozszerzenie stosowanej formuły oceny usprawnień do cyklu całorocznego z uwzględnieniem zapotrzebowania na chłód w okresie ciepłym. Zaprezentowano wykorzystanie proponowanego sposobu oceny całorocznej usprawnień na przykładzie budynku biurowego o powierzchni użytkowej ponad 18 tys. m^2, podlegającego termomodernizacji.

Słowa kluczowe: termo-modernizacja, potrzeby cieplne, potrzeby chłodnicze, budynki niemieszkalne

1. Wprowadzenie

W wyniku wahań cen energii na rynku światowym, europejski przemysł i konsumenci wydają coraz większą część swoich dochodów na energię, której koszt importu do Unii Europejskiej sięga 1 mld EUR dziennie [17]. Zużycie energii w samym tylko sektorze budowlanym starego kontynentu wynosi około 40% całkowitej produkcji [17, 18]. Niekorzystne warunki panujące na rynku paliw oraz bezpośredni wpływ konsumpcji energii na stan zasobów naturalnych i środowiska, znalazły odzwierciedlenie w europejskich regulacjach prawnych, w tym m.in. w dyrektywie w sprawie charakterystyki energetycznej budynków [2], sankcjonujących racjonalizację zużycia energii w budynkach i konieczność jej efektywnego użytkowania. Wskazana w dyrektywie EPBD [2] potrzeba redukcji zużycia energii odniesiona została nie tylko do obiektów nowych, ale również do istniejących zasobów budowlanych. Obiekty te niejednokrotnie charakteryzują się wysoką energochłonnością, a tym samym istotnym potencjałem w zakresie możliwości podniesienia ich efektywności energetycznej [7].

W opracowywanych dla budynków istniejących audytach energetycznych usprawnienia termomodernizacyjne w większości przypadków obejmują zbliżony garnitur rozwiązań, tj. ocieplenie przegród pełnych i wymianę stolarki otworowej [7]. Warunki eksploatacji obiektu po termomodernizacji, wynikające ze zwiększenia szczelności powietrznej i izolacyjność termicznej jego obudowy, w miesiącach letnich mogą przyczynić się do zwiększenia obciążenia cieplnego i ostatecznie do zwiększenia kosztów eksploatacji budynku w okresach ciepłych, ograniczając przewidywane oszczędności osiągane w wyniku termomodernizacji w sezonie ogrzewczym. Sytuacja ta odnosi się szczególnie do obiektów o znacznych wewnętrznych zyskach ciepła.

Konieczność zintegrowanej oceny usprawnień wynika z sezonowej zmienności warunków klimatycznych oraz zróżnicowanych stawek opłat za energię wykorzystywaną do celów ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń. Kompleksowa ocena rozwiązań powinna być realizowana nie tylko w złożonym modelowaniu energetycznym, ale również w prostych algorytmach mających zastosowanie przy sporządzaniu audytów energetycznych. Na chwilę obecną brakuje przyjętej metodyki oceny całorocznych potrzeb energetycznych budynków poddawanych termomodernizacji.

2. Algorytmy oceny usprawnień termomodernizacyjnych

Analizy całoroczne wpływu rozwiązań obudowy na zapotrzebowanie budynku łącznie na ciepło i chłód przedstawione zostały m.in. w pracach A. Stachowicza i M. Fedorczak-Cisłak [18], M. Grudzińskiej [3], G. Haese [4], czy J. Marchwińskiego [8]. Symulacje godzinowe zaproponowane zostały przez D. Chwieduk [1], M. Janickiego i D. Heima [5], A. Panka i J. Rucińską [10] oraz M. Mijakowskiego, J. Sowę i P. Narowskiego [9]. Prace te odnosiły się jednak do budynków nowych, a nie zasobów istniejących, w przypadku których złożone symulacje i modelowanie energetyczne na etapie planowania termomodernizacji nadal należy do rzadkości. Analiza możliwości ograniczenia zapotrzebowania na energię w budynkach użytkowanych prowadzona jest w warunkach polskich najczęściej jedynie dla okresu grzewczego [1] na podstawie zapisów ustawy o wspieraniu termomodernizacji i remontów [21], ustawy o efektywności energetycznej [22] oraz ustawy Prawo budowlane [20]. Zawarte w aktach wykonawczych do wymienionych ustaw wymagania oraz algorytmy oceny wyboru rozwiązań optymalnych w tym zakresie, odnoszą się do potrzeb związanych z ogrzewaniem i wentylacją.

W ocenie opłacalności ulepszeń termomodernizacyjnych [14] jako optymalne wskazuje się rozwiązanie, którego prosty czas zwrotu nakładów, *SPBT*, na realizację usprawnienia jest najkrótszy (1). Roczną oszczędność kosztów użytkowania energii, ΔO_{rU}, w stanie przed i po realizacji zaproponowanego usprawnienia, określa wzór (2).

$$SPBT = N_U / \sum_n \Delta O_{rU} \tag{1}$$

$$\Delta O_{rU} = \Delta\left(xQ_U O_z\right) + 12\Delta\left(yq_U O_m\right) + 12\Delta Ab \tag{2}$$

gdzie:

- Ab – opłata abonamentowa, zł/m-c,
- N_U – oszacowane koszty robót w zł, związanych ze zmniejszeniem strat przez przenikanie przez całkowitą powierzchnię wybranej przegrody lub grupy rozwiązań (w przypadku usprawnień w systemie wentylacji powiązanych z wymiana okien lub drzwi),
- O – opłata, zł/GJ dla opłaty zmiennej (z) oraz zł/(MW·m-c) – dla opłaty miesięcznej (m),
- Q_U – roczne zapotrzebowanie energii na pokrycie strat ciepła, GJ/rok,
- $SPBT$ – prosty czas zwrotu nakładów, lata,
- n – wykorzystane źródła energii,
- q_u – zapotrzebowanie na moc cieplną na pokrycie strat ciepła, MW,
- x, y – udział źródła w zapotrzebowaniu na ciepło, moc cieplną.

3. Wpływ przegród szklanych na bilans potrzeb cieplnych budynku

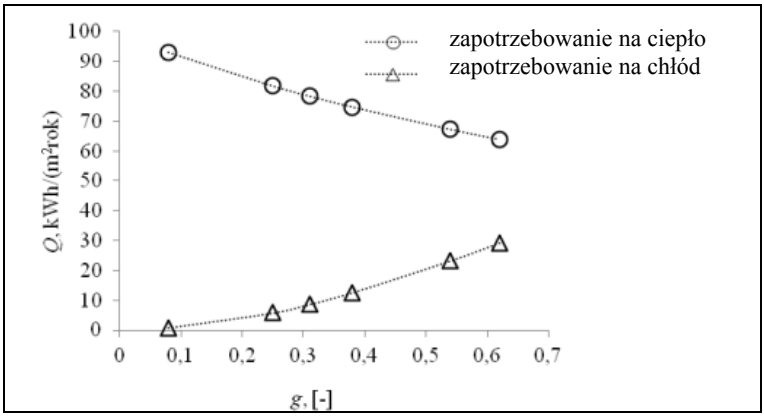
Komponenty przeźroczyste stanowią charakterystyczną grupę pośród pozostałych przegród obudowy budynku. W bilansie potrzeb cieplnych, z uwagi przede wszystkim na zdolność transmisji energii słonecznej, jak również izolacyjność i szczelność, mają wpływ na wielkość start ciepła przez przenikanie, strumienia powietrza wentylacyjnego oraz zysków ciepła. Odgrywają zdecydowanie największą rolę w kształtowaniu potrzeb cieplnych pomieszczenia [1]. W podstawowych bilansach energetycznych budynku szczególnie istotnymi parametrami są: współczynnik przenikania ciepła całego komponentu U_w oraz współczynnik całkowitej przepuszczalności promieniowania słonecznego g. Wielkości te mogą zostać uzupełniane o współczynnik redukcji promieniowania słonecznego f_C urządzeń ochrony przeciwsłonecznej [12].

Budynki użyteczności publicznej charakteryzują się znacznym udziałem przegród szklanych zapewniających oświetlenie światłem dziennym wnętrza, a w szczególności miejsc pracy. Z reguły powierzchnia tych przegród przekracza wielkość dopuszczalną określoną w przepisach techniczno-budowlanych [13]. W takim przypadku w działaniu termomodernizacyjnym, dla którego wymagana jest zgodność z obowiązującymi warunkami technicznymi [13], możliwe są dwa scenariusze obejmujące redukcję powierzchni okien lub wprowadzenie przegród szklanych o współczynniku przenikania ciepła mniejszym od 0,9 W/(m^{2}K)[1]. Pierwsze ze wskazanych rozwiązań istotnie wpływa na estetykę budynku, jednocześnie pogarszając warunki wizualne na stanowiskach pracy i może przyczynić się do wzrostu zapotrzebowania na energię do oświetlenia pomieszczeń światłem sztucznym (zużycie energii na potrzeby oświetlenia wbudowanego w budynkach biurowych sięgają nawet 50% mierzonego w nich całkowitego zużycia energii [16]). W drugim – niska wartość współczynnika przenikania ciepła okien możliwa jest do uzyskania przy zastosowaniu nowoczesnych rozwiązań energooszczędnych ram okiennych (lub elementów konstrukcyjnych fasad szklanych) oraz szyby zespolonej o współczynniku przenikania ciepła wynoszącym około 0,5 W/(m^{2}K). Przy przyjęciu stałej wartości izolacyjności termicznej oszklenia, wpływ komponentu na bilans energetyczny budynku kształtowany będzie przede wszystkim przez współczynnik g całkowitej przepuszczalności promieniowania słonecznego prze komponent.

Przykład zróżnicowania wielkości rocznego zapotrzebowania na energię użytkową do celów ogrzewania i wentylacji oraz chłodzenia w zależności od wielkości współczynnika przepuszczalności całkowitej promieniowania słonecznego g przedstawiono na rysunku 1. Obliczenia zapotrzebowania na energię wykonano dla budynku biurowego o powierzchni 13,38 tys. m^2, współczynniku kształtu A/V wynoszącym 0,25 m^2/m^3, współczynniku przeszklenia elewacji GR – 44%, średnim współczynniku przenikania ciepła całej obudowy równym 0,54 W/(m^{2}K) oraz współczynniku przepuszczalności promieniowania słonecznego g w zakresie od 0,08 do 0,62, możliwym do uzyskania dla szyby zespolonej dwukomorowej o współczynniku przenikania ciepła wynoszącym 0,5 W/(m^{2}K). Obliczenia wykonano wg Polskiej Normy PN-EN ISO 13790 [11] oraz danych typowego roku meteorologicznego określonego dla stacji odniesienia Szczecin-Dąbie [23]. Z zestawienia uzyskanych wyników (rysunek 1) wyraźnie widać, że wraz ze wzrostem wartości współczynnika przepuszczalności całkowitego promieniowania słonecznego g zwiększa się w bilansie energetycznym udział zysków słonecznych powodując zmniejszenie zapotrzebowania na energię

[1] Przepisy techniczno-budowlane wprowadzają wymaganie ograniczające powierzchnię przegród szklanych i przeźroczystych w odniesieniu do komponentów o współczynniku nie mniejszym niż 0,9 W/(m^{2}K).

do celów ogrzewania, natomiast wzrasta zapotrzebowanie na energię do chłodzenia pomieszczeń w okresie ciepłym. Wskazane zależności nie są liniowe, a wpływ przegród szklanych na ostateczny wynik bilansu będzie tym większy im większa będzie ich powierzchnia [1], a tym samym współczynnik przeszklenia elewacji *GR*.



Rys. 1. Wpływ współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego *g* na kształtowanie zapotrzebowania na energię użytkową do celów ogrzewania i chłodzenia wybranego budynku (opis w tekście)

Należy również zwrócić uwagę, że wpływ przegród szklanych na kształtowanie potrzeb cieplnych budynku, jest szczególnie istotny latem, kiedy starty ciepła przez przegrody pełne oraz wentylację są nieporównywalne z ilością energii słonecznej docierającej do wnętrza przez powierzchnie przeźroczyste. W pracy [1] D. Chwieduk wskazuje, że w całorocznym bilansie przegrody przeźroczystej uzyskuje się przewagę zysków ciepła nad startami, z wyłączeniem okien zorientowanych w kierunku północnym, jednak w kontekście przedstawionych na rysunku 1 wielkości zapotrzebowania budynku na ciepło i chłód należałoby ponownie podkreślić istotność współczynnika przepuszczalności całkowitej promieniowania słonecznego *g* przegrody przeźroczystej na kształtowanie tej zależności. Wpływ przegrody przeźroczystej na warunki panujące w pomieszczeniu może być również zintensyfikowany przez niewielką akumulację ciepła wynikającą z zastosowania w wielu budynkach użyteczności publicznej sufitów podwieszonych, podłóg technicznych i lekkiej zabudowy przegród wewnętrznych wydzielających pomieszczenia [12].

4. Kompleksowa ocena rozwiązań termomodernizaycjnych – rozszerzenie formuł wyboru rozwiązań optymalnych

Rozpatrywane niezależnie zadanie związane z ograniczeniem zapotrzebowania na energię do celów ogrzewania i wentylacji budynku jako optymalne rozwiązanie termomodernizacyjne wskazałoby zastosowanie szyb charakteryzujących się jak największą transmisją energii promieniowania słonecznego w celu maksymalnej kompensacji strat ciepła przez zyski słoneczne. Zadanie zdefiniowane tylko dla sezonu letniego, związane z ograniczeniem zapotrzebowania na chłód, dałoby wynik przeciwny – wskazujący na zastosowanie szyb o możliwie jak najmniejszej przepuszczalności całkowitej promieniowania słonecznego w celu zredukowania przenikających do wnętrza zysków słonecznych, a tym samym zmniejszenia obciążenia chłodniczego pomieszczeń [12]. Rozbieżne warunki

oceny usprawnienia, a także wpływ dużych powierzchni przeźroczystych na skrócenie trwania sezonu grzewczego przy jednoczesnym wydłużeniu okresu zapotrzebowania na chłodzenie pomieszczeń [1] – wymagają wprowadzenia kompleksowej oceny rozwiązań termomodernizacyjnych.

W celu umożliwienia oceny wielokryterialnej ulepszenia termomodernizacyjnego związanego z wymianą przegród szklanych i przeźroczystych, zaproponowano rozszerzenie zależności (1) o składowe zapotrzebowania na chłód oraz moc źródła chłodu. Wprowadzona zależności (3), określająca prosty czas zwrotu nakładów, odnosi koszt związany z realizacją usprawnienia N_u, do łącznej rocznej oszczędności kosztów energii w zakresie ogrzewania ΔQ_{rU} i chłodzenia ΔQ_{rC}. Roczna oszczędność kosztów przypadająca na poszczególne lata zakupu energii do celów pokrycia potrzeb związanych ze startami ciepła przez analizowany komponent ΔQ_{rU} wyznaczana jest z zależności (2). Roczną oszczędność kosztów zakupu energii na cele chłodzenia ΔQ_{rC} proponuje się obliczać analogicznie do wzoru (2) z zależności (4), w której oznaczenia przyjęto jak we wzorach (1) i (2), wprowadzając indeks *C* w celu rozróżnienia celu użytkowania energii. Zapotrzebowanie na moc do celów chłodzenia zwiększa się o zapotrzebowanie mocy na działanie wentylatorów.

$$SPBT = N_U \Big/ \left(\sum_{n_H} \Delta O_{rU} + \sum_{n_C} \Delta O_{rC} \right) \tag{3}$$

$$\Delta O_{rC} = \Delta\left(xQ_C O_z\right) + 12\Delta\left(yq_C O_m\right) + 12\Delta Ab_C \tag{4}$$

5. Ocena rozwiązań termomodernizacyjnych w cyklu całorocznym – analiza przypadku

Zaproponowana metodyka wyznaczania optymalnego usprawnienia termomodernizacyjnego przegród szklanych i przeźroczystych (3) i (4) zobrazowana zostanie na przykładzie 11-kondygnacyjnego budynku biurowego o powierzchni użytkowej 18050 m^2 oraz kubaturze o regulowanej temperaturze wynoszącej 56600 m^3.

Przedmiotowy budynek wzniesiony został pod koniec XX wieku, na planie stylizowanej litery H. Jego konstrukcję stanowi stalowy szkielet w układzie ramowo-ryglowym z żelbetowymi stropami między kondygnacyjnymi. Budynek kryty jest wentylowanymi i niewentylowanymi stropodachami o konstrukcji żelbetowej. Ściany osłonowe wykonano jako betonowe i żelbetowe, izolowane wełną mineralną o grubości 8 cm w systemie elewacji wentylowanej. W dwóch pierwszych kondygnacjach nadziemnych wykonano ścianę kurtynową aluminiowo-szklaną, pozostałe kondygnacje zawierają okna z ramami aluminiowymi lub stalowymi, szkolne szybą zespolona jednokomorową. Budynek wentylowany jest mechanicznie, głównie poprzez system wentylacji wyciągowej. Część pomieszczeń wentylowana jest w sposób mechaniczny w systemie NW. Istniejące centrale wentylacyjne wyposażone są w nagrzewnice elektryczne. Część pomieszczeń biurowych budynku jest klimatyzowana. Źródłem ciepła w budynku jest zmodernizowany w 2005 roku wielofunkcyjny węzeł cieplny zaopatrywany z miejskiej sieci ciepłowniczej. Energia na potrzeby chłodzenia pobierana jest z sieci elektroenergetycznej.

Średni współczynnik przenikania ciepła obudowy budynku oszacowano na 1,0 W/(m^{2}K). Izolacyjność cieplna przegród szklanych i przeźroczystych określona została na poziomie 3,2 W/(m^{2}K). Powierzchnia przegród szklanych i przeźroczystych w budynku wynosząca 3275 m^2 przekracza powierzchnię dopuszczalną $A_{O,max}$ wynoszącą 2057 m^2. Współczynnik przeszklenia elewacji *GR* wynosi 27,5%. Obliczenia zapotrzebowania na

energię w stanie istniejącym odniesiono do warunków panujących w Szczecinie. Oszacowana obliczeniowa szczytowa moc cieplna źródła wynosi 1,45 MW, zapotrzebowanie na ciepło w standardowym sezonie grzewczym z uwzględnieniem sprawności systemu ogrzewania oraz przerw w ogrzewaniu to 8842,57 GJ, zaś wskaźnik zapotrzebowania na energię końcową do celów ogrzewani i wentylacji wynosi 180,86 kWh/(m^{2}rok). Poza wysokim zużyciem energii w sezonie grzewczym, w okresie od wiosny do jesieni dochodzi często do przegrzania pomieszczeń szczególnie o ekspozycji południowej i zachodniej.

5.1. Zakres proponowanych rozwiązań termomodernizacyjnych w obrębie przegród szklanych

Zakres zaproponowanych w budynku rozwiązań termomodernizacyjnych obejmuje: ocieplenie ścian piwnic wydzielających pomieszczenia ogrzewane od nieogrzewanych, stropów piwnic oraz stropodachów, wymianę elewacji wentylowanej wraz konsolami montażowymi i ponownym ociepleniem ścian, wymianę ścian kurtynowych oszklonych wraz z powierzchniami przeźroczystymi, oknami i przeszklonymi drzwiami [6]. W pracy szczegółowo zostaną omówione ulepszenia obejmujące przegrody szklane i przeźroczyste.

Z uwagi na przekroczenie w budynku dopuszczalnej powierzchni okien, komponenty w stanie po modernizacji muszą charakteryzować się współczynnikiem przenikania ciepła całego elementu na poziomie niższym niż 0,9 W/(m^{2}K). Pociąga to za sobą konieczność zastosowania szyby zespolonej dwukomorowej o współczynniku przenikania ciepła wynoszącym 0,5 W/(m^{2}K). Istniejące ramy okienne, z uwagi na ich niską izolacyjność termiczną, nie gwarantują możliwości uzyskania wymaganej izolacyjności termicznej z zastosowaniem współczesnego pakietu szybowego, ponadto nie są także przystosowane do montażu oszklenia o zwiększonej szerokości oraz ciężarze, stąd w celu poprawy jakości termicznej konieczna jest wymiana całych komponentów na nowe z zastosowaniem rozwiązań energooszczędnych ram i wskazanych szyb. Wariantowaniu może podlegać jedynie wartość współczynnika przepuszczalności całkowitej promieniowania słonecznego g oraz inne właściwości szyb niepodlegające rozważaniom w artykule.

Do analizy opłacalności poprawy właściwości termicznych przegród szklanych w przykładowym budynku biurowym, przyjęto dostępną na rynku energooszczędną ślusarkę z elementami konstrukcyjnymi i ramami aluminiowymi z wkładkami termoizolacyjnymi. Izolacyjność termiczna całego komponentu z uwzględnieniem zestawów szklanych, profili oraz zaburzeń brzegowych wynosi 0,74 W(m^{2}K). Współczynnik przepuszczalności energii promieniowania słonecznego g szyby zespolonej dobrano w zakresie: 25, 32, 42 oraz 54%. Ze względu na przeciwstawne potrzeby energetyczne w sezonie grzewczym oraz letnim jako rozwiązanie uzupełniające przyjmuje się system żaluzji zewnętrznych o współczynniku redukcji promieniowania słonecznego f_C wynoszącym 0,1. Charakterystykę szyb zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka analizowanej szyby zespolonej o izolacyjności termicznej 0,5 W/(m^{2}K) oraz zróżnicowanej transmisji promieniowania słonecznego

Lp.	Opis	Współczynnik g szyby			
		0,25	0,32	0,42	0,54
1	Wartość obliczeniowa współczynnika g zgodnie z normą PN-EN ISO 13790, –	0,225	0,288	0,378	0,486
2	Wartość obliczeniowa współczynnika g z uwzględnieniem wpływu żaluzji zewnętrznej, –	0,023	0,029	0,038	0,049
3	Cena, zł/m^2	273	273	273	148

5.2. Ocena sezonowa i całoroczna usprawnienia

Niska wartość współczynnika przenikania całkowitej energii promieniowania słonecznego szyby zespolonej sprzyja ograniczeniu powstania zjawiska przegrzania wnętrza w sezonie letnim, jednocześnie powoduje zwiększone potrzeby cieplne w sezonie grzewczym z uwagi na ograniczenie możliwości kompensacji start ciepła zyskami słonecznymi. W tabeli 2 zestawiono wielkość zapotrzebowania na energię końcową do celów ogrzewania i wentylacji wyznaczoną zgodnie z obowiązującą metodyką obliczeń charakterystyki energetycznej budynku [15], stosowaną przy sporządzaniu audytów energetycznych. Określono również zapotrzebowanie energii na potrzeby chłodzenia oraz roczny koszt zakupu energii w rozpatrywanych wariantach termomodernizacyjnych i prosty czas zwrotu nakładów *SPBT* zgodnie z algorytmem oceny opisanym w rozporządzeniu [14], a także uwzględniając zaproponowane zależności (3) i (4). W obliczeniach przyjęto: średnią sezonową sprawność systemów ogrzewania 0,75 oraz chłodzenia – 3,68; opłaty za ciepło – zmienną 60,28 zł/GJ oraz stałą 10437,28 zł/MW/m-c; opłaty za energię elektryczną – zmienną 111,48 zł/GJ, stałą 14558,26 zł/MW/m-c oraz abonamentową 28,30 zł/m-c.

Tabela 2. Zestawienie potrzeb cieplnych budynku w zależności od przyjętego współczynnika całkowitej przepuszczalności promieniowania słonecznego analizowanego oszklenia

Lp.	Opis		Współczynnik *g* szyby			
		0,75*	0,25	0,32	0,42	0,54
1	Moc do ogrzewania q_H, MW	1,326	0,868			
2	Energia użytkowa do ogrzewania $Q_{H,nd}$, GJ/rok	8798	5165	5105	5023	4927
3	Energia końcowa do ogrzewania $Q_{k,H}$, GJ/rok	11694	6865	6785	6676	6549
4	Moc do chłodzenia q_C, MW	0,197	0,142			
5	Energia użytkowa do chłodzenia $Q_{C,nd}$, GJ/rok	645	115	195	349	587
6	Energia końcowa do chłodzenia $Q_{k,C}$, GJ/rok	175	31	53	95	160
7	Koszt ogrzewania, tys. zł/rok	871	522	518	511	503
8	Koszt chłodzenia, tys. zł/rok	54	29	31	36	43
9	Łączne koszty ogrzewania i chłodzenia, tys. zł/rok	929	555	553	551	550
10	Różnica kosztów ogrzewania i chłodzenia, tys. zł/rok	-	374	376	378	379
11	Nakłady na usprawnienie, tys. zł	-	6 557			6 147
12	SPBT, lata	-	17,5	17,4	17,3	16,2
* w stanie wyjściowym współczynnik przenikania ciepła całego komponentu przeszklonego wynosi 3,2 W/(m^{2}K), w rozpatrywanych ulepszeniach (szyby o współczynniku *g* w zakresie od 0,25 do 0,54) współczynnik przenikania ciepła całego komponentu wynosi 0,74 (m^{2}K)						

Analizując uzyskane wyniki (tabela 2) jako rozwiązane optymalne w sezonie grzewczym, wskazuje się szybę o współczynniku całkowitej przepuszczalności promieniowania słonecznego *g* wynoszącym 0,54. Rozwiązanie to jest również optymalne przy uwzględnieniu całorocznych przewidywanych kosztów zużycia energii na cele ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń. Należy jednak zwrócić uwagę, że stoi w sprzeczności z obowiązującymi przepisami techniczno-budowlanym [13], zgodnie z którymi poza izolacyjnością termiczną przegród szklanych oraz wprowadzeniem dopuszczalnej ich powierzchni, należy również wykazać, że współczynnik całkowitej przepuszczalności promieniowania słonecznego komponentu z uwzględnieniem redukcji promieniowania przez elementy zacieniające, w sezonie letnim nie jest większy od wartości 0,35. W tym świetle rozwiązaniem optymalnym byłoby zastosowanie komponentu z szybą zespoloną o przenikalności cieplnej wyno-

szącej 0,5 W/(m^{2}K) oraz współczynniku *g* przyjmującym wartość 0,32. Najniższe koszty chłodzenia pomieszczeń uzyskane zostaną w przykładowym budynku przy zastosowaniu szyb ograniczających transmisję promieniowania słonecznego do wnętrza do poziomu 25%.

Z uwagi na zmienność warunków zewnętrznych możliwość kontroli ilości energii promieniowania słonecznego przenikającego do wnętrza, jak i warunków wizualnych – głównie w zakresie przeciwdziałania powstania zjawisku olśnienia, wydają się być istotne szczególnie, gdy prowadzone analizy wykonywane są na podstawie statystycznych średnich miesięcznych wielkości cech klimatu. Wyjściowe dane typowego roku meteorologicznego [23] nie reprezentują skrajnych wielkości jak piki temperatury czy natężenia promieniowania słonecznego. W tabeli 3 zestawiono wyniki obliczeń zapotrzebowania na energię do celów ogrzewania i chłodzenia przyjmując jako uzupełniające (dodatkowe) ulepszenie system żaluzji zewnętrznych o współczynniku redukcji promieniowania słonecznego f_C wynoszącym 0,1. Rozwiązanie to pozwoli na spełnienie wymagania ograniczenia możliwości przegrzewania się pomieszczeń w sezonie letnim [13]. Przyjęto brak osłon powierzchni przeźroczystych w sezonie ogrzewczym oraz zastosowanie żaluzji w okresie ciepłym.

Wszystkie z zaproponowanych rozwiązań spełniają wymagania warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [13], zaś ulepszeniem optymalnym jest zastosowanie szyby zespolonej o możliwie maksymalnej transmisji promieniowania słonecznego do wnętrza z jednoczesnym zabezpieczeniem pomieszczeń przed przegrzaniem w sezonie letnim przez system ruchomych żaluzji zewnętrznych.

W tabelach 2 i 3 zwracają uwagę stosunkowo długie czasy zwrotu inwestycji, należy jednak wskazać, że przedstawiony okres zwrotu nie obejmuje całości przewidzianych prac wskazanych w pkt. 5.2 [6].

Tabela 3. Zestawienie potrzeb cieplnych budynku w zależności od przyjętego współczynnika całkowitej przepuszczalności promieniowania słonecznego oszklenia z uwzględnieniem wpływu żaluzji zewnętrznych w okresie ciepłym

Lp.	Opis	Współczynnik *g* szyby				
		0,75*	0,25	0,32	0,42	0,54
1	Moc do ogrzewania q_H, MW	1,326	0,868			
2	Energia użytkowa do ogrzewania $Q_{H,nd}$, GJ/rok	8798	5165	5105	5023	4927
3	Energia końcowa do ogrzewania $Q_{k,H}$, GJ/rok	11694	6865	6785	6676	6549
4	Moc do chłodzenia q_C, MW	0,197	0,142			
5	Energia użytkowa do chłodzenia $Q_{C,nd}$, GJ/rok	645	7	8	10	12
6	Energia końcowa do chłodzenia $Q_{k,C}$, GJ/rok	175	2	2	3	3
7	Koszt ogrzewania, tys. zł/rok	871	522	518	511	503
8	Koszt chłodzenia, tys. zł/rok	58	29	29	29	30
9	Łączne koszty ogrzewania i chłodzenia, tys. zł/rok	929	551	547	540	533
10	Różnica kosztów ogrzewania i chłodzenia, tys. zł/rok	-	378	382	389	396
11	Nakłady na usprawnienie, tys. zł	-	8 194			7 785
12	SPBT, lata	-	21,7	21,5	21,1	19,7
* jak w tabeli 2, przy czym w wariancie podstawowym brak wykorzystania żaluzji zewnętrznych w okresie całego roku						

6. Podsumowanie

Stosowane we współczesnym budownictwie materiały i technologie pozwalające na redukcję zużycia energii sprzyjają uzyskaniu szczelnej obudowy budynku o wysokich parametrach izolacyjności termicznej. W przypadku budynków poddanych termomodernizacji następuje istotna zmiana warunków eksploatacji obiektu obejmująca zarówno sezon grzewczy, jak i okres ciepły. Analiza usprawnień obejmująca potrzeby cieplne tylko w czasie trwania sezonu grzewczego, z pominięciem ich wpływu na kształtowanie mikroklimatu wnętrz w pozostałych okresach, może się przyczynić do pogorszenia warunków użytkowych w okresie występowania wyższych temperatur oraz w efekcie zwiększenia zużycia energii w sezonie letnim na potrzeby chłodzenia.

W przykładowej ocenie rozwiązania termomodernizacyjnego, polegającego na wymianie elewacji wraz ze ślusarką okienną oraz fasad szklanych w budynku użyteczności publicznej, wskazano na konieczność prowadzenia całorocznej analizy wpływu proponowanego rozwiązania na zapotrzebowanie energii nie tylko na cele ogrzewania i wentylacji, ale również chłodzenia. W analizowanym obiekcie zastosowanie zaproponowanej w pracy rozszerzonej metodyki oceny całorocznej rozwiązań, pozwoliło na wybór usprawnień optymalnych w całorocznym cyklu eksploatacyjnym. Wykazano jednocześnie wzrost przewidywanej oszczędności energii na potrzeby chłodzenia ze 15 GJ/rok w przypadku zastosowania oceny standardowej do 172 GJ/rok w odniesieniu do oceny zintegrowanej. Przy stosowanej w audytach energetycznych ocenie wpływu usprawnień na koszty zakupu energii, redukcja całorocznych kosztów utrzymania budynku określona została na poziomie 40,8%, zaś przy ocenie zintegrowanej na poziomie 42,6%. Należy jednocześnie wskazać, że rzeczywista oszczędność energii – głównie na potrzeby chłodzenia pomieszczeń, będzie znacznie wyższa od wyznaczonej. Wynika to z przyjętej w analizie metodyce obliczeń miesięcznych, zgodnej z określoną w [14, 15] i nieuwzględniającą dobowego przebiegu rozkładu temperatury powietrza zewnętrznego w okresach ciepłych wraz z charakterystycznymi pikami temperatury pokrywającymi się z czasem wykorzystania budynków użyteczności publicznej w ciągu doby.

Literatura

1. Chwieduk D., 2012. Wytyczne tworzenia koncepcji energetycznej budynku. Czasopismo Techniczne B. Z 2-B 3, 45-54.
2. Dyrektywa 2010/31/UE Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dn. 19.05.2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków. Dz.U. UE L153/13.
3. Grudzińska M., 2013. Dobór typu oszklenia ze względu na ograniczenie zużycia energii w pomieszczeniach mieszkalnych. Budownictwo i Architektura 12(3), 39-46.
4. Haese G., 2010. Analiza wpływu promieniowania słonecznego oraz wielkości powierzchni przeszklonej na charakterystykę energetyczną budynku wielorodzinnego. Autoreferat (na prawach rękopisu). Białystok, 19-26.
5. Janicki M., Heim D., 2012. Energetyczne efekty zastosowania w systemach DSF oszklenia o różnych właściwościach spektralnych. Czasopismo Techniczne B. Z 2-B 3, 194-198.
6. Kurtz-Orecka K., 2015. Audyt energetyczny budynku użyteczności publicznej przy ul. Matejki 22 w Szczecinie (na prawach rękopisu).
7. Kurtz-Orecka K., Cierzniewski P., 2014. Poprawa standardu energetycznego budynków historycznych. Miesięcznik IZOLACJE 11-12, 58-62.
8. Marchwiński J., 2005. Rola pasywnych i aktywnych rozwiązań słonecznych w kształtowaniu architektury budynków biurowych i biurowo-przemysłowych, praca doktorska (na prawach rękopisu) Wydział Architektury Politechniki Warszawskiej.
9. Mijakowski M., Sowa J., Narowski P., 2009. Godzinowa metoda obliczania zapotrzebowania na energię w systemach wentylacji i klimatyzacji. Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce IV, 141-146.

10. Panek A., Rucińska J., 2009. Analiza godzinowego algorytmu obliczania rocznego zapotrzebowania na energię do ogrzewania i chłodzenia budynku. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. Czasopismo Techniczne B. Z 1-B 5, 191-198.
11. Polska Norma PN-EN ISO 13790:2009. Energetyczne właściwości użytkowe budynków – Obliczenia zużycia energii do ogrzewania i chłodzenia. PKN, Warszawa 2009.
12. Recknagel H., Sprenger E., Schremek E.R., 2008. Kompendium Ogrzewnictwa i Klimatyzacji Łącznie z zagadnieniami przygotowania ciepłej wody i techniki chłodniczej. 3 wydanie polskie. Omni Scala Wrocław, 40, 494.
13. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dn. 12.04.2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz.U. (2002) Nr 75 poz 690, z późn. zm.
14. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dn. 17.03.2009 r. w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termo modernizacyjnego. Dz.U. 2009, Nr 43 poz. 346 z późn. zm.
15. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dn. 27.03.2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej, Dz.U. 2015, poz. 376.
16. Ryńska E.D., 2001. Bioklimatyka a forma architektoniczna. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
17. Strategic Energy Technology (SET) Plan. Towards an Integrated Roadmap: Research & Innovation Challenges and Needs of the EU Energy System. 2014.
18. Stachowicz A., Fedorczak-Cisłak M., 2007. Niskoenergetyczne budynki – analiza zużycia energii w całorocznym cyklu istnienia budynku. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. Czasopismo Techniczne B. Z 1-B, 133-141.
19. Transition to Sustainable Buildings. Strategies and Opportunities to 2050. International Energy Agency. Paris Cedex, 2013.
20. Ustawa z dn. 07.07.1994 r. Prawo budowlane. Dz.U. (1994) Nr 89 poz. 414 z późn. zm.
21. Ustawa z dn. 21.11.2008 r. o wspieraniu termomodernizacji i remontów. Dz.U. 2014, poz. 712.
22. Ustawa z dn. 15.04.2011 r. o efektywności energetycznej. Dz.U. 2011, Nr 94 poz. 551.
23. Wskaźniki emisji i wartości opałowe oraz typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne do obliczeń energetycznych budynków, www.mir.gov.pl.

The yearly comprehensive evaluation of the energy retrofit measures of public buildings

Karolina Kurtz-Orecka

Faculty of Civil Engineering and Architecture, West Pomeranian Technical University of Szczecin, e-mail: karolinakurtz@gmail.com

Abstract: The algorithms commonly used in selection tasks for optimal thermo-modernization solutions are related to the energy demand for heating and ventilation, neglecting the cooling needs. Divergent conditions of the proposed assessment resulting from the seasonal variability of climatic conditions and varied energy charges in terms of heating and cooling require a comprehensive assessment of thermo-modernization solutions not only in the complex energy modeling, but also in simple evaluation algorithms. The paper presents the comparative analysis of retrofitting during heating period only and cooling season only. It has been proposed to extend the assessment formula applied to improvements to the year-round cycle, according to the energy demand for both – heating and cooling. A use example of year-long evaluation for general energy retrofit solutions in office building with a floor space of over 18,000 m^2 has been presented.

Keywords: energy retrofit, heating demand, cooling demand, commercial buildings

Harmonizacja metod oceny środowiskowej, socjalnej i ekonomicznej budynków biurowych na przykładzie projektu OPEN HOUSE

Michał Piasecki

Zakład Fizyki Cieplnej, Instalacji Sanitarnych i Środowiska, Instytut Techniki Budowlanej, e-mail: m.piasecki@itb.pl

Streszczenie: Aktualne wyzwania w budownictwie sprawiają, że podejmowane decyzje w procesie budowlanym powinny być wynikiem analizy wielu nowych aspektów związanych z efektywnością środowiskową, ekonomiczną, trwałością, funkcjonalnością, jakością wykonania oraz komfortem użytkowania. Nowe podejście i wymagania stwarzają potrzebę wypracowania i przyjęcia spójnego podejścia do procesu budowlanego wraz z zestawem odpowiednich narzędzi. Określenie kryteriów i zasad projektowania i wznoszenia budynków „zrównoważonych", tj. środowiskowo i ekonomicznie efektywnych jest coraz ważniejszym obszarem badawczym [1], w którym bierze aktywnie udział ITB. W publikacji przedstawiono wyniki prac w obszarze zrównoważonego budownictwa i ocen budynków zdobyte podczas realizacji grantu OPEN HOUSE w 7. Programie Ramowym Badań i Rozwoju UE.

Słowa kluczowe: zrównoważone budownictwo, CEN TC 350, ocena środowiskowa budynków, projekt OPEN HOUSE, LCA, LCC

1. Wprowadzenie – metoda OPEN HOUSE

Współistnienie wielu systemów oceny środowiskowej budynku oraz różnorodność wymagań, norm i przepisów budowlanych w różnych krajach wspólnoty spowodowało, że Komisja Europejska podjęła działania mające na celu wsparcie procesów harmonizacji porządkujących zasady wykonywania ocen środowiskowych budynków, równolegle do wysiłków normalizacyjnych w obszarze zrównoważonego budownictwa [2, 3]. W styczniu 2010 r. przedstawiciel firmy Acciona Infraestructuras S.A. w imieniu 9 instytucji badawczych i przedstawicieli przemysłu podpisał z Komisją Europejską umowę o grant nr ENV 244130 na realizację 4 letniego projektu pt.: OPEN HOUSE - Benchmarking and mainstreaming building sustainability in the EU based on transparency and openness (open source and availability) from model to implementation. Do udziału w projekcie dołączyli istotni przedstawiciele branży budowlanej w tym: ACE (Europejskie Stowarzyszenie Architektów), Acciona, Bouygues, Arup (koncerny budowlane), ETH, SP, ZRMK, ITB, Fraunhofer (instytuty badawcze), EDF (francuski koncern energetyczny) oraz DGNB (niemieckie stowarzyszenie na rzecz zielonego budownictwa) (Rys. 1).

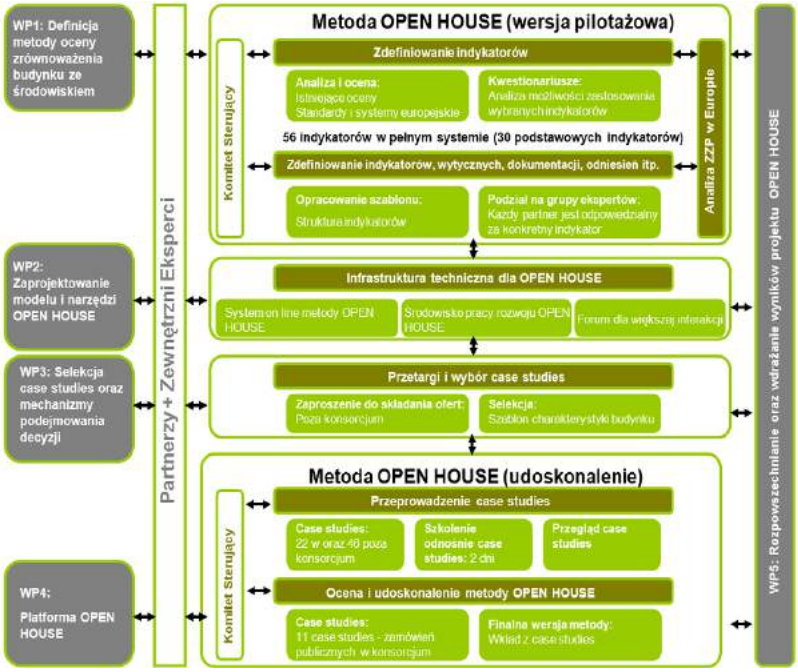
Rys. 1. Organizacje biorące udział w projekcie OPEN HOUSE

Zadaniem projektu OPEN HOUSE było uporządkowanie wiedzy w zakresie ocen środowiskowych, socjalnych i ekonomicznych budynków w celu umożliwienia szerszego wykorzystania jej w praktyce oraz opracowanie i wdrożenie do praktyki budowlanej jasnej, dostępnej dla każdego podmiotu i zweryfikowanej metody oceny i projektowania budynków spełniających kryteria zrównoważonego rozwoju, biorąc pod uwagę różnice metodyczne w istniejących systemach oceny. Projekt realizowany był w ścisłej współpracy z Komitetem Normalizacyjnym CEN TC 350 ds. zrównoważonego rozwoju oraz DG ENV ds. Środowiska.

Realizacja projektu obejmowała m.in. następujące zadania;

- Podział partnerów wg. specjalizacji (grupy ekspertów)
- Kwestionariusz 1: przegląd istniejących metod europejskich
- Kwestionariusz 2: zdefiniowanie podstawowych kryteriów oceny - indykatorów (bazując na CET TC 350, SB Alliance, DGNB i BREEAM)
- Analiza kwestionariusza 2
- Opracowanie podstawowych kryteriów oceny (2 etapy):
- Kwestionariusz 3: określenie wiedzy partnerów w zakresie zrównoważonego budownictwa
- Kwestionariusz 4: Preselekcja kryteriów
- Selekcja kryteriów
- Pierwsze zalecenia dotyczące oceny i zasad oceny
- Studia przypadku - oceny budynków, walidacja metody
- Platforma OPEN HOUSE- opracowanie materiału edukacyjnego
- Szkolenia

Na rysunku 2 zestawiono szczegółowy plan realizacji projektu OPEN HOUSE.



Rys. 2. Schemat zadań realizacji projektu OPEN HOUSE

Kluczowym zadaniem była analiza kryteriów oceny budynku z kilkudziesięciu metod oceny w celu wyodrębnienia tych, które ze względów praktycznych, potrzeb przemysłu, dostępności danych, kosztu i uwarunkowań lokalnych mogłyby być stosowane w łatwy sposób w krajach UE. Partnerzy projektu badając stan obecny wykorzystania metod oceny budynku w praktyce wypełnili kwestionariusze na podstawie analizy metod krajowych (37 metod) oraz europejskich (64) z ponad 50 krajów (rys. 3).

Rys. 3. Rozpoznawalne metody oceny analizowane na potrzeby projektu OPEN HOUSE

W pierwszej części projektu została przeprowadzona analiza około 560 indykatorów w celu identyfikacji tych najbardziej pasujących do metody OPEN HOUSE i oczekiwań reprezentatywnych podmiotów rynku i Komisji Europejskiej, biorąc pod szczególną uwagę

istniejące zaplecze normalizacyjne w tym zakresie oraz doświadczenia praktyczne. Indykatory zostały przypisane do 6 grup tematycznych (rys. 4).

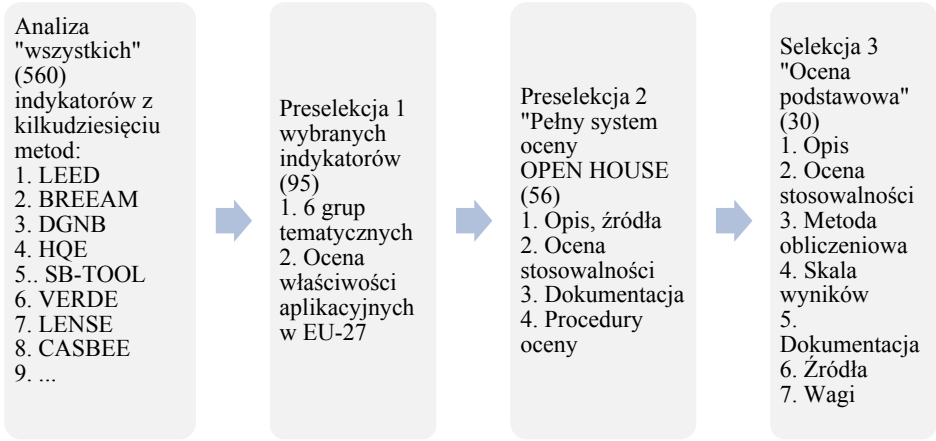
Ocena środowiskowa	Ocena socjalna	Ocena ekonomiczna
Właściwości techniczne i użytkowe		
Proces budowlany		
Lokalizacja		

Rys. 4. Obszary tematyczne do których zostały przyporządkowane indykatory oceny OPEN HOUSE

W pierwszej fazie preselekcji wyodrębniono 95 indykatorów o największym potencjale wykorzystania praktycznego i wzajemnej akceptacji partnerów (rys. 5). W drugim stopniu selekcji 95 indykatorów zostało poddane pogłębionej analizie stosowalności. Pytania zawarte w kwestionariuszu przydatności kryterium to m.in.:

– czy uczestnik procesu oceny jest wstanie dostarczyć wymagane informacje dotyczące indykatora?
– czy w danym państwie istnieją wartości referencyjne dla danego indykatora?
– czy wartość ta mogłaby by być odniesieniem przy ocenie tego indykatora?
– czy indykator ma sens w danym kraju i powinno się go uwzględniać?

Wyniki oceny kilkuset wypełnionych kwestionariuszy podano analizie statystycznej.



Rys. 5. Schemat procesu wyodrębnienia indykatorów o najwyższym poziomie aplikacyjności w UE

W tabeli 1 podano wskaźniki oceny budynku będące efektem końcowego wypracowanego konsensusu pomiędzy uczestnikami projektu (w tym ekspertami CEN TC 350). Większość wybranych kryteriów oceny posiada znormalizowaną w Europie metodę badawczą (procedurę oceny).

W kolejnym zadaniu przyjęte kryteria i ich indykatory wykorzystano do oceny kilkudziesięciu budynków biurowych w Europie. Uzyskane wyniki pozwoliły na znaczną walidację procedur wykonywania ocen. Przykładowe elewacje ocenianych budynków metodą OPEN HOUSE przedstawiono na rysunku 6.

Tabela 1. Wyselekcjonowane kryteria oceny dla metody OPEN HOUSE

Lp.	Obszar oceny	Kryteria oceny (OPEN HOUSE)
1	Środowiskowa	Potencjał (GWP)
		Potencjał uszczuplenia warstwy ozonowej(ODP)
		Potencjał zakwaszenia środowiska (AP)
		Potencjał eutrofizacji (EP)
		Potencjał wytworzenia ozonu troposferycznego
		Drewno certyfikowane (WC)
		Zapotrzebowanie na energię nieodnawialną (PEne)
		Zapotrzebowanie na energię pierwotną (EPD)
		Zużycie wody/ścieki (WU)
		Zużycie terenu (LU)
		Odpady (W)
		Odpowiedzialny dobór usług i materiałów (RS)
		Materiały lokalne (LM)
2	Socjalna	Dostęp do budynku
		Komfort termiczny
		Jakość powietrza wewnętrznego
		Komfort akustyczny
		Komfort wizualny
		Komfort operacyjny
		Zanieczyszczenie elektromagnetyczne
		Dostęp do miejsc publicznych
		Właściwości adaptacyjne
		Transport rowerowy
3	Ekonomiczna	Koszt cyklu życia (LCC)
		Jakość wykonania
		Potencjał ponownego wykorzystania i recyklingu
5	Proces budowlany	Jakość procesu projektowego
		Oddziaływanie środowiskowe wznoszenia budynku
		Odbiór budynku i monitoring
6	Lokalizacja	Ryzyko nieprzewidzianych zdarzeń
		Transport

Rys. 6. Elewacje budynków ocenionych metodą OPEN HOUSE

Efektem końcowym projektu było powstanie otwartej platformy technologicznej określającej zasady i procedury wykonywania analiz budynków w zakresie zrównoważonego rozwoju. W ramach realizacji projektu przygotowano 3 rodzaje dokumentów, instrukcji i narzędzi umożliwiające praktyczne wykorzystanie projektu OPEN HOUSE do analizy budynków (Rys. 7).

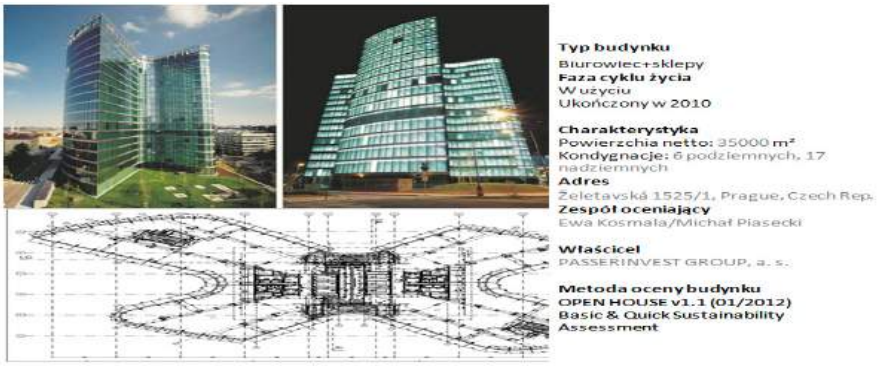
Rys. 7. Narzędzia opracowane w ramach projektu OPEN HOUSE

Przygotowano przewodnik do analizy budynku (kryteria, procedury i metody oceny), który był przedmiotom wielostopniowego procesu doskonalenia (OH Assessment Guideline – 314 stron). Następnie przygotowano dokument instrukcji „krok po kroku" analizy budynku (Assessment Manual, 60 stron) wraz z prezentacjami ppt. Przygotowano też softwarowe narzędzia on-line: do integracji wyników oceny http://oh.building-21.net oraz do analizy cyklu życia budynku LCA http://sbs-prod.elasticbeanstalk.com.

W wyniku projektu powstały dwa rodzaje oceny. Podstawowy i szybki, który daje pierwszy obraz stopnia zrównoważenia budynku i proponuje działania zmierzające do poprawienia tego stopnia zrównoważenia. W tym przypadku niepotrzebna jest pełna dokumentacja budowlana. Ocena taka jest możliwa do przeprowadzenia w parę dni i daje tylko ogólny pogląd. Pełny system oceny, gdzie potrzebna jest pełna ocena wszystkich indykatorów wraz z analizą dokumentacji budynku. Ocena taka może potrwać nawet kilka tygodni.

2. Wyniki analiz metodą OPEN HOUSE

ITB było odpowiedzialne za analizę 2 budynków biurowych w Polsce: Ratusz Bielany oraz nowy budynek TPSA. ITB asystowało i weryfikowało analizy 4 budynków wykonane przez podwykonawców (Knauf Insulation oraz Politechnikę w Pradze) na Łotwie i Czechach. Przykładowym budynkiem, na którym walidowano metodę OPEN HOUSE był budynek Filadelfia w Pradze (Rys.8.), oddany do użytku w roku 2010.



Rys. 8. Budynek Filadelfia w Pradze

Budynek Filadelfia ma następujące właściwości techniczne i użytkowe:

- struktura budynku – konstrukcja monolityczna (beton/stal),
- ściany zewnętrzne – szklane systemy fasadowe, ściany warstwowe ocieplone WM,
- ogrzewanie: ciepło miejskie,
- ciepła woda użytkowa: miejska,

– chłodzenie i wentylacja: zintegrowany system HVAC,
– oświetlenie: nowa generacja LED,
– BMS- wszystkie systemy i instalacje.

Przykładowe wartości U dla przegród:
– przeszklenia: U <1,2 W/(m^{2}K),
– inne ściany: U <0,25 W/(m^{2}K),
– dach: U <0,2 W/(m^{2}K),
– podziemie: U <0,8 W/(m^{2}K).

Zapotrzebowanie na energię końcową (użytkową):
– elektryczność – 49 kWh/m^2/rok,
– ciepło (miejskie) – 23 kWh/m^2/rok,
– chłód – 8,4 kWh/m^2/rok.

Główne aspekty innowacyjności budynku:
– rekuperatory z funkcją ogrzewania/chłodzenia,
– zaawansowany BMS,
– nowa generacja oświetlenia LED,
– przyjazne dla środowiska materiały izolacyjne i membrany,
– dobry komfort wizualny użytkowników, naturalne światło dzienne,
– zielony dach,
– wielofunkcyjność, przyjazność dla użytkowników.

Oddziaływania środowiskowe i aspekty środowiskowe związane z cyklem życia obliczono zgodnie z normą EN 15978 [8]. Charakterystyki środowiskowe materiałów i instalacji zestawiono w grupach zgodnie z podejściem DIN: fundamenty, przegrody zewnętrze, dach instalacje, wyposażenie etc. i wyznaczono ich ślady środowiskowe. Wyniki oceny środowiskowej prezentowane są w tabeli 2. Warto wspomnieć, że analiza LCA jest obowiązkowym elementem oceny środowiskowej m.in. w komercyjnych systemach oceny takich jak BREEAM czy DGNB. Budynki wzniesione z zastosowaniem wyrobów o niskim potencjale oddziaływania na środowisko znacznie polepszają wynik oceny środowiskowej budynku.

Tabela 2. Zestawienie wyników oceny środowiskowej budynku zgodnie z EN 15978 [8]

		FILADELFIE CZ 5	GWP / CO_2	ODP / CFC_{11}	AP / SO_2	EP / PO_4^{-3}
		Jednostka	[kg/m^{2}NFA*a]	[kg/m^{2}NFA*a]	[kg/m^{2}NFA*a]	[kg/m^{2}NFA*a]
Faza wyrobu	A1 A2 A3	Wydobycie Transport Produkcja	6,89	2,91E-07	2,41E-02	2,02E-03
		1) Fundamenty (KG 320)	0,56	2,78E-08	1,32E-03	1,46E-04
		2) Przegrody zewnętrzne (KG 330)	0,90	6,58E-08	3,19E-03	2,18E-04
		3) Okna (KG 330)	1,36	1,21E-07	7,19E-03	5,37E-04
		4) Ściany wewnętrzne (KG 340)	0,39	1,17E-08	2,70E-03	1,62E-04
		5) Sufity (KG 350)	3,41	5,32E-08	8,98E-03	8,78E-04
		6) Dach (KG 360)	0,15	5,96E-09	3,65E-04	4,04E-05
		7) Wyposażenie (KG 400)	0,11	5,34E-09	3,89E-04	4,31E-05
Faza użytkowa	B4+B5	Wymiana, odnowienie	0,68	2,52E-08	3,65E-03	2,58E-04
	B6	Zużycie energii	75,29	1,66E-05	5,01E-01	1,87E-02
Faza końca życia	C3+C4	Przeróbka odpadów, recycling Składowanie	-1,01	-1,03E-07	-4,64E-03	-1,63E-04

Aspekty socjalne oceniono zgodnie z normą EN 16309 [9]. Koszty cyklu życia w większości zostały opracowane zgodnie z prEN 16627:2012, która obecnie ma już status normy PN EN [7]. Koszty cyklu życia budynku (LCC) zgodnie z EN 16627 definiuje się jako całkowite koszty w całym okresie życia, zawierające koszty projektowania, nabycia,

eksploatacji, konserwacji oraz składowania i likwidacji pomniejszone o wartość rezydualną [4]. Analiza LCC odnosi się do kosztów występujących w cyklu życia budynku. Analiza LCC umożliwia wybór najbardziej ekonomicznego projektu i pomaga w planowaniu i kontroli kosztów użytkowania budynku. Analiza LCC może być wykorzystana w celu określenia czy nakłady inwestycyjne na rozwiązania energooszczędne przyniosą wymierny efekt ekonomiczny.

W przypadku budynków masywnych o konstrukcji żelbetowej fundamenty i przegrody będą miały znaczny wpływ na wynik oceny środowiskowej. Stopień przeszklenia ma również wpływ na ocenę końcową. Liczba wymian i konserwacja związana z trwałością też jest brana pod uwagę w obliczeniach.

Wyniki sumaryczne uwzględniające wagi (skalowanie wyników) zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki uzyskane metodą OPEN HOUSE dla budynku Filadelfia

Właściwości funkcjonalne i socjalne		
2.1	Barrier-free Accessibility	10%
2.2	Personal Safety and Security of Users	61%
2.3	Thermal Comfort	30%
2.4	Indoor Air Quality	20%
2.5	Water Quality	60%
2.6	Acoustic Comfort	85%
2.7	Visual Comfort	60%
2.8	Operation Comfort	57%
2.9	Service Quality	75%
2.10	Electro Magnetic Pollution	50%
2.11	Public Accessibility	100%
2.12	Noise from Building and Site	100%
2.13	Quality of the Design and Urban Development	50%
2.14	Area Efficiency	100%
2.15	Conversion Feasibility	68%
2.16	Bicycle Comfort	25%
2.17	Responsible Material Sourcing	0%
Koszt cyklu życia		
3.1	Building-related Life Cycle Costs (LCC)	40%
3.2	Value Stability	25%
Właściwości użytkowe		
4.1	Fire Protection	wycofano
4.2	Durability of the structure and Robustness	50%
4.3	Cleaning and maintenance	51%
4.5	Noise Protection	10%
4.6	Quality of the building shell	33%
4.7	Ease of Deconstruction, Recycling, and Dismantling	56%
Proces budowlany		
5.1	Quality of the Project's Preparation	50%
5.2	Integrated Planning	60%
5.3	Optimization and Complexity of the Approach to Planning	46%
5.4	Evidence of Sustainability during Bid Invitation and Awarding	25%
5.5	Construction Site impact/ Construction Process	27%
5.6	Quality of the Executing Contractors/Pre-Qualification	50%
5.7	Quality Assurance of Construction Execution	50%
5.8	Commissioning	100%
5.9	Monitoring, Use and Operation	100%

Lokalizacja		
6.1	Risks at the Site	66%
6.2	Circumstances at the Site	79%
6.3	Options for Transportation	56%
6.4	Image and Condition of the Location and Neighbourhood	91%
6.5	Vicinity to amenities	97%
6.6	Adjacent Media, Infrastructure, Development	56%

Na rysunku 9 podano ciekawe przykłady obliczeń na bazie wyników uzyskanych przez ITB w metodą OPEN HOUSE. Jak widać zwiększenie kosztów inwestycyjnych nie musi się bezpośrednio przekładać na zwiększenie komfortu użytkowania, zmniejszenie energochłonności czy śladu środowiskowego budynku. Możliwość zestawienia parametrów środowiskowych, socjalnych i ekonomicznych różnych wariantów budynku umożliwia poszukiwane lepszych rozwiązań ze względu na oczekiwania inwestora tj. zwrot inwestycji oraz ze względu na oczekiwania przyszłych użytkowników. Zyski socjalne (komfort) nie zawsze muszą oznaczać też wyższe koszty inwestycyjne (np. budynek Filadelfia).

Rys. 9. Elementy oceny cyklu życia 6 budynków biurowych w cyklu życia 50 lat, przedstawione na m^2 budynku na rok [4,5,6]

3. Rozpowszechnienie wyników projektu

W latach 2012-13 odbyły się 2 duże seminaria OPEN HOUSE organizowane przez ITB przy współudziale Miasta Warszawa oraz Mostostalu. Projekt był promowany na licznych konferencjach, seminariach i publikacjach (w sumie 6 publikacji z listy MNiSW). ITB w ramach projektu ściśle współpracowało z przemysłem w celu implementacji wyników na rynku, z Komitetem Normalizacyjnym CEN TC 350 oraz PKN KT 307 (ds. zrównoważonego rozwoju) w celu uwzględnienia wyników projektu w normach budowlanych oraz Min. Gospodarki i Urzędem Zamówień Publicznych (w celu implementacji kryteriów ocen budynków do zielonych zamówień publicznych). Wyniki spotkały się z dobrym przyjęciem przez odbiorców (rekomendacja Stowarzyszenia ZAE) a metoda OPEN HOUSE została włączona do oferty usług ITB. Projekt OPEN HOUSE został przywołany w dwóch komunikatach Komisji Europejskiej m.in. dot. zrównoważonego budownictwa (2013) oraz ostatnio w COM(2014) 445 w sprawie efektywnego wykorzystania surowców w budownictwie. Wyniki projektu prezentowane są na stronach: http://www.openhouse-fp7.eu/, http://openhouse.building-21.net/ - Platforma OPEN HOUSE: na tej stronie są zaprezentowane indykatory i ostateczna wersja metody.

4. Podsumowanie

W najbliższych latach czeka nas proces dalszej popularyzacji metod oceny środowiskowej budynków na rynku nieruchomości i inwestycji [6]. Przedstawione w pracy przykłady oceny środowiskowej, ekonomicznej i socjalnej budynków wskazują na ich praktyczną wartość oraz możliwość szerszego zastosowania opracowanej metody OPEN HOUSE w budownictwie, obok istniejących metod komercyjnych. Obiekty budowlane zgodnie z nowymi wymaganiami powinny być zaprojektowane, wykonane i rozebrane w taki sposób, aby wykorzystanie zasobów było zrównoważone a negatywne oddziaływania na użytkowników i środowisko zminimalizowane. Budynki powinny być budowane w sposób energooszczędny w całym cyklu życia z uwzględnieniem efektywności ekonomicznej. Osiągnięcie tych postulatów będzie możliwe, gdy poszczególne aspekty budynku będą oceniane w znormalizowany sposób, a wartości progowe kryteriów zdobędą ogólną akceptację. Ze względu na to, że proponowane procedury oceny budynku OPEN HOUSE bazują na normach EN, dlatego można się spodziewać, że inne metody komercyjne przyjmą tą samą podstawę metodyczną (co już się dzieje np. w BREEAM czy DGNB). Dzięki temu, wyniki analiz porównawczych budynków będą coraz bardziej zbliżone. Możliwość oceny w omawianym zakresie powinna przynieść wymierne efekty gospodarcze (np. zwiększenie wykorzystania innowacji, ograniczenie emisji etc.). Komisja Europejska rekomenduje wyniki projektu OPEN HOUSE, sam projekt jest powiązany z innymi inicjatywami europejskimi zapewniającymi kontynuacje badań i wykorzystanie wyników.

Literatura

1. Czarnecki L., Kaproń M. Sustainable Construction as Research Area, IJ of the Society of Materials Engineering for Resources 17(2).
2. Piasecki M., 2012. Proces harmonizacji oceny budynku zrównoważonego, 58 Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej PAN, Krynica.
3. Piasecki M., 2013. Wyznaczenie efektywności środowiskowej i ekonomicznej wybranych budynków użyteczności publicznej. Prace ITB. Kwartalnik 3, Warszawa, 3-21.
4. Piasecki M., 2013. Analiza ekonomiczna budynków w cyklu życia – metody i przykłady. XIV Polska Konferencja Naukowo-Techniczna Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Łódź, 259-262.
5. Piasecki M., 2013. Zanieczyszczenie powietrza związane z produkcją materiałów budowlanych i wsparcie procesu projektowania komponentów budynku w celu jego mitygacji. XII edycja Konferencji „Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce". Politechnika Warszawska.
6. Piasecki. M., 2014. Środowiskowe, socjalne i ekonomiczne aspekty zintegrowanego projektowania budynków. Rynek Instalacyjny 5.
7. prEN 16627:2013 Sustainability Of Construction Works - Assessment Of Economic Performance Of Buildings – Calculation Methods.
8. EN 15978 Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method.
9. EN 16309 Sustainability of construction works. Assessment of social performance of buildings. Calculation methodology.

The harmonization of the environmental, social and economic performance assessment methods for office buildings based on the results of OPEN HOUSE project

Michał Piasecki

Building Research Institute ITB, Department of Thermal Physics, Installations and Environment, e-mail: m.piasecki@itb.pl

Abstract: Current challenges in the construction industry sector and decisions in the construction process should be the result of the analysis of many new aspects, including the environmental performance, economic performance, durability, quality and building comfort of use. New approaches and requirements create the need to develop and adopt a coherent approach to the construction process with a set of appropriate tools. Determination of criteria and principles of design and construction of sustainable buildings is an increasingly important area of research [1], where ITB actively participates. The article presents the results of the work and research in the area of sustainable construction, including the analyses of buildings performed during the implementation of the FP 7 OPEN HOUSE grant.

Keywords: sustainable building, CEN TC 350, OPEN HOUSE, LCA, LCC

Co to znaczy „zdrowy dom”?

Małgorzata Tafil-Klawe[1], Jacek J. Klawe[2]

[1] *Wydział Lekarski UMK w Toruniu, Collegium Medicum w Bydgoszczy*
e-mail: malg@cm.umk.pl

[2] *Wydział nauk o Zdrowiu UMK w Toruniu, Collegium Medicum w Bydgoszczy*
e-mail: klawe@cm.umk.pl

Streszczenie: Na określenie „zdrowy dom” składa się wiele czynników. Są to przede wszystkim technologie budowlane, zapewniające w maksymalnym stopniu wykorzystanie naturalnych źródeł ciepła, światła, sposobów wentylacji i ogrzewania oraz naturalnego środowiska krajobrazowego. Na oddziaływanie mieszkania mają wpływ również zachowania jego mieszkańców i ich rola w utrzymaniu odpowiedniej jakości powietrza, zapobieganiu wilgoci i rozwojowi grzybów oraz wykończeniu wnętrza przy użyciu materiałów opornych na rozwój grzybów, ale emitujących jak najmniej związków chemicznych.

Słowa kluczowe: zdrowe budownictwo, ryzyko zdrowotne, zdrowie publiczne

1. Wprowadzenie

Jest faktem oczywistym, że przed budownictwem mieszkaniowym stoją bardzo złożone oczekiwania. Dom nie tylko powinien spełnić określone wymagania techniczne, mechaniczne i funkcjonalne oraz zapewnić odpowiednią jakość wnętrza; musi zabezpieczyć dobre samopoczucie i zdrowie jego mieszkańców. Kompleksowość rozwiązań uwzględniających związek wnętrza ze zdrowiem jego mieszkańców była przedmiotem ustaleń Komisji Europejskiej [1-3]. Stawiano nacisk na trzy zasadnicze aspekty:

- zdolność utrzymania bezpiecznych dla zdrowia warunków wnętrza, przy uwzględnieniu naturalnych zasobów i czasu użytkowania budynku,
- styl życia i indywidualne zachowania mieszkańców, wpływające na oddziaływanie wnętrza na organizm człowieka,
- zastosowanie najnowszych technologii budowlanych i materiałów, promujących prozdrowotne rozwiązania technologiczne.

Zdrowe budownictwo mieszkalne, zdrowe miejsca pracy, szkoły i przedszkola mają duży wpływ na zdrowie osób w nich przebywających, dlatego problemy te stanowią ważną dziedzinę zdrowia publicznego. Około 53% pediatrów dostrzega i wskazuje związek stanu zdrowia dzieci z zastosowanymi technologiami budowlanymi w ich mieszkaniach, a około 60% spośród nich potrafi udzielić fachowej porady, co można i trzeba zmienić w środowisku mieszkalnym.

2. Dom/mieszkanie i jego zagrożenia dla zdrowia

Mieszkalne wnętrze może zawierać dość dużo zagrożeń zdrowotnych. Zwykle podkreśla się te, które dotyczą dzieci, a zgłaszają je pediatrzy, oraz te, które dotyczą dorosłych, a dowiadujemy się o nich od lekarzy pierwszego kontaktu. Trzecią grupę stanowią psychologowie i psychiatrzy, wskazujący obszary w naszej przestrzeni architektonicznej, istotne dla zdrowia psychicznego i sprawności mentalnej i intelektualnej [4]. Wśród istotnych

zagrożeń spotykanych w domach mieszkalnych, szkołach i miejscach pracy, należy wymienić:

- obecność grzybów i toksyczne działanie pleśni, na co zwraca uwagę 83% pediatrów, 68% lekarzy ogólnych i 73% psychologów i psychiatrów;
- złą jakość wody pitnej z powodu obecności toksyn, co wskazuje 67% pediatrów, 74% lekarzy ogólnych i 50% psychologów i psychiatrów;
- brak dostępu do naturalnego światła, co podkreśla 50% pediatrów, 42% lekarzy ogólnych i 70% psychologów i psychiatrów;
- brak możliwości otwierania okien (i naturalnej wentylacji), według 43% pediatrów, 42% lekarzy ogólnych i 60% psychologów i psychiatrów;
- stosowanie toksycznych środków czyszczących, na co wskazuje 53% pediatrów, 55% lekarzy ogólnych i 37% psychologów i psychiatrów.

Oprócz tego wymienieni specjaliści wskazują na szkodliwość ekspozycji na ołów (wewnątrz budynków i w następstwie zanieczyszczeń komunikacyjnych) oraz na zagrożenia urazami mechanicznymi, związane z materiałami użytymi do wykończenia wnętrza. Pediatrzy zwracają uwagę na częstość poślizgnięć z upadkiem (46% respondentów), a 29% na zaburzenia równowagi. Szczególnie w pomieszczeniach, w których przebywają ludzie starsi, konieczna jest dbałość o wykończenie podłóg przy użyciu materiałów antypoślizgowych, ze względu na ryzyko upadku, urazu i wręcz zagrożenia życia poprzez zdrowotne konsekwencje upadku.

Wiedza pacjentów o budownictwie w ich środowiskach mieszkalnych, szkolnych i miejscach pracy jest bardzo różna. Badania wskazują, że stosunkowo niewiele wiemy o toksyczności swoich mieszkań: nikt z respondentów nie przyznaje się do dużej wiedzy, 41% zgłasza średni zasób informacji, 53% wie mało, a żadnych informacji nie ma 6% badanych. Jeszcze gorzej jest w przypadku informacji o potencjalnej toksyczności budynków, będących miejscem pracy: wprawdzie 1% ma dużą wiedzę, ale tylko 20% wie sporo na ten temat, 52% ma niewiele informacji, a 27% nie wie nic o zagrożeniach zdrowotnych ze strony budynków, w których pracuje. Podobnie jest w przypadku szkół: 2% respondentów deklaruje bardzo dużą wiedzę na temat zagrożeń zdrowotnych budynku szkolnego, 27% ma sporo informacji, 52% niewiele, a 18% nie ma żadnej wiedzy na ten temat.

Szkodliwość budynku, w którym przebywamy, manifestuje się najczęściej skłonnością do przeziębień, bólami głowy i pleców, chorobami układu oddechowego i chorobami o podłożu alergicznym, chorobami układu mięśniowo-szkieletowego i objawami zespołu chorego budynku (SBS). Oszacowano oszczędności wynikające z eliminacji toksycznego oddziaływania budynków w zakresie wymienionych wyżej chorób i okazało się, że są to ogromne sumy wliczone w tzw. osobniczy „koszt życia".

3. Elementy zdrowego budynku

XXI wiek przyniósł rozwiązania instytucjonalne, których jednym z zadań jest analiza zastosowanych technologii w celu wypracowania optymalnych działań, biorących pod uwagę najważniejsze parametry wpływające na zdrowie i dobre samopoczucie mieszkańców: Center for Building Performance at Carnegie Mellon University współpracujący z Advanced Building Systems Integration Consortium (ABSIC) [3]. Wyniki badań laboratoryjnych i symulacyjnych wskazują poniżej przestawiono komponenty zdrowego domu [3].

3.1. „Zdrowe" powietrze

Zdrowe powietrze w mieszkalnym wnętrzu powinno być zabezpieczone przez systemy naturalnej wentylacji, współpracujące z systemami ogrzewającymi powietrze lub z systemem klimatyzacji (HVAC), przy rozdzieleniu klimatyzacji i systemu grzewczego.

Istotna jest kontrola stężenia pyłów i zanieczyszczeń oraz wprowadzenie ewentualnego systemu filtracji. Badania wskazują, że przyjęcie nowoczesnych strategii wentylacji wnętrza zmniejsza zachorowalność na choroby układu oddechowego o 9-20% i zwiększa indywidualną wydajność o 0,48-11%. Można to osiągnąć przy stosunkowo niewielkich kosztach, stosując mieszane technologie grzewcze i klimatyzacyjne *(mixed-mode heating, ventilating, air-conditioning)* [5]. Trzeba jednak podkreślić, że naturalna wentylacja niesie duże ograniczenia w dużych aglomeracjach, przy stałym wysokim poziomie smogu. W tych warunkach konieczne jest zwiększenie izolacji użytkowanego wnętrza. Szczególnie niepożądane są tlenki azotu, które mają dużą zdolność dyfuzji z zewnątrz do wnętrza poprzez porowate ściany. Przykładem zastosowania innowacyjnych materiałów budowlanych w izolacji zewnętrznej jest wykorzystanie zjawiska absorpcji światła ultrafioletowego do degradacji tlenków azotu (Photo-catalytic Innovative Covering Applications for De-Pollution Assessment) [2].

3.2.„Zdrowe" warunki termiczne

Proponuje się stworzenie indywidualnych obszarów (stref) ciepła dla każdego przebywającego w mieszkaniu w zależności od jego potrzeb, z możliwością indywidualnej regulacji. Takie rozwiązanie poprawia indywidualną produktywność o 0,2-3% i zmniejsza objawy zespołu chorego budynku *(sick building syndrome SBS)*.

3.3.„Zdrowe" światło

Światło uwzględniające potrzeby fizjologiczne człowieka powinno być możliwie najbardziej zbliżone do naturalnego światła dziennego. Światło jest silnym bodźcem aktywizującym centralny układ nerwowy, a rożne jego barwy mogą oddziaływać nawet na poziomie nie rejestrowanym przez świadomość. Jest też podstawowym bodźcem regulującym rytm snu i czuwania, a zatem wpływającym na okołodobową rytmikę procesów biologicznych. Istotne wydaje się oddzielenie w sposobie oświetlenia obszarów aktywności od miejsc przeznaczonych do relaksu i wypoczynku. Zastosowanie odpowiednich powłok filtrujących na szybach zewnętrznych pozwala na osiągnięcie we wnętrzu parametrów zbliżonych do światła dziennego. Odpowiednie oświetlenie we wnętrzu, indywidualnie dopasowane do rodzaju aktywność, pozwala na zmniejszenie występowania bólów głowy o 10-25%.

3.4. Ergonomiczna organizacja stref aktywności domowej, zabezpieczenie materiałowej jakości wnętrza

Spełnienie wymagań ergonomicznych jest częściowo związane z poprzednimi parametrami (temperatura wnętrza, oświetlenie stanowiska pracy i wypoczynku). Bezpieczne wnętrze wymaga natomiast eliminacji substancji toksycznych, włókien kancerogennych i pleśni, powodujących choroby układu oddechowego, skóry i oczu.

3.4. Dostęp do naturalnego środowiska człowieka

Oznacza to dostęp do naturalnego światła, naturalną wentylację, wykorzystywanie naturalnych źródeł energii (np. solary). Indywidualna wydajność może wzrosnąć w optymalnych warunkach o 0,4-18%.

3.5. Wykorzystanie walorów krajobrazowych i zabezpieczenie możliwości korzystania z transportu o zminimalizowanych parametrach zanieczyszczeń

Badania wskazują, że lokalizacja budynków mieszkalnych w otoczeniu o zróżnicowanym i interesującym krajobrazie wpływa na aktywność fizyczną mieszkańców, co uważa się za czynnik zapobiegający otyłości i chorobom cywilizacyjnym. Zabezpieczenie transportu proekologicznego zmniejsza ilość zanieczyszczeń obecnych w powietrzu i tym samym zmniejsza również częstotliwość występowania chorób układu oddechowego.

Przedstawione powyżej czynniki należą do grupy „fizjologicznych" warunków powstania zdrowego domu/mieszkania. Wydają się one dość oczywiste i w skrócie można byłoby podsumować je krótko stwierdzeniem: „zdrowy" dom to taki, który w możliwie najlepszy sposób wykorzystuje naturalne środowisko człowieka. Ciągle zbyt mało wiemy na temat interakcji człowiek – jego mieszkanie. Poza faktami od dawna znanymi, dotyczącymi np. wpływu grzybów i metali ciężkich na zdrowie człowieka, pozostaje cały obszar nowoczesnych materiałów budowlanych i wykończeniowych, o których często niewiele możemy jeszcze powiedzieć. Zbyt rzadko padają pytania ze strony lekarza, które pozwoliłyby na korelację stanu zdrowia z rzeczywistym obrazem budowlanym budynku mieszkalnego pacjenta. Stosunkowo niewiele jest zatem naukowych opracowań, które na bieżąco analizowałyby sytuację zdrowotną i pozwoliły na określenie odnoszące się do budynku: „zdrowy" czy nie. Należy też pamiętać, że istnieje swojego rodzaju interakcja pomiędzy budynkiem a jego mieszkańcem: materiały budowlane i wykończeniowe działają na organizm człowieka, ale i człowiek – poprzez swoje nawyki higieniczne, prozdrowotne, używki stosowane w mieszkaniu, indywidualny dobór przedmiotów codziennego użytku, preferencje estetyczne (firanki, dywany) i zarazem możliwości finansowe pozwalające na wykończenie wnętrza, w którym przebywa – stwarza w nim warunki lepsze lub gorsze dla własnego zdrowia. W kurzu domowym – oprócz żyjących w nim organizmów żywych – znajdują się liczne związki chemiczne: pestycydy, policykliczne węglowodory aromatyczne, lotne związki organiczne, produkowane zarówno podczas codziennego korzystania z wnętrza mieszkalnego, jak i napływające z zewnątrz. Gromadzą się one w tkaninach domowych: zasłony, dywany, pościel, materace, tkaniny obiciowe), a ich szkodliwy wpływ modyfikowany jest przez zachowania higieniczne mieszkańców. Codzienne działania związane z użyciem wody – prysznic, kąpiel, zmywanie, pranie, mycie rąk – zwiększają ekspozycję mieszkańców na związki chemiczne w postaci aerozoli i par (3). Obróbka żywności, mycie dużych powierzchni, np. podłóg, często jest związane z pojawieniem się wysokich stężeń lotnych związków organicznych, które z kolei usuwane są przez sprawnie działający system wentylacji. Wiele innych czynności domowych, w tym np. używanie żelazka parowego, stosowanie odświeżaczy powietrza, palenie świec woskowych, może być źródłem niepożądanych związków chemicznych. Zatem oprócz technologii zależnych od projektanta i wykonawcy, w powstaniu zdrowego budynku musi uczestniczyć świadomość jego mieszkańca i wiedza o tym, w jaki sposób on sam może kształtować prozdrowotne właściwości swojego mieszkania/domu. Należy przy tym podkreślić, że istnieje swoista interakcja pomiędzy technologiami zastosowanymi w budownictwie a nawykami i zwyczajami mieszkańców. Przykładem może być dążenie projektanta i wykonawcy do osiągnięcia maksymalnej energooszczędności budynku, które prowadzić może do zmniejszenia naturalnej wentylacji i zwiększenia wilgotności wnętrza, a tym samym do zwiększenia stężenia niepożądanych pyłów i związków w tymże wnętrzu. Włączenie klimatyzacji w nocy w sypialni może prowadzić do kumulacji dwutlenku węgla, którego stężenie może być znacznie wyższe niż w naturalnie wentylowanej sypialni. Określenie „zdrowy budynek"

obejmuje zatem bardzo złożony proces – od technologii budowlanych po zachowania mieszkańców lub użytkowników wnętrza, uwzględniające umiejętne korzystanie ze wszelkich dostępnych codziennych urządzeń, a także rozsądne stosowanie środków chemicznych w gospodarstwach domowych.

4. Wnioski

1. Zdrowy budynek powinien zapewnić jego mieszkańcom lub użytkownikom odpowiednie powietrze i wentylację, optymalne warunki termiczne, oświetlenie zbliżone do naturalnego światła dziennego, ergonomiczne rozwiązania wnętrza i kontakt z naturalnym środowiskiem krajobrazowym.
2. Mieszkańcy i użytkownicy budynków mają duży wpływ na parametry zdrowotne budynków, poprzez ich wykończenie i wyposażenie, własne nawyki higieniczne oraz umiejętne korzystanie z dostępnych udogodnień technicznych i asortymentu stosowanych środków chemicznych.

Literatura

1. European Comission, 2005a. Institute for Health and Consumer Protection, Physical and Chemical Exposure Unit.
2. European Comission, 2005b. Final Report: The INDEX Project: Clinical Appraisal of the Setting and Implementation of Indoor Exposure Limits in the EU.
3. Loftness V., Hakkinen B., Adan O., Nevalainen A., 2007. Elements that contribute to healthy building design. Enviromental Health Perspectives 115, 965-970.
4. The drive toward healthier Buildings, 2014. McGraw Hill Construction. Smart Market Report.
5. Kroeling P. 1988. Health and well-being disorders in air-conditioned buildings; comparative investigations of the "building illness" syndrome. Energy Buildings 11, 277-282.

What do „healthy buildings" mean?

Małgorzata Tafil-Klawe[1], Jacek J. Klawe[2]

[1]Faculty of Medicine, Nicolaus Copernicus Univeristy in Toruń, Collegium Medicum in Bydgoszcz, e-mail: malg@cm.umk.pl

[2]Faculty of Health Science, Nicolaus Copernicus University in Toruń, Collegium Medicum in Bydgoszcz, e-mail: jklawe@cm.umk..pl

Abstract: The elements that explain the notion of a "healthy" building are multifactorial. There are technologies and materials, which make use of natural ventilation with mixed-mode heating, air-conditioning systems, as well as natural landscape. The role of building occupants to ensure indoor air quality, including cleaning habits and other behaviors, is very important. Finishing materials play a major role in the prevention of moisture retention, mold growth, or chemical emission of fungal resistant agents.

Key words: healthy building, health hazards, public health

DOŚWIADCZENIA Z PROJEKTOWANIA I REALIZACJI BUDYNKÓW ENERGOOSZCZĘDNYCH W POLSCE

Budynki energooszczędne w praktyce

Anna Bać, Krzysztof Cebrat

Wydział Architektury, Politechnika Wrocławska,
e-mail: anna.bac@pwr.edu.pl, krzysztof.cebrat@pwr.edu.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono wybrane zagadnienia współczesnego budownictwa energooszczędnego widziane z perspektywy doświadczeń architekta – projektanta oraz dydaktyka. Na podstawie praktyki zawodowej nakreślono problematykę projektowania i realizacji obiektów energooszczędnych, które powstały na zlecenie Gminy Wrocław oraz inwestorów indywidualnych. Omawiana problematyka dotyczy w szczególności przygotowania dokumentacji projektowej, wykonawstwa i użytkowania obiektów energooszczędnych. Ponadto w skrócie zaprezentowano niektóre zjawiska związane z energooszczędnością. Dokonano próby zdiagnozowania istniejącej sytuacji oraz sformowania perspektyw na przyszłość.

Słowa kluczowe: **e**fektywność energetyczna, komfort użytkowania, proces projektowy, przygotowanie zawodowe, realizacja inwestycji

1. Wprowadzenie

Szeroko pojęta energooszczędność jest jednym z wiodących zagadnień we współczesnym budownictwie. Jest zgodna z obecnym paradygmatem zrównoważenia i wynika z unijnej polityki w zakresie efektywności energetycznej, która jest jednym z elementów unijnej strategii Europa 2020 na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu zawartej w dokumentach Komisji Europejskiej [1]. Efektywność energetyczna została ujęta w kluczowych projektach unijnych, takich jak „Europa efektywnie korzystająca z zasobów" oraz tzw. pakiet klimatyczno-energetyczny, mówiących o potrzebie redukcji zużycia energii, produkcji CO_2 oraz zwiększeniu wykorzystania odnawialnych źródeł energii [2]. W dokumentach tych podkreśla się, że racjonalne gospodarowanie energią jest jednym z najważniejszych sposobów jej oszczędzania oraz wskazuje się konieczność stałej poprawy w tym zakresie. Polityka unijna stopniowo znajduje swoje przełożenie w sektorze budownictwa i w przepisach budowlanych.

W Polsce rzeczywiste zmiany obserwuje się od połowy pierwszej dekady XXI wieku, kiedy powoli kształtuje się energooszczędny rynek budowlany poparty zaangażowaniem niektórych mediów i wsparciem państwa oraz powoli pojawia się zapotrzebowanie na budynki energooszczędne. Pewną trudność w określeniu faktycznego stanu budownictwa energooszczędnego w Polsce stanowi brak oficjalnych statystyk w tym zakresie. Bazując na danych Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej – NFOŚiGW [3] do dnia dzisiejszego mamy 83 domy jednorodzinne w standardzie NF15 lub NF40. Według informacji uzyskanych z Polskiego Instytutu Budownictwa Pasywnego i Energii Odnawialnej w Polsce mamy 30 obiektów niskoenergetycznych certyfikowanych wg kryteriów Passivhaus Institut – PHI. Opierając się na innych dostępnych źródłach [4] ustalono dane dotyczące wybranych typów obiektów. Wynika z nich, że w drugiej dekadzie XXI wieku w Polsce powstało około 25 nowych obiektów szkolnych, z czego jedynie pięć opisuje się jako obiekty energooszczędne. Jeszcze w roku 2010 co dziesiąty klient na rynku projektów typowych we Wrocławiu wyrażał zainteresowanie domem energooszczędnym, podczas gdy obecnie potrzebę takiego domu wyraża co trzeci inwestor. W zakresie obiek-

tów komercyjnych, bazując na danych jednej z największych agencji nieruchomości w Polsce [5] na temat ilości przyznanych certyfikatów LEED (24) i BREEAM (128), są to głównie obiekty biurowe, w małym stopniu handlowe i przemysłowe. Jednak na podstawie wielokryterialnych systemów ocen trudno jednoznacznie wnioskować o stopniu energooszczędności tych obiektów. W kraju powstało dotąd jedynie kilka budynków wielorodzinnych w standardzie energooszczędnym, żaden we Wrocławiu. Z dokonanego przeglądu wynika, że inaczej wygląda sytuacja energooszczędnych inwestycji gminnych i indywidualnych, a jeszcze inaczej inwestycji deweloperskich.

Za budynki energooszczędne w pracy przyjęto obiekty o zapotrzebowaniu na cele ogrzewania, chłodzenia i wentylacji poniżej 60 kWh/m^{2}a, zaś kwestie energochłonności, cyklu życia budynków, energii pierwotnej i wbudowanej oraz poziomu emisji CO_2 nie mieszczą się w zakresie niniejszego opracowania. Pominięto także kwestie nazewnictwa i standardów energetycznych oraz parametrów wynikających z uwarunkowań prawnych. Ze względu na doświadczenia autorów zakres opracowania zamyka się w latach 2006-2015, zaś obszar obejmuje teren Dolnego Śląska.

2. Realizacja budynków energooszczędnych

W tej części zostaną przedstawione zaobserwowane w praktyce zagadnienia projektowe oraz związane z wykonawstwem i użytkowaniem obiektów energooszczędnych z przyjętym podziałem na typ inwestycji. Autorzy opracowania są założycielami biura projektowego grupa synergia, które działa we Wrocławiu od 2006 roku i specjalizuje się w projektowaniu obiektów energooszczędnych i zrównoważonych, przede wszystkim edukacyjnych (5) oraz mieszkaniowych (22) i usługowych (5).

2.1. Zespół szkolno-przedszkolny na Maślicach we Wrocławiu

Zespół szkolno-przedszkolny – ZSP nr 12, przy ulicy Suwalskiej 5 na Maślicach we Wrocławiu jest największym zrealizowanym przez autorów obiektem energooszczędnym (rys. 1). Projekt wykonano w 2007 roku w efekcie uzyskania pierwszej nagrody wygranej w ogólnopolskim otwartym konkursie architektonicznym rozpisanym przez Zarząd Inwestycji Miejskich – ZIM na opracowanie koncepcji architektoniczno-urbanistycznej ZSP wraz z koncepcją zagospodarowania terenu. Decyzją uchwały Rady Miasta obiekt miał wykorzystywać odnawialne źródła energii – OZE. Budowa ZSP trwała niespełna 2 lata. Generalnego wykonawcę wyłoniono w wyniku przetargu na podstawie zadeklarowania najniższej ceny ryczałtowej za roboty budowlane, zgodnie z prawem zamówień publicznych. Obiekt oddano do użytku we wrześniu 2009 roku. Badania obiektu po zasiedleniu (Post Ocupancy Evaluation – POE) przeprowadzono zaraz po pierwszym sezonie zimowym i po pierwszym sezonie letnim, co pozwoliło na ocenę zastosowanych rozwiązań [6].

Jest to jedyny energooszczędny obiekt edukacyjny zrealizowany przez ZIM we Wrocławiu. Budynki realizowane w kolejnych latach spełniają jedynie obowiązujące wymagania prawne. Od czasu zmian w warunkach technicznych z 2014 roku, obiekty zamawiane przez miasto muszą spełniać lepsze od aktualnych wymogów w zakresie izolacyjności cieplnej przegród, tj. obecnie jak dla roku 2017.

Rys. 1. Jedna z południowych elewacji sal szkolnych w ZSP nr 12 na Maślicach we Wrocławiu

2.1.1. Prace projektowe

Prace projektowe ZSP należy podzielić na dwa etapy, pierwszy etap koncepcji konkursowej zrealizowano we współpracy z międzynarodowym biurem inżynierskim o zasięgu globalnym, zaś drugi etap wykonania dokumentacji budowlanej z biurem lokalnym, które specjalizowało się w projektach energooszczędnych. Na etapie koncepcji przyjęto, i potem utrzymano, rozczłonkowaną bryłę wynikającą z układu kompozycyjnego działki i założeń funkcjonalno-przestrzennych zapewniając południową ekspozycje sal szkolnych i przedszkolnych. Przewidziano stosunkowo duże przeszklenia zwłaszcza od południa, wschodu i zachodu oraz towarzyszące im osłony przeciw słoneczne dla zminimalizowania przegrzewania się obiektu. Osłony dopasowano do kierunków świata: na południe poziome lamele, w pozostałych miejscach (w tym nad świetlikami) zewnętrzne rolety tekstylne oraz miejscowo poziome żaluzje. W elewacjach od północy zapewniono minimalne otwory okienne. Zaprojektowano dobrze zaizolowane przegrody zewnętrzne (wartości U [W/m^{2}K] pełnych przegród 0,15-0,28 i przeszkleń 0,9-1,7). Zapewniono akumulację ciepła i chłodu w masywnych elementach konstrukcji budynku – głównie w stropach filigran i murowanych ścianach wewnętrznych (rys. 2).

Zasadniczo projekty w obu etapach różniły się przede wszystkim sposobem uzyskania komfortu cieplnego i zapewnienia jakości powietrza, będącym jednymi z priorytetów projektowych, których realizację analizowano potem w badaniach autorskich [7]. W koncepcji konkursowej zaproponowano podwójną fasadę szklaną oraz specjalne kominy wspomagające wentylację grawitacyjną z rekuperacją ciepła w zimie. Miały tworzyć system umożliwiający w dużym stopniu indywidualną regulację klimatu wewnętrznego pomieszczeń, poprzez manualne lub automatyczne uchylanie lufcików w obu ścianach fasady szklanej oraz chłodzenie nocą dzięki lufcikom w fasadzie północnej.

Rys. 2. Wizualizacja ZSP na etapie koncepcji

W ostatecznym projekcie przyjęto wentylację mechaniczną nawiewno-wywiewną z odzyskiem ciepła z powietrza wentylacyjnego oraz z powietrznymi pompami ciepła zapewniającymi dogrzewanie powietrza zimą i schładzanie latem. Obiekt podzielono na 5 odrębnych stref z centralami zlokalizowanymi na dachach i w budynku. Ponadto zastosowano centralny układ zarządzania dla podniesienia sprawności systemu ogrzewania, chłodzenia i wentylacji, czyli tzw. Building Energy Management System – BEMS. Miał on zapewniać sterowanie instalacjami kształtowania klimatu i oświetleniem elektrycznym oraz zautomatyzowanymi systemami osłon przeciw słonecznych w oparciu o kryterium odpowiedniego mikroklimatu w obiekcie przy jak najniższym zużyciu energii. Ponadto miał zapewniać zarządzanie całym budynkiem z jednego miejsca (także zdalnie) oraz gromadzenie i przetwarzanie danych pomiarowych dla późniejszych analiz techniczno-ekonomicznych. Miał przyczynić się do 20% oszczędności energii w skali roku. Zakładano zapotrzebowanie na energię na poziomie około 47 kWh/m^2/rok. Z powodu zastosowania wymienionych technik sprzyjających oszczędzaniu energii i efektywności energetycznej – miasto uzyskało dotację na realizację obiektu z funduszy unijnych (całkowity koszt inwestycji to około 24 mln PLN).

W obiekcie zastosowano także rozwiązania zapewniające optymalne doświetlenie światłem dziennym, m.in. poprzez świetliki, naświetla i oświetlenie pośrednie. Przewidziano także sprzęt działający na czujki ruchu i zmierzchu, co wpłynęło korzystnie na oszczędność zużycia prądu na cele oświetlenia elektrycznego. Ponadto w ZSP zadbano o komfort akustyczny poprzez stosowanie ekranów akustycznych na stropach w większości pomieszczeń, dzięki czemu obiekt stał się wzorcowym w zakresie niskiego poziomu hałasu [8].

W procesie projektowym brało udział szereg stron, m.in. Dział przygotowania inwestycji w ZIM, kierownictwo i przedstawiciele Wydziału Edukacji oraz wielobranżowy zespół projektowy. Ówczesne procedury realizacji inwestycji nie przewidywały udziału inspektorów z ZIM ani przyszłych użytkowników. Z inicjatywy projektantów architektury projekt był konsultowany z przyszłym użytkownikiem w zakresie rozwiązań funkcjonalno-przestrzennych części szkolnej oraz wykonano specjalistyczne badania z zakresu akustyki.

Z perspektywy lat największym mankamentem ówczesnego projektu był brak realnej współpracy branżowej, czyli brak tzw. zintegrowanego procesu projektowego – ZPP. Wykonane przez projektantów instalacji studium opłacalności, które zadecydowało o rezygnacji z pasywnego charakteru systemów w ZSP nie zostało poparte dyskusją z użytkownikiem

ani nawet z projektantem architektury. Decyzje dotyczące wyposażenia zapewniającego komfortowy mikroklimat podejmowane były w zamkniętym zespole instalatorów. Dla optymalizacji rozwiązań nie stosowano symulacji, jakie umożliwia obecnie oprogramowanie komputerowe.

2.1.2. Budowa i użytkowanie

Generalny wykonawca, który wygrał przetarg z powodu najniższej ceny za realizację obiektu, podał kwotę o 2 mln złotych mniejszą od innych ofert. Warunkiem ówczesnego przetargu nie było doświadczenie wynikające z realizacji obiektów energooszczędnych. Było to prawdopodobnie uzasadnione faktem, że w tamtym czasie takich obiektów użyteczności publicznej było w Polsce bardzo niewiele. Należy także nadmienić, że ZSP był pierwszym obiektem edukacyjnym wyposażonym w pełną wentylację mechaniczną realizowanym przez ZIM na terenie Wrocławia.

Podstawowym problemem dla wykonawcy było scalenie systemów sterowania i automatyki budynkowej poszczególnych urządzeń w jeden spójny system. Odbiór ZSP przez użytkownika ograniczono do przekazania dokumentacji powykonawczej, nie przeprowadzono szkolenia dyrekcji i nauczycieli w zakresie funkcjonowania i obsługi systemów obiektowych. W celu oszczędności zużycia prądu w obiekcie, na działce wyłączono co drugi punkt świetlny, uznając go jako zbędny wydatek.

Eksploatacja budynku podczas pierwszej zimy ujawniła szereg nieprawidłowości zwłaszcza w wykonawstwie przegród zewnętrznych, tj. wykończenia naroży i attyk, osadzenia stolarki okiennej i świetlików oraz izolacji ścian w konstrukcji szkieletowej. Wady te ujawniły się w postaci niskiej temperatury pomieszczeń, miejscowym występowaniem szronu i przeciekaniem oraz zostały potwierdzone badaniami termowizyjnymi. Natomiast bolączką ujawnioną podczas pierwszego sezonu letniego była trudność wynikająca z daleko posuniętej automatyki budynkowej, która uniemożliwia m.in. indywidualne sterowanie osłonami przeciw słonecznymi, a także parametrami ich ustawień. Na przykład osłony świetlików dachowych miały parametry niedostosowane do typowych w okolicy wiatrów i pracowały niepotrzebnie prawie bez przerwy zwijając się i rozwijając (w efekcie po roku uległy zniszczeniu). Dla poprawy komfortu cieplnego użytkownik na własną rękę dokonywał regulacji nawiewów w poszczególnych pomieszczeniach, co skutkowało pogarszaniem się parametrów mikroklimatu w innych miejscach. Prowadzony przez pierwszy rok eksploatacji obiektu nadzór projektantów BEMS nad systemem nie przyniósł oczekiwanych efektów, jak twierdzą projektanci z powodu wadliwych ustawień poszczególnych urządzeń. Miasto nie wywiązało się z zapewnień podjętych na etapie projektowania o zapewnieniu fachowej obsługi dla ZSP mającej za zadanie utrzymanie i optymalizowanie poziomu energooszczędności wynikającej z zastosowania BEMS. Trudność w ustaleniu oszczędności energii w ZSP polega na niemożności zweryfikowania jej rzeczywistego zużycia. Miasto prowadzi statystyki opłat za media w obiektach edukacyjnych, jednak brak jest jednoznacznego określenia wydatkowania energii na poszczególne cele (np. ogrzewania, przygotowania ciepłej wody użytkowej, elektrycznej na cele grzewcze lub na inne itp.), co widać po analizie danych udostępnionych przez Wydział Edukacji [9].

W rezultacie zaprojektowano i wykonano obiekt użyteczności publicznej, który miał być wysoko energooszczędnym, lecz nie ma dostępu do rzeczywistych danych na ten temat. Wiadomo, że sprawdza się zastosowanie pomp ciepła oraz że problemem jest system wentylacji mechanicznej i jego ustawienia. Ponadto obiekt nie podlega monitoringowi ani optymalizacji energetycznej, jak planowano w trakcie projektowania.

2.2. Domy jednorodzinne

W sumie w biurze wykonano sześć projektów indywidualnych energooszczędnych domów jednorodzinnych oraz 16 projektów tzw. katalogowych. Na potrzeby niniejszego opracowania wybrano charakterystyczne przypadki obiektów.

2.2.1. Dom pasywny

Najstarszym wykonanym projektem domu energooszczędnego jest obiekt w Kotlinie Kłodzkiej w standardzie pasywnym (Darmstadt), który miał spełniać zapotrzebowanie na energię na poziomie około 15 kWh/m2/rok. Proces projektowy przebiegał w 2009 roku, kiedy specjalistyczny program do projektowania budynków pasywnych był bardzo mało popularny w Polsce. Po kilku próbach podjęcia współpracy z instalatorami, udało się pomyślnie zakończyć projekt instalacyjny. Budowa nie doszła do skutku z powodu braku odpowiedniego wykonawcy. Na zapytania ofertowe odpowiedzieli lokalni drobni rzemieślnicy, którzy nie wykazywali znajomości podstaw budownictwa pasywnego, albo firmy zdolne przejąć rolę generalnego wykonawcy, lecz także bez odpowiedniego przygotowania. W 2014 roku podjęto ponownie próbę realizacji domu i w wyniku konfrontacji z nowymi warunkami technicznymi uaktualniono projekt w zakresie ogrzewania i wentylacji. Architekci zostali skonfrontowani z faktem, iż wymagania dla budynków pasywnych w standardzie niemieckim nie spełniają polskich norm w zakresie dostarczania niezbędnych ilości powietrza wentylacyjnego. Na wiosnę 2015 roku ponowiono próbę znalezienia wykonawcy, który wziąłby odpowiedzialność za realizację domu pasywnego. Jedna z uzyskanych ofert pochodzi z firmy z Pomorza, który szacuje koszt stanu deweloperskiego domu w wysokości 4 100 PLN/m^2. Z wywiadów z lokalnym nadzorem budowlanym wynika, że w rejonie Kotliny Kłodzkiej nie ma firm specjalizujących się w budownictwie energooszczędnym, ponieważ zapotrzebowanie na tego typu obiekty jest niewielkie.

Dokonano rozeznania sytuacji na Dolnym Śląsku, z którego wynika, że we Wrocławiu znajduje się punkt kształcenia projektantów i wykonawców budynków pasywnych i dodatnioenergetycznych będący filią Instytutu Darmstadt, brak jest jednak bazy kontaktowej oraz punktu wymiany doświadczeń.

Na etapie projektu wykonawczego domu pasywnego natrafiono na problem braku specjalistycznych elementów budowlanych, takich jak okna czy drzwi. Z dokonanego przeglądu rynku wynika, że w Polsce tylko jedna firma wykonuje specjalistyczne okna o zadanych parametrach dedykowanych ekspozycji południowej (np. Ug 0,55 i g 0,64) oraz pozostałym kierunkom (np. Ug 0,5 i g 0,5). Podobnie tylko jedna firma wykonuje odpowiednio zaizolowane drzwi zewnętrzne.

W rezultacie – po kolejnym etapie poszukiwań udało się znaleźć generalnego wykonawcę z Kudowy – zainteresowanego budową domu pasywnego i otwartego na rozpoznanie jego technologii. Budowa rozpocznie się w sierpniu bieżącego roku.

2.2.2. Dom specjalistyczny

Wyjątkowym przykładem realizacji energooszczędnego domu była współpraca biura z inwestorem, który był równocześnie instalatorem pracującym w międzynarodowych biurach inżynierskich. Fakt ten umożliwił (niejako bezpłatne) wykonanie optymalizacji i symulacji komputerowych, które doprowadziły do zastosowania najkorzystniejszych rozwiązań projektowych dedykowanych użytkownikowi i podwrocławskiej lokalizacji. Pozwoliło to na doświadczenie i opisanie zintegrowanego procesu projektowego [10]. Prace projektowe przeprowadzono w 2011 roku, budowę metodą gospodarczą ukończono w 2014 roku (rys. 3).

Rys. 3. Elewacja południowa domu z osłonami przeciwsłonecznymi

Dom miał spełniać zapotrzebowanie na energię na poziomie około 25 kWh/m2/rok przy zastosowaniu wyłącznie kontrolowanej wentylacji naturalnej. W projektowania wykorzystano m.in. specjalistyczne programy symulacyjne (EDSL TAS oraz Ecotect), co umożliwiło analizę energetyczną oraz analizę komfortu cieplnego i oświetlenia światłem dziennym. Pieczołowicie dobrano kształt domu, orientację, rodzaj materiałów zarówno konstrukcji, jak i wykończenia, parametry przeszkleń, rozmieszczenie elementów uchylnych oraz zadbano o osłony przeciwsłoneczne. Zastosowano m.in. masywne przegrody (podłogi, ściany i strop) dedykowane akumulacji ciepła i chłodu oraz lufciki sterowane automatycznie na czujkę temperatury, wilgotności i poziomu CO_2 w powietrzu wewnętrznym. Jak wynika z relacji użytkowników założenia projektowe, w tym poziom zapotrzebowania na energię do ogrzewania, zostały zrealizowane w praktyce przy minimum nakładów energetycznych. Sukces ten był możliwy dzięki wiedzy i doświadczeniom inwestora/instalatora, który pełnił także rolę inspektora nadzoru na budowie. Fakt ten umożliwił uniknięcie wielu typowych błędów budowlanych. Koszt budowy do stanu deweloperskiego zamknął się w kwocie około 2 400 PLN/m^2.

W rezultacie mieszkańcy są zadowoleni z zastosowanych rozwiązań. Masywne przegrody akumulacyjne i system wentylacji naturalnej, wspomagany przez świadome użytkowanie domu daje dobre rezultaty, choć nie poparte jeszcze szczegółowymi analizami.

2.2.3. Domy katalogowe

Na rynku domów typowych wyraźną zmianę obserwuje się od około trzech lat, kiedy większość pracowni architektonicznych wzbogaciła swoją ofertę o tzw. pakiety energooszczędne. Najczęściej polega to na wyposażeniu dowolnego istniejącego projektu w wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła, poprawie izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych oraz na dodaniu takich elementów jak pompy ciepła, kolektory słoneczne i/lub panele fotowoltaiczne. Mankamentem z punktu widzenia rzeczywistej energooszczędności jest wspomniane wyżej wybiórcze stosowanie przez biura rozwiązań składających się na efektywność energetyczną. Po drugie wadą projektów typowych jest brak ich dostosowania do lokalnych warunków i trudność w wyegzekwowaniu na inwestorze właściwej orientacji

budynku. Popularność i dostępność projektów katalogowych ze względu na bardzo niską cenę uzyskania dokumentacji budowlanej sprawiła, że powstają firmy specjalizujące się wyłącznie w domach energooszczędnych w różnych standardach, często połączone z ofertą wsparcia w uzyskaniu dopłat z NFOŚiGW. Firmy takie zapewniają także uproszczone narzędzia symulacyjne służące analizom opłacalności rozwiązań materiałowych czy stosowanych urządzeń. Współpraca z jedną z takich firm [11] pozwoliła na sformowanie pewnych wniosków. Przede wszystkim wykazała znaczenie ZPP i ważną rolę fizyka budowli w procesie optymalizacji rozwiązań projektowych. Ponadto wyraźnie ukazała zasadność stosowania oprogramowania umożliwiającego rysowanie trójwymiarowe z możliwością dokonywania symulacji energetycznych (np. Revit oraz Ecotect) oraz wykonywania wszechstronnych bilansów.

Jak wykazały rozmowy z klientami zainteresowanymi domami katalogowymi dużym problemem jest zaufanie, że proponowane w projekcie rozwiązania są rzeczywiście energooszczędne. Na drugim miejscu pojawia się pytanie czy zainwestowane dodatkowe nakłady finansowe zwrócą się i w jakim czasie. Realizacja domów katalogowych następuje najczęściej systemem gospodarczym, bez odpowiedniego przygotowania wykonawców.

Jako rezultat współpracy dotąd zrealizowano jeden dom katalogowy, losy obiektu nie są znane.

3. Perspektywy budownictwa energooszczędnego

Dla pełnego zobrazowania stanu oraz perspektyw budownictwa energooszczędnego w Polsce należy wymienić kilka zagadnień ogólnych.

Przede wszystkim, znaczącym elementem jest kwestia przygotowania zawodowe architektów oraz innych profesji do projektowania z uwzględnieniem efektywności energetycznej. Dokonania w tym zakresie znane z własnych doświadczeń dydaktyka na Wydziale Architektury są niewielkie. Wśród kursów na pierwszym i drugim stopniu na kierunku architektura jedynie dwa poświecone są energooszczędności w budownictwie. Organizowany na wydziale od 2013 roku konkurs pt. Architektura Energoaktywna na prace dyplomowe obydwu stopni nie cieszy się zbyt dużą popularnością studentów (na 200 dyplomantów około 15 zgłoszeń konkursowych). Studenci tłumaczą się brakiem wiedzy w tym zakresie i obawą nie sprostania wymogom dyplomowym z uwzględnieniem elementów energooszczędności. Pokutuje przekonanie o nieatrakcyjnej zwartej bryle wyposażonej u urządzenia techniczne. Wymagania konkursu zawarte w regulaminie [12] dotyczą podstawowych elementów takich jak architektoniczne i instalacyjne (w zarysie) rozwiązania energooszczędne, wykonanie detali pozbawionych mostków cieplnych oraz osiągniecie wartości współczynnika przenikania ciepła dla przegród zewnętrznych na poziomie wymagań z 2017 roku i ocena ryzyka wystąpienia kondensacji międzywarstwowej. Przy czym dwa ostatnie kryteria realizowane są za pomocą kalkulatora i symulacji dostępnych w Internecie. A więc konkurs dotyczy stosowania podstaw projektowania obiektów energooszczędnych. Ponadto brak jest zajęć interdyscyplinarnych przygotowujących projektantów do pracy w zespole projektowym z wykorzystaniem ZPP. Brak także zajęć z technik optymalizacji i symulacji energetycznych, materiałowych i kosztowych, które są ważnym elementem składowym ZPP.

Rolę edukatorów w kształtowaniu świadomości studentów, konsumentów, inwestorów i projektantów ma rynek budowlany, a zwłaszcza działalność producentów globalnych marek produktów i urządzeń. Przykładem może być Isover, Rockwool, Xella czy Viessmann. Firmy te podejmują działalność edukacyjną i popularyzatorską w zakresie energooszczędności poprzez udostępnianie wiedzy oraz prostych narzędzi obliczeniowych i symulacyjnych dostępnych on-line. Niektóre promują wykorzystanie w projektowaniu także

zaawansowanych narzędzi takich jak Building Information Modeling – BIM. Ponadto firmy te organizują i sponsorują konkursy architektoniczne zachęcając studentów (a także architektów) do zainteresowania się energooszczędnością oraz zrównoważeniem. Działalność ta wspierana przez specjalistyczne media dedykowane inwestorom i konsumentom.

Wreszcie, pomimo wspomnianej działalności promocyjnej producentów, zaangażowania środowisk naukowych i udziału mediów – popyt społeczny na efektywność energetyczną nie jest zadowalający. Dobitnym tego przykładem są dane ilościowe podane na wstępie pracy. Dodatkowo obserwacje rynku nieruchomości we Wrocławiu nie wskazują na zainteresowanie budownictwem energooszczędnym. Wyjątek stanowią obiekty biurowe, których standardy narzuca globalny rynek deweloperski.

Jednym ze stosowanych na świecie narzędzi zachęty dla inwestorów potencjalnie zainteresowanych budową domu energooszczędnego są obiekty demonstracyjne oraz wszelkiego rodzaju ulgi finansowe. Są to m.in. ulgi w podatku od nieruchomości za standard niskoenergetyczny obiektu czy zmniejszony podatek VAT przy zakupie odpowiednich materiałów budowlanych. W Polsce natomiast mamy do czynienia z dofinansowaniem kredytów do budownictwa energooszczędnego. Wymagane procedury i formalności oraz konieczność zaciągania kredytów zdają się nie służyć rzeczywistemu wdrażaniu rozwiązań niskoenergetycznych.

Mało przekonywujące są także polskie wymogi związane z charakterystyką energetyczną. Wykonane na własny użytek symulacje obiektów świadczą o tym, że metodologia wykonania charakterystyk nie wspiera rzeczywistej efektywności energetycznej obiektów, lecz nagradza zastosowanie OZE na cele grzewcze. Czyli obiekt może być w pełni przeszklony, pozbawiony osłon przeciw słonecznych, ale wyposażony w kocioł na biomasę, aby osiągnąć bardzo dobry wynik w zapotrzebowaniu na energię końcową.

4. Podsumowanie

Zaprezentowane zagadnienia widziane z perspektywy doświadczeń architekta – projektanta oraz dydaktyka pozwalają na sformowanie pewnych wniosków. Po pierwsze konieczne jest podniesienie stanu wiedzy wszystkich uczestników procesów realizacji inwestycji, czy to gminnych czy indywidualnych. Osoby decyzyjne, pracownicy urzędów i jednostek uzgadniających powinni lepiej rozumieć problematykę efektywności energetycznej. Zalecanym działaniem w tym zakresie jest konsekwentne podnoszenie świadomości społecznej, którego skutkiem będzie dodatkowo zwiększone zapotrzebowanie na obiekty energooszczędne. Wskazane jest, aby działania takie szerzej podjęły media, które poprzez swój sposób oddziaływania mogą wykształtować rodzaj mody i społecznego zaangażowania. Równoległe działania powinny objąć studentów oraz środowiska zawodowe związane z budownictwem. Pożytecznym działaniem w tym kierunku jest dzielenie się zdobytą wiedzą i doświadczeniem wynikającym z realizacji obiektów. Bardzo dobrym narzędziem w tym zakresie są praktykowane na świecie tzw. *lessons learned*. Ich celem nie jest wskazanie winnych zaistniałych (świadomie lub nieświadomie) niedociągnięć, lecz wyciągnięcie wniosków na przyszłość i dzielenie się nimi. Służą temu fora dostępne dla profesjonalistów, a także fora społecznościowe.

Po drugie, bardzo ważnym elementem szeroko pojętej energooszczędności jest świadomość znaczenia rozwiązań architektonicznych, które mogą sprzyjać lub utrudniać efektywnej gospodarce energią oraz warunkują oddziaływanie budynku na środowisko naturalne. Dbałość o osiągnięcie obiektu energooszczędnego jest istotna już od pierwszego etapu realizacji inwestycji – a wiec jej planowania. Założone kryteria projektowe związane z efektywnością energetyczną powinny być zastosowane w koncepcji i na tym etapie analizowane i optymalizowane. Należy stosować narzędzia umożliwiające rzeczywistą oszczęd-

ność energii, począwszy od stosowania zintegrowanego procesu projektowego po zaawansowane narzędzia (oprogramowanie) służące optymalizacji energetycznej, materiałowej i kosztowej obiektów.

Literatura

1. Komisja Europejska Komunikat Komisji, Europa 2020, 2010, s. 12, dokument on-line: http://ec.europa.eu/eu2020/pdf/1_PL_ACT_part1_v1.pdf [dostęp 13.05.2015].
2. Ministerstwo Środowiska Pakiet wyzwań – Polska wdraża pakiet klimatyczno-energetyczny – podsumowanie, dokument on-line: https://www.mos.gov.pl/artykul/7_aktualnosci/10373_pakiet_wyzwan_polska_wdraza_pakiet_klimatyczno_energetyczny_podsumowanie.html [dostęp 5.05.2015].
3. Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska Bieżące efekty wdrażania, dokument on-line: https://www.nfosigw.gov.pl/oferta-finansowania/srodki-krajowe/programy-priorytetowe/doplaty-do--kredytow-na-domy-energooszczedne/oprocentowanie-i-oplaty/ [dostęp 21.05.2015].
4. Bać A. Badania własne przeprowadzone na bazie źródeł internetowych oraz wywiadów z wiodącymi firmami brokerskimi i deweloperskimi we Wrocławiu przeprowadzone we wrześniu 2014 roku.
5. Colliers International Zielone budynki w Polsce, dokument on-line: http://www.colliers.com/sitecore/shell/-/media/Files/EMEA/poland/reports/2014/colliers-poland-zielone-budynki-w-polsce-q2-2014-pl.pdf, [dostęp 23.06.2015].
6. Bać A., 2012. Efektywność energetyczna i nowoczesne technologie w architekturze – blaski i cienie. Budynek i Energia 7/8(62), 30, 32-34, 36-37.
7. Bać A., 2012. Cebrat K. Raport z funkcjonowania ZSP nr 5 na Maślicach we Wrocławiu. Archiwum biura, Wrocław.
8. Wilk R., 2009. Szkoła zrównoważonej architektury. Zawód Architekt 5(11), 24-29.
9. Niepublikowane dane o zużyciu energii w placówkach oświatowych we Wrocławiu udostępnione przez Wydział Edukacji w 2011 roku.
10. Stec W., Bać A., Cebrat K., 2012. Zintegrowany proces projektowy w praktyce, Instal 1(325), 8-12.
11. Domy Czystej Energii, http://domyczystejenergii.pl/Projekty-domow [dostęp 13.05.2015].
12. Regulamin konkursu Wydziału Architektury na prace dyplomowe, dokument on-line: http://www.wa.pwr.wroc.pl/files/prv/id2/regulamin%20konkursu%20ARCHITEKTURA%20ENERGOAKTYWNA%202015.pdf, [dostęp 3.06.2015].

Energy-efficient buildings in practice

Anna Bać, Krzysztof Cebrat

Faculty of Architecture, Wroclaw University of Technology,
e-mail: anna.bac@pwr.edu.pl, krzysztof.cebrat@pwr.edu.pl

Abstract: The paper presents selected issues of modern energy-efficient architecture from the perspective of an experienced designer and educator. On the basis of professional practice the authors outline problems related to the design and implementation of energy efficient guidelines in buildings that have been built at the request of the Municipality of Wrocław and individual investors. In particular, the paper discusses the preparation of documentation, the construction phase and the use of energy-efficient buildings. In addition, it briefly presents some phenomena related to the energy efficiency and attempts to diagnose the situation and express conclusions for the future.

Keywords: energy efficiency, comfort, design process, professional practice, project implementation

.