FIZYKA BUDOWLI

Wydawnictwa Uczelniane
Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego
w Bydgoszczy

FIZYKA BUDOWLI

Wydawnictwa Uczelniane
Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego
w Bydgoszczy

OPINIODAWCY
dr hab. inż. Andrzej DYLLA, prof. UTP
prof. dr hab. inż. Jerzy HOŁA
dr hab. inż. Wiesław LIGĘZA
prof. dr hab. inż. Romuald ORŁOWICZ

Opracowanie redakcyjne i techniczne
mgr Michał Górecki, mgr Aleksandra Górska
mgr Patrycja Fereni-Morzyńska

Projekt i fotografie na okładce
mgr inż. Daniel Morzyński

© Copyright
Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego
Bydgoszcz 2013

Wydano za zgodą Rektora
Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy

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 978-83-61314-67-7

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. Nakład 120 egz. Ark. aut. 11,0. Ark. druk. 12,1.
Oddano do druku i druk ukończono w maju 2013 r.
Zakład Poligraficzny ARGONEX S.J.
ul. Przemysłowa 34, 85-758 Bydgoszcz, tel. 52 348 93 11

Spis treści

1. Bożena Orlik-Kożdoń, Tomasz Steidl – Analiza zjawisk przepływu wilgoci w przegrodzie izolowanej styropianem 5
2. Krzysztof Pawłowski, Łukasz Lewandowski – Kryteria oceny stolarki okiennej w aspekcie architektoniczno-energooszczędnym 15
3. Krzysztof Pawłowski, Monika Dybowska – Analiza porównawcza parametrów cieplnych dwuwarstwowych ścian zewnętrznych i ich złączy..... 25
4. Paula Szczepaniak – Projektowanie termiczne węzła połączenia z gruntem w budynku podpiwniczonym..... 37
5. Krzysztof Pawłowski – Charakterystyka parametrów cieplnych złączy ścian zewnętrznych budynków niskoenergetycznych..... 45
6. Tomasz Steidl, Bożena Orlik-Kożdoń – Docieplanie przegród zewnętrznych od wewnątrz. Materiały, technologie i projektowanie 53
7. Beata Sadowska – Koszty polepszania standardu energetycznego budynku jednorodzinnego 63
8. Janusz Belok, Beata Wilk-Słomka – Materiały zmiennofazowe w budownictwie „zeroenergetycznym” 75
9. Jolanta Gintowt – Ewaluacja ekonomiczna wybranych parametrów budownictwa energooszczędnego 85
10. Katarzyna Nowak, Katarzyna Nowak-Dzieszko – Wpływ badań szczelności budynków na ich charakterystykę energetyczną..... 93
11. Anna Dudzińska – Warunki termiczne w pasywnym budynku hali sportowej w okresie lata 103
12. Amabela Dylla, Andrzej Dylla – Metoda obliczania strat ciepła przez przestrzenie nieogrzewane przy pomocy gałęziowych współczynników przenikania ciepła..... 113
13. Adam Święcicki – Zintegrowany wskaźnik właściwości cieplnych obudowy budynku 119
14. Leszek Dulak, Rafał Żuchowski – Miejski budynek jutra 2030 – próba podwyższenia komfortu akustycznego w budynku wielorodzinnym 131
15. Leszek Dulak, Rafał Żuchowski, Bartłomiej Pudełko – Analiza możliwości zabezpieczeń akustycznych wysokich budynków mieszkalnych zlokalizowanych w sąsiedztwie tras komunikacyjnych na terenach miejskich 141
16. Marcin Furtak, Małgorzata Fedorczak-Cisak – Małopolskie laboratorium budownictwa energooszczędnego w energooszczędnej strategii Małopolski..... 151
17. Maria Wesołowska, Anna Kaczmarek – Wpływ bezpośredniego kontaktu z podłożem na estetykę obiektów małej architektury 163
18. Maria Wesołowska, Anna Kaczmarek – Propozycja metodyki badań prognozująca trwałość współczesnych murów licowych 171
19. Magdalena Dobiszewska, Adam Podhorecki – Negatywny wpływ eksploatacji budynku przemysłowego na jego stan techniczny..... 179

WYKAZ AUTORÓW I WSPÓŁAUTORÓW 193

1. ANALIZA ZJAWISK PRZEPŁYWU WILGOCI W PRZEGRODZIE IZOLOWANEJ STYROPIANEM

1. WPROWADZENIE

Stan wilgotnościowy przegrody budowlanej charakteryzuje przestrzenny rozkład wilgoci z dużą ilością zmiennych w czasie czynników. Tendencje przewidywania jego zmian, tj. czy będzie następować wysychanie materiałów przegrody z wilgoci technologicznej i budowlanej, czy tez wystąpi okresowe lub postępujące zawilgocenie, jest trudnym zadaniem inżynierskim. Zmienna w czasie, a znacząco masowo, tj. dla większości przegród powyżej 4%, zawartość wilgoci w przegrodach budowlanych negatywnie wpływa na ich izolacyjność cieplną i trwałość. Przegroda zbudowana z materiałów kapilarno-porowatych i włóknistych, powinna więc móc wysychać i nie ulegać narastającemu zawilgoceniu w warunkach normalnej eksploatacji. Stosowana w praktyce inżynierskiej metoda opisująca zjawisko przepływu wilgoci w przegrodzie, opisana i wykorzystane w normie [3] bazuje na prostym równaniu dyfuzji – prawie Ficka. Metoda ta pozwala na określenie rocznego bilansu wilgoci oraz służy obliczaniu maksymalnej ilości wilgoci zakumulowanej pochodzącej kondensacji międzywarstwowej. Cytując normę [3] można stwierdzić, iż stanowi ona raczej sposób szacowania niż narzędzie służące do dokładnego przewidywania. W pracy autorzy podjęli próbę prognozowania warunków wilgotnościowych wewnątrz przegrody w warunkach eksploatacji, opierając się na prowadzonych pomiarów na przegrodzie, a wyniki zostały porównane z wynikami uzyskanymi na podstawie wartości teoretycznych pochodzących z obliczeń.

2. STOSOWANE MODELE MATEMATYCZNE PRZEPLYWU WILGOCI

Istnieje kilka przybliżonych metod obliczeń przyrostu wilgotności materiałów przegrody, wynikającego z dyfuzji pary wodnej przez przegrodę. Jedna z nich polega na sprawdzeniu, czy w okresie zimowym występuje kondensacja pary wodnej wewnątrz przegrody, a jeżeli występuje, to czy nie przekracza dopuszczalnych wartości. Metodę tę opracował Fokin w 1954 roku. Została ona uzupełniona i skorygowana przez Glasera w 1958 roku. Metoda ta znalazła swoje odzwierciedlenie w dawnej normie PN-82/B-02010. Po roku 1991 metoda została praktycznie wycofana i zastąpiona kilkoma wytycznymi dotyczącymi projektowania przegród pod względem wilgotnościowym w jednym z punktów normy PN-91/B-02020. W normie tej wymagano m.in. aby opór cieplny nieprzeźroczystych przestrzeni przegród zewnętrznych zapewniał utrzymanie na wewnętrznych powierzchniach przegród zewnętrznych temperatury wyższej o co najmniej $1^{o}C$ od punktu rosy powietrza w pomieszczeniu.

W istniejących normach, dotyczących oceny stanu wilgotnościowego przegród budowlanych, praktycznie brak jest prostych metod obliczeniowych, uwzględniających

BOŻENA ORLIK-KOŻDOŃ, TOMASZ STEIDL
Politechnika Śląska

obok dyfuzji pary wodnej również migrację wody kapilarnej i wpływ innych czynników, takich jak np. absorbcja powierzchniowa. Dodatkowym mankamentem jest stosunkowo skąpa, z praktycznego punktu widzenia, baza charakterystyk materiałowych. Dlatego też mimo zaawansowanego charakteru niektórych modeli aktualnie nie jest możliwe ich wdrożenie do praktyki [1, 4]. Wydaje się jednak, że w chwili obecnej propozycja zawarta w [3], uproszczonego opisu stanu wilgotnościowego przegród może posłużyć za punkt wyjścia do oceny i opisu stanu wilgotnościowego przegrody na etapie jej projektowania. Ten sposób analizy wilgotnościowej przegród został uwzględniony w nowelizacji rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie: w § 321 ust. 1 …w odniesieniu do przegród zewnętrznych budynków mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej i produkcyjnych, rozwiązania przegród zewnętrznych i ich węzłów konstrukcyjnych powinny charakteryzować się współczynnikiem temperaturowym f_{Rsi} o wartości nie mniejszej niż wymagana wartość krytyczna, obliczona zgodnie z Polską Normą [166] dotyczącą metody obliczania temperatury powierzchni wewnętrznej koniecznej do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacji międzywarstwowej".

W normie [3] formułuje się warunek kondensacji wychodząc z krzywej sorpcji materiałów kapilarno-porowatch i możliwej kondensacji kapilarnej przy wilgotności względnej powietrza przy powierzchni materiału osiągającej 80%. Ocenia się przy tym, że ryzyko rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych istnieje dopiero w przypadku wystąpienia wilgotności względnej powyżej 80% i utrzymywania się jej przez kilka dni. Jakość cieplna elementu obudowy budynku może być scharakteryzowana bezwymiarową temperaturą wewnętrznej powierzchni [3]:

$$f_{Rsi} = \frac{\Theta_{si} - \Theta_e}{\Theta_i - \Theta_e} \tag{1}$$

gdzie:

Θ_{si} – temperatura wewnętrznej powierzchni [^{o}C],
Θ_i – temperatura powietrza wewnętrznego [^{o}C],
Θ_e – temperatura powietrza zewnętrznego [^{o}C].

Element budynku należy tak zaprojektować, aby czynnik temperaturowy dla danego miesiąca był większy od $f_{Rsi,max}$ [3].

Przedstawiona w metoda obliczeń kondensacji międzywarstwowej zakłada, że transport wilgoci polega wyłącznie na dyfuzji pary wodnej, opisanej następującym równaniem [3]:

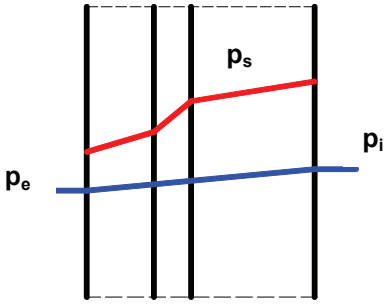
$$g = \delta_o \frac{\Delta p}{s_d} \tag{2}$$

gdzie:

δ_o – współczynnik dyfuzji pary wodnej w przyjmowany dla powietrza jako równy $2\text{x}10^{-10}$ [kg/(msPa)],
Δp – nadwyżka wewnętrznego ciśnienia pary wodnej [Pa],
s_d – dyfuzyjnie równoważna grubość warstwy powietrza [m].

Na tej podstawie można obliczyć wartość ciśnienia cząstkowego pary wodnej w na stykach poszczególnych, wydzielonych warstw. Niezależnie wykonuje się obliczenie rozkładu temperatury w przegrodzie, a następnie poszczególnym wartościom tempera-

tury przypisuje się wartości ciśnienia pary wodnej nasyconej. W tych przekrojach, w których ciśnienie rzeczywiste pary wodnej jest większe od ciśnienia pary nasyconej przy danej temperaturze, zakłada się występowanie kondensacji pary wodnej. W przypadku braku wewnętrznej kondensacji wykresy ciśnień: rzeczywistego p i stanu nasycenia p_s nie przecinają się (rys. 1).



Rys. 1. Rozkład ciśnień pary wodnej w przegrodzie przy braku kondensacji [3]

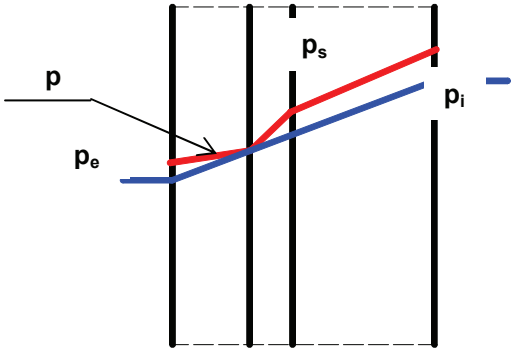
Fig. 1. Distribution of steam pressures in bulkhead in lack of condensation state [3]

W przypadku kondensacji w jednej płaszczyźnie (rys. 2) gęstość strumienia kondensacji określana jest wzorem [3]:

$$g_c = \delta_o \left(\frac{p_i - p_c}{s_{d,T} - s_{d,C}} - \frac{p_c - p_e}{s_{d,C}} \right) \tag{3}$$

gdzie:

- p_i – ciśnienie pary wodnej dla powietrza wewnętrznego [Pa],
- p_e – ciśnienie pary wodnej dla powietrza zewnętrznego [Pa],
- p_c – ciśnienie pary wodnej w miejscu kondensacji [Pa],
- s_d – dyfuzyjnie równoważna grubość warstwy powietrza [m], (T – dla całego komponentu, C – kondensacja).

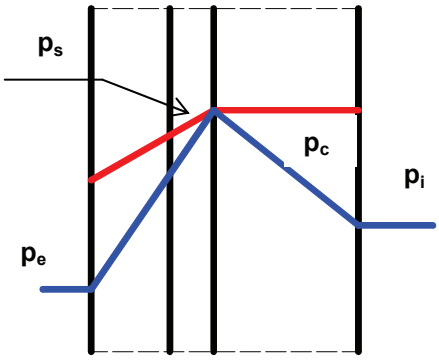


Rys. 2. Rozkład ciśnień pary wodnej w przegrodzie przy kondensacji w jednej płaszczyźnie [3]

Fig. 2. Distribution of steam pressures in bulkhead during condensation in single plane [3]

W przypadku wysychania kondensatu w jednej płaszczyźnie rozkład ciśnień w przegrodzie jest jak na rysunku 3, a strumień odparowania wyrażony jest wzorem [3]:

$$g_{ev} = \delta_o \left(\frac{p_i - p_c}{s_{d,T} - s_{d,C}} - \frac{p_c - p_e}{s_{d,C}} \right) \tag{4}$$



Rys. 3. Rozkład ciśnień pary wodnej w przegrodzie przy wysychaniu w jednej płaszczyźnie [3]
Fig. 3. Distribution of steam pressures in bulkhead during drying up in single plane [3]

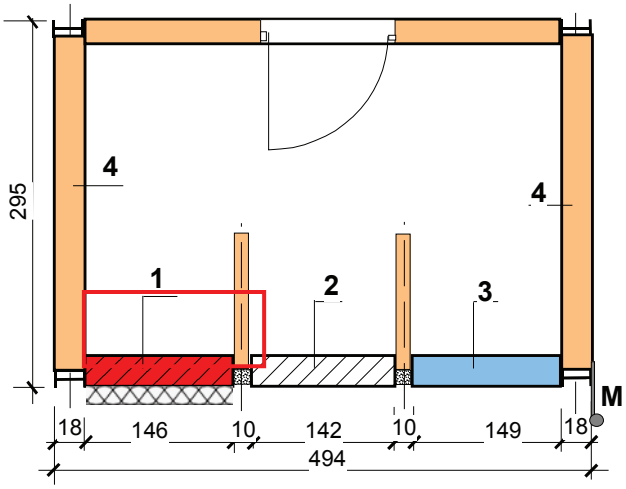
Według normy [3] obliczenia wykonuje się dla całego roku, poczynając od dowolnego miesiąca. Należy ustalić, czy możliwa jest jakakolwiek kondensacja. Przedstawiona w normie [3] metoda oparta jest na założeniu, że kondensacja w płaszczyźnie między dwoma warstwami materiału pozostaje przy tej płaszczyźnie. W praktyce kondensat może migrować w głąb warstwy po każdej stronie powierzchni stykowej.

3. STANOWISKO POMIAROWE

Stanowisko przeznaczone do badania wielkości fizycznych przegród zewnętrznych w warunkach naturalnych usytuowane jest na dachu laboratorium Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Całość wykonana jest w postaci niedużego domku, o konstrukcji szkieletowej, stalowej, z lekką obudową. Trzy ściany zewnętrzne wykonane z płyt typu SBO z wypełnieniem wełna mineralną. Dach dwuspadowy kryty dachówką. Ściana od strony południowej – badawcza, podzielona została na trzy części. Każda z części wydzielona elementami drewnianym wypełniona jest obecnie trzema rodzajami materiałów tworzących przegrody testowe (rys. 4, 5).

Rys. 4. Stanowisko badawcze

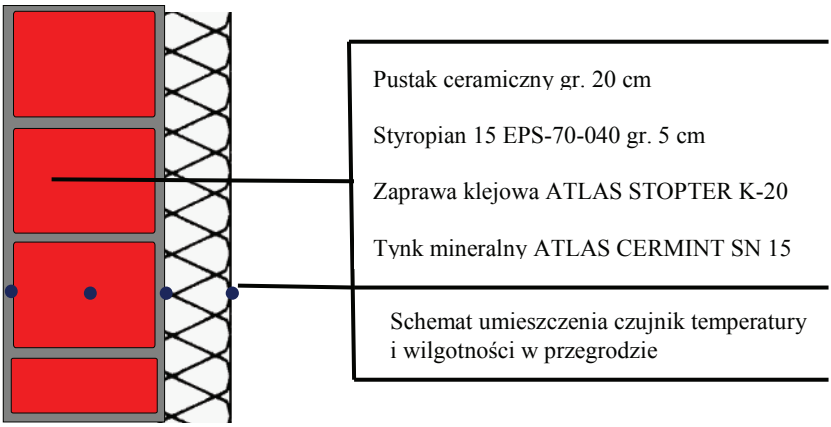
Fig. 4. View of the research station



Rys. 5. Usytuowanie przegród testowych w stanowisku z zaznaczeniem przegrody analizowanej w pracy

Fig. 5. Situation view of the test bulkheads inside research station with marked bulkhead analysed in the article

Zastosowano system pomiarowy, pozwalający na rejestrację danych, tj. wilgotności względnej i rozkładu temperatury w poszczególnych płaszczyznach przegrody i w komorze (rys. 6).



Rys. 6. Schemat rozwiązania materiałowego przegrody z rozmieszczeniem czujników temperatury i wilgotności w jej przekroju

Fig. 6. Scheme of material solution of bulkhead with placement of temperature and humidity sensors at the cross-section of the bulkhead

Dodatkowa aparatura pomiarowa zainstalowana na budynku pozwala na pomiar wielkości charakteryzujących środowisko zewnętrzne: prędkość wiatru, nasłonecznienie, ilość opadów, wilgotność względną i temperaturę powietrza zewnętrznego – stacja pogody typ Kombi WS 2305. Stanowisko badawcze zostało wyposażone w sterowany komputerowo system rejestracji i gromadzenia danych, opisujących podstawowe parametry cieplno-wilgotnościowe analizowanej komory i jej przegród. Aparatura pomiarowa, która została wykorzystana na stanowisku badawczym to:

- półprzewodnikowe czujniki temperatury typ DS 2438,
- czujnik wilgotnościowy HIH-4000-002,
- czujniki gęstości strumienia ciepła,
- solarymetr typ SP LITE,
- cyfrowy system pomiarowy,
- mikrokomputer,
- stacja pogody typ Kombi WS 2305.

5. WYNIKI BADAŃ

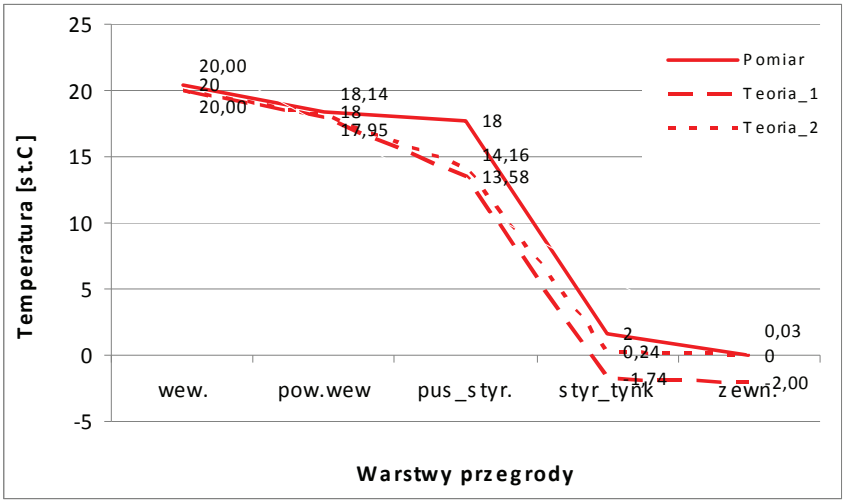
Poniżej prezentowane są wybrane wyniki badań rejestrowane co 1 godzinę dla miesiąca grudnia: przebieg zmienności wilgotności względnej i temperatury w poszczególnych warstwach analizowanej przegrody. Posłużyły one do sporządzenia diagramu przebiegu dyfuzji według metody Fokina-Glasera. Właściwości fizyczne materiałów i warunki klimatyczne przyjęte do obliczeń teoretycznych podano w tabeli 1.

Tabela 1. Przyjęte własności fizyczne materiałów przegrody

Table 1. Admitted physical qualities of bulkhead's materials

	d [m]	λ [W/mK]	μ [-]	R [m²K/W]	S_d [m]
Opór przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni				0,04	
Pustak ceramiczny	0,20	0,56	7	0,357	1,4
Izolacja cieplna	0,05	0,04	40	1,25	2
Wyprawa elewacyjna	0,015	0,82	35	0,018	0,525
Opór przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni				0,25	
Wilgotność wewnętrzna [%]		30	**Temperatura wewnętrzna [°C]**		20
Parametry klimatu lokalnego (obliczeniowe) przyjęto dla stacji meteo Katowice Teoria_1: warunki brzegowe normatywne Teoria_2: warunki brzegowe przyjęte z pomiaru					

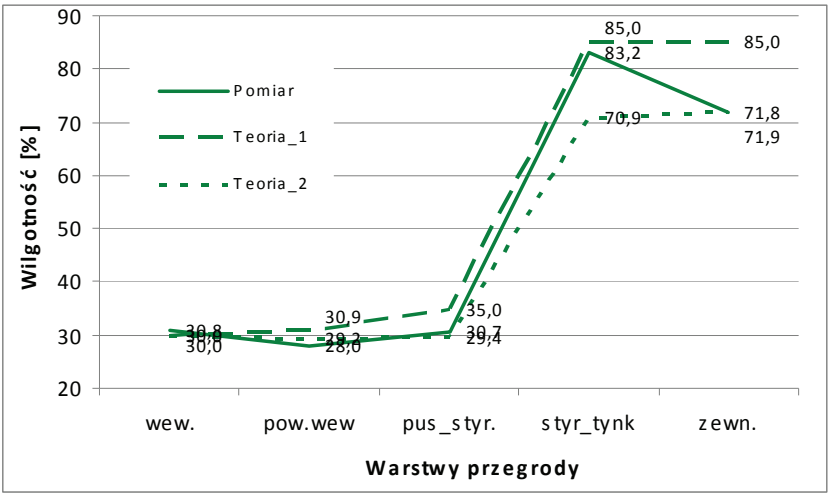
W rozkładzie temperatur w poszczególnych warstwach przegrody (rys. 7) obserwuje się dużą zbieżność wyników pomiaru z wartościami uzyskanymi na podstawie obliczeń.



Rys. 7. Rozkład temperatury w poszczególnych płaszczyznach przegrody

Fig. 7. Distribution of temperature in particular planes of bulkhead

Współczynnik korelacji wynosi 0,84. Dodać należy, iż do obliczeń przyjęto wartości średnie klimatu dla najbliższej stacji pomiarowej Katowice. W pomiarach wykorzystano mierzone na stanowisku pomiarowym parametry klimatu lokalnego dla Gliwic. Obserwowana jest stała tendencja zmian analizowanego parametru – temperatury, co może potwierdzać autentyczność „pewnych zachowań" w przegrodzie np. duży spadek temperatury na styku styropian-elewacja (rys. 8) jest wynikiem wzrostu wilgotności w tej płaszczyźnie.



Rys. 8. Rozkład ciśnień stanu nasycenia w poszczególnych warstwach przegrody

Fig. 8. Distribution of pressures of saturation state in particular layers of bulkhead

Współczynnik korelacji dla wilgotności wynosi 0,67. Dla pomiaru obserwuje się wzrost zawilgocenia na warstwie styropian-elewacja. Takiej tendencji nie wykazuje model przepływu wilgoci Fokina-Glasera, który w swojej prostocie nie uwzględnia wszystkich wpływów środowiskowych, np. zawilgocenia sorpcyjnego, podciągania kapilarnego itp.

Dokonano oceny stabilności wielkości pomiarowych zdefiniowanej jako: „nie uleganie zmianom przez dłuższy czas". W celu oceny stabilności wilgotności względnej i temperatury powietrza zewnętrznego posłużono się współczynnikiem zmienności ν zgodnie ze wzorem (5):

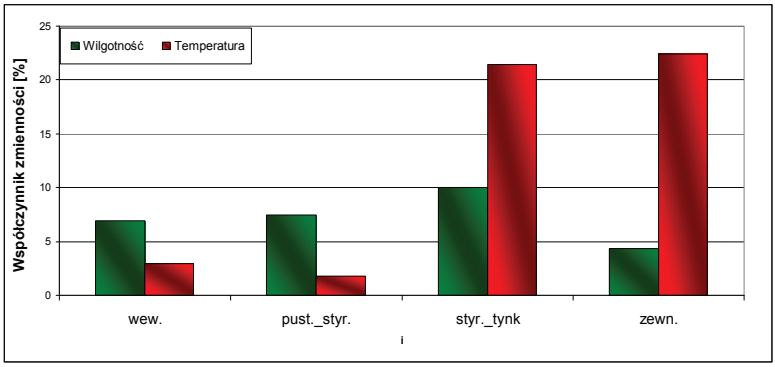
$$\nu = \frac{s}{|Z_{śr}|} \cdot 100\% \tag{5}$$

gdzie:

$Z_{śr}$ – średnia arytmetyczna temperatury/ wilgotności względnej,

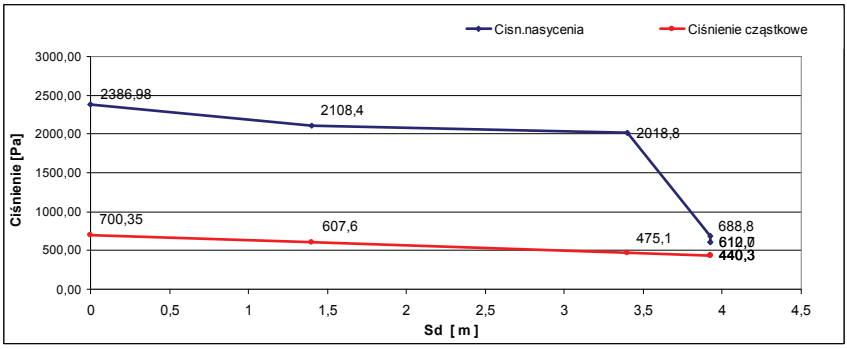
s – odchylenie standardowe.

Im niższa wartość współczynnika zmienności ν, tym można mówić o wyższej stabilności danego parametru klimatycznego. Na rysunku 9 przedstawiono przykładowe wyniki analizy współczynnika zmienności temperatury powietrza i wilgotności względnej. Współczynnik zmienności dla temperatury wykazuje najniższe wartości w płaszczyźnie przegrody. Jego nagły wzrost obserwujemy w warstwie zewnętrznej-wyprawa elewacyjna. Spowodowane jest to impulsem temperaturowym wywołanym wysokim promieniowaniem słonecznym i absorpcją promieniowania przez przegrodę. W przypadku wilgotności względnej współczynnik zmienności, wartość najniższą przyjmuje w płaszczyźnie pustaka, a najwyższą na styku pustak-styropian, co związane jest z zawilgoceniem wyprawy elewacyjnej i silnym działaniem klimatu zewnętrznego na zawilgocenie tej warstwy.



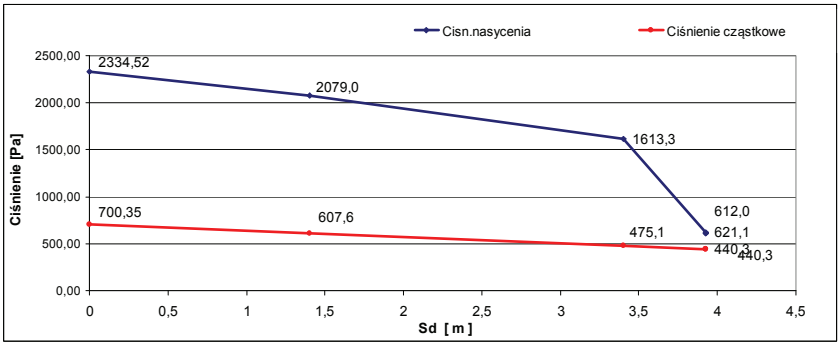
Rys. 9. Współczynnik zmienności wyznaczony dla wilgotności i temperatury uzyskanych z pomiaru

Fig. 9. The factor of changeability calculated for humidity and temperature taken from measurement



Rys. 10. Diagram przebiegu dyfuzji-pomiar

Fig. 10. Diagram of diffusion process – measurement



Rys. 11. Diagram przebiegu dyfuzji – teoria_2

Fig. 11. Diagram of diffusion process – theory_2

Z analizy diagramu przebiegu dyfuzji wynika, że dla miesiąca grudnia nie nastąpi kondensacja pary wodnej w przegrodzie (rys. 10, 11). Pamiętać jednak należy, że dla

innych warunków brzegowych (np. stacja meteo Suwałki) może pojawić się kondensacja. Koniecznym jest wówczas określenie rocznego bilansu wilgoci oraz obliczeniu maksymalnej ilości wilgoci zakumulowanej w wyniku kondensacji międzywarstwowej.

5. PODSUMOWANIE

Opisany w normie model przepływu wilgoci nie uwzględnia w pełni wielofazowych zjawisk cieplno-wilgotnościowych w przegrodach zewnętrznych w tym głównie w ścianach z typowych materiałów kapilarno-porowatych , dlatego też w załączniku G normy [3] dopuszcza się stosowanie programów komputerowych, wykorzystujących bardziej zaawansowane modele transportu masy i energii w przegrodach budowlanych [3]. Umożliwia ona dodatkowo oszacowanie ryzyka wystąpienia kondensacji powierzchniowej poprzez współczynnik, tzw. f_{Rsi}. Pojawiające się rozbieżności w wartościach wynikać mogą z przyjętych właściwości fizycznych pozostałych materiałów tworzących przegrodę (pustak ceramiczny, tynk), które dobrane zostały na bazie dostępnych danych materiałowych (literatura, dane producentów). Ponadto niepełna znajomość wpływów środowiskowych na procedurę pomiarową, niedokładne znane wartości stałych i innych parametrów, otrzymanych ze źródeł zewnętrznych i stosowanych w procedurach przetwarzania i wykorzystania danych, powodują niewielkie rozbieżności w wynikach. Niemniej jednak zaproponowana w normie metoda może służyć za narzędzie obliczeniowe w prostych rozważaniach inżynierskich dla typowych przegród zewnętrznych o prostej budowie.

LITERATURA

[1] Gawin D., 2000. Modelowanie sprzężonych zjawisk cieplno-wilgotnościowych w materiałach i elementach budowlanych. Zeszyty Naukowe PŁ 853.
[2] Orlik B., 2009. Wpływ zróżnicowania struktury styropianu na kinetykę procesów transportu ciepła i wilgoci w przegrodzie budowlanej. Praca niepublikowana.
[3] PN EN ISO 13 788. Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku-temperatura powierzchni wewnętrznej dla uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacji międzywarstwowej – Metody obliczania.
[4] Wyrwał J., 1989. Ruch wilgoci w porowatych materiałach i przegrodach budowlanych, Wyższa Szkoła inżynierska w Opolu. Studia i Monografie 31.

ANALYSE OF HUMIDITY FLOW IN STYROFOAM ISOLATED BULKHEAD

Summary. In the article the method of assessment of internal condensation risk due to steam diffusion was presented. The results achieved were referred to quantities measured in the research station.

2. KRYTERIA OCENY STOLARKI OKIENNEJ W ASPEKCIE ARCHITEKTONICZNO-ENERGOOSZCZĘDNYM

1. WPROWADZENIE

W budynkach, które spełniają aktualne wymagania w zakresie izolacyjności cieplnej, przez stolarkę budowlaną ucieka ok. 15% energii, czyli podobnie jak przez ściany zewnętrzne i dach. Projektowane otwory przewidziane na stolarkę okienną i drzwiową powodują przerwanie ciągłości izolacyjności cieplnej w konsekwencji powstawianie mostków cieplnych.

Problemy związane z występującym od lat 70. XX w. kryzysem energetycznym powodują konieczność podjecie zdecydowanych kroków zmierzających do racjonalnego gospodarowania zasobami energii. Znaczny procent ogólnego zużycia energii stanowi energia wydatkowana na ogrzewanie budynków. Poprawa izolacyjności cieplnej wymaga przede wszystkim zmniejszenie energii cieplnej w obszarze otworów w ścianach zewnętrznych budynku, będących zazwyczaj najsłabszym punktem w bilansie cieplnym budynku. Przenikanie energii słonecznej przez zestawy szybowe pozwala w znacznym stopniu zredukować zapotrzebowanie cieplne pomieszczenia [2]. Zestawy szybowe chroniące przed nadmiernym nagrzaniem pomieszczeń w okresie letnim jednocześnie ograniczają utratę ciepła w okresie zimowym.

Dobranie odpowiednich parametrów stolarki okiennej (przenikanie energii słonecznej i ochrona przed utratą ciepła) wpływających na mikroklimat wnętrza, powinien następować po przeanalizowaniu warunków klimatycznych, jak i wzajemnego położenia budynków względem stron świata.

Zmieniające się wymagania w zakresie ochrony cieplnej i energetycznej budynków prowadzą do obniżania granicznej wartości współczynnika przenikania ciepła U [W/(m^2·K)] nie tylko dla ścian czy dachu, ale także dla przegród przeźroczystych [9].

W pracy sformułowano podstawowe kryteria oceny stolarki okiennej w na podstawie wymagań prawnych [9-11] oraz zasady projektowania budynków energooszczędnych.

2. WYMAGANIA TECHNICZNE DLA STOLARKI OKIENNEJ WG OBOWIĄZUJĄCYCH PRZEPISÓW

Szczegółowe wymagania stawiane przegrodom przeźroczystym (stolarce okiennej) sformułowane są w Rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [10] w następującym zakresie:

- Wg § 57 „1. Pomieszczenie przeznaczone na pobyt ludzi powinno mieć zapewnione oświetlenie dzienne, dostosowane do jego przeznaczenia, kształtu i wielkości, z uwzględnieniem warunków określonych w § 13 oraz w ogólnych przepisach bezpieczeństwa i higieny pracy.

KRZYSZTOF PAWŁOWSKI, ŁUKASZ LEWANDOWSKI
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

2. W pomieszczeniu przeznaczonym na pobyt ludzi stosunek powierzchni okien, liczonej w świetle ościeżnic, do powierzchni podłogi powinien wynosić co najmniej 1:8, natomiast w innym pomieszczeniu, w którym oświetlenie dzienne jest wymagane ze względów na przeznaczenie – co najmniej 1:12."

- Wymagania w zakresie izolacyjności termicznej okien określono w załączniku 2 rozporządzenia [10]. Wyznaczono wartości graniczne współczynników przenikania ciepła U_w [W/(m^2·K)] dla okien dla różnych budynków, np. dla okna budynku jednorodzinnego w zależności od strefy klimatycznej (tj. $\mathbf{U_w = 1{,}7}$ W/(m^2·K) dla IV, V strefy, natomiast **1,8** W/(m^2·K) dla I, II, III strefy). W projekcie znowelizowanego rozporządzenia [10] obniżono wartości U_w = **1,20** W/(m^2·K) w pomieszczeniach ogrzewanych $t_i \geq 16$°C.
- Wymagania dotyczące powierzchni okien z uwzględnieniem oszczędności energii określono w załączniku 2 Rozporządzenia [10] „2.1.1. W budynku mieszkalnym zamieszkania zbiorowego pole powierzchni A_0 wyrażone w m^2, okien oraz przegród szklanych i przezroczystych, o współczynniku przenikania ciepła nie mniejszym niż 1,5 W/(m^2·K), obliczone wg ich wymiarów modularnych, nie może być większe niż wartość A_{0max} obliczone wg wzoru

$$A_{0max} = 0{,}15 \cdot A_z + 0{,}03 \cdot A_w \quad (1)$$

gdzie:

A_z – jest sumą pól powierzchni rzutu poziomego wszystkich kondygnacji nadziemnych (w zewnętrznym obrysie budynku) w pasie o szerokości 5 m wzdłuż ścian zewnętrznych,

A_w – jest sumą pól powierzchni pozostałej części rzutu poziomego wszystkich kondygnacji po odjęciu A_z.

2.1.2. W budynku użyteczności publicznej pole powierzchni A_0 wyrażone w m^2, okien oraz przegród szklanych i przezroczystych, o współczynniku przenikania ciepła nie mniejszym niż 1,5 W/(m^2·K), obliczone według wymiarów modularnych nie może być większe niż wartość $A_{0max} = 0{,}15 \cdot A_z + 0{,}03 \cdot A_w$, jeśli nie jest to sprzeczne z warunkami dotyczącymi zapewnienia niezbędnego oświetlenia światłem dziennym, określonym w § 57 rozporządzenia.

2.1.3. W budynku produkcyjnym, magazynowym i gospodarczym łączne pole powierzchni okien oraz ścian szklanych w stosunku do powierzchni całej elewacji nie może być większe niż:

1) w budynku jednokondygnacyjnym (halowym) – 15%;
2) w budynku wielokondygnacyjnym – 30%.

- Wymagania w zakresie współczynnika przepuszczalności energii całkowitej okna oraz przegród szklanych i przezroczystych określono w załączniku 2 [10] „2.1.4. We wszystkich rodzajach budynków współczynnik przepuszczalności energii całkowitej okna oraz przegród szklanych i przezroczystych g_c liczony wg wzoru:

$$g_c = f_c \cdot g_G \quad (2)$$

gdzie:

g_G – współczynnik przepuszczalności energii całkowitej dla rodzaju oszklenia,

f_c – współczynnik korekcyjny redukcji promieniowania ze względu na zastosowane urządzenie przeciwsłoneczne,

nie może być większy niż 0,5, z wyłączeniem okien oraz przegród szklanych i przezroczystych, których udział f_G w powierzchni ściany jest większy niż 50% powierzchni ściany – wówczas należy spełnić nierówność: $g_c \cdot f_G \leq 0{,}25$

gdzie:

f_G – udział powierzchni okien oraz przegród szklanych i przezroczystych w powierzchni ściany." W zał. 2 do rozporządzenia W.T. podano wartości współczynników g_G, f_c w zależności od parametrów rodzaju oszklenia i typ zasłon.

3. CHARAKTERYSYKA WSPÓŁCZESNEJ STOLARKI OKIENNEJ

Przegrody przezroczyste pełnią wiele złożonych i znaczących funkcji. Stanowią bardzo ważny element budynku w aspekcie architektonicznym, jak i technicznym. Analizując wiele projektów i realizacji budynków jednorodzinnych można zauważyć, że stolarka okienna stanowi ok. 20% powierzchni ściany zewnętrznej. Uwzględniając wartości graniczne współczynników przenikania ciepła wg Rozporządzenia [10] $\mathbf{U_{ściany}}$ = **0,30** W/(m^2·K), $\mathbf{U_{okna}}$ = **1,70** ÷ **1,80** W/(m^2·K) można stwierdzić, że straty ciepła przez okna są ok. 5-krotnie większe. Dokonanie optymalnego wyboru rozwiązania jest niezwykle ważne i istotne, zarówno na etapie planowania, projektowania, jak i budowy – dotyczy wszystkich uczestników procesu inwestycyjnego.

Według Żurawskiego [12] podstawowe kryteria oceny stolarki okiennej dotyczą następujących zagadnień:

- geometrii stolarki okiennej – w polskich warunkach optymalna geometria stolarki okiennej to wymiary 1230x1480 mm^2,
- szczelności stolarki, określonej jako współczynnik infiltracji **a**,
- współczynnika przenikania ciepła stolarki okiennej $\mathbf{U_w}$ [W/(m^2·K)], z uwzględnieniem zmieniających się wymagań Rozporządzenia [10],
- współczynnika przepuszczalności energii słonecznej $\mathbf{g_G}$,
- lokalizacji budynku i związanych z nią jednolitych warunków klimatycznych,
- położenia względem stron świata – do bilansu energetycznego budynku uwzględnia się położenie stolarki okiennej względem stron świata (zmienne wartości współczynnika **I** [kW/(m^2·m-c)]),
- sprawności wykorzystania zysków cieplnych – w przybliżeniu równej 1,
- długości sezonu grzewczego – obliczono średnią dla Polski, która wynosi we wrześniu 7,1 dni, następnie od października do końca kwietnia oraz 10,1 dnia grzewczego w maju,
- izolacyjności akustycznej stolarki okiennej.

Energia użytkowa stolarki [kWh/(m^2·rok)] to roczne zapotrzebowanie na energię użytkową na pokrycie strat ciepła przez przenikanie przez przegrody zewnętrzne, na podgrzanie powietrza wentylacyjnego z uwzględnieniem zysków ciepła od nasłonecznienia oraz wewnętrznych zysków ciepła. W odniesieniu do przegród przezroczystych energia użytkowa obejmuje energię niezbędną do: pokrycia strat ciepła przez przenikanie i infiltrację przez nieszczelności okienne z uwzględnieniem zysków ciepła od słońca. Bilans energetyczny stolarki okiennej wg rozporządzenia [11] obejmuje:

- **straty ciepła**, opisane jako **miesięczne straty ciepła przez przenikanie**:

$$Q_{tr} = H_{tr} \cdot (\theta_{int,H} - \theta_e) \cdot t_M \text{ [kWh/(m-c)]} \quad (3)$$

gdzie:

$\mathbf{H_{tr}}$ – współczynnik strat ciepła przez przenikanie, [W/K],
$\boldsymbol{\theta_{int,H}}$ – temperatura wewnętrzna dla okresu ogrzewania w budynku, [°C],
$\boldsymbol{\theta_e}$ – średnia miesięczna temperatura powietrza zewnętrznego dla najbliższej stacji meteorologicznej, [°C],
$\mathbf{t_M}$ – liczba godzin w miesiącu,

$$H_{tr} = \sum_i \left[b_{tr,i} \cdot (A_i \cdot U_i + \sum_i l_i \cdot \Psi_i) \right] \text{[W/K]} \quad (4)$$

$b_{tr,i}$ – współczynnik redukcyjny obliczeniowej różnicy temperatur – tabela 6 rozporządzenia […],

A_i – pole powierzchni i-tej przegrody otaczającej przestrzeń ogrzewaną, obliczane wg wymiarów zewnętrznych; wymiary okien i drzwi przyjmuje się jako wymiary otworów w ścianie, [m^2],

U_i – współczynnik przenikania ciepła i-tej przegrody pomiędzy przestrzenią ogrzewaną a otoczeniem zewnętrznym, [$W/(m^2 \cdot K)$], obliczany:

- dla przegród nieprzezroczystych wg PN-EN ISO 6946:2008 [6],
- **dla przegród przezroczystych wg Aprobat Technicznych lub zgodnie z PN-EN 14351-1 [5],**
- dla ścian osłonowych o konstrukcji metalowej wypełnionej szkłem wg Aprobaty Technicznej lub zgodnie z PN-EN 13830 [4],
- dla podłogi na gruncie przyjmowany jako U_{gr} określony zgodnie z PN-EN 12831:2006 [3],

Ψ_i – liniowy współczynnik przenikania ciepła mostka cieplnego [W/(m·K)], przyjęty wg PN-EN ISO 14683:2008 [8] lub obliczany zgodnie z PN-EN ISO 10211:2008 [7],

- **miesięczne zyski ciepła od słońca** (przenikającego do przestrzeni ogrzewanej przez przegrody przezroczyste):

$$Q_{sol} = Q_{s1} + Q_{s2} \text{ [kWh/(m-c)]} \quad (5)$$

gdzie:

Q_{S1} – miesięczne zyski ciepła od promieniowania słonecznego przez przegrody przezroczyste zamontowane w przegrodach pionowych, [kWh/m-c],

Q_{S2} – miesięczne zyski ciepła od promieniowania słonecznego przez przegrody przezroczyste zamontowane w połaciach dachowych, [kWh/m-c],

$$Q_{s1,s2} = \sum_i C_i \cdot A_i \cdot I_i \cdot g \cdot k_\alpha \cdot Z \text{ [kWh/m-c]} \quad (6)$$

gdzie:

C_i – udział pola powierzchni płaszczyzny szklonej do całkowitego pola powierzchni okna, zależny od wielkości i konstrukcji okna; wartość uśredniona – 0,7,

A_i – pole powierzchni okna lub drzwi balkonowych w świetle otworu w przegrodzie, [m^2],

I_i – wartość energii promieniowania słonecznego w danym miesiącu na płaszczyznę pionową, w której usytuowane jest okno o powierzchni **A_i**, według danych najbliższego punktu promieniowania słonecznego, [$kWh/(m^2 \cdot m\text{-}c)$],

g – współczynnik przepuszczalności promieniowania słonecznego przez oszklenie – tabela 7 [11],

k_α – współczynnik korekcyjny wartości I_i ze względu na nachylenie płaszczyzny połaci dachowej do poziomu, dla ścian pionowych $k_\alpha = 1{,}0$ – tabela 8 [11],

Z – współczynnik zacienienia budynku ze względu na jego usytuowanie oraz przesłony na elewacji budynku – tabela 9 [11].

Przy wyborze rozwiązania stolarki okiennej należy pamiętać, że oprócz strat ciepła są również zyski ciepła. Należy poszukiwać rozwiązań zmniejszających oddziaływanie letnich wysokich temperatur na budynek, a więc stosować odpowiednią izolację termiczną oraz osłony przeciwsłoneczne. Koszty chłodzenia budynku w okresie lata mogą okazać się wyższe niż koszty ogrzewania zimą.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat charakterystyki energooszczędnej stolarki okiennej.

Ciepłochłonność okna zależy od: właściwości szyby i profili, wielkości okna i zastosowanych w nim podziałów; im większe okno, tym niższy współczynnik przenikania ciepła $\mathbf{U_w}$, [W/(m^2·K)] im mniejsza liczba podziałów w oknie (a tym samym większy udział szyby w całej jego powierzchni okna) tym niższy współczynnik $\mathbf{U_w}$

Pojęcie „energooszczędnej szyby":

- zastosowanie szyb zespolonych; standardem rynkowym są obecnie zestawy dwuszybowe (jednokomorowe) o współczynniku przenikania ciepła $\mathbf{U_g = 1,1}$ [W/(m^2·K)]
- dodanie dodatkowej (trzeciej) szyby oraz nanoszenie na tafle szkła specjalnych powłok oraz wypełnieniu przestrzeni między nimi gazem szlachetnym – współczynnik przenikania ciepła $\mathbf{U_g = 0,5}$ [W/(m^2·K)]
- zastosowanie powłok niskoemisyjnych – zmniejszenie wartości współczynnika przenikania ciepła $\mathbf{U_g}$ [W/(m^2·K)]
- zastosowanie **gazu szlachetnego** zamiast powietrza – zmniejszenie wartości współczynnika przenikania ciepła o ok. 0,3 [W/(m^2·K)]; zastosowanie cięższych gazów od argonu (kryptonu i ksenonu) jest bardziej korzystne, jednak bardziej kosztowne
- zastosowanie **szkła absorpcyjnego (**barwione w masie – odcień brązowy, grafitowy, niebieski, zielony):
  - zmniejsza nagrzewanie pomieszczeń przez absorpcję (pochłanianie) promieniowania cieplnego, które jest następnie emitowane na obie strony szyby w postaci ciepła,
  - montowane jest w zestawach szybowych od zewnątrz,
  - powoduje lekkie zacienienie wnętrza i działa jak kolorowy filtr (może powodować zmiany postrzegania barw), podnosi walory estetyczne elewacji
- zastosowanie **szkła refleksyjnego** (powstaje jak niskoemisyjne w wyniku naniesienia na szkło powłoki z metali lub ich tlenków):
  - dzięki obecności powłoki szkło odbija większość energii słonecznej, początkowo powłoki refleksyjne odbijają znaczną część promieni widzialnych,
  - współczesne rozwiązania o różnej refleksyjności w zakresie promieni widzialnych (światła) – od bardzo wysokiej do neutralnej (10%) zapewniającej dużą przepuszczalność światła
- zastosowanie **szkła dwufunkcyjnego (**powłoki dwufunkcyjne – uszlachetnienie szkła, połączenie zalet powłok niskoemisyjnych i refleksyjnych):
  - dobrze sprawdzają się latem i zimą – kontrola przepływu energii słonecznej latem i redukcja strat ciepła zimą, zmniejszone wykorzystanie sztucznego oświetlenia ze względu na maksymalny udział światła naturalnego, znacząco obniżają zużycie energii w budynku
- zastosowanie **ramki dystansowej** – ramka łączy pojedyncze tafle szyb: aluminium zastępowane stalą szlachetną i tworzywem sztucznym – znacznie niższe wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ – tzw. „ciepłe ramki"

Pojęcie „energooszczędnego profilu"- udoskonalenie profili stolarki okiennej:

- **profile z PVC:** więcej komór, inne sposoby wzmocnienia profili: zastąpienie zimnego metalu przekładkami z tworzywa sztucznego i włókien szklanych; zastosowanie pianki poliuretanowej, wklejenie szyby w profile
- **profile z drewna:** zwiększenie grubości ram (do 90 mm), dobór gatunku drewna (profile wykonywane z dwóch gatunków drewna, np. dąb + sosna, docieplenie profili – zastosowanie przekładek z pianki poliuretanowej

Rys. 1. Charakterystyka energooszczędnej stolarki okiennej

Fig. 1. Characteristics of energy-efficient fenestration

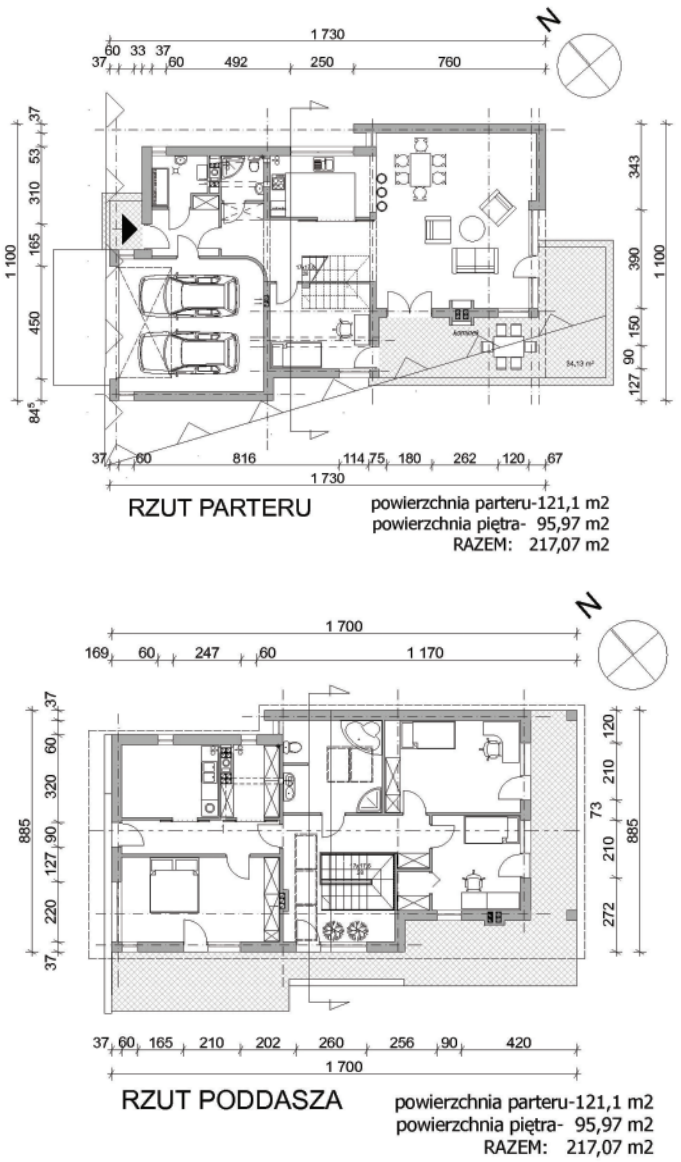
4. ANALIZA PARAMETRÓW STOLARKI OKIENNEJ WYBRANEGO BUDYNKU JEDNRODZINNEGO

Do analizy wybrano niepodpiwniczony budynek jednorodzinny z poddaszem użytkowym zlokalizowany w Bydgoszczy wykonany w technologii tradycyjnej. Obiekt charakteryzuje się zwartą, ale dynamiczną bryłą. Zgodnie z „ideą energooszczędności" duże powierzchnie oszkleń wraz z wyjściem na taras usytuowano na elewacji południowo-zachodniej, co pozwoliło na zwiększenie zysków ciepła przez promieniowanie słoneczne. Zaprojektowany taras na poddaszu użytkowym minimalizuje ilość promieni słonecznych jakie natrafią na zastosowaną stolarkę drzwiową w parterze, co wynika z zasady kąta padania promieni słonecznych w okresie lato – zima. Natomiast od strony północnej wielkość i ilość okien jest minimalna, spełniająca wymagania rozporządzenia [10]. Takie rozmieszczenie okien pokrywa się z poprawnym układem funkcjonalnym budynku jednorodzinnego, ukształtowanego wg zasad projektowania budynków energooszczędnych (orientacja, grupowanie pomieszczeń oraz podział wnętrza) – rysunki 2, 3.

a) narożnik północny b) narożnik południowy

Rys. 2. Charakterystyczne perspektywy analizowanego budynku

Fig. 2. Characteristic analysis of the building perspective



Rys. 3. Koncepcja architektoniczna domu jednorodzinnego – opracowanie: Łukasz Lewandowski w pracowni architektonicznej Archhouse

Fig. 3. The architectural concept single family house: Luke Lewandowski in the atelier of architectural Archhouse

W pracy przeprowadzono analizę porównawczą stolarki okiennej w dwóch wariantach:

- **wariant I** – stolarka drewniana w systemie tradycyjnym, spełniającym wymagania rozporządzenia [10],
- **wariant II** – stolarka drewniana w systemie energooszczędnym.

Na podstawie koncepcji projektowej analizowanego budynku wykonano sprawdzenie podstawowych obecnie obowiązujących wymagań, przedstawionych w rozdziale 2.

Powierzchnia okien w analizowanej koncepcji spełnia wymagania wynikające z konieczności (wg Rozporządzenia [10]) zapewnienia minimalnego oświetlenia światłem dziennym pomieszczeń, określana jako 1:8 powierzchni okien liczona w świetle ościeżnic do powierzchni podłogi.

Analizowana stolarka okienna charakteryzuje się współczynnikiem przenikania ciepła $\mathbf{U_w}$ [W/(m^2·K)] (tabela 1) poniżej wartości granicznej sformułowanej w Rozporządzeniu [10] na poziomie U_w = **1,80** [W/(m^2·K)] dla II strefy klimatycznej – Bydgoszcz.

Tabela 1. Parametry techniczne analizowanej stolarki okiennej

Table 1. Technical parameters of the fenestration

Wariant	Rama okienna	$\mathbf{U_g}$ [W/(m^2·K)]	**g** [-]	$\mathbf{U_w}$ [W/(m^2·K)]	$\mathbf{R_w}$ [dB]
I	drewno: dąb (68 mm)	1,1	0,75	1,4	32-41
II	drewno: dąb (92 mm)	0,5	0,50	0,88	32-41

Współczynnik przepuszczalności energii całkowitej okna oraz przegród szklanych i przeźroczystych $\mathbf{g_c}$ (przy zastosowaniu białych żaluzji o lametach nastawnych) wynosi dla stolarki w systemie tradycyjnym $\mathbf{g_c}$ = 0,23, natomiast w systemie energooszczędnym $\mathbf{g_c}$ = 0,15. W dwóch analizowanych wariantach został spełniony warunek w zakresie współczynnika przepuszczalności energii całkowitej okna, ponieważ $\mathbf{g_C < 0,5}$.

Analiza w zakresie bilansu energetycznego stolarki okiennej wymaga opracowania wielu danych technicznych stolarki okiennej (współczynnik przenikania ciepła okna $\mathbf{U_w}$ [W/(m^2·K)], pole powierzchni okien $\mathbf{A_i}$ [m^2]– wymiary okien i drzwi przyjmuje się jako wymiary otworów w ścianie, liniowy współczynnik przenikania ciepła na styku ściana –okno w przekrojach: ościeżnica, podokiennik, nadproże $\mathbf{\Psi}$ [W/(m^2·K)], długość mostka cieplnego $\mathbf{l_i}$ [m]), uwzględniane w miesięcznych stratach ciepła. W zakresie określania zysków ciepła od promieniowania słonecznego przez stolarkę okienną należy natomiast uwzględnić parametry zestawione w tabeli 2.

Tabela 2. Dane meteorologiczne dla Bydgoszczy

Table 2. Meteorological data for Bydgoszcz

miesiąc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
θ_e [°C]	- 0,7	0,0	0,0	6,6	14,2	14,5	17,3	16,4	11,0	8,1	5,2	1,9
L_d [dni]	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
t_M [h]	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
I [kW/(m^2·m-c)]												
$I_{N\ 90}$	24,4	32,2	55,6	94,8	120,1	133,4	123,3	105,4	74,9	45,7	28,6	20,7
$I_{NE\ 90}$	24,4	32,2	58,2	99,9	136,8	143,9	134,0	114,3	77,2	45,7	28,6	20,7
$I_{E\ 90}$	26,1	38,8	74,5	111,5	156,9	155,3	144,6	126,6	89,3	48,5	29,3	20,8
$I_{SE\ 90}$	37,4	55,8	95,6	121,3	162,3	156,2	145,2	132,2	103,7	55,9	34,9	21,4
$I_{S\ 90}$	42,2	63,1	104,7	124,2	151,8	147,5	137,3	129,8	110,7	61,7	38,6	21,6
$I_{SW\ 90}$	36,6	52,3	89,4	119,8	147,5	145,8	136,2	127,8	101,4	58,4	36,5	21,4
$I_{W\ 90}$	25,5	36,3	69,6	110,2	140,4	143,8	133,8	121,2	87,7	50,4	30,4	20,8
$I_{NW\ 90}$	24,4	32,2	57,4	99,5	128,2	138,2	127,7	111,1	77,3	45,9	28,6	20,7

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W artykule przedstawiono praktyczne kryteria oceny stolarki okiennej w aspekcie architektoniczno-energooszczędnym. Przedstawione rozwiązania oraz analiza porównawcza wskazują, że przegrody przeźroczyste mają znaczący wpływ na kształtowanie formy architektury budynku i jego identyfikacji w przestrzeni. Natomiast parametry techniczne i orientacja względem stron świata odgrywają istotną rolę na bilans energetyczny obiektu budowlanego. Na podstawie przeprowadzonych analiz można sformułować następujące wnioski praktyczne:

- Wszystkie kryteria oceny stolarki okiennej powinny być uwzględniane na etapie planowania i projektowania budynków w aspekcie architektoniczno energooszczędnym, ponieważ wpływają na mikroklimat wnętrza i komfort użytkowy budynku.
- Odpowiedni dobór parametrów technicznych i właściwości stolarki okiennej wpływa na koszty eksploatacyjne obiektu.
- Stolarka okienna jest integralna częścią budynku, środkiem wpływającym na plastykę obiektu i jego identyfikację.
- Usytuowanie znacznych powierzchni przeszklonych należy realizować na elewacjach południowych lub południowo- wschodniej. Jednak należy pamiętać o zabezpieczeniach w zakresie przegrzewania pomieszczeń w okresie letnim, stosując powłoki na zewnętrznej powierzchni szyb zespolonych oraz rolet lub żaluzji wewnątrz pomieszczenia lub markiz, łamaczy światła, okiennic na zewnątrz budynku.
- Stolarka okienna projektowana w budynku powinna spełniać szczegółowe wymagania sformułowane w Rozporządzenia [10] w zakresie minimalnego stopnia oświetlenia światłem dziennym, współczynnika przenikania ciepła $\mathbf{U_w}$ [W/(m^2·K)] oraz współczynnika przepuszczalności energii całkowitej okna oraz przegród szklanych i przeźroczystych $\mathbf{g_c}$.
- Bardzo istotnym aspektem projektowym i wykonawczym jest poprawne osadzenie stolarki okiennej w ścianie zewnętrznej (poprawne zaprojektowanie i wykonanie złącza dwóch przegród: ściana – okno). Np. w ścianie dwuwarstwowej przedłużenie warstwy izolacji cieplnej na ościeżnicę powoduje zmniejszenie start ciepła oraz minimalizowanie ryzyka rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych na wewnętrznej powierzchni przegrody na styku okno-ściana zewnętrzna. Zasadne staje się stosowania „szkoły projektowania złączy budowlanych" prezentowanej szczegółowo w [1].

LITERATURA

[1] Dylla A., 2009. Praktyczna fizyka cieplna budowli - Szkoła projektowania złączy budowlanych. Wyd. Uczeln. UTP w Bydgoszczy.
[2] Meller M., Siwiński P., 2002. Szkło budowlane. Wyd. Politechniki Koszalińskiej.
[3] PN-EN 12831:2006. Instalacje ogrzewcze w budynkach - Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.
[4] PN-EN 13830:2005. Ściany osłonowe. Norma wyrobu.
[5] PN-EN 14351-1:2012 . Okna i drzwi. Norma wyrobu, właściwości eksploatacyjne. Część 1: Okna i drzwi zewnętrzne bez właściwości dotyczących odporności ogniowej i/lub dymoszczelności.
[6] PN-EN ISO 6946:2008. Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.

[7] PN-EN ISO 10211:2008. Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.
[8] PN-EN ISO 14683:2008. Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne.
[9] Projekt rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej zmieniającego rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie
[10] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
[11] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6.11.2008 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 ich charakterystyki energetycznej.
[12] Żurawski J., 2012. Ocena energetyczna stolarki budowlanej. IZOLACJE

CRITERIA FOR THE EVALUATION OF ARCHITECTURAL ENERGY SAVING IN TERMS OF FENESTRATION

Summary. The article gives the selection criteria in terms of architectural and energy-efficient fenestration. For example, the building was conducted an analysis of the technical characteristics and architectural divisions transparen.

3. ANALIZA PORÓWNAWCZA PARAMETRÓW CIEPLNYCH DWUWARSTWOWYCH ŚCIAN ZEWNĘTRZNYCH I ICH ZŁĄCZY

1. WPROWADZENIE

Warunkiem realizacji wymagań kryterium cieplnego jest zaprojektowanie przegród zewnętrznych spełniających warunek:

$$U \le U_{max}\ [\mathrm{W/(m^2 \cdot K)}] \tag{1}$$

Obecnie wszystkie projektowane i wznoszone budynki powinny posiadać przegrody zewnętrzne o współczynniku przenikania ciepła **U** nie większym niż wartość graniczna, określona w załączniku do Rozporządzenia [7].

Drugą miarą spełnienia kryterium cieplnego (energetycznego) jest wartość wskaźnika **EP** [kWh/(m^2·rok)], określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji i ewentualnego chłodzenia oraz przygotowywania ciepłej wody użytkowej, a dla niektórych budynków wbudowanego oświetlenia.

Warunkiem dopuszczającym do realizacji rozwiązania projektowego przegrody i złącza jest między innymi kryterium wilgotnościowe, uwarunkowane niedopuszczeniem do kondensacji powierzchniowej wilgoci (ryzyka rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych).

Jeżeli spełniona jest nierówność:

$$f_{Rsi} \ge f_{Rsi,\ max} \tag{2}$$

gdzie:

- f_{Rsi} – obliczeniowy czynnik temperaturowy w miejscu mostka cieplnego [-],
- $f_{Rsi,\ max}$ – maksymalny czynnik temperaturowy, uwzględniający parametry powietrza wewnętrznego i zewnętrznego [-],

wówczas nie wystąpi ryzyko rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych na wewnętrznej powierzchni przegrody zewnętrznej.

Obowiązujące wymagania odnoszące się do wartości maksymalnej współczynnika przenikania ciepła $\mathbf{U_{max}}$ **= 0,30** [W/(m^2·K)], stały się utrudnieniem w stosowaniu ścian jednowarstwowych. Ze względu na ich zbyt niską termoizolacyjność zostały one praktycznie wyeliminowane z dozwolonych rozwiązań.

W ścianach warstwowych nie ma większej trudności, aby spełnić warunek $U \le U_{max}$. Jednak w projekcie nowelizacji Rozporządzenia [7] określono niższe (niż obecnie obowiązujące) wartości graniczne współczynnika przenikania ciepła U_{max} – w przypadku ścian zewnętrznych $\mathbf{U_{max}}$ **= 0,20** [W/(m^2·K)]. Zaprojektowanie niewłaściwie izolacji złączy jest błędem.

KRZYSZTOF PAWŁOWSKI, MONIKA DYBOWSKA
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

W pracy przedstawiono analizę porównawczą parametrów cieplnych ścian dwuwarstwowych zewnętrznych i ich złączy z zastosowaniem programu komputerowego TRISCO.

2. CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁOWA ŚCIAN DWUWARSTWOWYCH

Ściany dwuwarstwowe zyskały dużą popularność, gdyż są łatwe do wykonania i stosunkowo niedrogie. Składają się one z dwóch głównych elementów: warstwy konstrukcyjnej i warstwy izolacji termicznej. Dodatkowo po obu stronach nałożone są warstwy tynku.

W celu wybudowania ściany dwuwarstwowej najpierw wznosi się warstwę nośną, a dopiero później się ją ociepla. Jest to chyba najczęściej spotykane rozwiązanie, ponieważ stosując warstwę izolacji w łatwy sposób można zapewnić odpowiednie właściwości cieplne i wilgotnościowe przegrody. Warstwa konstrukcyjna 18-30 cm, może być wykonana z dowolnego materiału. Warstwa ocieplenia grubości 12-20 cm, mocowana do ściany od strony zewnętrznej sprawia, że takie miejsca jak nadproża i wieńce stropowe stają się zaizolowane – minimalizując straty ciepła.

W dzisiejszych czasach inwestorzy mają do wyboru wiele materiałów konstrukcyjnych dostępnych na rynku, z których najpopularniejszymi są m.in. cegły, pustaki ceramiczne, beton komórkowy, bloczki wapienno-piaskowe (silikaty) lub keramzytobeton. Do obliczeń i analizy wybrano dwa materiały o tej samej grubości: beton komórkowy oraz bloczki wapienno-piaskowe (silikaty) – rysunek 1.

Beton komórkowy wytwarza się z wapna, cementu, piasku lub lotnego popiołu oraz proszku aluminiowego i detergentów. Porowata struktura zapewnia dobre parametry izolacyjne tego materiału. Produkowany jest w odmianach od 300 do 800. Wyższa odmiana oznacza lepszą wytrzymałość, a więc mniejszą porowatość i gorszą izolacyjność cieplną. Najczęściej muruje się je na zwykłą zaprawę cementowo-wapienną, choć można też stosować zaprawę ciepłochronną.

Bloczki wapienno-piaskowe, nazywane także silikatami wytwarzane są z piasku, wapna i wody. Ich cechą charakterystyczną jest znaczna wytrzymałość na ściskanie oraz dobra izolacja akustyczna, wyróżniają się również wysoką odpornością ogniową, zaś w czasie pożaru nie wydzielają szkodliwych substancji. Produkuje się je w klasach: 5; 7,5; 10; 15; 20; 25; 35; 40 i 60. Muruje się je na zwykłe lub cienkie spoiny zaprawą tradycyjną lub ciepłochronną.

Zadaniem warstwy konstrukcyjnej jest głównie przenoszenie obciążeń ze stropu i dachu. Natomiast o izolacyjności cieplnej ściany decyduje głównie materiał izolacyjny (najczęściej styropian lub wełna mineralna). Przy doborze układu materiałowego ściany uwzględnia się minimalną wymaganą konstrukcyjnie grubość warstwy nośnej, zaś zastosowanie odpowiedniej grubości warstwy izolacyjnej zapewnia spełnienie wymagań cieplnych ściany zewnętrznej wg Rozporządzenia [7].

Rys. 1. Charakterystyczne układy materiałowe ścian dwuwarstwowych
Fig. 1. The characteristic material systems of double-layer walls

3. MOSTKI CIEPLNE – ZŁĄCZA ŚCIAN DWUWARSTWOWYCH

Mostkami cieplnymi nazywamy obszary w obudowie zewnętrznej budynku, które w większym stopniu przewodzą ciepło od wewnątrz na zewnątrz niż przegroda poza tymi miejscami. Temperatura na wewnętrznej powierzchni przegrody w obszarze mostka cieplnego jest niższa niż w pozostałych częściach elementu budowlanego.

Mostki cieplne znajdują się w każdym budynku. Ich ilość oraz wielkość dodatkowych strat spowodowanych ich obecnością w znacznym stopniu wynika z zastosowanego rozwiązania projektowego, a także sposobu i dokładności wykonania przegrody. Miejscami szczególnie narażonymi na powstanie mostków termicznych są:

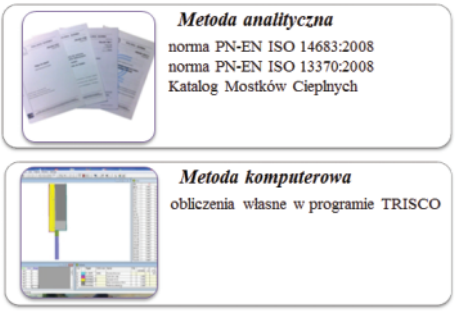
- naroża ścian zewnętrznych budynku,
- ościeża otworów okienny i drzwiowych,
- nadproża okienne i podokienniki,
- połączenia ścian zewnętrznych ze ścianami wewnętrznymi,
- połączenia płyty balkonowej ze ścianą zewnętrzną,
- połączenia ścian zewnętrznych ze stropodachem lub dachem,
- słupy żelbetowe w ścianach murowanych,
- wieńce ścian zewnętrznych,
- połączenia ścian wewnętrznych ze stropodachem,
- przebicia warstw izolacyjnych elementem o dużej przewodności cieplnej.

Podstawowym celem analizy mostka termicznego jest wyznaczenie rozkładu temperatur w rozpatrywanym złączu, a szczególnie minimalnej temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody $\theta_{si,min.}$ [°C]. Po przyjęciu warunków brzegowych, na podstawie minimalnej temperatury w złączu, wyznaczany jest czynnik temperaturowy f_{Rsi} [-].

Kolejny parametr to wyznaczenie dodatkowych strat ciepła, które powstają w przypadku występowania w elemencie mostków cieplnych, określanych za pomocą liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ [W/(m·K)]. Liniowy współczynnik przenikania ciepłą mostka liniowego Ψ określa wartość strumienia cieplnego wywołanego przez mostek, w odniesieniu do strumienia cieplnego płynącego w polu jednowymiarowym. Podaje się go na długość mostka l = 1,0 m. Jego charakterystyczną cechą jest współczynnik Ψ.

Wpływ mostków termicznych na parametry cieplne przegród zewnętrznych możemy uwzględnić przy wykorzystaniu metod analitycznych (norma PN-EN ISO 14683:2008 [11], katalogi mostków cieplnych, np.[2, 6]), jak również przy pomocy metod komputerowych.

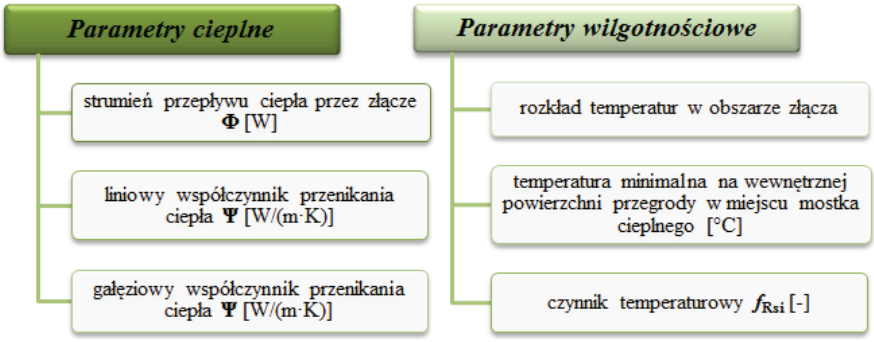
Wartości współczynnika **Ψ** przyjmowane na podstawie normy i katalogu mostków cieplnych są niepełne i mało precyzyjne, przez co niepewność wyników może wynosić nawet do 50% w przypadku orientacyjnych wartości wg normy oraz 20% dla wartości przyjmowanych z katalogu (rys. 2).



Rys. 2. Sposoby określania wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ

Fig. 2. Methods for determining the value of the linear heat transfer coefficient Ψ

Do określenia charakterystyki mostka cieplnego wyznacza się określone parametry, które można podzielić na dwie grupy zgodnie z rysunkiem 3.



Rys. 3. Parametry charakteryzujące mostki cieplne

Fig. 3. The parameters characterizing the thermal bridges

Norma PN-EN ISO 14683:2008 [11] oraz katalogi mostków cieplnych nie wyczerpują wszystkich rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych ścian zewnętrznych i ich złączy, dlatego zasadne staje się wykorzystanie indywidualnych obliczeń numerycznych przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO.

4. OBLICZENIA PARAMETRÓW MOSTKÓW CIEPLNYCH ŚCIAN DWUWARSTWOWYCH

W celu przedstawienia parametrów cieplno-wilgotnościowych mostków termicznych przeprowadzono analizę numeryczną przy wykorzystaniu programu komputero-

wego TRISCO. Na ocenę parametrów cieplnych i wilgotnościowych danego złącza pozwalają generowane przez program dane wyjściowe, zawierające wyniki w postaci graficznej i tekstowej. Do obliczeń wytypowano następujące złącza ścian zewnętrznych dwuwarstwowych:

- narożnik ścian zewnętrznych,
- połączenie ściany zewnętrznej z wewnętrzną,
- połączenie ściany zewnętrznej ze stropem w przekroju przez wieniec,
- połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez nadproże,
- połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez podokiennik,
- połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez ościeżnicę,
- połączenie ściany zewnętrznej ze stropodachem,
- połączenie ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie.

Obliczenia oraz karty katalogowe wykonano dla dwóch wariantów warstwy konstrukcyjnej:

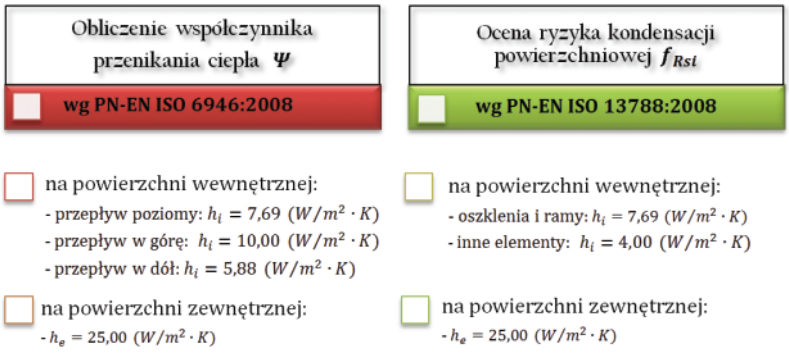
- wariant I – beton komórkowy gr. 24 cm + styropian gr. 15 cm,
- wariant II – bloczek wapienno-piaskowy gr. 24 cm + styropian 15 cm.

Szczegółowe procedury obliczeniowe analizy numeryczne rozpatrywanych złączy przedstawiono w pracach [1, 4].

Założenia wstępne

Do obliczeń przyjęto następujące założenia:

- zasady modelowania złączy zgodnie z PN-EN ISO 10211:2008 [10] (opisane szczegółowo np. w pracach [1, 2]),
- temperatura powietrza wewnętrznego $\mathbf{t_i}$ = 20°C oraz zewnętrznego $\mathbf{t_e}$ = -20°C,
- wartości współczynnika przejmowania ciepła $\mathbf{h_i}$, $\mathbf{h_e}$ [W/(m^2·K)], przyjęto w zależności od wyznaczanego parametru złącza, zgodnie z rysunkiem 4,
- przyjęto siatkę podziału równą 1 cm.



Rys. 4. Wartości współczynnika przejmowania ciepła

Fig. 4. The value of heat transfer coefficient

Wyniki obliczeń dla wybranych mostków cieplnych

Posługując się programem komputerowym TRISCO uzyskano wyniki obliczeń, które pozwoliły na wyznaczenie wartości liniowych współczynników przenikania ciepła Ψ [W/(m·K)] oraz czynnika temperaturowego f_{Rsi} [-] dla typowych mostków cieplnych występujących w przegrodzie zewnętrznej budynku. Wyniki przeprowadzonych obliczeń dla rozpatrywanych złączy zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie wyników obliczeń mostków cieplnych ściany zewnętrznej [1]

Table 1. Summary of the results of calculation of thermal bridges in the exterior wall [1]

Lp.	Mostek cieplny	Wariant I U = 0,195 [W/(m^2·K)]		Wariant II U = 0,226 [W/(m^2·K)]	
		Ψ_i [W/(m·K)]	f_{Rsi} [-]	Ψ_i [W/(m·K)]	f_{Rsi} [-]
1	Narożnik ścian zewnętrznych	0,079	0,880	0,109	0,877
2	Połączenie ściany zewnętrznej z wewnętrzną	0,056	0,945	0,065	0,944
3	Połączenie ściany ze stropem w przekroju przez wieniec	0,076	0,944	0,070	0,945
4	Połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez nadproże	0,081	0,819	0,078	0,819
5	Połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez podokiennik	0,041	0,810	0,062	0,812
6	Połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez ościeżnicę	0,060	0,816	0,069	0,818
7	Połączenie ściany zewnętrznej ze stropodachem	0,031	0,839	0,092	0,801
8	Połączenie ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie	0,103	0,859	0,181	0,814

Na podstawie obliczeń parametrów cieplnych oraz wilgotnościowych sporządza się karty katalogowe dla rozpatrywanych złączy budowlanych. Na rysunku 5 przedstawiono przykładową kartę katalogową dla złącza połączenia ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez nadproże dla ściany dwuwarstwowej z betonu komórkowego gr. 24 cm z warstwą izolacji cieplnej gr. 10, 12 i 15 cm.

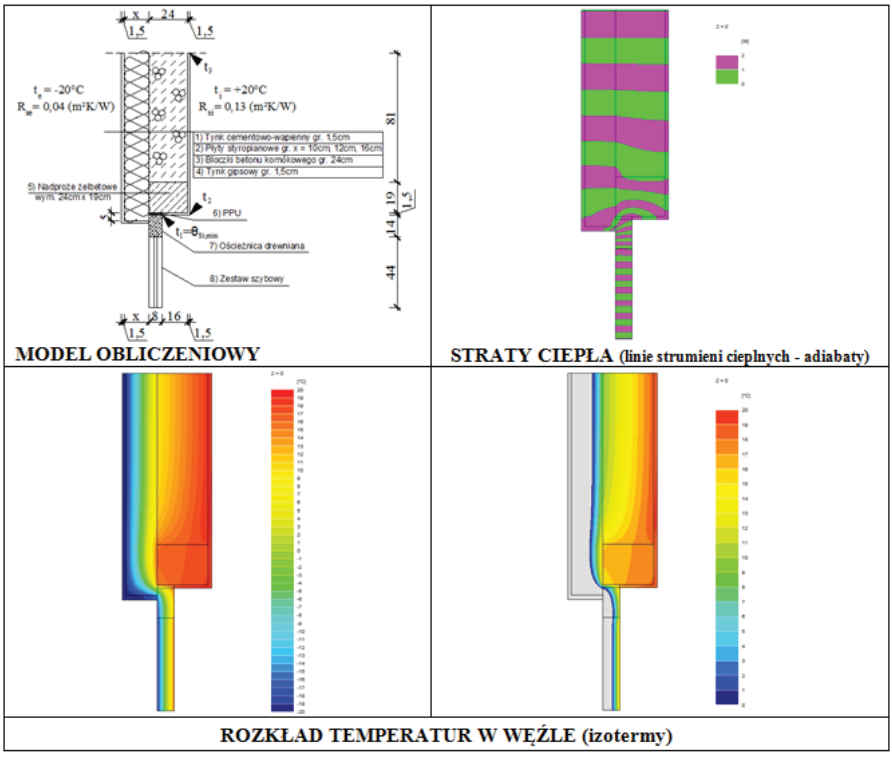
Wartość parametrów cieplno-wilgotnościowych złączy ścian dwuwarstwowych zależą od:

- przyjętych warunków brzegowych wg zasad modelowania złączy,
- temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego,
- parametrów materiałowych złącza,
- przyjętej grubości izolacji cieplnej elementów konstrukcyjnych.

Ściana zewnętrzna w przekroju przez nadproże **Karta katalogowa DB-N**

Lp.	Układ warstw węzła	d_i [m]	λ_i [W/(m·K)]
1	Tynk cementowo-wapienny	0,015	1,00
2	Styropian EPS-70	x)	0,04
3	Bloczki betonu komórkowego	0,24	0,21
4	Tynk gipsowy	0,015	0,40
5	Nadproże żelbetowe	0,19	2,5
6	PPU	0,015	0,035
7	Ościeżnica drewniana	0,08	0,16
8	Zestaw szybowy	0,08	0,075
x) Wyniki parametrów dla d_2=0,10m, d_2=0,12m i d_2=0,15cm			

Parametry cieplne węzła				
d_2	[m]	**0,10**	**0,12**	**0,15**
U_s	[W/(m²·K)]	0,259	0,229	0,195
Φ	[W]	35,010	33,630	32,160
Φ_s	[W]	14,260	12,900	11,450
Φ_0	[W]	20,750	20,730	20,710
L^{2D}	[W/(m·K)]	0,875	0,841	0,804
Ψ_i	[W/(m·K)]	0,075	0,077	0,081
Ψ_e	[W/(m·K)]	0,075	0,077	0,081
Ocena ryzyka kondensacji powierzchniowej (temperatury minimalne przy: te=-20°C, ti=20°C)				
t_1	[°C]	12,74	12,74	12,75
t_2	[°C]	17,35	17,56	17,76
t_3	[°C]	17,51	17,79	18,11
Ocena ryzyka rozwoju pleśni wg PN-EN ISO 13788				
$\theta_{si,min}$	[°C]	12,74	12,74	12,75
f_{Rsi}	[-]	0,819	0,819	0,819



Rys. 5. Przykładowa karta katalogowa mostka cieplnego [1]

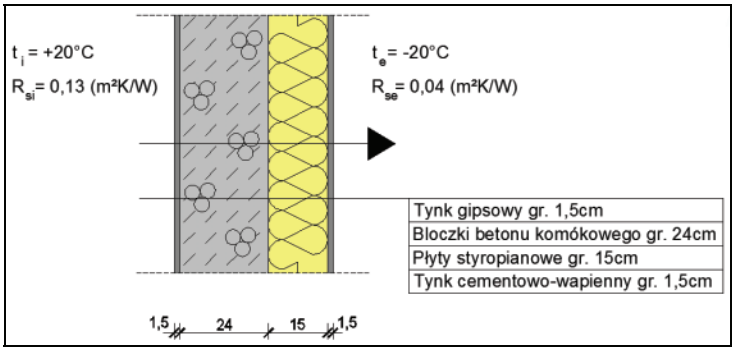
Fig. 5. Example of catalog card for thermal bridge [1]

5. OCENA WPŁYWU MOSTKÓW CIEPLNYCH NA STRATY CIEPŁA PRZEZ ŚCIANĘ ZEWNĘTRZNĄ BUDYNKU

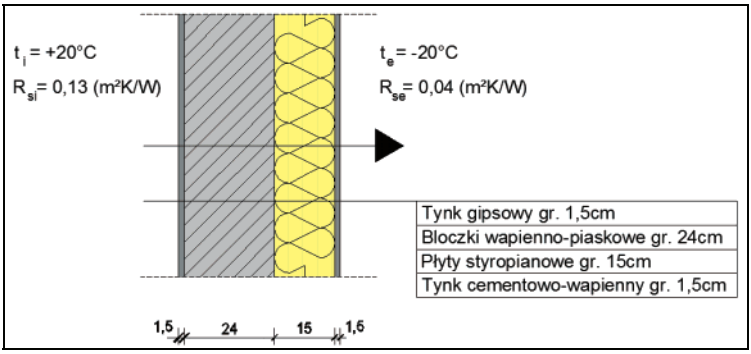
Mostki termiczne mają znaczny wpływ na parametry cieplne ściany zewnętrznej np. współczynnik przenikania ciepła $\mathbf{U_k}$ [W/(m^2·K)] z uwzględnieniem mostków cieplnych.

Obliczenie współczynnika przenikania ciepła U_c wg PN-EN ISO 6946:2008 [9]

Do analizy wybrano ściany: zewnętrzną dwuwarstwową z betonu komórkowego (rys. 6) oraz bloczku wapienno-piaskowego (rys. 7) ocieplone styropianem gr. 15 cm.



Rys. 6. Model obliczeniowy ściany dwuwarstwowej z betonu komórkowego [1]
Fig. 6. Calculation model of double-layer walls made of cellular concrete [1]



Rys. 7. Model obliczeniowy ściany dwuwarstwowej z bloczków wapienno-piaskowych [1]
Fig. 7. Calculation model of double-layer walls made of sand-lime bricks [1]

Obliczenia współczynnika przenikania ciepła $\mathbf{U_c}$ [W/(m^2·K)] przeprowadzono zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [9]. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła

Table 2. The results of calculation of heat transfer coefficient

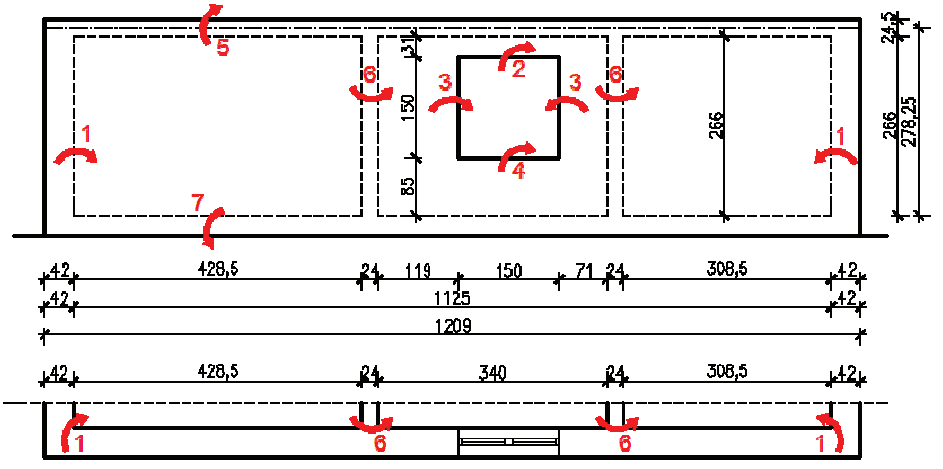
Wariant	Warstwy materiałowe	U_c [W/(m^2·K)]
I	• tynk gipsowy gr. 1,5 cm • beton komórkowy gr. 24 cm • styropian gr. 15 cm • tynk cementowo-wapienny gr. 1,5 cm	0,195
II	• tynk gipsowy gr. 1,5 cm • bloczki wapienno-piaskowe gr. 24 cm • styropian gr. 15 cm • tynk cementowo-wapienny gr. 1,5 cm	0,226

Określenie współczynnika przenikania ciepła z uwzględnieniem mostków cieplnych U_k [W/(m^2·K)]

Obliczenia wykonano dla ściany budynku jednorodzinnego, ograniczonej przez przegrody do niej prostopadłe, takie jak: ściany zewnętrzne, strop i podłoga na gruncie. Pole powierzchni ściany zewnętrznej biorącej udział w przenikaniu $\mathbf{A_i}$ [m^2], współczynniki $\mathbf{\Psi_i}$ [W/(m·K)] (podane w tabeli 3) oraz długości mostków cieplnych $\mathbf{l_i}$ [m] przyjęto na podstawie wymiarów wewnętrznych budynku podanych na rysunku 8. Przy obliczaniu pola powierzchni $\mathbf{A_{oi}}$ [m^2] uwzględniono wymiary ściany po obrysie ścian zewnętrznych oraz wysokość parteru do osi stropu.

Obliczenie współczynnika przenikania ciepła $\mathbf{U_k}$ [W/(m^2·K)] z uwzględnieniem mostków cieplnych dla ściany zewnętrznej parteru przedstawiono w dwóch wariantach:

- I wariant – warstwa konstrukcyjna wykonana z betonu komórkowego gr. 24 cm + styropian gr. 15 cm
- II wariant – warstwa konstrukcyjna wykonana z bloczków wapienno-piaskowych gr. 24 cm + styropian 15 cm.



Rys. 8. Schemat ściany zewnętrznej parteru z oznaczonymi mostkami cieplnymi [1]

Fig. 8. Diagram of the exterior wall on the ground floor with marked thermal bridges [1]

Tabela 3. Parametry mostków cieplnych

Table 3. Parameters of thermal bridges

Lp.	Mostek cieplny	l_i [m]	Ψi [W/(m·K)] wariant	
			I	II
1	Narożnik ściany zewnętrznej	2,66	0,079	0,109
2	Węzeł połączenia ściany z oknem w przekroju przez nadproże	1,50	0,081	0,078
3	Węzeł połączenia ściany z oknem w przekroju przez ościeżnicę	2·1,5=3,0	0,060	0,069
4	Węzeł połączenia ściany z oknem w przekroju przez podokiennik	1,50	0,041	0,062
5	Węzeł połączenia ściany ze stropem	11,25	0,076*	0,070*
6	Połączenie ściany zewnętrznej z wewnętrzną	2·2,66=5,32	0,056	0,065
7	Połączenie ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie	11,25	0,103**	0,181**

*) dla połączenia ściany ze stropem do obliczeń zastosowano gałęziowy współczynnik przenikania ciepła dla dolnej części złącza Ψ_{id},

**) dla połączenia ściany z podłogą na gruncie do obliczeń zastosowano gałęziowy współczynnik przenikania ciepła dla ściany $\Psi_{śc.,i}$.

Obliczenia współczynnika przenikania ciepła $\mathbf{U_k}$ [W/(m^2·K)] dla ściany zewnętrznej z oknem dla obu wariantów wykonano według własnego algorytmu [3, 5]. Wyniki obliczeń zestawiono poniżej w tabeli 4.

Tabela 4. Wyniki obliczeń

Table 4. The results of calculations

Charakterystyczne parametry	Wyznaczone wartości	
	Wariant I	Wariant II
Współczynnik przenikania ciepła U_c [W/(m^2·K)]	0,195	0,226
Pole powierzchni elementu i obudowy A_i [m^2]:	26,398	
Straty ciepła przez pełną ścianę zewnętrzną budynku $U_c \cdot A_i$ [W/K]:	5,148	5,966
Wpływ mostków termicznych na straty ciepła $\sum\Psi_i \cdot l_i$ [W/K]:	2,886	3,876
Straty ciepła przez ścianę zewnętrzną wyrażone za pomocą współczynnika sprzężenia cieplnego $H_D = U_c \cdot A_i + \sum\Psi_i \cdot l_i$ [W/K]:	8,034	9,842
Powierzchnia ściany liczona w osiach przegród do niej prostopadłych A_{oi} [m^2]:	31,396	
Współczynnik przenikania ciepła U_k uwzględniający wpływ mostków cieplnych $U_k = H_D/A_{oi}$ [W/(m^2·K)]	0,256	0,313

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń i analiz można sformułować następujące wnioski:

1. Kompleksowa ocena ścian zewnętrznych powinna dotyczyć jednocześnie przegrody i jej złączy według kryterium cieplnego i wilgotnościowego. Ich równoczesne stosowanie daje możliwość wyboru poprawnych rozwiązań ścian zewnętrznych.
2. Przy zaprojektowaniu ściany zewnętrznej i jej złączy w zakresie fizyki budowli niezbędne jest zastosowanie programu komputerowego w celu określenia parametrów cieplno-wilgotnościowych mostków termicznych.
3. Wpływ mostków cieplnych na straty ciepła przez ścianę zewnętrzną jest znaczący (tabela 5). Pomijanie ich w obliczeniach jest nie uzasadnione.

Tabela 5. Straty ciepła przez ścianę zewnętrzną

Table 5. The heat loss through the exterior wall

Procedura obliczania strat ciepła przez przenikanie	Wariant I	Wariant II
Straty ciepła przez pełną ścianę zewnętrzną: $U_c \cdot A_i$ [W/K]	5,148 (64%)	5,966 (61%)
Straty ciepła wywołane występowaniem mostków cieplnych: $\sum \Psi_i \cdot l_i$ [W/K]	2,886 (36%)	3,876 (39%)
Współczynnik przenoszenia ciepła między przestrzenią ogrzewaną a środowiskiem zewnętrznym przez obudowę: $H_D = U_c \cdot A_i + \sum \Psi_i \cdot l_i$ [W/K]	8,034 (100%)	9,842 (100%)

4. Analizowane ściany zewnętrzne spełniają podstawowy warunek cieplny w zakresie współczynnika przenikania ciepła U [W/(m^2·K)] ($U \leq U_{max}$). Jednak przegroda (wariant II) nie spełniała wymagania niższej wartości $U_{max.} = 0{,}20$ W/(m^2·K) proponowanej w projekcie Rozporządzenia [7].
5. Złącza ścian zewnętrznych (wariant I i II) spełniają wymaganie w zakresie uniknięcia ryzyka kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody, ponieważ spełniony jest warunek $f_{Rsi} \geq f_{Rsi(max)}$. Wartość graniczna (krytyczna) czynnika temperaturowego uwzględniając parametry powietrza wewnętrznego i zewnętrznego, analizowanych wariantów obliczeniowych, wynosi $f_{Rsi(max)} = \mathbf{0{,}778}$.

Autorzy pracy proponują określenie w Rozporządzeniu [7] wartości granicznych liniowego współczynnika przenikania ciepła dla mostków cieplnych np. na poziomie $\Psi_{max.} = 0{,}10$ W/(m·K). Spowoduje to niedopuszczenie błędnych rozwiązań materiałowych złączy budowlanych do stosowania w budownictwie.

LITERATURA

[1] Dybowska M., 2012. Analiza numeryczna parametrów cieplnych wybranych przegród zewnętrznych budynku i ich złączy. Praca dyplomowa magisterska. UTP w Bydgoszczy.
[2] Dylla A., 2009. Praktyczna fizyka budowli. Szkoła projektowania złączy budowlanych. Wyd. Uczel. UTP w Bydgoszczy.
[3] Pawłowski K., 2008. Efektywność zewnętrznych przegród budowlanych i ich złączy w aspekcie cieplno-wilgotnościowym. Rozprawa doktorska. UTP w Bydgoszczy.
[4] Pawłowski K., Dybowska M., 2012. Analiza numeryczna parametrów cieplno-wilgotnościowych złączy ścian zewnętrznych. Izolacje 10.

[5] Pawłowski K., Kończal K., 2010. Procedury projektowe dotyczące ścian zewnętrznych jednowarstwowych w świetle różnych wymagań cieplnych. Izolacje 11, 12.
[6] Pogorzelski J.A., 2003. Katalog mostków cieplnych. Budownictwo tradycyjne. Wyd. ITB Warszawa.
[7] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. z 2008 r. nr 201, poz. 1238 ze zm.).
[8] PN-EN 12524:2003. Materiały i wyroby budowlane. Właściwości cieplno-wilgotnościowe. Tabelaryczne wartości obliczeniowe.
[9] PN-EN ISO 6946:2008. Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
[10] PN-EN ISO 10211:2008. Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.
[11] PN-EN ISO 14683:2008. Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THERMAL PARAMETERS OF DOUBLE-LAYER EXTERIOR WALLS AND THEIR JOINTS

Summary. This article includes a detailed comparative analysis conducted for thermal parameters of double-layer exterior walls and their joints. It presents the results of some numerical calculations of selected thermal bridges. It defines the influence of thermal bridges on the parameters of the exterior wall.

4. PROJEKTOWANIE TERMICZNE WĘZŁA POŁĄCZENIA Z GRUNTEM W BUDYNKU PODPIWNICZONYM

1. WPROWADZENIE

Piwnica, w rozumieniu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [9], to „kondygnacja podziemna lub najniższa nadziemna bądź jej część, w której poziom podłogi co najmniej z jednej strony budynku znajduje się poniżej poziomu terenu, przeznaczona na pomieszczenia gospodarcze lub techniczne". Najczęściej są w niej usytuowane pomieszczenia magazynowe oraz kotłownia i garaż. Powstające w ostatnich kilkunastu latach budynki jednorodzinne usytuowane poza miastem na przestronnych działkach, budowane jako alternatywa mieszkania w centrum aglomeracji, to obiekty, w których z uwagi na wysoki koszt z podpiwniczenia zrezygnowano. Funkcję tej kondygnacji mają przejąć pomieszczenia pomocnicze zlokalizowane w poziomie parteru. Jednak w praktyce garaż staje się z biegiem czasu, niezauważalnie dla użytkowników, pomieszczeniem do majsterkowania lub składzikiem rzeczy potrzebnych, na które nie ma miejsca w żadnym innym pomieszczeniu. Okazuje się, że kondygnacja piwnicy jest potrzebna. Nieodzowne jest jej wykonanie, wówczas gdy na pomieszczenia związane z obsługą budynku nie ma miejsca w poziomie parteru, tj. w przypadku intensywnej zabudowy w centrach miast, na działkach o niewielkiej powierzchni, w zabudowie szeregowej, lub takich, których powierzchnię mocno ogranicza linia zabudowy. Niejako przy okazji często w piwnicy budynku obok pomieszczeń pomocniczych i technicznych znajduje swoje miejsce np. kącik majsterkowicza, biuro dla rodzinnej firmy lub inne, spełniające funkcje rozrywkowe, takie jak: sauna, mini basenik, sala do gier, pokój zabaw dla dzieci, sala kinowa, mini bar czy też siłownia. Ta nowa funkcja piwnicy wymaga, aby zapewnić w tych pomieszczeniach właściwy mikroklimat oraz komfort cieplny.

2. ROZWÓJ WYMAGAŃ DOTYCZĄCYCH IZOLACYJNOŚCI TERMICZNEJ

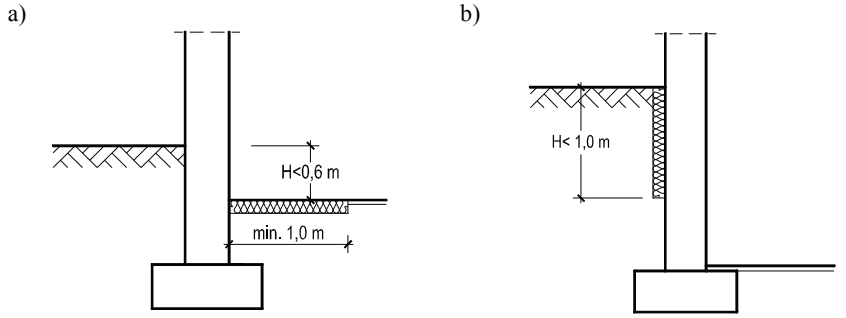
Wytyczne dotyczące izolowania cieplnego przegród zewnętrznych stykających się z gruntem, wprowadzono po raz pierwszy do Polskiej Normy w 1974 roku w oparciu o przedstawiony w latach 60-tych XX w. przez Henrikssona model strat ciepła do gruntu [12]. Zakłada on podział podłogi na gruncie na dwie strefy – przyścienną i pozostałą środkową. W Polskiej Normie z roku 1974 PN-74/B-03464 [1], określono wymaganie dotyczące maksymalnego współczynnika przenikania ciepła K = 1,16 W/(m^2·K) dla podłóg na gruncie, w pasie przyściennym o szerokości 1 m, bez zastrzeżenia do jakiej głębokości. Nie określono też, jaka jest maksymalna wartość K dla ściany podziemia.

PAULA SZCZEPANIAK
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

W zastępującej ją normie PN-82/B-02020 [2], w przypadku pomieszczeń ogrzewanych do $t_i > 16$ºC, wartość współczynnika przenikania ciepła ograniczono:
- dla podłogi: $k_{g,max}$ = 0,60 W/(m^2·K), w pasie przyściennym o szerokości 1 m, do głębokości 1,0 m,
- dla ściany podziemia: $k_{g,max}$ = 1,00 W/(m^2·K), do głębokości 1,0 m.

W kolejnej nowelizacji normy PN-91/B-02020 [3] wymaganie dotyczyło minimalnej wartości oporu cieplnego R_{min}, który miał być większy niż 1,5 (m^2·K)/W w pasie przyściennym szerokości 1,0 m w przypadku izolacji poziomej, lub 1,0 m poniżej poziomu posadzki w przypadku izolacji pionowej. Podłogom na głębokości 0,6 m poniżej poziomu gruntu nie stawiano żadnych wymagań. Opór cieplny ściany piwnicy na głębokości 1,0 m od poziomu terenu nie powinien być mniejszy niż 1,0 (m^2·K)/W.

Powyższe wymagania zostały zachowane po przeniesieniu ich do Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 30 września 1997 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [8] oraz jej kolejnej nowelizacji [9] z 2002 roku.



Rys. 1. Schematy wymaganej ochrony cieplnej: a) podłogi na gruncie w strefie przyściennej, b) ściany piwnicy pomieszczeń ogrzewanych wg [8]

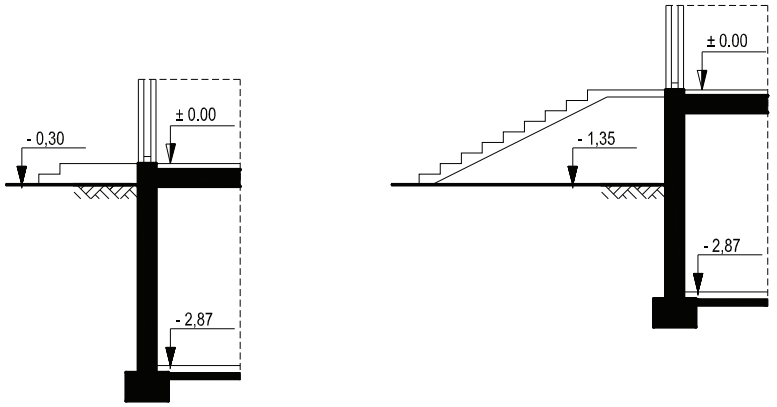
Fig. 1. Schemes of required thermal protection: a) on the ground floor round the external wall, b) on the cellar wall in heating room by [8]

Ostatnia zmiana wymagań dotyczących izolacyjności termicznej przegród zewnętrznych miała miejsce w roku 2008, przy okazji implementacji do prawa polskiego świadectw charakterystyki energetycznej. Znowelizowano wówczas po raz kolejny Rozporządzenie [9] i wprowadzono ograniczenie wartości współczynnika przenikania ciepła dla podłogi na gruncie do 0,45 W/(m^2·K), bez zastrzeżenia do jakiej głębokości. Ponadto „w budynku mieszkalnym, budynku zamieszkania zbiorowego, budynku użyteczności publicznej, a także budynku produkcyjnym, magazynowym i gospodarczym podłoga na gruncie w ogrzewanym pomieszczeniu powinna mieć izolację cieplną obwodową z materiału izolacyjnego w postaci warstwy o oporze cieplnym co najmniej 2,0 (m^2·K)/W, przy czym opór cieplny warstw podłogowych oblicza się zgodnie z Polską Normą dotyczącą obliczania oporu cieplnego i współczynnika przenikania ciepła". Izolacja ta w stosownej do obliczeń normie PN-EN ISO 13370:2008 [6] określana jest mianem izolacji krawędziowej pionowej i poziomej, zależnie od sposobu ułożenia.

Przy tak określonych kryteriach ze względu na ograniczenie strat ciepła, kolejnym obecnie wymaganym jest ograniczenie ryzyka rozwoju grzybów pleśniowych na wewnętrznej powierzchni nieprzezroczystej przegrody zewnętrznej.

3. UKSZTAŁTOWANIE WĘZŁA POŁĄCZENIA BUDYNKU Z GRUNTEM

Kondygnacja piwnicy może być zagłębiona całkowicie lub częściowo w gruncie. W pierwszym przypadku wejście do budynku znajduje się w poziomie parteru, nie ma jednak możliwości chociażby częściowego doświetlenia pomieszczeń piwnicy światłem dziennym. Dodatkowym utrudnieniem, jeżeli w piwnicy ma się znajdować garaż, jest długa pochylnia wjazdu, o maksymalnym nachyleniu do 25%. Rozwiązaniem będzie piwnica bez bezpośredniego dostępu do niej z zewnątrz, przy czym wówczas garaż projektuje się w poziomie parteru, na stropie piwnicy. W przypadku częściowego wyniesienia kondygnacji piwnicy ponad poziom gruntu możliwe jest doświetlenie pomieszczeń światłem dziennym oraz usytuowanie garażu w poziomie piwnicy. Mankament to podwyższone wejście do budynku i dodatkowe stopnie schodów (rys. 2).



Rys. 2. Rozwiązania wejścia do budynku podpiwniczonego
Fig. 2. The solution of entry to the building with cellar

Do analizy termicznej węzła połączenia budynku z gruntem przyjęto dwa wyżej omówione typowe sposoby zagłębienia budynku, tj. do pełnej głębokości piwnicy oraz przy częściowym zagłębieniu – tu do połowy wysokości kondygnacji (rys. 2).

Z uwagi na możliwość wykorzystania pomieszczeń piwnicy do celów innych niż pomieszczenia pomocnicze, wysokość kondygnacji piwnicy w świetle przyjęto jak dla pokoi w budynkach mieszkalnych.

W tablicy 1 zestawiono przyjęte rozwiązania materiałowe ścian zewnętrznych. Należy zauważyć, że w przypadku piwnicy wyniesionej częściowo ponad poziom gruntu, ściana piwnicy jest jednocześnie przegrodą stykającą się z gruntem i ze środowiskiem zewnętrznym, co wymusza zastosowanie odpowiedniej warstwy izolacji termicznej, zgodnie z Rozporządzeniem [9].

O grubości izolacji termicznej ściany fundamentowej piwnicy wyniesionej ponad poziom gruntu, decyduje wymagana wartość współczynnika przenikania ciepła U. Z uwagi na warunki użytkowania, tj. duże ryzyko wystąpienia zawilgocenia murów piwnicznych, materiał warstwy nośnej ściany nadziemia (ceramika poryzowana, gazobeton, silikaty), poniżej wieńca stropu piwnicy zastępuje się betonem (in situ lub bloczki). Powoduje to znaczne obniżenie współczynnika przenikania ciepła, które zrekompensować należy pogrubieniem warstwy izolacyjnej. We wszystkich rozważanych

przypadkach przyjęto grubość izolacji ściany w gruncie taką samą jak ponad gruntem. Spełnia ona jednocześnie warunek R_{min} izolacji obwodowej (tab. 1).

Tablica 1. Układy materiałowe ścian zewnętrznych
Table 1. Material arrangements of external walls

		Ściana nadziemia	Ściana piwnicy	
			ponad gruntem	w gruncie
warstwa konstrukcyjna	materiał	beton komórkowy	bloczki betonowe	
	grubość	0,24 m	0,25 m	
warstwa izolacyjna	materiał	styropian	styropian	
	grubość	0,12 m	0,165 m	
wymagania izolacyjności termicznej		U_{max} = 0,30 W/(m^2·K)	U_{max} = 0,30 W/(m^2·K)	izolacja obwodowa R_{min} = 2,0 (m^2·K)/W

Do analizy przyjęto pięć wariantów ułożenia izolacji termicznej w przegrodach stykających się z gruntem (ściana i podłoga). W pierwszym wariancie izolacja termiczna ściany jest zagłębiona 1,0 m poniżej poziomu gruntu, warstwy izolacji termicznej w podłodze brak. W wariancie drugim i trzecim, ściana piwnicy zaizolowana jest jak w wariancie pierwszym, w podłodze izolacja jest wykonana odpowiednio w pasie przyściennym szerokości 1,0 m i na całej powierzchni. W wariancie 4 i 5 ściana fundamentowa jest zaizolowana na całej swojej wysokości, natomiast w podłodze odpowiednio izolacji brak lub jest wykonana na całej powierzchni.

Izolacja termiczna ściany piwnicy całkowicie zagłębionej wynika z warunku minimalnego oporu cieplnego izolacji obwodowej. Jako taką rozumie się w tym przypadku izolację ułożoną na ścianie.

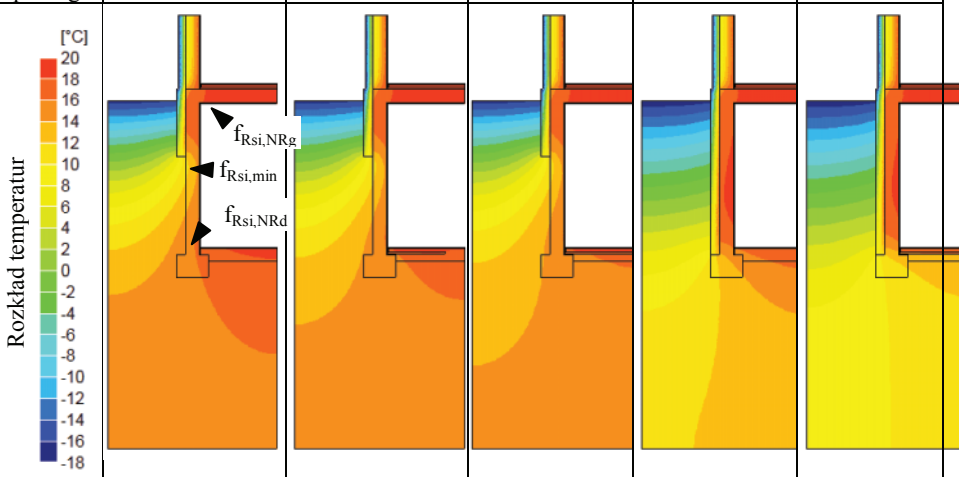
Ponieważ analiza dotyczy jedynie temperatur na powierzchni wewnętrznej przegród, obliczenia wykonano zakładając brzeg adiabatyczny we wszystkich płaszczyznach stanowiących granicę modelu gruntu oraz ściany zewnętrznej ponad gruntem, zgodnie z PN-EN ISO 13370:2008 [6] oraz pracą [10] .

4. WYNIKI OBLICZEŃ

Najwyższą temperaturę na powierzchni ściany w przypadku piwnicy całkowicie zagłębionej w gruncie otrzymuje się stosując wyłącznie izolację pionową ściany zewnętrznej do głębokości 1,0 m (tab. 2). Za najkorzystniejsze rozwiązanie, należy uznać wariant 4, w którym izolacja pionowa ułożona jest na całej wysokości ściany piwnicy, z pominięciem izolacji poziomej posadzki. Otrzymuje się tu najwyższą wartość temperatury w narożniku górnym oraz nie występuje tu miejscowe obniżenie temperatury na wysokości ściany, co ma miejsce przy zastosowaniu izolacji tylko na części wysokości. Korzystniejsze jest ono również z uwagi na wartość temperatury w narożniku dolnym, gdzie ma ona swoje minimum.

Tablica 2. Ryzyko rozwoju grzybów pleśniowych zależnie od ukształtowania izolacji termicznej w budynku z piwnicą całkowicie w gruncie

Table 2. Risk of mould growth according to configuration of thermal insulation in building with cellar completely in the ground

wariant	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Izolacja ściany w gruncie	1,0 m	1,0 m	1,0 m	całość	całość
Izolacja podłogi	brak	1,0 m	całość	brak	całość
Rozkład temperatur					
$f_{Rsi,NRg}$	0,937	0,937	0,937	**0,942**	0,942
$f_{Rsi,NRd}$	**0,913**	0,905	0,900	0,889	0,882
$f_{Rsi,min}$	0,866	0,863	0,863	$f_{Rsi,NRd}$ = **0,889**	$f_{Rsi,NRd}$ = 0,882

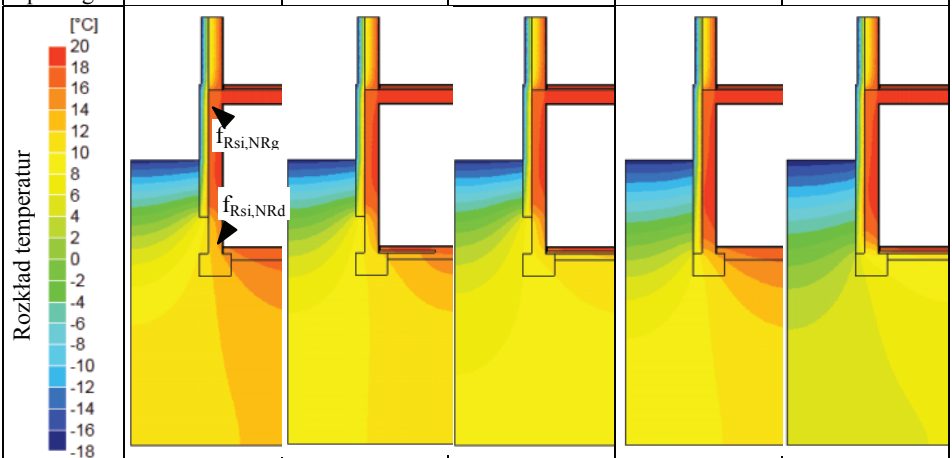
W przypadku piwnicy wyniesionej do połowy swojej wysokości ponad grunt, jednoznacznie najwyższą temperaturę na powierzchni wewnętrznej uzyskano przy zastosowaniu ciągłej izolacji pionowej ściany zewnętrznej aż do wierzchu ław fundamentowych ale bez izolacji poziomej posadzki (tab. 3). Zastosowanie tej izolacji spowodowało niewielkie obniżenie temperatury na styku ławy z posadzką ($f_{Rsi,NRd}$), podobnie jak ma to miejsce w przypadku piwnicy całkowicie zagłębionej w gruncie.

Na podstawie zamieszczonych w tablicach 2 i 3 rozkładów temperatur widać jednoznacznie, że jednoczesne ułożenie izolacji na całej wysokości ściany i szerokości podłogi, zapewnia przesunięcie izoterm niższych temperatur bezpośrednio do płaszczyzn izolacji. Oznacza to znaczne ograniczenie strat ciepła w wariancie 5 obydwu rodzajów posadowień (w stosunku do pierwszych czterech), ale także przyczynia się do powstania „wtórnego" mostka cieplnego w dolnym narożniku.

Należy jednak zauważyć, że we wszystkich rozważanych wariantach, obu przypadków posadowień budynku, nie istnieje zagrożenie przekroczenia minimalnej wartości współczynnika temperaturowego $f_{Rsi,min}$ = 0,72 wymaganego Rozporządzeniem [9].

Tablica 3. Ryzyko rozwoju grzybów pleśniowych zależnie od ukształtowania izolacji termicznej w budynku z piwnicą częściowo wyniesioną ponad poziom gruntu

Table 3. Risk of mould growth according to configuration of thermal insulation in building with cellar partly over the ground

wariant	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Izolacja ściany w gruncie	1,0 m	1,0 m	1,0 m	**całość**	całość
Izolacja podłogi	brak	1,0 m	całość	**brak**	całość
Rozkład temperatur					
$f_{Rsi,NRg}$	0,961	0,961	0,961	**0,961**	0,961
$f_{Rsi,NRd}$	0,879	0,847	0,847	**0,902**	0,869
$f_{Rsi,min}$	$f_{Rsi,NRd}$ = 0,879	$f_{Rsi,NRd}$ = 0,847	$f_{Rsi,NRd}$ = 0,847	**$f_{Rsi,NRd}$ = 0,902**	$f_{Rsi,NRd}$ = 0,869

5. PODSUMOWANIE

W praktyce projektowej coraz częściej pomieszczenia piwnicy mają pełnić funkcję nie tylko pomieszczeń pomocniczych, ale także przeznaczonych na dłuższy w nich pobyt, np. pomieszczeń hobby. Wymaga to zapewnienia odpowiedniej izolacyjności cieplnej tych nietypowych przegród zewnętrznych. W aktualnych wymaganiach Rozporządzenia [9] nie podano, jak to było wcześniej, zasięgu stosowanej izolacji. Rozważane przykłady pokazują, że zarówno ułożenie izolacji pionowej do głębokości 1,0 m jak i na całej powierzchni jest prawidłowe i nie skutkuje ryzykiem rozwoju grzybów pleśniowych. Również zastosowanie izolacji poziomej w posadzce nie jest konieczne do ograniczenia ryzyka rozwoju grzybów pleśniowych, ale przyczynia się do ograniczenia strat ciepła z budynku.

LITERATURA

[1] PN-74/B-03464 Ogrzewnictwo. Współczynniki przenikania ciepła K dla przegród budowlanych.
[2] PN-82/B-02020 Ochrona cieplna budynków. Wymagania i obliczenia.

[3] PN-91/B-02020 Ochrona cieplna budynków. Wymagania i obliczenia.
[4] PN-EN 12831:2006 Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.
[5] PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
[6] PN-EN ISO 13370:2008 Cieplne właściwości użytkowe budynków. Przenoszenie ciepła przez grunt. Metody obliczania.
[7] PN-EN ISO 13788:2003 Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa. Metody obliczania.
[8] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 30 września 1997 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU nr 132, poz. 878).
[9] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU nr 75, poz. 690, z późniejszymi zmianami).
[10] Wesołowska M., Hołownia P., 2004. Granice modelu przy analizie wymiany ciepła przez grunt. VII Konferencja Naukowo-Techniczna ENEGODOM 2004, Kraków-Zakopane.
[11] Wesołowska M., Szczepaniak P., 2009. Nowe wymagania w ocenie wilgotnościowej przegród. VI Sympozjum Budownictwo Ogólne. Zagadnienia konstrukcyjne, materiałowe i cieplno-wilgotnościowe w budownictwie, Bydgoszcz.
[12] Zembrowski J., 2008: Ocieplenia fundamentów i podłóg na gruncie w budynkach energooszczędnych. Izolacje 5.

THE THERMAL PROJECTING OF JOIN OF CONNECTION WITH GROUND IN BUILDING WITH THE CELLAR

Summary. The article presents the examples of thermal insulation of external partitions in building with the cellar.

5. CHARAKTERYSTYKA PARAMETRÓW CIEPLNYCH ZŁĄCZY ŚCIAN ZEWNĘTRZNYCH BUDYNKÓW NISKOENERGETYCZNYCH

1. WPROWADZENIE

Projekt znowelizowanego Rozporządzenia [10] wprowadza m.in. nowe (niższe od obowiązujących obecnie) wartości maksymalnych, wartości współczynnika przenikania ciepła U [W/(m^2·K) dla przegród zewnętrznych budynków. W następstwie wprowadzenia zaostrzonych wymagań w zakresie izolacyjności termicznej przegród zewnętrznych i budynków dążąc do spełnienia standardu **budynku energooszczędnego** i **budynku pasywnego** pojawiają się nowoczesne rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne.

Niezbędne staje się więc opracowanie wytycznych projektowych w zakresie projektowania przegród zewnętrznych i ich złączy budynków niskoenergetycznych, co stało się głównym celem pracy.

2. CHARAKTERYSYKA BUDNKÓW NISKOENERGETYCZNYCH

Zdefiniowanie budynku energooszczędnego w warunkach polskich dotychczas nie uzyskało konsensusu. Często uważa się, że nowo projektowane budynki są energooszczędne. Jednak doświadczenia wskazują na to, że przyjmowane rozwiązania odpowiadają zazwyczaj minimalnym wymaganiom prawnym w zakresie izolacyjności cieplnej. Energochłonność budynku określa się za pomocą wskaźnika zapotrzebowania na ciepło do ogrzania budynku [kWh/(m^2·rok)]. Według pracy [13] za energooszczędne można uznać budynki, które charakteryzują się powierzchniowym wskaźnikiem sezonowego zapotrzebowania na ciepło poniżej 100 kWh/(m^2·rok). Wśród grupy budynków energooszczędnych wyróżnia się także budynki niskoenergetyczne i pasywne. O klasyfikacji budynku do grupy budynków energooszczędnych decyduje wiele czynników (rys. 1).

Wymagania w zakresie ochrony cieplno-wilgotnościowej zmieniają się i mają na celu minimalizację strat ciepła oraz ryzyka występowania rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych przy określaniu następujących, podstawowych parametrów:

- dla pojedynczych przegród – współczynnik przenikania ciepła **U** [W/(m^2·K)], który powinien być mniejszy bądź równy względem wartości maksymalnych podanych w Rozporządzeniu [11], [10],
- dla całego budynku – wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną **EP** [kWh/(m^2·rok)] wg Rozporządzenia [12], normy PN-EN ISO 13790:2009 [9], który powinien być mniejszy bądź równy wobec wartości maksymalnych podanych w Rozporządzeniu [11], [10],
- w miejscu mostka cieplnego – czynnik temperaturowy f_{Rsi} w celu sprawdzenia ryzyka występowania pleśni i grzybów pleśniowych wg normy PN-EN ISO 13788:2003 [8].

KRZYSZTOF PAWŁOWSKI
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

Trwałość i niezawodność obudowy budynków niskoenergetycznych jest efektem współdziałania konstrukcyjnego poszczególnych materiałów występujących w przegrodach i ich złączach oraz dobrego wykonawstwa. W pracy ograniczono się do analizy w zakresie charakterystyki parametrów cieplnych ścian zewnętrznych i ich złączy budynków w standardzie niskoenergetycznym.

- **Architektura budynku:**
  - usytuowanie budynku względem stron świata
  - zwarta bryła budynku (minimalny współczynnik kształtu A/V)
  - wielkość i usytuowanie przegród przeźroczystych
  - rozmieszczenie pomieszczeń
  - geometria dachu

- **Rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe przegród budowlanych i ich złączy:**
  - stosowanie materiałów wysokiej jakości
  - stosowanie nowoczesnych materiałów izolacyjnych, np. aerożele, panele próżniowe, izolacje transparentne
  - szkoła projektowania złączy budowlanych w aspekcie cieplno-wilgotnościowym z zastosowaniem narzędzi numerycznych

- **Izolacyjność termiczna przegród budowlanych:**
  - grubość izolacji cieplnej powyżej **25 – 30** cm
  - uzyskanie wartości współczynnika przenikania ciepła $\mathbf{U \leq 0{,}10}$ W/(m^2·K) dla przegród nieprzeźroczystych oraz $\mathbf{U \leq 1{,}00}$ W/(m^2·K) dla przegród przeźroczystych

- **Rodzaj i sprawność systemu wentylacji:**
  - wentylacja hybrydowa lub mechaniczna z odzyskiem ciepła
  - wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła i gruntowym wymiennikiem ciepła
  - wysoka sprawność systemu (powyżej 70%)

- **Rodzaj i sprawność systemu c.o. i c.w.u.:**
  - niskotemperaturowy
  - dogrzewanie powietrza nawiewnego
  - zastosowanie źródeł odnawialnych, szczególnie ze źródeł wytwarzanych na miejscu lub w otoczeniu

- **System zarządzania budynkiem, który pozwala również sterować produkcją energii**

Rys. 1. Czynniki kształtujące budynek niskoenergetyczny – opracowanie własne na podstawie [4, 13]

Fig. 1. Factors affecting low-energy building – author's eleboration based on [4, 13]

3. BADANIA I OBLICZENIA WŁASNE

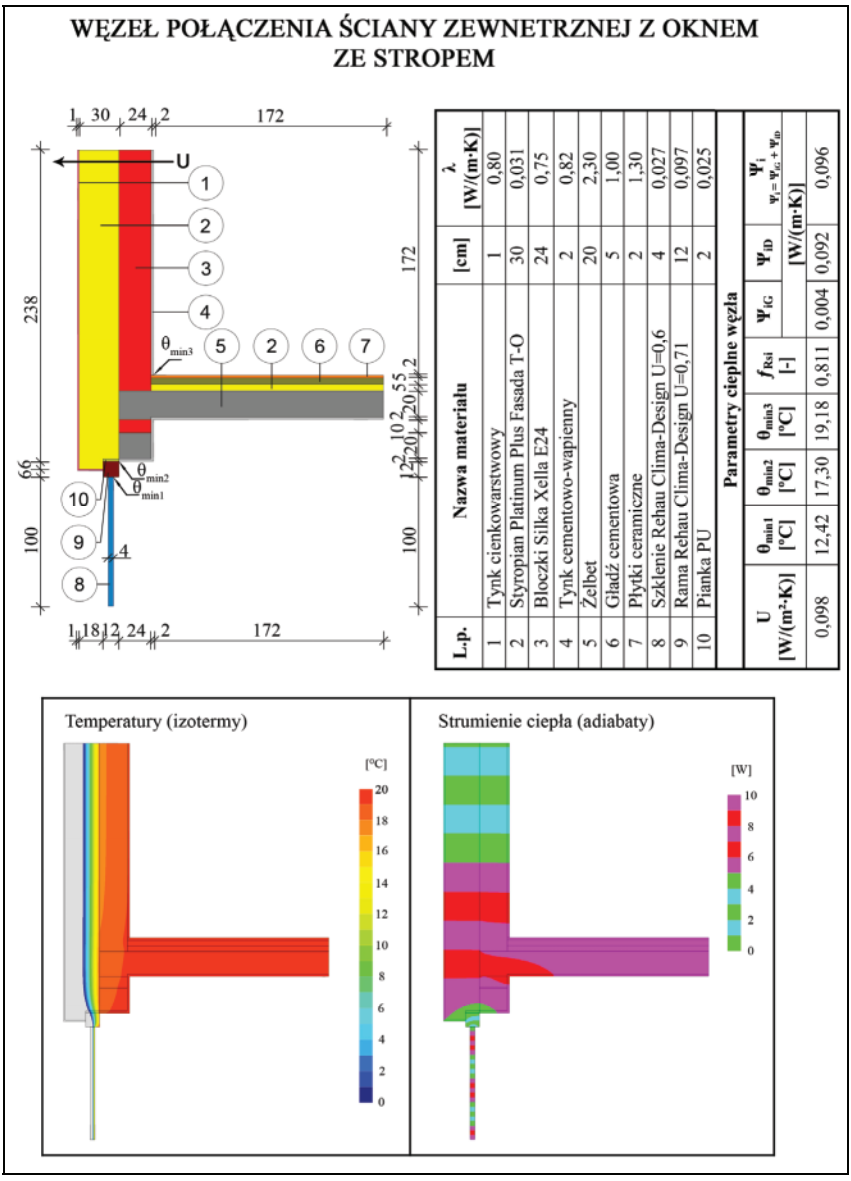
W pierwszym etapie obliczono parametry cieplne dla 7 wybranych złączy (tab. 1) ściany zewnętrznej dwuwarstwowej (bloczek wapienno-piaskowy 24 cm + styropian) w dwóch wariantach: **I** – budynek tradycyjny (styropian gr. 15 cm), **II** – budynek niskoenergetyczny (styropian 30 cm). Do obliczeń przyjęto następujące założenia:

- budynek zlokalizowany w Toruniu, (t_i = + 20^{o}C, t_e = - 20^{o}C),
- wartości współczynników przewodności cieplnej materiałów budowlanych λ [W/(m·K)] przyjęto na podstawie normy PN-EN 12524:2003 [5], tablic w [2],
- współczynniki przenikania ciepła U [W/(m^2·K)] obliczono zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [6],
- warunki przejmowania ciepła na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni przegrody przyjęto zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [6] dla obliczenia wielkości strumieni cieplnych oraz zgodnie z PN-EN ISO 13788:2003 [8] przy obliczaniu temperatur i czynnika temperaturowego f_{Rsi}`,
- modelowanie analizowanych złączy wykonano zgodnie z zasadami sformułowanymi w PN-EN ISO 10211:2008 [7].

Procedury obliczania złączy budowlanych wymagają ustalenia zasad modelowania, czyli ustalenia kryteriów geometrycznych, instrukcji ustalenia wartości przewodności cieplnej materiałów, warunków brzegowych, sposobu i metod obliczeń, metodykę określania rozkładu temperatur [2].

Wykonanie obliczeń przy użyciu programu komputerowego TRISCO jest możliwe po określeniu modeli geometrycznych. Uzyskuje się je przez podział budynku na wiele części za pomocą tzw. płaszczyzn wycięcia. Podziału należy dokonać w taki sposób, aby wyniki uzyskane dla przyjętych modeli nie różniły się istotnie od wyników, jakie otrzyma się traktując budynek jako całość. Każdy model geometryczny złącza składa się z elementu bądź elementów centralnych, elementów bocznych oraz, jeśli jest to konieczne, podłoża. Pojedynczy model zawsze jest ograniczony płaszczyznami przekroju i może zawierać więcej niż jeden mostek cieplny.

Na rysunku 2 przedstawiono przykładową kartę katalogową złącza ściany zewnętrznej budynku niskoenergetycznego. Wyniki obliczeń parametrów cieplnych wybranych złączy ścian zewnętrznych zestawiono w tabeli 1.



L.p.	Nazwa materiału	[cm]	λ [W/(m·K)]
1	Tynk cienkowarstwowy	1	0,80
2	Styropian Platinum Plus Fasada T-O	30	0,031
3	Bloczki Silka Xella E24	24	0,75
4	Tynk cementowo-wapienny	2	0,82
5	Żelbet	20	2,30
6	Gładź cementowa	5	1,00
7	Płytki ceramiczne	2	1,30
8	Szklenie Rehau Clima-Design U=0,6	4	0,027
9	Rama Rehau Clima-Design U=0,71	12	0,097
10	Pianka PU	2	0,025

Parametry cieplne węzła							
U [W/(m²·K)]	θ_{min1} [°C]	θ_{min2} [°C]	θ_{min3} [°C]	f_{Rsi} [-]	Ψ_{IG}	Ψ_{ID}	Ψ_i $\Psi_i = \Psi_{IG} + \Psi_{ID}$ [W/(m·K)]
0,098	12,42	17,30	19,18	0,811	0,004	0,092	0,096

Rys. 2. Przykładowa karta katalogowa – źródło [3]

Fig. 2. Sample of catalogue card – source [3]

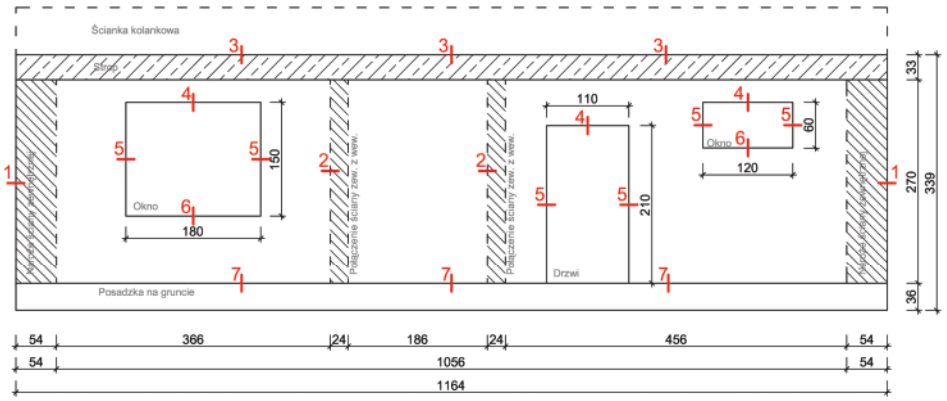
W drugim etapie obliczeń określono wpływ mostków cieplnych na wartość współczynnika przenikania ciepła $\mathbf{U_k}$ [W/(m^2·K)] wybranej ściany zewnętrznej budynku (rys. 3). Wyniki obliczeń wg własnych algorytmów obliczeniowych przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 1. Wyniki obliczeń parametrów cieplnych złączy ścian zewnętrznych – opracowanie własne na podstawie [1, 3]

Table 1. The results of calculations of thermal parameters in external walls' joints – author's eleboration based on [1, 3]

Lp.	Liniowy mostek cieplny	wariant I U = 0,226 [W/(m²·K)]		wariant II U = 0,098 [W/(m²·K)]	
		Ψ_i [W/(m·K)]	f_{Rsi} [-]	Ψ_i [W/(m·K)]	f_{Rsi} [-]
M1	Węzeł naroża ściany zewnętrznej	0,109	0,877	0,061	0,944
M2	Węzeł połączenia ściany zewnętrznej z wewnętrzną	0,065	0,944	0,027	0,976
M3	Węzeł połączenia ściany zewnętrznej ze stropem	0,020 G) 0,070 D)	0,945	0,007 G) 0,026 D)	0,976
M4	Węzeł połączenia ściany z oknem w przekroju przez nadproże	0,078	0,819	0,053	0,811
M5	Węzeł połączenia ściany z oknem w przekroju przez ościeżnicę	0,062	0,812	0,054	0,810
M6	Węzeł połączenia ściany z oknem w przekroju przez podokiennik	0,069	0,818	0,053	0,809
M7	Węzeł połączenia ściany zewnętrznej z posadzką na gruncie	0,181 śc.) 0,808 g)	0,814	0,124 śc.) 0,390 g)	0,908

- dla M3 obliczono wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ_i [W/(m·K)] dla górnej części złącza (G) i dolnej części złącza (D)
- dla M7 obliczono wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ_i [W/(m·K)] dla części ściany zewnętrznej (śc.) i części podłogi na gruncie (g)



Rys. 3. Wytypowana do obliczeń ściana zewnętrzna budynku – źródło [3]

Fig. 3. External wall of building selected for calculations- source [3]

Tabela 2. Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła $\mathbf{U_k}$ ściany zewnętrznej z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych – opracowanie własne

Table 2. The results of calculations of heat transmittance $\mathbf{U_k}$ in external wall including linear thermal bridges- author's eleboration

Parametry obliczeniowe		wariant	
		I	**II**
• krok I	obliczenie współczynnika przenikania ciepła $\mathbf{U_c}$ [W/(m^2·K)] zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008	**0,226**	**0,098**
• krok II	obliczenie pola powierzchni ściany uczestniczącej w przenikaniu w świetle przegród do niej prostopadłych, pomniejszone o pole powierzchni okien i drzwi obliczone w świetle ościeżnicy $\mathbf{A_i}$ [m^2]	21,49	21,49
• krok III	identyfikacja mostków cieplnych – tabela 1, rys. 3		
• krok IV	obliczenie strat ciepła przez pełną ścianę: $\mathbf{U_{ci} \cdot A_i}$ [W/K]	4,86	2,10
• krok V	obliczenie strat ciepła wynikających z występowania mostków cieplnych: $\mathbf{\Sigma \Psi_i \cdot l_i}$ [W/K]	4,34	2,73
• krok VI	obliczenie bezpośredniego współczynnika 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]	9,20	4,83
• krok VII	obliczenie pole powierzchni ściany zewnętrznej parteru w osiach przegród do niej prostopadłych $\mathbf{A_0}$ [m^2]	27,68	27,68
• krok VIII	współczynnik przenikania ciepła $\mathbf{U_k}$ [W/(m^2·K)] z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych $\mathbf{U_k = H_D/A_0}$	**0,33**	**0,17**

4. ANALIZA OTRZYMANYCH WYNIKÓW OBLICZEŃ

Podstawowymi charakterystycznymi parametrami ścian zewnętrznych i ich złączy są:

- współczynnik przenikania ciepła **U** [W/(m^2·K)], określający stratę ciepła przez płaską (pełną) ścianę zewnętrzną,
- liniowy współczynnik przenikania ciepła $\mathbf{\Psi_i}$ [W/(m·K)], określający dodatkowe straty ciepła, wynikające z występowania mostków cieplnych,
- czynnik temperaturowy $\boldsymbol{f_{Rsi}}$ [-], służący do oceny występowania kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody (ryzyka rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych) w miejscu mostka cieplnego.

Analiza uzyskanych wyników wartości parametrów cieplnych (tab. 1, 2) dla dwóch wariantów ścian zewnętrznych (**I** – budynek tradycyjny, **II** – budynek niskoenergetyczny) pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

- Złącza ściany zewnętrznej w standardzie niskoenergetycznym (wariant **II**) charakteryzują się niższymi wartościami liniowego współczynnika przenikania ciepła $\mathbf{\Psi_i}$ [W/(m·K)] niż w przypadku budynku tradycyjnego (wariant **I**). Mimo znacznej grubości izolacji cieplnej (30 cm) w miejscu mostka cieplnego generowane są dodatkowe straty ciepła, określone w postaci współczynnika $\mathbf{\Psi}$ [W/(m·K)]. Częste pomijanie wpływu mostków cieplnych w obliczeniach jest nieuzasadnione.

- Na podstawie wartości czynnika temperaturowego f_{Rsi} można stwierdzić, że w analizowanych złączach (tab. 1) nie występuje ryzyko rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych. We wszystkich analizowanych złączach zachowany jest warunek uniknięcia kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody (ryzyka rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych) $f_{Rsi} \geq f_{Rsi(kryt.)}$. Wartość graniczna (krytyczna) czynnika temperaturowego, uwzględniając parametry powietrza wewnętrznego i zewnętrznego, analizowanych wariantów obliczeniowych, wynosi $f_{Rsi(kryt)} = \mathbf{0,778}$.
- Udział mostków cieplnych w stratach ciepła przez analizowaną ścianę zewnętrzną jest znaczący (tab. 3). Należy podkreślić, że procentowy udział mostków cieplnych w całkowitych stratach ciepła zależy od geometrii przegrody (np. wielkość i ilość otworów okiennych).

Tabela 3. Analiza porównawcza start ciepła przez ścianę zewnętrzną

Table 3. Comparative analysis of the heat loss through the external wall

Charakterystyczne parametry	**wariant I**	**wariant II**
Straty ciepła przez pełną ścianę zewnętrzną: $\mathbf{U_{ci} \cdot A_i}$ [W/K]	4,86 (53%)	2,10 (43,5%)
Straty ciepła wynikające z występowania mostków cieplnych: $\mathbf{\Sigma \Psi_i \cdot l_i}$ [W/K]	4,34 (47%)	2,73 (56,5%)
Całkowite straty ciepła przez ścianę zewnętrzną: $\mathbf{H_D = U_{ci} \cdot A_i + \Sigma \Psi_i \cdot l_i}$ [W/K]	9,20 (100%)	4,83 (100%)

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Projektowanie budynków niskoenergetycznych jest zagadnieniem złożonym. Zapotrzebowanie na energię w budynku, jako podstawowego parametru definiującego budynki energooszczędne i pasywne, kształtuje się na etapie jego projektowania, wykonywania i eksploatowania.

Kompleksowa ocena obudowy budynku (przegród zewnętrznych) powinna dotyczyć przegród ale także ich złączy. Dobór materiałów konstrukcyjnych i izolacyjnych nie powinien być przypadkowy, ale oparty na podstawie szczegółowych obliczeń i analiz. Szczególne znaczenie ma poprawne zaprojektowanie złączy przegród zewnętrznych w zakresie zminimalizowania strat ciepła oraz wyeliminowania ryzyka kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody.

Programy komputerowe dają możliwość wykonania dokładnych obliczeń, przy uwzględnieniu podstawowych parametrów, kształtujących charakterystykę cieplno-wilgotnościową złączy przegród zewnętrznych. Istnieje potrzeba prowadzenia dalszych obliczeń, w celu opracowania profesjonalnego katalogu mostków cieplnych budynków niskoenergetycznych.

LITERATURA

[1] Dybowska M., 2012. Analiza numeryczna parametrów cieplnych wybranych przegród zewnętrznych budynku i ich złączy. Praca magisterska, UTP Bydgoszcz.

[2] Dylla A., 2009. Praktyczna fizyka cieplna budowli – Szkoła projektowania złączy budowlanych. Wyd. Uczeln. UTP w Bydgoszczy.

[3] Grykałowski T., 2010. Studium projektowe słabych miejsc w pasywnych budynkach jednorodzinnych. Praca magisterska, UTP Bydgoszcz.
[4] Ligęza W., Dębowski J., Fedorczak-Cisak M., 2011. Techniczne problemy projektowania przegród zewnętrznych w budynkach pasywnych. W: Budownictwo ogólne, Wyd. Uczeln. UTP w Bydgoszczy.
[5] PN-EN 12524:2003 Materiały i wyroby budowlane. Właściwości cieplno-wilgotnościowe. Tabelaryczne wartości obliczeniowe.
[6] PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
[7] PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.
[8] PN-EN ISO 13788:2003 Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa. Metody obliczania.
[9] PN-EN ISO 13790:2009 Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia.
[10] Projekt rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej zmieniającego rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie
[11] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
[12] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6.11.2008 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 ich charakterystyki energetycznej.
[13] Żurawski J., 2008. Dlaczego energooszczędność? IZOLACJE.

THERMAL PARAMETERS CHARACTERIZATION OF EXTERNAL WALLS JOINTS IN LOW-ENERGY BUILDINGS

Summary. The paper presents the characterization of external walls joints in low- energy building. Thermal bridges impact on heat looses in building partition was analyzed.

6. DOCIEPLANIE PRZEGRÓD ZEWNĘTRZNYCH OD WEWNĄTRZ MATERIAŁY, TECHNOLOGIE I PROJEKTOWANIE

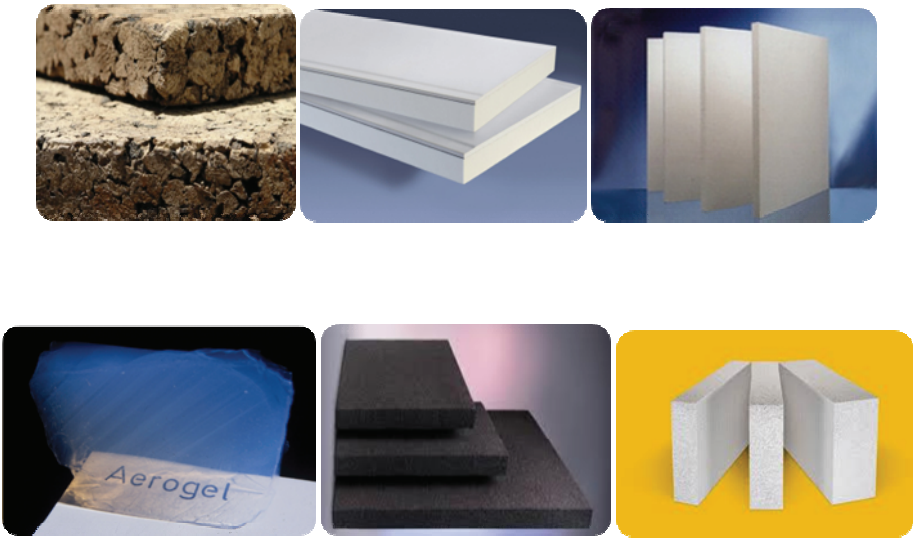
1. WPROWADZENIE

Istniejące budynki w większości przypadków nie spełniają aktualnych standardów w zakresie izolacyjności termicznej. Wykonanie izolacji cieplnej od strony zewnętrznej jest metodą docieplania stosowaną z powodzeniem od szeregu lat. Istnieją jednak pewne ograniczenia wykorzystania powyższych technologii, chociażby w przypadku obiektów o zabytkowym charakterze elewacji. Jako rozwiązanie alternatywne poprawy stanu ochrony cieplnej ścian zewnętrznych w tego rodzaju obiektach pozostaje wykonanie izolacji cieplnej od strony wewnętrznej. Takie rozwiązanie ma jednak pewne wady. Na skutek niskiej temperatury otoczenia spada znacznie temperatura wewnątrz przegrody, powodując w konsekwencji kondensację na styku warstwy konstrukcyjnej i izolacji cieplnej. Wówczas zależnie od warunków cieplno-wilgotnościowych panujących w pomieszczeniu, parametrów technicznych przegrody i sposobu wykończenia jej powierzchni wewnętrznej, w krótszym lub dłuższym czasie dochodzi do pogorszenia komfortu użytkowego takiego wnętrza. W analizowanym rozwiązaniu ściany zewnętrzne przestają akumulować ciepło, co niekorzystnie wpływa na mikroklimat pomieszczeń. Innym problemem pozostaje kwestia mostków termicznych, trudnych do wyeliminowania w ociepleniach od wewnątrz.

2. STOSOWANE ROZWIAZANIA MATERIAŁOWO-TECHNOLOGICZNE

Wśród stosowanych rozwiązań materiałowych można wyróżnić rozwiązania tradycyjne, w których wykorzystane są klasyczne materiały termoizolacyjne z uwzględnieniem rozwiązań technicznych, pozwalających zapobiegać zawilgoceniu przegrody oraz rozwiązania na bazie nowoczesnych materiałów ociepleniowych (rys. 1).

TOMASZ STEIDL, BOŻENA ORLIK-KOŻDOŃ
Politechnika Śląska



Rys. 1. Nowoczesne materiały termoizolacyjne 1) płyty korkowe, 2) płyty poliuretanowe, 3) płyty klimatyczne, 4)aerogel, 5) szkło piankowe, 6) płyty hydroaktywne [8]

Fig. 1. Modern isolation materials 1) cork boards, 2) polyurethane boards, 3) climatic boards, 4) aerogel, 5) expanded glass, 6) hydroactive boards [8]

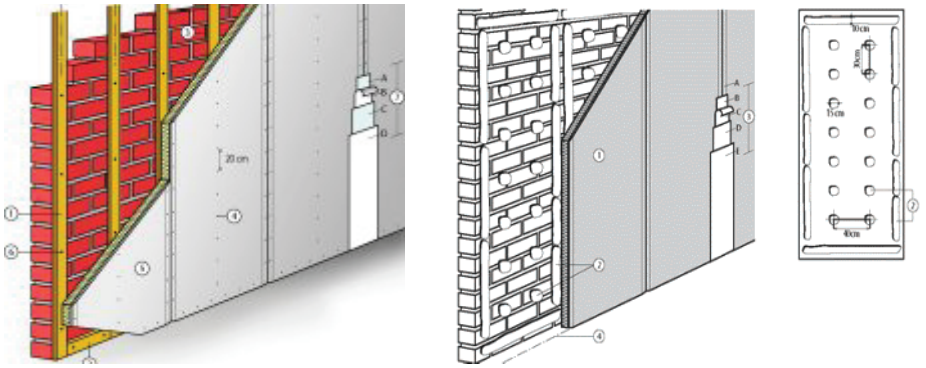
Technologie tradycyjne wykorzystują w swoich rozwiązaniach, m.in. styropian i wełnę mineralną. Na ocieplanej powierzchni wykonywana jest lekka konstrukcja z systemowych profili metalowych lub ruszt drewniany. Przestrzeń między elementami podkonstrukcji wypełnia się płytami termoizolacyjnymi w sposób najbardziej ścisły. Ocieplenie tego rodzaju powinno być szczelnie osłonięte warstwą skutecznej paroizolacji i wykończone płytami gipsowo-kartonowymi lub alternatywnie – dla styropianu (polistyrenu ekstradowanego), tynkiem cienkowarstwowym (rys. 2).

Rys. 2. Ocieplenie ściany zewnętrznej z użyciem wełny mineralnej [8]

Fig. 2. Thermal insulation of external wall with use of mineral wool [8]

W rozwiązaniach z zastosowaniem nowoczesnych materiałów wyróżnić można dwie metody [7]:
- ocieplenie ze szczelną barierą paroizolacyjna od strony wnętrza,
- systemy, które gwarantują swobodny przepływ strumienia dyfuzji przez przegrodę.

W szczelnych systemach z barierą paroizolacyjną najczęściej stosowane są płyty ociepleniowe z pianki poliuretanowej o niskim współczynniku przewodności cieplnej λ = 0,023-0,030 [W/mK], jedno- lub obustronnie pokryte paroizolacyjna powłoką metaliczną lub papierem mineralnym z powłoką antydyfuzyjną. Grubość płyt jest w zakresie od 2 do12 cm i zmienia się w zależności od producenta. Wybór sposobu montażu uzależniony jest w dużej mierze od rodzaju podłoża jak również wymogów budowlanych. Mogą być klejone bezpośrednio do podłoża klejem gipsowym (lub systemowym) albo mocowane z użyciem profili listwowych. Po zamocowaniu płyt ich styki są zamykane przed dyfuzją pary wodnej samoprzylepną taśmą uszczelniającą lub specjalnym kitem uszczelniającym. Warstwę wykończeniową można wykonać jako tynki cienkowarstwowe z siatką lub tapety ocieplające o gr. 3-4 mm (rys. 3).



Rys. 3. Montaż płyt poliuretanowych: a) mocowanych na ruszcie, b) klejonych bezpośrednio do podłoża [8]

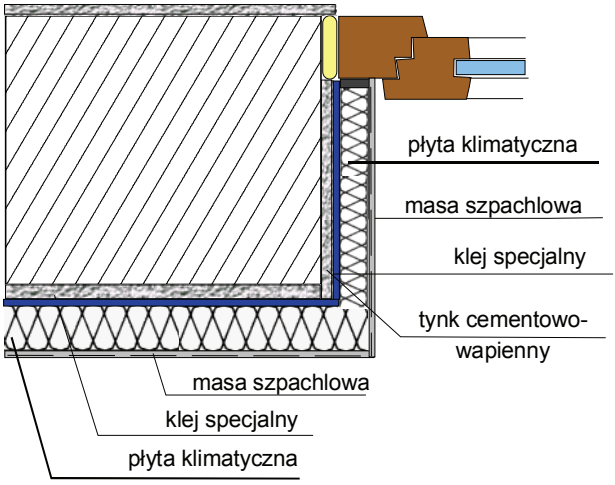
Fig. 3. Polyurethane boards assembly: a) grill mounted, b) glued directly to the surface [8]

W tego typu rozwiązaniach zastosowanie znajduje również szkło piankowe. Jego przewodność cieplna wynosi λ = 0,038-0,040 [W/m·K]. Grubość dostosowywana jest do obowiązujących wymagań cieplnych. Przykleja się je całopowierzchniowo do ścian murowych, żelbetowych i innych. Zaszpachlowaną powierzchnie płyt można pokryć tynkiem, płytkami ceramicznymi. Systemy z paroizolacją od strony wnętrza sprawdzają się najlepiej w obiektach o wysokiej wilgotności. W związku z całkowitym uniemożliwieniem dyfuzji pary wodnej przez powierzchnię należy zapewnić najwyższą efektywność instalacji wentylacyjnej.

Drugą grupą nowoczesnych ociepleń wewnętrznych są systemy, w których stosowane są płyty o porowatej strukturze i wysokiej przepuszczalności pary wodnej określane jako płyty klimatyczne lub hydroaktywne: płyty wapienno-krzemianowe, płyty perlitowe, z autoklawizowanego betonu komórkowego [1, 7, 9].

Płyty klimatyczne [1] w postaci płyt samonośnych są materiałem niewymagającym usztywnień montażowych, a jedynie dokładnego przyklejenia do ocieplanej powierzchni. Płyty o wymiarach 125 x 100 cm i grubości od 2,5 do 5 cm produkowane są z silikatu wapiennego. Kryształki silikatu tworzą mikroporowaty szkielet, co umożliwia uzyskanie wysokich właściwości kapilaryzacyjnych materiału.

W przypadku wytworzenia się wilgoci pod warstwą ocieplenia nie ma ryzyka wystąpienia zagrzybienia muru i degradacji izolacji. Płyta klimatyczna, dzięki swojej aktywności kapilarnej, pochłania wilgoć i rozmieszcza ją na całej swojej powierzchni, skąd zostaje ona odparowana. Materiał ten nie traci przy tym swoich właściwości termoizolacyjnych, jest niepalny, bezemisyjny i w naturalny sposób, dzięki pH = 10 ma właściwości antygrzybiczne (rys. 4). Podobnymi właściwościami charakteryzuje się klej służący do mocowania płyt do ścian i wzajemnych połączeń między nimi [8].



Rys. 4. Ocieplenie przegrody z użyciem płyt klimatycznych. Klejenie nietypowego ośnieża. Likwidacja mostka termicznego [1]

Fig. 4. Thermal insulation of bulkhead with use of climatic boards. Glueing of non-typical snow cover. Liquidation of heat leakage bridge [1]

Materiałem zalecanym do ocieplenia ścian od strony wewnętrznej jest także lekki beton komórkowy [9]. Są to mineralne płyty izolacyjne wykonane z bardzo lekkiej odmiany betonu komórkowego o gęstości do 115 kg/m^3. Materiał ten ma zdolność do chłonięcia wilgoci z powietrza oraz bardzo szybkiego wysychania. Wobec powyższego zalecany jest jako izolacja cieplna od wewnątrz. Współczynnik przewodzenia ciepła w stanie suchym, $\lambda_{10,dry}$ wynosi 0,042 W/(m·K). Wartość obliczeniowa, λ_D = 0,043 W/(m·K). Płyty te charakteryzują się bardzo niskim oporem dyfuzyjnym (współczynnik oporu dyfuzyjnego μ = 3).

Oznacza to, że para wodna ma możliwość swobodnego wnikania w porowatą strukturę płyt. W kondensacji pary wodnej w przegrodzie istotną właściwością jest zdolność do oddawania wilgoci do otoczenia. Wzrost wilgotności otoczenia (powietrza) powoduje, że w każdym materiale wzrasta zawartość wilgoci na skutek sorpcji.

Cząsteczki pary wodnej transportowanej przez pory materiału mogą osadzać się na ścianach porów wewnątrz materiału na skutek (słabych) oddziaływań van der Waalsa. W efekcie na powierzchni ścian porów powstaje jedno- lub wielowarstwowy film cząsteczek wody.

Zjawisko to zachodzi w zakresie do 95% wilgotności względnej. Wzrost wilgotności materiału wraz ze wzrostem wilgotności powietrza opisuje krzywa sorpcji. Krzywa desorpcji odnosi się do sytuacji odwrotnej, tzn. spadku zawartości wilgoci w materiale, na skutek spadku wilgotności względnej otoczenia. Im mniejsza różnica krzywej histerezy sorpcji-desopcji, tym wyższa zdolność materiału do oddawania gromadzonej wilgoci [3]. Przedmiotowe płyty wykazują się takimi właściwościami [9] (rys. 5).

Rys. 5. Wykorzystanie bloków z betonu komórkowego w termo renowacji: a) spichlerz w Gorzowie Wielkopolskim (konstrukcja wg muru pruskiego) b) wieża ciśnień w Radomiu (ściany z cegły pełnej) [9]

Fig. 5. Use of cellular concrete blocks in thermorenovation: a) the granary at Gorzów Wielkopolski (Prussian wall construction), b) the water tower at Radom (common brick wall) [9]

Za izolację hydroaktywną uznaje się również płyty z pianki poliuretanowej z perforowaną siecią otworów kapilarnych wypełnionych paro przepuszczalna masą mineralną. Wykończenie powierzchni płyt wykonywane jest w postaci mineralnych tynków cienkowarstwowych [7].

Prawidłowe funkcjonowanie ocieplenia tego typu wymaga wysokiej paroprzepuszczalności pozostałych warstw przegrody. W przypadku pomieszczeń mieszkalnych lub przeznaczonych na długotrwały pobyt ludzi, ze względu na naturalną regulację wilgotności wnętrza wynikającą ze swobodnego przepływu pary przez warstwy ocieplenia, jest to rozwiązanie korzystniejsze niż ocieplenie z paroizolacją. Niepalność stosowanych materiałów (klasa A1) powoduje ponadto, że są stosowane w obrębie dróg ewakuacyjnych i stref pożarowych.

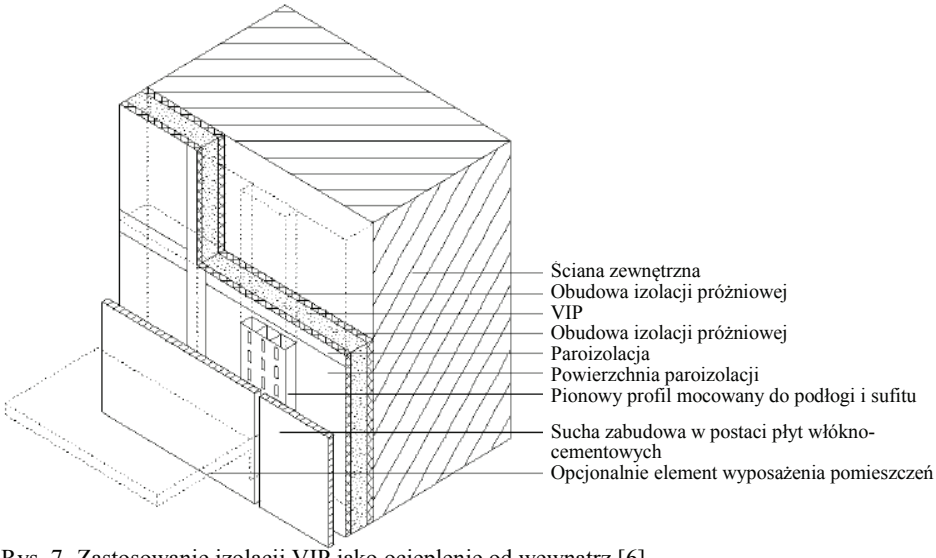
Klasyczne izolacje cieplne to materiały nieprzeźroczyste o niskim współczynniku przewodzenia ciepła. Ich podstawowym zadaniem jest ograniczenie strumienia ciepła. Izolacja transparentna jest izolacją, której zadaniem jest nie tylko ograniczenie strat ciepła przez zewnętrzną przegrodę budowlaną ale również możliwość przekazania światła słonecznego do wnętrza budynku. Obecnie stosowane są trzy systemy, które można zakwalifikować jako systemy izolacyjne z pozyskiwaniem energii słonecznej: oszklenie trzyszynowe z wypełnieniem kryptonem, obecnie rzadko stosowane jako forma izolacji transparentnej; granulat z aerożelu krzemionkowego umieszczony pomiędzy dwoma taflami szklanymi zespolonymi; struktury komórkowe, lub kapilarne z tynkiem szklanym z absorberem pozyskującym energię słoneczną [5].

Aerożel to materiał będący rodzajem sztywnej piany o wyjątkowo małej gęstości, składający się w 90-99,8% z powietrza, resztę stanowi żel tworzący nanostrukturę. Współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda = 0{,}018$ [W/m·K]. Izolacje z aerożelem produkowane są również w postaci technicznych izolacji nieprzeźroczystych o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0{,}013$ W/mK. Poniżej przedstawiono fotografie rozwiązania izolacji termicznej zagrzejnikowej w postaci płyt aerożelu.

Literatura przedmiotu przedstawia przykłady ocieplenia od wewnątrz za pomocą izolacji próżniowej (tzw. modułowy system ocieplenia od wewnątrz). Analizowana przegroda zewnętrza w postaci ceramiki została ocieplona płytami izolacji VIP obustronnie zabezpieczonymi poprzez płytę wiórową lub włóknocementową.

Rozwiązania z zastosowaniem izolacji próżniowej zdobywają coraz więcej zwolenników w obiektach biurowych w dużych centrach miast, gdzie istotnym czynnikiem jest jak największe zmniejszenie grubości termoizolacji, kosztem utraty powierzchni biurowej (rys. 6, 7).

Rys. 6. Zastosowanie izolacji z aerożelu w miejscu pocienienia ściany zewnętrznej [2]
Fig. 6. Use of insulation from aerogel in place of external wall thinning [2]



Rys. 7. Zastosowanie izolacji VIP jako ocieplenie od wewnątrz [6]
Fig. 7. Use of VIP insulation as an internal thermal insulation [6]

3. PROJEKTOWANIE IZOLACJI CIEPLNEJ OD WEWNĄTRZ

Zgodnie z wymogami rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie na wewnętrznej powierzchni przegrody zewnętrznej nie może występować kondensacja pary wodnej umożliwiająca rozwój grzybów pleśniowych.

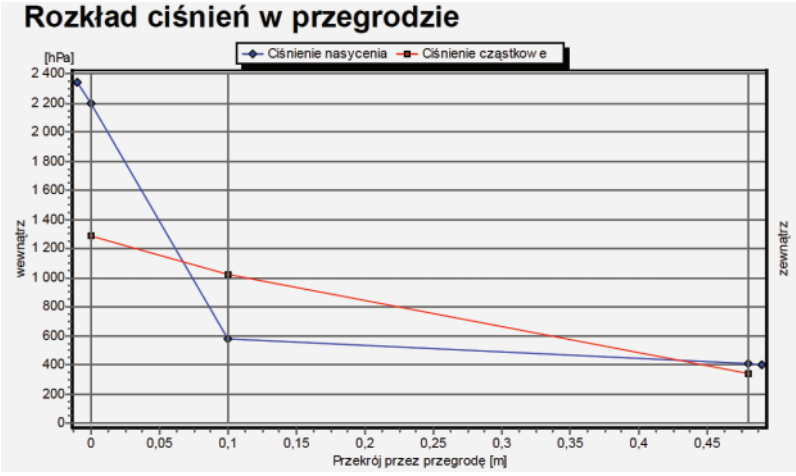
W celu zachowania tego warunku, w przypadku przegród zewnętrznych oraz ich węzłów konstrukcyjnych powinny charakteryzować się one współczynnikiem temperaturowym f_{Rsi} o wartości nie mniejszej niż wymagana wartość krytyczna. Oblicza się ją zgodnie z normą PN-EN ISO 13788 dotyczącą metody obliczania temperatury powierzchni wewnętrznej koniecznej do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacji międzywarstwowej [4].

W proponowanych przez normę metodach nazwanych metodami Fokina-Glasera założono, iż transport wilgoci polega wyłącznie na dyfuzji pary wodnej, opisanej równaniem dyfuzji Ficka.

Obliczenia prowadzi się, poczynając od pierwszego miesiąca, w którym przewidywana jest jakakolwiek kondensacja, przyjmując średnie miesięczne warunki zewnętrzne, oblicza się wielkość kondensacji lub odparowania w każdym z dwunastu miesięcy w roku. Masa wody, powstała w wyniku kondensacji, zakumulowana pod koniec tego miesiąca, w którym kondensacja pojawiła się jest porównywana z całkowitym odparowaniem w ciągu pozostałej części roku. Analizę powinno wykonywać się dla całego roku. Nie rozpatruje się ruchu powietrza przez ani we wnętrzu elementu budowlanego oraz podciągania kapilarnego i sorpcji. Do analizy niezbędna jest znajomość parametrów klimatu lokalnego.

Dla badanych przegród wykonywany jest wykres prężności pary wodnej w przekroju. Wykorzystane w tym celu być mogą dostępne programy obliczeniowe (Architerm, Isover, itp.)

W przypadku przecinania się linii ciśnień, tj., występowania kondensacji należy obliczyć maksymalną ilość kondensatu występującą na każdej z powierzchni stykowych oraz miesiąc, w którym wystąpi maksimum (rys. 8). Należy również rozważyć ryzyko degradacji materiałów budowlanych oraz pogorszenia właściwości cieplnych w wyniku obliczonej maksymalnej ilości wilgoci, zgodnie z wymaganiami zawartymi w przepisach i wskazówkach w normach wyrobów.



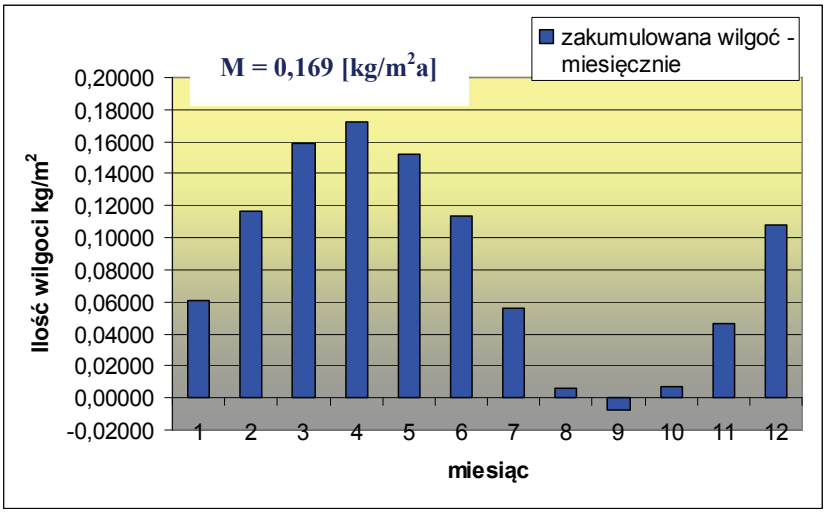
Rys. 8. Przykładowy rozkład ciśnień cząstkowych i stanu nasycenia dla przegrody wykonanej z cegły pełnej (38 cm) i ocieplonej od wewnątrz styropianem (10 cm), $t_e = 21^oC$ $t_i = -5^oC$

Fig. 8. Distribution of partial pressures and condensation state for the bulkhead made from common brick (38 cm) and internally insulated by styrofoam (10 cm). Physical parameters of materials included in table

Strumień kondensacji jest różnicą między ilością wilgoci przenoszonej a ilością wilgoci przenoszonej od powierzchni stykowej, na której występuje kondensacja:

$$g_c = \delta_0 \left(\frac{p_i - p_c}{s'_{d,T} - s'_{d,c}} - \frac{p_c - p_e}{s'_{d,c}} \right) \tag{1}$$

W komponencie budowlanym z więcej niż jedną powierzchnią kondensacji strumień parowania oblicza się oddzielnie dla każdej powierzchni stykowej. Wyrażenia na strumień parowania i kondensacji są takie same. Umownie kondensacja pojawia się wtedy, gdy wyrażenie jest dodatnie, a parowanie – gdy jest ujemne (rys. 9).



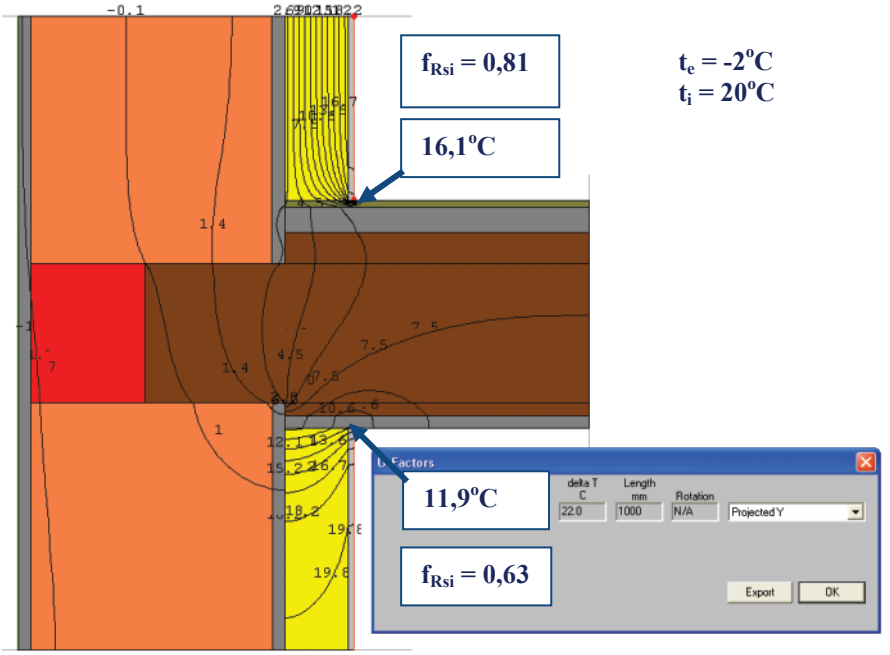
Rys. 9. Akumulacja wilgoci w warstwie muru (ściana jak dla przykładu nr 1, stacja meteorologiczna Katowice)

Fig. 9. Humidity accumulation in the layer of the wall (the wall as in example No. 1, meteorological station Katowice)

W każdym przypadku zmiany izolacyjności cieplnej przegrody należ analizować jej wpływ na zmiany temperatury powierzchni i możliwość powstawania warunków sprzyjających rozwojowi pleśni, lub zagrzybienia. Temperatura powierzchni wewnętrznej dla uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacji międzywarstwowej zgodnie z normą winna być obliczana:

- na płaskiej części przegrody,
- w miejscach potencjalnych mostków cieplnych.

Charakterystyką obliczeniową wyrażającą stan powierzchni pod katem ryzyka powstawania pleśni jest obliczeniowy czynnik temperaturowy na powierzchni wewnętrznej f_{Rsi}. W miejscach mostków cieplnych temperaturę powierzchni można obliczać tylko z uwzględnieniem dwuwymiarowego przepływu ciepła przy użyciu MES – proste programy do analizy dwuwymiarowej typu THERM 6.2. (rys. 10) lub w prostych przypadkach katalog mostków np. KOBRA, gdzie są wbudowane elementy docieplone od wewnątrz.



Rys. 10. Przykład obliczeń kondensacji powierzchniowej w mostku cieplnym przy dociepleniu od wewnątrz – belka stropu drewnianego w murze ceglanym. Obliczenia, program THERM 6.2.

Fig. 10. Example of calculation of surface condensation in heat leakage bridge during the internal thermal insulation

4. PODSUMOWANIE

Sposób ocieplenia ściany budynku od strony wnętrza zależy od kilku czynników: sposobu eksploatacji pomieszczenia, rodzaju materiału ściany, rodzaju materiału użytego do docieplenia, technologii zamocowania dodatkowej termoizolacji.

Bardzo ważne jest uwzględnienie ich paroprzepuszczalności. Przegroda ocieplana od strony wnętrza powinna być poddana szczegółowej analizie, która uwzględni oddziaływanie wszystkich czynników wpływających na gęstość i rozkład przenikającego przez nią strumienia dyfuzji pary wodnej. Na bazie wyników analizy można określić odpowiedni rodzaj materiału termoizolacyjnego, właściwą grubość jego warstwy, sposób wykończenia powierzchni wewnętrznej i pozostałe rozwiązania detali ocieplenia mając na myśli szczególnie istotne mostki termiczne. Czynnikiem który może w sposób istotny zaburzyć wyniki uzyskane w przyjętej metodzie obliczeń jest stan wilgotnościowy przegrody przed dociepleniem. Stan ten należy przed przystąpieniem obliczeń określić w sposób jak najbardziej dokładny. Drugim elementem mającym znaczący wpływ na poprawność wyniku jest założony (przewidywalny) sposób eksploatacji pomieszczenia przez użytkownika. Czynnik ten należy uznać z podstawowy, determinujący stan faktyczny zawilgocenia przegrody podczas jej eksploatacji.

LITERATURA

[1] Ecovario, Renovario. Materiały informacyjne i techniczne.
[2] EnergieCluster. Kurs HLWD 2011 Innendämmung mit Aerogel. Materiały szkoleniowe 2011.
[3] Krause P., Steidl T, Orlik B.: Renowacja ścian zewnętrznych w aspekcie izolacyjności termicznej. Konferencja szkoleniowa: Renowacja Budynków i Konserwacja Zabytków Warszawa, 32-47.
[4] PN EN ISO 13788: Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacji międzywarstwowej. Metody obliczania.
[5] Steidl T., 2011. Nowe rozwiązania w zakresie izolacji termicznych i docieplania budynków. WPPK Szczyrk.
[6] Steinke G. Binz A., 2012. Bausysteme mit VIP. Seminar Energie und Umweltforschung im Bauwesen.
[7] YTONG MULTIPOR – Ocieplanie od wewnątrz. Zeszyt techniczny oraz materiałytechniczne.
[8] Wanat A., 2012. Izolacje termiczne wewnętrznych ścian budynków stosowane od wewnątrz, Izolacje 9/, 26-29.
[9] www.e-izolacje.pl

THERMAL INSULATION OF THE EXTERNAL BULKHEADS FROM THE INSIDE MATERIALS, TECHNOLOGIES AND GETIC DESIGN

Summary. In the article materials and technologies used in making of external bulkheads' thermal insulation from the inside were presented. The rules of insulation system design with thermal and humidity phenomena taking place in the bulkhead were discussed.

7. KOSZTY POLEPSZANIA STANDARDU ENERGETYCZNEGO BUDYNKU JEDNORODZINNEGO

1. WSTĘP

Na mocy dyrektywy 2010/31/UE [1] do dnia 31 grudnia 2020 r. wszystkie nowe budynki, a po dniu 31 grudnia 2018 r. nowe budynki zajmowane przez władze publiczne oraz będące ich własnością mają być „budynkami o niemal zerowym zużyciu energii". Mają to być obiekty o bardzo wysokiej charakterystyce energetycznej, a niemal zerowa lub bardzo niska ilość energii wymaganej do zapewnienia funkcji użytkowych pochodzić powinna w dużym stopniu ze źródeł odnawialnych, w tym z energii wytwarzanej na miejscu lub w pobliżu. Chociaż w Polsce nie zostały do tej pory określone ani krajowe minimalne wymagania dotyczące charakterystyki energetycznej budynków, ani szczegółowe wytyczne ramowej procedury jej obliczania, to wiadomo, iż regulacje te powinny uwzględniać warunki lokalne oraz możliwości osiągnięcia optymalnej pod względem kosztów równowagi między wymaganymi nakładami a kosztami zaoszczędzonymi podczas cyklu życia budynku.

Polepszanie standardu energetycznego budynku wiąże się z możliwością osiągnięcia korzyści w fazie eksploatacji budynku, jednak wymaga zwiększenia kosztów budowy. Z jednej strony zastosowanie pewnych zasad budownictwa niskoenergochłonnego już na etapie projektowania (właściwe usytuowanie na działce i prawidłowe zaprojektowanie bryły budynku oraz jego wnętrza [3, 4, 8]) nie wymaga żadnego nakładu finansowego, jednak już wykorzystanie odnawialnych źródeł energii (kolektory słoneczne, panele fotowoltaiczne, energia biomasy, wiatru oraz skumulowana w gruncie) niesie za sobą znaczne koszty [10, 12].

W podjęciu świadomej decyzji o zastosowaniu w budynku rozwiązań technicznych mających zmniejszać potrzeby cieplne pomocna okazać się może analiza opłacalności. Zachętą do działań związanych z efektywnością energetyczną bądź czynnikami takie działania umożliwiającymi mogą stać się odpowiednie instrumenty polityki gospodarczej, w tym finansowej państwa w formie np. tanich kredytów, dopłat czy premii.

Przy wznoszeniu budynków o niskim lub bardzo niskim zapotrzebowaniu na ogrzewanie należy również pamiętać o fizyce specyficznych zjawiskach zachodzących w tego typu budynkach (np. problemie z komfortem cieplnym wnętrz w okresie letnim). Potrzebna jest odpowiednia wiedza projektantów i wykonawców, pozwalająca uniknąć błędów uniemożliwiających osiągnięcie spodziewanego standardu zarówno energetycznego, jak i użytkowego [10, 12]. Nie bez znaczenia może okazać się także świadomość samych inwestorów, aby nie ulegali sugestiom mogącym skutkować zastosowaniem nieracjonalnych rozwiązań.

BEATA SADOWSKA
Politechnika Białostocka

2. PORÓWNANIE WYMAGAŃ DLA BUDYNKÓW JEDNORODZINNYCH W RÓŻNYCH STANDARDACH ENERGETYCZNYCH

Podczas trwających prac nad szczegółowym zdefiniowaniem obiektu o bardzo wysokiej charakterystyce energetycznej pojawiają się propozycje jednolitego wprowadzenia w całej UE krajowych zapisów nowelizacji dyrektywy EPBD [5]. W celu określenia granicy bilansowej systemu oraz sprecyzowania ogólnych ram wskaźników konieczne jest sprecyzowanie, które przepływy energii należy uwzględnić, a które wykluczyć.

Obecnie jednak w Polsce wymagania ochrony cieplnej budynków, dotyczące warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [7], spełnione mogą być przez odpowiednią izolacyjność przegród zewnętrznych budynku (tab. 1) lub nieprzekroczoną maksymalną wartość wskaźnika *EP* (rocznego obliczeniowego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną). Wskaźnik *EP* uwzględniający wpływ rodzaju paliwa i sposobu wytwarzania energii na potrzeby budynku może być wykorzystywany raczej do oceny budynku pod kątem całkowitej konsumpcji energii i związanego z tym jego wpływu na środowisko niż do oceny samego budynku. Na podstawie kilkuletniej praktyki stwierdza sie, że zapewnienie warunku dotyczącego izolacyjności przegród nie we wszystkich przypadkach warunkuje spełnienie wymagania wyrażonego przy użyciu *EP*.

Planowana jest zmiana obecnie obowiązujących warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [6], mająca prowadzić do zaostrzenia polityki racjonalizacji zużycia energii w sektorze zasobów budowlanych oraz ustalenia minimalnych wymagań dotyczących ochrony cieplnej i energooszczędności budynków w celu osiągnięcia poziomów optymalnych pod względem kosztów w myśl dyrektywy 2010/31/UE [1]. Obniżone zostaną wartości graniczne współczynnika przenikania ciepła przegród (tab. 1) oraz zaistnieje obowiązek jednoczesnego nieprzekroczenia granicznych wartości wskaźnika *EP*.

W ostatnim czasie pojawiły się w Polsce dwa nowe określenia standardu energetycznego budynków: NF40 i NF15 (tab. 1). Dotyczą one mieszkalnych budynków energooszczędnych, dla których Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej uruchamia system dopłat do kredytów na ich budowę lub zakup [13]. Wysokość możliwej do otrzymania dopłaty będzie uzależniona od uzyskanego wskaźnika rocznego jednostkowego zapotrzebowania na energię użytkową do celów ogrzewania i wentylacji (EU_{co}), obliczonego na podstawie rozporządzenia w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku, z uwzględnieniem wytycznych dotyczących sprawności instalacji grzewczej i przygotowania wody użytkowej [11].

Wysokość dofinansowania dla domów jednorodzinnych wynosić będzie:

- dla standardu NF40: 30 000 zł brutto;
- dla standardu NF15: 50 000 zł brutto.

Wprowadzone wymagania dla budynków, które będą podlegały dofinansowaniu z NFOŚiGW, są jeszcze bardziej radykalne niż wymagania w zmienianych warunkach technicznych (tab. 1). Wzniesienie takich obiektów będzie więc nieuchronnie droższe. Nasuwa się więc pytanie, czy dopłaty zrekompensują ich koszt, w którym uwzględnić należałoby też nakłady finansowe związane z weryfikacją postawionych wymagań. Postaje pytanie, czy rozróżnienie wymagań dla stref klimatycznych (na łagodniejsze dla I, II i III i bardziej radykalne dla IV i V strefy) nie powinno prowadzić do rozróżnienia wysokości dopłat. Proponowane dopłaty nie zależą też od wielkości budynku, a z pew-

nością koszt inwestycyjny będzie większy dla budynków o większej powierzchni. Niewiadomo także, w jaki sposób będą sprawdzane np. kwalifikacje kierowników robót, nadzoru i wykonawców, jak również zapisy dotyczące np. testów szczelności budynków w obecności weryfikatora.

Tabela 1. Kryteria i standardy budynków mieszkalnych jednorodzinnych w Polsce – zestawienie parametrów [6, 8-10]

Table 1. Criterions and standards of single-family buildings in Poland – statement of parameters [6, 8-10]

	Rodzaj budynku					
	spełniający WT 2008 [7]	spełniający „nowe" WT [6]	NF40 [11]		NF15 [11]	
			I, II i III strefa klimatyczna	IV i V strefa klimatyczna	I, II i III strefa klimatyczna	IV i V strefa klimatyczna
Współczynnik przenikania ciepła U_{max} ścian zewnętrznych [W/(m^2·K)]:						
t_i>16°C	0,30	0,20	0,15	0,12	0,10	0,08
8°≤Ct_i≤16°C	0,80	0,46				
t_i<8°C		0,90				
Współczynnik przenikania ciepła U_{max} dachów, stropodachów i stropów pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami: [W/(m^2·K)]:						
t_i>16°C	0,25	0,15	0,12	0,10	0,10	0,08
8°≤Ct_i≤16°C	0,50	0,30				
t_i<8°C	—	0,70				
Współczynnik przenikania ciepła U_{max} stropów nad piwnicami i garażami nieogrzewanymi i zamkniętymi przestrzeniami podpodłogowymi: [W/(m^2·K)]:						
t_i>16°C	0,45	0,25	0,20	0,15	0,12	0,10
8°≤Ct_i≤16°C		0,30				
t_i<8°C		1,00				
Współczynnik przenikania ciepła U_{max} podłóg na gruncie: [W/(m^2·K)]:						
t_i>16°C	0,45	0,30	0,20	0,15	0,12	0,10
8°≤Ct_i≤16°C		1,20				
t_i<8°C		1,50				
Współczynnik przenikania ciepła U_{max} okien, drzwi balkonowych i powierzchni przezroczystych nieotwieranych: [W/(m^2·K)]:						
t_i>16°C	1,80; 1,70	1,20	1,00	0,80	0,80	0,70
t_i ≤16°C	—	1,80				
Współczynnik przenikania ciepła U_{max} drzwi zewnętrznych: [W/(m^2·K)]:						
—	2,60	1,70	1,30	1,30	0,80	0,70
Szczelność budynku n_{50} [h^{-1}]						
wentylacja grawitacyjna	≤3,00	≤3,00	1,00		0,60	
wentylacja mechaniczna	≤1,50	≤1,50				
Roczne zapotrzebowanie na energię użytkową na cele ogrzewania [kWh/(m^2·rok)]						
EU_{co}	ok. 100-160	ok. 80	40	40	15	15

3. KOSZTY WZNIESIENIA BUDYNKU ENERGOOSZCZĘDNEGO ZAPEWNIAJĄCEGO STANDARD NF40

Do analizy wybrano budynek energooszczędny parterowy z poddaszem użytkowym, położony w północno-wschodniej Polsce, dla którego wieloletni eksploatacyjny wskaźnik rocznego jednostkowego zapotrzebowania na energię końcową do celów ogrzewania i wentylacji EK_{co} wynosi 52,06 kWh/(m^2·rok), co w przeliczeniu na EU_{co} wynosi 45,50 kWh/(m^2·rok) [8]. Uzyskiwanie wskaźników energetycznych na tym poziomie było możliwe poprzez zastosowanie w budynku:

- w ścianach trójwarstwowych o powierzchni 160 m^2 i w dachu o powierzchni 110 m^2 wełny mineralnej grubości 18 cm (w dachu dodatkowo 2 cm styropianu),
- w podłodze na gruncie o powierzchni 88 m^2 styropianu grubości 10 cm,
- wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła,
- gruntowego wymiennika ciepła do wstępnego podgrzewu powietrza wentylacyjnego.

Budynek został wzniesiony w roku 1999, dlatego zastosowano w nim stolarkę okienną (35 m^2) o wartości współczynnika przenikania ciepła U na poziomie 1,9 W/(m^2·K). Wykonano więc również obliczenia zapotrzebowania na energię budynku z zastosowaniem „lepszych" okien, o U = 1,5 W/(m^2·K). Otrzymano wówczas wskaźnik EU_{co} na poziomie 40 kWh/(m^2·rok), czyli o budynku wybranym do analizy można powiedzieć, że spełnia on standard budynku energooszczędnego NF40 (tab. 1).

Oszacowano koszt wzniesienia tego budynku w wersji niskoenergochłonnej na poziomie 425 556 zł oraz w wersji standardowej na 409 109 zł [8, 9]. Grubości izolacji cieplnej budynku standardowego wyznaczono na poziomie zapewniającym spełnienie obecnych wymagań dotyczących współczynników przenikania ciepła przegród zewnętrznych [7], współczynnik U dla okien przyjęto na poziomie 1,7 W/m^2·K, a dla drzwi zewnętrznych 2,6 W/m^2·K. Uwzględniono również zmiany w konstrukcji budynku, wynikające z zastosowanych grubości izolacji termicznej oraz wentylacji mechanicznej, zmiany w instalacji c.o. dotyczące wielkości grzejników i kotłów o mniejszej mocy oraz wystąpienie gruntowego wymiennika ciepła.

Dodatkowe koszty inwestycyjne wynikające z osiągnięcia ponadstandardowych walorów termicznych spowodowały zwiększenie całkowitego kosztu budowy analizowanego budynku w stosunku do kosztów budowy takiego samego budynku wykonanego w wersji standardowej o 4,51%.

4. CAŁKOWITA UŻYTECZNOŚĆ INWESTYCJI W POLEPSZENIE STANDARDUENERGETYCZNEGO BUDYNKU JEDNORODZINNEGO

Po przeprowadzeniu eksperymentu obliczeniowego mającego na celu rozpoznanie wpływu rozwiązań technicznych na charakterystykę energetyczną budynku energooszczędnego [8] przeanalizowano wpływ dodatkowych nakładów (K_{dod}) na wartość energii końcowej do ogrzewania (EK_{co}).

We wstępnej analizie wytypowano sześć statystycznie istotnych:

- X1 – współczynnik przenikania ciepła ścian zewnętrznych budynku $U_{ścian}$,
- X2 – współczynnik przenikania ciepła stropodachu/dachu budynku U_{dachu},
- X5 – współczynnik przenikania ciepła okien U_{okien},

- X11 – sprawność wytwarzania źródła ciepła $\eta_{H,g}$,
- X12 – sprawność instalacji centralnego ogrzewania $\eta_{H,sde}$,
- X13 – sprawność wymiennika do odzysku ciepła z powietrza wentylacyjnego (rekuperatora) $\eta_{H,recup}$.

Poszukiwano takich wartości wielkości wejściowych ($U_{ścian}$, U_{dachu}, U_{okien}, $\eta_{H,g}$, $\eta_{H,sde}$ i $\eta_{H,recup}$), które zapewnią uzyskanie najbardziej pożądanego przez inwestora poziomu wskaźnika EK_{co}, z uwzględnieniem czynnika ekonomicznego. Do realizacji tego zadania wykorzystano metodę zaproponowaną przez Derringera i Suicha [2], polegającą na przekształceniu aproksymowanych wartości dwóch wielkości wyjściowych (EK_{co} oraz K_{dod}) w pojedynczą wartość całkowitej użyteczności.

Pojęcie użyteczności jako satysfakcji, zadowolenia czy przyjemności wynikającej z konsumowania dóbr wprowadził w XIX wieku niemiecki ekonomista H.H. Gossen. Zaznaczył on, że ma ona charakter subiektywny, ponieważ uwarunkowania psychologiczne i socjologiczne konsumentów są przyczyną różnic w satysfakcji związanej z konsumpcją danego dobra. Użyteczność całkowita wg Derringera i Suicha powinna być średnią geometryczną użyteczności poszczególnych wielkości wyjściowych. Poszukiwano więc takich wartości wielkości wejściowych, które maksymalizują całkowitą użyteczność odpowiedzi wielkości wyjściowych.

W pierwszym kroku zdefiniowano profil użyteczności odpowiedzi dla każdej wielkości wyjściowej, przypisując określonym, akceptowanym wartościom badanej cechy wartości z przedziału {0,1}, informującej o satysfakcji uzyskania wyniku na zadanym poziomie (tab. 2).

Tabela 2. Parametry definiujące kosztowo-energetyczne profile użyteczności [8]

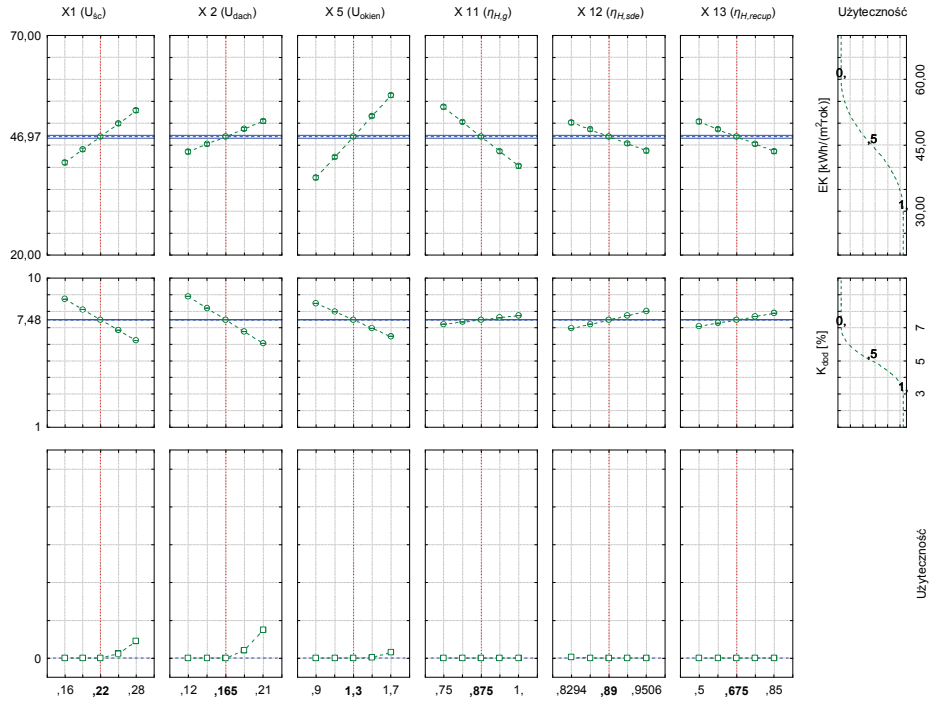
Table 2. Parameters defining the cost-utility energy profiles [8]

Parametry profilu użyteczności \ Zmienna wyjściowa		EK_{co} [kWh/(m^2·rok)]	K_{dod} [%]
Wartość	niska	30	3
	średnia	45	5
	wysoka	60	7
Użyteczność	wysoka	1,0	1,0
	średnia	0,5	0,5
	niska	0,0	0,0
Zmienność użyteczności pomiędzy punktami załamania	s	2	2
	t	2	2

Pierwszej analizowanej zmiennej wyjściowej (wielkości wskaźnika zapotrzebowania na energię końcową na cele ogrzewania i wentylacji) przypisano użyteczność 0,0 (niepożądaną) dla wartości aproksymowanych EK_{co} powyżej 60 kWh/(m^2·rok), a 1,0 (pożądaną) dla wartości aproksymowanych EK_{co} poniżej 30 kWh/(m^2·rok). Satysfakcjonującą wielkość dodatkowych nakładów związanych z osiągnięciem standardu budynku energooszczędnego (K_{dod}) ustalono na poziomie 3% (użyteczność 1,0), zaś za poziom niepożądany (użyteczność 0,0) przyjęto 7%. W procedurze definiowania funkcji użyteczności obydwu z analizowanych zmiennych wyjściowych uwzględniono krzywiznę (s = 2 i t = 2) w obszarach pomiędzy punktami załamania funkcji, sugerowaną w tego typu przypadkach.

Przed przystąpieniem do procedury poszukiwania wartości optymalnych wykonano wielokrotny wykres profili odpowiedzi (rys. 1) przy wartościach bieżących dla każdej z wielkości wejściowej, przyjętych na poziomie średnim zakresu zmienności, czyli:

- $U_{ścian}$ = 0,22 W/(m^2·K) z zakresu {0,16÷0,28 W/(m^2·K)};
- U_{dachu} = 0,165 W/(m^2·K) z zakresu {0,12÷0,21 W/(m^2·K)};
- U_{okien} = 1,30 W/(m^2·K) z zakresu {0,90÷1,70 W/(m^2·K)};
- $\eta_{H,g}$ = 0,875 z zakresu {0,75÷1,00};
- $\eta_{H,sde}$ = 0,890 z zakresu {0,8294÷0,9506};
- $\eta_{H,re\ cup}$ = 0,675 z zakresu {0,50÷0,85}.



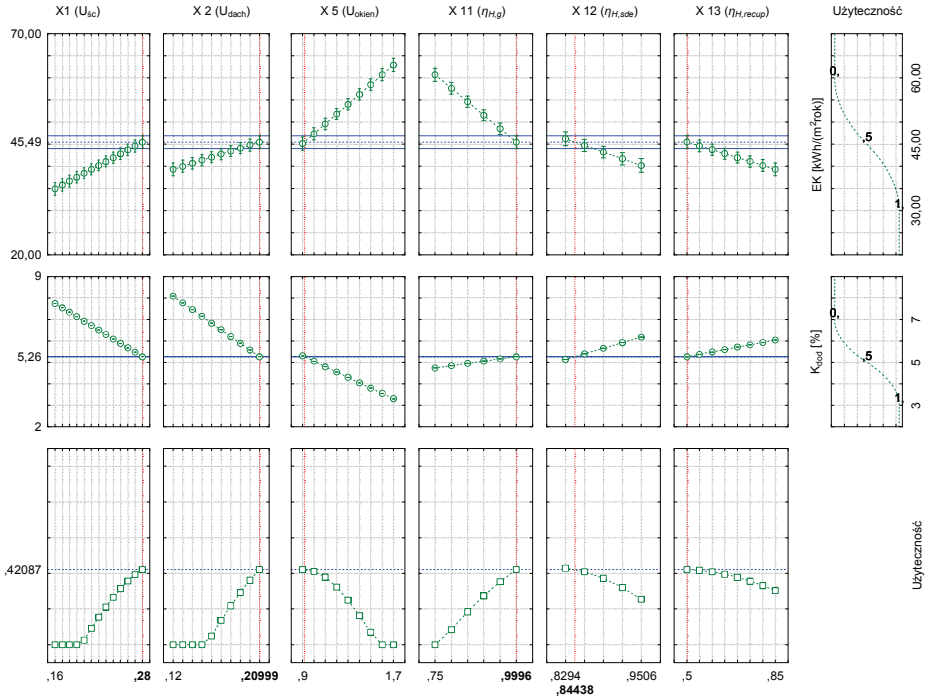
Rys. 1. Profile aproksymowanych wartości oraz ich użyteczność odpowiedzi przy bieżących wartościach czynników wejściowych [8]

Fig. 1. Profiles predicted values and their usefulness reply with the current values of the input factors [8]

Dla każdej wielkości wyjściowej (EK_{co} i K_{dod}) sporządzony został profil aproksymacji składający się z serii wykresów – po jednym dla każdej wielkości wejściowej – obrazujących wartości przewidywane zmiennej zależnej w każdym punkcie siatki (wyznaczano wartości w pięciu wybranych punktach). Dla każdego czynnika sporządzono także wykres przedstawiający profil całkowitej użyteczności odpowiedzi w każdym punkcie siatki wejściowej przy ustalonych bieżących wartościach pozostałych czynników. W sytuacji przyjęcia wielkości wszystkich czynników wejściowych ($U_{ścian}$, U_{dachu}, U_{okien}, $\eta_{H,g}$, $\eta_{H,sde}$ i $\eta_{H,recup}$) na poziomie średnim, aproksymowana wartość EK_{co} = 46,97 kWh/(m^2·rok), zaś K_{dod} = 7,48% (rys. 1). Wartość całkowitej użyteczności bliska lub równa 0 wskazuje, że zastosowanie w budynku rozwiązań charakteryzują-

cych się wartościami na poziomie średnim wybranych zakresów ich zmienności nie zapewnia wysoce pożądanych cech. Z analizy całkowitej użyteczności odpowiedzi poszczególnych czynników wejściowych wynika, że przyjęcie wyższych wartości $U_{ścian}$, U_{dachu} i U_{okien}, pomimo iż powoduje wzrost wskaźnika EK_{co}, może dać lepszy „produkt" końcowy (w funkcji dwóch wielkości wyjściowych).

Następnie postanowiono więc poszukać wartości składników wejściowych, które zapewnią uzyskanie najbardziej pożądanego „produktu". Na rysunku 2 przedstawiono wyniki otrzymane drogą ogólnej metody optymalizacji funkcji (metodą simpleks) przy odpowiednio zagęszczonej siatce.



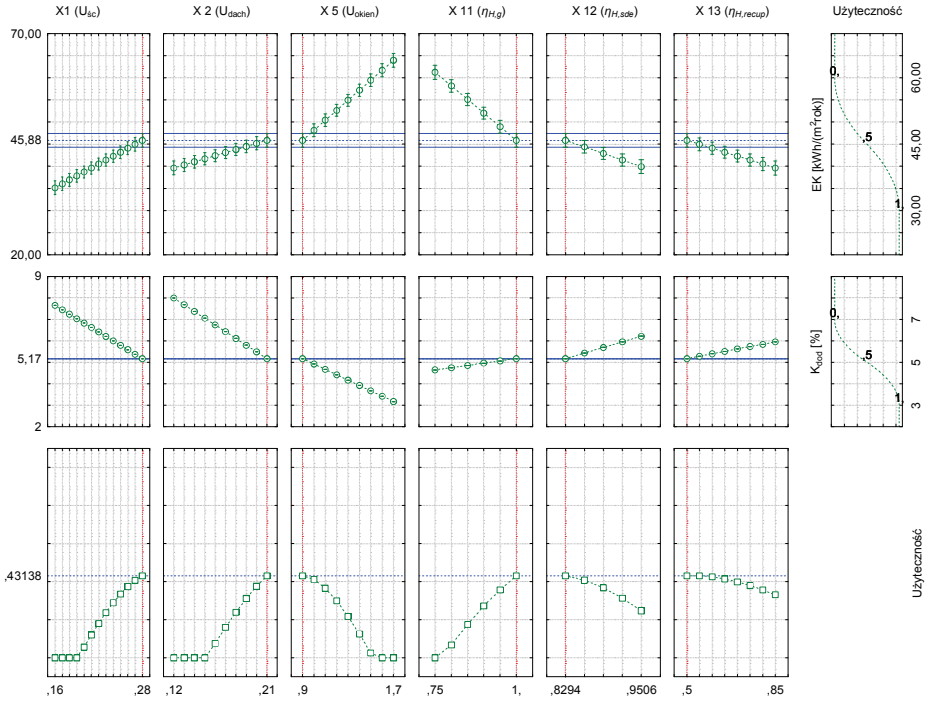
Rys. 2. Profile aproksymowanych wartości oraz ich użyteczność odpowiedzi wyznaczone z wykorzystaniem ogólnej metody optymalizacji funkcji przy bieżących wartościach czynników wejściowych [8]

Fig. 2. Profiles predicted values and their utility response set using the general method of optimizing the function of the current values of the input factors [8]

Jako wartości bieżące dla każdej wielkości wejściowej zostały przyjęte wartości optymalne. Spowodowało to poprawę użyteczności, która osiągnęła wartość 0,42087 (rys. 2) dla następujących wartości wielkości wejściowych:

- $U_{ścian} = 0{,}28$ W/(m^2·K);
- $U_{dachu} = 0{,}21$ W/(m^2·K);
- $U_{okien} = 0{,}90$ W/(m^2·K);
- $\eta_{H,g} = 1{,}00$;
- $\eta_{H,sde} = 0{,}8444$;
- $\eta_{H,re\ cup} = 0{,}50$.

Przeprowadzono również analizę z wykorzystaniem alternatywnej, zaimplementowanej w programie STATISTICA, metody poszukiwania wartości wielkości wejściowych, dla których całkowita użyteczność przyjmie wartość największą. Metoda ta polega na przeszukiwaniu wszystkich podanych kombinacji wartości wielkości wejściowych w węzłach siatki, aby znaleźć taką, która daje w efekcie optymalną całkowitą użyteczność odpowiedzi. Wyniki takiej analizy przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Profile aproksymowanych wartości oraz ich użyteczność odpowiedzi wyznaczone z wykorzystaniem metody optimum użyteczności w węzłach siatki [8]

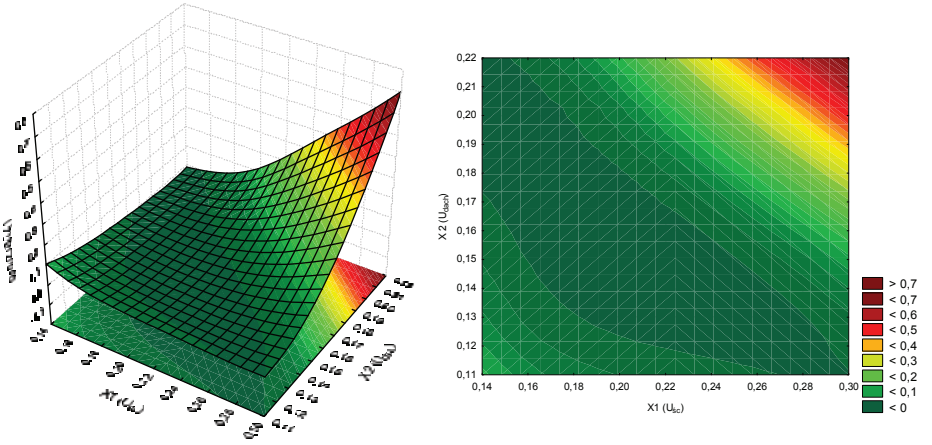
Fig. 3. Profiles predicted values and their utility responses using the method determined optimum utility grid nodes [8]

Uzyskana w tej analizie wartość użyteczności wyniosła 0,43138 przy wartościach wielkości wejściowych wynoszących:

- $U_{ścian} = 0{,}28$ W/(m^2·K);
- $U_{dachu} = 0{,}21$ W/(m^2·K);
- $U_{okien} = 0{,}90$ W/(m^2·K);
- $\eta_{H,g} = 1{,}00$;
- $\eta_{H,sde} = 0{,}8294$;
- $\eta_{H,re\ cup} = 0{,}50$.

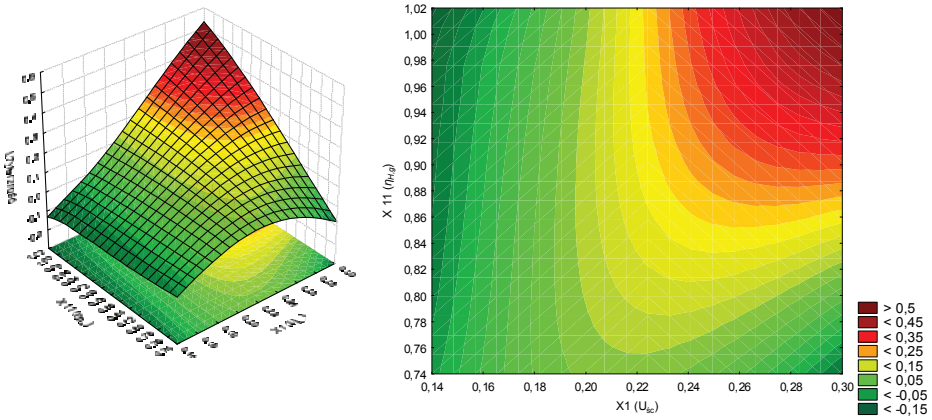
Sporządzono również wykresy przestrzenne i konturowe całkowitej użyteczności odpowiedzi dla różnych kombinacji wartości każdej pary wielkości wejściowych przy optymalnych wartościach pozostałych wielkości wejściowych.

Na rysunku 4 przedstawiono wykresy dla czynników X1 ($U_{ścian}$) i X2 (U_{dachu}) zaś na rysunku 5 dla czynników X1 ($U_{ścian}$) i X11($\eta_{H,g}$), wykonane z wykorzystaniem metody optimum użyteczności w węzłach siatki.



Rys. 4. Wykres przestrzenny i konturowy całkowitej użyteczności odpowiedzi dla czynników wejściowych X1 i X2 [8]

Fig. 4. Chart-dimensional and contour of the total utility response to input factors X1 and X2 [8]



Rys. 5. Wykres przestrzenny i konturowy całkowitej użyteczności odpowiedzi dla czynników wejściowych X1 i X11 [8]

Fig. 5. Chart-dimensional and contour of the total utility response to input factors X1 and X11 [8]

Wykresy całkowitej użyteczności odpowiedzi dla różnych kombinacji wartości każdej pary wielkości wejściowych ilustrują więc dynamikę zmian wielkości wejściowych (rys. 4 i 5). Wskazują, że powierzchnia w otoczeniu optimum jest względnie płaska, co oznacza, że małe odchylenia wartości wejściowych od wartości optymalnych nie powinny znacząco zmniejszyć użyteczności tak zaprojektowanego budynku.

5. PODSUMOWANIE

Na podstawie szacunku wysokości kosztu dodatkowego związanego z polepszeniem standardu energetycznego budynku jednorodzinnego stwierdzono, że możliwe jest wzniesienie budynku w standardzie NF40 przy koszcie dodatkowym (w stosunku do takiego samego budynku wykonanego w wersji spełniającej obecne wymagania ochrony cieplnej) na poziomie 4,51%.

Przeprowadzone analizy zależności kosztu budowy budynku jednorodzinnego o obniżonych potrzebach cieplnych i wielkości zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania ilustrują dynamikę zmian wartości wskaźnika EK_{co} w powiązaniu z kosztem dodatkowym K_{dod} osiągnięcia takiego standardu energetycznego.

Obecne warunki środowiskowe, energetyczne, ekonomiczne i formalne wymuszają polepszanie efektywności energetycznej również w sektorze zasobów budowlanych, jednak niezbędne wydaje się każdorazowe przeprowadzenie analizy ekonomicznej dla budynków w celu osiągnięcia standardu energetycznego optymalnego pod względem kosztów.

LITERATURA

[1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/EU z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.
[2] Harańczyk G., 2009. Planowanie doświadczeń jako droga do innowacyjności – przykłady optymalizacji procesu produkcyjnego. StatSoft Polska Kraków.
[3] Kurtz K., 2012 Projektowanie budynków niskoenergochłonnych. Izolacje 11/12 (171), 16-21.
[4] Musielak M., Podhorecki A., 2011. Praktyczne zasady realizacji energooszczędnego budownictwa jednorodzinnego. Izolacje 5 (156), 82-85.
[5] Panek A.D., Rucińska J., 2011. Jak zdefiniować budynek o niemal zerowym zużyciu energii? Energia i budynek 6, 4-10.
[6] Projekt Rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 01.10.2012 r. zmieniającego rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
[7] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 17 grudnia 2008 r. zmieniające rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. nr 228 z dnia 24.12.2008, poz. 1514).
[8] Sadowska B., 2010. Model operacyjny projektowania energooszczędnych budynków mieszkalnych w zabudowie jednorodzinnej. Pr. niepublikowana.
[9] Sarosiek W., Sadowska B., 2012. Opłacalność wznoszenia budynków niskoenergetycznych w warunkach klimatu północno-wschodniej Polski. Materiały Budowlane 1 (473), 54-56.
[10] Węglarz A., 2009. Budownictwo energooszczędne w Polsce. Rynek instalacyjny 11, 24-27.
[11] Wytyczne określające podstawowe wymogi niezbędne do osiągnięcia oczekiwanych standardów energetycznych dla budynków mieszkalnych oraz sposób weryfikacji projektów i sprawdzenia wykonanych domów energooszczędnych (http://www.nfosigw.gov.pl/srodki-krajowe/doplaty-do-kredytow/doplaty-do--kredytow-na-domy-energooszczedne/wytyczne-do-programu-prioryrttp/)

[12] Żurawski J., 2012. Budownictwo zero- lub prawie zeroenergetyczne w warunkach polskich. Izolacje 9 (169), 14-19.
[13] http://www.nfosigw.gov.pl/srodki-krajowe/doplaty-do-kredytow/doplaty-do--kredytow-na-domy-energooszczedne/

COSTS OF IMPROVING THE ENERGY STANDARD OF SINGLE-FAMILY BUILDING

Summary. The article summarizes the requirements of the current standards of single-family houses. An example of a building built in the standard NF40 increased investment cost of 4.51%. We analyzed the cost of the additional investment in conjunction with the building's energy demand for heating.

8. MATERIAŁY ZMIENNOFAZOWE W BUDOWNICTWIE „ZEROENERGETYCZNYM”

1. WPROWADZENIE

Współczesne budownictwo niskoenergetyczne, a w szczególności, zeroenergetyczne” coraz bardziej zbliża się do standardu budownictwa pasywnego, dla którego roczne zużycie energii na cele grzewcze i chłodnicze nie powinno przekraczać 15 kWh/m^{2}a (wg kryteriów ustalonych przez Passivhaus-Institut z Darmstadt). Uzyskanie tak niskiego zużycia energii wymaga zastosowania specyficznych rozwiązań architektoniczno-budowlanych, umożliwiających w maksymalnym stopniu wykorzystanie energii dostępnej w środowisku otaczającym budynek, w szczególności energii promieniowania słonecznego. W tym zakresie wykorzystuje się powszechnie pasywne systemy pozyskiwania energii cieplnej z promieniowania słonecznego, takie jak ogród zimowy, ściana Trombego wraz z konstrukcjami pochodnymi powstającymi głównie poprzez wprowadzenie nowych materiałów. Można w tym przypadku wymienić wprowadzenie na rynek izolacji transparentnych oraz próby tworzenia układów hybrydowych będących kompilacją klasycznej ściany Trombego z fotowoltaiką i kolektorami cieczowymi. Pasywny charakter stosowanych rozwiązań pozwala na pozyskiwanie energii cieplnej bez wykorzystywania urządzeń pomocniczych, zużywających głównie energię elektryczną.

Rozwiązania tego typu cechuje wewnętrzna sprzeczność. Dążenie do maksymalizacji pozyskiwania energii cieplnej w obiekcie z promieniowania słonecznego w sezonie grzewczym stanowi istotny problem w okresie lata, kiedy to może powodować jego przegrzewanie. Po to, aby zniwelować ten efekt stosuje się różnego rodzaju metody zapobiegawcze, które można podzielić, podobnie jak rozwiązania w zakresie pozyskiwania energii, na dwie grupy: rozwiązania aktywne i pasywne.

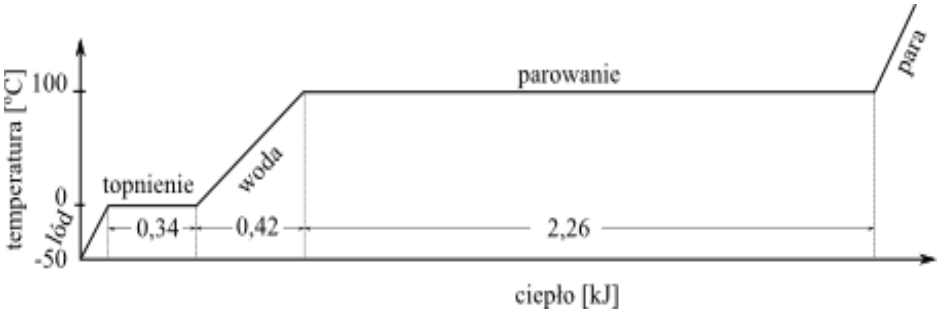
W pracy omówiono jedną z metod zaliczanych do rozwiązań pasywnych, wykorzystującą materiały zmiennofazowe, które choć znane w technice od dawna, w budownictwie dotychczas nie były stosowane na szeroką skalę.

2. MATERIAŁY ZMIENNOFAZOWE (PCM)

W przypadku budownictwa niskoenergetycznego realizowanego w polskich warunkach klimatycznych jednym z największych wyzwań inżynierskich dotyczących kwestii wykorzystania energii promieniowania słonecznego jest opanowanie umiejętności jej magazynowania i przekazywania do obiektu tylko wtedy, gdy jest to pożądane. Jedną z metod „przechowywania energii cieplnej” może być wykorzystanie pojemności cieplnej materiału. W praktyce wymaga to konstruowania obiektów z materiałów ciężkich o niskiej izolacyjności termicznej. To z kolei implikuje problemy w zakresie ochrony przed stratami ciepła. Innym sposobem rozwiązania tego problemu jest wyko-

JANUSZ BELOK, BEATA WILK-SŁOMKA
Politechnika Śląska

rzystanie zjawiska przemian fazowych zachodzących w różnorodnych materiałach. Zmiana stanu skupienia materiału wymaga dostarczenia do niego bądź odebrania określonej ilości energii cieplnej. Przykładem materiału występującym powszechnie w środowisku, charakteryzującym się trzema stanami skupienia w zakresie temperatur łatwym do uzyskania jest woda. Rysunek 1 przedstawia przebieg przemian fazowych dla wody.



Rys. 1. Wykres przemian fazowych dla wody

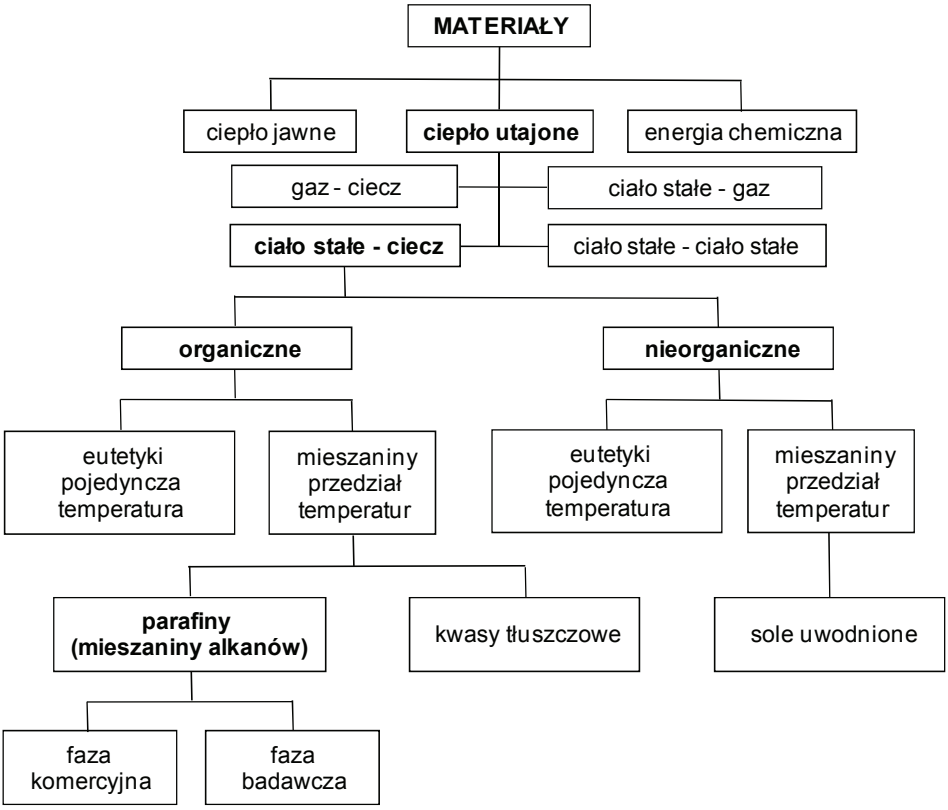
Fig. 1. The chart of the water phase changes

Na rysunku 1 zauważyć można istotną ze względu na kształtowanie komfortu cieplnego w budynku cechę tego procesu. Zmiana stanu skupienia zachodzi w stałej temperaturze, przy ciągłym dostarczaniu bądź oddawaniu energii. W aplikacjach technicznych stosuje się kombinacje różnorodnych substancji, których przemiany fazowe zachodzą w wymaganych przedziałach temperatur.

Już w 1983 roku 1 powstała praktyczna klasyfikacja materiałów zmiennofazowych PCM (Phase Change Material) zaproponowana przez Abhata – por. rysunek 2.

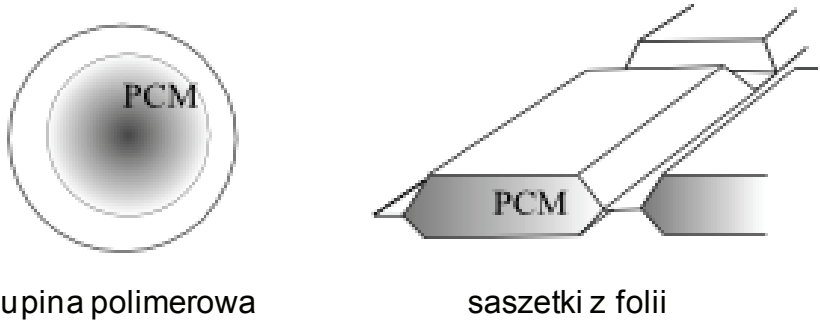
W budownictwie najczęściej wykorzystywane są mieszaniny wosków i parafin bądź sole uwodnione, których temperaturę topnienia można dobrać na poziomie temperatur eksploatacyjnych występujących w typowych pomieszczeniach użytkowych.

W praktyce właściwy materiał zmiennofazowy zamknięty jest w mikrokapsułkach lub saszetkach wykonanych z tworzywa sztucznego (rys. 3). Takie rozwiązania pozwalają wprowadzić materiały PCM np. jako dodatek do zapraw tynkarskich, mas betonowych, przy produkcji płyt gipsowo-kartonowych, jako wypełnienie konstrukcji szkieletowych itp. Zaprojektowanie obiektu z wykorzystaniem materiałów PCM wymaga znajomości ich podstawowych parametrów cieplnych. Parametry te dla wybranych substancji przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 2. Klasyfikacja materiałów zmiennofazowych [1]

Fig. 2. The classification of the Phase Change Materials [1]



Rys. 3. Przykładowe formy handlowe materiałów PCM [6]

Fig. 3. The example trade forms of PCM materials [6]

Tabela 1. Właściwości cieplne substancji mogących znaleźć zastosowanie w charakterze materiału PCM

Table 1. The thermal properties of the substance which can be used as a PCM material

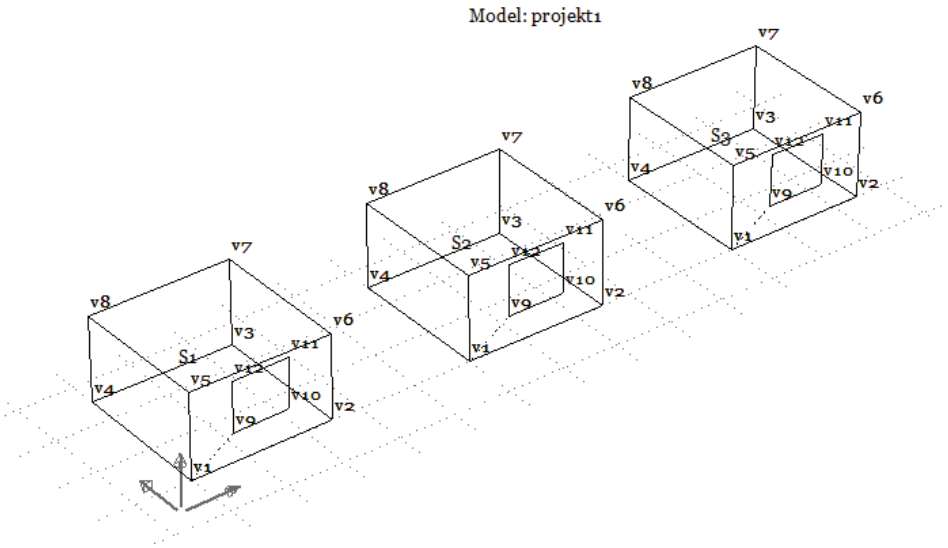
Materiały organiczne				
Substancja	Temperatura topnienia [°C]	Ciepło topnienia [kJ/kg]	Przewodność cieplna [W/mK]	Gęstość [kg/m³]
Parafina C_{14}	4,5 [1]	165 [1]	brak danych	brak danych
Parafina C_{15}–C_{16}	8 [1]	153 [1]	brak danych	brak danych
Poliglikol E400	8 [2, 6]	99,6 [2, 6]	0,187 (ciecz, 38,6°C) [2, 6] 0,185 (ciecz, 69,9°C) [6]	1125 (ciecz, 25°C) [2, 6] 1228 (c. stałe, 3°C) [2, 6]
Dimetylsulfoksyd (DMS)	16,5 [4]	85,7 [4]	brak danych	1009 (ciecz i c. stałe) [4]
Parafina C_{16}–C_{18}	20–22 [7]	152 [7]	brak danych	brak danych
Poliglikol E600	22 [2, 6]	127,2 [2, 6]	0,189 (ciecz, 38,6°C) [2, 6] 0,187 (ciecz, 67,0°C) [6]	1126 (ciecz, 25°C) [2, 6] 1232 (ciecz, 4°C) [2, 6]
Parafina C_{13}–C_{24}	22–24 [1]	189 [1]	0,21 (c. stałe) [1]	0,760 (ciecz, 70°C) [1] 0,900 (c. stałe, 20°C) [1]
Alkohol laurylowy	26 [5]	200 [5]	brak danych	brak danych
Parafina C_{18}	28 [1] 27,5 [8]	244 [1] 243,5 [8]	0,148 (ciecz, 40°C) [8] 0,15 (c. stałe) [1] 0,358 (c. stałe, 25°C) [8]	0,774 (ciecz, 70°C) [1] 0,814 (c. stałe, 20°C) [1]
Eutektyki nieorganiczne				
66,6% $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ +33,3% $MgCl_2 \cdot 6H_2O$	25	127	brak danych	1590
48% $CaCl_2$+4,3% NaCl +0,4% KCl+47,3% H_2O	26,8 [1]	188	brak danych	1640
47% $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ +33% $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	30 [1]	136 [1]	brak danych	brak danych
60% $Na(CH_3COO) \cdot 3H_2O$ +40% $CO(NH_2)_2$	31,5 30 [7]	226 200,5 [7]	brak danych	brak danych

3. BADANIA SYMULACYJNE OBIEKTU WYKORZYSTUJĄCEGO MATERIAŁ PCM

W celu przeanalizowania i oceny wpływu wbudowania materiału PCM w przegrody budynku i oceny jego oddziaływania na komfort cieplny pomieszczenia, autorzy pracy przeprowadzili symulacyjne badania porównawcze dla trzech obiektów o odmiennych rozwiązania konstrukcyjnych. Badania prowadzono z wykorzystaniem programu ESP-r [9]. W programie zamodelowano trzy jednakowe geometrycznie obiekty oznaczone jako S1, S2 i S3.

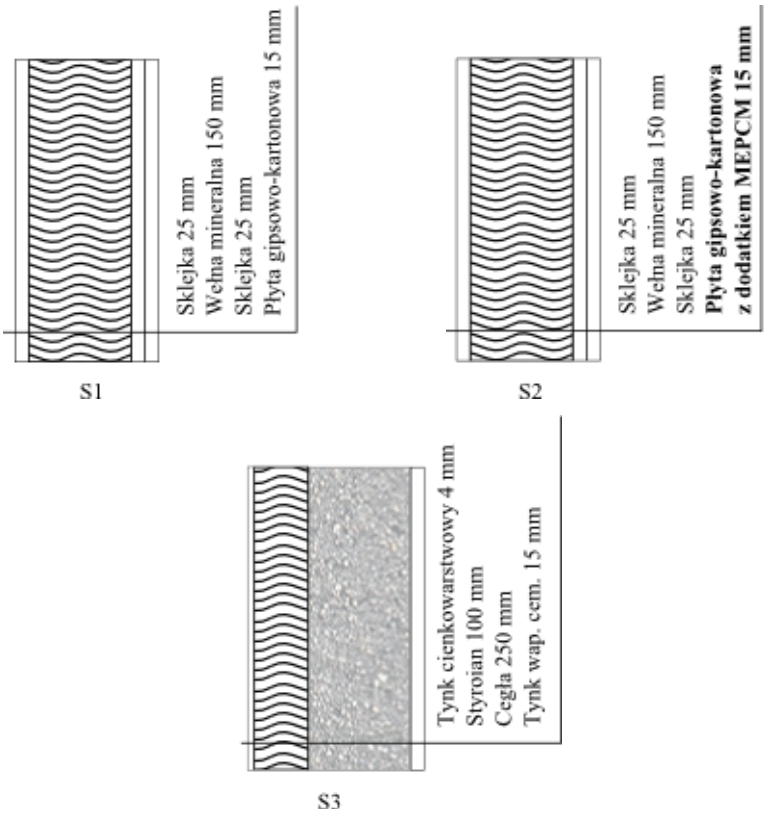
Kubatura pojedynczego obiektu wynosiła 75 m^3, powierzchnia podłogi 25 m^2. Na elewacji południowej o powierzchni 15 m^2 wprowadzono otwór okienny mający powierzchnię 3,6 m^2. Obiekty te przedstawiono na rysunku 4. Ściany zewnętrzne w obiektach S1 i S2 są przegrodami o lekkiej konstrukcji szkieletowej, natomiast w obiekcie S3 wprowadzono przegrody masywne na bazie cegły ceramicznej. W obiekcie S2 wewnętrzna warstwa wykończeniowa została zmodyfikowana poprzez dodanie materiału PCM. Podłoga na gruncie i strop we wszystkich przypadkach mają jednakową budowę.

Na rysunku 5 przedstawiono schematy konstrukcyjne poszczególnych przegród. Płyta gipsowo kartonowa zastosowana jako warstwa wykończeniowa w obiekcie S2 została zmodyfikowana poprzez wprowadzenie dodatku w postaci materiału MEPCM (Micro Encapsulated Phase Change Material). Parametry techniczne tego materiału zastosowane w modelu przedstawiono w tabeli 2.



Rys. 4. Komputerowy model analizowanych obiektów [3]

Fig. 4. The computer model of the analyzed objects [3]



Rys. 5. Budowa przegrody zewnętrznej dla poszczególnych obiektów

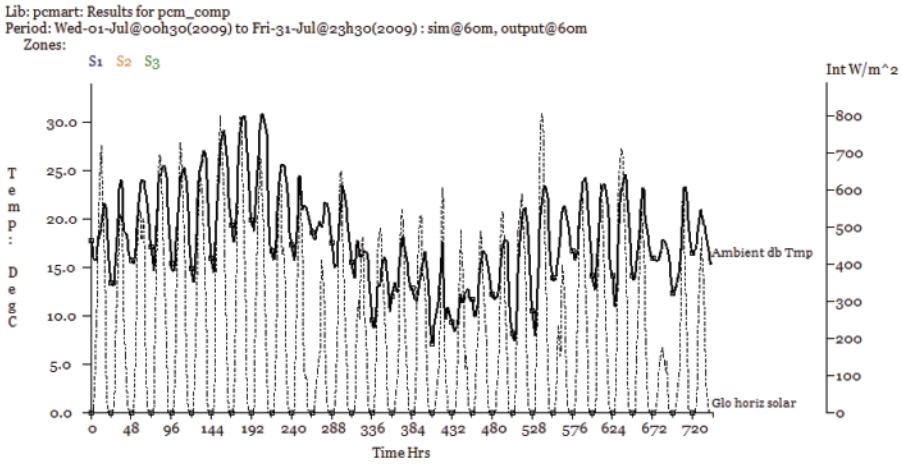
Fig. 5. The construction of the outer partition for the particular objects

Tabela 2. Parametry techniczne płyt gipsowych modyfikowanych dodatkiem MEPCM

Table 2. The technical parameters of the carton-plaster boards modified MEPCM

Grubość	15 mm
Masa	11,5 kg/m^2
Temperatura topnienia	26°C
Ciepło utajone	330 kJ/m^2
Ciepło właściwe	1,2 kJ/kgK
Współczynnik przewodności cieplnej	0,18 W/mK

Jako obciążenie zewnętrzne obiektów przyjęto oddziaływania klimatyczne, stosując numeryczną bazę danych dla miasta Katowice. Na rysunku 6 przedstawiono zmienność temperatury zewnętrznej i natężenia promieniowania słonecznego wygenerowaną na podstawie danych zawartych w bazie. Wybrane parametry wydają się być najistotniejszymi ze względu na cel prowadzonych badań. Wewnątrz pomieszczeń, celem wyeliminowania zbędnych czynników zakłócających założono brak jakichkolwiek źródeł ciepła/chłodu i urządzeń generujących wewnętrzne zyski ciepła.

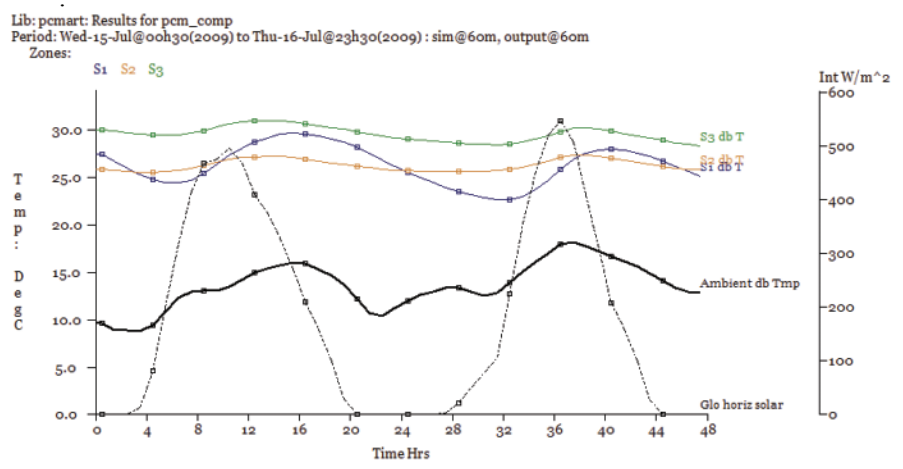


Rys. 6. Przebieg temperatury i całkowitego natężenia promieniowania słonecznego dla Katowic w okresie 01.07 ÷ 31.07 (średnie wieloletnie) [3]

Fig. 6. The temperature and total solar radiation in Katowice during 01.07 ÷ 31.07 (long-term average) [3]

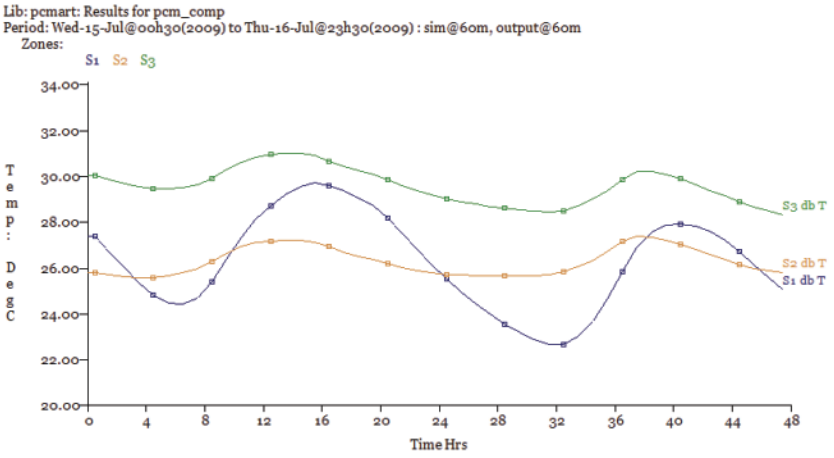
4. WYNIKI ANALIZ

W efekcie przeprowadzonych symulacji komputerowych uzyskano szereg wiadomości na temat zachowania się obiektów w aspekcie energetycznym. Dla autorów najbardziej interesującą informacją była zmienność temperatury wewnętrznej oraz kształtowanie się komfortu cieplnego. Wybrane wyniki przedstawiono na rysunkach 7, 8 i 9.



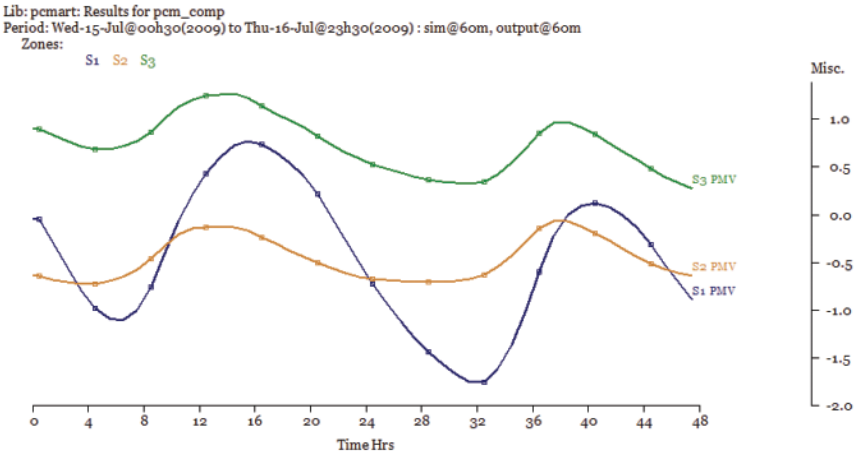
Rys. 7. Przebieg temperatury wewnątrz obiektów na tle zmian temperatury zewnętrznej [3]

Fig. 7. The internal air temperature against the changes of the external air temperature [3]



Rys. 8. Zmienność temperatury w analizowanych obiektach w okresie 2 dób (15 ÷ 16.07) [3]

Fig. 8. The changeability of the temperature in the analyzed objects during 48 hours (15 ÷ 16.07) [3]



Rys. 9. Wartość wskaźnika PMV dla 2 dób (15-16.07) przy założeniu: Clo = 0,45, Met = 1, prędkość przepływu powietrza 0,1 m/s [3]

Fig. 9. The PMV value during 48 hours (15-16.07) assuming: Clo = 0,45, Met = 1, the speed of the air flow of 0,1 m / s [3]

Na prezentowanych wykresach zaznacza się wyraźnie wpływ zróżnicowanej pojemności cieplnej przegród na kształtowanie temperatury wewnętrznej oraz efekt zastosowania materiału zmiennofazowego. W obiekcie S1 powstaje największa amplituda wahań temperatury, co jest oczywiście związane z niewielką pojemnością cieplną otaczających je przegród. Prowadzi to do szybkiego nagrzewania pomieszczenia pod wpływem promieniowania słonecznego i równie szybkiego spadku temperatury po zaniku promieniowania. Obiekty S2 i S3 charakteryzują się zbliżoną amplitudą wahań temperatury, jednakże w obiekcie S3 średnia wartość temperatury utrzymuje się na najwyższym poziomie. Wpływa na to duża pojemność cieplna przegród. Konsekwencją

tego jest, podobnie jak w obiekcie S1, niekorzystny komfort cieplny występujący w tym pomieszczeniu. W przypadku obiektu S2 powstają najmniejsze wahania temperatury oraz najkorzystniejsze warunki eksploatacyjne. Jest to efekt wprowadzenia materiału zmiennofazowego do budowy przegród.

5. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań symulacyjnych można sformułować kilka interesujących wniosków. Materiał zmiennofazowy odpowiednio dobrany (co do wartości temperatury granicznej, ilości) wpływa w sposób bardzo istotny na procesy cieplne zachodzące w pomieszczeniu. Zastosowanie tego materiału eliminuje niedogodności występujące zarówno w obiektach o konstrukcji lekkiej jak i ciężkiej. W takim przypadku nie występują silne wahania temperatury, charakterystyczne dla obiektów o małej pojemności cieplnej oraz nie obserwuje się nadmiernego nagrzewania jak to ma miejsce w obiekcie masywnym. Przyjęte w badaniach założenia i uzyskane wyniki wskazują, że materiał zmiennofazowy pozwala na utrzymanie temperatury w pomieszczeniu na poziomie akceptowalnym przez użytkownika bez konieczności stosowania aktywnych (energochłonnych) systemów jej regulacji.

LITERATURA

[1] Abhat A., 1983. Low temperature latent heat thermal energy storage: heat storage materials. Solar Energy 30, 313-332.
[2] Dincer I., Rosen M. A., 2002. Thermal energy storage, Systems and Applications, John Wiley & Sons Chichester, 567-573.
[3] ESP-r: A Building and Plant Energy Simulation Environment User Guide Version 9 Series, ESRU Publication University of Strathclyde Glasgow.
[4] Farid M.M., Hamad F.A., Abu-Arabi M., 1998. Phase change cool storage using dimethyl-sulfoxide. Energy Convers. Mgmt. 39, 819-826.
[5] Hawes D.W., Feldman D., Banu D., 1993. Latent heat storage in building materials, Energy Buildings 20, 77-86.
[6] Lane G.A., 1980. Low temperature heat storage with phase change materials, Int. J. Ambient Energy 1, 155-168.
[7] Li J.H., Zhang G.E., Wang J.Y., 1991. Investigation of a eutectic mixture of sodium acetate trihydrate and urea as latent heat storage. Solar Energy 47(6), 443-445.
[8] Sasaguchi K., Viskanta R., 1989. Phase change heat transfer during melting and resolidification of melt aroung cylindrical heat source(s)/sink(s). J. Energy Res. Technol. 111, 43-49.
[9] Zalba B., 2002. Almacenamiento termico de energia mediante cambio de fase, Procedimiento experimental. Ph.D. Thesis University of Zaragoza (Spain).

PHASE CHANGE MATERIALS IN „ZEROENERGETIC" BUILDINGS

Summary. The modern low-energetic buildings, mainly zero-energetic, is more and more of passive standard construction for which the annual energy consumption on heating and cooling purpose shouldn`t exceed 15 kWh/m^{2}a. Such a situation requires specific architecture-constructional solutions that enable the usage of energy that is present in the environment surrounding the building, mainly the solar energy. One of the biggest engineering challenges concerning this issue is coping with the ability of storaging and passing the energy to the object only when needed. One of the ways of solving this problem is using the phenomenon of phase change in varied materials. One of the ways of solving this problem is using the phenomenon of phase change in varied materials. In technical applications the combination of varied materials is used. The phase changes are in specific temperature intervals. In construction, the most commonly used are a mixture of wax and paraffin or hydrated salts. In the article the simulation research on the Phase Change Material behavior in a room with the external climate (Katowice) was done. The research have been conducted using the ESP-r. The assumptions of the research and the results indicate that the phase change material allows for keeping the temperature in the room on the level that is accepted by the user with no necessity of using the active (energy-intensive) systems of regulation.

9. EWALUACJA EKONOMICZNA WYBRANYCH PARAMETRÓW BUDOWNICTWA ENERGOOSZCZĘDNEGO

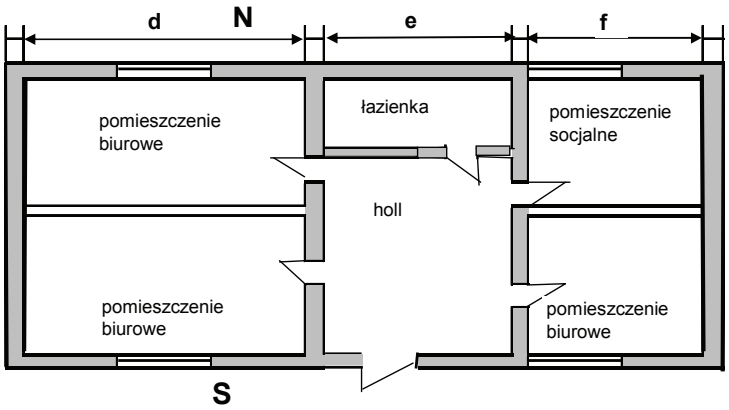
1. WPROWADZENIE

Jednym z parametrów opisujących budownictwo energooszczędne jest duża izolacyjność termiczna przegród budowlanych. Jednocześnie koszt izolacyjności termicznej przegród zewnętrznych jest jednym z podstawowych parametrów, na podstawie którego inwestor podejmuje decyzję o realizacji. Pomocne w podjęciu tej decyzji mogą być wskaźniki ekonomiczne, takie jak SPBT – Prosty Czas Zwrotu i wskaźnik NPV– wskaźnik Wartości Bieżącej Netto. NPV była parametrem obowiązującym przy ocenie zadania termomodernizacyjnego w audycie termo modernizacyjnym, ale ministerstwo wycofało się z analizy tego wskaźnika ekonomicznego, zaś część funduszy specjalnie ukierunkowanych na termomodernizację, a przede wszystkim na ochronę środowiska oczekuje analizy NPV. Przeprowadzono więc analizę dwóch wskaźników, mianowicie SPBT oraz wskaźnika NPV dla zmiennej decyzyjnej: grubości docieplenia termoizolacji.

2. PRZEDMIOT ANALIZY

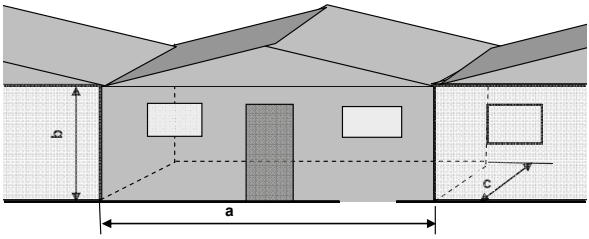
Analizę przeprowadzono na przykładzie budynku biurowego w zabudowie szeregowej, parterowego, z nieogrzewanym poddaszem i z nieogrzewaną piwnicą. Funkcje pomieszczeń w budynkach przylegających (sąsiednich) do budynku są takie same. Budynek o wymiarach szerokość a = 10 m, długość c = 10 m, wysokość b = 3 i o konstrukcji murowej z cegły pełnej o grubości 25 cm, stropy żelbetowe grubości 12 cm z termoizolacją o całkowitym współczynniku przenikania ciepła nad piwnicą U = 0,12 W/m^{2}K, pod nieogrzewanym poddaszem U = 0,1 W/m^{2}K, okna i drzwi U = 0,8 W/m^{2}K (zgodnie z pakietem do projektowania budynków pasywnych PHPP uwzględniono mostek termiczny ψ montażu dla okien i drzwi). Zmienną decyzyjną jest grubość termoizolacji. Przewidziano, po dociepleniu, wykonanie warstwy elewacyjnej z cegły pełnej grubości 12 cm. Nie analizuje się kosztów związanych z systemem wentylacji mechanicznej. Sprawność rekuperatora (w celu uzyskania dopłaty do inwestycji) przyjęto zgodnie z wytycznymi [1] Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska η = 0,95, co związane jest z dużym kosztem inwestycyjnym. Budynek jest ogrzewany gazem. Układ pomieszczeń przedstawiono na rysunku 1, a bryłę budynku na rysunku 2.

JOLANTA GINTOWT
Politechnika Krakowska



Rys. 1. Przekrój poziomy, schemat rozmieszczenia pomieszczeń

Fig. 1. Horizontal cross section, arrangement of rooms



Rys. 2. Bryła budynku – schemat

Fig. 2. Schematic shape of the building

3. METODY ANALIZY

Analizowane wskaźniki to:

$$SPBT = \frac{K_I}{\Delta K_o} \quad \text{[lata]} \tag{1}$$

gdzie:

$SPBT$ – prosty czas zwrotu; [lata],
K_I – koszt inwestycyjny, [zł],
ΔK_o – oszczędność kosztu ogrzewania, [zł].

Prosty czas zwrotu nakładów na przedsięwzięcie termomodernizacyjne (*SPBT*) to okres, po jakim sumaryczne oszczędności wynikające z zmniejszenia zużycia energii zrównują się z zainwestowanym kapitałem (własnym i obcym) i zaczynają przynosić inwestorowi zysk w postaci niższych opłat za zużytą energię, przy założeniu stałych cen energii i pominięciu wpływu inflacji [1, 2]. Wskaźnik ten cechuje duża poglądowość i prostota [4, 5].

Następnym analizowanym wskaźnikiem ekonomicznym jest [1, 2]:

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{\Delta K_o}{(1+r)^t} - K_I \tag{2}$$

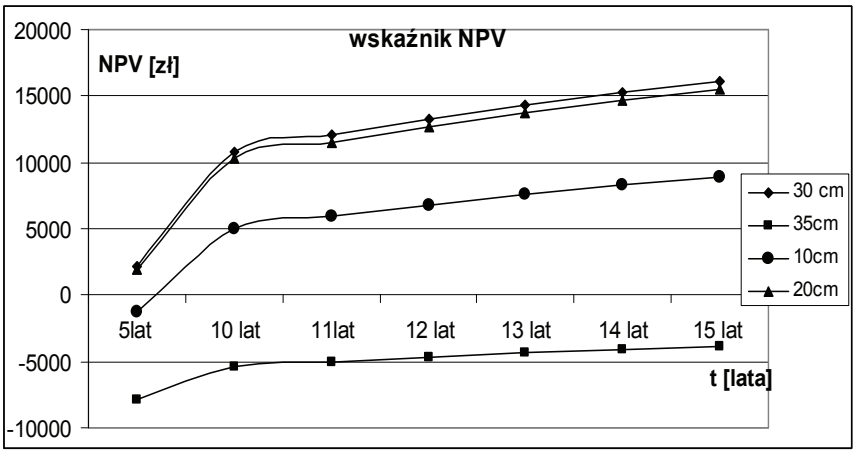
gdzie:

NPV – wskaźnik wartości bieżącej netto, [zł],
ΔK_o – oszczędność kosztu ogrzewania, (przepływ gotówki), [zł].
r – stopa dyskonta, [%],
t – kolejne lata,
K_I – koszt inwestycyjny, [zł].

NPV – stopa zrzeczenia się przyszłych środków finansowych na rzecz aktualnie dostępnych środków, wynika ze zmienności wartości pieniądza w czasie i obrazuje stosunek, w jakim przyszły kapitał zrównuje swoją efektywną wartość z kapitałem bieżącym, umożliwia dyskontowanie, czyli przeliczenie przyszłej wartości kapitału na jej wartość bieżącą. Wartość NPV uwzględniać może cały okres życia przedsięwzięcia[5].

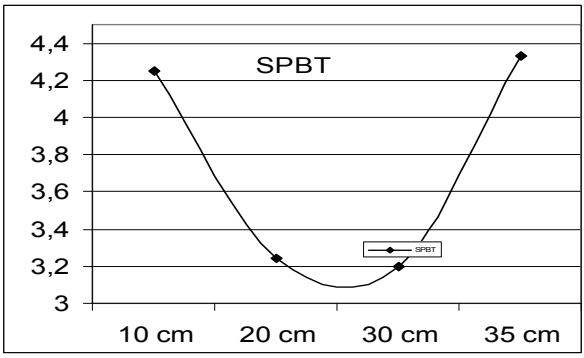
4. WYNIKI

Na podstawie *NPV* i *SPBT* przy zmiennej grubości docieplenia systematyzowano wyniki i podejmowano próbę wskazania optymalnego rozwiązania. Zależność *NPV* od grubości izolacji w funkcji okresu obserwacji przedstawia rysunek 3, zaś zależność *SPBT* w funkcji grubości termoizolacji rysunek 4.



Rys. 3. Zależność NPV od okresu obserwacji

Fig. 3. Dependence NPV of the observation period



Rys. 4. Zależność SPBT od grubości cieplenia

Fig. 4. Dependence SPBT on the thickness of the thermal insulation

Na podstawie rysunku 3 można wyciągnąć wniosek, że optymalna grubość termoizolacji zawiera się przedziale między 20 m a 30 cm, bowiem wskaźnik *NPV* osiąga wartości dodatnie w tym przedziale, zaś dla wartości 35 inwestycja nie zwraca się w czasie 15 lat. Z analizy SPBT wynika podobnie, mianowicie najmniejsza wartość SPBT znajduje się w przedziale między 20 cm a 30 cm. Tabela 1 zawiera zestawienie grubości termoizolacji i odpowiadających im wartości współczynnika przenikania ciepła oraz porównanie z wymaganiami zawartymi w wytycznych NFOŚiGW dotyczących dofinansowania do kredytów na budowę domów jednorodzinnych w standardzie pasywnym dla strefy klimatycznej IV i V. Wynika stąd że minimalna grubość termoizolacji 35 cm nie spełnia wymagań NFOŚiGW [3].

Tabela 1. Wartość współczynnika U w zależności od grubości docieplenia

Table 1. U-value, depending on the thickness of the insulation

grubość docieplenia	d cm	10	20	30	35	wymagania	0,08
współczynnik przenikania ciepła	U W/m^{2}K	0,264	0,15	0,105	0,09	NFOŚi GW strefa IV i V	

Minimalną grubością termoizolacji dla IV strefy klimatycznej spełniającą wymagania zawarte w [3], czyli Umax = 0,08 W/m^{2}K są 43 cm. Przeanalizowano więc wskaźnik NPV dla różnicy wynikającej ze spełnienia wymagań zawartych w [3], a większymi grubościami termoizolacji. Dane te zawiera tabela 2. Wynika stąd, że aby otrzymać dofinansowanie do zadania termomodernizacyjnego i aby zainwestowane pieniądze przyniosły w czasie jak największe zyski należałoby docieplić budynek nie 43 cm a 70 cm. Dla różnicy grubości docieplenia 2 cm (między 43 a 45 cm) suma różnicy wskaźnika NPV wynosi 772,8 zł w perspektywie 15 lat. Dla różnicy docieplenia między 43 a 70 cm wynoszącej 27 cm skumulowany wskaźnik *NPV* dla tego samego okresu (czyli 15 lat) wynosi 5342,9 zł. Skumulowana różnica dla 43-50 cm, dla 15 lat, wynosi 1266,33 zł, co stanowi około 1/10 kosztu inwestycyjnego. Można oczywiście rozważać jeszcze większe grubości docieplenia, ale byłyby już rozważania czysto teoretyczne, bowiem grubość ściany zewnętrznej wyniosłaby więcej niż: 38 cm + 70 cm = 108 cm. Jest to wartość nie tyle nie do przyjęcia z powodu grubości ściany zewnętrznej, jak przede wszystkim ze względu na znaczące zmniejszenie wewnętrznej powierzchni użytkowej (jest to o 32% zmniejszenie powierzchni użytkowej).

Tabela 2. Różnica wskaźnika *NPV* między grubościami docieplenia a min. grubością docieplenia wynikającą z dopłaty do termomodernizacji

Table 2. The difference in *NPV* between the thicknesses of insulation and min. thickness of the insulation resulting from the surcharge to thermomodernization

Delta wskaźnik *NPV*								
? d / czas	5 lat	10 lat	11lat	12lat	13lat	14lat	15lat	suma
43-45	110,4	110,4	110,4	110,4	110,4	110,4	110,4	772,8
43-50	243,2	188,55	180,42	173,02	166,3	160,18	154,6	1266,33
43-55	464	409,35	401,22	393,82	387,1	380,98	375,4	2811,93
43-60	596,66	487,29	471,01	456,2	442,74	430,5	419,4	3303,79
43-65	817,46	708,09	691,81	677	663,54	651,3	640,2	4849,39
43-70	950,26	786,24	761,82	739,62	719,43	701,08	684,4	5342,88

Jak zatem zmienia się wartość pieniądza *NPV* w zależności od kosztu inwestycyjnego. Proporcję *NPV/Ki* zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Zmiana wartości pieniądza jako funkcja proporcjonalna *NPV*/koszt inwestycyjny

Table 3. Change the value of money as a function of proportional *NPV*/investment cost

Proporcja *NPV/Ki*							
d [cm]/ czas	5lat	10lat	11lat	12lat	13lat	14lat	15lat
43	1,1409	1,849	1,9548	2,0507	2,1379	2,2172	2,289
45	1,1309	1,833	1,9377	2,0327	2,1192	2,1977	2,269
50	1,1183	1,813	1,9161	2,01	2,0955	2,1732	2,244
55	1,0993	1,782	1,8836	1,976	2,06	2,1364	2,206
60	1,0877	1,763	1,8636	1,955	2,0381	2,1137	2,182
65	1,0698	1,734	1,833	1,923	2,0047	2,079	2,147

Z zestawienia w tabeli 3 wynika, że najlepszy wskaźnik uzyskano dla minimalnej [według 3] wartości grubości docieplenia 43 cm. Jednocześnie wskaźnik *NPV* dla 5 i 15 lat ma wartość dodatnią. Po 10 latach wartość aktywów („zdeponowanych" w termoizolację) wzrośnie 1,8-krotnie, zaś po 15 latach około 2,3- krotnie. Większym wartościom grubości docieplenia niż 43 cm odpowiadają zaś malejące wartości NPV/Ki. Jak zatem kształtuje się wskaźnik prostego czasu zwrotu dla analizowanych wartości dociepleń. Zależność tę przedstawia tabela 4.

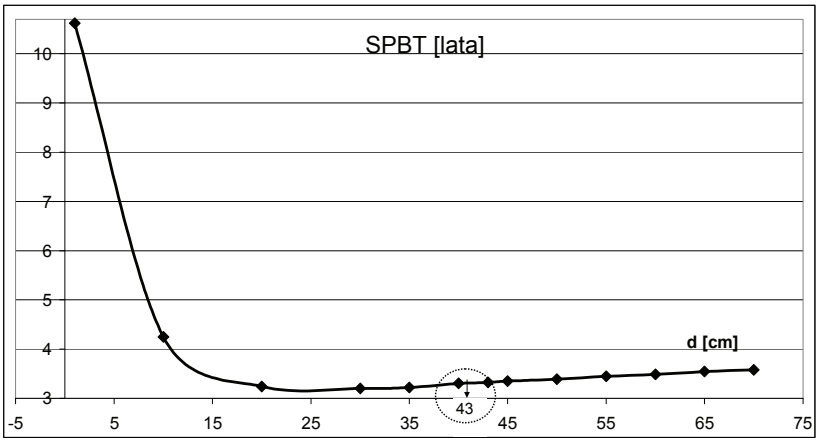
Tabela 4. Zależność SPBT od grubości cieplenia

Table 4. Dependence SPBT on the thickness of the thermal insulation

Grubość docieplenia [cm]	43	45	50	55	60	65	70
SPBT [lata]	3,323	3,352	3,39	3,448	3,485	3,543	3,58

Wynika stąd że optymalną grubością (najlepszym ulepszeniem według [6]) jest nadal minimalna wartość grubości docieplenia określona dla [3].

Zmianę zależności SPBT dla całego rozpatrywanego przedziału grubości d docieplenia przedstawiono na rysunku 5.



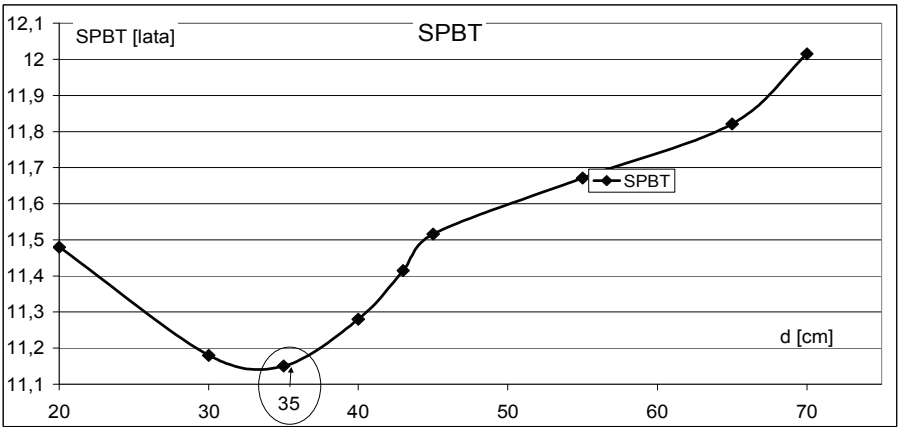
Rys. 5. Zależność NPV od okresu obserwacji i grubości termoizolacji

Fig. 5. Dependence NPV of the observation period and the thickness of insulation

Na podstawie rysunku dla analizowanego obiektu poddanemu termomodernizacji i remontowi w celu uzyskania dofinansowania, optymalnym ulepszeniem polegającym na docieplenie jest grubość termoizolacji równa 30 cm, przyjęta zgodnie z wytycznymi [6]. Jednocześnie zrealizowanie tego wymagania nie pozwala na zrealizowanie wymagań zawartych w [3]. W tym przypadku minimalna wartość SPBT z przedziału 43 cm do 70 cm odpowiada wartości grubości termoizolacji równej 43 cm (najmniejsza wartość, dla której zgodnie z [3] współczynnik przenikania ciepła U_{max}= 0,08 W/m^{2}K spełnia oba kryteria [3] i [6]).

Innym rozpatrzonym wariantem jest docieplenie budynku sąsiedniego, który w latach 2009-2010 został ocieplony grubością 10 cm, czyli budynek, którego przegrody spełniają wymagania zawarte w „Warunkach technicznych…".

W tym przypadku SPBT zwiększył się prawie 4-krotnie. Zależności przedstawiono zostały na rysunku 6.



Rys. 6. Zależność NPV od okresu obserwacji i grubości termoizolacji, opcja 2

Fig. 6. Dependence NPV of the observation period and the thickness of insulation, option 2

5. WNIOSKI

Podstawową wadą SPBT jest to, że nie uwzględnia całego okresu funkcjonowania przedsięwzięcia, lecz skupia uwagę inwestora na jego fazie początkowej. Służy zazwyczaj do wstępnej oceny efektywności przedsięwzięcia dając poglądową ocenę czasu zamrożenia aktywów finansowych inwestora.

Podstawową zaletą *NPV* jest to, że zachęca do ryzyka poprzez wykazanie pełnych korzyści wynikających z realizacji danej inwestycji. Wadą jest trudność doboru okresu obserwacji, dla którego nalicza się korzyści wyrażone przez wartość *NPV*. Jedną z przesłanek wyboru długości tego okresu może być okres przez jaki projekt generuje korzyści, tj. do jego "śmierci ekonomicznej".

Zastosowanie analizy ekonomicznej w ocenie zadania termomodernizacyjnego pokazuje jednoznacznie zbyt duży koszt w stosunku do uzyskanych oszczędności kosztu ogrzewania. Przyjmowane grubości izolacji termicznej powinny być większe od 35 cm, aby spełnione były m. in. wartości współczynnika przenikania ciepła.

System dopłat proponowany przez NFOŚiGW wydaje się celowy, ale przy dużym koszcie systemu rekuperacji trudno jednoznacznie wnioskować, czy kwota pozostająca inwestorowi do docieplenia wydaje się zbyt mała aby zadanie finansowo było opłacalne.

Uzyskane wyniki pokazują, że zadanie termomodernizacji jest opłacalne ekonomicznie ze względu na wartość zdyskontowana pieniądza, przy docieplaniu dużymi wartościami grubości termoizolacji, a małe grubości mogą okazać się nieopłacalne dla inwestora, a wręcz mogą przenieść stratę (wskaźnik *NPV*). Warto więc zalecić wykonanie najprostszych obliczeń (jak wyżej) aby określić poziom opłacalności inwestowania z termomodernizację.

I jeszcze jedna uwaga, ale za to znacząco upraszczająca tok obliczeń. W celu uzyskania połączenia dwóch elementów ekonomicznie opłacalnych: korzyści z inwestowania w docieplanie i możliwości uzyskania dofinansowania w ramach programów N15 lub N40, wystarczy wyliczyć minimalną grubość termoizolacji, która spełni minimalne wymagania na maksymalny współczynnik przenikania ciepła U dla programów N15 i N40 (bez konieczności, co prawda, prostej i nieskomplikowanej procedury obliczania SPBT i wskaźnika NPV), aby mieć pewność, że to wystarczy aby mieć te dwie korzyści. Tak więc część procedury zawarta w [6] właściwie ma jedynie znaczenie proceduralne i formalne, bo na podstawie przeprowadzonej analizy wykazuje jej tylko rolę informacyjną (dla inwestora), a nie jej rzeczywisty wpływ na wyniki. Wymaga więc tym samym zmian proceduralnych, o ile w prawodawstwie chodzi o rzeczywiste, a nie pozorowane zmiany dotyczące zagadnień energooszczędności w Polsce.

LITERATURA

[1] Einchengreen B., 1999. Transition strategies and nominal anchors on the road to grater exchange-rate flexibility Princeton University.
[2] Kozielski R., 2006. Wskaźniki marketingowe. Oficyna Ekonomiczna Kraków.
[3] Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, załącznik nr 3 do programu priorytetowego, dopłaty do kredytów na domy energooszczędne.
[4] Polish Market Review: the monthly newsletter for markets, managers and inwestors, CEM 1995-2005.

[5] Science, Technology and Industry outlook, OECD, 1996-2002.
[6] Ustawa z 21 listopada 2008 r o wspieraniu termomodernizacji i remontów (Dz. U. 223, poz. 14590).

ECONOMIC EVALUATION OF SELECTED PARAMETERS OF ENERGY-EFFICIENT CONSTRUCTION INDUSTRY

Summary. One of the parameters describing the energy-efficient Building Industry is a large thermal insulation of building partitions the same time, the cost of building envelope thermal insulation is one of the basic parameters under which an investor decides to implement. Assist in decision-making can be economic indicators such as SPBT-simple pay back time and *NPV*- net present value. *NPV* was a parameter in assessing the task existing in the audit thermomodernization thermo-modernization but the ministry withdrew from the analysis of the economic index and the amount of funds specifically targeted for thermo-and above all to protect the environment are expected *NPV* analysis. Therefore conducted an analysis of two indicators, namely: SPBT and the ratio of *NPV* for decision variable: insulation thickness of insulation.

10. WPŁYW BADAŃ SZCZELNOŚCI BUDYNKÓW NA ICH CHARAKTERYSTYKĘ ENERGETYCZNĄ

1. WYMAGANIA ODNOŚNIE BADAŃ SZCZELNOŚCI BUDYNKÓW

Polskie ustawodawstwo nie narzuca obowiązku wykonywania badań szczelności budynków. W Rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [2], określono, że w obiekcie mieszkalnym, zamieszkania zbiorowego, budynku użyteczności publicznej, a także w budynku produkcyjnym przegrody zewnętrzne nieprzezroczyste, złącza między przegrodami i częściami przegród oraz połączenia okien z ościeżami należy projektować i wykonywać pod kątem osiągnięcia ich całkowitej szczelności na przenikanie powietrza.

Przepisy zalecają przeprowadzenie badania szczelności powietrznej budynku oraz określenie wartości wskaźnika n_{50}, określającego ilość wymian powietrza na godzinę, która zachodzi przy różnicy ciśnień 50 Pa. Wymagane wartości współczynnika n_{50} wynoszą:

– dla budynków z wentylacją grawitacyjną 3,0 h^{-1},
– dla budynków z wentylacją mechaniczną 1,5 h^{-1}.

W przypadku budynków pasywnych wartość współczynnika n_{50} powinna być mniejsza niż 0,6 h^{-1}. Wymóg ten nakłada obowiązek wykonywania badań szczelności tychże budynków.

W Niemczech przeprowadzanie badań szczelności budynków jest obligatoryjne.

W krajach skandynawskich badania są dużo bardziej popularne niż w Polsce, choć wciąż nieobowiązkowe. Wykonywanie badań ma na celu wyeliminowanie nieszczelności konstrukcji na etapie wykonawstwa lub w trakcie użytkowania budynku.

A jaki wpływ mają badania szczelności na charakterystykę energetyczną budynku? W pracy autorzy spróbują odpowiedzieć na tak zadane pytanie. W Niemczech, gdzie badania są obowiązkowe, duży wpływ na wartość nieruchomości ma zużycie energii przez budynek będący przedmiotem transakcji. Zużycie to opisuje świadectwo charakterystyki energetycznej budynku.

Badania szczelności budynków przeprowadzane są zgodnie z normą PN-EN 13829 Właściwości cieplne budynków. Określenie przepuszczalności powietrznej budynków. Metoda pomiaru ciśnieniowego z użyciem wentylatora [1].

Norma dopuszcza dwie metody badań, w zależności od celu, w jakim są przeprowadzane:

1. Metoda A – badanie użytkowanego budynku.
2. Metoda B – badanie obudowy budynku.

KATARZYNA NOWAK, KATARZYNA NOWAK-DZIESZKO
Politechnika Krakowska

2. CHARAKTERYSTYKA ENERGETYCZNA BUDYNKU

Na podstawie Rozporządzenia [3] wskaźniki rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną EP i końcową EK wyznaczane są na podstawie analizy zysków i strat energii w budynku.

W najprostszym przypadku uwzględnia się zyski:
- słoneczne,
- wewnętrzne

oraz następujące straty energii:
- przez przenikanie przez przegrody zewnętrzne,
- przez wentylację.

Straty spowodowane nieszczelnością obudowy budynku zgodnie z Rozporządzeniem [3] uwzględnione są jako składowe współczynnika strat ciepła przez wentylację.

W przypadku budynków z wentylacją grawitacyjną uwzględnione są dwa przypadki:
- dla budynków poddanych próbie szczelności

$$V_{\inf} = \frac{0,05 \cdot n_{50} \cdot Kubatura - wentylowana}{3600}$$

- dla budynków bez próby szczelności

$$V_{\inf} = \frac{0,2 \cdot Kubatura - wentylowana}{3600}$$

Porównując powyższe wzory można stwierdzić, że dla wartości $n_{50} = 4$, V_{inf} w obu przypadkach ma taką samą wartość. Jednak wartość 4 jest wartością przekraczającą zalecaną w Rozporządzeniu [2] wartość $n_{50} = 3$. Dla budynków bez przeprowadzonej próby szczelności Rozporządzenie [3] zakłada przekroczenie zalecanej przez Rozporządzenie [2] krotności wymian.

Przeprowadzono analizę porównawczą wpływu szczelności na charakterystykę energetyczną dla dwóch różnych pod względem konstrukcji i izolacyjności budynków jednorodzinnych.

3. ANALIZOWANE BUDYNKI

Na potrzeby analizy zawartej w pracy wybrano dwa różne budynki jednorodzinne.

Pierwszy z nich to dwukondygnacyjny budynek jednorodzinny z nieogrzewaną piwnicą i nieużytkowym poddaszem (rys 1). Budynek o konstrukcji tradycyjnej, murowany (pustak+ szczelina powietrzna + cegła) ukończono w 1986 roku.

Dodatkowe informacje dotyczące budynku:
- w budynku znajduje się 5 pokoi, 2 kuchnie, 2 łazienki, dwa przedpokoje oraz klatka schodowa łącząca poszczególne kondygnacje,
- kubatura wewnętrzna 530 m^3,
- pole powierzchni obudowy 465 m^2,
- ogrzewanie centralne, kocioł węglowy,

- wentylacja grawitacyjna, otwory wentylacyjne w łazienkach, w kuchniach oraz w przedpokojach,
- w budynku zamontowane są dwuszybowe okna z PCV, a od strony południowej na parterze drewniane okna skrzynkowe.

Badanie wykonano dwiema metodami. W metodzie A, analizującej właściwości budynku w stanie użytkowania, nie zaślepiano otworów wentylacyjnych. W metodzie B wszystkie otwory wentylacyjne zostały zaślepione.

Należy zaznaczyć, że ani Rozporządzenie [2] ani Rozporządzenie [2] nie precyzują którą metodą powinny być wykonywane badania.

Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 1.

Rys. 1. Budynek jednorodzinny poddany badaniu szczelności – rok budowy 1986

Fig. 1. Analyzed detached house built in 1986

Tabela 1. Wyniki badania szczelności obudowy budynku metodą A oraz metodą B

Table 1. Results of the building envelope air tightness test, method A and method B

	Wyniki – metoda A	Wyniki – metoda B
Przepływ powietrza dla 50 Pa, V_{50} [m^3/h]	**2285**	**1985**
Ilość wymian powietrza dla 50 Pa, n_{50} [/h]	**4,310**	**3,741**

Wielkość wymiany powietrza przy różnicy ciśnienia 50 Pa wynosi $n_{50} = 3{,}741$ [h^{-1}] dla metody B oraz $n_{50} = 4{,}310$ [h^{-1}] dla metody A. Obie wartości przekraczają wartość zalecaną przez Warunki Techniczne $n_{50} = 3{,}0$ [h^{-1}] o odpowiednio 25% oraz 43%.

Po przeprowadzonych badaniach sporządzono świadectwo charakterystyki energetycznej analizowanego budynku. Należy zwrócić uwagę, że budynek nie jest ocieplony, współczynnik przenikania ciepła dla ścian zewnętrznych wynosi U = 1,25 W/m^2K, co ponad czterokrotnie przekracza wartość dopuszczalną dla tego typu budynku, która wynosi U = 0,3 W/m^2K.

Wartości Q_{Hnd} (roczne zapotrzebowanie energii użytkowej) oraz EP (roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną) wyznaczono dla następujących wartości współczynnika n_{50}.

- $n_{50} = 1{,}5$ [h^{-1}] – wg Rozporządzenia [2], wartość wymagana dla budynków z wentylacją mechaniczną
- $n_{50} = 3{,}0$ [h^{-1}] – wg Rozporządzenia [2], wartość wymagana dla budynków z wentylacją grawitacyjną
- $n_{50} = 3{,}74$ [h^{-1}] – wartość uzyskana w wyniku przeprowadzonego badania szczelności budynku metodą B

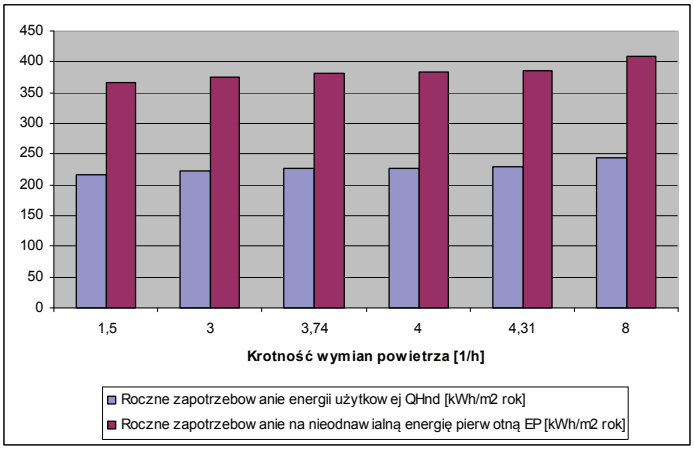
- n_{50} = 4,0 [h^{-1}] – wartość przyjmowana w Metodologii w przypadku nieprzeprowadzania badań szczelności
- n_{50} = 4,31 [h^{-1}] – wartość uzyskana w wyniku przeprowadzonego badania szczelności budynku metodą A
- n_{50} = 8,0 [h^{-1}] – teoretycznie przyjęta wartość 100% wyższa od zakładanej przez Rozporządzenie [3].

Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 2 oraz na rysunku 1.

Tabela 2. Wyniki obliczeń charakterystyki energetycznej analizowanego budynku

Table 2. Results of building energy certificate calculation for the analyzed building

Przepuszczalność powietrza n_{50} [1/h]	Roczne zapotrzebowanie energii użytkowej Q_{Hnd} [kWh/m^2 rok]	Roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną EP [kWh/m^2 rok]
1,5	216,1	366,0
3	222,8	376,0
3,74	226,2	380,9
4	**227,3**	**382,7**
4,31	228,7	384,7
8	245,3	409,4



Rys. 2. Zależność rocznego zapotrzebowania energii użytkowej i pierwotnej, od krotności wymian powietrza

Fig. 2. Relation between the annual energy need and the number of air changes

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że wartość przepuszczalności powietrznej n_{50} tylko nieznacznie wpływa na wartości parametrów energetycznych budynku. W przypadku analizowanego budynku wartość rocznego zapotrzebowania na energię użytkową oraz rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną dla wartości n_{50} = 3,74 [h^{-1}] jest tylko o 0,5% mniejsza od wartości otrzymanych przy założeniu braku badania szczelności budynku n_{50} = 4,0 [h^{-1}], natomiast dla wartości n_{50} = 4,31 [h^{-1}] o 0,6% większa. Gdyby warunek szczelności wymagany przez Rozporządzenie [2] dla analizowanego budynku był spełniony, n_{50} = 3,0 [h^{-1}], wówczas roczne zapotrzebowa-

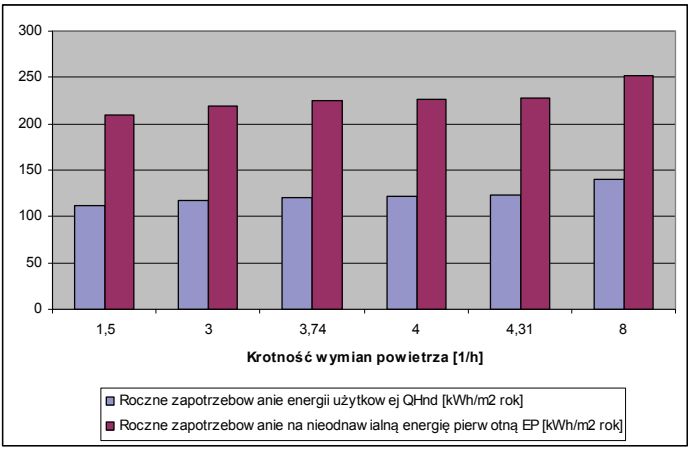
nie energii użytkowej oraz zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną zmalałyby o około 2%. Zwiększenie wartości n_{50} o 100% do n_{50} = 8,0 [h^{-1}], powoduje wzrost analizowanych wartości tylko o około 7-8%.

Jak już wspomniano wartość współczynnika przenikania ciepła dla analizowanego budynku znacznie przekracza wartości dopuszczalne przez polskie przepisy. Postawiono następujące pytanie: jaki wpływ na charakterystykę energetyczną budynku miałaby poprawa izolacyjności przegród? W analizie przyjęto zastosowanie 15 cm styropianu, co zmniejsza wartość U do U = 0,3 W/m^{2}K. Wyniki przeprowadzonych obliczeń zapotrzebowania na energię dla budynku przy różnym poziomie szczelności zawiera tabeli 3 oraz na rysunku 3.

Tabela 3. Wyniki obliczeń charakterystyki energetycznej analizowanego budynku, przyjęto U = 0,3 W/m^2·K dla ścian zewnętrznych

Table 3. Results of building energy certificate calculation for the analyzed building, with the assumption of U = 0,3 W/m^{2}K for the external walls

Przepuszczalność powietrza n_{50} [1/h]	Roczne zapotrzebowanie energii użytkowej Q_{Hnd} [kWh/m^2 rok]	Roczne zapotrzebowanie na nieodnawilaną energię pierwotną EP [kWh/m^2 rok]
1,5	111,2	210,0
3	117,7	219,6
3,74	120,9	224,4
4	122,0	226,0
4,31	123,3	228,0
8	139,4	251,9

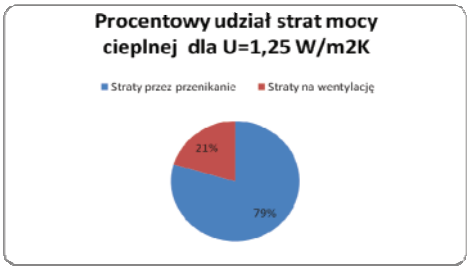


Rys. 3. Zależność rocznego zapotrzebowanie energii użytkowej i pierwotnej, od krotności wymian powietrza

Fig. 3. Relation between the annual energy need and the number of air changes

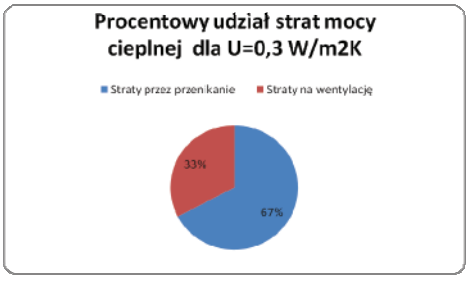
Poprawa izolacyjności przegród budynku znacznie zmniejszyła straty przez przenikanie, a w konsekwencji roczne zapotrzebowanie energii użytkowej zmalało o około 46%, z 227,3 kWh/m^2 rok na 122,0 kWh/m^2 rok. Wartość EP zmalała o około 41%, z 382,7 kWh/m^2 rok na 226,0 kWh/m^2· rok.

Okazuje się, że w przypadku budynku o niższym zapotrzebowaniu na energię, wpływ badań szczelności na wartości Q_{Hnd} oraz EP jest nieco większy. Wartość rocznego zapotrzebowania na energię użytkową oraz rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną dla wartości n_{50} = 3,74 [h^{-1}] jest teraz około 1% mniejsza (poprzednio tylko 0,5%) od wartości otrzymanych przy założeniu braku badania szczelności budynku (n_{50} = 4,0 [h^{-1}]), natomiast dla wartości n_{50} = 4,31 [h^{-1}] o 1% większa. Dla n_{50} = 8,0 [h^{-1}], wartość rocznego zapotrzebowania na energię użytkową wzrośnie o 14% (poprzednio około 8%), natomiast wartość rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną wzrośnie o około 11,5% (poprzednio około 7%). Ma to związek z procentowym udziałem strat ciepła przez wentylację (H_{ve}) oraz przez przenikanie (H_{tr}) w całkowitym współczynniku strat mocy cieplnej dla budynku. Udział ten w przypadku budynku rzeczywistego i zmodernizowanego przedstawiają odpowiednio na rysunku 4 i 5.



Rys. 4. Procentowy udział strat mocy cieplnej dla analizowanego budynku

Fig. 4. Percentage share of heat loses for the analyzed building



Rys. 5. Procentowy udział strat mocy cieplnej dla budynku ocieplonego

Fig. 5. Percentage share of heat loses for the insulated building

Kolejnym budynkiem był dom jednorodzinny wybudowany w 2004 roku. Budynek zbudowany w technologii ścian murowanych (jednowarstwowe z betonu komórkowego) o powierzchni użytkowej 153 m^2 z wentylacją grawitacyjną.

Dodatkowe informacje dotyczące budynku:

- w budynku znajdują się 4 pokoje, kuchnia, 2 łazienki oraz pomieszczenia wentylowane: spiżarnia, garderoba i pomieszczenie gospodarcze, klatka schodowa oraz wiatrołap,
- kubatura wewnętrzna 416 m^3,
- pole powierzchni obudowy 328 m^2,
- ogrzewanie centralne, kocioł gazowy.

Podobnie jak w poprzednim przypadku badania przeprowadzono dwoma metodami A oraz B. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wyniki badania szczelności domu jednorodzinnego metodą A i B

Table 4. Results of the building envelope airtightness test, method A and method B

	Wyniki – metoda A	Wyniki – metoda B
Przepływ powietrza dla 50 Pa, V_{50} [m^3/h]	**4395**	**4140**
Ilość wymian powietrza dla 50 Pa, n_{50} [/h]	**8,795**	**8,275**

Uzyskane wielkość wymiany powietrza w warunkach różnicy ciśnienia 50 Pa w przypadku drugiego analizowanego budynku wynosi n_{50} = 8,275 [h^{-1}], dla metody B oraz n_{50} = 8,795 [h^{-1}] dla metody A. Obie wartości znacznie przekraczają dopuszczaną w Warunkach Technicznych wartość n_{50} = 3,0 [h^{-1}].

W tym przypadku, współczynnik przenikania ciepła dla ścian zewnętrznych wynosi U = 0,29 W/m^2K i nie przekracza wartości dopuszczalnej przez polskie przepisy.

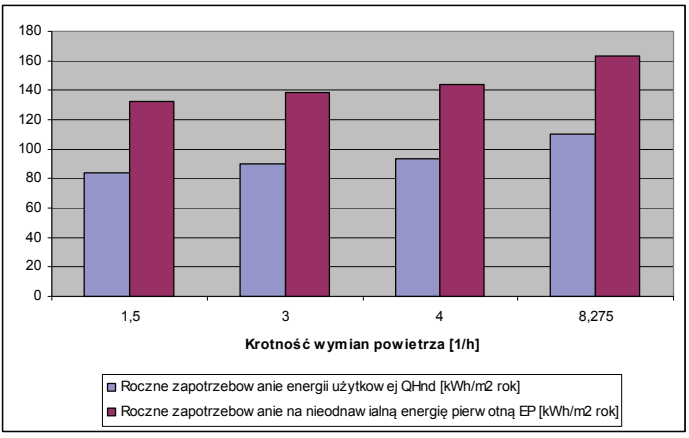
Przeanalizowano wartości Q_{Hnd} oraz EP dla różnych wariantów. W pierwszym przypadku nośnikiem energii był węgiel kamienny, natomiast w drugim gaz ziemny. Oba nośniki charakteryzuje ta sama wartość współczynnika nakładu energii nieodnawialnej równa w_i = 1,1.

Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 5 oraz na rysunku 6.

Tabela 5. Wyniki obliczeń charakterystyki energetycznej analizowanego budynku

Table 5. Results of building energy certificate calculation for the analyzed building

Przepuszczalność powietrza n [1/h]	Roczne zapotrzebowanie energii użytkowej Q_{Hnd} [kWh/m^2 rok]	Roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną EP [kWh/m^2 rok]
1,5	84,18	132
3	89,83	138,9
4	93,62	143,6
8,275	109,96	163,6

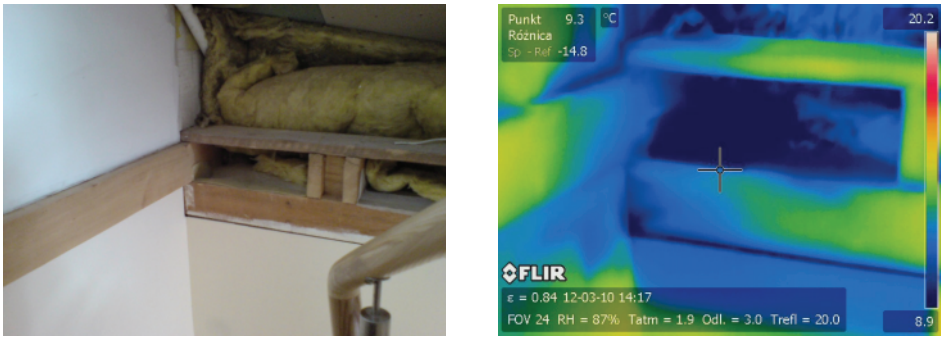


Rys. 6. Zależność rocznego zapotrzebowanie energii użytkowej i pierwotnej, od krotności wymian powietrza

Fig. 6. Relation between the annual energy need and the number of air changes

W przypadku analizowanego budynku wartość rocznego zapotrzebowania na energię użytkową dla wartości n_{50} = 8,275 [h^{-1}] jest o 17% większa od wartości otrzymanych przy założeniu braku badania szczelności budynku n_{50} = 4,0 [h^{-1}] natomiast wartość rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną o 14% większa. Gdyby warunek szczelności wymagany przez Rozporządzenie [2] dla analizowanego budynku był spełniony, n_{50} = 3,0 [h^{-1}], wówczas roczne zapotrzebowanie energii użytkowej zmalałoby o około 22% natomiast zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną zmalałoby o około 18%.

Przyczyną tak wysokiej wartości n_{50} dla analizowanego budynku jest nieszczelność na połączeniu konstrukcji dachu ze ścianą zewnętrzną (rys. 7). Niedokładność wykonania miała znaczny wpływ na rzeczywiste wyniki badania szczelności. Oszacowanie faktycznych wpływów niedociągnięć wykonawczych na wartość wskaźnika n_{50} bez wykonania badania szczelności praktycznie jest niemożliwe.



Rys. 7. Nieszczelność w obudowie analizowanego budynku. Zdjęcie stanu faktycznego oraz termogram wykonany w czasie badania szczelności budynku

Fig. 7. Air leakage in the analyzed building envelope. Thermogram taken while airtightness tests

4. WNIOSKI

Powyższe analizy wskazują na znaczny wpływ wyników badań szczelności na wartość zapotrzebowania na energię użytkową oraz na wartość zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną. Wpływ ten jest większy dla budynków o niższym zapotrzebowaniu na energię oraz w przypadku obiektów, w których występują znaczne nieszczelności.

LITERATURA

[1] PN-EN 13829 Właściwości cieplne budynków. Określenie przepuszczalności powietrznej budynków. Metoda pomiaru ciśnieniowego z użyciem wentylatora.

[2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002.

[3] 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 z dnia 6 listopada 2008 roku.

INFLUENCE OF AIRTIGHTNESS MEASUREMENTS ON THE BUILDING ENERGY CERTIFICATE

Summary. Requirements regarding airtightness of the buildings described in the polish national standards are just recommended not obligated. Based on the experience of the other countries it is obvious that field tests give the possibility of building energy usage reduction. In this article the influence of the airtightness measurements on the building energy certificate was described together with some results of the field tests.

11. WARUNKI TERMICZNE W PASYWNYM BUDYNKU HALI SPORTOWEJ W OKRESIE LATA

1. WSTĘP

W pracy przedstawiono wyniki pomiarów mikroklimatu w pasywnym budynku użyteczności publicznej Hali Sportowej w Słomnikach w okresie wysokiej temperatury zewnętrznej.

Okres letni jest szczególnie trudny do zagwarantowania odpowiednich warunków mikroklimatycznych w miejscach funkcjonowania większej liczbie ludzi. Zyski od znajdujących się w budynku źródeł ciepła w połączeniu z wysoką temperaturą zewnętrzną mogą łatwo doprowadzić do przegrzania i zachwiania równowagi cieplnej organizmu. Zaburzenia procesów termoregulacji, objawiające się m.in. wzrostem temperatury skóry, przyspieszeniem oddechu, rozszerzeniem naczyń krwionośnych, zwiększeniem częstości skurczów serca czy zachwianiem gospodarki wodnej i elektrolitycznej organizmu, mogą doprowadzić do osłabienia, nudności i zawrotów głowy. W skrajnych przypadkach dochodzi do zasłabnięcia, utraty przytomności, a nawet udaru cieplnego [2].

2. OCENA MIKROKLIMATU W ŚWIETLE OBOWIĄZUJĄCYCH WYMAGAŃ

Pomiary mikroklimatu polegają na zmierzeniu wielkości podstawowych i pochodnych parametrów fizycznych oraz obliczeniu wartości odpowiednich wskaźników w celu porównania z wymaganiami higienicznymi. Dla mikroklimatu umiarkowanego wymogi te podaje Polska Norma PN-EN ISO 7730:2006 [3], w przypadku środowisk zimnych i gorących należy odwoływać się do Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych w środowisku pracy [5].

Komfort cieplny definiowany jest jako stan umysłu, w którym człowiek odczuwa równowagę pomiędzy otaczającym środowiskiem a wrażeniami psychofizycznymi. Ilość ciepła powstającego w organizmie w trakcie przemian metabolicznych powinna być równoważna przez straty ciepła oddawanego do środowiska m.in. przez promieniowanie, konwekcję i przewodzenie [1].

Środowisko termicznie komfortowe dla człowieka oceniane jest za pomocą wskaźników PMV i PPD. Pierwszy z nich (Predictive Mean Vote) określa przewidywaną ocenę średnią zgodnie z siedmiostopniową psychofizyczną skalą wrażeń cieplnych Fangera [1] (tab. 1).

ANNA DUDZIŃSKA
Politechnika Krakowska

Tabela 1. Siedmiostopniowa skala oceny środowiska umiarkowanego

Table 1. Scale of estimate of moderate environment

+3 gorąco		-1 dość chłodno
+2 ciepło	0 obojętnie	-2 chłodno
+1 dość ciepło		_3 zimno

Norma dotycząca pomiaru mikroklimatu umiarkowanego zaleca posługiwanie się wskaźnikiem PMV przy określonych niżej wartościach parametrów wejściowych:

- temperatura powietrza wewnątrz budynku 10-30ºC,
- względna prędkość przepływu powietrza w pomieszczeniu 0-1 m/s,
- maksymalne ciśnienie cząstkowe pary wodnej w mierzonym obszarze 2700 Pa,
- średnia temperatura promieniowania otaczających powierzchni 10-40ºC,
- oporność cieplna odzieży 0-2 clo,
- metabolizm 1-4 met [3].

Wskaźnik PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) określa procent osób przebywających w danym środowisku odczuwających brak komfortu termicznego. W idealnych warunkach komfortu cieplnego wartość PMV powinna mieścić się w granicach od –0,5 do +0,5, co odpowiada 10% PPD.

Jeżeli natomiast bezwzględna wartość wskaźnika PMV przekracza wartość 2,0, to należy dodatkowo przeanalizować mikroklimat pomieszczenia według stosownych wymagań oceny środowisk: zimnych [PMV < -2] lub gorących [PMV > +2], w celu ustalenia obciążenia termicznego jako „dającego się zaakceptować" lub „tolerować".

Wskaźnikiem do oceny obciążenia termicznego w środowisku gorącym, wiążącym trzy wielkości: temperaturę powietrza, średnią temparaturę promieniowania oraz wilgotność bezwzględną jest WBGT (Wet Bulb Globe Temperature). Sposób wykonania pomiaru tego wskaźnika określony jest w Polskiej Normie PN-EN-27243:2005 Środowisko gorące. Wyznaczenie obciążenia termicznego działającego na człowieka podczas pracy, oparte na wskaźnku WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) [4]. Wartości wskaźnika WBGT, podane w stopniach Celsjusza, nie mogą przekraczać w ciągu 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy wartości dopuszczalnych zawartych w Rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Socjalnej w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych w środowisku pracy [5]. Podane tam wartości dopuszczalne zależne są od tempa metabolizmu organizmu, związanego z wielkością wysiłku fizycznego, informacją o zaaklimatyzowaniu (lub jego braku) człowieka do środowiska gorącego, a także danymi dotyczącymi ruchu powietrza (tab. 2).

Tabela 2. Dopuszczalne wartości wskaźnika WBGT zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Pracy i Polityki Społecznej [3]

Table 2. Admissible values of indices WBGT according to disposition of Minister of Labor and Social Politics [3]

Klasa tempa metabolizmu	Tempo metabolizmu		Wartości dopuszczalne WBGT			
	odniesienie do jednostki powierzchni skóry W/m²	całkowite (przy średniej powierzchni skóry 1,8 m²) W	osoba zaaklimatyzowana w środowisku gorącym °C		osoba niezaaklimatyzowana w środowisku gorącym °C	
0 (spoczynek)	M ? 65	M ? 117	33		32	
1 (praca lekka)	65 < M ? 130	117 < M ? 234	30		29	
2 (praca średnio ciężka)	130 < M ? 200	234 < M ? 360	28		26	
3 (praca ciężka)	200 < M ? 260	360 < M ? 468	nieodczuwalny ruch powietrza 25	odczuwalny ruch powietrza 26	nieodczuwalny ruch powietrza 22	odczuwalny ruch powietrza 23
4 (praca bardzo ciężka)	M > 260	M > 468	23	25	18	20

3. WARUNKI POMIARU ŚRODOWISKA W ANALIZOWANEJ HALI

Pomiary mikroklimatu w hali (rys. 1) w Słomnikach wykonane zostały w okresie wysokiej temperatury zewnętrznej. Wentylacja mechaniczna była w tym okresie całkowicie wyłączona.

Rys. 1. Wnętrze hali od strony południowej

Fig. 1. South part of the sport center hall

Dane rejestrowane były z 10-minutowymi interwałami czasowymi. Przez pierwsze dwa dni pomiarów rolety wewnętrzne były podniesione, a okna zarówno po stronie północnej, jak i południowej – uchylone.

W trakcie trzeciego dnia pomiarów w hali odbywały się zawody piłki koszykowej mężczyzn (rys. 2). Przy wysokiej temperaturze powietrza zewnętrznego oraz silnym nasłonecznieniu, a także dużej frekwencji osób w sali rolety opuszczono i pozamykano okna po stronie południowej (rys. 3). Działanie to miało na celu ograniczenie dostępu promieni słonecznych oraz gorącego powietrza z zewnątrz.

Rys. 2. Rozgrywki sportowe podczas trzeciego dnia badań

Fig. 2. Sport games during the third day of tests

Rys. 3. Południowe okna hali osłonięte roletami podczas upalnego dnia

Fig. 3. South windows shaded during the hot day

W trzecim dniu pomiaru, ze względu na opuszczone rolety i odbywające się zawody sportowe, sala musiała być doświetlona światłem sztucznym. Warunki zewnętrzne i wewnętrzne podczas pomiarów zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Warunki zewnętrzne i wewnętrzne podczas pomiarów

Table 3. External and internal conditions during measurements

Data	Temperatura zewnętrzna	Rolety wewnętrzne	Uchylone okna	Uchylone okna	Liczba osób	Liczba osób
	[°C]	[-]	N	S	Sala	Trybuny
29.cze	31	nie	tak	tak	10	0
30.cze	35	nie	tak	tak	10	0
01.lip	35	tak	tak	nie	20	80

4. WYNIKI BADAŃ

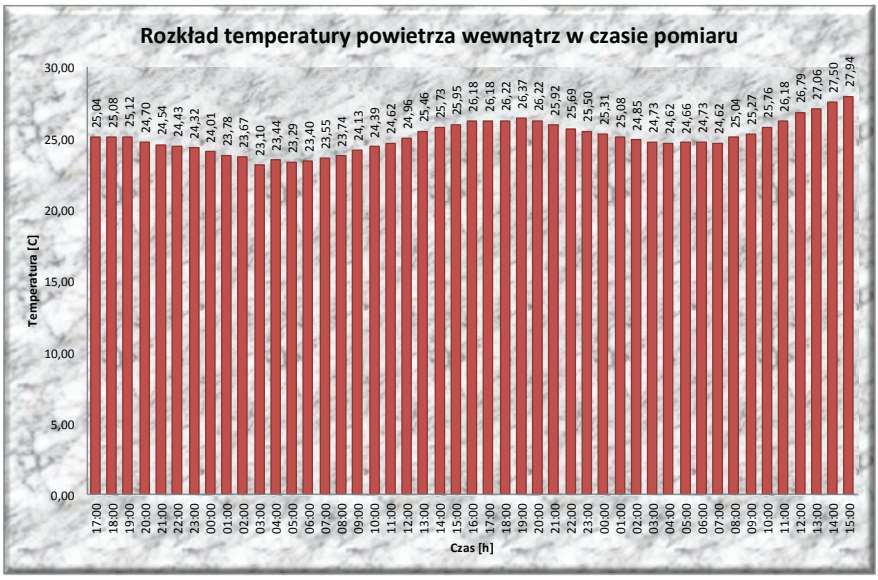
Mikroklimat wnętrza hali analizowano-uwzględniając osoby uprawiające sport i siedzące na trybunach przy założonym poziomie metabolizmu oraz odporności cieplnej (tab. 4).

Tabela 4. Założony poziom metabolizmu oraz oporności cieplnej dla dwóch rodzajów aktywności ruchowej

Table 4. Founded level of metabolism and thermal resistance for two kind of motor activities

Środowisko umiarkowane				
	Ciepło metaboliczne		Oporność cieplna odzieży	
Rodzaj aktywności	[met]	[W/m^2]	[clo]	[m^{2}C/W]
Zawodnik	3,869	225	0,3	0,0465
Widz	1,204	70	0,33	0,0512

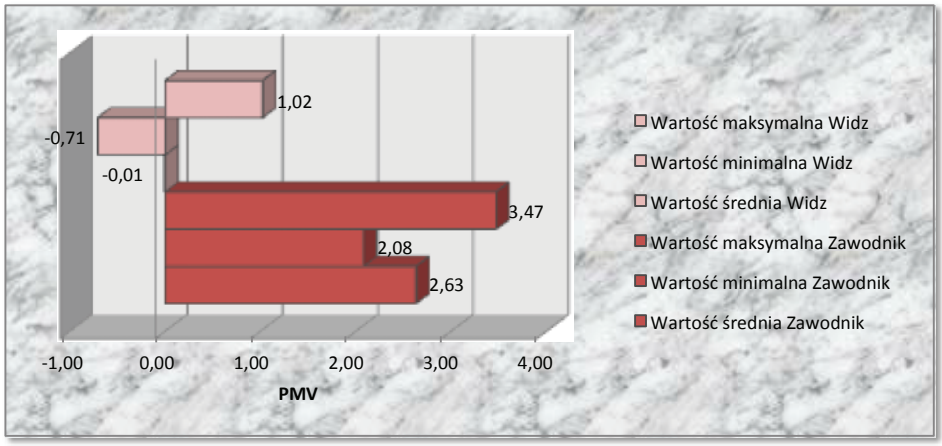
Rozkład temperatury powietrza wewnętrznego podczas pomiaru przedstawia rysunek 4. W okolicach godziny 14.00 temperatura osiągnęła wartość maksymalną, powyżej 27°C.



Rys. 4. Wartości temperatury powietrza wewnętrznego

Fig. 4. Internal air temperature

Obliczone na podstawie trzydniowych pomiarów wartości wskaźników PMV oraz PPD dla środowiska umiarkowanego podano w tabeli 5. Wyniki pomiarów wskaźnika PMV dla dwóch rodzajów aktywności fizycznej przedstawiono natomiast na rysunku 5.



Rys. 5. Wyniki pomiarów wskaźnika PMV dla dwóch rodzajów aktywności fizycznej

Fig. 5. Values of PMV coefficients for two kinds of physical activity

Tabela 5. Wyniki pomiarów w środowisku umiarkowanym
Table 5. Results of measurements in moderate environment

		temperatura powietrza	wilgotność	temperatura promieniowania	prędkość przepływu powietrza	ciśnienie cząstkowe pary wodnej	temperatura operatywna	przewidywana ocena średnia	przewidywany odsetek niezadowolonych
		ta [°C]	RH [%]	tr [°C]	va [m/s]	pa [kPa]	to [°C]	PMV	PPD
Zawodnik	Wartość średnia	25,05	60,83	25,82	0,01	1,94	25,28	2,63	93,11
	Wartość minimalna	23,10	50,50	23,82	0,00	1,60	23,37	2,08	80,06
	Wartość maksymalna	27,94	73,30	31,59	0,01	2,64	28,08	3,47	99,08
Widz	Wartość średnia	25,05	60,83	25,82	0,01	1,94	25,43	-0,01	8,71
	Wartość minimalna	23,10	50,50	23,82	0,00	1,60	23,55	-0,71	5,00
	Wartość maksymalna	27,94	73,30	31,59	0,01	2,64	28,64	1,02	27,02

W związku z faktem, że wartość wskaźnika PMV dla zawodnika wyniosła powyżej 2,0 mimo niewysokiej ilości wytwarzanego ciepła metabolicznego, przeprowadzono dodatkową analizę tego rodzaju aktywności, lecz w środowisku gorącym (tab. 6). Pozwoliło to na wyznaczenie wskaźnika obciążenia termicznego WBGT i porównanie go w wartościami dopuszczalnymi, zawartymi w Rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Społecznej [5]. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów, program InfoGap podaje dwie wartości wskaźnika WBGT; ext – z uwzględnieniem promieniowania otaczających powierzchni oraz int – bez promieniowania.

Wykonano obliczenia dla dwóch wartości aktywności zawodnika; pierwsza, taka jak założono w środowisku umiarkowanym i równa – 3,869 met, druga wynosząca 7,481 met i lepiej odzwierciedlająca duży wysiłek fizyczny podczas uprawiania sportu wyczynowego.

Tabela 6. Zestawione wyniki pomiarów w środowisku gorącym poszczególnych parametrów dla zawodnika przy założonym różnym tempie metabolizmu

Table 6. Collated results of measurements in hot environment of individual parameter for sportsman at founded different rate of metabolism

		temperatura powietrza	wilgotność	temperatura promieniowania	prędkość przepływu powietrza	ciśnienie cząstkowe pary wodnej	temperatura operatywna	wskaźnik do oceny obciążenia termicznego	wskaźnik do oceny obciążenia termicznego
		ta [°C]	RH [%]	tr [°C]	va [m/s]	pa [kPa]	to [°C]	WBGTint [°C]	WBGText [°C]
Zawodnik 3,869 met - 225 [W/m^2]	Wartość średnia	25,05	60,83	25,82	0,01	1,94	25,35	23,31	23,25
	Wartość minimalna	23,10	50,50	23,82	0,00	1,60	23,46	21,14	21,07
	Wartość maksymalna	27,94	73,30	31,59	0,01	2,64	28,13	26,10	26,05
Zawodnik 7,481 met - 435 W/m^2	Wartość średnia	25,05	60,83	25,82	0,01	1,94	25,35	23,31	23,25
	Wartość minimalna	23,10	50,50	23,82	0,00	1,60	23,46	21,14	21,07
	Wartość maksymalna	27,94	73,30	31,59	0,01	2,64	28,13	26,10	26,05

5. ZESTAWIENIE WYNIKÓW

Średnia wartość współczynnika PMV dla widza wyniosła -0,01. Minimalna wartość równa -0,71 została osiągnięta 30.06 około godziny 4.00, a więc tylko wtedy, gdy hala nie była używana. Wartości maksymalne, oscylujące w granicach 1,00 PMV, przypadały na okolice godziny 14.00, kiedy temparatura wewnątrz hali wynosiła powyżej 27°C.

W przypadku zawodnika wskaźnik przewidywanej oceny średniej przekraczał wartość 2,0 w ciągu całego cyklu pomiarowego. Średnia wartość wyniosła 2,63. Maximum równe 3,47 przypadło 01.07 na godzinę 15.00, przy czym w tym dniu już od godziny 11.00 wskaźnik PMV przekraczał wartość 3,00. Temperatura wewnątrz hali w tym czasie kształtowała się na poziomie 27°C, a ok. godziny 15.00 osiągnęła wartość 27,94°C.

W przypadku analizy przeprowadzonej dla środowiska gorącego dla dwóch różnych rodzajów aktywności zawodnika, średnie wartości wskaźnika WBGT były identyczne i wyniosły 23,31°C dla WBGTint oraz 23,25°C dla WBGText. Maximum wyno-

szące niewiele powyżej 26,00°C wystąpiło ok. godziny 14.00 w dniu 01.07. Wartości minimalne równe 21,07°C (ext) oraz 21,14°C (int). przypadały na godzinę 3.00 dnia 30.06. Wtedy WBGT od godziny 0.10 do 7.50 oscylował pomiędzy wartością 21,00°C a 22,00°C. Przy analizie wyników należy zaznaczyć, że godziny nocne nie są nigdy czasem pracy i ekslpoatacji hali.

Wilgotność w pomieszczeniu kształtowała się na poziomie 60% przy wyłączonej wentylacji oraz uchylonych oknach. W momentach krytycznych dnia 01.07 w godzinach od 12.00 do 14.30 osiągała wartość powyżej 70%, dochodząc do maximum równego 73,30%.

Ciśnienie cząstkowe pary wodnej p_a w szczytowym momencie wyniosło 2,64 [kPa] i nie przekroczyło wartości maksymalnej wynoszącej 2,7 [Pa].

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzone badania są podstawą do sformułowania szeregu wniosków, dotyczących oceny warunków mikroklimatycznych w hali podczas wysokich temperatur zewnętrznych:

- uśredniona dla całego 3-dniowego okresu badań wartość współczynnika PMV dla widza wyniosła -0,01 i odpowiadała idealnie warunkom komfortu cieplnego według kryterium podanego przez Fangera oraz normę PN-EN ISO 7730:2006 [1, 3]. Wynika z tego, że w przypadku niewielkiej aktywności fizycznej, przy wysokich temperaturach zewnetrznych, użytkownik hali będzie znajdował się w korzystnych dla jego organizmu warunkach;
- wskaźnik przewidywanej oceny średniej w przypadku zawodnika przekroczył wartość graniczną wynoszącą 2,0, co skłoniło do analizy uwzględniającej niekorzystne obciążeni termiczne. Wartość parametru WBGTint wynosiła 23,31°C, a WBGText była równa 23,25°C. Zakładając, że osoby uprawiające sport nie były zaaklimatyzowane do wysiłku w środowisku gorącym, nieodczuwalny był dla nich ruch powietrza, a tempo ich metabolizmu wynosiło 225 W/m^2. Do oceny warunków w hali przyjęto trzecią z czterech możliwych klas. Zgodnie z Rozporządzeniem [5] wartość dopuszczalna WBGT dla tej klasy wynosi 23°C. Oznacza to, że w przypadku hali wartość ta została przekroczona, a w okresach przebywania w obiekcie największej liczby użytkowników wskaźnik WBGT osiągał wartość 25-26°C. Wnioskować należy zatem, że warunki panujące wewnątrz podczas, odbywających się wówczas zawodów można uznać za trudne do zaakceptowania. Wysoka temperatura oraz wilgotność narażały organizm zawodników na zaburzenia procesów termoregulacji;
- średnia wartość temperatury powietrza w okresie przeprowadzonych badań wyniosła 25,05ºC. Norma klimatu umiarkowanego [3] dopuszcza maksymalną temperaturę wewnętrzną 30ºC w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi. Najwyższa zmierzona temperatura przypadała na godzinę 15.00 i wyniosła 27,94ºC. Można tylko przypuszczać, że temperatura wewnątrz mogłaby być jeszcze wyższa gdyby nie fakt, że ok. godz. 9.00 dnia 01.07 zasłonięte zostały rolety wewnętrze od strony południowej, co miało ograniczyć zyski od nasłonecznienia. Zewnętrzne łamacze światła, przy silnym w okresie letnim, promieniowaniu słonecznym w godzinach popołudniowych, nie są w stanie zredukować wspomnianych zysków cieplnych;
- wentylacja mechaniczna była całkowicie wyłączona, co mogło wpłynąć na wysoki poziom wilgotności względnej, dochodzący nawet do poziomu 73,30%. Uchylone okna, początkowo po obu stronach hali, następnie jedynie po stronie północnej (z powodu zasuniętych rolet wewnętrznych), nie były w stanie zapewnić odpowiednich warunków w obiekcie;

- temperatury promieniowania kształtowały się na poziomie od 23,82ºC do 31,59ºC i spełniały kryterium stosowalności wskaźnika komfortu PMV dla klimatu umiarkowanego, wynoszącym 10-40ºC;
- zmierzona prędkość przepływu powietrza v_a wyniosła 0,01 m/s. Pojedyncze odczyty wskazujące wartości v_a od 0,02 do 0,05 m/s mogą świadczyć jedynie o chwilowych ruchach w obrębie sprzętu pomiarowego, związanych z usytuowaniem miernika w miejscu narażonym na przeciągi. Wszystkie wartości spełniają warunki dla mikroklimatu umiarkowanego, gdzie $v_a = \{0,1\}$ m/s.

Analiza mikroklimatu w badanej hali w okresie letnim potwierdza występowanie komfortu cieplnego w pasywnym obiekcie, ale tylko i wyłącznie w przypadku niewielkiej aktywności fizycznej jej użytkowników. Problem pojawia się, kiedy tempo metabolizmu osób przebywających w budynku wzrasta do 3,8 metów i więcej. Obliczone dla wysokich aktywności fizycznych wartości wskaźników WBGT wskazują na występowanie ryzyka zagrożenia zdrowia osób korzystających z obiektu w danych warunkach. Dla budynku już instniejącego, bez systemu chłodzenia, gdy nie można dokonać weryfikacji usytuowania względem stron świata, ograniczając zyski od nasłonecznienia czy też zmodyfikować ilości i wielkości oszklenia, należałoby się zastanowić nad godzinami korzystania z obiektu. Na podstawie dokonanych badań, przy wysokich temperaturach powietrza zewnętrznego, sugeruje się, aby zawody sportowe przeprowadzać w godzinach wczesnorannych lub wieczornych. Pozwoli to wyeliminować trudne do zaakceptowania dla organizmu człowieka, warunki klimatyczne wewnątrz.

LITERATURA

[1] Fanger P.O., 1974.Komfort cieplny. Arkady Warszawa.
[2] Krasuska E., 2007. Ocena warunków pracy w mikroklimacie gorącym. www.pracaizdrowie.com.pl/content/view/239/6
[3] PN-EN ISO 7730:2006, Ergonomia środowiska termicznego. Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego.
[4] PN-EN-27243:2005, Środowisko gorące. Wyznaczenie obciążenia termicznego działającego na człowieka podczas pracy, oparte na wskaźnku WBGT (Web Bulb Globe Temperature).
[5] Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych w środowisku pracy z dnia 29 listopada 2002 r.

THERMAL CONDITIONS IN THE PASSIVE SPORT CENTER IN SUMMER

Summary. In the article a short description of the low-energy sport centre as well as results of the integrated comfort gauge measurements done in this building were presented. Initial evaluation of technical conditions was made.

12. METODA OBLICZANIA STRAT CIEPŁA PRZEZ PRZESTRZENIE NIEOGRZEWANE PRZY POMOCY GAŁĘZIOWYCH WSPÓŁCZYNNIKÓW PRZENIKANIA CIEPŁA

1. WPROWADZENIE

W przestrzeniach nieogrzewanych, świadomie wprowadzonych do struktury konstrukcyjnej budynku, temperatura wewnętrzna jest z reguły pewnym uśrednieniem temperatury wnętrza i atmosfery. Pojawia się więc układ dwustrefowy, w którym temperatura przestrzeni nieogrzewanej t_u, znacznie różni się od temperatury graniczącego z nią ogrzewanego wnętrza t_i, silnie zależy też nie tylko od konfiguracji geometryczno-materiałowej przegrody i złączy, ale również od sposobu i intensywności wentylacji przestrzeni nieogrzewanej.

Nadchodzący czas obligatoryjnego projektowania budynków o bardzo niskim zużyciu energii wymagać będzie przygotowania skutecznych metod, pozwalających w takich przypadkach na szybkie i dokładniejsze szacowanie strat.

W znacznej części projektów dachów stromych i stropodachów wykorzystuje się przestrzeń nieogrzewaną (ponad termoizolacją) do odprowadzenia części wilgoci z budynku, kreując w ten sposób równocześnie dodatkowe opory cieplne, które powinny być uwzględniane w bilansie energetycznym budynku.

2. METODOLOGIA OBLICZANIA STRAT CIEPŁA PRZEZ PRZESTRZENIE NIEOGRZEWANE

Pomijając metody przybliżone opisane w normie PN-EN ISO 6946: 2008 [4], dokładniejsza procedura polega na bilansowaniu strumieni cieplnych przenikających przez przestrzeń nieogrzewaną.

Strumień cieplny płynący z budynku przez przestrzeń nieogrzewaną, wyrażony jest wartością współczynnika H_U, uwzględniającego opory cieplne przestrzeni nieogrzewanej ($b < 1{,}0$):

$$H_U = b \cdot H_{iu} \tag{1}$$

gdzie:

H_{iu} jest wartością współczynnika sprzężenia cieplnego między budynkiem (i) a nieogrzewaną przestrzenią (u).

Zwykle zakłada się brak wymiany powietrza między przestrzeniami (i) oraz (u), co prowadzi do formuły na określenie współczynnika b:

AMABELA DYLLA, ANDRZEJ DYLLA
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

$$b = \frac{H_{ue}}{H_{ue} + H_{iu}} \tag{2}$$

gdzie:

H_{ue} jest wartością współczynnika sprzężenia cieplnego między przestrzenią nieogrzewaną (u) i atmosferą (e).

W wartości współczynnika H_{ue} oprócz strat ciepła przez przenikanie uwzględnia się straty ciepła przez wentylację przestrzeni nieogrzewanej.

Opisana wyżej metodologia obliczania H_U podana w normie PN-EN ISO 13789: 2008 [3] wymaga uwzględnienia w szacowaniu strumieni H_{ue} i H_{iu} znaczącego wpływu mostków cieplnych występujących w obu częściach złącza.

3. OBLICZANIE GAŁĘZIOWYCH WSPÓŁCZYNNIKÓW PRZENIKANIA CIEPŁA W MODELACH DWUSTREFOWYCH

Wprowadzenie „gałęziowych współczynników przenikania ciepła", zaproponowane przez autorów już w 2005 roku [2], odnosiło się do obliczania rozdziału strumieni cieplnych w gałęziach (powierzchniach) złącza modeli jednostrefowych (t_i).

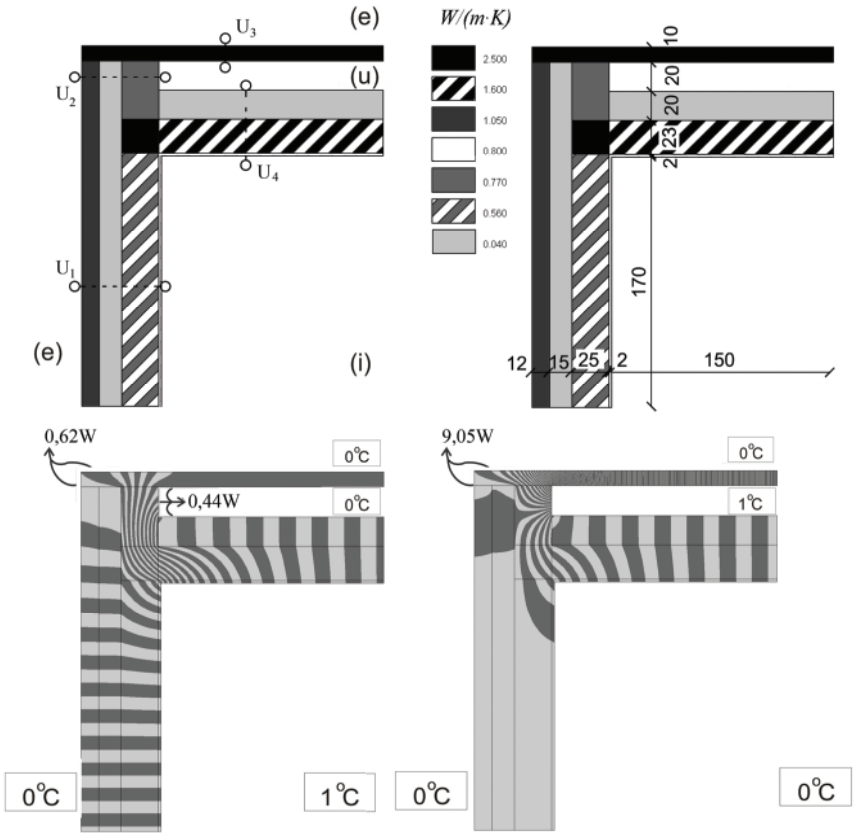
Omawiany w niniejszej publikacji przypadek z przestrzenią nieogrzewaną dotyczy dwustrefowego złącza ściany zewnętrznej ze stropodachem. Te dwie strefy temperatury realizują się: w ogrzewanym wnętrzu budynku t_i oraz w przestrzeni nieogrzewanej t_u.

Gałęziowe współczynniki przenikania ciepła w modelach dwustrefowych, po raz pierwszy opisane przez autora [1], pozwalają na uproszczenie rozważanych wyżej obliczeń strumieni cieplnych.

Identyfikacja gałęziowych współczynników przenikania ciepła następuje w wyniku symulacji numerycznej, przy wykorzystaniu programu komputerowego [5], dwóch przypadków zero-jedynkowych badanego złącza (rys. 1). Przyjęto w szczególności dwie różne temperatury stref wewnętrznych: t_i = 1°C oraz t_u = 0°C; t_i = 0°C oraz t_u = 1°C. Dla obu przypadków temperatura strefy zewnętrznej t_e = 0°C.

Symulacji należy dokonać dla rzeczywistego złącza o realnie ukształtowanej geometrii i parametrach cieplnych.

Na rysunku 1 przedstawione są wyniki symulacji numerycznej badanego złącza w postaci mapy adiabat dwóch rozważanych przypadków, z obliczonymi w programie wielkościami strumieni ciepła, przepływającego przez zaznaczone powierzchnie złącza (strzałki).



Rys. 1. Dwa przypadki przepływu ciepła w złączu stropodachu wentylowanego ze ścianą zewnętrzną trójwarstwową

Fig. 1. Two examples of heat flow in joint of ventilated roof with external three- layer wall

Znając współczynniki przenikania ciepła poszczególnych przegród U_1,U_2,U_3,U_4, oblicza się współczynniki gałęziowe złącza:

$$\psi_{ie} = \phi_{ie} - U_1 \cdot A_1$$

$$\psi_{ue} = \phi_{ue} - U_2 \cdot A_2 - U_3 \cdot A_3 \tag{3}$$

$$\psi_{iu} = \psi_{ui} = \phi_{iu} - U_4 \cdot A_4$$

gdzie:

$\psi_{ie}, \psi_{ue}, \psi_{iu}$ – gałęziowe współczynniki przenikania ciepła, współczynnik ψ_{ue} dotyczy sumy mostków w przestrzeni nieogrzewanej stropodachu,

$\phi_{ie}, \phi_{ue}, \phi_{iu}$ – strumienie ciepła płynące między obszarami i,e,u w obszarze złącza,

A_1, A_2, A_3, A_4 – powierzchnie złącza w przepływach jednowymiarowych.

4. ZASTOSOWANIE WSPÓŁCZYNNIKÓW GAŁĘZIOWYCH W OBLICZENIACH STRAT CIEPŁA PRZEZ PRZESTRZENIE NIEOGRZEWANE – PRZYKŁAD

Znajomość współczynników gałęziowych złącza pozwala w prosty sposób na wykorzystanie wzorów (1) i (2), podanych wyżej, do ustalenia strat ciepła przez przestrzenie nieogrzewane.

PRZYKŁAD:

Obliczyć straty ciepła H_U przez stropodach z nieogrzewaną przestrzenią wewnętrzną, przyjmując wymiary wewnętrzne stropodachu w rzucie (w świetle ścian zewnętrznych) A = 8,0 · 12,0 m. Grubość ścian zewnętrznych na obwodzie stropodachu i konfiguracja złącza dachowego zgodne z rysunkiem 1.

Dane: $U_1 = 0{,}222$; $U_2 = 0{,}229$; $U_3 = 5{,}556$; $U_4 = 0{,}184$ W/(m^{2}K)

- współczynniki gałęziowe wg (3), pozostałe dane z rysunku 1:
  $\psi_{ie} = \phi_{ie} - U_1 \cdot A_1 = 0{,}62 - 0{,}222 \cdot 1{,}7 = 0{,}243$ W/K,
  $\psi_{ue} = \phi_{ue} - U_2 \cdot A_2 - U_3 \cdot A_3 = 9{,}05 - 0{,}229 \cdot 0{,}2 - 5{,}556 \cdot 1{,}52 = 0{,}559$ W/K,
  $\psi_{iu} = \psi_{ui} = \phi_{iu} - U_4 \cdot A_4 = 0{,}44 - 0{,}184 \cdot 1{,}5 = 0{,}164$ W/K;
- sprzężenie cieplne między budynkiem (i) a przestrzenią nieogrzewaną (u) H_{iu} – mostek ψ_{iu} na obwodzie stropodachu :
  $H_{iu} = U_4 \cdot A + \psi_{iu} \cdot l = 0{,}184 \cdot 12{,}0 \cdot 8{,}0 + 0{,}164 \cdot 2\ (12{,}0 + 8{,}0) = 24{,}22$ W/K;
- sprzężenie cieplne między przestrzenią nieogrzewaną (u) a atmosferą (e) H_{ue} – mostek ψ_{ue} na obwodzie stropodachu :
  $H_{ue} = U_3 \cdot \overline{A} + U_2 \cdot A_2 \cdot \overline{l} + \psi_{ue} \cdot \overline{l} = 5{,}556 \cdot 12{,}04 \cdot 8{,}04 + 0{,}229 \cdot 0{,}2 \cdot 2(12{,}04 + 8{,}04) + 0{,}559 \cdot 2(12{,}04 + 8{,}04) = 562{,}12$ W/K;
- współczynnik b oraz strumień strat całkowitych przez stropodach z przestrzenią nieogrzewaną H_U :

$$b = \frac{H_{ue}}{H_{ue} + H_{iu}} = \frac{562{,}12}{562{,}12 + 24{,}22} = 0{,}96$$

$$H_U = b \cdot H_{iu} = 0{,}96 \cdot 24{,}22 = 23{,}25 \text{ W/K}$$

5. PODSUMOWANIE

Metoda zaproponowana w niniejszej publikacji pozwala na dokładne oszacowanie strumieni ciepła płynących w złączu dwustrefowym. Może być ona stosowana w różnych miejscach budynku, wszędzie tam, gdzie dokładniejsza identyfikacja przepływów ciepła staje się niezbędna. Oprócz wskazanego przykładem złącza w stropodachu mogą to być na przykład dachy strome z przestrzenią nieogrzewaną, ściany zewnętrzne szczelinowe, nieogrzewane podpiwniczenia budynków itp.

Gałęziowe współczynniki przenikania ciepła dostarczają precyzyjnej informacji o walorach cieplno-wilgotnościowych złącza, co więcej – pozwalają na optymalizację

złącza na etapie projektowym w celu zmniejszenia strat ciepła i usunięcia niebezpieczeństwa kondensacji powierzchniowej wilgoci. Istnieje możliwość przygotowania tablic współczynników ułatwiających szybkie projektowanie złączy.

W podanym przykładzie pominięto wpływ wentylacji przestrzeni nieogrzewanej w szacowaniu wartości współczynnika H_{ue}. Wentylacja nieznacznie podwyższa wartość strat ciepła. Przybliżony sposób jej uwzględnienia opisano w programie [4].

LITERATURA

[1] Dylla A., 2009. Praktyczna fizyka cieplna budowli. Szkoła projektowania złączy budowlanych. Wyd. Uczeln. UTP Bydgoszcz.
[2] Dylla A., Dylla A., 2005. Jakość cieplna przegród budowlanych w świetle obowiązujących przepisów. Materiały szkoleniowe. Wydawnictwo PZITS Toruń.
[3] PN-EN ISO 13789:2008. Cieplne właściwości budynków. Współczynnik wymiany przez przenikanie i wentylację. Metoda obliczania.
[4] PN-EN ISO 6946:2008. Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
[5] Program Trisco v 10.0 w Manual 11.2002.

THE METHOD FOR CALCULATING HEAT TRANSFER THROUGH UNHEATED SPACES IN BUILDING WITH USE OF BRANCH-THERMAL TRANSMITTANCE

Summary. The paper presents the method for calculating heat transfer through unheated spaces in building. This method involves the use of branch-thermal transmittance which idea has been developed by authors.

13. ZINTEGROWANY WSKAŹNIK WŁAŚCIWOŚCI CIEPLNYCH OBUDOWY BUDYNKU

1. WSTĘP

Do jednego z ważniejszych przełomów w historii polskich regulacji prawnych z zakresu racjonalizacji użytkowania energii, należy z pewnością zaliczyć wprowadzenie w latach 90. XX w. formuły przepisów ochrony cieplnej reglamentującej zużycie energii na cele ogrzewcze. W obecnym kształcie wytycznych ukierunkowanych na oszczędność energii, nakreślonych w warunkach technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, określenie górnego dopuszczalnego poziomu zużycie energii jest jedną z metod kontroli standardu budownictwa nowo wznoszonego oraz budynków poddawanych modernizacji. Alternatywnym kryterium jest może nieco już archaiczna, aczkolwiek stosunkowo prosta w weryfikacji metoda oceny poziomu izolacyjności przegród chłodzących strefy ogrzewanej budynku. Dualizm wymagań ochrony cieplnej, obecnie rozszerzony na wszystkie typy budynków, pozwala skorzystać z dogodniejszego wariantu przepisów. Problem polega jednak na braku korelacji pomiędzy jakością energetyczną budynku projektowanego tymi obiema formułami. Taką właśnie sytuację ilustruje porównanie jednostkowego zapotrzebowania na energię pierwotną grupy budynków testowych (tab. 1), o założonej izolacyjności cieplnej przegród równej wymaganiom [7], z wartością graniczną EP_H (rys. 1, 2). Obliczenia przeprowadzono dla lokalizacji budynków w II (Legnica), III (Warszawa) i V (Suwałki) strefie temperaturowej [2], przy dwóch wariantach obliczeniowych strumienia powietrza wentylacyjnego:

- równego połowie kubatury ogrzewanej (0,5 wym./h),
- określonego zgodnie z wytycznymi polskiej normy regulującej wielkość wymaganego strumienia wentylacyjnego [3].

Jednostkowe zapotrzebowanie na energię pierwotną wyznaczono dla dwóch przypadków zasilania budynku w energię:

1) układ, w którym zapotrzebowanie na energię pierwotną równe jest zapotrzebowaniu na energię użytkową $EP = EU$ ($w_H \cdot w_d \cdot w_t / \eta_{H,tot} = 1{,}0$),
2) dla lokalnej ciepłowni węglowej ($\eta_{H,tot} = 0{,}7$, $w_H = 1{,}3$),

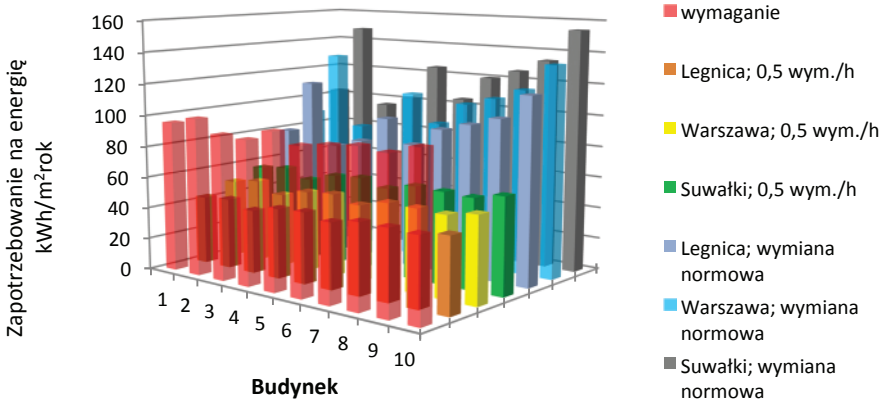
zgodnie z zależnością (1):

$$EP_H = \left(w_H \cdot \frac{w_d \cdot w_t}{\eta_{H,tot}} - a \right) \cdot \frac{Q_H}{A_f}, \text{ kWh/(m}^2\text{·rok)} \tag{1}$$

gdzie:

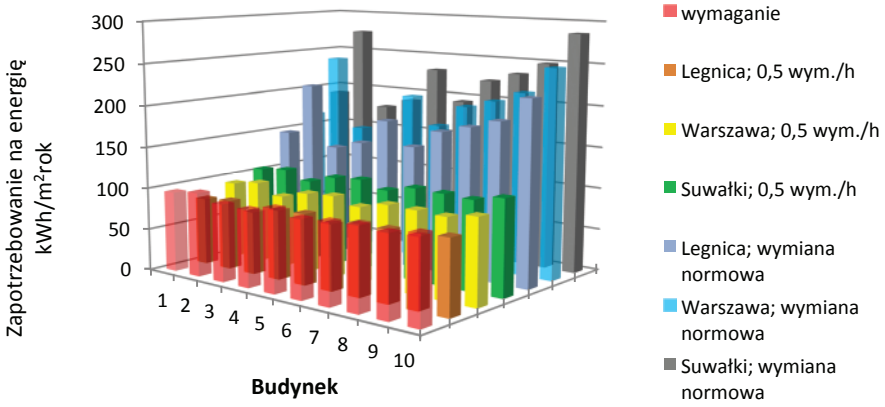
w_H – współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej [5],
w_d, w_t – współczynniki przerw w ogrzewaniu w ciągu dnia i doby,
$\eta_{H,tot}$ – całkowita sprawność systemu ogrzewania budynku,
a – współczynnik odzysku energii w systemach rekuperacji,
Q_H – zapotrzebowanie na energię użytkową, kWh/rok,
A_f – powierzchnia użytkowa ogrzewana budynku, m^2.

ADAM ŚWIĘCICKI
Politechnika Białostocka



Rys. 1. Weryfikacja uzyskiwanego zapotrzebowania na energię pierwotną $EP_H = EU - (\eta_{H,tot} = 1{,}0, w_H = 1{,}0)$

Fig. 1. Verification of the obtained demand for the primary energy $EP_H = EU - (\eta_{H,tot} = 1.0, w_H = 1.0)$



Rys. 2. Izolacyjność termiczną przegród zgodna z WT, a wynikowe zapotrzebowanie na energię pierwotną $EP_H - (\eta_{H,tot} = 0{,}7, w_H = 1{,}3)$

Fig. 2. Verification of the obtained demand for the primary energy $EP_H - (\eta_{H,tot} = 0.7, w_H = 1.3)$

Graniczną wartość jednostkowego zapotrzebowania na energię wyznaczono z zależności (2) zapisanej w obowiązujących WT [7]:

$$EP_H = \begin{cases} 73{,}0 & \frac{A}{V_e} \le 0{,}2 \\ 55 + 90 \cdot \frac{A}{V_e} & \text{dla} \quad 0{,}2 \le \frac{A}{V_e} \le 1{,}05 \\ 149{,}50 & 1{,}05 \le \frac{A}{V_e} \end{cases} \text{, kWh/(m}^2\text{·rok)} \qquad (2)$$

gdzie:

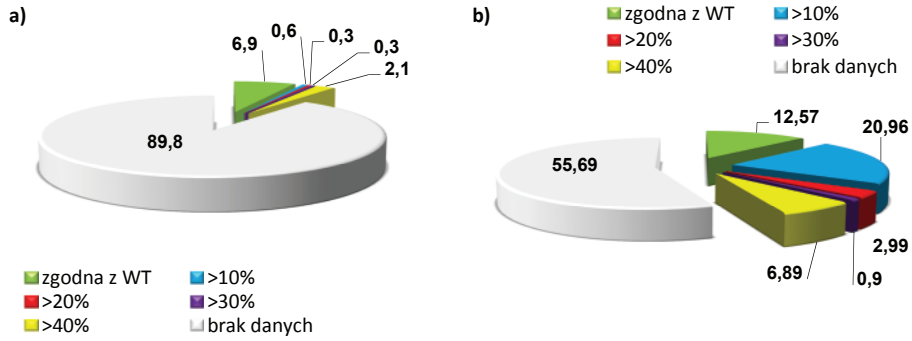
A – jest suma pól powierzchni wszystkich przegród budynku, oddzielających cześć ogrzewaną budynku od powietrza zewnętrznego, gruntu i przyległych pomieszczeń nieogrzewanych, liczona po obrysie zewnętrznym, [m^2],

V_e – jest kubatura ogrzewanej części budynku, pomniejszona o podcienia, balkony, loggie, galerie itp., liczona po obrysie zewnętrznym, [m^3].

W przeprowadzonej symulacji wzięto pod uwagę jedynie pokrycie potrzeb energetycznych związanych z ogrzewaniem i wentylacją, pomijając pozostałe kierunki dystrybucji energii w budynku, tj. przygotowanie ciepłej wody użytkowej, chłodzenie oraz oświetlenie. Zestawienie charakterystyki energetycznej budynku z wartością oczekiwaną zapotrzebowania na energię pokazuje podstawową wadę metody regulacji parametrów cieplnych przegród, którą jest brak efektywnej kontroli nad wynikowym zapotrzebowaniem na energię. Zapewnienie przegrodom chłodzącym budynku współczynników przenikania ciepła U na poziomie wartości wymaganych U_{dop} nie jest bowiem gwarancją uzyskania jednostkowego zapotrzebowania na energię pierwotną EP odpowiadającego dopuszczalnej wartości EP_{dop}. W przypadku przeanalizowanej grupy obiektów przekroczenie wartości dopuszczalnej EP wyniosło przy wentylacji normowej (1,68 wym./h) ponad 186% dla budynku B10 zlokalizowanego w Suwałkach. Ograniczając wentylację do wartości 0,5 wym./h przekroczenie osiągnęło poziom 54%, co uświadamia jaki wpływ na zużycie energii ma wielkość infiltrującego strumienia zimnego powietrza.

Innym problemem jest skuteczność systemu ochrony cieplnej budynków w Polsce. Monitoring przestrzegania wymagań dotyczących oszczędności energii w budownictwie mieszkaniowym na terenie północno-wschodniej Polski, który na przełomie XX i XXI w. był przez kilkanaście lat pilotowany przez profesora J.A. Pogorzelskiego [1], wykazał nagminne łamanie artykułu 5 Prawa Budowlanego [9]. Jedynie niewielka część ze skontrolowanych projektów, przedłożonych do uzyskania pozwolenia na budowę spełniała wymagania ochrony cieplnej. Sprawdzeniu podlegała zgodność z regulacjami z okresu podlegającego ocenie, czyli przepisów zawartych w Warunkach Technicznych z 1997 roku [8] oraz ich nowelizacji z 2002 r. [6].

W przeanalizowanej dokumentacji budynków wielorodzinnych, dla których obowiązywało kryterium $E \le E_0$, odsetek projektów legitymujących się spełnieniem wymagań ochrony cieplnej wyniósł zaledwie 7% (rys. 3a). W grupie budynków jednorodzinnych, gdzie możliwe było alternatywne spełnienie kryteriów izolacyjności $U_k \le U_{max}$ oraz $R_T \ge R_{min}$ lub reglamentacji energii $E \le E_0$, tylko około 13% projektów spełniało wymagania (rys. 3b). Bez komentarza pozostawia się kwestię egzekucji przez właściwe organy obowiązujących przepisów.



Rys. 3. Spełnianie wymagań E (a – wielorodzinne budynki mieszkalne) oraz U (b – jednorodzinne budynki mieszkalne)

Fig. 3. Compliance with the requirements of E (a – multi-family residential buildings) and U (b – detached houses)

Należy przy tym zaznaczyć, że w przypadku budownictwa jednorodzinnego jedynie około 45% projektów zawierało dane umożliwiające jakąkolwiek ocenę budynku, natomiast przy zabudowie wielorodzinnej zaledwie około 10%. Widoczną dysproporcję na korzyść budynków jednorodzinnych można tłumaczyć możliwością zadośćuczynienia w owym czasie przepisom, wykazując właściwy poziom izolacyjności cieplnej przegród, czyli stosując procedurę szybszą i co wydaje się istotniejsze – zdecydowanie prostszą w konfrontacji z oceną zapotrzebowania na energię budynku. Dlatego też uzasadnione wydaje się być założenie, że w ramach aktualnej wersji WT [7], gdzie równolegle funkcjonują te dwa warunki jako kryteria alternatywne, można się spodziewać, podobnej jak w przytoczonych wynikach monitoringu preferencji sposobu wykazania zgodności z rygorami ochrony cieplnej poprzez ocenę izolacyjności przegród.

2. PROPOZYCJA KRYTERIUM OCENY Z UŻYCIEM ZINTEGROWANEGO WSKAŹNIKA WŁAŚCIWOŚCI OBUDOWY $U_{śr}$

Brak korelacji obowiązujących formuł wymagań ochrony cieplnej oraz fakt ich częstego ignorowania, stały się przyczynkiem opracowania propozycji innego sposobu weryfikacji jakości energetycznej budynków – uniwersalnego, prostego w zastosowaniu kryterium. Zaproponowano metodę oceny budynków w oparciu o wartość średnią ważoną współczynników przenikania ciepła obudowy strefy ogrzewanej, gdzie wagą jest powierzchnia przegród według zależności (3):

$$\frac{\sum_i b_{tr,i} \cdot A_i \cdot U_i + \sum_j b_{tr,j} \cdot l_j \cdot \Psi_j + \sum_k b_{tr,k} \cdot \chi_k}{\sum_i b_i \cdot A_i} \le U_{śr.gr.}, \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)} \qquad (3)$$

gdzie:

$b_{tr,i}$, $b_{tr,j}$, $b_{tr,k}$ – czynnik korekcyjny wyrażający stosunek obliczeniowej różnicy temperatur ($\theta_i - \theta_u$) środowisk po obu stronach rozpatrywanej *i*-tej przegrody, *j*-tego liniowego lub *k*-tego punktowego mostka cieplnego do obliczeniowej różnicy temperatur powietrza wewnętrznego θ_i i powietrza zewnętrznego θ_e według zależności (4):

$$b_{tr} = \frac{\theta_i - \theta_u}{\theta_i - \theta_e} \tag{4}$$

A_i – pole powierzchni *i*-tego komponentu oddzielającego strefę ogrzewaną budynku od środowiska zewnętrznego, gruntu lub nieogrzewanej części budynku, [m^2],

U_i – współczynnik przenikania ciepła z uwzględnieniem mostków cieplnych, [W/(m^2·K)],

Ψ_j – współczynnik przenikania ciepła w miejscu występowania *j*-tego liniowego mostka cieplnego, [W/(m·K)],

χ_k – współczynnik przenikania ciepła w miejscu występowania *k*-tego punktowego mostka cieplnego, [W/K],

l_j – długość *j*-tego liniowego mostka cieplnego, [m].

Wychodząc z zależności (1) i zakładając homogeniczność temperatury w obrębie całej strefy ogrzewanej, wartość graniczną średniego współczynnika przenikania ciepła obudowy strefy ogrzewanej $U_{śr.gr.}$, czyli składową kryterium (3), można opisać równaniem (5):

$$U_{śr.gr.} = 41{,}67 \cdot \frac{EP_H}{\left(w_H \cdot \frac{w_d \cdot w_t}{\eta_{H,tot}} - a \right) \cdot Sd} \cdot \frac{A_f}{\sum_i b_{tr,i} \cdot A_i} + \frac{\sum_m \eta_m \cdot \left(86400 \cdot \Phi_i \cdot Ld_m + \sum_j I_{Sj,m} \cdot \sum_n A_{Snj} \right)}{86400 \cdot Sd \cdot \sum_i b_{tr,i} \cdot A_i} - 0{,}34 \cdot \frac{\dot{V}}{\sum_i b_{tr,i} \cdot A_i} \quad \text{, W/(m}^2\text{·K)} \tag{5}$$

gdzie:

Sd – liczba stopniodni odpowiadająca założonej temperatury wewnętrznej strefy ogrzewanej θ_i, oraz warunków klimatycznych właściwych dla przyjętej lokalizacji budynku (średnia miesięczna temperatura powietrza zewnętrznego $\theta_{e,m}$ oraz liczba Ld_m) [9], K·d,

η_m – współczynnik wykorzystania zysków w *m*-tym miesiącu sezonu grzewczego,

Φ_i – strumień wewnętrznych zysków energii cieplnej w *m*-tym miesiącu sezonu grzewczego, wewnętrzne, [W],

Ld_m – liczba dni w *m*-tym miesiącu zaliczanych do sezonu grzewczego, d [4],

I_{Sj} – jednostkowe zyski energii słonecznej dla *j*-tej orientacji powierzchni zbierającej w *m*-tym miesiącu sezonu grzewczego, [J/m^2],

$\Sigma_n A_{Sn}$ – efektywna powierzchnia zbierająca *j*-tej orientacji, [m^2],

$\dot{V}$ – strumień powietrza wentylacyjnego, [m^3/h].

Proponowane rozwiązanie doboru parametrów izolacyjnych składników obudowy części ogrzewanej budynku opiera się na założeniu jednostrefowości, tj. gdy lokalne wahania temperatury w obrębie granic obliczeniowych budynku są na tyle niewielkie (do 4°C), że możemy przyjąć jednorodność temperaturową strefy. Wewnętrzne warunki temperaturowe możemy w takiej sytuacji scharakteryzować jedną obliczeniową temperaturą powietrza wewnętrznego θ_i. W przypadku zróżnicowania temperatur w kubaturze ogrzewanej (przekraczających 4°C), układ możemy sprowadzić do przypadku jednostrefowego, wyznaczając średnią obliczeniową temperaturę strefy $\theta_{i,equiv}$ opisaną zależnością (6):

$$\theta_{i,equiv} = \frac{\sum_z V_{f,z} \cdot \theta_{i,z}}{\sum_z V_{f,z}} \text{ , °C} \tag{6}$$

gdzie:

$\theta_{i,z}$ – temperatura w obrębie z-tej ogrzewanej strefy temperaturowej, [C],
$V_{f,z}$ – kubatura ogrzewanej z-tej strefy temperaturowej, [m^2].

Mając na względzie wykorzystanie proponowanego warunku przede wszystkim w ocenie jakościowej, a nie ilościowej, można zrezygnować z sumowania zysków energii cieplnej po poszczególnych miesiącach sezonu grzewczego (metoda miesięczna), przyjmując roczny bilans zysków energii cieplnej (metoda sezonowa) według zależności (7):

$$U_{śr.gr.} = 41{,}67 \cdot \frac{EP_H}{\left(w_H \cdot \frac{w_d \cdot w_t}{\eta_{H,tot}} - a \right) \cdot Sd} \cdot \frac{A_f}{\sum_i b_{tr,i} \cdot A_i} + \frac{\eta \cdot \left(86400 \cdot \Phi_i \cdot Ld + \sum_j I_{Sj} \cdot \sum_n A_{Snj} \right)}{86400 \cdot Sd \cdot \sum_i b_{tr,i} \cdot A_i} - 0{,}34 \cdot \frac{\dot{V}}{\sum_i b_{tr,i} \cdot A_i} \text{ , [W/(m}^2\text{·K)]} \tag{7}$$

gdzie:

Sd – liczba stopniodni dla przyjętej lokalizacji budynku, K·d,
η – uśredniony sezonowy współczynnik wykorzystania zysków,
Ld – długość sezonu grzewczego, d,
I_{Sj} – jednostkowe roczne zyski energii słonecznej dla j-tej orientacji powierzchni zbierającej, [J/m^2].

Podobnie można określić poziom izolacyjności obudowy strefy ogrzewanej mając na względzie jedynie potrzeby energetyczne na cele ogrzewcze i wentylację w obrębie granic obliczeniowych budynku według zależności (8):

$$U_{śr.gr.} = 41{,}67 \cdot \frac{EU_H}{(1-a) \cdot Sd} \cdot \frac{A_f}{\sum_i b_{tr,i} \cdot A_i} + \frac{\eta \cdot \left(86400 \cdot \Phi_i \cdot Ld + \sum_j I_{Sj} \cdot \sum_n A_{Snj} \right)}{86400 \cdot Sd \cdot \sum_i b_{tr,i} \cdot A_i} - 0{,}34 \cdot \frac{\dot{V}}{\sum_i b_{tr,i} \cdot A_i} \text{ , [W/(m}^2\text{·K)]} \tag{8}$$

gdzie:

EU_H – jednostkowe zapotrzebowanie na energię użytkową, [kWh/(m^2·rok)].

3. PRZYKŁADY OCENY BUDYNKÓW Z UŻYCIEM PROPONOWANEGO KRYTERIUM

W dalszej części publikacji przedstawiono wyniki oceny poprawności doboru właściwości cieplnych obudowy każdego z przyjętych budynków testowych. Wymagany średni poziom izolacyjności przegród określono przy pomocy metody będącej tematem niniejszej publikacji. Poniżej zamieszczono skróconą charakterystykę budynków testowych, które oznaczono B1, B2, …, B9 i B10 (tab. 1).

Tabela 1. Skrócona charakterystyka budynków testowych

Table 1. Short description of test buildings

Budynek	*A/V*	Pow. użyt.	Kubatura	Przeszklenie	Mieszkań	Liczba osób
	m^{-1}	m^2	m^3	[-]	jedn.	osób
B1	0,45	1 710,4	4 276	0,14	21	78
B2	0,50	2 357,5	5 880	0,21	50	107
B3	0,41	3 561,7	8 905	0,15	42	183
B4	0,40	6 761,2	17 078	0,15	81	238
B5	0,48	2 716,3	6 833	0,19	50	125
B6	0,41	7 391,1	18 487	0,15	95	340
B7	0,44	4 450,5	11 106	0,20	70	223
B8	0,46	3 584,1	9 015	0,19	70	159
B9	0,44	6 247,9	15 577	0,23	120	320
B10	0,50	2 291,7	5 693	0,17	45	80

Obliczeniowe strumienie powietrza wentylacyjnego obliczono w oparciu o PN-83/B-03430/Az3 [3] oraz, dla porównania, weryfikację przeprowadzono również przy założeniu strumienia wentylacyjnego budynku na poziomie 0,5 wym./h (tab. 2).

Tabela 2. Strumienie powietrza wentylacyjnego każdego z budynków testowych

Table 2. Ventilation air streams each of the test buildings

Budynek	Wymaganie higieniczne	Wariant I		Wariant II – PN-83/B-03430/Az3:2000		
		Całkowity strumień	Krotność wymian	Strumień dla mieszkań	Całkowity strumień	Krotność wymian
	m^3/h	m^3/h	$[h^{-1}]$	m^3/h		$[h^{-1}]$
B1	1 560	2 138	0,50	4 410	4 642	1,09
B2	2 140	2 940		9 450	9 831	1,67
B3	3 660	4 453		8 820	9 501	1,07
B4	4 760	8 539		15 960	17 874	1,05
B5	2 500	3 417		8 850	9 302	1,36
B6	6 800	9 244		19 230	21 192	1,15
B7	4 460	5 553		13 650	14 450	1,30
B8	3 180	4 508		11 850	12 483	1,38
B9	6 400	7 789		22 230	23 755	1,53
B10	1 600	2 847		9 063	9 536	1,68

Określając wartość graniczną średniego współczynnika przenikania ciepła obudowy skorzystano z zależności (8), co wynika z przyjętego założenia pominięcia w obliczeniach sprawdzających procesu konwersji energii pierwotnej, na energię użyteczną, czyli ciepło. W analizie uwzględniono zatem bezstratny system ogrzewania ($\eta = 1$) pracujący w trybie ciągłym ($w_d = w_t = 1$) bez odzysku ciepła ($a = 0$) oraz nośnik energii o $w_H = 1$. Następnie, posługując się kryterium (3) dostosowano izolacyjność termiczną przegród zamykających strefę ogrzewaną poszczególnych budynków tak, aby $U_{śr.} = U_{śr.gr.}$. Okazało się jednak, że w niektórych przypadkach wartości obliczeniowego strumienia powietrza wentylacyjnego są na tyle duże, że uniemożliwiają osiągnięcie $U_{śr.gr.}$. W wariantach tych konieczne było skorygowanie zaleceń normowych co do wentylacji budynku.

Obliczenia jednostkowego zapotrzebowania na energię EU wykonano przy pomocy programu ArCadia-Termo. Zarówno uzyskane charakterystyki energetyczne budynków, jak i dopuszczalne wartości wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na energię EP_H przeliczono na jednostkę kubatury ogrzewanej [m^3], gdyż zdaniem autora wskaźnik kubaturowy wydaje się bardziej trafnym do wyrażania właściwości energetycznych budynku. Wskaźnik powierzchniowy nie daje bowiem pełnego poglądu o standardzie energetycznym, a szczególnie do porównań między budynkami. Zestawienie otrzymanych wskaźników z wartościami granicznymi zamieszczono w tabelach poniżej (tab. 3, 4).

Obliczone wartości wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na energię (ciepło) $EU = EP$ oscylują w granicach założonej wartości dopuszczalnej EP_H. Wprawdzie pojawiły się przypadki przekraczania wartości dopuszczalnej ($EP > EP_H$), to jednak z uwagi na wartość odchyłki można określić je mianem „nieznacznych". Uśredniony stosunek EP/EP_H zarówno dla wariantu I jak i II wyniósł 1,01. Nie zaobserwowano przy tym większej fluktuacji wyników w związku ze zmianą sposobu określania strumienia powietrza wentylacyjnego.

Tabela 3. Wyniki weryfikacji w wariancie I wentylacji

Table 3. The verification results in variant I ventilation

Budynek	Legnica – strefa II		Warszawa – strefa III		Suwałki – strefa V	
	$U_{śr} = U_{śr.gr.}$	EP/EP_H	$U_{śr} = U_{śr.gr.}$	EP/EP_H	$U_{śr} = U_{śr.gr.}$	EP/EP_H
	W/(m^2·K)	[-]	W/(m^2·K)	[-]	W/(m^2·K)	[-]
B1	1,21	*1,02*	1,08	*1,03*	0,94	*1,03*
B2	1,37	0,99	1,21	0,99	1,07	1,00
B3	1,33	*1,01*	1,17	*1,01*	1,02	*1,03*
B4	1,26	*1,03*	1,12	*1,03*	0,96	*1,03*
B5	1,36	0,99	1,20	*1,01*	1,05	*1,01*
B6	1,32	*1,01*	1,18	*1,01*	1,01	*1,01*
B7	1,43	*1,01*	1,26	*1,01*	1,10	*1,02*
B8	1,38	*1,03*	1,22	*1,02*	1,07	*1,02*
B9	1,48	*1,01*	1,31	*1,01*	1,16	*1,02*
B10	1,30	1,00	1,15	0,99	1,01	0,99

[1)] Zgodnie z założeniem $EP = EU$ oraz EP_H oznacza wartość graniczną

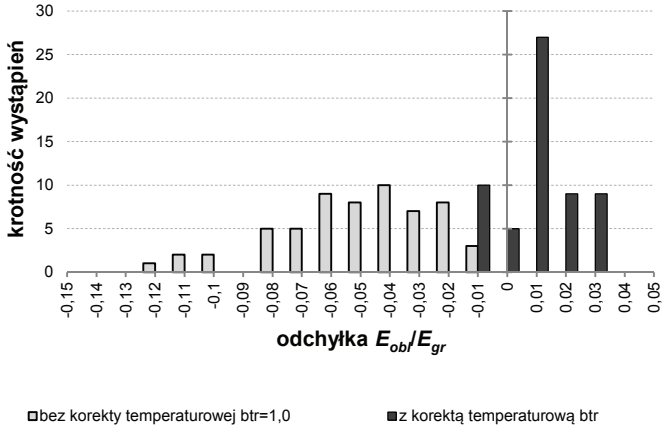
Tabela 4. Wyniki weryfikacji w wariancie II wentylacji

Table 4. The verification results in variant II ventilation

Budynek	Legnica – strefa II		Warszawa – strefa III		Suwałki – strefa V	
	$U_{śr} = U_{śr.gr.}$	EP/EP_H	$U_{śr} = U_{śr.gr.}$	EP/EP_H	$U_{śr} = U_{śr.gr.}$	EP/EP_H
	W/(m^2·K)	[-]	W/(m^2·K)	[-]	W/(m^2·K)	[-]
B1	0,74	*1,01*	0,60	*1,01*	0,57[2)]	*1,01*
B2	0,78[2)]	0,99	0,69[2)]	0,99	0,74[2)]	0,99
B3	0,82	1,00	0,67	1,00	0,64[2)]	*1,01*
B4	0,76	*1,02*	0,62	*1,03*	0,55[2)]	*1,03*
B5	0,76[2)]	*1,01*	0,66[2)]	*1,01*	0,72[2)]	*1,01*
B6	0,74	1,00	0,60	*1,01*	0,62[2)]	*1,01*
B7	0,77[2)]	*1,01*	0,67[2)]	*1,01*	0,73[2)]	*1,01*
B8	0,75[2)]	*1,01*	0,67[2)]	*1,02*	0,73[2)]	*1,02*
B9	0,81[2)]	*1,01*	0,71[2)]	*1,01*	0,77[2)]	*1,02*
B10	0,71[2)]	0,99	0,63[2)]	*1,01*	0,67[2)]	0,99

[1)] Zgodnie z założeniem $EP = EU$ oraz EP_H oznacza wartość graniczną

[2)] Wartość wyznaczona przy obniżonym strumieniu powietrza wentylacyjnego



Rys. 4. Krotność wystąpień poszczególnych odchyłek

Fig. 4. The number of occurrences of individual deviations

Wyniki, jakie otrzymano z porównania obliczeń weryfikacyjnych z korektą i bez korekty temperaturowej ($b_{tr} = 1,0$) uprawniają do stwierdzenia, że wprowadzenie czynnika temperaturowego korygującego strumień ciepła wymieniany przez poszczególne przegrody, wpływa korzystnie na dobór poziomu izolacyjności powłoki strefy ogrzewanej (rys. 4)**Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**. Stwierdzony rozrzut wyników zamknął się w zakresie od –1 do +3 procent, co daje znacznie lepsze skupienie niż dla obliczeń bez korekty temperaturowej (-12 do -1). Dla porównania, bez korekty temperaturowej otrzymano wartość średnią EP/EP_H równą 0,95 bez wystąpienia przypadku przekroczenia wartości granicznej EP_H (rys. 4).

4. WNIOSKI

Przeprowadzone obliczenia weryfikacyjne potwierdzają możliwość wykorzystania przedstawionej metody doboru parametrów cieplnych przegród budynku jako formuły wymagań ochrony cieplnej. Możliwe jest również zastosowanie prezentowanego kryterium na etapie projektowym, czy też planowaniu działań termomodernizacyjnych, do kontroli ustalonego poziomu zapotrzebowania na energię po realizacji inwestycji. Powiązanie poziomu izolacyjności termicznej obudowy z założonym pułapem zużycia energii, wydaje się być trafnym rozwiązaniem, łączącym w sobie odpowiednią dokładność oszacowania z prostotą jego przeprowadzenia. W testowanej grupie obiektów maksymalna różnica pomiędzy jednostkowym zapotrzebowaniem na ciepło EP i wartością graniczną EP_H wyniosła 3%, a średnie odchylenie EP/EP_H wyniosło 0,012. Są to zachęcające rezultaty, świadczące o przydatności metody, która oczywiście musi być potwierdzona dalszymi badaniami.

Sam wskaźnik właściwości obudowy strefy ogrzewanej, rozumiany jako średnia izolacyjność termiczna przegród składowych, nie może być wykorzystany do porównywania ze sobą różnych budynków. Należy jednak pamiętać, że odpowiada on konkretnemu założonemu jednostkowemu zapotrzebowaniu na energię. Podając zintegrowaną charakterystykę termiczną budynku wyrażoną średnim współczynnikiem przenikania ciepła z przywołaniem wartości jednostkowego zapotrzebowania na energię jakiemu odpowiada, np. zgodnie z przykładowym zapisem (9):

$$U_{śr.}\left(95{,}5\right) = 1{,}05 \ \ \mathrm{W/(m^2 \cdot K)} \tag{9}$$

Otrzymuje się komplet danych do oceny jakościowej i ilościowej budynku o średnim współczynniku przenikania ciepła przegród (1,05 W/(m^2·K)) i prognozowanemu jednostkowemu zapotrzebowaniu budynku na energię do ogrzewania (95,5 kWh/(m^2·rok)).

W chwili obecnej prowadzone są w ramach pracy statutowej S/WBiIŚ/1/2010 dalsze obliczenia weryfikacyjne zaproponowanego kryterium oceny budynków na większej grupie testowej, jak również w kierunku uproszczenia procedury wyznaczania granicznego poziomu izolacyjności obudowy. Sprawdzana jest między innymi możliwość zastosowania uśrednień niektórych czynników, warunkujących zapotrzebowanie budynku na energię do ogrzewania i wentylację.

LITERATURA

[1] Pogorzelski J.A., 2007. Propozycja mechanizmu finansowego wdrożenia Dyrektywy 2006/32/WE w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii w budynkach. Praca badawcza ITB NF-59, Warszawa.
[2] PN-82/B-02403 Ogrzewnictwo. Temperatury obliczeniowe zewnętrzne.
[3] PN-83/B-03430/Az3:2000 Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej – Wymagania.
[4] Rozporządzenie Min. Infrastruktury z dn. 17 marca 2009 r. w spr. szczegółowego zakresu i formy audytu energetycznego cześci audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwziecia termomodernizacyjnego (Dz. U. z 2008 r., Nr 43 poz. 346).

[5] Rozporządzenie Min. Infrastruktury z dn. 6 listopada 2008 r. w spr. metodologii oblicz. charakterystyki energetycznej budynku i lokalu miesz. lub części bud. stanowiącej samodzielną całość tech.-użyt. oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich char. energ. (Dz. U. z 2008 r., Nr 201 poz. 1240).
[6] 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).
[7] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. (Dz. U. z 2008 r., Nr 201 poz. 1238).
[8] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 30 września 1997 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. (Dz. U. z 1997 r., Nr 132 poz. 878).
[9] Ustawa Prawo Budowlane z dnia 7 lipca 1994 r. (Dz. U. z 1994 r. Nr 89, poz. 414).
[10] http://www.mi.gov.pl/2-48203f1e24e2f-1787735-p_1.htm.

THE INTEGRATED RATE OF THE THERMAL PROPERTIES OF CASING BUILDING

Summary. The paper contains a proposal to defining the thermal protection requirements and energy consumption for heating and ventilation through an integrated the coefficient of thermal properties. As the evaluation criterion is proposed to use the averaged value of the heat transfer coefficient boundary heated zone, which maximum value is described as a function of the assumed energy consumption and other factors determining the energy balance of the building. The article contains results of calculations of the verification of the proposed criterion, which was tested on a group of ten examples of multi-family residential buildings.

14. MIEJSKI BUDYNEK JUTRA 2030 – PRÓBA PODWYŻSZENIA KOMFORTU AKUSTYCZNEGO W BUDYNKU WIELORODZINNYM

1. WSTĘP

Praca dotyczy projektu celowego „Miejski Budynek Jutra 2030", numer 6 ZR6 2009 C/07319 współfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Projekt realizowany jest przez firmę Mostostal Warszawa S.A., jednostki naukowe: Instytut Techniki Budowlanej oraz Wydział Budownictwa Politechniki Śląskiej. Celem projektu jest określenie rozwiązań konstrukcyjnych, materiałowych i instalacyjnych, umożliwiających wznoszenie budynków wielorodzinnych charakteryzujących się wysoką energooszczędnością, dbałością o środowisko, niewielkim użyciem surowców naturalnych, jak również oferujących wysoki komfort ich mieszkańcom. Planowanym finalnym efektem projektu jest wybudowanie budynku wielorodzinnego, przy wykorzystaniu wyników przeprowadzonych badań i analiz [14]. W pracy autorzy starali się przedstawić przyjęte w projekcie założenia, dotyczące ochrony akustycznej budynku wielorodzinnego. Tematykę pracy ograniczono do zagadnień związanych z bryłą budynku.

2. OCHRONA PRZED HAŁASEM ZEWNĘTRZNYM

Warunkiem skutecznej realizacji powyższego zadania powinno być wykorzystanie wiedzy zarówno z zakresu akustyki budowlanej, ale także urbanistycznej; ograniczenie poziomu hałasu i drgań oddziałujących na budynek poprzez świadome kształtowanie rozwiązań urbanistycznych terenu, infrastruktury komunikacyjnej, budynków sąsiadujących. Obecnie, najczęściej mamy jednak do czynienia z ograniczonymi możliwościami kształtowania krajobrazu urbanistycznego w skali globalnej. Zazwyczaj zadanie architekta polega na wkomponowaniu planowanej inwestycji w określony obszar o niewielkiej powierzchni. W przypadku terenów śródmiejskich hałas jest nieodzownym czynnikiem towarzyszącym takiej lokalizacji. Dla tak rozumianego planowania inwestycji coraz istotniejszym czynnikiem staje się rozpoznanie aktualnego i przyszłego klimatu akustycznego.

Określenie hałasu zewnętrznego

W celu realizacji zadania polegającego na określeniu klimatu akustycznego w miejscu planowanej inwestycji, zaproponowano poniższy schemat postępowania:

a) określenie dopuszczalnych poziomów hałasu [8] dla terenu, na którym realizowany będzie projektowany obiekt budowlany, podlegający ochronie przed hałasem na podstawie obowiązującego Miejscowego Planu Zagospodarowania Przestrzennego lub w przypadku jego braku wystąpienia do stosownego urzędu o kwalifikację terenu zgodnie z art. 115 POŚ [13],

LESZEK DULAK, RAFAŁ ŻUCHOWSKI
Politechnika Śląska

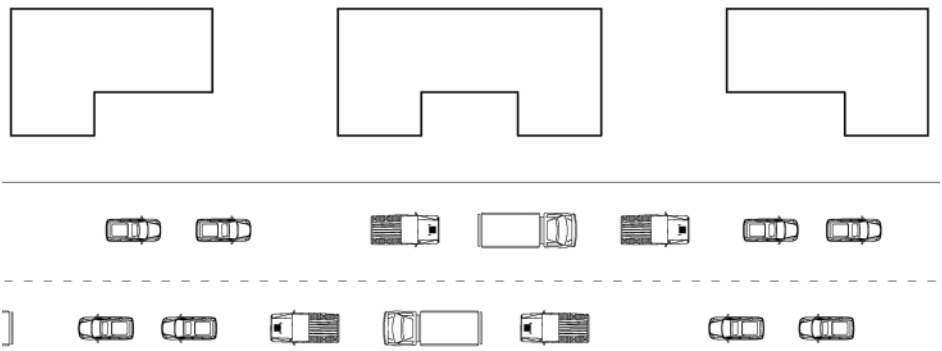
b) wykonanie stosownych pomiarów hałasu w punktach referencyjnych określających właściwości źródła hałasu i dodatkowych punktach pomiarowych, obrazujących klimat akustyczny w miejscu projektowania obiektu zlokalizowanych zgodnie z kryteriami określonymi w załączniku 2 do Rozporządzenia Ministra Środowiska [9, 10],
c) przeprowadzenie badań natężenia i prędkości ruchu wraz z określeniem struktury kierunkowej i rodzajowej przejeżdżających pojazdów,
d) określenie zasięgów oddziaływania hałasu pochodzącego z otaczających obiekt źródeł hałasu, z wykorzystaniem modelu terenu 3D przy uwzględnieniu zagospodarowania występującego na danym terenie,
e) wykonanie obliczeń rozkładu klimatu akustycznego na poszczególnych fasadach projektowanego budynku pod kątem wykonania oceny minimalnej izolacyjności akustycznej przegrody zewnętrznej.

Realizacja zadania w punkcie „e)" wymaga informacji na temat bryły budynku.

Wpływ bryły budynku na poziom hałasu

Wpływ zewnętrznego kształtu elewacji na poziom hałasu, może być zarówno pozytywny, jak i negatywny (wzmocnienie fali akustycznej). Pozytywny wpływ spowodowany jest ekranowaniem lub częściowym ekranowaniem elewacji zewnętrznej przez balkony lub inne elementy. Wzmocnienie hałasu występuje natomiast w wyniku dodatkowych odbić od elementów budynku.

Określenie wielkości tych efektów na podstawie danych geometrycznych jest w zadowalającym stopniu zgodne z wynikami pomiarów terenowych i na modelach [5]. Należy unikać kształtu bryły budynku, które mogą powodować wzmocnienie fali akustycznej poprzez odbicie jej od dodatkowych płaszczyzn elewacji budynku. Na rysunku 1. przedstawiono schematycznie kształty brył budynku, które mogą powodować podwyższenie poziomu hałasu, przy elewacji w stosunku do budynków zaprojektowanych na rzucie prostokąta.



Rys. 1. Kształty bryły budynku, które mogą powodować podwyższenie poziomu hałasu przy elewacji w stosunku do budynku zaprojektowanego na rzucie prostokąta [2]

Fig. 1. Shapes of body of the building that can cause increase noise by the facade compared to building designed on a rectangular plan [2]

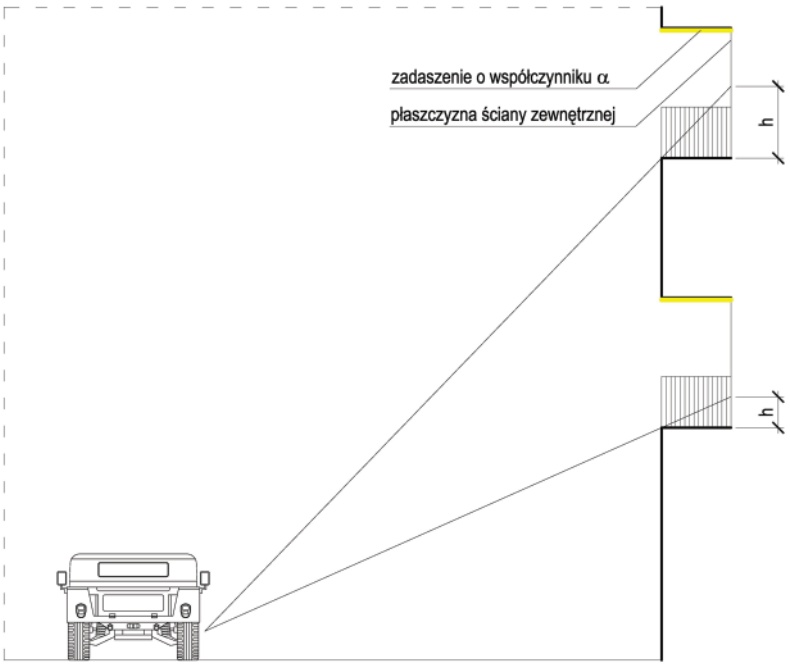
Wpływ kształtu elewacji na zmniejszenie poziomu hałasu ΔL_{fs} przedstawiono w tabeli 1. Objaśnienie parametrów elewacji mających wpływ na zmniejszenie poziomu hałasu przedstawiono na rysunku 2.

Tabela 1. Wpływ kształtu elewacji na zmniejszenie poziomu hałasu ΔL_{fs} (wartości ujemne oznaczają zwiększenie się hałasu) [5]

Table 1. Influence of the shape of the facade on reduce the noise level ΔL_{fs} (negative values indicate an increase in noise) [5]

ΔL_{fs}, dB														
α_W	____	≤0,3	0,6	≥0,9	≤0,3	0,6	≥0,9	≤0,3	0,6	≥0,9	≤0,3	0,6	≥0,9	
h<1,5 m	0	-1	-1	0	-1	-1	0	0	0	1	nie stosuje się			
h=1,5÷2,5 m	0	nie stosuje się			-1	0	2	0	1	3	nie stosuje się			
h>2,5 m	0	nie stosuje się			1	1	2	2	2	3	3	4	6	

ΔL_{fs}, dB																
α_W	≤0,3	0,6	≥0,9	≤0,3	0,6	≥0,9	≤0,3	0,6	≥0,9	≤0,3	0,6	≥0,9	≤0,3	0,6	≥0,9	
h<1,5 m	-1	-1	0	0	0	1	1	1	2	1	1	1	3	3	3	
h=1,5÷2,5 m	-1	1	3	0	2	4	1	1	2	3	4	5	5	6	7	
h>2,5 m	1	2	3	2	3	4	1	1	2	4	4	5	6	6	7	



Rys. 2. Objaśnienie parametrów mających wpływ na zmniejszenie poziomu hałasu: α_W – pochłanianie zadaszenia, h – wysokość linii widzenia [2]

Fig. 2. Explanation of the parameters affecting on reduce the level of noise: α_W – roof absorption, h – amount of the line of sight [2]

Wartość wskaźnika pochłaniania dźwięku α_W dla wybranych materiałów przedstawiono w tabeli 2. Podane wartości są przykładowe i dla poszczególnych rozwiązań mogą różnić się od przytoczonych w tabeli.

Tabela 2. Przykładowe wartość wskaźnika pochłaniania dźwięku α_W wybranych materiałów

Table 2. Examples of the rating of sound absorption α_W of selected materials

Materiał	wartość wskaźnika pochłaniania dźwięku α_W
beton, cegła otynkowana	0,05
cegła nieotynkowana	0,05
okna, szklane fasady	0,05
keramzytobeton, trocinobeton, zrębkobeton	0,45÷0,75
wełna mineralna (zależnie od grubości i rodzaju)	0,15÷1,0

Izolacyjność akustyczna przegród zewnętrznych

Wymaganą izolacyjność akustyczną przegród zewnętrznych (w tym stropodachów) uzależnia się od miarodajnego poziomu dźwięku A hałasu zewnętrznego, występującego w odległości 2 m od przegrody zewnętrznej na poziomie rozpatrywanego

fragmentu budynku [4]. Określenie wielkości poziomu dźwięku A jest więc pierwszym etapem do zaprojektowania właściwego rozwiązania. Na podstawie teoretycznej analizy poziomu hałasu przy elewacji przykładowego budynku, usytuowanego jedną z elewacji równolegle do liniowego źródła hałasu, określono różnice pomiędzy wartością miarodajnego poziomu dźwięku A na elewacji frontowej, elewacjach bocznych i tylnej. Analiza wskazuje na występowanie przy elewacjach bocznych hałasu o co najmniej 3 dB niższego niż na elewacji frontowej oraz na elewacji tylnej o co najmniej 10 dB niższego niż na elewacji frontowej. Powyższe wnioski są oczywiście znacznym uproszczeniem, przyjęto je więc z uwzględnieniem pewnego zapasu „bezpieczeństwa". Zaleca się przeprowadzenie dokładnych obliczeń propagacji hałasu, z uwzględnieniem zmian infrastruktury drogowej, związanych z projektowanym budynkiem mieszkalnym i wyznaczenie wartości miarodajnego poziomu dźwięku A hałasu przy każdej z elewacji. Przedstawiona poniżej propozycja dotyczy sytuacji, kiedy brak jest ww. analizy akustycznej, a usytuowanie budynku odpowiada założeniom przyjętym w poniższych rozważaniach (brak jest dodatkowych źródeł dźwięku i powierzchni odbijających dźwięk naprzeciw elewacji bocznych i tylnej budynku). W tabeli 3 przedstawiono propozycję wymagań, dotyczących minimalnej wartości wskaźnika oceny wypadkowej izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej dla przegrody zewnętrznej w zależności od poziomu hałasu. Przyjęto cztery podstawowe rodzaje klimatu akustycznego. Klimat akustyczny nr 3 podzielono dodatkowo na 3 podgrupy. Zróżnicowanie klimatu akustycznego na zewnątrz budynku zaproponowano (w dużej mierze w oparciu o normę [4]). Przyjęto maksymalną wartość w porze dnia jako 75 dB natomiast w nocy 65 dB. W przypadku występowania hałasu o wyższym poziomie wymagania przyjmować należy indywidualnie. Przyjęcie rozwiązań materiałowych spełniających wymagania z tabeli 3 pozwoli na dotrzymanie w budynku założonych wartości dopuszczalnych hałasu.

Tabela 3. Propozycja podwyższonych wymagań dotyczących izolacyjności akustycznej przegród zewnętrznych

Table 3. The proposal to increase the requirements for sound insulation of the outside partitions

standard	elewacje	Minimalna wartość wskaźnika oceny wypadkowej izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej R'_{A2} lub R'_{A1} w dB					
		klimat akustyczny					
		1	2	3			4
		miarodajny poziom dźwięku A w dB w ciągu dnia/nocy					
	dzień noc	75-71 65-61	70-66 60-56	65-61 55-51	60-56 50-46	55-51 45-41	do 50 do 40
podwyższony	frontowa	41	36	31	26	21, 23*	--, 20*
	boczna	38	33	28	23	--	--
	tylna	31	26	21	--	--	--
podstawowy	frontowa	36, 38*	31, 33*	26, 28*	21, 23*	--, 23*	--, 20*
	boczna	33	28	23	--	--	--
	tylna	26	21	--	--	--	--

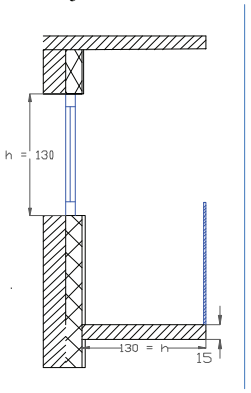
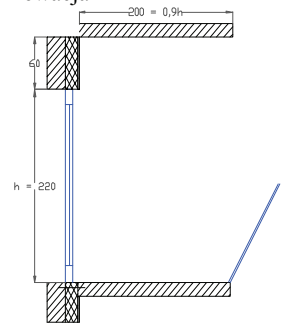
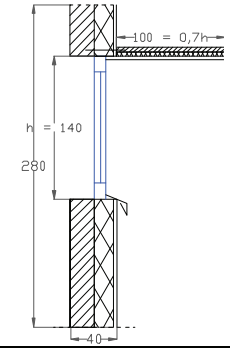
Przyjęto, że dla standardu podstawowego poziom dźwięku A w dB w budynku nie powinien przekraczać 40 dB w ciągu dnia i 30 dB w ciągu nocy. Jest to założenie zgodne z aktualnie obowiązującymi wymaganiami z normy [3] dotyczącym pokoi mieszkalnych. Dla standardu podwyższonego przyjęto, że poziom dopuszczalny w ciągu dnia i nocy powinien wynosić odpowiednio 35 i 25 dB. Przyjęto wartość poziomu hałasu

niższą o 5 dB w stosunku do standardu podstawowego, co bliskie jest subiektywnemu odczuciu dwukrotnego zmniejszenia się uciążliwości hałasu. Powyższe założenia nie uwzględniają wpływu kształtu elewacji na wartość poziomu hałasu. W analizie przyjęto przykładowe pomieszczenie o wymiarach 5 x 3,5 x 2,6 m. Uwzględniono również „bezpieczne" założenie, że czas pogłosu w pomieszczeniu wyniesie 1 s. Obliczenia wykonano zgodnie z modelem normowym [5]. Ze względu na obowiązujące wymagania dotyczące minimalnej izolacyjności akustycznej [4] konieczne jest zwrócenie uwagi na fakt, że w myśl wytycznych wyżej wspomnianej normy, niektóre z proponowanych minimalnych wartości wskaźnika oceny wypadkowej izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej R'_{A2} lub R'_{A1} zawartych w tabeli 3 są niższe od krajowych wymagań. W związku z powyższym w tabeli 3 dla elewacji frontowych, dodatkowo podano wymagania zaczerpnięte z PN-B-02151-3:1999 [4] i oznaczono je z symbolem „*". W przypadku gdy, kiedy wymagana minimalna izolacyjność akustyczna przegrody zewnętrznej, określona obliczeniowo, „wychodziła" niższa od 20 dB w tablicy wstawiono symbol „--" wychodząc z założenia, że spełnienie tego warunku nie stanowi problemu i zostanie spełnione niezależnie od przyjętych rozwiązań (zakładając przyjęcie rozwiązań poprawnych z punktu widzenia sztuki budowlanej). Znając wymagania dotyczące minimalnej wartości wskaźnika oceny wypadkowej izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej R'_{A2} (lub R'_{A1}) dla przegrody zewnętrznej, można przystąpić do sprawdzenia przyjętego rozwiązania lub do zaprojektowania nowego, spełniającego wymagania ochrony akustycznej.

Poniżej w tabeli 4, dla podwyższonego standardu MBJ2030 budynku oraz trzech klimatów akustycznych, zaproponowano uproszczony sposób doboru rozwiązań składających się na przegrodę zewnętrzną: części pełnej, okna i nawiewnika. Przeanalizowano ścianę o wymiarach w świetle od strony wnętrza 4,5 x 2,8 m z oknem o wymiarach 1,3 x 2,0 m oraz 2,2 x 2,0 m [6]. Przyjęto cztery rodzaje elewacji różniące się miedzy sobą wielkością okien oraz innymi elementami. W przypadku elewacji nr 1 zaproponowano dodatkową przegrodę strukturalną osłaniającą elewację właściwą, dla elewacji nr 2 zastosowano rozwiązanie z balkonem i zwiększonym cieniem akustycznym zrealizowanym poprzez wychylony front balkonu, elewacja nr 3 wyposażona została w element zacieniający, wyłożonym od strony spodniej materiałem dźwiękochłonnym, natomiast elewacja nr 4 w ruchomy element zacieniający znajdujący się na wysokości okna oraz ażurowy element zacieniający (minimalizujący odbicia fal dźwiękowych w stronę mieszkania) znajdującym się nad oknem [6]. Zastosowanie elementów przegrody zewnętrznej o parametrach akustycznych co najmniej, takich jak określone w tabeli 4 pozwoli na spełnienie wymagań standardu podwyższonego dla elewacji frontowej. Należy pamiętać, że w przypadku zastosowania izolacji cieplnej lekkiej mokrej typu ETICS należy liczyć się z obniżeniem izolacyjności akustycznej części pełnej przegrody. Efekt ten zależny jest od rodzaju materiału z którego wykonana została warstwa konstrukcyjna ściany zewnętrznej oraz rodzaju izolacji termicznej [1].

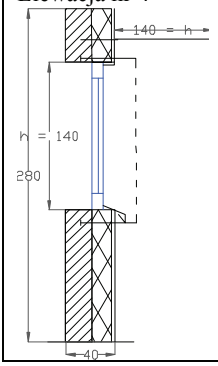
Tabela 4. Przykładowe rozwiązania elewacji frontowej w budynku mieszkalnym, spełniającym wymagania dla podwyższonego standardu akustycznego

Table 4. Examples solutions the front elevation of an apartment building that meet the requirements for a higher standard of sound

Rodzaj elewacji	Klimat akustyczny		
	1	2	3
Elewacja nr 1 	ściana 24 cm, beton kom. 600 kg/m^3 : R_{A2} = 45 dB okno: R_{A2} = 35 dB nawiewnik: $D_{n,e,A2}$ = 33 dB $R'_{A2,R,wyp}$ = 31 dB dodatkowo wpływ elewacji: ΔL_{fs}= + 10 dB	ściana 24 cm, beton kom. 400 kg/m^3: R_{A2} = 40 dB okno: R_{A2} = 30 dB nawiewnik: $D_{n,e,A2}$ = 31 dB $R'_{A2,R,wyp}$ = 28 dB dodatkowo wpływ elewacji: ΔL_{fs}= + 10 dB	ściana 24 cm, beton kom. 400 kg/m^3: R_{A2} = 40 dB okno: R_{A2} = 28 dB nawiewnik: $D_{n,e,A2}$ = 28 dB $R'_{A2,R,wyp}$ = 25 dB dodatkowo wpływ elewacji: ΔL_{fs}= + 10 dB
Elewacja nr 2 	ściana 24 cm, silikat: R_{A2} = 51 dB okno: R_{A2} = 44 dB* nawiewnik: $D_{n,e,A2}$ = 42 dB* $R'_{A2,R,wyp}$ = 39 dB dodatkowo wpływ elewacji: ΔL_{fs}= + 2 dB	ściana 24 cm, silikat: R_{A2} = 51 dB okno: R_{A2} = 38 dB nawiewnik: $D_{n,e,A2}$ = 36 dB $R'_{A2,R,wyp}$ = 34 dB dodatkowo wpływ elewacji: ΔL_{fs}= + 2 dB	ściana 24 cm, silikat: R_{A2} = 51 dB okno: R_{A2} = 34 dB nawiewnik: $D_{n,e,A2}$ = 32 dB $R'_{A2,R,wyp}$ = 30 dB dodatkowo wpływ elewacji: ΔL_{fs}= + 2 dB
Elewacja nr 3 	ściana 20 cm, żelbet. 2400 kg/m^3: R_{A2} = 55 dB okno: R_{A2} = 45 dB* nawiewnik: $D_{n,e,A2}$ = 43 dB* $R'_{A2,R,wyp}$ = 41 dB dodatkowo wpływ elewacji: ΔL_{fs}= 0 dB	ściana 20 cm, żelbet. 2400 kg/m^3: R_{A2} = 55 dB okno: R_{A2} = 38 dB nawiewnik: $D_{n,e,A2}$ = 38 dB $R'_{A2,R,wyp}$ = 36 dB dodatkowo wpływ elewacji: ΔL_{fs}= 0 dB	ściana 20 cm, żelbet. 2400 kg/m^3: R_{A2} = 55 dB okno: R_{A2} = 34 dB nawiewnik: $D_{n,e,A2}$ = 33 dB $R'_{A2,R,wyp}$ = 31 dB dodatkowo wpływ elewacji: ΔL_{fs}= 0 dB

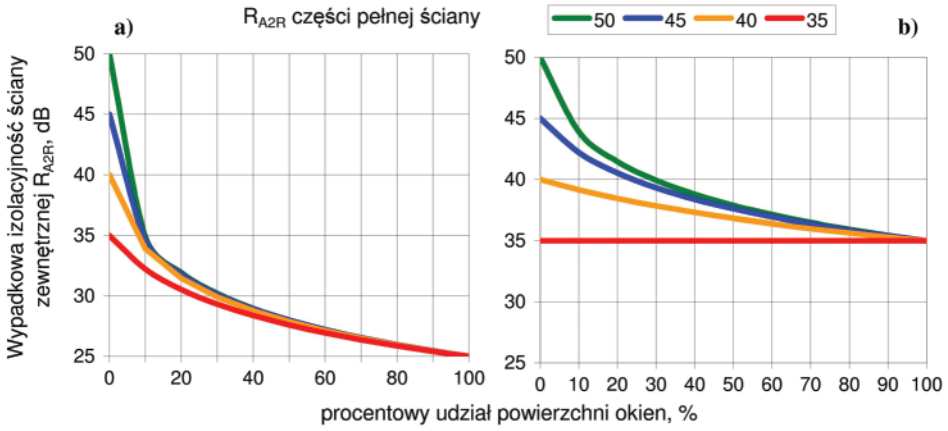
cd. tabeli 4. Przykładowe rozwiązania elewacji frontowej w budynku mieszkalnym, spełniającym wymagania dla podwyższonego standardu akustycznego

Table 4 continued Examples solutions the front elevation of an apartment building that meet the requirements for a higher standard of sound

Elewacja nr 4  	ściana 20 cm, żelbet. 2400 kg/m^3: R_{A2} = 55 dB okno: R_{A2} = 45 dB* nawiewnik: $D_{n,e,A2}$ = 43 dB* $R'_{A2,R,wyp}$ = 41 dB dodatkowo wpływ elewacji: ΔL_{fs}= 0 dB	ściana 20 cm, żelbet. 2400 kg/m^3: R_{A2} = 55 dB okno: R_{A2} = 38 dB nawiewnik: $D_{n,e,A2}$ = 38 dB $R'_{A2,R,wyp}$ = 36 dB dodatkowo wpływ elewacji: ΔL_{fs}= 0 dB	ściana 20 cm, żelbet. 2400 kg/m^3: R_{A2} = 55 dB okno: R_{A2} = 34 dB nawiewnik: $D_{n,e,A2}$ = 33 dB $R'_{A2,R,wyp}$ = 31 dB dodatkowo wpływ elewacji: ΔL_{fs}= 0 dB

Symbolem „*” zaznaczono parametry bardzo trudne do osiągnięcia lub wręcz niedostępne aktualnie na rynku budowlanym.

Najczęściej w przypadku przegrody zewnętrznej to okno jest „mostkiem akustycznym”. Oceniając izolacyjność akustyczną przegrody zewnętrznej, uwzględniono zarówno parametry części pełnej przegrody, jak i okna i wyliczono izolacyjność wypadkową. Izolacyjność akustyczna okien jednoramowych określona wskaźnikiem R_{A2R} kształtuje się w granicach **25÷35 dB** w zależności od ich ceny i producenta. Na rysunku 3 przedstawiono wypadkową izolacyjność akustyczną wyrażoną wskaźnikiem oceny R_{A2R} dla przegrody zewnętrznej w zależności od udziału procentowego okien. Izolacyjność części pełnej przegrody przyjęto w sposób następujący: R_{A2R} = 35, 40, 45 i 50 dB. Analizę przeprowadzono dla okien o izolacyjności akustycznej wyrażonej wartością wskaźnika R_{A2R}; 25 i 35 dB. Na podstawie rysunku 3a stwierdzić należy, że dla okien o niskiej izolacyjności (R_{A2R} = 25 dB) nieuzasadnione jest wykonywanie pełnej części przegrody zewnętrznej z materiału o wysokiej izolacyjności akustycznej. Powyższe stwierdzenie dotyczy elewacji o procentowym udziale okien już od ok. 20%. Wpadkowa izolacyjność akustyczna przegrody zewnętrznej, niezależnie od parametrów akustycznych części pełnej dla takiego wariantu, nie przekracza 33 dB. Inaczej jest w przypadku zastosowania okien o wysokiej izolacyjności (R_{A2R} = 35 dB). Dla takich rozwiązań uzasadnione wydaje się stosowanie materiałów (na część pełną przegrody) o wyższej izolacyjności akustycznej (np. R_{A2R} = 50 dB). Wypadkowa izolacyjność akustyczna tak wykonanej elewacji może osiągnąć wartość wyrażoną wskaźnikiem R_{A2R}, nawet powyżej 40 dB, pod warunkiem jednak, że stopień przeszklenia elewacji nie przekroczy 30%. Dobierając materiały przeznaczone do wykonania przegrody zewnętrznej, należy pamiętać, że ich parametry mają bardzo istotny wpływ na przenoszenie boczne dźwięku między pomieszczeniami w budynku, a w konsekwencji mogą w znaczący sposób wpłynąć na obniżenie izolacyjności akustycznej między pomieszczeniami. Powyższa analiza nie uwzględnia przypadków zastosowania w przegrodzie zewnętrznej nawiewników powietrza. Dla takiego przypadku izolacyjność wypadkowa ściany zewnętrznej w dużym stopniu uzależniona jest od jakości akustycznej wyżej wymienionych nawiewników i od ich liczby w danym pomieszczeniu.



Rys. 3. Wypadkowa izolacyjność akustyczna przegrody zewnętrznej, wyrażona wskaźnikiem oceny R_{A2R} w zależności od udziału procentowego okien i izolacyjność części pełnej przegrody. Przyjęto izolacyjność akustyczną okien: a) R_{A2R} = 25 dB, b) R_{A2R} = 35 dB

Fig. 3. Acoustic insulation R_{A2R} external wall, depending percentage of windows and wall insulation. Sound insulation of windows adopted respectively: a) RA2R = 25 dB, b) RA2R = 35 dB

3. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono niektóre z zagadnień akustycznych, dotyczących kształtowania bryły budynku, podjętych w projekcie „Miejski Budynek Jutra 2030". Celem projektu jest określenie rozwiązań umożliwiających wznoszenie budynków wielorodzinnych charakteryzujących się wyższym komfortem akustycznym niż aktualnie realizowane obiekty mieszkalne. Planowanym finalnym efektem projektu jest wybudowanie budynku wielorodzinnego, który posłuży do weryfikacji określonych w projekcie założeń.

LITERATURA

[1] Dulak L., 2012. Wpływ ocieplenia na izolacyjność akustyczną ściany zewnętrznej. Materiały Budowlane 8(476), 10-12.

[2] Dulak L., Nowoświat A., Żuchowski R. Opis kroków projektowania budynków wielorodzinnych, w standardzie MBJ 2030 dla uzyskania odpowiedniej ochrony przed hałasem: powietrznym zewnętrznym, powietrznym przenikającym miedzy pomieszczeniami, uderzeniowym oraz spowodowanym nadmiernym pogłosem. Politechnika Śląska. MBJ2030 Miejski Budynek Jutra - zadanie W7.1.2.

[3] PN-B-02151-2:1997 Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach – Dopuszczalne poziomy dźwięku w pomieszczeniach.

[4] PN-B-02151-3:1999 Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach - Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczna elementów budowlanych – Wymagania.

[5] PN-EN 12354-3: 2003 Akustyka Budowlana – określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów. Izolacyjność od dźwięków powietrznych przenikających z zewnątrz.
[6] Podpora E., Sasin T., Szymańska-Rzeźnik K., Żach J. Założenia projektowania bryły, elewacji i przegród zewnętrznych budynków w standardzie MBJ2030. Mostostal Warszawa S.A. MBJ2030 Miejski Budynek Jutra - zadanie W1.4.6.
[7] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. 2002 Nr 75, poz. 690).
[8] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 roku w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz. U. nr 120, poz. 826) wraz z późniejszymi zmianami z dnia 1 października 2012 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz. U./12 nr 0, poz. 1109).
[9] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4 listopada 2008 roku w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów w środowisku substancji lub energii przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linia tramwajową, lotniskiem, portem (Dz. U. nr 206, poz. 1291).
[10] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 19 listopada 2008 roku w sprawie rodzajów wyników pomiarów prowadzonych w związku z eksploatacją instalacji lub urządzenia, przekazywanych właściwym organom ochrony środowiska oraz terminu i sposobów ich prezentacji (Dz. U. nr 215, poz. 1366).
[11] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 marca 2009 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. 2009 Nr 56 poz. 461).
[12] Ustawa Prawo Budowlane z 7 lipca 1994 r. wraz z późniejszymi zmianami (Dz. U. 1994 Nr. 89, poz. 414).
[13] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 roku Prawo Ochrony Środowiska (Dz. U. Nr 62, poz. 627) wraz z późniejszymi zmianami, tekst jednolity (Dz. U. z 2008 r. nr 25, poz. 150).
[14] http://www.mbj2030.pl.

MULTI-DWELLING URBAN BUILDING 2030 – AN ATTEMPT TO INCREASE OF ACOUSTIC COMFORT IN APARTMENT BUILDING

Summary. The article presents some of the acoustic issues, taken in the Multi-dwelling Urban Building 2030. The project in this area is to identify solutions for the construction of higher acoustic comfort residential buildings than realized currently. The final result of the planned project is to build a object, which will be used to verify the assumptions set out in the project.

15. ANALIZA MOŻLIWOŚCI ZABEZPIECZEŃ AKUSTYCZNYCH WYSOKICH BUDYNKÓW MIESZKALNYCH ZLOKALIZOWANYCH W SĄSIEDZTWIE TRAS KOMUNIKACYJNYCH NA TERENACH MIEJSKICH

1. WSTĘP

W pracy opisano analizę przedstawiającą możliwości ograniczenia ponadnormatywnego oddziaływania hałasu na tereny o ustalonych standardach akustycznych. Na tych terenach występuje wysoka zabudowa mieszkaniowa, zlokalizowana w sąsiedztwie ulicy Stalowej i Dalekiej narażona na oddziaływanie hałasu pochodzącego z ruchu pojazdów poruszających się po drodze ekspresowej S86 w Sosnowcu.

2. CHARAKTERYSTYKA ŹRÓDŁA HAŁASU

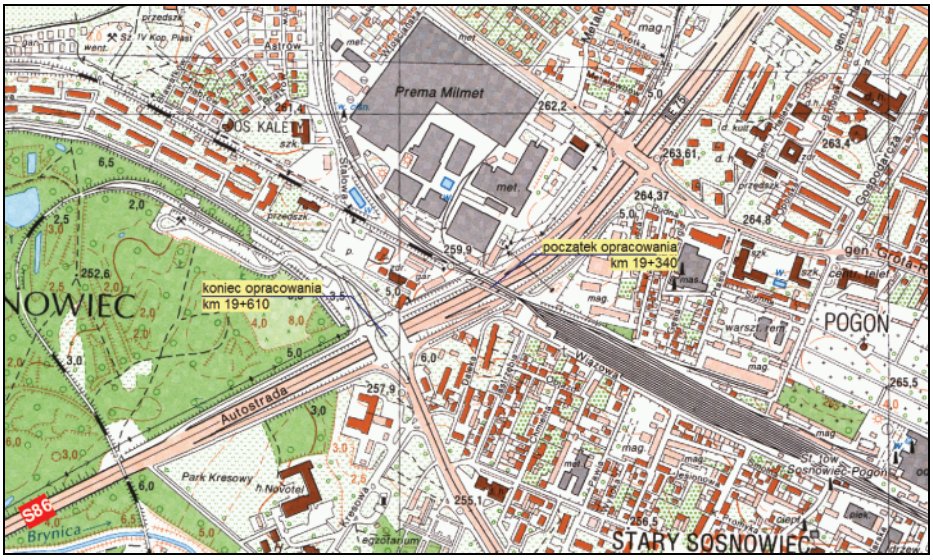
Analizowany odcinek drogi (km 19+340 ÷19+610) stanowi część ok. 6,0 km trasy S86 na kierunku Katowice-Częstochowa-Warszawa, z początkiem w km 18+030 w Sosnowcu-Pogoni i końcem na węźle Roździeńskiego w Katowicach (km 23+900), niewystępującej w rządowym programie sieci autostrad i dróg ekspresowych. S86 jest częścią rozbudowanej w latach 1978-1986 do parametrów trasy ekspresowej drogi krajowej DK86, której przebieg został określony w załączniku Nr 5 do Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z 17 marca 2004 r. w sprawie ustalenia przebiegu dróg krajowych w województwie śląskim [Dz. U. 2004, nr 60 poz. 566] [1]. Rozpatrywany odcinek S86 to droga dwujezdniowa, każda o trzech pasach, z pasem rozdziału i obustronnymi pasami włączenia/wyłączenia oraz łącznicami zjazdowymi, w dobrym stanie technicznym, o następujących parametrach:

- klasa techniczna: S,
- prędkość dopuszczalna: 80 km/godzinę,
- szerokość jezdni – 10,50 m (jezdnia w kierunku Dąbrowy Górniczej), 14,00 m (jezdnia w kierunku Katowic),
- pas awaryjny: 3,50 m (jezdnia w kierunku Dąbrowy Górniczej), brak (jezdnia w kierunku Katowic),
- szerokość pasa rozdziału: 4,5 m,
- wysokość skrajni nad drogą klasy S: min. 4,70 m.

Rozpatrywany fragment trasy ekspresowej S86 (rys. 1) stanowi jednorodny odcinek drogowy zlokalizowany w zakresie od skrzyżowania węzła z ul. Grota-Roweckiego w dzielnicy Pogoń-Rudna do położonego przy granicy z dzielnicą Milowice węzła

LESZEK DULAK, RAFAŁ ŻUCHOWSKI, BARTŁOMIEJ PUDEŁKO
Politechnika Śląska

z ul. Piłsudskiego-Baczyńskiego w Sosnowcu. Ulice Piłsudskiego i Baczyńskiego są elementami dwupoziomowego węzła konstrukcyjnego rozdzielonego na dwa wiadukty: zachodni i wschodni, w skład którego wchodzą wiadukt tramwajowy oraz wiadukt platforma przylegający do wiaduktu wschodniego i tramwajowego.



Rys. 1. Mapa obrazująca zakres prowadzonej analizy na podkładzie topograficznym[1]

Fig. 1. Map showing the range of analysis on the backing topographic [11]

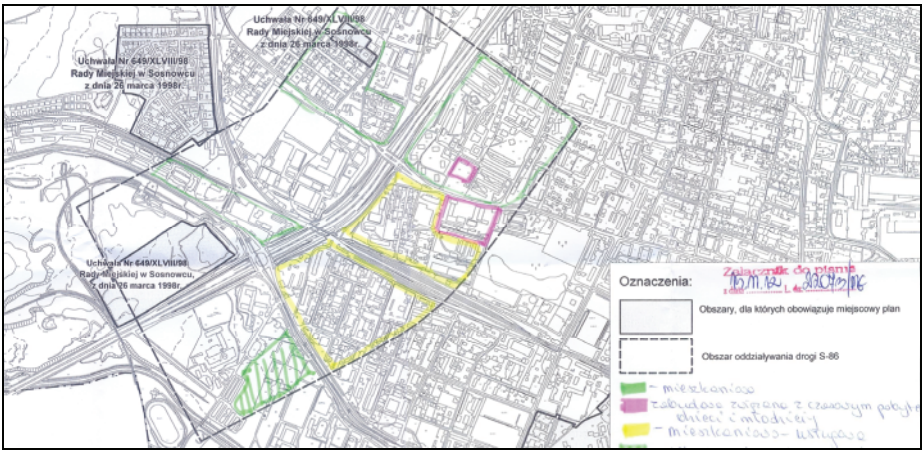
2. CHARAKTERYSTYKA OTOCZENIA TRASY NA TLE TERENÓW CHRONIONYCH PRZED HAŁASEM

Początek analizowanego odcinka zlokalizowany przy kładce dla pieszych nad S86 w km 18+340, a koniec za węzłem z ul. Baczyńskiego-Piłsudskiego. S86 wysokościowo na tym odcinku przebiega w głębokim wykopie, natomiast w sąsiedztwie analizowanej trasy nie występują żadne zabezpieczenia przeciwdźwiękowe. Po stronie północnej w km 19+400÷19+610 z drogą sąsiadują tereny wskazane do ochrony przed hałasem, obecnie zagospodarowane zarówno zabudową mieszkalną, jak i usługową, obiektami garaży, parkingiem oraz zielenią. W odległości do 300 m od S86 zinwentaryzowano 4 istniejące budynki mieszkalne administrowane przez sosnowiecką spółdzielnię SM PREMIL (S-c, ul. Stalowa 3). Najbliżej drogi zlokalizowana jest położona w jego południowo-zachodniej części III kondygnacyjna z użytkowym poddaszem kamienica nr 1/I przy ul. Stalowej, usytuowana tuż obok zjazdu z łącznicy S86 na ul. Baczyńskiego. Pozostała zabudowa jest nieco dalej zlokalizowana przy ul. Stalowej – niewielki jednoklatkowy III kondygnacyjny blok nr 1, dwukondygnacyjny budynek nr 5 oraz wysoki, dwusegmentowy XI kondygnacyjny blok wielorodzinny nr 8. Po stronie południowej zlokalizowany jest teren mieszkaniowo-usługowy, gdzie w pierwszej linii w pasie 150 m od S86 występuje wysoka zabudowa wielorodzinna, stanowiąca element ekranujący dla dalej położonych zabudowań: czterosegmentowy blok XI-kondyg. przy ul. Dalekiej 13-11-9 i trzysegmentowe V-kondygnacyjne bloki nr 12B-12A-12 oraz

14B-14A-14 administrowane przez spółdzielnię SM LOKUM (S-c, ul. Chemiczna 12) oraz parterowy budynek mieszkalny przy ul. Dalekiej nr 16 i bliżej ul. Piłsudskiego III kondygnacyjny budynek nr 69 w administracji SM PREMIL. Sąsiadują z nimi szeregi obiektów garażowych.

Przebieg analizowanego odcinka S86 w odniesieniu do zapisów MPZP

Analizowany odcinek S86 od km 19+340÷19+610 przebiega na terenie miasta Sosnowiec, gdzie obecnie jest brak obowiązującego miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego (MPZP). Jedynie obszar usługowy po zachodniej stronie ul. Baczyńskiego jest w obrębie planu miejscowego zatwierdzonego uchwałą Rady Miejskiej w Sosnowcu Nr 649/XLVIII/98 z dnia 26.03.1998 r. *w sprawie zmiany miejscowego planu ogólnego zagospodarowania przestrzennego dla 36 obszarów w granicach miasta Sosnowca* [2]. Dla terenów nieobjętych MPZP wystąpiono o kwalifikację zgodnie z przepisami Art. 115 Prawa Ochrony Środowiska [Dz. U. Nr 62, poz. 627, tekst jednolity Dz. U./2008 nr 25, poz. 150 ze zmianami] [3]. Zgodnie z kwalifikacją organu w tym przypadku Urzędu Miejskiego w Sosnowcu [4], na terenie m. Sosnowiec w sąsiedztwie S86 do terenów wymagających ochrony akustycznej wskazano teren zabudowy mieszkaniowej (km 19+400 do 19+610/ strona prawa w odległości min. 25 m od krawędzi drogi S86 i 3 m od łącznicy) oraz teren zabudowy mieszkaniowo-usługowej (km 19+340 do 19+550/ strona lewa w odległości min. 30 m od krawędzi drogi S86 i 3 m od łącznicy). Kwalifikację terenów do ochrony przed hałasem w mieście Sosnowiec określoną przez organ przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Kwalifikacja terenów do ochrony przed hałasem w mieście Sosnowiec w sąsiedztwie S86 [4]
Fig. 2. Qualifying sites for protection against noise in Sosnowiec in the vicinity of S86 [4]

Charakterystyka akustyczna terenów podlegających ochronie

Analizę występowania terenów wymagających ochrony przed hałasem przeprowadzono na podstawie obowiązujących zapisów miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego w Sosnowcu oraz kwalifikacji organu wg Art. 115 POŚ, ustalając dopuszczalne standardy opierając się na Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia

1 października 2012 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku [Dz. U. 2012, poz. 1109] [5].

– dla terenów zabudowy mieszkaniowej i mieszkaniowo-usługowej:
  a) pora dzienna $(6^{00}\text{-}22^{00})$ – **65 dB**,
  b) pora nocna $(22^{00}\text{-}6^{00})$ – **56 dB**,

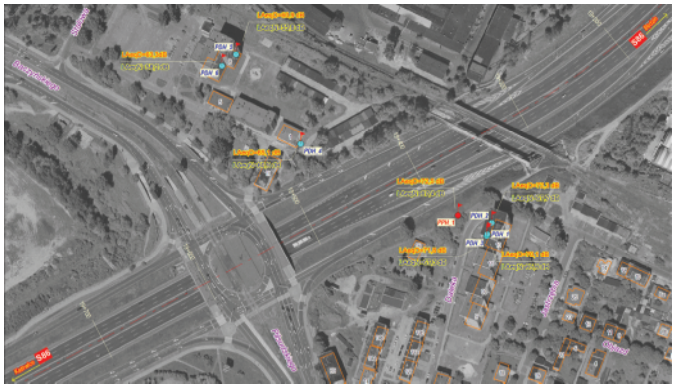
3. CHARAKTERYSTYKA ODDZIAŁYWANIA HAŁASU

Pomiary hałasu wykonano metodą bezpośrednich pomiarów ciągłych w ograniczonym czasie jednej doby, zgodnie z wymogami Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 16 czerwca 2011 roku w sprawie wymagań w zakresie ... [Dz. U. nr 140, poz. 824] [6].

Przyjęto dwie kategorie punktów pomiarowych – referencyjne i dodatkowe, lokalizując:

- 1 punkt **REFERENCYJNY (PPH_1)** służący do oceny i monitorowania zmienności parametrów akustycznych źródła hałasu, zlokalizowany w sąsiedztwie S86 w odległości 1,0 m od krawędzi wykopu, na wysokości 4,0 m n p. t,
- 6 punktów **DODATKOWYCH (PDH_1÷PDH_6)**, służących do oceny parametrów akustycznych na obszarach chronionych, zlokalizowanych min. 1,5 m od fasady istniejącej zabudowy, na wys. 4 m npt. przy ul. Stalowej 1, na wys. 20 m i 33 m (VII i XI kondygnacja) budynku przy ul. Stalowej 8 oraz na wys. 10 m, 20 m i 33 m (III, VII i XI kondygnacja) budynku przy ul. Dalekiej 13.

Lokalizację punktów pomiarowych hałasu przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Lokalizacja punktów pomiaru hałasu

Fig. 3. Location noise measurement points

Wyznaczone na podstawie pomiarów równoważne poziomy dźwięku L_{AeqD} dla 16 godzin odniesienia pory dziennej i L_{AeqN} dla 8 godzin odniesienia pory nocnej zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie pomierzonych poziomów hałasu w punkcie referencyjnym oraz w punktach dodatkowych w sąsiedztwie S86 [7]

Table 1. Summary of noise levels measured at the point of reference and additional points in the vicinity of S86 [7]

Lp.	Nr punktu	Lokalizacja	Wartości (zmierzone) równoważnego poziomu dźwięku L_{Aeq}, [dB]		Dopuszczalne poziomy dźwięku L_{Adop}, [dB]		Przekroczenia poziomu dopuszczalnego $DL = L_{Aeq} - L_{Adop}$ [dB]		Uwagi
			dzień	noc	dzień	noc	dzień	noc	
1	PPH_1	Punkt referencyjny	**72,5**	**67,4**	_	_	_	_	referencyjny
2	PDH_1	Punkt dodatkowy ul. Daleka 13/142	**70,1**	**65,6**	**65**	**56**	**5,1**	**9,6**	dodatkowy
3	PDH_2	Punkt dodatkowy ul. Daleka 13/158	**72,3**	**67,7**	**65**	**56**	**7,3**	**11,7**	dodatkowy
4	PDH _3	Punkt dodatkowy ul. Daleka 13/173	**71,8**	**67,3**	**65**	**56**	**6,8**	**11,3**	dodatkowy
5	PDH _4	Punkt dodatkowy ul. Stalowa 1	**65,1**	**60,9**	**65**	**56**	**0,1**	**4,9**	dodatkowy
6	PDH _5	Punkt dodatkowy ul. Stalowa 8/68	**60,9**	**55,8**	**65**	**56**	_	_	dodatkowy
7	PDH _6	Punkt dodatkowy ul. Stalowa 8/107	**63,3**	**58,2**	**65**	**56**	_	**2,2**	dodatkowy

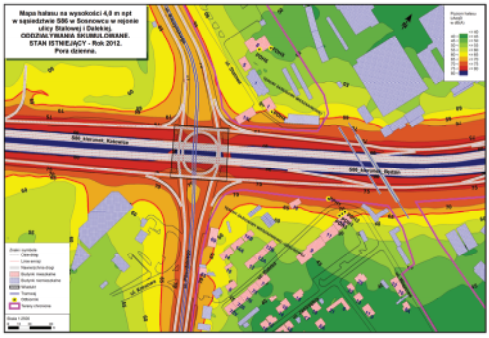
4. ISTNIEJĄCE NATĘŻENIE RUCHU

Natężenie ruchu pojazdów na analizowanym odcinku S86, na łącznicach węzła, a także na sąsiadujących ulicach Baczyńskiego i Piłsudskiego zmierzono równolegle z pomiarami hałasu. Pomiary ruchu zostały przeprowadzone w godzinach obejmujących okres doby metodą klasyczną, przy użyciu standardowych arkuszy pomiarowych w ramach prowadzonych pomiarów hałasu w przekroju – PR1 oraz przy wsparciu techniki wideofilmowania z punktu PDH_ 2. Rozpatrywany odcinek trasy ekspresowej S86 to doroga o największym natężeniu ruchu w Polsce. Poddany analizie wycinek drogi jeden odcinek jednorodny o natężeniu ruchu ponad 90 tys. poj./ dobę, przy zmiennym na przestrzeni doby procentowym udziale pojazdów ciężkich w całkowitym potoku ruchu, osiągającym wartości 11,4% w porze dziennej 24,4% w porze nocnej.

3. OBLICZENIA HAŁASU DLA STANU ISTNIEJĄCEGO

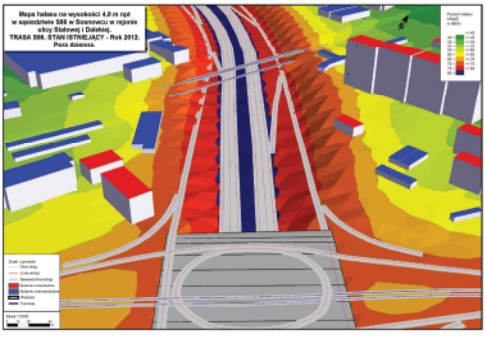
Do przedstawienia oddziaływania trasy S86 oraz ul. Piłsudskiego-Baczyńskiego na tereny w sąsiedztwie skorzystano z graficznego przedstawienia wyników rozkładu klimatu akustycznego oraz obliczeń wykonanych na fasadach budynków, uzyskanych w obliczeniach symulacyjnych. W obliczeniach wykorzystano model terenu istniejącego wg zasobów WODGiK w Katowicach, z uwzględnieniem czynników ruchowych (natężenia pojazdów, prędkości i procentowego udziału pojazdów ciężkich), geometrii

źródła hałasu oraz stanu zagospodarowania sąsiadujących z drogą terenów w modelu 3D. Obliczenia numeryczne wykonano wykorzystując pakiet SoundPlan i model emisji hałasu NMPB (Guide du Bruit) oparty na normie PN ISO 9613-2 Akustyka. Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej [8]. Wykonane w punkcie referencyjnym pomiary hałasu i natężenia ruchu dla istniejącego układu komunikacyjnego posłużyły do skalibrowania modelu obliczeniowego do obliczeń rzeczywistych zasięgów oddziaływania hałasu. Obliczenia akustyczne przeprowadzono w regularnej siatce receptorowej o boku 10x10 m na wysokości 4 m, a także na poziomie VII kondygnacji/ 6 piętro (ok. 16 m) i X kondygnacji/9 piętro (ok. 28 m) nad poziomem terenu, wykreślając na ich podstawie mapy hałasu dla stanu istniejącego w porze dziennej i nocnej, przygotowane w programie SoundPlan w skali 1:2000 w postaci map 2D (rys. 4) i 3D (rys. 5).



Rys. 4. Mapa hałasu 2D w sąsiedztwie S86 w Sosnowcu w rejonie ul. Stalowej i Dalekiej – STAN ISTNIEJĄCY pora dzienna

Fig. 4. 2D noise map in the vicinity of S86 in Sosnowiec in the region of Steel and Far – CURRENT STATUS daytime

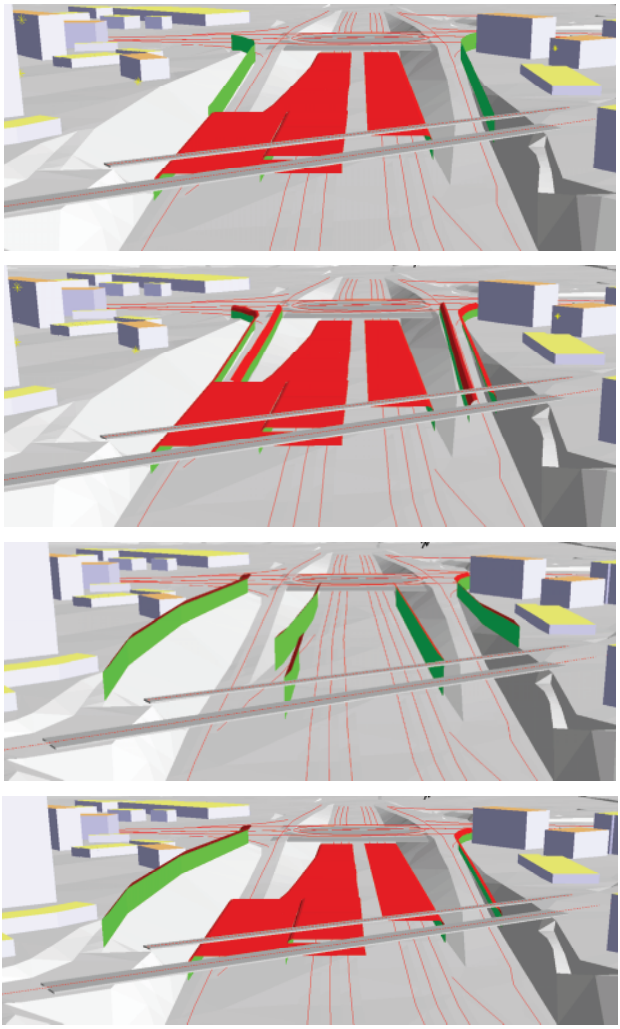


Rys. 5. Mapa hałasu 2D w sąsiedztwie S86 w Sosnowcu w rejonie ul. Stalowej i Dalekiej – STAN ISTNIEJĄCY pora dzienna

Fig. 5. 2D noise map in the vicinity of S86 in Sosnowiec in the region of Steel and Far – CURRENT STATUS daytime

4. KONCEPCJE ZABEZPIECZEŃ AKUSTYCZNYCH

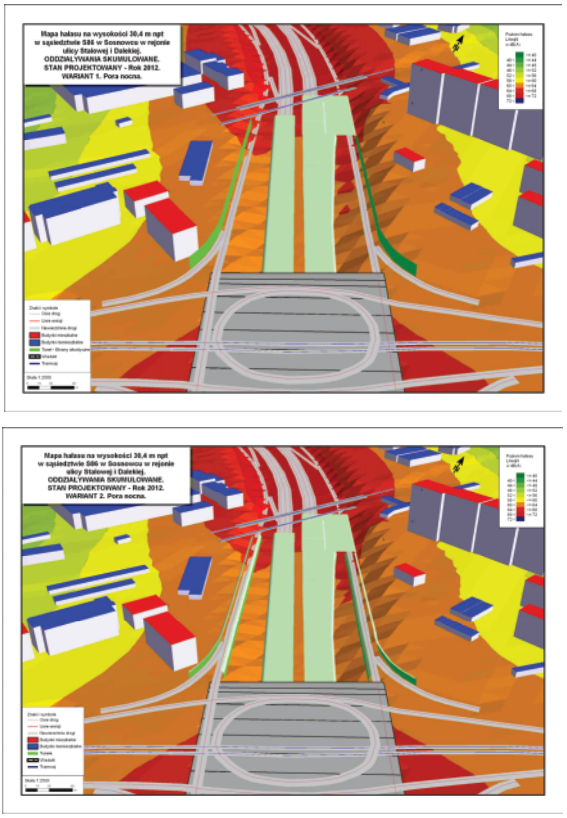
Z uwagi na przekroczenia w sąsiedztwie S86 dopuszczalnych poziomów hałasu na terenach, dla których standardy akustyczne zostały określone w aktualnym rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 1 października 2012 roku. Przeanalizowano możliwość realizacji zabezpieczeń środkami technicznymi w formie 4-wariantowej koncepcji, których założenia przedstawiono schematycznie na rysunku 6.



Rys. 6. Graficzna prezentacja modeli geometrycznego 4 wariantów zabezpieczeń przeciwhałasowych
Fig. 6. Graphical presentation of four variants of the geometric models protections

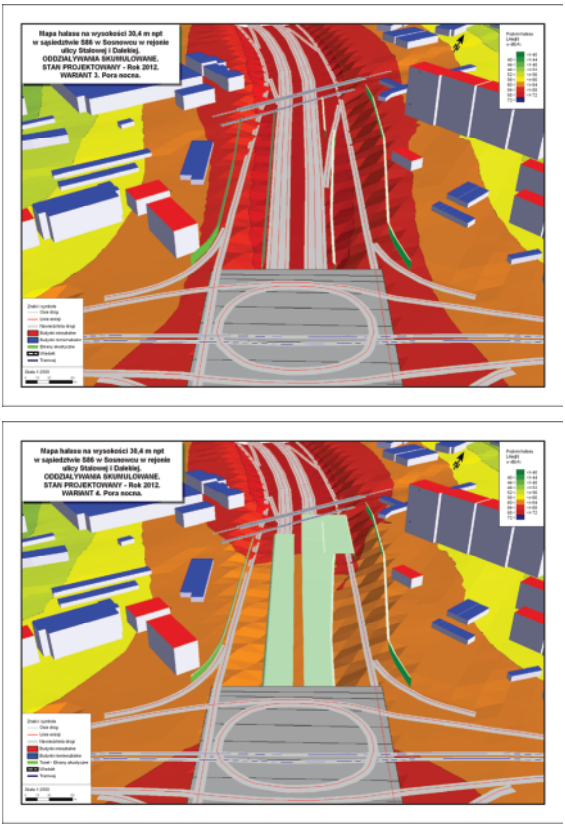
Zabezpieczenia akustyczne w sąsiedztwie S86 w wariancie 1, 2 i 4 oraz nad łącznicami w wariancie 2 zaprojektowano jako tunele akustyczne, w postaci stalowej ramy przestrzennej z wypełnieniem żelbetowym do wysokości 1,2 m, a powyżej wypełnieniem

transparentnym. Stropowej części tunelu nadano spadki poprzeczne ok. 5,24% w celu odprowadzenia wód opadowych. W celu zapewnienia odpowiedniej wentylacji tuneli część środkową stropu pozostawiono niezabudowaną. W wariancie 4 przewidziano realizację półtunelu (części zewnętrznej) przy łącznicy północnej. Zaproponowane natomiast ekrany akustyczne w zależności od wariantu będą zrealizowane w formie prostej ściany z panelu pochłaniającego (wariant 1) lub z zagięciem pod kątem 45^{o} (warianty 3 i 4). Przykładowe wyniki przeprowadzonych obliczeń po zastosowaniu zaproponowanych zabezpieczeń na wysokości ostatniej kondygnacji (ok. 30,4 m n.p.t.) przedstawiono w formie map hałasu 3D dla wariantu 1 i 2 na rysunku 7, a dla wariantów 3 i 4 na rysunku 8.



Rys. 7. Mapa hałasu 3D obrazująca rozkład poziomu dźwięku po zastosowaniu wariantu 1 i 2

Fig. 7. Map showing the distribution of 3D noise sound level when using conception 1 and 2



Rys. 8. Mapa hałasu 3D obrazująca rozkład poziomu dźwięku po zastosowaniu wariantu 3 i 4
Fig. 8. Map showing the distribution of 3D noise sound level when using conception 3 and 4

5. PODSUMOWANIE

Przeprowadzona szczegółowa analiza otrzymanych wyników obliczeń w postaci wartości poziomów dźwięku na poszczególnych fasadach budynków mieszkalnych oraz map hałasu w układzie 2D i 3D pozwala na stwierdzenie, że dla budynków znajdujących się w oddziaływaniu hałasu po stronie prawej S86 wszystkie warianty wykazują niemal porównywalną skuteczność na elewacjach, choć pełną eliminację oddziaływań uzyskano tylko przy wariancie 3, potem kolejno wariancie 2, 1 i 4. Dla tak przyjętych rozwiązań na ponadnormatywny hałas narażona będzie ostatnia kondygnacja (poddasze użytkowe) budynku przy ul. Stalowej 1/I. Dla zabudowy po stronie lewej_S86 do 5 piętra (VI kondygnacja) największą skuteczność wykazuje wariant 3 (z ekranami przy S86), następnie warianty 4, 2 i 1 (z tunelem przy S86), natomiast na wyższych kondygnacjach większą skuteczność na elewacjach wykazują warianty z tunelem nad S86 ─ na 6 piętrze (VII kondygnacja) wariant 4, a następnie kolejno wariant 2, 1 i 4, a od 7 piętra (VIII kondygnacja) wariant 2, a następnie kolejno wariant 1, 4 i 3. Uzyskana na elewacjach skuteczność nie jest jednak wystarczająca, dlatego nadal na ponadnormatywny hałas w porze nocnej będą narażone w wariantach z tunelem (1, 2

i 4) lokale od 5 piętra (VI kondygnacja) w bloku przy ul. Dalekiej, w najbliżej drogi położonym segmencie – nr 13 i od 8 piętra (IX kondygnacja) w segmencie – nr 11. Wariant 3 wykazuje najmniejszą skuteczność (o 0,8÷2,7 dB) i przy jego zastosowaniu skuteczna eliminacja hałasu także nie jest możliwa w porze dziennej od 7 piętra (VIII kondygnacja) i w porze nocnej od piętra 5 (VI kondygnacja) (przy poziomie największego przekroczenia na ostatniej kondygnacji 1,8 dB w dzień i 5,9 dB w nocy). W przypadku tego wariantu występuje dodatkowo możliwość eliminacji ponadnormatywnego oddziaływania przy zastosowaniu środka eliminacji w postaci „cichej nawierzchni", gdzie jak wykazują badania i dane literaturowe pozwala ona na redukcję hałasu drogowego w zakresie od 3÷5 dB.

LITERATURA

[1] Kwalifikacja Urzędu Miasta Sosnowiec wg Art. 115 POŚ zawarta w piśmie z dnia 15.11.2012 r. znak WAB.MG.033.323.2012.MG T. Nr 22073.
[2] PN ISO 9613-2 Akustyka. Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej.
[3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 17 marca 2004 r. w sprawie ustalenia przebiegu dróg krajowych w województwie śląskim [Dz. U. 2004, nr 60 poz. 566].
[4] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 czerwca 2011 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów substancji lub energii w środowisku przez zarządzającego drogą, linia kolejową, linia tramwajową, lotniskiem lub portem [Dz. U. nr 140, poz. 824].
[5] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 października 2012 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku [Dz. U./2012, poz. 1109].
[6] Uchwała Rady Miejskiej w Sosnowcu Nr 649/XLVIII/98 z dnia 26.03.1998 r. w sprawie zmiany MPOZP dla 36 obszarów w granicach miasta Sosnowca (obszar 17 o symbolu C41U,Z).
[7] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 roku Prawo Ochrony Środowiska [Dz. U. Nr 62, poz.627, tekst jednolity Dz. U./2008 nr 25, poz.150].
[8] Wieloeariantowa koncepcja metod zabezpieczenia przed hałasem drogowym pochodzącym z drogi ekspresowej S86 obszarów zabudowy mieszkaniowej położonych przy ul. Stalowej i ul. Dalekiej w Sosnowcu. F.U. ZGODA Edward - Usługi Inżynierskie, GRONTMIJ Polska, EKOSOUND S.C., Listopad 2012 r.

ACOUSTIC ANALYSIS OF HIGH SECURITY RESIDENTIAL BUILDINGS LOCATED IN THE VICINITY ROUTE COMMUNICATION IN URBAN AREAS

Summary. The article is an analysis showing the potential for reducing above normal impact of noise on the grounds of an established standard acoustic. In these areas there is a high residential buildings, located in the vicinity of the street Steel and Far exposed to the impact of traffic noise from vehicles on the expressway S86 in Sosnowiec.

16. MAŁOPOLSKIE LABORATORIUM BUDOWNICTWA ENERGOOSZCZĘDNEGO W ENERGOOSZCZĘDNEJ STRATEGII MAŁOPOLSKI

1. WSTĘP

Przez ostatnie kilka lat można zauważyć coraz gwałtowniejsze przemiany zachodzące w sektorze budownictwa w Europie. Zmiany te dotyczą przepisów legislacyjnych, rozwoju nowych technologii, zmian w obszarze edukacji, realizacji budynków w technologiach „pasywnych", niskoenergetycznych, samowystarczalnych energetycznie. Zmiany takie są wynikiem polityki UE i nacisku, jaki kładzie na zmniejszenie energochłonności w wielu obszarach, w tym w sektorze budownictwa. Polska nie ma doświadczeń w projektowaniu, realizacji i eksploatacji budynków o restrykcyjnie obniżonym zapotrzebowaniu na energię, dlatego istnieje potrzeba wypracowania odpowiednich dla naszego klimatu wzorców oraz stworzenia bazy laboratoriów, testujących nowoczesne i innowacyjne technologie budowlane. W pracy autorzy przedstawili projekt Małopolskiego Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego jako efekt działań władz regionu oraz Politechniki Krakowskiej.

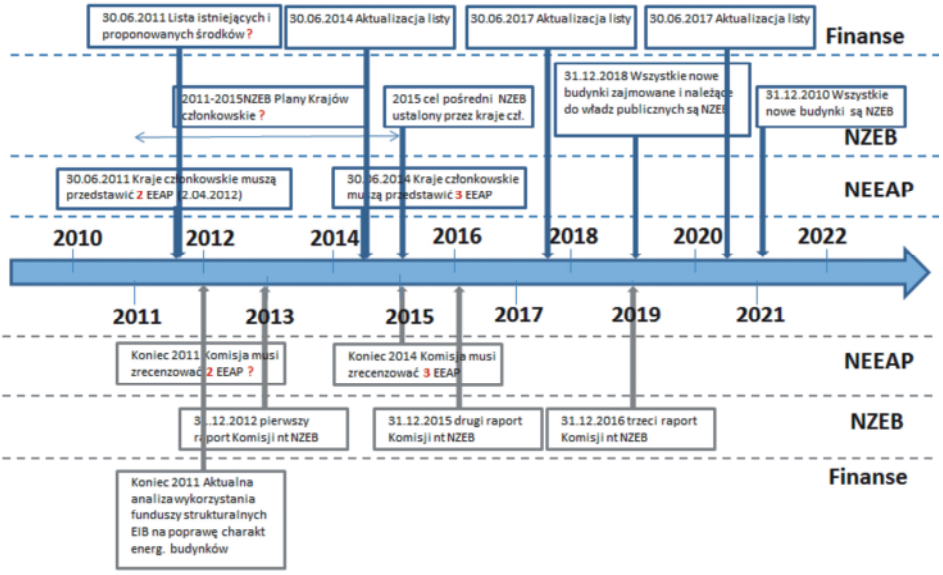
2. NOWE PRZEPISY – WYMAGANIA

UE narzuca na kraje członkowskie coraz ostrzejsze wymagania w zakresie zwiększenia efektywności energetycznej, ograniczenia zanieczyszczenia atmosfery oraz zwiększenia odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym budynków. W ślad za tym idą dyrektywy, postanowienia, deklaracje, które są przyjmowane i podpisywane na spotkaniach przedstawicieli Państw Członkowskich. Znaczące postanowienia zapadały na konferencji w Kioto, Johannesburgu czy kolejnych Szczytach Ziemi. Przyjęcie i wdrożenie kolejno Pakietu klimatycznego [4], Dyrektywy 2002/91/WE oraz jej uszczegółowienia w Dyrektywie 31/2010 EPBD RECAST [5] zainicjowało wprowadzenie szeregu aktów i normatywów w ustawodawstwie polskim, dotyczących podniesienia efektywności w różnych sektorach gospodarki, szczególnie w budownictwie. Polska musi się wywiązać z europejskich zobowiązań: ograniczenia energochłonności w sektorze budownictwa, ograniczenia emisji CO_2 i zwiększenia odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym, popartymi konkretnymi działaniami. Wymienione Dyrektywy nałożyły obowiązek postawienia nowych wymagań energetycznych dla budynków, wprowadzenia systemu świadectw energetycznych, a w konsekwencji przygotowania ekspertów w zakresie oceny efektywności energetycznej obiektów. Zobowiązania krajów członkowskich przedstawiono schematycznie na rysunkach 1 i 2.

MARCIN FURTAK, MAŁGORZATA FEDORCZAK-CISAK
Politechnika Krakowska

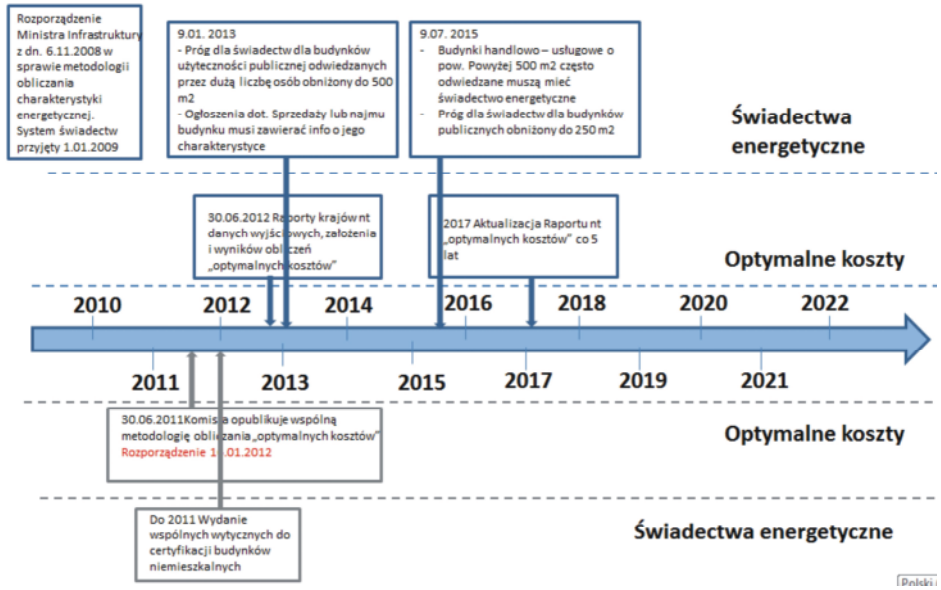
Niewątpliwie dla polskiego budownictwa największym wyzwaniem jest wprowadzenie nowego standardu budynków „niemal zero energetycznych" (rys. 1). RECAST zobowiązuje nas do wypracowania definicji krajowej tego typu budynków oraz przygotowania krajowych planów mających na celu zwiększenie liczby budynków o niemal zerowym zużyciu energii. To jak Polska wywiąże się ze zobowiązań zależy od wielu czynników, począwszy od zmian w prawodawstwie, poprzez podniesienie świadomości społecznej czy wypracowania wzorców projektowania i realizacji tego typu budynków.

Władze Małopolski w odpowiedzi na przedstawione wyzwania podejmują szereg działań, kompleksowo prowadząc politykę energooszczędności regionu.



Rys. 1. Zobowiązania krajów członkowskich w zakresie wprowadzenia krajowych planów, budynków niemal zero energetycznych, postanowień w sprawie funduszy strukturalnych

Fig. 1. Obligations of the Member States as regards the implementation of national plans, nearly zero energy buildings, the provisions on the Structural Funds



Rys. 2. Zobowiązania krajów członkowskich w zakresie wprowadzenia kosztów optymalnych, świadectw energetycznych

Fig. 2. Obligations of the Member States as regards the implementation cost optimal energy certificates

3. WYBRANE DZIAŁANIA MAŁOPOLSKI W ZAKRESIE ENERGOOSZCZĘDNOŚCI

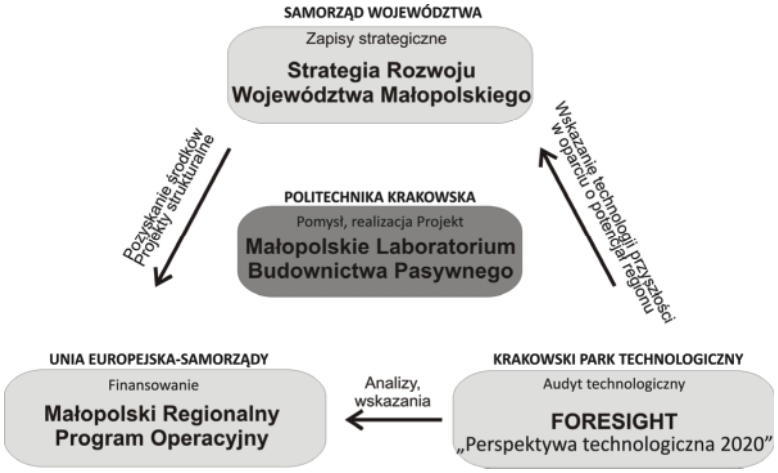
Poszukując najlepszych kierunków rozwojowych regionu, opartych z jednej strony na potencjale Małopolski, z drugiej na trendach rozwojowych Europy, władze Małopolski zdecydowały się przeprowadzić analizę możliwości metodą laboratoriów Foresight [1, 2, 3]. Eksperci z różnych dziedzin przeanalizowali potencjał naukowy małopolskich uczelni i gospodarczo-przemysłowy regionu oraz potrzeby dostosowania się do aktualnych nurtów europejskich.

W sferze budownictwa eksperci wzięli pod uwagę wyzwania nałożone przez Dyrektywy i postanowienia UE opisane w punkcie 1, w zakresie poprawy efektywności energetycznej budynków. W analizie uwzględniono również mocną pozycję Politechniki Krakowskiej w specjalności budownictwa oraz ze strony gospodarki potrzeby producentów technologii czy innych gałęzi gospodarki działających w obszarze budownictwa. W szczególności zwrócono uwagę na brak możliwości badawczych innowacyjnych rozwiązań oraz wyznaczono najlepszy sposób do kreowania nowych rozwiązań technologicznych poprzez tworzenie partnerstw pomiędzy naukowcami, oferującymi wsparcie merytoryczne i zaplecze badawcze a przedstawicielami gospodarki podążającymi za aktualnymi potrzebami rynku.

Jednym z efektów opisanych działań jest projekt polegający na utworzeniu na Politechnice Krakowskiej laboratorium do pracy nad technologiami energooszczędnymi oraz stworzenie mechanizmu współpracy pomiędzy naukowcami a przedsiębiorcami,

którego efektem będą między innymi innowacyjne rozwiązania technologiczne wykorzystywane w budynkach „niemal zero energetycznych".

Projekt nosi nazwę Małopolskie Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego (MLBE). Jest on przykładowym modelem współdziałania Samorządu Małopolski z Politechniką Krakowską, godnym do naśladowania w innych regionach. Schemat współdziałania samorządu Małopolski i Politechniki Krakowskiej przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Projekt MLBP i jednostki zaangażowane w realizację projektu

Fig. 3. Project of MLBP and units involved in the project

4. MAŁOPOLSKIE LABORATORIUM BUDOWNICTWA ENERGOOSZCZĘDNEGO

Projekt MLBP obejmuje działania w różnych obszarach badawczo-wdrożeniowych budownictwa. Główna część to projekt inwestycyjny polegający na zaprojektowaniu, realizacji i wyposażeniu laboratorium badawczo-diagnostycznego dla badań i oceny technologii oraz rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych oraz instalacji stosowanych w budynkach „niemal zero energetycznych". Budynek z jednej strony będzie bazą badawczą dla technologii budownictwa energooszczędnego, z drugiej obiektem do badań *in situ*.

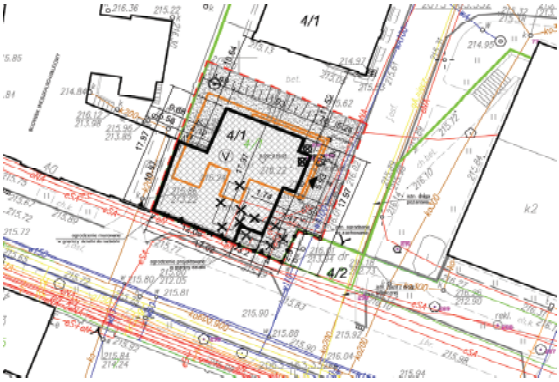
Etap projektowania

Budynek MLBE w zamierzeniu autorów ma być obiektem pozwalającym na badanie różnych technologii i instalacji budowlanych. Autorzy założyli, że będzie on w wersji pierwotnej niskoenergetyczny, ale dzięki konstrukcji słupowo-płytowej ściany zewnętrzne są samonośne daje to możliwość wymiany ścian zewnętrznych i wykonanie ich w innej technologii. Podobnie z instalacjami, budynek jest zaprojektowany w taki sposób, że jest możliwość „obsługiwania" go przez różne systemy instalacyjne. Tak skomplikowany projekt wymagał specjalistycznego podejścia do etapu projektowania oraz ścisłej współpracy całego zespołu projektowego, tym samym dając przykład zintegrowanego projek-

towania energetycznego. Każda decyzja podejmowana była z uwzględnieniem jej wpływu na wszystkie branże projektowe. W skład zespołu projektowego oprócz architekta, konstruktora i projektantów instalacji HVAC, weszli dodatkowo projektanci elektryki, automatyki budynkowej i specjaliści z zakresu fizyki budowli.

Lokalizacja

Budynek MLBE zlokalizowany będzie w Krakowie w Kampusie Politechniki Krakowskiej przy ulicy Warszawskiej. Jest to lokalizacja w śródmieściu Krakowa (rys. 4), która wymusiła dostosowanie architektury budynku do istniejącej zabudowy. Zadaniem dla architekta, było zaprojektować budynek niskoenergetyczny w istniejącej tkance miejskiej, spełniający ostre rygory narzucone przez architekta miejskiego, bez możliwości dowolnego sterowania parametrami, mającymi wpływ na efektywność energetyczną obiektu.



Rys. 4. Mapka sytuacyjna. Położenie MLBE

Fig. 4. Situation map. Location MLBE

Konstrukcja

Zaprojektowany budynek (rys. 5) jest obiektem 5-kondygnacyjnym bez podpiwniczenia, posadowionym na płycie fundamentowej.

Układ konstrukcyjny ścian zewnętrznych – słupowo-płytowy z wypełnieniem w postaci bloczków z betonu komórkowego. Takie rozwiązanie umożliwia zmianę rozwiązań materiałowych, konstrukcyjnych oraz instalacyjnych w zależności od potrzeb badawczych danej technologii.

Ściany zewnętrzne mają układ trójwarstwowy ze szczeliną powietrzną. Warstwa konstrukcyjna w większości ścian wykonana jest z bloczków betonu komórkowego, ocieplona styropianem, warstwą osłonową jest cegła klinkierowa.

Jedynie na ostatniej kondygnacji część konstrukcyjna pomieszczenia P4.2 jest wykonana z cegły pełnej. Taka zmiana na materiał o większej pojemności cieplnej została zaproponowana ze względu na program badawczy zespołu naukowego MLBE.

Część osłonowa zostanie przymocowana do konstrukcji specjalistycznymi kotwami, dla budynków niskoenergetycznych o jak najniższym współczynniku λ oraz o specjalnym układzie, tak aby w jak najmniejszym stopniu wpłynąć na izolacyjność cieplną przegrody.

Podłoga ułożona jest na płycie fundamentowej o grubości 50 cm, termoizolacja wykonana z polistyrenu ekstrudowanego XPS.

Stropodach wykonano jako konstrukcję o odwróconej kolejności warstw. Warstwa zewnętrzna wykonana jest z płyt betonowych, dając tym samym możliwość zagospodarowania przestrzeni na dachu. Zostaną tam zlokalizowane elementy badawcze instalacji, których z braku miejsca nie można było ustawić wokół budynku.

Fasada szklana została zaprojektowana od południa i wschodu; aby zapobiec przegrzewaniu w okresie letnim, została wyposażona w żaluzje zewnętrzne, a w pomieszczeniach laboratoryjnych również w inne elementy przesłon słonecznych.

Rys. 5. Wizualizacja MLBE

Fig. 5. The vizualization MLBE

Efektywność energetyczna MLBE

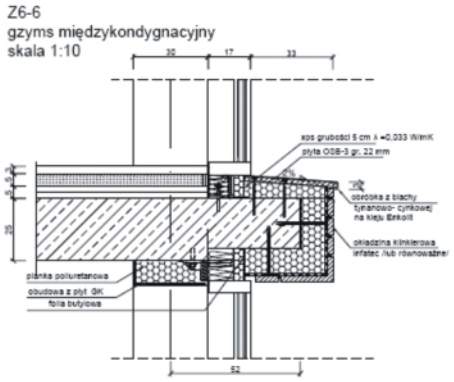
Budynek został zaprojektowany z zachowaniem wszelkich zasad projektowania budynków energooszczędnych, charakteryzuje się zwartą bryłą, otwarty na południe.

Od strony izolacyjności i szczelności obudowy spełnia bardzo restrykcyjne wymagania charakteryzujące budynki niskoenergetyczne, również bardzo starannie zaprojektowano wszystkie detale architektoniczne. Zadbano o to dbając aby zminimalizować możliwe mostki termiczne. Współczynniki przenikania ciepła dla przegród zestawiono w tabeli 1. Natomiast na rysunku 6 przedstawiono rozwiązanie detalu połączenia stropu z fasadą szklaną.

Tabela 1. Współczynniki U dla przegród budynku MLBE oraz porównanie z parametrami budynków „pasywnych”

Table 1. U-factors for the shell of the house MLBE and comparison with the parameters of the 'passive'

Lp.	Rodzaj przegrody	Współczynniki U przegród MLBE [W/m^{2}K]	Wartości współczynnik U charakteryzujące budynki pasywne [W/m^{2}K]
1	Ściany zewnętrzne	0,12	0,15
2	Stropodach	0,12	0,15
3	Podłoga na gruncie	0,10	0,15
4	Fasada szklana, okna	0,7 (g = 50%)	0,8 (g > 50%)



Rys. 6. Detal konstrukcyjny. Gzyms międzykondygnacyjny

Fig. 6. Construction detail. Inter-storey ledge

Jedyną kontrowersję mogą budzić duże przeszklenia południowej i zachodniej strony. Zdecydowano się na nie celowo, mając na uwadze charakter biurowy budynku i trendy w nowoczesnej architekturze. Takie rozwiązanie pozwoli na badania i formułowanie wniosków dotyczących funkcjonowania budynków użyteczności publicznej (biurowców), zaprojektowanych w sposób optymalnie redukujący zapotrzebowanie na energię do użytkowania.

Parametry energetyczne budynku MLBE przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wskaźniki energetyczne budynku MLBE

Table 2. EP and EK coefficient for MLBE and for passive buildings

Wskaźniki energetyczne MLBE:	Wskaźniki energetyczne charakteryzujące budynki pasywne:
EP = 119,6 [kWh/m^{2}rok]	EP < 120 [kWh/m^{2}rok]
EK = 11,6 [kWh/m^{2}rok]	EK < 15 [kWh/m^{2}rok]

Charakteryzując się wskaźnikami przedstawionymi w tabeli, budynek MLBE jest obiektem niskoenergetycznym, spełniającym wymagania stawiane budynkom „pasywnym”. Jednak w zależności od zastosowania rodzaju badanych instalacji czy też zmiany technologii przegród, może być budynkiem o innym niż pierwotnie zakładano zapotrzebowaniu na energię.

Instalacje

Małopolskie Laboratorium Budownictwa Pasywnego to obiekt składający się z 14 stref temperaturowych. Poszczególne strefy będą wyposażone w odrębne, różne, systemy klimatyzacyjno-wentylacyjne, pozwalające na ich niezależną pracę, tym samym dając możliwość oceny efektywności energetycznej badanych systemów instalacyjnych.

Laboratoria i program badawczy MLBE

Zadaniem laboratorium badawczo-wdrożeniowego MLBE jest objęcie zakresem działań jak największego spektrum badawczego dla budownictwa energooszczędnego. W skład MLBE wejdą jednostki badawcze, w ramach których zespoły naukowe przeprowadzać będą dwa typy badań: badania podstawowe, wykonywane w warunkach laboratoryjnych przy użyciu sprzętu badawczego będącego na wyposażeniu MLBE oraz badania *in situ* prowadzone na podstawie odczytów z systemu pomiarowego budynku. Badania *in situ*, czyli badania obiektów w skali naturalnej, to jedna z bardziej obiecujących i rozwojowych metod badań obiektów, pozwalająca na sformułowanie dokładnych wniosków o funkcjonowaniu budynku. Budynek MLBP zapewni możliwość badania i oceny obiektu w naturalnej skali. Przedsięwzięcie jest pilotażowe w skali kraju. Pozwoli na sformułowanie wielu przydatnych informacji na temat badanych technologii.

Zespoły poszczególnych laboratoriów będą realizować prace badawcze, których przykłady przedstawiono poniżej.

- Laboratorium Fizyki Budowli

Badania podstawowe prowadzone w ramach tego laboratorium będą w większości przeprowadzane w komorze klimatycznej dla przegród pionowych zarówno przeźroczystych, jak i nieprzeźroczystych wykonanych w danej technologii. Badaniom będą również poddawane elementy stolarki pionowej (okna drzwi). Elementami badanymi mogą być zarówno elementy konstrukcji, termoizolacji, warstw wykończeniowych (elewacyjnych).

Laboratorium to będzie prowadziło między innymi badania przewodności cieplnej, oporu cieplnego, charakterystyk związanych z transportem pary wodnej, nasiąkliwości wodą, odporności na działanie promieniowania słonecznego, pojemności cieplnej, badania różnych form zwiększenia oporu cieplnego przegrody, zagadnienia dynamiki transportu ciepła przez przegrody budowlane (modelowanie opóźnienia czasowego i tłumienia amplitudy dla przegrody nieprzeźroczystej), badania współczynnika przewodzenia wilgoci przez przegrodę wielowarstwową, zagadnienia dynamiki transportu wilgoci przez przegrody budowlane (modelowanie opóźnienia czasowego i tłumienia amplitudy), badania i weryfikacja doświadczalna własności przegród z uwzględnieniem mostków cieplnych w ujęciu trójwymiarowym.

Badania polowe wykonywane w warunkach rzeczywistej zabudowy i eksploatacji będą obejmowały między innymi badania przegród poziomych i pionowych w zakresie:

– wpływu rzeczywistych wielkości zakłócających na przenikanie ciepła przez przegrodę nieprzeźroczystą (monitorowanie w czasie rzeczywistym parametrów klimatycznych na zewnątrz oraz po stronie wewnętrznej przegrody),
– weryfikacji modeli obliczeniowych zysków i strat ciepła przez przegrody nieprzeźroczyste,

- badania przenikalności promieniowania przez przegrody przeźroczyste w warunkach rzeczywistych,
- badania wpływu ochron przed promieniowaniem na zyski ciepła przez przegrody przeźroczyste,
- weryfikacji modeli obliczeniowych zysków ciepła przez przegrody przeźroczyste z uwzględnieniem parametrów technicznych przegrody, osłon przed promieniowaniem oraz zdolności akumulacji ciepła w konstrukcji budynku,
- wpływu rzeczywistych warunków klimatycznych na zjawisko transportu wilgoci przez przegrody (wiatr, deszcz, śnieg itp.),
- możliwości przegród w zakresie ochrony akustycznej,
- reakcji powierzchni zewnętrznych przegród na zanieczyszczenie środowiska,
- badań termowizyjnych związanych z określeniem występowania mostków cieplnych dla danej technologii.

- Laboratorium systemów klimatyzacyjno-grzewczych

Badania w ramach tego laboratorium obejmowały będą między innymi:

- określenie wpływu konkretnego rozwiązania z zakresu systemów i urządzeń klimatyzacyjno grzewczych na warunki i parametry komfortu w pomieszczeniach w czasie ich eksploatacji w warunkach rzeczywistych (in situ),
- badania nawiewników i wywiewników w warunkach zabudowy w pomieszczeniach o średniej i małej kubaturze (w warunkach izo- i nieizotermicznych),
- badania charakterystyk technicznych urządzeń grzewczo-wentylacyjno klimatyzacyjnych w warunkach rzeczywistej instalacji w budynku (na zlecenie różnych producentów),
- weryfikację modeli symulacyjnych (programów doborowych) urządzeń grzewczo klimatyzacyjnych w oparciu o pomiary w skali 1:1,
- badania *in situ* wpływu poszczególnych rozwiązań z zakresu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji na zapotrzebowanie poszczególnych nośników energii dla budynku,
- badania rzeczywistych charakterystyk rozwiązań technicznych w zakresie odzysku ciepła w trakcie eksploatacji budynku,
- badania efektywności energetycznej różnych rozwiązań pomp ciepła w warunkach współpracy z instalacją ogrzewczą budynku,
- badania skuteczności i efektywności różnych rozwiązań kolektorów słonecznych we współpracy z systemem ogrzewczym budynku,
- badania nowych rozwiązań z zakresu fotovoltaiki,
- badania nad możliwością wykorzystania układów kogeneracyjnych i trigeneracyjnych w budownictwie.

Inne laboratoria wchodzące w skład MLBE:

- Laboratorium ekologii i jakości powietrza
- Laboratorium systemów sterowania

Budynek MLBE jest obiektem wyposażonym w system automatyki budynkowej tzw. „inteligentne sterowanie budynkiem" W system sterowania włączone są wszystkie doprowadzone do budynku media, system steruje elementami mającymi wpływ na zużycie energii tj otwieranie i zamykanie okien, regulowanie natężenia oświetlenia, regulowanie wielkości energii dostarczanej do poszczególnych stref, a także czujniki zbierające dane.

Laboratorium to będzie zajmowało się określeniem wpływu stosowania poszczególnych elementów sterowania na oszczędności energii w budynku

W skład struktury MLBE wejdą również pracownie:

- pracownia projektowa budownictwa energooszczędnego

W pracowni zespoły międzywydziałowe pracowników naukowych, dyplomantów, studentów w sposób zintegrowany wykonywać będą projekty energooszczędnych budynków.

Pracownia odpowiadać będzie za: wykonywanie projektów architektoniczno-budowlanych oraz konstrukcyjnych budynków niemal zero energetycznych, opracowywanie detali konstrukcyjnych, wykonywanie projektów instalacyjnych dla budynków niemal zero energetycznych, projektowanie urbanistyczne kompleksów budynków niemal zero energetycznych (osiedla), projektowanie infrastruktury technicznej dla zespołu budynków niemal zero energetycznych, adaptacje projektów budynków katalogowych (typowych) do standardu budynków niskoenergetycznych, pasywnych, niemal zero energetycznych.

- pracownia ekspertyz (opinii i orzeczeń) w zakresie problematyki badawczej MLBE

Dedykowana rozwiązywaniu problemów związanych z analizą, projektowaniem i oceną budynków niskoenergetycznych, pasywnych, samowystarczalnych energetycznie oraz badań rozwiązań innowacyjnych dla budownictwa.

Istotnym elementem działania budynku MLBE jest pełna wizualizacja przyjętych rozwiązań, która w czasie rzeczywistym zapewni wgląd w parametry pracy budynku, a adeptom kierunków związanych z budownictwem zapewni, w sposób możliwie obrazowy, kompletny podgląd jego charakterystyki.

5. PODSUMOWANIE

Efektem współdziałania władz województwa małopolskiego oraz Politechniki Krakowskiej jest uruchomienie obiektu do badań nowoczesnych, innowacyjnych technologii w zakresie budownictwa. Działanie takie pozwoliło na analizę, konsultacje oraz sformułowanie wniosków pozwalających na programowe i symultaniczne przystosowanie budownictwa regionu do wymogów prawa unijnego nałożonego przez przyjęte Dyrektywy i akty prawne. Małopolskie Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego ma za zadanie wykreowanie i rynkową implementacje przebadanych rozwiązań w obszarze technologii dedykowanych budownictwu energooszczędnemu.

LITERATURA

[1] Foresight technologiczny na rzecz zrównoważonego rozwoju Małopolski. Pr. zbiorowa pod red. Jerzego Hausnera, 2008. MSAP UEK Kraków.
[2] Foresight Perspektywa Technologiczna Kraków-Małopolska 2020. Wyzwania rozwojowe. Kraków-Warszawa 2010, www.kpt.krakow.pl

[3] Narodowy Program Foresight Polska 2020, portal internetowy http://www.polska2020.pl/cms/
[4] portal internetowy Urzędu Regulacji Energetyki http://www.ure.gov.pl/portal/pl/52/2829/Parlament_Europejski_zatwierdzil_pakiet_klimatyczny.html
[5] Recast http://www.zb.itb.pl/files/zb/epbd_recast.pdf

MALOPOLSKIE LABORATORY OF ENERGY-SAVING BUILDING AS PART OF ENERGY-SAVING MAŁOPOLSKA STRATEGY

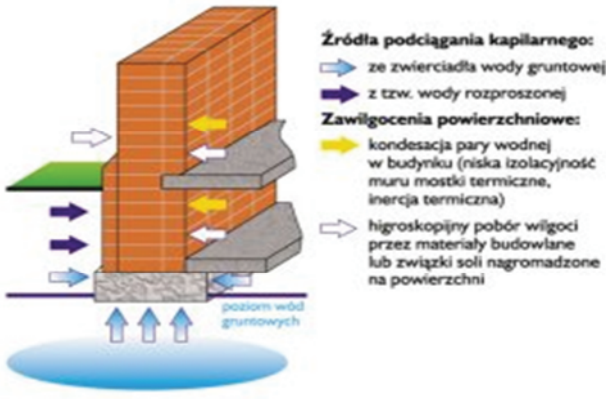
Summary. The result of the cooperation between the Małopolskie government and Cracow University of Technology authorities is the launch of a research facility of modern, innovative technologies for the construction industry. Doing so made it possible to analyze, consult and formulate conclusions and software allowing simultaneous construction of the region to adapt to the requirements imposed by EU law adopted directives and legislation. Małopolskie Laboratory of Energy Efficient Construction task is to create and implementation of market-tested technology solutions in the area of energy-efficient construction.

17. WPŁYW BEZPOŚREDNIEGO KONTAKTU Z PODŁOŻEM NA ESTETYKĘ OBIEKTÓW MAŁEJ ARCHITEKTURY

1. WSTĘP

Mury licowe w obiektach małej architektury podlegają ciągłym wpływom czynników pochodzących z otaczającego środowiska. Oddziaływania te, przyczyniając się do destrukcji struktury materiału, obniżają ich trwałość użytkową. Uwzględniając złożony i wieloskładnikowy charakter oddziaływań identyfikowane są dwie podstawowe grupy czynników destrukcyjnych. Pierwszą stanowią czynniki środowiskowe obejmujące bezpośrednio depozycję polutantów chemicznych (rys. 1):

- opady atmosferyczne,
- woda rozbryzgowa,
- woda przesączająca (np. awarie sieci),
- wilgoć podłoża,
- zalegająca pokrywa śnieżna.



Rys. 1. Źródła powstawania zawilgoceń przegród budowlanych [4]

Fig. 1. Sources of moisture formation in partitions [4]

Drugą grupę stanowią czynniki wewnętrzne, do których zalicza się właściwości wbudowanych materiałów i ich wzajemne interakcje. Jako skutek oddziaływania tych czynników zdefiniowano wykwity pierwotne i wtórne, których ewolucja prowadzi do destrukcji powierzchniowej i wgłębnej klinkierowych elementów murowych.

Powyższe oddziaływania zostały opisane klasami ekspozycji. Określają one czynniki bezpośrednio oddziałujące na konstrukcję, które z kolei warunkują zastosowanie właściwych elementów murowych (tab. 1) układów materiałowych (zaprawa, wkładki), a tym samym ochronę strukturalną muru. Podobna klasyfikacja została powtórzona w PN-B-03002[2].

MARIA WESOŁOWSKA, ANNA KACZMAREK
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

Eurokod 1996-2 [1] dzieli elementy murowe ceramiczne ze względu na zamrażanie i odmrażanie na trzy kategorie F0, F1 i F2. F0 określa warunki obojętne – nie dotyczy zewnętrznych murów licowych, zgodnie z normą EN 998-2 [3]. W tej grupie sklasyfikowane są mury w ścianach zewnętrznych, jeżeli mają właściwą osłonę zależną od warunków klimatycznych. F1– warunki umiarkowane, F2 – surowe ze względu na kategorie zawartości rozpuszczalnych soli mineralnych S1 lub S2. Warunki kategorii S2 są spełnione, gdy mur pracuje w warunkach F2 i jest bezpośrednio narażony na długotrwałe nasączanie wodą gruntową, deszczową i rozbryzgową (gzymsy, parapety, ogrodzenia, kominy itp.) oraz użyto zaprawy na bazie cementu portlandzkiego, siarczanoodpornego (HSR). Warunki kategorii S1 występują wówczas, gdy mur pracuje w warunkach F2 oraz użyto zaprawy na bazie cementu portlandzkiego (CEM I) lub, gdy jest zabezpieczany przed nasączaniem przez odpowiednią konstrukcję (gzymsy, okapy) – warunki F1.

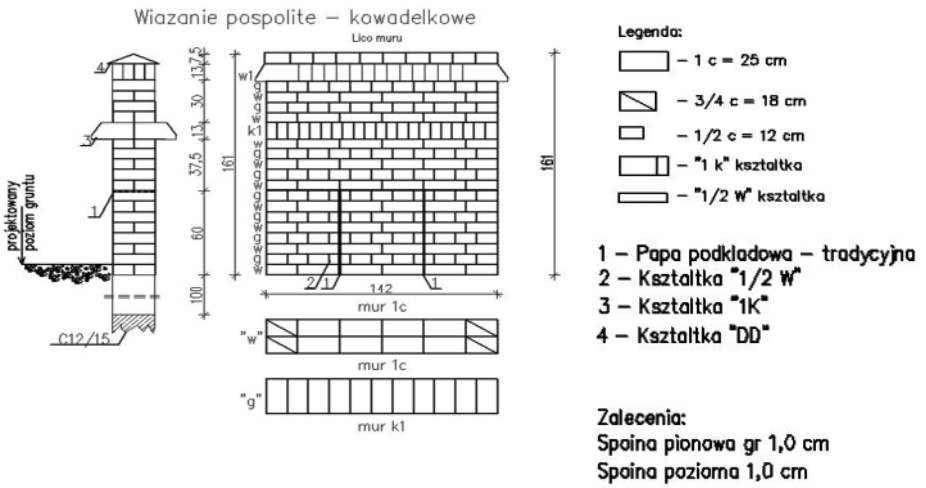
Tabela 1. Klasy ekspozycji według Eurokodu 6

Table 1. Classification of micro conditions of exposure of completed masonry accordance to Eurocode 6

Klasa	Warunki środowiskowe	Przykłady murów licowych
MX 3.1	Klasa narażenia na zamarzanie bez znaczącej obecności soli i innych związków chemicznych	Ściany zewnętrzne narażone bezpośrednio na deszcz i mróz. Konstrukcje murowe w strefie zamarzania znajdujące się w nieagresywnym gruncie
MX 3.2	Klasa narażenia na środowisko silnie mokre i zamarzanie bez znaczącej obecności soli i innych związków chemicznych	Mury narażone na zamarzanie lub agresję chemiczną zlokalizowane w ścianach zewnętrznych z kapinosami, parapety i wolnostojące ściany; mury w gruncie, pod wodą, narażone na cykliczne zamarzanie
MX 4	Klasa narażenia na nasycone rozpuszczalne sole z powietrza, wodą morską oraz środkami odladzającymi	Mur pogrążony całkowicie lub częściowo w wodzie morskiej, mur położony w strefie bryzgów wodnych lub znajdujących się w powietrzu nasyconym solą; mur przylegający do dróg posypywanych solą w okresie zimy
MX 5	Środowisko chemicznie agresywne	Mury w kontakcie z gruntami naturalnie agresywnymi lub wodą agresywną chemicznie. Mury w gruntach zasolonych oraz mury w pobliżu obiektów przemysłowych emitujących środki agresywne chemicznie.

2. MODEL BADAWCZY

W celu oceny wpływu bezpośredniego kontaktu obiektów małej architektury z podłożem wykonano stanowisko badawcze. Zaprojektowano mur testowy z cegły klinkierowej pełnej na zaprawie systemowej (eliminującej powstawanie wykwitów) – geometria według rysunku 2. Przekrój muru został tak ukształtowany, aby modelować warunki surowe F2 i warunki umiarkowane F1.

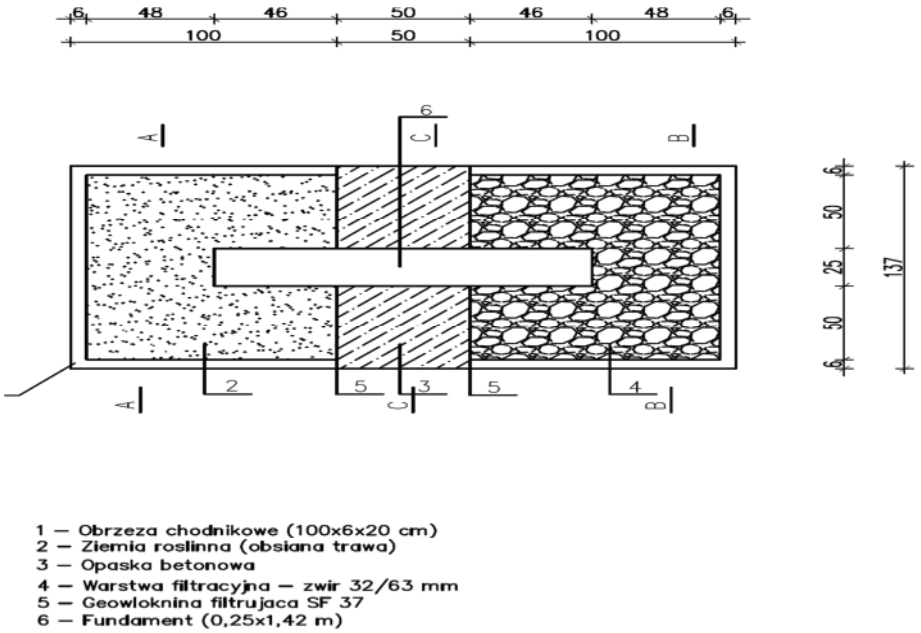


Rys. 2. Mur testowy do badań poligonowych

Fig. 2. The wall to polygon test

W stanowisko badawczym wymodelowano trzy warianty styku z powierzchnią gruntu (rys. 3):

– humus z trawnikiem,
– żwirowa warstwa filtracyjna,
– szczelna opaska betonowa.



Rys. 3. Przekrój muru testowego do badań poligonowych

Fig. 3. Cross-section of the wall to polygon test

Na murze testowym wyróżniono trzy obszary bezpośredniego styku z gruntem – charakterystyczne dla migracji rozpuszczalnych związków mineralnych tworzących wykwit:
– styk muru z przylegającą warstwą humusu – warunki F1, F2,
– styk muru ze szczelną opaską betonową – warunki F1, F2,
– styk muru z żwirową warstwą filtracyjną – warunki F1, F2,

W zaprojektowanym murze wykonano izolację przeciwwilgociową na dwóch poziomach:
– ścianie fundamentowej (10 cm poniżej poziomu gruntu) oraz
– 50 cm nad poziomem gruntu.

Izolacja ma za zadanie zabezpieczyć mur licowy przed migracją wody z betonowych fundamentów (I poziom) oraz wydzielić obszar narażony na wodę rozbryzgową (II poziom) w różnych wariantach styku z gruntem. W przypadku utwardzenia podłoża (opaska betonowa) zasięg wody rozbryzgowej sięga 50 cm. Dla powierzchni nierównej, silnie rozpraszającej wodę opadową (luźna obsypka żwirowa, humus z trawnikiem) następuje obniżenie wysokości działania do około 20 cm. W okresie zimowym następuje zasypywanie śniegiem muru , co przy jego topnieniu powoduje zagrożenie przez wodę do odpowiednio dużej wysokości. Zasięg tego zagrożenia jest uzależniony od grubości pokrywy śnieżnej.

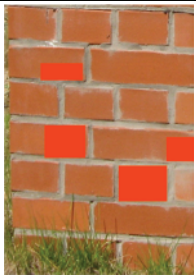
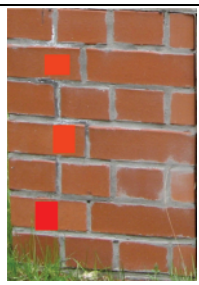
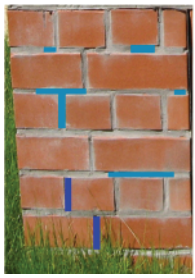
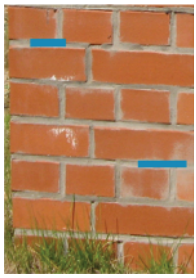
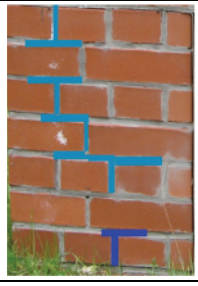
3. WYNIKI BADAŃ

Obserwację muru prowadzono w odstępach trzymiesięcznych po minimum siedmiu dniach okresu bezdeszczowego. W ramach kontroli wykonywano cyklicznie zdjęcia analizowanych obszarów. Za miesiąc porównawczy przyjęto kwiecień, w którym intensywność pojawiających się wykwitów była najwyższa. Wielkość obszarów objętych wykwitami ustalono na podstawie analizy obrazu rastrowego w programie AutoCad (tab. 2). Powierzchnie objęte wykwitem ustalono wydzielając odrębnie spoinę oraz powierzchnie licową ceramiki (rys. 4, 5, 6).

Tabela 2. Ewolucja wykwitów w kolejnych latach eksploatacji

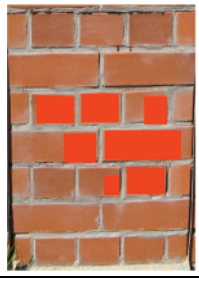
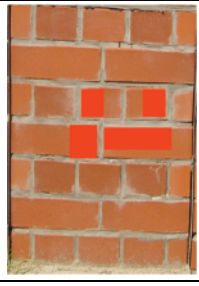
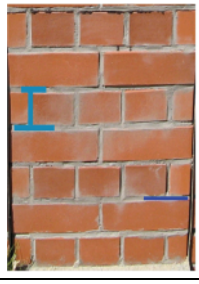
Table 2. The evolution of efflorescences in subsequent years of exploitations

Obszar objęty wykwitem		Ewolucja wykwitów w kolejnych latach eksploatacji								
		Styk murka z przylegającą warstwą humusu			Styk murka z przylegającą opaską betonową			Styk murka z przylegającą żwirową warstwą filtracyjną		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Lico cegły [cm^2]	F1	550,21	206,27	47,33	343,77	172,66	0,00	0,00	0,00	0,00
	F2	0,00	0,00	29,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zaprawa [cm^2]	F1	50,28	37,26	121,27	26,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	F2	22,47	0,00	23,40	7,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Razem [%]	F1	25,49	9,96	9,05	15,44	7,06	0,00	0,00	0,00	0,00
	F2	0,92	0,00	2,15	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Analizowany obszar [cm^2]		52 x 47 cm = 2444,00								

Lata eksploatacji	1	2	3
Ewolucja wykwitów występujących na ceramice			
Ewolucja wykwitów występujących na zaprawie			

Rys. 4. Ewolucja wykwitów w kolejnych sezonach funkcjonowania poligonowego stanowiska badań – strefa kontaktu muru z przylegającą warstwą humusu

Fig. 4. The evolution of efflorescences in subsequent seasons of function polygon tests – the contact area of a wall with humus

Lata eksploatacji	1	2	3
Ewolucja wykwitów występujących na ceramice			
Ewolucja wykwitów występujących na zaprawie			

Rys. 5. Ewolucja wykwitów w kolejnych sezonach funkcjonowania poligonowego stanowiska badań – strefa kontaktu muru z przylegającą opaską betonową

Fig. 5. The evolution of efflorescences in subsequent seasons of function polygon tests – the contact area of a wall with concrete tie

Lata eksploatacji	1	2	3
Ewolucja wykwitów występujących na ceramice			
Ewolucja wykwitów występujących na zaprawie			

Rys. 6. Ewolucja wykwitów w kolejnych sezonach funkcjonowania poligonowego stanowiska badań – strefa kontaktu muru z przylegającą żwirową warstwą filtracyjną

Fig. 6. The evolution of efflorescences in subsequent seasons of function polygon tests – the contact area of a wall with gravel filter layer

4. PODSUMOWANIE

Kolejne lata funkcjonowania stanowiska badań wykazały istotny wpływ rozwiązania styku muru z powierzchnią gruntu na intensywność pojawiających się wykwitów. Niezależnie od styku muru z gruntem najbardziej podatny na wykwit jest obszar F1. Strefa kontaktu muru z przylegającą warstwą humusu okazała się najbardziej niekorzystna – wykwity utrzymywały się przez cały rozpatrywany okres eksploatacji. W przypadku kontaktu muru licowego z opaską betonową obserwuje się wykwit pierwotny w obszarze narażenia na wodę rozbryzgową. W kolejnych latach następuje zmniejszenie obszaru objętego wykwitem, aż do jego całkowitego zaniku. Żwirowa warstwa filtracyjna jest rozwiązaniem minimalizującym powstawanie wykwitów. Analizowany obszar był całkowicie wolny od przebarwień.

LITERATURA

[1] EN 1996 – 2 Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych. Część 2. Uwarunkowania projektowe, dobór materiałów i wykonawstwo konstrukcji murowych.
[2] PN-B-03002: 2007 Konstrukcje murowe. Projektowanie i obliczanie.
[3] PN – EN 998 – 2 Wymagania dotyczące zapraw do murów. Część 2: Zaprawa murarska PN-EN 771-1:2006 Wymagania dotyczące elementów murowych. Część 1: Elementy murowe ceramiczne.
[4] http://www.chemiabudowlana.info/gipsy,art,576

INFLUENCE OF DIRECT CONTACT WITH THE GROUND FOR AESTHETICS OF LANDSCAPING OBJECTS

Summary. The article attempts to determine the influence of direct contact with the ground for landscaping aesthetics of objects. It was a close correlation between the intensity of eruptions occurring on the test walls, and contact with the surface of the ground.

18. PROPOZYCJA METODYKI BADAŃ PROGNOZUJĄCA TRWAŁOŚĆ WSPÓŁCZESNYCH MURÓW LICOWYCH

1. WSTĘP

Umiejętność wznoszenia ceramicznych ścian budynków znana jest od starożytności. Na terenach Polski początki wznoszenia budowli murowanych przypadają na X wiek.

W obiektach historycznych podstawowym składnikiem zapraw do murów licowych było wapno, a po wynalezieniu cementu portlandzkiego w drugiej połowie XIX w., również dodatek tego rodzaju spoiwa. Przy obecnym szybkim rozwoju technologii wprowadza się do budownictwa coraz to nowe materiały, których chociaż właściwości są znane, to nie ma jednak wystarczających doświadczeń co do ich trwałości i odporności na wpływy wieloletniego oddziaływania czynników atmosferycznych. Na podstawie zbadanych właściwościach fizycznych i chemicznych tych materiałów można jedynie w pewnym stopniu przewidywać trwałość ścian licowych. W wykonawstwie ścian licowych należy z pewnym ograniczeniem uznawać wyższość nowych materiałów nad dotychczas stosowanymi.

Kilkuletnia eksploatacja ścian licowych, a zwłaszcza obiektów małej architektury wskazuje jednak na problemy związane z ich trwałością. Na większości obiektów już w początkowym okresie po wykonaniu pojawiają się wykwity solne jako pierwsze symptomy ich destrukcji (rys. 1).

Rys. 1. Wykwit solny – symptom destrukcji murów licowych

Fig. 1. Salt efflorescence – a symptom of the facing walls destruction

Europejskie przepisy budowlane dotyczące projektowania architektonicznego i zasad wykonywania robót, obejmujące także wymagania i zakres stosowania elementów murowych, nie zostały dotychczas przygotowane w takim stopniu, aby mogły być wystarczającą podstawą do oceny trwałości podczas użytkowania wzniesionego, gotowego muru

MARIA WESOŁOWSKA, ANNA KACZMAREK
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

licowego. Ten element pozostawiono w gestii projektantów, w konsekwencji czego dobór materiałów składowych jest często dziełem przypadku. Prognozuje się więc trwałość na podstawie właściwości materiałów składowych. Jako decydujące wymieniane są cechy elementów murowych i zapraw: absorpcja wody, przepuszczalność pary wodnej, odporność na zamrażanie-odmrażanie, zawartość aktywnych soli rozpuszczalnych.

Mur licowy jest konstrukcją, która z definicji pracuje w szczególnych warunkach użytkowania. Eurokod EN 1996 [2] klasyfikuje je jako surowe - F2, gdzie występuje narażenie na nasycanie wodą połączone z częstymi cyklami zamrażania-odmrażania. Stąd też wymaga szczególnego podejścia przy doborze układów materiałowych. Praca prezentuje propozycję metodyki badań prognozowania trwałości murów licowych na podstawie oceny integralności elementów zespolonych, opierając się na badaniach laboratoryjnych.

2. WYKWIT – SYMPTOM DESTRUKCJI MURÓW LICOWYCH

Spotykana w literaturze definicja wykwitu [1], formułowana jako wydzielająca się z przesyconego roztworu solnego na powierzchni materiału sól w postaci krystalicznej, nie w pełni charakteryzuje występujące zjawisko. Obok soli, w murze funkcjonują związki pochodzące z zapraw (głównie Ca(OH)2) lub też z niewłaściwie zabezpieczonych wkładek stalowych. W obecności wody ulegają one rozpuszczeniu i przetransportowane na powierzchnię również obniżają estetykę muru, a pod wpływem związków pochodzących ze środowiska zewnętrznego ulegają dalszym przemianom.

Według danych literaturowych istnieją trzy podstawowe czynniki warunkujące powstanie wykwitu:
- migracja wody do wnętrza muru, w której sole zostaną rozpuszczone,
- istnienie w murze źródła soli rozpuszczalnych w wodzie,
- czynnik powodujący ruch roztworu soli.

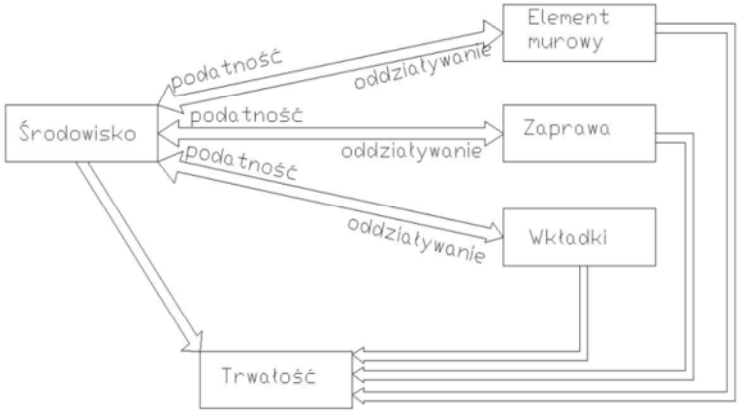
W badaniach laboratoryjnych skupiono się na analizie migracji wody:
- do wnętrza próbek poprzez spływ powierzchniowy i ciśnienie hydrostatyczne,
- na zewnątrz próbek poprzez filtrację wody przez spoinę.

Celem tej części badań była obserwacja ewolucji wykwitów i wyznaczenie okresu ich intensyfikacji oraz analiza ewolucji składu chemicznego. Inwentaryzacja i badania chemiczne wykwitów były wykonywane cyklicznie przez okres trzech lat w odstępach trzymiesięcznych (październik, styczeń, kwiecień, lipiec) po minimum siedmiu dniach okresu bezdeszczowego.

Ukształtowanie murków pozwoliło na obserwację działania zacinającego deszczu, spływu wody powierzchniowej po powierzchni daszków, gzymsów i muru oraz oddziaływania wody chlapiącej.

3. METODYKA BADAŃ

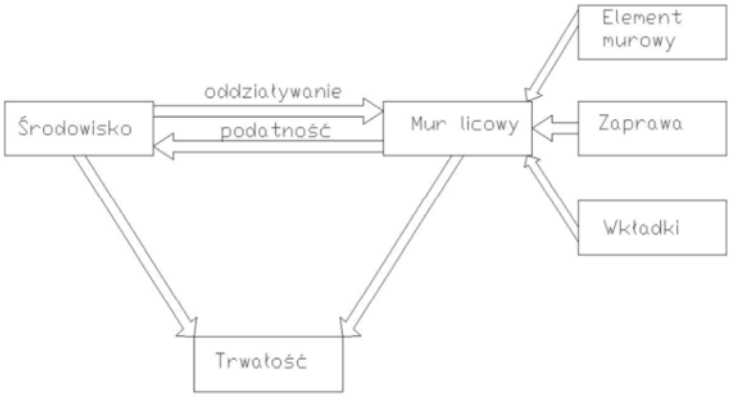
W dotychczasowym normowaniu elementy składowe murów są analizowane osobno. Przedstawione w normach wymagania odnoszą się tylko do poszczególnych wyrobów nie uwzględniając skutków ich wzajemnych oddziaływań (rys. 2).



Rys. 2. Trwałość murów licowych w świetle wymagań Eurokodu 6 i norm związanych
Fig. 2. Durability of facing masonry in accordance to Eurocode 6 and normative references

Zakres badań pokazuje lukę w wymaganiach trwałości muru licowego, który z racji szczególnych warunków pracy musi być rozwiązany w sposób eliminujący podatność na środowisko. Projektowane układy materiałowe powinny się charakteryzować odpornością na wykwit wtórny, uzyskiwany podczas penetracji muru przez wodę deszczową lub kondensacyjną.

W związku z tym trwałość konstrukcji murowych należałoby rozpatrywać nie tylko w relacjach materiał – środowisko lecz przede wszystkim układ materiałowy – środowisko (rys. 3).



Rys. 3. Konstrukcja murowa w relacji układ materiałowy – środowisko
Fig. 3. Masonry in report material arrangement – micro conditions

Poniżej zaproponowano metodykę obejmującą szereg prostych badań eliminacyjnych pozwalających właściwie dobrać zaprawę do ceramicznego elementu murowego.

Badania wstępne materiałów

Do badań przyjęto cegłę klinkierowa pełną (250 x 120 x 65 mm) oraz osiem różnych rodzajów zapraw, z których sześć miało znany skład materiałowy (cementowa na

bazie cementu CEM I, cementowa na bazie cementu CEM II, cementowa na bazie cementu CEM I z plastyfikatorem, cementowa na bazie cementu CEM II z plastyfikatorem, cementowo-wapienna, wapienna), a dwie pozostałe były gotowymi – systemowymi ze wskazaniem zastosowania do murów licowych w celu wyeliminowania wykwitów (tab. 1). Przyjęte materiały poddano badaniom aktualnie definiującym trwałość murów. Wyszczególnić w tym przypadku można:

– badania wykonane dla wyrobu ceramicznego:
  - badanie nasiąkliwości metodą moczenia,
  - badanie obecności szkodliwej zawartości rozpuszczalnych soli,
  - badanie struktury;
– badania wykonane dla zapraw:
  - badanie konsystencji świeżej zaprawy,
  - badanie nasiąkliwości metodą moczenia,
  - badanie struktury,
  - określenie współczynnika absorpcji wody spowodowanej kapilarnym podciąganiem;
– ponadto wykonano badania podstawowe kruszyw użytych do zapraw:
  - badanie uziarnienia,
  - badanie obecności humusu.

Przeprowadzone badania podstawowych cech materiałów składowych muru licowego wykazały, że są one zgodne z deklaracjami podanymi przez producentów i obowiązującymi normami krajowymi. W wyniku przeprowadzonych badań, mających na celu ustalenie obecności szkodliwej zawartości rozpuszczalnych soli, wykwity w postaci żółtego nalotu zaobserwowano tylko na próbkach nie zabezpieczonych przed penetracją wody. Nie stwierdzono natomiast migracji soli przez powierzchnie licowe.

Ilość wody użyta do wykonania zapraw systemowych wynikała z zaleceń producentów, zaś do zapraw tradycyjnych wg polskich wytycznych normowych.

Tabela 1. Skład zapraw przyjętych do badań

Table 1. Composition of mortars chosen to test

Zaprawa	Proporcje składników	Skład na 10 dm^3				
		Cement	Wapno	Piasek	Domieszka uplastyczniająca	Woda
		[kg]	[kg]	[dm^3]	[g]	[dm^3]
Cementowa 1	(c:p)=1:3,5	3,78 kg CEM I 42,5N	-	10,5	-	2,53
Cementowa 2	(c:p)=1:3,5	3,78 kg CEM I 42,5N	-	10,5	4,0	2,33
Cementowa 3	(c:p)=1:3	4,13 kg CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R	-	10,3	-	2,53
Cementowa 4	(c:p)=1:3	4,13 kg CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R	-	10,3	4,0	2,33
C – W	(c:w:p)= 1:1,25:6,75	1,65 CEMI 42,5N	0,97	9,5	-	3,04
W	(w:p)=1:1	-	4,13	6,8	-	3,88

Przygotowanie próbek zespolonych

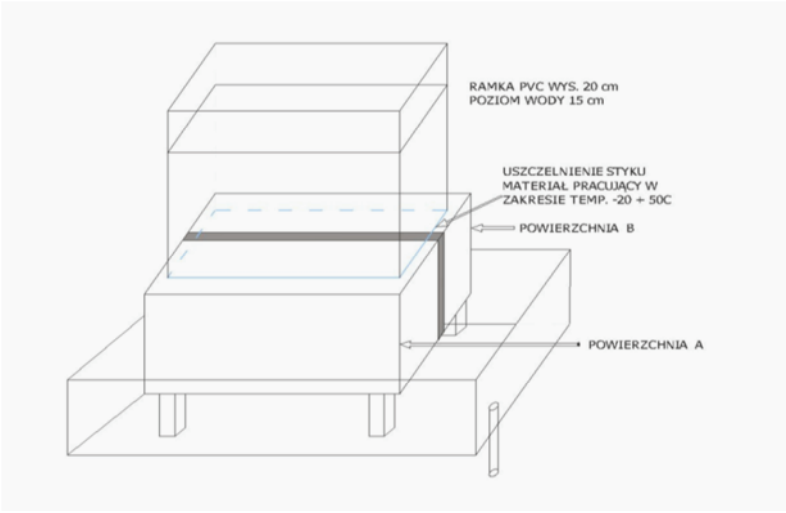
Próbki do badań wykonano jednostopniowo z dwóch elementów klinkierowych HD bez otworów połączonych spoiną wsporną wklęsłą o grubości 1 cm. (rys. 4). Do wykonania próbek użyto ośmiu różnych zapraw (jw.). Konsystencja zapraw wg stożka Abramsa 6-8. Liczebność próbek – sześć sztuk dla każdego rodzaju zaprawy. Po zespoleniu próbki zostały zabezpieczone przed nadmiernym wysychaniem na okres 48 godzin, a następnie sezonowane przez rok w warunkach laboratoryjnych.

Rys. 4. Przykładowa próbka do badań – układ zespolony
Fig. 4. Example of test sample – a composite system

Badania na próbkach zespolonych

Migracja wody na powierzchni zespolenia układów klinkier - zaprawa – I etap badań

Celem jest wskazanie rodzajów zapraw, które tworzą złącza charakteryzujące się niską podatnością na wnikanie wody do wnętrza muru licowego. Wielkością ocenianą jest jakość połączenia definiowana przez:
a) liczbę próbek wykazujących całkowitą przepuszczalność spoiny w trakcie badania,
b) zakres penetracji wody pod ciśnieniem w próbach zespolonych.



Rys. 5. Przykładowa próbka do badania podatności układów materiałowych na wykwit wtórny
Fig. 5. A sample to test the susceptibility of the material systems secondary efflorescence

Próbki poddano działaniu ciśnienia hydrostatycznego słupa wody o wysokości 150 mm skierowanego prostopadle do powierzchni licowej tak, że obejmowało ono zarówno zaprawę, cegłę i powierzchnie zespolenia zaprawa - element murowy. W trakcie trwania badania nie uzupełniano poziomu wody. Po upływie 24 h przeprowadzono pomiary wilgotności na sześciu poziomach podstaw cegieł (oznaczonych jako powierzchnia A i powierzchnia B), wynoszących odpowiednio 2, 4, 6, 8, 10 i 12 cm. Do oceny wilgotności wykorzystano metodę dielektryczną z głębokością pomiaru do 3 cm. W celu ustalenia udziału strumienia wilgoci przepływającego przez cegłę klinkierową w wyniku działania ciśnienia hydrostatycznego słupa wody na powierzchnię licową przeprowadzono dodatkowo badania wykonane na dwóch elementach murowych połączonych materiałem uszczelniającym. Ustalono, że z początkowej wartości wilgotności 1% próbki osiągnęły maksimum 4%. Dla każdego rodzaju zapraw wykonano sześć prób.

Część próbek wykazywała całkowitą przepuszczalność spoiny, wynikającą z niedostatecznej przyczepności zaprawy do cegły – przesiąkanie następowało przez defekty połączenia w górnej powierzchni zespolenia. Stąd też obserwowane nasilenie zawilgocenia ceramiki po stronie powierzchni A.

Próbki charakteryzujące się całkowitą przepuszczalnością spoiny uznaje się za niezdatne do dalszego badania. Za wynik pozytywny uznano 4/6.

Cykliczne zamrażania i rozmrażanie układów klinkier-zaprawa – II etap badań.

W drugim etapie próbki (w ilości 3 sztuk) poddano cyklicznemu zamrażaniu i rozmrażaniu (25 cykli). Proces zamrażania przebiegał w temperaturze $-20^0C \pm 2^0C$ w ciągu 4 h, po czym na kolejne 4 h ramkę umieszczoną na analizowanej próbce zalewano wodą o temperaturze $+20^0C \pm 2^0C$ do poziomu 150 mm. Po wykonaniu 25 cykli usunięto ramkę PVC i próbki wysuszono w warunkach laboratoryjnych przez okres 14 dni (tj. temperatura $20^0C \pm 2^0C$ i wilgotności powietrza 50%).

Próbki charakteryzujące się całkowitym zniszczeniem spoiny lub odspojeniem zaprawy od ceramiki uznaje się za niezdatne do dalszego badania. Za wynik pozytywny uznano 2/3.

W próbkach wykonano otwory Φ6 mm w odległości 15 mm od lica cegły, tak że powstała grubość ścianki 12 mm będzie odpowiadała wymaganiom stawianym dla cegieł licowych drążonych (filtracja) oraz wyżłobienie na powierzchni podstawy górnej cegły, co ma na celu skierowanie strumienia wody z urządzenia dozującego bezpośrednio na lico próbek (spływ powierzchniowy). Powierzchnię podstawy z otworami i wyżłobieniem należy wydzielić poprzez zastosowanie warkocza z silikonu odpornego na oddziaływanie temperatury w zakresie od –25 do $+50^0C$, w celu zabezpieczenia rozprzestrzenia się wody poza wydzielone pole działania.

Filtracja i spływ powierzchniowy wody na licu układów klinkier - zaprawa – III etap badań.

W próbkach (min. dwie sztuki) wykonano otwory Φ 6mm w odległości 15 mm od lica cegły, tak że powstała grubość ścianki 12 mm będzie odpowiadała wymaganiom stawianym dla cegieł licowych drążonych (filtracja) oraz wyżłobienie na powierzchni podstawy górnej cegły, co ma na celu skierowanie strumienia wody z urządzenia dozującego bezpośrednio na lico próbek (spływ powierzchniowy). Powierzchnię podstawy z otworami i wyżłobieniem należy wydzielić poprzez zastosowanie warkocza z silikonu odpornego na oddziaływanie temperatury w zakresie od -25 do $+50^0C$, w celu zabezpieczenia rozprzestrzenia się wody poza wydzielone pole działania.

Do każdego z przygotowanych otworów nalano wodę destylowaną i podłączono przewody uzupełniające poziom w otworach w trakcie badania. Próbki poddano filtracji oraz spływowi powierzchniowemu przez okres 48 godzin. Po upływie tego czasu odcięto dopływ wody i poddano próbki suszeniu w warunkach laboratoryjnych (tj. temperatura $20^0C \pm 2^0C$ i wilgotności powietrza 50%) przez okres minimum jednego miesiąca (sugeruje się wydłużenie okresu schnięcia do trzech miesięcy).

Wynik badania uznaje się za pozytywny, wówczas gdy na analizowanej powierzchni licowej (lico cegły wraz z spoiną) układ materiałowy jest wolny od wykwitów.

4. PODSUMOWANIE

Tak przygotowana metodyka badań umożliwia najbardziej efektywną i miarodajną możliwość obserwacji migracji i przeobrażania rozpuszczalnych soli mineralnych odpowiedzialnych za powstanie wykwitów wtórnych w warunkach laboratoryjnych, a tym samym jest proponowaną metodą badania podatności układu materiałowego: ceramika - zaprawa na wykwit wtórny.

LITERATURA

[1] Bensted J., 2001 The chemistry of efflorescence. Cement Wapno Beton 4, 133-142.
[2] EN 1996 – 2 Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych. Część 2. Uwarunkowania projektowe, dobór materiałów i wykonawstwo konstrukcji murowych.

RESEARCH METHODOLOGY PROPOSED FOR RESILIENCE PREDICTION OF CONTEMPORARY FACING WALLS

Summary. The article refers to proposition of research methodology for durability prognosis for facial walls basing on evaluation of integrity of aggregate elements basing on laboratory and field tests. In present fast technology development there are new materials introduced to construction, and although their properties are known there is not necessary experience regarding their durability and resistance to influences of environmental impact for many years. In authors' research there is possibility of migration of soluble compounds originating from the same ceramic material as well as from mortars in laboratory and field tests. After the analysis of European construction regulations the authors stated that they have not been prepared in such state to be a sufficient base for evaluation of durability of a facial wall. This element was left for designers decision, which results often in accidental choice of compound materials.

19. NEGATYWNY WPŁYW EKSPLOATACJI BUDYNKU PRZEMYSŁOWEGO NA JEGO STAN TECHNICZNY

1. WPROWADZENIE

Na stan techniczny obiektów budowlanych wpływa wiele czynników, wśród których wymienić można m.in. błędy projektowe i wykonawcze, negatywne oddziaływania środowiska zewnętrznego oraz niewłaściwie prowadzone roboty budowlane w sąsiedztwie budynków istniejących. Stan techniczny obiektu może również ulec pogorszeniu w wyniku niewłaściwej eksploatacji lub bardzo niekorzystnych warunków panujących wewnątrz budynku determinowanych przezna-czeniem obiektu. Przy braku właściwych bieżących napraw, remontów i konserwacji budynków, wymienione wyżej czynniki mogą doprowadzić do stopniowej degradacji obiektu, a w skrajnym przypadku nawet katastrofy budowlanej.

Przedmiotem pracy jest zlokalizowana na Pomorzu hala przemysłowa, w której odbywa się produkcja papieru. Wewnątrz budynku panują bardzo niekorzystne warunki, tj. temperatura pod stropodachem sięga 50°C, a wilgotność względna powietrza natomiast wynosi lokalnie ok. 70-80%. Oddziaływanie wysokiej temperatury i wilgotności oraz powstających w procesie obróbki masy celulozowej chlorków, spowodowało poważne uszkodzenia żelbetowych płyt panwiowych stanowiących konstrukcję stropodachu hali papierni.

2. ANALIZA STANU TECHNICZNEGO BUDYNKU PAPIERNI

Opis techniczny budynku

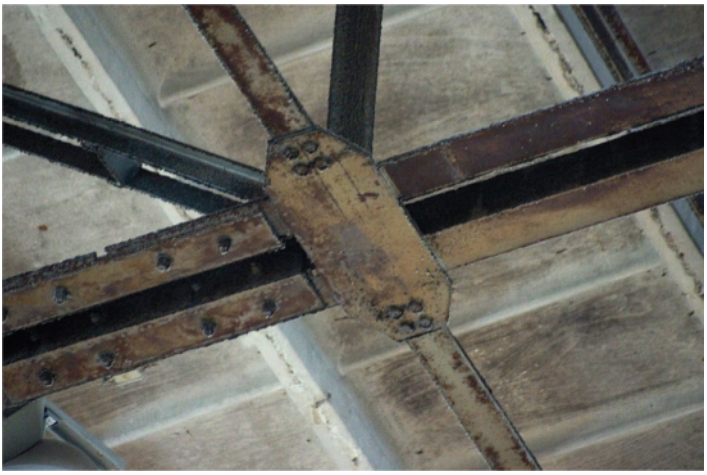
Hala papierni wybudowana została w latach 80. zeszłego stulecia w technologii uprzemysłowionej. Jest to trójnawowy obiekt dwukondygnacyjny z dodatkowymi poziomami technologicznymi w nawach bocznych. Wymiary hali w rzucie poziomym wynoszą 310 x 50 m. Szkieletowy ustrój nośny hali tworzą stalowe dwutrapezowe dźwigary kratowe w rozstawie co 6,0 m, oparte na blachownicowych słupach o przekroju dwuteowym. Konstrukcję nośną bocznych podłużnych naw hali stanowią rygle blachownicowe oparte na słupach stalowych. Dach hali wykonano jako stropodach niewentylowany z żelbetowych płyt panwiowych opartych na dźwigarach kratowych oraz ryglach stalowych – w nawach bocznych. W środkowej części hali, stropodach od spodu osłonięty jest panelami podwieszonymi do pasa dolnego dźwigarów kratowych. Obudowę ścian zewnętrznych wykonano jako lekką z blachy.

MAGDALENA DOBISZEWSKA, ADAM PODHORECKI
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

Opis uszkodzeń budynku

Stalowe wiązary kratowe

Stan techniczny stalowych kratowych dźwigarów nośnych oceniono jako zadowalający. Nie stwierdzono widocznych uszkodzeń, ani nadmiernych deformacji poszczególnych elementów kratownic. Zaobserwowano natomiast w niektórych miejscach dość mocno zaawansowaną korozję powierzchniową. Mankament ten dotyczy przede wszystkim prętów pasa dolnego (rys. 1).



Rys. 1. Skorodowane pręty dźwigarów kratowych

Fig. 1. Corroded truss girder rods

Prefabrykowane płyty dachowe

Stan techniczny prefabrykowanych panwiowych płyt dachowych jest zróżnicowany. W niektórych miejscach beton płyt panwiowych jest mocny i nie wykazuje uszkodzeń. W większości przypadków stan techniczny płyt dachowych jest zły. Widoczne są bardzo duże ubytki i uszkodzenia powierzchni betonowej płyt. W wielu miejscach odsłonięte zostały skorodowane pręty zbrojeniowe części płytowej płyt dachowych oraz żeber tych płyt (rys. 2). Duże ubytki betonu widoczne są również w miejscu osadzenia świetlików dachowych. Uszkodzeniu uległy także fragmenty płyt wzdłuż podłużnych żeber na styku sąsiednich płyt panwiowych. W miejscu tym beton jest wykruszony. Betonowa powierzchnia żeber jest skorodowana, a w niektórych miejscach widać luźne odspojone fragmenty betonu (rys. 3). Podczas pobierania próbek betonu do badań laboratoryjnych stwierdzono, że w wielu miejscach beton w obrębie żeber nie jest dobrze scalony i z łatwością można go odspoić od płyt. Sytuacja taka jest bardzo niebezpieczna i stanowi realne zagrożenie bezpieczeństwa dla zdrowia i życia osób przebywających w hali. Na podstawie pomiarów ustalono, że grubość otuliny prętów zbrojeniowych jest stanowczo za mała, gdyż wynosi jedynie 7,00÷18,70 mm. Otulina spełnia swoją funkcję ochronną dla prętów zbrojeniowych wtedy, gdy jej minimalna grubość, dla elementów prefabrykowanych w klasie ekspozycji XC3, wynosi 25 mm.

W niektórych miejscach widać, że podejmowane były próby naprawy dachu, które nie powiodły się jednak do końca. Ułożona na płytach prefabrykowanych powłoka zabezpieczająca łuszczy się i odpada (rys. 4).

Rys. 2. Skorodowane pręty zbrojeniowe betonowych płyt dachowych oraz pręty dźwigarów kratowych

Fig. 2. Corroded reinforcement bars of concrete roof slabs and truss girder rods

Rys. 3. Uszkodzone betonowe płyty dachowe i skorodowane pręty zbrojeniowe

Fig. 3. Damaged concrete roof slabs and corroded reinforcement bars

Pokrycie dachu

Na podstawie wykonanych odkrywek ustalono, że układ warstw spoczywających na dachu jest następujący (od góry):

- papa wierzchniego krycia gr. 6 mm,
- papa podkładowa gr. 7 mm,

- papa podkładowa gr. 7 mm,
- styropian gr. 40 mm,
- styropian gr. 40 mm,
- powłoka bitumiczna,
- płyta panwiowa (żelbetowa płyta prefabrykowana).

Rys. 4. Uszkodzona powłoka ochronna płyt dachowych

Fig. 4. Damaged protective coating of concrete roof slabs

Styropian stanowiący izolację termiczną dachu był bardzo mocno nasączony wodą. Po usunięciu warstw pokrycia dachu zaobserwowano, że górna powierzchnia panwiowych płyt dachowych jest mokra. Wilgoć skropliła się również pomiędzy poszczególnymi warstwami papy termozgrzewalnej. Na powierzchni papy obserwuje się niemalże na całym dachu liczne pęcherze i nierówności. W wielu miejscach pokrycie dachu wręcz „zapada się" i ugina nadmiernie.

Odwodnienie dachu

W hali wykonano wewnętrzny system odprowadzania wody z dachu. Wzdłuż obu podłużnych krawędzi dachu w odległości 1,0 m od linii okapu znajdują się wpusty dachowe. Spadki na dachu (wynoszące ok. 3°) wykonstruowano od kalenicy oraz okapu w kierunku wpustów dachowych. Niektóre wpusty dachowe są niedrożne. W wyniku tego w miejscach tych wytworzyły się niecki, w których stoi woda i dach porośnięty jest roślinnością. Tylko nieliczne wpusty dachowe osłonięte zostały od góry siatką zabezpieczającą je przed „zapychaniem". Wpusty dachowe połączone są z rurami spustowymi biegnącymi przy słupach nośnych hali, którymi woda deszczowa odprowadzana jest najprawdopodobniej od kanalizacji deszczowej. Połączenie wpustów z rurami spustowymi nie jest w pełni szczelne, gdyż niemal przy każdej rurze spustowej na posadzce hali zaobserwowano duże ślady zawilgocenia (mokre plamy). Świadczy to o tym, że część wody opadowej ścieka na posadzkę hali po zewnętrznym płaszczu rur spustowych.

Badania cech fizyko-mechanicznych betonu płyt dachowych

W celu przeprowadzenia badań laboratoryjnych pobrano próbki betonu z dolnej powierzchni stropodachu (rys. 5). Na podstawie przeprowadzonych badań ustalono wilgotność, nasiąkliwość i wytrzymałość na ściskanie betonu panwiowych płyt dachowych.

Rys. 5. Pobrane próbki do badań laboratoryjnych. Widać skorodowaną powierzchnię betonową płyt dachowych

Fig. 5. Samples taken for laboratory tests. Corroded surface of concrete roof slabs is visible

Próbki bezpośrednio po pobraniu z dachu zabezpieczone zostały przed wysychaniem. Beton do badań wilgotności, suszony był w suszarce laboratoryjnej w temperaturze 105÷110°C, do chwili uzyskania stałej masy próbki. Na podstawie badań ustalono, że beton płyt dachowych jest w stanie suchym. Wyniki oznaczenia wilgotności poszczególnych próbek przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Oznaczenie wilgotności względnej betonu

Table 1. Determination of the relative humidity of the concrete

Nr próbki	Wilgotność próbki [%]	Średnia wilgotność [%]
1	1,2	**1,6**
2	1,7	
3	2,2	
4	2,2	
5	2,0	
6	0,8	
7	1,1	

Wyniki badań nasiąkliwości betonu płyt panwiowych przedstawiono w tabeli 2. Średnia nasiąkliwość betonu, wynosząca 4,4%, nie przekracza nasiąkliwości dopuszczalnej, która dla konstrukcji osłoniętych przed bezpośrednim oddziaływaniem czynników atmosferycznych wynosi 9%.

Na podstawie badań ustalono również minimalną charakterystyczną wytrzymałość betonu na ściskanie w konstrukcji płyt panwiowych, która wynosiła 27 MPa. Oznacza to, że beton płyt panwiowych odpowiada klasie C25/30.

Tabela 2. Oznaczenie nasiąkliwości betonu

Table 2. Determination of the absorbability of the concrete

Nr próbki	Nasiąkliwość próbki [%]	Średnia nasiąkliwość [%]
1	4,6	**4,4**
2	3,8	
3	4,3	
4	4,4	
5	4,1	
6	4,5	
7	5,3	

Badania chemiczne betonu płyt dachowych

Na podstawie przeprowadzonych badań chemicznych pobranych próbek betonu ze stropodachu papierni określono:

- stopień karbonatyzacji betonu,
- alkaliczność betonu (wartość pH),
- zawartość chlorków Cl^-,
- zawartość siarczanów.

Z przeprowadzonych badań wynikają następujące wnioski:

1. Wszystkie pobrane próbki betonu na całej swej grubości uległy karbonatyzacji. Ogólnie wiadomo, że proces karbonatyzacji jest korzystny dla betonu, gdyż powstający z wodorotlenku wapnia, przy współudziale dwutlenku węgla i wody, węglan wapnia uszczelnia pory betonu. Karbonatyzacja powoduje jednak obniżenie pH betonu, co zapoczątkowuje proces korozji zbrojenia w elementach żelbetowych.
2. Badane próbki betonu wykazały odczyn zasadowy o pH 7,77÷10,27. Wartość pH dla betonu powinna natomiast wynosić 12,3÷12,6 [3]. Oznacza to, że właściwości ochronne betonu względem stali ustały.
3. Zawartość rozpuszczalnych w wodzie jonów chlorkowych Cl^- w badanych próbkach betonu wynosiła od 0,017% do 0,25% w stosunku do masy betonu. Za wartość graniczną należy przyjąć zawartość chlorków w betonie odpowiadającą 0,4% masy cementu. Przy przyjęciu, że do produkcji 1m^3 mieszanki betonowej zużyto ok. 350 kg cementu, graniczną wartość chlorków ustalić można na poziomie 0,058% masy betonu. Z powyższego wynika, że w niektórych próbkach graniczna wartość chlorków Cl^- została istotnie przekroczona.
4. Zawartość jonów siarczanowych w badanych próbkach betonu wynosiła od 0,031% do 0,571% masy betonu. Maksymalna zawartość siarczanów w betonie nie może przekroczyć wartości 4% masy betonu [5]. Oznacza to, że faktyczna ilość jonów siarczanowych jest wyraźnie mniejsza od wartości granicznej.

Karbonatyzacja i korozja chlorkowa betonu

Ustalenie klas środowiska wg EN-206-1

Biorąc pod uwagę rozważany obiekt, należy mieć na uwadze następujące elementy obniżające trwałość betonu:

- korozję spowodowaną karbonatyzacją
  XC3 – w warunkach umiarkowanej wilgotności betonu wewnątrz budowli przy umiarkowanej lub wysokiej wilgotności powietrza,
- korozję spowodowaną chlorkami nie pochodzącymi z wody morskiej
  XD1 – w warunkach umiarkowanej wilgotności, powierzchnie betonu podlegające działaniu chlorków z atmosfery.

Karbonatyzacja betonu – elektrochemiczna korozja zbrojenia

Karbonatyzacją nazywa się przemianę tlenku wapnia CaO, albo wodorotlenku wapnia $Ca(OH)_2$ w węglan wapnia $CaCO_3$ pod wpływem oddziaływania dwutlenku węgla CO_2 i wilgoci [1]

$$CO_2+H_2O \rightarrow H_2CO_3$$
$$H_2CO_3+Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3+2H_2O \quad (1)$$

lub

$$Ca(OH)_2+CO_2 \rightarrow CaCO_3+H_2O. \quad (2)$$

Można powiedzieć, że karbonatyzacja jest jakby wietrzeniowym procesem chemicznym betonu. Głównymi czynnikami sterującymi procesem karbonatyzacji są:

- dyfuzja (rozprzestrzenianie się, wnikanie) dwutlenku węgla CO_2 w głąb betonu,
- zawartość wodorotlenku wapnia $Ca(OH)_2$ w stwardniałym zaczynie.

Proces karbonatyzacji jest korzystny dla betonu. Powstający węglan wapnia $CaCO_3$ ma objętość o ok. 11% większą od objętości wodorotlenku wapnia $Ca(OH)_2$ (portlandytu). Proces reakcji ma ponadto ok. 100-krotnie mniejszą rozpuszczalność. W konsekwencji zwiększa się szczelność betonu, jego odporność na ługowanie, a także wytrzymałość na ściskanie. Zdecydowanie negatywnym skutkiem karbonatyzacji jest obniżenie alkaiczności (zobojętnienie) betonu, a w konsekwencji tego obniżenie zdolności ochronnych otuliny betonowej, aż do całkowitej utraty ochrony zbrojenia. W wyniku karbonatyzacji następuje istotne obniżenie wartości wykładnika jonów wodorowych w cieczy w porach betonu. Beton nieskarbonatyzowany jest wysokoalkaliczny pH = 12÷13,5. Przyjmuje się następujące odczyny środowiska:

- pH < 7 – odczyn kwaśny,
- pH = 7 – odczyn obojętny,
- pH > 7 – odczyn zasadowy.

Na podstawie badań i obserwacji ustalono, że przy odpowiednim pH betonu zachodzi następująca ochrona pasywna stali (zbrojącej beton):

- pH > 11,8 – skuteczna ochrona stali,
- pH = 11,8÷10 (częściowa karbonatyzacja) – częściowa ochrona stali,
- pH = 10÷8,2 (zaawansowana karbonatyzacja) – brak ochrony stali, następuje korozja stali,
- pH < 8,2 – (beton skarbonatyzowany) – całkowity brak ochrony stali, następuje nieskrępowana korozja kwasowa stali.

Szybkość karbonatyzacji zależy od następujących głównych czynników [1]:

- szczelności betonu, a więc pośrednio od klasy betonu, a także od rodzaju użytego cementu,
- stopnia zawilgocenia: zależność ta jest złożona; w suchych porach powie-trznych szybkość dyfuzji CO_2 jest ok. 10 000 razy większa niż w porach wypełnionych wodą, ale jednocześnie dla przebiegu reakcji karbonatyzacji potrzebna jest woda; w konsekwencji, w praktyce beton prawie nie ulega karbonatyzacji w warunkach powietrzno – suchych lub przy pełnym nasyceniu wodą; największa szybkość karbonatyzacji występuje przy wilgotności względnej powietrza w granicach 40÷70%,
- zawartości CO_2 w powietrzu, wyższe stężenie CO_2 przyspiesza karbonatyzację,
- temperatury, wzrost temperatury przyspiesza proces karbonatyzacji.

Korozja chlorkowa

Korozja chlorkowa zachodzi pod działaniem roztworów o dużym stężeniu jonów chlorkowych Cl^-, np. wody morskiej, wód kopalnianych, środków odladzających oraz w wielu obiektach przemysłowych. Niszczenie betonu następuje wskutek powstawania zasadowych chlorków zwiększających swoją objętość w trakcie krystalizacji. W obecności chlorków, korozja stali zbrojeniowej rozpoczyna się już przy wartościach pH wyższych od przyjętych za wartości graniczne – zapewniające stan pasywności betonu. Chlorki należą do bardzo aktywnych depasywatorów stali. Wiadomo, że obniżenie pH o jeden stopień (powstałe np. w wyniku karbonatyzacji) powoduje 10-krotne zwiększenie dopuszczalnej zawartości chlorków. W poszczególnych krajach przyjmowana jest różna dopuszczalna zawartość chlorków. W USA krytyczna zawartość chlorków określona jest w % masy cementu w odniesieniu do Cl^- rozpuszczalnych w wodzie:

- dla betonu sprężonego wartość ta wynosi 0,15%
- dla betonu zbrojonego – 0,20%

Zwraca się uwagę na występowanie dwóch rodzajów chlorków, tj. chlorków rozpuszczalnych w wodzie i chlorków rozpuszczalnych w kwasie. W normie [4] przyjmuje się wartość dopuszczalną 0,4% masy cementu odniesione do Cl^- rozpuszczalnych w wodzie i w kwasie, czyli całkowitej zawartości chlorków. Wnikanie chlorków w głąb betonu zachodzi szybciej niż dyfuzja CO_2. Proces zależy zasadniczo od tych samych czynników co karbonatyzacja, z tą różnicą, że odbywa się bardzo szybko w porach wypełnionych wodą, a ustaje w betonie wysuszonym.

3. PODSUMOWANIE

1. Oceniając stan techniczny stropodachu hali papierni należało uwzględnić konstrukcję dźwigarów kratowych, dachowe płyty panwiowe oraz pokrycie dachu i odwodnienie połaci dachu. Stan techniczny stalowych dźwigarów dachowych oceniono jako dość dobry. Główne uszkodzenia kratownic to powierzchniowa korozja poszczególnych elementów składowych dźwigarów. Przyczyną tych uszkodzeń jest fakt niemalże 30-letniego okresu użytkowania budynku praktycznie bez żadnej kompleksowej konserwacji kratownic oraz niekorzystnych warunków panujących w hali, tj. dużej wilgotność i wysokiej temperatury.

2. Stan techniczny panwiowych płyt dachowych jest bardzo zróżnicowany. Niektóre z płyt nie wykazują widocznych uszkodzeń, stan innych natomiast określa się jako zdecydowanie zły. Główne uszkodzenia płyt panwiowych to:
   a) duże ubytki i destrukcja betonu,
   b) skorodowane pręty zbrojeniowe,
   c) zbyt mała otulina prętów zbrojeniowych żeber,
   d) wykruszenia i ubytki betonu na stykach poszczególnych płyt panwiowych.
3. Na podstawie badań laboratoryjnych wytrzymałości na ściskanie pobranych próbek betonu z żeber płyt panwiowych ustalono, że klasa betonu jest stosunkowo wysoka i wynosi C25/30 (B30).
4. Powierzchniowa warstwa betonu płyt panwiowych w wielu miejscach odpadła i odsłonięte zostało skorodowane zbrojenie. Na podstawie badań chemicznych ustalono, że beton uległ zaawansowanemu procesowi karbonatyzacji, co wynika z obniżonej wartości pH w betonie. Skarbonatyzowany beton stwierdzono na całej grubości pobranych próbek z żeber płyt dachowych, tj. na głębokości ok. 5 cm od powierzchni zewnętrznej betonu. W wyniku karbonatyzacji powstaje węglan wapnia $CaCO_3$, który uszczelnia strukturę betonu, zwiększa jego odporność na ługowanie, a także do pewnego stopnia wytrzymałość na ściskanie. Z drugiej jednak strony prowadzi to do zobojętniania, czyli obniżania odczynu zasadowego betonu. Konsekwencją tego jest utrata właściwości ochronnych w stosunku do stali zbrojeniowej. Wartość pH dla betonu powinna wynosić ok. 12,3÷12,6. We wszystkich badanych próbkach betonu natomiast stwierdzono znaczne obniżenie wskaźnika pH dochodzące nawet do 7,77. Karbonatyzacja w wyniku zmiany środowiska z zasadowego na kwaśny powoduje rozpoczęcie procesu korozji zbrojenia. W normalnych warunkach otulina betonowa prętów zbrojeniowych chroni je przed korozją. W przypadku natomiast, gdy współczynnik pH jest mniejszy od 10, otulina betonowa traci zdolność do pasywacji stali. W związku ze stałą obecnością tlenu i wilgoci rozpoczyna się korozja zbrojenia. Powstające produkty korozji zbrojenia doprowadzają do „rozsadzania" betonu, tworząc spękania i odpryski fragmentów materiału, a to z kolei powoduje przyspieszanie dalszej karbonatyzacji i zakwaszania betonu.
5. W niektórych badanych próbkach betonu stwierdzono wysoką zawartość jonów chlorkowych Cl^- powyżej dopuszczalnych wartości. Graniczne wartości chlorków w betonie przekroczone zostały w pojedynczych próbkach nawet o 40÷430%. Już nawet przy niskiej zawartości chlorków Cl^- w warstwie otuliny zbrojenia może dojść do korozji zbrojenia, zwłaszcza gdy zachodzi w tym czasie także karbonatyzacja betonu (wywołana dwutlenkiem węgla CO_2). Sole chlorkowe transportowane są w kierunku zbrojenia przez cząsteczki wody. Warunkiem na to, aby doszło do korozji chlorkowej jest więc stosunkowo duży stopień zawilgocenia betonu, co w przedmiotowej hali ma miejsce. Uwięzione w porach betonu sole rozpuszczalne krystalizując się zwiększając swoją objętość, powodują rozsadzanie betonu. Chlorki Cl^- przyspieszają ponadto karbonatyzację betonu.
6. Bardzo duży wpływ na szybkość przebiegu korozji zbrojenia spowodowanej zarówno karbonatyzacją, jak i chlorkami ma temperatura. Zwiększenie temperatury z 10 do 30°C powoduje ok. dziesięciokrotne zwiększenie szybkości korozji [2]. Przy panującej wewnątrz hali pod dachem wysokiej temperaturze dochodzącej nawet do 50°C, szybkość postępującej korozji jest bardzo duża.
7. Procesowi korozji stali zbrojeniowej sprzyja również zbyt cienka otulina prętów zbrojeniowych. Na podstawie pomiarów ustalono, że otulina w miejscach, w któ-

rych pobierano próbki wynosiła od 7 mm do 18,7 mm. W celu ochrony stali przed korozją otulina zbrojenia natomiast powinna wynosić co najmniej 25 mm (dla elementów prefabrykowanych w klasie ekspozycji XC3, tj. beton wewnątrz budynków o umiarkowanej lub wysokiej wilgotności powietrza, w środowisku, w którym występuje ryzyko korozji wywołanej karbonatyzacją).

8. Na podstawie badań pobranych próbek ustalono, że beton, mimo bardzo dużej wilgotności w hali, jest w stanie suchym. Wilgotność względna betonu wynosiła ok. 1,6%. W wyniku procesu karbonatyzacji, powstający z wodorotlenku wapnia $Ca(OH)_2$ przy współudziale dwutlenku węgla i wody, węglan wapnia $CaCO_3$ uszczelnia pory betonu. W wyniku tego zmniejsza się nasiąkliwość betonu, co potwierdzone zostało w badaniach laboratoryjnych. Nasiąkliwość badanych próbek mieściła się w granicach 3,8÷5,3%, tj. nie przekroczyła nasiąkliwości granicznej wynoszącej 9%. Przyczyną tego, że znajdujący się w warunkach bardzo dużej wilgotności powietrza beton jest suchy, jest jego bardzo mała nasiąkliwość.
9. Pozostałe mankamenty stropodachu to:
   a) bardzo mocne zawilgocenia górnej powierzchni płyt dachowych (pod warstwą izolacji termicznej),
   b) zapchane i niedrożne niektóre wpusty dachowe,
   c) nieszczelności na połączeniu wpustów dachowych z rurami spustowymi.
10. Przyczyną bardzo mocnego zawilgocenia górnej powierzchni płyt dachowych (pod styropianem) jest to, że pokrycie dachowe nie jest w żaden sposób wentylowane. Wewnątrz hali, tuż pod dachem jest wysoka temperatura, wynosząca ok. 50°C. Od góry natomiast temperatura jest znacznie niższa (poza okresem letnim). Z uwagi na to, że beton charakteryzuje się stosunkowo dobrymi właściwościami przewodzenia ciepła oraz zważywszy na nieznaczną grubość płyt dachowych wynoszącą 3,5 cm, ciepło z łatwością przenika przez płyty panwiowe. W zetknięciu z chłodnym powietrzem zewnętrznym, które do płyt dachowych przenika łatwo z uwagi na niewielką grubość izolacji termicznej (styropian gr. 8 cm), dochodzi do skraplania się wilgoci na zewnętrznej płaszczyźnie płyt dachowych.
11. Jeżeli uwzględni się:
   - obniżoną nośność płyt panwiowych, głównie z powodu zaawansowanej korozji betonu i stali zbrojeniowej,
   - poważnych trudności w efektywnym przeprowadzeniu naprawy i wzmocnienia płyt panwiowych,
   - złej konstrukcji stropodachu.

   wydaje się dość oczywistym wniosek o potrzebie pełnej wymiany konstrukcji stropodachu.

4. ANALIZA TEORETYCZNA USTALAJĄCA STAN NOŚNOŚCI DŹWIGARÓW DACHOWYCH

Projekt techniczny przedmiotowej hali opracowany został w latach 80. zeszłego stulecia, a więc w czasi,e gdy obowiązywała tzw. „stara norma śniegowa". Od roku 2006 obowiązuje nowa norma [6], zgodnie z którą wartość obliczeniowa obciążenia śniegiem zwiększyła się o ok. 85% (dla 3. strefy obciążenia śniegiem). Z uwagi na potrzebę wymiany istniejącego stropodachu papierni na nowy, zaszła więc konieczność przeprowadzenia analizy statyczno-wytrzymałościowej stalowych dźwigarów krato-

wych. Na podstawie obliczeń ustalono, że nośność pojedynczych słupków i krzyżulców kratownicy jest niewystarczająca do bezpiecznego przeniesienia projektowanych obciążeń. Dopuszczalne naprężenia w niektórych przypadkach przekroczone zostały o 37%. Stąd zaszła konieczność wzmocnienia kratowych dźwigarów dachowych.

5. ZALECENIA TECHNICZNE DOTYCZĄCE WZMOCNIENIA STROPODACHU BUDYNKU

Zaprojektowano następujący zakres prac budowlanych dotyczących naprawy stropodachu budynku papierni:

a) demontaż istniejącego stropodachu (pokrycie dachu, obróbki blacharskie, płyty panwiowe),
b) renowacja i wzmocnienie stalowych dźwigarów dachowych,
c) wykonanie nowego stropodachu oraz pokrycia dachu.

Poniżej przedstawiono warunki techniczne wykonania zaproponowanych prac.

Demontaż istniejącego stropodachu

Z uwagi na zły stan techniczny żelbetowych panwiowych płyt dachowych zdecydowano o ich demontażu i wykonaniu nowej konstrukcji pokrycia dachu. Konstrukcję stropodachu zaprojektowano wykonać z nowych prefabrykowanych płyt dachowych (żelbetowych). Rozważano również możliwość wykonania dachu ze stalowej blachy trapezowej. Z uwagi jednak na nieszczelności połączeń poszczególnych arkuszy blachy oraz wysoką temperaturę i wilgotność powietrza w hali, dochodziłoby do mocnego zawilgacania izolacji termicznej dachu. Zważywszy na stosunkowo małą sztywność blach trapezowych i ich dużą wrażliwość na zmiany temperatury, zjawisko przenikania wilgoci byłoby mocno nasilone. To spowodowało wybór płyt żelbetowych.

Renowacja i wzmocnienie stalowych dźwigarów dachowych

Renowacja stalowych dźwigarów kratowych polegała na ich oczyszczeniu ze śladów korozji powierzchniowej, a następnie odpowiednim zabezpieczeniu antykorozyjnym. Kolejność i warunki techniczne wykonania prac są następujące:

1. Oczyszczenie powierzchni kształtowników stalowych ze śladów korozji powierzchniowej do stopnia czystości co najmniej Sa 2. Powierzchnia stali musi być sucha, czysta i odtłuszczona.
2. Zagruntowanie stali materiałem zawierającym dodatek inhibitorów korozji.
3. Naniesienie metodą natryskową dwóch warstw powłoki antykorozyjnej.

Wzmocnieniu podlegały poszczególne słupki i krzyżulce kratownicy. Pręty te wykona-no z zespawanych ze sobą dwóch kątowników w taki sposób, że w przekroju poprzecznym tworzą kształt zbliżony do przekroju ceowego. Wzmocnienie prętów polegało na przyspawaniu do kształtowników blachy w taki sposób, aby stworzyć zamknięty przekrój rury prostokątnej. Przykładowo, do pręta złożonego z dwóch kątowników 100x75x8 mm przyspawać należało na całej długości blachę o wymiarach 150x8 mm, otrzymując w ten sposób zamknięty przekrój rurowy o wymiarach 150x100 mm i grubości ścianki 8 mm.

Ułożenie nowych płyt dachowych

Konstrukcję stropodachu zaprojektowano wykonać z płyt prefabrykowanych. Z uwagi na bardzo niekorzystne warunki panujące w hali (wysoka temperatura i wilgotność) odpowiednio zabezpieczono beton płyt przed działaniem chlorków oraz pręty zbrojeniowe przed korozją. Kolejność i warunki techniczne wykonania prac są następujące:

1. Przygotowanie powierzchni betonowej do impregnacji poprzez jej oczyszczenie z pyłów, zanieczyszczeń, tłuszczów i olei.
2. Zaimpregnowanie całej powierzchni płyt panwiowych (od spodu) preparatem zawierającym inhibitory korozji i przeznaczonym do impregnacji betonu zbrojonego. Preparat ten penetruje beton i tworzy ochronną warstwę na powierzchni stali zbrojeniowej. Materiał stosowany jest do zabezpieczenia żelbetu wszędzie tam, gdzie jest ryzyko wystąpienia korozji wskutek procesu karbonatyzacji lub działania chlorków. Impregnat nakładać należy na suchą warstwę naprawczą.
3. Wykonanie wyrównawczej warstwy ochronnej z zaprawy cementowo-epoksydowej grubości 2÷3 mm. Warstwa ochronna wyrównuje powierzchnię betonową i tworzy jednolite podłoże pod wyprawę elastyczną.
4. Wykonanie zabezpieczenia powierzchniowego z powłoki ochronnej. Powłokę układać można po upływie 24 godzin od nałożenia warstwy ochronnej z zaprawy cementowo-epoksydowej. W przypadku obiektów poddawanych działaniu wysokich temperatur oraz obciążeń dynamicznych, zastosowanie wyprawy elastycznej eliminuje wszelkie nieszczelności spowodowane mikrospękaniami w strukturze wypraw PCC lub SPCC. Elastyczna powłoka ochronna stanowi długotrwałą barierę przed oddziaływaniem dwutlenku węgla i innymi szkodliwymi substancjami.

Wykonanie nowego pokrycia dachu

Pokrycie dachu zaprojektowano z hydroizolacyjnej membrany dachowej. Izolację termiczną natomiast wykonano jako dwudzielną z wewnętrzną szczeliną wentylacyjną wysokości 15 cm. Warstwę izolacji termicznej ułożono na podpartej krawędziakami drewnianymi blasze trapezowej.

Kolejność i warunki techniczne wykonania prac są następujące:

1. Ułożenie na powierzchni dachu izolacji przeciwwilgociowej, np. z folii paroizolacyjnej, z klejonymi na całej długości zakładami o szerokości minimum 20 cm. Należy przewidzieć odwodnienie tej paroizolacji.
2. Ułożenie w kierunku równoległym do spadku dachu, krawędziaków o wymiarach przekroju poprzecznego 12/25 cm rozstawionych co 3,0 m. Krawędziaki mocować należy do płyty dachowej. Krawędziaki przed zamontowaniem, należy starannie zaimpregnować preparatami przeciwpożarowymi i przeciwgrzybicznymi.
3. Zamontowanie w kalenicy dachu kominków wentylacyjnych rozstawionych co 3,0 m tak, aby znajdowały się one między każdym krawędziakiem oraz wpustów dachowych, które po wykonaniu nowego pokrycia zabezpieczyć należy koszami ochronnymi. Wloty powietrza do szczeliny wentylacyjnej należy umieścić w ściankach attykowych. Konieczne będzie nadbudowanie tych ścianek. Wpusty dachowe do odwodnienia dachu umieścić należy w miejscach istniejących wewnętrznych rur spustowych. Z odpowiednich obliczeń dotyczących szczeliny wentylacyjnej (wysokości 15 cm) i skuteczności wentylowania wynikają niezbędne urządzenia związane z odpowiednim wykonstruowaniem wlotu i wylotu powietrza do tej szczeliny:

- wloty do szczeliny stanowią kratki wentylacyjne o wymiarze 13x285 cm rozmieszczone w każdym polu pomiędzy krawędziakami (krawędziaki rozstawione są co 3,0 m)
- wyloty stanowią usytuowane wzdłuż kalenicy kominki wentylacyjne WLO 315 mm wysokości 670 mm rozstawione co 3,0 m (kominki ustawione są w każdym polu połaci między krawędziakami).

4. Ułożenie na dachu pierwszej warstwy izolacji termicznej z wełny mineralnej grubości 10 cm oraz folii wysokoparoprzepuszczalnej.
5. Ułożenie na krawędziakach blachy trapezowej. Przed zamontowaniem, do spodu blachy trapezowej przykleić należy folię wysokoparoprzepuszczalną w taki sposób, aby możliwa była migracja wilgoci z góry do dołu.
6. Ułożenie na blasze foli paroizolacyjnej z zakładami min. 20 cm, a następnie izolacji termicznej w systemie wentylacyjnym. Idea tego systemu jest oparta o zasadę dachu dwuwarstwowego, w którym warstwa spodnia o lepszych parametrach termicznych pełni funkcję izolacji cieplnej, a górna z reguły cieńsza i twardsza, równomiernie rozkłada obciążenia i stanowi warstwę odpowiedzialną za właściwości mechaniczne dachu płaskiego (ochrona przed uszkodzeniami w trakcie eksploatacji). Częściami składowymi systemu są:
   - dolna płyta – grubości 16 cm,
   - płyta górna – grubości 2 cm.

   Płyta dolna ma na swojej powierzchni rowki o głębokości 20 mm i szerokości 30 mm. Wykonana jest ona z wełny mineralnej o doskonałej przepuszczalności pary, co umożliwia przemieszczanie się wilgotnego powietrza rowkami w kierunku wylotów. Płyty układa się rowkami do góry w kierunku spadku dachu. Rowki są widoczne podczas montażu, co ułatwia ich dopasowanie w miejscach połączeń. Wzdłuż kalenicy wycina się ręcznie podłużną *„rynnę”* szerokość 120 mm i głębokość 20 mm. Płyty dachowe mocować należy do blachy trapezowej za pomocą łączników mechanicznych.
7. Zamontowanie kominków do wentylacji pokrycia, o średnicy minimum ϕ120 mm i wysokości 400 mm wentylujących kalenicową rynnę wykonaną w warstwie izolacji termicznej. Kominki rozmieścić należy co 6÷8 m.
8. Ułożenie dachowej membrany hydroizolacyjnej. Membrana układana jest swobodnie na warstwie izolacji i termicznej i mocowana jest mechanicznie do blachy trapezowej. Obróbki wszystkich detali dachu, tj. kominków wentylacyjnych, świetlików dachowe, wpustów dachowych, a także wentylatorów wykonać należy z membrany termozgrzewalnej.
9. Wykonanie instalacji odgromowej.

LITERATURA

[1] Czarnecki L., Emmons P.H., 2002. Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych. Polski Cement, Kraków.
[2] Fagerlund G., 1997. Trwałość konstrukcji betonowych. Arkady Warszawa.
[3] Ściślewski Z., 1972. Korozja i ochrona zbrojenia. Arkady Warszawa.
[4] PN-EN 206-1. Beton – Część 1. Wymagania, właściwości produkcja i zgodność.
[5] PN-80/B-30000. Cement portlandzki.
[6] PN-80/B-02010/Az1:2006. Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenie śniegiem.

THE NEGATIVE IMPACT OF THE OPERATION AND MAINTENANCE OF THE INDUSTRIAL BUILDING ON ITS CONDITION

Summary. This paper analyzes a large industrial building (paper mill) with microclimate that adversely affects the condition of the building (high humidity of 70–80% and high temperatures reaching up to 50°C). The building was constructed in the usual way, without taking into account the difficult conditions. A lot of deterioration has taken place, especially concerning the reinforced concrete (prefabricated roof slabs). On the basis of tests and measurements the cause of this deterioration has been established as well as a method of repair has been proposed.

WYKAZ AUTORÓW I WSPÓŁAUTORÓW

Autor (współautor)	Tytuł naukowy	Adres
DOBISZEWSKA Magdalena	dr inż.	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz *magdalena.dobiszewska@utp.edu.pl*
DUDZIŃSKA Anna	mgr inż.	Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków *anna.dudzinska27@gmail.com*
DULAK Leszek	dr inż.	Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice *Leszek.Dulak@polsl.pl*
DYBOWSKA Monika	mgr inż.	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz *monikadybowska@op.pl*
DYLLA Amabela	mgr inż. arch.	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Al. Prof. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz *amadyl@op.pl*
DYLLA Andrzej	dr hab. inż., prof. UTP	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Al. Prof. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz *andrzejdylla@op.pl*
FEDORCZAK-CISAK Małgorzata	dr inż.	Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków *mporanna@wp.pl*
FURTAK Marcin	dr inż. arch.	Politechnika Krakowska, Wydział Architektury, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków *furtak@F-11.pl*
GINTOWT Jolanta	mgr inż.	Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Materiałów i Konstrukcji Budowlanych, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków *jolanta.gintowt@interia.pl*
KACZMAREK Anna	dr inż.	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz *anwis13@wp.pl*
LEWANDOWSKI Łukasz	mgr inż.	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz *lukasz.lewandowski@utp.edu.pl*

NOWAK Katarzyna	dr inż.	Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Materiałów i Konstrukcji Budowlanych, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków *kaskanowa@poczta.onet.pl*
NOWAK-DZIESZKO Katarzyna	mgr inż.	Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Materiałów i Konstrukcji Budowlanych, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków *knowakdzieszko@o2.pl*
ORLIK-KOŻDOŃ Bożena	dr inż.	Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Budownictwa, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice *Bozena.Orlik-Kozdon@polsl.pl*
PAWŁOWSKI Krzysztof	dr inż.	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz *krzypaw@ utp.edu.pl*
PODHORECKI Adam	prof. dr hab. inż.	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz *podhorec@utp.edu.pl*
SADOWSKA Beata	dr inż.	Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Podstaw Budownictwa i Fizyki Budowli, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok *b.sadowska@pb.edu.pl*
STEIDL Tomasz	dr inż.	Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Budownictwa, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice *Tomasz.Steidl@polsl.pl*
SZCZEPANIAK Paula	dr inż.	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz *paula@utp.edu.pl*
ŚWIĘCICKI Adam	dr inż.	Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok *a.swiecicki@pb.edu.pl*
WESOŁOWSKA Maria	dr inż.	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska, Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz *marysia@utp.edu.pl*
ŻUCHOWSKI Rafał	dr inż.	Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice *rafal.zuchowski@polsl.pl*