

ANALIZA SYSTEMÓW PODGRZEWANIA POWIETRZA WENTYLACYJNEGO WSPOMAGANYCH ENERGIA ELEKTRYCZNĄ Z PANELI PV W KONTEKŚCIE ZRÓWNOWAŻONEGO SYSTEMU GRZEWczego W BUDYNKU PASYWNYM

1. WSTĘP

Wzrastający poziom dwutlenku węgla oraz nadmierna eksploatacja paliw konwencjonalnych są realnym zagrożeniem dla destabilizacji środowiska. W odpowiedzi na złożoną problematykę negatywnego wpływu człowieka na otoczenie naturalne powstała idea zrównoważonego rozwoju. Raport ONZ definiuje zrównoważony rozwój jako postęp umożliwiający zaspokojenie potrzeb obecnego pokolenia bez umniejszania szans przyszłym pokoleniom [11]. Hipotezy oraz cele określone w raporcie ONZ wdrażane są powszechnie na wielu płaszczyznach mających realny wpływ na obecny stan środowiska naturalnego.

Jednym z zagadnień oraz narastającym problemem jest wzrost zużycia energii elektrycznej. Związany z postępowaniem technologicznym, a także z podniesieniem komfortu życia człowieka, dotyczy nie tylko sektora przemysłowego, ale również gospodarstw domowych. W Polsce gospodarstwa domowe mają 20% udział w krajowym zużyciu energii elektrycznej [2]. Główną formą użytkowania energii elektrycznej jest jej wykorzystanie do celów związanych z eksploatacją budynku (tab. 1).

Tabela 1. Struktura zużycia energii elektrycznej w gospodarstwach domowych [2]

Rodzaj zużycia	Udział, %
Ogrzewanie pomieszczeń	65,5
Ogrzewanie wody	16,2
Gotowanie posiłków	8,5
Oświetlenie (razem z urządzeniami elektrycznymi)	9,8

Szacuje się, że ponad 65% zużytej energii przeznaczone jest do ogrzewania oraz wentylacji pomieszczeń. Taki rozkład spowodował zwiększone zainteresowanie budownictwem umożliwiającym zmniejszenie kosztów utrzymania gospodarstwa domowego. W efekcie obserwuje się intensywny rozwój energooszczędnego budownictwa pasywnego, dla którego zapotrzebowanie na ciepło nie przekracza $15 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ [7]. Istotnym aspektem w odniesieniu do budynków pasywnych są nie tylko ich położenie czy kształt, ale także zastosowane technologie i systemy grzewcze.

* Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Jednym z powszechnie stosowanych rozwiązań jest rekuperacja. System będący dodatkowym wymiennikiem ciepła umożliwi odzysk energii ze strumienia powietrza wywiewanego z pomieszczeń. Zimą następuje pobranie ciepła z powietrza wywiewanego, latem powietrze zewnętrzne może być częściowo ochładzane strumieniem powietrza wywiewanego z pomieszczeń.

Zwiększenie sprawności systemu rekuperacji jest możliwe poprzez wstępne podgrzanie powietrza kierowanego do rekuperatora. Doprowadzenie do urządzenia czynnika cieplejszego zimą oraz chłodniejszego latem zwiększa efektywność energetyczną instalacji wentylacyjnej oraz podnosi komfort w użytkowanych pomieszczeniach.

Istnieje kilka sposobów pozwalających na wstępne podgrzanie (do temperatury dodatniej) strumienia powietrza. Rozwiązania różnią się od siebie sprawnością działania, wpływem na środowisko naturalne oraz opłacalnością inwestycji. Wstępne ogrzanie powietrza można zrealizować poprzez zastosowanie gruntowego wymiennika ciepła, wykorzystującego stałą temperaturę na odpowiedniej głębokości gruntu. Powietrze zasysane przez czerpnię przepływa przez wcześniej przygotowane złożo lub transportowane jest w rurach umieszczonych pod powierzchnią ziemi, tzw. systemach przeponowych. Innym urządzeniem zaliczanym do odnawialnych źródeł energii jest gruntowa pompa ciepła. Pompa, podobnie jak GWC, wykorzystuje temperaturę gruntu, jednak powietrze nie przejmuje ciepła bezpośrednio od gruntu, a od czynnika roboczego pompy ciepła.

Najprostszym rozwiązaniem jest zastosowanie wstępnej nagrzewnicy elektrycznej, składającej się z grzałki lub spirali elektrycznej montowanej w kanale powietrza nawiewanego przed wymiennikiem (rekuperatorem). Nagrzewnica umożliwia bezpośrednią przemianę energii elektrycznej w ciepło, które następnie jest oddawane strumieniowi powietrza.

Podczas ogrzewania powietrza możliwe jest także wykorzystanie pieców grzewczych zasilanych paliwem konwencjonalnym oraz biomasowym. Wymiana ciepła następuje za pomocą metalowych płyt, które odbierają ciepło z komory spalania.

Celem pracy jest analiza wybranych systemów wstępnego podgrzewania powietrza wentylacyjnego dostarczanego do systemu rekuperacji w budynku pasywnym pod względem zapotrzebowania energetycznego, ich wpływu na emisję dwutlenku węgla oraz możliwości uniknięcia emisji CO₂ przy wykorzystaniu instalacji fotowoltaicznej.

2. METODYKA BADAWCZA

W pracy porównano pięć możliwych systemów wstępnego podgrzewania powietrza wentylacyjnego dostarczanego do systemu rekuperacji w budynku pasywnym. Warunkiem koniecznym do prawidłowej pracy systemów wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła jest dostarczenie świeżego powietrza wentylacyjnego o dodatniej temperaturze. Pozwala to w pełni uniknąć zjawiska zamrożenia rekuperatora i zwiększyć efektywność pracy instalacji. Analizie poddano budynek wielorodzinny, w którym znajduje się 9 mieszkań, każde o powierzchni 78,2 m², odpowiadającej statystycznej wielkości mieszkania

w Polsce [2]. Wybrane systemy mają na celu ogrzanie powietrza w okresie zimowym od temperatury zewnętrznej $T_1 = -20^\circ\text{C}$ do temperatury $T_2 = 1^\circ\text{C}$ przy użyciu alternatywnie gruntowego wymiennika ciepła, gruntowej pompy ciepła, wstępnej nagrzewnicy elektrycznej oraz pieca nadmuchowego węglowego i biomasowego. Doboru urządzeń dokonano na podstawie przyjętych założeń:

- całkowita powierzchnia mieszkalna, $P = 703,8 \text{ m}^2$,
- wysokość pomieszczeń, $h = 2,75 \text{ m}$,
- sumaryczny strumień powietrza nawiewanego, $q_m = 1935 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$,
- temperatura powietrza zewnętrznego, $T_1 = -20^\circ\text{C}$,
- temperatura powietrza nawiewanego do rekuperatora, $T_2 = 1^\circ\text{C}$,
- średnia gęstość powietrza nawiewanego, $\rho_{pow} = 1,32 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,
- średnie ciepło właściwe powietrza, $c_p = 1,009 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$,
- cena energii elektrycznej, $Z_{EL} = 0,65 \text{ PLN} \cdot \text{kWh}^{-1}$,
- lokalizacja, Warszawa.

2.1. Gruntowy wymiennik ciepła (GWC)

W celu doboru rurowego GWC obliczono wymaganą moc grzewczą wymiennika N_{GWC} :

$$N_{GWC} = \frac{q_m \cdot c_p \cdot \rho_{pow} \cdot (T_1 - T_2)}{3600} \quad (1)$$

gdzie:

- N_{GWC} – moc grzewcza GWC, kW,
- q_m – strumień powietrza nawiewanego, $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$,
- c_p – ciepło właściwe powietrza w wymienniku, $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$,
- ρ_{pow} – średnia gęstość powietrza w wymienniku, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$,
- T_1 – temperatura powietrza zewnętrznego, $^\circ\text{C}$,
- T_2 – temperatura powietrza nawiewanego do rekuperatora, $^\circ\text{C}$.

Wyznaczona moc GWC wynosi $N_{GWC} = 15 \text{ kW}$. Na podstawie projektu gruntowego wymiennika ciepła [1] obliczono długość wymiennika, umieszczonego na głębokości 2-3 m, wynoszącą $L_{GWC} = 251 \text{ m}$ o średnicy $d_{GWC} = 0,315 \text{ m}$. Następnie dobrano urządzenia, na podstawie których sporządzono kosztorys inwestycyjny przedstawiony w tabeli 2.

Tabela 2. Koszty zakupu i montażu GWC

	Koszt brutto, PLN
Wentylator (VENT150B)	1 295
Czerpnia (AWADUKT Thermo)	3 340
Przewody (rury PCV)	33 111
Montaż	5 500
Koszt inwestycji	43 246

2.2. Pozioma gruntowa pompa ciepła (PC)

Moc grzewcza pompy ciepła N_{PC} dobrana została na podstawie mocy grzewczej gruntowego wymiennika ciepła $N_{GWC} = N_{PC} = 15$ kW. Następnie dobrano pompę ciepła (Vikersønn Bjørn 15 [5]) i obliczono pozostałe parametry niezbędne do dalszej analizy:

- moc elektryczną pompy ciepła N_{EL} , wynoszącą $N_{EL} = 3,3$ kW

$$N_{EL} = \frac{N_{PC}}{COP} \quad (2)$$

gdzie:

- N_{EL} – moc elektryczna pompy ciepła, kW,
- N_{PC} – moc grzewcza pompy ciepła, kW,
- COP – współczynnik efektywności pompy ciepła ($COP = 4,5$ [5]), - ,

- moc dolnego źródła, N_{CH} , wynoszącą $N_{CH} = 11,65$ kW

$$N_{CH} = N_{PC} - N_{EL} \quad (3)$$

gdzie:

- N_{CH} – moc dolnego źródła ciepła, kW,
- N_{PC} – moc grzewcza pompy ciepła, kW,
- N_{EL} – moc elektryczna pompy ciepła, kW.

- długość kolektora poziomego pompy ciepła L_{PC} , wynoszącą $L_{PC} = 777$ m,

$$L_{PC} = \frac{N_{CH}}{N_G} \quad (4)$$

gdzie:

- L_{PC} – długości kolektora poziomego pompy ciepła, m,
- N_{CH} – moc dolnego źródła ciepła, kW,
- N_G – wskaźnik ciepła gruntu (przyjęto $N_G = 15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1}$ [12]), $\text{W} \cdot \text{m}^{-1}$.

Na podstawie dokonanych obliczeń określono koszty inwestycyjne gruntowej pompy ciepła z kolektorem poziomym (tab. 3).

Tabela 3. Koszty zakupu i montażu PC [1]

	Koszt brutto, PLN
Kolektor poziomy z montażem	19 424
Pompa ciepła	22 410
Zestaw instalacyjny z montażem	7 500
Koszt inwestycji	49 334

2.3. Wstępna nagrzewnica elektryczna (WNE)

Nagrzewnicę elektryczną DH-355/150 T [6] dobrano na podstawie wymaganej mocy grzewczej $N_{GWC} = N_{PC} = N_{WNE} = 15$ kW. Koszty inwestycyjne przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Koszty inwestycyjne WNE

	Koszt brutto, PLN
Wstępna nagrzewnica elektryczna	971,7
Montaż	500
Koszt inwestycji	1472

2.4. Piec nadmuchowy (PN)

Ostatnim analizowanym systemem ogrzewania powietrza wentylacyjnego jest piec nadmuchowy HOT POINT M 15 kW [3], którego moc grzewcza równa $N_{GWC} = N_{PC} = N_{WNE} = N_{PN} = 15$ kW. W przypadku pieca nadmuchowego rozpatrzono dwa przypadki spalanej paliwa: węgiel kamienny oraz biomasa w postaci pelletu. Przyjęto sprawność spalania $\eta = 0,9$. W tabeli 5 przedstawiono koszt zakupu i montażu pieca.

Tabela 5. Koszt zakupu i montażu pieca nadmuchowego

	Koszt brutto, PLN
Piec nadmuchowy	1399
Montaż	600
Koszt inwestycji	1999

2.5. Instalacja fotowoltaiczna

W pracy rozpatrzona została możliwość pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną przez instalację wstępnego podgrzewania powietrza wentylacyjnego dostarczanego do rekuperacji przez instalację fotowoltaiczną. W tym celu, dla poszczególnych wariantów (poziomu zużycia energii elektrycznej) obliczono wymaganą moc instalacji PV:

$$P_{PV} = \frac{E_{INS}}{W \cdot Z_1 \cdot Z_2 \cdot Z_3 \cdot V_{str}} \quad (5)$$

gdzie:

- P_{PV} – moc nominalna instalacji fotowoltaicznej, kW_p,
- E_{INS} – zapotrzebowanie na energię elektryczną przez instalację wstępnego podgrzewania powietrza wentylacyjnego, kWh·rok⁻¹,
- W – wskaźnik uwzględniający substytut kosztów magazynowania wyprodukowanej energii elektrycznej przez instalację PV w sieci energetycznej ($W = 0,8$ [14]), -,
- Z_1 – średnia, dzienna liczba godzin słonecznych (przyjęto $Z_1 = 2,62$ h·dzień⁻¹ [10]), h·dzień⁻¹,
- Z_2 – współczynnik związany z odchyleniem od płaszczyzny poziomej (przyjęto $Z_2 = 1,23$ [8]), -,
- Z_3 – współczynnik związany z temperaturą modułu (przyjęto $Z_3 = 0,94$ [8]), -,
- V_{str} – współczynnik uwzględniający straty elektryczne w instalacji bez układu magazynowania energii w akumulatorach, (przyjęto $V = 0,85$ [13]), -.

Z uwagi na zróżnicowaną wielkość instalacji PV, jej koszty (tab. 9) opisano w dyskusji wyników.

2.6. Koszty eksploatacji urządzeń

W celu obliczenia kosztów eksploatacji urządzeń, wykorzystanych w analizowanych systemach wstępnego podgrzewania powietrza wentylacyjnego, wyznaczono czas pracy instalacji w okresie występowania temperatur poniżej 1°C. Sumaryczny przybliżony czas pracy instalacji, w okolicach Warszawy, w założonym zakresie temperatur wynosi $t = 1898$ h. Uwzględniając także wymaganą zmienną moc urządzeń w zależności od temperatury zewnętrznej otoczenia (tab. 6), obliczono roczny koszt eksploatacji urządzeń:

$$K_{ROK} = E_{EL} \cdot Z_{EL} \quad (6)$$

gdzie:

- K_{ROK} – roczny koszt zużycia energii elektrycznej podczas eksploatacji wybranej instalacji, PLN·rok⁻¹,
- E_{EL} – ilość zużytej energii elektrycznej przez daną instalację, kWh·rok⁻¹,
- Z_{EL} – cena energii elektrycznej (przyjęto $Z_{EL} = 0,65$ PLN·kWh⁻¹), PLN·kWh⁻¹.

Tabela 6. Czas występowania temperatury zewnętrznej oraz zapotrzebowanie energetyczne na podgrzanie powietrza nawiewanego do rekuperatora

Temperatura, °C	Czas występowania temperatury*, h	Zużycie energii el. na napęd wentylatora, kWh·rok ⁻¹	Zużycie energii na podgrzanie powietrza nawiewanego			
			GWC, kWh	PN, GJ	PC, kWh·rok ⁻¹	WNE, kWh·rok ⁻¹
-20	4	1	0	0,2	13	60
-19	4	1	0	0,2	13	57
-18	4	1	0	0,2	12	54
-17	10	3	0	0,5	29	129
-16	18	5	0	0,8	49	219
-15	20	5	0	0,8	51	229
-14	28	7	0	1,1	67	301
-13	50	13	0	1,8	112	501
-12	51	13	0	1,7	106	475
-11	53	14	0	1,6	101	455
-10	52	13	0	1,5	91	410
-9	75	19	0	1,9	119	537
-8	90	23	0	2,1	129	580
-7	70	18	0	1,4	89	401
-6	93	24	0	1,7	104	466
-5	130	33	0	2,0	124	559

cd. tabeli 6

-4	150	38	0	1,9	119	537
-3	170	43	0	1,8	108	487
-2	225	57	0	1,7	108	483
-1	380	97	0	2,0	121	544
0	221	56	0	0,6	35	158
suma	1898	484	0	27,5	1700	7643

* czas występowania danej temperatury określono na podstawie [4].

Dodatkowo, w przypadku użytkowania pieca nadmuchowego do kosztów eksploatacji dodano również roczne koszty związane z zakupem paliwa (węgla kamiennego lub pelletu) oraz serwisem automatycznego pieca, wynoszące rocznie 4 tys. PLN (piec pracuje przez około 4 miesiące w roku). W celu osiągnięcia wymaganego rocznego zapotrzebowania na ciepło należy zakupić około 1350 kg węgla kamiennego lub 1700 kg pelletu, co wynika ze wzoru:

$$M_{PAL} = \frac{E_{WNE} \cdot 3600}{Q_w \cdot \eta} \quad (7)$$

gdzie:

- M_{PAL} – masa potrzebnego paliwa, kg,
- E_{WNE} – zużycie energii na podgrzanie powietrza nawiewanego do rekupe-
ratora na podstawie WNE (przyjęto $E_{WNE} = 7,643$ MWh), MWh,
- Q_w – wartość opałowa paliwa (przyjęto: dla biomasy $Q_w = 18$ MJ·kg⁻¹,
dla węgla kamiennego $Q_w = 22,63$ MJ·kg⁻¹ [9], MJ·kg⁻¹,
- η – sprawność pieca nadmuchowego (przyjęto $\eta = 0,9$), -.

2.7. Efekt środowiskowy

Dla rozpatrywanych wariantów istotny jest także aspekt środowiskowy, który można przedstawić w postaci unikniętej emisji dwutlenku węgla do atmosfery (wzór 7), wynikającej z różnego zapotrzebowania na energię elektryczną oraz wykorzystania instalacji PV celem eliminacji energii elektrycznej produkowanej w wyniku spalania węgla kamiennego w elektrowniach/elektrociepłowniach. W tym celu wykorzystano wskaźnik emisji CO₂ dla energii elektrycznej z konwencjonalnych źródeł spalania opartych na wykorzystaniu węgla kamiennego z uwzględnieniem energii elektrycznej dostarczonej do sieci oraz strat przesyłowych, opracowany przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami [10]:

$$E_{CO_2} = W_{e_{CO_2}} \cdot E_{EL} \quad (8)$$

gdzie:

- E_{CO_2} – uniknięta emisja CO₂, kg·rok⁻¹,
- $W_{e_{CO_2}}$ – wskaźnik emisji CO₂ (przyjęto $W_{e_{CO_2}} = 0,825412$ kg·kWh⁻¹ [10],
kg·kWh⁻¹,
- E_{EL} – ilość zużytej energii elektrycznej przez daną instalację, kWh·rok⁻¹.

Uwzględniono również emisję nieunikniętą, powstającą podczas spalania węgla kamiennego w piecu nadmuchowym (wzór 8) na podstawie wskaźnika emisji dla węgla kamiennego:

$$E_{NCO_2} = M_C \cdot We_K \quad (9)$$

gdzie:

- E_{CO_2} – nieuniknięta emisja CO₂, kg·rok⁻¹,
- M_C – masa węgla kamiennego, kg·rok⁻¹,
- We_{CO_2} – wskaźnik emisji CO₂ (przyjęto $We_K = 94,73$ kg·GJ⁻¹ [9]), kg·GJ⁻¹.

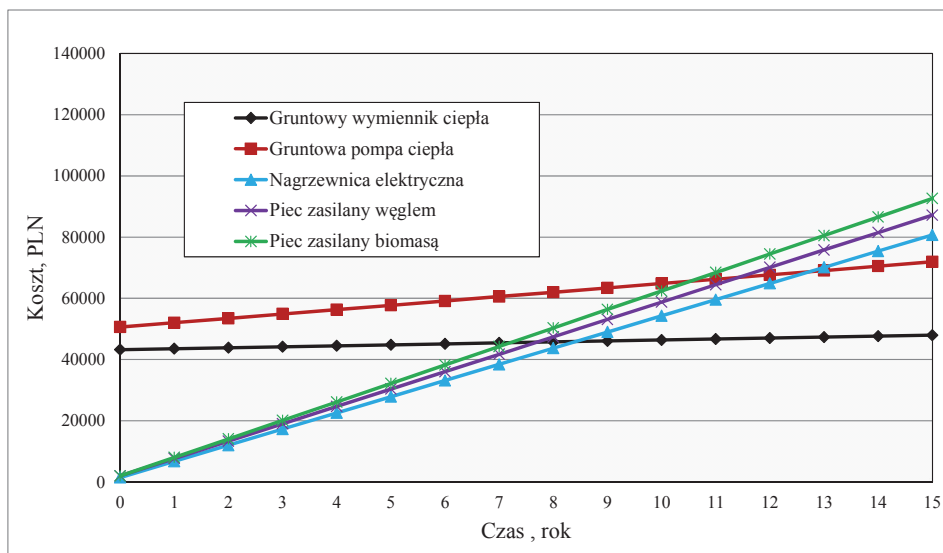
3. DYSKUSJA WYNIKÓW

Na podstawie przeprowadzonej analizy ekonomicznej (tab. 7, rys. 1) rozpatrywanych systemów wstępnego ogrzewania powietrza wentylacyjnego doprowadzanego do mechanicznej wentylacji z odzyskiem ciepła (rekuperacji) można wnioskować, że najdroższym systemem w czasie piętnastoletniego okresu eksploatacji jest piec nadmuchowy oraz wstępna nagrzewnica elektryczna. Generowane koszty przez PN i WNE początkowo są bardzo niskie względem GWC i PC. Jednak uwzględniając wysokie koszty eksploatacji wstępnej nagrzewnicy elektrycznej (około 6 tys. PLN·rok⁻¹), po ok. 8 latach gruntowy wymiennik ciepła, a po ok. 13 latach gruntowa pompa ciepła są bardziej opłacalne pod względem ekonomicznym.

Najniższymi kosztami inwestycyjnymi, ale najwyższymi kosztami eksploatacyjnymi charakteryzuje się piec nadmuchowy. W tym przypadku koszt rocznego użytkowania pieca, uwzględniający zakup paliwa, zasilanie pompy oraz obsługę serwisową zajmującą się okresowym zasypem automatycznego podajnika oraz czyszczeniem urządzenia, jest 3-krotnie wyższy niż zakup i montaż samego systemu ogrzewania powietrza. Sytuacja, w której GWC będzie tańszym źródłem ciepła, szacowana jest na okres około 7-8 lat eksploatacji (w zależności od rodzaju spalanego paliwa w piecu nadmuchowym). Dodatkowo należy zaznaczyć, że żywotność urządzeń grzewczych jest znacznie niższa niż gruntowego wymiennika ciepła, co może generować wyższe koszty związane z wymianą i naprawą pieca nadmuchowego w trakcie długiego okresu użytkowania.

Tabela 7. Zestawienie generowanych kosztów przez zastosowane warianty podgrzewania powietrza nawiewanego do rekuperatora

	Koszt inwestycyjny, PLN (brutto)	Koszt eksploatacyjny, PLN·rok ⁻¹ (brutto)
Gruntowy wymiennik ciepła	43 246	315
Pompa ciepła	50 629	1 420
Wstępna nagrzewnica elektryczna	1 472	5 283
Piec zasilany biomasa	1 999	6 041
Piec zasilany węglem kamiennym	1 999	5 678



Rys. 1. Sumaryczne koszty inwestycyjne i eksploatacyjne instalacji podgrzewania powietrza wentylacyjnego w funkcji czasu

Jednostkowe koszty rocznej eksploatacji systemów grzewczych przedstawiono w tabeli 8. Zastosowanie gruntowego wymiennika ciepła jest dla użytkowników (mieszkańców) najbardziej ekonomiczną metodą wstępnego ogrzewania powietrza, wynoszącą $0,45 \text{ PLN}\cdot\text{m}^2\cdot\text{rok}^{-1}$. Jest to koszt prawie 20-krotnie niższy w stosunku do systemu z wykorzystaniem pieca nadmuchowego zasilanego biomasa.

Tabela 8. Roczny koszt ogrzania 1 m^2 powierzchni użytkowej w rozpatrywanym budynku wielorodzinnym

	Koszt rocznej eksploatacji, $\text{PLN}\cdot\text{m}^2\cdot\text{rok}^{-1}$ (brutto)
Gruntowy wymiennik ciepła	0,45
Pompa ciepła	2,02
Wstępna nagrzewnica elektryczna	7,51
Piec zasilany biomasa	8,58
Piec zasilany węglem kamiennym	8,07

Ze względu na obecne trendy i funkcjonującą ideę zrównoważonego rozwoju coraz większy nacisk stawia się na ograniczenie emisji CO_2 i wykorzystanie konwencjonalnych źródeł energii. Z analizowanych wariantów najniższą emisją dwutlenku węgla do atmosfery charakteryzują się GWC oraz PN zasilany biomasa. Emisja CO_2 wynosi poniżej $400 \text{ kg}\cdot\text{rok}^{-1}$ i wynika jedynie ze zużycia energii elektrycznej niezbędnej do napędu wentylatora powietrza. Należy jednak zaznaczyć, że w przypadku spalania biomasy występuje emisja innych zanieczyszczeń do atmosfery (pył, CO , NO_x i inne), których nie ma w instalacji GWC. Najwyższą emisją CO_2 charakteryzuje się nagrzewnica elektryczna (po-

nad $6700 \text{ kg} \cdot \text{rok}^{-1}$) oraz PN zasilany węglem kamiennym (około $3000 \text{ kg} \cdot \text{rok}^{-1}$). Pompa ciepła odznacza się umiarkowaną emisją dwutlenku węgla wynoszącą około $1800 \text{ kg} \cdot \text{rok}^{-1}$.

Emisji CO_2 do atmosfery związanej z wykorzystaniem energii elektrycznej można jednak w większości przypadków uniknąć poprzez zastosowanie instalacji fotowoltaicznej (tab. 9). W ten sposób można dla przykładu w ciągu roku uniknąć emisji około $6,7 \text{ Mg}$ dwutlenku węgla związanej z eksploatacją nagrzewnicy elektrycznej (tab. 9, rys. 2).

Tabela 9. Zużycie energii elektrycznej i wielkość emisji CO_2 w instalacjach

	Energia potrzebna do napędu wentylatora (przepływu powietrza), kWh	Energia potrzebna do ogrzania powietrza	Emisja CO_2 , $\text{kg} \cdot \text{rok}^{-1}$	Emisja CO_2 nieuniknięta przy zastosowaniu instalacji PV, $\text{kg} \cdot \text{rok}^{-1}$
Gruntowy wymiennik ciepła	484	0	399	0
Pompa ciepła	484	1700 kWh	1803	0
Wstępna nagrzewnica elektryczna	484	7643 kWh	6708	0
Piec zasilany biomasą	484	27,5 GJ	399*	0
Piec zasilany węglem kamiennym	484	27,5 GJ	3 006	2606

*nie uwzględniono emisji CO_2 ze spalania biomasy, ponieważ przyjmuje się ją równą zeru.

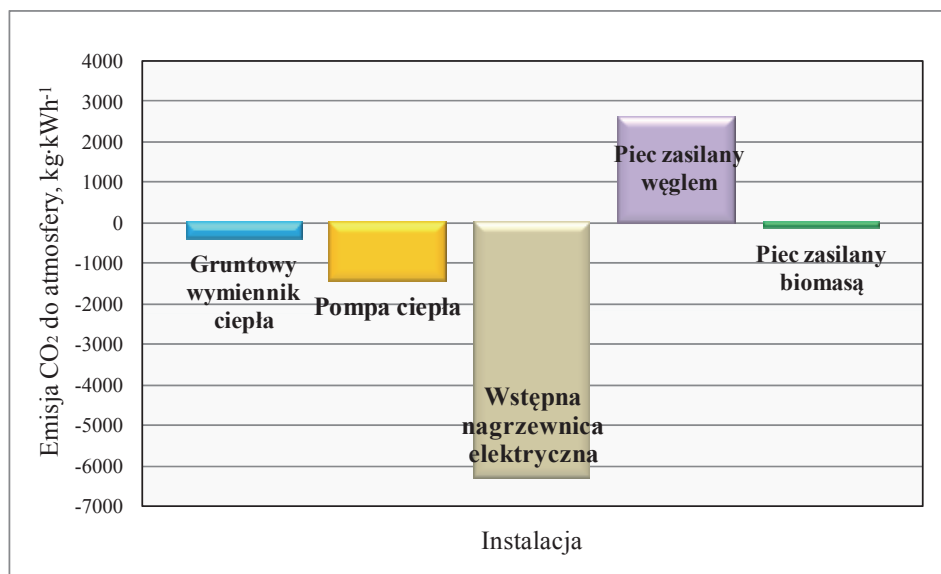
Jednak zastosowanie instalacji fotowoltaicznej wiąże się z dodatkowymi kosztami inwestycyjnymi, zależnymi od wielkości instalacji (tab. 10). Najwyższymi kosztami charakteryzuje się wstępna nagrzewnica elektryczna (ok. $42\,000 \text{ PLN}$), ze względu na dużą energochłonność grzałki elektrycznej. Najniższe koszty inwestycyjne generuje piec nadmuchowy i gruntowy wymiennik ciepła (prawie $7\,000 \text{ PLN}$), ponieważ pokrywane jest wówczas tylko zapotrzebowanie na energię elektryczną przez wentylator.

Tabela 10. Charakterystyka instalacji fotowoltaicznych

	Moc instalacji, kW_p	Koszt instalacji PV, PLN (brutto)
Gruntowy wymiennik ciepła	0,64	6 805
Pompa ciepła	2,26	14 915
Wstępna nagrzewnica elektryczna	10,17	41 700
Piec zasilany biomasą	0,64	6 805
Piec zasilany węglem kamiennym	0,64	6 805

Takie podejście o charakterze ekologicznym i zrównoważonym powoduje, że piec nadmuchowy zasilany węglem kamiennym jest nieekologiczny ze względu na niemożliwą do uniknięcia emisję $2,6 \text{ Mg}$ CO_2 do atmosfery w skali roku.

Natomiast w przypadku pieca nadmuchowego zasilanego biomasą przyjmuje się emisję równą zero. Wynika to z ilości pochłoniętego dwutlenku węgla przez rośliny w fazie wzrostu, która jest w przybliżeniu równa ilości CO₂ wyemitowanej następnie podczas zbioru, przetwarzania, transportu i spalania biomasy.



Rys. 2. Emisja CO₂ do atmosfery przy zastosowaniu instalacji PV w rozpatrywanych systemach podgrzewania powietrza nawiewanego do rekuperatora

Można zatem stwierdzić, że zastosowanie instalacji fotowoltaicznej jest interesującą alternatywą i sposobem na redukcję emisji CO₂ do atmosfery w aspekcie zrównoważonego rozwoju w przypadku konieczności poboru energii elektrycznej z sieci elektroenergetycznej.

4. PODSUMOWANIE

Dobór odpowiedniego systemu podgrzewania powietrza wentylacyjnego dostarczanego do systemów rekuperacji w budynkach pasywnych zależy jest od czynników finansowych i środowiskowych. Ze względu na koszty inwestycyjne najbardziej opłacalny wydaje się montaż pieca nadmuchowego lub nagrzewnicy, jednak uwzględniając dodatkowo koszty eksploatacyjne są to w dłuższym okresie bardzo niekorzystne rozwiązania pod względem ekonomicznym. Dodatkowo są to systemy niezalecane w kontekście środowiskowym, ponieważ przyczyniają się do zużycia paliwa kopalnego ulegającego powolnemu wyczerpywaniu oraz emisji znacznych ilości dwutlenku węgla w skali globalnej.

W kontekście środowiskowym, jak również ekonomicznym najlepszymi rozwiązaniami są systemy wykorzystujące odnawialne źródła energii, czyli gruntowy wymiennik ciepła oraz gruntowa pompa ciepła. Dodatkowo wielkość

emisji CO₂ związaną z pracą wentylatora, pompy czy urządzeń sterujących można ograniczyć stosując instalację fotowoltaiczną.

Należy podkreślić, że wybór systemu zależy finalnie od inwestora, jednak uwzględniając obecną świadomość ekologiczną i kierunek zrównoważonego rozwoju preferowane są coraz częściej instalacje niskoemisyjne.

LITERATURA

- [1] Firląg S., Mijakowski M., 2004. Projekt gruntowego wymiennika ciepła. Narodowa Agencja Poszanowania Energii S.A. Warszawa.
- [2] Główny Urząd Statystyczny, 2017. Zużycie energii elektrycznej w gospodarstwach domowych w 2015 r. Zakład Wydawnictw Statystycznych Warszawa.
- [3] http://piecnadmuchowy.pl/?17,pl_piec-nadmuchowy-typu-hot-point-m, dostęp: 1.08.2017 r.
- [4] <http://www.rynekinstalacyjny.pl/artukul/id115,wspolpraca-wentylacji-mechanicznej-z-gwc-w-budynku-pasywnym/>, dostęp: 1.08.2017 r.
- [5] <http://vikersonn.eu/pompa-ciepla-cennik/Vikersonn-Bjorn-15-gruntowa-pompa-ciepla>, dostęp: 1.08.2017 r.
- [6] <http://sklep.wentylatorownia.pl/nagrzewnica-elektryczna-dh-355-150-t.html>, dostęp: 1.08.2017 r.
- [7] Idczak M., 2007. Ogólna koncepcja budynku pasywnego. Instytut Budynków Pasywnych przy Narodowej Agencji Poszanowania Energii Warszawa.
- [8] Klugmann-Radziemska E., 2010. Fotowoltaika w teorii i praktyce. Wydawnictwo BTC Legionowo.
- [9] Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, 2015. Wskaźniki emisyjności CO₂ dla energii elektrycznej u odbiorców końcowych. IOŚ-PIB Warszawa.
- [10] Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, 2014. Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO₂ (WE) w roku 2012 do raportowania w ramach Wspólnotowego Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2015. Warszawa.
- [11] ONZ, 1987. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future.
- [12] Telizyn A., 2011. Grunt to dobry grunt, czyli jak dobrać dolne źródło [online]. dostęp zdalny: <http://www.blog.karbon.com.pl/ogrzewanie/grunt-to-dobry-grunt-czyli-jak-dobrac-dolne-zrodlo/>, dostęp: 1.08.2017 r.
- [13] Szymański B., 2016. Instalacje fotowoltaiczne. Wydanie V. GEOSYSTEM, Redakcja GLOBEnergia Kraków.
- [14] Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (Dz.U. 2015 poz. 478 ze zm.).