

# Wpływ systemu ogrzewania na zużycie energii i koszty eksploatacyjne budynku

Dr inż. Krzysztof Arendt, dr hab. inż. Marek Krzaczek, mgr inż. Romana Antczak, prof. dr hab. inż. Jacek Tejchman, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska

## 1. Wprowadzenie

Koszty budynku można podzielić na koszty inwestycyjne (początkowe), eksploatacyjne (użytkowania) i ewentualne koszty rozbiórki i utylizacji. Suma tych kosztów jest definiowana jako koszt cyklu życia budynku (ang. *life-cycle cost*). Inwestorzy planujący budowę budynku na sprzedaż zainteresowani są przede wszystkim kosztami początkowymi. Niższe koszty początkowe wiążą się zwykle ze zwiększonymi kosztami eksploatacyjnymi, które po sprzedaży budynku są przejęte przez użytkowników. Inwestorzy, którzy pozostają właścicielami budynku po jego ukończeniu i wynajmują jego powierzchnię użytkową bądź sami zostają jego użytkownikami, starają się zoptymalizować koszty cyklu życia.

W krajach rozwiniętych ok. 40% całkowitego zużycia energii pochłaniana jest przez budynki [1], [2], z czego ponad 55% wykorzystywana jest do ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń [1]. Obecnie większość z tej energii dostarczana jest ze źródeł nieodnawialnych, co przyczynia się do degradacji środowiska naturalnego i znacznych kosztów ogrzewania/chłodzenia. Ograniczenie zapotrzebowania budynków na energię nieodnawialną może zostać uzyskane poprzez:

- redukcję zapotrzebowania budynku na ciepło użytkowe,
- wzrost sprawności systemu ogrzewania,
- wykorzystanie energii odnawialnej.

W celu zmniejszenia zapotrzebowania budynku na ciepło użytkowe dąży się do redukcji współczynnika przenikania ciepła  $U$  [ $W/(m^2K)$ ] zewnętrznych przegród budynku, np. poprzez zwiększenie grubości termoizolacji czy zastosowanie energooszczędnej stolarki okiennej/drzwiowej. Jest to najprostszy sposób na ograniczenie zapotrzebowania budynku na energię użytkową, a co za tym idzie także na końcową i pierwotną. Trwałość poprawnie wykonanego ocieplenia w systemie BSO szacowana jest na 30 lat [3], czyli 5–15 lat więcej niż trwałość typowych kotłów, pomp ciepła czy kolektorów słonecznych.

Zastosowanie systemów o większej sprawności lub systemów pozyskujących energię ze źródeł odnawialnych

potrafi znacząco zmniejszyć zapotrzebowanie budynku na energię końcową i pierwotną, jednak wybór najbardziej optymalnego rozwiązania z ekonomicznego punktu widzenia nie jest łatwy. Na późniejsze koszty ogrzewania wpływ ma nie tylko sprawność systemu, ale także koszty nośników energii (paliwa), które podlegają trudnym do przewidzenia wahaniom zależącym od dostępności i sytuacji geopolitycznej. Z punktu widzenia kosztów utrzymania należy wziąć pod uwagę nie tylko koszt początkowy i koszty ogrzewania/chłodzenia, ale także cykliczne koszty wymiany urządzeń, których trwałość wynosi zwykle między 10–25 lat. Efekty decyzji, czy lepiej ponieść większy koszt początkowy (np. wybór pompy ciepła), czy zastosować tańsze rozwiązanie i ponieść wyższe koszty ogrzewania, zależy także od sytuacji gospodarczej (dostępność kredytów, inflacja).

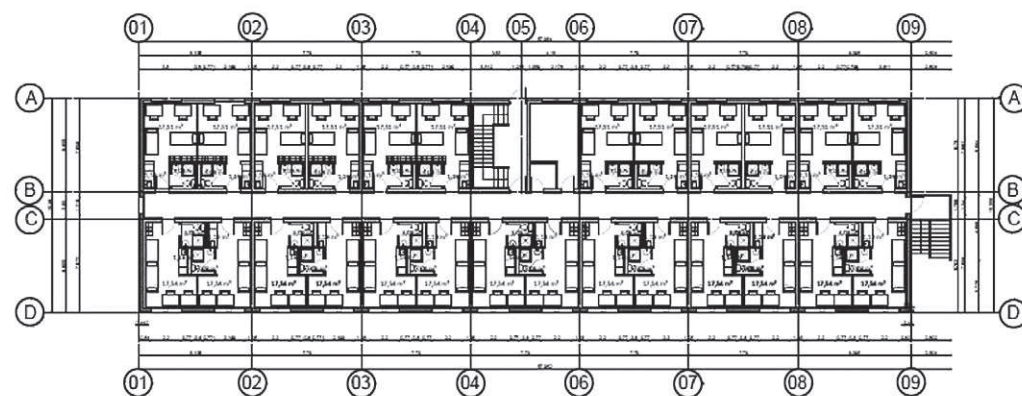
W artykule przedstawiono analizę energetyczną i ekonomiczną budynku zamieszkania zbiorowego (dom studencki) w zależności od zastosowanego systemu ogrzewania. Celem obliczeń było porównanie technologii tradycyjnych oraz nowoczesnych bazujących na energii odnawialnej pod kątem rocznych kosztów eksploatacyjnych oraz zapotrzebowania na energię końcową i pierwotną. Ze względu na mnogość i niepewność czynników wpływających na opłacalność danego rozwiązania zastosowano podejście uproszczone, tj. dla każdego systemu obliczono roczne koszty ogrzewania budynku powiększone o amortyzację systemu centralnego ogrzewania (CO). Amortyzacja w tym przypadku odzwierciedla stałe kwoty odkładane w celu odtworzenia systemu ogrzewania po okresie jego trwałości. Analizowany budynek nie jest wyposażony w system chłodzenia.

## 2. Opis budynku i wariantów technologicznych

Analizowany budynek (rys. 1) jest domem studenckim w kampusie Uniwersytetu Klaipėdskiego (Litwa) budowanym w ramach projektu „Longlife Invest” (Baltic Sea Region Programme 2007–2013, INTERREG IVB). Projekt Longlife Invest jest kontynuacją projektu Longlife realizowanego w latach 2009–2012 przy współpracy Danii, Niemiec, Litwy, Polski i Rosji, którego efektem było



**Rys. 1.**  
Elewacja frontowa  
akademika  
w Kłajpedzie  
(północno-wschodnia)



First floor

**Rys. 2.**  
Rzut typowej  
kondygnacji  
akademika  
w Kłajpedzie

opracowanie zunifikowanych standardów budownictwa zrównoważonego dla krajów regionu bałtyckiego [4, 5, 6] oraz stworzenie projektów pilotażowych budynków [7], minimalizujących koszty cyklu życia budynku, zużycie energii i emisję CO<sub>2</sub>. Budynek domu studenckiego jest implementacją litewskiego projektu pilotażowego. Budynek wykonany będzie w technologii tradycyjnej murywanej (bloczki gazobetonowe, ściany trójwarstwowe z pustką powietrzną) ze stropami monolitycznymi, popularnej także w Polsce. Budowa domu rozpoczęła się w listopadzie 2014 roku. Przybliżony koszt realizacji budynku wynosi 7 mln zł. Budynek ma 3 kondygnacje i 2117,16 m<sup>2</sup> powierzchni użytkowej. Przeznaczony jest dla 156 studentów zakwaterowanych w 78 dwuosobowych pokojach (rys. 2). Budynek wyposażony jest w system wentylacji grawitacyjnej. Przegrody zewnętrzne charakteryzują się niskim współczynnikiem przenikania ciepła wynoszącym:

- ściany trójwarstwowe z pustką powietrzną,  $U=0,12$  W/(m<sup>2</sup>K),
- stropodach,  $U=0,16$  W/(m<sup>2</sup>K),
- podłoga na gruncie,  $U=0,16$  W/(m<sup>2</sup>K),
- okna dwukomorowe,  $U=0,78$  W/(m<sup>2</sup>K).

Obliczenia zapotrzebowania na energię na potrzeby niniejszego artykułu przeprowadzono dla bazy klimatycznej Elbląga, która odpowiada także warunkom klimatycznym panującym w Kłajpedzie (średnia roczna temperatura w Elblągu 7,2 °C, a w Kłajpedzie 7,0 °C).

Zapotrzebowanie budynku na energię użytkową do celów ogrzewania i wentylacji wynosi 36,85 kWh/(m<sup>2</sup>rok) i zostało wyznaczone przy założeniu stałej krotności wymian powietrza w budynku  $n=0,5$  h<sup>-1</sup> (okres grzewczy wrzesień-maj). Analizie poddano następujące warianty technologiczne systemu CO i CWU:

- 1 – kocioł gazowy kondensacyjny jednofunkcyjny z zasobnikiem CWU i zamkniętą komorą spalania, grzejniki płytowe,
- 2 – kocioł podajnikowy na ekogroszek z zasobnikiem CWU, grzejniki płytowe,
- 3 – kocioł podajnikowy na pellety drewniane z zasobnikiem CWU, grzejniki płytowe,
- 4A – pompa ciepła glikol/woda z kolektorem gruntowym w pełni pokrywająca zapotrzebowanie CO i CWU, ogrzewanie podłogowe,
- 4B – pompa ciepła glikol/woda z kolektorem gruntowym w 100% pokrywająca zapotrzebowanie CO i w 80% CWU (pozostałe 20% grzałka elektryczna), ogrzewanie podłogowe,
- 4C – pompa ciepła glikol/woda z kolektorem gruntowym w 100% pokrywająca zapotrzebowanie CO i w 60% CWU (pozostałe 40% grzałka elektryczna), ogrzewanie podłogowe,
- 5 – pompa ciepła glikol/woda z kolektorem gruntowym w 100% pokrywająca zapotrzebowanie CO i w 60% CWU (pozostałe 40% kolektory słoneczne), ogrzewanie podłogowe.

Sprawności poszczególnych systemów (tabele 1 i 2) wyznaczono na podstawie danych z rozporządzenia w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynków [8] (wersja obowiązująca do 3.10.2014 r.). Są to dane reprezentatywne dla danych klas rozwiązań technologicznych. W wariantach 1, 2 i 3 założono ogrzewanie wodne z grzejnikami płytowymi oraz regulacją centralną adaptacyjną i miejscową. W wariantach 4 i 5 przyjęto ogrzewanie podłogowe. We wszystkich przypadkach przewody ciepłe są izolowane, a źródło ciepła znajduje się wewnątrz ogrzewanego budynku. Bufor CO zastosowano jedynie w wariantach z pompą ciepła (warianty 4 i 5). We wszystkich wariantach

**Tabela 1.** Sprawności cząstkowe i całkowite systemów CO

Wariant CO	1	2	3	4A, 4B, 4C	5
Opis	Kocioł gazowy kondensacyjny	Kocioł na ekogroszek	Kocioł na pellety drewniane	Pompa ciepła	Pompa ciepła
Sprawność regulacji	0,985	0,985	0,985	0,950	0,950
Sprawność przesyłu	0,970	0,970	0,970	0,970	0,970
Sprawność układu akumulacji	1,000	1,000	1,000	0,970	0,970
Sprawność wytwarzania ciepła	0,890	0,820	0,720	3,400	3,400
Sprawność całkowita systemu CO	0,850	0,783	0,688	3,039	3,039

**Tabela 2.** Sprawności cząstkowe i całkowite systemów CWU

Wariant CWU	1	2	3	4A, 4B, 4C		5	
Opis	Kocioł gaz. kondens.	Kocioł na ekogroszek	Kocioł na pellety drew.	Pompa ciepła	Grzałka elektr.	Pompa ciepła	Kolektory słoneczne
Sprawność przesyłu	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	tylko energia pomocnicza (elektryczna) dla pompy i regulacji
Sprawność układu akumulacji	0,845	0,845	0,845	0,845	0,845	0,845	
Sprawność wytwarzania ciepła	0,905	0,710	0,710	3,300	0,975	3,300	
Sprawność całkowita systemu CWU	0,459	0,360	0,360	1,673	0,494	1,673	

**Tabela 3.** Koszty początkowe i amortyzacja systemów CO/CWU

System CO/CWU	Koszt brutto [PLN]	Trwałość [lata]	Amortyzacja [PLN/rok]
Pompa ciepła	170000	20	8500
Kotłownia gazowa kondensacyjna	40000	20	2000
Kotłownia na ekogroszek	30000	25	1200
Kotłownia na pellety drewniane	30000	25	1200
Kolektory słoneczne	312000	20	15600

**Tabela 4.** Ceny nośników energii

Nośnik energii	Koszt [PLN/kWh]
Energia elektryczna (G11)	0,56
Energia elektryczna, okres szczytowy (G12)	0,67
Energia elektryczna, okres pozaszczytowy (G12)	0,29
Gaz ziemny (W-4)	0,32
Ekogroszek	0,14
Pellety drewniane	0,18

instalacja CWU wyposażona jest w obiegi cyrkulacyjne, przewody izolowane oraz zasobnik CWU. Wariant 4 podzielono na przypadki A, B i C w celu uwzględnienia zmniejszonej sprawności pompy ciepła w wyniku wychłodzenia dolnego źródła ciepła przez nadmierną eksploatację i/lub niekorzystne warunki klimatyczne. W wariantcie 5 założono, że budynek wyposażono w instalację wodnych kolektorów słonecznych płaskich o łącznej powierzchni 130 m<sup>2</sup>, pokrywających 40%

całkowitego zapotrzebowania na energię do przygotowania CWU. Nie uwzględniono możliwości dodatkowego ładowania dolnego źródła ciepła pompy ciepła przez kolektory słoneczne w okresach nadmiaru energii słonecznej. Wpływ takiej współpracy na sprawność pompy jest trudny do oszacowania bez danych doświadczalnych.

Koszty początkowe poszczególnych urządzeń grzewczych przedstawiono w tabeli 3. Koszty kotłów oraz pompy ciepła oszacowano na podstawie polskich danych rynkowych dla urządzeń o mocy ok. 85-100 kW. Koszt kolektorów słonecznych płaskich został przyjęty jako równy 2400 zł brutto na 1 m<sup>2</sup> kolektora [9] (łącznie 130 m<sup>2</sup>). Trwałość urządzeń została oszacowana na 20-25 lat, co jest okresem znacznie dłuższym niż gwarancja producentów na tego typu urządzenia.

Założono, że ceny energii są stałe (tabela 4). Cena energii elektrycznej w taryfie G11 jest w przybliżeniu średnią ceną dla całej Polski w roku 2014, uwzględniającej opłaty dla sprzedawcy i operatora (dystrybucja). Ceny w taryfie G12 zostały wyliczone jako 119% i 51% stawki z taryfy G11, odpowiednio dla okresu szczytowego

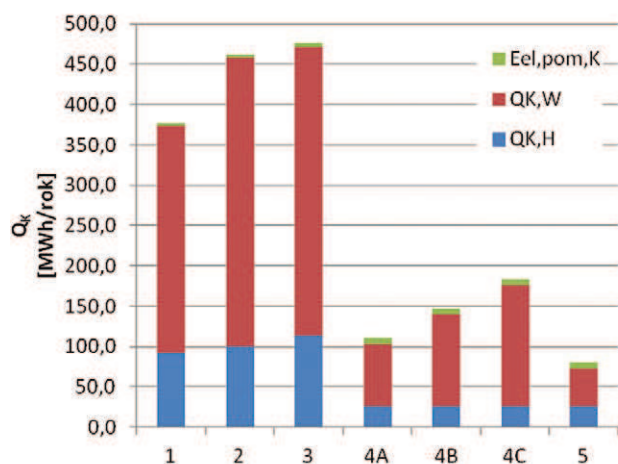
i pozaszczytowego, na podstawie kalkulatora energii elektrycznej ENEA S.A. [10]. Koszt pozostałych nośników energii wyliczono przy założeniach:

- koszt gazu ziemnego 3,5 zł/m<sup>3</sup> (taryfa W-4), wartość opałowa 11,1 kWh/m<sup>3</sup>,
- koszt ekogroszku 900 zł/tona, wartość opałowa 24 MJ/kg (6,7 kWh/kg),
- koszt pellet drewnianych 900 zł/tona, wartość opałowa 18 MJ/kg (5,0 kWh/kg).

Powyższe założenia oparte na danych rynkowych zebranych przez autorów (stan na rok 2014). We wszystkich przypadkach koszt energii elektrycznej wyliczono w oparciu o stałe w ciągu doby stawki według taryfy G11. W przypadku 4A dodatkowo wyliczono koszt energii elektrycznej według taryfy G12 przy założeniu, że 40% poboru energii odbywa się w porze szczytowej, a 60% w porze pozaszczytowej.

### 3. Wyniki

Zapotrzebowanie budynku na energię końcową zależy od zapotrzebowania na energię użytkową i sprawność systemu CO i CWU. Przedstawiony budynek ma niskie zapotrzebowanie na energię użytkową do celów ogrzewania  $Q_{H,nd} = 36,85 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$  i ze względu na dużą liczbę mieszkańców (156) większość energii

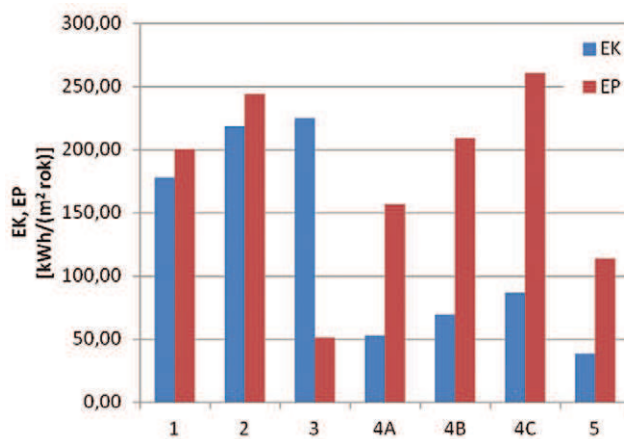


**Rys. 3.** Zapotrzebowanie na energię końcową do celów ogrzewania (QK,H) do przygotowania CWU (QK,W) dla urządzeń pomocniczych (Eel,pom,K) [MWh/rok]

zużywana jest do przygotowania CWU (rys. 3). Największe zapotrzebowanie na energię końcową mają warianty technologiczne oparte na energii nieodnawialnej. Zapotrzebowanie kotła gazowego kondensacyjnego wynosi 376,9 MWh/rok, kotła na ekogroszek 461,9 MWh/rok i kotła na pellety 475,7 MWh/rok. Rozwiązania oparte na pompie ciepła (warianty 4 i 5) mają 2–6 razy mniejsze zapotrzebowanie na energię końcową wynoszące od 80,0 MWh/rok (wariant 5) do 183,9 MWh/rok (wariant 4C). We wszystkich przypadkach zapotrzebowanie na energię elektryczną dla urządzeń

pomocniczych (pompy, sterowniki) jest niewielkie i wynosi od 4,4 MWh/rok dla kotłów do 8,1 MWh/rok dla instalacji pompy ciepła z kolektorami słonecznymi.

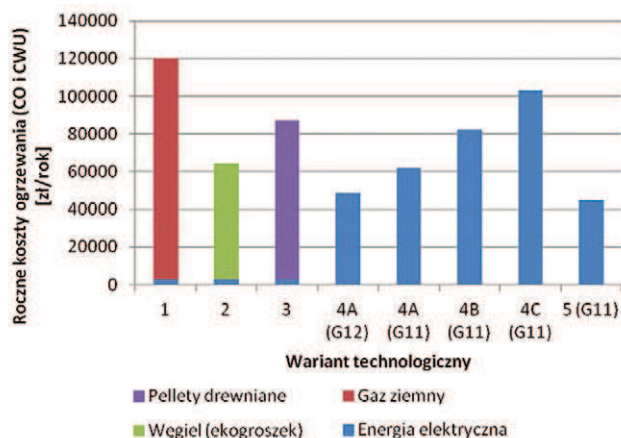
Ze względu na niekorzystne dla energii elektrycznej wskaźniki nakładu energii nieodnawialnej ( $w=3,0$ ), rozwiązania oparte na pompie ciepła (warianty 4A, 4B i 4C) mają porównywalne (EP od 156 do 261 kWh/(m<sup>2</sup>rok)) zapotrzebowanie na energię pierwotną do wariantów z kotłem gazowym (wariant 1) i kotłem węglowym (wariant 2) (rys.4). Zastosowanie kolektorów słonecznych zmniejsza to zapotrzebowanie w przybliżeniu o połowę. Z drugiej strony korzystny wskaźnik nakładu energii nieodnawialnej dla biomasy ( $w=0,2$ ) sprawia, że wariantem o najniższym zapotrzebowaniu na energię pierwotną jest kocioł na pellety drewniane: EP=50,75 kWh/(m<sup>2</sup>rok). Z uwagi na 2–3 krotnie wyższe ceny energii elektrycznej (za 1 kWh) niż pozostałych analizowanych nośników energii wariant z pompą ciepła ma porównywalne koszty ogrzewania i przygotowania CWU (rys. 5) do wariantów z kotłem na ekogroszek (64220 zł/rok) i na pellety drewniane (87296 zł/rok). Koszt ogrzewania i przygotowania CWU w przypadku pompy ciepła zależy od stopnia, w jakim zapotrzebowanie na energię musi zostać uzupełnione przez pomocniczą grzałkę elektryczną. W przypadku kiedy grzałka elektryczna nie jest konieczna (4A), koszt ogrzewania wynosi 61707 zł/rok w taryfie G11 i 48704 zł/rok w taryfie G12 (60% energii pobierana w okresie pozaszczytowym). Koszt ogrze-



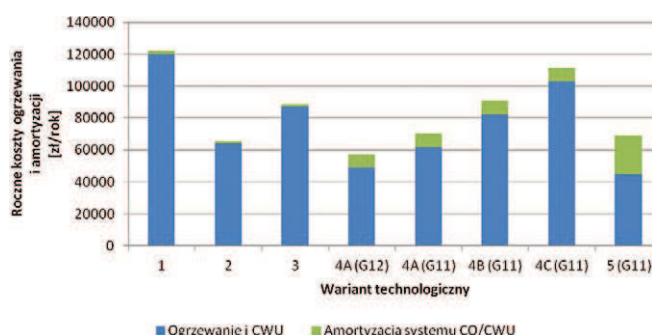
**Rys. 4.** Wskaźniki EP i EK [kWh/(m<sup>2</sup>rok)]

wania gwałtownie rośnie, kiedy konieczna jest pomoc grzałki elektrycznej i przy pokryciu przez nią 20% zapotrzebowania energii do przygotowania CWU wynosi 8294 zł/rok, a przy 40% 102960 zł/rok (taryfa G11). Najwięcej kosztuje ogrzewanie budynku kotłem gazowym kondensacyjnym – 119925 zł/rok.

Po uwzględnieniu amortyzacji systemu CO/CWU (tabela 3) najkorzystniejszym ekonomicznie wariantem jest wariant 4A w taryfie G12 (57204 zł/rok) – rys. 6. Trudno jednak zakładać, że przez cały okres użytkowania pompa ciepła będzie w stanie pokryć 100% zapotrzebowania



**Rys. 5.** Roczne koszty ogrzewania (CO i CWU) [PLN/rok] z rozróżnieniem na nośniki energii



**Rys. 6.** Roczne koszty ogrzewania (CO i CWU) [PLN/rok] powiększone o koszty amortyzacji źródła ciepła

na energię zwłaszcza w zakresie przygotowania CWU. Po uwzględnieniu współpracy pompy ciepła z grzałką elektryczną, koszt eksploatacyjny znacznie rośnie. Dwa najkorzystniejsze warianty to instalacja z kotłem na ekogroszek (65420 zł/rok) oraz instalacja z pompą ciepła i kolektorami słonecznymi (68884 zł/rok). Ta ostatnia charakteryzuje się najniższymi kosztami energii, jednak jednocześnie 16-krotnie większymi kosztami inwestycyjnymi i związanymi z nimi kosztami amortyzacji (tabela 3).

#### 4. Podsumowanie

Przemyślany dobór systemu ogrzewania i rodzaju paliwa może zmniejszyć koszty eksploatacyjne związane z ogrzewaniem i przygotowaniem CWU ponad dwukrotnie. Różnica pomiędzy ogrzewaniem przedstawionego budynku kotłem gazowym kondensacyjnym a ogrzewaniem ekogroszkiem wynosi ponad 56 tys. zł rocznie. Ze względu na korzystny współczynnik nakładu energii nieodnawialnej dla drewna (biomasa,  $w=0,2$ ), wariant z kotłem na pellety uzyskał z kolei najniższe zapotrzebowanie na energię pierwotną  $EP=50,75 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$ , pomimo najwyższego zapotrzebowania na energię końcową  $EK=224,69 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$ . Ogrzewanie budynku paliwami stałymi

wiąże się jednak z potrzebą cyklicznego uzupełniania podajnika i stałej kontroli nad ciągłością podawania paliwa. Budynek z kotłowniami na paliwa stałe muszą mieć także przewidziane miejsce na przechowywanie zapasów paliwa, co zmniejsza powierzchnię użytkową budynku i rentowność inwestycji (mniejsza powierzchnia na sprzedaż/wynajem). Pompa ciepła w przedstawionych wariantach z grzałką elektryczną nie przynosi znaczących efektów ekonomicznych. W zależności od stopnia wykorzystania grzałki koszt ogrzewania i amortyzacji może być od 8000 zł niższy do nawet 46000 zł wyższy w stosunku do ogrzewania ekogroszkiem. Rozwiązaniem tego problemu może być połączenie instalacji pompy ciepła z kotłem gazowym zamiast grzałką elektryczną (o ile budynek zlokalizowany jest w pobliżu sieci gazu ziemnego). Także połączenie instalacji pompy ciepła z instalacją solarną przynosi wymierne korzyści ekonomiczne. Koszty ogrzewania z uwzględnieniem amortyzacji są w tym wariantcie prawie 40% niższe niż w analogicznym przypadku pompy ciepła z grzałką elektryczną. Dla tak dużego budynku jednak koszt inwestycyjny instalacji solarnej jest niemal dwukrotnie większy od kosztu pompy ciepła. Poza tym w okresach niedoboru energii słonecznej i niskich temperatur zewnętrznych korzystanie z pompy ciepła może być mniej opłacalne niż z innych źródeł energii (gaz, węgiel, biomasa).

Artykuł został opracowany w ramach projektu „Longlife Invest” (Baltic Sea Region Programme 2007–2013, INTERREG IVB, projekt #106) współfinansowanego przez Unię Europejską (Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego).

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Balaras C.A., Drousta K., Dascalaki E., Kontoyiannidis S., Heating energy consumption and resulting environmental impact of European apartment buildings, *Energy and Buildings* 37 (2005), str. 429-442
- [2] 2011 Buildings Energy Data Book, U.S. Department of Energy, <http://buildingsdatabook.eere.energy.gov>, Marzec 2012
- [3] Sobala M., Pichniarczyk P., Błędy wykonawcze w ocieplaniu ścian zewnętrznych systemem ETICS (BSO), *IZOLACJE* 6/2009
- [4] Longlife Report 2, Development of standards, criteria, specifications, Ed. K. Rückert, TU Berlin Publications, Berlin, 2010. (ISBN 978-3-7983-2213-4)
- [5] Longlife Report 3.1, Sustainable, energy efficient and resource saving residential design, Ed. K. Rückert, TU Berlin Publications, Berlin, 2011. (ISBN 978-3-7983-2390-2)
- [6] Longlife Report 3.2, Prototype Catalogue, Ed. K. Rückert, TU Berlin Publications, Berlin, 2011. (ISBN 978-3-7983-2391-9)
- [7] Longlife Report 3.3, Pilot Projects, Ed. K. Rückert, TU Berlin Publications, Berlin, 2011. (ISBN 978-3-7983-2392-6)
- [8] Rozporządzenie ministra infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku stanowiącej całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej, Dz.U. 2008 nr 201 poz. 1240 (akt uchylony 3.10.2014)
- [9] Żurawski J., Energooszczędność budynku a zużycie energii na przygotowanie c.w.u., *IZOLACJE* 9/2008
- [10] <http://www.enea.pl/3/energia-dla-domu/kalkulator-taryfowy-119.html>, październik 2014