

## ROZWIĄZANIA ARCHITEKTONICZNO-BUDOWLANO-INSTALACYJNE A EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA BUDYNKU JEDNORODZINNEGO

Beata WILK-SŁOMKA \*

\* Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli  
ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, e-mail: Beata.Wilk-Slomka@polsl.pl

**Streszczenie:** W artykule podjęto próbę określenia wpływu wybranych rozwiązań architektoniczno-budowlano-instalacyjnych na efektywność energetyczną budynku jednorodzinne. Rozpatrywano następujące parametry: kształt przekrycia dachowego, kształt rzutu budynku, wysokość kondygnacji budynku, konstrukcja przegrody zewnętrznej, izolacyjność cieplna przegrody wewnętrznej oraz stolarki okiennej, źródło ciepła dla celów c.o., c.w.u. oraz rodzaj wentylacji.

**Słowa kluczowe:** efektywność energetyczna budynku, charakterystyka energetyczna budynku, energia pierwotna, energia końcowa, komfort cieplny

### 1. WPROWADZENIE

Efektywność energetyczna jest rozumiana jako obniżenie zużycia energii pierwotnej mające miejsce na etapie przesyłu, dystrybucji lub zużycia końcowego energii, spowodowane m. in. zmianami technologicznymi rozwiązań. Potencjał oszczędności energii w budynku określa jego charakterystyka energetyczna, wyrażona obecnie przez wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP i wskaźnik zapotrzebowania na energię końcową EK. Wskaźniki te określają ilość energii potrzebnej do pokrycia zapotrzebowania na ogrzanie, przygotowanie c.w.u., wentylację, klimatyzację, chłodzenie i oświetlenie budynku. Wskaźnik EP dodatkowo uwzględnia straty powstające na etapie produkcji i przesyłania energii. Charakterystyka energetyczna zależy m. in. od: parametrów środowiska zewnętrznego (klimatu i wpływu sąsiedztwa budynku); przyjętych rozwiązań architektonicznych (usytuowanie i kształt budynku), budowlanych (rodzaj i właściwości zastosowanych przegród budowlanych) oraz instalacyjnych (rodzaj i sprawność instalacji ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, przygotowania ciepłej wody oraz oświetlenia pomieszczeń). Nawiązując do definicji ekonomicznej efektywności można efektywność energetyczną budynku określić jako relację między wartością poniesionych nakła-

dów a wartością efektów uzyskanych dzięki tym nakładom, w zakresie jego charakterystyki energetycznej [1], [3], [5].

### 2. PRZEDMIOT ANALIZ

Przedmiotem pracy jest budynek mieszkalny jednorodzinny, niepodpiwniczony, parterowy z poddaszem użytkowym, zlokalizowany w Katowicach, przeznaczony dla czterech osób. Budynek zaprojektowany został na rzucie prostokąta o wymiarach 9,4x11,2 m; wykonany w technologii tradycyjnej murowanej z bloczków betonu komórkowego; przykryty dwuspadowym dachem o kącie nachylenia 40°; dach przykryty dachówką ceramiczną. Współczynnik kształtu budynku wynosi  $A/V_e=0,71$  [m<sup>-1</sup>] – bryła bardzo zwarta zgodnie z klasyfikacją przedstawioną w pracy [2]. W tab. 1 zestawiono współczynniki przenikania ciepła U dla poszczególnych przegród (wymagania izolacyjności termicznej zawarte w [4] zostały spełnione).

Tabela 1. Współczynniki przenikania ciepła przegród budynku  
Table 1. Heat transfer coefficients of building partitions

Rodzaj przegrody	Współczynnik przenikania ciepła U [W/m <sup>2</sup> K]
podłoga na gruncie	0,41
ściana zewnętrzna	0,22
dach	0,23
okna	1,60
drzwi zewnętrzne	2,60

Zestawienie powierzchni [1]:

- powierzchnia użytkowa netto:  $A_f=170,70 \text{ m}^2$ ;
- kubatura wewnętrzna wentylowana netto:  $V=404,55 \text{ m}^3$ ;
- kubatura ogrzewana brutto:  $V_e=593,97 \text{ m}^3$ .

Obliczenia zapotrzebowania na energię przeprowadzono zgodnie z procedurą zawartą w [5]. W obliczeniach przyjęto ponadto następujące dane:

- strefa klimatyczna: III;
- c.o.,  $\eta_{\text{Htot}}=0,73$ ; kocioł 2-funkcyjny gazowy;
- c.w.u.:  $\eta_{\text{Wtot}}=0,59$ ; kocioł 2-funkcyjny gazowy;
- współczynnik nakładu dla gazu ziemnego:  $w_i=1,1$ ;
- wentylacja: grawitacyjna, ilość wymian  $n=1 \text{ [h}^{-1}\text{]}$ .

Roczne zapotrzebowanie na energię użytkową dla budynku wzorcowego wynosi [3]:

- system grzewczy i wentylacyjny:  $Q_h=23719,8 \text{ [kWh/a]}$ ;
- system do podgrzania c.w.u.:  $Q_w=4467,39 \text{ [kWh/a]}$ .

Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną wynosi:  $EP = 183,14 \text{ [kWh/m}^2\text{a]}$ , a na energię końcową  $EK=166,49 \text{ [kWh/m}^2\text{a]}$ .

### 3. METODOLOGIA ANALIZ

W celu analiz wprowadzono podział rozwiązań na trzy grupy główne (architektoniczna, budowlana i instalacyjna). W ramach każdej grupy głównej znajdują się podgrupy, zawierające n-wariantów, różniących się między sobą jednym parametrem. Założono, iż stałymi czynnikami pozostają czynniki klimatyczne i lokalizacyjne (średnia temperatura powietrza zewnętrznego, czas trwania sezonu grzewczego, natężenie promieniowania słonecznego, osłonięcie budynku przed wiatrem, warunki wodno-gruntowe, zacinienie budynku) oraz eksploatacyjne (temperatura wewnętrzna, ilość wymian powietrza, liczba mieszkańców). Z każdej podgrupy wybierano najkorzystniejsze rozwiązanie. Jako kryterium przyjęto niską wartość wskaźnika EP, przy jednocześnie niskiej wartości wskaźnika zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji oraz wskaźnika energii końcowej EK. W tab. 2÷4 przedstawiono ogólną charakterystykę przyjętych wariantów. W zbiorze rozwiązań architektonicznych modyfikacji podlega:

- G\_A1: kształt przekroju dachowego,
- G\_A2: kształt rzutu budynku,
- G\_A3: wysokość kondygnacji;

w zbiorze rozwiązań budowlanych zmianie ulega:

- G\_B1: konstrukcja ściany zewnętrznej,
- G\_B2: izolacyjność cieplna ściany zewnętrznej,
- G\_B3: izolacyjność cieplna stolarki okiennej;

natomiast w zbiorze rozwiązań instalacyjnych modyfikacji podlega:

- G\_I1: źródło ciepła dla celów grzewczych,
- G\_I2: źródło ciepła dla celów przygotowania c.w.u.
- G\_I3: system instalacji wentylacji.

Tabela 2. Ogólna charakterystyka rozwiązań architektonicznych  
Table 2. General characteristics of the architectural solutions

Rozwiązania architektoniczne – G_A		
podgrupa	wariant	charakterystyka
G_A1	G_A1.1	dach jednospadowy, nachylenie 5°
	G_A1.2	dach dwuspadowy, nachylenie 25°
	G_A1.3	dach dwuspadowy, nachylenie 50°
G_A2	G_A2.1	rzut: kwadrat, dwie kondygnacje
	G_A2.2	rzut: prostokąt, budynek parterowy
G_A3	GA_3.1	wysokość kondygnacji + 10,0 cm
	GA_3.2	wysokość kondygnacji + 30,0 cm

Tabela 3. Ogólna charakterystyka rozwiązań budowlanych  
Table 3. General characteristics of the building solutions

Rozwiązania budowlane – G_B		
podgrupa	wariant	charakterystyka
G_B1	G_B1.1	ściana jednowarstwowa
U=0,22 [W/m <sup>2</sup> K]	G_B1.2	ściana trójwarstwowa
	G_B1.3	ściana dwuwarstwowa
G_B2	G_B2.1	ściana dwuwarstwowa, U=0,15
	G_B2.2	ściana dwuwarstwowa, U=0,20
G_B3	G_B3.1	stolarka okienna; U=1,5 [W/m <sup>2</sup> K]
	G_B3.2	stolarka okienna; U=1,3 [W/m <sup>2</sup> K]

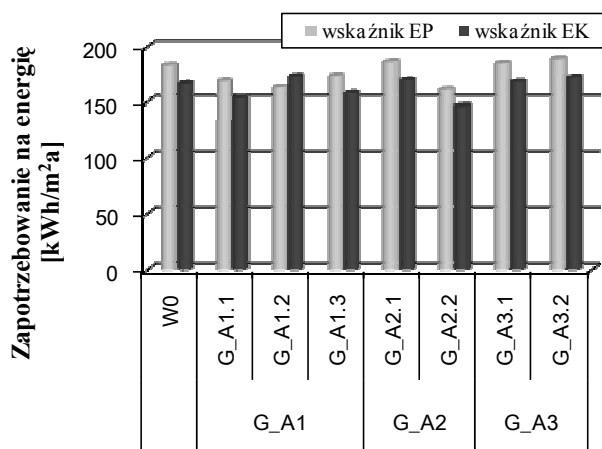
Tabela 4. Ogólna charakterystyka rozwiązań instalacyjnych  
Table 4. General characteristics of the installation solutions

Rozwiązania instalacyjne – G_I		
podgrupa	wariant	charakterystyka
G_I1	G_I1.1	olej opałowy; $w_i=1,10$ ; $\eta_{tot}=0,87$
źródło ciepła dla c.o.	G_I1.2	biomasa; $w_i=0,20$ ; $\eta_{tot}=0,69$
	G_I1.3	energia elektryczna; $w_i=3,0$ ; $\eta_{tot}=0,92$
	G_I1.4	ciepło z ciepłowni węglowej; $w_i=1,30$ ; $\eta_{tot}=0,94$
	G_I2	kolektor słoneczny (70%), gaz (30%); $w_{i\_układu}=0,33$ ; $\eta_{tot\_układu}=0,45$
źródło ciepła dla c.w.u.	G_I2.1	ciepło z ciepłowni węglowej; $w_i=1,30$ ; $\eta_{tot}=0,54$
	G_I2.2	przepływowy podgrzewacz elektryczny; $w_i=3,0$ ; $\eta_{tot}=0,60$
	G_I2.3	biomasa; $w_i=0,20$ ; $\eta_{tot}=0,54$
	G_I2.4	biomasa; $w_i=0,20$ ; $\eta_{tot}=0,54$
G_I3	G_I3.1	mechaniczna nawiewno-wywiewna z rekuperatorem
instalacja wentylacji	G_I3.2	mechaniczna nawiewno-wywiewna z gruntowym wymiennikiem ciepła
$w_i$ – współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii końcowej do budynku, $\eta_{tot}$ – średnia całkowita sezonowa sprawność systemu		

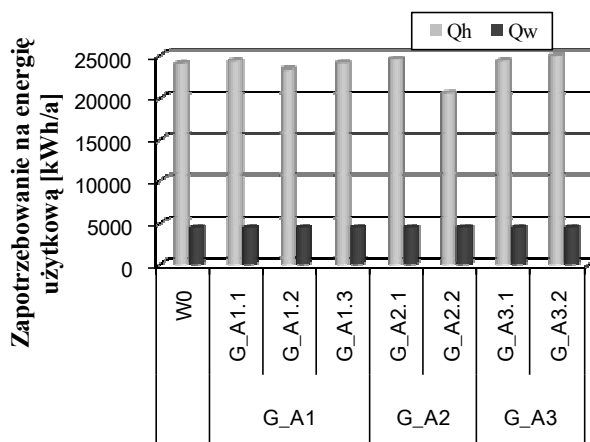
#### 4. WYNIKI OBLICZEŃ

Dla poszczególnych wariantów przeprowadzono analizę wpływu danego rozwiązania na zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną (EP) i końcową (EK) oraz za-

potrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji ( $Q_h$ ) oraz c.w.u. ( $Q_w$ ), w odniesieniu do budynku wyjściowego. Na rys. 1÷6 przedstawiono wybrane wyniki obliczeń.



Rys. 1. Zapotrzebowanie na energię pierwotną (EP) i końcową (EK) dla rozwiązań architektonicznych  
Fig. 1. Demand of primary energy (EP) and final energy (EK) for architectural solutions

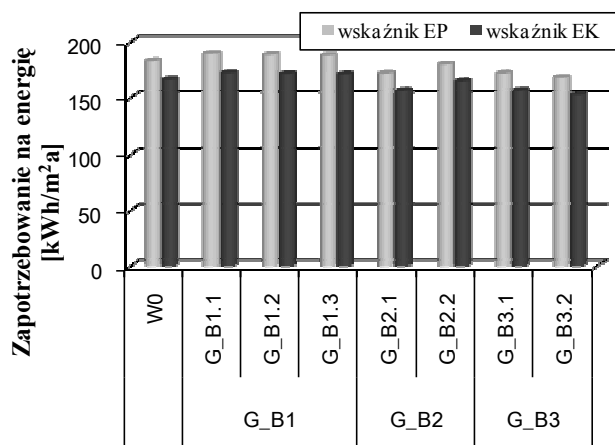


Rys. 2. Roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji ( $Q_h$ ) oraz c.w.u. ( $Q_w$ ) dla rozwiązań architektonicznych  
Fig. 2. Annual demand of usable energy for heating and ventilation ( $Q_h$ ), and hot water ( $Q_w$ ) for architectural solutions

Różnice między maksymalną a minimalną wartością wskaźników EP i EK w grupie rozwiązań architektonicznych (G\_A) wynoszą odpowiednio 28 i 26 [kWh/m²a]. Najniższą wartością wskaźników EP, EK i  $Q_h$  w grupie G\_A charakteryzuje się wariant G\_A2.2. Wartość rocznego zapotrzebowania na energię użytkową do c.w.u. ( $Q_w$ ) jest jednakowa dla wszystkich wariantów. W podgrupie G\_A1 najniższą wartością wskaźnika EP charakteryzuje się rozwiązanie G\_A1.2, natomiast wskaźnika EK - rozwiązanie G\_A1.1. Dlatego przy wyborze najkorzystniejszego wariantu w tej podgrupie wzięto dodatkowo pod uwagę wartość

zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji  $Q_h$ . Najniższą wartością wskaźnika  $Q_h$  – por. rys. 2, charakteryzuje się rozwiązanie G\_A1.2 – dach dwuspadowy o nachyleniu  $25^\circ$ . W podgrupie G\_A2 najniższymi wartościami wskaźników EP, EK i  $Q_h$  charakteryzuje się wariant G\_A2.2 – budynek parterowy na planie prostokąta. W tym przypadku wzięto pod uwagę także współczynnik kształtu budynku, który okazał się najbardziej niekorzystny wśród wszystkich rozwiązań:  $A/V_e=0,99 \text{ [m}^{-1}\text{]}$  – bryła bardzo rozczłonkowana według [2]. Biorąc pod uwagę ten współczynnik jako jedno z kryteriów dla budynku energooszczędnego do dalszych analiz przyjęto budynek z poddaszem użytkowym, na planie prostokąta o wymiarach jak dla wariantu wyjściowego (W0). W grupie rozwiązań architektonicznych współczynnik kształtu był zmienny i wahał się w granicach  $A/V_e=0,67\div 0,99 \text{ [m}^{-1}\text{]}$ .

Analizując uzyskane wyniki obliczeń w grupie G\_A3, oba przyjęte warianty charakteryzują się wyższymi wartościami wskaźników EP, EK i  $Q_h$  niż uzyskane w rozwiązaniu wyjściowym. Do dalszych analiz przyjęto zatem wysokość kondygnacji z wariantu W0:  $h=2,8 \text{ m}$ .

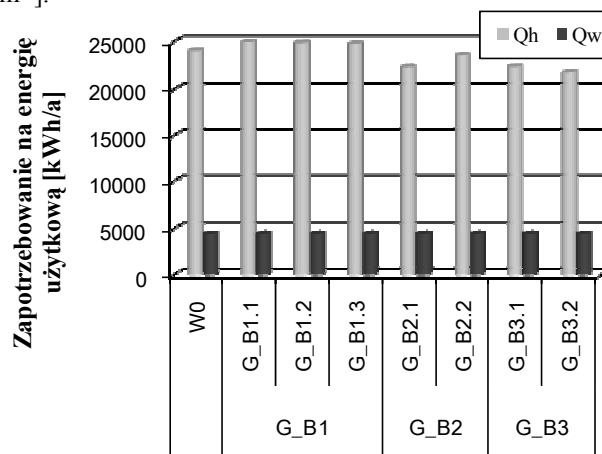


Rys. 3. Zapotrzebowanie na energię pierwotną (EP) i końcową (EK) dla rozwiązań budowlanych

Fig. 3. Demand of primary energy (EP) and final energy (EK) for building solutions

Różnice między maksymalną wartością a minimalną wskaźników EP i EK w grupie rozwiązań budowlanych (G\_B) wynoszą odpowiednio 22 i 20  $[\text{kWh/m}^2\text{a}]$ . Najniższą wartością wskaźników EP, EK i  $Q_h$  w grupie G\_B charakteryzuje się wariant GB3.2. Wartość rocznego zapotrzebowania na energię użytkową do c.w.u. ( $Q_w$ ) jest jednakowa dla wszystkich wariantów. Najkorzystniejszym rozwiązaniem w podgrupie G\_B1 pod względem energetycznym jest wariant G\_B1.3 – ściana dwuwarstwowa. W podgrupie rozwiązań G\_B2 najmniejsze wartości wskaźników EP, EK i  $Q_h$  otrzymano dla rozwiązania G\_B2.1 – ściana dwuwarstwowa o współczynniku przenikania ciepła  $U=0,15 \text{ [W/m}^2\text{K}]$ . W podgrupie G\_B3 najniższe wartości wskaźników EP, EK i  $Q_h$  uzyskano dla wariantu G\_B3.2 – stolarka

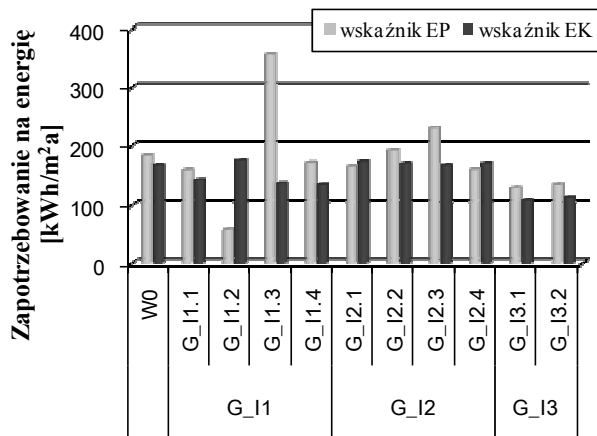
okienna o współczynniku przenikania ciepła  $U=1,3 \text{ [W/m}^2\text{K}]$ . W grupie rozwiązań budowlanych współczynnik kształtu budynku wahał się w granicach  $A/V_e=0,70\div 0,71 \text{ [m}^{-1}\text{]}$ .



Rys. 4. Roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji ( $Q_h$ ) oraz c.w.u. ( $Q_w$ ) dla rozwiązań budowlanych

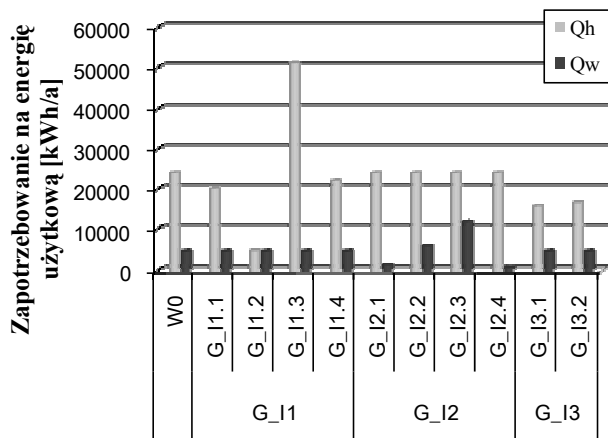
Fig. 4. Annual demand of usable energy for heating and ventilation ( $Q_h$ ), and hot water ( $Q_w$ ) for building solutions

Różnice między maksymalną wartością a minimalną wskaźników EP i EK w grupie rozwiązań instalacyjnych (G\_I) wynoszą odpowiednio 299 i 66  $[\text{kWh/m}^2\text{a}]$ . Tak duże rozbieżności wynikają z przyjętych do analizy źródeł energii pierwotnej, o różnych współczynnikach nakładu na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii. Najniższą wartość wskaźników EP, EK i  $Q_h$  w grupie G\_I charakteryzuje się wariant G\_I3.1. Natomiast najniższe zapotrzebowanie na ciepło użytkowe do przygotowania c.w.u. uzyskano dla wariantu G\_I2.4, gdzie źródłem ciepła dla instalacji jest biomasa. Najkorzystniejszym rozwiązaniem w podgrupie G\_I1 pod względem energetycznym jest wariant G\_I1.2 – źródłem ciepła dla instalacji c.o. jest biomasa. Rozwiązanie to charakteryzuje się najniższą wartością wskaźników EP i  $Q_h$ , dlatego do dalszych analiz przyjęto ten wariant. Najniższą wartość wskaźnika EK w podgrupie G\_I1 uzyskano dla wariantu G\_I1.4. W podgrupie rozwiązań G\_I2 najmniejsze wartości wskaźników EP,  $Q_w$  otrzymano dla rozwiązania G\_I2.4. Najniższą wartość wskaźnika EK w podgrupie G\_I2 uzyskano dla wariantu G\_I2.3, który przyjęto do dalszych analiz. W podgrupie G\_I3 najniższe wartości wskaźników EP, EK i  $Q_h$  uzyskano dla wariantu G\_I3.1 – wentylacja mechaniczna nawiewno-wywiewna z rekuperatorem. W grupie rozwiązań instalacyjnych współczynnik kształtu budynku jest stały i wynosi  $A/V_e=0,71 \text{ [m}^{-1}\text{]}$ .



Rys. 5 Zapotrzebowanie na energię pierwotną (EP) i końcową (EK) dla rozwiązań instalacyjnych

Fig. 5. Demand of primary energy (EP) and final energy (EK) for installation solutions



Rys. 6. Roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji ( $Q_h$ ) oraz c.w.u. ( $Q_w$ ) dla rozwiązań instalacyjnych

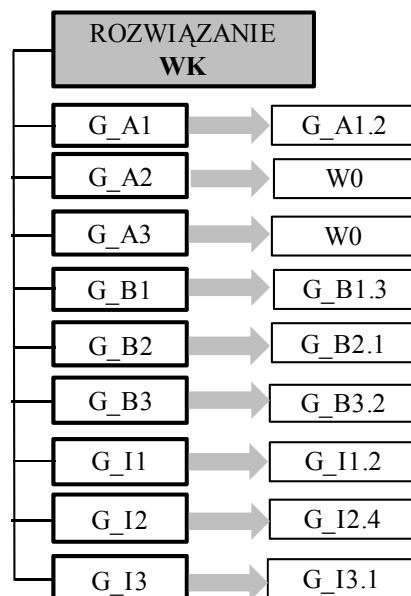
Fig. 6. Annual demand of usable energy for heating and ventilation ( $Q_h$ ), and hot water ( $Q_w$ ) for installation solutions

## 5. CHARAKTERYSTYKA NAJBARDZIEJ KORZYSTNEGO WARIANTU ROZWIĄZAŃ

Wariant najbardziej korzystny (WK) jest zbiorem rozwiązań architektoniczno-budowlano-instalacyjnych, wybranych na podstawie analizy energetycznej. Na rys. 7 przedstawiono warianty z poszczególnych podgrup tworzące wariant WK. Dla tych rozwiązań przeprowadzono obliczenia zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną i końcową, użytkową do ogrzewania i wentylacji oraz c.w.u., a także współczynnika strat mocy cieplnej przez przenikanie przez przegrody zewnętrzne  $H_{tr}$  oraz strat na wentylację  $H_{ve}$ .

Do obliczeń charakterystyki energetycznej wariantu najbardziej korzystnego przyjęto następujące dane:

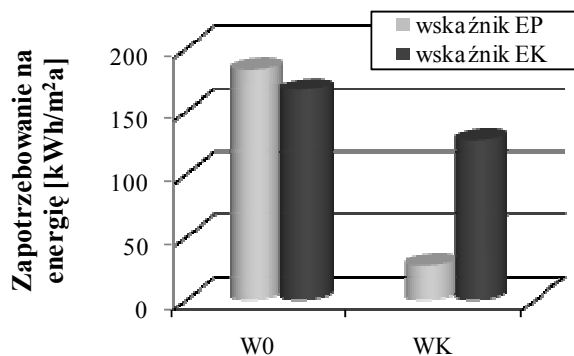
- bryła budynku: na planie prostokąta o wymiarach osiowych 9,0x10,8 m;
- wysokość kondygnacji:  $h=2,8$  m;
- współczynnik kształtu:  $A/V_e=0,70$  [ $m^{-1}$ ].
- dach: dwuspadowy o spadku połaci dachowej  $25^\circ$ , współczynnik przenikania ciepła  $U=0,23$  [ $W/m^2K$ ];
- ściana zewnętrzna: dwuwarstwowa z betonu komórkowego  $d=0,24$  m, ocieplona styropianem o grubości  $d=0,18$  m, współczynnik przenikania ciepła  $U=0,15$  [ $W/m^2K$ ];
- podłoga na gruncie:  $U=0,41$  [ $W/m^2K$ ];
- stolarka okienna i drzwiowa:  $U=1,3$  [ $W/m^2K$ ];
- drzwi zewnętrzne wejściowe:  $U=2,6$  [ $W/m^2K$ ];
- instalacja c.o.:  $\eta_{W_{tot}}=0,69$ ; nośnik energii końcowej: biomasa;
- instalacja c.w.u.:  $\eta_{W_{tot}}=0,54$ , nośnik energii końcowej: biomasa;
- wentylacja mechaniczna nawiewno-wywiewna z rekuperatorem, ilość wymian  $n=1$  [ $h^{-1}$ ].



Rys. 7. Zbiór rozwiązań wariantu najbardziej korzystnego - WK  
Fig. 7. Solutions for the most favorable variant – WK

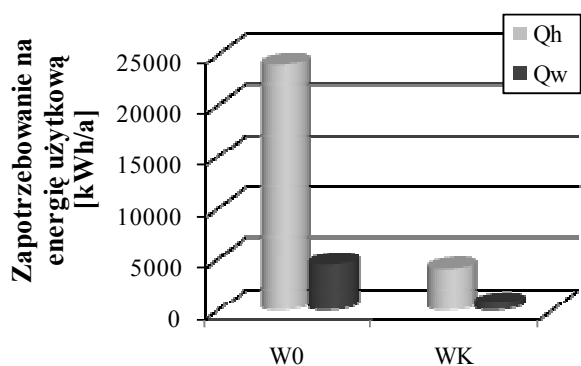
Powierzchnię ogrzewaną o regulowanej temperaturze  $A_f$  obliczono po obrysie podłóg. Kubaturę wewnętrzną wentylowaną budynku  $V$ , obliczono jako iloczyn powierzchni  $A_f$  i wysokości pomieszczeń z uwzględnieniem spadków połaci dachowych.

Na rys. 8=10 przedstawiono wyniki obliczeń dla wariantu W0 i WK. Na podstawie wyników obliczeń stwierdzono, iż dla rozwiązania WK uzyskano znacznie niższe wartości rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną i końcową oraz energię użytkową do celów c.o., wentylacji i c.w.u.. Najbardziej efektywny zbiór rozwiązań z punktu widzenia wpływu na charakterystykę energetyczną tworzą rozwiązania instalacyjne.



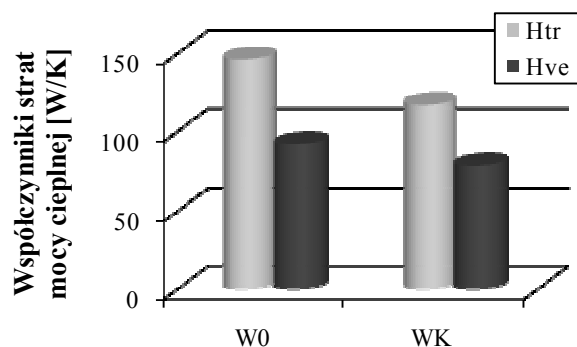
Rys. 8. Zapotrzebowanie na energię pierwotną (EP) i końcową (EK) dla wariantów W0 i WK

Fig. 8. Demand of primary energy (EP) and final energy (EK) for W0 and W1 variants



Rys. 9. Roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji ( $Q_h$ ) oraz c.w.u. ( $Q_w$ ) dla W0 i WK

Fig. 9. Annual demand of energy for heating and ventilation ( $Q_h$ ), and hot water ( $Q_w$ ) for W0 and W1 variants



Rys. 10. Współczynniki strat mocy cieplnej przez przenikanie przez przegrody ( $H_{tr}$ ) oraz wentylację ( $H_{ve}$ ) dla W0 i WK

Fig. 10. The coefficients of thermal power losses by transmission through partitions ( $H_{tr}$ ), and ventilation ( $H_{ve}$ ) for W0 and W1 variants

Wartość wskaźnika EP zmniejszyła się o 84%, a wskaźnika EK o 23% w stosunku do wariantu W0. Natomiast wartości wskaźników  $Q_h$  i  $Q_w$  zmniejszyły się odpowiednio o 83% oraz 85%. Wartość współczynnika strat mocy cieplnej

przez przenikanie przez przegrody ( $H_{tr}$ ) zmniejszyła się o 20%, a strat na wentylację ( $H_{ve}$ ) o 14% w odniesieniu do wariantu wyjściowego W0.

## 6. PODSUMOWANIE

W myśl zasady „zrównoważonego rozwoju” celem nadrzędnym wydaje się być oszczędność energii. Należy jednak pamiętać, iż uzyskanie „lepszej” charakterystyki energetycznej nie może być osiągnięte kosztem pogorszenia warunków użytkowania w zakresie komfortu cieplnego, jakości powietrza czy oświetlenia. Dążąc do uzyskania jak najniższego zapotrzebowania na energię pierwotną przy jednocześnie niskiej wartości wskaźnika energii końcowej istnieje obecnie możliwość stosowania wielu nowoczesnych rozwiązań technicznych. Jednak przed podjęciem decyzji o ich zastosowaniu, z uwagi na znaczny koszt, powinno się wykonać analizę ekonomiczną. Kompleksowe spojrzenie na budynek jako „sumę działań” architektonicznych, budowlanych i instalacyjnych pozwala na osiągnięcie optymalnego efektu z punktu widzenia inwestycyjnego i eksploatacyjnego.

### ARCHITECTURAL-CONSTRUCTION- INSTALLATION SOLUTIONS AND ENERGY EFFICIENCY OF SINGLE-FAMILY BUILDING

**Summary:** The article attempts to determine the impact of the architectural, constructional and installation solutions of energy efficiency of single-family building. The following parameters were considered: the shape of the roof, height of storey, external partition construction, coefficient of heat transfer of external partition, coefficient of heat transfer of windows, heat source of central heating and hot water system and ventilation system.

#### Literatura

- [1] Dyrda M.: Wpływ rozwiązań architektoniczno-budowlano-instalacyjnych na charakterystykę energetyczną budynku jednorodzinne. Rozprawa magisterska, Gliwice 2010
- [2] Laskowski L.: Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008
- [3] Lis P.: Efektywność energetyczna w systemach budowlano-instalacyjnych. [www.plan-rozwoju.pcz.pl](http://www.plan-rozwoju.pcz.pl)
- [4] Rozporządzenie MI, DzU Nr 75, poz. 690 z późniejszymi zmianami
- [5] Rozporządzenie MI, DzU Nr 201, poz. 1240 z późniejszymi zmianami