

dr inż. Konrad Witczak*

Nakłady na energooszczędność prowadzące do minimalnych wymagań wg Dyrektywy 2010/31/UE

Ustanawiając Dyrektywę 2010/31/UE (tzw. recast EPBD) z 19 maja 2010 r. Parlament Europejski postanowił zwiększyć oszczędność energii oraz udział odnawialnych źródeł energii zarówno w nowo wznoszonych, jak i modernizowanych budynkach. Dyrektywa wprowadza odpowiednie rozporządzenia oraz nakłada na kraje członkowskie takie zobowiązania, jak: sposób ustanawiania **minimalnych wymagań dotyczących efektywności energetycznej budynków**; obowiązek zdefiniowania i wprowadzenia tzw. budynków prawie zeroenergetycznych (NZEB, ang. *Nearly Zero Energy Building*); wprowadzenie systemu weryfikacji świadectw charakterystyki energetycznej budynków; regularne przeglądy systemów ogrzewania i klimatyzacji oraz wiele innych.

Dyrektywa nie zabrania państwom członkowskim definiowania wymagań bardziej rygorystycznych od wymagań minimalnych, obliczonych wg reguły kosztu optymalnego. Dyrektywa zobowiązuje również państwa członkowskie do regularnego przeglądu minimalnych wymagań i dostosowywania ich do postępu technicznego w produkcji materiałów budowlanych, technikach instalacyjnych itp. Dodatkowo państwa członkowskie mają obowiązek składania do Komisji Europejskiej sprawozdań z przeprowadzonych obliczeń wg reguły kosztu optymalnego, określających minimalne wymagania charakterystyki energetycznej budynków. Sprawozdania te mają zawierać zestawienie wszystkich danych wejściowych oraz założeń do obliczeń, a także wyniki obliczeń. Ponadto, w celu aktualizacji wymagań, państwa członkowskie zobowiązane są do cyklicznego (minimum raz na pięć lat) składania sprawozdań, potwierdzających zmianę minimalnych wymagań dotyczących charakterystyki energetycznej.

Jednym z kluczowych przepisów wykonawczych wprowadzanych wraz z Dyrektywą 2010/31/UE jest **Rozporządzenie**

nr 244/2012 z 16 stycznia 2012 r. opublikowane 21 marca 2012 r. ustanawiające **ramy metodologii porównawczej do celów obliczania optymalnego pod względem kosztów poziomu wymagań minimalnych dotyczących charakterystyki energetycznej budynków i elementów budynków**. Zgodnie z tym rozporządzeniem kraje członkowskie powinny wykonać obliczenie kosztów optymalnych wg tzw. podejścia makroekonomicznego i finansowego. Wyniki uzyskane z obliczeń należy opisać w sprawozdaniu przesłanym do Komisji Europejskiej. To z dwóch podejść, które zostanie wybrane do określenia minimalnych wymagań dotyczących charakterystyki energetycznej budynków, pozostawiono krajom członkowskim, a poziom przyjętych ostatecznie wymagań nie powinien być niższy o 15% w stosunku do obliczonych jako optymalne.

W celu wykonania obliczeń kosztów optymalnych kraje członkowskie powinny określić:

- koszty nośników energii;
- koszty poszczególnych ulepszeń i systemów technicznych wpływających na efektywność energetyczną budynków;
- założyć zmiany kosztów energii na przestrzeni przyjętego okresu obliczeń kosztów optymalnych;
- założyć co najmniej dwie wartości stopy dyskonta w celu przeprowadzenia analizy wrażliwości wyników.

Ponadto obliczenia należy wykonać dla tzw. budynków referencyjnych w ramach następujących kategorii: budynki jednorodzinne; budynki wielorodzinne; budynki biurowe; budynki oświatowe; szpitale; hotele i restauracje; obiekty sportowe; budynki usług handlu hurtowego i detalicznego i powinny one dotyczyć co najmniej jednego budynku w przypadku nowo budowanych i co najmniej dwóch w przypadku istniejących poddawanych ważniejszej renowacji.

Równania opisujące tzw. podejście finansowe oraz makroekonomiczne, służące do obliczenia kosztów całkowitych przy za-

łożonym okresie eksploatacji budynków, są następujące:

- podejście finansowe

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

- podejście makroekonomiczne

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

gdzie:

τ – oznacza okres obliczeniowy;

$C_g(\tau)$ – koszt całkowity w okresie obliczeniowym;

C_i^g – początkowe koszty inwestycji w odniesieniu do środka lub zestawu środków j ;

$C_{a,i}(j)$ – roczny koszt eksploatacji budynku w roku i po zastosowaniu środka lub zestawu środków j ;

$V_{f,\tau}(j)$ – wartość rezydualna środka lub zestawu środków j na koniec okresu obliczeniowego (zdykontowana do roku zerowego τ_0);

$R_d(i)$ – współczynnik dyskontowy dla roku i zgodnie z przyjętą stopą dyskontową r , który należy obliczyć wg wzoru:

$$R_d(p) = \left(\frac{1}{1+r/100} \right)^p$$

gdzie p oznacza liczbę lat od okresu zerowego, a r rzeczywistą stopę dyskonta.

Dodatковым czynnikiem, który należy uwzględnić w podejściu makroekonomicznym w porównaniu z podejściem finansowym, jest koszt emisji dwutlenku węgla ($C_{c,i}(j)$) w i -tym roku po zastosowaniu środka lub zestawu środków j .

Z omawianego rozporządzenia wynika, że do obliczenia kosztów całkowitych należy założyć trzydziestoletni okres obliczeniowy (τ) w przypadku budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej oraz dwudziestoletni okres obliczeniowy (τ) w przypadku budynków niemieszkalnych o charakterze gospodarczym. Środki i zestawy środków to takie ulepszenia budynków, które prowadzą do zmniejszenia zapotrzebowania budynku na energię pierwotną, natomiast optymalne rozwiązania, służące określeniu minimalnych wymagań dotyczących budynków, to zestawy środków, po zastosowaniu których obliczony koszt całkowity wówczas jest najniższy. Jeżeli kilka zestawów środków daje bardzo podobny koszt całkowity, wówczas należy wybrać ten zestaw ulepszeń, który daje mniejszą wartość zapotrzebowania na energię pierwotną.

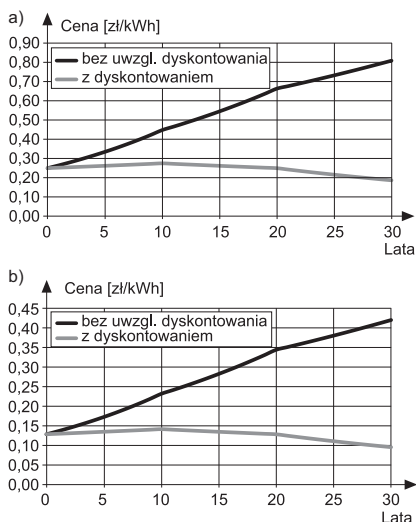
* Politechnika Łódzka

Przykład obliczenia kosztów całkowitych energii referencyjnego budynku jednorodzinnego

Optymalne koszty całkowite wg podejścia finansowego przedstawionego w omawianym Rozporządzeniu obliczono dla budynku, w którym przegrody zewnętrzne odpowiadają minimalnym wymaganiom ochrony cieplnej zgodnie z obowiązującymi w Polsce wymaganiami wg Warunków Technicznych. Obliczenia kosztów optymalnych w przypadku zapotrzebowania budynku na ogrzewania i podgrzanie c.w.u. wykonano, uwzględniając dwa rodzaje paliwa: węgiel kamienny i gaz ziemny. Elementem analizy wrażliwościowej było przyjęcie dwóch różnych scenariuszy kształtowania cen nośników energii. Wszystkie ceny (energii, rozwiązań technicznych) są cenami brutto. Do analizy przyjęto trzydziestoletni okres eksploatacji budynku.

Oszacowanie rozwoju kosztów energii z uwzględnieniem różnych stóp dyskontowania. Przyjęto, że cena energii z gazu ziemnego wynosi w roku zerowym 0,25 zł/kWh, a z węgla kamiennego 0,13 zł/kWh. Dla założonego okresu eksploatacji budynku (30 lat) przyjęto dwa scenariusze zmiany cen energii.

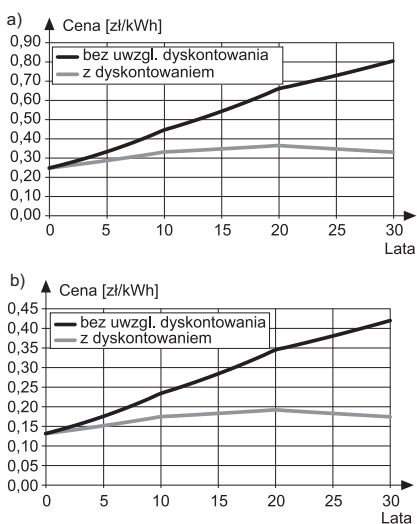
Pierwszy wariant kształtowania się cen energii (rysunek 1) przewiduje wzrost jej kosztów o 6% rok do roku w pierwszych 10 latach, a następnie o 4% rok do roku w latach 11 – 20 eksploatacji budynku i wzrost o 2% rok do roku w ostatnich 10 latach eksploatacji (lata 21 – 30). W przypadku takiego scenariusza wzrostu cen energii przyjęto



Rys. 1. Zmiana kosztów energii w przypadku wariantu 1: a – z gazu ziemnego; b – z węgla kamiennego

stałą 5% stopę dyskonta przez cały 30-letni okres eksploatacji. Na rysunku 1 przedstawiono zmianę cen nośników energii bez i z uwzględnieniem 5% stopy dyskonta. Jak widać, pomimo przyjętego nominalnego wzrostu cen energii, stopa dyskonta 5% powoduje spadek realnych cen w wolniejszym tempie w latach 11 – 20 eksploatacji i w szybszym w latach 21 – 30.

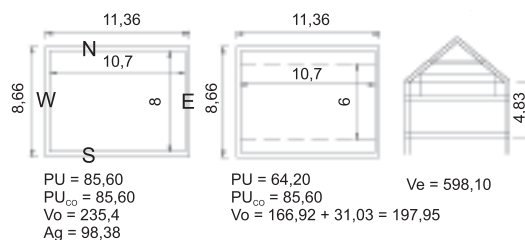
Drugi wariant kształtowania się cen energii zakłada taki sam wzrost cen nominalnych jak w wariantcie pierwszym, przy czym przyjęto stopę dyskonta 3%. W efekcie uzyskano wzrost realnych kosztów energii przez pierwsze 20 lat i lekki spadek przez ostatnie 10 lat eksploatacji (rysunek 2).



Rys. 2. Zmiana kosztów energii w przypadku wariantu 2: a – z gazu ziemnego; b – z węgla kamiennego

Opis budynku referencyjnego

Jako referencyjny przyjęto budynek o powierzchni użytkowej 150 m² i powierzchni ogrzewanej 171,2 m², o prostej bryle, na planie prostokąta, z poddaszem użytkowym i dachem dwuspadowym (rysunek 3). Analizie poddano 5 wariantów nieprzezroczystych przegród zewnętrznych różniących się współczynnikiem przenikania ciepła, rozpoczynając od wariantu bazowego (C1), w przypadku którego współczynniki przenikania ciepła przegród nieprzezroczystych odpowiadają obecnym wymaganiom Warunków Technicznych. Kolejne warianty budynku (od C2 do C5) charakteryzują się zmniejszającym się systematycznie współczynnikiem U nieprzezroczystych przegród zewnętrznych. Koszty, jakie uwzględniono w wariantach do C2 do C5, uwzględniają dodatkowe koszty (materiał



Rys. 3. Schemat budynku referencyjnego

izolacyjny, łączniki, listwa startowa itp.) związane ze zwiększeniem grubości materiału izolacyjnego w porównaniu z wariantem bazowym. Przyjęto także, że współczynnik strat ciepła przez mostki cieplne jest stały i wynosi 22 [W/K] we wszystkich wariantach (od C1 do C5).

Izolacja podłóg (powierzchnia podłogi wynosi 98,4 m²). W wariantcie bazowym (C1) przyjęto współczynnik przenikania ciepła $U = 0,45$ W/(m²K), który uzyskano, stosując warstwę izolacji 7 cm o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,04$ W/(mK). W wariantcie C2 zmniejszono współczynnik przenikania ciepła do $U = 0,35$ W/(m²K), dokładając dodatkowe 4 cm izolacji. Koszt zwiększenia grubości izolacji podłogi o 4 cm to 5,18 zł/m². W wariantcie C3 zmniejszono współczynnik przenikania ciepła do wartości $U = 0,30$ W/(m²K), dokładając dodatkowe 4 cm izolacji. Koszt zwiększenia grubości izolacji podłogi o 8 cm w stosunku do wariantu bazowego (C1), to 8,30 zł/m². Wariant C4 – współczynnik przenikania ciepła $U = 0,25$ W/(m²K). Koszt zwiększenia grubości izolacji podłogi o 11 cm w stosunku do wariantu bazowego (C1) to 13,18 zł/m². Wariant C5 – współczynnik przenikania ciepła $U = 0,20$ W/(m²K). Koszt zwiększenia grubości izolacji podłogi o 18 cm w stosunku do wariantu bazowego (C1) to 21,18 zł/m².

Izolacja ścian zewnętrznych (powierzchnia ścian zewnętrznych, po odjęciu powierzchni okien, wynosi 194 m²). Wariant bazowy (C1) – przyjęto współczynnik przenikania ciepła $U = 0,30$ W/(m²K). Taki współczynnik przenikania ciepła uzyskano, stosując izolację o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,038$ W/(mK).

Wariant C2 – zmniejszono współczynnik przenikania ciepła do $U = 0,26$ W/(m²K). Dodatkowa grubość izolacji w porównaniu z wariantem bazowym wynosi 2 cm. Koszt zwiększenia grubości izolacji wynosi 3,90 zł/m².

Wariant C3 – zmniejszono współczynnik przenikania ciepła do $U = 0,22$ W/(m²K). Dodatkowa grubość izolacji w porównaniu z wariantem bazowym to 5 cm. Koszt

zwiększenia grubości izolacji wynosi 9,2 zł/m².

Wariant C4 – współczynnik przenikania ciepła $U = 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Dodatkowa grubość izolacji w porównaniu z wariantem bazowym wynosi 8 cm. Koszt zwiększenia grubości izolacji wynosi 18,60 zł/m².

Wariant C5 – współczynnik przenikania ciepła $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Dodatkowa grubość izolacji w porównaniu z wariantem bazowym to 13 cm. Koszt zwiększenia grubości izolacji wynosi 32 zł/m².

Izolacja dachu (powierzchnia dachu wynosi 111 m²). W wariantcie bazowym (C1) przyjęto współczynnik przenikania ciepła $U = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, który uzyskano, stosując izolację o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,038 \text{ W}/(\text{mK})$.

Wariant C2 – zmniejszono współczynnik przenikania ciepła do $U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Dodatkowa grubość izolacji w porównaniu z wariantem bazowym to 2 cm. Koszt zwiększenia grubości izolacji wynosi 2,3 zł/m².

Wariant C3 – zmniejszono współczynnik przenikania ciepła do $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Dodatkowa grubość izolacji w porównaniu z wariantem bazowym to 9 cm. Koszt zwiększenia grubości izolacji wynosi 9,5 zł/m².

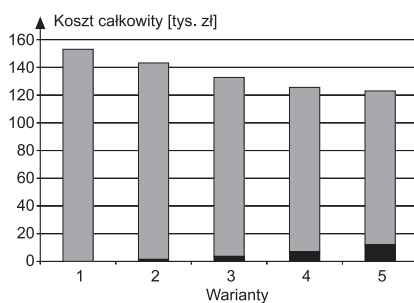
Wariant C4 – współczynnik przenikania ciepła $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Dodatkowa grubość izolacji w porównaniu z wariantem bazowym to 16 cm. Koszt zwiększenia grubości izolacji wynosi 18,3 zł/m².

Wariant C5 – współczynnik przenikania ciepła $U = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Dodatkowa grubość izolacji w porównaniu z wariantem bazowym to 23 cm. Koszt zwiększenia grubości izolacji wynosi 34,2 zł/m².

W obliczeniach nie uwzględniano wpływu zmiany stolarki otworowej. W każdym z analizowanych wariantów przyjęto te same okna o współczynniku przenikania ciepła $U_w = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ i współczynniku $g = 0,67$. Do obliczeń przyjęto strumień powietrza wentylacyjnego 185 m³/h, współczynnik szczelności obudowy budynku $n_{50} = 2 \text{ [1/h]}$, a kubatura wentylowana budynku wynosiła 435 m³. W koszcie eksploatacji budynku uwzględniono również koszt związany z zużyciem c.w.u. przez czteroosobową rodzinę. Obliczenia wykonano, wykorzystując dane pogodowe dla Warszawy.

Wyniki analiz

W przypadku pierwszego scenariusza zmian cen energii z gazu ziemnego, wykonane obliczenia wykazały, że wariantem o najmniejszym koszcie całkowitym jest C5 (rysunek 4), dla którego wskaźnik zapotrzebowania na energię pierwotną wynosi

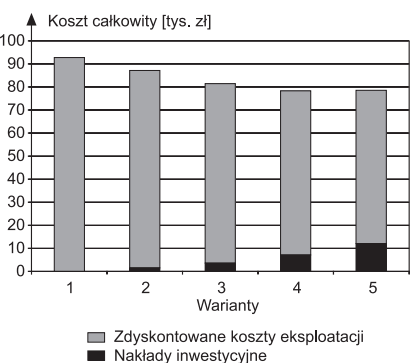


	C1	C2	C3	C4	C5
EP [kWh/(r. m ²)]	129	119	109	100	93
Koszt eksploatacji (w roku zerowym) [zł/r.]	5 014	4 640	4 233	3 881	3 634
Koszt całkowity (po zdyskontowaniu) [zł]	153 030	143 120	132 749	125 566	122 961

Rys. 4. Koszt całkowity w przypadku energii z gazu ziemnego w okresie 30 lat eksploatacji budynku

93 kWh/(m² rok). Oznacza to, że najbardziej opłacalny z rozważanych zestawów ulepszeń jest zestaw nr 5, który charakteryzuje się następującymi wartościami współczynników przenikania ciepła: podłoga – $U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, ściany zewnętrzne – $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, dach – $U = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

W przypadku ogrzewania węglem kamiennym obliczenia wykazały, że wariantem o najmniejszym koszcie całkowitym jest C4, dla którego wskaźnik zapotrzebowania na energię pierwotną wynosi 115 kWh/m²r. (rysunek 5). Oznacza to, że najbardziej

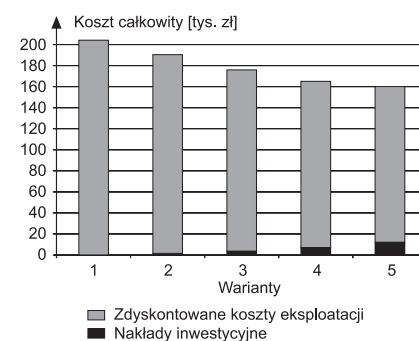


	C1	C2	C3	C4	C5
EP [kWh/(r. m ²)]	150	139	126	115	108
Koszt eksploatacji (w roku zerowym) [zł/r.]	3 039	2 806	2 552	2 332	2 178
Koszt całkowity (po zdyskontowaniu) [zł]	92 760	87 138	81 441	78 292	78 552

Rys. 5. Koszt całkowity w przypadku energii z węgla kamiennego w okresie 30 lat eksploatacji budynku

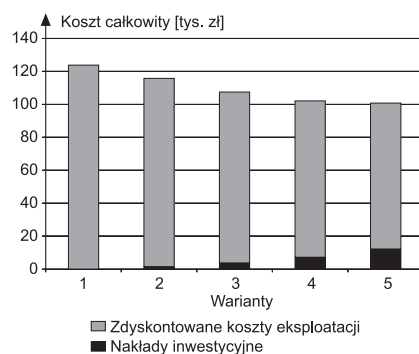
opłacalny, z rozważanych zestawów ulepszeń, jest zestaw nr 4. Charakteryzuje się on następującymi wartościami współczynników przenikania ciepła: podłoga – $U = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, ściany zewnętrzne – $U = 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, dach – $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Wyniki obliczeń w przypadku drugiego wariantu zmian kosztów cen energii z gazu ziemnego przedstawiono na rysunku 6, a z węgla kamiennego na rysunku 7. Jak widać, w przypadku przyjęcia niższej, 3% stopy dyskonta, zarówno dla budynku zasilanego gazem ziemnym, jak i węglem kamiennym, najniższy całkowity koszt energii uzyskano dla zestawu ulepszeń C5.



	C1	C2	C3	C4	C5
Koszt całkowity (po zdyskontowaniu) [zł]	204 186	190 463	175 936	165 167	160 042

Rys. 6. Koszt całkowity w przypadku drugiego wariantu zmiany cen energii z gazu ziemnego w okresie 30 lat eksploatacji budynku



	C1	C2	C3	C4	C5
Koszt całkowity (po zdyskontowaniu) [zł]	123 769	115 768	107 478	102 091	100 748

Rys. 7. Koszt całkowity w przypadku drugiego wariantu zmiany cen energii z węgla kamiennego w okresie 30 lat eksploatacji budynku

(dokończenie na str. 101)