

Krzysztof Kasperkiewicz*

WYBRANE ZAGADNIENIA OCENY I PROJEKTOWANIA ENERGOOSZCZĘDNYCH BUDYNKÓW MIESZKALNYCH

Od ponad trzydziestu lat ograniczanie zużycia energii w procesie eksploatacji budynków stanowi istotną i trwałą tendencję rozwoju budownictwa. Budynki energooszczędne są poligonem doświadczalnym służącym do oceny eksploatacyjnych oszczędności energetycznych odpowiadających aktualnemu poziomowi postępu technicznego i uwarunkowaniom ekonomicznym. W artykule opisano sposoby oceny energetycznej budynku przy użyciu wskaźników odniesionych do zużywanej na cele ogrzewcze energii netto, dostarczonej do budynku i pierwotnej. Przedyskutowano kryteria oceny budynków energooszczędnych. Omówiono doświadczenia austriackie związane z projektowaniem budynków pasywnych oraz przeprowadzono wstępną ocenę sposobów i możliwości zmniejszenia ilości energii do ogrzewania budynku jednorodzinne w Polsce.

1. Wprowadzenie

Ograniczanie zużycia energii w procesie eksploatacji budynków jest wyzwaniem dla projektantów nowych budynków oraz stanowi problem przy modernizacji budynków istniejących. Wynika to z przesłanek ekonomicznych, ekologicznych, a także z konieczności wdrażania w budownictwie idei zrównoważonego rozwoju, ponieważ ilość zużywanej w budynku energii w decydujący sposób wpływa na koszty jego eksploatacji, jest proporcjonalna do emisji zanieczyszczeń do atmosfery oraz powoduje uszczuplenie rezerw nośników energii pierwotnej, takich jak gaz ziemny, ropa naftowa i węgiel.

W związku z tym w większości państw europejskich, w tym także w Polsce, w przepisach budowlanych podawane są wymagania dotyczące jakości energetycznej budynków [1]. W ostatnim okresie w Niemczech [2], Francji [3] oraz w Zjednoczonym Królestwie [4] miało miejsce zaostrenie wymagań dotyczących eksploatacyjnej energochłonności budynków. Należy oczekiwać, że podobne zmiany nastąpią w najbliższym czasie również w Polsce, a związane to będzie z wdrożeniem dyrektywy europejskiej *Energy Performance of Buildings* [5].

* dr inż. – adiunkt w Zakładzie Fizyki Ciepłej ITB

Powinien istnieć ścisły związek między poziomem wymagań jakości energetycznej budynków a poziomem postępu technicznego i uwarunkowaniami ekonomicznymi. Należy zaznaczyć, że postęp techniczny jest czynnikiem obiektywnym – nie da się sformułować takich wymagań, których nie można spełnić w rzeczywistości – natomiast uwarunkowania ekonomiczne są związane z polityką gospodarczo-społeczną państwa. Celowe jest zatem określenie technicznych możliwości ograniczenia zużycia energii do ogrzewania budynków i środków zapewniających realizację tego procesu. Poligonem doświadczalnym służącym do oceny tych możliwości są budynki energooszczędne, czyli budynki charakteryzujące się mniejszym zużyciem energii do ogrzewania niż budynki odpowiadające aktualnym wymaganiom w zakresie ochrony cieplnej.

Pojęcie „budynek energooszczędny” lub „budynek o niskim zużyciu energii do ogrzewania” nie zostało zdefiniowane w polskich przepisach budowlanych, wskutek czego nie jest ono jednoznaczne. Ze względu na to, że jako energooszczędne budowane są przeważnie budynki mieszkalne jednorodzinne, w odniesieniu do których przepisy budowlane [1] nie wymagają obliczania wskaźnika zapotrzebowania na ciepło, zwyczajowo jako energooszczędny określa się taki budynek, w którym zastosowano rozwiązania techniczne pozwalające w większym stopniu zmniejszyć zużycie ciepła niż w budynkach typowych, takie jak: ściany i okna charakteryzujące się niskimi wartościami współczynnika przenikania ciepła, rekuperatory ciepła z usuwanego powietrza wentylacyjnego, wysokosprawne kotły, urządzenia do automatycznej regulacji działania instalacji ogrzewczych itp.

Sytuacja ta ulegnie zmianie w przyszłym roku, po wdrożeniu dyrektywy EPBD, zgodnie z którą wymaga się sporządzania certyfikatów energetycznych określających wskaźnik zużycia energii, również w odniesieniu do budynków mieszkalnych jednorodzinnych.

Celem niniejszego artykułu jest uporządkowanie podstawowych pojęć stosowanych do opisu budynków energooszczędnych, takich jak: wskaźnik jakości energetycznej budynku, kryterium oceny budynku energooszczędnego i współczynnik przenikania ciepła oraz przedstawienie aktualnego stanu badań i analiz tych budynków w Polsce na tle dokonani w innych krajach.

2. Sposoby oceny energetycznej budynków

Do oceny energetycznej budynku są stosowane trzy wskaźniki określające roczne zużycie następujących rodzajów energii [6]:

- energii netto – E_n , czyli rozpraszanej do otoczenia budynku na drodze przenikania przez przegrody lub na ogrzanie powietrza wentylacyjnego,
- dostarczonej do budynku w postaci nośników energii, takich jak gaz, olej opałowy lub węgiel, oraz ciepła z sieci ciepłowniczych i energii elektrycznej – E_d ; w bilansie energii dostarczanej nie jest uwzględniana energia otoczenia wykorzystywana w budynku,
- pierwotnej – E_p , czyli nośników energii przed pierwszym przetworzeniem energetycznym, odniesione do 1 m^2 ogrzewanej powierzchni budynku.

W projekcie nowej normy europejskiej przewiduje się odejście od wskaźnika opartego na energii netto oraz wprowadzenie innych wskaźników oceny energetycznej, odniesionych do emisji dwutlenku węgla lub całkowitego kosztu energii [7].

W obliczeniach energii dostarczonej do budynku są uwzględniane wszystkie straty energetyczne w instalacjach, natomiast nie jest uwzględniana energia pobierana ze środowiska zewnętrznego oraz sprawność procesów transformacji i przesyłu energii odbywających się poza granicami budynku. W budynku wyposażonym w klasyczną instalację ogrzewczą zasilaną z kotłów do spalania na paliwo płynne lub stałe, albo z sieci zdalaczynnej (ciepłowniczej lub elektrycznej) obowiązuje zależność:

$$E_n < E_d < E_p \quad (1)$$

W budynku energooszczędnym natomiast, w którym zostały zastosowane instalacje do wykorzystania energii środowiska zewnętrznego, takie jak pompa ciepła, gruntowy wymiennik ciepła lub kolektory słoneczne, wskaźnik energii netto może być większy od wskaźnika energii dostarczonej:

$$E_p > E_n > E_d \quad (2)$$

a nawet od wskaźnika energii pierwotnej:

$$E_n > E_p > E_d \quad (3)$$

Zgodnie z postanowieniami dyrektywy EPBD, jakość energetyczną budynku mieszkalnego ocenia się, uwzględniając zapotrzebowanie energii na ogrzewanie, wentylację, chłodzenie i podgrzewanie wody.

Największy potencjał oszczędności energetycznych w budynku w warunkach klimatycznych panujących w Europie Centralnej jest związany z ogrzewaniem budynku. W budynkach energooszczędnych, w których zmniejszenie zużycia ciepła do ogrzewania osiąga się nie tylko dzięki ilości energii rozpraszanej do otoczenia, lecz także dzięki pozyskiwaniu energii otoczenia, często stosowanym wskaźnikiem charakteryzującym ich jakość energetyczną jest wskaźnik odniesiony do energii dostarczonej na cele ogrzewcze E_d [8].

W Polsce dotychczas do oceny energetycznej budynków mieszkalnych stosuje się wskaźnik zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania netto, obliczany według metodyki podanej w PN-B-02025:2001 [9]. Taka procedura nie pozwala dokonać oceny wpływu urządzeń pobierających energię z otoczenia na charakterystykę energetyczną budynku. W przyszłości sytuacja skomplikuje się jeszcze bardziej, gdyż zgodnie z wymaganiami dyrektywy EPBD wskaźnik zużycia energii w budynku będzie uwzględniał zużycie energii na inne cele niż ogrzewanie, w typowym budynku mieszkalnym również na podgrzewanie wody.

3. Kryteria oceny energetycznej budynków energooszczędnych

Ze względu na to, że pojęcie „budynek energooszczędny” nie zostało w Polsce określone w żadnym akcie prawnym, w literaturze technicznej i materiałach informacyjnych firm produkujących materiały do izolacji cieplnej oraz urządzenia służące do obniżenia zużycia ciepła do ogrzewania, można spotkać różne propozycje definicji i klasyfikacji budynków energooszczędnych.

Najczęściej stosowane jest kryterium oceny energetycznej budynków przy zastosowaniu wskaźnika zapotrzebowania na ciepło. W literaturze technicznej są formuło-

wane różne propozycje dotyczące granicznej wartości tego współczynnika: na przykład: 50 kWh/(m²·a) [10], 70 kWh/(m²·a) [11], albo na poziomie 50% [12] lub 70% wartości wymaganej w przepisach budowlanych. To ostatnie kryterium odnosi się do budynków o racjonalnej charakterystyce energetycznej (BURT) [13].

W krajach mających więcej doświadczeń w projektowaniu, wykonawstwie i ocenie budynków energooszczędnych, takich jak Austria, rozróżnia się trzy kategorie budynków energooszczędnych [6]:

- budynki niskoenergetyczne, których współczynnik zapotrzebowania na energię netto do ogrzewania mieści się w przedziale 30 ÷ 60 kWh/(m²·a),
- ultrabudynki, których współczynnik jw. mieści się w przedziale 20 ÷ 30 kWh/(m²·a),
- budynki pasywne, których współczynnik jw. jest mniejszy od 15 kWh/(m²·a).

Oprócz kryteriów ilościowych stosowane są także kryteria jakościowe, według których przyjmuje się, że budynek o niskim zużyciu energii do ogrzewania powinien się cechować:

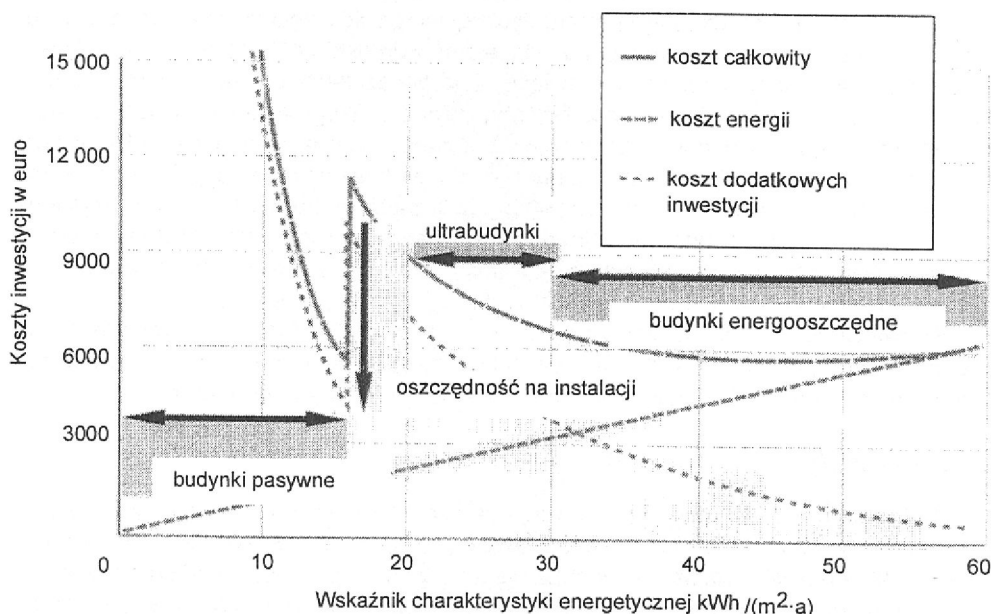
- bardzo dobrze zaprojektowaną i wykonaną izolacją cieplną wszystkich elementów powłoki budynku, zapewniającą maksymalne ograniczenie wpływu mostków cieplnych,
- szczelnością zewnętrznych elementów konstrukcji,
- kontrolowaną wentylacją pomieszczeń,
- biernym wykorzystaniem zysków słonecznych,
- sprawną regulacją ogrzewania,
- dostosowaniem mocy cieplnej całej instalacji ogrzewczej i grzejników zainstalowanych w poszczególnych pomieszczeniach do rzeczywistych strat ciepła,
- wyposażeniem instalacji ogrzewczo-wentylacyjnych w urządzenia energooszczędne, na przykład wysokosprawne kotły, silniki pomp i wentylatorów z możliwością regulacji prędkości obrotowej,
- łatwą dla użytkowników pomieszczeń obsługą instalacji ogrzewczych i wentylacyjnych.

Wadą jakościowych definicji budynków energooszczędnych jest to, że na zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania oprócz zastosowanych materiałów i urządzeń wpływa kształt bryły budynku oraz rozmieszczenie i orientacja względem stron świata płaszczyzn przeszklonych, co wynika z projektu architektonicznego. W obliczeniach wskaźnika zapotrzebowania na ciepło rola wyżej wymienionych czynników jest uwzględniana i wpływa na jego wartość.

4. Budynki pasywne

4.1. Założenia

Koncepcja budynków pasywnych (*passive houses*, PH) powstała w drugiej połowie lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku [14]. Budynki pasywne, charakteryzujące się zapotrzebowaniem energii netto do ogrzewania – obliczanym według algorytmu stosowanego w Niemczech, nieco zmodyfikowanego w stosunku do algorytmu podanego w PN-EN 832 [15] – na poziomie 15 kWh/(m²·a), stanowią bardzo interesującą kategorię budynków, nie tylko ze względów energetycznych, lecz także z uwagi na koszt inwestycyjny ich wykonania, porównywalny z kosztem wykonania budynku o wskaźnikowym zapotrzebowaniu na energię 60 kWh/(m²·a) (rys. 1) [8].



Rys. 1. Zależność między wskaźnikiem zapotrzebowania na energię netto do ogrzewania a kosztami inwestycyjnymi elementów energooszczędnego wyposażenia budynku [8]
 Fig. 1. Relation between the indicator of net energy demand for heating and investments costs of energy efficient equipment of building [8]

Tablica 1. Zestawienie cech i rozwiązań technicznych stosowanych w budynkach pasywnych
 Table 1. Specification of characteristics and technical solutions applied in passive houses

Cecha	Opis
Oszklenie	szyby dwukomorowe z powłoką niskoemisyjną: $U_g \leq 0,75 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ współczynnik przepuszczalności promieniowania: $g \geq 50\%$
Ramy okienne	ramy o podwyższonej izolacyjności: $U_R \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Obudowa budynku	superizolacja: $U \approx 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Połączenia elementów budynku	liniowy współczynnik przenikania ciepła liczony względem wymiarów zewnętrznych: $\psi < 0,01 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Szczelność obudowy	krotność wymiany powietrza $n < 0,6 \text{ h}^{-1}$ przy $\Delta p = 50 \text{ Pa}$
Wentylacja	kontrolowana wentylacja mechaniczna nawiewno-wywiewna o wydajności $30 \text{ m}^3/\text{h}$ na osobę
Odzysk ciepła	przeciuprądowy wymiennik ciepła powietrze-powietrze o sprawności $\eta \geq 80\%$
Odzysk ciepła utajonego z usuwanego powietrza	kompaktowa pompa ciepła; maksymalne obciążenie cieplne $10 \text{ W}/\text{m}^3$
Gruntowny wymiennik ciepła	podgrzewanie świeżego powietrza; temperatura świeżego powietrza $\geq 8^\circ\text{C}$

Tak korzystną charakterystykę energetyczną osiąga się dzięki maksymalnemu wykorzystaniu pasywnych zysków ciepła. Zyski te stanowią około 40% strat ciepła budynku. Dzięki zastosowaniu pozostałych rozwiązań energooszczędnych, zestawionych w tabelicy 1, w budynku pasywnym zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania jest na tyle niskie, że komfort cieplny w pomieszczeniach można zapewnić bez zastosowania klasycznej instalacji ogrzewczej. Tym należy tłumaczyć fakt, że koszty inwestycyjne w budynkach pasywnych są mniejsze niż w bardziej energochłonnych ultrabudynkach. Należy jednak zaznaczyć, że budynki pasywne wybudowane w ramach programu CEPHEUS w pięciu krajach: Niemczech, Austrii, Szwecji, Szwajcarii i Francji zostały zlokalizowane w miejscowościach o dość łagodnym klimacie, nawet w Szwecji (Göteborg).

Rozwiązania architektoniczne, materiałowo-konstrukcyjne i instalacyjne zastosowane w budynkach pasywnych wytyczają kierunki oszczędzania energii na ogrzewanie budynków i odzwierciedlają aktualne tendencje w tych obszarach budownictwa.

4.2. Rezultaty

Wstępna analiza wymagań podanych w tabelicy 1 prowadzi do wniosku, że w odniesieniu do niektórych urządzeń są one bardzo wysokie i trudne do spełnienia. Dotyczy to na przykład odzysku ciepła z powietrza wentylacyjnego, ponieważ według danych z literatury średnia sprawność płytowych rekuperatorów ciepła wynosi 57%, a regeneratorów z wymiennikami rotacyjnymi 78% [16]. Dane uzyskane z badań eksploatacyjnych są dużo niższe. W budynkach doświadczalnych o obniżonym zapotrzebowaniu na energię do ogrzewania zrealizowanych w 12 krajach wysoko rozwiniętych – w ramach programu badawczego Międzynarodowej Agencji Energetycznej – odzysk ciepła z powietrza wentylacyjnego pokrywał średnio 22% zapotrzebowania na ciepło [10].

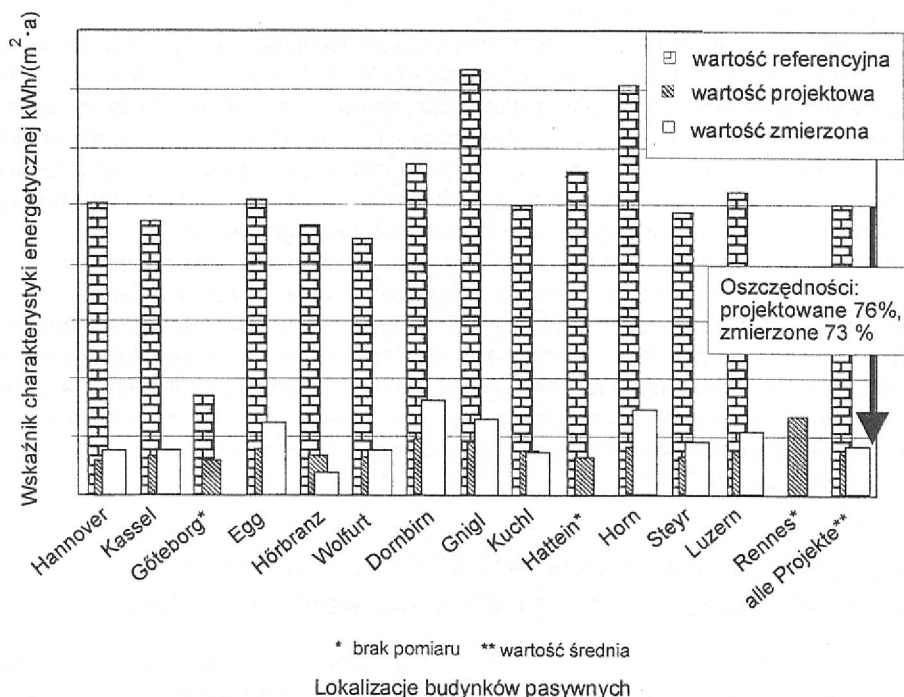
W polskich warunkach klimatycznych temperatura świeżego powietrza opuszczającego wymiennik gruntowy – przy najniższych wartościach temperatury zewnętrznej – obniża się do około 0°C.

W raporcie dotyczącym realizacji programu CEPHEUS w Austrii [8] podano opis rozwiązań techniczno-architektonicznych, warunków klimatycznych – w tym danych dotyczących nasłonecznienia – oraz kosztów budowy w odniesieniu do 9 budynków zrealizowanych w ramach tego programu.

Na rysunku 2 podano zakładane i uzyskane w pierwszym roku eksploatacji budynków pasywnych w Austrii i w innych krajach uczestniczących w programie CEPHEUS wartości wskaźnika zapotrzebowania na energię dostarczoną do budynku w porównaniu z referencyjnymi wymaganiami w odniesieniu do ogrzewania budynków. Z danych tych wynika, że w zdecydowanej większości budynków (z wyjątkiem dwóch przypadków) eksploatacyjne zużycie ciepła na ogrzewanie było większe niż przewidywane, przy czym w trzech przypadkach znacznie większe, aż o ponad 50%. Rzeczywiste zużycie energii było średnio wyższe od obliczonego o 20–25%. Tym niemniej budynki pasywne zużywają średnio o 86% mniej energii na ogrzewanie niż budynki referencyjne.

Zrealizowane w Austrii domy pasywne są budynkami wielorodzinnymi, mającymi od 4 do 31 mieszkań, lub jednorodzinnymi wolnostojącymi, albo w zabudowie szeregowej, o 2 lub 3 kondygnacjach mieszkalnych. Zdecydowana większość budynków jest podpiwniczona (7 budynków) i przykryta stropodachami pełnymi (8 budynków). W tabelicy 2

zestawiono wartości współczynnika przenikania ciepła przegród pełnych (w raporcie nie podano informacji odnośnie do wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła i izolacyjności cieplnej okien).



Rys. 2. Porównanie projektowej, zmierzonej w pierwszym roku eksploatacji oraz referencyjnej wartości współczynnika zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania w odniesieniu do budynków pasywnych w Niemczech, Szwecji, Austrii, Szwajcarii i Francji [8]

Fig. 2. Comparison of designed value, measured in the first year of an ordinary use and reference value of the indicator of heat demand for heating related to the passive houses in Germany, Sweden, Austria, Switzerland and France [8]

Tablica 2. Zestawienie wartości współczynnika przenikania ciepła ścian przegród nieprzezroczystych
Table 2. Specification of heat transfer coefficients for external walls, ceilings and floors

Przegroda	Współczynnik przenikania ciepła $W/(m^2 \cdot K)$	
	zakres	najczęściej występująca wartość (mediana)
Ściana zewnętrzna	0,09 ÷ 0,16 $W/(m^2 \cdot K)$	0,12
iw. stropodachu	0,09 ÷ 0,11 $W/(m^2 \cdot K)$	0,09 i 0,10
Strop nad piwnicami	0,10 ÷ 0,16 $W/(m^2 \cdot K)$	0,11
Podłoga na gruncie	0,13 ÷ 0,14 $W/(m^2 \cdot K)$	–

We wszystkich budynkach pasywnych omówionych w raporcie zastosowano:

- zdecentralizowaną instalację wentylacyjną mechaniczną nawiewno-wywiewną z odzyskiem ciepła z powietrza usuwanego,
- zintegrowane instalacje do ogrzewania budynku i wody użytkowej,
- kolektory słoneczne i zasobniki ciepła.

Poza tymi cechami wspólnymi rozwiązania instalacji wentylacyjno-ogrzewczych w poszczególnych budynkach znacznie się różnią. Tylko w trzech przypadkach w pełni zrealizowano podstawową ideę budynków pasywnych – w budynkach tych nie ma instalacji centralnego ogrzewania, a wymagany komfort cieplny w pomieszczeniach zapewnia wstępne ogrzewanie powietrza doprowadzanego do budynku w gruntowych wymiennikach ciepła i dogrzewanie go za rekuperatorem ciepła. W pozostałych przypadkach zastosowano następujące rozwiązania instalacji ogrzewczej:

- grzejniki w łazienkach służące do dogrzewania oraz do suszenia ręczników,
- niskotemperaturowe ogrzewania płaszczyznowe – podłogowe lub ścienne.

Jako źródła ciepła w budynkach pasywnych zastosowano kotły opalane drewnem, wysokosprawne gazowe kotły kondensacyjne i pompę ciepła. Wszystkie instalacje wentylacyjno-ogrzewcze wyposażone są w bi- lub multiwalentne źródła ciepła, a ciepło pozyskiwane z kolektorów słonecznych jest akumulowane w dużych zasobnikach. Koszt 1 m² budynku pasywnego w Austrii kształtuje się w przedziale od 1000 do 2000 euro (od 1011 E/m² do 1965 E/m²).

5. Wstępna ocena możliwości budowy budynków o niskim zużyciu energii do ogrzewania w Polsce

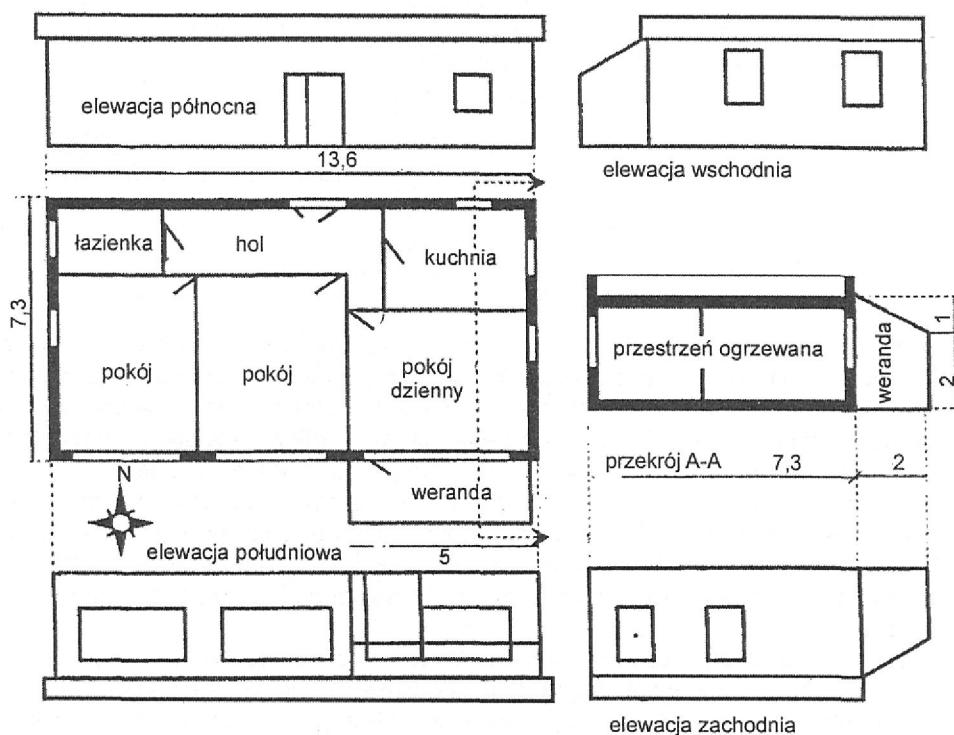
Wobec dostępności w Polsce energii na skutek wprowadzenia gospodarki rynkowej, aspekt energetyczny budynku dla wielu architektów staje się problemem drugorzędny, rozwiązywanym na poziomie projektów branżowych, o wiele mniej istotnym niż forma, funkcja czy konstrukcja obiektu [17]. Tymczasem obserwowany w ostatnich latach szybki wzrost popytu na energię i jej nośniki oraz towarzyszący temu wzrost cen nośników energii może sprawić, że problem użytkowania energii w procesie eksploatacji budynku, a w niedalekiej przyszłości zarządzanie zużyciem energii w budynkach inteligentnych stanie się dla architektów podstawowym wyzwaniem. Zupełnej zmianie może ulec sposób projektowania budynków, ponieważ każdej decyzji architekta będzie towarzyszyła lista ograniczeń dotyczących dalszych etapów projektu spowodowanych tą decyzją, na przykład decyzja odnośnie do kształtu budynku narzuci maksymalny stopień przeszklenia jego obudowy.

Obecnie inwestor, przeznaczając określone nakłady finansowe na zbudowanie domu, nie ma wystarczających lub wiarygodnych informacji dotyczących eksploatacyjnego zużycia energii w tym domu i często zdarza się, że oczekiwania dotyczące wielkości zużycia energii na ogrzewanie domu i związanych z tym kosztów nie są spełniane. Istotną barierą hamującą wnoszenie domów energooszczędnych w Polsce jest brak określenia zasad projektowania budynków energooszczędnych oraz metody ich oceny, a także wysoki koszt inwestycyjny instalacji służących do zmniejszenia eksploatacyjnej energochłonności budynków, sprawiający że ich instalowanie (np. pompa ciepła) nie jest opłacalne ekonomicznie [18].

5.1. Założenia do analizy

Jako budynek modelowy do analizy wpływu rozwiązań materiałowo-instalacyjnych na eksploatacyjne zużycie ciepła do ogrzewania [19] wybrano wolno stojący parterowy budynek jednorodzinny o takich samych wymiarach, jak budynek w odniesieniu do którego zostały wykonane obliczenia sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania, których wyniki podano w załączniku L do PN-EN 823:1998 [15]. Rzut parteru i widoki elewacji budynku pokazano na rysunku 3. Założono, że budynek jest wykonany w technologii tradycyjnej, z przegrodami zewnętrznymi ocieplonymi od zewnątrz. Obliczenia wykonano w odniesieniu do zestawionych w tabelicy 3 wariantowych rozwiązań ocieplenia obudowy budynku i instalacji ogrzewczo-wentylacyjnej, wykorzystujących stosowane w Polsce technologie, materiały i wyroby budowlane.

„Dobra izolacja” oznacza, że grubość warstwy ocieplającej na ścianach zewnętrznych stropodachu i podłodze nad piwnicą jest równa odpowiednio: 15 cm, 20 cm i 10 cm; w przypadku bardzo dobrej izolacji grubości te kształtują się w sposób następujący: 20 cm, 25 cm i 15 cm.



Rys. 3. Rzut parteru i widok elewacji budynku modelowego
Fig. 3. Plan of ground floor and view of external walls

Tablica 3. Zestawienie wariantów obliczeniowych zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania modelowego budynku jednorodzinnego

Table 3. Specification of alternatives for calculations of heat demand for heating of a model one-family building

Wariant obliczeniowy	Izolacja przegród	Posadowienie budynku	Wentylacja pomieszczeń	Temperatura wewnętrzna	Źródło ciepła
A	dobra	piwnica	wg PN	wymagana	kocioł gazowy
B	jw.	jw.	obniżona	jw.	jw.
C	jw.	podłoga na gruncie	wg PN	jw.	jw.
D	jw.	jw.	obniżona	jw.	jw.
E	bardzo dobra	piwnica	jw.	jw.	jw.
F	jw.	jw.	obniżona	jw.	jw.
G	jw.	jw.	jw.	obniżona	jw.
H	jw.	jw.	wg PN + rekuperator	wymagana	jw.
I	jw.	jw.	wg PN	jw.	kocioł gazowy + pompa ciepła (układ biwalentny)
J	jw.	jw.	wg PN	jw.	pompa ciepła
K	jw.	jw.	wg PN + rekuperator	jw.	jw.

Założono dwa rodzaje wentylacji: grawitacyjną, najczęściej stosowaną w budynkach mieszkalnych w Polsce, i energooszczędną wentylację nawiewno-wywiewną z rekuperatorem ciepła z powietrza usuwanego z budynku. Przeanalizowano działanie wentylacji grawitacyjnej, zapewniającej strumienie powietrza odpowiadające wymaganiom PN-83/B-03430 [20] oraz o wydajności obniżonej o 60%. Wartość ta jest wartością średnią, co oznacza, że w czasie obecności mieszkańców w budynku intensywność wentylacji jest wyższa – odpowiadająca wymaganiom, a w czasie ich nieobecności niższa. Dalsze obniżenie intensywności wentylacji uznano za niemożliwe ze względu na zapewnienie na minimalnym poziomie warunków sanitarno-higienicznych w pomieszczeniach.

Termin „wymagane temperatury” oznacza, że w pomieszczeniach mieszkania przyjęto wartości temperatury wewnętrznej podane w przepisach budowlanych [1], czyli 24°C w przypadku łazienki i 20°C w przypadku pozostałych pomieszczeń. Obniżenie tych wartości oznacza przyjęcie w obliczeniach 20°C w łazience i 18°C w pozostałych pomieszczeniach. Są to zakładane wartości średnie miesięczne, osiągane dzięki obniżaniu temperatury wewnętrznej w okresie nieobecności mieszkańców w budynku i w nocy.

Założono i przeanalizowano następujące warianty instalacji centralnego ogrzewania:

- z kotłem gazowym i grzejnikami stalowymi płytowymi instalowanymi pod oknami,
- z pompą ciepła i kotłem gazowym szczytowym w układzie biwalentnym z grzejnikami jw.,
- z pompą ciepła i ogrzewaniem podłogowym.

We wszystkich wariantach obliczeniowych przyjęto taką samą izolacyjność cieplną okien: $U = 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ i drzwi wejściowych do budynku: $U = 2,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

5.2. Wyniki analizy

W obliczeniach strat ciepła przez przegrody pełne uwzględniono wpływ mostków cieplnych powstających w miejscu połączeń elementów przegród. Wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła charakteryzujące te mostki obliczono za pomocą elektronicznego katalogu mostków cieplnych EUROKOBRA. Wartości współczynników przenikania ciepła zestawiono w tabelicy 4.

Tablica 4. Zestawienie wartości współczynnika przenikania ciepła przegród budynku modelowego
Table 4. Specification of heat transfer coefficients for external walls, ceilings and floors in the model building

Nazwa przegrody	Izolacyjność cieplna	Współczynnik przenikania ciepła $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	
		U_e^*	U_k^{**}
Ściana zewnętrzna	dobra	0,23	0,27 ÷ 0,37
	bardzo dobra	0,18	0,23 ÷ 0,34
Stropodach	dobra	0,19	0,19
	bardzo dobra	0,16	0,16
Strop nad nieogrzewaną piwnicą	dobra	0,31	0,32
	bardzo dobra	0,22	0,22

* Bez uwzględnienia mostków cieplnych
 ** Z uwzględnieniem mostków cieplnych przy przyjęciu do obliczeń zewnętrznych wymiarów przegród

Z danych zamieszczonych w tabelicy 4 wynika, że w obliczeniach cieplnych, przynajmniej w odniesieniu do ścian zewnętrznych, konieczne jest uwzględnianie wpływu mostków cieplnych na wartość współczynnika przenikania ciepła, a pomijanie tego wpływu – co jest często stosowanym uproszczeniem przyjmowanym w obliczeniach sezonowego zapotrzebowania na ciepło – skutkuje znacznym zaniżeniem wyników obliczeń.

Wartości sezonowego zapotrzebowania na ciepło netto obliczono za pomocą programu MAIN 3. W obliczeniach wskaźników zapotrzebowania na energię dostarczoną do budynku i energię pierwotną przyjęto następujące założenia:

- sprawność wytwarzania ciepła w kotle gazowym równą $\eta_w = 0,8$,

- sprawność przesyłu ciepła równą 1 – źródło ciepła umieszczone w pomieszczeniu,
- sprawność wykorzystania (lub emisji) ciepła równą 0,95 – grzejniki usytuowane w pomieszczeniach pod oknami,
- sprawność regulacji dostawy ciepła do pomieszczeń obliczoną z zależności:

$$\eta = 1 - \left(1 - \eta_{\infty}\right) 2 \sqrt{GRL} \quad (4)$$

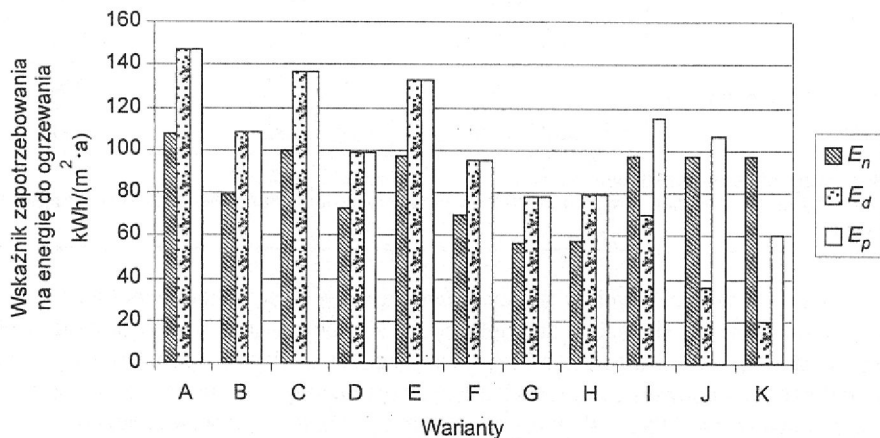
gdzie: η_{∞} – sprawność regulacji instalacji ogrzewczej w zależności od jej wyposażenia w urządzenia do automatycznej regulacji: w obliczeniach przyjęto $\eta_{\infty} = 0,95$,

GLR – stosunek zysków do strat ciepła określony zgodnie z PN-B-02025 [9].

Sprawność krzyżowego wymiennika ciepła w układzie odzysku ciepła wentylacyjnego przyjęto równą 0,57.

W układzie biwalentnym założono, że pompa ciepła z wymiennikiem gruntowym jako źródłem dolnym pokrywa zapotrzebowanie na 65% ciepła do ogrzewania budynku, pracując ze średnią wydajnością grzejną równą 3,0. W układzie monowalentnym przyjęto, że taka sama pompa ciepła pokrywa całkowite zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania pomieszczeń budynku dostarczane przez niskotemperaturowe ogrzewanie podłogowe, pracując ze średnią wydajnością cieplną równą również 3,0. W obydwu wypadkach założono taką samą różnicę temperatury między dolnym i górnym źródłem ciepła.

Wyniki obliczeń wskaźników sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania netto, dostarczanego do budynku i wyrażonego w energii pierwotnej, pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Wartości wskaźników zapotrzebowania na energię do ogrzewania E_n , E_d i E_p w odniesieniu do rozpatrywanych wariantów obliczeniowych

Fig. 4. Values of indicators of energy demand for heating E_n , E_d and E_p related to the alternative calculations

6. Podsumowanie

Z przeprowadzonych analiz wynikają następujące wnioski:

- Konieczne jest uporządkowanie kryteriów oceny energetycznej budynków. Proponuje się odejście od stosowania wskaźnika zapotrzebowania na ciepło netto E_n – mającego zastosowanie tylko do oceny wpływu obudowy i wentylacji w budynku na zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania – i zastąpienie go zgodnie z projektem normy europejskiej [7] wskaźnikiem zapotrzebowania na energię dostarczoną do budynku.

- Projekt CEPHEUS wykazał, że obecnie można realizować budynki charakteryzujące się bardzo małym zapotrzebowaniem na ciepło do ogrzewania – na poziomie praktycznie nie przekraczającym $15 \div 20 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ energii dostarczonej do budynku. Możliwe jest to jednak dzięki zintegrowaniu rozwiązań architektoniczno-techniczno-materiałowych, takich jak duża izolacyjność cieplna obudowy budynku, wykorzystanie energii otoczenia oraz stosowanie bi- i multiwalentnych źródeł ciepła. Projekt CEPHEUS potwierdził ponadto celowość testowania tych rozwiązań w budynkach doświadczalnych. W Polsce istnieje w zasadzie tylko jeden, znany autorowi, budynek energooszczędny, w którym od kilku lat prowadzi się monitoring energetyczny [21], [22]. Jest to działanie stanowczo niewystarczające, w związku z czym postuluje się rozpoczęcie programu budowy i badań doświadczalnych budynków energooszczędnych, na podstawie których będzie można sformułować wymagania, jakie powinny spełniać budynki zakwalifikowane do tej kategorii.

- Przeprowadzone obliczenia w odniesieniu do energooszczędnego budynku modelowego wykazały, że:

- w przypadku budynku z dobrą izolacją cieplną przegród nieprzezroczystych, eksploatowanym zgodnie z zaleceniami przepisów budowlanych, uzyskuje się wartość wskaźnika zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania E_n nieco niższą od wymaganej w przepisach, wynoszącej w przypadku budynku modelowego $107,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, a po odniesieniu do 1 m^3 ogrzewanej kubatury budynku $34,5 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{a})$; jest to niewiele mniej niż wartość tego wskaźnika wymagana w obecnie obowiązujących przepisach z zakresu ochrony cieplnej budynków, równa $37,4 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{a})$,

- kryterium klasyfikacji budynku do grupy budynków o obniżonym zapotrzebowaniu na ciepło netto $E_0 < 70 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ jest trudne do spełnienia w przypadkach budynków jednorodzinnych wolnostojących – przy założeniu eksploatacji budynku zgodnej z wymaganiami przepisów budowlanych konieczne byłoby zastosowanie okien o podwyższonej izolacyjności cieplnej w stosunku do okien obecnie stosowanych; może być natomiast spełnione przy założeniu ograniczenia wentylacji lub/i obniżenia temperatury wewnętrznej,

- zastosowanie bardzo dobrej izolacji wszystkich przegród zewnętrznych nieprzezroczystych pozwala na zmniejszenie wskaźnika zapotrzebowania na ciepło E_n o około 10%,

- znaczne oszczędności energetyczne osiąga się dzięki energooszczędnej eksploatacji budynku, polegającej na obniżeniu intensywności wentylacji lub obniżeniu temperatury w pomieszczeniach; stosując oba te środki jednocześnie można obniżyć zapotrzebowanie na ciepło o ponad 40%.

Bibliografia

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. nr 75/2002, poz. 690)
- [2] Wittwer V.: Integrating renewable energies, Workshop Integrated Projects and Networks of Excellence, instruments of the 6th Framework Programme, Brussels, 30 May 2002
- [3] Rglamentation Thermique 2000 Guide de presentation de la nouvelle rglamentation, DGUHC, ADEME, CSTB (wersja elektroniczna)
- [4] Sanders C.: Thermal Bridges at Junctions and Openings, UK Conference on Thermal Bridging Part L & Thermal Bridging Getting in Right, BRE Garston UK, 24th May 2002
- [5] Dyrektywa Energy Performance of Buildings
- [6] Explanation of the general relationship between various CEN standards and the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), („Umbrella document”) Version 3a, 25 October 2004, dokument roboczy CEN/BT WG 173 EPBD
- [7] Energy performance of buildings Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings, dokument roboczy CEN/TC 89 N 975 E
- [8] Krapmeier H., Drössler E.: CEPHEUS – Living comfort without heating. Springer, Wien – New York
- [9] PN-B-02025:2001 Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego
- [10] Kisilewicz T.: Budynki o radykalnie obniżonym zapotrzebowaniu na energię konwencjonalną. IV Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna „Problemy projektowania, realizacji i eksploatacji budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię” ENERGODOM 98, Kraków – Mogilany, 14–17 października 1998 r.
- [11] Kasperkiewicz K., Kowalewska K.: Perspektywy budynków o niskim zużyciu energii do ogrzewania i pasywnych. Konferencja Naukowo-Techniczna ITB „Budownictwo spełniające wymagania zrównoważonego rozwoju”, Mrągowo, 27–29 października 2002 r.
- [12] www.paroc.pl
- [13] Laskowski L.: Deklarowana i faktyczna charakterystyka cieplna małych budynków mieszkalnych. COW 12005
- [14] www.passivehouse.com
- [15] PN-EN 832:2001 Właściwości cieplne budynków. Obliczanie zapotrzebowania na energię do ogrzewania. Budynki mieszkalne
- [16] Pawłojć A., Targański A., Bonca Z.: Odzysk ciepła w systemach wentylacyjnych i klimatyzacyjnych. IPPU MASTA 1999
- [17] Kłosak D., Kłosak A.: Energooszczędny budynek mieszkalny widziany okiem architekta. Konferencja Naukowo-Techniczna ITB „Energooszczędne budownictwo mieszkaniowe”, Mrągowo, 30 maja – 1 czerwca 2001 r.
- [18] Gawin D., Heim D.: O opłacalności zastosowania pomp ciepłych do ogrzewania budynku jednorodzinnego w polskich warunkach klimatycznych. IV Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna „Problemy projektowania, realizacji i eksploatacji budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię” ENERGODOM 98, Kraków – Mogilany, 14–17 października 1998 r.
- [19] Praca badawcza ITB nr 105/3647/NF-42/03: Budynki o niskim zużyciu energii do ogrzewania (raport roczny za rok 2003), Warszawa, grudzień 2003 r. (maszynopis), biblioteka ITB

- [20] PN-83/B-03430 Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania
- [21] Sarosiek W., Rudczyk-Malijewska E.: Eksploatacja energooszczędnego domu jednorodzinnego. *Materiały Budowlane*, 1, 2003
- [22] Sarosiek W, Sadowska B.: Doświadczenia z czteroletniej eksploatacji budynku energooszczędnego. *Materiały Budowlane*, 1, 2005

SELECTED PROBLEMS OF ASSESSMENT AND DESIGNING THE ENERGY-EFFICIENT RESIDENTIAL BUILDINGS

Summary

For more than thirty years reducing of the energy use in buildings have become an essential and lasting trend in the development of building engineering. Energy-efficient buildings among other things are designed for evaluation the possibilities of energy economies adequate to the current level of the technical progress and economical conditions. The paper discusses methods of energy assessment of building using indicators related to net, delivered and primary energy consumed for heating and describes assessment criteria of energy efficient buildings. The paper gives also an overview of Austrian experiences concerning the design of passive houses executed in the frame of the CEPHEUS project and presents the preliminary evaluation of methods and possibilities of reducing the energy consumption for heating in one-family house in Poland.

Praca wpłynęła do Redakcji 8 III 2005