

MAŁGORZATA FEDORCZAK-CISAK, ANTONI STACHOWICZ\*

## BUDYNKI NISKOENERGETYCZNE DLA KAŻDEGO

---

### LOW-ENERGY STANDARD BUILDINGS

#### Streszczenie

W niniejszym artykule sformułowano zadanie optymalizacji budynków niskoenergetycznych, stosując metodę optymalizacji wielokryterialnej (minimum kosztów obudowy budynku i minimum zapotrzebowania na energię do ogrzewania) i wielopoziomowej. Wykazano możliwe do uzyskania efekty w zakresie zmniejszenia zapotrzebowania na energię dla standardowych rozwiązań projektowych.

*Słowa kluczowe: budownictwo niskoenergetyczne, optymalizacja wielopoziomowa*

#### Abstract

Optimization tasks were formulated for problems in designing low-energy apartment buildings. It is multicriteria (minimum costs and minimum energy consumption) and multi-level optimization problem. Effects possible to be attained in limiting heating energy consumption were defined.

*Keywords: low-energy buildings, multilevel optimization*

---

\*Mgr inż. Małgorzata Fedorczyk-Cisak, prof. dr hab. inż. Antoni Stachowicz, Instytut Materiałów i Konstrukcji Budowlanych, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

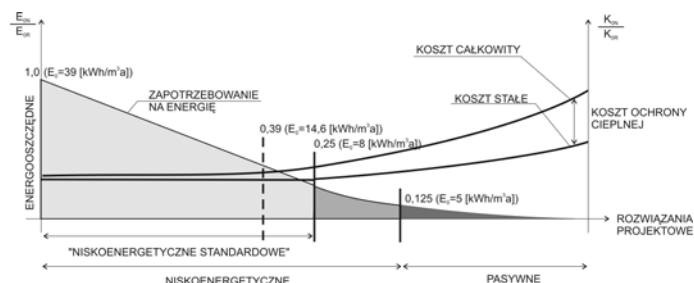
Współcześnie problem ograniczenia zużycia energii oraz konwersja źródeł energii należą do priorytetów programowych Unii Europejskiej, stanowiąc jeden z głównych obszarów działań w ramach strategii zrównoważonego rozwoju (programy ramowe, fundusze strukturalne). Ograniczenie zapotrzebowania na energię zmniejsza oczywiście zużycie surowców energetycznych, a także powoduje bezpośrednio zmniejszenie zanieczyszczeń środowiska powstających przy produkcji energii. Ostatnia Deklaracja Berlińska Przywódców Państw Unii (2007) przewiduje redukcję emisji CO<sub>2</sub> o ok. 30% oraz zwiększenie wykorzystania energii odnawialnej o 20% do 2020 r. Podczas szczytu G8 ustalono także wysokie ograniczenia na kolejne lata (zmniejszenie o 50% emisji zanieczyszczeń do 2050 r.). Istotnym elementem tych działań powinno być ograniczenie zużycia energii przeznaczonej na ogrzewanie mieszkań. W sektorze komunalno-bytowym zużycie energii do ogrzewania pomieszczeń przeznaczonych na stały pobyt ludzi wciąż stanowi ok. 40% całkowitego zużycia energii w kraju, a podstawowymi nośnikami energii są tu konwencjonalne surowce energetyczne. Co jest jednak istotne, działania w tym obszarze zmierzające do zmniejszenia zużycia energii należą do jednych z bardziej efektywnych.

## 2. Budynki niskoenergetyczne

Standardy projektowe dotyczące ochrony cieplnej budynków mieszkalnych przyjęte w krajach Unii, w tym i w Polsce, mimo pewnego zróżnicowania wymagań, zapewniają projektowanie budynków o racjonalnym zużyciu energii na ogrzewanie. Zużycie to jest znacznie mniejsze w porównaniu z budynkami wcześniej realizowanymi. Należy podkreślić, że stosowanie rozwiązań normatywnych jest aktualnie dla inwestora w pełni ekonomicznie efektywne ze względu na obniżenie kosztów zużywanej energii. W świetle wymagań prawnych są to **budynki ergooszczędne**. Według przepisów krajowych wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na energię do ogrzewania,  $E$ , w tych budynkach nie powinien przekraczać 29–37,4 kWh/m<sup>3</sup>a (w zależności od współczynnika kształtu  $A/V$ ). W ocenie energetycznej (także środowiskowej) budynki te nazywane są też **budynkami referencyjnymi**.

Strategia ochrony środowiska, w tym strategia energetyczna Unii Europejskiej, wskazuje na konieczność dalszego obniżenia zużycia energii przeznaczonej na ogrzewanie budynków mieszkalnych. Budynki o lepszej ochronie cieplnej w porównaniu z wymaganiami normatywnymi zaliczane są do grupy **budynków niskoenergetycznych**. Przy radykalnym zmniejszeniu zapotrzebowania na energię budynki określane są jako **budynki pasywne**. Granica pomiędzy tymi budynkami jest umowna. W literaturze najczęściej określana jest przy wartości wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na energię do ogrzewania,  $E$ , na poziomie 5 kWh/m<sup>3</sup>a.

Przedmiotem niniejszego artykułu jest analiza możliwości ograniczenia zużycia energii w wyniku realizacji budynków niskoenergetycznych. Wydaje się bowiem, że upowszechnienie projektowania i realizacji budynków niskoenergetycznych w najbliższych latach powinno stanowić główny kierunek działań dla zmniejszenia zużycia energii w rozpatrywanym sektorze. Powyższą tezę starano się wykazać na przykładzie **standardowych** budynków niskoenergetycznych, „budynków niskoenergetycznych dla każdego”. Zdefinio-



Ryc. 1. Podział budynków ze względu na wartość wskaźnika zapotrzebowania na ogrzewanie  $E$   
 Fig. 1. The division of buildings take into consideration the value coefficient  $E$

wano je jako budynki charakteryzujące się wskaźnikiem  $E$  znacznie niższym od określonego przez aktualne normatywy projektowe i wysoką izolacyjnością przegród zewnętrznych (nawet na poziomie stosowanym w budynkach pasywnych). Jednak budynki te są projektowane (realizowane) przy zachowaniu rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych oraz rozwiązań w zakresie kształtowania przestrzeni wewnętrznej budynku i funkcji mieszkania, odpowiadających standardowym rozwiązaniom projektowym stosowanym obecnie w budownictwie mieszkaniowym akceptowanym przez użytkowników, bez wprowadzania w tym zakresie nowych elementów.

Metodą oceny jest optymalizacja rozwiązań budynków niskoenergetycznych.

### 3. Sformułowanie problemu, metoda rozwiązania

#### 3.1. Ogólne sformułowanie

Zadanie sformułowano jako problem optymalizacji dwukryterialnej  $\mathbf{K}_i$ .

$$\mathbf{K}(m^*) = \min_{m \in Q} \mathbf{K}_i(m) \quad (i = 1, 2) \quad (1)$$

gdzie:  $Q(m) = \{m: g(m) \geq 0\}$ .

Wprowadzając podział zbioru zmiennych  $\mathbf{M}$  na klasy  $\mathbf{MA} = \mathbf{V}$  zbiór zmiennych dyskretnych i  $\mathbf{MB} = \mathbf{U}$  zbiór zmiennych ciągłych, zadanie optymalizacji można zapisać jako zadanie wielopoziomowe

$$\mathbf{K}(m^*) = \min_{v \in V} [\min_{u \in Q} \mathbf{K}_i(v, u)] \quad (2)$$

gdzie  $Q(v_i, u) = \{(v_i, u): g(v_i, u) \geq 0\}$

$$\mathbf{K}_i = \{K_1, K_2\} - \text{wektorowa funkcja celu} \quad (3)$$

gdzie:

$K_1$  – koszt realizacji przegród zewnętrznych budynku [zł],

$K_2$  – zapotrzebowanie na energię do ogrzewania [kWh/a].

$\mathbf{V} = \{v_i\}$ ,  $i = 1, 2, 3$  – zbiór zmiennych dyskretnych,

$\mathbf{U} = \{u_i\}$ ,  $i = 1, \dots, 5$  – zbiór zmiennych decyzyjnych ciągłych, (4)

$\mathbf{G} = \{g_j(v_i, u)\}$ ,  $j = 1, \dots, 5$  – zbiór ograniczeń.

## 3.2. Zmienne decyzyjne dyskretne

Tablica 1

Wartości zmiennych dyskretnych $v_i$		
$v_1$	$v_2$	$v_3$
$(v_{1,1}, v_{1,9})^*$ ściany dwuwarstwowe	$v_{2,1}$ (0,45; 0,70) **	$v_{3,1}$ parterowy ***
$(v_{1,10}, v_{1,13})^*$ ściany trzywarstwowe	$v_{2,2}$ (0,55; 0,64) **	$v_{3,2}$ dwukondygnacyjny ***
	$v_{2,3}$ (0,77; 0,50) **	$v_{3,3}$ parter, poddasze ***
	$v_{2,4}$ (1,08; 0,42) **	
* Warstwa konstrukcyjna: beton komórkowy, cegła pełna, cegła silikatowa. Warstwa termoizolacyjna: styropian, wełna mineralna. Warstwa osłonowa: cegła klinkierowa, cegła silikatowa. ** Opór cieplny $R_o$ , współczynnik przepuszczalności promieniowania słonecznego TR. *** Wszystkie budynki o powierzchni użytkowej 169 m <sup>2</sup> .		

## 3.3. Zmienne decyzyjne ciągłe i ograniczenia

Tablica 2

Wartości zmiennych ciągłych $u_i$				
$u_i$ ↓	Opis	Symbol	Ograniczenie dolne $g_{i,min}$	Ograniczenie górne $g_{i,max}$
$u_1$	współczynnik przeszklenia	$r_i$ ( $i = 1, \dots, 8$ ) [-]	0,135	0,18
$u_2$	opór cieplny ścian zewnętrznych	$R_s$ [m <sup>2</sup> K/W]	3,33	10,0
$u_3$	wsp. kształtu podstawy budynku	$\xi$ [-]	1,0	1,414
$u_4$	opór cieplny stropodachu/dachu	$R_d$ [m <sup>2</sup> K/W]	3,33	10,0
$u_5$	opór cieplny podłogi na gruncie	$R_p$ [m <sup>2</sup> K/W]	1,5	6,0

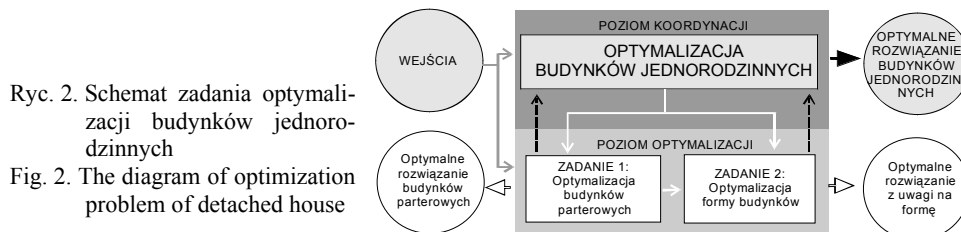
3.4. Zbiór ograniczeń  $G$ 

Ograniczenia nałożone na zmienne decyzyjne ciągłe przedstawiono w tabl. 2. Dolne wartości ograniczeń oporów cieplnych przegród są zgodne z aktualnymi wymaganiami normatywnymi w zakresie izolacyjności termicznej przegród zewnętrznych. Górne wartości oporów cieplnych przegród zewnętrznych przyjęto: dla ścian i stropodachu  $U = 0,1$  W/m<sup>2</sup>K, dla podłogi na gruncie  $U = 0,166$  W/m<sup>2</sup>K, ograniczenia górne odpowiadają wymaganiom stawianym budynkom pasywnym. Wszystkie wartości zbioru zmiennych dyskretnych są dopuszczalne.

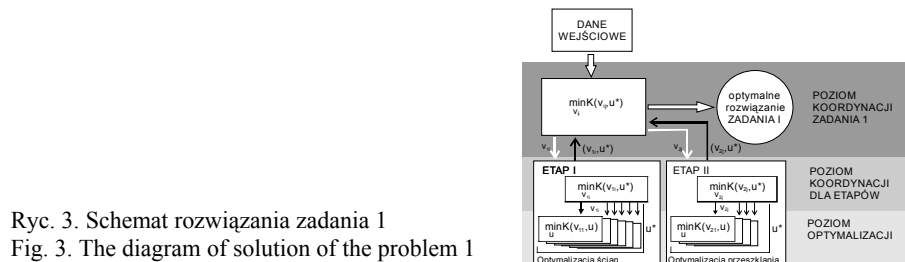
## 3.5. Metoda rozwiązania

Zadania optymalizacji ze względu na wartości zmiennych decyzyjnych ciągłych są zadaniami programowania nieliniowego z ograniczeniami. Wyniki otrzymano na drodze numerycznej, korzystając z pakietu programów CAMOS (autor A. Osyczka). Do obliczeń zadań optymalizacji jednokryterialnej (poziom dolny: min.  $K_1$ , min.  $K_2$ ) zastosowano metodę kombinowaną, złożoną z metody losowej i metody iteracyjnej zmiennych tolerancji.

Do poszukiwań rozwiązania preferowanego (w zadaniu polioptymalizacji) zastosowano metodę kryterium globalnego.

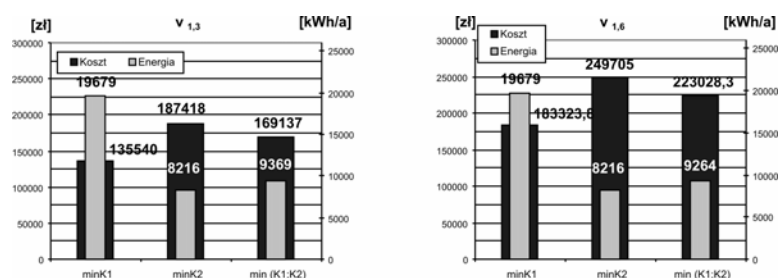


Optymalizacja w zbiorach wartości zmiennych dyskretnych przeprowadzona była metodą selektywnego przeszukiwania. Dla uzyskania wyników dla wszystkich wartości zmiennych dyskretnych zastosowano interpolację i ekstrapolację.



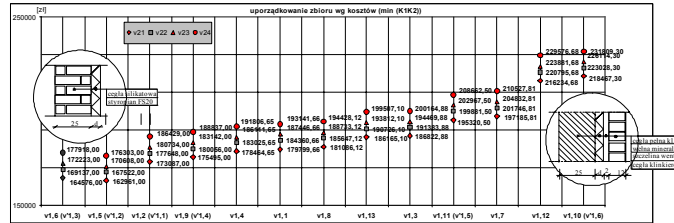
#### 4. Przykłady rozwiązań

1. Przykład rozwiązania zadań poziomu dolnego dla skrajnych przypadków rozwiązań ścian zewnętrznych przedstawiono na ryc. 4.



Ryc. 4. Rozwiązania poziomu dolnego dla skrajnych wartości zmiennej  $v_1$   
Fig. 4. The solutions of lower level for the extreme cases value of  $v_1$

2. Rozwiązanie zadania poziomu koordynacji uwzględniające rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne ścian ( $v_1$ ) oraz typ okien ( $v_2$ ). Rozwiązanie preferowane ze względu na minimum kosztów przedstawiono na ryc. 5.



Ryc. 5. Rozwiązanie preferowane poziomu koordynacji dla zmiennych  $v_1$  i  $v_2$   
 Fig. 5. Preferable solution set of coordination for values  $v_1$  and  $v_2$

### 5. Wnioski

1. Optymalne projektowanie budynków niskoenergetycznych umożliwia uzyskanie istotnego zmniejszenia zapotrzebowania na energię do ogrzewania przy zachowaniu rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych, jak i rozwiązań w zakresie kształtowania przestrzeni wewnętrznej budynku i funkcji mieszkania, odpowiadających standardowym rozwiązaniom projektowym stosowanym obecnie w budownictwie mieszkaniowym.
2. W przypadku standardowych budynków niskoenergetycznych, stosując zwarty kształt budynku (prostokąt) i optymalne jego parametry, zwiększając izolacyjność termiczną przegród zewnętrznych pełnych i okien oraz optymalizując rozmieszczenie i wielkość okien na poszczególnych elewacjach, można uzyskać zmniejszenie wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na energię do wartości 14,6 kWh/m<sup>3</sup>a w porównaniu z 39,8 kWh/m<sup>3</sup>a dla podobnego budynku energooszczędnego (referencyjnego). Stosując w optymalizacji dodatkowo zmienną formę budynków, można uzyskać wskaźnik  $E$  na poziomie 11,4 kWh/m<sup>3</sup>a (dla budynku z poddaszem użytkowym) – tabl. 3.

Tablica 3

**Możliwości obniżenia wartości wskaźnika  $E$**

Lp.	Opis	$\Delta E$ [kWh/(m <sup>3</sup> a)]	$E$ [kWh/(m <sup>3</sup> a)]
1	Budynek energooszczędny parterowy		39,8
2	Standardowy budynek niskoenergetyczny		
	– parterowy	25,2	14,6
	– piętrowy	26,6	13,2
	– z użytkowym poddaszem	28,4	11,4

3. Prawdziwe wydaje się twierdzenie, że w naszej strefie klimatycznej zasadnicze zmniejszenie zużycia energii do eksploatacji potrzebnej w budownictwie mieszkaniowym można uzyskać głównie przez upowszechnienie budynków niskoenergetycznych.
4. Działania te nie są efektywne dla inwestora (długi czas zwrotu), dlatego rozwój budownictwa niskoenergetycznego wymaga wsparcia przez politykę państwa (przykłady zachodnioeuropejskie).

### Literatura

- [1] Praca zbiorowa pod red. Marks W., *Optymalizacja w fizyce budowli*, SFB, Łódź 2001.
- [2] Stachowicz A., Fedorczyk-Cisak M., *Low-energy building design as a case of multilevel optimization*, Proc. Int. Conf. SustainableBuildings, Oslo 2002.