

MARCIN FURTAK, MAŁGORZATA FEDORCZAK-CISAK*

PROJEKTOWANIE BUDYNKÓW Z WYKORZYSTANIEM OPTYMALIZACJI WIELOKRYTERIALNEJ

BUILDINGS DESIGNING WITH MULTICRITERIA OPTIMIZATION TOOL

Streszczenie

W artykule przedstawiono możliwość wykorzystania narzędzia, jakim jest optymalizacja wielokryterialna do oceny jakości energetycznej projektowanego budynku jednorodzinne. Zaproponowano nowe ujęcie współpracy architekta z inwestorem, bazujące na świadomym pod względem oceny energetycznej wyborze rozwiązań projektowych. W przykładzie przedstawiono porównanie pomiędzy budynkiem jednorodzinny mieszkalny zaprojektowanym w tradycyjny sposób a budynkiem o obniżonym zapotrzebowaniu na energię. Określono różnicę kosztów zmiany jakości energetycznej budynku.

Słowa kluczowe: proces projektowania, optymalizacja wielokryterialna, budynek energooszczędny, budynek niskoenergetyczny

Abstract

The paper presents possibilities of making use of a tool such as multicriteria optimization to evaluate energy quality of a building designed for one family. New presentation of architect – contractor cooperation was proposed, based on conscious, as far as energy evaluation is concerned, choice of design solutions. The example compares one-family residential building designed in a traditional way to a building in which energy demand is lowered. The difference in the costs of energy quality change of a building was defined.

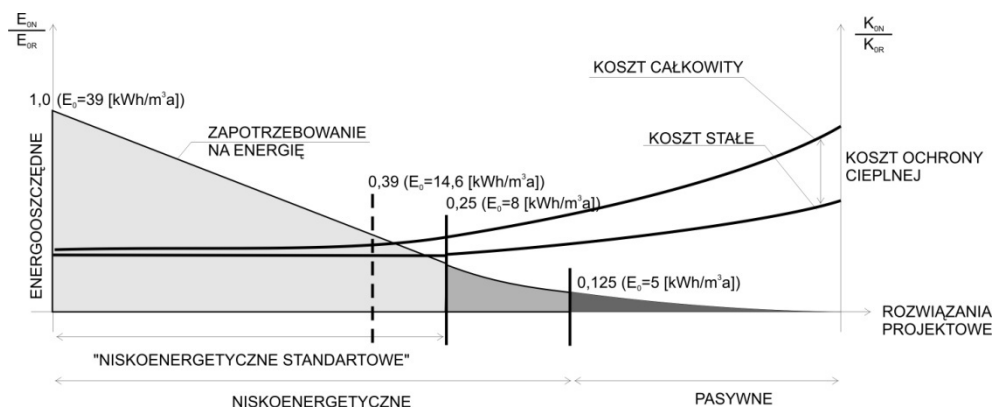
Keywords: designing proces, multicriteria optimization, energy-saving building, low-energy building

* Dr arch. inż. Marcin Furtak; dr inż. Małgorzata Fedorcza-Cisak, Instytut Materiałów i Konstrukcji Budowlanych, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Jednym z głównych działań polityki Unii Europejskiej w ramach strategii zrównoważonego rozwoju w budownictwie jest ograniczenie zużycia energii (programy ramowe, fundusze strukturalne). Problem ten jest szczególnie istotny w sektorze komunalno-bytowym. Zużycie energii do ogrzewania budynków wciąż stanowi w Polsce znaczący procent całkowitego zużycia energii w kraju. Działania w tym obszarze, zarówno dotyczące termomodernizacji budynków istniejących, jak i tworzenia nowych projektów, należą do jednych z bardziej efektywnych.

W obszarze budynków nowo projektowanych wybór charakteru budynku ze względu na zużycie energii dokonywany jest już w fazie tworzenia założeń projektowych. Informacje na temat możliwości wyboru budynku o określonej energochłonności są coraz łatwiej dostępne przyszłym inwestorom (katalogi budynków energooszczędnych, pomoc architektów). Jednak wciąż brakuje popularyzacji wiedzy o tym jak wybór budynku o niższym zapotrzebowaniu na energię użytkową (niskoenergetyczne, pasywne), wpływa na koszty wstępne projektu oraz jakie oszczędności w porównaniu z użytkowaniem budynku standartowego przyniesie użytkownikowi podczas eksploatacji.



Rys. 1. Podział budynków z uwagi na wartość E

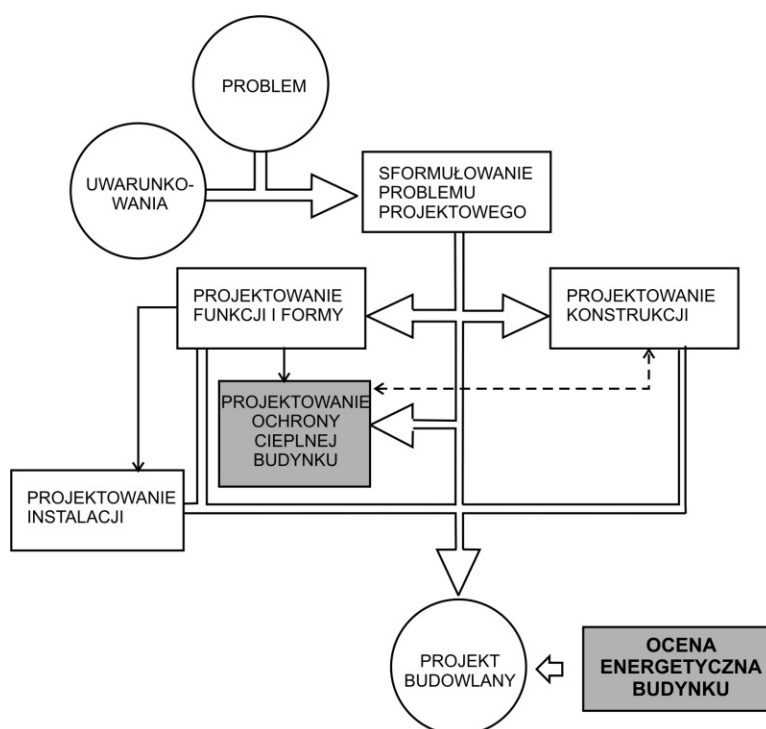
Fig. 1. Classification of buildings depending on E value

Proces projektowania opiera się głównie na współpracy architekta z inwestorem. Architekt musi brać pod uwagę oczekiwania klienta dotyczące koncepcji budynku, jednakże powinien również posiadać odpowiednią wiedzę dotyczącą wpływu wyboru poszczególnych rozwiązań funkcjonalno-materiałowych na zużycie energii w projektowanym budynku. Świadomy wybór w tym obszarze ma bezpośredni wpływ na interes inwestora, czyli późniejsze koszty eksploatacyjne.

W procesie tworzenia projektu architekt powinien pokazać inwestorowi, jak zmiany w koncepcji wymarzonego projektu będą wpływały na koszty początkowe i koszty użytkowania oraz na aspekt ekologiczny związany ze zużyciem energii pierwotnej. Dzięki takim analizom wstępnym, a następnie wnioskom projektowym, powstaje w pełni przemyślana dokumentacja projektowa domu, która spełnia warunki budynku energooszczędnego,

niskoenergetycznego lub pasywnego (rys. 1), jednocześnie zapewniając optymalny komfort użytkownika mieszkańcom. Przede wszystkim zaś jest świadomym wyborem inwestora.

Oczywiście zadaniem projektanta nie jest przeprowadzanie symulacji komputerowych, czy rozwiązywanie problemów optymalnego kształtowania związane z ochroną cieplną budynku. Powinien natomiast mieć dostęp do zbioru informacji dotyczących projektowania ochrony cieplnej budynku. Dotyczy to decyzji w elementach procesu projektowania pokazanych na rysunku 2. W tym zakresie podstawowe informacje dotyczące projektowania budynków niskoenergetycznych dostarczają wyniki symulacji komputerowych [5] czy też rozwiązania problemów optymalnego kształtowania tych budynków [2, 4].



Rys. 2. Ogólny schemat procesu projektowania

Fig. 2. General design scheme

W artykule zaprezentowano jak zmiana typowego projektu budynku jednorodzinne na budynek niskoenergetyczny, przekłada zużycie energii końcowej i pierwotnej w obu przypadkach. Pokazano również, w jaki sposób zmiana wpływa na koszty wstępne spowodowane zmianą jakości energetycznej budynku. Transformacje zaproponowane do projektu są wynikiem analiz optymalizacji wielokryterialnej i wielopoziomowej, przedstawionej szczegółowo w pracy [2], dotyczącej oceny energetycznej jednorodzinnych budynków mieszkalnych.

2. Wykorzystanie optymalizacji wielokryterialnej i wielopoziomowej do projektowania budynków z uwagi na zużycie energii do ogrzewania

Jako metodę formułowania problemów optymalnego kształtowania jednorodzinnych niskoenergetycznych budynków mieszkalnych wykorzystano problem optymalizacji wielopoziomowej i wielokryterialnej. Szczegółowy zapis problemu przedstawiony jest w [2].

2.1. Sformułowanie problemu, metoda rozwiązania

Ogólne sformułowanie:

Zadanie sformułowano jako problem optymalizacji dwukryterialnej K_i

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

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

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

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

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

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

Przyjęto:

K_1 – koszt realizacji przegród zewnętrznych budynku [zł]

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

W ogólnym ujęciu zadania optymalizacyjnego przyjęto następujące zbiory zmiennych decyzyjnych

$$V = \{v_i\}, i = 5 - \text{zbiór zmiennych decyzyjnych dyskretnych}$$

v_1 – parametry ścian zewnętrznych,

v_2 – parametry okien,

v_3 – forma budynku,

v_4 – forma zabudowy szeregowej,

v_5 – azymut N-S

$$U = \{u_i\}, i = 8 - \text{zbiór zmiennych decyzyjnych ciągłych} \quad (4)$$

$u_1 - u_4$ – współczynniki przeszklenia na poszczególnych elewacjach,

u_5 – opór cieplny ścian zewnętrznych,

u_6 – współczynnik kształtu podstawy budynku,

u_7 – opór cieplny stropodachu/dachu,

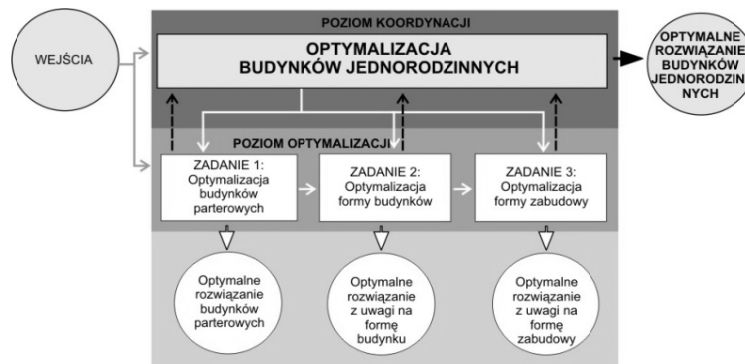
u_8 – opór cieplny podłogi na gruncie

oraz zbiór ograniczeń

$$G = \{g_j(v_i, u)\}, j = 8 - \text{zbiór ograniczeń}$$

Ograniczenia zostały nałożone na wszystkie zbiory zmiennych decyzyjnych ciągłych. Wszystkie zmienne decyzyjne dyskretne są wartościami dopuszczalnymi.

Wartości zmiennych dyskretnych i zbiory ograniczeń przedstawiono w pracach [2].



Rys. 3. Schemat zadania optymalizacji budynków jednorodzinnych i ich zabudowy

Fig. 3. The scheme of family buildings optimization task

2.2. Wektorowa zmienna dyskretna (syntetyczna)

Zbiór wartości wszystkich zmiennych dyskretnych (uwzględnianych w zadaniu) jest produktem kartezjańskim zbiorów wartości poszczególnych zmiennych

$$W = \times V_i \quad i = 1, \dots, 5 \quad (5)$$

Elementami tego zbioru są piątki uporządkowane:

$$(v_{1j}, v_{2k}, v_{3l}, v_{4m}, v_{5,n})$$

$$j = 1, \dots, 13; k = 1, \dots, 4; l = 1, 2, 3, 4; m = 1, \dots, 10; n = 1, \dots, 8$$

Każdy taki zbiór (uporządkowaną piątkę) przyjęto jako definicję wartości wektorowej zmiennej decyzyjnej w , określającej (charakteryzującej) w sposób syntetyczny rozwiązanie projektowe budynku (postać budynku)

$$w_i \in W \quad i = 1, \dots, 12480 \quad (6)$$

Poszczególne wartości w_i , zmiennej w , determinują różne i niezależne zadania poziomu optymalizacji. Ten podział zadania wyjściowego traktowany być może jako jego dekompozycja wstępna. Zadanie (2) zastąpione zostało zadaniem

$$K(v^*, u^*) = K(w^*, u^*) = \min_{w \in W} \left[\min_{u \in U} K(w, u) \right] \quad (7)$$

zdekomponowanym na poziomie dolnym na 12 480 niezależnych zadań optymalizacji ze względu na zmienne ciągłe.

W zbiorze W , w oparciu o analizę zależności funkcji celu i ograniczeń od poszczególnych wartości zmiennej dyskretnej v , można wprowadzić podziały prowadzące do sformułowania zdekomponowanego zadania wielopoziomowego uzyskując istotne zmniejszenie liczby zadań na dolnym poziomie optymalizacji.

Metody dekompozycji zadania przedstawiono w pracy [2].

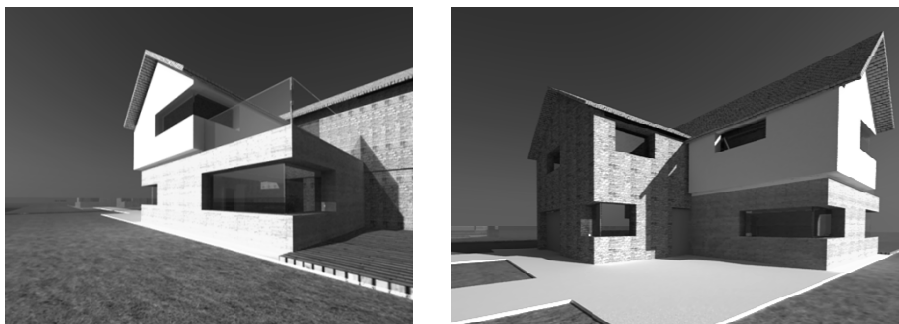
2.3. Sposób rozwiązywania zagadnienia

Wyniki otrzymano na drodze numerycznej wykorzystując pakiet programów CAMOS (autor A. Osyczka). Do obliczeń zadań optymalizacji jednokryterialnej (poziom dolny: $\min K_1$, $\min K_2$) wykorzystano metodę kombinowaną złożoną z metody losowej i metody iteracyjnej zmiennych tolerancji. Do poszukiwań rozwiązania preferowanego (w zadaniu polioptymalizacji) wykorzystano metodę kryterium globalnego.

3. Proces świadomych decyzji projektowych pod względem rozwiązań mających wpływ na jakość energetyczną budynku

3.1. Projekt wyjściowy budynku energooszczędnego

Projektem wyjściowym jest projekt jednorodzinny budynek mieszkalny, definiujący potrzeby inwestora i wykonany zgodnie z jego wskazówkami. Zaprojektowany został budynek o powierzchni użytkowej 186 m^2 i kubaturze 1010 m^3 . Budynek zwieńczony jest dwuspadowym dachem o nachyleniu 36° . Ściany zewnętrzne wykonano jako przegrody trójwarstwowe z pustaków Porotherm 30 cm ocieplonych warstwą wełny mineralnej 7 cm oraz wykończono elewacją klinkierową. Konstrukcja dachu została ocieplona 16 cm styropianu. Projekt spełnia podstawowe wymagania normatywne dotyczące ochrony cieplnej, poprzez zapewnienie współczynników przenikania ciepła dla przegród zewnętrznych zgodnych z [1], dlatego zgodnie z charakterystyką (rys. 1) może być zaliczony do grupy budynków energooszczędnych. Do projektu wykonano obliczenia zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania oraz zapotrzebowania na energię pierwotną.



Rys. 4, 5. Elewacje południowa, północno zachodnia, rzut parteru

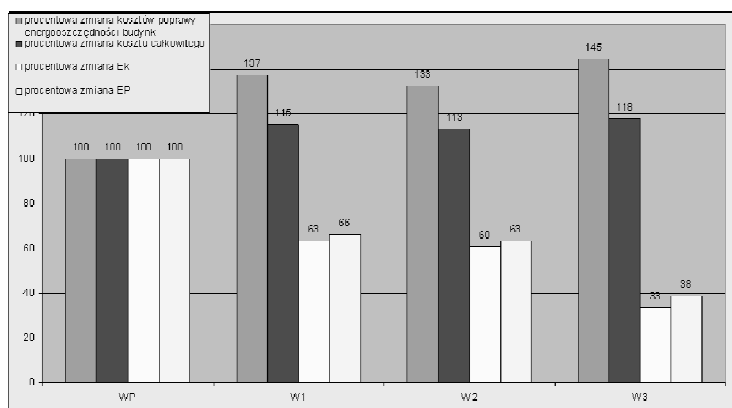
Fig. 4, 5. South elevation, North-west elevation, Plan of the ground floor

3.2. Projekt budynku niskoenergetycznego

Zgodnie z wynikami zadań optymalizacyjnych [2] dla funkcji celu określającej minimum zużycia energii, dla pierwotnego projektu budynku zaproponowano zmiany grubości izolacji cieplnej przegród zewnętrznych oraz zmianę rodzaju stolarki okiennej i drzwiowej. Zmiany te zapewniają przegrodom zewnętrznym współczynniki przenikania ciepła charakterystyczne dla budynków niskoenergetycznych – pasywnych. Ocieplono również ścianę pomiędzy garażem a resztą budynku.

Rozwiązaniem optymalnym kształtu powierzchni użytkowej budynku z uwagi na kryterium minimalizacji zużycia energii jest prostokąt. Jednakże autorzy zdecydowali się nie ingerować w zmianę kształtu bryły, przyjmując ją jako świadomy wybór inwestora.

Zaproponowano zmiany współczynnika przeszklenia na poszczególnych elewacjach, tak by w bilansie energetycznym wykorzystać zyski słoneczne od strony południowej i zachodniej, a zminimalizować straty przez okna na elewacji północnej. Z uwagi na niewielkie różnice w zapotrzebowaniu na energię końcową inwestor zdecydował się pozostać przy pierwotnym założeniu funkcjonalnym obiektu. W celu zmniejszenia strat ciepła na wentylacji zaproponowano zmianę charakteru wentylacji i zastosowanie rekuperatora.



Rys. 6. Procentowe porównanie kosztów i wartości Ek i EP dla poszczególnych wariantów. WR – wariant podstawowy (U ścian $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, U dachu $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$, W1 – U ścian, dachu $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, W2 – U jak W1, dodatkowo optymalizacja przeszklenia, W3 jak W1 + rekuperator)

Fig. 6. The percentage comparison of the costs Ek and EP for specific variants. WP – base design (U external walls $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, U roof $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$, W1 – U walls, roof $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, W2 – U as W1, additionally optimization of the glass coefficient, W3 as W1 + recuperator)

4. Wnioski

1. W procesie projektowania budynków coraz ważniejszym etapem, oprócz kształtowania formy i konstrukcji obiektu, powinno stać się projektowanie z uwagi na jakość energetyczną budynku.

2. Projekt budynku zgodnie z wymaganiami rozporządzenia powinien posiadać świadectwo charakterystyki energetycznej, jednak dokument ten wystawiany jest już po zakończeniu procesu projektowania. Celowym byłoby ustalanie jakości energetycznej budynku na etapie tworzenia założeń projektowych. Takie podejście wymaga ścisłej współpracy architekta i inwestora, a przede wszystkim umiejętności przedstawienia inwestorowi jak zmiana rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych oraz formy budynku wpływa na jego zapotrzebowanie na energię do ogrzewania, koszty początkowe, a także jakie poszczególne propozycje mają wpływ na zapotrzebowanie na energię końcową.
3. Narzędziem mogącym służyć do oceny energetycznej budynku, wyboru rozwiązań optymalnych z uwagi na ilość energii do ogrzewania oraz koszty zmiany ochrony cieplnej budynku jest optymalizacja wielokryterialna i wielopoziomowa. Na podstawie wyników zadań optymalizacyjnych otrzymuje się rozwiązanie optymalne z uwagi na przyjęte kryteria oceny. Rozwiązanie to może służyć do wyboru świadomych rozwiązań projektowych i w efekcie stworzenia projektu zgodnego z oczekiwaniami inwestora oraz dającego pewność, że zrealizowany budynek będzie budynkiem niskoenergetycznym.
4. Na podstawie rozwiązań zadań optymalizacyjnych, zaproponowano zmiany do indywidualnego projektu jednorodzinne go budynku mieszkalnego. Zmiany dotyczą poprawy izolacyjności przegród zewnętrznych oraz okien, a także rodzaju wentylacji. Różnica w energii pierwotnej w stosunku do wyjściowego projektu wynosi 64% przy zwiększeniu kosztów poprawy energooszczędności budynku o 45% (18% kosztów całkowitych).

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- [2] Fedorczak-Cisak M., *Ocena energetyczna budynków z zastosowaniem metod optymalizacji wielokryterialnej i wielopoziomowej*, Kraków 2007.
- [3] Furtak M., *Indywidualna dokumentacja projektowa*, Kraków 2009.
- [4] Marks W., Owczarek S., *Optymalizacja wielokryterialna budynków energooszczędnych*, PAN, Warszawa 1999.
- [5] Kisilewicz T., *Modelowanie termiczne budynków przy użyciu programu Energy Plus*, ENERGODOM 2000, Kraków–Zakopane 2000.