

WIELOKRYTERIALNA METODA WYZNACZANIA GLOBALNEGO WSKAŹNIKA ENERGOCHŁONNOŚCI BUDYNKÓW

Autor: mgr inż. Aleksandra Stachera

Promotor: prof. dr hab. inż. Adam Stolarski

Promotor pomocniczy: dr inż. Mariusz Owczarek

Tematyka rozprawy dotyczy badania wpływu rozwiązań materiałowo-konstrukcyjno-instalacyjnych na energochłonność budynków.

W pracy przedstawiono opracowanie wielokryterialnej metody umożliwiającej wybór optymalnej kombinacji składników wpływających na efektywność energetyczną budynków za pomocą globalnego wskaźnika energochłonności budynku.

W metodzie zostały wykorzystane kryteria: względne roczne zapotrzebowanie na energię końcową, koszt, trwałość, czas zwrotu nakładu inwestycyjnego (dla budynków modernizowanych) lub liczba cykli zrównoważenia nakładów inwestycyjnych (dla budynków projektowanych) oraz emisyjność dwutlenku węgla. Wartości tych kryteriów obliczane są w odniesieniu do konstrukcji obiektu referencyjnego lub bazowego, a wartości wag przypisanych poszczególnym kryteriom przyjmowane są na podstawie przedstawionych procedur doboru wag.

W rozprawie opracowano dwa sposoby wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności: hybrydowy i bezpośredni. Sposób hybrydowy, oparty na szczegółowej analizie poszczególnych składników (materiałowych, konstrukcyjnych, instalacyjnych) wpływających na energochłonność budynku, pozwala na precyzyjną, połączoną analizę wielokryterialną właściwości składników, ich optymalny wybór w celu konfigurowania wariantów rozwiązań modernizacyjnych lub projektowych oraz ocenę tych wariantów. Sposób bezpośredni koncentruje się na ocenie i optymalnym wyborze wariantów rozwiązań, pomijając szczegółową analizę elementów składowych.

Weryfikację metody przeprowadzono na podstawie studiów przypadków, obejmujących zarówno modernizację istniejącego budynku, jak i projektowanie nowego obiektu.

Przeprowadzona analiza obliczeniowa, bazująca na prezentowanej metodzie, wykazała wysoką skuteczność w kontekście modernizacji budynków, a także pozwoliła na szczegółową ocenę wpływu zmian wag kryteriów na globalny wskaźnik energochłonności. Wyniki analizy pozwoliły na sformułowanie rekomendacji wyznaczania globalnego wskaźnika

energochłonności przy złożeniu jednakowych wartości wag kryterialnych w celu wskazania najlepszego wariantu rozwiązania modernizacyjnego.

Obliczenia na podstawie wielokryterialnej metody wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności sposobem hybrydowym dla budynku nowoprojektowanego, przeprowadzono przy założeniu jednakowych wag dla wszystkich kryteriów. Wyniki tych obliczeń umożliwiły ocenę energochłonności nowego obiektu w kontekście różnych kombinacji składników. Przyjęcie jednakowych wag kryterialnych pozwoliło na uzyskanie miarodajnej oceny, niemniej jednak wyniki te stanowiły punkt wyjścia do dalszej analizy, w której wagi kryterialne mogą być dostosowywane do konkretnych wymagań użytkownika lub specyfiki projektu. Przeprowadzono analizę wpływu zmiennych wag kryterialnych w funkcji redystrybucji wartości wskaźników kryteriów, a także analizę wpływu zmiany budynku bazowego. Wyniki tych analiz pozwoliły na potwierdzenie rekomendacji wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności przy złożeniu jednakowych wartości wag kryterialnych w celu wskazania najlepszego wariantu rozwiązania nowoprojektowanego.

Dla budynku nowoprojektowanego przeprowadzono również obliczenia sposobem bezpośrednim. Wyniki tych obliczeń umożliwiły ocenę energochłonności budynku w kontekście stosowania różnych wariantów rozwiązań. Przyjęcie jednakowych wag dla wszystkich kryteriów pozwoliło na uzyskanie wyników analizy zgodnych z wynikami rozwiązań przeprowadzonych sposobem hybrydowym.

Proponowana metoda może być rozwijana w kierunku zmiany liczby i rodzajów kryteriów analizy, badania wpływu zmian stopnia ważności poszczególnych kryteriów analizy, czy też w odniesieniu do zastosowania różnych rodzajów budynków. Dalszy rozwój tej metody może przyczynić się do bardziej precyzyjnej optymalizacji energetycznej obiektów budowlanych, odpowiadając na rosnące potrzeby zrównoważonego rozwoju w budownictwie.

Proponowana metoda wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności budynków pozwala na połączenie obu sposobów: hybrydowego i bezpośredniego w trakcie trwania różnych faz procedury projektowej przy bardzo skomplikowanych budynkach. W fazie koncepcyjnej można zastosować sposób bezpośredni, który pozwoli na szybką selekcję planowanych wariantów rozwiązań materiałowo-konstrukcyjno-instalacyjnych, aby następnie w fazie wykonawczej zastosować sposób hybrydowy w celu optymalizacji składników wybranych wariantów rozwiązań.

Porównanie sposobu hybrydowego i bezpośredniego w kontekście wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności budynków uwidacznia istotne różnice w podejściu, dokładności oraz praktycznym zastosowaniu obu metod. Obydwa sposoby służą minimalizacji

wskaźnika energochłonności, ale różnią się stopniem szczegółowości oraz wymaganiami dotyczącymi danych wejściowych. Sposób hybrydowy, dzięki swojej złożoności, jest przydatny w projektach wymagających pełnej optymalizacji, np. w budynkach zeroenergetycznych, w których każdy składnik ma istotny wpływ na końcowy wynik. Z kolei, sposób bezpośredni sprawdza się w sytuacjach, w których priorytetem jest szybka ocena gotowych koncepcji wariantowych.

Na podstawie wyników realizacji pracy możliwe jest wskazanie istotnych cech proponowanej metody rozwiązania: (1) zastosowanie wielokryterialnej metody analizy energochłonności budynków powiększa zakres dotychczasowej praktyki wyboru wariantu rozwiązania budynku energooszczędnego polegający na bezpośrednim porównaniu poszczególnych wariantów rozwiązań użytych oddzielnie pod względem zapotrzebowania na energię końcową, kosztu wykonania oraz – w przypadku modernizacji – okresu zwrotu nakładów inwestycyjnych; (2) propozycja globalnego wskaźnika energochłonności budynku wskazującego najlepsze rozwiązanie stanowi nowe podejście do oceny rozwiązania budynku energooszczędnego polegające na uwzględnieniu ważonego udziału wielu kryteriów w tej ocenie; (3) wprowadzenie nowego parametru efektywności ekonomicznej dla budynków nowoprojektowanych – liczby cykli zrównoważenia nakładów inwestycyjnych, umożliwia zróżnicowanie podejścia do oceny budynków modernizowanych i projektowanych. Dotychczas czas zwrotu nakładów inwestycyjnych określano tylko dla prac modernizacyjnych budynku, a w przypadku budynków projektowanych nie opracowano podobnego sposobu weryfikacji opłacalności nowych inwestycji; (4) rekomendacja stosowania metody przy uwzględnieniu jednakowych wag kryterialnych zapewnia efektywne określenie globalnego wskaźnika energochłonności budynku; (5) propozycja klas energochłonności wariantów rozwiązań modernizacyjnych lub projektowych umożliwia klasyfikację wariantów i ułatwia wybór optymalnego wariantu rozwiązania budynku; (6) uniwersalny charakter metody nie zakłada żadnych ograniczeń co do typu budynku, możliwości uwzględnienia specyficznych wymagań dotyczących regionu lokalizacji budynku i uwzględnienia innych kryteriów analizy.

Otrzymane wyniki analizy studiów przypadków modernizowanego budynku referencyjnego oraz nowoprojektowanego budynku bazowego wskazują na wysoką skuteczność opracowanej metody. Proponowana metoda umożliwia wyraźne wskazanie rozwiązania najbardziej korzystnego, z zastrzeżeniem, że ostateczna decyzja dokonania wyboru wariantu rozwiązania może pozostawać w gestii użytkownika.

Proponowana metoda wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności budynków charakteryzuje się dużym potencjałem rozwojowym. Analizy przeprowadzone w ramach

niniejszej pracy wykazały, że opracowana metoda doboru wag kryteriów decyzyjnych za pomocą wprowadzonego współczynnika wpływu wartości wskaźnika kryterium na wartość wagi wymaga dalszego doskonalenia. Zmiana wag kryterialnych, w zależności od specyfiki badanego obiektu, może znacząco wpłynąć na ostateczny wybór optymalnej kombinacji składników budynku. W związku z tym, dalsze badania nad bardziej zaawansowanymi metodami doboru wag kryterialnych, np. opartymi na dynamicznym modelowaniu preferencji lub algorytmach uczących się, mogą przyczynić się do dalszego rozwoju prezentowanej metody.

Metoda optymalizacji wielokryterialnej, oparta na uwzględnieniu różnych kryteriów, takich jak zapotrzebowanie na energię, koszt, trwałość, czas zwrotu inwestycji lub liczba cykli zrównoważenia nakładów inwestycyjnych oraz emisja dwutlenku węgla, stanowi skuteczne narzędzie wspierające projektowanie budynków pod względem efektywności energetycznej. Wdrożenie opracowanej metody w praktyce inżynierskiej będzie możliwe po utworzeniu ogólnie dostępnych baz danych, które umożliwią aktualizowanie informacji na temat materiałów budowlanych, kosztów oraz parametrów energetycznych. Istotnym krokiem w implementacji metody będzie zintegrowanie proponowanych narzędzi analitycznych z istniejącymi systemami oprogramowania wykorzystywanymi w projektowaniu budynków, co pozwoli na łatwiejsze wykorzystanie tej metody.

MULTI-CRITERIA METHOD FOR DETERMINING THE GLOBAL ENERGY CONSUMPTION INDICATOR OF BUILDINGS

Author: mgr inż. Aleksandra Stachera

Supervisor: prof. dr hab. inż. Adam Stolarski

Auxiliary Supervisor: dr inż. Mariusz Owczarek

The subject of the dissertation concerns the study of the impact of material-construction-installation solutions on the energy consumption of buildings.

This work presents the development of a multi-criteria method enabling the selection of the optimal combination of components influencing the energy efficiency of buildings using the global building energy consumption indicator.

The criteria used in the method include: the relative annual final energy demand, cost, durability, investment payback time (for modernized buildings) or the number of cycles to balance investment cost (for designed buildings) and carbon dioxide emissions. The values of these criteria are calculated with respect to the structure of the reference or base object, and the values of the weights assigned to the individual criteria are adopted based on the presented weight selection procedures.

In this dissertation two ways of determining the global building energy consumption indicator were developed, i.e. hybrid and direct. The hybrid way, based on a detailed analysis of individual components (material, structural, installation) affecting the energy consumption of the building, allows for a precise, combined multi-criteria analysis of the properties of the components, their optimal selection in order to configure variants of modernization or design solutions and the evaluation of these variants. The direct way focuses on the evaluation and optimal selection of solution variants, omitting a detailed analysis of the components.

The method was verified based on case studies covering both the modernization of an existing building and the design of a new facility.

The conducted computational analysis, based on the presented method, showed high effectiveness in the context of building modernization, and allowed for a detailed assessment of the impact of changes in criteria weights on the global building energy consumption indicator. The results of the analysis allowed for the formulation of recommendations for determining the global building energy consumption indicator with the assumption of identical values of criteria weights in order to indicate the best variant of the modernization solution.

Calculations based on the multi-criteria method of determining the global building energy consumption indicator using the hybrid way for a newly designed building were carried out assuming identical weights for all criteria. The results of these calculations allowed for the assessment of the energy consumption of the new facility in the context of various combinations of components. The adoption of identical criterion weights allowed for obtaining a reliable assessment, however, these results were the starting point for further analysis, in which the criterion weights can be adjusted to specific user requirements or project specifics. An analysis of the impact of variable criterion weights in the function of redistribution of the criteria indicator values was carried out, as well as an analysis of the impact of changing the base building. The results of these analyses confirmed the recommendation to determine the global building energy consumption indicator with the assumption of identical criteria weight values in order to indicate the best variant of the newly designed solution.

For the newly designed building, calculations were also carried out using the direct way. The results of these calculations allowed for the assessment of the building's energy consumption in the context of using different variants of solutions. The adoption of identical weights for all criteria allowed for obtaining analysis results consistent with the results of solutions performed using the hybrid way.

The proposed method can be developed in the direction of changing the number and types of analysis criteria, to study the impact of changes in the degree of importance of individual analysis criteria, or in relation to the use of different types of buildings. Further development of this method can contribute to more precise energy optimization of buildings, responding to the growing needs of sustainable development in construction.

The proposed method for determining the global building energy consumption indicator of buildings allows for combining both hybrid and direct way during various phases of the design procedure for very complex buildings. In the conceptual phase, the direct way can be used, which will allow for a quick selection of planned variants of material-construction-installation solutions, and then in the implementation phase, the hybrid method can be used to optimize the components of the selected solution variants.

A comparison of the hybrid and direct ways in the context of determining the global building energy consumption indicator of buildings highlights significant differences in the approach, accuracy, and practical application of both ways. Both ways serve to minimize the energy consumption indicator, but they differ in the level of detail and requirements for input data. The hybrid way, due to its complexity, is useful in projects requiring full optimization, e.g. in zero-energy buildings, in which each component has a significant impact on the final

result. In turn, the direct way works well in situations where the priority is to quickly evaluate ready-made variant concepts.

Based on the results of the work, it is possible to indicate the essential features of the proposed solution method: (1) the use of a multi-criteria method for the analysis of energy consumption of buildings extends the scope of the current practice of selecting a variant of an energy-efficient building solution, consisting in a direct comparison of individual variants of solutions used separately in terms of final energy demand, cost of execution and – in the case of modernization – the payback period of investment outlays; (2) the proposal of a global building energy consumption indicator indicating the best solution is a new approach to the assessment of an energy-efficient building solution, consisting in taking into account the weighted share of many criteria in this assessment; (3) the introduction of a new economic efficiency parameter for newly designed buildings – the number of cycles to balance investment cost, allows for a differentiation of the approach to the assessment of modernized and designed buildings. So far, the payback period of investment outlays has been determined only for building modernization works, and in the case of designed buildings, no similar method for verifying the profitability of new investments has been developed; (4) the recommendation to use the method with identical criterion weights ensures an effective determination of the global building energy consumption indicator; (5) the proposal of energy consumption classes for variants of modernization or design solutions enables the classification of variants and facilitates the selection of the optimal variant of the building solution; (6) the universal nature of the method does not assume any limitations as to the type of building, the possibility of taking into account specific requirements concerning the region of the building location and taking into account other analysis criteria.

The obtained results of the analysis of case studies of the modernized reference building and the newly designed base building indicate the high effectiveness of the developed method. The proposed method allows for a clear indication of the most beneficial solution, with the reservation that the final decision on the selection of the solution variant may remain at the user's discretion.

The proposed method for determining the global building energy consumption indicator of buildings has a large development potential. The analyses conducted in the work shown that the developed method of selecting the weights of decision criteria using the introduced coefficient of the impact of the criterion indicator value on the value of the weights requires further improvement. Changing the criteria weights, depending on the specifics of the examined object, can significantly affect the final selection of the optimal combination of building

components. Therefore, further research on more advanced methods for selecting criterion weights, e.g. based on dynamic preference modeling or learning algorithms, can contribute to the further development of the presented method.

The multi-criteria optimization method, based on taking into account various criteria such as the relative annual final energy demand, cost, durability, investment payback time or the number of cycles to balance investment cost and carbon dioxide emission, is an effective tool supporting the design of buildings in terms of energy efficiency. The implementation of the developed method in engineering practice will be possible after the creation of generally available databases that will allow for updating information on building materials, costs, and energy parameters. An important step in the implementation of the method will be the integration of the proposed analytical tools with existing software systems used in building design, which will allow for easier use of this method.