

dr inż. Robert Bucoń<sup>1\*)</sup>

ORCID: 0000-0002-9397-639X

dr inż. Agata Czarnigowska<sup>1)</sup>

ORCID: 0000-0003-3715-3521

# Model optymalizacyjny wspomagający długoterminowe utrzymanie wielorodzinnych budynków mieszkalnych

## *An optimization model to support long-term maintenance of multifamily residential buildings*

DOI: 10.15199/33.2022.12.12

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono model wspomagający decyzje związane z długoterminowym planowaniem utrzymania budynku mieszkalnego. Zaproponowano sposób kwantyfikacji stanu budynku i algorytm optymalizacji maksymalizujący korzyści działań naprawczych i modernizacyjnych (wyrażone zwiększeniem oceny stanu budynku) przy założeniu minimalizacji kosztu tych działań. Model uwzględnia praktyczne ograniczenia związane z założeniami budżetowymi, kolejnością prac oraz terminami, wspomagając alokację działań w planowanym horyzoncie czasowym. Opracowana metoda została zaimplementowana do postaci komputerowego systemu i może stanowić użyteczne narzędzie wspierania procesu podejmowania decyzji na etapie utrzymania wielorodzinnych budynków mieszkalnych. **Słowa kluczowe:** optymalizacja; wspomaganie decyzji; planowanie remontu; wielokryterialna ocena.

**Abstract.** The article presents a model to support decisions related to long-term planning of housing maintenance. A method of quantifying the building condition and an optimization algorithm were proposed, maximizing the benefits of repair and modernization activities (expressed by the increment of the building condition assessment) with the assumption of minimizing the cost of these activities. The model takes into account practical constraints related to budget assumptions, sequence of works and deadlines, supporting the allocation of activities in the planned time horizon. The developed methodology was implemented in the form of a computer system and can be regarded as a useful tool for supporting the decision-making process at the maintenance stage of multifamily residential buildings.

**Keywords:** optimization; decision support; renovation planning; multi-criteria evaluation.

Na świecie coraz większą uwagę zwraca się na potrzebę remontów i modernizacji budynków mieszkalnych. Jest to spowodowane starzejącymi się zasobami budowlanymi oraz potrzebą tworzenia bardziej zrównoważonych ekologicznie budynków [1]. Działania te mają na celu zmniejszenie zużycia energii i emisji gazów cieplarnianych, co ograniczy ich szkodliwy wpływ na klimat oraz przełoży się na zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych budynków [2]. Jednocześnie poza technicznymi, środowiskowymi i ekonomicznymi uwarunkowaniami zachodzi również potrzeba osiągnięcia innych, tzw. holistycznych celów modernizacji budynków, które realizowane są chociażby przez zrównoważony rozwój społeczny wyrażony poprawą komfortu, bezpieczeństwa i jakości środowiska wewnętrznego [3].

Właściwe utrzymanie budynków odbiegających od współczesnych wymagań i standardów powinno zatem obejmować działania konserwacyjno-remontowe i modernizacyjne. Niezbędne jest więc uzyskanie większej niż dotychczas wiedzy o stanie budynku, aby na tej podstawie wdrożyć odpowiednie programy renowacyjne [4]. Działania te powinny być skoordynowane z długoterminową strategią osiągania zrównoważonych celów, przy zapewnieniu technologiczności oraz dużej

efektywności w zakresie poniesionych kosztów [5]. W literaturze można znaleźć informacje o stosowanych technikach i metodach badawczych dotyczących wspomaganie decyzji utrzymania budynku. Najczęściej są to metody wielokryterialne [6], eksperckie [7], sztucznej inteligencji [8], programowania liniowego [9] oraz statystyczne [10]. Stanowią one również składowe bardziej złożonych i kompleksowych systemów wspomaganie podejmowania decyzji określanymi jako DSS (*Decision Support System*) [11, 12].

Pomimo wielu badań, które dostarczają ogólnodostępnej wiedzy, metod oraz modeli wspomagających podejmowanie decyzji, obecny sposób utrzymania budynków jest wciąż mało skuteczny. Prowadzi on do wielu zaniedbań i nieprawidłowości, które w największym stopniu dotyczą aspektu środowiskowego i społecznego. Należy podkreślić, że utrzymanie budynków wciąż bazuje na przestarzałych metodach, które nie uwzględniają pełnej złożoności problemu [13]. Innych przyczyn małej skuteczności utrzymania obiektów należy upatrywać m.in. w czynnikach wynikających ze sposobu zarządzania, finansowania wydatków oraz użytkowania budynku [14]. Biorąc pod uwagę wady i ograniczenia stosowanych obecnie systemów, konieczne staje się opracowanie w miarę prostych i skutecznych metod utrzymania eksploatowanych zasobów, na poziomie zapewniającym odpowiednie standardy i parametry budynku [15].

<sup>1)</sup> Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury

<sup>\*)</sup> Adres do korespondencji: r.bucon@pollub.pl

Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom, zgłaszanym m.in. przez zarządców budynków mieszkalnych, opracowaliśmy **System Długoterminowego Wspomagania Planowania Remontu** (SDWPR). Narzędzie to wykorzystuje metody optymalizacyjne bazujące na binarnym programowaniu liniowym, którego zadaniem jest wskazanie najkorzystniejszego zakresu napraw i ich alokacja w długoterminowym planie utrzymania. W opracowanym modelu uwzględniono ograniczenia wynikające z zachowania sekwencyjnej kolejności technologicznej napraw. Model zastosowano w przypadku wielorodzinnego budynku mieszkalnego, wykazując możliwości i korzyści, jakie niesie jego użycie w perspektywie długoterminowego utrzymania.

## Opis modelu

Model obejmuje pięć etapów obliczeniowych. W pierwszym przeprowadzana jest ocena przyjętych kryteriów stanowiących o stanie budynku. W drugim, na podstawie tej oceny, dobierane są odpowiednie naprawy, w przypadku których obliczana jest wartość przyrostu ocen każdego z kryteriów. W trzecim etapie określone są możliwe warianty napraw w ustalonej kolejności, składające się z jednej lub większej liczby napraw. W ten sposób przygotowane dane stanowią podstawę przeprowadzenia obliczeń optymalizacyjnych, w wyniku których wskazywane są warianty napraw wraz z ich alokacją w rozpatrywanym horyzoncie czasowym. W ostatnim etapie na podstawie przeprowadzonych obliczeń mających na celu wskazanie wariantów remontu, których wykonanie pozwoli uzyskać zakładany przyrost oceny budynku, oszacowana zostaje kwota budżetu potrzebna do przeprowadzenia napraw na poszczególnych etapach planowanego remontu.

**Ocena stanu budynku mieszkalnego pod względem przyjętych kryteriów.** Ocena stanu budynku mieszkalnego przeprowadzana jest z uwzględnieniem pięciu kryteriów odnoszących się do kwestii środowiskowych, ekonomiczno-technicznych oraz społecznych (uwzględniających potrzeby użytkowe mieszkańców), tj.  $k_1$  – wpływ na środowisko,  $k_2$  – komfort użytkowy,  $k_3$  – funkcjonalność i bezpieczeństwo,  $k_4$  – stan techniczny,  $k_5$  – estetyka. Oceny każdego z kryteriów dokonuje ekspert na podstawie wizji lokalnej i dostępnej dokumentacji, przy użyciu zaproponowanej skali ocen lingwistycznych: bardzo dobry BD (5 pkt); dobry D (4 pkt); przeciętny P (3 pkt); zły Z (2 pkt); bardzo zły BZ (1 pkt).

**Obliczanie przyrostu wartości ocen kryteriów proponowanych napraw.** Ocena  $j$ -tych kryteriów stanowi podstawę do wskazania napraw w budynku. Proponowane na tej podstawie naprawy mogą w różnym stopniu wpływać na poprawę wartości ich ocen. Określenie przyrostu wartości napraw realizowane jest w trzech etapach. W pierwszym wybierane są naprawy pozwalające osiągnąć zakładaną wartość każdego z kryteriów. W drugim każda z proponowanych napraw oceniana jest przy użyciu zaproponowanej skali ocen lingwistycznych, natomiast w trzecim etapie, na podstawie wzoru (1), określany jest przyrost wartości proponowanych  $i$ -tych napraw w przypadku każdego z  $j$ -kryteriów.

$$b_{i,j} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \cdot (z_j - k_j), \quad \forall j = 1, 2, \dots, m, \quad \forall i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

gdzie:

$a_{ij}$  – ocena wpływu  $i$ -tej naprawy na  $j$ -te kryterium, określana przy użyciu określeń lingwistycznych, tj.: bardzo wysoki BW (5 pkt), wysoki W (4 pkt), średni S (3 pkt), niski N (2 pkt), bardzo niski BN (1 pkt), brak wpływu B (0 pkt);  $z_j$  – zakładana wartość oceny  $j$ -tego kryterium.

**Określenie wariantów remontu z uwzględnieniem zależności technologicznych napraw.** Proponowane przez eksperta  $i$ -te naprawy przypisane są do  $r$ -tych miejsc ich wykonania w budynku, np. w obrębie klatki schodowej, dachu, piwnic lub elewacji itd. Wybór napraw, zgodnie z ustaloną kolejnością, wynikającą z zastosowanej technologii, wymaga wprowadzenia wariantów  $w_{r,h} \in W$ . Każdy z nich zawiera liczbę  $i$ -tych napraw zgodną z jego  $h$ -tym numerem i zapewnia przyrost wartości w przypadku  $j$ -tego kryterium (2), którego koszt obliczany jest wg (3):

$$b_{r,h,j} = \sum_{i=1}^h b_{i,j}, \quad \forall r = 1, 2, \dots, t, \quad \forall h = 1, 2, \dots, l, \quad \forall j = 1, 2, \dots, m, \quad (2)$$

$$c_{r,h} = \sum_{i=1}^h c_i, \quad \forall r = 1, 2, \dots, t, \quad \forall h = 1, 2, \dots, l. \quad (3)$$

Na poszczególnych etapach  $e$ -tego remontu z każdego  $h$ -tego wariantu remontu usuwane są  $i$ -te naprawy należące do wariantów wybranych na wcześniejszym etapie ( $e - 1$ ), np. jeśli na etapie remontu ( $e = 1$ ) wybrany zostanie drugi wariant ( $h = 2$ ) pierwszego remontu ( $r = 1$ ) zawierający dwie naprawy  $w_{1,2,1} = (q_{1,1} + q_{1,2})$ , to w kolejnym etapie remontu ( $e = 2$ ) z czterech pierwotnych wariantów pozostaną jedynie dwa zredukowane o wcześniej wybrane naprawy:  $w_{1,3,2} = (q_{1,3})$  oraz  $w_{1,4,2} = (q_{1,4} + q_{1,4})$ . Zbiór dostępnych wariantów napraw na każdym etapie remontu w sposób ogólny przedstawiono za pomocą równania (4):

$$W_e = (W - W_{e-1}), \quad \forall e = 1, 2, \dots, u \quad (4)$$

**Optymalizacja wyboru napraw w przypadku przyjętych założeń wartości ocen kryteriów.** Na tym etapie wybierany jest optymalny wariant remontu za pomocą opracowanej funkcji celu (5) minimalizującej koszty remontu na jego  $e$ -tych etapach w celu uzyskania zakładanych przyrostów wartości  $j$ -tych kryteriów (7, 8). Wybór  $h$ -tych wariantów w  $r$ -tych miejscach remontu dokonywany jest z uwzględnieniem zmiennej binarnej (9), gdzie zmienna przyjmuje wartość 1, jeśli wariant ma być wybrany, a w przeciwnym wypadku równa się 0. Przy wyborze poszczególnych wariantów uwzględniana jest również zmienna  $d_{r,h,c}$ , która przyjmuje wartość 1, jeśli wariant na  $e$ -tym etapie remontu jest dostępny, a w przeciwnym wypadku równa się 0. Zapis warunkowy (10) oznacza, że na każdym  $e$ -tym etapie remontu, spośród dostępnych wariantów remontu  $w_{r,h,e}$ , może zostać wybrany jedynie jeden  $h$ -ty wariant. Ocena wartości kryteriów na  $e$ -tych etapach remontu, z uwzględnieniem uzyskanego na nim przyrostu, została wyrażona za pomocą równania (11).

$$\min C_e : C_e = \sum_{r=1}^t \sum_{h=1}^l c_{r,h} \cdot x_{r,h} \cdot d_{r,h,e}, \quad \forall e = 1, 2, \dots, u, \quad (5)$$

$$B_{j,e} = \sum_{r=1}^t \sum_{h=1}^l b_{r,h,j} \cdot x_{r,h} \cdot d_{r,h,e}, \quad \forall j = 1, 2, \dots, m \quad \forall e = 1, 2, \dots, u, \quad (6)$$

$$Z_{j,e} = \frac{(z_j - k_j) \cdot e}{u} - B_{j,e-1}, \quad \forall j = 1, 2, \dots, m, \quad \forall e = 1, 2, \dots, u, \quad (7)$$

$$B_{j,e} \geq Z_{j,e}, \quad \forall j = 1, 2, \dots, m, \quad \forall e = 1, 2, \dots, u \quad (8)$$

$$x_{r,h} \in \{0, 1\}, \quad r = 1, 2, \dots, t, \quad h = 1, 2, \dots, l \quad (9)$$

$$\sum_{h=1}^l d_{r,h,e} \leq 1, \quad \forall r = 1, 2, \dots, t, \quad \forall e = 1, 2, \dots, u \quad (10)$$

$$K_{j,e} = k_j + \sum_{i=1}^e B_{j,i}, \quad \forall j = 1, 2, \dots, m, \quad \forall e = 1, 2, \dots, u \quad (11)$$

## Przykład obliczeniowy

Zastosowanie modelu pokazano na przykładzie czterokondygnacyjnego wielorodzinnego budynku mieszkalnego, do tychczas niemodernizowanego, utrzymywanego jedynie w stanie dostatecznej sprawności technicznej. W pierwszym etapie przeprowadzono ocenę pięciu kryteriów stanu budynku. Wyniki zestawiono w tabeli 1. Na podstawie przeprowadzonej oceny oraz biorąc pod uwagę możliwości finansowe i techniczne ograniczenia budynku, zaproponowano 20 napraw. Do każdego z pięciu r-tych

**Tabela 1. Ocena budynku zgodnie z przyjętymi kryteriami**

Table 1. Evaluation of a building according to the adopted criteria

j	1	2	3	4	5
k <sub>j</sub>	BZ	Z	Z	P	Z

**Tabela 2. Proponowane naprawy budynku i ich wpływ na kryteria**

Table 2. Proposed repairs for a building and their impact on the criteria

r	i	Nazwa naprawy	(a <sub>ij</sub> )					c <sub>i</sub> [tys/zł]	
			j = 1	j = 2	j = 3	j = 4	j = 5		
1	1	Wymiana stolarki okiennej	W	BW	B	BM	W	170	
	2	Naprawa i ocieplenie balkonów	N	N	S	W	W	75	
	3	Wykonanie elewacji ścian	BW	BW	B	B	BW	250	
	4	Wykonanie zabudowy balkonów	BN	S	W	B	W	180	
2	1	Docieplenie stropodachu wentylowanego	S	W	B	B	B	40	
	2	Wymiana pokrycia dachowego	B	B	B	W	B	45	
	3	Wymiana rymieni i rur spustowych	B	B	B	BN	BN	15	
	4	Montaż instalacji fotowoltaicznej	BW	B	B	B	B	140	
3	1	Wymiana instalacji (oświetlenie, ppoż.)	BN	N	S	BN	B	35	
	2	Naprawa tynków i malowanie	B	B	B	N	S	30	
	3	Wymiana okładzin schodowych	B	B	W	N	S	60	
	4	Wymiana balustrad schodowych	B	B	W	BN	S	45	
4	1	Docieplenie stropu piwnic	S	S	B	B	B	45	
	2	Docieplenie i izolacja ścian piwnic	BN	S	B	BD	B	65	
	3	Wymiana posadzek piwnic	B	B	S	N	N	20	
	4	Wymiana drzwi komórek lokatorskich	B	B	N	BN	N	16	
5	1	Wymiana okładzin schodów i balustrad	B	B	W	BN	N	21	
	2	Dobudowa podjazdów dla niepełnosprawnych	B	B	W	B	B	18	
	3	Wymiana drzwi wejściowych	BN	B	S	BN	N	17	
	4	Montaż zadaszeń	B	B	S	B	N	11	
S <sub>j</sub>			D	BD	BD	BD	BD	BD	Σ1298

miejsc remontu przypisano po cztery i-te naprawy. Każda z nich pozwala uzyskać przyrost wartości wielu kryteriów, a przyjęte naprawy – maksymalną wartość końcową S = D (ocena dobra) dla kryterium (j = 1), zaś w przypadku pozostałych wartość S<sub>2-5</sub> = BD (bardzo dobra). Koszty proponowanych napraw wraz z oceną ich wpływu na przyjęte kryteria zestawiono w tabeli 2.

W ramach i-tych napraw przypisanych do każdego r-tego zbioru utworzono h-te warianty napraw (w<sub>r,h</sub>). Oznacza to, że dla każdego r-tego miejsca remontu utworzono po cztery warianty napraw. Dla r=1 liczbę h-tych wariantów zawierających i-te naprawy zapisano następująco: w<sub>1,1</sub> = (q<sub>1,1</sub>), w<sub>1,2</sub> = (q<sub>1,1</sub>, q<sub>1,2</sub>), w<sub>1,3</sub> = (q<sub>1,1</sub>, q<sub>1,2</sub>, q<sub>1,3</sub>), w<sub>1,4</sub> = (q<sub>1,1</sub>, q<sub>1,2</sub>, q<sub>1,3</sub>, q<sub>1,4</sub>). Na etapie e=1 do wyboru są wszystkie h-te warianty naprawy, przy czym możliwy jest wybór tylko jednego z każdego-tego miejsca. W każdym kolejnym etapie remontu liczba dostępnych wariantów i liczba ujętych w nich napraw może ulec zmianie (tabela 3).

**Tabela 3. Dostępne i wybrane warianty napraw na e-tych etapach remontu (r = 1)**

Table 3. Available and selected repair variants on e-th stages of renovation (r = 1)

e	d <sub>1,1,e</sub>	d <sub>1,2,e</sub>	d <sub>1,3,e</sub>	d <sub>1,4,e</sub>	w <sub>r,h,e</sub>	q <sub>ei</sub>
1	1	1	1	1	–	–
2	1	1	1	1	w <sub>1,2,2</sub>	q <sub>1,1</sub> , q <sub>1,2</sub>
3	0	0	1	1	–	–
4	0	0	1	1	w <sub>1,3,4</sub> = w <sub>1,3</sub> - w <sub>1,2</sub>	q <sub>1,3</sub>
5	0	0	0	1	w <sub>1,4,5</sub> = w <sub>1,4</sub> - w <sub>1,3</sub>	q <sub>1,4</sub>

Wykonano obliczenia optymalizacyjne, które pozwoliły wskazać najtańsze warianty remontu, które zapewniają uzyskanie zakładanej oceny wartości kryteriów wynoszących odpowiednio dla z<sub>1</sub> = 4 pkt (D) oraz z<sub>2-5</sub> = 5 pkt (BD). Na każdym z pięciu etapów remontu pokazano wybrane warianty napraw wraz z zakładanymi i uzyskanymi przyrostami wartości ocen kryteriów i kosztami ich wykonania. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 4, a alokacje wybranych i-tych napraw na poszczególnych jego e-tych etapach pokazano w postaci harmonogramu na rysunku.

**Tabela 4. Wybrane warianty napraw i ich koszty oraz zakładany i uzyskany przyrost w przypadku kryteriów na e-tych etapach remontu**

Table 4. Selected repair variants and their costs as well as assumed and achieved criterion increase on e-th stages of renovation

e	B <sub>j,e</sub> /Z <sub>j,e</sub>					w <sub>r,h,e</sub>	C <sub>e</sub>
	j = 1	j = 2	j = 3	j = 4	j = 5		
1	0,81/0,6	1,00/0,6	0,89/0,6	0,46/0,4	0,65/0,6	w <sub>2,1,1</sub> , w <sub>3,3,1</sub> , w <sub>4,1,1</sub> , w <sub>5,1,1</sub>	231000
2	0,46/0,39	0,56/0,2	0,33/0,31	0,46/0,34	0,57/0,55	w <sub>1,2,3</sub> , w <sub>2,2,2</sub> , w <sub>3,4,2</sub>	260000
3	0,81/0,53	0,33/0,24	1,21/0,58	0,77/0,28	0,73/0,58	w <sub>2,4,3</sub> , w <sub>4,4,3</sub> , w <sub>5,4,3</sub>	302000
4	0,80/0,32	0,78/0,51	0,25/0,03	0,31/0,09	0,73/0,45	w <sub>1,3,4</sub>	325000
5	0,12/0,12	0,33/0,33	0,32/0,32	0,00/0,00	0,32/0,32	w <sub>1,4,5</sub>	180000
K <sub>j,S</sub> = z <sub>j</sub>	D	BD	BD	BD	BD	C	1298000

$r$	Czynności $q_{r,i}$ ulokowane na $e$ -tym etapie remontu				
	$e = 1$	$e = 2$	$e = 3$	$e = 4$	$e = 5$
1		$w_{1,2,2} = (q_{1,1}, q_{1,2})$		$w_{1,3,4} = (q_{1,3})$	$w_{1,4,5} = (q_{1,4})$
2	$w_{2,1,1} = (q_{2,1})$	$w_{2,2,2} = (q_{2,2})$	$w_{2,4,3} = (q_{2,3}, q_{2,4})$		
3	$w_{3,3,1} = (q_{3,1}, q_{3,2}, q_{3,3})$	$w_{3,4,2} = (q_{3,4})$			
4	$w_{4,1,1} = (q_{4,1})$		$w_{4,4,3} = (q_{4,2}, q_{4,3}, q_{4,4})$		
5	$w_{5,1,1} = (q_{5,1})$		$w_{5,4,3} = (q_{5,2}, q_{5,3}, q_{5,4})$		
$C_e$	231000	260000	302000	325000	180000

**Optymalny harmonogram działań remontowych na  $e$ -tych etapach**  
*The optimal schedule of renovation activities on its  $e$ -th stages*

## Podsumowanie

Opracowany model stanowi kompleksowe narzędzie wspomagające zarządcę w długoterminowym planowaniu utrzymania wielorodzinnych budynków mieszkalnych. Obejmuje on wszystkie etapy, począwszy od oceny budynku, przez wskazanie możliwości jego naprawy, a skończywszy na wyborze najkorzystniejszego zakresu remontu. Zastosowane w modelu metody bazują na danych eksperckich, które ocenione przy użyciu określonych kryteriów posłużyły do obliczeń optymalizacyjnych opartych na binarnym programowaniu liniowym. Celem przeprowadzenia obliczeń było uzyskanie w zadanym horyzoncie czasu określonych wartości ocen kryteriów stanu budynku przy najmniejszym koszcie wykonania remontu i modernizacji. Zastosowano zmienne określające dostępność wariantów na każdym etapie remontu, jak również sekwencję kolejności wykonywanych napraw. W przypadku obliczeń posłużono się platformą Matlab z wykorzystaniem programu obliczeniowego bintprog. Zastosowanie opracowanego modelu pokazano na przykładzie wielorodzinnego budynku mieszkalnego, w przypadku którego przeprowadzono wielokryterialną ocenę jego stanu, obliczono przyrosty wynikające z proponowanych napraw, a następnie dokonano obliczeń optymalizacyjnych, na podstawie których wskazano najbardziej odpowiedni wariant remontu.

Przedstawiony model opracowano w postaci komputerowego Systemu Długoterminowego Wspomagania Planowania Remontu (SDWPR). Możliwość wszechstronnego wykorzystania proponowanego modelu powoduje, że jest on praktycznym i uniwersalnym narzędziem, które może być stosowane przez zarządców na etapie opracowania długoterminowych planów/strategii remontowych wielorodzinnych budynków mieszkalnych.

## Literatura

[1] Jensen PA, Maslesa E, Berg JB, Thuesen C. 10 questions concerning sustainable building renovation. *Build Environ.* 2018; <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.06.051>.  
 [2] Sharif SA, Hammad A. Simulation-Based Multi-Objective Optimization of institutional building renovation considering energy consumption. *Li-*

*fe-Cycle Cost and Life-Cycle Assessment.* *J. Build. Eng.* 2021; <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.11.006>.  
 [3] Bansal S, Biswas S, Singh SK. Holistic assessment of existing buildings: Indian context. *J. Build. Eng.* 2019; <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100793>.  
 [4] Nowogońska B. A Methodology for Determining the Rehabilitation Needs of Buildings. *Appl. Sci.* 2021; <https://doi.org/10.3390/app10113873>.  
 [5] Carbonari A, Corneli A, Di Giuda GM, Ridolfi L, Villa V. Decision support system for multi-criteria assessment of large building stocks. *J. Civ. Eng. Manag.* 2019; <https://doi.org/10.3846/jcem.2019.9872>.  
 [6] Serrano-Jiménez A, Femenias P, Thuvander L, Barrios-Padura A. A multi-criteria decision support method towards selecting feasible and sustainable housing renovation strategies. *J. Clean. Prod.* 2021; <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123588>.  
 [7] Bucoń R, Czarnigowska A. A model to support long-term building maintenance planning for multifamily housing. *J. Build. Eng.* 2021; <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103000>.  
 [8] Son H, Kim C. Evolutionary Many-Objective Optimization for Retrofit Planning in Public Buildings: A Comparative Study. *J. Clean. Prod.* 2018; <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.102>.  
 [9] Mejjiaoui S, Alzahrani M. Decision-making model for optimum energy retrofitting strategies in residential buildings. *Sustain. Prod. Consum.* 2020; <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.07.008>.  
 [10] Galimshina A, Moustapha M, Hollberg A, Padey P, Lasvaux S, Sudret B, Habert G. Statistical method to identify robust building renovation choices for environmental and economic performance. *Build Environ.* 2020; <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107143>.  
 [11] Cho K, Kim T. Optimized scheduling method for office building renovation projects. *Expert Syst. Appl.* 2021; <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114212>.  
 [12] Cho K, Yoon Y. Decision Support Model for Determining Cost-Effective Renovation Time. *J. Manag. Eng.* 2016; [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000418](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000418).  
 [13] Hauashdh A, Jailani J, Rahman IA, AL-fadhali N. Strategic approaches towards achieving sustainable and effective building maintenance practices in maintenance-managed buildings: A combination of expert interviews and a literature review. *J. Build. Eng.* 2022; <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103490>.  
 [14] Hauashdh A, Jailani J, Rahman IA, AL-fadhali N. Structural equation model for assessing factors affecting building maintenance success. *J. Build. Eng.* 2021; <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102680>.  
 [15] Kamari A, Corrao R, Kirkegaard PH. Sustainability focused decision-making in building renovation. *Int. J. Sustain. Built Environ.* 2017; <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2017.05.001>

*Badania sfinansowano z Funduszu Nauki FN-10 oraz Funduszu Dyscypliny FD-20/IL-4/010, FD-20/IL-4/011, Politechnika Lubelska.*

*Przyjęto do druku: 20.10.2020 r.*