

9. Model decyzyjny wspomagający utrzymanie budynków mieszkalnych

9.1. Wprowadzenie

Zarządzanie budynkami mieszkalnymi jest zadaniem trudnym i złożonym, wymagającym od zarządcy utrzymania budynku w stanie nie pogorszonym i nakładający na niego obowiązek zasadnego inwestowania środków finansowych przeznaczonych na remont (Ustawa z dnia 21 sierpnia 1997r. o gospodarce nieruchomościami (Dz. U. 1997 nr 115 poz. 741)). Trudności temu towarzyszące są głównym powodem, dla którego podejmowanie decyzji przy wyborze napraw budynku wymaga od niego dużego doświadczenia i umiejętności. Wynika to z konieczności oceny stanu budynku, która powinna uwzględniać wymagania określone przepisami Prawa budowlanego oraz potrzeby i oczekiwania mieszkańców. Określenie na tej podstawie zakresu remontu wymaga również uwzględnienia czynników ograniczających, tj. określonej dostępności środków finansowych.

Celem badań, którego wyniki zaprezentowano w niniejszym rozdziale, jest opracowanie modelu decyzyjnego wyboru wariantów remontu lub przebudowy budynków mieszkalnych na podstawie wielokryterialnej oceny wartości użytkowej, stanowiącej podstawę do klasyfikacji remontowej i podejmowania najkorzystniejszego zakresu działań remontowych, z punktu widzenia kosztu jego przeprowadzenia.

Zakres opracowania obejmuje analizę stanu wiedzy w zakresie jedno i wielokryterialnych metod oceny stanu obiektów budowlanych oraz systemów wspomagających podejmowanie decyzji DSS (*Decision Support System*) w zakresie działań remontowych i modernizacyjnych. W kolejnych podrozdziałach przedstawiono analizę budynku w odnośnieniu do jego elementów składowych (elementów oraz ustrojów budowlanych) oraz cech tych składników będących podstawą do przeprowadzenia napraw. Zaadoptowano metody do oceny wybranych kryteriów, tj. stanu technicznego, energetycznego i funkcjonalnego, na podstawie których określana jest wartość użytkową budynku. Opracowano strukturę systemu pozwalającego na ocenę jego wartości użytkowej, której wartość jest podstawą do klasyfikacji remontowej budynku i wskazania najbardziej opłacalnych działań remontowych i modernizacyjnych z punktu widzenia maksymalizacji wartości użytkowej budynku, przy ograniczonej kwocie przeznaczony na remont.

Opracowany model wpisuje się w potrzebę planowanego utrzymania nieruchomości budynkowych. Może być stosowany, jako narzędzie wspomagające zarządcę przy podejmowaniu decyzji remontowych. Uwzględnia ona specyfikę oraz ograniczenia finansowe, w jakich podejmowane są tego typu decyzje. Wymiernym

¹³ Robert Bucoń, dr inż., Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska

rezultatem wdrożenia proponowanego podejścia jest również poprawa jakości użytkowej budynków mieszkalnych.

9.2. Ogólna charakterystyka problemu

Do oceny stanu budynku stosowane są metody odnoszące się do jednego lub wielu wymagań eksploatacyjnych. Dotychczasowa ocena budynków mieszkalnych przeprowadzana była wyłącznie w odniesieniu do stanu technicznego. Stosowano do tego celu metody czasowe (wstępnego szacowania stanu budynku) i metody wizualne (dokładne) (Konior, 1997; Niezabitowska i inni, 2003). Inne metody, w których wykorzystywane są bardziej zaawansowane techniki obliczeniowe, tj. sztuczne sieci neuronowe czy teorie zbiorów rozmytych, przedstawione są w pracach (Knyziak, 2007; Urbański, 2001; Rusek, 2010).

Według wielu autorów, m.in. Orłowski i Szklennik (2011), Kasproicz (2005), Zavadskas i inni (2004), Kaklauskas i inni (2005), ocena stopnia zużycia technicznego budynków jest jednym z wielu wymagań, jakie powinny być brane przy ocenie budynku. Kompleksowa ocena budynku, oprócz zużycia technicznego, powinna obejmować również inne cechy między innymi, odnoszące się do funkcjonalności budynku, jego estetyki, energooszczędności itd. Przykład takiego wielokryterialnego podejścia, w którym oprócz aspektu technicznego, uwzględniono również czynnik funkcjonalny, społeczny (oparty na konsultacjach społecznych) i ekonomiczny (ukierunkowany na energooszczędność budynku) przedstawiła Ostańska (2008). Zaproponowany przez autorkę algorytm rewitalizacji pozwala określić działania prowadzące do ustalenia wytycznych i programów rewitalizacji osiedli mieszkaniowych wybudowanych w technologii budownictwa prefabrykowanego.

Wielokryterialną ocenę obiektów budowlanych w odniesieniu do tzw. budynku referencyjnego przedstawiono w pracy (Owczarek i inni, 2006). Autorzy wyszczególnili w niej cztery grupy czynników opisujących stan budynku (techniczny, funkcjonalny, estetyki, ekonomiczny). Jej rozwinięciem jest zaproponowany algorytm (Orłowski i Szklennik, 2011), który pozwala ocenić wartość użytkową obiektu, porównać cechy analizowanego obiektu z cechami obiektu odniesienia tzw. budynku referencyjnego, a następnie określić stopień zużycia analizowanego obiektu będący podstawą przy podejmowaniu decyzji w zakresie modernizacji budynku.

Inny sposób oceny stanu budynku, który odnosi się do wymagań zawartych w art. 5 ustawy Prawo budowlane, przedstawił Kasproicz (2005). Wybrane czynniki podzielił na mierzalne (ilościowe) i niemierzalne (jakościowe). Autor zakłada, że w zależności od rodzaju, właściwości oraz możliwości pomiaru, wyznaczenia lub obliczenia wartości cech eksploatacyjnych obiektu, wyróżnić można cechy eksploatacyjne, które mogą być wartościami ustalonymi, rozmytymi lub probabilistycznymi, co wymaga zastosowania odpowiednich metod pomiarowych. Zaproponowane podejście pozwala przejrzysto określić stopień spełnienia wymagań eksploatacyjnych przez obiekt.

Przykładem kompleksowego podejścia do oceny budynków jest powstała w latach dziewięćdziesiątych metoda LEED (*Leadership in Energy and Environment Design*) (Azhar i inni, 2011). Metoda pozwala oceniać budynek z uwzględnieniem zasad zrównoważonego rozwoju, takich jak lokalizacja budynku,

wykorzystanie zasobów wodnych, zużycie energii, recykling materiałów, środowisko wewnętrzne, a także innowacyjność materiałowo-technologiczna i regionalne priorytety środowiskowe. W brytyjskim systemie BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), opisanym w pracy (Cha i inni, 2009), przy ocenie budynku brane są pod uwagę zarówno wymagania związane z ochroną środowiska (oszczędność energii, wody, ekologiczność oraz recykling materiałów użytych do budowy, zanieczyszczenia i lokalizacja budynków), jak również wymagania dotyczące zdrowia mieszkańców oraz sposobu zarządzania budynkiem. Jeszcze bardziej różnorodne wymagania obejmuje niemiecki system DGNB (*German Sustainable Building Council*), w którym zakres oceny odnosi się do właściwości ekologicznych, ekonomicznych, społeczno-kulturowych, technicznych projektowych oraz lokalizacji budynku (Ziomba i inni, 2013). Odpowiednikami omawianych systemów jest unijny program EU GreenBuilding oraz australijski Green Star i japoński CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency*) (Azhar i inni, 2011; Cha i inni, 2009).

Narzędziem do diagnostyki stanu obiektów biurowych, na podstawie którego możliwe jest określanie kosztów jego modernizacji, jest system TOBUS (*Tool for Office Building Upgrading Solutions*) (Caccavelli i Gugerli, 2002). Jego odpowiednikiem, dla obiektów hotelowych, jest system XENIOS (Dascalaki i Balaras, 2004). Proponowane systemy obejmują zakresem ocenę stanu fizycznego elementów budynku, starzenie funkcjonalne (względy finansowe, techniczne, estetyczne oraz zgodność z obowiązującymi przepisami), zużycie energii (ogrzewanie, klimatyzacja, oświetlenie, urządzenia, zużycie wody itd.), jakość środowiska wewnętrznego (ocena komfortu cieplnego, jakość powietrza wewnętrznego, oświetlenia i akustyki budynku).

Jako przykład komputerowego narzędzia wielokryterialnej oceny budynków, należy wskazać system INVESTIMMO (*A Decision Making Tool for Long-Term Efficient Investment Strategies in. Housing Maintenance and Refurbishment*) (Bahr i Lennerts, 2010). System umożliwia przeprowadzenie oceny budynku w odniesieniu do przyjętego kryterium i na tej podstawie określenia jego przydatności oraz wartości dla konkretnych uwarunkowań technicznych i prawnych. Wyniki uzyskane z zastosowania INVESTIMMO stanowią przydatne informacje, które mogą być wykorzystane przy opracowaniu wieloletnich planów remontowych spółdzielni mieszkaniowych i zabezpieczenia środków na przyszłe remonty.

Wielokryterialna ocena stanu budynku, stanowi punkt wyjścia w procesie podejmowania decyzji remontowych. Istnieją jednak inne problemy, których wystąpienie uniemożliwia przeprowadzenie remontu, w takim zakresie jak wynika to z oceny stanu budynku, są to m.in. brak wystarczających środków finansowych. Określenie w tej sytuacji możliwego do przeprowadzenia remontu wymaga ze skorzystania z bardziej złożonych modeli wspomagających proces podejmowania decyzji (*Decision Support System*). Modele te oparte są na analizach wielokryterialnych MCDM (*Multiple Criteria Decision Making*), systemach ekspertowych oraz metodach sztucznej inteligencji (SI) wykorzystujących zbiory rozmyte, sieci neuronowe, algorytmy ewolucyjne itd.

Przykładami, w których do wielokryterialnej oceny budynku przyjęto czynniki, odnoszące się, m.in. do wymagań technicznych, estetycznych, politycznych, ekonomicznych itd., są metody przedstawione w pracach (Kaklauskas i inni, 2005;

Perng i inni, 2007; Turkis i inni, 2009; Preiser i Vischer, 2005; Zavadskas i inni, 2004). Perng i inni (2007) do określenia istotności każdego z nich zastosowali metodę AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Wynikiem przeprowadzonej oceny jest wskazanie tzw. stopnia potrzeby przeprowadzenia remontu. Wybór rozwiązań remontowych przeprowadzany jest przy użyciu algorytmu ewolucyjnego, który w oparciu o wyznaczony stopień potrzeby remontu, wskaźnik lokalizacji (odnoszący się do regionu, ulicy, budynku, elementu) oraz wskaźnik podobieństwa (pracy elementów, elementów do naprawy, harmonogramu napraw, stopnia technologicznej interwencji) pozwala określić najbardziej opłacalne naprawy w budynkach, z uwzględnieniem ograniczeń finansowych.

Podobne podejście, w którym do oceny stanu budynku, zaproponowano, takie kryteria jak: bezpieczeństwo, użyteczność, zdrowie użytkowników, komfort użytkownika, przydatność, przedstawiono w pracy (Juan i inni, 2009). Istotność każdego z nich również oceniana jest za pomocą metody AHP. Do wskazania rozwiązań remontowych zastosowano algorytm ewolucyjny oparty na dwóch różnych funkcjach celu. Celem pierwszej jest określenie najkorzystniejszego zakresu napraw, dla których nie przekroczono zakładanej kwoty budżetu przeznaczzonego na remont budynków. Celem drugiej jest wskazanie najkorzystniejszych napraw ze względu na koszt ich przeprowadzenia, przy założeniu, że osiągnięty zostanie minimalny poziom progowy oceny budynku lub poziom docelowy wskazany przez decydenta.

Kolejnym przykładem złożonego systemu, jest łączący ze sobą stochastyczny model predykcji oceny ryzyka opartego na łańcuchach Markowa, z wieloatrybutowym modelem optymalizacji (Lounis i Vanier, 2000). Model pozwala określić priorytetowe elementy utrzymania, w tym naprawy, wymiany oraz umożliwia przeprowadzenie optymalizacji w zakresie alokacji środków finansowych. Ocena ryzyka wystąpienia uszkodzeń przeprowadzana jest w oparciu o informacje, takie jak: rodzaj systemu oraz użytych materiałów, czynniki środowiskowe, wiek elementu, jakość wykonania oraz poziom utrzymania. Zadaniem wieloatrybutowego systemu optymalizacji opartego na zasadzie optymalności wg Pareto, było poszukiwanie satysfakcjonującego rozwiązania, opartego na konflikcie trzech celów, tj.: minimalizacji i kosztów napraw, maksymalizacji jakości utrzymania oraz minimalizacji wystąpienia ryzyka awarii.

Innym przykładem systemu wspomagającego zarządzanie utrzymaniem obiektów budowlanych jest BMDSS (*Building Maintenance Decision Support System*) (Langevine i inni, 2006). Opracowany model obejmuje sześć etapów, tj.: dekompozycję budynku i określenie ważności jego składowych za pomocą metody AHP, kompleksową ocenę stanu budynku. Następnie przy zastosowaniu mechanizmu modelowania niszczenia, opartego na łańcuchach Markowa, przeprowadzana jest predykcja przyszłych stanów elementów budynku. Na końcu wybierana jest odpowiednia strategia utrzymania, dla której przeprowadzana jest optymalizacja wyboru napraw w budynku, której głównym celem jest maksymalizacja przyrostu wskaźnika oceny stanu budynku.

Interesującym przykładem systemu wspomagania decyzji i wyboru alternatywnych napraw jest (*Decision Support Model for Semi-Automated Selection of Renovation Alternatives*) (Rosenfeld i Shohet, 1999). System składa się z czterech etapów, tj.: wstępna ocena zgodności obiektu z wymaganiami prawnymi

i środowiskowymi (określenie możliwego zakresu unowocześnienia budynku i stwierdzenia zasadności jego przeprowadzenia), przeprowadzenie oceny stanu fizycznego i funkcjonalnego elementów budynku (konstrukcja, zewnętrzna elewacja, powierzchnie wewnętrzne, drzwi i okna, hydraulika, systemy elektryczne itd.), proponowanie możliwych do przeprowadzenia działań zmierzających do poprawy stanu budynku oraz przeprowadzanie jakościowych i techniczno-ekonomicznych porównań proponowanych wariantów napraw.

Przykładem komputerowego systemu wspomaganie decyzji przy wyborze rozwiązań remontowych jest system EPIQR (*Energy Performance and Indoor Quality Retrofit*) (Balaras i inni, 2000). Służy on do szacowania kosztów renowacji budynków przy uwzględnieniu racjonalizacji użytkowania energii i poprawy standardu mieszkań. Jest to zintegrowany system diagnostyki stanu budynków i wspomaganie komputerowego w podejmowaniu decyzji o kierunku i zakresie prac remontowych, z uwzględnieniem przedsięwzięć termomodernizacyjnych, przy różnych scenariuszach zaprogramowanych robót, z jednoczesną ciągłą kontrolą kosztów przedsięwzięcia.

9.3. Opis proponowanego modelu

W proponowanym modelu decyzje, dotyczące wyboru zakresu napraw, uzależnione są od trzech ocen budynku, tj. oceny stanu technicznego, energetycznego i funkcjonalnego. Na podstawie powyższych ocen, określony jest syntetyczny wskaźnik wartości użytkowej budynku. Jest on podstawą wyboru rozwiązania remontowego pozwalającego uzyskać największy przyrost wartości użytkowej budynku, w stosunku do wielkości zaangażowanych środków finansowych. Proponowany model decyzyjny stanowi złożony problem obliczeniowy, który wymaga rozwiązania następujących etapów obliczeniowych:

9.4. Ocena budynku

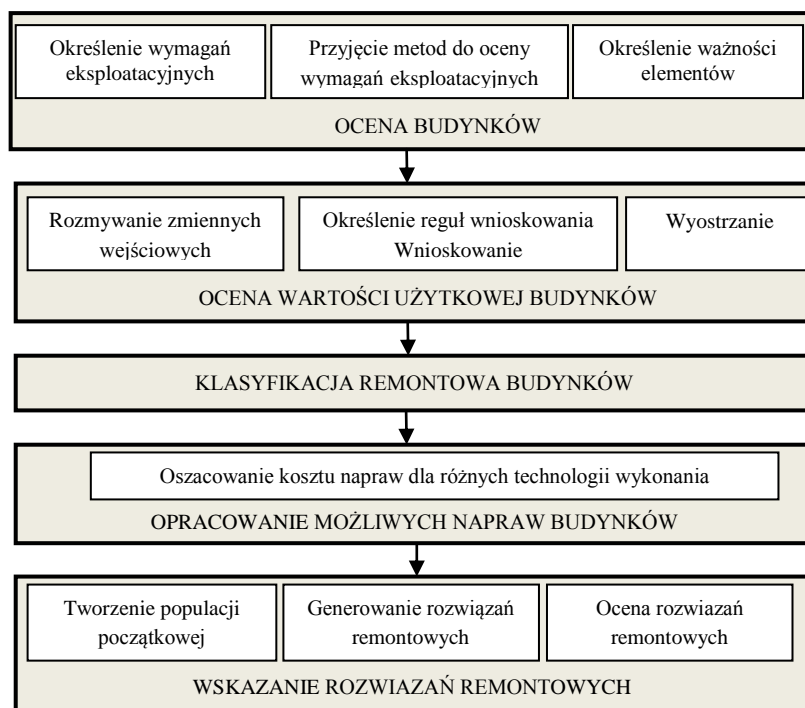
Budynki poddawane są ocenie według trzech przyjętych kryteriów, tj.: K_1 – stan techniczny, K_2 – stan funkcjonalny, K_3 – stan energetyczny. Dla każdego z nich zaproponowano odpowiedni sposób oceny.

Ocena stanu technicznego. Określono zbiór elementów budowlanych $E = \{E_1, E_2, \dots, E_n\}$, na podstawie których przeprowadza się ocenę stopnia zużycia budynku. Oceniane są, m.in. takie elementy jak: ściany, stropy, dach, schody, balkony, wiatrołapy, itd. Elementy $E_i \in E$ oceniane są na podstawie zbioru czynników $E_i = \{u_1, u_2, \dots, u_p\}$ opisujących jego uszkodzenia, np. przy ocenie ścian: pęknięcia, osiadanie, odchylenia, zawilgocenie. Do oceny stanu technicznego O_{K_1} przyjęto metodę „średniej ważonej” (Niezabitowska i inni, 2003), w której wskaźnik stopnia zużycia budynku wyrażony jest w skali 0÷100 %.

$$O_{K_1} = \sum_{i=1}^n \frac{w_{E_i} \cdot O_{E_i}^{K_1}}{100}, \quad (9.1)$$

w_{E_i} – waga ocenianego elementu stanu technicznego,

$O_{E_i}^{K_1}$ – stopień zużycia technicznego i -tego elementu budynku [%].



Rys. 9.1. Etapy proponowanego modelu

Ocena poszczególnych elementów budynku E_i wyrażona jest w skali 0÷100 %. Przeprowadzana jest w oparciu o stwierdzone uszkodzenia u_i , na podstawie których ekspert określa stopień zużycia elementu $O_{E_i}^{K_1}$, posługując się przyjętą skalą ocen lingwistycznych: D (dobra), ZA (zadowolająca), \acute{S} (średnia), M (mierna), Z (zła).

Ocena stanu funkcjonalnego. Określono zbiór cech budynku $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$, na podstawie których przeprowadzana jest ocena stanu funkcjonalnego budynku. Przy ocenie wzięto pod uwagę takie cechy jak: funkcjonalność balkonów, wejść do budynku, komunikacje wewnętrzzklatkową, bezpieczeństwo i ochronę mienia oraz wentylację. Na ocenę każdej z cech budynku $C_i \in C$ wpływa wiele innych czynników $C_i = \{c_1, c_2, \dots, c_o\}$, np. przy ocenie funkcjonalności balkonu: jego powierzchnia, rodzaj wykończenia, bezpieczeństwo, zabudowa, estetyka, itd. Do oceny stanu funkcjonalnego O_{K_2} przyjęto jak wyżej metodę „średniej ważonej”, która w tym przypadku polega na ocenie cech budynku C_i w oparciu o stopień spełnienia wymagań odnoszących się do każdego z czynników c_i . Obliczanie stanu funkcjonalnego przeprowadza się według wzoru:

$$O_{K_2} = \sum_{i=1}^k w_{C_i} \cdot O_{C_i}^{K_2}, \quad (9.2)$$

w_{C_i} – waga ocenianej cechy stanu funkcjonalnego,
 $O_{C_i}^{K_2}$ – ocena cechy stanu funkcjonalnego [pkt].

Ocena funkcjonalna elementów budynku wyrażona jest w skali 0÷5 pkt. Ekspert na podstawie stwierdzonego stanu cechy budynku C_i przypisuje jej ocenę $O_{C_i}^{K_2}$ posługując się zaproponowaną skalą ocen lingwistycznych: D (dobra), ZA (zadowolający), \acute{S} (średnia), M (mierna), Z (zła), B (brak elementu), którym przypisano oceny od 5 do 0 wyrażone w pkt.

Ocena stanu energetycznego. Określono zbiór elementów budynku $E = \{E_1, E_2, \dots, E_m\}$, na podstawie których będzie oceniany stan energetyczny budynku. Niektóre elementy $E_i \in E$ jak np. ściany, dach, strop piwnic, stolarka zewnętrzna, itd. pokrywają się z tymi ocenianymi według kryterium K_1 . Ocenę stanu energetycznego O_{K_3} proponuje się przeprowadzić w oparciu o obowiązującą metodę, pozwalającą określić sezonowe zapotrzebowanie budynku na energię do ogrzewania Q_h , wyrażone w kWh/m² · rok.

$$O_{K_3} = Q_h / A, \quad (9.3)$$

A – pole powierzchni przegród zewnętrznych [m²].

9.5. Ocena wartości użytkowej budynków

Wartość użytkowa budynków WUB jest obliczana na podstawie oceny według trzech kryteriów K_j . Każde z nich jest reprezentowane przez zmienną lingwistyczną x_j wyrażoną zbiorami rozmytymi A_i^j w pewnej przestrzeni X_j .

$$A_i^j = \left\{ \left(x_j, \mu_{A_i^j}(x_j) \right) : x_j \in X_j, \mu_{A_i^j}(x) \in [0,1] \right\}, \quad (9.4)$$

$\mu_{A_i^j}(x_j)$ – stopień przynależności do zbioru rozmytego A_i^j .

Rozmywanie zmiennych wejściowych wymaga określenia liczby zbiorów rozmytych oraz ustalenia charakterystyk i kształtu opisujących je funkcji przynależności. Każdy ze zbiorów rozmytych A_i^j , oprócz skrajnych, jest wyrażony za pomocą trójkątnych funkcji przynależności, których wierzchołki są usytuowane w środku każdego z n -przyjętych przedziałów.

$x_1 = \{A_1^1, A_2^1, \dots, A_5^1\}$, gdzie: $A_1^1, A_2^1, \dots, A_5^1$ oznaczają zbiory rozmyte przyjęte do oceny według kryterium K_1 , dla których zastosowano określenia lingwistyczne, kolejno: dobry D , zadowolający ZA , średni \acute{S} , mierny M , zły Z , dla których stopień zużycia wyrażony w % wynosi odpowiednio: 0÷15, 16÷30, 31÷50, 51÷70, 71÷100.

$x_2 = \{A_1^2, A_2^2, A_3^2\}$, gdzie: A_1^2, A_2^2, A_3^2 oznaczają zbiory rozmyte przyjęte do oceny kryterium K_2 , dla których zastosowano określenia lingwistyczne, kolejno: dobry D , średni \acute{S} , zły Z , którym odpowiadają następujące oceny $O_{C_i}^{K_2}$ [pkt]: 0÷2,5, 0÷5, 2,5÷5.

$x_3 = \{A_1^3, A_2^3, \dots, A_6^3\}$, gdzie: $A_1^3, A_2^3, \dots, A_6^3$ oznaczają zbiory rozmyte przyjęte do oceny kryterium K_3 , dla których zastosowano określenia lingwistyczne, kolejno: niskoener-

getyczny *NE*, energooszczędny *EO*, średnioenergooszczędny *ŚEO*, średnioenergochłonny *ŚEC*, energochłonny *EC*, wysokoenergochłonny *WEC*, dla których wskaźnik zużycia energii E [kWh/m²·rok] wynosi odpowiednio: 20÷45, 45÷80, 80÷100, 100÷150, 150÷250, > 250.

Informacje o związkach, jakie zachodzą pomiędzy przesłankami stanowiącymi zmienne wejściowe x_j a konkluzją reprezentującą zmienną wyjściową y ujęte są w postaci zbioru reguł R_m , które możemy zapisać następująco:

$$\text{if } \mu_{A_1^1}(x_1) \geq 0 \text{ and } \mu_{A_2^2}(x_2) \geq 0 \text{ and } \mu_{A_3^3}(x_3) \text{ then } \mu_{WUB(n)}(y) \geq 0 \quad (9.5)$$

$\mu_{A_i^j}(x_j)$ – stopień przynależności zmiennej x_1, x_2, x_3 do zbiorów rozmytych t, u, v ,

$\mu_{WUB(n)}(y)$ – stopień przynależności zmiennej y do $WUB(n)$.

Zmienne lingwistyczne pojawiające się po lewej stronie reguł rozmytych są wejściowymi i zwane są przesłankami (oznaczone jako t, u, v), będącymi aktywowanymi zbiorami rozmytymi. W wyniku ich spełnienia następuje uruchomienie reguły. Konkluzja każdej z reguł zapisana jest po prawej stronie równania. W rozpatrywanym modelu zmienna wyjściowa y wyrażona jest przy użyciu pięciu singletonów wyrażonych w [pkt]: bardzo wysoka *BW* (100), wysoka *W* (80), średnia *Ś* (60), przeciętna *P* (40), niska *N* (20).

Baza reguł. Określanie reguł wnioskowania systemu odbywa się na podstawie wiedzy eksperckiej. W pracy zastosowano autorski algorytm generowania bazy reguł systemu (Bucoń i Sobotka, 2012), który stanowi integralną część opracowanego modelu. Wymaga on przeprowadzenia pięciu etapów obliczeniowych:

1) Pozyskanie wiedzy od ekspertów, których zadaniem jest przypisanie każdej z pięciu wartości zmiennej wyjściowej y , odpowiedniego zakresu wartości zmiennych wejściowych x_j , np. jeśli $x_1 = D$ i $x_2 = W$ i $x_3 = NE$ to $y = BW$.

2) Obliczanie wag przyjętych kryteriów przy zastosowaniu rozmytej metody AHP (Jaśkowski i inni, 2010). Ich Istotność ustalana jest poprzez agregację ocen grupy K ekspertów, z których każdy dokonuje $m = n \cdot (n-1) / 2$ porównań parami kryteriów (określa względny stopień przewyższania, preferencji, ważności), stosując skalę 1/9, 1/7, 1/5, 1/3, 1, 3, 5, 7, 9 rozszerzoną ewentualnie o oceny pośrednie 1/8, 1/6, 1/4, 1/2, 2, 4, 6, 8.

3) Obliczenie stopni przynależności $\mu_{A_i^j, WUB(n)}(y)$ zbiorów rozmytych zmiennych wejściowych x_j do poszczególnych wartości użytkowych budynku zmiennej y .

$$\mu_{A_i^j, WUB(n)}(y) = O_{A_i^j, WUB(n)} / N, \quad n = 1, 2, 3, \dots, 5 \quad (9.6)$$

$O_{A_i^j, WUB(n)}$ – liczba ekspertów potwierdzających regułę „jeżeli oceny według kryterium j należą do termu A_i^j , to zmienna wejściowa należy do termu $WUB(n)$,

N – liczba wszystkich ekspertów.

4) Obliczanie wartości konkluzji reguł. Liczba reguł m jest równa iloczynowi zbiorów rozmytych zmiennych wejściowych x_j . Dla każdego A_i^j , wybierany jest numer

zbioru rozmytego s_i^j , dla którego funkcja przynależności przyjmuje maksymalną wartość.

$$\mu_{WUB(s_i^j)} = \max \{ \mu_{A_i^j, WUB(N)}(y), \dots, \mu_{A_i^j, WUB(BW)}(y) \}, \quad (9.7)$$

W dalszej kolejności dla każdej wygenerowanej reguły R_m obliczana jest konkluzja K_m :

$$K_m = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_j \cdot \mu_{WUB(s_i^j)} \cdot WUB(s_i^j), \quad (9.8)$$

w_j – waga zmiennej wejściowej $j = 1, 2, 3$,

$WUB(s_i^j)$ – wartość użytkowa budynku określona dla i -tego zbioru A_i^j zmiennej x_j ,

s_i^j – przesłanki j -tego kryterium dla $i = u, t, v$; $u = 1, 2, \dots, 5$, $t = 1, 2, \dots, 6$, $v = 1, 2, 3$.

5) Każdej m -tej regule R przyporządkowana jest wartość zmiennej wyjściowej $WUB(n)$, na podstawie obliczonego wskaźnika konkluzji K_m . Za konkluzję reguły przyjmuje się tą wartość zmiennej wyjściowej y , dla której stopień przynależności $\mu_{WUB(n)}$ jest większy.

$$R_m \rightarrow WUB(n) = \max \{ \mu_{WUB(N)}(y), \dots, \mu_{WUB(BW)}(y) \} \quad (9.9)$$

Wnioskowanie. Na tym etapie ma miejsce uruchomienie każdej z reguł, której przesłanki są spełnione. Ogólnie rzecz biorąc w oparciu o przesłanki (oznaczone jako t, u, v) znajdująca jest odpowiednia wartość wyjściowa y , będąca wnioskiem z przyjętych reguł rozmytych.

Wnioskowanie na podstawie bazy reguł odbywa się w dwóch etapach:

1) Obliczenie stopnia przynależności $\mu_{A_i^j}$ przesłanek $i = t, u, v$ będących zbiorami rozmytymi każdej z trzech zmiennych wejściowych x_j .

2) Obliczenie stopnia spełnienia całego warunku (reguły) jako funkcji przynależności iloczynu zbiorów rozmytych obliczanego przy użyciu operatora *prod*:

$$\mu_{WUB(n)}^{R_m} = \text{prod} (\mu_{A_i^j}(x_1) \cdot \mu_{A_i^j}(x_2) \cdot \mu_{A_i^j}(x_3)) \quad (9.10)$$

W przypadku, gdy stopień spełnienia przesłanek jest równy zero, reguła nie zostanie uruchomiona i nie bierze udziału podczas wnioskowania.

Wyostczenie. Obliczanie wartości użytkowej budynku WUB , jest wynikiem aktywacji konkluzji poszczególnych reguł systemu. Proces wyostczenia wymaga zastosowania odpowiedniej metody defuzyfikacji. Dla modelu Takagi-Sugeno-Kanga przyjęto metodę „sumy ważonej” (Takagi i Sugeno, 1985), której wyostczona wartość użytkowa budynku y wyznaczana jest jako średnia ważona z wartości otrzymywanych z aktywowanych reguł:

$$y = \sum_{m=1}^{90} \left(\mu_{WUB(n)}^{R_m} \cdot WUB(n) / \mu_{WUB(n)}^{R_m} \right) \quad (9.11)$$

$WUB(n)$ – wartości zmiennej wyjściowej y , tj. (BW, W, \acute{S}, P, N),

$\mu_{WUB(n)}^{R_m}(y)$ – stopień przynależności zmiennej wyjściowej y do m -tej reguły.

9.6. Klasyfikacja budynków do remontu oraz zaprojektowanie wariantowych napraw

Wskazanie budynków do naprawy odbywa się na podstawie obliczonej wartości użytkowej budynków. Jeśli ocenie poddawanych jest kilka budynków $B = \{B_1, B_2, \dots, B_k\}$, możliwy jest wybór spośród nich tych, dla których ustalona wartość progowa nie przekracza zakładanej wartości wskaźnika WUB .

Naprawy (zakres, technologia wykonania) dla wytypowanych budynków ustalane są na podstawie przeprowadzonej oceny elementów stanu technicznego, energetycznego i funkcjonalnego. Naszym zadaniem jest zaproponowanie odpowiedniej technologii przeprowadzenia naprawy (najlepiej w kilku wariantach), dla których wymagane jest oszacowanie kosztu ich przeprowadzenia oraz obliczenie przyrostu dla przyjętych w pracy kryteriów K_j , posługując się proponowanym w pracy sposobem oceny. Wszelkie prace naprawcze, proponowane na tym etapie, powinny zapewnić użytkowanie istniejących budynków na poziomie odpowiadającym wymaganiom ujętym w Prawie budowlanym i innych przepisach oraz normach. Dla każdego budynku $B_i \in B$ zaklasyfikowanego do remontu określany jest, w oparciu o przeprowadzone oceny według kryteriów K_j , zbiór możliwych do przeprowadzenia napraw $N_{B_i} = \{N_{i_1}, N_{i_2}, \dots, N_{i_m}\}$.

Każda naprawa $N_{i_s} \in N_{B_i}$ może być wykonana na wiele możliwych sposobów, tzw.

wariantów $W_r^{i_s}$, z których każdy przedstawia inne rozwiązanie pod względem zastosowanych materiałów, technologii wykonania oraz kosztów ich przeprowadzenia.

9.7. Wskazanie rozwiązań remontowych

Problem wyboru rozwiązań remontowych sprowadza się w opracowanym modelu do:

- maksymalizacji przyrostu wartości użytkowej budynków, przy ograniczeniu:
- dostępnych środków pieniężnych przeznaczonych na remont.

W wyniku przeprowadzonej optymalizacji spośród proponowanych napraw elementów budynku/ów N_{B_i} wyłaniane jest rozwiązanie w , które jest zbiorem wariantów napraw $W_r^{i_s}$ przynoszącym największy przyrost wartości użytkowej budynku, dla założonej kwoty K (stanowiącej warunek ograniczający).

Przyrost wartości użytkowej każdego z budynków $\Delta O_{B_i}^{K_j}$ jest wynikiem przyrostu wartości trzech kryteriów wejściowych. Przy obliczeniu przyrostu wartości użytkowej wszystkich budynków ΔWUB , uwzględniana jest ich powierzchnia użytkowa $P_u(B_i)$, co pozwala uwzględnić ważony udział każdego z nich w całkowitej powierzchni budynków.

$$\Delta WUB = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^k (w_{K_j} \cdot \Delta O_{B_i}^{K_j}) \cdot P_u(B_i) / P_u(B_i) \quad (9.12)$$

w_{K_j} – waga j - tego kryterium.

Rozwiązaniu najbardziej satysfakcjonującemu, wybranemu ze zbioru rozwiązań dopuszczalnych, powinna odpowiadać maksymalna wartość funkcji przystosowania, zapewniająca największy przyrost wartości użytkowej budynku lub budynków. Rozwiązanie to stanowi kombinację różnych wariantów wykonania napraw, których koszt nie powinien przekraczać środków finansowych przeznaczonych na remont. Problem ten zapisano w uproszczonej postaci:

$$\max z : z = \Delta WUB(w), K(w) \leq B, w \in W, \quad (9.13)$$

w – rozwiązanie obejmujące zbiór wariantów remontu budynków,
 $\Delta WUB(w)$ – przyrost wartości użytkowej budynków dla rozwiązania w ,
 $K(w)$ – koszt dla rozwiązania w .

Do rozwiązania zadania optymalizacyjnego wykorzystano algorytm ewolucyjny, którego zadaniem jest poszukiwanie rozwiązań optymalnych lub suboptymalnych (akceptowanych). Poszczególne etapy jego działania, polegają na:

- 1) Utworzeniu populacji początkowej (rozwiązań początkowych). Zastosowano reprezentacje osobników (rozwiązań dopuszczalnych) w postaci genów zawierających informację o proponowanych wariantach naprawy budynków. Wartość poszczególnych genów w chromosomie ustalana jest w sposób losowy.
- 2) Generowaniu możliwych rozwiązań remontowych w procesie selekcji, krzyżowania, mutacji (Rutkowski, 2006).
- 3) Ocenie rozwiązań remontowych, która odbywa się przy zastosowaniu dwóch funkcji przystosowania F_1 i F_2 . Zadaniem F_1 jest poszukiwanie najlepszego rozwiązania remontowego, którego koszt K nie przekracza ustalonej kwoty budżetu B , natomiast funkcji F_2 rozwiązań, których koszt nieznacznie może przekroczyć zakładany budżet, w wyniku czego możemy uzyskać lepsze rozwiązanie.

$$F_1 = \frac{\Delta WUB}{1 + k \cdot (|K - B|/B)}, \quad (9.14)$$

$$F_2 = \frac{\Delta WUB \cdot (B/K)}{1 + k \cdot (|K - B|/B)}, \quad (9.15)$$

k – współczynnik kary za przekroczenie budżetu.

9.8. Przykład zastosowania modelu

Zastosowanie modelu przedstawiono na przykładzie trzech wielorodzinnych budynków mieszkalnych, wykonanych w różnych systemach prefabrykacji i o różnej wielkości powierzchni użytkowej P_u . Wyniki przeprowadzonych ocen budynku według przyjętych kryteriów, tj. K_1 – stan techniczny, K_2 – stan energetyczny, K_3 – stan funkcjonalny, zestawiono w tabeli 9.1.

Tabela 9.1. Ocena stanu budynku według przyjętych kryteriów

Nr budynku	ST [%]	SF [pkt]	SE [kWh/m ² ·rok]	P_u [m ²]
1	52,15	1,82	145,20	4017,2
2	53,37	2,05	163,70	4484,0
3	48,78	2,31	159,40	2862,5

Ocena wartości użytkowej budynków WUB wymagała w pierwszej kolejności określenia reguł wnioskowania, które określono przy użyciu autorskiego algorytmu do ich generowania (Bucoń i Sobotka, 2012). Dane potrzebne do obliczeń uzyskano od 10-ciu ekspertów, których zadaniem było wskazanie przedziału wartości ocen budynku, tj. ST , SE , SF , odpowiadających każdej z pięciu ocen wskaźnika WUB . Wyniki obliczeń, na podstawie których określono konkluzję każdej z 90 reguł systemu, przedstawiono w tabeli 9.2.

Tabela 9.2. Baza reguł systemu rozmytego

WUB	BW	W										\dot{S}										P						N																							
ST	D																																																		
	ZA																																																		
	\dot{S}																																																		
	M																																																		
	Z																																																		
SE	NE																																																		
	EO																																																		
	$\dot{S}EO$																																																		
	$\dot{S}EC$																																																		
	EC																																																		
	WE																																																		
SF	D																																																		
	\dot{S}																																																		
	Z																																																		
R_m		3	2	1	9	2	6	2	1	1	1	2	1	1	4	3	1	2	6	2	1	3	2	1	1	1	1	2	1	2	9	2	6	2	1	1	2	3	1	2	3										

Na podstawie ocen stanu budynku (tab. 9.1), stanowiących dane wejściowe modelu, przeprowadzono obliczenia wartości użytkowej każdego z trzech budynków. Uzyskano dla nich następujące wartości, dla $B_1 = 34,09$ pkt, $B_2 = 32,52$ pkt, $B_3 = 38,54$ pkt. Zakwalifikowano do naprawy wszystkie trzy budynki, dla których w tabeli 9.3 zestawiono propozycje napraw. Mogą one być w większości przypadków przeprowadzone według różnych wariantów, o różnym zakresie prac i rozwiązaniach materiałowo-technologicznych. Oszacowano również maksymalne i minimalne koszty przeprowadzenia wszystkich proponowanych napraw w budynkach.

Tabela 9.3. Proponowane naprawy i warianty ich wykonania dla budynków

Nr budynku	Liczba napraw	Liczba wariantów napraw	K_{min}	K_{max}
1	11	24	638 636	1 610 768
2	14	24	969 349	1 636 711
3	11	21	588 520	1 224 483

Rodzaj i sposób napraw przyjęto na podstawie stanu faktycznego, tj. przeprowadzonych ocen ST , SE , SF . Dane do obliczeń uzyskano z dokumentacją techniczną,

na podstawie której oszacowano koszt proponowanych napraw. Następnie określono przyrost wartości dla ocenianych stanów budynku według formuł (9.1, 9.2, 9.3). W zależności od zastosowanej naprawy przyrost ten może odnosić się do poprawy jednego, dwóch a nawet trzech stanów budynku – tabela 9.4.

Tabela 9.4. Proponowane naprawy dla jednego z budynków

Element budynku	Warianty remontowe elementu		Przyrost			K [zł]
			ST	SE	SF	
1 Ściany zewnętrzne	1	docieplenie, tynk	6,53	31,80	0,00	386 832
	2	j.w., okładzina cokołu	7,00	31,80	0,00	412 176
	3	naprawa, malowanie	1,40	0,00	0,00	68 850
2 Dach	1	wymiana pokrycia, obróbki	2,34	0,00	0,00	118 660
	2	wymiana j.w., docieplenie	2,34	5,17	0,00	220 148
	3	docieplenie	0,00	5,17	0,00	101 488
3 Wiatrołapy	1	naprawa, malowanie	0,42	0,00	0,00	17 936
	2	j.w., montaż domofonów	0,42	0,00	0,20	37 736
	3	Przebudowa	1,26	0,00	0,84	61 786
4 Balkony	1	naprawa okładziny, tynku	0,98	0,00	0,00	34 331
	2	wymiana kompleksowa	2,43	0,00	0,00	177 716
	3	wymiana j.w., naprawa balustrad	2,70	0,00	0,44	207 403
5 Orynowanie	1	wymiana	0,70	0,00	0,00	18 374
6 Stolarka zewnętrzna	1	wymiana- klatka schodowa	1,26	4,02	0,00	51 418
	2	wymiana - klatka schodowa, piwnice	1,73	5,35	0,00	73 038
7 Stolarka wewnętrzna	1	naprawa, malowanie	0,18	0,00	0,00	5 280
	2	Wymiana	1,08	0,00	0,40	52 800
8 Ściany wewnętrzne	1	naprawa ścian, tynku	2,20	0,00	0,00	72 521
	2	naprawa ścian, wymiana tynku	3,08	0,00	0,00	100 019
9 Instalacja elektryczna	1	wymiana instalacji, osprzętu	3,71	0,00	0,00	195 502
	2	naprawa instalacji, wymiana osprzętu	1,06	0,00	0,00	34 975
10 Stropy	1	ocieplenie, wykończenie – strop piwnic	0,00	11,7	0,00	102 680
11 Schody wewnętrzne klatek	1	wymiana okładziny, naprawa tynku, balustrad	2,88	0,00	0,252	130 783
	2	wymiana okładziny, tynku, balustrad	3,60	0,00	0,756	166 842

Te wyniki są w następnej kolejności punktem wyjścia do optymalizacji, tj. wyboru zakresu robót remontowych przynoszących największy przyrost *WUB*, przy założeniu dysponowania ograniczonymi środkami przeznaczonymi na remont. Poszukiwano ze zbioru wszystkich proponowanych napraw tych, dla których koszt będzie zawierał się lub nieznacznie przekroczy zakładany budżet wynoszący 1 oraz 3 mln zł. W wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskano po pięć rozwiązań remontowych, dla każdej z zakładanych kwot dysponowanego budżetu, spośród których rozwiązania R_i są najbardziej preferowane, ze względu na najlepszy stosunek przyrostu *WUB* do poniesionych kosztów *K* (tab. 9.5).

Tabela 9.5. Wygenerowane rozwiązania remontowe R_i , dla założonych kwot budżetu B

R_i	$B = 1\ 000\ 000\ \text{zł}$			$B = 3\ 000\ 000\ \text{zł}$		
	ΔWUB [pkt]	<i>EF</i>	<i>K</i> [zł]	ΔWUB [pkt]	<i>EF</i>	<i>K</i> [zł]
1	14,65	14,62	1 001 645	34,03	11,34	3 001 211
2	14,51	14,51	1 000 180	33,99	11,33	3 000 406
3	14,44	14,40	1 002 656	33,97	11,31	3 002 571
4	14,10	14,10	999 720	33,82	11,28	2 998 388

5	13,98	14,00	998 484	33,77	11,25	3 000 942
---	-------	-------	---------	-------	-------	-----------

Najlepsze rozwiązania remontowe w obydwu przypadkach przekroczyły zakładaną kwotę budżetu, odpowiednio o 1645 zł i 1211 zł, pozwalając na uzyskanie przyrostu wartości użytkowej budynków ΔWUB równego 14,65 i 34,03 pkt. Można zauważyć, że efektywność wykorzystania środków pieniężnych EF maleje wraz ze wzrostem kwoty przeznaczanej na remont. W pierwszym przypadku wyniosła ona 14,62, zaś w drugim 11,34. Wynika to z faktu, iż w pierwszej kolejności zgodnie z założeniami modelu, wybierane są naprawy najbardziej opłacalne a dopiero w dalszej kolejności pozostałe.

Rozwiązania remontowe, które nie przekroczyły zakładanej kwoty budżetu, w obydwu przypadkach R_4 , okazały się mniej korzystne. Przyrosty wartości użytkowej wyniosły odpowiednio 14,10 oraz 33,82 pkt. Wartości współczynnika efektywności EF wyniosła dla nich odpowiednio 14,10 i 11,28.

Każde z pięciu rozwiązań remontowych przedstawionych w tabeli 9.5, składa się z odmiennych wariantów napraw dla budynków. W tabeli 9.6 przedstawiono, dla dwóch założonych kwot budżetu, szczegółowe zestawienie wariantów napraw (rozwiązań remontowych R_1) z podziałem kosztów ich wykonania, dla każdego z trzech budynków.

Tabela 9.6. Zestawienie wariantów napraw dla założonych kwot budżetu

Budżet [mln zł]	Numer budynku	Naprawa/wariant	Koszt napraw [zł]	Koszt łączny [zł]
1	1	3/1, 4/1, 5/1, 6/2, 8/2, 9/2, 11/2	445515	1001645
	2	5/1, 6/1, 7/2, 8/1, 13/1, 14/2,	329306	
	3	1/3, 2/1, 6/1, 8/2, 9/1	226824	
3	1	3/3, 4/1, 5/1, 6/2, 7/2, 8/2, 9/1, 10/1, 11/2	1336208	3 001 211
	2	1/2, 2/1, 4/1, 5/1, 6/2, 7/2, 8/1, 9/1, 13/1, 14/2	1002545	
	3	1/2, 2/1, 5/1, 6/2, 7/2, 8/2, 9/1	662458	

9.9. Podsumowanie

Zarządzanie obiektem budowlanym wymaga ciągłej kontroli stanu budynku i podejmowania działań naprawczych, w celu utrzymania go we właściwym stanie. Zadanie to wymaga w pierwszej kolejności diagnostyki stanu obiektu, która może być przeprowadzona na wiele różnych sposobów proponowanych w literaturze. Znaczna ich część obejmuje jednak zbyt wąski zakres, odnoszący się wyłącznie do oceny stanu technicznego. Stosowane natomiast wielokryterialne metody oceny budynku, takie jak LEED, BREEAM i inne, wydają się nieodpowiednie do oceny budynków mieszkalnych w Polsce, ze względu na przyjęte kryteria i sposób oceny budynku.

W pracy zaproponowano ocenę budynku, wg trzech kryteriów, tj. ST , SE , SF , do oceny których zastosowano powszechnie znane metody, jak np. metoda średniej ważonej oraz metoda określania wskaźnika zużycia energii dla budynku. Kompleksowa ocena budynku wyrażona jest za pomocą syntetycznego wskaźnika WUB , którego wartość określana jest na podstawie wiedzy eksperckiej i teorii zbiorów rozmytych. Drugim ważnym elementem, którego rozwiązanie przedstawiono w pracy, dotyczy podejmowania decyzji remontowych przez zarządzającego, w

warunkach ograniczonej dostępności środków finansowych. Zastosowano w tym celu algorytm ewolucyjny, który w sytuacji występowania dużej liczby możliwych rozwiązań pozwala szybko znaleźć rozwiązanie suboptymalne.

Zastosowanie modelu ogranicza się do wyboru napraw, których wykonanie podnosi wartość użytkową budynku. Tego rodzaju naprawy nie wymagają natychmiastowej realizacji, jak ma to miejsce, np. w przypadku napraw odnoszących się do bezpieczeństwa konstrukcji, dlatego mogą one być uwzględniane w planach remontowych budynków i przeprowadzane w miarę dysponowania przez zarządcę odpowiednimi środkami finansowymi.

Komputerowa implementacja opracowanego modelu pozwala określić najkorzystniejszy zakres napraw, z punktu widzenia przyjętych kryteriów oceny, których wykonanie przyniesie największy przyrost wartości użytkowej. Opracowany model wpisuje się w potrzebę strategicznego planowania zarządzania nieruchomościami budynkowymi oraz stanowi narzędzie wspomagające zarządcę przy podejmowaniu decyzji remontowych.

Wyniki prac były finansowane z środków statutowych przyznanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (S/63/2014).

9.10. Literatura

- [1] Azhar S., Carlton, W. A., Olsen, D. i Ahmad I. (2011). Building information modeling for sustainable design and LEED rating analysis. *Automation in Construction* 20(2), 217-224.
- [2] Bahr, C. i Lennerts, K. (2010). Quantitative validation of budgeting methods and suggestion of a new calculation method for the determination of maintenance costs. *Journal of Facilities Management* 8(1), 47 - 63.
- [3] Balaras, C. A., Drousa, K., Agririou, A. A. i Asimakopoulos D. N. (2000). EPIQR surveys of apartment buildings in Europe. *Energy and Buildings* 31(2), 111-128.
- [4] Bucoń, R. i Sobotka A. (2012). Model decyzyjny wyboru rozwiązań remontowych budynków mieszkalnych. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, 59(3), 57-65.
- [5] Caccavelli, D. i Gugerli H. (2002). TOBUS – a European diagnosis and decision-making tool for Office building upgrading. *Energy and Buildings* 34(2), 113-119.
- [6] Cha, H., Kim, J. i Han, J. (2009). Identifying and Assessing Influence Factors on Improving Waste Management Performance for Building Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management* 135(7), 647-656.
- [7] Dascalaki, E. i Balaras, C. A. (2004). XENIOS – a methodology for assessing refurbishment scenarios and the potential of application of RES and RUE in hotels. *Energy and Buildings* 36(11), 1091-1105.
- [8] Jaśkowski, P., Biruk, S. i Bucoń R. (2010). Assessing contractor selection criteria weights with fuzzy AHP method application in group decision environment. *Automation in Construction* 19 (2), 120-126.

- [9] Juan, Y. K., Kim, J.H., Roper, K. i Lacouture D. C. (2009). GA - based decision support system for housing condition assessment and refurbishment strategies. *Automation in Construction* 18(4), 394-401.
- [10] Kaklauskas, A., Zavadskas, E. K. i Raslanas S. (2005). Multivariant design and multiple criteria analysis of building refurbishments, *Energy and Buildings* 37(4), 361-372.
- [11] Kasprowicz, T. (2005). Eksploatacja obiektów budowlanych. *Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej: Problemy Naukowo-Badawcze Budownictwa*. Krynica, 171-178.
- [12] Knyziak, P. (2007). *Analiza stanu technicznego prefabrykowanych budynków mieszkalnych za pomocą sztucznych sieci neuronowych*. (Rozprawa doktorska niepublikowana). Warszawa: Politechnika Warszawska.
- [13] Konior, J. (1997). *Wpływ utrzymania budynków mieszkalnych na techniczne zużycie ich elementów*. (Rozprawa doktorska niepublikowana), Wrocław: Politechnika Wrocławska.
- [14] Langevine, R., Allouche, M. i AbouRizk, S. (2006). Decision support tool for the maintenance management of buildings. *Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering*, Montreal, Canada. Pobrano z lokalizacji: <http://itc.scix.net/data/works/att/w78-2006-tf349.pdf>
- [15] Lounis, Z. i Vanier D. J. (2000). A Multiobjective and stochastic system for building maintenance management. *Journal of Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 15(5), 320-329.
- [16] Niezabitowska, E., Kucharczyk-Brus, B. i Masły, D. (2003). *Wartość użytkowa budynku*, Warszawa: Verlag Dashofer.
- [17] Orłowski, Z. i Szklennik, N. (2011). Zakres modernizacji budynku – jako wynik analizy diagnostycznej budynku. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, 2(3), 353-360.
- [18] Ostańska, A. (2009). Problemy rewitalizacji zespołów prefabrykowanych zabudowy mieszkaniowej na przykładzie osiedla im. Stanisława Moniuszki w Lublinie. *Budownictwo i Architektura*, 4(1), 85-104.
- [19] Owczarek, S., Orłowski, Z. i Szklennik, N. (2006). Koncepcja systemowej oceny zużycia budynków. *Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej: Technologia i zarządzanie w budownictwie*. Karłów, 341-346.
- [20] Perng, Y. H., Juan, Y. K. i Hsu, H. S. (2007). Genetic algorithm-based decision support for the restoration budget allocation of historical buildings. *Building and Environment* 42(2), 770-778.
- [21] Preiser, W. F. E. i Vischer J. C. (2005). *Assessing Building Performance*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- [22] Rosenfeld, Y. i Shohet, I. M. (1999). Decision Support model for semi-automated selection of renovation alternatives. *Automation in Construction* 8(4), 503-510.
- [23] Rusek, J. (2010). *Modelowanie stopnia zużycia technicznego budynków na terenach górniczych z wykorzystaniem wybranych metod sztucznej inteligencji*. (Rozprawa doktorska). Pobrano z lokalizacji: <http://winntbg.bg.agh.edu.pl/rozprawy2/10217/full10217.pdf>.

- [24] Rutkowski, L. (2006). *Metody i techniki sztucznej inteligencji*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- [25] Takagi, T. i Sugeno, M. (1985). Fuzzy identification of systems and its applications of modeling and control, *IEEE Transactions of Systems, Man and Cybernetics* 15(1), 116-132.
- [26] Turskis, Z., Zavadskas, E. K. i Peldschus F. (2009). Multi-criteria optimization system for decision making In construction design and management. *Inżynierine Ekonomika - Engineering Economics* 1(61), 7-17.
- [27] Urbański, P. (2001). *Ocena stopnia zużycia technicznego wybranej grupy budynków mieszkalnych za pomocą sztucznych sieci neuronowych*. (Rozprawa doktorska niepublikowana). Zielona Góra: Uniwersytet Zielonogórski.
- [28] Ustawa z dnia 21 sierpnia 1997r. o gospodarce nieruchomościami (Dz. U. 1997 nr 115 poz 741)
- [29] Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A. i Gulbinas, A. (2004). Multiple Criteria Decision Support Web-Based System for Building Refurbishment. *Journal Of Civil Engineering and Management* 10(1), 77-85.
- [30] Zieba, M., Belniak, S. i Gluszek M. (2013). Demand for sustainable office space in Poland: the results from a conjoint experiment in Krakow. *Property Management* 31(5), 404-419.

Abstract

Residential building management requires to maintain the building in non-deteriorated condition and obliges the administrator to reasonably invest funds for repairs. It involves making difficult and complex decisions regarding the selection of repair solutions. Deciding on the choice of repair solutions is a difficult and complex task. Building administrators have to consider both, the benefits of some repair works, and limitations due to the availability of funds. Selection of a repair solution, bearing in mind the above, requires a comprehensive approach that will allow assessment of the building condition and determining the repair scope required. The research conducted by the author was aimed at developing a decision-making model and its computer-aided implementation, taking into account a number of operating demands. The system algorithm proposed comprises five stages including: building condition assessment, building use value evaluation, repair classification, multiple variants of repair and the choice of repair solutions. The article describes individual stages of the model in detail, giving numerical application examples of the method for repair solution choice.