



Robert Bucoń

Model decyzyjny wyboru wariantów remontu lub przebudowy budynków mieszkalnych

MONOGRAFIE

*Pragnę wyrazić serdeczne podziękowania
Pani Profesor dr hab. inż. Annie Sobotce
za cenne uwagi i wskazówki udzielone
w trakcie pisania niniejszej pracy*

Monografie – Politechnika Lubelska



Politechnika Lubelska
Wydział Budownictwa i Architektury
ul. Nadbystrzycka 40
20-618 Lublin

Robert Bucoń

Model decyzyjny wyboru wariantów remontu lub przebudowy budynków mieszkalnych



Politechnika Lubelska
Lublin 2017

Recenzenci:

dr hab. inż. Bożena Hoła, prof. Politechniki Wrocławskiej

dr hab. inż. Zygmunt Orłowski, prof. AGH w Krakowie

Redakcja i skład: Robert Bucoń

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

© Copyright by Politechnika Lubelska 2017

ISBN: 978-83-7947-280-2

Wydawca: Politechnika Lubelska

ul. Nadbystrzycka 38D, 20-618 Lublin

Realizacja: Biblioteka Politechniki Lubelskiej

Ośrodek ds. Wydawnictw i Biblioteki Cyfrowej

ul. Nadbystrzycka 36A, 20-618 Lublin

tel. (81) 538-46-59, email: wydawca@pollub.pl

www.biblioteka.pollub.pl

Druk: TOP Agencja Reklamowa Agnieszka Łuczak

www.agencjatop.pl

Elektroniczna wersja książki dostępna w Bibliotece Cyfrowej PL www.bc.pollub.pl

Nakład: 50 egz.

SPIS TREŚCI

1. Wstęp	7
1.1. Uzasadnienie podjęcia tematu	7
1.2. Podstawowe definicje używane w pracy	12
1.3. Podstawa opracowania	13
1.4. Cel i teza pracy	14
1.5. Zakres pracy	14
2. Analiza stanu badań w zakresie utrzymania i oceny obiektów budowlanych	16
2.1. Wymagania prawne w zakresie utrzymania obiektów budowlanych..	16
2.2. Ocena stanu obiektów budowlanych	19
2.2.1. Ocena zużycia technicznego obiektów budowlanych	19
2.2.2. Ocena zużycia funkcjonalnego obiektów budowlanych	23
2.2.3. Wielokryterialna ocena obiektów budowlanych	24
2.2.4. Ocena wielokryterialna wartości użytkowej budynku	28
2.3. Metody szacowania okresu użytkowania obiektów budowlanych	30
2.4. Modele zarządzania jakością utrzymania obiektów budowlanych	36
2.5. Modele wspomagające podejmowanie decyzji w utrzymaniu obiektów budowlanych	40
2.6. Podsumowanie analizy literatury	44
3. Badania ankietowe utrzymania i procesu podejmowania decyzji w zakresie remontów budynków mieszkaniowych	46
3.1. Opis badań	46
3.2. Analiza wyników badań ankietowych	48
3.2.1. Problemy utrzymania budynków mieszkalnych	48
3.2.2. Remonty budynków mieszkalnych	49
3.2.3. Koszty i finansowanie utrzymania budynków mieszkalnych ..	50
3.2.4. Ocena i strategie utrzymania budynków mieszkalnych	52
3.2.5. Funkcjonalność budynków mieszkalnych	53
3.2.6. Planowanie remontów w budynków mieszkalnych	54
3.3. Podsumowanie	55
4. Model decyzyjny wyboru rozwiązań remontowych budynków mieszkalnych	57
4.1. Metodyka postępowania	57
4.2. Definiowanie i identyfikacja struktury modelu	58
4.3. Algorytmizacja metody obliczeń	62
4.3.1. Kryteria oceny wartości użytkowej budynków	63
4.3.2. Określenie wag elementów /ustrojów oraz czynników	68

4.3.3. Ocena wartości użytkowej budynków.....	70
4.3.4. Klasyfikacja budynków do remontu i określanie napraw	81
4.3.5. Ocena proponowanych napraw budynku	82
4.3.6. Optymalizacja wyboru rozwiązań remontowych	83
4.4. Weryfikacja metod obliczeniowych	90
4.4.1. Określanie parametrów algorytmu ewolucyjnego.....	90
4.4.2. Analiza wrażliwości modelu decyzyjnego	107
4.4.3. Podsumowanie analizy wrażliwości	117
5. Zastosowanie modelu decyzyjnego do wyboru remontu lub	
 przebudowy budynków mieszkalnych	118
5.1. Optymalizacja wyboru rozwiązań remontowych dla pięciu	
budynków mieszkalnych rozpatrywanych łącznie	129
5.2. Optymalizacja wyboru rozwiązań remontowych dla pięciu	
budynków mieszkalnych rozpatrywanych indywidualnie.....	131
6. Podsumowanie i wnioski	134
6.1. Podsumowanie.....	134
6.2. Wyniki końcowe.....	135
Bibliografia.....	137

1. Wstęp

1.1. Uzasadnienie podjęcia tematu

Zmieniająca się sytuacja gospodarcza w Polsce zapoczątkowała również zmianę w postrzeganiu budynków mieszkalnych (mieszkań), ich roli i funkcji, jaką spełniają oraz standardów i wymagań, jakim powinny odpowiadać. Zachodzące zmiany są wyzwaniem dla zarządców obiektów budowlanych, szczególnie tych obiektów, dla których upływ czasu okazał się bezlitosny i spowodował, że nie spełniają wymagań określonych przepisami Prawa budowlanego oraz potrzeb i oczekiwań ze strony użytkowników. Niespełnienie stawianych wymagań znajduje odbicie w malejącej wartości rynkowej takich mieszkań lub budynków, cenie wynajmu bądź czynszu, a w najgorszym przypadku może przełożyć się na brak zainteresowania ze strony inwestorów ich zakupem.

Wynikiem zrozumienia i przeciwdziałania tej sytuacji są podejmowane działania przez właścicieli lub organizacje zarządzające zasobami mieszkaniowymi. Działania te mają na celu rozwiązanie najpilniejszych potrzeb remontowo-modernizacyjnych, wynikających przede wszystkim ze stanu technicznego elementów konstrukcji budynków lub zmian cen nośników energii. W tym drugim przypadku są to działania związane z poprawą energooszczędności tych obiektów, tj. termomodernizacją. Innym przykładem działań podnoszących standard użytkowania budynku, nie wymagających dużych nakładów finansowych, jest poprawa bezpieczeństwa mienia użytkowników, polegająca np. na wymianie niesprawnych domofonów oraz zabezpieczeń służących ochronie przed nieuprawnionym wejściem do budynku. Dzięki tym i innym działaniom, budynki dostosowywane są do obowiązujących standardów (norm i przepisów) i wzrastających wymagań lub nowych potrzeb mieszkańców (użytkowników), a tym samym zwiększają swoją **wartość użytkową** (a w konsekwencji wartość rynkową).

Wartość użytkowa jest jednym z podstawowych pojęć niniejszej rozprawy. Na podstawie licznych podawanych w literaturze przedmiotu definicji (Niezabitowska i inni 2003; Owczarek i in. 2006; Orłowski i Szklennik 2010) w pracy **wartość użytkową** budynku definiuje się jako **zdolność budynku do zaspokajania potrzeb użytkowników. Zdolność ta mierzona jest zespołem wymiernych cech o znaczeniu użytkowym, tj. technicznych, energetycznych, wizualnych oraz funkcjonalnych. Wartość użytkowa ma bezpośrednie przełożenie na atrakcyjność rynkową (wartość rynkową) budynku przy jego sprzedaży bądź wynajmie.**

W klasycznym ujęciu ocena stanu budynku w odniesieniu do obiektów budowlanych odnosiła się do określania zużycia elementów (obiektów) budowlanych (Arednalski 1978; Kucharska-Stasiak 1995; Urbański 2001; Lewicki 2002; Prystupa 2004; Marcinkowska i Gawron 2006; Firek i Dębowski 2007;

Dębowski 2007; Knyziak 2008). Z literatury przedmiotu wynika, że wielu badaczy zajmowało się tym problemem z punktu widzenia stanu technicznego i jego oceny, co mogło świadczyć o nadrzędnej roli tej oceny w procesie podejmowania decyzji remontowych. Jednak, jak wynika z wywiadów przeprowadzonych wśród zarządców, ocena stanu technicznego jest niewystarczająca do podejmowania decyzji w zakresie prac remontowo – modernizacyjnych.

Potrzebę kompleksowej oceny stanu budynku do potrzeb remontowych zauważyło wielu autorów opracowań naukowych (Kasprowicz 2005a; Kaklauskas i in. 2005; Daparauskas i Turskis 2006; Owczarek i in. 2006; Orłowski i Szklennik 2011; Perng i in. 2007; Pan 2008; Juan i in. 2009; Raslanas i in. 2011). Ich koncepcje przedstawiają różne punkty widzenia na sprawy oceny stanu budynku, pomijając jednak sam wybór narzędzi do tej oceny. Najistotniejszą kwestią wydaje się być sam wybór kryteriów stosowanych do oceny stanu budynku. Różnice w sposobie określania kryteriów wynikają z wielu względów, np. zależą od rodzaju obiektu i jego funkcji oraz celu wykorzystania oceny, np. do określenia strategii remontowej lub też potrzeby dostosowywania budynku do określonych wymagań.

W praktyce polskiego zarządzania nieruchomościami dotychczas nie przeprowadzano oceny stanu budynków w sposób kompleksowy ani z uwagi na potrzeby remontowe, ani z uwagi na atrakcyjność rynkową. Natomiast na świecie stosowane są z powodzeniem wielokryterialne oceny stanu budynku takie jak amerykański LEED (*The Leadership in Energy and Environment Design*), brytyjski BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), niemiecki DGNB (*German Sustainable Building Council*), unijny program EU GreenBuilding oraz australijski Green Star, japoński CASBEE (*Comprehensive assessment system for building environmental efficiency*), BEPAC (*Building Environmental Performance Assessment Criteria*) i wiele innych (Alchimoviene i Raslanas 2011; Roderick i in. 2009; Azhar i in. 2011; Reed i in. 2011). Oceniane obiekty budowlane podlegają badaniom pod względem m.in. wartości ekonomicznych, społeczno-kulturowych, ekologicznych, funkcjonalnych, technicznych i innych. Uzyskane wyniki w poszczególnych kategoriach wpływają na ocenę końcową przedstawianą zazwyczaj za pomocą skali punktowej lub procentowej, która odzwierciedla wartość użytkową budynku.

W praktyce zarządzania budynkami w zagadnieniach związanych z remontami używane jest określenie wartości użytkowej (Niezabitowska i inni 2003; Dydyk 2009; Orłowski i Szklennik 2011). Utrzymanie tej wartości na niezmiennym poziomie odnosi się do działań remontu bieżącego, zaś jej wzrostu – do prac modernizacyjnych. Wartość użytkowa jest zatem miernikiem przeprowadzonego remontu. Trudność wykorzystania tego miernika do oceny stanu budynku w obecnej postaci polega na opisywaniu go za pomocą sformułowań typu „wzrost”, „utrata”, które nie przekładają się na wartości wymierne. Dlatego tak ważną rzeczą w problematyce remontowej jest poznanie czynników kształ-

tujących wartość użytkową, a następnie ich oszacowanie. Samą wartość użytkową możemy określić jako kategorię obiektywną, co oznacza, że wzrost jej wartości musi wiązać się z poprawą jakości cech, od których jest zależna. Cechy te związane są z użytecznością/przydatnością, tak więc ich wybór, jak również ważność, zależą w dużej mierze od subiektywnej oceny użytkowników. Wartość użytkowa budynku, związana jest zatem z czynnikami natury technicznej, ekonomicznej, ale też i społecznej (psychologicznej), które określają pożądane i niepożądane cechy budynku.

Wartość użytkowa budynku teoretycznie powinna mieć wpływ na wartość rynkową (wymierną). Jednakże rynek rządzi się swoimi zasadami, a o wartości wymiennej w większej mierze decydują takie czynniki, jak popyt i podaż, ale też układ funkcjonalny, standard wyposażenia, lokalizacja budynku itd. Te ostatnie mają w coraz większym stopniu wpływ nie tylko na wartość użytkową, ale i na cenę. Użytkownicy wyrażają swoje subiektywne opinie na temat ważności cech budynku, określając w ten sposób to, co jest bardziej pożądane (poprawa jakich cech), co bardziej przyniosłoby im korzyść, a przez co budynek stałby się bardziej użyteczny. Jest to wyraźny sygnał dla zarządcy, który będzie mógł łatwiej podejmować decyzję, znając spodziewany rezultat przeprowadzonych prac remontowych.

Poprawa wartości użytkowej budynków mieszkalnych odnosi się w szczególności do obiektów zrealizowanych w okresie tzw. głodu mieszkaniowego, w którym konieczność zaspokojenia potrzeb mieszkaniowych w istotny sposób wpływała na jakość oddanych do użytkowania obiektów mieszkalnych – w budowanych masowo i w bardzo szybkim tempie osiedlach z wielkiej płyty. Skutkiem tego było oddawanie do użytkowania obiektów, które już na samym starcie nie były w stanie sprostać niewielkim, jak na ten okres, wymaganiom (Bołkowski 2001; Korzeniowski 2003; Dębowski 2005; Knyziak 2007). O ile użytkowanie takich mieszkań w poprzednich latach nie przysparzało większych trudności i było powszechnie akceptowane, to w chwili obecnej staje się to coraz trudniejsze do przyjęcia, chociażby z uwagi na wysokie koszty utrzymania, niespełnione wymagania funkcjonalne, niekorzystne doznania wizualne itp. Dostosowanie tych obiektów do współczesnych wymagań użytkowych jest warunkiem ich przydatności do dalszego użytkowania. Obiekty te wymagają przeprowadzenia procesu adaptacji, polegającego na nadaniu im wymaganych cech użytkowych, zanim możliwe będzie, tak jak w przypadku nowo oddanych do użytkowania obiektów, przejście do etapu bieżącego utrzymania, którego celem jest niedopuszczenie do utraty wartości użytkowej. Niestety przy obecnym systemie oceny obiektów mieszkalnych, utrata wartości użytkowej dotyczyć może również nowych obiektów, które w przeciwieństwie do wcześniej wspomnianych budowane są zgodnie z obowiązującymi w okresie budowy wymaganiami. Jednak na wskutek zmieniających się wymagań i potrzeb użytkowych, obiekty te mogą tracić na wartości użytkowej. Za ten stan rzeczy odpowiedzialność ponoszą zarządcy, którzy w procesie utrzymania budynku

opierają się na obecnym, niedoskonałym systemie oceny stanu budynków (Olearczuk 1999, 2005; Bryx (red.) 2004; Malesa i Słabik 2011; Muczyński 2005). Zazwyczaj zakres tej oceny nie wybiega poza okresowe kontrole stanu elementów budynku, a co za tym idzie nie uwzględnia czynników, które wpływają na utratę wartości użytkowej. Trudno zatem oczekiwać w takiej sytuacji, że proces utrzymania będzie prowadzony w sposób, który pozwoli utrzymać wartość budynku w stanie, który zapewni spełnienie wymagań oraz zadowolony samych użytkowników.

Zgodnie art. 185 ust. 1 z ustawy z dnia 21 sierpnia 1997 r. o gospodarce nieruchomościami (Dz.U. z 1997 r. Nr 115, poz. 741, z późn. zm.), dalej zwaną ustawą o gospodarce nieruchomościami, **zarządzanie nieruchomością polega na podejmowaniu decyzji i dokonywaniu czynności mających na celu w szczególności zapewnienie: właściwej gospodarki ekonomiczno-finansowej nieruchomości, bezpieczeństwa użytkowania i właściwej eksploatacji nieruchomości, właściwej gospodarki energetycznej w rozumieniu przepisów Prawa energetycznego, jak również czynności polegających na bieżącym administrowaniu nieruchomością, utrzymaniu nieruchomości w stanie niepogorszonym zgodnie z jej przeznaczeniem oraz uzasadnionym inwestowaniu w nieruchomość.**

Taki przepis obliguje zarządców do korzystania z rozwiązań i metod, które ułatwią podejmowanie decyzji remontowych, w wyniku których osiągnięty zostanie wymagany poziom wartości użytkowej spełniający przyjmowane kryteria wyboru, a proces decyzyjny stanie się bardziej zrozumiały i przejrzysty.

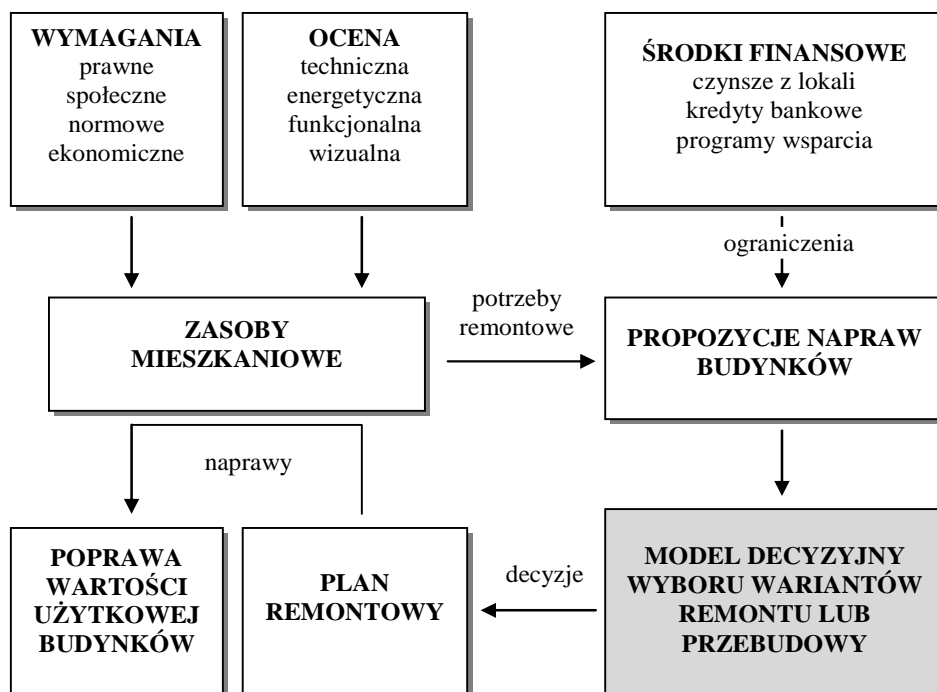
Opracowywany w pracy model decyzyjny wyboru wariantów remontu lub przebudowy, oparty na wielokryterialnej ocenie wartości użytkowej, jest propozycją narzędzia wspomagającego proces podejmowania decyzji remontowych, kierowaną w stronę zarządców nieruchomości mieszkaniowych. Uwzględniając ograniczenia finansowe, w jakich podejmowane są te decyzje, proponowany model może okazać się przydatny przy wyborze najkorzystniejszego zakresu prac remontowo-modernizacyjnych z punktu widzenia wzrostu wartości użytkowej budynku.

Wyniki uzyskiwane z badań i obliczeń wykonanych za pomocą proponowanego modelu decyzyjnego mogą być użyteczne w podejmowaniu decyzji także przez: projektanta, dewelopera, pośrednika w obrocie nieruchomościami oraz producentów wyrobów budowlanych.

Podsumowując: nowe podejście do oceny budynków wielorodzinnych i zakresu wymaganych remontów w celu utrzymania lub podniesienia ich wartości użytkowej wymaga dysponowania dobrymi narzędziami wspomagającymi podejmowanie decyzji. Powinno ono pozwolić na rzetelne określenie stanu budynku z punktu widzenia wielu cech, które można podzielić na grupy: techniczne, energetyczne, funkcjonalne.

Istnieje duży problem w ocenie technicznej stanu elementów, ustrojów budowlanych i całego obiektu – z powodu niedoskonałych metod tej oceny stosowanych obecnie w praktyce utrzymania budynków. Ponadto istnieje potrzeba oceny budynku względem nie tylko cech technicznych, ale też energochłonności, funkcjonalności, estetyki budynku i jego otoczenia, bezpieczeństwa wewnętrznego i zewnętrznego itd. Nie ma powszechnie przyjętych metod kompleksowej oceny **wartości użytkowej** budynku, dlatego poszukiwanie takiej metody jest celem niniejszych badań.

Z kolei określenie wartości użytkowej budynku (i wyrażenie jej pewną miarą) pozwoli na zakwalifikowanie go do odpowiedniej grupy z punktu widzenia konieczności (lub nie) wykonania działań remontowych i modernizacyjnych oraz ustalenia ich rodzaju i zakresu. Wytypowane działania mogą być wykonane według różnych technologii – czyli w różnych wariantach, które wymagają różnych nakładów finansowych. Można zatem dokonać wyboru rozwiązania optymalnego w aspekcie minimalizacji kosztów lub optymalizacji innych kryteriów, uwzględniającego preferencje decydenta (zarządcy, właściciela itd.). Na rysunku 1.1 przedstawiono graficznie usytuowanie przedmiotu badań.



Rys. 1.1. Usytuowanie przedmiotu badań

Źródło: Opracowanie własne

1.2. Podstawowe definicje używane w pracy

Pewna grupa pojęć stosowana w pracy wzbudzać może niejasności, stąd też ich definicje oraz wzajemne relacje w kontekście poruszanych w rozprawie zagadnień zostały szerzej omówione.

Roboty budowlane (art. 3 pkt 7 ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane, Dz.U. z 1994 r. Nr 89, poz. 414, z późn. zm., dalej zwaną Prawem budowlanym) – budowa, a także prace polegające na przebudowie, montażu, remoncie lub rozbiórce obiektu budowlanego.

Remont (art. 3 pkt 8 Prawa budowlanego) – wykonywanie w istniejącym obiekcie budowlanym robót budowlanych polegających na odtworzeniu stanu pierwotnego, a niestanowiących bieżącej konserwacji, przy czym dopuszcza się stosowanie wyrobów budowlanych innych niż użyto w stanie pierwotnym.

Naprawa (w rozumieniu niniejszej pracy, w oparciu o definicje zawarte w § 3 pkt. 2, 3 i 4 rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 16 sierpnia 1999 r. w sprawie warunków technicznych użytkowania budynków mieszkalnych, Dz. U. z 1999 r. Nr 74, poz. 836, dalej zwane rozporządzeniem MSWiA w sprawie warunków technicznych użytkowania budynków mieszkalnych) – prace polegające na naprawie głównej, naprawie bieżącej i konserwacji.

Plan remontu (w rozumieniu niniejszej pracy, w oparciu o definicje zawarte w § 7 pkt 3 rozporządzenia MSWiA w sprawie warunków technicznych użytkowania budynków mieszkalnych) – zestawienie napraw bieżących i głównych, sporządzone z zachowaniem pierwszeństwa robót mających na celu: eliminację zagrożenia bezpieczeństwa użytkowników lokali i osób trzecich, zabezpieczenie przeciwpożarowe budynku, spełnienie wymagań ochrony środowiska i zachowanie zapobiegawczego charakteru remontu.

Przebudowa (art. 3 pkt 7a Prawa budowlanego) – wykonywanie robót budowlanych, w wyniku których następuje zmiana parametrów użytkowych lub technicznych istniejącego obiektu budowlanego, z wyjątkiem charakterystycznych parametrów, jak: kubatura, powierzchnia zabudowy, wysokość, długość, szerokość bądź liczba kondygnacji.

Modernizacja – pojęcie mieści się w zakresie pojęciowym „remontu”, „przebudowy” albo „rozbudowy”. Art. 6 ust. 5 ustawy z dnia 15 grudnia 2000 r. o spółdzielniach mieszkaniowych (tj. Dz.U. z 2003 r., Nr 119, poz. 1116, uchylony z dniem 31 lipca 2007 r.), dalej zwaną ustawą o spółdzielniach mieszkaniowych – „za modernizację, o której mowa w ust. 4, uważa się trwałe ulepszenie (unowocześnienie) istniejącego budynku lub lokalu, przez co zwiększa się wartość użytkowa budynku lub lokalu”.

Eksploatacja (polska norma PN-93/N 50191) – zespół wszystkich działań technicznych i organizacyjnych mających na celu umożliwienie obiektowi

wypełnienie wymaganych funkcji, włącznie z koniecznym dopasowaniem do zmian warunków zewnętrznych. W Prawie budowlanym nie występuje pojęcie eksploatacja, jednakże art. 5 i rozdz. 6 tej ustawy mówi o użytkowaniu i utrzymywaniu obiektów budowlanych.

Użytkowanie obiektu budowlanego (Kasprowicz 2005) – podzbiór działań związanych z wypełnianiem przez obiekt wymaganych funkcji, a więc wykorzystanie obiektu zgodnie z przeznaczeniem.

Utrzymanie obiektu budowlanego (Kasprowicz 2005) – podzbiór działań związanych z umożliwieniem wypełniania przez obiekt wymaganych funkcji, włącznie z koniecznym dostosowaniem do zmian warunków zewnętrznych.

Kryteria – czynniki, które mogą być mierzalne bądź niemierzalne, na podstawie których dokonujemy oceny, wyboru (optymalizacji) lub klasyfikacji np. oceny poszczególnych stanów budynku, jak stan techniczny, energetyczny, funkcjonalny, stanowią kryteria oceny wartości użytkowej budynku. Natomiast przyrost wartości użytkowej budynku stanowi jedno z kryteriów w rachunku optymalizacyjnym przy wyborze rozwiązań remontowych.

Model decyzyjny (w rozumieniu niniejszej pracy) – model odwzorowujący proces podejmowania decyzji, który obejmuje określoną metodykę postępowania przy wyborze rozwiązań remontowych (przy analizie grupy budynków wybór dotyczy budynków i ich rozwiązań remontowych).

1.3. Podstawa opracowania

Podstawą opracowania modelu są badania autora dotyczące obowiązujących regulacji prawnych w zakresie utrzymania budynków mieszkalnych, wiedzy o stosowanych metodach przy ich ocenie, literatury naukowej – obejmujące propozycje nowych metod oceny, jak również metod/modeli wspomagających utrzymanie obiektów budowlanych.

Wybór przedmiotu badań dotyczył wielorodzinnych budynków mieszkalnych zrealizowanych w latach 70., w technologii wielkopłytywowej (W-70, OWT-67). Przy wyborze tematyki pracy badawczej duże znaczenie miały przeprowadzone badania ankietowe w sześciu spółdzielniach mieszkaniowych na terenie województwa lubelskiego i mazowieckiego wśród zarządzających zasobami mieszkaniowymi. Celem ich było poznanie specyfiki szeroko rozumianej eksploatacji budynków i związanego z nim procesu podejmowania decyzji mającego na celu zapewnienie odpowiedniego poziomu utrzymania.

Z przeprowadzonych badań wynika, że obecnie obowiązujący i stosowany system oceny budynków jest nieodpowiedni oraz nie zapewnia możliwości podjęcia właściwych działań w zakresie remontu. Wnioski z przeprowadzonych badań uzasadniają potrzebę opracowania modelu wspomagającego zarządców przy podejmowaniu decyzji remontowych. Jest to związane z potrzebą szerszej niż dotychczas oceny mającej na celu poprawę jakości utrzymania budynków mieszkalnych.

1.4. Cel i teza pracy

Celem pracy jest opracowanie modelu decyzyjnego wyboru wariantów remontu lub przebudowy budynków mieszkalnych. Podstawą proponowanego modelu jest wielokryterialna ocena wartości użytkowej budynku mieszkalnego, uwzględniająca cechy związane z przeznaczeniem obiektu, preferencjami użytkowników, przesłankami ekonomicznymi i wymaganiami prawnymi. Nieprecyzyjny charakter informacji stosowanej do oceny budynków, a także możliwości ich dalszego przetwarzania zdecydowały o wyborze metod, określanych mianem sztucznej inteligencji (SI), które posłużą do budowy proponowanego modelu decyzyjnego.

Wynikiem zastosowania proponowanego modelu do analizy budynku mieszkalnego (lub zespołu budynków) ma być wskazanie rozwiązania remontowego lub modernizacyjnego, które przyniesie największy przyrost wartości użytkowej w stosunku do zaangażowanych środków – z uwzględnieniem ograniczenia wielkości środków, jakimi dysponuje zarządca.

Analiza krytyczna literatury w zakresie wyboru czynników istotnie wpływających na kształtowanie się wartości użytkowej budynków mieszkalnych, dane z przeprowadzanych ocen stanu zużycia budynków, jak również wyniki badań ankietowych wyrażających opinie o potrzebie/konieczności przeprowadzenia remontu przeprowadzonych wśród uczestników procesu eksploatacji (zarządca, użytkownik, ekspert itd.), pozwoliły na sformułowanie następującej **tezy**:

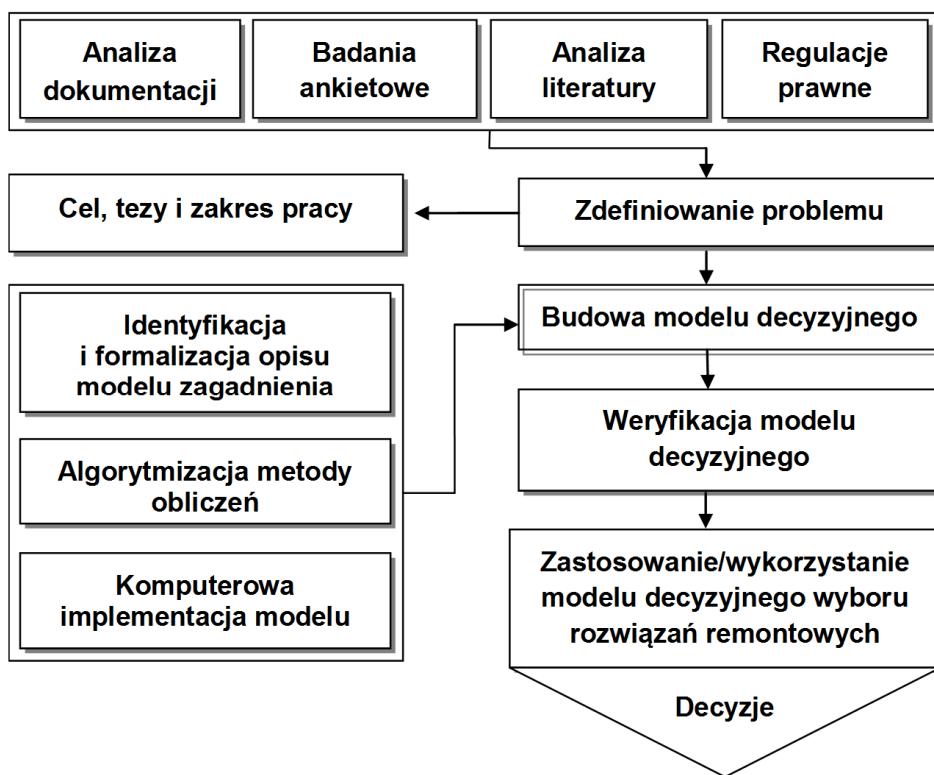
możliwe jest opracowanie modelu decyzyjnego wyboru wariantów remontu lub przebudowy budynków mieszkalnych na podstawie wielokryterialnej oceny wartości użytkowej, stanowiącej podstawę do klasyfikacji remontowej i podejmowania najkorzystniejszego zakresu działań remontowych, z punktu widzenia kosztu jego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

1.5. Zakres pracy

Badania obejmują następujące etapy (rys. 1.2):

1. Krytyczną analizę stanu wiedzy w zakresie dostępnych metod oceny stanu obiektów budowlanych, w tym norm oraz regulacji prawnych.
2. Badania ankietowe i wywiad przeprowadzony wśród zarządców spółdzielni mieszkaniowych, dotyczący zakresu utrzymania i oceny stanu budynków mieszkalnych.
3. Analizę dokumentacji ocen stanu budynku tj. okresowych ocen kontroli, audytów energetycznych, ekspertyz budowlanych i innych badań.
4. Opracowanie struktury modelu decyzyjnego wyboru wariantów remontu lub przebudowy budynków mieszkalnych, który obejmuje etapy:
 - wyboru zestawu kryteriów określających wartość użytkową obiektu,
 - zaproponowanie metod oceny tych kryteriów,

- zaproponowanie struktury systemu wnioskującego do oceny wartości użytkowej obiektu, na podstawie wyżej wspomnianych kryteriów,
 - ustalenie ważności kryteriów oceny wartości użytkowej budynku,
 - opracowanie algorytmu generowania bazy reguł systemu wnioskującego,
 - opracowanie algorytmu do rozwiązania problemu wyboru rozwiązań remontowych/modernizacyjnych.
5. Oprogramowanie opracowanego modelu w postaci systemu informatycznego (nie załączono w monografii).
 6. Weryfikacja działania metody obliczeniowej.
 7. Analiza i wnioski z przeprowadzonych prób zastosowania opracowanego modelu.



Rys. 1.2. Schemat pracy

Źródło: Opracowanie własne

2. Analiza stanu badań w zakresie utrzymania i oceny obiektów budowlanych

Zagadnienia związane z utrzymaniem obiektów budowlanych i ocena ich stanu obejmują bardzo szeroki zakres tematyczny. Przyjęto następujący podział zagadnień, które będą omawiane:

- uregulowania prawne dotyczące obowiązków zarządcy w utrzymaniu obiektów budowlanych,
- stan badań w zakresie jedno oraz wielokryterialnych metod oceny obiektów budowlanych,
- stan badań w zakresie modeli strategicznych w zarządzaniu utrzymaniem obiektów budowlanych.

2.1. Wymagania prawne w zakresie utrzymania obiektów budowlanych — obowiązki zarządców

W świetle art. 185 ust. 1 ustawy o gospodarce nieruchomościami za prawidłowe zarządzanie nieruchomością uznać należy utrzymanie jej w stanie nie pogorszym zgodnie z jej przeznaczeniem. Utrzymanie budynku lub budowli w należytych stanie to przede wszystkim zachowanie sprawności technicznej poszczególnych elementów oraz dostosowanie ich do sposobu użytkowania określonej nieruchomości (Bryx-red. 2009).

Zakres obowiązkowych przeglądów technicznych rocznych i pięcioletnich określają ustawa Prawo budowlane z dnia 7 lipca 1994 r., z późniejszymi zmianami oraz stosowne rozporządzenia MSWiA z dnia 16 sierpnia 1999 r. w sprawie warunków technicznych użytkowania budynków mieszkalnych. Ustawodawca w ustawie o gospodarce nieruchomościami z 21 sierpnia 1997 r. (art. 185 ust. 1) nałożył na zarządcę obowiązek utrzymania nieruchomości w stanie nie pogorszym, jak też zobowiązał do uzasadnionego inwestowania w nieruchomość. Z kolei w ustawie o własności lokali z 24 czerwca 1994 r. określone są obowiązki właścicieli w stosunku do nieruchomości.

Stosownie do art. 61 Prawa budowlanego z dnia 7 lipca 1994 r. (tekst jednolity: Dz. U. 2010 r. Nr 243 poz. 1623), właściciel lub zarządca obiektu budowlanego jest zobowiązany do użytkowania obiektu zgodnie z zasadami, o których mowa w art. 5 ust. 2. Obiekt budowlany należy użytkować w sposób zgodny z jego przeznaczeniem i wymaganiami ochrony środowiska oraz utrzymywać w należytych stanie technicznym i estetycznym, nie dopuszczając do nadmiernego pogorszenia jego właściwości użytkowych i sprawności technicznej, w szczególności w zakresie wymagań podstawowych, dotyczących: bezpieczeństwa: konstrukcji, pożarowego, użytkowania, odpowiednich warunków higienicznych i zdrowotnych oraz ochrony środowiska, ochrony przed hałasem i drganiami oraz oszczędności energii i odpowiedniej izolacyjności cieplnej przegród.

Do obowiązków właścicieli lub zarządców obiektu budowlanego należy utrzymywanie i użytkowanie obiektu zgodnie z zasadami, o których mowa w art. 5 ust. 2 Prawa budowlanego (tj. w odpowiednim stanie technicznym oraz jego użytkowanie w sposób niezagrożający życiu lub zdrowiu ludzi, środowisku lub bezpieczeństwu mienia), zapewnić dochowując należytej staranności, bezpieczne użytkowanie obiektu w razie wystąpienia czynników zewnętrznych oddziałujących na obiekt, związanych z działaniem człowieka lub sił natury (wymienionych w art. 61 pkt 2 Prawa budowlanego). W tym celu zarządca lub właściciel obiektu, w trakcie jego użytkowania powinien poddawać obiekt okresowym kontrolom.

Zgodnie z art. 62 pkt 1 Prawa budowlanego obiekty powinny być w czasie ich użytkowania poddawane przez właściciela lub zarządcę:

- Okresowej kontroli, co najmniej raz w roku (przegląd roczny), polegającej na sprawdzeniu stanu technicznego: elementów budynku, budowli i instalacji narażonych na szkodliwe wpływy atmosferyczne i niszczące działania czynników występujących podczas użytkowania obiektu, instalacji i urządzeń służących ochronie środowiska, instalacji gazowych oraz przewodów kominowych (dymowych, spalinowych i wentylacyjnych).
- Okresowej kontroli, co najmniej raz na 5 lat (przegląd pięcioletni), polegającej na sprawdzeniu stanu technicznego i przydatności do użytkowania obiektu budowlanego, estetyki obiektu budowlanego oraz jego otoczenia; kontrolą tą powinno być objęte również badanie instalacji elektrycznej i piorunochronnej w zakresie stanu sprawności połączeń, osprzętu, zabezpieczeń i środków ochrony od porażeń, oporności izolacji przewodów oraz uzziemień instalacji i aparatów.

Zakresem okresowej kontroli, o której mowa w art. 62 ust. 1 pkt 2 Prawa budowlanego, należy objąć również sprawdzenie stanu sprawności technicznej i wartości użytkowej elementów budynku, o których mowa w § 5, oraz wszystkie pozostałe elementy budynku, a także estetykę budynku i jego otoczenia.

Według rozporządzenia MSWiA z dnia 16 sierpnia 1999 r. w sprawie warunków technicznych użytkowania budynków mieszkalnych okresowej kontroli podlegają elementy budynku narażone na szkodliwe wpływy atmosferyczne i niszczące działania czynników występujących podczas użytkowania, których uszkodzenia mogą powodować zagrożenie dla: bezpieczeństwa konstrukcji i osób oraz środowiska.

W toku kontroli, o której mowa, szczegółowym sprawdzeniem należy objąć stan techniczny: zewnętrznych warstw przegród zewnętrznych (warstwa fakturująca), elementów ścian zewnętrznych (attyki, filary, gzymsy), balustrad, loggii i balkonów; urządzeń zamocowanych do ścian i dachu budynku; elementów odwodnienia budynku oraz obróbek blacharskich; pokryć dachowych; instalacji centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej; urządzeń stanowiących zabezpieczenie przeciwpożarowe budynku; elementów instalacji kanalizacyjnej

odprowadzających ścieki z budynku; przejść przyłączy instalacyjnych przez ściany budynku.

Utrzymanie obiektu budowlanego polega na łączeniu: działań technicznych i związanych z nimi decyzji podejmowanych w okresie użytkowania, dotyczących utrzymania obiektu budowlanego lub jego części w stanie, w którym mogą one spełniać żądane funkcje w projektowanym okresie użytkowania tego obiektu budowlanego.

Działania związane z utrzymaniem, które w zasadzie mogą być przewidziane i które powinny być brane pod uwagę przy planowaniu okresu użytkowania obiektu budowlanego, obejmują roboty (Baryłka 2008):

- Niebudowlane, związane z utrzymaniem ciągłości eksploatacyjnej obiektów budowlanych i zapewnieniem właściwych warunków ich użytkowania (roboty konserwacyjne).
- Budowlane, dotyczące: przywracania obiektom budowlanym pierwotnych cech technicznych i użytkowych (remont), dostosowywania obiektów budowlanych do nowych wymogów technicznych i użytkowych (odbudowa, rozbudowa, nadbudowa lub przebudowa), rozbiórki obiektów budowlanych.

Prawo budowlane wymaga, aby w procesie eksploatacji spełnione były jednocześnie dwa następujące wymagania:

- Użytkowanie obiektu budowlanego było zgodne z jego przeznaczeniem i wymaganiami ochrony środowiska.
- Utrzymanie obiektu budowlanego zapewniało jego należyty stan techniczny i estetyczny i nie dopuszczało do nadmiernego pogorszenia właściwości użytkowych i sprawności technicznej.

Przepisy dotyczące utrzymania budynków, regulują takie kwestie jak: kontrolę stanu technicznego obiektu budowlanego, prowadzenie dokumentacji i książki obiektu budowlanego, przeciwdziałanie nieprawidłowościom w utrzymaniu obiektu budowlanego, zmiany sposobu użytkowania obiektu budowlanego.

Omówienie wielu zagadnień prawnych w zakresie utrzymania budynków mieszkalnych przedstawiono w podręczniku (Bryx-red. 2004, 2009). Omówiono w nim między innymi metody tworzenia planu zarządzania nieruchomością, badania i analizy umożliwiające zebranie informacji koniecznych do jego opracowania. Wskazano również sposoby stopniowego dochodzenia do wyboru strategii zarządzania nieruchomością. Z kolei Olearczuk (1999, 2005) określił zakres obowiązków jakie spoczywają na zarządcy nieruchomości celem osiągnięcia korzyści, takich jak: dobro użytkownika, zachowanie stanu nieruchomości, ochrona środowiska naturalnego. Przedstawił również specyfikę wpływu stanu gospodarowania nieruchomością na jego eksploatację, wykorzystując w tym celu tzw. rachunek zależności. Określił także czynniki mające wpływ na eksploatacyjną specyfikę budynku, sprecyzował zbiór cech eksploatacyjnych nieruchomości oraz określił wytyczne w planowaniu eksploatacji nieruchomości budynkowych.

2.2. Ocena stanu obiektów budowlanych

Określenie stanu, w jakim znajdują się budynki mieszkalne jest kluczowym zagadnieniem w procesie utrzymania. Od poprawności przeprowadzonej oceny stanu zależy, czy stan budynku będzie spełniał wymagania wynikające z przepisów prawnych, jak również oczekiwań ze strony użytkowników obiektu. Obecnie zgodnie z przytoczonymi wcześniej przepisami zawartymi w ustawie Prawo budowlane „w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych muszą być przeprowadzane okresowe kontrole stanu budynku, natomiast na zarządzających spoczywa obowiązek utrzymywania substancji mieszkaniowej w stanie nie pogorszonym”.

Ocena stanu budynków mieszkalnych przeprowadzana w oparciu o techniczne zużycie jest niewystarczająca, aby na jej podstawie stwierdzić, czy budynek spełnia również inne wymagania nieujęte przepisami, np. dotyczące funkcjonalności obiektu. Problem dostosowania obiektów do nowych wymagań został dostrzeżony przez wielu badaczy (Kasprowicz 2005b; Owczarek i in. 2006a; Ostąńska 2008; Ho 2008; Yau 2008; Orłowski 2011), którzy przedstawili nowe metody i koncepcje mające na celu szerszą niż dotychczas ocenę obiektu budowlanego.

Przedstawiono zatem następujący podział metod, dokonany na podstawie dostępnej literatury, które służą do:

- oceny zużycia technicznego i funkcjonalnego obiektów budowlanych,
- oceny wielokryterialnej obiektów budowlanych.

2.2.1. Ocena zużycia technicznego obiektów budowlanych

Jednym z podstawowych czynników decydujących o zdolności obiektu do użytkowania jest jego stan techniczny, którego miarą jest zużycie techniczne (Kucharska-Stasiak 2005). W sensie technicznym zużycie budynku jest wypadkową funkcji zużycia wszystkich jego elementów konstrukcyjnych, wykończeniowych jak i wyposażenia (Firek i Dębowski 2007; Wodyński 2007).

Marcinkowska i Urbański (1998) określają szacowanie stopnia zużycia technicznego budynków, jako jeden z wyjściowych punktów do kompleksowego zarządzania nieruchomością budynkową, jednak na podjęcie ostatecznej decyzji o przyszłości budynku wskazują również uwarunkowania techniczne, kulturowo-społeczne jak i ekonomiczne.

Powszechnie stosowanymi do oceny stanu technicznego są metody: czasowe (wstępnego szacowania stanu budynku) i wizualne – dokładne (Arendalski 1978; Wodyński 2007). Pierwsze z nich służą do szybkiego zdiagnozowania stopnia zużycia technicznego budynku. Wśród najpopularniejszych i najczęściej stosowanych wymienić można metody: proporcjonalności, Rossa, Ungera i Eytelweina (Arendalski 1978). Zakładają one, że zużycie budynku zależy od staranności utrzymania (remonty, bieżące konserwacje i naprawy itp.). Obejmują trzy różne formuły obliczeniowe dopasowane do stopnia utrzymania obiektu budowlanego (bardzo starannie, prawidłowo, niestarannie):

a) Rossa, do obliczania zużycia budynków utrzymanych niestarannie:

$$Z = \frac{t}{T} \cdot 100 \%, \quad (2.1)$$

b) Rossa i Ungera, do obliczania zużycia budynków utrzymanych prawidłowo:

$$Z = \frac{t^2}{T^2} \cdot 100\%, \quad (2.2)$$

c) Rossa i Eytelweina, do obliczania zużycia budynków bardzo starannie utrzymanych:

$$Z = \frac{t(t+T)}{2T^2} \cdot 100\%, \quad (2.3)$$

gdzie:

Z – stopień zużycia technicznego budynku wyrażony w procentach,

T – założony czas użytkowania budynku w latach,

t – wiek budynku w latach.

Powyższe metody stosowane są głównie do wstępnego określenia zużycia obiektu, ponieważ nie uwzględniają wielu istotnych czynników, które mają wpływ na stan techniczny budynku. Przede wszystkim nie uwzględniane są w nich zastosowane rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne oraz jakość wykonania robót budowlanych.

Istnieją również inne metody oparte na formułach czasowych, mniej rozpowszechnione, a stosowane głównie w Niemczech (Graffa, Gerardego, Hagi, Tschellestnigga), które jednak poza bardziej skomplikowaną formą zapisu nie wprowadzają żadnych dodatkowych czynników (Dębski 2001).

Metoda wizualna, czyli tzw. metoda „średniej ważonej” przedstawiona w pracach Arendalskiego (1978), Thierryego i Zaleskiego (1982), Kucharskiej-Stasiak (1995) oraz materiałach (Baranowski 2000), polega na ocenie zużycia technicznego poszczególnych elementów składowych budynku, a następnie, poprzez nadanie im odpowiednich wag, ustalenie ważonego stopnia zużycia całego budynku.

$$S_z = \sum_{i=1}^n \frac{u_i \cdot S_{zei}}{100}, \quad (2.4)$$

gdzie:

S_{zei} – stopień zużycia danego elementu określony procentowo,

u_i – procentowy udział elementu w koszcie wzniesienia budynku,

n – liczba ocenianych elementów w budynku.

Metoda wymaga indywidualnej oceny stopnia zużycia składowych elementów budynku i określenia ich stopnia zużycia wyrażonego w procentach. W metodzie tej ustalenie udziału elementów w koszcie odtworzenia całego obiektu jest bardzo pracochłonne, niekiedy niemożliwe do przeprowadzenia, ze względu na niestosowane obecnie rozwiązania materiałowe. Wskaźniki zawarte w opracowaniach takich jak np. biuletyny cen obiektów budowlanych, nie pozwalają na właściwe ustalenie wag elementów, gdyż dotyczą one bardzo wąskiej grupy budynków mieszkalnych. Zastosowanie tej metody jest bardzo czasochłonne oraz wymaga odpowiedniej wiedzy i dużego doświadczenia od osoby przeprowadzającej ocenę. Metoda wizualna oceny stanu technicznego budynku jest podstawą opisanego przez Vilhena (2011) znanego systemu wspomagania decyzji EPIQR (*Energy Performance Indoor Environmental Quality Retrofit*), który pozwala m.in. na diagnozę stanu technicznego i funkcjonalnego obiektu i na tej podstawie określenie zakresu i kosztu prac renowacyjnych.

Pobieżność ocen w oparciu o metody czasowe oraz rozbieżności w ocenach w metodzie wizualnej wymusiły poszukiwanie metod lepiej odzwierciedlających rzeczywiste zużycie obiektu budowlanego. Próba udoskonalenia powyższych metod była przedstawiona przez Knyziaka (2008) koncepcja metody „remontu ważonego”, będąca rozwinięciem omówionych metod. W koncepcji tej stan techniczny budynku obliczany jest podobnie jak w metodzie wizualnej, czyli jako suma sprowadzonego zużycia poszczególnych grup elementów. Różnica polega na innej, niż stosowana w metodzie wizualnej, ocenie zużycia poszczególnych grup elementów budynku. Zamiast oceny ekspertów wykorzystywana jest jedna z trzech formuł czasowych, w zależności od stopnia utrzymania obiektu budowlanego.

Przedstawione powyżej zależności analityczne opisują stan techniczny obiektu budowlanego w sposób zbyt uproszczony. Taki zapis nie odwzorowuje w sposób należyte dokładny zjawiska zużycia technicznego obiektu budowlanego. Wykorzystanie do oceny stanu technicznego sztucznych sieci neuronowych SSN zaprezentował Urbański (2001). Na przykładzie 229 obiektów wykonanych w technologiach tradycyjnych przeprowadził analizę neuronową stopnia zużycia technicznego budynków. Autor określił zbiór istotnych czynników mających istotny wpływ na ich stan techniczny, dotychczas tylko sporadycznie uwzględnianych przy ocenie stanu technicznego. Są to: wiek budynku, rodzaj zabudowy, rodzaj przykrycia dachowego, sposób podpiwniczenia, rodzaj poddasza budynku, warunki gruntowe, poziom wód gruntowych, wielkość natężenia ruchu ulicznego, wystąpienie zdarzeń losowych, sposób utrzymania i procentowy udział własności zarządcy. W oparciu o tę grupę czynników przeprowadzono badania, w których wykorzystano dwa rodzaje sieci neuronowych, tj. *Back Propagation* – BP i *Radial Basis Function* – RBF. Przeprowadzone badania weryfikacyjne dały zadowalające rezultaty w odniesieniu do powszechnie stosowanych metod czasowych i wizualnych.

Metodę oceny stanu technicznego obiektów prefabrykowanych bazującą na sztucznych sieciach neuronowych przedstawił w swojej pracy również Knyziak (2007). Autor w oparciu o opracowaną bazę danych ocenił stan techniczny grupy budynków mieszkalnych wykonanych z prefabrykatów wielopłytowych i wielkoblokowych w Warszawie. Dokonał selekcji parametrów mających największy wpływ na stan techniczny budynków prefabrykowanych i wyodrębnił te, które są najistotniejsze. Badania analizy stanu technicznego budynków prefabrykowanych przeprowadził wykorzystując dane o przeprowadzonych remontach i modernizacjach uzyskane z dokumentacji budynków.

Przykładem wykorzystania logiki rozmytej do modelowania stopnia zużycia technicznego budynków na terenach górniczych jest praca Rusek (2010). Autor na podstawie przeprowadzonych badań dostrzegł konieczność uwzględnienia w takim modelu niepewności, jaką często obarczane są ustalone przez ekspertów wartości czynników warunkujących przebieg tego zużycia. Wykazał ponadto nieliniowy charakter przebiegu stopnia zużycia technicznego. Te cechy uwzględnił w budowie modelu aproksymującego, w którym możliwe jest podawanie zmiennych wejściowych zarówno w formie ścisłych wartości liczbowych, jak i w postaci niejednoznacznych opinii lingwistycznych.

Badania mające na celu poznanie specyfiki wpływu utrzymania budynków mieszkalnych na stopień ich technicznego zużycia prowadził Konior (1997). Badania te polegały na analizie objawów procesu technicznego zużycia – poznania mechanizmu zjawiska powstawania uszkodzeń oraz identyfikacji wielkości i intensywności uszkodzeń elementów badanych budynków. Etapem poprzedzającym zasadniczy zakres pracy było przeprowadzenie jakościowej analizy uszkodzeń elementów badanych budynków mieszkalnych. Charakterystyka techniczna i typologiczne uporządkowanie tych uszkodzeń, rozumianych jako wyraz jakości utrzymania budynków mieszkalnych, umożliwiły rozpoznanie warunków eksploatacji rozważanych obiektów. Konsekwencją usystematyzowania najistotniejszych procesów wpływających na utratę właściwości użytkowych budynków mieszkalnych było utworzenie modelu jakościowego i jego transformacja na model ilościowy. Ten, z kolei, umożliwił przeprowadzenie wielokryterialnej ilościowej analizy zjawisk przyczynowo-skutkowych. Za pomocą zbiorów konwencjonalnych opisał stany zaobserwowane (empiryczne) formułami teoretycznymi, dla których rozważał probabilistyczną stronę zagadnienia i jej losowy charakter. Zbiorami rozmytymi opisał natomiast stany zaobserwowanych zjawisk przyczynowo-skutkowych w warunkach rozmytości, czyli niepewności co do samego faktu ich występowania.

Bardzo istotne badania z punktu widzenia zarządzania utrzymaniem obiektów budowlanych przeprowadzone były przez Wodyńskiego i in. (2006). Dotyczyły one oceny wpływu remontów oraz zabezpieczeń profilaktycznych na trwałość budynków murowanych. Przy ocenie stopnia zużycia budynków posłużyli się tzw. metodą „średniej ważonej”, polegającą na indywidualnej ocenie stopnia zużycia poszczególnych elementów budynku, a następnie przez nadanie

im odpowiednich wag ustalili średnioważony stopień zużycia całego budynku. Podstawę badań stanowiły informacje o stanie technicznym, konstrukcji oraz potencjalnych przyczynach nieprawidłowości budowlanych grupy 930 budynków mieszkalnych typu małomiejskiego, podmiejskiego i wiejskiego o tradycyjnej konstrukcji nośnej (Wodyński i Firek 2002). Wyniki badań dały odpowiedź odnośnie wpływu remontów i zabezpieczeń na trwałość budynków mieszkalnych.

Określanie związków liczbowych pomiędzy uszkodzeniami elementów badanych budynków mieszkalnych, wyrażającymi warunki ich utrzymania, a wielkością technicznego zużycia tychże elementów przedstawił Konior (2006). W oparciu o statystyczną metodę autor dokonał korelacji różnego rodzaju cech elementów budowlanych. Zidentyfikował zmienne niemierzalne – jakościowe, tj. występujące pojedyncze uszkodzenia o wartościach dychotomicznych oraz zmienne mierzalne – ilościowe, tj. stopnie technicznego zużycia poszczególnych elementów budowlanych, w celu liczbowego wyrażenia współzależności między nimi. Do obliczenia siły tej asocjacji wykorzystał punktowy, dwuzeregowy współczynnik korelacji cech różnego rodzaju, zbadał istotność tego współczynnika w typologiczno dobranej, celowej próbie badawczej, a następnie dokonał ekstrapolacji wyników próby na jednorodną populację kamienic czynszowych.

2.2.2. Ocena zużycia funkcjonalnego obiektów budowlanych

W literaturze naukowej, zarówno krajowej jak i zagranicznej, można doszukać się nielicznych metod służących ocenie stanu funkcjonalnego obiektów budowlanych.

Zużycie funkcjonalne według Standardu III.4 (1995) definiowane jest jako wynikające z porównań zastosowanych w danym przypadku projektowych rozwiązań użytkowych do aktualnie preferowanych (ocena nowoczesności), a także porównań w zakresie standardu wykończenia i wyposażenia w urządzenia techniczne, jak również specjalistycznego przeznaczenia utrudniającego lub uniemożliwiającego zmianę sposobu wykorzystania. Miarą tego rodzaju zużycia jest zmniejszenie potencjalnej dochodowości danej nieruchomości w stosunku do podobnych nieruchomości zlokalizowanych na danym terenie.

Według Prystupy (2004) funkcjonalność traktowana jest jako dostosowanie parametrów techniczno-użytkowych obiektu do jego projektowego lub faktycznego przeznaczenia, tzn. czy wobec zmian przepisów, wymagań normowych itd., obiekt może dalej pełnić swoją funkcję. Proponowana przez niego metoda oceny zużycia funkcjonalnego elementów oraz obiektów budowlanych. wymaga w pierwszej kolejności ustalenia funkcji jaką pełni obiekt budowlany – określenia jego przeznaczenia. Następnie wymaga ustalenia, czy wszystkie elementy obiektu mogą bez zastrzeżeń pełnić swoją funkcję. Przy określaniu stopnia zużycia funkcjonalnego wprowadzono dwie różne grupy elementów, tj. takich, które należy wymienić lub naprawić, gdyż ich dalsze użytkowanie uniemożliwiało obiektowi pełnie-

nie nowej funkcji oraz takich, które mogą pełnić jeszcze swoją funkcję, ale okres ich „żywności” funkcjonalnej T_f nie spełnia już wymagań, np. wskutek zmiany preferencji użytkowników.

W przypadku pierwszym, stopień zużycia funkcjonalnego i -tego elementu obliczany jest ze wzoru:

$$S_{zi} = \frac{N_{fi}}{KB_i} \cdot 100\%, \quad (2.5)$$

gdzie:

N_{fi} – nakłady finansowe umożliwiające doprowadzenie i -tego elementu budynku do stanu właściwego (w pełni funkcjonalnego),

KB_i – koszty budowy nowego i -tego elementu budynku.

W przypadku drugim, gdy element może spełniać jeszcze swoją funkcję, lecz nie odpowiada to już współczesnym wymaganiom (co wynikać może z preferencji użytkowników), zaproponowano stopień zużycia funkcjonalnego S_{zi} określać ze wzoru:

$$S_{zi} = \frac{t}{T_f} \cdot 100\%, \quad (2.6)$$

gdzie:

t – okres eksploatacji elementu,

T_f – okres funkcjonalnej żywotności elementu.

Nowońska (2011b) odnosi zużycie funkcjonalne do zużycia moralnego i określa jako utratę wartości budynku wynikającą z niedostosowania jego funkcji do aktualnych wymogów obowiązujących na rynku nieruchomości. Możliwości poprawy stanu funkcjonalnego autorka widzi w takich działaniach, jak np. modernizacja budynku bądź adaptacja do współczesnych wymagań użytkowych.

Konior (1997) w przedstawionej klasyfikacji form zużycia budynku wskazuje oprócz zużycia technicznego również na zużycie społeczne budynku, które związane jest ze zużyciem moralnym, wywołanym wskutek wzrostu wymagań, podwyższenia stopy życiowej, zmiany stylu życia oraz z zużycia wynikającego z celowej lub losowej zmiany funkcji obiektu. Według Koniora zarówno zużycie techniczne jak i społeczne przekłada się na zużycie ekonomiczne budynku.

2.2.3. Wielokryterialna ocena obiektów budowlanych

Ocena stanu obiektu budowlanego, oprócz zużycia technicznego, obejmuje również inne cechy między innymi, odnoszące się do funkcjonalności budynku, jego estetyki, energooszczędności, itd. Ocena wielokryterialna (wieloczynnikowa) stała się tematem wielu analiz i badań prowadzonych w kraju

(Kasprowicz 2005b; Owczarek i in. 2006; Truchanowicz 2006; Starzec 2008; Orłowski i Szklennik 2011) i zagranicą (Caccavelli i Gugerli 2002; Miks 2004; Kaklauskas 2005; Chen 2006; Yau i in. 2012) zmierzających do opracowania kompleksowej metody, za pomocą której można byłoby określić stan obiektu mieszkalnego. Zainteresowanie badaczy tym tematem ma jak na razie charakter naukowy, można jednakże przypuszczać, że rosnące wymagania użytkowe określone przepisami prawa, ale również nieuwjęte przepisami, a pochodzące od użytkowników, przyczynią się do bardziej intensywnych działań zmierzających do opracowania odpowiedniej metody oceny. Wymagania te w zależności od rodzaju, a tym samym przeznaczenia obiektu, mogą być odmienne. Fakt ten wymaga ustalenia ważności poszczególnych wymagań, na podstawie których przeprowadzana jest ocena stanu obiektów budowlanych.

Interesujące podejście do oceny wielokryterialnej obiektów budowlanych stanu eksploatacji prezentuje Kasprowicz (2006). Definiuje stan eksploatacyjny i identyfikuje kryteria oceny na podstawie zbioru wymagań zawartych w art. 5 ustawy Prawo budowlane. Wybrane czynniki dzieli na mierzalne (ilościowe) i niemierzalne (jakościowe). 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 umożliwi sprawdzenie częściowego wskaźnika zgodności wymagań i częściowego stanu eksploatacyjnego. Umożliwia to wszechstronnie, adekwatnie do potrzeb i bardzo przejrzysto określić stopień spełnienia wymagań eksploatacyjnych przez obiekt, z określonego punktu widzenia ujęty jako kompleksowy wskaźnik zgodności budynku.

Starzec (2008) przedstawił prosty sposób określania stanu eksploatacyjnego przy planowaniu kolejności „interwencji naprawczych” w budynkach mieszkalnych. Do oceny stanu eksploatacyjnego zaproponował, takie kryteria jak: zagrożenie bezpieczeństwa, efektywność utrzymania, komfort użytkowania, stopień degradacji estetycznej, konieczność modernizacji i jakość otoczenia. Przykład zastosowania proponowanej metody zaprezentował na przykładzie budynków mieszkalnych, dla których określił kolejność przeprowadzenia napraw. Na tej podstawie możliwe było ustalenie potrzebnych środków finansowych do ich przeprowadzenia.

Z kolei Truchanowicz (2006) zaproponował alternatywne metody identyfikacji stanu użytkowania obiektu budowlanego na podstawie minimalnych (najmniej preferowanych) wymagań eksploatacyjnych. W proponowanych metodach zastosował relacje „słabego przewyższania”, która dla każdego ze stanów użytkowania (zgodnego, ograniczonego, wyłączenia) wymaga określenia wektora standaryzowanych ocen cech, określających minimalne (najmniej preferowane) wymagania eksploatacyjne i warunkujące zaliczenie obiektu do tego stanu. Druga proponowana przez Truchanowicza metoda identyfikacji stanu użytko-

wania oparta na relacji „przewyższania” polega na tym, że z jednej strony klasa cech stanu eksploatacyjnego obiektu grupuje dostatecznie wiele cech lub cechy wystarczająco ważne, z drugiej zaś żadna z cech ocenionych niezgodnie z tą relacją nie ma zbyt silnej oceny przeciwnej.

Przykładem kompleksowego podejścia do oceny budynków jest powstała w latach dziewięćdziesiątych metoda LEED (*Leadership in Energy and Environment al. Design*) opisana szczegółowo przez Rodericka i in. (2009). 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. System może być stosowany do oceny obiektów zarówno komercyjnych (biur, restauracji, hoteli, szpitali, szkół i budynków mieszkalnych) oraz elementów budynku jak: konstrukcja, elewacja, systemy grzewcze i wentylacja.

Z kolei w brytyjskim systemie BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) opisanym w pracy (Reed i in. 2011) przy ocenie budynku brane są pod uwagę 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 (Alchimoviene 2011). Odpowiednikami omawianych systemów jest unijny program EU GreenBuilding oraz australijski Green Star i japoński CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency*) (Roderick i in. 2009, Reed i in. 2011).

Innym przykładem wielokryterialnej metody oceny jakości budynków jest opracowana przez Preisera (1995) metoda POE (*Post-Occupancy Evaluation*). Metoda pozwala oceniać jakość: techniczną, funkcjonalną, behawioralną, organizacyjną i ekonomiczną budynku, zaś jej poszerzona wersja BPE (*Building Performance Evaluation*), której autorami są Preiser i Vischer (2005) również ocenę sprawności zaprojektowania i wykonania budynków.

Aby wspomóc oceniającego budynek i na tej podstawie określić zakres potrzebnych napraw, stosowane są metody wielokryterialnego podejmowania decyzji określane jako MADM (*Multiple Criteria Decision Making*). Przykłady ich zastosowania można znaleźć w wielu pracach (m.in. Bostenaru Dan 2004; Kaklauskas i in. 2005; Chen 2006; Zavadskas i in. 2004, Zavadskas i Vilutiene 2006; Dytczak i Ginda 2009; Turkis i in. 2009; Tupenaite i in. 2010).

Kaklauskas i in. (2005) opracowali metodę wielokryterialnej oceny budynku, która ma na celu określenie znaczenia priorytetów remontu i stopnia ich spełnienia. Metoda składa się z sześciu etapów obliczeniowych. W pierwszym etapie

dobierane są kryteria oceny elementów budynku, następnie przeprowadzona jest normalizacja macierzy wartości rozwiązań, po czym wyznaczana jest istotność kryteriów dla analizowanych rozwiązań. W etapie drugim obliczane są wskaźniki sum minimalnego i maksymalnego celu, dla każdego alternatywnego rozwiązania. W etapie trzecim i czwartym odpowiednio określana jest ważność każdego rozwiązania i szeregowana według ich kolejności. W kroku piątym obliczany jest stopień spełnienia wymagań dla każdego rozwiązania. W końcowym, szóstym etapie, ustalany jest priorytet ważności naprawy dla wszystkich rozważanych elementów do naprawy.

Zastosowanie metody DAMATEL (*Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*) do ustalenia udziału ważności czynników wyboru polityki remontowej proponuje Dytczak i Ginda (2009). W tym celu autorzy wyodrębnili grupę trzynastu czynników istotnych przy planowaniu polityki remontowej, które oceniane są przy użyciu odpowiedniego arkusza obliczeniowego przez dwóch ekspertów (przedstawiciela zarządu oraz reprezentanta mieszkańców). Wymagania te odnoszą się do oceny takich czynników jak: spodziewane ekonomiczne korzyści podjęcia interwencji, bezpieczeństwo użytkowników i budynku, wymagane środki finansowe, dostępne środki finansowe, zabezpieczenie przed degradacją budynku, potrzeba modernizacji, potrzeba uzupełnienia brakujących elementów, poprawa energooszczędności, skutki poprzednich interwencji, poprawa wyglądu, wymagania mieszkańców, organizacyjne, socjalne. Czynniki te oceniane są w dwóch aspektach, tj. ekonomicznym i socjalnym, przy użyciu czterostopniowej skali ocen, jednakże gdy zajdzie taka potrzeba zakres wymagań może zostać rozszerzony o inne aspekty. Ocenę wpływu elementów na remont budynku przeprowadzili przy użyciu opracowanego systemu komputerowego

Wiele użytecznych narzędzi do oceny budynków jest proponowanych przez IDCOP (*Innovation In Design, Construction & Operation of Buildings for People*), między innymi system oceny fasady budynku opracowany i przedstawiony przez Chena (2006). Do jej oceny stosowany jest wskaźnik innowacyjności fasady, którego wartość wynika ze stopnia spełnienia wielu wymagań, w zakresie między innymi zdolności przystosowawczych (możliwość odnowy, łatwość utrzymania, przystosowanie do warunków zewnętrznych, itd.), przystępności (wyrażonej kosztem wykonania, utrzymania, demontażu, recyklingu, itd.), trwałości, zużycia energii oraz wymaganiami w zakresie estetyki, akustyki, komfortu cieplnego i innych. Do oceny ważności wspomnianych czynników zastosowano wielokryterialną metodę ANP (*Multicriteria Decision Making-Analytical Network Process*), która jest rozwinięciem powszechnie stosowanej metody AHP (*Analytic Hierarchy Process*).

Przykład zastosowania rozmytej metody FAHP (*Fuzzy Analytic Hierarchy Process*) do ustalenia istotności wymagań eksploatacyjnych można znaleźć w pracach (Pan 2008; Bucoń 2009). Pan zastosował tą metodę do ustalenia ważności dwunastu czynników służących do oceny mostu drogowego. Procedura ich

obliczania obejmowała: identyfikację i dobór czynników oceny oraz porównanie parami ich istotności, przy użyciu skali ocen lingwistycznych opisanych liczbami rozmytymi. Obliczanie wag kryteriów przeprowadzono w kilku etapach, między innymi: obliczano znormalizowaną wartość średniej geometrycznej NGM (*Normalization Geometric Mean*) (Buckley 1989), przeprowadzono agregację ocen cząstkowych, przy zastosowaniu operatora *max-min*, oraz defuzyfikację obszaru rozmytego, w wyniku której obliczono wagi kryteriów.

2.2.4. Ocena wielokryterialna wartości użytkowej budynku

Innym stosowanym pojęciem w wielokryterialnej ocenie budynków jest **wartość użytkowa budynku**, która jest definiowana w pracy jako **zdolność budynku do zaspokajania potrzeb użytkowników. Zdolność ta mierzona jest zespołem wymiernych cech o znaczeniu użytkowym, tj. technicznych, energetycznych, wizualnych, funkcjonalnych. Wartość użytkowa ma bezpośrednie przełożenie na atrakcyjność rynkową (wartość rynkową) budynku przy jego sprzedaży bądź wynajmie.**

Niezabitowska i in. (2003) zakłada, że o wartości użytkowej budynku decyduje zestaw czynników: lokalizacyjny, fizyko-techniczny, funkcjonalny, behawioralny, ekonomiczny, prawny, psychologiczny. Przeprowadzone badania na kilku obiektach pozwoliły na określenie ich wartości rynkowej oraz na znalezienie odpowiedzi dotyczącej udziału rozpatrywanych czynników i ich wpływu na obniżenie wartości użytkowej. Pozwoliły one określić teoretyczny udział wagowy wyżej wymienionych czynników. Jednakże wydaje się, że z praktycznego punktu widzenia badania te nie przedstawiają większego znaczenia z uwagi na ich bardzo ogólnikowy charakter, który odnosi się do jednego rodzaju budynku mieszkalnego.

Potrzebę systemowej oceny zużycia obiektów budowlanych dostrzegli (Owczarek i in. 2006). Proponują oni do oceny wartości użytkowej budynku stosować metodę, w której za jednostkę porównawczą przyjmuje się tzw. budynek referencyjny. Wyszczególniono cztery grupy czynników charakteryzujących stan budynku, a które stanowią także kryteria oceny budynku (czynnik techniczny, funkcjonalny, estetyki obiektu, ekonomiczny). Przedstawili również założenia proponowanej metody oceny stanu budynku wg budynku referencyjnego. Wprowadzenie pojęcia budynku referencyjnego pozwoliło autorom stworzyć bazę do wszelkich możliwych analiz teoretycznych, dotyczących oceny budynków. W ramach proponowanej metody opracowano klasy standardów analizowanych budynków, procedury i metody oceny budynków, co wymagało wypracowania wskaźników technicznych wyrażających przyjęte kryteria oceny budynków, a także opracowano sposób kwantyfikacji ocen, co stanowi jeden z trudniejszych elementów tej metody.

Zastosowanie metod sztucznej inteligencji do oceny wartości użytkowej budynków mieszkalnych przedstawił Bucoń (2008). Proponowana metoda

umożliwia jej ocenę na podstawie czterech kryteriów, takich jak: stan techniczny, funkcjonalny, wizualny oraz energooszczędność. Autor opracował wytyczne do oceny poszczególnych kryteriów wartości użytkowej na podstawie wiedzy zebranej podczas przeprowadzonych wywiadów w spółdzielniach mieszkaniowych. Sposób w jaki przeprowadzana jest ocena budynków mieszkalnych, skłonił autora do wykorzystania metod bazujących na teorii zbiorów rozmytych do oceny wartości użytkowej budynku. Zaproponowany sposób oceny budynku był stosowany przez autora w kolejnych pracach (Bucoń i Sobotka 2011), w których przedstawiono rozwinięcie proponowanej metody i możliwości jej wykorzystania w systemach podejmowania decyzji remontowych.

Z kolei Orłowski i Szklennik (2010), przedstawiają czynniki wpływające na utratę wartości użytkowej budynku. Autorzy wyodrębnili dwa autonomiczne powody, od których uzależniona jest wartość użytkowa budynku. Pierwszym z nich jest stałe pogarszanie się właściwości użytkowych budynku na wskutek postępującego zużycia budynku w czasie. Jako czynniki powodujące zużycie wskazano degradację materiału, z którego wykonano elementy budynku, wywołaną wskutek oddziaływań opisanych w normie ISO 6241 (mechaniczne, elektromagnetyczne, termiczne, chemiczne, biologiczne) oraz procesy utrzymania i użytkowania budynku. Natomiast jako drugi powód wskazano rosnące wymagania użytkowe, jakie stawiane są współczesnym obiektom budowlanym. W ramach tych wymagań wyodrębniono dwie grupy: pierwszą stanowią te, które mają na celu polepszenie warunków mieszkaniowych oraz komfortu życia, drugą są wymagania w zakresie przeciwdziałania pojawiającym się zagrożeniom w środowisku wewnętrznym i zewnętrznym (hałas środowiskowy, zanieczyszczenie powietrza itp.)

Kontynuacją prowadzonych badań przez Orłowskiego i Szklennik (2011) jest przedstawiona koncepcja algorytmu, umożliwiającego określenie stopnia zużycia budynku, na podstawie którego mogą być podejmowane decyzje o zakresie modernizacji budynku. Proponowana koncepcja zakłada konieczność przeprowadzenia diagnostyki budynku w odniesieniu do wymagań podstawowych wyszczególnionych w ustawie Prawo Budowlane. Autorzy wskazali elementy, na które należy zwrócić uwagę przy ocenie proponowanych wymagań. Do oceny stopnia zużycia zaproponowali czterostopniową skalę ocen, która pozwala uwzględnić wpływ czynników trudno mierzalnych. Proponowany algorytm składa się kolejno z trzech etapów obliczeniowych: oceny wartości użytkowej analizowanego obiektu, oceny wartości użytkowej obiektu referencyjnego (zestawienie cech budynku badanego z cechami tzw. budynku referencyjnego) i określenia stopnia zużycia analizowanego obiektu. Przeprowadzona w ten sposób ocena stanu budynku jest podstawą określania zakresu modernizacji i opracowania metod ich realizacji.

Podobne podejście do oceny budynków, które oprócz aspektu technicznego i funkcjonalnego, uwzględnia również czynnik społeczny (konsultacje spo-

łeczne) i ekonomiczny (energooszczędność budynku) przedstawiła Ostańska (2008). Autorka zaproponowała między innymi algorytm rewitalizacji, na podstawie którego określone zostają działania prowadzące do ustalenia wytycznych i programów rewitalizacji osiedli mieszkaniowych wybudowanych w technologii budownictwa prefabrykowanego. Algorytm oparto na założeniu, że proces rewitalizacji musi być poprzedzony dogłębnym poznaniem aktualnego stanu osiedla, obejmującym zarówno stan techniczny budynków, jak też ich wartości użytkowej, potrzeby mieszkańców i ochronę środowiska. Narzędziem tego poznania była odpowiednia diagnostyka stanu osiedla w zakresie aspektów podstawowych zarówno dla poszczególnych budynków mieszkalnych, jak i obiektów towarzyszących. Obejmowała ona badania w aspekcie technicznym (ocenę techniczną i ocenę wartości użytkowej), energetycznym oraz społecznym, przeprowadzone metodą wywiadu bezpośredniego. Diagnostyka stanu umożliwiła zestawienie problemów, które są podstawą wyboru rozwiązań szczegółowych opartych na zestawionych wynikach badań diagnostycznych (aspekty podstawowe) z uwzględnieniem aspektów dodatkowych (wynikających ze specyfiki rozpatrywanego osiedla).

Badania nad ustaleniem istotności wymagań eksploatacyjnych w odniesieniu do wartości użytkowej budynku (stan techniczny, energetyczny, funkcjonalny, wizualny) przeprowadził Jaśkowski i in. (2012). Do ustalenia ich ważności autorzy zaproponowali wykorzystanie metody FAHP (*Fuzzy Analytic Hierarchy Process*), bazującej na rozmytym modelu programowania liniowego, którego założenia przedstawione są w pracach Mikhailova (2003 i 2004). Proponowane podejście, przy wykorzystaniu nieprecyzyjnej i niepewnej wiedzy pozyskanej od grupy decydentów, umożliwia agregację opinii i ustalenie kompromisu w zakresie istotności kryteriów oceny przydatności użytkowej budynku. Procedura proponowanej metody obejmuje następujące etapy: identyfikację kryteriów oceny, porównanie parami ważności kryteriów (przy zastosowaniu dziewięciostopniowej skali), a następnie przy użyciu programowania liniowego obliczenie wag kryteriów wartości użytkowej budynku.

2.3. Metody szacowania okresu użytkowania obiektów budowlanych

Ważnym problemem w analizie i ocenie wartości użytkowej jest znajomość okresu użytkowania elementów i obiektów budowlanych. Na jego podstawie określany jest rzeczywisty czas, w ramach którego obiekt bądź element budowlany będzie spełniał stawiane mu wymagania, np. prawne w zakresie oceny technicznej, ekonomiczne odnoszące się do zużycia energii w budynku oraz inne (społeczne) wynikające z preferencji użytkowników. Po jego upływie, wymagania stawiane elementom nie są już dłużej spełniane, tj. są na poziomie niższym niż akceptowalny (zakres wymagań może być różny w zależności od przeznaczenia obiektu).

Okres użytkowania może być podstawą podejmowania decyzje o naprawach, modernizacji, likwidacji budynku, a także planowania inwestycji i projektowania obiektów. Szacowanie przewidywanego okresu użytkowania jest zagadnieniem złożonym i trudnym. Wymaga dokładnej analizy procesu eksploatacyjnego obiektu i dopiero na tej podstawie możliwe jest opracowanie bądź zastosowanie metody pozwalającej przewidzieć przyszły okres użytkowania.

Obecnie metody, za pomocą których można wyznaczyć wartości przewidywanego okresu użytkowania, można podzielić na dwie zasadnicze grupy: deterministyczne i probabilistyczne. Różnią się one nie tylko rodzajem stosowanego aparatu obliczeniowego (Sobotka i Bucoń 2005). Koncepcja, w oparciu o jaką badacze poszukują ostatecznego wyniku, również stanowi pewne kryterium klasyfikacji wynikające ze sposobu postrzegania zachodzących procesów eksploatacyjnych w obiekcie. Odmienny sposób myślenia o obiekcie i jego procesie eksploatacyjnym zaowocował licznymi przykładami.

Najprostsze, ale najmniej dokładne narzędzie do szacowania okresu użytkowania stanowi tzw. „metoda współczynników” opracowana przez Japoński Instytut Architektury (AIJ) i zawarta w normach międzynarodowych (ISO 15686-1 2000) - „*Service life planning*”. Metoda ta stanowi przystępne narzędzie do łatwej i szybkiej oceny okresu użytkowania, niestety nie daje gwarancji właściwego jego oszacowania, a tylko empiryczną ocenę opartą na dostępnej informacji.

$$ESLC = RSLC \cdot f_A \cdot f_B \cdot f_C \cdot f_D \cdot f_E \cdot f_F \cdot f_G, \quad (2.7)$$

gdzie:

$f_A, f_B, f_C, f_D, f_E, f_F, f_G$ – współczynniki: jakości komponentu, poziomu projektu, poziomu wykonania pracy, środowiska wewnętrznego, środowiska zewnętrznego, warunków użytkowych, poziomu utrzymania.

Metoda współczynników jest używana do zmodyfikowania porównawczego okresu użytkowania elementu *RSLC* (*Reference Service Life Component*) i otrzymania oszacowanego okresu użytkowania *ESLC* (*Estimated Service Life Component*) elementów projektowanego obiektu, rozważając różnice pomiędzy specyficznymi warunkami projektowymi, a warunkami porównawczymi. Metoda ta stosuje siedem współczynników f modyfikujących podstawową wartość okresu użytkowania *RSLC*. Kombinacja tych czynników może zwiększać lub zmniejszać przewidywany okres użytkowania *ESLC*. Więcej przykładów zastosowania metody współczynników przedstawione jest w pracach (Hovde i Moser 2004; Moser i Edvardsen 2002) oraz (ISO 15686 -1 2000). Metody współczynników w proponowanej formie są łatwe do zastosowania i wymagają od projektanta jedynie oceny wpływu różnych czynników i wykonania prostych arytmetycznych obliczeń. Jednakże wyniki otrzymane za pomocą metod deter-

ministycznych przedstawiają przybliżone wartości okresów użytkowania. W rzeczywistości czynniki i warunki, w jakich eksploatowany jest obiekt, mają charakter losowy, a więc i okres użytkowania elementu lub obiektu powinien być opisany jako rozkład stochastyczny.

W celu uwzględnienia w obliczeniach rzeczywistej złożoności procesu użytkowania elementu lub obiektu budowlanego oraz wpływu czynników losowych, stosowane są metody probabilistyczne (Hovde i Moser 2004). Metody te wymagają danych wejściowych w postaci rozkładów prawdopodobieństw, których uzyskanie jest pracochłonne i czasami trudne do oszacowania z powodu małej liczby danych. Przykłady zastosowania stochastycznych metod w projektach badawczych i dużych projektach inżynierskich są przedstawione w literaturze. Większość z nich dotyczy pojedynczego materiału (zwykle betonu) i pojedynczego czynnika starzenia (wnikania chlorków). Pracochłonność i kosztowność stosowania tych metod jest tak duża, iż stosowane są przede wszystkim do ważnych strategicznie obiektów budowlanych.

Prezentowane w literaturze probabilistyczne metody szacowania okresów użytkowania można podzielić na dwie grupy:

1. Metody z zastosowaniem łańcuchów Markowa do opisanie przebiegu procesu niszczenia (Abraham i Wirahadikusumah 1999; Lounis i in. 1999; Ansell 2002; Kaempfer 2002; Zhang i Vidakovic 2005; Bucoń i Sobotka 2006).
2. Metody, w których zmienne modelu użytkowania przyjmowane są jako wielkości losowe o znanych rozkładach prawdopodobieństwa (Enright i Frangopol 1988; Breitenbuchner i in. 1999; Wisemann i Kyle 1999; Edvardsen i Mohr 2000; Hovde i Moser 2004; Sobotka i Bucoń 2005).

Łańcuchy Markowa są stosowanym narzędziem służącym do przewidywania okresu użytkowania oraz kosztów eksploatacji obiektów budowlanych. Przewidywanie okresu użytkowania za pomocą łańcuchów Markowa odbywa się na podstawie dostępnych informacji dotyczących eksploatacji obiektu. Łańcuchy Markowa pozwalają prognozować proces niszczenia obiektu w czasie, jako prawdopodobieństwo z jakim obiekt znajdzie się w kolejnych latach użytkowania w określonym stanie eksploatacyjnym. W większości analizowanych przez autora w literaturze przypadków, zastosowanie łańcuchów Markowa dotyczyło opisu procesu niszczenia mostów, infrastruktury technicznej oraz pojedynczych komponentów budowlanych.

Abraham i Wirahadikusumah (1999) badali modele prognozowania niszczenia betonowych elementów kanalizacyjnych w okresie ich użytkowania, wyznaczając na podstawie rzeczywistych badań charakterystyki procesu Markowa. Przykładem zastosowania łańcuchów Markowa jest także praca Ansell (2002), który posłużył się nimi do oceny zniszczenia elementów mostowych. Inne badania procesu niszczenia systemu kanalizacji za pomocą łańcuchów Markowa opisywane są przez Kaempfera (2002). Określił on zależności pomiędzy stanem

zniszczenia a wiekiem konstrukcji, wydajnością, zastosowanym materiałem, geometrią oraz miejscem usytuowania w sieciach ulicznych.

Z kolei Zhang i Vidakovic (2005) opisali proces niszczenia membrany dachowej za pomocą łańcuchów Markowa. Do oceny posłużyli się danymi zebranymi z miejsc inspekcji. Stopień uszkodzenia opisali za pomocą siedmiu dyskretnych wskaźników oceny, zaproponowanych przez Lounisa i in. (1999). Do uzyskania wyników (przewidywanego okresu użytkowania) autorzy zastosowali symulację metodą Monte-Carlo.

Prosty przykład zastosowania dyskretnych łańcuchów Markowa do oceny okresu użytkowania obiektów budowlanych przedstawili Bucoń i Sobotka (2006). Proces niszczenia obiektu budowlanego przedstawiono za pomocą czterech stanów zależnych od stanu uszkodzenia. Opisanie probabilistycznego przebiegu niszczenia wymagało znajomości dwóch zbiorów informacji (parametrów procesu). Pierwszym była znajomość prawdopodobieństw uszkodzeń pozyskiwana np. w wyniku przeprowadzonych kontroli lub w przypadku ich braku z zastosowaniem technik symulacyjnych. Drugim parametrem było określenie stanu początkowego, np. w chwili oddania nowego obiektu do użytkowania. Dysponując zbiorem tych informacji, możliwe było wyznaczenie prawdopodobieństw przejścia ze stanu w jakim obecnie znajduje się obiekt do stanów przyszłych.

Wymagania związane ze znajomością charakterystyk eksploatacyjnych obiektów budowlanych są powodem ograniczeń w zastosowaniu metod stosujących łańcuchy Markowa do przewidywania okresu użytkowania. Nieznajomość procesu eksploatacyjnego obiektu nie oznacza jednak nieprzydatności tej metody, ale wiązać się będzie z koniecznością stosowania dodatkowych technik, w celu pozyskania odpowiednich danych do obliczeń.

Do drugiej grupy metod probabilistycznych zaliczyć należy prace między innymi Enrighta i Frangopolla (1988), którzy badali mosty autostrad w US Colorado. Na podstawie zebranych danych, takich jak: zmienność obciążenia, czas rozpoczęcia zniszczenia, korozja, działanie czynników atmosferycznych (deszcz, lód i inne) opracowali model, który posłużył do predykcji okresów użytkowania mostów i wykorzystania tych danych do budowy strategii zarządzania eksploatacją mostów. Z kolei w Kanadzie Wisemann i Kyle (1999) przedstawili metodykę przewidywania okresu użytkowania garaży parkingowych. Używali oni w tym celu rozkładów prawdopodobieństwa do określenia zmiennych dotyczących trwałości konstrukcji przy zastosowaniu różnych materiałów. Oceniali między innymi wpływ zbyt wysokiego zasolenia dróg na okres użytkowania konstrukcji betonowych. Rozważali także różne opcje odnawiania konstrukcji, od demontowania i naprawy zniszczonej przestrzeni, do usunięcia chlorków z elementów budowlanych i ostatecznie do rozbiórki oraz odbudowy.

Niektóre z projektów badawczych wykonane były dla konkretnych przypadków występujących w praktyce. Do nich zaliczyć można między innymi projekt Breitenbuchnera i in. (1999), którzy badali i oszacowali okres użytkowania

tunelu *Western Scheldt*. Głównym parametrem niszczenia pokrywy betonu była agresja chlorków. Dane wejściowe służące do obliczeń (koncentracja chlorków, wnikanie czynników itd.) były określone jako stochastyczne zmienne (rozkłady gęstości). Do wyznaczenia okresu użytkowania tunelu *Western Scheldt* zastosowano opracowany przez Brite/Euram III projekt DuraCrete (1999), który poza podstawowymi zagadnieniami zaczerpniętymi z projektu konstrukcyjnego (tj.: wyniki są związane ze stanami ograniczeń, okres porównawczy jest podobny do projektowanego okresu użytkowania, wskaźnik niezawodności jest użyty do zredukowania prawdopodobieństwa awarii), zakładał włączenie do projektu modelowania procesu niszczenia i oddziaływania środowiska.

Więcej przykładów przewidywania okresu użytkowania wykorzystujących narzędzia probabilistyczne można znaleźć w raporcie opracowanym przez *CIB W080 / RILEM 175-SLM Service Life Methodologies* (Hovde i Moser 2004). Główne obszary zastosowania dotyczą okresu użytkowania wzmocnionego betonu, chodników (ulic lub lotnisk) i okresu użytkowania drewnianych elementów budynku, takich jak: okna, okładziny ścienne i dachy.

Innym rodzajem metod służących do przewidywania okresu użytkowania są przedstawione w pracy Hovdea i Mosera (2004) metody inżynierskie EDM (*Engineering Design Method*), które zaczęto rozwijać jako metody kompromisowe pomiędzy niezbyt dokładnymi metodami deterministycznymi a metodami probabilistycznymi, które wymagają wielu danych i badań, często bardzo trudnych do wykonania.

Kompromis, jakim są metody EDM, osiągnięto poprzez uproszczenie stochastycznych modeli matematycznych bądź też rozwój metody współczynników w kierunku bardziej złożonych modeli. Przyjęto, że metody te będą mieć ten sam stopień złożoności i trudności, co inne zadania projektowe (np. analiza konstrukcyjna, analiza termiczna itp.). W metodzie EDM konstruuje się model matematyczny stanowiący względnie prostą zależność matematyczną, używającą rozkładów prawdopodobieństwa do określenia poszczególnych zmiennych modelu. Ta procedura dostarcza informacje, które są łatwe do zrozumienia i zinterpretowania przez każdego projektanta.

Ogólne zasady zaproponowane w metodach EDM zdefiniowano następująco:

- ustalenie równań opisujących okres użytkowania budynków lub elementów budowlanych, uwzględniających wszystkie zidentyfikowane istotne zmienne i ich parametry. Dla standardowych przypadków, równania metody współczynników mogą być używane takie, jak założono w ISO 15686-1 2000. W innych przypadkach mogą być utworzone równania o szczególnych właściwościach,
- pozyskiwanie zmiennych i parametrów dla równań z doświadczeń, z opinii ekspertów, itd. Ustanowienie rodzaju rozkładów prawdopodobieństwa (funkcji gęstości) dla zidentyfikowanych czynników,
- wykonanie obliczeń okresu użytkowania,

— ocena prawdopodobieństwa wyników przez eksperta i, jeśli to konieczne, modyfikacja danych wejściowych, np.: dokładniejsze określanie parametrów zmiennych decydujących o okresie użytkowania.

Na szczególną uwagę zasługują przykłady zastosowania metody EDM przedstawione przez Mosera (2004), który wykorzystał standardowe równanie metody współczynników podane w ISO 15686-1 2000, ale zamiast współczynników wyrażonych jako wielkości stałe, zastosował zmienne losowe. Charakterystyka zmiennych losowych oparta została oparta na danych dostarczonych przez producentów, na wynikach testów, doświadczeniach, opiniach ekspertów i innych danych. Wiarygodne dane pochodzące z opinii ekspertów mogą być uzyskiwane przez zastosowanie tzw. rekursywnej metody delfickiej opracowanej przez Mosera i Edwardsena (2002). Oszacowania ekspertów są analizowane i wypracowywana jest wspólna opinia o charakterze badanego zjawiska (czynnika), która stanowi podstawę do zbudowania jak najbardziej realistycznego modelu i skutecznego inżynierskiego narzędzia. Ta metoda jest proponowana do zastosowania w normie ISO 15686-4. Zastosowano tę metodę do oceny stolarki okiennej skierowanej odpowiednio na strony południową, północną, wschodnią oraz zachodnią.

Inny przykład metody inżynierskiej, przedstawionej przez Mosera (2004), dotyczył zastosowania uproszczonej metody probabilistycznej opracowanej przez Edwardsena i Mohra (2000), a dotyczył tunelu *Western Scheld*. Okres użytkowania określano obserwując zjawisko wnikania chlorków do betonu, dla dwóch różnych klimatów (10°C i 30°C), używając takich samych rozkładów gęstości jak te zastosowane w szczegółowym rozwiązaniu probabilistycznym. Grubość pokrywy betonowej przewidzianej do użytkowania określono na 50 lat. Koniec okresu użytkowania uzależniono od zawartości chlorków w masie betonu. Prawdopodobieństwo przekroczenia krytycznej zawartości zostało ustalone na 10 %. Otrzymane wyniki za pomocą metody EDM dały zbliżone wartości z tymi uzyskanymi z modelu probabilistycznego.

Próbie zastosowania metody inżynierskiej do oceny okresu użytkowania dachów budynków jednorodzinnych pokrytych blachą ocynkowaną przedstawili również Sobotka i Bucoń (2005). Analizowane budynki stanowiły reprezentatywną grupę obiektów usytuowanych w jednakowych warunkach z punktu widzenia lokalizacji, o takim samym przeznaczeniu użytkowym. Do oszacowania okresu użytkowania zastosowano standardowe równanie metody współczynników, przy czym poszczególne współczynniki równania, określono jako wielkości losowe o znanych rozkładach prawdopodobieństwa. Obliczenia przewidywanego okresu użytkowania *PSLC* (*Predicted Service Life Component*) wykonano za pomocą modelu symulacyjnego oprogramowanego w języku GPSS.

2.4. Modele zarządzania jakością utrzymania obiektów budowlanych

Utrzymanie budynku podlega ogólnej działalności jaką jest zarządzanie nieruchomościami. Poprawa jakości utrzymania obiektów budowlanych skłania do poszukiwania metod, których celem jest jakościowa i ilościowa ocena ryzyka wystąpienia uszkodzeń obiektu/elementu podczas jego użytkowania. Dostępność tego typu informacji jest szczególnie pomocna zarówno w zarządzaniu utrzymaniem obiektów budowlanych podczas ich eksploatacji (tj. użytkowania i utrzymania), jak i przy podejmowaniu decyzji na etapie projektowania obiektu budowlanego i wyboru rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych itp. W pracy przedstawiono wybrane z literatury przykłady, w których zaprezentowano koncepcje zarządzania utrzymaniem budynków oraz metody badawcze wykorzystywane do ich rozwiązania.

Jedną z metod pozwalających uniknąć przyszłych awarii obiektów budowlanych jest podejście oparte na metodzie FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*). Metoda proponowana jest przez Nielsena (2002) i Wyatta (2005) do oceny ryzyka uszkodzenia składowych elementów budynku bądź kompleksowej oceny obiektów budowlanych. Metoda polega na analitycznym ustalaniu związków przyczynowo-skutkowych powstawania potencjalnych wad budynku oraz uwzględnieniu w analizie czynnika ryzyka. Jej celem jest konsekwentne i systematyczne identyfikowanie potencjalnych wad budynku, a następnie ich eliminowanie lub minimalizowanie ryzyka z nimi związanego.

Metoda FMEA obejmuje trzy podstawowe etapy, określone przez Layzella i Ledbettera (1998):

1. Identyfikacji ryzyka – polegający na wykryciu potencjalnych i poprzednio nie znanych trybów awarii i związanych z nimi skutków i ich przyczyn. Każdy typ awarii może być powodowany przez błędy projektu, wykonania robót budowlanych, zastosowanych wyrobów budowlanych. Istotą FMEA jest rozbicie systemu, jaki stanowi budynek, na elementy, aby zidentyfikować awarie, które mają konsekwencje wpływające na funkcjonowanie systemu.
2. Analizy ryzyka – uszeregowanie przyczyn awarii według możliwości ich wystąpienia (prawdopodobieństwo zdarzenia i prawdopodobieństwo wykrycia) oraz wpływu dotkliwości skutków wynikającej z trybu awarii.
3. Zapewnienia działań, które należy wykonać po awarii – reakcja na ryzyko. Może to być np. zmniejszenie prawdopodobieństwa awarii poprzez jej wykrycie za pomocą listy priorytetowych przyczyn, mając na celu ostrzeżenie przed niewłaściwymi rozwiązaniami.

Przykładem zastosowania metody FMEA do oceny wystąpienia ryzyka uszkodzeń budynku są badania przeprowadzone przez Sobotkę i Buconia (2007). Autorzy na przykładzie dachu budynku mieszkalnego ustalali związki przyczynowo-skutkowe powstawania potencjalnych wad dachu, a następnie określili sposób ich eliminowania lub minimalizowania ryzyka z nim związa-

nego. Zastosowanie FMEA wymagało dokładnego opisu systemu, jakim jest dach budynku. W opisie określono wymagania, przyczyny awarii, jak również skutki ich występowania. Informacje, którymi posłużyli się autorzy w przykładzie, pochodziły od zarządców, mieszkańców i innych źródeł z tzw. sprzężenia zwrotnego, tj. informacji zwrotnej o awariach i przyczynach ich występowania.

Jedną z metod analizy ilościowej w metodzie FMEA jest analiza związków przyczynowo-skutkowych powstawania potencjalnych wad produktu a następnie eliminowanie lub minimalizowanie ryzyka z nimi związanego. Polega ona na uwzględnieniu w analizie czynnika krytyczności (ryzyka) za pomocą liczby priorytetowej *RPN* (*Risk Priority Number*), oznaczającej ryzyko wystąpienia usterek/awarii. Obliczana jest jako iloczyn oceny częstości wystąpienia wady *R*, dotkliwości skutków (znaczenie wady) *Z* (oraz prawdopodobieństwa wykrycia wady i jej przyczyny *W* (Kmenta i Ishii 2000):

$$RPN = R \cdot Z \cdot W \quad (2.8)$$

Wartości wskaźnika *RPN* zawierają się w przedziale od 1 do 1000. Wyższa wartość wskaźnika oznacza wyższy poziom krytyczności – ryzyko związane z wadą jest większe. Konieczność podjęcia działań zapobiegawczych, np. poprzez zmodernizowanie konstrukcji lub zmiany procesu technologicznego następuje, gdy zostanie przekroczona umowna wartość wskaźnika *RPN*, która może być ustalona na poziomie, np. 100.

Inny przykład zastosowania metody FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*) przedstawili Lair i Le Teno (1999) i dalej stosował Lair (2000). Autor szacuje okres użytkowania używając dwóch podejść. Z jednej strony wykonuje analizę FMEA, która pozwala zidentyfikować wszystkie tryby awarii, dla każdej funkcji budynku (np. ochrony cieplnej), następnie szuka przyczyn i ostatecznie identyfikuje wyniki. Z drugiej strony zbiera informacje o okresie użytkowania budynków z wszystkich dostępnych źródeł (opinie ekspertów, badania statystyczne, sztuczne i naturalne dane o starzeniu itd.) ocenia ich jakość i poprzez procedury połączenia danych podaje prawdopodobieństwo awarii razem z optymistyczną i pesymistyczną wartością tego prawdopodobieństwa.

Przykład zastosowania FMEA w zagadnieniach utrzymania obiektów budowlanych znaleźć można w pracy Marcinkowskiego (2006). Autor opracował koncepcję systemu eksploatacji obiektów budowlanych oraz cele i zadania projektowania głównych elementów funkcjonalnych takiego systemu wraz z koncepcją zapewnienia jakości, o których decydują takie cechy jak: bezpieczeństwo konstrukcji, bezpieczeństwo pożarowe, bezpieczeństwo użytkowania, komfort użytkowania, oszczędność energii, ochrona środowiska, utrzymanie estetyki i sprawności obiektu eksploatacji. Projektowanie systemu eksploatacji oparł na rzeczowym i funkcjonalnym zdefiniowaniu procesów eksploatacyjnych, wyni-

kających ze spełnianych funkcji i przyjętych celów, takich jak: monitorowanie obiektów, diagnozowanie obiektów, konserwacja obiektów, remonty i naprawy, zaopatrzenie w media, utrzymanie czystości i estetyki, planowanie eksploatacji, operacyjne zarządzanie eksploatacją. Autor proponuje wykorzystanie narzędzi i metod wspomagających zarządzanie jakością, takich jak: diagramy (Ishikawy, relacji, pokrewieństwa, systematyki, macierzowy), histogramy, arkusze kontrolne, wykresy korelacji, macierzową analizę danych itd., a także metody: QFD (*Quality Function Deployment*) – rozwinięcie funkcji jakości, analizę wartości, FMEA.

Dobłą metodą prowadzącą do tworzenia programów eksploatacji oraz zarządzania zasobami budowlanymi jest metoda RCM (*Reliability Centered Maintenance*). Za pomocą tej metody można zidentyfikować wszystkie funkcje dowolnego systemu technicznego, błędy w realizacji tych funkcji (uszkodzenia) oraz wszystkie potencjalnie możliwe przyczyny uszkodzeń (Horner i in. 1997). Następnie zidentyfikować bezpośrednie skutki wymienionych uszkodzeń, a na koniec określić znaczenie i konsekwencje tych skutków. Na tej podstawie dobierana jest najbardziej odpowiednia strategia utrzymania dla analizowanego zasobu budowlanego. Opracowuje się specyfikację działań eksploatacyjnych (profilaktycznych lub innych). Działania te tworzą program utrzymania danego zasobu w pożądanej funkcjonalności, dostosowanej do wymaganych parametrów operacyjnych. RCM uwzględnia wszystkie opcje działań: wywołane diagnozowanym stanem technicznym urządzenia, planowe konserwacje, planowe wymiany komponentów, poszukiwanie ukrytych uszkodzeń oraz jednorazowe modyfikacje (przeprojektowanie komponentów, zmiany procedur operacyjnych, dodatkowy trening operatorów lub inne działania spoza tradycyjnego zakresu prac serwisowych).

Badania nad zastosowaniem metod oceny ryzyka wystąpienia awarii w budynku, jako narzędzi wspomagających proces utrzymania, przeprowadzili El-Haram i Horner (2002). Wykorzystali oni takie metody jak FMEA i RCM do wyboru najbardziej efektywnej strategii utrzymania zasobów budowlanych. Badania miały na celu wskazanie rozwiązania zapewniającego spełnienie wymagań użytkowych przy możliwie niskim koszcie utrzymania. W tym celu przeprowadzono badania pilotażowe na przykładzie 18 obiektów mieszkalnych w Dundee, które składały się z trzech kroków. Po pierwsze, były to badanie ankietowe stanu budynku (cykliczne, na prośbę zarządcy, przed naprawą). Następnie przeprowadzona została analiza FMEA celem zidentyfikowania możliwych awarii, przyczyn ich występowania, a następnie skutków jakie mogą wywoływać. Trzecim krokiem badania pilotażowego było zastosowanie analizy RCM, która jest systematycznym podejściem dla wyznaczania najbardziej odpowiednich i opłacalnych zadań utrzymania poszczególnych elementów budynku, jego sprzętów i wyposażenia.

Analiza niezawodnościowa stosowana powszechnie przy projektowaniu i ocenie niezawodności obiektów mechanicznych, elektrycznych

i telekomunikacyjnych znalazła swoje zastosowanie również w budownictwie. Przykład jej wykorzystania do oceny niezawodności technicznej elementów wyposażenia obiektów budowlanych pokazuje Nowogońska (2005). W prezentowanym przykładzie obiekt budowlany traktowany jest jako system, który składa się z podsystemów, w skład których wchodzi poszczególne elementy obiektu. Zbiór powiązań elementów i podsystemów tworzy proponowaną strukturę niezawodnościową obiektu. Warunkiem poprawnej pracy budynku jest założenie pozostawania w zdadności do użytkowania wszystkich elementów i podsystemów budynku, przyjmując ich powiązania jako strukturę szeregową. W zależności od typu uszkodzeń, mogą występować trzy rodzaje zależności pomiędzy elementami (typ I, II, III). Parametrami niezbędnymi do wyznaczenia niezawodności systemu z zastosowaniem analizy niezawodnościowej jest zbiór informacji o niezawodności poszczególnych elementów składowych systemu. Znajomość przebiegu niezawodności budynku podczas całego jego okresu użytkowania może być przydatna w programowaniu remontów i znaleźć zastosowanie w strategicznym planowaniu działalności remontowej budynków.

Przykład koncepcji zarządzania nieruchomościami budynkowymi zawierającą względy rynkowe (obróć nieruchomościami) przedstawiono w pracy (Gawron i Hoła 2010). Do planowania strategicznego zarządzania nieruchomością autorzy proponują zastosowanie analizy SWOT (*Strengths Weaknesses Opportunities Threats*), składającej się z dwóch części: analizy otoczenia i analizy nieruchomości. Czynniki zewnętrzne podzielono na cztery podstawowe kategorie: czynniki społeczne, konkurencyjne, ekonomiczne, regulacyjne. Natomiast spośród czynników wewnętrznych przyjęto: stan prawny nieruchomości, lokalizacja, dostępność komunikacyjna, zagospodarowanie terenu, infrastruktura społeczna, stan techniczny, wyposażenie lokali, wyposażenie w infrastrukturę, zarządzanie i administrację oraz możliwość rozwoju. Zaproponowano, aby zakres modernizacji, remontów i konserwacji, był rozpatrywany w kilku wariantach, obejmujących różny zakres robót konserwacyjnych i remontowo-modernizacyjnych, w zależności od możliwości i sposobu finansowania podjętych zamierzeń, które w literaturze przedmiotu określa się jako: wariant zachowawczy, wariant modernizacji płytkiej, wariant modernizacji głębokiej (Henclewska 2004). Do oceny efektywności ekonomicznej proponowanych wariantów strategicznych zaproponowano takie wskaźniki jak: wartość zaktualizowana netto NPV, wartość zaktualizowana inwestycji NPV I, wewnętrzna stopa zwrotu IRR.

Próba poszukiwania skutecznych metod oceny potrzeb remontów poszczególnych elementów w budynkach oraz opracowania metodyki planowania prac remontowych są prace: Nowogońska (2011a) oraz Nowogońska i Skarzyński (2006). W proponowanej metodzie „wskaźnikowej” do oceny potrzeb remontowych przyjęto następujące czynniki determinujące programowanie działalności remontowej (Nowogońska 2003), takie jak: stopień zużycia elementu budynku, ważności grup elementów, okres trwałości elementu, wpływ zniszczenia ele-

mentu na inne elementy, współzależność remontu elementu związana z remontem innego, lokalizacja obiektu, wartość kulturowa obiektu. Wagi kryteriów decyzyjnych zostały ustalone na podstawie konsultacji z osobami związanymi z problematyką remontową budynków mieszkalnych: zarządcami budynków, rzeczoznawcami, konserwatorami zabytków, pracownikami biur projektowych oraz wykonawczych firm remontowych. Docelowym przeznaczeniem metody jest programowanie remontów zarówno dla jednego budynku, jak i większej zbiorowości obiektów, np. podczas kompleksowego programowania remontów dla całych kwartałów miasta. Wynikiem obliczeń wg tej metody jest macierz kolejności remontów budynków, po wyznaczeniu średnio ważonego zużycia wszystkich obiektów.

2.5. Modele wspomagające podejmowanie decyzji w utrzymaniu obiektów budowlanych

Systemy wspomagania decyzji DSS (*Decision Support System*) dostarczają informacji i wiedzy, która jest wykorzystywana w procesie podejmowania decyzji. Podejmowanie decyzji w zakresie utrzymania obiektów budowlanych wymaga uwzględnienia wielu kryteriów/czynników, od oceny których jest ona uzależniona. Problem ten rozwiązywany jest przy użyciu metod obliczeniowych, między innymi: wielokryterialnego podejmowania decyzji MCDM (*Multiple Criteria Decision Making*), opartego na systemach ekspertowych oraz metodach sztucznej inteligencji (SI), takich jak: zbiory rozmyte, sieci neuronowe, algorytmy ewolucyjne. Przykłady ich zastosowania w odniesieniu do problemu utrzymania obiektów budowlanych można znaleźć w pracach (Bana e Costa i in. 2002; Bostenaru 2004; Langevine 2006; Zavadskas i in. 2008; Kaklauskas i in. 2007; Perng 2009; Juan 2009; Turskis i in. 2009; Tupenaite i in. 2010; Nagar 2011).

Przykładami komputerowych systemów wspomagania decyzji remontowych dla obiektów biurowych jest TOBUS (*European diagnostics and decision-making Tool for Office Building Upgrading Solutions*) (Caccavelli i Gugerli 2002), XENIOS do obiektów hotelarskich (Dascalaki i Balaras 2004) oraz dla budynków mieszkalnych EPIQR (*Energy Performance and Indoor Quality Retrofit*) (Kolokotsa i in. 2009) i INVESTIMMO (*A Decision Making Tool for Longterm Efficient Investment Strategies in Housing Maintenance and Refurbishment*), opracowany w ramach *European Commission Directorate-General XII Science Research and Development*.

TOBUS jest systemem służącym do diagnostyki i określania kosztów modernizacji obiektów. System obejmuje zakresem ocenę stanu technicznego, funkcjonalnego, energetycznego i jakości środowiska wewnętrznego. Ocena stanu technicznego obejmuje wszystkie elementy składowe budynku. Przy ocenie funkcjonalnej brane są pod uwagę takie czynniki jak: zgodność z wymaganiami użytkowymi, elastyczność w kształtowaniu przestrzeni, podzielność budynku,

łatwość utrzymania oraz zgodność z przepisami. Ocena energetyczna oparta jest na zużyciu energii w budynku. Elementy oceniane to m.in.: ogrzewanie, klimatyzacja, oświetlenie, urządzenia, instalacje itd. Jakość środowiska wewnętrznego oceniana jest poprzez komfort cieplny, jakość powietrza wewnętrznego, oświetlenie i akustykę budynku. System TOBUS stosowany jest na wczesnym etapie tworzenia projektu remontowego do określenia najbardziej efektywnego scenariusza remontowego.

EPIQR służy do szacowania kosztów renowacji budynków mieszkalnych przy uwzględnieniu racjonalizacji użytkowania energii i poprawy standardu mieszkań. Polska wersja metody została opracowana w Instytucie Budownictwa Politechniki Zielonogórskiej (obecnie Uniwersytet Zielonogórski) przy współpracy z EPFL (Politechnika Federalna) w Lozannie (Szwajcaria). Stanowi ona zintegrowany systemem diagnostyki stanu budynków, 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 (Vilhena i in. 2011). EPIQR w ramach oceny stanu technicznego, energetycznego i funkcjonalnego poddaje ocenie pięćdziesiąt najważniejszych elementów budynku, takich jak: elementy bryły budynku, konstrukcji, elementów wykończenia, wyposażenia, instalacji i otoczenia budynku. Przypisane kody degradacji elementów budynku odczytywane są przez system i na tej podstawie określana jest potrzeba przeprowadzenia remontu wraz ze wskazaniem kosztu jej przeprowadzenia.

Innym przykładem systemu wspomagającego proces decyzyjny przy alokacji środków przeznaczonych na remont budynków w mieście Tainan przedstawiono w pracy Perng i in. (2007). Autorzy do oceny budynków zlokalizowanych w czterech różnych strefach miasta, proponują rozwiązanie oparte na wielokryterialnej analizie TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution*). W tym celu wytypowali dziesięć czynników, które odnoszą się do wymagań technicznych, politycznych, ekonomicznych. Istotność każdego z nich ustalono w oparciu o metodę AHP. Każdy z tych czynników przedstawiono w postaci zmiennej lingwistycznej wyrażonej za pomocą zbiorów rozmytych. Wynikiem przeprowadzonej oceny jest wskazanie tzw. stopnia potrzeby przeprowadzenia remontu (za pomocą cztero stopniowej skali ocen). Wybór rozwiązań remontowych przeprowadzono 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) określa najbardziej opłacalne naprawy dla poszczególnych budynków, z uwzględnieniem ograniczeń finansowych.

Wykorzystanie algorytmów ewolucyjnych w złożonych modelach DSS, którego celem było opracowanie strategii remontowej budynków przedstawiono w pracy Juan i in. (2009). Autorzy do oceny jakości budynku proponują zastoso-

wanie takich kryteriów jak: bezpieczeństwo, użyteczność, zdrowie użytkowników, komfort użytkownika, przydatność. Wpływ każdego z nich na jakość budynku oceniany jest za pomocą metody AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Do wskazania rozwiązań remontowych proponują wykorzystanie algorytmu ewolucyjnego opartego na dwóch różnych (priorytetach) funkcjach celu. Celem pierwszej jest określenie najkorzystniejszego zakresu napraw, dla których nie przekroczono zakładanej kwoty budżetu przeznaczonego na remont budynków. Celem drugiej jest wskazanie najkorzystniejszych napraw ze względu na koszt ich przeprowadzenia, przy założeniu że osiągnięty zostanie minimalny poziom progowy jakości budynku oraz poziom docelowy wskazany przez decydenta.

Możliwość zastosowania rozmytego (RPL) i posybilistycznego (PPL) programowania liniowego we wspomaganie decyzji w budownictwie przedstawiono w pracy (Dytczak i Ginda 2010). Zaproponowane modele RPL i PPL mogą przyjmować różne postacie, w zależności od charakteru ich parametrów. Przy ich użyciu można rozpatrywać zagadnienia z rozmytą (możliwościową) formą wszystkich bądź tylko niektórych parametrów. Poszczególne parametry w modelu mogą przyjmować formę liczb rozmytych lub rozkładów posybilistycznych, a w szczególności (w przypadku całkowitej pewności), liczb rzeczywistych. Zasadniczo, stosowane są przy tym różne sposoby odwzorowywania funkcji przynależności, przy czym najczęściej wykorzystuje się najprostsze formy aproksymacji: trójkątną, trapezową lub trójliniową. Do rozwiązywania zagadnienia wykorzystują uogólnioną koncepcję optymalności Pareto na przypadek α -przekroju. Uzyskane w ten sposób liczne rozwiązania tworzą zbiór, stanowiący podstawę wyboru najlepszego spośród nich. Do poszukiwania rozwiązania decyzyjnego autorzy proponują przekształcenie rozpatrywanego zagadnienia do wielokryterialnej postaci rozmytej MOLP-FP (*Multi-objective Linear Programming Fuzzy Problem*) i rozwiązania jej przy użyciu metody interaktywnej.

Przykładem systemu wspomagającego zarządzanie utrzymaniem obiektów budowlanych jest wieloatrybutowy i stochastyczny system zarządzania utrzymaniem obiektów budowlanych opracowany przez Lounisa i Vaniera (2000). Jest on częścią większego programu badawczego BELCAM (*Building Envelope Life Cycle Asset Management*). Proponowany system łączy ze sobą stochastyczny model predykcji oceny ryzyka oparty na łańcuchach Markowa z wieloatrybutowym modelem optymalizacji, w ramach którego określane są priorytetowe elementy utrzymania, w tym naprawy, wymiany oraz optymalizacji w zakresie alokacji środków finansowych. Badania nad zastosowaniem proponowanego systemu przeprowadzono na przykładzie dachów obiektów budowlanych. Dane potrzebne do predykcji, tj. rodzaj systemu oraz użytych materiałów, czynniki środowiskowe, wiek elementu, jakość wykonania oraz poziom utrzymania, pozyskano z przeprowadzonych kontroli stanu budynków. Celem zastosowania łańcuchów Markowa była ocena ryzyka wystąpienia awarii różnych elementów składowych dachu, które opisano przy użyciu siedmiostopniowej

skali ocen opisujących poszczególne stany uszkodzenia. 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.

Inni badacze (Langevine i inni 2006) przedstawili system decyzyjny zarządzania utrzymaniem obiektów budowlanych BMDSS (*Building Maintenance Decision Support System*). Struktura proponowanego modelu składa się z sześciu etapów, do rozwiązania których zastosowano odpowiednie metody i narzędzia. W etapie pierwszym przeprowadzano dekompozycję budynku na poszczególne elementy, które poddawane są ocenianiu przy użyciu dziesięciostopniowej skali ocen. Następnie przy użyciu metody AHP określany jest wpływ (ważność) przyjętych elementów do oceny stanu budynku. Kolejnym etapem jest standaryzacja i zastosowanie programu do oceny stanu budynku (dostarczającego niezbędnych informacji do zarządzania). Następnie przy zastosowaniu mechanizmu modelowania niszczenia, opartego na łańcuchach Markowa, przeprowadzana jest predykcja przyszłych stanów elementów budynku. Piąty etap dotyczy racjonalizacji wyboru odpowiedniej strategii utrzymania, który może być oparty na jednym z czterech alternatywnych podejść zakładających różny poziom utrzymania (od marginalnego utrzymania po wymianę elementu). Ostatnim etapem proponowanego systemu jest optymalizacja wyboru napraw w budynku, której głównym celem jest maksymalizacja przyrostu wskaźnika oceny stanu budynku.

Kolejnym przykładem systemu wspomagania decyzji i wyboru alternatywnych napraw jest proponowany przez Rosenfelda i Shoheta (1999) model DSM-SASRA (*Decision Support Model for Semi-Automated Selection of Renovation Alternatives*). Struktura modelu składa się z czterech zasadniczych części. W pierwszej z nich, wstępnej ocenie poddawana jest zgodność obiektu z wymaganiami prawnymi i środowiskowymi. Ma ona na celu określenie możliwego zakresu unowocześnienia budynku i stwierdzenia zasadności jego przeprowadzenia. W drugiej części modelu przeprowadzana jest ocena stanu fizycznego i funkcjonalnego. Wynik tej oceny wyrażony jest wskaźnikiem E , którego wartość określa stan budynku. Wartość E jest średnią ważoną ocen w różnych aspektach, takich jak: konstrukcja, zewnętrzna elewacja, powierzchnie wewnętrzne, drzwi i okna, hydraulika, systemy elektryczne itd. Na tej podstawie w trzecim etapie modelu sugerowane są możliwe do przeprowadzenia działania zmierzające do poprawy stanu budynku i opracowywane są alternatywne rozwiązania. W ostatnim etapie przeprowadzane jest jakościowe i techniczno-ekonomiczne porównanie proponowanych alternatyw (realnych do wykonania). Na tym etapie mogą być wykorzystywane komputerowe narzędzia do oceny: wstępnych kosztów, szacowanego okresu użytkowania, spodziewanych kosztów utrzymania, poziomu świadczonych usług i zgodności w porównaniu do nowoczesnego budynku, trwałości budynku, wpływów logistycznych i środowisko-

wych oraz wymagań infrastrukturalnych. Wszystkie te aspekty przedstawiane są podejmującym decyzje w systematyczny, logiczny i łatwy do zrozumienia sposób z przeprowadzonymi wstępnymi analizami i rekomendacjami. Proponowany system dostarcza odpowiedniej wiedzy na temat alternatywnych rozwiązań poprzez zwięzłą ocenę ich mocnych i słabych stron i na tej podstawie wyboru świadomych decyzji modernizacyjno-naprawczych.

2.6. Podsumowanie analizy literatury

Z przeprowadzonej analizy literatury wyciągnięto następujące wnioski i spostrzeżenia, które uwzględniono przy opracowaniu modelu decyzyjnego wyboru wariantu remontu lub przebudowy budynków mieszkalnych. Są to:

- w części prac badawczych analizowany był wyłącznie stan techniczny budynków. Jednakże jak wynika z wielu prac Marcinkowskiej i Urbańskiego (1998), Ostańskiej (2008, 2011), Kucharczyk-Brus (2010), Orłowskiego i Szklennik (2011), utrzymanie obiektu we właściwym stanie wyłącznie na podstawie oceny stanu technicznego jest niewystarczające w zapewnieniu stawianych mu wymagań użytkowych,
- w podejmowaniu decyzji o remoncie występuje wiele nieprecyzyjnych określeń i niepewności (Knyziak 2007; Bucoń i Sobotka 2011) powodowanych różnymi czynnikami, które w jednoznaczny sposób nie pozwalają określić stanu budynku i podjąć niezbędnych działań naprawczych,
- opracowano wiele metod, umożliwiających wielokryterialną ocenę budynku (Kaklauskas 2004; Kasprowicz 2006; Owczarek i in. 2006; Orłowski i Szklennik 2011), które uwzględniają współczesne wymagania stawiane obiektom budowlanym, w zakresie oceny technicznej, oszczędności energii oraz poprawy funkcjonalności,
- proponowane metody do oceny obiektu budowlanego, wykorzystują różne metody badawcze, takie jak metody (SI) tj. zbiory rozmyte, sieci neuronowe, algorytmy ewolucyjne (Urbański 2001; Filippo i in. 2007; Knyziak 2007; Perng i in. 2007; Pan 2008; Juan i in. 2009; Rusek 2010; Bucoń i Sobotka 2011), metody MADM (Pan 2008; Jaśkowski i in. 2012; Kaklauskas i in. 2005; Zavadskas 2006). Ich zastosowanie wynika, ze złożoności problemu oceny obiektów budowlanych, który ogranicza możliwość użycia metod deterministycznych,
- proponowane w literaturze metody do oceny stanu budynków mieszkalnych, nie są wykorzystywane w praktycznych zastosowaniach. Dzieje się tak ze względu na brak implementacji do postaci systemów komputerowych, którymi zarządca mógłby się posługiwać bez konieczności posiadania specjalistycznej wiedzy o zastosowanych narzędziach wykorzystywanych przez system komputerowy,

- metody wielokryterialnej oceny budynków, takie jak: LEED, BREEAM, COSBEE i inne, nie znalazły szerszego zastosowania w ocenie wielorodzinnych budynków mieszkalnych. Specyfika wymagań ogranicza ich zastosowanie do budynków użyteczności publicznej,
- do oceny stanu obiektów budowlanych stosowane są różne określenia, np.: stan eksploatacyjny (Kasprowicz 2005a; Starzec 2008), stan użytkowania (Truchanowicz 2006), wartość użytkowa (Niezabitowska i in. 2003, Owczarek i in. 2006; Orłowski i Szklennik 2010; Bucoń i Sobotka 2011),
- proponowane w literaturze modele zarządzania jakością utrzymania obiektów budowlanych (El-Haram i Horner 2002; Nielsen 2002, Nowogońska 2005; Marcinkowski 2006; Gawron i Hoła 2010) oraz złożone modele decyzyjne DSS, służące do wspomagania w procesie podejmowania decyzji remontowych (Kaklauskas i in. 2007; Perng 2007; Zavadskas i in. 2008; Juan 2009; Tupenaite i in. 2010; Nagar 2011), mogą stanowić długo oczekiwane ze strony zarządców narzędzia wspomagające pracę zarządcy przy podejmowaniu decyzji w zakresie remontów oraz opracowania strategii utrzymania,
- oceny obiektów budowlanych odnoszą się do różnych wymagań, np. ujętych w Prawie budowlanym (Kasprowicz 2005a; Orłowski 2011)) lub dotyczących węższego zakresu tj. technicznego, społecznego, funkcjonalnego, estetycznego oraz energooszczędności (Niezabitowska i in. 2003; Owczarek i in. 2006; Bucoń 2008; Ostańska 2008),

W oparciu o przedstawione wnioski wydaje się słuszna próba opracowania modelu decyzyjnego wyboru rozwiązań remontowych budynków mieszkalnych jako narzędzia wspomagającego podejmowanie przez zarządcę decyzji o potrzebie przeprowadzenia remontu oraz optymalizacji przy wyborze zakresu prac remontowych.

3. Badania ankietowe utrzymania i procesu podejmowania decyzji w zakresie remontów budynków mieszkalnych

3.1. Opis badań

Badania ankietowe przeprowadzono w sześciu spółdzielniach mieszkaniowych na terenie województwa lubelskiego i mazowieckiego (pięć z Lublina i okolic, jedna z Warszawy). Spółdzielnie te zarządzają zasobami mieszkaniowymi zrealizowanymi w latach 70., w technologii wielkopłytowej (OWT-67, W 70).

Badania miały na celu poznanie uwarunkowań procesu utrzymania budynków mieszkalnych. W szczególności ukierunkowane były na proces podejmowania decyzji o przeprowadzeniu napraw w budynkach. Badania przeprowadzone zostały w formie ankiety z pytaniami półotwartymi (Radiszewska-Zielina 2006) oraz wywiadu bezpośredniego, w trakcie którego zadawano szczegółowe pytania zarządom administrującym poszczególne osiedla mieszkaniowe. Uzyskano również zgodę prezesów spółdzielni mieszkaniowych na dostęp i wykorzystanie materiałów z prowadzonych okresowych kontroli stanu budynku, audytów energetycznych, ekspertyz, opracowań projektów prac remontowych, dokumentacji technicznej budynków, planów remontowych. Zestaw pytań ankietowych przedstawiono w tabeli 3.1 a wyniki przeprowadzonych badań na rysunkach 3.1–3.10.

Tabela 3.1. Pytania zadawane zarządom w formie ankiety

Nr pytania	Treść pytania i możliwe odpowiedzi
1	Określ udział podanych niżej źródeł utrzymania – finansowania remontów w budynków należących do zasobów mieszkaniowych Państwa spółdzielni (skala: 1 – niewielki, 2 – duży, 3 – b. duży) a) czynsze za lokale mieszkalne, b) czynsze za lokale użytkowe, c) kredyty bankowe, d) programy wsparcia (krajowe, unijne).
2	Określ znaczenie podanych niżej źródeł informacji przy ustalaniu prac remontowych w budynku (skala: 1 – mało istotne, 2 – istotne, 3 – bardzo istotne) a) okresowe kontrole stanu budynku (roczne i pięcioletnie), b) oceny energetyczne (audyty, świadectwa energetyczne), c) zgłoszenia mieszkańców, d) oceny specjalistyczne (ekspertyzy).
3	Określ znaczenie priorytetów przy planowaniu remontów (skala: 1 – duże, 2 – średnie, 3 – małe) a) przyrost sprawności technicznej budynku, b) zmniejszenie zużycia energii w budynku, c) poprawa funkcjonalności budynku, d) poprawa estetyki i otoczenia budynku.

c.d. Tabela 3.1.

4	<p>Określ, w jakim obszarze występują największe zaniedbania w zasobach mieszkaniowych oraz gdzie występują największe możliwości ich poprawy (skala: 1 – niewielkie, 2 – duże, 3 – największe)</p> <p>a) technicznym, b) energetycznym, c) wizualnym, d) funkcjonalnym.</p>
5	<p>Określ znaczenie czynników (przyczyny) niewłaściwego utrzymania zasobów mieszkaniowych (skala: 1 – duże, 2 – średnie, 3 – niewielkie)</p> <p>a) brak środków na przeprowadzenie napraw, b) zbyt niskie składki na fundusz remontowy, c) brak narzędzi do diagnostyki budynku, d) niechęć mieszkańców do zaciągania kredytów bankowych na remonty, e) brak zgody mieszkańców na remont (trudność w przekonaniu).</p>
6	<p>Określ, odpowiedniość przedstawionych sposobów utrzymania budynków (skala: 1 – odpowiedni, 2 – nieodpowiedni)</p> <p>a) zapobieganie na podstawie przewidywania (wg okresu użytkowania budynków i elementów), b) usuwanie skutków awarii, c) na podstawie oceny stanu budynku (wg obowiązujących wzorców oceny), d) okresowe remonty-określone przepisami.</p>
7	<p>Określ znaczenie podanych niżej przyczyn generowania wysokich kosztów utrzymania (skala: 1 – małe, 2 – średnie, 3 – duże)</p> <p>a) wandalizm (np. graffiti), b) niewłaściwa technologia wzniesienia budynku, c) niska jakość użytych materiałów, d) zaniedbania remontowe (zła polityka remontowa), e) błędy projektowe budynku, f) zły sposób użytkowania budynku przez mieszkańców.</p>
8	<p>Jakie są skutki zaniedbań remontowych (spowodowanych zbyt niskimi nakładami na remonty)</p> <p>a) malejąca wartość rynkowa mieszkań, b) małe zainteresowanie zakupem (trudność w odsprzedaży), c) przyspieszone niszczenie budynku, d) zagrożenie bezpieczeństwo użytkowego, e) malejąca wartość użytkowa budynku, f) konsekwencje prawne (wyłączenie budynku z użytkowania).</p>
9	<p>Oceń obecny system oceny budynków mieszkalnych (Tak – zgadzam się, Nie – nie zgadzam się).</p> <p>a) zakres oceny jest zbyt wąski, b) wyniki oceny są mało przydatne (nieprecyzyjne), c) konieczność wykonania dodatkowych ocen, d) wymaga doświadczenia i intuicji zarządcy.</p>
Pytania otwarte	
10	Jakie elementy cechy budynku powinna obejmować ocena stanu funkcjonalnego?
11	Jakie były założenia i podstawy opracowania planu remontowego w Państwa spółdzielni mieszkaniowej?

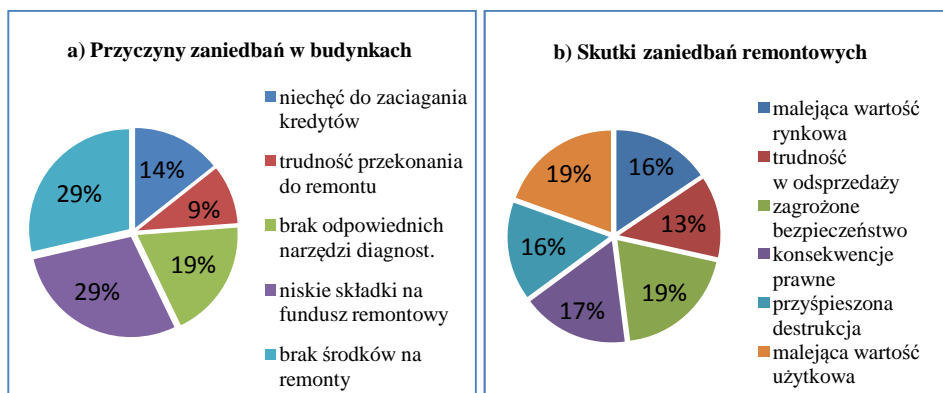
Źródło: Opracowanie własne

3.2. Analiza wyników badań ankietowych

3.2.1. Problemy utrzymania budynków mieszkalnych

W przeprowadzonych badaniach, jako główne problemy w zarządzaniu budynkami mieszkaniowymi, zarządcy wskazują na (rys.3.1a):

- brak środków na przeprowadzenie niezbędnego zakresu prac remontowych. Zarządcy bardzo często zmuszeni są do dokonywania wyboru spośród niezbędnych napraw, jakie powinny być wykonane w budynku,
- zbyt niski fundusz remontowy (stawki: ok. 1,0÷1,2 zł/m² w woj. lubelskim, 1,8 zł/m² w mazowieckim). Zarządcy podkreślają, że budynki którymi zarządzają powstały wiele lat temu, gdy wymagania użytkowe były bardzo niewielkie. Stąd dostosowanie ich do współczesnych wymagań jest bardzo kosztowne (na pograniczu opłacalności),
- brak dobrych narzędzi diagnostycznych budynku uniemożliwia wskazanie niezbędnego zakresu prac remontowych. Ocena wynikająca z okresowej kontroli stanu budynku nie obejmuje zakresem wszystkich wymagań stawianych budynkom,
- budynki wielkopłytkowe wymagają wielu kosztownych napraw, zaciągania kredytów na ich przeprowadzenie, na które większość mieszkańców nie wyraża zgody.



Rys. 3.1. Wyniki badań ankietowych

Źródło: Opracowanie własne

Badania wykazały możliwość zaistnienia negatywnych zjawisk spowodowanych niskim standardem utrzymania budynków mieszkalnych (rys. 3.1b). Jako najbardziej niebezpieczne wskazano te, które prowadzą do zagrożenia bezpieczeństwa użytkownika budynku. Skutkiem prawnym takiej sytuacji jest wyłączenie budynku z użytkowania. Brak napraw podnoszących wartość użytkową budynku powoduje stopniowe jej obniżanie, co z kolei prowadzi do mniejszego

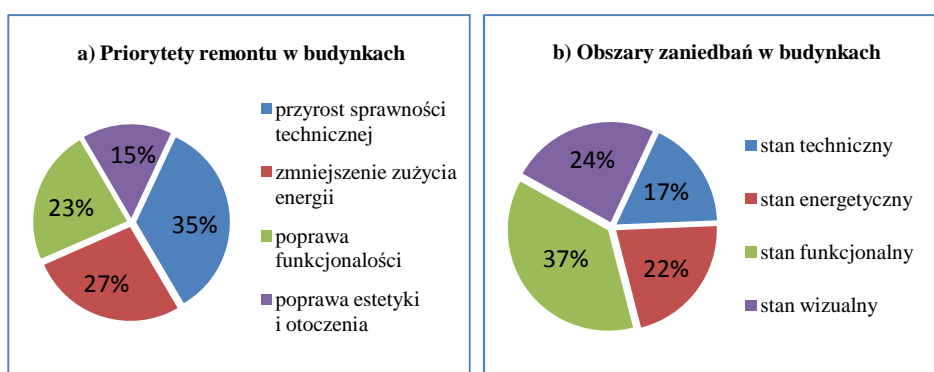
popytu na mieszkania w zaniedbanych budynkach. Kilkuletnie zaniedbania przyspieszają destrukcję budynku. Budynek jako całość to system składający się z elementów wzajemnie na siebie oddziałujących, tak więc zaniedbania w jednym obszarze przekładają się na pozostałe. W przypadku dużych zaniedbań nakłady potrzebne na podniesienie standardu użytkowego budynku przekraczają zazwyczaj możliwości jego finansowania ze środków własnych. Wymusza to konieczność skorzystania z innych źródeł np. kredyty bankowe, którego wysokie koszty obsługi ponoszone są przez mieszkańców.

3.2.2. Remonty budynków mieszkalnych

Priorytetowe znaczenie zarządcy przykładają do sprawności technicznej budynku (rys. 3.2a). Nie dopuszcza się do sytuacji, w której zagrożone będzie bezpieczeństwo użytkowania. W szczególności odnosi się to do zakresu obejmującego:

- wzmocnienie i zabezpieczenie konstrukcji budynków,
- naprawy, modernizacje i zabezpieczenie instalacji technicznych,
- zabezpieczenie przeciwpożarowe w szczególności dotyczy to instalacji gazowej, elektrycznej, odgromowej oraz przewodów dymowych i wentylacyjnych.

Z analizy protokołów okresowej kontroli stanu budynku wynika, że sposób ich opracowania i zawarte w nich wskazówki są niewystarczające przy planowaniu napraw, zwłaszcza głównych. Właściwe ich zaplanowanie wymaga przeprowadzenia specjalistycznych badań i opracowań (np. ekspertyzy konstrukcji, audyty energetyczne itd.). Zaniedbanie występują też w naprawach elementów, które nie mają znaczenia dla bezpieczeństwa użytkowania budynku, a dotyczą wymagań w zakresie energetycznym, funkcjonalnym, wizualnym itd.



Rys.3.2. Wyniki badań ankietowych

Źródło: Opracowanie własne

W celu zmniejszenia zużycia energii na ogrzewanie budynków pomimo podjęcia wielu działań zmierzających do poprawy izolacyjności termicznej przegród nie przeprowadzono w badanych osiedlach wszystkich niezbędnych prac termo-modernizacyjnych (w wielu budynkach nie wykonano żadnych prac tego typu). Z analizy stanu budynku wynika, że zakres przeprowadzonych prac sprowadzał się w większości przypadków do poprawy izolacyjności ścian zewnętrznych oraz stropodachów z częściową wymianą stolarki zewnętrznej (najczęściej w klatce schodowej). W wielu przypadkach uprzednio wykonane prace termo-modernizacyjne wymagają poprawy lub ponownego wykonania (nie spełniają wymagań przepisów).

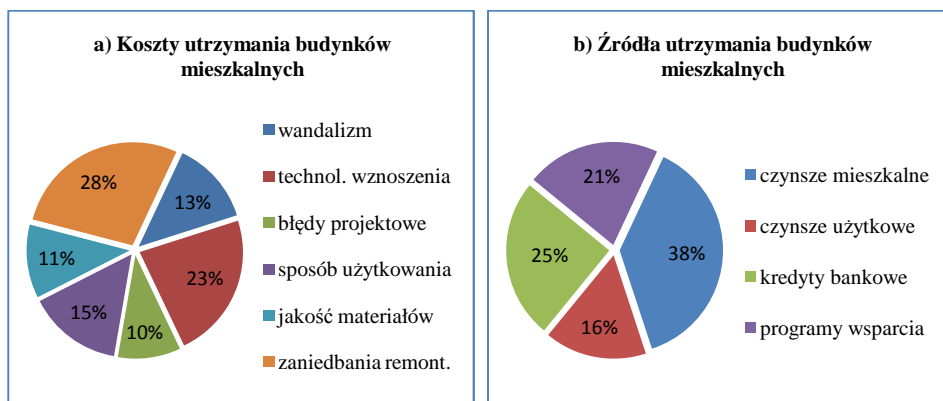
Największe zaniedbania remontowe występują w zakresie funkcjonalnym budynków (rys. 3.2b). Zarządcy podkreślają duże znaczenie i potrzebę przeprowadzenia poprawczych prac modernizacyjnych w obrębie: klatek schodowych (np. poprawy oświetlenia, poprawy bezpieczeństwa wejść), balkonów oraz mieszkań (poprawy wentylacji) itd. Poprawa funkcjonalności budynków jest najczęściej pomijana ze względu na:

- brak środków na ich przeprowadzenie, są bardzo kosztowne, wręcz nieopłacalne (zaniedbania są duże, często nie były przeprowadzane dotychczas żadne naprawy),
- brak wytycznych co do zakresu oceny funkcjonalnej budynku (czego powinna dotyczyć: akustyki, wyposażenia, instalacji itd.?).

3.2.3. Koszty i finansowanie utrzymania budynków mieszkalnych

Jako główne przyczyny wysokich kosztów utrzymania zasobów mieszkalnych zarządcy wskazują zaniedbania remontowe (rys. 3.3a) (wynikające również ze zbyt niskich nakładów na remonty). Budynki wielkopłytowe posiadają też wiele wad wynikających z technologii budowy i zastosowanych rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych. Zła jakość produkcji elementów wielko płytowych i następnie zła jakość montażu oraz prac wykończeniowych są przyczyną zwiększonych kosztów napraw. Najbardziej widoczne jest to przy elementach narażonych na oddziaływanie czynników atmosferycznych tj. pokrycia dachowe, stolarka okienna, obróbki blacharskie, elewacje itd. Do podniesienia kosztów utrzymania przyczynia się wandalizm – dewastacji mienia, jak np. niszczenie drzwi wejściowych, mechaniczne uszkodzenia elewacji, wykonywanie graffiti na ścianach elewacji i klatek schodowych.

Najmniej uciążliwy wydaje się być problem niewłaściwego użytkowania mieszkań (zatykanie kratki wentylacyjnych, nadmiernego wietrzenia klatek schodowych itd.).



Rys. 3.3. Wyniki badań ankietowych

Źródło: Opracowanie własne

Zarządca bazując na ocenie budynku określa zakres prac koniecznych do wykonania, wstępnie oszacowuje ich koszty, wskazuje sposób finansowania (fundusz remontowy, składka właścicieli, kredyt, itp.) oraz podejmuje decyzje (w formie uchwały) o rozpoczęciu inwestycji. Wspólnota rezerwuje w planie środki na pokrycie kosztów remontu, decydując o wysokości odpowiedniej zaliczki na fundusz remontowy, która pozwoli sfinansować inwestycję gotówką, albo zabezpieczyć spłatę rat kredytu.

Z udzielonych odpowiedzi wynika (rys. 3.3b), że głównym źródłem finansowania napraw są środki pochodzące z funduszu remontowego. Niestety nie pokrywają one w całości wykonywanych prac remontowych (które i tak bardzo często są ograniczone do niezbędnego minimum). Ważnym źródłem finansowania są także środki pochodzące z pożyczek bankowych. Korzysta się z nich gdy zachodzi potrzeba wykonania większego zakresu napraw budynku. Wymagają one zgody mieszkańców na zadłużenie budynku (wpis w hipotekę poszczególnych mieszkań). Jedną z form spłaty kredytu bankowego jest partycypowanie w kosztach napraw przez mieszkańców. Istotne znaczenie w finansowaniu remontów mają również programy dofinansowujące termomodernizację budynków. Skorzystanie z tej formy finansowania wymaga opracowania audytów energetycznych potwierdzających opłacalność wykonania robót budowlanych. Jako najmniej istotny udział w kosztach finansowania napraw zarządcy wskazywali dodatkowe wpływy z wynajmowania lokali w celach komercyjnych.

3.2.4. Ocena i strategię utrzymania budynków mieszkalnych

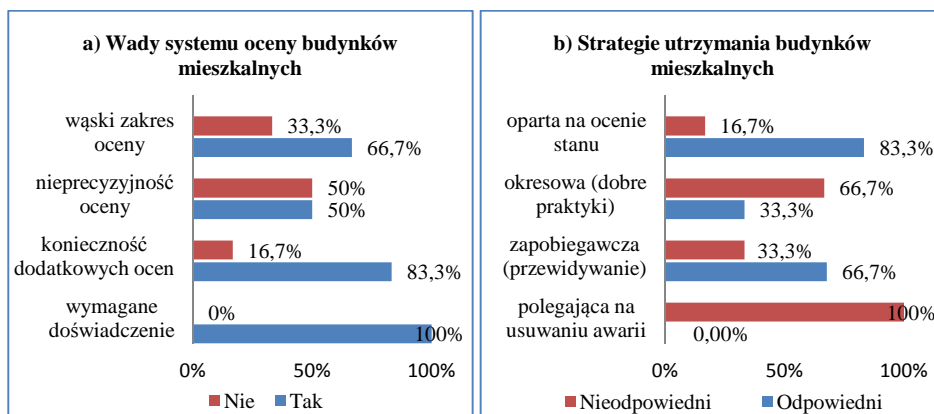
Wyniki przeprowadzonych badań (rys. 3.4a) pokazują, że obecny system oceny budynków jest niedoskonały. Wynika to przede wszystkim z dość wąskiego zakresu oceny budynku, zazwyczaj ograniczonego wyłącznie do oceny stanu technicznego.

Istotnym problemem jest również przydatność przeprowadzanych obowiązkowo okresowych kontroli stanu budynku z uwagi na sposób oceny (ograniczający się do stwierdzenia: dobry, średni, zły). Potwierdzeniem złej opinii obowiązującego systemu oceny budynków jest całkowita zgodność zarządzających odnośnie konieczności posiadania doświadczenia i umiejętności w administrowaniu zasobami mieszkaniowymi. Analiza protokołów okresowej kontroli stanu budynków wykazuje duże zróżnicowanie w sposobie przeprowadzania ocen i formie, w jakiej przedstawiane są wyniki. Uwagi te dotyczą przede wszystkim:

- wyboru elementów budynku poddawanych ocenie. Ocenie poddawano elementy wybrane według uznania osoby przeprowadzającej kontrolę,
- poziomu agregacji ocenianych części budynku. Zauważa się, iż budynki najczęściej oceniane są w odniesieniu do ustrojów budowlanych, np.: stropy, balkony, wiatrołapy, elewacje, klatki schodowe itd.,
- do oceny elementów/ustrojów budynku, stosowany był zapis w postaci określeń lingwistycznych o różnej skali wartości liczbowych (stopnia zużycia),
- formułowania zaleceń naprawczych (mało precyzyjne, bardzo ogólnikowe) bądź ich całkowity brak.

Z przeprowadzonej analizy protokołów ocen można stwierdzić, że sposób i forma w jakiej jest ona przeprowadzana wynika bardziej z wymagań ustawy o zarządzaniu nieruchomości, niż z potrzeby i specyfiki właściwej diagnostyki stanu budynku.

Pytano również zarządzających o wskazanie najkorzystniejszych koncepcji utrzymania – jednej z czterech sprecyzowanych przez autora (na podstawie literatury). Ankietowani w większości uważają podejście oparte na ocenie stanu jako właściwe i dobre rozwiązanie w polskich realiach, w których wydatkowanie środków finansowych na remonty musi wynikać z jasnych przesłanek i jest ono obecnie obowiązujące (rys. 3.4b). Nie praktykowane jest w zarządzaniu utrzymaniem budynków planowanie i wykonywanie tzw. remontów okresowych. Pomimo, że to podejście zapewnia wysoki poziom utrzymania, może generować zbyt wysokie koszty wynikające z przeprowadzanie napraw, mogłyby zostać przełożone na późniejszy termin. Również podejście polegające na podejmowaniu działań remontowych dopiero w odpowiedzi na awarie elementu (dla elementów nie związanych z bezpieczeństwem konstrukcji) uznano za niekorzystne, które w dłuższej perspektywie przyczynić się może do zwiększenia kosztów utrzymania.



Rys. 3.4. Wyniki badań ankietowych

Źródło: Opracowanie własne

Dopuszczenie do zaniedbań remontowych skutkuje niekorzystnym wzajemnym oddziaływaniem elementów budynku. Jako właściwe wskazano podejście oparte na przewidywanym okresie użytkowania budynków i elementów, za pomocą proponowanych w literaturze metod naukowych. Jednakże wyrażają oni brak dostatecznego zaufania do proponowanych metod.

3.2.5. Funkcjonalność budynków mieszkalnych

Ocena funkcjonalna budynku nie jest jednoznacznie zdefiniowana ani w przepisach prawa ani w literaturze, ani przez samych zarządców. Z przeprowadzonych badań wynika, że rozumiana jest ona jako ocena pełnionej funkcji przez budynek, według aktualnych, niekompletnych i niespójnych przepisów oraz wymagań wynikających z preferencji użytkowników.

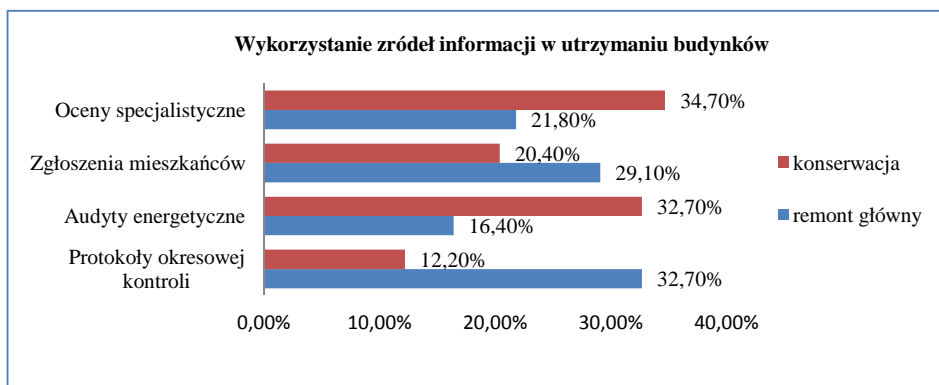
W trakcie przeprowadzonego wywiadu, którego celem było ustalenie zakresu, jaki powinna obejmować ocena stanu funkcjonalnego budynku, wskazano następujące zagadnienia wymagające poprawy. Są to:

- funkcjonalność balkonów (zabudowa, wykonanie okładzin balkonu, wymiana balustrad dla poprawy bezpieczeństwa i estetyki),
- estetyka, funkcjonalność i bezpieczeństwo wejść do budynku (budowa podjazdów, poręczy, wymiana lub naprawa schodów wejściowych, dobudowa wiatrołapów lub daszków wejściowych, inne),
- ochrona przed kradzieżami i wandalizmem (montaż bądź wymiana domofonów, montaż stolarki antywłamaniowej, wprowadzenie monitoringu klatek schodowych i systemów instalacji alarmowych),
- wentylacja budynku (montaż nawiewników okiennych, dobudowa dodatkowych kanałów wentylacyjnych, montaż instalacji mechanicznej z odzyskiem energii, inne),

— bezpieczeństwo komunikacyjne (wykonanie antypoślizgowych okładzin schodów klatek schodowych, wymiana balustrad z uwagi na duże prześwity pomiędzy elementami ażurowymi, poprawa oświetlenia klatek schodowych).

3.2.6. Planowanie remontów budynków mieszkalnych

Wyniki ankiety, w której pytano o źródła informacji przy planowaniu remontów wskazują jednoznacznie znaczenie specjalistycznych ocen (ekspertyzy, audyty energetyczne) przy planowaniu napraw głównych (remonty). Protokoły okresowej kontroli stanu budynków ze względu na sposób ich opracowania (mała szczegółowość) pełnią jedynie rolę pomocniczą w określaniu i planowaniu remontów. Rola ocen okresowych ogranicza się do sygnalizowania potrzeby przeprowadzenia remontu. Głównym źródłem informacji przy planowaniu napraw bieżących i prac konserwacyjnych są przede wszystkim uwagi zgłaszane przez mieszkańców ale również oceny okresowe. Na rys. 3.5. pokazano sposób wykorzystania źródeł informacji w procesie utrzymania budynku, tj. planowaniu remontów i pracach konserwacyjnych.



Rys. 3.5. Wyniki badań ankietowych

Źródło: Opracowanie własne

W badanych spółdzielniach mieszkaniowych opracowywane były plany remontowe w postaci wieloletniego planu potrzeb remontowych budynków na okres od 2 do 4 lat. Zakres planu remontowego obejmował zarówno roboty budowlane, tj. naprawy bieżące, naprawy główne, jak również prace konserwacyjne. W planie remontu ujęte są zatwierdzone do wykonania roboty budowlane, których wykonanie jest planowane w terminach wynikających z możliwości finansowych spółdzielni mieszkaniowej.

Zarządcy podkreślają duże trudność w zrealizowaniu wszystkich napraw ujętych w planie remontowym, ze względu na brak potrzebnych środków finansowych potrzebnych do ich realizacji. Duża część zaplanowanych w planie

remontowym napraw, w szczególności kosztownych, może być zrealizowana jedynie poprzez zaciągnięcie pożyczek bankowych.

3.3. Podsumowanie

Informacje z przeprowadzonych wywiadów, jak również analiza udostępnionej dokumentacji pozwoliła na szczegółowe zapoznanie się z problematyką utrzymania budynków i podejmowania decyzji remontowych. Ważniejsze informacje, które będą wykorzystane do opracowania modelu decyzyjnego wyboru rozwiązań remontowych to:

- środki, którymi dysponuje spółdzielnia są niewystarczające do przeprowadzenia wszystkich potrzebnych remontów. Zachodzi zatem konieczność wyboru zakresu robót budowlanych, których wykonanie przyniesie większe korzyści (remonty określone jako konieczne muszą być wykonywane bezwzględnie w pierwszej kolejności),
- okresowe kontrole stanu budynku obejmują zbyt wąski zakres oceny, sprowadzający się do oceny stanu technicznego budynku. Utrudnia to podjęcie właściwej decyzji w zakresie wyboru potrzebnych napraw i jest jedną z przyczyn niewłaściwego utrzymania zasobów budownictwa mieszkaniowego,
- finansowanie remontów w budynkach pokrywane jest w dużym stopniu ze środków zewnętrznych (kredyty bankowe). Zachodzi potrzeba zwiększenia składek funduszu remontowego użytkowników/właścicieli mieszkań;
- duże potrzeby remontowe wynikają z poprawy funkcjonalności budynku. Celowym jest zatem opracowanie metod służących do jej oceny,
- zakres przeprowadzonych prac termomodernizacyjnych w wielu budynkach jest niepełny, zazwyczaj ograniczony do poprawy izolacyjności podstawowych elementów, jak: ściany, stropodachy, stolarka). W wielu przypadkach już przeprowadzone naprawy termomodernizacyjne nie spełniają współczesnych wymagań określonych prawem budowlanym,
- dla nieruchomości budynkowej stanowiącej więcej niż jeden budynek mieszkalny, stosowana jest zasada wykorzystania środków wspólnych na przeprowadzenie remontu w budynku o największych potrzebach remontowych,
- rola zarządcy w podejmowaniu decyzji remontowych sprowadza się do przedstawienia pozostałym decydentom (członkom rady osiedla) korzyści wynikających z wykonania remontu oraz wskazania najbardziej pilnych i opłacalnych napraw w skali osiedla bądź nieruchomości (dysponujących wspólnym budżetem),
- podejmowanie decyzji w zakresie utrzymania budynków mieszkalnych jest procesem intuicyjnym wymagającym od zarządcy dużego doświadczenia i umiejętności,

- plan remontowy ma kluczowe znaczenie w procesie utrzymania zasobów budowlanych (ustalana jest kolejność i czas przeprowadzania napraw oraz zabezpieczane są środki na ich realizację),
- brak jest kompleksowej metody oceny stanu budynku, na podstawie której wykonywana byłaby klasyfikacja i podejmowanie decyzji przeprowadzenia remontu,
- istnieje duża trudność w określeniu korzyści/opłacalności przeprowadzenia remontów. Jest to szczególnie istotne, gdy dysponowane środki finansowe na przeprowadzenie remontu są niewystarczające,
- duży stopień niejednoznaczności i nieprecyzyjności w ocenie stanu budynku (stosowane są określenia lingwistyczne) utrudnia właściwą interpretację przeprowadzonej oceny i podjęcia decyzji o remoncie,
- zasoby mieszkaniowe ankietowanych spółdzielni pochodzą z lat 70., stąd nie spełniają współczesnych wymagań prawnych i społecznych,
- możliwości w zakresie poprawy wartości użytkowej budynków są duże i mogą w znaczący sposób wpłynąć na wzrost ich wartości rynkowej. Biorąc pod uwagę fakt, że bardzo często mają lepszą lokalizację niż mają nowo wznoszone budynki, podejmowanie działań naprawczych podnoszących standard budynków (ich użytkowania) wydaje się być zasadne,
- utrzymanie obiektu budowlanego wiąże się z koniecznością podejmowania decyzji wynikających ze stanu w jakim znajduje się obiekt. Przy ocenie stanu obiektu brane są pod uwagę różne kryteria decydujące o jego wartości użytkowej (techniczne, energetyczne, funkcjonalne),
- jak wynika z analizy dostępnej dokumentacji, będącej w zasobach spółdzielni mieszkaniowych, przeglądy wykonywane są często pobieżnie i czasami przez osoby nie posiadające odpowiednich uprawnień budowlanych, co potwierdzają również badania przeprowadzone przez Knyziaka (2007),
- dokumentacja okresowych przeglądów najczęściej jest lakoniczna, ogranicza się do krótkich stwierdzeń nie zawierających szerszej informacji. Drobne usterki naprawiane są w niedługim czasie od zaobserwowania ich podczas przeglądu. Poważniejsze uszkodzenia czasami oczekują, aż wyraźne oznaki zmuszą zarządcę nieruchomości do przeprowadzenia remontu. Stosowanie zbyt długich okresów pomiędzy kolejnymi remontami wynika zazwyczaj ze słabej kondycji finansowej spółdzielni mieszkaniowych.

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują na potrzebę kompleksowej oceny stanu budynku, która ujmowałaby poza oceną techniczną, także ocenę energetyczną, funkcjonalną oraz wizualną.

4. Model decyzyjny wyboru rozwiązań remontowych budynków mieszkalnych

4.1. Metodyka postępowania

Podjęcie decyzji remontowych stanowi złożony proces, do rozwiązania którego należy stosować podejście systemowe, ujmujące w sposób kompleksowy wszystkie czynniki wpływające na podejmowanie decyzji. Dlatego też opracowuje się systemy wspomagania decyzji, nazywane w literaturze angielskiej DSS (*Decision Support System*), które wykorzystują wyrafinowane metody naukowe i informatykę (Juan i in. 2009; Mickaityte i in. 2008; Caccavelli i Gurgerli 2008; Bana e Costa i Oliveira 2002; Nagar 2011).

Celem niniejszej pracy jest opracowanie oryginalnej metody systemu wspomagania podejmowania decyzji w zakresie wyboru rozwiązań remontowych, bazujących na ocenie odpowiednio zdefiniowanej (na cele metody) wartości użytkowej budynku. Opracowanie systemu DSS (dalej w pracy określony symbolem SWDR – *System Wsparcia Decyzji Remontowych*), wymaga budowy modelu matematycznego problemu decyzyjnego wyboru wariantów remontu budynku lub grupy budynków.

Metodyka postępowania przy budowie modelu (zwanego też w pracy modelem decyzyjnym) obejmowała następujące etapy:

1. Definiowanie problemu – wybór rozwiązań remontowych na podstawie oceny wartości użytkowej budynku, rozpoznanie zagadnień związanych z budynkiem w aspekcie jego utrzymania, poznanie specyfiki procesu decyzyjnego przy wyborze rozwiązań remontowych, analiza budynku i jego elementów składowych (elementów oraz ustrojów budowlanych) oraz cech tych składników będących podstawą do przeprowadzenia napraw, przy zastosowaniu podejścia systemowego.
2. Budowę modelu decyzyjnego – zdefiniowanie struktury modelu, identyfikacja parametrów modelu oraz algorytmizacja obliczeń, obejmująca następujące etapy:
 - a) dobór kryteriów oceny wartości użytkowej, w tym:
 - wybór kryteriów służących ocenie wartości użytkowej budynku na podstawie analizy literatury, dokumentacji, badań ankietowych,
 - opracowanie metody do oceny kryteriów (stan techniczny oraz funkcjonalny),
 - przyjęcie metody do obliczenia wskaźnika określającego sezonowe zużycie energii w budynku.
 - b) ocenę wartości użytkowej budynków mieszkalnych:
 - opracowanie struktury modelu oceny wartości użytkowej budynku (wnioskowanie oparte na logice rozmytej),

- generowanie bazy reguł systemu wnioskującego określającej zachodzące relacje pomiędzy oceną przyjętych kryteriów i ich wpływu na wartość użytkową budynku (algorytm generowania bazy reguł rozmytych).
 - c) określenie podstaw klasyfikacji budynków do przeprowadzenia prac remontowych,
 - d) przyjęcie metody typowania napraw dla wybranych budynków, szacowania ich kosztów oraz przyrostu wartości użytkowej budynku/ów,
 - e) przyjęcie metody do optymalizacji wyboru rozwiązań remontowych, z punktu widzenia maksymalizacji wartości użytkowej budynku przy ograniczonej kwocie przeznaczanej na remont.
3. Weryfikację zastosowanych metod obliczeniowych – dobór optymalnych ustawień parametrów metody, zapewniających wybór optymalnych rozwiązań remontowych z punktu widzenia kosztu i uzyskanego przyrostu wartości użytkowej budynku.
 4. Opracowanie programu komputerowego SWDR.
 5. Analizę i interpretację wyników generowanych przez model decyzyjny.

Przy opracowaniu powyższego modelu wykorzystano następujące metody naukowe i badawcze:

- podejście systemowe (ogólna teoria systemów), analizę krytyczną,
- badania kwestionariuszowe, metody eksperckie, teorie zbiorów rozmytych, metody statystyczne, algorytm ewolucyjny, modelowanie matematyczne,
- analizę wrażliwości, metody weryfikacji etapów algorytmu ewolucyjnego,
- informatykę (język programowania C++).

4.2. Definiowanie i identyfikacja struktury modelu

Ogólna struktura modelu decyzyjnego obejmuje pięć zasadniczych elementów, których wzajemne powiązania tworzą strukturę modelu decyzyjnego:

1. Ocenę przyjętych w pracy kryteriów służących do oceny wartości użytkowej budynku/ów.
2. Ocenę wartości użytkowej budynku/ów.
3. Ustalenie ograniczeń służących kwalifikacji budynków do remontu.
4. Ustalenie zbioru napraw dla budynku/ów w oparciu o szczegółową ocenę przyjętych kryteriów.
5. Wybór decyzji optymalnej mającej na celu, przy określonych kosztach, uzyskanie największego przyrostu wartości użytkowej.

1. Ocena kryteriów wartości użytkowej budynków

Określono zbiór elementów budowlanych $E = \{E_1, E_2, \dots, E_j\}$ przyjętych do oceny kryterium K_1, K_2 oraz zbiór cech budynku $C = \{C_1, C_2, \dots, C_s\}$ służących do oceny K_3 :

$$Z_{K_1} \subset E, |Z_{K_1}| = S, \quad (4.1)$$

gdzie:

Z_{K_1} – zbiór ocenianych elementów według kryterium K_1 ,

S – liczba wszystkich elementów stanu technicznego.

$$Z_{K_2} \subset E, |Z_{K_2}| = T, \quad (4.2)$$

gdzie:

Z_{K_2} – zbiór ocenianych cech według kryterium K_2 ,

T – liczba wszystkich elementów stanu energetycznego.

$$Z_{K_3} \subset C, |Z_{K_3}| = U, \quad (4.3)$$

gdzie:

Z_{K_3} – zbiór ocenianych elementów według kryterium K_3 ,

U – liczba wszystkich cech stanu funkcjonalnego.

Każdy z elementów $E_i \in Z_{K_1} \cup Z_{K_2}$ może być złożony z wielu innych elementów składowych $E_i = \{e_1, e_2, \dots, e_o\}$, podlegających ocenie według danego kryterium. Elementy $E_i \in E$ oceniane są na podstawie zbioru czynników:

— opisujących uszkodzenia elementu u_i przy ocenie kryterium K_1 :

$$O_{E_i}^{K_1} = f(u_i), \quad (4.4)$$

gdzie:

u_i – uszkodzenia, na podstawie których elementom E_i przypisywany jest stopień zużycia $0 \div 100$ [%].

— opisujących izolacyjność elementu λ_k przy ocenie K_2 :

$$O_{E_i}^{K_2} = f(\lambda_i), \quad (4.5)$$

gdzie:

λ_i – izolacyjność elementów E_i , na podstawie których obliczany jest współczynnik przenikania ciepła budynku U [W/m²K].

Każda z cech budynku $C_i \in Z_{K_3}$ może być składową wielu innych czynników $C_i = \{c_1, c_2, \dots, c_o\}$, podlegających ocenie według kryterium K_3 . Cechy $C_i \in C$ oceniane są na podstawie zbioru czynników:

— opisujących stan cechy s_i przy ocenie kryterium K_3 :

$$O_{C_i}^{K_3} = f(s_i), \quad (4.6)$$

gdzie:

s_i – stan czynników c_i , na podstawie którego cechom C_i przypisywana jest ocena przy użyciu skali 0÷5 [pkt].

2. Ocena wartości użytkowej budynków

Wartość użytkowa budynku WUB jest obliczana na podstawie oceny według trzech kryteriów K_j , $j = 1, 2, 3$. Możliwe relacje pomiędzy ocenami kryteriów K_j zapisane są w postaci reguł R_h , na podstawie których system oblicza WUB

Oceniane jest każde z kryteriów K_j wyrażone w postaci zmiennej lingwistycznej, której przypisano wartości rozmyte A_i^j , przy czym i oznacza liczbę zbiorów rozmytych dla każdego z j -tych kryteriów, tj.:

- $K_1 = \{A_1^1, A_2^1, \dots, A_5^1\}$, 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: D (dobry), ZA (zadowolający), Ś (średni), L (liczy), Z (zły);
- $K_2 = \{A_1^2, A_2^2, \dots, A_6^2\}$, gdzie: $A_1^2, A_2^2, \dots, A_6^2$ oznaczają zbiory rozmyte przyjęte do oceny kryterium K_2 , dla których zastosowano określenia lingwistyczne, kolejno: NE (niskoenergetyczny), EO (energooszczędny), ŚEO (średnio-energooszczędny), ŚEC (średnioenergochłonny), EO (energochłonny), WEC (wysoko energochłonny);
- $K_3 = \{A_1^3, A_2^3, A_3^3\}$, gdzie: A_1^3, A_2^3, A_3^3 oznaczają zbiory rozmyte przyjęte do oceny kryterium K_3 , dla których zastosowano określenia lingwistyczne, kolejno: Z (zły), Ś (średni), D (dobry).

3. Klasyfikacja budynków do remontu

Jeśli ocenie wartości użytkowej budynku WUB poddawanych jest kilka budynków $B = \{B_1, B_2, \dots, B_m\}$, możliwy jest wybór spośród nich tych, dla których analizowana będzie opłacalność przeprowadzenia napraw, mających na celu podniesienie ich wartości użytkowej. Można to przeprowadzić na dwa możliwe sposoby, tj. poprzez przyjęcie tych budynków, dla których obliczona

WUB nie przekracza pewnej ustalonej wartości progowej lub wszystkich ocenianych budynków – bez względu na uzyskana wartość WUB .

4. Określenie zbioru napraw dla budynków

Dla każdego budynku $B_l \in B$ zaklasyfikowanego do remontu określany jest, w oparciu o przeprowadzone oceny według kryteriów K_j , zbiór możliwych do przeprowadzenia napraw $W = \{w_{111}, \dots, w_{mmv}\}$. Każda naprawa $w_{lir} \in W$ może być wykonana na wiele możliwych sposobów, tzw. wariantów, z których każdy przedstawia inne rozwiązanie pod względem zastosowanych materiałów, technologii wykonania oraz kosztów ich przeprowadzenia.

5. Wybór optymalnego rozwiązania remontowego

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 wariantów napraw elementów budynku/ów w_{lir} wyłaniane jest rozwiązanie W , które jest zbiorem wariantów napraw przynoszącym największy przyrost wartości użytkowej budynku, dla założonej kwoty G (stanowiącej warunek ograniczający).

Przyrost wartości użytkowej każdego z budynków $\Delta WUB(B_l)$ jest wynikiem przyrostu ocen trzech kryteriów wejściowych ΔK_{jl} . Przy obliczeniu przyrostu wartości użytkowej wszystkich budynków ΔWUB uwzględniany jest udział powierzchni każdego z l -tych budynków, jako ważony udział każdego z nich w całkowitej powierzchni wszystkich budynków $P = \sum_{l=1}^m P_l$.

$$\Delta WUB = \sum_{j=1}^3 \sum_{l=1}^m (w_j \cdot \Delta WUB(B_l)) \cdot P_l / P, \quad (4.7)$$

gdzie:

w_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/ów.

Rozwiązanie to stanowi kombinację różnych wariantów wykonania napraw, których koszt nie powinien przekraczać środków finansowych przeznaczonych na remont.

Problem ten można zapisać w uproszczonej postaci:

$$\begin{aligned} \max z : z &= \Delta WUB(w), \\ K(w) &\leq B, \\ w &\in W, \end{aligned} \tag{4.8}$$

gdzie:

W – rozwiązanie obejmujące zbiór wariantów remontu budynków,

$\Delta WUB(w)$ – przyrost wartości użytkowej budynków dla rozwiązania w ,

$K(w)$ – koszt dla rozwiązania w ,

W – zbiór dopuszczalnych rozwiązań (obejmujący możliwe warianty remontu).

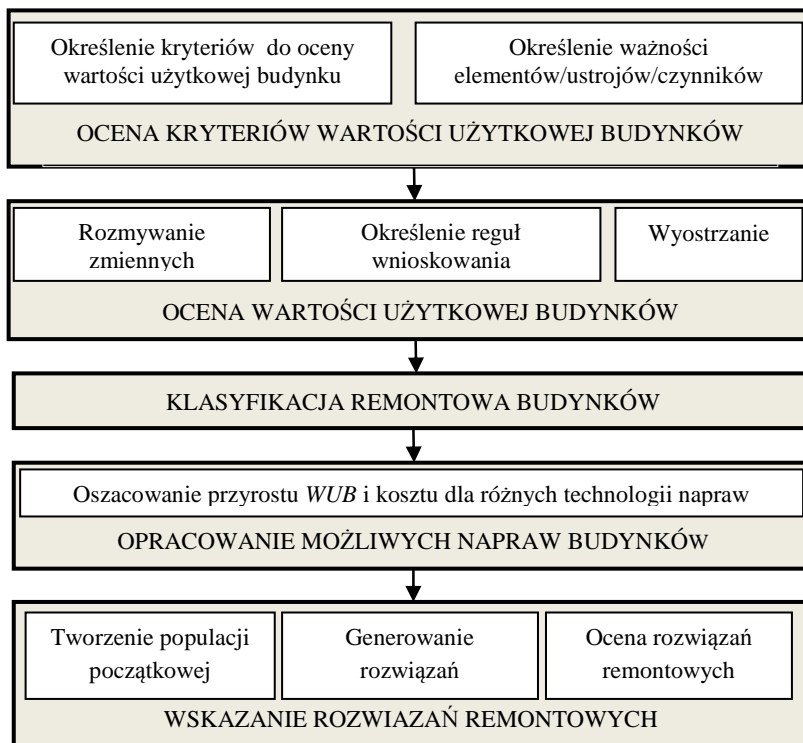
4.3. Algorytmizacja metody obliczeń

Ocena stanu budynków mieszkalnych (w zakresie technicznym, energetycznym oraz funkcjonalnym) jest podstawą podejmowania decyzji remontowych (zakresu remontu). Obecnie stosowane podejście, przy wyborze rozwiązań remontowych kierowanych do realizacji, oparte jest w dużej mierze na doświadczeniu i intuicji zarządcy. Ponadto ograniczenia finansowe w dysponowaniu środkami przeznaczonymi na remont przysparzają dużych trudności w podjęciu decyzji.

Celem opracowanego modelu decyzyjnego jest wspomaganie decyzji zarządcy w zakresie wyboru wariantów remontu lub przebudowy budynków mieszkalnych. Etapy rozwiązania poszczególnych etapów modelu wraz przyjętymi metodami do ich rozwiązania przedstawiono na rysunku 4.1.

Działanie modelu polega na realizacji pięciu etapów, które omówiono w dalszej części pracy. Są to:

1. Obliczenie wskaźnika przyjętych w pracy kryteriów K_j .
2. Ocena wartości użytkowej budynków WUB , będąca wskaźnikiem jakości stanu budynku.
3. Klasyfikacja budynków do remontu na podstawie obliczonej wartości użytkowej budynku WUB .
4. Opracowanie możliwych wariantów remontu budynku/ów na podstawie przeprowadzonej oceny jego elementów pod względem przyjętych w modelu kryteriów.
5. Optymalizacja w zakresie wyboru proponowanych wariantów remontu i wskazanie rozwiązania przynoszącego największy przyrost wartości użytkowej budynku/ów, przy założeniu ograniczenia w dysponowaniu środkami finansowymi.



Rys. 4.1. Etapy modelu decyzyjnego

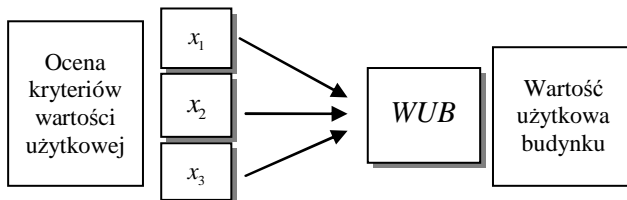
Źródło: Opracowanie własne

4.3.1. Kryteria oceny wartości użytkowej budynku

Do oceny wartości użytkowej budynku WUB przyjęto w pracy trzy kryteria, tj.: K_1 – stan techniczny, K_2 – stan energetyczny i K_3 – stan funkcjonalny (rys. 4.2). W pracy zaproponowano, aby ocenę:

- stanu technicznego x_1 przeprowadzić w oparciu o metodę „średniej ważonej” (Kucharska-Stasiak 1995; Prystupa 2004). Wskaźnik stopnia zużycia budynku wyrażony jest w skali 0–100%. Poszczególne elementy budynku oceniane są wizualnie, stąd też ocena ta wyraża również stan wizualny budynku.
- stanu energetycznego x_2 przeprowadzić z wykorzystaniem metody, zawartej w normie PN-B-02025. Pozwala ona na obliczenie wskaźnika wyrażonego w kWh/m² rok, określającego sezonowe zapotrzebowanie budynku na energię do ogrzewania.

— stanu funkcjonalnego x_3 przeprowadzić również w oparciu o metodę „średniej ważonej”, ale w tym przypadku wskaźnik oceny stanu wyrażony jest w skali 0÷5 pkt.



Oznaczenia:

x_1 , x_2 , x_3 – odpowiednio: ocena stanu technicznego, energetycznego, funkcjonalnego,

WUB – wartość użytkowa budynku.

Rys. 4.2. Kryteria oceny wartości użytkowej budynku

Źródło: Opracowanie własne

Ocena stanu technicznego budynku (stopnia zużycia)

Do oceny stanu technicznego x_1 przyjęto metodę „średniej ważonej”, która polega na ocenie wizualnej elementów budynku i na tej podstawie obliczenie oceny końcowej. Podstawą wykorzystania zaproponowanej metody jest określenie przez rzeczoznawcę (eksperta) procentowego stopnia zużycia każdego z ocenianych elementów:

$$x_1 = \sum_{i=1}^n \frac{w_{E_i} \cdot O_{E_i}^{K_1}}{100}, \quad (4.9)$$

gdzie:

w_{E_i} – waga ocenianego elementu stanu technicznego,

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

n – liczba ocenianych elementów przy ocenie stanu technicznego budynku.

Określono zbiór elementów/ustrojów budowlanych $E = \{E_1, E_2, \dots, E_N\}$, na podstawie których przeprowadza się ocenę stopnia zużycia budynku. Elementy/ustroje $E_i \in E$ dodatkowo mogą być złożone z wielu innych elementów e_i . Oceniane są, m.in. takie elementy/ustroje jak: ściany, stropy, dach, schody, balkony, wiatrołapy, itd. na podstawie zbioru czynników $E_i = \{u_1, u_2, \dots, u_p\}$ opisujących jego uszkodzenia, np. przy ocenie ścian: pęknięcia, osiadanie, odchylenie, zawilgocenie (na podstawie dokumentacji protokołów okresowej kontroli stanu budynków).

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 $O_{E_i}^{K_1}$, postępując się przyjętą skalą ocen lingwistycznych: D (dobra), ZA (zadowolająca), Ś (średnia), M (mierna), Z (zła).

Tabela 4.1. Elementy/ustroje budowlane i ich zakres oceny stanu technicznego

i	Element/ustrój budowlany E_i		Zakres oceny – elementy e_i	Uszkodzenia u_i
1	Ściany piwnic i fundamenty		konstrukcja ścian oraz fundamentów, izolacje pionowe i poziome, tynki	ubytki, pęknięcia, zarysowania, odspojenia tynku, osiadanie, odchylenia pionowe, zawilgocenie, korozja biologiczna
2	Ściany nadziemne		konstrukcja ścian wraz z tynkami wewnętrznymi	
3	Schody wewnętrzzklatkowe		konstrukcja schodów i spoczników wraz z okładziną schodową	
4	Stropy		konstrukcja stropów między kondygnacyjnych wraz z tynkami	
5	Dach (stropodach)		pokrycia dachowe, obróbki blacharskie, kominy	nieszczelność, odspojenia pokrycia od podłoża, pęknięcia, degradacja materiału pokrycia, korozja obróbek blacharskich
6	Balkony		plyta balkonu, posadzka, okładzina, balustrady, izolacja przeciwwilgociowa.	odspojenia, pęknięcia, zawilgocenie balkonu (tynk, płyta balkonu, posadzka), korozja obróbek blacharskich
7	Wiatrołapy		konstrukcja wiatrołapu, pokrycie dachowe	szczelność pokrycia dachowego odspojenia, pęknięcia, zawilgocenie ścian, tynków, korozja elementów metalowych
8	Elewacja		okładziny ścian zewnętrznych nadziemnych i cokołu	pęknięcia, zarysowania, odspojenia, zawilgocenia, przebarwienia, zabrudzenia, graffiti
9	Klatka schodowa		tynki i powłoki malarskie ścian, posadzki, balustrady	
10	Orynnowanie		rynny dachowe i rury spustowe	nieszczelność, uszkodzenia mechaniczne, korozja
11	Stożarka	okienna	okna mieszkań, klatek schodowych i piwnic	sprawność techniczna, szczelność, uszkodzenia mechaniczne, wizualne
12		drzwiowa	drzwi klatki schodowej	
13	Instalacja	elektryczna	instalacja wraz z osprzętem elektrotechnicznym	niesprawność łączników, gniazdek, zabezpieczeń i przewodów
14		c.o.	instalacja wraz z grzejnikami	nieszczelność, korozja, niedrożność przewodów, niesprawność zaworów,
15		wodna	instalacja wraz z zaworami	
16		kanalizacyjna		
17		gazowa		

Źródło: Opracowanie własne

Ocena stanu funkcjonalnego budynku

Do oceny stanu funkcjonalnego x_3 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 (tab. 4.2). Obliczanie stanu funkcjonalnego przeprowadza się według wzoru:

$$x_3 = \sum_{i=1}^k w_{C_i} \cdot O_{C_i}^{K_3}, \quad (4.10)$$

gdzie:

w_{C_i} – waga ocenianej cechy stanu funkcjonalnego,

$O_{C_i}^{K_3}$ – ocena cechy stanu funkcjonalnego [pkt],

k – liczba ocenianych cech C_i stanu funkcjonalnego budynku.

Określono zbiór cech budynku $C_i = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$, 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.

Tabela 4.2. Przyjęte cechy określające stan funkcjonalny budynku i czynniki ich oceny

Lp.	Cecha C_i	Czynniki oceny c_i
1	Użyteczność balkonu	<ul style="list-style-type: none"> — powierzchnia balkonu — wykończenie (nawierzchnia) płyty balkonu — bezpieczeństwo korzystania z balkonu (balustrady) — zabudowa balkonu — wygląd balkonu (zabudowa, balustrady, okładzina płyty balkonu)
2	Wejścia do budynku	<ul style="list-style-type: none"> — powierzchnia wiatrołapu oraz jego zabudowa — wygląd wiatrołapu oraz nawierzchni wejścia do budynku — usprawnienia komunikacyjne (podjazd dla osób niepełnosprawnych/ wózków dziecięcych, poręcze)
3	Komunikacja wewnętrzna	<ul style="list-style-type: none"> — wysokość poręczy, prześwity balustrady — wykończenie powierzchni schodów (bezpieczeństwo) — oświetlenie (automatyka oświetleniowa)
4	Wentylacja	<ul style="list-style-type: none"> — dopływ powietrza z zewnątrz budynku (nawiewniki) — wymiana powietrza (kanały wentylacyjne) — inne usprawnienia
5	Ochrona mienia	<ul style="list-style-type: none"> — zabezpieczenia przed nieuprawnionym wejściem do budynku — zabezpieczenia antywłamaniowe i alarmowe mieszkań — instalacje monitorujące

Źródło: Opracowanie własne

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.

Ocena funkcjonalna cech budynku C_i wyrażona jest w skali 0÷5 pkt. Ekspert na podstawie stwierdzonego stanu cechy, wyrażonej czynnikami c_i , przypisuje jej ocenę $O_{C_i}^{K_3}$ posługując się zaproponowaną skalą ocen lingwistycznych: D (dobra), ZA (zadowolający), Ś (średnia), M (mierna), Z (zła), B (brak elementu), którym przypisano oceny od 5 do 0 wyrażone w pkt.

Ocena stanu energetycznego budynku

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 x_2 proponuje się przeprowadzić w oparciu o obowiązującą metodę pozwalającą określić sezonowe zapotrzebowanie budynku na energię do ogrzewania Q_h , wyrażone w kWh/m²rok (PN-B-02025-2001). Wartości współczynników przenikania przegród budynku określono na podstawie normy PN-EN 6946:1998 „Komponenty budowlane i elementy budynku-Opór cieplny i współczynniki przenikania ciepła-Metoda obliczania”.

Procedura obliczania wskaźnika O_{K_2} wg „metody uproszczonej” sprowadza się do:

- obliczenia współczynnika kształtu A/V na podstawie kubatury ogrzewanej części budynku V [m³] i pola powierzchni przegród zewnętrznych A [m²],
- obliczenia strat ciepła przez przenikanie dla przegród budowlanych Q_i [kWh/rok],
- obliczenia strat ciepła na podgrzanie powietrza wentylacyjnego Q_v [kWh/rok],
- obliczenia zysków ciepła od promieniowania słonecznego Q_s [kWh/rok],
- obliczenia wewnętrznych zysków ciepła Q_i [kWh/rok],
- obliczenia wartości wskaźnika x_2 określającego obliczeniowe zapotrzebowanie na energię końcową (ciepło) do ogrzewania budynku w sezonie grzewczym.

Wskaźnik x_2 wyraża obliczeniowe zapotrzebowanie budynku na energię w ciągu roku na 1 m² powierzchni użytkowej. Wskaźnik jest miarą efektywności energetycznej budynku – wyrażonej w kWh/m²rok:

$$x_2 = \frac{Q_h}{A}, \quad (4.11)$$

gdzie:

A – pole powierzchni przegród zewnętrznych [m²],

Q_h – sezonowe zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania [kWh/rok],

$Q_h = Q_t + Q_v - 0,9 \cdot (Q_s + Q_i)$.

Informacje dotyczące parametrów fizycznych badanych budynków charakteryzujących jego przegrody, okna, drzwi, bryłę budynku oraz parametry instalacji wewnętrznych zebrano na podstawie dokumentacji udostępnionej przez zarządy spółdzielni mieszkaniowych, w których prowadzono badania.

Jak wynika z przeprowadzonych wizji lokalnych w badanych spółdzielniach mieszkaniowych przy ocenie energetycznej wielorodzinnych budynków mieszkalnych należy zwrócić uwagę na elementy budynku, których wymiana bądź modernizacja może przynieść duże oszczędności w zużyciu energii, m. in.: stolarka okienna mieszkań, klatek schodowych, piwnic, stolarka drzwiowa wejściowa, stropodach oraz strop piwnic, ściany zewnętrzne części nadziemnej i przyziemnej, instalacja grzewcza.

4.3.2. Określenie wag elementów /ustrojów oraz czynników

Elementy i ustroje budynku w różnym stopniu decydują o jego stateczności, nośności, bezpiecznej pracy konstrukcji, użyteczności itd. Wpływa to na konieczność zwrócenia szczególnej uwagi na wybór elementów, których stan odzwierciedla przyjęte w pracy kryteria oceniające wartość użytkową budynku.

W proponowanej do oceny stanu technicznego i funkcjonalnego metodzie „średniej ważonej” wymagane jest określenie ważności (wagi) ocenianych Elementów i cech budynku. Zrezygnowano z powszechnie stosowanego sposobu ustalania ważności elementów, który polega na określaniu ich w oparciu o udział w koszcie wzniesienia budynku – wymaga bardzo pracochłonnych obliczeń, jak również z określenia ich na podstawie informacji zawartych w takich opracowaniach jak BCO (Biuletyn Cen Obiektów Budowlanych). W tym drugim przypadku, rozbieżności, jakie mogą występować pomiędzy budynkami rozpatrywanymi a ujętymi w BCO (dotyczące technologii wzniesienia, ilości kondygnacji, rodzaju użytych materiałów, itd.) mogą prowadzić do niewłaściwych ustaleń.

Proponowanym rozwiązaniem do ustalenia ważności ocenianych elementów /ustrojów budowlanych stanu technicznego i cech stanu funkcjonalnego jest pseudo-rozmyte skalowanie, które Urbański (2001) stosował do ustalenia ważności czynników wpływających na stan techniczny budynków.

Ważność każdego elementu/ustroju i cechy kryteriów K_j określana jest za pomocą wyrażen lingwistycznych L , którym przypisana jest odpowiadająca mu skala ważności w_L .

Procedura obliczania wag składa się z następujących kroków:

1. Określenie przez ekspertów wpływu i -tego elementu na kryterium K_1, K_3 posługując się następującą skalą ważności (wag) elementów/ustrojów/cech budynków, tj.: BD (bardzo duży), D (duży), Ś (średni), M (mały), BM (bardzo mały), z odpowiadającymi im wartościami: 0,9; 0,7; 0,5; 0,3; 0,1;
2. Obliczenie dla każdego i -tego elementu j -tego kryterium stopnia przynależności opinii ekspertów μ_L^{ij} do zmiennej lingwistycznej $L = \{BD, D, S, M, BM\}$.

$$\mu_L^{ij} = \frac{O_L^{ij}}{N}, \quad (4.12)$$

gdzie:

O_L^{ij} – liczba ocen ekspertów zgodnych dla każdej zmiennej lingwistycznej L dla i -tego elementu przy czym $i = 1, 2, \dots, k$, dla j -tego kryterium $j = 1, 2, 3$;

N – liczba ekspertów biorących udział w ocenie.

3. Obliczenie ważności (wagi) w_{ij}^* każdego i -tego elementu, j -tego kryterium w sposób następujący:

$$w_{ij} = \sum_L^M w_L \cdot \mu_L^{ij}, \quad (4.13)$$

$$w_{ij}^* = \frac{w_{ij}}{\sum_i^n w_{ij}}, \quad (4.14)$$

gdzie:

w_L – wartości wag odpowiadające zmiennym lingwistycznym L ,

M – liczba stosowanych skal ważności $M = 9$ (tj. 5 podstawowych i 4 pośrednie),

n – liczba elementów j -tego kryterium.

4.3.3. Ocena wartości użytkowej budynku

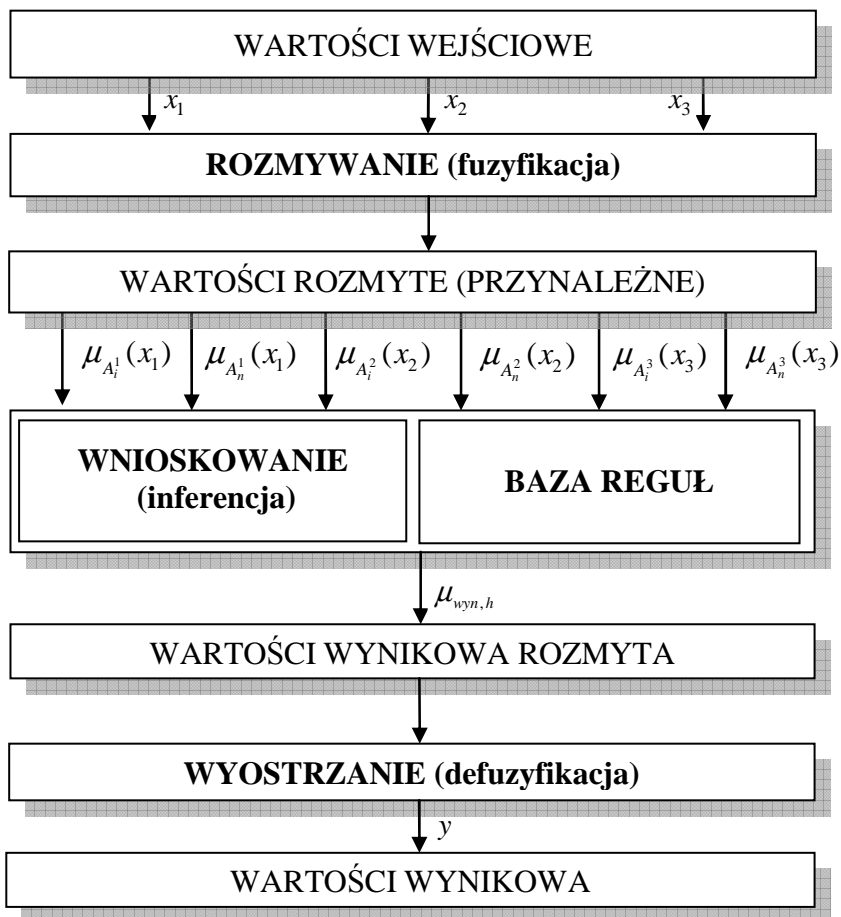
Ocena wartości użytkowej budynków *WUB* jest podstawą przy podejmowaniu decyzji w zakresie napraw i modernizacji budynku. Wartość użytkowa budynku określana jest na podstawie przyjętych kryteriów K_j . Zastosowanie teorii zbiorów rozmytych przy ocenie wartości użytkowej budynku wynika ze sposobu wnioskowania, który oparty jest na wiedzy eksperckiej zapisanej w postaci bazy reguł rozmytych. Określa ona wpływ każdego z przyjętych kryteriów na wartość użytkową budynku. Informacje te mają charakter nieprecyzyjny (ogólnikowy) odnoszący się do pewnego zakresu wartości, wyrażonego przy użyciu określeń lingwistycznych jak np.: dobry, zadowolający, średni liches, zły.

Z uwagi na rodzaj możliwej do pozyskania informacji zastosowano model rozmyty, oparty na wnioskowaniu (TSK) Takagi-Sugeno-Kanga, którego niewątpliwą zaletą w porównaniu do systemów klasy Mamdaniego jest znaczne uproszczenie implementacji oraz większa efektywność obliczeniowa (Mamdani 1977; Takagi i Sugeno 1985; Abraham 2005; Kaur i Kaur 2012).

Połączenie opisu lingwistycznego (w przesłankach) oraz analitycznego (funkcja położenia wyjściowego singletonu) może stanowić uproszczenie w przypadku projektowania systemów, co do których znana jest analityczna część opisywanego zjawiska. Wadą systemów TSK jest duża liczba parametrów koniecznych do zdefiniowania dla każdej reguły oraz nieintuicyjne formowanie ostatecznego wyniku (w porównaniu do modelu Mamdaniego). Dodatkowo, ze względu na użycie singletonów w konkluzjach reguł, nie jest możliwe zastosowanie interpretacji logicznej, jak również wielu operatorów wyostrażania.

Ocena wartości użytkowej budynku *WUB* jest wynikiem przeprowadzenia trzech zasadniczych procesów, których etapy zilustrowano na rysunku 4.3:

1. **Fuzyfikacja:** określanie stopienia przynależności μ_{A_i} do zbiorów rozmytych zmiennych wejściowych K_j .
2. **Inferencja:** obliczanie wartości wynikowej funkcji przynależności $\mu_{wyn(n),h}$ przy zastosowaniu operatorów wnioskowania *prod* lub *min*.
3. **Defuzyfikacja:** obliczanie ostrej wartości wyjścia y przy zastosowaniu metody środka ciężkości.



Oznaczenia:

x_1, x_2, x_3 – kolejno oceny poszczególnych zmiennych wejściowych K_j ,

$\mu_{wyn(n),h}$ – wynikowa wartość funkcja przynależności dla h -tej reguły,

y – wyostrzona wartość końcowa określająca WUB ,

$\mu_{A_1^1}(x_1), \mu_{A_1^n}(x_1), \mu_{A_2^1}(x_2), \mu_{A_2^n}(x_2), \mu_{A_3^1}(x_3), \mu_{A_3^n}(x_3)$ – stopnie przynależności ocen x_j do i -tych zbiorów rozmytych zmiennych wejściowych K_j .

Rys. 4.3. Schemat blokowy działania algorytmu metody na etapie oceny wartości użytkowej

Źródło: Opracowanie własne

4.3.3.1. Rozmywanie zmiennych wejściowych – fuzyfikacja

Budowę modelu decyzyjnego w zakresie oceny wartości użytkowej budynku rozpoczyna określenie zmiennych wejściowych K_j . Każda z nich jest reprezentowana przez zmienną lingwistyczną wyrażoną termami. Każda z term jest zbiorem rozmytym A_j^i w pewnej przestrzeni X_j (zbiornie wartości x_j dla ocen według kryterium j , będącym zbiorem uporządkowanych par):

$$A_j^i = \left\{ (x, \mu_{A_j^i}(x_j)) : x_j \in X_j, \mu_{A_j^i}(x_j) \in [0,1] \right\}, \mu_{A_j^i}(x_j) X_j \rightarrow [0,1] \quad (4.15)$$

gdzie:

$\mu_{A_j^i}(x_j)$ – stopień przynależności wartości x_j do zbioru rozmytego A_j^i .

Funkcja przynależności zbiorów rozmytych zmiennej lingwistycznej modelu reprezentowana za pomocą zbioru wartości liczbowych z odpowiadającymi im stopniami przynależności $\mu_{A_j^i}(x_j)$ do poszczególnych zbiorów rozmytych A_j^i zmiennej lingwistycznej K_j . Każdy ze zbiorów rozmytych, oprócz skrajnych, jest wyrażony za pomocą trójkątnych funkcji przynależności, których wierzchołki są usytuowane w środku każdego z i -przyjętych przedziałów. Liczba przedziałów jest uzależniona od przyjętego lub akceptowanego sposobu podziału (Rusek 2010). Rozmywanie zmiennych wejściowych wymaga określenia liczby zbiorów rozmytych oraz ustalenia charakterystyk i kształtu opisujących je funkcji przynależności. W pracy założono rozmycie każdej zmiennej wejściowej w taki sposób, aby podział ten pokrywał się ze sposobem kategoryzacji, obowiązującym w praktyce.

Dla zmiennej wejściowej K_1 opisującej stan techniczny przyjęto pięć kategorii ocen opisane pięcioma zbiorami rozmytymi, z których każdy, oprócz skrajnych, jest wyrażony za pomocą trójkątnych funkcji przynależności. Zakres odpowiadających im wartości przedstawiono w tabeli 4.3.

Tabela 4.3. Klasyfikacja stanu technicznego budynku

Oznaczenie	Zbiory rozmyte	Wartości zbiorów rozmytych zmiennej K_1 [%]
D	dobry	0–15
ZA	zadowolający	16–30
Ś	średni	31–50
L	liczy	51–70
Z	zły	71–100

Źródło: Opracowano na podstawie (Baranowski 2000, Dydyk 2009)

Dla drugiej zmiennej wejściowej K_2 stan energetyczny, przyjęto kategoryzację wynikającą z zaproponowanego podziału obiektu na klasy energetyczne (Pater i Magiera 2011). Pozostając w zgodzie z przyjętym nazewnictwem, dziedzinę tej zmiennej podzielono na sześć klas energetycznych. Zakres wartości każdej z klas przedstawiono w tabeli 4.4.

Tabela 4.4. Klasyfikacja stanu energetycznego budynku

Oznaczenie	Zbiory rozmyte	Wartości zbiorów rozmytych zmiennej K_2 [kWh/m ² rok]
NE	niskoenergetyczny	20–45
EO	energooszczędny	45–80
ŚEO	średnioenergooszczędny	80–100
ŚEC	średnioenergochłonny	100–150
EC	energochłonny	150–250
WEC	wysokoenergochłonny	powyżej 250

Źródło: Opracowanie na podstawie (Pater i Magiera 2011)

Trzecia zmienna K_3 reprezentująca stan funkcjonalny została podzielona na przedziały (termy), które opisano trzema zbiorami rozmytymi o trójkątnym kształcie przynależności. Zakres odpowiadających im wartości przedstawiono w tabeli 4.5.

Tabela 4.5. Przyjęta klasyfikacja stanu funkcjonalnego budynku

Oznaczenie	Zbiory rozmyte	Wartość zbiorów rozmytych zmiennej K_3 [pkt]
Z	zły	0–2,5
Ś	średni	0–5
D	dobry	2,5–5

Źródło: Opracowanie własne

4.3.3.2. Wnioskowanie – inferencja

Drugim etapem modelu rozmytego jest blok wnioskowania. Jest to podstawowa część modelu przetwarzająca dane (oceny) wejściowe x_1, x_2, x_3 na odpowiednią wartość wyjścia y . Wnioskowanie odbywa się na podstawie bazy reguł, która opisuje relacje jakie zachodzą między zmiennymi wejściowymi i wyjściowymi (w kategoriach wartości lingwistycznych). Proces wnioskowania systemu rozmytego składa się z dwóch zasadniczych elementów:

1. Bazy reguł.
2. Mechanizmu wnioskującego.

1. Baza reguł

Stanowi zbiór reguł, w których zapisane są informacje o związkach, jakie zachodzą pomiędzy przesłankami stanowiącymi zmienne wejściowe a konkluzją reprezentującą zmienną wyjściową. Wielkość wyjściowa (konkluzja reguły) w przyjętym modelu Takagi-Sugeno-Kanga jest zapisana w formie funkcyjnej zależności $y = f(x_1, x_2, x_3)$ między wejściami i wyjściami, natomiast w części przesłankowej reguła ta ma charakter rozmyty. Dla przyjętej struktury modelu bazę reguł możemy zapisać:

$$\text{if } \mu_{A_1}(x_1) \geq 0 \text{ and } \mu_{A_2}(x_2) \geq 0 \text{ and } \mu_{A_3}(x_3) \text{ then } \mu_n(y) \geq 0, \quad (4.16)$$

gdzie:

$\mu_n(y)$ – stopień przynależności zmiennej wyjściowej y do singletonu n wartości użytkowej budynku WUB ,

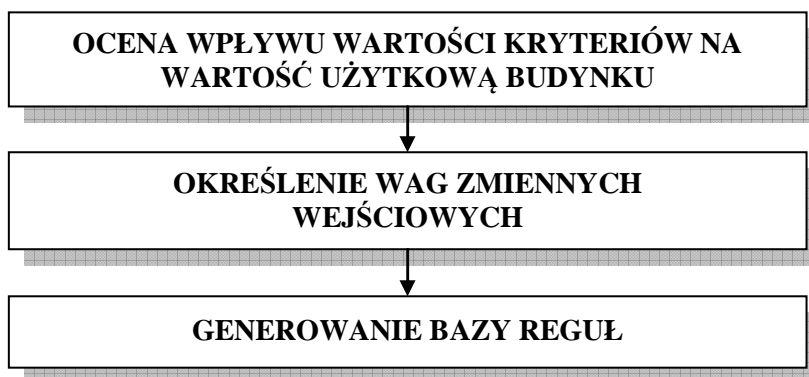
$\mu_{A_j}(x_j)$ – stopień przynależności wartości ocen zmiennej wejściowej x_1, x_2, x_3

do term t, u, v .

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, co zilustrowano na rysunku 4.5. Konkluzja każdej z reguł zapisana jest po prawej stronie równania. W rozpatrywanym modelu zmienna wyjściowa wyrażona jest przy użyciu pięciu singletonów n przedstawiających wartość użytkową budynku: BW (bardzo wysoka), W (wysoka), Ś (średnia), P (przeciętna), N (niska), opisujących wartość użytkową budynku WUB .

Tworzenie bazy reguł zazwyczaj odbywa się metodami eksperckimi lub adaptacyjnymi. W przypadku, gdy określa ją ekspert prowadzi to do sprzeczności przy dużej liczbie reguł. Natomiast zastosowanie metod adaptacyjnych przedstawionych w pracach (Wang i Mendel 1992; Nozaki i in. 1997; Chen i Lee 2003; Ishibuchi i Takashi 2005), wymaga dużej ilości danych empirycznych, na podstawie których jest ustalana.

Z powyższych względów w pracy zastosowano autorski algorytm generowania bazy reguł systemu (Bucoń i Sobotka 2012), oparty na wiedzy eksperckiej w zakresie oceny wartości użytkowej budynku. Przyjęta w pracy metodyka tworzenia bazy reguł wymaga przeprowadzenia czynności, których etapy zilustrowano na rysunku 4.4.



Rys. 4.4. Etapy algorytmu generowania bazy reguł

Źródło: (Bucoń i Sobotka 2012)

1.1. Ocena wpływu wartości kryteriów na wartość użytkową budynku

W tym celu pozyskiwana jest wiedza od ekspertów, których zadaniem jest przypisanie każdemu z pięciu singletonów zmiennej wyjściowej WUB (BW, W, Ś, P, N) odpowiedniego zakresu wartości (wyrażonych ocenami lingwistycznymi) każdej z trzech zmiennych wejściowych K_1 (D, ZA, Ś, L, Z), K_2 (NE, EO, ŚEO, ŚEC, EC, WEC), K_3 (W, Ś, N), np. jeśli $K_1 = D$ i $K_2 = NE$ i $K_3 = W$ to $WUB = BW$.

1.2. Obliczanie ważności (wag) kryteriów

Proponowanym rozwiązaniem jest zastosowanie rozmytego rozszerzenia metody FAHP (*Fuzzy Analytic Hierarchy Process*) przedstawionej w pracy (Jaśkowski i in. 2010). Umożliwia ona ustalenie istotności kryteriów poprzez agregację ocen grupy ekspertów. Procedura ustalenia wag kryteriów wymaga przeprowadzenia następujących obliczeń:

- porównywanie parami ważności kryteriów,
- ocena zgodności opinii ekspertów,
- agregacja opinii ekspertów,
- rozwiązanie zadania programowania liniowego,
- obliczenie wag kryteriów.

Agregacja opinii ekspertów ma na celu wyłonienie jednej wspólnej opinii będącej pewnym kompromisem ze względu na brak zgodności preferencji decydentów. W procesie decyzyjnym może uczestniczyć k ekspertów. Każdy z nich dokonuje $m = n \cdot (n - 1) / 2$ porównań parami kryteriów na danym poziomie hierarchii problemu (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.

W wyniku operacji porównywania parami powstaje zbiór K macierzy $A_k = \{a_{ijk}\}$, $i = 1, 2, \dots, n-1$, $j = 2, 3, \dots, n$, $j > i$, $k = 1, 2, \dots, K$, gdzie a_{ijk} oznacza ocenę preferencji kryterium i względem j (czyli iloraz wag kryteriów i i j), wyrażoną w przyjętej skali ocen i dokonaną przez eksperta k . Proponuje się modelować zagregowane opinie za pomocą liczb rozmytych \tilde{a}_{ij} z funkcjami przynależności $\mu_{\tilde{a}_{ij}}(x) \in [0, 1]$, tworzonymi w sposób następujący:

— przedział $[l_{ij}, m_{ij}]$ należy podzielić na t przedziałów o jednakowej długości:

$$[s_1^-, s_2^-), [s_1^-, s_2^-), \dots, (s_{t-1}^-, s_t^-], \quad s_t^- = m_{ij}, \quad s_0^- = l_{ij}.$$

— przedział $[m_{ij}, u_{ij}]$ należy podzielić na t przedziałów o jednakowej długości:

$$[s_1^+, s_2^+), [s_1^+, s_2^+), \dots, (s_t^+, u_{ij}], \quad s_1^+ = m_{ij}, \quad u_{ij} = s_{t+1}^+.$$

— wartości funkcji przynależności należy obliczyć z następujących zależności:

$$\mu_{\tilde{a}_{ij}}(s_l^-) = \frac{g_l^-}{v^-}, \quad l = 1, 2, \dots, t, \quad (4.17)$$

$$\mu_{\tilde{a}_{ij}}(s_l^+) = \frac{g_l^+}{v^+}, \quad l = 1, 2, \dots, t, \quad (4.18)$$

gdzie:

v^- – liczba opinii a_{ijk} mniejszych równych od m_{ij} ,

v^+ – liczba opinii a_{ijk} większych równych od m_{ij} ,

g_l^- – liczba opinii a_{ijk} należących do przedziału $[l_{ij}, s_l^-]$,

g_l^+ – liczba opinii a_{ijk} należących do przedziału $[s_l^+, u_{ij}]$.

Procedura ta jest oparta na metodyce reprezentacji liczb rozmytych za pomocą α -przekrojów trójkątnych funkcji przynależności:

$$S_{ij}^\alpha = \{x \in \mathfrak{R} : \mu_{\tilde{a}_{ij}}(x) \geq \alpha\} = [l_{ij}(\alpha), u_{ij}(\alpha)], \quad \forall \alpha \in (0, 1]. \quad (4.19)$$

Wektor wag kryteriów dla każdego przekroju ustalany jest w taki sposób, aby spełniona była nierówność (w sensie rozmytym):

$$\begin{cases} w_i - w_j u_{ij}(\alpha) \lesssim 0 \\ -w_i + w_j l_{ij}(\alpha) \lesssim 0 \end{cases}, \quad i = 1, 2, \dots, n-1, \quad j = 2, 3, \dots, n, \quad j > i. \quad (4.20)$$

Przynależność rozwiązania (wektora wszystkich wag) do obszaru rozwiązań dopuszczalnych \tilde{P} (w sensie rozmytym) określa funkcja:

$$\mu_{\tilde{P}}(w) = [\min\{\mu_1(R_1 w), \dots, \mu_m(R_m w)\} \mid w_1 + \dots + w_n = 1]. \quad (4.21)$$

Wyznaczenie satysfakcjonującego rozwiązania polega na minimalizacji maksymalnych wartości funkcji przynależności $\mu_s(R_s w)$, co zapewnia maksymalizację minimalnych wartości funkcji $\mu_{s+1}(R_{s+1} w)$ dla s nieparzystych i maksymalizację minimalnych wartości funkcji $\mu_{s-1}(R_{s-1} w)$ dla s parzystych. Problem sformułowano w postaci zadania programowania liniowego (Jaśkowski i in. 2010):

$$\begin{cases} \min z = \lambda \\ d\lambda + R_s w \geq d, \quad s=1, 2, \dots, 2m \\ \sum_{i=1}^n w_i = 1, \\ \lambda \geq 0, \quad w_i > 0, \quad i=1, 2, \dots, n. \end{cases} \quad (4.22)$$

Wartość zmiennej λ określa stopień satysfakcji z uzyskanego rozwiązania (w sensie spełnienia wszystkich warunków), a także stopień zgodności względnych preferencji. Oceny można uznać za zgodne, a rozwiązanie za w pełni satysfakcjonujące, gdy $\lambda \geq 1$. Zagregowana wartość wag kryteriów obliczana jest ze wzoru:

$$\bar{w}_i = \frac{\sum_{j=1}^L \alpha_j \cdot w_i(\alpha_j)}{\sum_{j=1}^L \alpha_j}, \quad i=1, 2, \dots, n, \quad (4.23)$$

gdzie:

$w_i(\alpha_j)$ – waga kryterium dla przekroju α_j .

1.3. Generowanie bazy reguł systemu wnioskującego

Wymaga to przeprowadzenia trzech etapów obliczeniowych, tj.:

1. Określenie przynależności przesłanek do zmiennej wyjściowej.
2. Obliczenia wartości konkluzji reguł.
3. Wyboru konkluzji reguł – na podstawie obliczonej wartości.

1.3.1. Określenie przynależności przesłanek do zmiennej wyjściowej

Obliczanie stopni przynależności zbiorów rozmytych zmiennych wejściowych K_1, K_2, K_3 do wartości zmiennej wyjściowej WUB wyrażonej singletonami n (N, P, Ś, W, BW).

Na podstawie zebranych informacji od ekspertów obliczane są stopnie przynależności $\mu_n(A_j^i)$ poszczególnych i -tych zbiorów rozmytych j -tych zmiennych wejściowych do n -tych singletonów wartości użytkowej budynku.

$$\mu_n(A_j^i) = O_{A_j^i, n} / L, \quad n = N, P, \dots, BW, \quad (4.24)$$

gdzie:

$O_{A_j^i, n}$ – liczba ekspertów potwierdzających następującą regułę „jeżeli oceny według kryterium j należą do termu A_j^i , to zmienna wejściowa należy do singletonu n zmiennej wyjściowej WUB ”,
 L – liczba wszystkich ekspertów.

1.3.2. Obliczenie wartości konkluzji reguł

Obliczanie wartości konkluzji reguł K_h . Liczba reguł h jest równa iloczynowi zbiorów rozmytych zmiennych wejściowych K_j . Dla każdego A_j^i , wybierany jest numer zbioru rozmytego s_i^j , dla którego funkcja przynależności przyjmuje maksymalną wartość.

$$\mu_n(S_i^j) = \max\{\mu_{n=N}(A_i^j); \mu_{n=P}(A_i^j); \dots; \mu_{n=BW}(A_i^j)\}, \quad (4.25)$$

W dalszej kolejności dla każdej wygenerowanej reguły R_h obliczana jest konkluzja K_h :

$$K_h = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^3 w_j \cdot \mu_n(S_i^j) \cdot z, \quad (4.26)$$

gdzie:

z – zastępcza wartość n -tego singletonu $\mu_n(S_i^j)$, przy czym wartościom $z(1, 2, 3, 4, 5)$ odpowiadają singletony $n(N, P, S, W, BW)$;

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

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

1.3.3. Wybór konkluzji reguł

Każdej części przesłankowej h -tej reguły przyporządkowywany jest n -ty singleton zmiennej wyjściowej WUB – stanowiący konkluzję. Wybór singletonu odbywa się na podstawie obliczonej wartości wskaźnika K_h .

Ocena przynależności h -tej reguły do n -tego singletonu o_h^n obliczana jest na podstawie poniższej formuły:

$$o_h^n = \frac{1}{|z - K_h|}, \quad \forall n(N, P, \dots, BW), \quad \forall h=1, 2, \dots, 90. \quad (4.27)$$

Jako konkluzję h -tej reguły przyjmowany jest singleton n , którego ocena przynależności o_h^n jest większa. Zapisano to w sposób następujący:

$$y_h = \max \{o_h^N, o_h^P, \dots, o_h^{BW}\}, \quad \forall h=1, 2, \dots, 90. \quad (4.28)$$

2. Mechanizm wnioskowania

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

Wnioskowanie na podstawie bazy reguł odbywa się w dwóch etapach:

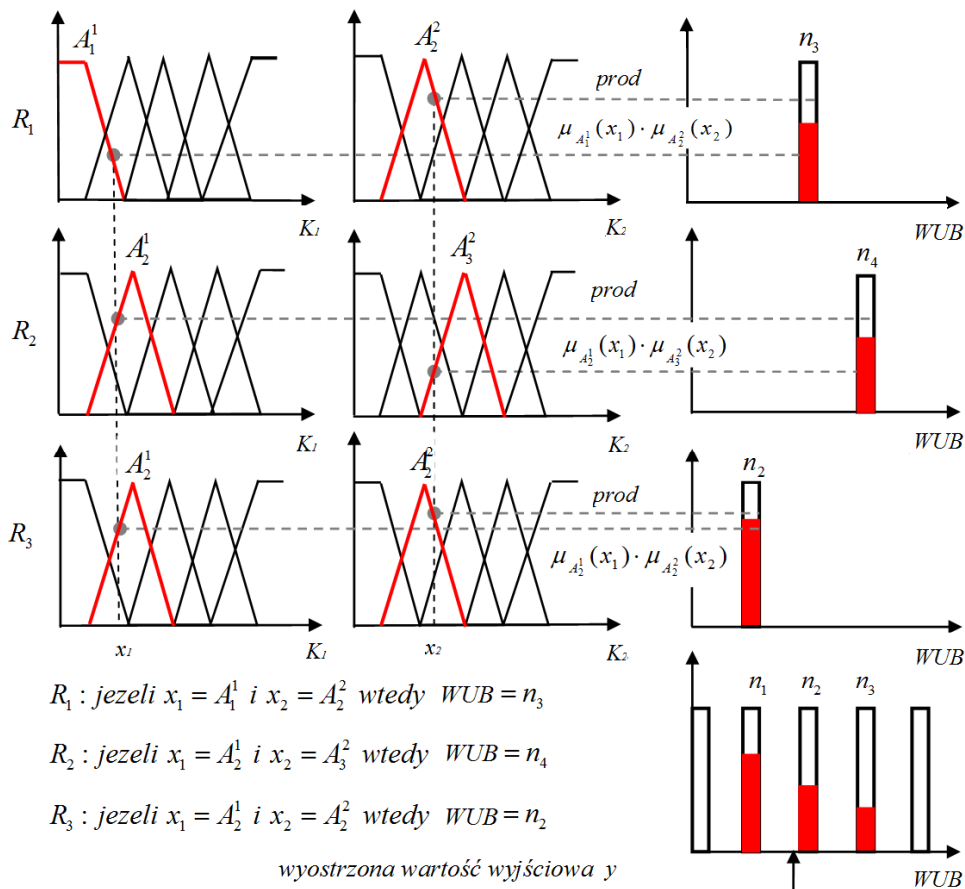
1. Obliczenie stopnia przynależności μ_{A_i} przesłanek $i = t, u, v$ będących zbiorami rozmytymi każdej z trzech zmiennych wejściowych x_j .
2. Obliczenie stopnia spełnienia całego warunku (reguły) jako funkcji przynależności iloczynu zbiorów rozmytych obliczanego przy użyciu operatora *prod*:

$$\mu_{\text{wyn}(n), h} = \text{prod}(\mu_{A_i}(x_1) \cdot \mu_{A_j}(x_2) \cdot \mu_{A_k}(x_3)) \quad (4.29)$$

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

Graficzne przedstawienie procesu wnioskowania w oparciu o trzy reguły $R_{h=3}$ zilustrowano na rysunku 4.5. Liczba wszystkich reguł $h = 90$ wynika z iloczynu zbiorów rozmytych A_i^j zmiennych wejściowych K_j .

Dla każdej z reguł pokazano sposób wnioskowania przy użyciu operatora *prod*. Agregacja aktywowanych reguł odbywa się przy zastosowaniu operatora *max*. Wartość ostra zmiennej wyjściowej y obliczana jest w procesie defuzyfikacji przy zastosowaniu metody sumy ważonej (Takagi i Sugeno 1985).



Oznaczenia:

n_1, n_2, \dots, n_5 – odpowiednie wartości singletonów zmiennej WUB ,

R_1, R_2, R_3 – reguły systemu wnioskującego.

Rys. 4.5. Proces wnioskowania systemu według implikacji *prod* oraz defuzyfikacja

Źródło: Opracowanie własne

4.3.3.3. Defuzyfikacja – wyostrzenie

Obliczanie wartości użytkowej budynku WUB , jest wynikiem aktywacji konkluzji poszczególnych reguł systemu. W procesie wyostrzenia (defuzyfikacji), dla modelu Takagi-Sugeno-Kanga przyjęto metodę „sumy ważonej” (Takagi i Sugeno 1985).

Wyostrzona wartość użytkowa budynku y wyznaczana jest jako średnia ważona z wartości otrzymywanych aktywowanych reguł:

$$y = \frac{\sum_{h=1}^{90} \mu_{wyn(n),h} \cdot y_h}{\sum_{h=1}^{90} \mu_{wyn,h}}, \quad (4.30)$$

gdzie:

y_h – wartość n -tego singletonu zmiennej wyjściowej WUB dla h -tej reguły, dla n (N, P, Ś, W, BW) z odpowiadającymi im wartościami 0, 25, 50, 75, 100 pkt.

$\mu_{wyn(n),h}$ – wartość wynikowej funkcji przynależności dla h -tej reguły.

4.3.4. Klasyfikacja budynków do remontu i określanie napraw

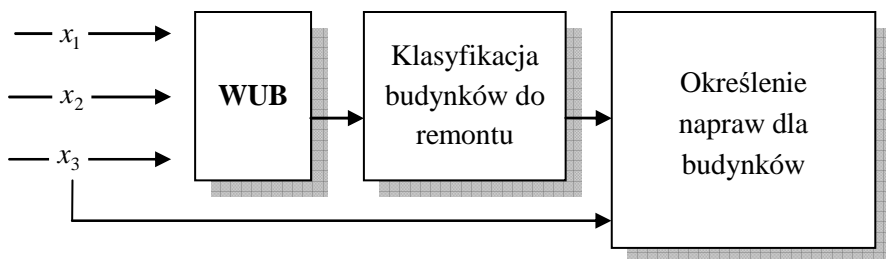
Wskazanie budynków do naprawy odbywa się na podstawie obliczonej wartości użytkowej budynków WUB . Jeśli ocenie poddawanych jest kilka budynków $B = \{B_1, B_2, \dots, B_m\}$, możliwe są dwie drogi postępowania, tj.:

1. Przyjąć do obliczeń wszystkie budynki (bez względu na ocenę WUB).
2. Wybrać spośród budynków te, dla których ocena WUB jest poniżej ustalonej wartości progowej.

Naprawy (zakres, technologia wykonania) dla wytypowanych budynków ustalane są na podstawie przeprowadzonej oceny elementów stanu technicznego, energetycznego i funkcjonalnego. Zadaniem zarządcy jest zaproponowanie odpowiedniej technologii przeprowadzenia naprawy (najlepiej w kilku wariantach), dla których wymagane jest oszacowanie kosztu ich przeprowadzenia oraz obliczenie przyrostu wskaźników przyjętych w pracy kryteriów (wg pkt 4.3.1). Zakres prac naprawczych, proponowane na tym etapie, powinien umożliwić poprawę stanu budynku do poziomu wymagań ujętych 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), zbiór możliwych do przeprowadzenia napraw. Każda naprawa $w_{ir} \in W$ może być wykonana na wiele możliwych sposobów, tzw. wariantów, z których każdy przedstawia inne Rozwiązanie pod względem zastosowanych materiałów, technologii wykonania oraz kosztów ich przeprowadzenia.

Schemat procesu decyzyjnego klasyfikacji budynków do remontu i określenia dla nich zbioru napraw przedstawiono na rysunku 4.6.



Rys. 4.6. Ogólny schemat wyboru napraw dla budynków i podstawa ich określania

Źródło: Opracowanie własne

4.3.5. Ocena proponowanych napraw budynku

Ocena i -tych elementów budynku stanowi podstawę do określenia potrzebnych działań remontowych. Proponowane naprawy mogą w różnym stopniu wpływać na poprawę przyjętych j -tych kryteriów WUB . Mogą zostać wykonane na wiele różnych sposobów, tzw. wariantów $r = 1, \dots, v$, z których każdy przedstawia inne rozwiązanie pod względem zastosowanych materiałów, technologii wykonania oraz kosztów ich przeprowadzenia.

Oszacowanie przyrostu wartości r -tej naprawy dla i -tego elementu j -tego kryterium WUB w l -tym budynku przeprowadzane jest według równania (2):

$$\Delta_{ijr} = \left| O_{ij} - P_{ij} \right| \cdot \frac{O_{ijrl}}{P_r} \cdot w_{ij}, \quad \forall j = 1, 2, 3, \quad \forall r = 1, \dots, v \quad \forall l = 1, \dots, m, \quad (4.31)$$

gdzie:

P_{ij} – maksymalna wartość wskaźnika oceny i -tego elementu dla j -tego

kryterium, przy czym dla: $P_{i1} = 0$ [%], $P_{i2} = 0$ [m²K/W], $P_{i3} = 5$ [pkt],

O_{ij} – ocena i -tego elementu dla j -tego kryterium,

P_r – maksymalna wartość (możliwa do uzyskania) oceny naprawy $P_r = 10$ [pkt],

O_{ijrl} – ocena wpływu r -tej naprawy na poprawę stanu i -tego elementu przyjętego do oceny j -tego kryterium w l -tym budynku,

w_{ij} – waga i -tego elementu względem j -tego kryterium ($\sum_{i=1}^n w_{ij} = 1, \quad \forall j = 1, 2, 3$).

Ocena proponowanych napraw budynków O_{ijrl} przeprowadzana jest przy użyciu następujących określeń lingwistycznych, tj.: BD (bardzo duży), D (duży), Ś (średni), M (mały), BM (bardzo mały). Każdemu z nich, przypisano odpowiednio wartości: 10, 7, 5, 3, 1. Możliwe jest również stosowanie ocen pośrednich: BD/D, D/BD, D/Ś, Ś/M, M/BM.

Wskaźnik oceny przyrostu j -tego kryterium WUB dla każdego l -tego budynku, stanowi sumę ocen przyrostu r -tych wariantów napraw dla i -tego elementu, budynku. Obliczane jest to na podstawie wzoru (4.32).

$$\Delta K_{jl} = \sum_{\substack{r=1 \\ r \in S_{il}}}^v \sum_{i=1}^n \Delta_{ijlr}, \quad \forall j=1,2,3, \quad (4.32)$$

gdzie:

S_{il} – zbiór wykluczających się wariantów napraw odnoszących się do jednego elementu.

4.3.6. Optymalizacja wyboru rozwiązań remontowych

Zagadnienie, które będzie omawiane na tym etapie modelu decyzyjnego, dotyczy wyboru napraw, przyjętych w oparciu o przeprowadzoną ocenę kryteriów x_j , z punktu widzenia maksymalnego przyrostu wartości użytkowej budynku i przyjętych ograniczeń finansowych.

Do optymalizacji wykorzystano algorytm ewolucyjny, którego zadaniem jest przeszukiwanie zbioru rozwiązań dopuszczalnych (zbiór proponowanych rozwiązań naprawczych) w celu znalezienia rozwiązań optymalnych lub suboptymalnych (akceptowanych). W tabeli 4.6 wyjaśniono terminy używane przy opisie algorytmu ewolucyjnego.

Tabela 4.6. Podstawowe pojęcia algorytmów genetycznych (Rutkowska i in. 1997)

Nazwa	Opis
Chromosom	ciąg genów, który reprezentuje potencjalne rozwiązanie zadania
Gen	jest to pojedynczy element geneotypu
Allel	możliwe wartości genu, określane też jako wariant cechy
Geneotyp	pewna dziedziczna informacja, w którą wyposażony jest osobnik
Fenotyp	zestaw cech generowanych na podstawie genotypu, które podlegają ocenie środowiska
Locus	miejsce genu w chromosomie
Osobnik	jedno z rozwiązań zadania, jego reprezentacją jest fenotyp, a „wersją zakodowaną” genotyp, reprezentuje rozwiązanie szukanego problemu
Populacja	zbiór osobników określonej liczebności
Funkcja przystosowania	określa jakość osobnika i ma ona kluczowy wpływ na działanie algorytmu, gdy algorytm dąży do wyznaczenia osobnika najlepiej przystosowanego

Źródło: Opracowanie własne

Poszczególne etapy działania algorytmu ewolucyjnego 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. 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 G , natomiast funkcji F_2 rozwiązań, których koszt nieznacznie może przekroczyć zakładany budżet, w wyniku czego możemy uzyskać lepsze rozwiązanie
3. Generowaniu możliwych rozwiązań (remontowych) w procesie selekcji, krzyżowania, mutacji (Rutkowski 2006).
4. Ochronie najlepszego osobnika (rozwiązania remontowego).
5. Zatrzymaniu algorytmu ewolucyjnego i wyprowadzeniu wyników.

4.3.6.1. Tworzenie populacji początkowej – inicjacja

Działanie algorytmu ewolucyjnego rozpoczyna się od utworzenia populacji początkowej. Ustalana jest liczba osobników ją tworzących, dla których przyjęto następujące założenia: minimalna liczba osobników równa jest 20, zaś maksymalna 100. Liczba osobników populacji, dla której algorytm rozpoczyna działanie, nie powinna być zbyt mała, gdyż prowadzi do utraty cennych informacji niezbędnych do uzyskania najlepszego rozwiązania.

W modelu zastosowano reprezentacje osobników (rozwiązań dopuszczalnych) w postaci genów zawierających informację o budynku, w którym proponowany jest wariant naprawy. Wartość poszczególnych genów w chromosomie ustalana jest w sposób losowy. Zapis sposobu kodowania chromosomu zawarty jest w genotypie, którego postać zilustrowano w tabeli 4.7.

Tabela. 4.7. Sposób reprezentacji (kodowania) rozwiązań w postaci chromosomu

Budynek l	1				2				m			
Element i	1	2	...	n	2	5	...	n	1	5	...	n
Wariant naprawy r	1	2	...	v	3	1	...	v	2	2	...	v
Chromosom	w_{111}	w_{122}		w_{1nv}	w_{223}	w_{251}		w_{2nv}	w_{m12}	w_{m52}		w_{mnv}
w_{ir} – wariant naprawy i -tego elementu w l -tym budynku $w_{ir} \in W$ gdzie $W = \{w_{111}, \dots, w_{mnv}\}$												

Źródło: Opracowanie własne

4.3.6.2. Ocena wartości funkcji przystosowania

Ocena rozwiązań polega na określeniu jakości powstałych osobników. Każde potencjalne rozwiązanie oceniane jest przy użyciu funkcji przystosowania, tzn. sprawdzane jest, czy osobnik jest osobnikiem silnym (wysoka wartość funkcji przystosowania) czy słabym (niska wartość funkcji przystosowania). W dalszych krokach działania algorytmu odpadają osobniki słabsze, a lepsze przechodzą do kolejnych generacji. W każdej iteracji tworzy się nową populację osobników stanowiących zbiór potencjalnych rozwiązań problemu.

Celem funkcji przystosowania jest poszukiwanie najlepiej przystosowanych osobników (rozwiązań) reprezentujących różne rozwiązania remontowe dla budynków mieszkalnych. Funkcja przystosowania pozwala znaleźć rozwiązanie (najwyżej oceniane) dla będącej w dyspozycji zarządcy kwoty, którą może przeznaczyć na remont analizowanych budynków.

Poszukiwanie rozwiązań optymalnych odbywa się przy zastosowaniu dwóch funkcji celu F_1 oraz F_2 , których zadaniem jest:

— poszukiwanie najlepszego rozwiązania pod względem przyrostu wartości użytkowej dla rozwiązań nie przekraczających ustalonego budżetu:

$$F_1 = \frac{\Delta WUB}{1+k \cdot \frac{|K-G|}{G}}, \quad \text{dla } K \leq G, \quad (4.33)$$

— poszukiwanie najlepszego rozwiązania pod względem przyrostu dla rozwiązań przekraczających ustalony budżet:

$$F_2 = \frac{\Delta WUB \cdot \frac{G}{K}}{1+k \cdot \frac{|K-G|}{G}}, \quad \text{dla } K > G, \quad (4.34)$$

gdzie:

G – założony koszt (budżet), dla którego poszukiwane jest rozwiązanie,

k – współczynnik kary.

Funkcja przystosowania (4.34) umożliwia przeszukiwanie szerszego obszaru możliwych rozwiązań dopuszczalnych. Koszt wygenerowanego rozwiązania K może nieznacznie przekroczyć zakładanej kwoty środków finansowych G . Wynikiem tego są rozwiązania o wyższej efektywności EF (opłacalności naprawy w odniesieniu do poniesionego kosztu) wyrażonej wzorem:

$$EF = \frac{\Delta WUB}{K}. \quad (4.35)$$

Możliwość regulacji wartości współczynnika k występującego we wzorach (4.33) i (4.34) pozwala na pewną „elastyczność” w znajdowaniu rozwiązań, które są akceptowalne przez decydenta pod względem możliwości przekroczenia bądź niewykorzystania zakładanej kwoty budżetu. Kara za przekroczenie uzależniona jest od przyjętej wartości współczynnika k , który pozwala kontrolować możliwość ewentualnego przekroczenia zakładanego budżetu. Zwiększenie wartości współczynnika k prowadzi do znajdowania rozwiązań bliższych zakładanej kwocie remontu, co wynika z ograniczenia przestrzeni poszukiwania rozwiązań dopuszczalnych wyłącznie do spełniających ograniczenie kosztu remontu. Rozwiązania uzyskiwane dla wysokiej wartości współczynnika kary mogą być gorsze niż w przypadku, gdy k jest odpowiednio małe. Przyjęcie do obliczeń niskiej wartości współczynnika k pozwala przeszukiwać szerszy zakres rozwiązań dopuszczalnych i znajdować lepsze rozwiązania o wyższej wartości funkcji przystosowania, odbiegające tylko w niewielkim stopniu od zakładanej kwoty, tj. jej przekroczenia lub niewykorzystania.

4.3.6.3. Tworzenie nowej populacji

Generowanie nowej populacji (rozwiązań remontowych) w proponowanym modelu decyzyjnym odbywa się poprzez:

- selekcję (do wyboru metoda: ruletki, skalowania, turniejowa),
- krzyżowanie,
- mutację.

Selekcja (*selection*) służy do generowania nowej populacji (Rutkowski 2006). Na podstawie przystosowania osobników losowane są do dalszych operacji tylko osobniki silne, czyli te z największą wartością funkcji przystosowania. Przeprowadzana jest w taki sposób, aby chromosomy o największej wartości funkcji przystosowania miały największe szanse bycia wylosowanym do reprodukcji. W pracy zastosowano możliwość wyboru jednej z trzech metod selekcji: metodę ruletki, metodę skalowania liniowego funkcji przystosowania, metodę turniejową.

Metoda liniowego skalowania funkcji przystosowania (*linear scaling*) jest rozumiana jako stosunek dostosowania najlepszego osobnika w populacji do średniego dostosowania tejże populacji. Skalowanie funkcji przystosowania stosuje się, aby zapobiec przedwczesnej zbieżności algorytmu genetycznego. Działanie mechanizmu skalowania jest szczególnie pomocne w końcowej fazie algorytmu, gdy populacja zachowuje nieznaczną różnorodność a średnia wartość przystosowania niewiele odbiega od wartości maksymalnej. Skalowanie funkcji przystosowania może wówczas zapobiec takiej sytuacji, że osobniki przeciętne i najlepsze otrzymują prawie taką samą liczbę potomków w następnych generacjach.

Skalowanie funkcji przystosowania chroni populację przed dominacją nieoptymalnego chromosomu. Polega ona na odpowiednim przekształceniu funkcji przystosowania F do postaci F' poprzez proporcjonalnie zwiększanie lub zmniejszanie nacisku selektywnego. Formuła wyrażona jest wzorem:

$$F' = a \cdot F + b \quad (4.36)$$

gdzie:

F – wartość funkcji przystosowania,

F' – przeskalowana wartość funkcji przystosowania,

a, b – stałe dobrane tak, aby średnia wartość funkcji przystosowania była równa średniej wartości przed skalowaniem, natomiast wartość maksymalna po skalowaniu była kilkakrotnie większa od wartości średniej i aby funkcja F' nie przyjmowała wartości ujemnych.

Metoda ruletki (*roulette-wheel selection*) jest typem selekcji proporcjonalnej opartej na przypadkowości (wykorzystuje koło ruletki). Jej działanie polega ona na ustaleniu prawdopodobieństwa wylosowania rozpatrywanego chromosomu proporcjonalnie do wartości funkcji przystosowania F . Im wyższa wartość funkcji przystosowania, tym większa pewność wylosowania chromosomu do populacji biorącej udział w następnej generacji. Prawdopodobieństwo wylosowania osobnika z populacji l osobników o wartościach funkcji przystosowania osobnika $F(i)$ równe jest:

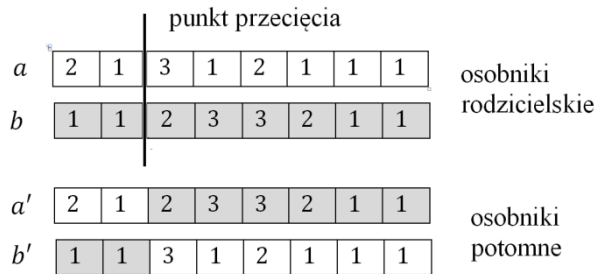
$$F = \frac{F(i)}{\sum_{i=1}^n F(i)} \quad (4.37)$$

Istotną wadą metody ruletki jest zbyt wczesne eliminowanie z populacji osobników o bardzo małej wartości funkcji przystosowania (metoda ma zbyt dużą wartość nacisku selektywnego, bez możliwości sterowania tym naciskiem).

Metoda turniejowa (*tournament selection*) dzieli losowo wybrane chromosomy na podgrupy. W podgrupie znajduje się zazwyczaj od 2 do 3 osobników (Trzaskalik 2005). Z każdej grupy wybierany jest osobnik najlepiej przystosowany (wygrywa turniej). Operacja powtarzana jest do czasu, aż utworzona zostanie odpowiednia liczba chromosomów do nowej populacji. Metoda pozwala na uzyskiwanie lepszych wyników, niż w przypadku zastosowania koła ruletki. Selekcja metodą turniejową jest pozbawiona niedogodności metody koła ruletki, gdzie wymagana jest maksymalizacja funkcji oceny. W selekcji turniejowej ważna jest jedynie informacja o „lepszości” jednego rozwiązania nad innym.

Krzyżowanie (*crossover*) ma za zadanie wymianę zawartości genetycznej pomiędzy dwoma rozwiązaniami (chromosomami) w populacji. W tym celu chromosomy z populacji rodzicielskiej kojarzone są w pary w sposób losowy z prawdopodobieństwem krzyżowania ($0,5 \leq p_k \leq 1$) określającym ile osobników będzie w jednej iteracji skrzyżowana.

Przykładowy przebieg operacji krzyżowania przedstawiono na rysunku 4.7.



Rys. 4.7. Schemat krzyżowania chromosomów rodziców – krzyżowanie jednopunktowe

Źródło: Opracowanie własne

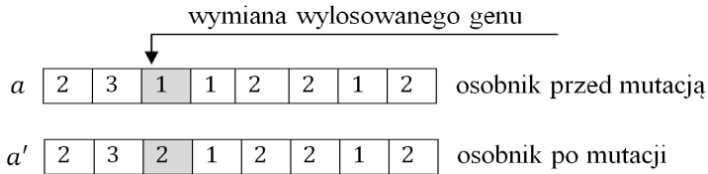
Przebieg krzyżowania jest następujący: z grupy chromosomów przeznaczonych do krzyżowania tworzone są losowo pary rodziców. Dla każdej pary rodziców losowana jest pozycja genu (locus) w chromosomie, określająca tzw. punkt krzyżowania (Rutkowski 2006). W wyniku krzyżowania genotypów rodzicielskich otrzymujemy parę potomków *a'* i *b'*, gdzie:

- potomek pierwszy otrzymuje *n* genów od rodzica pierwszego a pozostałe geny począwszy od *n + 1* od rodzica drugiego,
- potomek drugi otrzymuje pierwsze *n* genów od rodzica drugiego, natomiast pozostałe geny począwszy od genu *n + 1* od rodzica pierwszego.

Powstałe w ten sposób dwa osobniki potomne *a'* oraz *b'* poddawane są w dalszej kolejności procesowi mutacji.

Mutacja (*mutation*) polega na losowej zmianie jednego lub więcej genów wybranego chromosomu, z prawdopodobieństwem równym częstości mutacji p_k (Michalewicz 1999). Mutacja powoduje niewielkie modyfikacje pojedynczych osobników i wprowadzana jest z bardzo małym prawdopodobieństwem ($0 \leq p_k \leq 0,1$), którego wartość decyduje o tym ile osobników będzie w jednej iteracji ulegało mutacji (wysoka wartość prawdopodobieństwa mutacji prowadzi do zbyt szybkiej zbieżności i w konsekwencji do znajdowania słabszych rozwiązań). Przykładowy przebieg operacji mutacji przedstawiono na rysunku 4.8.

W pracy zastosowano mutację równomierną. Operator wybierając losowo pozycję genu, działa na jednym rodzicu a tworząc potomka a'_k , który zostanie zmutowany k ($1, \dots, q$). Mutowany wektor $a = \{a_1, a_k, a_q\}$ zostaje przekształcony w nowy $a' = \{a_1, a_k, a_q\}$, gdzie a'_k przyjmuje wartość losową z dozwolonego przedziału dla tej wartości.



Rys. 4.8. Schemat mutacji osobnika dla wylosowanego genu

Źródło: Opracowanie własne

4.3.6.4. Ochrona najlepszego osobnika

Szczególny rodzaj metod reprodukcji stanowi metoda elitarna (*elitist strategy*), polegająca na ochronie najlepszych chromosomów w kolejnych generacjach. Najlepszy osobnik, którego obliczona wartość funkcji przystosowania jest najwyższa w danej generacji jest zapamiętywany, a następnie wprowadzany do kolejnej generacji. Zastosowana w pracy strategia elitarna ma za zadanie ochronę najlepszych osobników w kolejnych generacjach. Zabezpiecza przed utratą takiego osobnika, bowiem zawsze przechodzi on do następnej generacji (Rutkowski 2006), w której bierze udział w procesach reprodukcji. Strategia ta powoduje, że w dalszych iteracjach maksymalne dostosowanie w populacji nie będzie zbyt wysokie, ale potomstwo elity będzie dominować przyszłe populacje. Może to ograniczać zdolności eksploracyjne algorytmu, gdyż początkowa elita niekoniecznie zawiera geny charakteryzujące najlepsze osobniki. Przyjętym rozwiązaniem jest utrzymywanie elity o niewielkim rozmiarze.

4.3.6.5. Zatrzymanie algorytmu – wyprowadzenie wyników

Algorytm genetyczny może zostać zatrzymany po spełnieniu określonych warunków, np. określonej liczby iteracji, czasu iteracji lub liczby iteracji bez poprawy rozwiązania. W pracy zastosowano jeden warunek zatrzymania algorytmu polegający na wykonaniu określonej liczby iteracji. Jeśli warunek zatrzymania jest spełniony, następuje przejście do ostatniego kroku, czyli wyprowadzenia "najlepszego" chromosomu.

Określenie optymalnej generacji wymaga jej ustalenia na drodze doświadczalnej. Zbyt duża liczba generacji prowadzi do wydłużenia procesu obliczeniowego, natomiast ich zbyt niska liczba prowadzi do uzyskania rozwiązania nieoptymalnego.

4.4. Weryfikacja metod obliczeniowych

Opracowany model decyzyjny wyboru rozwiązań remontowych został poddany weryfikacji na poszczególnych etapach swojego działania. Weryfikacji poddano dwa zasadnicze elementy modelu, decydujące o jakości uzyskiwanych wyników. Są to:

- ocena wartości użytkowej budynku na podstawie wygenerowanej bazy reguł rozmytych (analiza wrażliwości),
- wyznaczenie najkorzystniejszych rozwiązań remontowych z punktu widzenia przyrostu wartości użytkowej dla analizowanych budynków oraz zgodności z oczekiwaniami decydenta – za pomocą zadań testowych.

4.4.1. Określanie parametrów działania algorytmu ewolucyjnego

Weryfikacje modelu przeprowadzono dla przykładu obejmującego pięć wielorodzinnych budynków mieszkalnych, dla których poszukuje się za pomocą modelu najkorzystniejszych rozwiązań remontowych. W tabeli 4.11 zamieszczono dane (proponowane naprawy dla trzech budynków), na podstawie których testowany będzie opracowany model decyzyjny. Na etapie weryfikacji modelu przeprowadzono wiele badań symulacyjnych w celu ustalenia (doboru) odpowiednich wartości parametrów algorytmu ewolucyjnego.

W pierwszej kolejności poszukiwano takich wartości prawdopodobieństw mutacji i krzyżowania, dla których uzyskiwane są najwyższe wartości funkcji przystosowania. Obliczenia przeprowadzono dla dwóch liczebności populacji $l_p = 50$ oraz $l_p = 100$ osobników, przy zastosowaniu metody selekcji turniejowej (z podziałem na trzech osobników w grupie) oraz z zastosowaniem ochrony najlepszego osobnika.

Wyniki przeprowadzonych symulacji przedstawiono w tabeli 4.8 i 4.9 oraz na rysunku 4.9 i 4.10.

Tabela 4.8. Wyniki obliczeń przy liczbie powtórzeń $LP = 5$, liczbie generacji $g = 500$, liczebności populacji $l_p = 50$ osobników, $G = 4000000$ zł, $k = 1,0$

Prawdopodobieństwo		Największa liczba iteracji bez poprawy rozwiązania	Numer generacji uzyskanego rozwiązania	Wartość przystosowania F	Średnia wartość przystosowania \bar{F}
krzyżowania P_k	mutacji P_m				
1	2	3	4	5	6
0,10	0,01	257	243	20,085	19,507
		175	454	19,086	
		64	450	20,145	
		241	185	18,713	
		167	492	19,505	
0,10	0,04	115	392	20,716	20,568
		132	391	20,184	
		181	319	20,415	
		154	346	21,058	
		170	477	20,470	
0,10	0,07	148	389	20,334	19,661
		121	413	19,989	
		117	383	19,529	
		337	482	18,972	
		122	484	19,481	
0,10	0,10	289	470	18,514	18,898
		262	434	18,637	
		163	491	19,907	
		207	293	18,837	
		193	412	18,593	
0,40	0,01	157	343	20,685	20,499
		83	419	20,019	
		112	388	20,482	
		298	202	21,386	
		144	400	19,924	
0,40	0,04	146	354	20,322	20,867
		192	308	21,046	
		230	270	20,922	
		168	485	21,115	
		194	306	20,932	
0,40	0,07	256	447	19,715	19,807
		151	349	19,524	
		240	380	20,031	
		224	276	19,961	
		253	247	19,803	
0,40	0,10	341	159	18,540	19,043
		187	376	19,011	
		268	232	19,224	
		91	409	19,608	
		341	159	18540	

Tabela 4.8. cd.

1	2	3	4	5	6
0,70	0,01	133 190 214 335 222	367 494 390 165 278	20,776 21,201 20,663 20,486 21,479	20,921
0,70	0,04	81 283 263 87 188	431 217 237 413 495	20,060 20,628 20,504 21,060 20,129	20,476
0,70	0,07	156 186 194 195 163	500 428 306 305 471	20,224 19,591 19,051 19,913 19,999	19,756
0,70	0,10	294 212 311 189 138	304 288 189 491 383	18,773 19,041 18,815 18,902 19,162	18,939
1,00	0,01	92 150 286 337 245	414 350 214 472 255	21,304 20,143 20,603 20,783 19,779	20,522
1,00	0,04	231 161 126 354 120	269 339 497 146 441	20,514 20,706 21,077 20,309 20,708	20,663
1,00	0,07	203 271 300 275 186	359 229 200 418 332	19,970 19,186 19,915 19,460 19,649	19,636
1,00	0,10	148 188 283 163 372	366 479 418 495 128	19,556 19,369 19,217 18,517 19,195	19,173

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 4.9. Wyniki obliczeń przy liczbie powtórzeń $LP = 5$, liczbie generacji $g = 500$, liczebności populacji $l_p = 100$ osobników, $G = 4000000$ zł, $k = 1,0$

Prawdopodobieństwo		Największa liczba iteracji bez poprawy rozwiązania	Numer generacji uzyskanego rozwiązania	Wartość przystosowania F	Średnia wartość przystosowania \bar{F}
krzyżowania P_k	mutacji P_m				
1	2	3	4	5	6
0,10	0,01	295	497	19,717	20,897
		124	473	21,323	
		154	450	21,966	
		66	475	21,012	
		362	138	20,467	
0,10	0,04	89	497	20,789	20,814
		135	365	20,962	
		163	442	21,140	
		141	498	20,996	
		154	480	20,181	
0,10	0,07	310	413	19,506	19,597
		138	459	19,527	
		237	263	19,781	
		121	378	19,389	
		333	488	19,782	
0,10	0,10	246	254	18,598	18,887
		442	478	18,900	
		242	332	18,838	
		383	117	18,543	
		245	448	19,554	
0,40	0,01	154	346	20,894	20,443
		169	340	19,320	
		358	142	20,765	
		166	457	21,410	
		152	380	19,826	
0,40	0,04	201	485	20,876	20,776
		169	485	20,839	
		292	441	20,848	
		200	300	20,619	
		88	459	20,698	
0,40	0,07	205	295	19,558	19,753
		385	115	19,152	
		149	474	20,296	
		199	426	20,223	
		243	257	19,536	
0,40	0,10	459	41	18,071	18,950
		208	410	19,861	
		262	472	18,874	
		286	214	18,907	
		232	490	19,039	

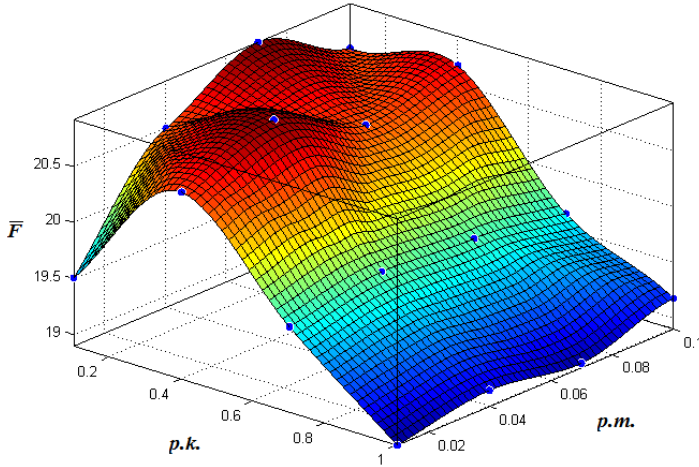
Tabela 4.9. cd.

1	2	3	4	5	6
0,70	0,01	260	460	21,560	21,166
		236	264	21,586	
		159	374	20,513	
		195	305	21,325	
		309	191	20,846	
0,70	0,04	236	393	20,396	20,826
		270	490	21,293	
		346	154	20,728	
		129	371	20,820	
		109	430	20,892	
0,70	0,07	428	72	19,256	19,590
		177	323	19,099	
		304	457	19,786	
		338	162	20,324	
		202	383	19,484	
0,70	0,10	416	84	19,302	18,980
		396	104	18,524	
		241	259	18,975	
		297	203	18,464	
		160	473	19,638	
1,00	0,01	159	341	21,370	21,004
		269	231	20,675	
		388	490	20,733	
		328	450	21,356	
		254	374	20,883	
1,00	0,04	161	339	20,811	21,009
		294	454	20,979	
		152	473	21,083	
		173	366	21,212	
		295	205	20,961	
1,00	0,07	206	421	19,770	19,602
		389	111	19,447	
		215	488	19,331	
		336	470	19,187	
		269	231	20,245	
1,00	0,10	381	441	18,960	19,092
		236	264	18,871	
		354	146	18,866	
		119	394	19,124	
		124	437	19,641	

Źródło: Opracowanie własne

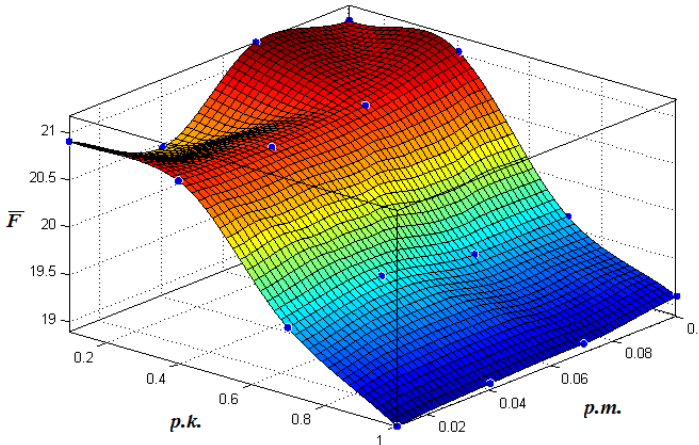
W wyniku przeprowadzonych obliczeń, zarówno dla liczebności populacji $l_p = 50$ oraz $l_p = 100$ osobników, najlepsze wyniki uzyskano dla prawdopodobieństwa mutacji $p_m = 0,01$ i prawdopodobieństwa krzyżowania $p_k = 0,7$. Analizując wyniki dotyczące liczby generacji bez poprawy rozwiązania (tab. 4.8, 4.9, kol. 5) stwierdzono, że nie zachodzi żadna zależność pomiędzy liczbą

generacji a poprawą rozwiązania, która stanowiłaby przesłankę do wprowadzenia dodatkowego warunku zatrzymania algorytmu przed ukończeniem wykonania zakładanej liczby generacji. Graficzną interpretację otrzymanych wyników przedstawiają rysunki 4.9 i 4.10.



Rys. 4.9. Wykres funkcji średniej wartości przystosowania \bar{F} w zależności od $p_k \in \{0,1;0,4;...;1,0\}$, $p_m \in \{0,01;0,04;...;0,1\}$, $l_p = 50$ osobników

Źródło: opracowanie własne



Rys. 4.10. Wykres funkcji średniej wartości przystosowania \bar{F} w zależności od $p_k \in \{0,1;0,4;...;1,0\}$, $p_m \in \{0,01;0,04;...;0,1\}$, $l_p = 100$ osobników

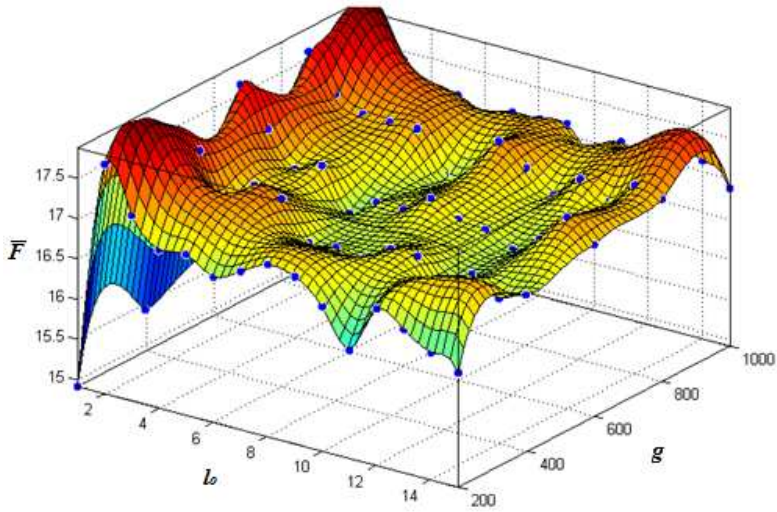
Źródło: Opracowanie własne

Tabela 4.10. Uzyskane wyniki dla: $LP = 10$, $G = 3000000$ zł; $k = 1,0$; $p_k = 0,7$; $p_m = 0,01$; $l_p = 100$ osobników

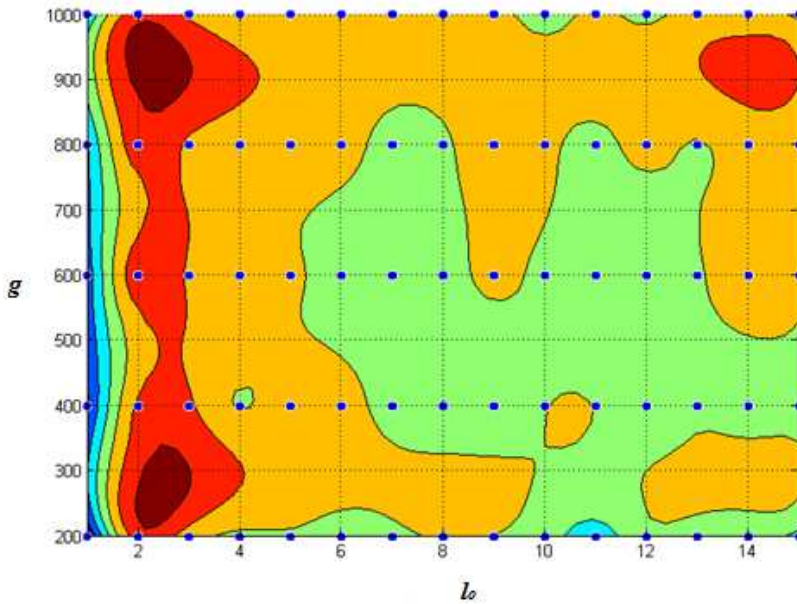
Metoda selekcji	Wartość funkcji przystosowania F dla liczby generacji					Średnia \bar{F}	
	200	400	600	800	1000		
Koło ruletki	16,77	17,17	17,23	17,33	17,36	17,17	
Skalowania liniowego / współczynnik selekcji w_s	1	14,92	15,44	15,70	15,95	15,96	15,59
	2	17,76	17,61	17,87	17,85	17,84	17,79
	3	17,21	17,58	17,42	17,41	17,39	17,40
	4	16,88	16,96	17,01	17,25	17,08	17,04
	5	16,91	17,33	17,14	17,24	17,14	17,15
	6	16,72	17,25	16,64	17,25	17,00	16,97
	7	16,88	16,8	16,86	16,77	17,10	16,88
	8	17,05	16,83	16,86	16,90	17,11	16,95
	9	16,99	16,77	17,09	17,36	17,14	17,07
	10	16,71	16,99	16,91	17,12	16,81	16,91
	11	16,26	16,99	16,88	16,87	17,09	16,82
	12	16,86	16,62	16,72	17,16	16,88	16,85
	13	16,70	16,95	16,94	16,96	17,22	16,95
	14	16,50	16,73	17,30	17,26	17,12	16,98
	15	16,33	16,86	17,05	17,17	16,87	16,86
Turniejowa / liczba osobników w grupie l_g	1	14,79	15,32	15,72	15,92	15,99	15,55
	2	17,46	17,71	18,10	17,93	18,06	17,85
	3	17,24	17,42	17,77	17,60	17,71	17,55
	4	17,31	17,23	17,54	17,73	17,66	17,49
	5	17,27	17,42	17,44	17,32	17,49	17,39
	6	17,07	17,15	17,44	17,26	17,73	17,33
	7	17,29	17,13	17,22	17,38	17,40	17,28
	8	17,06	17,37	17,36	17,33	17,44	17,31
	9	17,05	17,57	17,40	17,51	17,66	17,44
	10	17,15	17,58	17,04	17,20	17,57	17,31
	11	16,994	17,056	16,739	17,467	17,449	17,141
	12	17,07	17,589	16,733	17,669	17,597	17,3316
	13	16,842	17,253	16,965	17,42	17,501	17,1962
	14	16,987	17,112	17,266	17,013	17,588	17,1932
	15	17,008	17,304	17,298	17,425	17,63	17,333

Źródło: Opracowanie własne

a)



b)

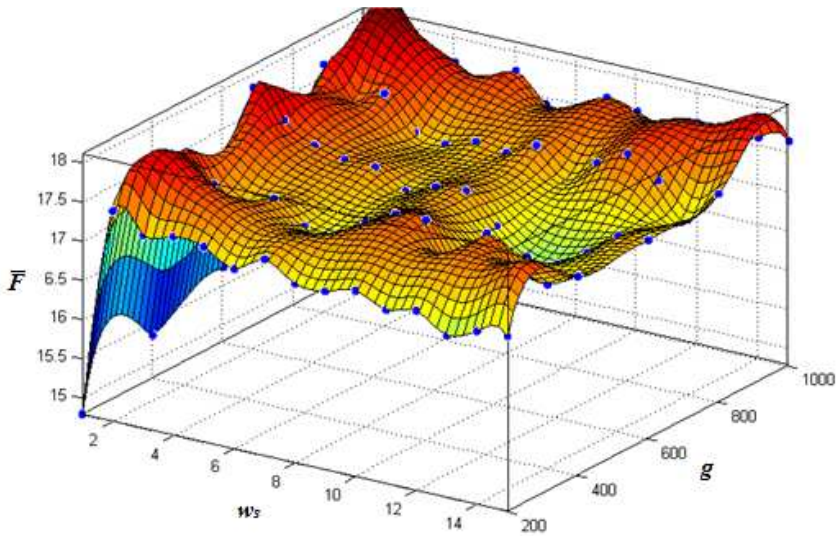


Rys. 4.11. Średnia wartość funkcji przystosowania \bar{F} obliczona metodą turniejową dla liczby osobników w grupie $l_g \in \{1, 2, \dots, 15\}$ i liczby generacji $g \in \{200, 400, \dots, 1000\}$

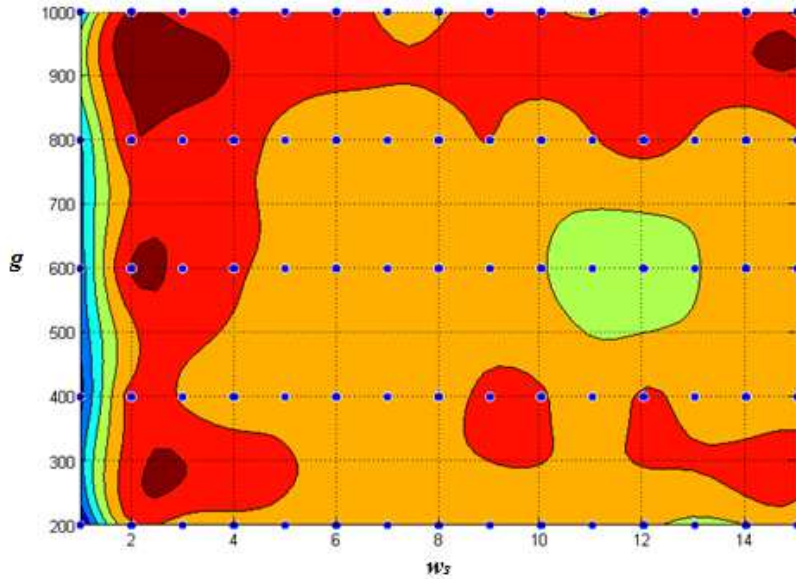
a) przestrzenny, b) powierzchniowy

Źródło: Opracowanie własne

a)



b)



Rys. 4.12. Średnia wartość funkcji przystosowania \bar{F} obliczona metodą ruletki selektywnej dla współczynnika selekcji $w_s \in \{1, 2, \dots, 15\}$ i liczby generacji $g \in \{200, 400, \dots, 1000\}$, a) przestrzenny, b) powierzchniowy

Źródło: Opracowanie własne

Przeprowadzone obliczenia zastosowanych w systemie komputerowym metod selekcji pozwoliły na wybór metody zapewniającej uzyskanie najlepszych rozwiązań. Ocenę metod selekcji przeprowadzono dla zakresu generacji algorytmu $g \in \{200, 400, \dots, 1000\}$, których wyniki przedstawiono w tabeli 4.10 oraz na rysunkach 4.11 i 4.12.

Najgorsze średnie wartości funkcji przystosowania $\bar{F}=17,17$ uzyskano przy zastosowaniu metody koła ruletki. Najlepszy wynik wartości funkcji przystosowania $F = 17,36$ dla tej metody selekcji uzyskano przy liczbie 1000 generacji algorytmu, zaś najgorszy $F = 16,77$ przy liczbie 200 generacji. Postępująca poprawa wartości funkcji przystosowania F w przedziale wartości od 200 do 1000 generacji oznacza, że zastosowanie tej metody selekcji wiąże się z długim czasem obliczeń potrzebnym do uzyskania najlepszego rozwiązania.

Wyniki wartości funkcji przystosowania uzyskane dla metody skalowania liniowego zależały od dwóch parametrów, tj. liczby generacji algorytmu g , jak również wartości współczynnika selekcji liniowej w_s . Najwyższą średnią wartość funkcji przystosowania $\bar{F}=17,79$ uzyskano przy współczynniku selekcji liniowej $w_s = 2$ i liczbie generacji algorytmu $g = 600$. Przy metodzie selekcji liniowej algorytm uzyskuje bardzo dobre rozwiązania nawet przy niewielkiej liczbie generacji, np. rozwiązanie uzyskane przy $g = 200$ były lepsze niż przy $g = 1000$ dla selekcji metodą koła ruletki. Można stwierdzić, że jakość uzyskiwanych rozwiązań w przypadku zastosowania metody selekcji liniowej w większym stopniu zależy od odpowiednio dobranego współczynnika selekcji, niż od liczby generacji, np. uzyskane średnie wartości funkcji przystosowania przy $w_s = 2$ były lepsze o około 14% od rozwiązania uzyskanego przy $w_s = 1$.

Najwyższą średnią wartość funkcji przystosowania $\bar{F}=17,85$ uzyskano przy zastosowaniu metody selekcji turniejowej dla liczby osobników w grupie $l_g = 2$. Potwierdza to podawaną w literaturze (Rutkowski 2006) optymalną liczbę osobników w grupie, która powinna wynosić od 2 do 3 osobników. Tak jak w przypadku wcześniejszej metody uzyskiwane wyniki zależą od dwóch parametrów, tj. od liczby generacji g oraz liczby osobników w grupie turniejowej l_g . Analizując uzyskane wyniki można stwierdzić, że jakość uzyskiwanych wyników średniej wartości funkcji przystosowania \bar{F} w większym stopniu zależy od odpowiednio dobranej liczby osobników w grupie, np. przy $l_g = 2$ uzyskano najlepsze rozwiązanie a przy $l_g = 11$ najgorsze – różnica wynosiła ok. 4%. W mniejszym stopniu, bo zaledwie ok. 2%, wartość \bar{F} ulegała poprawie przy zwiększaniu liczby generacji algorytmu $g = 200 \div 1000$ przy $l_g = 2$.

Poszukiwanie najlepszego rozwiązania

W celu weryfikacji działania algorytmu ewolucyjnego przy poszukiwaniu najlepszego rozwiązania, posłużono się jednym z przykładów testowych. W tabeli 4.11 zestawiono proponowane naprawy dla 3 budynków mieszkalnych o zróżnicowanych powierzchniach użytkowych P_i , dla których zaproponowano wykonanie 15 napraw – po 5 dla każdego budynku. Większość z proponowanych napraw może być wykonana wg trzech wariantów napraw. Dla każdego z proponowanych wariantów obliczono przyrost wartości każdego z kryteriów K_j wyrażonego w odpowiadającej mu jednostce miary (tab. 4.11).

Poszukiwane są naprawy, których wykonanie przyniesie największy przyrost wartości użytkowej budynków w odniesieniu do poniesionych kosztów. Najlepsze rozwiązania remontowe wybierane są spośród rozwiązań dopuszczalnych, co określa funkcja przystosowania, których zbiór ograniczony jest środkami finansowymi przeznaczonymi na ten cel. W obliczeniach uwzględniana jest powierzchnia użytkowa każdego z budynków i na tej podstawie wybierane są rozwiązania, które są najbardziej korzystne z punktu widzenia przyrostu wartości użytkowej wszystkich analizowanych budynków.

Obliczenia, których wyniki przedstawione są w tabelach 4.12 i 4.13 oraz na rysunku 4.13, przeprowadzono dla założonej liczby powtórzeń $LP = 100$ oraz ustalonych parametrów algorytmu ewolucyjnego, które dobrano w sposób umożliwiający prześledzenie działania algorytmu ewolucyjnego. Ustalono liczebność populacji $l_p = 20$ osobników, liczbę generacji $g = 100$, prawdopodobieństwo krzyżowania $p_k = 0,7$ i mutacji $p_m = 0,01$ oraz wartość współczynnika kary na poziomie $k = 0$, pozwalając w niewielkim stopniu przekroczyć koszt rozwiązania remontowego dla przyjętego ograniczenia $B = 1$ mln zł (dysponowanych środków finansowych przeznaczonych na remont). Zastosowano metodę selekcji turniejowej, dla której przyjęto liczbę osobników w grupie $l_g = 3$ oraz zastosowano ochronę najlepszego osobnika w populacji.

Tabela 4.11. Proponowane naprawy dla trzech budynków mieszkalnych

Budynek <i>l</i>	Element <i>i</i>	Wariant naprawy <i>r</i>	Przyrost wartości kryteriów Δ_{ijlr}			Koszt naprawy K_r [zł]	
			Stan techniczny $K_{j=1}$ [%]	Stan energetyczny $K_{j=2}$ [kWh/m ² rok]	Stan funkcjonalny $K_{j=3}$ [pkt]		
1	1	1	4,38	35,10	0,00	548012	
		2	4,69	35,10	0,00	573356	
		3	1,34	0,00	0,00	75988	
	2	1	2,20	4,47	0,00	248221	
		2	2,20	0,00	0,00	146733	
		3	0,00	4,47	0,00	120204	
	3	1	0,49	0,00	0,00	30293	
		2	1,96	0,00	0,44	239715	
		3	1,96	0,00	0,00	153482	
	4	1	1,34	4,27	0,00	51418	
		2	1,71	5,88	0,00	75388	
	5	1	1,44	0,00	0,50	130783	
	2	1	1	4,68	32,60	0,00	313055
			2	5,03	32,60	0,00	327795
			3	1,34	0,00	0,00	47144
2		1	2,20	4,92	0,00	172572	
		2	2,20	0,00	0,00	102014	
		3	0,00	4,92	0,00	83570	
3		1	1,96	0,00	0,00	90288	
		2	1,96	0,00	0,44	141016	
4		1	1,68	3,39	0,00	27692	
		2	4,33	42,35	0,00	225626	
5		1	1,44	0,00	0,50	58223	
3		1	1	4,48	37,30	0,00	343638
			2	4,69	37,30	0,00	353813
			3	1,34	0,00	0,00	50549
		2	1	2,20	4,70	0,00	171113
	2		2,20	0,00	0,00	101152	
	3	2	0,54	0,00	0,00	11396	
		1	0,18	0,00	0,00	3500	
	4	1	1,84	3,33	0,00	24770	
		2	4,93	45,89	0,00	230668	
	5	1	0,80	1,29	0,20	10790	

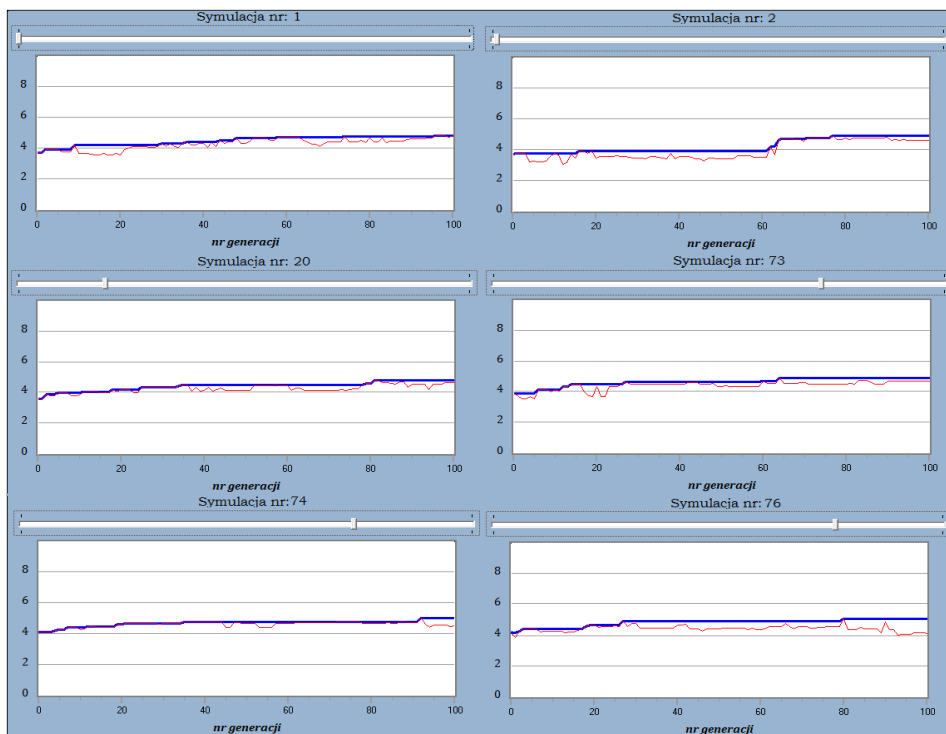
Źródło: Opracowanie własne

Tabela 4.13. Rozwiązania (naprawy) dla generacji numer 92 reprezentowane przez 20 osobników – najlepsze rozwiązanie numer 4 (symulacja nr 74)

R	Numer wariantu naprawy budynku w_{irr}															Przyrost wartości użytkowej ΔWUB [pkt]	Koszt rozwiązania K [zł]	Efektywność rozwiązania EF	Wartość przystosowania F	
	1					2					3									
	i	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4					5
1	3	0	3	2	1	3	0	2	0	1	2	2	2	2	2	1	5,85	1381947	4,23	4,23
2	2	0	3	2	1	0	0	1	1	1	2	2	1	2	1	7,16	1817031	3,94	3,94	
3	3	0	3	2	1	0	0	1	1	0	2	2	2	2	0	5,31	1242754	4,27	4,27	
4	0	0	0	2	1	3	0	0	1	1	2	2	2	2	1	5,25	1039153	5,05	5,05	
5	0	1	3	2	1	0	0	2	0	1	2	2	2	2	1	5,63	1507036	3,73	3,73	
6	3	0	3	1	1	0	0	1	0	1	0	2	2	2	1	3,42	906292	3,77	3,42	
7	3	0	3	2	1	0	0	2	0	1	2	2	2	2	1	5,62	1334803	4,21	4,21	
8	1	0	3	2	1	0	0	2	0	1	2	2	2	2	1	6,77	1806827	3,75	3,75	
9	1	0	3	2	1	0	0	1	0	1	2	2	2	2	1	6,76	1756099	3,85	3,85	
10	0	0	3	2	1	0	0	2	0	1	2	2	2	2	1	5,62	1258815	4,46	4,46	
11	0	0	3	2	1	0	0	1	1	1	2	2	0	2	1	5,80	1232279	4,71	4,71	
12	0	0	0	2	1	3	0	1	0	1	2	2	2	2	0	5,07	1090959	4,65	4,65	
13	3	0	3	2	1	0	0	1	0	1	0	2	2	2	1	3,42	930262	3,68	3,42	
14	3	0	3	1	1	0	0	1	0	1	2	2	2	2	1	5,60	1260105	4,44	4,44	
15	3	0	3	2	1	0	0	1	0	1	2	2	2	2	0	5,41	1273285	4,25	4,25	
16	0	0	0	2	1	3	0	1	0	1	2	2	2	2	1	5,26	1101749	4,78	4,78	
17	3	0	3	2	1	0	0	0	0	1	2	1	2	2	0	5,03	1252958	4,01	4,01	
18	0	0	3	2	1	0	0	1	0	1	2	2	2	2	1	5,60	1208087	4,64	4,64	
19	3	0	3	2	1	0	0	1	0	1	2	2	2	2	1	6,60	1284075	4,36	4,36	
20	0	0	3	2	1	0	0	1	0	1	2	2	2	2	1	5,60	1208087	4,64	4,64	

R – Numer rozwiązania, i – numer budynku, t – numer elementu budynku

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 4.13. Wykresy symulacji przy obliczaniu wartości funkcji przystosowania dla $g = 100$

Źródło: Opracowanie własne

Przebieg działania algorytmu ewolucyjnego, którego celem jest znalezienie rozwiązania o najwyższej wartości funkcji przystosowania przedstawiono na rysunku 4.13. Pokazano wyniki sześciu spośród stu przeprowadzonych powtórzeń, dla których uzyskano najwyższe wartości funkcji przystosowania.

Rozwiązanie o najwyższej wartości funkcji przystosowania $F = 5,05$ uzyskano dla symulacji numer 74. W tym przypadku poprawę wartości funkcji przystosowania przy warunku ograniczającym $g = 100$ uzyskano w jedenastu pokoleniach (4, 5, 7, 12, 19, 21, 28, 35, 72, 87, 92). Szczegółowe wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 4.12.

Na przedstawionych wykresach (rys. 4.13), linią czerwoną oznaczono działanie algorytmu ewolucyjnego, w trakcie którego algorytm generuje losowo różne rozwiązania, spośród których zachowywane jest to o najwyższej wartości funkcji przystosowania i jest ono oznaczone kolorem niebieskim. Algorytm zachowuje te rozwiązanie do momentu uzyskania rozwiązania o wyższej wartości funkcji przystosowania.

Dla analizowanego przykładu rozwiązanie najlepsze uzyskano w 92 generacji (symulacja nr 74). Wyniki obliczeń dla 3 budynków, w których analizowano wybór najkorzystniejszych napraw przedstawiono w tabeli 4.14.

Tabela. 4.14. Numery wariantów najlepszego rozwiązania dla budynków mieszkalnych

Budynek l	Numer r -tego wariantu naprawy i -tego elementu				
1	0	0	0	2	1
2	3	0	0	1	1
3	2	2	2	2	1
Oznaczenia: 0 – brak naprawy, 1, 2, 3 – warianty dla określonej naprawy					

Źródło: Opracowanie własne

Poszukiwanie rozwiązań dla akceptowanego poziomu przekroczenia

Klasyczne działanie algorytmu ewolucyjnego sprowadza się do tzw. „problemu plecakowego”, który zakłada przeszukiwanie przez algorytm zbioru rozwiązań dopuszczalnych w celu znalezienia rozwiązania o najwyższej wartości funkcji przystosowania. W tym przypadku obszar poszukiwań rozwiązań dopuszczalnych jest ograniczony kwotą środków przeznaczonych na remont. Poszukiwane są naprawy składające się na rozwiązanie, dla których łączny koszt wykonania nie może przekroczyć założonego budżetu (ograniczenia). W przypadku, gdy zbiór proponowanych napraw w budynku składa się wyłącznie napraw których koszt jest wysoki, uzyskane rozwiązanie może okazać się niewłaściwe, ze względu na duże odstępstwo kosztu uzyskanego rozwiązania od zakładanego ograniczenia. Dzieje się tak ponieważ algorytm nie ma możliwości dzielenia napraw, więc każda z napraw przekraczająca ograniczenie będzie odrzucona a uzyskane rozwiązanie będzie niesatysfakcjonujące.

Aby zapobiec temu problemowi w modelu przyjęto rozwiązanie, które pozwala w sposób elastyczny zwiększać obszar poszukiwań rozwiązań dopuszczalnych, celem znalezienia rozwiązania bliższego zakładanemu ograniczeniu, z możliwością regulowanego przekroczenia zakładanego kosztu naprawy – za pomocą współczynnika k .

Uzyskane w ten sposób rozwiązania charakteryzują się wyższą efektywnością EF , która stanowi o lepszym z punktu widzenia kosztu wykorzystaniu środków finansowych.

W celu ustalenia poprawności przyjętych w modelu rozwiązań posłużono się przykładem testowym (rb_3.proj). Przeprowadzone obliczenia sprawdzające przy różnych wartościach współczynnika k potwierdzają zgodność z przyjętymi założeniami w modelu. Rozwiązania określone wartością funkcji przystosowania, uzyskiwane przy wysokiej wartości współczynnika kary za przekroczenie, np. dla $k = 1$, okazywały się gorsze niż dla $k = 0$, gdy dopuści się możliwość elastycznego przekroczenia kosztu rozwiązania K od kwoty zakładanej

w budżecie G . Wyniki obliczeń dla różnych wartości $k = 0 \div 1$ przedstawiono w tabeli 4.15 i 4.16.

Obliczenia przeprowadzono dla określonych parametrów algorytmu ewolucyjnego: liczba generacji $g = 1000$, liczebność populacji $l_p = 100$ osobników, prawdopodobieństwo krzyżowania $p_k = 0,7$, prawdopodobieństwo mutacji $p_m = 0,01$, metoda selekcji turniejowej przy $l_g = 2$. Obliczenia przeprowadzono dla dwóch kwot budżetu, tj. $G = 4$ mln zł oraz $G = 1$ mln zł .

Tabela 4.15. Wyniki obliczeń uzyskane dla różnych wartości współczynnika k dla $G = 4$ mln zł

Wartość współczynnika kary k	Średnia wartość przystosowania \bar{F}	Średni przyrost wartości użytkowej \overline{WUB}	Średni koszt rozwiązań \bar{K}	Średnia efektywność napraw \overline{EF}
0,0	17,569	17,607	4008668	4,392
0,2	17,496	17,536	4007640	4,376
0,4	17,477	17,521	4006366	4,373
0,6	17,326	17,348	4001237	4,336
0,8	17,299	17,322	4002084	4,328
1,0	17,155	17,168	3999810	4,292

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 4.16. Wyniki obliczeń uzyskanych dla różnych wartości współczynnika k dla $G = 1$ mln zł

Wartość współczynnika kary k	Średnia wartość przystosowania \bar{F}	Średni przyrost wartości użytkowej \overline{WUB}	Średni koszt rozwiązań \bar{K}	Średnia efektywność napraw \overline{EF}
0,0	6,088	6,194	1012203	6,122
0,2	5,957	6,019	1006641	5,981
0,4	5,858	5,892	1003577	5,870
0,6	5,667	5,772	1005493	5,690
0,8	5,480	5,496	1000552	5,492
1,0	5,360	5,372	999205	5,376

Czas symulacji wygenerowanego rozwiązania wynosił 356,634 s., tj. (ok.) 6 min

Źródło: Opracowanie własne

Z przeprowadzonych obliczeń, dla przyjętych kosztów napraw, najwyższą wartość funkcji przystosowania (oceniającej rozwiązania) uzyskano dla wartości współczynnika $k = 0$. Zwiększanie jej wartości do $k = 1$ pozwalało znajdować rozwiązania bliższe kwocie zakładanej w budżecie, ale też o niższej wartości funkcji przystosowania.

Wskazane jest zatem poszukiwanie rozwiązań dla jak najniższych wartości współczynnika k , co zapewni uzyskanie lepszego rozwiązania. Może to jednak skutkować tym, że wyniki (rozwiązania remontowe) w większym stopniu będą

odbiegać od zakładanej kwoty budżetu remontowego – mogą ją przekroczyć jak i jej niewykorzystać.

Przeprowadzono badania jakości uzyskiwanych wyników (rozwiązań remontowych) dla przyjętej wartości $k = 0$. W pierwszym przypadku dla kwoty $G = 4$ mln zł, przekroczenie to wyniosło 8668 zł, co stanowiło ok. 0,2% całej kwoty. W drugim przypadku dla $G = 1$ mln zł wyszukane rozwiązanie przekroczyło zakładany koszt o 12203 zł, co stanowiło 1,2% kwoty przeznaczonej na remont. Można zatem uznać, że poszukiwanie rozwiązań remontowych przy niskich wartościach współczynnika k jest bardziej uzasadnione w szerszym zakresie rozwiązań dopuszczalnych. Przyjęte w modelu rozwiązanie dopuszczające możliwość przekroczenia zakładanej kwoty remontu, za pomocą odpowiednich ustawień współczynnika kary k , pozwala na dużą elastyczność w poszukiwaniu rozwiązań satysfakcjonujących dla decydenta (zarządcy).

4.4.2. Analiza wrażliwości modelu decyzyjnego

W dalszej kolejności przeprowadzono graficzną analizę wrażliwości modelu rozmytego w celu określenia zależności przyczynowo-skutkowych pomiędzy parametrami modelu i danymi wejściowymi modelu a efektem modelowania (aproksymowaną wartością użytkową budynku).

Badaniu poddano również wpływ dwóch różnych operatorów wnioskowania *min* oraz *prod* na jakość uzyskiwanych wyników. Obliczenia przeprowadzono w programie Fuzzy Logic Matlab (R2010a) wersja 7.10, zaś do opracowania wykresów zastosowano program Surface Fitting Tools Matlab (R2010a) wersja 7.10.

Funkcja określająca wartość użytkową budynku WUB jest opisana trzema zmiennymi wejściowymi K_1 – stan techniczny, K_2 – stan energetyczny, K_3 – stan funkcjonalny, z których każda opisana jest przy użyciu zbiorów rozmytych. Wzajemne relacje pomiędzy zmiennymi wejściowymi opisane są w postaci reguł, z których model rozmyty korzysta przy obliczaniu wartości użytkowej budynku. Baza reguł modelu rozmytego stanowi swoistą wiedzę o charakterze nieliniowym, której postać jest zbyt złożona, aby można było ją opisać typowymi zależnościami matematycznymi.

Z powyższych względów badanie wrażliwości modelu rozmytego przeprowadzono na podstawie graficznej interpretacji uzyskanych wyników (rys. 4.14–4.16). Badano wpływ zmiany wartości zmiennych wejściowych na wartość użytkową budynku dla dwóch różnych operatorów wnioskowania *prod* oraz *min*. Miało to na celu dobór operatora, którego sposób wnioskowania jest bardziej odpowiedni przy aproksymacji funkcji wartości użytkowej budynku.

Badania polegały na zmianie wartości jednej ze zmiennych wejściowych przy założeniu, że pozostałe zmienne są stałe. Przeprowadzono szereg symulacji, w wyniku których uzyskano aproksymowane rozkłady funkcji wartości

użytkowej budynku, stanowiących podstawę do analizy zachowania się modelu przy określonych wartościach zmiennych wejściowych.

Badania przeprowadzono dla trzech przypadków polegających na:

- 1) Zmianie wartości stanu funkcjonalnego K_3 w zakresie $0 \div 5$ pkt, przy stałej wartości stanu energetycznego $K_2 = \text{const.} = 175 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$. Obliczenia przeprowadzono dla jedenastu wartości ocen stanu technicznego $K_1 \in \{0, 10, 20, \dots, 100\} \%$.
- 2) Zmianie wartości stanu technicznego K_1 w zakresie $0 \div 100 \%$, przy stałej wartości stanu funkcjonalnego $K_3 = \text{const.} = 2,5$ pkt. Obliczenia przeprowadzono dla siedemnastu wartości ocen stanu energetycznego $K_2 \in \{20; 40; \dots; 340\} \text{ kWh/m}^2\text{rok}$.
- 3) Zmianie stanu energetycznego K_2 w zakresie wartości $20 \div 340 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$ przy stałej wartości stanu technicznego $K_1 = \text{const.} = 50\%$. Obliczenia przeprowadzono dla jedenastu wartości ocen stanu funkcjonalnego $K_3 \in \{0, 0; 0, 5; 1, 0; \dots; 5, 0\}$ pkt.

Ad. 1.

W tabeli 4.17 i 4.18 oraz na rysunku 4.14 przedstawiono wyniki obliczeń wartości użytkowej budynku WUB przy zastosowaniu operatora *prod* i *min*. Obliczenia przeprowadzono dla całego zakresu zmienności ocen stanu funkcjonalnego $K_3 = 0 \div 5$ pkt i stanu technicznego $K_1 = 0 \div 100\%$, przy założeniu stałej wartości $K_2 = \text{const.} = 175 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$.

Analiza wyników obliczeń, zarówno w przypadku zastosowania operatora *prod* (tab. 4.17 oraz rys. 4.14), jak i operatora *min* (tab. 4.18), prowadzi do następujących wniosków:

- wpływ, jaki wywiera zmiana oceny K_3 w zakresie wartości $0 \div 5$ pkt, w największym stopniu przekłada się na przyrost WUB w przedziale wartości oceny $K_1 = 90 \div 100\%$,
- zmiana wartości oceny K_1 dla zakresu zmienności $0 \div 5$ pkt, przynosi największą poprawę WUB , gdy ocena K_3 jest niska, tj. $0 \div 1$ pkt. Dla budynków o wyższej ocenie K_3 przyrost WUB jest odpowiednio mniejszy i np. może wynieść 20,9 pkt przy zmniejszeniu stopnia zużycia budynku z początkowych $40 \div 20\%$,
- poprawa K_3 wywiera największy wpływ na przyrost WUB , gdy ocena K_1 jest w przedziale wartości $70 \div 100\%$, gdy zaś ocena K_1 jest „lepsza”, tj. poniżej 70% wpływ na przyrost WUB maleje,

- analogicznie jak wyżej, w największym stopniu poprawa K_1 przekłada się na wzrost WUB , gdy ocena K_3 jest niska, tj. gdy $K_3 = 0 \div 1$ pkt, zaś największy wpływ uzyskiwany jest gdy ocena $K_3 = 0$ pkt,
- uzyskane wyniki obliczeń przy użyciu operatora *min* były niepoprawne ze względu na nadmierną wrażliwość modelu w przyjętych zakresach zmiany wartości zmiennych wejściowych, np. przy zmianie oceny K_3 w zakresie $0,5 \div 2$ pkt przy $K_1 = 10\%$ i K_3 w zakresie $1 \div 3$ pkt przy $K_1 = 20\%$ oraz K_3 w zakresie $1,0 \div 2,0$ pkt przy $K_1 = 70\%$.

Tabela 4.17. Obliczone wartości użytkowe budynku przy $K_2 = \text{const.} = 175$ kWh/m²rok, $K_1 = 0 \div 100\%$, $K_3 = 0 \div 5$ pkt dla operatora *prod*

K_3	K_1										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,0	75	70,8	54,2	42,9	33,3	29,2	25	15	5	0	0
0,5	75	70,8	54,2	44,3	36,6	30,8	25	15,7	6,3	1,63	1,63
1,0	75	70,8	54,2	45,7	39,9	32,5	25	16,3	7,65	3,31	3,31
1,5	75	70,8	54,2	47,1	43,3	34,1	25	17	8,99	4,98	4,98
2,0	75	70,8	54,2	48,6	46,6	35,8	25	17,7	10,3	6,66	6,66
2,5	75	70,8	54,2	50	50	37,5	25	18,3	11,7	8,33	8,33
3,0	75	71,7	58,3	52,8	50	38,3	26,7	20,7	14,7	11,6	11,6
3,5	75	72,5	62,5	55,7	50	39,2	28,3	23	17,6	15	15
4,0	75	73,3	66,6	58,5	50	40	30	25,3	20,6	18,3	18,3
4,5	75	74,1	70,7	61,4	50	40,8	31,6	27,6	23,6	21,6	21,6
5,0	75	75	74,9	64,2	50	41,6	33,3	29,9	26,6	24,9	24,9

Źródło: Opracowanie własne

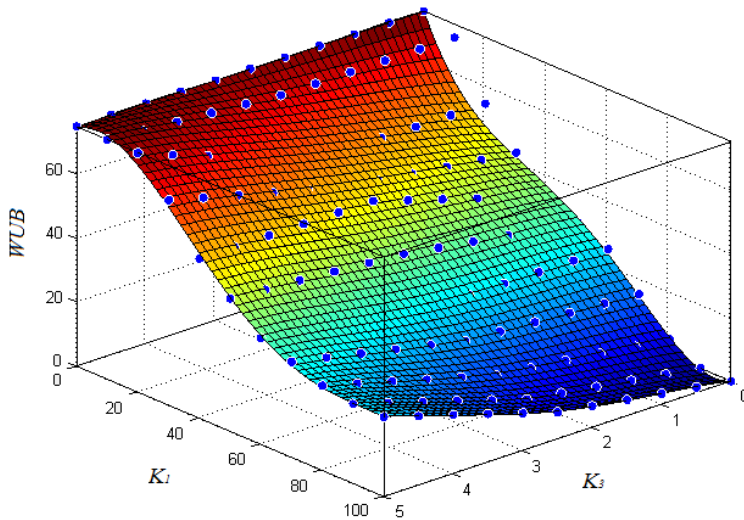
Tabela 4.18. Obliczone wartości użytkowe budynku przy $K_2 = \text{const.} = 175$ kWh/m²rok, $K_1 = 0 \div 100\%$, $K_3 = 0 \div 5$ pkt dla operatora *min*

K_3	K_1										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,0	75	68,7	56,3	43,6	33,3	30	25	14	7,14	0	0
0,5	75	66,9	58,1	45,6	38	32,4	25	15,5	11,3	3,5	3,5
1,0	75	67,8	57,2	46,6	41	33,5	25	16	11,5	5,02	5,02
1,5	75	67,8	57,2	46,8	44	34,3	25	15,9	11,5	5,02	5,02
2,0	75	66,9	58,1	48	46,4	35,5	25	16,9	12,9	5,95	5,95
2,5	75	68,7	56,3	50	50	37,5	25	19	13,1	8,33	8,33
3,0	75	71	62,9	54,1	50	39,5	28,6	23	19,7	13,1	13,1
3,5	75	71,4	65	55,9	50	40,2	30	24,5	20,9	15,9	15,9
4,0	75	71,4	67,1	57,2	50	40,2	30	24,5	22,9	18,9	18,9
4,5	75	71	70,1	59,1	50	40,8	30,9	26,3	24,9	21,4	21,4
5,0	75	74,8	74,8	63,4	50	42,4	33,2	29,9	28,4	24,9	24,9

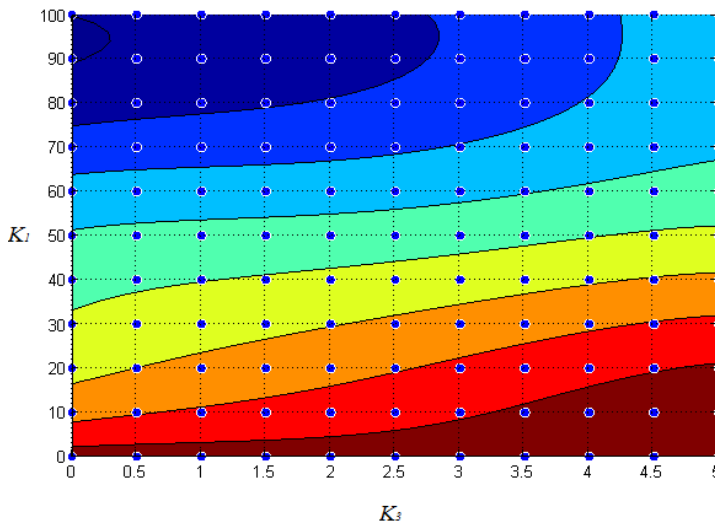
Źródło: Opracowanie własne

Wyniki obliczeń z tabeli 4.17 dla operatora *prod* zilustrowano na rysunku 4.14.

a) $WUB = f(K_1, K_3) \quad K_2 = \text{const.} = 175 \text{ kWh/m}^2 \text{ rok}$



b) $WUB = f(K_1, K_3) \quad K_2 = \text{const.} = 175 \text{ kWh/m}^2 \text{ rok}$



Rys. 4.14. Wykres funkcji $WUB = f(K_1, K_3)$ przy $K_2 = \text{const.} = 175 \text{ kWh/m}^2 \text{ rok}$, $K_1 \in \{0; 10; 20; \dots; 100\}$, $K_3 \in \{0; 1; 0; 1,5; \dots; 5\}$ dla operatora *prod*: a) przestrzenny, b) powierzchniowy

Źródło: Opracowanie własne

Ad.2.

W tabeli 4.19 oraz 4.20 oraz na rysunku 4.15 przedstawiono wyniki obliczeń wartości użytkowej budynku *WUB* przy zastosowaniu operatora *prod* i *min*. Obliczenia przeprowadzono dla całego zakresu zmienności ocen stanu technicznego $K_1 = 0 \div 100\%$ i stanu energetycznego $K_2 = 20 \div 340 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$, przy założeniu stałej wartości $K_3 = \text{const.} = 2,5\text{pkt}$.

Analiza wyników przeprowadzonych obliczeń, zarówno w przypadku zastosowania operatora wnioskowania *prod* (tab. 4.19 oraz rys. 4.15), jak i operatora *min* (tab. 4.20), prowadzi do następujących wniosków:

- największy wpływ na przyrost *WUB* jaki niesie za sobą poprawa oceny K_1 , przy K_2 zawierającym się w przedziale $220 \div 140 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$, występuje w przedziale zmienności $K_1 = 0 \div 60\%$,
- najmniejsza możliwość poprawy *WUB* występuje przy zmianie oceny K_2 (zmniejszeniu zużycia energii) w przedziale $200 \div 100 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$, gdy ocena K_1 jest w przedziale $30 \div 50\%$,
- znacząca poprawa wartości użytkowej budynków przy K_1 określanym jako zadowalający/średni, tj. w przedziale $16 \div 110\%$, ma miejsce dopiero przy poprawie K_2 (zmniejszeniu zużycia energii) z $100 \div 20 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$,
- dla budynków, dla których ocena $K_1 = 71 \div 100\%$ poprawa oceny K_2 w przedziale wartości $200 \div 120 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$ przynosi znaczący wzrost *WUB*,
- dla budynków, dla których ocena K_2 znajduje się w przedziale $200 \div 140 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$, możliwości znaczącego przyrostu *WUB* poprzez poprawę oceny K_1 , występują w zakresie wartości $0 \div 80\%$,
- uzyskane wyniki obliczeń przy użyciu operatora *min* były niepoprawne ze względu na nadmierną wrażliwość modelu w analizowanych zakresach zmiany wartości zmiennych wejściowych, np. przy zmianie oceny K_3 w przedziale wartości $40 \div 80 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$, przy $K_1 = 10\%$. Prowadziło to do niewłaściwych wskazań, stąd do dalszych obliczeń przyjęto operator wnioskowania *prod*.

Tabela 4.19. Obliczone wartości użytkowe budynku przy $K_3 = \text{const.} = 2,5$ pkt, $K_1 = 0 \div 100\%$,
 $K_2 = 20 \div 340$ kWh/m²rok dla operatora *prod*

K_2	K_1										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
20	100	95,8	79,2	75	75	62,5	50	40	30	25	25
40	100	95,8	79,2	72,3	68,7	59,4	50	40	30	25	25
60	100	95,8	79,2	65,2	52,1	51	50	40	30	25	25
80	84,1	82,6	75,6	64,3	50	42	34,1	30,5	26,8	25	25
100	75	73,8	69	60,2	50	37,5	25	25	25	25	25
120	75	71,4	57,1	52	50	37,5	25	25	25	25	25
140	75	70,8	54,2	50	50	37,5	25	23	21	20	20
160	75	70,8	54,2	50	50	37,5	25	20,3	15,7	13,3	13,3
180	75	70,8	54,2	50	50	37,5	25	17,7	10,3	6,67	6,67
200	75	70,8	54,2	50	50	37,5	25	15	5	0	0
220	75	70,8	54,2	47,9	45	35	25	15	5	0	0
240	75	70,8	54,2	45,7	40	32,5	25	15	5	0	0
260	75	70,8	54,2	43,6	35	30	25	15	5	0	0
280	75	70,8	54,2	41,4	30	27,5	25	15	5	0	0
300	75	70,8	54,2	39,3	25	25	25	15	5	0	0
320	75	70,8	54,2	39,3	25	25	25	15	5	0	0
340	75	70,8	54,2	39,3	25	25	25	15	5	0	0

Źródło: opracowanie własne

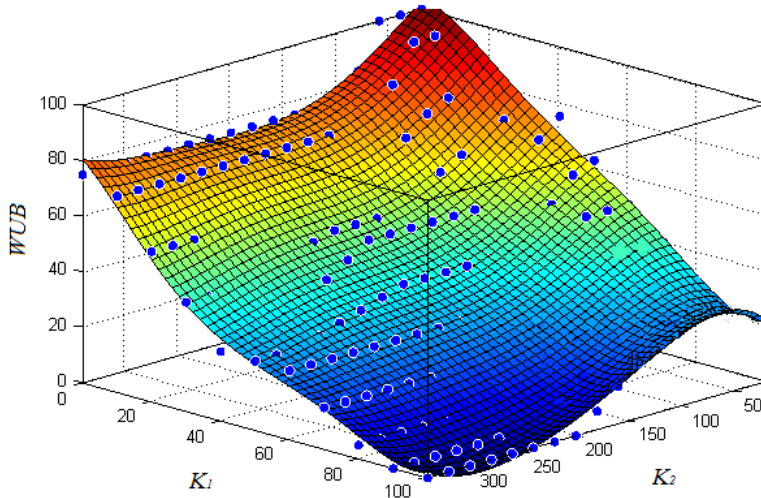
Tabela 4.20. Obliczone wartości użytkowe budynku przy $K_3 = \text{const.} = 2,5$ pkt, $K_1 = 0 \div 100\%$,
 $K_2 = 20 \div 340$ kWh/m²rok dla operatora *min*

K_2	K_1										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
20	100	95,8	79,2	75	75	62,5	50	40	30	25	25
40	100	93,7	81,3	70,8	68,8	58,3	50	39,2	32,1	25	25
60	100	94,6	80,4	65,8	52,1	51,8	50	39,6	31,1	25	25
80	84,1	81,8	78,1	63,5	50	42,8	34,1	30,3	28,6	25	25
100	75	71,9	69,6	59,1	50	37,5	25	25	25	25	25
120	75	71,8	58,8	52,8	50	37,5	25	25	25	25	25
140	75	68,7	56,3	50	50	37,5	25	21,4	21,4	20	20
160	75	68,7	56,3	50	50	37,5	25	19,4	16,7	13,3	13,3
180	75	68,7	56,3	50	50	37,5	25	18,5	11,9	6,67	6,67
200	75	70,8	54,2	50	50	37,5	25	15	5	0	0
220	75	68,7	56,3	46,4	45	33,9	25	14,3	7,14	0	0
240	75	68,7	56,2	44,4	40	31,9	25	13,9	7,14	0	0
260	75	68,7	56,2	44	35	30,6	25	13,9	7,14	0	0
280	75	68,7	56,2	42,3	30	28,6	25	14,3	7,14	0	0
300	75	70,8	54,2	39,3	25	25	25	15	5	0	0
320	75	70,8	54,2	39,3	25	25	25	15	5	0	0
340	75	70,8	39,3	39,3	25	25	25	15	5	0	0

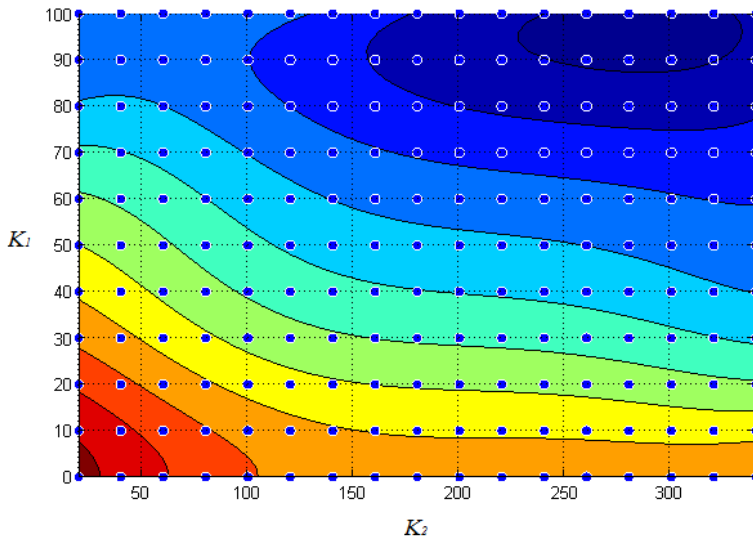
Źródło: Opracowanie własne

Wyniki obliczeń z tabeli 4.19 dla operatora *prod* przedstawiono na rys. 4.15.

a) $WUB = f(K_1, K_2) \quad K_3 = \text{const.} = 2,5 \text{ pkt}$



b) $WUB = f(K_1, K_2) \quad K_3 = \text{const.} = 2,5 \text{ pkt}$



Rys. 4.15. Wykres funkcji $WUB = f(K_1, K_2)$ przy $K_3 = \text{const.} = 2,5$ pkt, $K_1 \in \{0; 10; 20; \dots; 100\}$, $K_2 \in \{20; 40; 60; \dots; 340\}$ dla operatora *prod*: a) przestrzenny, b) powierzchniowy

Źródło: Opracowanie własne

Ad. 3

W tabeli 4.21, 4.22 oraz na rysunku 4.16 przedstawiono wyniki obliczeń (przy zastosowaniu operatora *prod* i *min*) wartości użytkowej budynku *WUB* przeprowadzone dla całego zakresu zmienności ocen stanu energetycznego $K_2 = 20 \div 340$ kWh/m²rok i stanu funkcjonalnego $K_3 = 0 \div 5$ pkt, przy założeniu stałej wartości $K_1 = \text{const.} = 50\%$.

Analiza uzyskanych wyników w ramach przeprowadzonych badań, zarówno w przypadku zastosowania operatora *prod* (tab. 4.21 oraz rys. 4.16), jak i operatora *min* (tab. 4.22), prowadzi do następujących wniosków:

- możliwość uzyskania dużego przyrostu *WUB* występuje przy poprawie oceny K_2 w przedziale wartości $200 \div 20$ kWh/m²rok, w całym zakresie zmienności K_3 , przy czym uzyskanie największego przyrostu *WUB* jest możliwe dopiero w przedziale wartości K_2 , dla wartości $100 \div 20$ kWh/m²rok,
- najmniejsze możliwości poprawy *WUB* występują przy poprawie oceny K_2 w zakresie wartości $340 \div 240$ kWh/m²rok, w całym zakresie wartości zmiennej K_3 ,
- poprawa oceny K_3 w zakresie wartości określanych jako niski, tj. $K_3 = 0 \div 1,5$ pkt w nieznacznym stopniu przyczynia się do przyrostu *WUB*, natomiast w przypadku poprawy oceny K_3 w zakresie $2 \div 3$ pkt przyrost *WUB* może wynosić nawet 12,5 pkt,
- poprawa przyrostu *WUB* praktycznie nie występuje, gdy ocena kryteriów K_2 i K_3 jest skrajnie zła, tj. gdy $K_3 = 0 \div 2,0$ pkt i $K_2 = 300 \div 340$ kWh/m²rok. Uzyskanie w tym przypadku przyrostu *WUB* wymaga znacznej poprawy oceny przynajmniej jednej ze zmiennych – K_2 lub K_3 ,
- niewielki, choć równomierny, przyrost *WUB* jest uzyskiwany, gdy następuje poprawa oceny K_3 przy $K_2 = 0 \div 200$ kWh/m²rok. Uzyskanie przyrostu *WUB* jest bardziej zauważalne, gdy poprawie ulega ocena K_3 powyżej 1,5 pkt przy $K_2 = 200 \div 300$ kWh/m²rok,
- uzyskane wyniki obliczeń, zarówno przy użyciu operatora *prod*, jak i *min*, były poprawne i nie wykazywały nadmiernej wrażliwości modelu w analizowanych zakresach zmiany wartości zmiennych wejściowych.

Tabela 4.21. Obliczone wartości użytkowe budynku przy $K_1 = \text{const.} = 50\%$, $K_3 = 0 \div 5$ pkt,
 $K_2 = 0 \div 340$ kWh/m²rok dla operatora *prod*

K_2	K_3											
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	
20	50	52,4	55	57,5	60	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5
40	46,9	49,3	51,8	54,3	56,9	59,4	60	60,6	61,2	61,9	62,5	62,5
60	38,5	41	43,5	46	48,5	51	53,3	55,6	57,9	60,2	62,4	62,4
80	37,5	38,4	39,3	40,2	41,1	42	44,5	47	49,5	52	54,4	54,4
100	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	40	42,5	45	47,4	49,9	49,9
120	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	40	42,5	45	47,4	49,9	49,9
140	35	35,5	36	36,5	37	37,5	39,5	41,5	43,5	45,5	47,4	47,4
160	31,7	32,8	34	35,2	36,3	37,5	38,8	40,2	41,5	42,8	44,1	44,1
180	28,3	30,1	32	33,8	35,7	37,5	38,2	38,8	39,5	40,2	40,8	40,8
200	25	27,4	30	32,5	35	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5
220	25	27	29	31	33	35	35,5	36	36,5	37	37,5	37,5
240	25	26,5	28	29,5	31	32,5	33,5	34,5	35,5	36,5	37,5	37,5
260	25	26	27	28	29	30	31,5	33	34,5	36	37,5	37,5
280	25	25,5	26	26,5	27	27,5	29,5	31,5	33,5	35,5	37,4	37,4
300	25	25	25	25	25	25	27,5	30	32,5	34,9	37,4	37,4
320	25	25	25	25	25	25	27,5	30	32,5	34,9	37,4	37,4
340	25	25	25	25	25	25	27,5	30	32,5	34,9	37,4	37,4

Źródło: Opracowanie własne

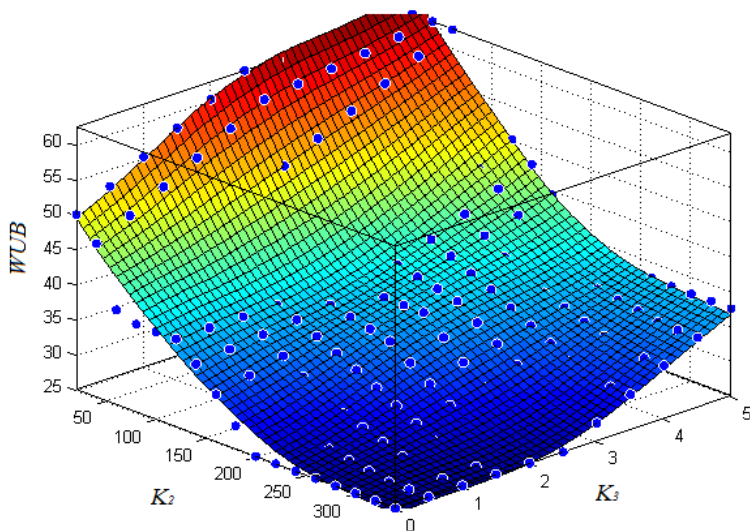
Tabela 4.22. Obliczone wartości użytkowe budynku przy $K_1 = \text{const.} = 50\%$, $K_3 = 0 \div 5$ pkt,
 $K_2 = 0 \div 340$ kWh/m²rok dla operatora *min*

K_2	K_3											
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	
20	50	53,5	55,5	56,9	58,9	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5
40	45,8	49,4	51,3	52,2	53,3	58,3	59,8	60,3	60,3	60,3	62,4	62,4
60	39,3	44	45,1	46,3	48,3	51,8	55,3	56,6	57,8	59,6	62,4	62,4
80	37,5	39,4	40,3	40,3	41,1	42,8	47	49	49,7	51,6	55,1	55,1
100	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	41,7	43,3	44,2	45,7	49,8	49,8
120	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	41,8	43,2	44,2	45,6	49,8	49,8
140	33,9	32,1	35,6	35,6	35,2	37,5	39,8	41,3	42,3	43,2	46,3	46,3
160	31,5	33,2	34,2	34,7	35,7	37,5	39,3	40,3	41	42	43,9	43,9
180	28,3	32,1	33,1	34	35,4	37,5	39,6	39,8	39,8	40,3	41,8	41,8
200	25	28,5	30,05	31,9	33,9	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5
220	25	27,2	28,8	29,8	30,7	33,9	35,2	35,6	35,6	35,2	37,4	37,4
240	25	26,9	27,9	28,7	29,8	31,9	33,7	34,6	34,6	35,5	37,4	37,4
260	25	26,9	27,9	27,9	28,8	30,6	32,7	33,8	34,5	35,5	37,4	37,4
280	25	27,2	26,9	26,9	27,3	28,6	31,8	32,7	33,6	35,2	37,4	37,4
300	25	25	25	25	25	25	28,6	30,6	31,9	33,9	37,4	37,4
320	25	25	25	25	25	25	28,6	30,6	31,9	33,9	37,4	37,4
340	25	25	25	25	25	25	28,6	30,6	31,9	33,9	37,4	37,4

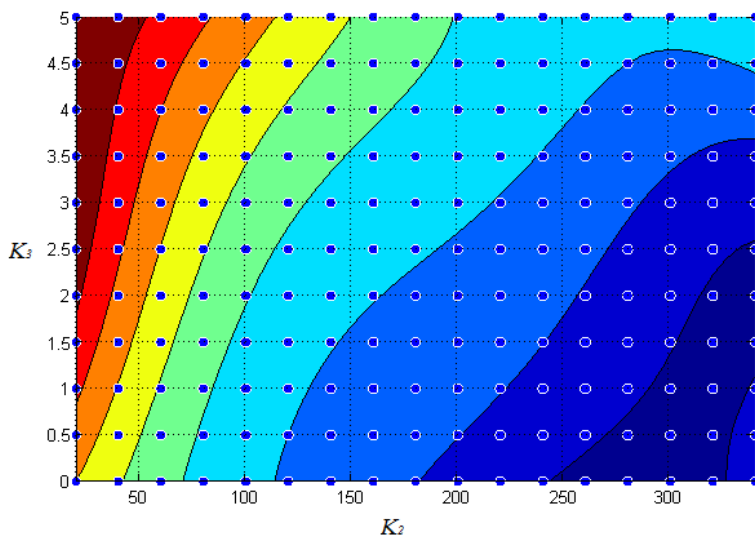
Źródło: Opracowanie własne

Wyniki obliczeń z tabeli 4.21 dla operatora *prod* przedstawiono na rys. 4.16.

a) $WUB = f(K_3, K_2) \quad K_1 = \text{const.} = 50\%$



b) $WUB = f(K_3, K_2) \quad K_1 = \text{const.} = 50\%$



Rys. 4.16. Wykres funkcji $WUB = f(K_3, K_2)$ przy $K_1 = \text{const.} = 50\%$, $K_2 \in \{20; 40; 60 \dots; 340\}$, $K_3 \in \{0; 1; 0; 1,5; \dots; 5\}$ dla operatora *prod*: a) przestrzenny, b) powierzchniowy

Źródło: Opracowanie własne

4.4.3. Podsumowanie analizy wrażliwości

Podsumowując należy stwierdzić, że przeprowadzona analiza modelu miała na celu poznanie wrażliwości modelu na zmianę parametrów zmiennych wejściowych. Odwzorowują one podejmowane decyzje w zakresie poprawy oceny stanu technicznego, funkcjonalnego oraz energetycznego. Na podstawie wyników z przeprowadzonych badań można wyciągnąć pewne ogólne wnioski, które dotyczą zachowania modelu:

- największy wpływ na przyrost wartości użytkowej budynku ma poprawa oceny stanu technicznego K_1 , jednakże jego wielkość jest ściśle uzależniona od oceny stanu pozostałych zmiennych wejściowych, tj. stanu funkcjonalnego K_3 i energetycznego K_2 ,
- dominujący wpływ na wartość użytkową WUB ma ocena stanu technicznego K_1 (tab. 4.17–4.20). Potwierdzają to również opinie zarządców budynków mieszkalnych, z którymi związany jest pewien sposób formułowania oceny budynku, zgodnie z którym ocenia się budynek jako zły, gdy K_1 jest zły (pomimo nie najgorszych ocen pozostałych kryteriów), jak również ocenia się stan budynku jako dobry, gdy ocena K_1 jest dobra pomimo słabych ocen innych kryteriów, np. oceny funkcjonalnej,
- większą wrażliwość modelu na zmianę wartości zmiennych wejściowych uzyskiwano przy zastosowaniu operatora *min*. Jednakże z uwagi na niekorzystne zachowania systemu wnioskującego w pewnym zakresie zmiany wartości wejściowych (tab. 4.18 i 4.20), uznano go za nieodpowiedni i do modelu przyjęto operator wnioskowania *prod*. Generalnie wykazuje on mniejszą czułość na zmianę wartości wejściowych, przez co jakość uzyskiwanych wyników pozbawiona jest zakłóceń jakie występowały w przypadku zastosowania operatora *min*,
- poprawa oceny stanu energetycznego K_2 ma istotny wpływ na przyrost wartości użytkowej. Jedynie w bardzo wąskim zakresie ocen pozostałych zmiennych dało się zaobserwować mniejszy i nierównomierny przyrost wartości użytkowej budynku na skutek poprawy stanu energetycznego,
- najmniejszy wpływ na zmianę wartości użytkowej budynku model wykazywał przy poprawie oceny funkcjonalnej K_3 . Wynika to z mniejszej wagi, jaką do stanu funkcjonalnego przykładali eksperci biorący udział przy określaniu reguł systemu wnioskującego. Również nie bez znaczenia jest przyjęty podział zmiennej wejściowej, wyrażonej za pomocą trzech zbiorów rozmytych, przez co model jest mniej wrażliwy na zmianę wartości wejściowych,
- zmiana parametrów wejściowych zmiennych K_j wynikająca z zastosowania proponowanych napraw w budynku/ach wykazywała działanie zgodne z założonymi oczekiwaniami dla przyrostu wartości użytkowej budynku.

5. Zastosowanie modelu decyzyjnego do wyboru wariantów remontu lub przebudowy budynków mieszkalnych

Zastosowanie opracowanego modelu pokazano na przykładzie wyboru rozwiązań remontowych pięciu budynków mieszkalnych, dla których poszukiwane będą naprawy pozwalające uzyskać największy przyrost wartości użytkowej budynków. Budynki wykonano w systemie prefabrykacji W-70. Dane techniczne analizowanych budynków zestawiono w tabeli 5.1.

Tabela.5.1. Dane techniczne analizowanych 5 wielorodzinnych budynków mieszkalnych

Dane techniczne	Budynek <i>l</i>				
	1	2	3	4	5
Pow. użytkowa [m ²]	4017,2	4484,0	2862,5	2700,38	2703,0
Liczba kondygnacji	11	7/5	5	5	5

Źródło: Opracowanie na podstawie dokumentacji technicznej budynków mieszkalnych

Określenie wag elementów/ustrojów budowlanych przyjętych do oceny stanu technicznego oraz cech stanu funkcjonalnego przeprowadzono na podstawie opinii dziesięciu ekspertów. Wyniki badań zestawiono w tabeli 5.2 i 5.3.

Tabela 5.2. Obliczenia ważności (wag) elementów stanu technicznego W_{E_i}

Stan techniczny K_1													
L.p.	Element E_i	Ocena <i>i</i> -tego elementu przez <i>k</i> -tego eksperta										W_{E_i}	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	Ściany piwnic/fundamenty	BD	BD	BD	BD	BD	BD	BD	BD	BD	BD	0,105	
2	Ściany nadziemne	BD/D	BD	BD	D	BD	BD	BD/D	BD	BD	BD	0,100	
3	Schody	D	D	D	Ś/D	Ś	Ś	D	Ś/D	Ś	D	0,072	
4	Stropy	BD	BD	BD	BD	BD	BD	BD	BD	BD	BD	0,105	
5	Dach	Ś/D	Ś	D	Ś	Ś/D	Ś	D	D	Ś	Ś	0,067	
6	Balkony	Ś	Ś	M	Ś	Ś/D	Ś	M	Ś/D	Ś	M	0,054	
7	Wiatrołapy	BM	BM	M	BM	BM	M	M	BM	M	BM	0,021	
8	Elewacja	Ś/D	Ś/D	Ś	D	Ś	Ś/M	D	Ś	D	Ś/D	0,067	
9	Klatka schodowa	M	Ś	M	Ś/M	Ś/M	M	Ś/M	M	Ś	Ś/M	0,044	
10	Orynnowanie	BM	BM	BM	BM	BM	BM	BM	BM	BM	BM	0,012	
11	Stolarka okienna	Ś	Ś/D	Ś	Ś	Ś	Ś/D	Ś	Ś	D	Ś	0,086	
12	Stolarka drzwiowa	BM	BM	BM	M	BM	BM	M	BM	BM	BM	0,016	
13	Instalacja	elektryczna	Ś	Ś	Ś/M	Ś	Ś	Ś	Ś/M	Ś/M	Ś	Ś/M	0,053
14		c.o.	Ś	Ś	Ś	Ś/M	Ś	Ś	Ś/M	Ś	Ś	Ś	0,056
15		wodna	Ś/D	Ś	Ś	Ś	Ś/M	Ś/M	Ś	Ś	Ś	Ś	0,057
16		kanalizacyjna	Ś/M	M	M	M	Ś/M	M	Ś/M	M	M	Ś	0,041
17		gazowa	Ś/M	M	Ś/M	M	Ś/M	Ś	Ś/M	M	Ś	M	0,044

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 5.3. Obliczenia ważności (wag) cech stanu funkcjonalnego W_{C_i}

Stan funkcjonalny K_3												
L.p.	Cecha C_i	Ocena i -tej cechy przez k -tego eksperta										W_{C_i}
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Użyteczność balkonów	Ś	Ś	D	M	Ś	Ś	Ś	M	M	Ś	0,148
2	Wejścia do budynku	Ś	D	Ś	BD	D	Ś	Ś	D	BD	D	0,213
3	Komunikacja budynku	BD	D	D	BD	BD	D	BD	Ś	BD	D	0,252
4	Ochrona budynku	Ś	D	Ś	D	Ś	Ś	D	Ś	D	BD	0,200
5	Sprawność wentylacji	Ś/D	Ś	Ś/D	D	Ś	D	Ś	Ś	Ś	D	0,187

Źródło: Opracowanie własne

Przeprowadzono ocenę budynków według przyjętych w pracy kryteriów wartości użytkowej, zgodnie z formułami (4.9–4.11). Wyniki przedstawiono w tabelach 5.4–5.6.

Tabela 5.4. Ocena stanu technicznego 5 budynków mieszkalnych

L.p.	Element E_i	w_{E_i}	Budynek l					
			1	2	3	4	5	
			Ocena elementów stanu technicznego $O_{E_i}^{K_1}$ [%]					
1	Ściany piwnic i fundamenty	0,105	50	30	50	30	30	
2	Ściany nadziemne	0,100	30	30	20	20	20	
3	Schody	0,072	30	50	50	30	30	
4	Stropy	0,105	30	30	20	30	30	
5	Dach	0,067	60	70	60	60	50	
6	Balkony/loggi	0,054	60	60	75	75	75	
7	Wiatrołapy	0,021	50	60	60	50	50	
8	Elewacja	0,067	80	70	75	70	80	
9	Klatka schodowa	0,044	20	70	70	50	60	
10	Orynnowanie	0,012	60	70	60	60	55	
11	Okna mieszkań/klatek schodowych/piwnic	0,086	30/80/80	30/80/60	(70/20)* 70/80	(70/30)* 80/80	(20/80)* 70/70	
12	Drzwi zewnętrzne	0,016	0	60	0	50	70	
13	Instalacja	elektryczna	0,053	70	70	60	60	60
14		c.o.	0,056	70	70	70	60	60
15		wodna	0,057	70	70	60	40	30
16		kanalizacyjna	0,041	70	60	60	60	60
17		gazowa	0,044	40	60	60	30	30
x_1 [%]			47,66	50,96	51,03	45,58	43,16	
* procentowy udział okien mieszkań								

Źródło: Opracowano na podstawie protokołów okresowej kontroli stanu sprawności technicznej i wartości użytkowej budynków mieszkalnych

Tabela 5.5. Ocena stanu energetycznego 5 budynków mieszkalnych

L.p.	Element E_i	Budynek l				
		1	2	3	4	5
		Ocena elementów stanu energetycznego $O_{C_i}^{K_2}$ [W/m ² K]				
1	Okna mieszkań	1,79	1,79	4,5(70%), 1,79(20%)	4,5(70%), 1,79(30%)	4,5(20%), 1,79(80%)
2	Okna klatek schodowych	5,5	4,5	4,5	4,5	4,5
3	Okna piwnic	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
4	Stolarka drzwiowa	1,6	5,5	1,6	5,5	5,5
5	Ściany zewnętrzne/szczyt.	0,84/0,48	0,84	0,84	0,84	0,84
6	Stropodach	0,21	0,43	0,43	0,21	0,21
7	Strop piwnic	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
x_2 [kWh/m ² rok]		172,70	143,12	173,96	172,87	151,79

Źródło: Opracowano na podstawie audytów energetycznych budynków mieszkalnych

Tabela 5.6. Ocena stanu funkcjonalnego 5 budynków mieszkalnych

L.p.	Cecha C_i	w_{C_i}	Budynek l				
			1	2	3	4	5
			Ocena cech stanu funkcjonalnego $O_{C_i}^{K_3}$ [pkt]				
1	Użyteczność balkonu	0,148	3	3	3	3	3
2	Wejścia do budynku	0,213	2	2	3	4	4
3	Komunikacja wewnętrzna	0,252	3	2	2	3	3
4	Sprawność wentylacji	0,187	2	2	2	2	2
5	Ochrona przed kradzieżą	0,200	2	1	2	1	1
x_3 [pkt]			2,40	1,95	2,36	2,63	2,63

Źródło: Opracowanie własne

Na podstawie przeprowadzonej oceny wartości użytkowej budynków ($B_1=40,03$ pkt, $B_2=35,7$ pkt, $B_3=35,8$ pkt, $B_4=43,03$ pkt, $B_5=46,05$ pkt) przyjęto, że wszystkie budynki wymagają podjęcia działań remontowych zmierzających do poprawy wartości ich wskaźnika.

Szczegółowy zakres napraw wskazano na podstawie ocen elementów stanu technicznego i energetycznego E_i oraz cech stanu funkcjonalnego C_i (tab. 5.4–5.6). Dla każdego z l -tych budynków zaproponowano naprawy w_{tir} (tab. 5.7–5.11), z których część może być wykonana według różnych sposobów określanych jako alternatywne warianty naprawy. Dane do obliczeń uzyskano z dokumentacji archiwalnej jednej ze spółdzielni mieszkaniowej (oceny okresowe roczne i pięcioletnie, audyty energetyczne, dokumentacja techniczna). Oszacowano koszt proponowanych napraw K_r oraz korzyści z ich zastosowania Δ_{ijr} mierzone przyrostem WUB dla każdego z j -tych kryteriów (wg formuły 4.31). W zależności od zastosowanej naprawy korzyść ta może odnosić się do jednego, dwóch a nawet trzech kryteriów.

Tabela 5.7. Dane do przykładu – proponowane naprawy dla budynku mieszkalnego $l = 1$

Numer elementu i	Nazwa elementu podlegającego naprawie	Nr wariantu naprawy r	Nazwa wariantu naprawy	Δ_{ijr}			Koszt naprawy K_r [zł]
				$K_{j=1}$ [%]	$K_{j=2}$ [kWh/m ² rok]	$K_{j=3}$ [pkt]	
1	Elewacja	1	dociepleni ścian elewacji (bez ścian szczytowych)	3,60	27,12	0,00	434 625
		2	docielenie ścian elewacji, wykonanie tynku cokołu	3,82	27,12	0,00	449 640
		3	malowanie elewacji i cokołu	1,34	0,00	0,00	67 053
2	Dach	1	naprawa pokrycia dachowego	0,07	0,00	0,00	27 773
		2	wymiana pokrycia dachowego	2,34	0,00	0,00	101 660
3	Wejścia do budynku	1	remont wiatrołapów, naprawa schodów	0,63	0,00	0,43	31 953
		2	remont wiatrołapów, naprawa schodów wejściowych, dobudowa pochylni	0,63	0,00	0,85	87 953
4	Balkony	1	podstawowa naprawa balkonów	0,54	0,00	0,00	38 115
		2	kompleksowa naprawa balkonów, wykonanie okładziny, poprawa balustrad	1,89	0,00	0,44	301 617
		3	kompleksowa naprawa balkonów	1,89	0,00	0,00	193 116
5	Orynnowanie	1	wymiana rynien dachowych i rur spustowych	0,72	0,00	0,00	16 290
6	Stolarka okienna	1	wymiana okien klatki schodowej i piwnic	1,84	7,30	0,00	66 617
7	Instalacja elektryczna	1	wymiana instalacji	3,71	0,00	0,00	319 769
		2	wymiana osprzętu elektroinst.	1,06	0,00	0,00	47 403
8	Instalacja c.o.	1	wymiana instalacji z grzejnikami	3,92	0,00	0,00	322 232
9	Instalacja wodna	1	wymiana instalacji	3,99	0,00	0,00	409 678
10	Instalacja kanalizacyjna	1		2,87	0,00	0,00	290 599
11	Strop piwnic	1	ocieplenie stropu	0,00	6,00	0,00	63 908
12	Ściany piwnic fundamenty	1	wykonanie izolacji przeciwwilgociowej pionowej oraz opaski odwadniającej	2,04	0,00	0,00	95 274
13	Wentylacja	1	montaż nawiewników higrosterowanych	0,00	0,00	0,19	53 500

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 5.8. Dane do przykładu – proponowane naprawy dla budynku mieszkalnego $l = 2$

Numer elementu i	Nazwa elementu podlegającego naprawie	Nr wariantu naprawy r	Nazwa wariantu naprawy	Δ_{ijlr}			Koszt naprawy K_r [zł]
				$K_{j=1}$ [%]	$K_{j=2}$ [kW/h/m ² rok]	$K_{j=3}$ [pkt]	
1	Elewacja	1	dociepleni ścian elewacji (bez ścian szczytowych)	4,38	35,10	0,00	548 012
		2	dociepleni ścian elewacji, wykonanie tynku na cokole	4,69	35,1	0,00	573356
		3	malowanie elewacji i cokołu	1,34	0,00	0,00	75 988
2	Dach	1	wymiana pokrycia dachowego z dociepleniem stropodachu	2,34	4,47	0,00	248 221
		2	wymiana pokrycia dachowego	2,34	0,00	0,00	146 733
		3	ociepleni stropodachu	0,00	4,47	0,00	120 204
3	Wejścia do budynku	1	remont wiatrołapów	0,63	0,00	0,00	18 922
		2	remont wiatrołapów wraz z przebudową wejścia	0,63	0,00	0,426	34066
4	Balkony	1	podstawowa naprawa balkonów	0,54	0,00	0,00	30 293
		2	kompleksowa naprawa balkonów, wyk. okładziny, popr.balustrad	1,89	0,00	0,44	239 715
		3	kompleksowa naprawa balkonów	1,89	0,00	0,00	153 482
5	Orynowanie	1	wymiana rynien dachowych i rur spustowych	0,84	0,00	0,00	17 226
6	Stolarka okienna	1	wymiana okien klatki schodowej	1,34	4,27	0,00	51 418
		2	wymiana okien klatki schodowej i piwnic	1,71	5,88	0,00	75 388
7	Stolarka drzw.	1	wymiana drzwi klatek schod.	0,96	2,20	0,20	30 420
8	Klatka schod.	1	malowanie klatek schodowych	2,25	0,00	0,00	119 177
9	Instalacja elektryczna	1	wymiana instalacji z osprzętem	3,71	0,00	0,00	356 926
		1	wymiana osprzętu elektroinst.	1,06	0,00	0,00	52 911
10	Instalacja gaz.	1	wymiana instalacji	2,64	0,00	0,00	180 077
11	Instalacja c.o.	1	wymiana instalacji z grzejnikami	3,92	0,00	0,00	366 432
12	Instalacja wodna	1	wymiana instalacji	3,99	0,00	0,00	345 268
13	Instalacja kan.	1		2,46	0,00	0,00	262 314
14	Strop piwnic	1	ociepleni stropu	0,00	11,7	0,00	133 484
15	Wentylacja	1	montaż nawiewników higroster.	0,00	0,00	0,187	33 000
16	Schody wewnętrzne	1	wykonanie antypoślizgowej okładziny schodów	1,44	0,00	0,504	130 783

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 5.9. Dane do przykładu – proponowane naprawy dla budynku mieszkalnego $l = 3$

Numer elementu i	Nazwa elementu podlegającego naprawie	Nr wariantu naprawy r	Rodzaj wariantu naprawy	Δ_{ijlr}			Koszt naprawy K_r [zł]
				$K_{j=1}$ [%]	$K_{j=2}$ [kWh/m ² rok]	$K_{j=3}$ [pkt]	
1	Elewacja	1	dociepleni ścian elewacji (bez ścian szczytowych)	4,68	32,60	0,00	313 055
		2	docielenie ścian elewacji, wykonanie tynk na cokole	5,03	32,60	0,00	327 795
		3	malowanie elewacji i cokołu	1,34	0,00	0,00	47 144
2	Dach	1	wymiana pokrycia dachowego z dociepleniem stropodachu	2,34	4,92	0,00	27 773
		2	wymiana pokrycia dachowego	2,34	0,00	0,00	101 660
3	Wejścia do budynku	1	remont wiatrołapów	0,63	0,00	0,00	12 080
		2	remont wiatrołapów wraz z przebudową wejścia	0,63	0,00	0,426	20 352
4	Balkony	1	kompleksowa naprawa balkonów	1,89	0,00	0,00	90 288
		2	kompleksowa naprawa balkonów, wyk. okładziny, popr. balustrad	1,89	0,00	0,44	141 016
5	Orynowanie	1	wymiana rynien dachowych i rur spustowych	0,72	0,00	0,00	10 836
6	Stolarka okienna	1	wymiana okien kl. schod. i piwnic	1,68	3,39	0,00	27 692
		2	wymiana okien mieszkań (60%), klatki schodowej i piwnic	4,33	42,35	0,00	225 626
7	Klatka schod.	1	malowanie klatek schodowych	2,25	0,00	0,00	48 962
8	Instalacja elektryczna	1	wymiana instalacji z osprzętem	3,18	0,00	0,00	343 394
		2	wymiana osprzętu elektroinst.	1,06	0,00	0,00	50 905
9	Instalacja gaz.	1	wymiana instalacji	2,64	0,00	0,00	114 958
10	Instalacja c.o.	1	wymiana instalacji z grzejnikami	3,92	0,00	0,00	271 222
11	Instalacja wodna	1	wymiana instalacji	3,42	0,00	0,00	220 413
12	Instalacja kan.	1		2,46	0,00	0,00	167 456
13	Strop piwnic	1	ocieplenie stropu	0,00	11,2	0,00	80 652
14	Ściany piwnic i fundamenty	1	wykonanie izolacji przeciwwilgociowej pionowej oraz opaski odwadniającej	2,04	0,00	0,00	160 256
15	Wentylacja	1	montaż nawiewników higroster.	0,00	0,00	0,187	22 000
16	Schody wewnętrzne	1	wykonanie antypoślizgowej okładziny schodów	1,44	0,00	0,504	58 223

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 5.10. Dane do przykładu – proponowane naprawy dla budynku mieszkalnego $l = 4$

Numer elementu i	Nazwa elementu podlegającego naprawie	Nr wariantu naprawy r	Rodzaj wariantu naprawy	Δ_{ijlr}			Koszt naprawy K_r [zł]
				$K_{j=1}$ [%]	$K_{j=2}$ [kWh/m ² rok]	$K_{j=3}$ [pkt]	
1	Elewacja	1	dociepleni ścian elewacji (bez ścian szczytowych)	4,48	37,30	0,00	343 638
		2	docielenie ścian elewacji, wykonanie tynku na cokole	4,69	37,30	0,00	353 813
		3	malowanie elewacji i cokołu	1,34	0,00	0,00	50 549
2	Dach	1	wymiana pokrycia dachowego z dociepleniem stropodachu	2,34	4,70	0,00	171 113
		2	wymiana pokrycia dachowego	2,34	0,00	0,00	101 152
3	Wejścia do budynku	1	remont wiatrołapów	0,63	0,00	0,00	11 396
		2	malowanie wiatrołapów	0,21	0,00	0,00	3 500
4	Balkony	1	kompleksowa naprawa balkonów	1,89	0,00	0,00	114 000
		2	kompleksowa naprawa balkonów, wyk. okładziny, popr. balustrad	1,89	0,00	0,44	178 050
5	Orynowanie	1	wymiana rynien dachowych i rur spustowych	0,72	0,00	0,00	9 576
6	Stolarka okienna	1	wymiana okien klatki schodowej i piwnic	1,84	3,33	0,00	24 770
		2	wymiana okien mieszkań, klatki schodowej i piwnic	4,93	45,89	0,00	230 668
7	Stolarka drzwiowa	1	wymiana drzwi klatek schodowych	0,80	1,29	0,20	10 790
8	Klatka schodowa	1	malowanie klatki schodowej	1,35	0,00	0,00	48 964
9	Instalacja elektryczna	1	wymiana instalacji	3,18	0,00	0,00	214 950
		2	wymiana osprzętu elektroinst.	1,06	0,00	0,00	31 865
10	Instalacja c.o.	1	wymiana instalacji z grzejników	3,36	0,00	0,00	215 283
		2	naprawa instalacji	1,68	0,00	0,00	92 204
11	Instalacja wodna	1	wymiana instalacji	2,28	0,00	0,00	155 298
12	Strop piwnic	1	ocieplenie stropu	0,00	11,40	0,00	77 909
13	Wentylacja	1	montaż nawiewników higrosterowanych	0,00	0,00	0,187	19 500

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 5.11. Dane do przykładu – proponowane naprawy dla budynku mieszkalnego $l = 5$

Numer elementu i	Nazwa elementu podlegającego naprawie	Nr wariantu naprawy r	Rodzaj wariantu naprawy	Δ_{ijlr}			Koszt naprawy K_r [zł]
				$K_{j=1}$ [%]	$K_{j=2}$ [kWh/m ² rok]	$K_{j=3}$ [pkt]	
1	Elewacja	1	docieplenie ścian elewacji (bez ścian szczytowych)	5,12	38,40	0,00	344 437
		2	docielenie ścian elewacji, wykonanie tynku na cokole	5,36	38,40	0,00	354 612
		3	malowanie elewacji i cokołu	1,34	0,00	0,00	50 661
2	Dach	1	naprawa pokrycia dachowego	0,54	0,00	0,00	27 933
		2	ocieplenie stropodachu	0,00	4,70	0,00	82 863
3	Wejścia do budynku	1	remont wiatrołapów	0,63	0,00	0,00	11 396
		2	malowanie wiatrołapów	0,21	0,00	0,00	3 500
4	Balkony	1	kompleksowa naprawa balkonów	1,89	0,00	0,00	114 000
		2	kompleksowa naprawa balkonów, wyk. okładziny, popr. balustrad	1,89	0,00	0,44	178 050
5	Orynowanie	1	wymiana rynien dachowych i rur spustowych	0,42	0,00	0,00	5 616
6	Stolarka okienna	1	wymiana okien klatki schodowej i piwnic	1,64	3,33	0,00	24 770
		2	wymiana okien mieszkań, klatki schodowej i piwnic	2,52	14,14	0,00	83 598
7	Stolarka drzwiowa	1	wymiana drzwi klatek schodowych	1,12	1,29	0,20	10 790
8	Klatka schodowa	1	malowanie klatek schodowych	1,35	0,00	0,00	48 964
9	Instalacja elektryczna	1	wymiana instalacji z osprzętem	3,18	0,00	0,00	214 950
		2	wymiana osprzętu elektroinst.	1,06	0,00	0,00	31 865
10	Instalacja c.o.	1	wymiana instalacji	3,36	0,00	0,00	215 283
		2	naprawa instalacji	1,68	0,00	0,00	92 204
11	Strop piwnic	1	ocieplenie stropu	0,00	11,4	0,00	78 806
12	Wentylacja	1	montaż nawiewników higrosterowanych	0,00	0,00	0,187	19 500

Źródło: Opracowanie własne

Ocena wartości użytkowej budynku *WUB* wymaga w pierwszej kolejności określenia ważności kryteriów K_j . Obliczenia przeprowadzono przy użyciu rozmytej metody FAHP (*Fuzzy Analytic Hierarchy Process*) (roz. 4.3.3.) W celu ustalenia ważności przyjętych kryteriów wejściowych K_j służących ocenie wartości użytkowej budynku poproszono o opinie dziesięciu ekspertów, których zadaniem było porównanie parami istotności każdego z nich. Wartości względnych preferencji poszczególnych ekspertów zestawiono w tabeli 5.12.

Tabela 5.12. Względne preferencje ekspertów dla poszczególnych par kryteriów

Numer kryterium		Ocena kryteriów przez k -tego eksperta									
i	j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	1/5	1/5	1/4	1/4	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/2
1	3	1/7	1/6	1/5	1/5	1/5	1/5	1/4	1/4	1/3	1/3
2	3	1/5	1/5	1/4	1/3	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1

Źródło: Opracowanie własne

Następnie obliczono, zgodnie z zależnościami (4.17–4.18), wartości funkcji przynależności liczb rozmytych \tilde{a}_{ij} . Wartości funkcji przynależności dla $s_i^-, s_i^+, l=1, 2, 3$ zestawiono w tabeli 5.13.

Tabela 5.13. Wartości funkcji przynależności dla zagregowanych opinii \tilde{a}_{ij}

i	j	$\frac{\mu_{\tilde{a}_{ij}}(s_0^-)}{s_0^-}$	$\frac{\mu_{\tilde{a}_{ij}}(s_1^-)}{s_1^-}$	$\frac{\mu_{\tilde{a}_{ij}}(s_2^-)}{s_2^-}$	$\frac{\mu_{\tilde{a}_{ij}}(s_3^-)}{s_3^-} = \frac{\mu_{\tilde{a}_{ij}}(s_1^+)}{s_1^+}$	$\frac{\mu_{\tilde{a}_{ij}}(s_2^+)}{s_2^+}$	$\frac{\mu_{\tilde{a}_{ij}}(s_3^+)}{s_3^+}$	$\frac{\mu_{\tilde{a}_{ij}}(s_4^+)}{s_4^+}$
1	2	$\frac{0,000}{0,200}$	$\frac{0,500}{0,232}$	$\frac{1,000}{0,264}$	$\frac{1,000}{0,296}$	$\frac{0,167}{0,364}$	$\frac{0,167}{0,432}$	$\frac{0,000}{0,500}$
		$\frac{0,000}{0,143}$	$\frac{0,333}{0,169}$	$\frac{0,333}{0,194}$	$\frac{1,000}{0,220}$	$\frac{0,500}{0,258}$	$\frac{0,500}{0,296}$	$\frac{0,000}{0,333}$
2	3	$\frac{0,000}{0,200}$	$\frac{0,429}{0,251}$	$\frac{0,429}{0,303}$	$\frac{1,000}{0,354}$	$\frac{0,333}{0,569}$	$\frac{0,333}{0,785}$	$\frac{0,000}{1,000}$

Źródło: Opracowanie własne

Rozwiązania optymalne dla różnych przekrojów α_j i wartości tolerancji d zestawiono w tabeli 5.13. Ponieważ wszystkie wartości $\lambda^* > 1$, to uzyskane rozwiązania spełniają wszystkie ostre ograniczenia zadania.

Tabela 5.14. Rozwiązania optymalne

α_j	d							
	0,5				1,0			
	w_1^*	w_2^*	w_3^*	λ^*	w_1^*	w_2^*	w_3^*	λ^*
0	0,130	0,217	0,652	1,173	0,130	0,217	0,652	1,086
0,2	0,221	0,275	0,503	1,325	0,240	0,283	0,475	1,162
0,4	0,146	0,242	0,610	1,183	0,146	0,242	0,610	1,091
0,6	0,112	0,253	0,633	1,104	0,112	0,253	0,633	1,052
0,8	0,106	0,256	0,636	0,085	0,106	0,256	0,636	1,042
1,0	0,104	0,260	0,635	0,070	0,104	0,260	0,635	1,035

Źródło: Opracowanie własne

Hierarchia ważności kryteriów jest taka sama dla wszystkich przekrojów. Zagregowane wartości wag są równe: $\bar{w}_1 = \mathbf{0,621}$, $\bar{w}_2 = \mathbf{0,258}$, $\bar{w}_3 = \mathbf{0,121}$. Wagi kryteriów przyjmowane są do obliczenia reguł systemu wnioskującego (tab. 5.16).

Opracowanie bazy reguł systemu wnioskującego przeprowadzono na podstawie badań eksperckich, których celem było określenie wpływu wartości zmiennych wejściowych na wartości zmiennej wyjściowej. W tym celu poproszono o opinię 10 ekspertów, których zadaniem było przypisanie poszczególnym n -tym singletonom zmiennej wyjściowej WUB i -tych term zmiennych wejściowych K_j (wg roz. 4.3.3). Zestawienie wyników badań przedstawiono w tabeli 5.15.

Tabela 5.15. Wyniki badań eksperckich dla określenia bazy reguł rozmytych

		$\mu_n(A_i^j)$													
j		$K_{j=1}$					$K_{j=2}$						$K_{j=3}$		
i		D	ZA	Ś	L	Z	NE	EO	ŚEO	ŚEC	EC	WEC	W	Ś	N
$WUB(n)$	BW	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
	W	0,3	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,6	0,4	0,0
	Ś	0,0	0,4	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	1,0	0,9	0,0	0,0	0,1	0,9	0,7
	P	0,0	0,0	0,7	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,7	0,0	0,0	0,7	0,3
	N	0,0	0,0	0,0	0,4	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,0	0,0	0,0	1,0
$\mu_n(s_i^j)$		1,0	0,9	0,8	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,7	1,0	1,0	0,9	1,0

Źródło: Opracowanie własne

Dla wszystkich możliwych reguł $R_n = 90$, przeprowadzono obliczenia wartości konkluzji K_n , na podstawie której, system określa wartość użytkową budynku. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 5.16.

Tabela 5.16. Baza reguł systemu wnioskującego

R_h	Przesłanki			Konkluzja $WUB(n)$	K_h	R_h	Przesłanki			Konkluzja $WUB(n)$	K_h
	K_1	K_2	K_3				K_1	K_2	K_3		
1	D	NE	N	BW	4,52	46	Ś	ŚEC	N	Ś	2,60
2	D	NE	Ś	BW	4,76	47	Ś	ŚEC	Ś	Ś	2,85
3	D	NE	W	BW	5,00	48	Ś	ŚEC	W	Ś	3,09
4	D	EO	N	W	4,26	49	Ś	EC	N	P	2,40
5	D	EO	Ś	BW	4,50	50	Ś	EC	Ś	Ś	2,64
6	D	EO	W	BW	4,74	51	Ś	EC	W	Ś	2,88
7	D	ŚEO	N	W	4,00	52	Ś	WEC	N	P	2,24
8	D	ŚEO	Ś	W	4,24	53	Ś	WEC	Ś	P	2,48
9	D	ŚEO	W	W	4,48	54	Ś	WEC	W	Ś	2,73
10	D	ŚEC	N	W	3,85	55	L	NE	N	Ś	2,65
11	D	ŚEC	Ś	W	4,09	56	L	NE	Ś	Ś	2,90
12	D	ŚEC	W	W	4,33	57	L	NE	W	Ś	3,14
13	D	EC	N	W	3,64	58	L	EO	N	P	2,40
14	D	EC	Ś	W	3,88	59	L	EO	Ś	Ś	2,64
15	D	EC	W	W	4,12	60	L	EO	W	Ś	2,88
16	D	WEC	N	Ś	3,48	61	L	ŚEO	N	P	2,14
17	D	WEC	Ś	W	3,73	62	L	ŚEO	Ś	P	2,38
18	D	WEC	W	W	3,97	63	L	ŚEO	W	Ś	2,62
19	ZD	NE	N	W	3,90	64	L	ŚEC	N	P	1,98
20	ZD	NE	Ś	W	4,14	65	L	ŚEC	Ś	P	2,22
21	ZD	NE	W	W	4,38	66	L	ŚEC	W	P	2,47
22	ZD	EO	N	W	3,64	67	L	EC	N	P	1,78
23	ZD	EO	Ś	W	3,88	68	L	EC	Ś	P	2,02
24	ZD	EO	W	W	4,12	69	L	EC	W	P	2,26
25	ZD	ŚEO	N	Ś	3,38	70	L	WEC	N	P	1,62
26	ZD	ŚEO	Ś	W	3,62	71	L	WEC	Ś	P	1,86
27	ZD	ŚEO	W	W	3,86	72	L	WEC	W	P	2,11
28	ZD	ŚEC	N	Ś	3,22	73	Z	NE	N	P	2,03
29	ZD	ŚEC	Ś	Ś	3,47	74	Z	NE	Ś	P	2,27
30	ZD	ŚEC	W	W	3,71	75	Z	NE	W	Ś	2,52
31	ZD	EC	N	Ś	3,02	76	Z	EO	N	P	1,77
32	ZD	EC	Ś	Ś	3,26	77	Z	EO	Ś	P	2,02
33	ZD	EC	W	W	3,50	78	Z	EO	W	P	2,26
34	ZD	WEC	N	Ś	2,86	79	Z	ŚEO	N	P	1,52
35	ZD	WEC	Ś	Ś	3,11	80	Z	ŚEO	Ś	P	1,76
36	ZD	WEC	W	Ś	3,35	81	Z	ŚEO	W	P	2,00
37	Ś	NE	N	Ś	3,27	82	Z	ŚEC	N	N	1,36
38	S	NE	Ś	W	3,52	83	Z	ŚEC	Ś	P	1,60
39	S	NE	W	W	3,76	84	Z	ŚEC	W	P	1,85
40	Ś	EO	N	Ś	3,02	85	Z	EC	N	N	1,15
41	Ś	EO	Ś	Ś	3,26	86	Z	EC	Ś	N	1,40
42	Ś	EO	W	W	3,50	87	Z	EC	W	P	1,64
43	Ś	ŚEO	N	Ś	2,76	88	Z	WEC	N	N	1,00
44	Ś	ŚEO	Ś	Ś	3,00	89	Z	WEC	Ś	N	1,36
45	Ś	ŚEO	W	Ś	3,24	90	Z	WEC	W	N	1,48

Źródło: Opracowanie własne

Zadaniem opracowanego modelu jest wybór rozwiązania remontowego spośród zaproponowanych dla 5 budynków napraw (tab. 5.7–5.11). Poszukiwane będą rozwiązania, które przyniosą największy przyrost wartości użytkowej w odniesieniu do zaangażowanych środków finansowych. Działanie modelu pokazano na dwóch przykładach. W pierwszym poszukiwane jest rozwiązanie przynoszące największy przyrost *WUB* wszystkich budynków łącznie, dla kwoty $G = 4,5$ mln zł. W drugim przykładzie poszukiwane będą rozwiązania remontowe, dla każdego budynku rozpatrywanego indywidualnie, przy założeniu kwoty przeznaczonej na remont każdego z nich, wynoszącej $G = 900$ tys zł.

5.1. Optymalizacja wyboru rozwiązań remontowych dla pięciu budynków mieszkalnych rozpatrywanych łącznie

Poszukiwanie najkorzystniejszego rozwiązania remontowego przeprowadzono dla pięciu budynków, dla których przyjęto, że łączny koszt napraw nie może przekroczyć kwoty $G = 4,5$ mln zł. Obliczenia przeprowadzono dla ustalonych (w procesie weryfikacji modelu) parametrów algorytmu ewolucyjnego, odpowiednio: prawdopodobieństwo krzyżowania $p_k = 0,7$ i mutacji $p_m = 0,01$, wielkość populacji $l_p = 100$ osobników, współczynnik kary $k = 0$, metoda selekcji: turniejowa dla $l_o = 2$, liczba generacji $g = 1000$, ochrona najlepszego osobnika, liczba powtórzeń symulacji $LP = 100$. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 5.17.

Tabela 5.17. Wybrane rozwiązania naprawcze dla kwoty $G = 4\,500\,000$ zł

<i>l</i>	<i>r</i>	Nazwa elementu podlegającego naprawie	Nazwa wariantu naprawy	K_r [zł]
1	1	Elewacja	malowanie elewacji wraz z cokołem	67 053
	3	Wejścia do budynku	remont wiatrołapów, naprawa schodów	31 953
	5	Orynowanie	wymiana rynien dachowych i rur spustowych	16 290
	6	Stolarka okienna	wymiana okien klatki schodowej i piwnic	66 617
	7	Instalacja elektryczna	wymiana osprzętu elektroinstalacyjnego	47 403
	12	Ściany piwnic/fundamenty	wyk. izolacji przeciwwilg. i opaski odwadn.	95 274
2	1	Elewacja	docieplenie ścian elewacji, wyk. tynku cokołu	573356
	2	Dach	wymiana pokrycia dachowego	146 733
	3	Wejścia do budynku	remont wiatrołapów	18 922
	4	Balkony	kompleksowa naprawa balkonów	153 482
	5	Orynowanie	wymiana rynien dachowych i rur spustowych	17 226
	6	Stolarka okienna	wymiana okien klatki schodowej i piwnic	75 388
	7	Stolarka drzwiowa	wymiana drzwi wejściowych budynku	30 420
	8	Klatka schodowa	malowanie klatek schodowych	119 177
	9	Instalacja elektryczna	wymiana osprzętu łącznikowego	52 911
	10	Instalacja gazowa	wymiana instalacji	180 077
	11	Instalacja c.o.	wymiana instalacji wraz z grzejnikami	366 432
	12	Instalacja wodna	wymiana instalacji	345 268
14	Strop piwnic	ocieplenie stropu	133 484	
16	Schody wewnętrzne	wykonanie antypoślizgowej okładziny schodów	130 783	

cd.Tabela 5.17.

3	1	Elewacja	malowanie ścian elewacji wraz z cokołem	47 144
	3	Wejścia do budynku	remont wiatrołapów	12 080
	5	Orynowanie	wymiana rynien dachowych i rur spustowych	10 836
	6	Stolarka okienna	wymiana okien klatki schodowej i piwnic	27 692
	7	Klatka schodowa	malowanie klatek schodowych	48 962
	9	Instalacja gazowa	wymiana instalacji gazowej	114 958
	16	Schody wewnętrzne	wykonanie antypoślizgowej okładziny schodów	58 223
4	1	Elewacja	docieplenie ścian zewnętrznych, wykonanie tynku cokołu	353 813
	2	Dach	wymiana pokrycia dachowego	101 152
	3	Wejścia do budynku	remont wiatrołapów	11 396
	5	Orynowanie	wymiana rynien dachowych i rur spustowych	9 576
	6	Stolarka okienna	wymiana okien klatki schodowej, piwnic, mieszkań	230 668
	7	Stolarka drzwiowa	wymiana drzwi wejściowych klatek schodowych	10 790
	8	Klatka schodowa	malowanie klatki schodowej	48 964
	9	Instalacja elektryczna	wymiana osprzętu elektroinstalacyjnego	31 865
	10	Instalacja c.o.	naprawa instalacji	92 204
	5	1	Elewacja	docieplenie ścian elewacji, wykonanie tynku cokołu
3		Wejścia do budynku	remont wiatrołapów	11 396
5		Orynowanie	wymiana rynien dachowych i rur spustowych	5 616
6		Stolarka okienna	wymiana okien mieszkań, klatki schodowej i piwnic	83 598
7		Stolarka drzwiowa	wymiana drzwi wejściowych klatek schodowych	10 790
8		Klatka schodowa	malowanie klatek schodowych	48 964
9		Instalacja elektryczna	wymiana osprzętu elektroinstalacyjnego	31 865
11		Strop piwnic	ocieplenie stropu	78 806

Źródło: Opracowanie własne

Spośród wygenerowanych przez system komputerowy „SWDR”, rozwiązań remontowych, przedstawiono najkorzystniejsze (tab. 5.17).

Rozwiązanie to uzyskano dla wartości współczynnika $k = 0$. Pozwoliło to poszerzyć zakres poszukiwań i znaleźć rozwiązania o wyższej wartości funkcji przystosowania. Koszt proponowanego rozwiązania przekroczył jednak zakładany budżet o 4219 zł, co stanowi 0,09% kwoty 4,5 mln zł, tj. kwoty dla jakiej poszukiwane było rozwiązanie remontowe. Przyrost wartości użytkowej dla rozpatrywanych budynków mieszkalnych łącznie wyniósł $\Delta WUB = 21,91$ pkt.

5.2. Optymalizacja wyboru rozwiązań remontowych dla pięciu budynków mieszkalnych rozpatrywanych indywidualnie

Przeprowadzono obliczenia dla 5 budynków rozpatrywanych indywidualnie. W tym celu kwotę budżetu $G = 4,5$ mln zł, przeznaczoną na remont wszystkich obiektów, podzielono na równe części (po 900 tys zł) i przeznaczono na remont każdego z budynków – bez względu na jego powierzchnię użytkową P_l .

Obliczenia przeprowadzono przy takich samych parametrach obliczeniowych jak w przykładzie 1. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabelach 5.18–5.22.

Tabela 5.18. Wybrane rozwiązania naprawcze dla budynku $l = 1$

l	r	Nazwa elementu podlegającego naprawie	Nazwa wariantu naprawy	K_r [zł]
1	1	Elewacja	malowanie elewacji wraz z cokołem	67 053
	2	Dach	wymiana pokrycia dachowego	101 660
	3	Wejścia do budynku	remont wiatrołapów, dobudowa pochylni	87 953
	4	Balkony	podstawowa naprawa balkonów	38115
	5	Orynnowanie	wymiana rynien dachowych i rur spustowych	16 290
	6	Stolarka okienna	wymiana okien klatki schodowej i piwnic	66 617
	7	Instalacja elektryczna	wymiana osprzętu elektroinstalacyjnego	47 403
	8	Instalacja c.o.	wymiana instalacji	322 232
	12	Ściany piwnic oraz fundamenty	wykonanie izolacji przeciwwilgociowej i opaski odwadniającej	95 274
	13	Wentylacja	montaż nawiewników higrosterowanych	53500
$F = 13,427 \quad \Delta WUB(B_1) = 13,485 \text{ pkt} \quad EF = 15,049$				896 097

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 5.19. Wybrane rozwiązania naprawcze dla budynku $l = 2$

l	r	Nazwa elementu podlegającego naprawie	Nazwa wariantu naprawy	K_r [zł]
2	1	Elewacja	malowanie elewacji wraz z cokołem	75 988
	2	Dach	wymiana pokrycia dachowego	146 733
	3	Wejścia do budynku	remont wiatrołapu, montaż poręczy, nawierzch.	34 066
	4	Balkony	Podstawowa naprawa balkonów	30 293
	5	Orynnowanie	wymiana rynien dachowych i rur spustowych	17 226
	6	Stolarka okienna	wymiana okien klatki schodowej	51 418
	7	Stolarka drzwiowa	wymiana drzwi wejściowych budynku	30 420
	8	Klatka schodowa	malowanie klatek schodowych	119 177
	9	Instalacja elektryczna	wymiana osprzętu elektrinstalacyjnego	52 911
	10	Instalacja gazowa	wymiana instalacji gazowej	180 077
	15	Wentylacja	montaż nawiewników higrosterowanych	33 000
	16	Schody wewnętrzne	wykonanie antypoślizgowej okładziny schodów	130 783
	$F = 16,077 \quad \Delta WUB(B_2) = 16,152 \text{ pkt} \quad EF = 17,905$			

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 5.20. Wybrane rozwiązania naprawcze budynku $l = 3$

l	r	Nazwa elementu podlegającego naprawie	Nazwa wariantu naprawy	K_r [zł]
3	1	Elewacja	docieplenie ścian elewacji, wyk. tynku cokołu	327 795
	3	Wejścia do budynku	remont wiatrołapów, wykonanie nawierzchni	20 352
	4	Balkony	naprawa kompleksowa balkonów	90 288
	5	Orynnowanie	wymiana rynien dachowych i rur spustowych	10 836
	6	Stolarka okienna	wymiana okien mieszkań (60%), części wspólnej	225 626
	7	Klatka schodowa	malowanie klatek schodowych	48 962
	9	Instalacja gazowa.	wymiana instalacji gazowej	114 958
	16	Schody wewnętrzne	wykonanie antypoślizgowej okładziny schodów	58 223
$F = 23,412 \quad \Delta WUB(B_3) = 23,489 \text{ pkt} \quad EF = 26,185$				897 040

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 5.21. Wybrane rozwiązania naprawcze dla budynku $l = 4$

l	r	Nazwa elementu podlegającego naprawie	Nazwa wariantu naprawy	K_r [zł]
4	1	Elewacja	docieplenie ścian elewacji	343 638
	2	Dach	wymiana pokrycia dachowego	101 152
	3	Wejścia do budynku	remont wiatrołapów	11 396
	4	Balkony	kompleksowanaprawa balkonów	114 000
	5	Orynnowanie	wymiana rynien dachowych i rur spustowych	9 576
	6	Stolarka okienna	wymiana okien klatki schod./piwnic/mieszkań	230 668
	7	Stolarka drzwiowa	wymiana drzwi wejściowych budynku	10 790
	8	Klatka schodowa	malowanie klatki schodowej	48 964
	9	Instalacja elektryczna	wymiana osprzętu elektroinstalacyjnego	31 865
$F = 24,699 \quad \Delta WUB(B_4) = 24,812 \text{ pkt} \quad EF = 27,506$				902 049

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 5.22. Wybrane rozwiązania naprawcze dla budynku $l = 5$

l	r	Nazwa elementu podlegającego naprawie	Nazwa wariantu naprawy	K_r [zł]
5	1	Elewacja	docieplenie ścian elewacji, wyk. tynku cokołu	354 612
	3	Wejścia do budynku	remont wiatrołapów	11 396
	4	Balkony	kompleksowa naprawa balkonów	114 000
	5	Orynnowanie	wymiana rynien dachowych i rur spustowych	5 616
	6	Stolarka okienna	wymiana okien mieszkań/klatki schod./piwnic	83 598
	7	Stolarka drzwiowa	wymiana drzwi wejściowych budynku	10 790
	8	Klatka schodowa	malowanie i naprawa klatki schodowej	48 964
	9	Instalacja elektryczna	wymiana instalacji elektrycznej	214 950
	10	Instalacja c.o.	naprawa instalacji	92 204
	11	Strop piwnic	ocieplenie stropu	78 806
	$F = 22,496 \quad \Delta WUB(B_5) = 22,543 \text{ pkt} \quad EF = 25,022$			

Źródło: Opracowanie własne

Uzyskano średni przyrost wartości użytkowej – łącznie dla 5 budynków $\Delta WUB = 20,096$ pkt, przy koszcie proponowanych napraw $K = 4498214$ zł. Tymczasem dla przykładu pierwszego, w którym poszukiwano rozwiązania remontowego, uzyskano przyrost wartości użytkowej $\Delta WUB = 21,909$ pkt, przy kosztach naprawy $K = 504219$ zł.

Środki finansowe przeznaczone na remont analizowanych budynków w obu przykładach były ograniczone kwotą budżetu $G = 4,5$ mln zł. Wyniki przeprowadzonych obliczeń pokazują jednak, że rozwiązanie o wyższym wskaźniku przyrostu wartości użytkowej znaleziono dla przykładu pierwszego, tj. gdy algorytm genetyczny miał możliwość wygenerowania rozwiązania remontowego w oparciu o przeszukiwany zbiór napraw pięciu budynków, dla kwoty 4,5 mln. zł.

Poszukiwanie rozwiązań remontowych dla przykładu drugiego, tj. gdy każdy budynek rozpatrywany jest indywidualnie, nie pozwala uzyskać tak wysokiego przyrostu wartości użytkowej – łącznie dla wszystkich budynków. Niemniej jednak, podejście to gwarantuje, że znalezione zostaną najlepsze rozwiązania remontowe dla każdego z rozpatrywanych budynków – w ramach przydzielonych im środków finansowych.

6. Podsumowanie i wnioski

6.1. Podsumowanie

Zarządzanie obiektami budowlanymi wymaga ciągłej kontroli stanu budynków i podejmowania działań naprawczych mających na celu utrzymanie ich we właściwym stanie. Proces ten przysparza zarządcom wielu problemów, których bezpośrednią przyczyną są przepisy prawa budowlanego określające zakres oceny budynków i sposób ich utrzymania. Niestety, jak wynika z przeprowadzonych badań terenowych, ocena stanu budynków nie dostarcza potrzebnych informacji do ich właściwego utrzymania. Zakres oceny budynków jest ograniczony w praktyce do oceny stanu technicznego budynku, bez uwzględniania czynników odnoszących się m.in. do estetyki, energooszczędności, użyteczności, bezpieczeństwa, ochrony środowiska itd., Skutki zaniedbań remontowych wynikające z takiej oceny i podejmowanych na tej podstawie działań remontowych prowadzą do stopniowej utraty wartości użytkowej i rynkowej budynków.

Potrzeba opracowania kompleksowych narzędzi umożliwiających zarówno ocenę budynku, jak również wskazania na tej podstawie niezbędnych działań naprawczych jest obecnie tematem wielu badań naukowych w kraju i zagranicą. Proponowane podejścia w literaturze nazywane DSS (*Decision Support System*) są oparte na systemach ekspertowych oraz metodach sztucznej inteligencji (SI) wykorzystujących zbiory rozmyte, sieci neuronowe, algorytmy ewolucyjne. Stanowią często bardzo złożone modele wykorzystujące zaawansowane techniki obliczeniowe. Ich zasadniczym celem jest wspomaganie zarządcy w procesie podejmowania decyzji na etapie utrzymania budynków.

Zaproponowany w pracy model decyzyjny wspomaganie decyzji SWDR jest przykładem takiego narzędzia. Zastosowane w nim rozwiązania pozwoliły w sposób kompleksowy ocenić stan budynku i wyrazić go za pomocą syntetycznego wskaźnika *WUB*, którego wartość określana jest na podstawie wiedzy eksperckiej i teorii zbiorów rozmytych. Wybór napraw odbywa się w warunkach ograniczonej dostępności środków finansowych w sytuacji występowania dużej liczby możliwych rozwiązań remontowych. Zastosowany do tego celu algorytm ewolucyjny pozwala szybko wskazać najkorzystniejszy wariant rozwiązania remontowych.

Opracowanie modelu poprzedzone zostało zapoznaniem się z dotychczasowymi wynikami badań naukowych, dokumentacją ocen stanu budynków, uwarunkowaniami prawnymi i ekonomicznymi w zakresie utrzymania budynków, jak również badaniami ankietowymi wśród zarządców. W tym celu przeprowadzono:

- analizę stanu wiedzy w zakresie dostępnych metod oceny obiektów budowlanych, w tym norm i regulacji prawnych,

- badania ankietowe i wywiad przeprowadzony wśród zarządców spółdzielni mieszkaniowych dotyczący procesu utrzymania budynków mieszkalnych,
- analizę dokumentacji ocen stanu budynków tj. okresowych ocen kontroli, audytów energetycznych, ekspertyz budowlanych i innych badań.

Opracowany model decyzyjny wpisuje się w potrzebę strategicznego planowania zarządzania nieruchomościami budynkowymi. Ma na celu wskazanie najbardziej opłacalnych napraw budynków mieszkalnych z punktu widzenia wzrostu wartości użytkowej, przy ograniczeniu wynikającym z dysponowania środkami finansowymi przeznaczonymi na remont.

6.2. Wnioski końcowe

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

- ocena budynku pod względem przyjętych w pracy kryteriów, jest jednym z wielu możliwych sposobów. Należy rozważyć również inne możliwości oceny stanu budynku, np. w odniesieniu do ujętych wymagań w przepisach Prawa budowlanego. Wymaga to jednak przeprowadzenia badań nad sposobem oceny tych wymagań, między innymi określenia czynników służących do ich oceny,
- możliwości rozwiązywania problemów decyzyjnych przy użyciu metod wielokryterialnej oceny budynków MADM (*Multi-criteria Decision Making Methods*) oraz metod wspomagania decyzji DSS (*Decision Support System*) wykorzystujące techniki tzw. SI – sztucznej inteligencji, mogą być zastosowane w rozwiązywaniu problemów decyzyjnych, w których wiedza i doświadczenie ekspertów jest kluczowym elementem działania takiego systemu,
- opracowanie koncepcji systemu wnioskującego z rozmytą bazą wiedzy otwiera nowe możliwości w modelowaniu zagadnień, które wymagają uwzględnienia niepewności w kategoriach probabilistycznych i rozmytych jednocześnie,
- zastosowanie logiki rozmytej z regułową bazą wiedzy daje możliwość wyrażania informacji w języku naturalnym, w sposób charakterystyczny dla człowieka. Zastosowanie dodatkowo prawdopodobieństw zdarzeń ujętych w kategoriach lingwistycznych pozwala na utworzenie modelu w oparciu o wiedzę eksperta i dane empiryczne,
- zastosowanie algorytmu ewolucyjnego pozwala na szybkie znajdowanie rozwiązań optymalnych, których poszukiwania ukierunkowane za pomocą opracowanej funkcji celu (przystosowania) pozwalającej określić w jakim stopniu dane rozwiązanie jest lepsze lub gorsze od pozostałych rozwiązań,
- uwzględnienie specyfiki oraz ograniczeń finansowych w jakich podejmowane są decyzje dotyczące remontu ułatwia zarządcy planowanie remontów.

- wymiernym rezultatem opracowanej metody może być poprawa jakości użytkowej budynków mieszkalnych,
- może również stanowić cenne źródło informacji dla developerów, pośredników nieruchomości, producentów materiałów budowlanych oraz projektantów.

Bibliografia

- Abraham A., *Rule-Based Expert Systems – Handbook of Measuring System Design*, Wiley & Sons, Oklahoma 2005.
- Abraham, D.M., Wirahadikusumah, R., *Development of prediction models for sewer deterioration*, 8th International Conference on Durability of Building Materials and Components, Vancouver, May 30–June 3, 1999, p. 1257-1267.
- Alchimoviene J., Raslanas S., *Sustainable renovation and evaluation of Block of Multi-apartment house*, 8th International Conference Vilnius- Lithuania, May 19–20, 2011, p. 835–841.
- Ansell, A, Racutanu, G., Sundquist, H., *A Markov approach in estimating the service life of bridge elements in Sweden*, 9th International Conference on Durability of Building Materials and Components, Brisbane–Australia, 17–20 March, 2002, p. 1–9.
- Arendalski J., *Trwałość i niezawodność budynków mieszkalnych wznoszonych metodami przemysłowymi*, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1978.
- Azhar S., Carlton W. A., Olsen D., Ahmad I., *Building information modeling for sustainable design and LEED rating analysis*, „Automation in Construction” 20(2), 2011, p. 217–224.
- Balaras C. A., Droutsas K., Agririou A. A., Asimakopoulos D. N., *EPIQR surveys of apartment buildings in Europe*, „Energy and Buildings” 31(2), 2000, p. 111–128.
- Bana e Costa, C. A.; Oliveira, R. C., *Assigning priorities for maintenance, repair and refurbishment in managing a municipal housing stock*, „European Journal of Operational Research” 138(2), 2002, p.380–391.
- Baranowski W., *Zużycie obiektów budowlanych oraz podstawowe nazewnictwo budowlane*, WACETOB, Warszawa 2000.
- Baryłka J., Baryłka A., *Kontrole dokonywane przez organy nadzoru budowlanego w procesie budowlanym*, Warsztaty Inżynierów Budownictwa. Problemy Przygotowania Realizacji Inwestycji Budowlanych, Puławy 2010, s. 67–96.
- Bolkowski J., *Remonty zasobów mieszkaniowych – problem do rozwiązania*, „Przegląd Budowlany”, 2/2001, s. 33–34.
- Bostenaru Dan M.D., *Multi-criteria decision model for retrofitting existing buildings*, „Natural Hazards and Earth System Sciences” 4, 2004, p. 485–499.
- Breitenbüchner, R., Gehlen, C., Schiessl, P., Van den Hoonaard, J., Siemes, T., *Service life design of the Western Scheldt tunnel*, 8th International Conference on Durability of Building Materials and Components, Vancouver, May 30–June 3, 1999, p. 3–15, 1999.
- BRITE/EURAM III – *Models for environmental actions on concrete structures, DuraCrete*, Document BE95-1347/R3, 1999.

- Bryk M. (red.), *Wprowadzenie do zarządzania nieruchomością*, Wydawnictwo Poltext, Warszawa 2004.
- Bryx M. (red.), *Podstawy zarządzania nieruchomościami*, Wydawnictwo Poltext, Warszawa 2009.
- Bucoń R., *Ocena stanu użyteczności budynku mieszkalnego w warunkach niepewności rozmytej*, *Zeszyty Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej* 91(20), 2008, s. 309–317.
- Bucoń R., *Metody wyznaczania okresu użytkowania obiektów budowlanych*, *Warsztaty Inżynierów Budownictwa–Problemy Przygotowania i Realizacji Inwestycji Budowlanych*, Puławy 2007, s. 319–326.
- Bucoń R., *Zastosowanie rozszerzonej rozmytej metody AHP do ustalania istotności kryteriów oceny stanu eksploatacyjnego obiektów mieszkalnych*, *Warsztaty Inżynierów Budownictwa, Problemy Przygotowania Realizacji Inwestycji Budowlanych*, Puławy 2009, s. 185–190.
- Bucoń R., Sobotka A., *Model decyzyjny wyboru rozwiązań remontowych budynków mieszkalnych*, *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska* 3(59), 2012, s. 57–64.
- Bucoń R., Sobotka A., *Niezawodność eksploatacyjna obiektów budowlanych*. *Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej* 87(18), Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, 2006, s. 265–272.
- Bucoń R., Sobotka A., *Koncepcja modelu decyzyjnego wyboru zakresu robót remontowych budynków mieszkalnych*, *Zeszyty Naukowe Wydziałowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach* 96, *Modelowanie Preferencji a Ryzyko* 11, 2011, s. 243–254.
- Caccavelli D., Gugerli H., *TOBUS – a European diagnosis and decision-making tool for Office building upgrading*, *„Energy and Buildings”* 34(2), 2002, p. 113–119.
- Chang D.Y., *Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP*, *„European Journal of Operational Research”* 95(3), 1996, p. 649–655.
- Chen G.Z., *The Assessment of building facade systems*. IDCOP – Innovation in Design, Construction & Operation of Buildings for People, IDCOP Scientific Report 2006.
- Chen S.M., Lee S.W., *A new method to generate fuzzy rules from relational database systems for estimating null values*, *„Cybernetics and Systems: An International Journal”* 34(1), 2003, p. 33–57.
- Cheng M.Y., Wu Y.W., Wu C.F., *Project success prediction Rusing an evolutionary suport vector machine inference model* *„Automation in Construction”* 19(3), 2010, p. 302–307.
- Daparauskas J., Turskis Z., *Evaluation of construction sustainability by multiple criteria methods*, *„Technological and Economic Development of Economy”*, 12(4), 2006, p. 321–326.

- Dascalaki E., Balaras C. A., *XENIOS – a methodology for assessing refurbishment scenarios and the potential of application of RES and RUE in hotels*, „Energy and Buildings” 36(11), 2004, p. 1091–1105.
- Dębowski J., *Problematyka określania stopnia zużycia technicznego budynków wielkopłytowych*, „Czasopismo techniczne” z.4–A, 2007, s. 27–34.
- Dębowski J., *Budynki wielkopłytowe. Potrzeba wczoraj problem jutra*, „Czasopismo Techniczne” z. 6–A6, 2005, s. 111–116.
- Dębski P., *Prognozowanie wydatków na remonty przy użyciu sztucznych sieci neuronowych*, „Przegląd Budowlany” 10/2001, s. 34–36.
- Dydyk W., *Zasady utrzymania stanu sprawności technicznej i wartości użytkowej obiektu budowlanego i jego otoczenia w tym budynków mieszkalnych wielorodzinnych cz.2*, WACETOB, Warszawa 2009.
- Dytczak M., Ginda G., *Identification of building Repair policy choice criteria role*, „Technological and Economic Development of Economy” 15(2), 2009, p. 213–228.
- Dytczak M., Ginda G., *Programowanie liniowe z czynnikami trudno mierzalnymi*, Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej we Wrocławiu 18, 2010, s. 115–135.
- Edvardsen C., Mohr L., *Designing and Rehabilitating Concrete Structures: Probabilistic Approach (DuraCrete)*, 5th CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete, 2000, p. 1192–1208.
- El-Haram M.A., Horner M.W., *Practical Application of RCM to local authority housing: a pilot study*, „Journal of Quality Maintenance Engineering” 8(2), 2002, p. 135–143.
- Enright, M.P., Frangopol, D. M., *Service-life prediction of deteriorating concrete bridges*, „Journal of Structural engineering” 124(3), 1998, p. 309–317.
- Filippo S., Ribeiro P.C.M., Ribeiro S.K., *A fuzzy multi-criteria model applied to the management of the environmental restoration of paved highways*, „Transportation Research Part D: Transport and Environment” 12(6), 2007, p. 423–436.
- Firek K., Dębowski J., *Wpływ oddziaływań górniczych na stan techniczny budynków o konstrukcji wielkopłytovej*, „Czasopismo Techniczne” z.4-A, 2007, s. 275–280.
- Gawron K., Hoła B., *Elementy analizy i planowania strategicznego w zarządzaniu nieruchomościami*, „Czasopismo Techniczne” z.1-B, 2010, s. 85–97.
- Henclewska L. inni., *Plany zarządzania nieruchomościami, Teoria i praktyka*, Wydawnictwo C.H. BECK, Warszawa 2004.
- Ho, D.C.W., Chau K-W., Cheung A K-Ch., Yau Y., Wong S-K., Leung H-F, Lau S. S-Y, Wong W-S., *A survey of the health and safety conditions of apartment buildings in Hong Kong*, „Building and Environment” 43, 2008, p. 764–775.

- Horner R., EL-Haram M., Munns A., *Building maintenance strategy: new management approach*, „International Journal Quality of Maintenance” 3(4), 1997, p. 273–80.
- Hovde J.P., Moser K., *Performance-based Methods of Service Life Prediction: State of the Art – Report of CIB W80/RILEM TC 175-SLM*, EMPA, Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research, 2004.
- Investimmo – *a decision making tool for longterm efficient investment strategies in housing maintenance and refurbishment*, Final technical report, European Commission, Growth Programme GIRD-CT-2000-00371.
- Ishibuchi H., Yamamoto T., *Rule weight specification in fuzzy rule – based classification systems*, „IEEE Transaction On Fuzzy Systems” 13(4), 2005, p. 428–435.
- ISO 15686 – 1 : 2000, *Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 1 : General principles*, International Standard Organisation, Geneva.
- ISO/NP TR 15686-4 *Building Construction – Service Life Planning – Part 4: Service Life Planning using IFC based Building Information Modelling*.
- Jaśkowski P., Bucóń R., Biruk S., *Ocena przydatności użytkowej budynków mieszkalnych z zastosowaniem rozmytego rozszerzenia AHP*, Zeszyty Naukowe Wydziałowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Modelowanie Preferencji a Rzyzyko’ 12, 2012, s. 105–117.
- Jaśkowski P., *Metoda projektowania struktury systemu wykonawczego przedsięwzięcia budowlanego*, Rozprawa doktorska, Politechnika Lubelska 2003.
- Jaśkowski P., Biruk S., Bucóń R., *Assessing contractor selection criteria weights with fuzzy AHP method application in group decision environment*, „Automation in Construction” 19(2), 2010, p. 120–126.
- Juan Y.K., Kim J.H., Roper K., Lacouture D.C., *GA - based decision support system for housing condition assessment and refurbishment strategies*, „Automation in Construction” 18(4), 2009, p. 394–401.
- Kaempfer, H.W., Berndt, M., Voigtlaender, G., *Estimation of residual service life for existing sewerage systems*, 9th International Conference on Durability of Building Materials and Components, Brisbane–Australia, 17–20 March, 2002.
- Kaklauskas A., Zavadskas E.K., Raslanas S., *Multivariant design and multiple criteria analysis of building refurbishments*, „Energy and Buildings” 37(4), 2005, p. 361–372.
- Kasprowicz T., *Modelling of Complex Small Buildings Operation and Maintenance*, 9th International Conference on Inspection, Appraisal, Repairs and Maintenance of Structures, Fuzhou–China, 19–21 October, 2005a, p. 297–304.
- Kasprowicz T., *Eksploracja obiektów budowlanych*, 51 Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB KR, Problemy naukowo-badawcze budownictwa, Krynica, 2005b, s. 171–178.

- Kasprowicz T., *Analiza identyfikacyjna eksploatacji obiektów budowlanych*, Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej 87(18), 2006, s. 283–292.
- Kaur Ar., Kaur Am., *Comparison of Mamdani-Type and Sugeno-Type Fuzzy Inference Systems for Air Conditioning System*, „International Journal of Soft Computing and Engineering” 2(2), 2012, p. 323–325.
- Klir G.J., Yuan B., *Fuzzy sets and Fuzzy Logic Theory and Applications*, Prentice Hall PTR, New Jersey 1995.
- Kmenta S., Ishii K., *Scenerio based FMEA: A life cycle cost perspective*, Proceedings ASME Design Engineering Technical Conferences, Baltimore–Maryland, September 10–14, 2000.
- Knyziak P., Kacprzyk Z., Łukasiak T., *Sztuczne sieci neuronowe jako systemy ekspertowe w przewidywaniu awarii*, „Theoretical Foundations of Civil Engineering” 12, 2004, s. 183–190.
- Knyziak P., *Analiza stanu technicznego prefabrykowanych budynków mieszkalnych za pomocą sztucznych sieci neuronowych*, Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska 2007.
- Knyziak P., *Proposal Of New Method For Calculating The Technical Deterioration Of Buildings*, Problemy naukowo badawcze budownictwa 5, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, 2008, s. 573–580.
- Kolokotsa D., Diakaki C., Grigoroudis E., Stavrakakis G., Kalaitzakis K., *Decision support methodologies on the energy efficiency and energy management in buildings*, „Advances in Building Energy Research” 9(3), 2009, p. 121–146.
- Konior J., *Wpływ utrzymania budynków mieszkalnych na techniczne zużycie ich elementów*, Rozprawa doktorska, Politechnika Wroclawska 1997.
- Konior J., *Korelacja różnego rodzaju cech elementów budowlanych*, Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej 87(18), 2006, s. 293–299.
- Korzeniewski W., *Standard przestrzenny mieszkań w wielorodzinnym budownictwie mieszkaniowym*, „Przegląd budowlany” 10/2003, s. 22–25.
- Kucharczyk-Brus B., *Modernizacja budynków mieszkalnych wielorodzinnych-oszczędność czy rozrzutność*, „Czasopismo Techniczne” z. 6-A/1, 2010, s. 137–143.
- Kucharska-Stasiak E., *Metody pomiaru zużycia obiektów budowlanych*, „Przegląd budowlany” 2/1995, s. 37–39.
- Lair J., *Evaluation de la durablite des systemes constructifs du batiment*, These doctorale, Universite Blaise Pascal – Clermont II, Clermont–Ferrand, France, 2000.
- Lair J., Le Teno J.F., *Durability assessment of building systems*, 8th International Conference on Durability of Building Materials and Components, Vancouver, May 30–June 3, 1999, p. 1299–1308.

- Langevine R., Allouche M., Abourizk S., *Decision support tool for the maintenance management of buildings*, Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering, Montreal–Canada, June 14–16, 2006.
- Layzell J., Ledbetter S., *FMEA applied to cladding systems – reducing the risk of failure*, „Building Research & Information” 26(6), 1998, p. 351–357.
- Lewicki B., *Metodyka oceny stanu technicznego konstrukcji budynków wielkopłytowych*, ITB, Warszawa 2002.
- Lounis Z., Lacasse M.A., Vanier D.J., Kyle B.R., *Towards Standardization of service life prediction of roofing membranes*, ASTM Special Technical Publication 1349, Roofing Research and Standards Development, 1999, p. 3–18.
- Lounis Z., Vanier D.J., *A Multiobjective and stochastic system for building maintenance management*, „Journal of Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering” 15 (5), 2000, p. 320–329.
- Malesa K., Słabik J., *Przeglądy budynków*, Wydawnictwo IDM, Warszawa 2011.
- Mamdani E. H., *Applications of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis*, „IEEE Transactions on Computers” 26(12), 1977, p. 1181–1182.
- Marcinkowska E., Gawron K., *Śródmiejskie kamienice Wrocławia jako przedmiot obrotu nieruchomościami*, Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej 87(18), 2006, s. 315–324.
- Marcinkowska E., Urbański P., *Ocena stopnia technicznego zużycia budynków mieszkalnych przy zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych*, Konferencja Naukowa, Ekologia w inżynierii procesów budowlanych, Lublin–Kazimierz Dolny, 21–24 maja, 1998.
- Marcinkowski R., *Problem zapewnienia jakości w projektowanym systemie eksploatacji obiektów budowlanych*, Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej 87/18, 2006, s. 325–332.
- Michalewicz Z., *Algorytmy genetyczne, struktury danych, programy ewolucyjne*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1999.
- Mickaityte A., Zavadskas E. K., Kaklauskas A., Tupenaite A., *The Concept Model of Sustainable Buildings Refurbishment*, „International Journal of Strategic Property Management” 12(1), 2008, p. 53–68.
- Mikhailov L., *Deriving Priorities from Fuzzy Pairwise Comparison Judgements*, „Fuzzy Sets and Systems” 134(3), 2003, p. 365–385.
- Mikhailov L., *Group Prioritization in the AHP by Fuzzy Preference Programming Method*, „Computers & Operations Research” 31(2), 2004, p. 293–301.
- Miks L., Miks R., Mencl., Kosulic J., *Assessment of the technical condition of older urban buildings as a base for reconstruction proposals*, „Slovak Journal of Civil Engineering” 2004/3, 2004, p. 30–34.

- Moser K., Edvardsen C., *Engineering design methods for service life prediction*, 9th International Conference on Durability of Building Materials and Components, Brisbane–Australia, 17–20 March, 2002, p. 1–10.
- Muczyński A., *Zarządzanie stanem technicznym nieruchomości – wybrane zagadnienia*, Wycena 4(71), 2005, s. 8–13.
- Nagar A., *Development of fuzzy multi criteria decision making method for selection of optimum maintenance alternative*, „International Journal of Applied Research In Mechanical Engineering” 1(2), 2011, p. 2231–5950.
- Nielsen A., *Use of FMEA-failure modes effects analysis on moisture problems in buildings*, 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, 30 Jun–05 July, 2002, p. 38–43.
- Niezabitowska E., Kucharczyk-Brus B., Masły D., *Wartość użytkowa budynku*, Verlag Dashofer Sp. z o.o., Warszawa 2003.
- Nowogońska B., *Wybrane czynniki determinujące programowanie działalności remontowej w budynkach wykonanych w technologii tradycyjnej*, Rozprawa doktorska, Uniwersytet Zielonogórski 2003.
- Nowogońska B., Skarzyński A., *Programowanie remontów użytkowanych budynków mieszkalnych metodą stosowania wskaźników*, „Przegląd budowlany” 3/2006, s. 40–43.
- Nowogońska B., *Budynek jako obiekt techniczny*, „Przegląd budowlany” 9/2005, s. 26–31.
- Nowogońska B., *Reliability of a building determined by the durability of its components*, „Civil and Environmental Engineering Reports” 6, 2011a, p. 173–180.
- Nowogońska B., *Trwałość techniczna a trwałość moralna obiektów budowlanych*, „Czasopismo Techniczne” z. 4-A/2, 2011b, s. 314–316.
- Nozaki K., Ishibuchi H., Tanaka H., *A Simple but powerful heuristic method for generating fuzzy rules from numerical data*, „Fuzzy Sets and Systems” 86(3), 1997, p. 251–270.
- Olearczuk E., *Eksploatacja budynków mieszkalnych – problemy, prawidłowości, postępowanie*, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, Warszawa 1999.
- Olearczuk E., *Eksploatacja nieruchomości budynkowych – poradnik zarządcy*. Centralny ośrodek informacji budownictwa PP, Warszawa 2005.
- Orłowski Z., *Wybrane aspekty właściwości użytkowych budynku w okresie jego eksploatacji*, „Przegląd budowlany” 10/2011a, s. 36–43.
- Orłowski Z., Szklennik N., *Analiza wartości użytkowej budynku w funkcji czasu*, „Czasopismo Techniczne” z. 1-B, 2010, s. 303–312.
- Orłowski Z., Szklennik N., *Zakres modernizacji budynku – jako wynik analizy diagnostycznej budynku*, „Budownictwo i Inżynieria Środowiska” 2(3), 2011b, s. 2081–3279.

- Ostańska A., *Problemy modernizacji i rewitalizacji zespołów prefabrykowanej zabudowy mieszkaniowej na przykładzie osiedla im. Stanisława Moniuszki w Lublinie*, Rozprawa doktorska, Politechnika Wrocławska 2008.
- Owczarek S., Orłowski Z., Szklennik N., *Budynek referencyjny – podstawa oceny stanu budynku*, Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej 87(18), 2006a, s. 333–339.
- Owczarek S., Orłowski Z., Szklennik N., *Koncepcja systemowej oceny zużycia budynków*, Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej 87(18), 2006b, s. 341–346.
- Pan N.F., *Fuzzy AHP approach for selecting the suitable bridge construction metod*, „Automation in Construction” 17(8), 2008, p. 958–965.
- Pater S., Magiera J., *Ocena zapotrzebowania na energię budynku mieszkalnego przy wykorzystaniu dwóch niezależnych programów obliczeniowych*, „Czasopismo techniczne” z. 2-Ch, 2011, s.165–184.
- Perng Y.H., Juan Y.K., Hsu H.S., *Genetic algorithm-based decision support for the restoration budget allocation of historical buildings*, „Building and Environment” 42(2), 2007, p. 770–778.
- Preiser W.F.E., *Post-occupancy evaluation: how to make buildings work better*, „Facilities” 13(11), 1995, p. 19–28.
- Preiser W.F.E., Vischer J.C., *Assessing Building Performance*, Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford 2005.
- Prystupa M., *Problematyka oceny stanu technicznego obiektów budowlanych w wycenie nieruchomości*, VIII Konferencja Naukowo–Techniczna, Cędzyna 21–23 kwietnia, 2004.
- Radziszewska-Zielina E., *Metody badań marketingowych w budownictwie*, Wydawnictwo KNOW - HOW, 2006.
- Raslanas S., Alchimoviene J., Banaitienė N., *Residential Areas with Apartment Houses: Analysis of the Condition of Buildings, Planning Issues, Retrofit Strategies and Scenarios*, „International Journal of Strategic Property Management” 15(2), 2011, p. 152–172.
- Reed R., Wilkinson S., Bilos A., Werner Schulte K., *A Comparison of International Sustainable Building Tools – An Update*, 17th Annual Pacific Rim Real Estate Society Conference, Gold Coast, 16–19 January, 2011.
- Roderick Y., McEwan D., Wheatley C., Alonso C., *Comparison of energy performance assessment between LEED, BREEAM and GREEN STAR*, 11th International IBPSA Conference, Glasgow–Scotland, July 27–30, 2009.
- Rosenfeld Y., Shohet I.M., *Decision Support model for semi-automated selection of renovation alternatives*, „Automation in Construction” 8(4), 1999, p. 503–510.
- Rusek J., *Modelowanie stopnia zużycia technicznego budynków na terenach górniczych z wykorzystaniem wybranych metod sztucznej inteligencji*, Rozprawa doktorska, Akademia Górniczo-Hutnicza 2010.

- Rutkowska D., Piliński M., Rutkowski L., *Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa–Łódź 1997.
- Rutkowski L., *Metody i techniki sztucznej inteligencji*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006.
- Sobotka A., Bucoń R., *Kierunki rozwoju metod przewidywania okresu użytkowania obiektów budowlanych*, „Problemy rozwoju miast 2(3), 2005, s. 58–67.
- Sobotka A., Bucoń R., *Zastosowanie FMEA w zarządzaniu utrzymaniem obiektów budowlanych*, Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej, Budownictwo Lądowe 61, 2007, s. 153–160.
- STANDARD III.4 – *Zasady ustalania zużycia*, Standardy zawodowe rzeczoznawców majątkowych, 1995.
- Starzec M., *Programowanie eksploatacji budynków mieszkalnych*, Warsztaty Inżynierów Budownictwa, Problemy Przygotowania i Realizacji Inwestycji Budowlanych, Puławy 2008, s. 315–322.
- Takagi T., Sugeno M., *Fuzzy identification of systems and its applications of modeling and control*, „IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics” 15(1), 1985, p. 116–132.
- Thierry J., Zaleski J., *Remonty budynków i wzmacnianie konstrukcji*, Arkady, Warszawa 1982.
- Truchanowicz T., *Koncepcja metod identyfikacji stanu użytkowania obiektu budowlanego*, Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej 87(18), 2006, s. 265–272.
- Trzaskalik T. (red), *Algorytmy genetyczne, ewolucyjne i meta heurystyki-wybrane zagadnienia*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice 2005.
- Tupenaite L., Zavadskas E.K., Kaklauskas A., Turskis Z., Seniut M., *Multiple criteria assessment of alternatives for built and human environment renovation*, „Journal of Civil Engineering and Management” 16(2), 2010, p. 257–266.
- Turskis Z., Zavadskas E.K., Peldschus F., *Multi-criteria optimization system for decision making in construction design and management*, „Engineering Economics” 1(61), 2009, p. 7–17.
- Urbański P., *Ocena stopnia zużycia technicznego wybranej grupy budynków mieszkalnych za pomocą sztucznych sieci neuronowych*, Rozprawa doktorska, Uniwersytet Zielonogórski 2001.
- Ustawa z dnia 7 lipca 1994r. Prawo budowlane /tekst jednolity Dz.U. 10.243.1623/.
- Ustawa z dnia 23 kwietnia 1964 r. Kodeks cywilny – /Dz.U. 64. 16 .93 z późn. zm/.
- Ustawa z dnia 21 sierpnia 1997r. o gospodarce nieruchomościami /tekst jednolity Dz.U.10.102.651.

- Vilhena A., Pedro J.B., Brito J., *Comparison of methods used in European countries to assess building condition*, 12th International Conference on Durability of Building Materials and Components, Porto–Portugal, April 12–15, 2011.
- Wang L.X., Mendel J.M., *Generating fuzzy rules by learning from examples*, „*IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*” 22(6), 1992, p. 1414–1427.
- Wiseman A., Kyle B.R., *Service life prediction and economic assessment of parking garage options*, 8th International Conference on Durability of Building Materials and Components, Vancouver, May 30–June 3, 1999, p. 1493–1505.
- Wodyński A., *Zużycie techniczne budynków na terenach górniczych*, Uczelniane Wydawnictwa Naukowe – Dydaktyczne AGH, Kraków 2007.
- Wodyński A., Firek K., *Analiza przebiegu w czasie zużycia technicznego tradycyjnej zabudowy Legnicko–Głogowskiego Okręgu Miedziowego*, „*Inżynieria Środowiska*” 7(2), 2002, s. 177–185.
- Wodyński A., Firek K., Kocot W., *Ocena wpływu remontów oraz zabezpieczeń profilaktycznych na trwałość budynków murowanych w LGOM*, „*Inżynieria Środowiska*” 11(1), 2006, s. 39–52.
- Wyatt D., *The contribution of FMEA and FTA to the performance review and auditing of service life design of constructed assets*, 10th International Conference On Durability of Building Materials and Components, Lyon–France, 2005.
- Zavadskas E.K., Kaklauskas A., Gulbinas A., *Multiple Criteria Decision Support Web-Based System for Building Refurbishment*, „*Journal Of Civil Engineering and Management*” 10(1), 2004, p. 77–85.
- Zavadskas E.K., Vilutiene T., *A multiple criteria evaluation of multi-family apartment blocks maintenance service packages*, „*Journal of Civil Engineering and Management*” 10(2), 2006, p. 143–152.
- Zhang Y., Vidakovic B., *Uncertainty analysis in using Markov chain model to predict roof life cycle performance*, 10th International Conference On Durability of Building Materials and Components, Lyon–France, 17–20 April, 2005.
- Yau Y., *Building conditions in Yau Tsim Mong, Hong Kong: Appraisal, exploration and estimation*, „*Journal of Building Appraisal*” 3(4), 2008, p. 319–329.
- Yau Y., Poon S.W., Liusman E., *Achieving sustainable urban renewal in Hong Kong: a strategy for dilapidation assessment of high rises*. „*Journal of Urban Planning and Development*” 138(2), 2012, p. 153–165.