



POLITECHNIKA POZNAŃSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ I TRANSPORTU
INSTYTUT INŻYNIERII LĄDOWEJ

Rozprawa doktorska

**OCENA MOŻLIWOŚCI TECHNICZNYCH PLANOWANIA
INFRASTRUKTURY KOMUNALNEJ Z UŻYCIEM TECHNOLOGII
GIS I SDSS**

mgr inż. Joanna Papis

Promotor:

dr hab. inż. Ireneusz Wyczalek prof. PP

Promotor pomocniczy:

dr inż. Artur Plichta

Poznań, 2022

Spis treści

Streszczenie	5
Abstract.....	6
1. Wprowadzenie	7
2. Wielokryterialna Analiza Decyzji, MCDA i Systemy Informacji Geograficznej, GIS – krótka charakterystyka.....	9
3. Początki i rozwój Przestrzennych Systemów Wspomagania Decyzji.....	11
4. Analizy wielokryterialne, podstawowe pojęcia i metody.....	15
4.1. Metoda boolowska (niekompensacyjna).....	17
4.2. Metody kompensacyjne WLC, AHP, OWA.....	18
4.2.2. Analityczny Proces Hierarchiczny, AHP.....	20
Identyfikacja kryteriów	22
Model hierarchiczny (decyzyjny)	22
Wagi kryteriów	23
Macierz decyzji.....	25
4.2.3. Metoda Uporządkowanego Ważonego Uśredniania, OWA	30
4.3. Zastosowanie miar rozmytych	32
4.4. Metody sztucznej inteligencji	32
5. Planowanie infrastruktury wodociągowej dla MPZP	34
5.1. Sytuacja prawna dotycząca infrastruktury wodno-kanalizacyjnej w Polsce	34
5.2. Ogólna charakterystyka sieci wodociągowych.....	36
5.3. Metody MCDA wykorzystywane w projektowaniu sieci wodociągowych	41
6. Ocena gruntów przeznaczonych pod zabudowę.....	43
6.1. Cechy rynkowe wycenianych nieruchomości gruntowych.....	44
6.2. Techniki GIS-MCDA wykorzystywane w ocenie przydatności gruntów	46
7. Ocena przydatności metod SDSS w planowaniu i budowie sieci wodociągowej na przykładzie osiedla Mokry Ług w Warszawie	48
7.1. Etap pierwszy zdefiniowanie problemu, rozbitcie go na kryteria i budowa struktury hierarchicznej.....	49
7.2. Etap drugi przygotowanie badań ankietowych, zebranie danych, sporządzenie wykresów i obliczenie macierzy porównań parami.....	50
7.2.1. Porównanie kryteriów: cechy fizyczne, lokalizacja, stopień zagospodarowania	54
7.2.2. Porównanie subkryteriów: powierzchnia, nachylenie, stopień regularności.....	55
7.2.3. Porównanie subkryteriów: rynek, lasy, woda, brak obiektów uciążliwych	56

7.2.4.	Porównanie subkryteriów: infrastruktura, drogi, transport.....	58
7.2.5.	Porównanie subsubkryteriów reprezentujących subkryterium infrastruktura	59
8.	Przykład przestrzennej metody wspomaganie decyzji przy zastosowaniu modelu AHP-OWA dla osiedla Mokry Ług w Warszawie	65
8.1.	Obszar badań i dane wejściowe	65
8.2.	Kryteria analizy AHP.....	65
8.2.1.	Cechy fizyczne.....	65
8.2.2.	Lokalizacja.....	68
8.2.3.	Stopień zagospodarowania	73
9.3.	Przygotowanie map do analizy	75
9.3.1.	Cechy fizyczne.....	76
9.3.2.	Lokalizacja.....	79
9.3.3.	Stopień zagospodarowania	83
9.4.	Analiza AHP-OWA	86
9.4.1.	Mapy kryteriów.....	86
9.4.2.	Wyniki analizy – ranking końcowy	89
10.	Dyskusja	95
	Kryterium cechy fizyczne:.....	95
	Kryterium lokalizacja:.....	96
	Kryterium stopień zagospodarowania:.....	98
	Analiza map otrzymanych w wyniku zastosowania procedury AHP-OWA	100
	Podsumowanie	102
11.	Wnioski.....	105
12.	Literatura	109
	Spis rycin	118
	Spis tabel.....	120
	Spis wykresów	121

Wykaz najczęściej wykorzystywanych oznaczeń:

1. AHP (ang. *Analytic Hierarchy Process*),
2. DSS (ang. *Decision Support System*),
3. GIS (ang. *Geographic Information System*),
4. MCA (ang. *Multi-Criteria Analysis*),
5. MCDA (ang. *Multi-Criteria Decision Analysis*),
6. MCDM (ang. *Multi-Criteria Decision Making*),
7. MCE (ang. *Multi-Criteria Evaluation*),
8. MC-SDSS (ang. *Multicriteria Spatial Decision Support System*),
9. OSM (ang. *Open Street Map*).
10. OWA (ang. *Ordered Weighted Average*),
11. SDSS (ang. *Spatial Decision Support System*),
12. WLC (ang. *Weighted Linear Combination*),
13. MPZP *Miejscowy Plan Zagospodarowania Przestrzennego*,
14. SUiKZP *Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego*,

Streszczenie

W pracy poddano analizie problem dotyczący wykorzystania metod MCDA i GIS w planowaniu rozbudowy sieciowej infrastruktury komunalnej. Z racji różnic w planowaniu różnych sieci rozwinięto wątek dotyczący infrastruktury wodociągowej.

Opisano przestrzenne metody wspomagania decyzji. Skupiono się na metodach: Liniowej Średniej Ważonej (WLC), Analitycznego Procesu Hierarchicznego (AHP) oraz Uporządkowanego Ważonego Uśredniania (OWA). Szczegółowo opisano metodę AHP, która dzięki zastosowaniu dziewięciostopniowej skali porównań Saaty'ego umożliwiła określenie wag kryteriów wykorzystanych następnie w analizie wielokryterialnej. Zaznaczono wykorzystanie w analizach miar rozmytych i sztucznej inteligencji.

Prześledzono problematykę związaną z planowaniem przestrzennym w odniesieniu do sieci wodociągowej. Ustalono zasady przedstawiania sieci na mapach. Wspomniano o metodach z zakresu MCDA stosowanych przy projektowaniu sieci wodociągowej i planowaniu zapotrzebowania na wodę, a także wykonano je dla studium przypadku w dzielnicy Rembertów w Warszawie.

Rozwinięto wątek dotyczący oceny gruntów przeznaczonych pod zabudowę jednorodziną. Ustalono cechy rynkowe charakteryzujące wybrane nieruchomości oraz metody ich wyceny. Opisano metody GIS-MCDA wykorzystywane w ocenie przydatności gruntów.

Wykonano zestawy map kryteriów i subkryteriów przedstawiających poziom zagospodarowania obszaru badań. Mapy zostały odpowiednio przetworzone w celu przeprowadzenia analizy AHP-OWA. Otrzymane wyniki pozwoliły na zaproponowanie odpowiedniej metodyki podejmowania decyzji związanej z rozbudową infrastruktury.

Abstract

The aim of this study is to investigate the usefulness of using the GIS-MCDA methods for planning the expansion of municipal network infrastructure. Due to the differences in the planning of various networks, the topic of water supply infrastructure was analysed in more detail.

Spatial decision support methods are described. In this study, however, the focus is on methods: Weighted Linear Combination (WLC), Analytic Hierarchy Process (AHP) and Ordered Weighted Average (OWA). The AHP method is described in detail, moreover thanks to the Saaty's nine-point scale of comparisons, made it possible to determine the weights of the criteria used in the multi-criteria analysis. The use of fuzzy measures and artificial intelligence in the analyses is underlined.

The issues related to spatial planning are investigated in relation to the water supply network. The rules for the representation of the network on maps have been established. The MCDA methods applied to the design of the water supply network and water demand planning are mentioned and also performed for the case study in the city district Rembertów in Warsaw.

A topic concerning the valuation of real estate for single-family housing has been developed. The qualitative characteristics of real estate property and the methods of their valuation were established. The GIS-MCDA methods used in the assessment of land suitability are described.

Sets of criteria maps and sub-criteria presenting the level of development of the research area were made. The maps were properly processed in order to perform the AHP-OWA analysis. The obtained results allow to propose an appropriate methodology for decisions making related to the development of infrastructure.

1. Wprowadzenie

Decyzje dotyczące lokalizacji infrastruktury komunalnej powinny być podejmowane na podstawie wcześniej opracowanej strategii, zdefiniowanej w sposób sformalizowany i przyjętej do wykonania. Takie podejście wynika z długotrwałości istnienia obiektów, dla których przy ustalaniu lokalizacji należy zabezpieczyć rezerwę terenową. Planowanie nie jest jednoznaczne z budową, której realizacja jest przesunięta w czasie. Procedura rozpoczęcia budowy powinna nastąpić po ocenie warunków technicznych, wykonaniu i zatwierdzeniu projektu budowlanego planowanej infrastruktury. Budowa infrastruktury wiąże się z kosztami, które powinny być zwrócone w określonym horyzoncie czasowym. Z tego względu, ocena lokalizacji powinna być związana z określonym stopniem prawdopodobieństwa rozwoju badanego obszaru, przekładającym się na możliwość oszacowania tempa zwrotu poniesionych kosztów. W wielu analizowanych dotąd przypadkach problem lokalizacji dotyczył poszukiwania terenów pod budowę m.in. takich obiektów jak: wysypiska śmieci, farmy fotowoltaiczne czy obiekty użyteczności publicznej (Beheshtifar & Alimoahmadi, 2015; Unal i in., 2020; Yankiv-Vitkowska i in., 2020). Z drugiej strony poszukiwane były rozwiązania analityczne wspierające proces właściwego przekształcania gruntów np.: rolnych w zabudowane (Joerin i in., 2001; Malczewski, 2004). W przytoczonych pracach autorzy uwzględniali takie czynniki jak: ochrona środowiska, minimalizacja negatywnego wpływu na jakość życia czy kwestie ekonomiczne. Pomimo zbliżonej problematyki brak w literaturze przykładów analiz dotyczących lokalizacji związanej z procesem planowania obiektów sieciowych. Niniejsza rozprawa doktorska próbuje wypełnić tę lukę, wskazując na zakres zastosowań. Zatem, próbą rozwiązania przedstawionego problemu będzie zastosowanie procedury AHP-OWA, która umożliwi uzyskanie zestawu map pozwalających na ocenę przygotowania terenu pod zabudowę jednorodzinna a tym samym ocenę opłacalności budowy infrastruktury komunalnej.

W rozprawie wykorzystano metody MCDA i GIS jako narzędzia analityczne stanowiące podstawę w procesie planowania rozbudowy sieciowej infrastruktury komunalnej na terenach niezabudowanych przeznaczonych pod budownictwo jednorodzinne. Celem rozprawy jest przedstawienie autorskiej metodyki pozwalającej na ocenę lokalizacji planowanej infrastruktury. Ponadto zaproponowano tutaj rozwiązanie problemu dotyczącego rozbudowy sieci wodociągowej przez poszukiwanie terenów wybieranych jako optymalne pod zabudowę mieszkaniową. Na uwagę zasługuje oryginalny sposób wyboru zestawu cech (kryteriów i subkryteriów) przestrzennych opisujących przedmiotowy obszar badań.

Realizacja założonego celu rozprawy została osiągnięta na podstawie następujących metod i narzędzi badawczych:

- 1) ustalenie zestawu kryteriów i subkryteriów opisujących nieruchomości przeznaczone pod zabudowę jednorodzinna,
- 2) opracowanie ankiety (przeprowadzenie badań ankietowych) skierowanej do grupy respondentów zainteresowanych zakupem działki budowlanej,
- 3) opracowanie kartograficzne map kryteriów i subkryteriów z wykorzystaniem materiałów udostępnionych na stronach internetowych: geoportal.gov.pl, mapa.um.warszawa i OpenStreetMap,
- 4) przeprowadzenie analizy AHP-OWA.

Rozprawa składa się z 11 rozdziałów. W rozdziale pierwszym zawarto wstęp do pracy. Rozdziały 2 do 4 stanowią część teoretyczną pracy. Przedstawiono w nich krótką charakterystykę przestrzennych metod wspomagania decyzji. Szczegółowo opisano takie metody jak: WLC, AHP i OWA. Bardziej szczegółowo opisano metodę AHP, na podstawie której przygotowano badania ankietowe oraz obliczone wagi kryteriów. Omówiono również problematykę stosowania miar rozmytych oraz metody sztucznej inteligencji.

W rozdziale piątym rozwinięto problem planowania infrastruktury wodociągowej, przedstawiono obowiązujące przepisy prawne, zaprezentowano ogólną charakterystykę sieci oraz omówiono metody MCDA wykorzystywane w projektowaniu i planowaniu sieci wodociągowej.

Rozdział szósty dotyczy sposobów wyceny gruntów przeznaczonych pod zabudowę jednorodzinna. Przedstawione zostały cechy rynkowe ocenianych gruntów. Pozwoliły one na wybór kryteriów i subkryteriów wykorzystanych w dalszych analizach. Pokróćce omówiono metody GIS-MCDA wykorzystywane w ocenie przydatności gruntów.

W rozdziale siódmym zdefiniowano problem badawczy, zbudowano strukturę hierarchiczną oraz wykonano analizę badań ankietowych, w efekcie której uzyskano wagi kryteriów i subkryteriów.

W rozdziale ósmym zaprezentowano mapy kryteriów i subkryteriów przygotowane do analizy AHP-OWA, rozdział dziewiąty to wyniki analizy oraz ranking końcowy.

W rozdziale dziesiątym przeprowadzono dyskusję dotyczącą stopnia zainwestowania obszaru badań. Natomiast w rozdziale jedenastym przedstawiono wnioski dotyczące zastosowania wybranych metod analizy wielokryterialnej oraz ich przydatności do rozwiązywania problemów związanych z oceną stopnia przygotowania terenu pod inwestycje komunalne.

2. Wielokryterialna Analiza Decyzji, MCDA i Systemy Informacji Geograficznej, GIS – krótka charakterystyka

Prace dotyczące problemów przestrzennego wspomaganie decyzji (ang. *Spatial Decision Support System*, SDSS) opierają się na dwóch niezależnych podejściach badawczych. Jedno związane jest z badaniami operacyjnymi na bazie wiedzy o zarządzaniu (ang. *Operation Research, OR and Management Sciences*, MS), a drugie wykorzystuje proces planowania architektury i krajobrazu (ang. *landscape architecture/planning*) (Keenan, 2006; Malczewski & Rinner, 2015; Sugumaran & DeGroot, 2020). Modele matematyczne stosowane w OR/MS stanowią podstawę do rozwiązywania problemów, a tym samym do podejmowania decyzji (Koopmans, 1951; Gass & Saaty, 1955). Z kolei architektura krajobrazu wyznacza teoretyczne ramy niezbędne w procesie właściwego planowania, projektowania i optymalnego zarządzania środowiskiem naturalnym i zabudowanym (Steinitz i in., 1976; Collins i in., 2001).

Wskazane powyżej dwa podejścia badawcze mogą być stosowane łącznie w procesie planowania i zarządzania przestrzenią. W tym celu wykorzystuje się tzw. analizy wielokryterialne, realizowane przy użyciu technologii GIS (Jankowski i in., 2001; Andrienko i in., 2007). Wielokryterialna Analiza Decyzji (ang. *Multi-Criteria Decision Analysis*, MCDA), obejmuje procedury i narzędzia przetwarzania danych, oparte na określonych regułach decyzyjnych stanowiących podstawę do opisu zachowań czynników decyzyjnych (Malczewski & Rinner, 2015; Sugumaran & DeGroot, 2020). Systemy Informacji Geograficznej (ang. *Geographic Information System*, GIS), reprezentują technologię geoinformacyjną wykorzystywaną do tworzenia, zarządzania, wizualizacji i analizy danych przestrzennych w celu wsparcia procesu modelowania, na potrzeby różnorodnych badań a także w celu lepszego zrozumienia złożoności realnego świata (Goodchild, 1992; Malczewski & Rinner, 2015; Sugumaran & DeGroot, 2020).

Pierwsze koncepcje dotyczące MCDA zostały wprowadzone przez Edgewortha (1925) i Pareto (1920) (vide Malczewski & Rinner, 2015). Autorzy ci zaproponowali podejście analityczne polegające na ocenie ważności niepowiązanych ze sobą kryteriów zestawianych w pary. Dla każdej takiej pary określa się tzw. indeks oceny. Pareto (1920) przedstawił również koncepcję efektywności; związana z tą koncepcją tzw. optymalność Pareto jest jednym z ważniejszych elementów MCDA przeprowadzanych w ostatnich latach (Malczewski & Rinner, 2015). Należy dodać, że obecny rozwój MCDA odbywa się w oparciu o takie zagadnienia jak: programowanie wielokryterialne (Koopmans, 1951; Gass & Saaty, 1955); teoria użyteczności i aksjomaty racjonalności stanowiące podstawy współczesnej teorii decyzji

(von Neumann i in., 1944); metoda ważenia addytywnego (Churchman i in., 1957) czy relacje przewyższania wprowadzone przez Roy'a w 1968 (eg. Figueira i in., 2005).

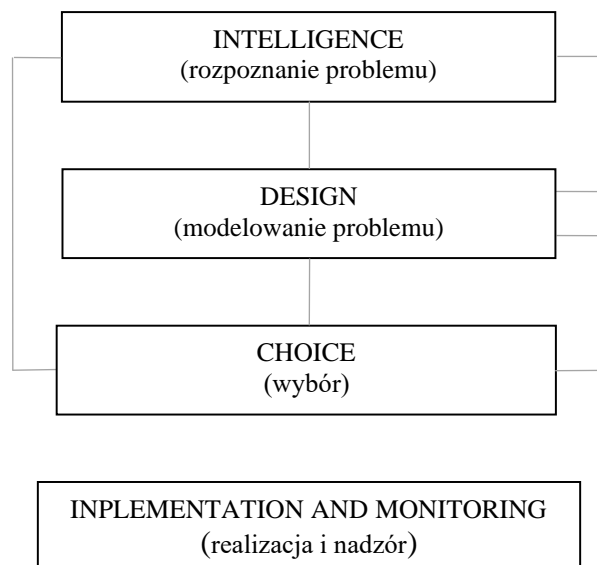
Do integracji technologii GIS i metod MCDA przyczynił się rozwój modelowania kartograficznego, w tym również algebry map. Modelowanie kartograficzne polega na uporządkowanej sekwencji określonych procedur geoprzetwarzania (ang. *geoprocessing*) danych przestrzennych, w których wynik jednej procedury może stanowić argument kolejnej procedury (Urbański, 2011). Celem modelowania kartograficznego jest rozpoznanie nowych nieznanych dotąd zależności przestrzennych między obiektami realnego świata rzeczywistego. Ponadto modelowanie to można wykorzystać do symulacji określonych procesów przestrzennych dających się przewidzieć w przyszłości w kontekście określonych warunków środowiska i możliwych kierunków podejmowania decyzji (Malczewski & Rinner, 2015). Narzędzia algebry map pozwalają na realizację podstawowych metod analitycznych stosowanych w GIS-MCDA opartych na logice Boole'a i procedurach łączenia map ważonych (Eastman i in., 1993). Narzędzia te są zaimplementowane w popularnych aplikacjach GIS i stanowią podstawę wielu aktualnych badań realizowanych w zakresie GIS-MCDA (Eastman i in., 1993; Jankowski, 1995; Malczewski & Rinner, 2015). Metody MCDA były rozwijane w odpowiedzi na krytykę klasycznej analizy systemowej i jednokryterialnych metod, stosowanych przy podejmowaniu decyzji przestrzennych i rozwiązywaniu problemów planowania. Co więcej, planiści i badacze zajmujący się wybranymi problemami w ujęciu regionalnym jako pierwsi zaczęli dostrzegać potrzebę połączenia wielokryterialnych metod programowania matematycznego (ang. *multicriterial mathematical programming*) z mapowaniem wspomaganym komputerowo (ang. *computer-aided mapping*) (Diamond & Wright, 1988; Malczewski & Rinner, 2015).

W planowaniu przestrzennym wymagany jest GIS-MCDA zorientowany na użytkownika. Ma to związek z poglądem, że planowanie jest częścią większego systemu społeczno-politycznego, zawiera ono elementy dobrze zdefiniowane w przestrzeni geograficznej jak i „niematerialne”, odniesione do sfery działań, postaw i wartości społecznych. Połączenie tych dwóch elementów postrzeganych odpowiednio w kategoriach wartości obiektywnych i subiektywnych leży u podstaw koncepcji Przestrzennych Systemów Wspomagania Decyzji (Malczewski & Rinner, 2015).

3. Początki i rozwój Przestrzennych Systemów Wspomagania Decyzji

Z definicji decyzja to wybór między co najmniej dwiema, a zwykle wieloma możliwościami (wariantami decyzyjnymi, alternatywami). Z kolei proces decyzyjny rozumie się jako określony proces myślowy, którego zadaniem jest realizacja funkcji podejmowania decyzji prowadzących do rozwiązania problemu decyzyjnego co skutkuje wybraniem jednego z możliwych wariantów decyzyjnych (Wierzbicki, 2018). Pojęcie procesu decyzyjnego zostało wprowadzone przez Simona w 1957r., i brało pod uwagę podział decyzji na trzy kategorie: ustrukturyzowane (programowalne), częściowo ustrukturyzowane oraz nieustrukturyzowane (nieprogramowalne). Decyzje ustrukturyzowane to decyzje powtarzalne, rutynowe możliwe do zautomatyzowania; decyzje nieustrukturyzowane to takie, których podjęcie opiera się na niedostatecznej wiedzy, przy świadomości dużego zakresu potrzebnych dodatkowych badań czy analiz. Można powiedzieć, że są to decyzje oparte na intuicji, doświadczeniu i zaufaniu we własne umiejętności (Sugumaran & DeGroot, 2020). Decyzje przestrzenne są często opisywane jako częściowo ustrukturyzowane, co oznacza, że mieszczą się między kategoriami decyzji ustrukturyzowanych i nieustrukturyzowanych (Malczewski & Rinner, 2015).

Proces decyzyjny wg Simona (1957) obejmuje trzy etapy: rozpoznanie problemu, jego modelowanie i ostatecznie podjęcie decyzji (Ryc. 1). Faza rozpoznania dotyczy sformułowania problemu i poszukiwania informacji potrzebnych do jego rozwiązania. W fazie modelowania ma miejsce kompilacja oraz analiza danych i informacji potrzebnych do rozwiązania problemu. W ramach ostatniej fazy dokonuje się właściwego wyboru wariantu decyzyjnego. Fazy te nie muszą postępować liniowo, gdyż w świetle nowych danych czy zaktualizowanej wiedzy i pojawienia się nowych pomysłów zwykle wracamy do faz wcześniejszych. Słabością rozpatrywanego procesu decyzyjnego jest to, że nie uwzględnia się tutaj etapu końcowego jakim jest właściwa realizacja i nadzór tego procesu, uwzględniając również obserwacje pożądanymi, niepożądanymi i szkodliwymi skutkami decyzji (Wierzbicki, 2018).



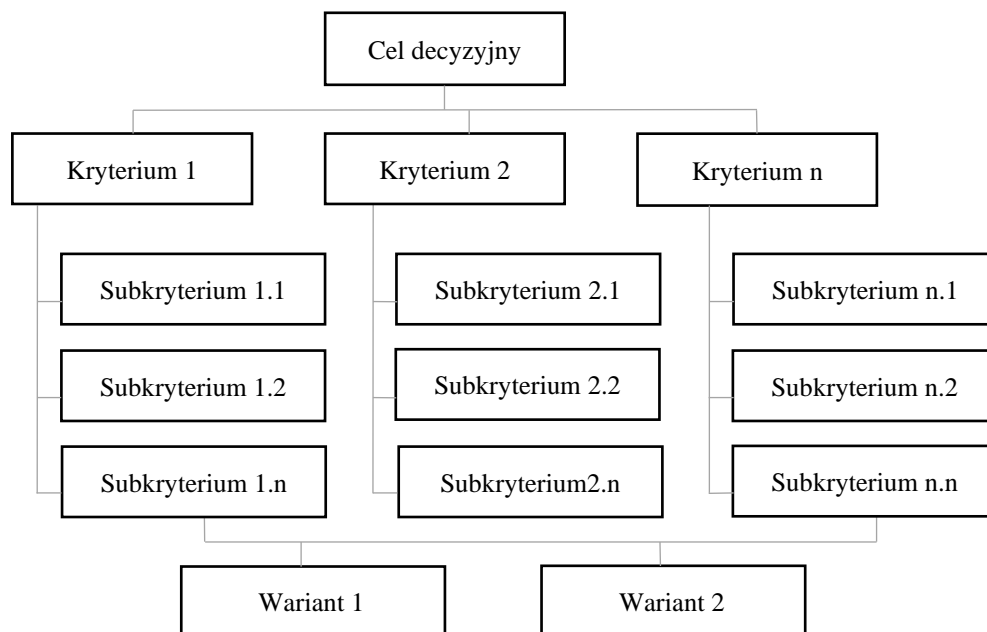
Ryc. 1. Proces przygotowania decyzji na podstawie H. Simona ze zmianami na podstawie Wierzbicki (2018).

W ocenie wielu badaczy podział procesu decyzyjnego na trzy etapy był zbyt ogólny wobec złożoności i wielowymiarowości aspektów i uwarunkowań przestrzennych rozpatrywanych w danym procesie decyzyjnym. Dodatkowo, nakładają się tutaj problemy związane z niepewnością danych wejściowych oraz fakt, iż proces decyzyjny dotyczy zwykle wielu zainteresowanych stron reprezentujących sprzeczne interesy. Te cechy sprawiają, że proces decyzyjny z jednej strony opiera się na większej liczbie etapów szczegółowych, z drugiej zaś przebiega iteracyjnie, uwzględniając różnego typu interakcje między grupami społecznymi zaangażowanymi w proces decyzyjny (Prusak & Stefanow, 2014; Malczewski & Rinner, 2015; Wierzbicki, 2018; Sugumaran & DeGroot, 2020). W takim ujęciu proces decyzyjny jest realizowany w kilku następujących krokach: identyfikacja problemu, zebranie niezbędnych danych, zdefiniowanie problemu (celów, założeń i ograniczeń), znalezienie odpowiedniej procedury rozwiązania problemu oraz rozwiązanie problemu (Keller, 1990). Ponieważ zachowania ludzkie i procesy naturalne zachodzące w świecie rzeczywistym nie zawsze są łatwe do zdefiniowania, zwykle konieczne jest opracowanie wielu scenariuszy rozwiązania danego problemu, przy czym poszczególne scenariusze mogą się wzajemnie wykluczać, a w przypadku wspólnych elementów można je grupować w tzw. struktury scenariuszy (Roy, 1990; Wierzbicki, 2018).

Istnieje wiele potrzeb wynikających z różnych perspektyw zainteresowanych grup osób lub instytucji – interesariuszy, dlatego też konieczne jest zdefiniowanie właściwych relacji

między nimi poprzez nadanie im określonych priorytetów (Sugumaran & DeGroot, 2020). Pociąga to za sobą konieczność ilościowej oceny wpływu różnych czynników na ostateczną decyzję. Równocześnie przyjmuje się, że zmiana ilościowej oceny tylko jednego czynnika nie gwarantuje optymalizacji wyboru właściwego wariantu. Z tego względu, poszukiwanie kompromisu, czyli wyboru optymalnego rozwiązania problemu powinno być oparte na budowie modelu decyzyjnego (Wierzbicki, 2018).

Model decyzyjny jest schematem, zbiorem elementów i występujących między nimi powiązań. Celem modelu jest rozwiązanie problemu przez zbudowanie podstawy do badań (Roy, 1990; Prusak & Stefanow, 2014). Przykład modelu decyzyjnego o strukturze hierarchicznej przedstawiono na Ryc. 2.

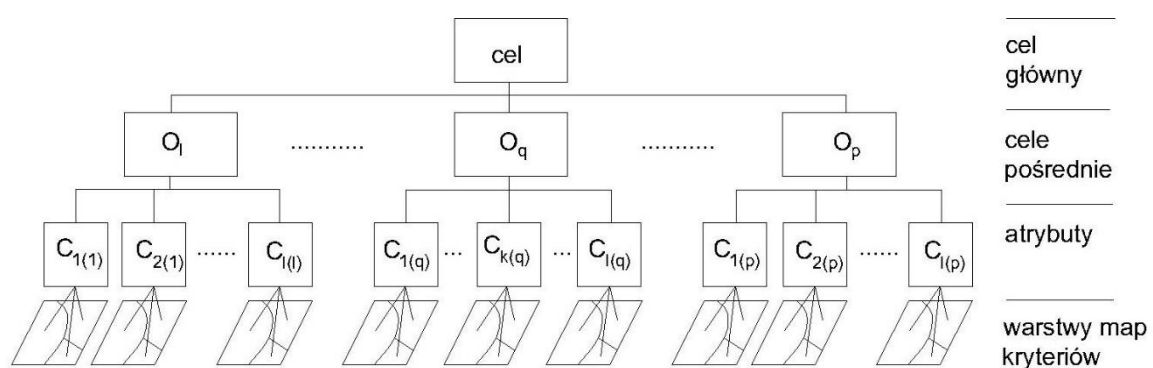


Ryc. 2. Model decyzyjny na podstawie Prusak i Stefanow (2014).

Proces walidacji modelu jest złożony i wymaga zastosowania systemów informatycznych. Początkowo opierał się on na automatyzacji decyzji, w której decydent zostaje wyręczony metodami sztucznej inteligencji. Później metoda ta została zastąpiona interaktywnym wspomaganie decyzji, w którym decydent stawał się równoważnym podmiotem (Wierzbicki, 2018). Tym sposobem wyewoluował System Wspomagania Decyzji (ang. *Decision Support System*, DSS). System ten wykorzystuje technologie informatyczne wspomagające użytkownika w organizacji i prowadzeniu interaktywnego procesu decyzyjnego (Wierzbicki, 2018). Niestety wiele przykładów pokazuje, że wdrożone systemy DSS nie uwzględniały lub nie obsługiwały przestrzennych aspektów modelu decyzyjnego. Odpowiedzią na ten

mankament był rozwój Przestrzennego Systemu Wspomagania Decyzji, SDSS (Malczewski & Rinner, 2015; Sugumaran & DeGroot, 2020).

Według Malczewskiego (1999), Przestrzenny System Wspomagania Decyzji należy rozumieć jako interaktywny informatyczny system przeznaczony do wspierania użytkownika lub grupy użytkowników w osiągnięciu większej skuteczności w wyborze optymalnego wariantu. Ta skuteczność wynika z faktu, iż z systemami SDSS związane są trzy następujące terminy: częściowo ustrukturyzowany problem przestrzenny, efektywność podejmowania decyzji i wsparcie dotyczące oceny decyzji. Pierwszy termin dotyczy przestrzennego aspektu problemu decyzyjnego, który z racji odpowiedniej struktury danych przestrzennych z nim związanych może być przedmiotem automatycznego przetwarzania przez systemy informatyczne przy użyciu odpowiedniego oprogramowania. Z kolei efektywność podejmowania decyzji jak i wsparcie decyzji wiążą się z niestrukturalnymi aspektami problemu decyzyjnego, którymi zajmują się decydenci. W ten sposób dochodzimy do głównego celu SDSS jakim jest poprawa skuteczności podejmowania decyzji w wyniku połączenia wiedzy eksperckiej i doświadczenia decydentów z wynikami procedur komputerowego przetwarzania danych przestrzennych w technologii GIS (Malczewski & Rinner, 2015). Istnieje wiele przykładów pokazujących w jaki sposób systemy SDSS zostały zaprojektowane i wdrożone w celu rozwiązania częściowo ustrukturyzowanych problemów przestrzennych za pomocą zaawansowanych narzędzi analitycznych, przyczyniając się do lepszego zbadania danego problemu, a tym samym dając podstawę do podjęcia lepszych decyzji (Ryc. 3) (Borouhaki & Malczewski, 2008).



Ryc. 3. Przestrzenny model decyzyjny na podstawie Borouhaki i Malczewski (2008).

Wielokryterialne Przestrzenne Systemy Wspomagania Decyzji (ang. *Multicriteria Spatial Decision Support System*, MC-SDSS) to klasa SDSS, która opiera się na koncepcji integracji GIS i MCDA. Niektórzy autorzy w przeszłości opisywali GIS jako SDSS używając najprostszej perspektywy, że są to narzędzia komputerowe, które można wykorzystać do wspierania decyzji (Keenan, 2003). Jednak stosując bardziej rygorystyczną koncepcję SDSS, możemy przyjąć, że sam GIS nie kwalifikuje się jako SDSS (Keenan, 2003, 2006; Sugumaran & DeGroot, 2020). GIS może jedynie zapewnić narzędzia do rozwiązywania problemów opartych na danych poprzez dostarczenie większej ilości użytecznych informacji. Natomiast techniki MCDA mogą przyczynić się do rozwiązywaniu problemów związanych z konfliktem interesów pomiędzy decydentami. Na poziomie podstawowym GIS-MCDA jest narzędziem, które przekształca i łączy dane geograficzne (mapy wejściowe) z preferencjami decydentów (ekspertów) w mapę decyzyjną (wyjściową). Wyniki analizy zależą nie tylko od przestrzennego układu alternatyw, ale także od sądów wartościujących osób biorących udział w procesie podejmowania decyzji (Malczewski & Rinner, 2015). Zatem przyjmuje się, że SDSS to zintegrowane systemy informatyczne wspierające decydentów w rozwiązywaniu częściowo ustrukturyzowanych lub nieustrukturyzowanych problemów przestrzennych, w sposób interaktywny i iteracyjny, wykorzystując funkcjonalność tych systemów do obsługi przestrzennych i nieprzestrzennych baz danych (ang. *spatial and nonspatial data*) oraz modelowania analitycznego (Sugumaran & DeGroot, 2020).

4. Analizy wielokryterialne, podstawowe pojęcia i metody

Nieodłącznym elementem przestrzennych systemów wspomagania decyzji (MC-SDSS) jest tzw. ocena wielokryterialna (ang. *Multi-Criteria Evaluation*, MCE) (Eastman, 1999; Urbański, 2001; Hejmanowska & Hnat, 2009), dla której w literaturze używa się różnych terminów tj.: wielokryterialne podejmowanie decyzji (ang. *Multi-Criteria Decision Making*, MCDM), wielokryterialna analiza decyzji (ang. *Multi-Criteria Decision Analysis*, MCDA) czy wielokryterialna analiza (ang. *Multi-Criteria Analysis*, MCA) (Eastman, 1999; Malczewski & Rinner, 2015). Ocena wielokryterialna opiera się na metodach i procedurach analitycznych, które ułatwiają podejmowanie decyzji w wyniku badania wielu alternatyw w świetle określonych warunków i sprzecznych celów (Keenan, 2006). Roy (1985) zdefiniował analizę wielokryterialną jako narzędzie matematyczne umożliwiające porównywanie różnych alternatyw lub scenariuszy, za pomocą wielu, często sprzecznych kryteriów, w celu ukierunkowania decydenta na rozsądny wybór (Figueira i in., 2005). Z kolei Malczewski (1999) rozpatrywał problemy MCDM z perspektywy zestawu alternatyw, które są oceniane na

podstawie sprzecznych i niewspółmiernych kryteriów (Malczewski & Rinner, 2015; Sugumaran & DeGroot, 2020). W przypadku problemów o charakterze przestrzennym GIS stanowi naturalne uzupełnienie metod wielokryterialnych. Połączenie MC-SDSS tworzy system, który pozwala użytkownikowi na interakcje z modelami reprezentującymi decyzje, są to zatem modele oparte na relacjach przestrzennych. Wiele z dotychczasowych modeli opracowanych dla problemów nie uwarunkowanych przestrzennie, w kolejnym etapie zostało dostosowanych do przestrzennych sytuacji decyzyjnych (Keenan, 2006).

Znaczenie oceny wielokryterialnej w przestrzennych systemach wspomagania decyzji (MC-SDSS) wynika z faktu, iż metody i procedury analityczne są oparte na technologii GIS (Jankowski i in., 2001; Malczewski & Rinner, 2015). Chodzi między innymi o analizę map kryteriów zgodnie z logiką Boole'a, ważone metody łączenia (Jiang & Eastman, 2000) oraz metody sztucznej inteligencji (Malczewski, 2004).

Problem decyzyjny w SDSS to problem opisany przez pewną liczbę kryteriów, obejmujący zestaw alternatyw decyzyjnych. Alternatywą decyzyjną lub inaczej – zmienną decyzyjną, wariantem decyzyjnym – nazywamy mierzalną wielkość o określonej wartości. Alternatywy są oceniane na podstawie sprzecznych i niewspółmiernych kryteriów zgodnie z preferencjami decydenta. Problemy decyzyjne rozwiązuje się w oparciu o określone procedury (reguły decyzyjne), które opierają się na trzech głównych koncepcjach: skalowania (standaryzacji) mapowanych wartości kryteriów, wagowania kryteriów i określania reguł kombinacji (decyzji).

Reguły decyzyjne (reguły łączenia) opierają się na metodach oceny lub rankingu zbioru alternatyw decyzyjnych. Integrują one dane i informacje o alternatywach ujętych w postaci map kryteriów, uwzględniając przy tym preferencje decydentów, które przekładają się na wagi kryteriów przypisane mapom. Takie podejście analityczne pozwala na całościową ocenę alternatyw decyzyjnych. W regułach łączenia uwzględnia się relację między nadrzędnym celem podejmowanego wyboru, a wartościami poszczególnych kryteriów rozpatrywanych w danym procesie decyzyjnym. Pozwala to na ocenę alternatyw decyzyjnych z punktu widzenia celu nadrzędnego. Reguły decyzyjne są procedurami, które ustalają kolejność alternatyw według ważności, wskazując na bardziej lub mniej preferowane alternatywy decyzyjne. W kontekście MC-SDSS regułą decyzyjną jest procedura umożliwiająca uszeregowanie i wybór jednej lub większej liczby wariantów z zestawu dostępnych alternatyw decyzyjnych (Borouhaki & Malczewski, 2008).

$$V(a_i) = f\left(v_j(a_{ij})\right) \text{ dla } i = 1, 2, m \text{ oraz } j = 1, 2, n \quad (4-1)$$

gdzie:

- $V(a_i)$ to wartość funkcji celu dla i -tej alternatywy,
- $v_j(a_{ij})$ to funkcja wartości j -tego kryterium dla i -tej alternatywy.

W procedurach MC-SDSS wyróżniamy dwa rodzaje kryteriów: czynniki (ang. *factors*) i ograniczenia (ang. *constraints*). I tak, czynniki mają charakter "miękki", tym samym stopień przynależności do sąsiednich klas ma charakter rozmyty w zakresie 0-1 (Eastman i in., 1993; Eastman, 1999). Z kolei ograniczenia są kryteriami typu "twardego", co wyraża się poprzez sztywny podział: ograniczenia akceptowalne (wykonalne) i ograniczenia niedopuszczalne (niewykonalne). Wspomniane rodzaje kryteriów pozwalają na stworzenie tzw. map przydatności (ang. *suitability map*) (Urbański, 2001; Hejmanowska & Hnat, 2009). W zależności od rodzaju kryteriów wykorzystywanych w analizach możemy wyróżnić metody niekompensacyjne, w których wyniki jednoznacznie wskazują najwyżej oceniane kryteria oraz metody kompensacyjne pozwalające na kompromis między kryteriami oceny (Malczewski & Jaroszewicz, 2018).

4.1. Metoda boolowska (niekompensacyjna)

Logika boolowska wywodzi się od nazwiska angielskiego matematyka George'a Boole'a, który jako pierwszy wyodrębnił podstawowe prawa teorii zbioru w połowie XIX w. Używa się jej w odniesieniu do dowolnego zbioru obiektów i zjawisk przestrzennych, których atrybuty (właściwości) można opisać przez prosty system liczb binarnych oznaczających przynależność lub brak przynależności do określonych kategorii. Inaczej mówiąc, logika boolowska opiera się na uporządkowanym zbiorze wartości logicznych składającym się z dwóch elementów: prawda (true, T, 1, +) i fałsz (false, N, 0, -) wraz z towarzyszącymi im zdefiniowanymi operatorami standardowymi (Eastman, 1999).

Wszystkie kryteria wykorzystywane w procesie decyzyjnym podlegają logice boolowskiej w celu ich oceny w kategoriach progów przydatności (np.: 0 – tereny nieprzydatne, 1 – tereny przydatne). W rezultacie mapy binarne poszczególnych kryteriów mają postać zestandaryzowaną, co pozwala je łączyć za pomocą operatorów logicznych, takich jak przecięcie (AND) i suma (OR) (Jiang & Eastman, 2000; Hejmanowska & Hnat, 2009). W logice Boole'a zakładamy obecność wyraźnych granic między obiektami lub klasami obiektów i zjawisk, a także przyjmujemy wysoki poziom pewności w kontekście określanych

atrybutów (właściwości) obiektów i zjawisk. Z tego względu, boolowskie przecięcie daje bardzo twarde AND, tym samym jeśli którekolwiek kryterium nie osiągnie swojego progu przydatności to następuje wykluczenie z analizy danego obiektu lub klasy obiektów czy zjawisk. Użycie operatora sumy logicznej OR powoduje, że dany obiekt lub klasa obiektów czy zjawisk mogą zostać wybrane do analizy, gdy zostanie spełnione którekolwiek kryterium przydatności (Malczewski & Jaroszewicz, 2018). Ryzyko decyzyjne szacuje się metodą propagacji błędu pomiarowego uwzględniając reguły decyzyjne a także określając zakres ryzyka, przy którym decyzja podjęta dla danej lokalizacji będzie właściwa lub błędna (Jiang & Eastman, 2000). Istnieje pogląd, że ocena wielokryterialna oparta na logice boolowskiej ma swoje ograniczenia wynikające ze złożoności przestrzennych systemów decyzyjnych (Sugumaran & DeGroot, 2020). Nie jesteśmy w stanie jednoznacznie określić czy dany obszar w pełni zaspokaja nasze oczekiwania czy też nie, dlatego też poszukuje się rozwiązania problemu przy zastosowaniu metod kompensacyjnych.

4.2. Metody kompensacyjne WLC, AHP, OWA

Metody kompensacyjne pozwalają na uwzględnienie wpływu jednego kryterium na pozostałe kryteria poprzez wykorzystanie warunków logiki rozmytej tzw. rozmycie informacji.

4.2.1. Liniowa Suma Ważona, WLC

Liniowa Suma Ważona (ang. *Weighted Linear Combination*, WLC) jest procedurą łączenia map kryteriów, w której dla każdej i -tej lokalizacji alternatywy A_i ($i = 1, 2, \dots, m$) przypisuje się zbiór wartości poszczególnych kryteriów $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ij}, \dots, a_{in}$; a następnie łączy się te wartości, uwzględniając wagi kryteriów: $w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{ij}, \dots, w_{in}$ (Malczewski & Jaroszewicz, 2018; Malczewski & Rinner, 2015). Ogólny wzór na Liniową Sumę Ważoną przedstawia się następująco:

$$V(A_i) = \sum_{j=1}^n w_j v(a_{ij}) \quad (4-2)$$

gdzie:

- $V(A_i)$ to wartość funkcji celu i -tej alternatywy (alternatywy mają określoną lokalizację w przestrzeni geograficznej),
- $v(a_{ij})$ to wartość i -tej alternatywy w odniesieniu do wartości j -tego kryterium, mierzona za pomocą funkcji wartości,
- w_j to waga wyznaczona dla j -tego kryterium.

Dla modeli opartych na WLC przyjmuje się założenia dotyczące liniowości i addytywności. Założenie liniowości dotyczy relacji w linii prostej między dwoma zmiennymi. Natomiast założenie addytywności oznacza, że rozpatrywane kryteria są wzajemnie niezależnymi preferencjami tzn. preferowana właściwość niezależności istnieje, jeśli ranking jednego kryterium nie zależy od ustalonych wartości innych kryteriów (Malczewski & Rinner, 2015). Kryteria typu miękkiego, czynniki są standaryzowane do przedziału wartości 0-1, który jest wspólny dla wszystkich kryteriów używanych w analizie, a następnie łączone przez uśrednianie ważone. Modele oparte na WLC pozwalają uzyskać wyniki znajdujące się dokładnie pomiędzy operacjami AND i OR czyli uzyskany wynik znajduje się w połowie drogi między ekstremalnym ryzykiem a kompromisem.

Standaryzacja, jako nieodłączny element modelowania opartego na WLC, jest przeprowadzana na drodze przeskalowania określonego zakresu wartości danego kryterium do nowego zakresu np. 0-1 poprzez transformację liniową. Dzięki temu, standaryzowana wartość każdego kryterium wyraża określony stopień przydatności. Na przykład w kontekście planowania przestrzennego, wyższe wartości standaryzowanych kryteriów mogą przełożyć się na decyzję co do oceny odpowiedniej lokalizacji dla zamierzonego użytkowania terenu. Nie ma rzeczywistego proggu, który pozwalałby na definitywną alokację obszarów do wyboru i wykluczenia. Standaryzację opartą na liniowej transformacji wyraża się wzorem:

$$x_i = \frac{R_i - R_{min}}{R_{max} - R_{min}} * d \quad (4-3)$$

gdzie:

- X_i to parametr odpowiadający danemu warunkowi po standaryzacji,
- R_i to wartość parametru przed standaryzacją,
- R_{min}, R_{max} to minimalna i maksymalna wartość parametru kryterium,
- d to przedział standaryzacji.

Dla procedury Liniowej Średniej Ważonej (WLC) Kobryń (2014) za Malczewskim (1999) proponuje następującą ścieżkę postępowania:

1. Zdefiniuj kryteria oceny lub warstwy mapy dla czynników branych pod uwagę przy ocenie alternatywnych wariantów decyzji,
2. Standaryzuj każdą warstwę mapy kryteriów,
3. Zdefiniuj wagi kryteriów lub wagi o względnym znaczeniu, przyporządkuj wagi poszczególnym kryteriom,
4. Skonstruuaj ważone, znormalizowane warstwy mapy,

5. Generuj ogólny wynik poprzez dodanie ważonych, znormalizowanych warstw mapy,
6. Oceń alternatywy zgodnie z ogólnym wynikiem wydajności.

W aplikacjach rastrowych zakładamy, że warianty (alternatywy) reprezentowane są przez pojedyncze piksele lub grupy pikseli. Końcowy ranking wariantów jest tworzony w celu uszeregowania wszystkich komórek na warstwie wynikowej według ich ogólnej wartości. Samo uszeregowanie może stanowić problem, gdy komórki o najwyższym rankingu nie stanowią regionu ciągłego – co powoduje brak możliwości uzyskania obszaru o zadanej wielkości. Dlatego też, w zależności od konkretnej sytuacji wymagane jest dalsze przetwarzanie wyników rankingu (Malczewski, 2000).

Modelowanie oparte na WLC jest uważane za najprostszą i najczęściej stosowaną metodę analityczną w odniesieniu do MC-SDSS (Eastman i in., 1993; Malczewski, 2011). Zakres wykorzystania tej metody jest szeroki i dotyczy takich problemów decyzyjnych jak: analiza przydatności terenu (Eastman i in., 1995), wybór optymalnej lokalizacji (Hobbs, 1980) czy problemy jej oceny (Malczewski, 2000). Popularność metody wynika z łatwości z jaką może być stosowana w GIS przy wykorzystaniu algebry map i modelowania kartograficznego (Tomlin, 1991). Jest również łatwa do zrozumienia i intuicyjnie atrakcyjna dla decydentów (Hwang & Yoon, 1981; Massam, 1988). Niestety jest często stosowana bez pełnego zrozumienia jej założeń (Malczewski & Jaroszewicz, 2018). Przekłada się to na niewłaściwą standaryzację map kryteriów a tym samym ocenę stopnia przydatności. Ponadto, sposób przypisywania wag w procesie decyzyjnym wydaje się być dyskusyjny. Brakuje również weryfikacji założeń dotyczących niezależności kryteriów przydatności, a metody ważenia nie oddają złożoności systemów podejmowania decyzji w realnym świecie (Hobbs, 1980; Malczewski, 2000, 2011; Sugumaran & DeGroot, 2020). Metoda liniowej średniej ważonej ma wady, ale pozwala na uzyskanie przybliżonego modelu bardziej skomplikowanych form nieliniowych (Malczewski & Rinner, 2015).

4.2.2. Analityczny Proces Hierarchiczny, AHP

Metoda oparta na Analitycznym Procesie Hierarchicznym (ang. *Analytic Hierarchy Process*, AHP), jest jedną z najbardziej wszechstronnych metod wielokryterialnej analizy decyzji MCDA (Figueira i in., 2005; Kobryń, 2014; Prusak & Stefanow, 2014; Malczewski & Rinner, 2015; Malczewski & Jaroszewicz, 2018). Metoda ta składa się z: dekompozycji, oceny porównawczej i syntezy priorytetów. Dekompozycja oznacza hierarchiczne rozłożenie problemu decyzyjnego. Oceny porównawcze wynikają z porównania parami w ramach danego poziomu struktury.

Natomiast synteza priorytetów oznacza utworzenie całościowego rankingu alternatyw (Malczewski & Jaroszewicz, 2018). Według Saaty'ego (1980) pierwszym krokiem jest rozłożenie problemu decyzyjnego na elementy powiązane ze sobą w określony sposób, pozwalający na przedstawienie problemu w postaci struktury hierarchicznej (Prusak & Stefanow, 2014). W tak utworzonej hierarchii na najwyższym poziomie jest określony cel podejmowanej decyzji. Kolejne poziomy tej hierarchii obejmują coraz to bardziej szczegółowe elementy problemu decyzyjnego definiowane jako kryteria, osiągając najniższy poziom atrybutów (właściwości) obiektów i zjawisk. Metoda AHP jest uniwersalnym narzędziem wykorzystywanym do rozwiązywania różnorodnych problemów o charakterze decyzyjnym. Oceny wariantów bądź kryteriów mają charakter subiektywny, co wynika z faktu, że są one oparte na wskaźnikach różnych preferencji. Preferencje zależą od systemu wartości danego decydenta. Wynik końcowy zależy zatem od tego, kto podejmuje decyzje, jakie są jego preferencje oraz cele. Istotną zaletą metody AHP jest łatwość łączenia ze sobą ocen kryteriów o charakterze ilościowym i jakościowym (Kobryń, 2014). Szczególna przydatność metody AHP jest dostrzegana w dwóch sytuacjach. Po pierwsze, gdy w strukturze hierarchicznej zawarte są kryteria oceny odniesione do celów lub oczekiwanych korzyści, które są rozpatrywane niezależnie dla każdego poziomu hierarchii. Po drugie, w sytuacji kiedy większość rozpatrywanych wariantów decyzyjnych nie może być rankingowana w oparciu o ilościowe kryteria oceny. Tym samym ocena kryteriów ma tutaj charakter subiektywny.

Proces wagowania jest ważny w metodzie AHP, ponieważ determinuje on preferencje odzwierciedlające istotność poszczególnych kryteriów w danym modelu hierarchicznym. Proces ten opiera się na przekształceniach ocen wynikających z porównania parami. Ostatecznym rezultatem jest utworzenie rankingu rozpatrywanych wariantów decyzyjnych z uwzględnieniem ustalonych preferencji globalnych i preferencji lokalnych. Do utworzenia rankingu w metodzie AHP wykorzystuje się następującą postać funkcji celu:

$$V(A_i) = \sum_{j=1}^n w_k w_{j(k)} v(a_{ij}) \quad (4-4)$$

gdzie:

- $V(A_i)$ to wartość funkcji celu,
- $v(a_{ij})$ to funkcja wartości,
- w_k to waga związana z k-tym celem ($k = 1, 2, \dots, p$),
- $w_{j(k)}$ to waga przypisana do j-tego kryterium związanego z k-tym celem.

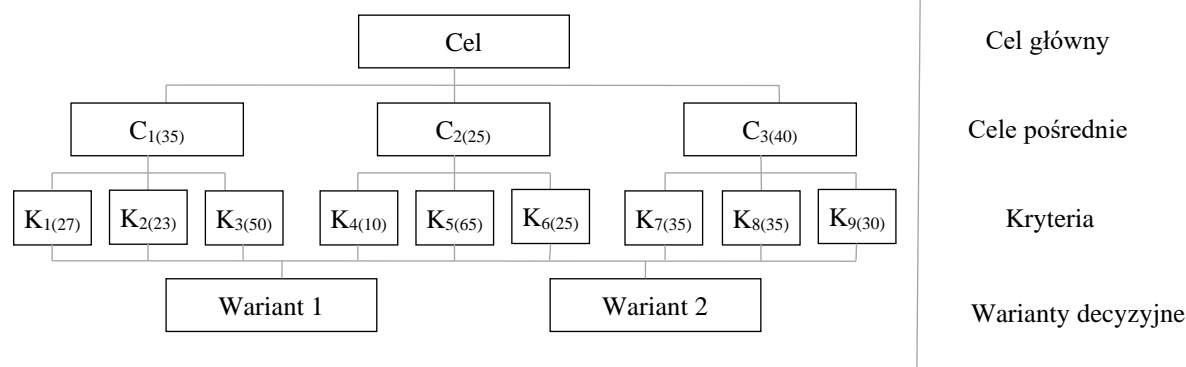
Identyfikacja kryteriów

Kryteria są podstawowym elementem analizy decyzji. Kryterium jest terminem ogólnym obejmującym zarówno pojęcie celu, jak i atrybutu. Cel to pożądaný stan rozważanego systemu decyzyjnego, dla którego określa się pożądaný kierunek zmian np.: minimalizacji funkcji (celu) wartości w znaczeniu „im bliżej, tym lepiej” lub jej maksymalizacji w rozumieniu, „im dalej, tym lepiej”. Geograficznie alternatywy decyzyjne składają się z co najmniej dwóch elementów: opisu działań i ich przestrzennej lokalizacji (Malczewski & Rinner, 2015). Atrybut rozumie się jako mierzalną wartość ilościową lub jakościową odniesioną do obiektu geograficznego lub relacji między sąsiednimi obiektami tego typu (Malczewski & Jaroszewicz, 2018).

Model hierarchiczny (decyzyjny)

Koncepcja hierarchicznej struktury kryteriów leży u podstaw podejścia skoncentrowanego na wartościach przy konstruowaniu wielokryterialnych problemów decyzyjnych (Keeney, 2008). Hierarchia może być przedstawiona za pomocą cech strukturalnych (cechy fizyczne) lub cech funkcjonalnych (relacje między elementami). Gotową strukturę hierarchiczną poddajemy procesowi walidacji (porównanie modelu z rzeczywistością). Samo rozłożenie problemu i przedstawienie go w postaci hierarchicznej jest uważane za jeden ze skuteczniejszych sposobów radzenia sobie umysłu ludzkiego ze złożonością otaczającego nas świata (Prusak & Stefanow, 2014).

W modelu decyzyjnym opartym na metodzie AHP obowiązuje hierarchia dominacji określająca wpływ elementów modelu położonych niżej w strukturze hierarchicznej na elementy wyższych poziomów tj. elementów macierzystych (ang. *parent nodes*). Siła tego wpływu jest oceniana poprzez porównania parami elementów z niższego poziomu struktury hierarchicznej względem ich elementu macierzystego i wyrażona w skali liczbowej (Prusak & Stefanow, 2014). Przykład modelu hierarchicznego przedstawiono na Ryc. 4.



Ryc. 4. Przykładowa struktura hierarchiczna z przypisanymi wagami na podstawie Malczewskiego i Jaroszewicz (2018).

Pozycjonowanie elementów modelu w strukturze hierarchicznej opiera się na ocenie relacji zachodzących między nimi. Elementy modelu powinny uwzględniać wszystkie istotne szczegóły dotyczące problemu decyzyjnego. W odniesieniu do kryteriów należy unikać redundancji (powtarzalności elementów). Powinien być spełniony warunek wzajemnej niezależności, charakteryzujący się brakiem powiązania między kryteriami. Dobór kryteriów na danym poziomie struktury hierarchicznej modelu powinien odbywać się na zasadzie podobieństwa (Prusak & Stefanow, 2014).

Wagi kryteriów

W metodzie AHP dla każdego kryterium przypisuje się odpowiednią wagę na podstawie eksperckiej opinii wyrażanej przez poszczególnych uczestników procesu decyzyjnego. Samo wagowanie przeprowadza się na drodze porównania parami wszystkich kryteriów przy użyciu dziewięciostopniowej skali porównań parami Saaty'ego” (ang. *9-point pairwise comparison scale*) Saaty (1980). Celem porównywania parami jest ustalenie stopnia przewagi jednego kryterium nad drugim, a tym samym określenie wagi danego kryterium. Możemy wyróżnić: wagi globalne określające udział każdego kryterium w realizacji celu i wagi lokalne otrzymane w wyniku porównania kryteriów. Wagi lokalne wskazują na znaczenie danego elementu (kryterium) względem tzw. elementu macierzystego, czyli kryterium znajdującego się poziom wyżej np. kryterium K_1 względem celu pośredniego C_1 (Ryc. 4) (Prusak & Stefanow, 2014; Malczewski & Jaroszewicz, 2018). W celu prawidłowego wyznaczenia wag kryteriów, stosuje się wymóg określenia funkcji wartości/użyteczności. Funkcja wartości/użyteczności przypisuje wszystkim rozpatrywanym kryteriom wartość liczbową, tak aby była możliwość uporządkowania zbioru dopuszczalnych wariantów ze względu na preferencje decydenta np. przy użyciu dziewięciostopniowej skali Saaty'ego. Warunkiem porównywania wartości określonych dla różnych kryteriów jest standaryzacja (skalowanie) związanych z nimi

odpowiednich skali pomiarowych czy jednostek miar. Wraz ze standaryzacją dokonywana jest ocena kryteriów pod kątem ich wpływu na konsekwencje dla osiągnięcia celu. Jeżeli konsekwencje są pewne (znane), wówczas stosujemy termin funkcja wartości (ang. *value function*), jeżeli przewidywane konsekwencje związane są z niepewnością, wówczas stosujemy termin funkcja użyteczności (ang. *utility function*). Najczęściej skalowanie przyjmuje wartości od 0 do 1 (Malczewski & Jaroszewicz, 2018). W analizie wielokryterialnej realizowanej w technologii GIS alternatywy są reprezentowane w postaci wektorowych lub rastrowych modeli przestrzennych, gdzie poszczególne elementy tych modeli (poligony, komórki) są opisane atrybutami odniesionymi do alternatyw w bazach danych GIS. Każda warstwa zawiera wartości atrybutów przypisane do alternatyw, a każda alternatywa (komórka, wielokąt) jest powiązana z elementami wyższego poziomu (atrybutami) (Borouhaki & Malczewski, 2008). W kontekście przestrzennym porównanie parami prowadzi do opracowania wag dla warstw przestrzennych (kryteria ogólne) oraz dla komórek lub cech wektorowych (kryteria szczegółowe) (Sugumaran & DeGroote, 2020).

Przykład opisanej wyżej skali porównań Saaty'ego przedstawiono w Tabeli 1; jest to skala liniowa, dwubiegunowa, złożona z 9 stopni. Każda wartość porównania parami stanowi osąd. Osąd złożony jest z odpowiedzi na dwa pytania. Pierwsze dotyczy ważności kryteriów w odniesieniu do celu, drugie ile razy dane kryterium jest ważniejsze od porównywanego (Malczewski & Jaroszewicz, 2018). Procedura porównań parami opiera się na określeniach werbalnych, które odpowiadają liczbom od wartości 1/9 do 9 w tzw. skali istotności. Takie podejście ułatwia respondentom dokonanie właściwego osądu w przeciwieństwie do abstrakcyjnej skali ilościowej (porządkowej). Transformacja określeń werbalnych na odpowiednie wartości liczbowe dokonywana jest na etapie wprowadzania danych do macierzy (Prusak & Stefanow, 2014).

Tabela 1. Skala wartości stosowana w metodzie porównania parami na podstawie Saaty za Malczewski i Jaroszewicz (2018).

Skala istotności	Definicja	Wyjaśnienie
1	równa istotność	obydwa kryteria odgrywają taką samą rolę dla oceny alternatyw względem danego celu
3	umiarkowanie ważniejsze	doświadczenie i osąd delikatnie faworyzuje jedno kryterium względem drugiego
5	ważniejsze	doświadczenie i osąd zdecydowanie faworyzuje jedno kryterium względem drugiego
7	zdecydowanie ważniejsze	jedno kryterium jest silnie faworyzowane względem drugiego, jego dominacja widoczna jest w praktyce
9	ekstremalnie ważniejsze	dowody wskazują na maksymalną dominację jednego kryterium nad drugim
2,4,6,8	kompromis między powyższymi wartościami	liczbowe wartości pośrednie – stanowiące kompromis między powyższymi ocenami porównania ważności, dla których nie ma dobrych określeń słownych
Wartości odwrotne (np.: 1/3, 1/5 itd.)	jeżeli kryterium K_i w porównaniu do K_j ma przypisaną jedną z powyższych wartości, to kryterium K_j w porównaniu do K_i ma przypisaną wartość odwrotną	słabsze kryterium uznajemy za jednostkę, a kryterium ważniejsze oceniamy jako wielokrotność tej jednostki.

Parzyste wartości skali istotności (2, 4, 6, 8) traktuje się jako wartości pośrednie i stosuje się je w przypadku, gdy respondent nie jest w stanie dokonać jednoznacznej oceny werbalnej przekładającej się na liczby nieparzyste tej skali (1, 3, 5, 7, 9) (Prusak & Stefanow, 2014).

Możemy wyróżnić dwa sposoby agregacji wyników: jakościowe i ilościowe. Metody jakościowe (behawioralne) polegają na przekonaniu członków grupy do konkretnego rozwiązania. Zaliczyć do nich można debaty, burze mózgów oraz grupy fokusowe. Metody ilościowe (matematyczne) korzystają z metod statystycznych – do najczęściej stosowanych w przypadku metody AHP należą: średnia geometryczna, średnia arytmetyczna i dominanta (Prusak & Stefanow, 2014).

Macierz decyzji

Główną strukturą w analizie AHP jest tzw. macierz decyzyjna (*ang. pairwise comparison matrix*), która zawiera dane niezbędne do porównania alternatyw decyzyjnych. Elementami macierzy są oceny ustalane na poziomie poszczególnych kryteriów w odniesieniu do analizowanych wariantów decyzyjnych. Agregację wyników przedstawiamy w macierzy kwadratowej zwanej macierzą porównań parami MPP lub macierzą decyzji (Kobryń, 2014; Prusak & Stefanow, 2014; Malczewski & Jaroszewicz, 2018).

$$MPP = [pp_{ij}]_{n \times n} \quad (4-5)$$

gdzie:

- pp_{ij} to ocena porównań parami i-tego kryterium z j-tym kryterium.

Tabela 2. Macierz porównań parami na podstawie Malczewski i Jaroszewicz (2018)

Kryteria	K ₁	K ₂	...	K _i	...	K _j	...	K _n
K ₁	1							
K ₂		1						
...			1					
K _i				1		pp_{ij}		
...					1			
K _j				$pp_{ij} = pp_{ij}^{-1}$		1		
...							1	
K _n								1

Dla wypełnienia macierzy $n \times n$ potrzebnych jest $n(n-1)/2$ porównań parami. Uwzględniając wszystkie porównania parami kryteriów od K₁ do K_n obliczane są wartości wag, które w ujęciu macierzowym stanowią wektor własny $w = [w_1, w_2, \dots, w_n]$ będący rozwiązaniem równania:

$$MPPw = \lambda_{max}w \quad (4-6)$$

gdzie:

- λ_{max} to największa wartość własna macierzy MPP.

Wyznaczenie wartości własnej macierzy λ_{max} jest integralnym elementem metody AHP, ze względu na możliwość kontroli spójności macierzy MPP. Wartość λ_{max} jest porównywana z liczbą kryteriów n . Jeżeli wartość λ_{max} jest równa n , to macierz MPP jest w pełni zgodna; jeżeli λ_{max} jest niewiele większa od n , to macierz MPP jest w niewielkim stopniu wewnętrznie sprzeczna; natomiast gdy λ_{max} jest znacznie większa od n to macierz MPP jest wewnętrznie sprzeczna, a wyniki analiz nie powinny być wykorzystywane do dalszych badań (Kobryń, 2014; Prusak & Stefanow, 2014; Malczewski & Jaroszewicz, 2018).

W kolejnym kroku wykonujemy skalowanie/standaryzację wartości.

$$p_{ij} = \frac{pp_{ij}}{\sum_{i=1}^n pp_{ij}} \quad (4-7)$$

gdzie:

- p_{ij} to znormalizowana wartość pp_{ij} w j-tej kolumnie.

Otrzymujemy macierz wartości znormalizowanych, dla których wyznaczone są wagi. Są to średnie arytmetyczne wartości pp_{ij} , wyznaczone w wierszach macierzy. Wagi obliczane są następującym wzorem:

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n p_{ij}}{n} \quad (4-8)$$

gdzie:

- w_i to waga i-tego kryterium, wyznaczona jako średnia arytmetyczna znormalizowanych wartości pp_{ij} w i-tym wierszu.

Współczynnik zgodności i analiza wrażliwości

Kontrola poprawności porównań parami pozwala ocenić, czy odpowiedzi respondentów są spójne. Możemy sprowadzić problem do odpowiedzi na pytanie ile razy kryterium K1 jest lepsze od K2 i K3 i czy przy kolejnym porównaniu K3 nie wypadło lepiej od K1. Wyznaczone wartości wag kryteriów powinny spełniać warunek przechodniości uzyskany w ramach oceny dominacji (Kobryń, 2014; Malczewski & Jaroszewicz, 2018).

Pełna ocena wariantów decyzyjnych opiera się na tzw. indeksie zgodności/spójności ocen (ang. *Consistency Index*, CI).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4-9)$$

gdzie:

- λ_{max} to maksymalna wartość własna macierzy porównań,
- n to wymiar macierzy porównań, który należy utożsamiać z liczbą alternatyw na danym poziomie analizy.

Na podstawie indeksu *CI* oblicza się współczynnik zgodności/spójności (ang. *consistency ratio*, *CR*). Badanie zgodności wyników powinno być dokonywane indywidualnie dla każdej macierzy (Prusak & Stefanow, 2014).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4-10)$$

gdzie:

- *RI* to współczynnik losowy (ang. *Random Index*), współczynnik spójności losowo wygenerowanych macierzy porównań parami.

Wartość *RI* to przeciętna wartość *CI* otrzymana na podstawie symulacji przeprowadzonych dla kilkuset tysięcy macierzy. W literaturze spotykamy różne zestawy *RI*, uzależnione od metody symulacji i liczby wygenerowanych macierzy (Malczewski & Jaroszewicz, 2018).

Tabela 3. Wartości współczynnika losowego *RI* w zależności od liczby kryteriów wyznaczone przez Saaty'ego i Ozdemira w 2003r. na podstawie Malczewski i Jaroszewicz (2018).

n	RI	n	RI	n	RI
1	0,00	6	1,25	11	1,52
2	0,00	7	1,35	12	1,54
3	0,52	8	1,40	13	1,56
4	0,89	9	1,45	14	1,58
5	1,11	10	1,49	15	1,59

Dopuszczalna wartość współczynnika spójności to $CR < 0,10$. Wartość $CR \geq 0,10$ oznacza zbyt małą spójność macierzy porównań. Może to być wynikiem niekonsekwencji, niedopatrzeń lub błędów w dokonywaniu porównań parami, co pociąga za sobą konieczność odrzucenia danej macierzy i ponownego przeprowadzania procesu ustalania wag (Kobryń, 2014; Malczewski & Jaroszewicz, 2018).

Końcowym elementem analizy AHP jest opracowanie rankingu wariantów decyzyjnych. W tym celu dla każdego wariantu decyzyjnego oblicza się wartości agregującej funkcji użyteczności. Wartość ta jest sumą iloczynów bezwzględnych wag wariantu (alternatywy) (Żak, 2005; Kobryń, 2014).

Obok omówionych powyżej ilościowych miar zgodności ocen poszczególnych kryteriów wpływających na proces decyzyjny, w analizach wielokryterialnych również wykorzystuje się metodę pomocniczą opartą na tzw. analizie wrażliwości. Analiza ta pozwala sprawdzić jaki wpływ spowoduje zmiana danej wartości macierzy porównań parami na wyniki końcowe, w tym na współczynnik zgodności (*CR*). Innymi słowy, szuka się tutaj odpowiedzi na pytanie

czy niewielka zmiana oceny danego porównania między kryteriami skutkuje również niewielką zmianą ostatecznych wyników, czy też wpływa na ich radykalne zmiany (Prusak & Stefanow, 2014). Podstawę analizy wrażliwości stanowi kombinacja możliwych zmian współczynników wagowych odniesionych do porównywanych kryteriów, które nie powodują zmiany na poziomie rankingu wariantów decyzyjnych. Najprostszy sposób realizacji tej analizy można sprowadzić do przypadku, w którym zmianie podlega tylko jeden element wektora wag (Kobryń, 2014).

Podejścia do integracji GIS-AHP

W procesie integracji metody AHP z technologią GIS wyróżnia się dwa podejścia. Pierwsze podejście polega na implementacji metody AHP jako narzędzia geoprzetwarzania w systemie GIS. Celem działania takiego narzędzia jest szacowanie wag dla map reprezentujących poszczególne kryteria. Następnie wagi te są przypisywane do map kryteriów, a mapy dodawane do siebie przy wykorzystaniu określonych reguł łączenia (np.: WLC, OWA) (Malczewski & Rinner, 2015). Dzięki takiemu podejściu uzyskuje się mapy przestrzennego rozkładu wag. Co więcej, można je zastosować dla dużej liczby wariantów decyzyjnych (alternatyw), gdy niemożliwe jest wykonanie procedury porównywania parami między tymi wariantami (alternatywami). W drugim podejściu, procedura AHP wykorzystywana jest jako metoda łączenia preferencji dla wszystkich poziomów struktury hierarchicznej. W tym przypadku ocenie podlega niewielka liczba wariantów (alternatyw) (Malczewski & Jaroszewicz, 2018).

Yager i Kelman (1999) wprowadzili rozszerzenie AHP przy użyciu metody OWA (opis metody w rozdziale 4.2.3) (AHP_OWA) sugerując, że możliwości AHP jako kompleksowego narzędzia podejmowania decyzji można usprawnić integrując ją z rozmytymi operatorami logicznymi procedury OWA. Tym samym implementacja AHP_OWA w środowisku GIS rozszerza możliwości przestrzennej wielokryterialnej analizy decyzji (Borouhaki & Malczewski, 2008).

Przykłady zastosowań metody AHP

Na podstawie przeglądu literatury Malczewski (2004) doszedł do wniosku, że metoda porównania parami to najczęściej stosowana procedura szacowania wag kryteriów w aplikacjach GIS-MCDA (Malczewski, 2004; Malczewski & Rinner, 2015). Metoda ta była testowana pod kątem różnych problemów decyzyjnych dotyczących: użytkowania gruntów (Feick & Hall, 2001), analizy przydatności gruntów (Eastman i in., 1995), oceny oddziaływania

na środowisko (Bojórquez-Tapia i in., 2002), ochrony gruntów (Strager & Rosenberger, 2006), bioróżnorodności i ochrony przyrody (Karnatak i in., 2007) czy użytkowania terenów miejskich (Taleai & Mansourian, 2008)

Wskazany powyżej szeroki zakres zastosowań metody AHP w dużej mierze wynika z możliwości kontrolowania zakresu dominacji jednego kryterium względem drugiego przy tworzeniu macierzy porównań, co w rezultacie daje lepsze podstawy do podejmowania optymalnych decyzji. Czasami spotyka się opinie krytyczne. Najczęstsze zarzuty odnośnie metody AHP dotyczą dużej subiektywności rankingów końcowych alternatyw, która jest wynikiem stosowania umownej skali ocen w odniesieniu do poszczególnych kryteriów (Kobryń, 2014). Na niekorzystną ocenę metody AHP może mieć wpływ dodanie kryterium „obojętnego”, wobec którego wszystkie warianty decyzyjne stają się równoważne lub sytuacja gdy porównanie kryteriów jest niemożliwe i powstaje problem brakujących ocen (Malczewski & Jaroszewicz, 2018). Wreszcie, niektórzy autorzy uważają, że liczba koniecznych porównań parami jest zbyt duża (Kobryń, 2014; Sugumaran & DeGroot, 2020). Pomimo wymienionych niedoskonałości powszechnie uważa się, że proces wspomaganie decyzji oparty na metodzie AHP doskonale sprawdza się w praktyce analitycznej (Kobryń, 2014).

4.2.3. Metoda Uporządkowanego Ważonego Uśredniania, OWA

Metoda uporządkowanego ważonego uśredniania (ang. *Ordered Weighted Averaging* OWA) należy do metod oceny wielokryterialnej (MCE), została opracowana przez Yagera (1988) w kontekście teorii zbiorów rozmytych i rozszerzona przez Eastmana (1997). Opisujemy ją następującym wzorem:

$$V(A_t^{OWA}) = \sum_{k=1}^n \frac{\lambda_j u_j z_{ij}}{\sum_{j=1}^n \lambda_j u_j} \quad (4-11)$$

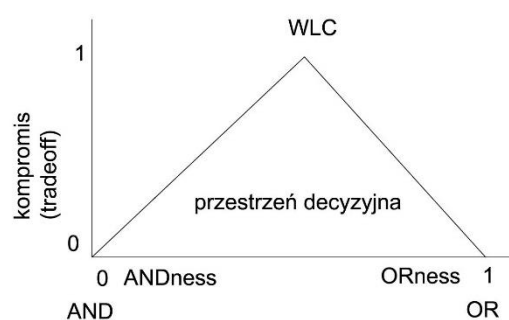
gdzie:

- λ_j oznacza wagi porządku (ang. *order weights*),
- u_j to wagi kryterium (ang. *criterion weights*),
- z_{ij} to sekwencja uporządkowania alternatyw (ang. *order attribute*),
- $\sum_{j=1}^n \lambda_j u_j$ oznacza sumę iloczynów wag w danej lokalizacji.

Zgodnie z powyższym wzorem metoda OWA obejmuje dwa zestawy wag. Są to wagi kryterium i wagi porządku. Waga kryterium przypisywana jest do mapy kryterium, aby wskazać ważność atrybutu zgodnie z preferencjami decydentów. Atrybutem może być np. odległość od rynku, jeziora, drogi. Drugim rodzajem wag są wagi porządku, są one

przypisywane do map kryteriów w kolejności malejącej. Zabieg ten pozwala na zwiększenie znaczenia słabszego kryterium (tzw. kompensacja). W zależności od liczby kryteriów możemy przeprowadzić wielokrotną zmianę kolejności łączenia map kryteriów. Wagi końcowe uzyskujemy mnożąc wagi kryteriów przez wagi porządku. Dysponując różnymi zestawami wag można wygenerować szeroką gamę operatorów OWA, w tym trzy specjalne przypadki: mapy uzyskane w ramach procedury WLC oraz mapy spełniające warunki AND i OR (Malczewski & Rinner, 2015).

Ze względu na wymienione typy łączenia, w metodzie OWA wprowadzone zostały dwie następujące miary. Miara alternatywności – ANDness-ORness – określa stopień ryzyka związanego z procesem decyzyjnym. Miara tradeoff (kompromis) związana jest ze stopniem kompensacji kryteriów i określa stopień w jakim czynniki mogą wymieniać się między sobą. Obydwie miary definiują tzw. przestrzeń strategii podejmowania decyzji. Przestrzeń ta ograniczona jest przez trzy skrajne przypadki, związane z typami łączenia ważonych wartości kryteriów: WLC, AND i OR (Ryc. 5) (Jiang & Eastman, 2000; Malczewski & Jaroszewicz, 2018). Operator (AND) oznacza niechęć do ryzyka wyrażoną jako przydatność lokalizacji pod względem jej najgorszej jakości. Natomiast operator (OR) przyjmuje bardzo optymistyczny sposób agregacji, obszar będzie odpowiedni jeżeli spełniony będzie przynajmniej jeden warunek. Przyjmuje się twierdzenie, że logika zbiorów rozmytych wypełnia lukę między oceną Boole'a a ciągłym skalowaniem ważonej kombinacji liniowej (Jiang & Eastman, 2000).



Ryc. 5. Przestrzeń strategii podejmowania decyzji na podstawie Jiang i Eastman (2000).

4.3. Zastosowanie miar rozmytych

W celu rozwiązania problemu niepewności, która jest często ukryta w danych wejściowych i procesach modelowania, opracowano techniki rozmyte. Techniki te wykorzystują teorię zbiorów rozmytych lub logikę rozmytą. W świetle tej teorii lokalizacje i atrybuty obiektów przestrzennych mogą częściowo przynależeć do zbiorów wielokrotnych, tym samym nie muszą one być jednoznacznie określone w kontekście pojedynczych zbiorów (Malczewski & Rinner, 2015).

Przy zastosowaniu teorii zbiorów rozmytych uznajemy ciągłość i niepewność relacji między kryteriami a zbiorem decyzyjnym. Stopień przynależności do zbioru może być dowolną liczbą od 0 do 1. Ograniczenia przyjmują wartości 0 lub 1, oznacza to pewność, a zbiór staje się ostry (problem szerzej opisano w rozdziale 4.1). Czynniki reprezentują ciągły stopień członkostwa nieostrego w przedziale 0–1, oznaczają ciągłość i niepewność a zbiór jest rozmyty. Stosowanie zbiorów rozmytych w standaryzacji kryteriów ma szerokie zastosowanie nie tylko do reprezentowania jednostek geograficznych o nieprecyzyjnych granicach, ale także do operacji i analiz opartych na GIS w tym MCDA (Malczewski & Rinner, 2015).

4.4. Metody sztucznej inteligencji

Podjęcie decyzji jest procesem złożonym, zwłaszcza gdy spotykamy się z grupowym podejmowaniem decyzji a interesariusze mają sprzeczne preferencje. Aby usprawnić proces podejmowania decyzji w tak rozległym obszarze poszukuje się rozwiązań przy wsparciu sztucznej inteligencji w tym tzw. metod symulacji przestrzennej (geosymulacji) (Malczewski & Rinner, 2015). Metody sztucznej inteligencji (ang. *Artificial Intelligence*), w skrócie AI, obejmują techniki obliczeniowe, które pomagają w modelowaniu i opisywaniu złożonych systemów do wnioskowania i podejmowania decyzji. Procedury AI próbują naśladować ludzką inteligencję bez żądania zrozumienia procesów bazowych. AI obejmuje m.in. takie metody jak: algorytmy ewolucyjne (ang. *Evolutionary Algorithms*, EAS) w tym algorytmy genetyczne (ang. *Genetic Algorithms*, GA) i programowanie genetyczne (ang. *genetic programming*); sztuczne sieci neuronowe (ang. *Artificial Neural Networks*, ANN), automaty komórkowe (ang. *Cellular Automata*, CA) czy techniki modelowania rozmytego (ang. *Fuzzy Modeling Techniques*) (Malczewski 2004). Poniżej opisano kilka wybranych metod z odniesieniem do literatury. Sztuczne sieci neuronowe (ANN) mają na celu symulowanie pracy oraz zdolności uczenia się ludzkiego mózgu. Metody te wykorzystują możliwość adaptacyjnego i autonomicznego generowania reguł obsługujących dużą liczbę różnych kombinacji współzależnych czynników

(Sugumaran & DeGroot, 2020). Podejścia ANN wykorzystuje się w sytuacjach o dużej niepewności, w przypadku dużych zbiorów danych i złożonych problemów przestrzennych (Malczewski & Rinner, 2015). Przykład wykorzystania metody przedstawiono w pracy Sarip (2005), gdzie celem było ustalenie prawdopodobnej ceny nieruchomości.

Automaty komórkowe (CA) posiadają strukturę danych analogiczną do rastrowego modelu danych GIS, są z natury przestrzenne i należą do najprostszych reprezentacji systemów dynamicznych. Zwykle opisane są przez cztery elementy: komórki, stany, sąsiedztwo i reguły. Komórka jest najmniejszą jednostką, która wykazuje sąsiedztwo lub bliskość. Stan komórki może ulegać zmianie zgodnie z regułami przejścia wynikającymi z funkcji sąsiedztwa. Wadą techniki jest opieranie się na relacjach sąsiedztwa i nieuwzględnianie skutków globalnych (Sugumaran & DeGroot, 2020). Przykład zastosowania metody przedstawiono w pracy Li & Yeh (2000) gdzie automaty komórkowe wykorzystano w procedurze modelowania dynamiki przestrzennej miast.

Algorytmy genetyczne (GA) opierają się na koncepcjach ewolucji biologicznej. W pierwszej kolejności tworzony jest zbiór możliwych rozwiązań problemu, a każde rozwiązanie oceniane jest za pomocą funkcji przystosowania (ang. *evaluation function*), która decyduje o jakości rozwiązania. Populacja ewoluuje w czasie, zbiory danych są przeszukiwane i następuje eliminacja części prowadzących do kiepskich rozwiązań. Techniki te są przydatne, gdy konwencjonalne metody wielokryterialne są niewystarczające. Gdy problemy są złożone i występuje duża przestrzeń rozwiązań (Malczewski, 2004). Zastosowanie przestrzennych modeli ewolucyjnych do rozwiązywania rzeczywistych problemów przestrzennych przedstawiono w pracy Krzanowski & Raper (2001).

Techniki logiki rozmytej bazują na pojęciu zbiorów rozmytych, w których granice nie są ściśle zdefiniowane (więcej szczegółów patrz rozdział 4.2.3 i 4.3). O stopniu przynależności do zbioru decyduje funkcja przynależności (ang. *membership function*) przypisuje ona poszczególnym argumentom wartości z zakresu od 0 do 1. Przykładowa praca, w której zastosowano reguły rozmycia dotyczy planowania gospodarki wodnej w miastach (Makropoulos i in., 2003). Przy użyciu systemów wnioskowania rozmytego typu 1 i typu 2 tworzono mapy przydatności. Mapy te zostały zagregowane za pomocą procedury OWA, a wyniki analizy pozwoliły na określenie optymalnej strategii zarządzania zapotrzebowaniem na wodę.

5. Planowanie infrastruktury wodociągowej dla MPZP

Według ustawy z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz.U. z 2021 r., poz. 741 t.j.) planowanie przestrzenne stanowi główny instrument polityki planistycznej gminy. Polityka przestrzenna gminy, w tym lokalne zasady gospodarowania przestrzenią przedstawiane są w Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego gminy, w skrócie SUIKZP lub Studium. Natomiast szczegółowe ustalenia dotyczące przeznaczenia terenu, rozmieszczenia inwestycji celu publicznego, określenie sposobów zagospodarowania oraz warunków zabudowy terenu przedstawia się w Miejscowych Planach Zagospodarowania Przestrzennego, w skrócie MPZP lub Plan Zagospodarowania/Plan. Planowanie przestrzenne infrastruktury odnosi się do zadań, które powinny być wykonane w pewnym czasie, określonej przestrzeni i przy wykorzystaniu ograniczonych środków przeznaczonych do ich realizacji (Nowakowska-Błaszczyk & Błaszczyk, 1974). Infrastruktura miejska powinna być planowana z wyprzedzeniem, tak aby możliwe było wprowadzenie odpowiednich ograniczeń w użytkowaniu przestrzeni (Suligowski & Fudala-Książek, 2014). Obecnie, zgodnie z obowiązującymi przepisami to przedsiębiorstwa wodno-kanalizacyjne są zobowiązane zapewnić budowę urządzeń wodociągowych ustalonych przez gminę w SUIKZP i MPZP w zakresie uzgodnionym w wieloletnim planie rozwoju i modernizacji.

5.1. Sytuacja prawna dotycząca infrastruktury wodno-kanalizacyjnej w Polsce

Rozpatrując okres powojenny w Polsce, wodociągi i kanalizacja były własnością państwa, funkcjonowały w strukturach komunalnych, bezpośrednio podległym zarządom miast. Decyzje finansowe i techniczne zapadały na szczeblu centralnym, a rola władz miasta była bardzo ograniczona. Dostarczanie wody odbiorcom oraz wspólne odprowadzanie ścieków sanitarnych i wód opadowych przez wspólną sieć (kanalizacja ogólnospławna) przyczyniło się do wykształcenia charakterystycznego modelu przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych (Suligowski & Fudala-Książek, 2014).

W marcu 1990 r. wprowadzona została ustawa o samorządzie gminnym (Dz.U. z 2022 r., poz. 559 t.j.). Ustawa przywróciła własność komunalną oraz pojęcie zadania własnego gminy polegającego m.in. na zaopatrzeniu w wodę. W wyniku wprowadzonych zmian nastąpiło rozdrobnienie struktur organizacyjnych i tym samym rozdział infrastruktury wodno-kanalizacyjnej na poszczególne gminy. W czerwcu 2001r. została przyjęta ustawa o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków (Dz. U. z 2020 r., poz. 2028 t.j.). Ustawa ma charakter konstytucyjny dla

publicznych wodociągów i kanalizacji, stanowi usankcjonowanie zmian systemowych po 1989 r. i równocześnie tworzy podstawy dla funkcjonowania w warunkach gospodarki rynkowej.

W dniu 7 lipca 1994 r. wprowadzono ustawę o zagospodarowaniu przestrzennym (Dz. U. z 1999 r. Nr 15, poz. 139 (uchylony)). Ustawa wprowadziła pojęcie SUIKZP, jako regulacji obligatoryjnej dla całego obszaru gminy w jego granicach administracyjnych. Studium nie ma charakteru aktu prawa miejscowego i jego zapisy nie są zobowiązujące. Odstępstwo od zapisów Studium nie wymaga uruchomienia procedury jego nowelizacji, stopień szczegółowości opracowania jest niższy niż wcześniej istniejących założeń do MPZP. Jako jedyne techniczne opracowanie dla pełnego obszaru gminy, Studium staje się odpowiednikiem funkcjonującego w przeszłości tzw. master planu. Studium stanowi z mocy prawa obligatoryjne opracowanie wielowariantowe. MPZP ma charakter wtórny w stosunku do Studium, obejmuje wybrane lokalizacje wskazane przez radę gminy. Zapisy będącego aktem prawa miejscowego Planu Zagospodarowania są obligatoryjne a ich zmiany wymagają uruchomienia stosownej procedury (Suligowski & Fudala-Książek, 2014). Dnia 27 marca 2003 r. wprowadzono ustawę o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (u.p.z.p.), która podtrzymuje przepisy dotyczące MPZP i SUIKZP. Opracowaniem funkcjonującym ponad formalnymi granicami administracyjnymi pozostaje tzw. strategia rozwoju gminy. Dokument sporządzany jest przez samorządy lokalne w celu wskazania kierunków rozwoju społecznego, gospodarczego i przestrzennego z uwzględnieniem głosów społeczności lokalnej. To gmina ustala kierunki rozwoju infrastruktury w Studium zgodnych z zapisami u.p.z.p. oraz w MPZP, natomiast przedsiębiorstwo jest zobowiązane do opracowania wieloletnich planów rozwoju i rozbudowy urządzeń. Przedsiębiorstwo jest z natury głównym doradcą technicznym gminy i ono powinno reprezentować określony poziom merytoryczny. Sama infrastruktura powinna być planowana z wyprzedzeniem w stosunku do potrzeb. Obecnie jako podstawowy horyzont czasowy przyjmuje się 10 lat. Odejście od szczegółowych miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego dla całych obszarów gmin uniemożliwia kontynuację wcześniej stosowanych metod programowania wielkości wodociągu (Suligowski & Fudala-Książek, 2014). Główna strategia długoterminowego rozwoju jest określona w dokumentach przygotowywanych na szczeblu rządowym (SUIKZP oraz MPZP). W oparciu o te plany przygotowywane są bardziej szczegółowe analizy związane z aspektami zaopatrzenia w wodę. Prowadzą one do szeregu rozwiązań koncepcyjnych. Oprócz globalnych zaleceń dotyczących podejścia do projektu, wyniki badań pozwalają na bardziej szczegółową organizację projektu, np.: podział projektu na mniejsze części, określenie faz projektu (pod względem czasu), określenie szacunkowych kosztów oraz czasu niezbędnego do realizacji inwestycji (Trifunovic, 2006).

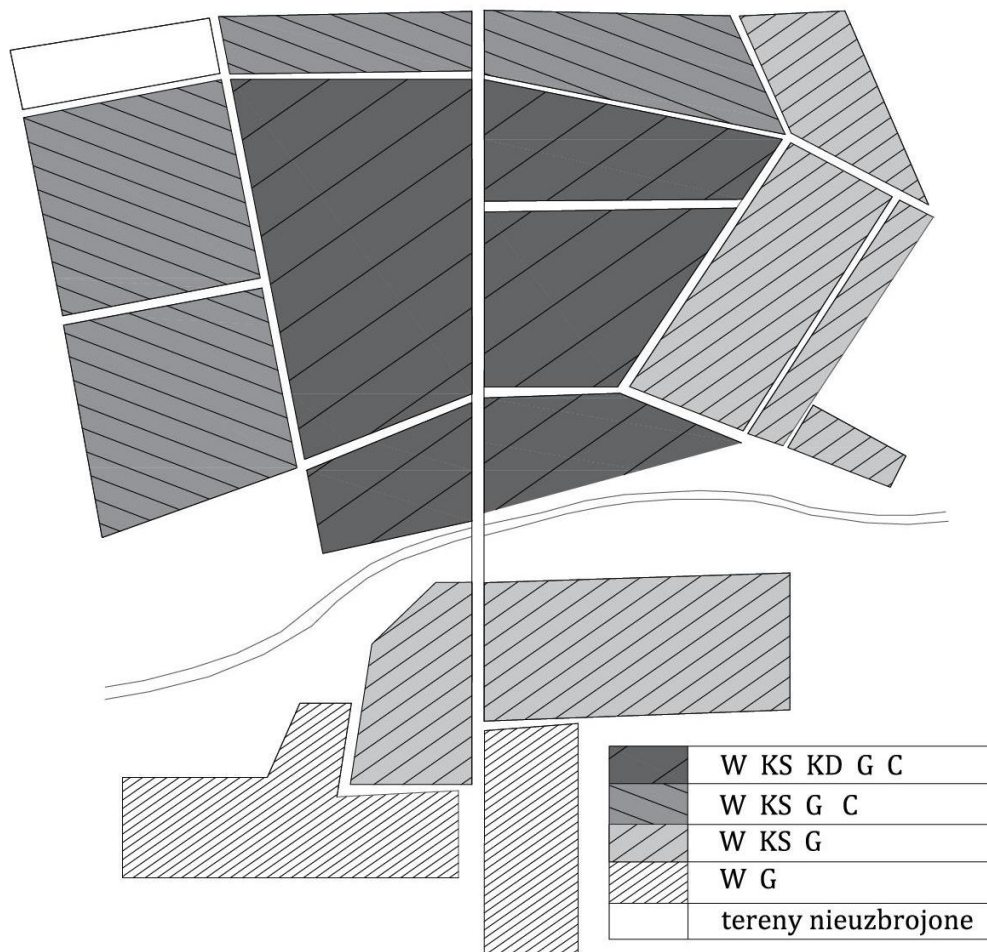
5.2. Ogólna charakterystyka sieci wodociągowych

Infrastruktura lub inaczej techniczne wyposażenie miast, to: infrastruktura wodno-ściekowa, infrastruktura obsługowa, infrastruktura energetyczna oraz infrastruktura komunikacyjna. Samą infrastrukturę wodno-ściekową dzielimy na: zaopatrzenie w wodę, usuwanie i unieszkodliwianie ścieków oraz gospodarkę wodną. W pracy rozwinięto wątek dotyczący zaopatrzenia w wodę, a w szczególności planowania sieci wodociągowej i jej przedstawiania na miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego.

Planowanie miast jest nauką interdyscyplinarną, w której plany rozwoju tworzą ludzie o bardzo różnym profilu wykształcenia. Wytyczne do Planu Zagospodarowania powinny zatem zawierać zasady i kierunki rozwoju społeczno-gospodarczego, jego tendencje i oczekiwaną dynamikę dla obszaru stanowiącego przedmiot planowania. W MPZP powinny znajdować się instrukcje niezbędne dla zwymiarowania urządzeń infrastruktury, je same należy wykonywać zgodnie z obowiązującymi dyrektywami, co powoduje że w Planie nie ma możliwości uwzględnienia przyszłych zmian (Łyp, 2016). Istotne jest aby budować instalacje do dystrybucji wody etapami, zgodnie z faktycznym rozwojem obszaru. Ta zasada umożliwia stopniowe gromadzenie środków na inwestycje, a także pośrednią ocenę i dostosowanie projektu, w przypadku gdy rzeczywisty rozwój odbiega od pierwotnego planowania. Faza planowania nigdy nie jest w pełni zakończona przed rozpoczęciem faz projektowania i wykonania (Trifunovic, 2006).

Podstawowe znaczenie dla planowania infrastruktury wodociągowej mają Plany Zagospodarowania sporządzane na poziomie gminy (Suligowski & Fudala-Książek, 2014). Od samorządu miasta lub gminy zależy poziom zadowolenia mieszkańców. Powstające zaniechania w zrównoważonym rozwoju infrastruktury są powodem negatywnej oceny i konieczności użytkowania nieruchomości poniżej standardu. Standard obsługi lub inaczej wzorzec obsługi związany jest z dostępnością, jakością i pewnością. Dostępność jest wyrażona odsetkiem ludności korzystającej z dostawy danego medium. Jakość obsługi to odpowiednia jakość wody i ciśnienie w sieci wodociągowej. O pewności dostawy mówimy gdy mamy na myśli sprawność funkcjonowania urządzeń obsługujących miasto (Łyp, 2016).

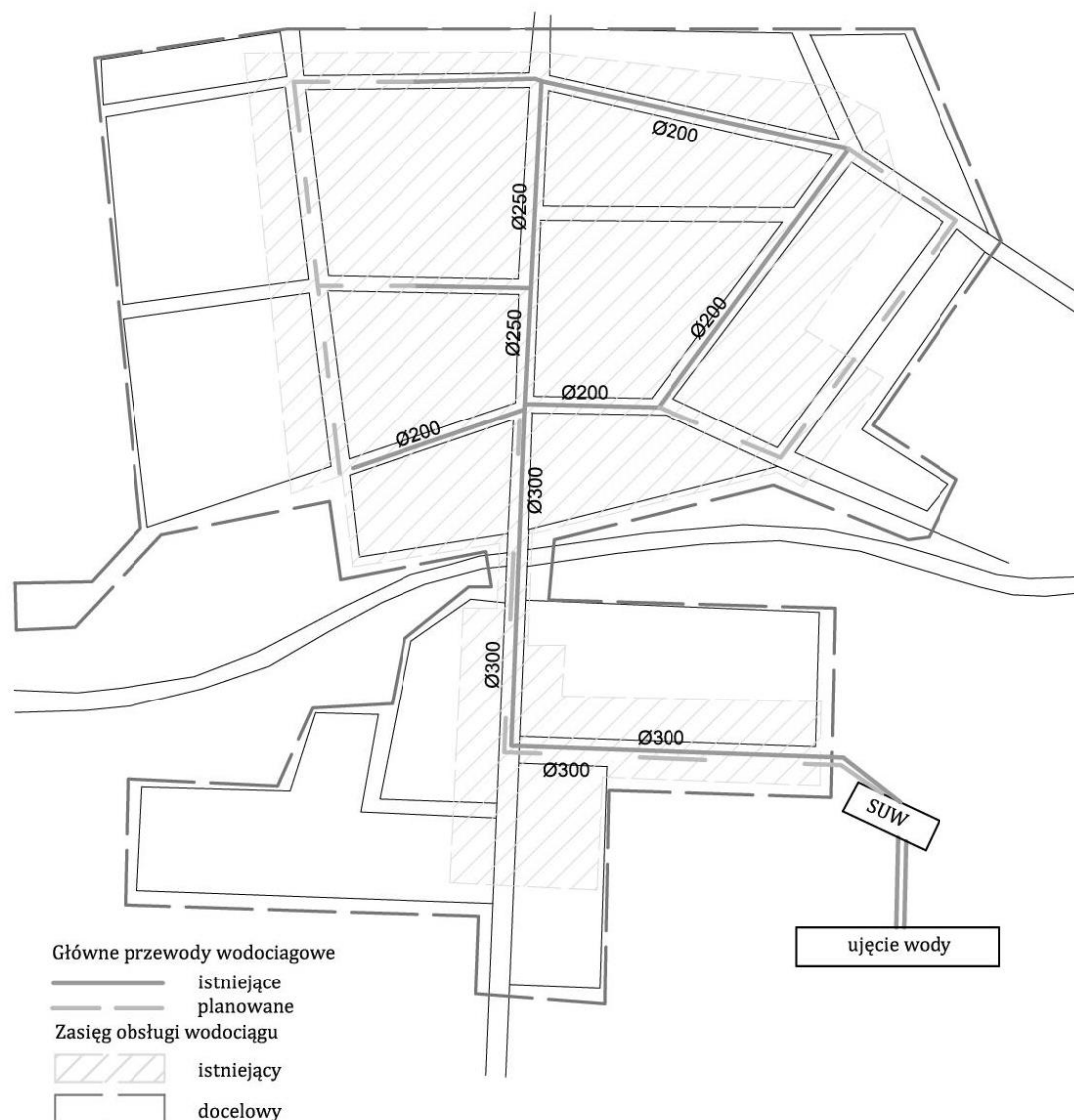
Z racji zajmowania się badaniami przestrzennymi wykazywanymi przede wszystkim na mapach zostaje pominięta część dotycząca materiałów i analizy stanowiąca meritum Planów Zagospodarowania, omówione zostaną tylko załączniki graficzne.



Ryc. 6. Przykład planszy „Istniejące uzbrojenie terenu”. Rodzaje usług: W – sieć wodociągowa, KS- kanalizacja sanitarna, KD-kanalizacja deszczowa, G-sieć gazowa, C- sieć ciepłownicza na podstawie Łyp (2016).

W pierwszej fazie prac związanej z procesem sporządzania Planu Zagospodarowania Przestrzennego wykonuje się planszę pt. „Istniejące uzbrojenie terenu” (Ryc. 6). Wykonywana jest w skali 1:5000 lub 1:10000 i przedstawia stopień pokrycia terenu infrastrukturą wodociągową, gazowniczą i ciepłowniczą oraz kanalizacyjną: sanitarną i deszczową. Informacje dotyczące rezerw sieci nie są podawane, wykazuje się tylko dopuszczalną granicę intensyfikacji użytkowania terenu, przykładowo podając dodatkową liczbę mieszkańców, którą może obsłużyć dana sieć. Na planszy nie wykazuje się nasycenia obsługą elektroenergetyczną i telekomunikacyjną (Łyp, 2016).

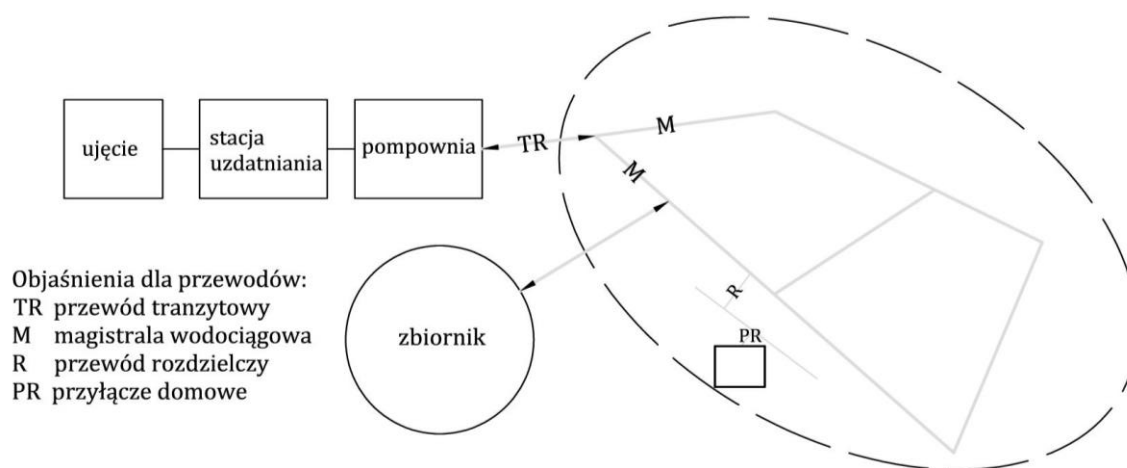
Do Planów Zagospodarowania Przestrzennego dołączana jest również plansza pt. „Zaopatrzenie w wodę” (Ryc. 7), na której wykazuje się następujące elementy systemu wodociągowego z uwzględnieniem istniejących i planowanych: ujęcia wody wraz z ich strefami ochronnymi, stacje uzdatniania wody (SUW), przewody tranzytowe, sieci magistralne, sieciowe pompownie wody i zbiorniki wody usytuowane poza SUW.



Ryc. 7. Przykład planszy „Zaopatrzenie w wodę” na podstawie Łyp (2016).

Na Planach Zagospodarowania nie uwidacznia się sieci rozdzielczej, a jedynie określa obszar przez nią obsługiwany. Na Planach bardziej szczegółowych wykazuje się całą miejską sieć wodociągową ale bez przyłączy domowych i przewodów wewnątrz przestrzeni osiedlowych. Jest to tzw. sieć uliczna, dla której nie ustala się dokładnego położenia w stosunku do osi ulicy, lecz wskazuje symbolem liniowym w dowolnym miejscu między liniami rozgraniczającymi ulicy (Łyp, 2016). Na MPZP tereny infrastruktury technicznej oznaczane są kolorem szarym i symbolem odpowiednio: IE (infrastruktura energetyczna), IG (infrastruktura gazowa), IK (infrastruktura kanalizacyjna), IW (infrastruktura wodociągowa), IT (infrastruktura telekomunikacyjna), IC (infrastruktura ciepłownicza). Część graficzną projektu regulują przepisy rozporządzenia w sprawie wymaganego zakresu projektu miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego (Dz.U. z 2021 r., poz. 2404).

Wodociąg to układ połączonych: przewodów, armatury i urządzeń lub inaczej ujmując zbiór elementów o strukturze liniowej wraz z obiektami budowlanymi i urządzeniami, połączonych pierścieniowo lub usytuowanych promieniście (Ryc. 8). Urządzeniami wodociągowymi są: ujęcia wód powierzchniowych i podziemnych, studnie publiczne, urządzenia służące do magazynowania i uzdatniania wód, sieci wodociągowe, a także urządzenia regulujące ciśnienie wody. Zbiorniki wodociągowe i pompownie sieciowe traktuje się jako składniki dodatkowe, wspomagające lub usprawniające pracę sieci (Lipińska, 2016). Głównym zadaniem wodociągów publicznych jest zapewnienie dostaw dla odbiorców wody w odpowiedniej ilości, o wymaganej jakości i przy wystarczającym ciśnieniu (Suligowski & Fudala-Książek, 2014).



Ryc. 8. Podstawowe elementy systemu zaopatrzenia w wodę na podstawie Suligowskiego i Fudala-Książek (2014).

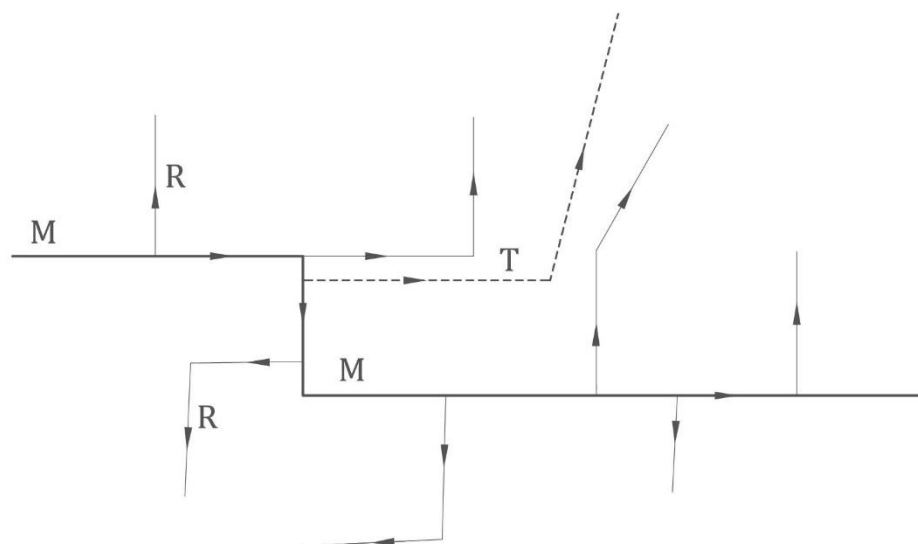
Podstawowe elementy wyróżniane w systemach zaopatrzenia w wodę to:

- ujęcie lub zespół obiektów do ujmowania wody,
- stacje uzdatniania wody, w skrócie SUW, doprowadzają one jakość wody surowej do poziomu wynikającego z określonych wymagań, w tym wynikających z przepisów prawnych,
- pompownia główna, nadaje wodzie określone ciśnienie, w sprzyjających warunkach może być zastąpiona przez odpowiednio zlokalizowany zbiornik: retencyjny – wody surowej usytuowany przed ujęciem; lub retencyjno-wyrównawczy magazynujący wodę na pokrycie różnic pomiędzy poborem a wydajnością źródła zasilania (gromadzi on również rezerwę bezpieczeństwa),

- przewody; główną sieć tworzą magistrale, od nich odchodzą przewody rozdzielcze, do których przyłączane są poszczególne budynki; poza obszarem obsługiwanym przez sieć prowadzone są przewody tranzytowe.

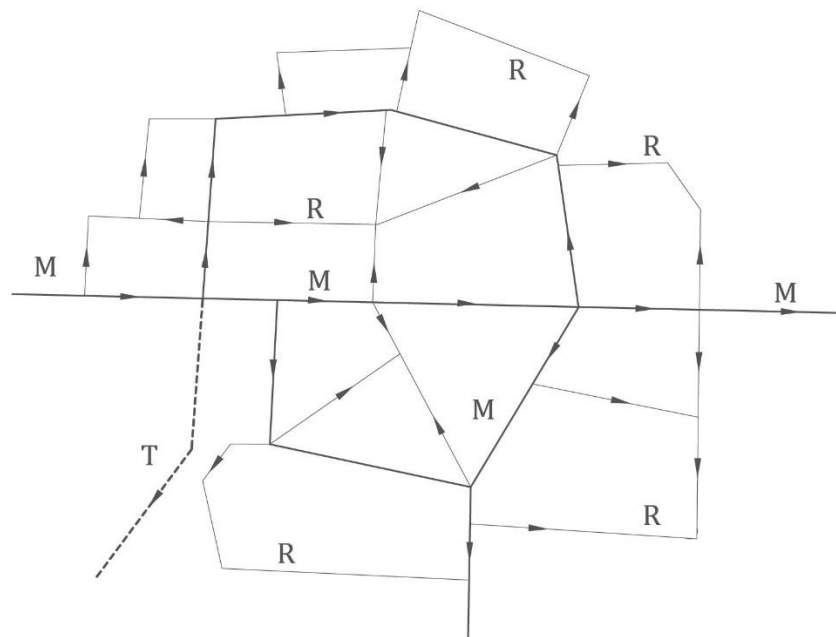
Możemy wyróżnić następujące układy sieci wodociągowych: sieć rozgałęziową, pierścieniową i mieszaną, na które składają się przewody: tranzytowe (T), magistralne (M) i rozdzielcze (R).

Cechą charakterystyczną sieci rozgałęziowej, promienistej (Ryc. 9) jest to, że przewód magistralny o dużej średnicy dzieli się na przewody rozdzielcze o średnicach stopniowo zmniejszających się i ślepo zakończonych. Sieć ta doprowadza wodę do odbiorców tylko z jednej strony. Stosuje się ją w ograniczonym zakresie m.in. dla dostaw wody do oddzielnych, oddalonych od siebie obiektów, w małych jednostkach osadniczych lub w wodociągach tymczasowych na budowie. Układ promienisty może stanowić etap przejściowy przed budową układu pierścieniowego.



Ryc. 9. Sieć rozgałęziowa, promienista na podstawie Nowakowskiej-Błaszyk i Błaszyka (1974)

Sieć pierścieniowa, obwodowa przedstawiona na Ryc. 10 składa się z przewodów magistralnych i rozdzielczych. Sposób połączenia tych przewodów umożliwia dopływ wody do każdego miejsca z dwóch stron zapewniając dużą niezawodność w dostawie wody oraz odpowiednią stabilność ciśnienia. Najczęściej stosowana jest w miastach, gdzie duża liczba mieszkańców rekompensuje wysokie koszty budowy sieci.



Ryc. 10. Sieć pierścieniowa, obwodowa na podstawie Nowakowskiej-Błaszyk i Błaszczyka (1974).

Najczęściej spotykanym układem jest sieć mieszana, pierścieniowo-rozgałęzieniowa. Polega on na objęciu pierścieniami możliwie największego obszaru jednostki osadniczej przy jednoczesnym zasilaniu pojedynczymi odcinkami przewodów do najdalszych rejonów tej jednostki.

5.3. Metody MCDA wykorzystywane w projektowaniu sieci wodociągowych

W metodach klasycznych MCDA możemy wyróżnić dwa modele rozwiązania problemu związanego z podejmowaniem decyzji: model funkcjonalny i model relacyjny. Model funkcjonalny wywodzi się z amerykańskiej szkoły wielokryterialnej analizy decyzyjnej. W podejściu tym wykluczamy sytuację nieporównywalności wariantów decyzyjnych natomiast zakładamy przechodniość preferencji na kolejne warianty decyzyjne (Ziomba & Piwowski, 2008). Do najbardziej popularnych metod należą: Wieloatrybutowa Teoria Użyteczności (ang. *Multi-Attribute Utility Theory*, MAUT), Analityczny Proces Hierarchiczny (AHP), Prosta Wielo-Atrybutowa Technika Rankingowa (ang. *Simple Multi-Attribute Ranking Technique*, SMART) oraz Addytywna Teoria Użyteczności (ang. *Utility Theory Additive*, UTA).

Model relacyjny wywodzi się z europejskiej szkoły podejmowania decyzji. Model ten opisuje relacje między wariantami decyzyjnymi. Relacje reprezentują ściśle określone preferencje decydenta i noszą nazwę relacji przewyższania. Ich cechą charakterystyczną jest nieprzechodniość pomiędzy parami wariantów decyzyjnych (Ziomba & Piwowski, 2008). Do najbardziej rozpoznawalnych należą metody z rodziny ELECTRE (fr. *ELimination EtChoix*

Traduisant la REalité): I, Is, II, III, IV, Tri; i PROMETHEE (ang. *Preference Ranking Organization METHod for Enrichment*): I, II.

Decyzje dotyczące zarządzania wodą miejską muszą przewidywać wielkość przyszłego niezidentyfikowanego zapotrzebowania z uwzględnieniem czynników dotyczących zmiany klimatu, wzrostu populacji, postępującej urbanizacji czy rozwoju technologii. Dla rozwiązania takiej problematyki proponuje się projektowanie sieci dystrybucji wody w perspektywie długoterminowej (Cunha i in., 2019). Dodatkowo w planowanie sieci wodociągowej zaangażowanych jest wiele podmiotów w tym: przedsiębiorstwa wodociągowe, administracja, ekolodzy, konsumenci, instytucje finansujące; ich wymagania są zazwyczaj sprzeczne dlatego też poszukiwane są metody partycypacyjne w planowaniu zasobów wodnych a analizy MCDA pozwalają na spójne podejmowanie decyzji (Calizaya i in., 2008; Marques i in., 2015; Spash i in., 2006). Inny problem dotyczy rozbudowy i modernizacji, kiedy sieci wodociągowe przekraczają swoją wydajność. Aby go rozwiązać proponuje się horyzontalne planowanie etapowe pozwalające na elastyczne zarządzanie projektem (Marques i in., 2015). Jeszcze inne propozycje zastosowania metod MCDA są związane z budową nowej infrastruktury wodociągowej (Amarocho i in., 2019) i zarządzaniem wodą miejską (Abrishamchi i in., 2005; Okeola & Sule, 2012). W literaturze dotyczącej projektowania sieci wodociągowej metody MCDA skupiają się na podejściu klasycznym, nie jest brany pod uwagę aspekt przestrzenny. W przypadku planowania gospodarki wodnej w miastach możemy spotkać się z wykorzystaniem przestrzennych metod wspierania decyzji np.: w problematyce zarządzania zapotrzebowaniem na wodę opisane przez Makropoulos'a (2003), priorytetów dotyczących wymiany starzejącej się infrastruktury w pracy Makropoulos & Butler (2006) czy projektowania systemów odwadniających wymienione przez Butler (2006).

6. Ocena gruntów przeznaczonych pod zabudowę

Planowanie urbanistyczne (ang. *Urban Planning*) to działanie zmierzające do optymalnego zagospodarowania przestrzennego i kształtowania układów osadniczych miast, wsi i osiedli (Śleszyński, 2018). Zakłada bezpośredni związek między dostępną informacją a jakością planowania i podejmowaną na jej podstawie decyzją (Sugumaran & DeGroot, 2020). Ponadto przyjmuje się, że proces planowania powinien odbywać się z udziałem publicznym, na drodze dialogu społecznego, w oparciu o budowanie konsensusów i umiejętność rozwiązywania konfliktów (Malczewski & Rinner, 2015).

Kluczowym zadaniem w procesie planowania i podejmowania decyzji jest ocena przydatności użytkowania gruntów (ang. *Land Use Suitability*, LUS) (Malczewski, 2004; Liu i in., 2014; McDowell i in., 2018). Pozwala ona określić najbardziej odpowiedni wzorzec przestrzennego użytkowania gruntów a następnie opracować właściwą strategię podejmowania decyzji. Wzorzec przestrzenny powinien być zgodny z wymaganiami, preferencjami i prognozowaniem niektórych działań (Collins i in., 2001; Malczewski, 2004). Problem decyzyjny rozłożony zostaje na elementy składowe (cele pośrednie, kryteria) z warunkiem, że wszystkie czynniki sprawcze (kryteria) uwzględniono w analizie (Malczewski & Rinner, 2015). Wzrost liczby czynników (kryteriów) w złożonych problemach decyzyjnych sprawia, że coraz częściej konieczne staje się wykorzystanie technik informatycznych takich jak: GIS i MCDA.

Wśród najczęściej spotykanych metod dotyczących poszukiwania optymalnej lokalizacji możemy wyróżnić:

- a) wybór lokalizacji (ang. *site selection*) polega on na analizie wyboru lokalizacji przez określenie najlepszego miejsca dla określonych działań, biorąc pod uwagę zestaw potencjalnych cech danej lokalizacji. W tego rodzaju analizie znane są wszystkie cechy (takie jak: położenie, wielkość, etc.) kandydujących miejsc. Zadanie polega na uszeregowaniu miejsc według listy rankingowej, tak aby możliwe było zidentyfikowanie najlepszej lokalizacji lub kilku lokalizacji – przykład opisany przez Malczewskiego i Rinnera (2015). W pracach dotyczących problematyki użytkowania gruntów (ang. *land-use site selection*) omawiane są takie zagadnienia jak: poszukiwanie miejsc pod rozbudowę osiedli przy zachowaniu ochrony miejsc cennych przyrodniczo (Svoray i in., 2005), budowa zielonych ciągów komunikacyjnych (Miller i in., 1998), opracowanie strategii zarządzania dla zlewni (Malczewski i in., 2003).

b) przypisanie lokalizacji (ang. *location allocation*) polega na wyborze najlepszej lokalizacji dla konkretnego obiektu i określonego obszaru obsługi. Wybór lokalizacji opiera się na klasyfikacji pod kątem przydatności do określonej działalności. Przy poszukiwaniu najlepszej lokalizacji należy określić nie tylko dopasowanie miejsca ale także jego cechy przestrzenne tj. położenie, odległość, przyleganie, łączność, sąsiedztwo i kierunek (Malczewski & Rinner, 2015). Przykładową analizę użytkowania gruntów (ang. *land suitability analysis*) przedstawiono w pracy Eastman i in. (1998), w której rozpatrywany jest problem przeznaczenia wybranych gruntów rolnych na cele przemysłowe. Inny przykład przedstawiono w pracy Svoray i in. (2005), gdzie skupiono się na rozwoju terenów mieszkalnych z zachowaniem terenów cennych przyrodniczo.

6.1. Cechy rynkowe wycenianych nieruchomości gruntowych

Jedną z najczęściej wykorzystywanych metod służącą do wyceny nieruchomości gruntowych jest podejście porównawcze. Opiera się ono na analizie danych rynkowych. Wartość nieruchomości odpowiada w tym podejściu cenom uzyskiwanym w obrocie rynkowym za nieruchomości o cechach zbliżonych do nieruchomości wycenianej (Cymerman & Hopfer, 2006). Stosując podejście porównawcze konieczne jest ustalenie wag cech determinujących wartość rynkową nieruchomości. Jednym ze sposobów ich określenia, wymienionym w Powszechnych Krajowych Zasadach Wyceny (Uchwała RK 27/08), jest analiza statystyczna danych. Analiza ta wymaga posiadania dużej liczby danych dotyczących transakcji kupna sprzedaży, warunków dokonanych transakcji oraz cech nieruchomości wpływających na te ceny. Procedury bazujące na metodach statystycznych dają możliwość uzyskania obiektywnych informacji o rynku, które można stosować w wycenach indywidualnych oraz masowych (Bitner, 2007).

W celu wyboru kryteriów charakterystycznych dla działek budowlanych zdecydowano się na przegląd wybranych artykułów opisujących wycenę nieruchomości niezabudowanych przeznaczonych na cele budowlane. Artykuły przeglądowe prezentują metody statystyczne wykorzystywane w wycenie nieruchomości na podstawie atrybutów czyli tzw. cech rynkowych nieruchomości, co do których istnieje przekonanie, że wpływają na poziom cen na danym rynku. Metody statystyczne opisane w przeglądanej literaturze to: metoda regresji krokowej wstecznej (Gawronski & Prus, 2005; Zydróż & Walkowiak, 2013) metoda regresji wielokrotnej (Zydróż, Kayzer, i in., 2017; Zydróż, Maćkowiak, i in., 2017) oraz sztuczne sieci neuronowe (Zydróż, Kayzer, i in., 2017).

Cechy rynkowe biorące udział w wycenie działki regulują przepisy Ustawy o gospodarce nieruchomościami (Dz.U. z 2021 r. poz. 1899 t.j.) natomiast zalecenia ogólne zawiera Nota Interpretacyjna nr. 1 (NI-1) Powszechnych Krajowych Zasad Wyceny (PKZW) (Uchwała RK 27/08). Cechy te należy dobierać zgodnie z przepisami prawnymi i badaniami rynkowymi. Określając wartość nieruchomości rzeczoznawca majątkowy powinien uwzględnić w szczególności: rodzaj i położenie nieruchomości, sposób użytkowania, jej przeznaczenie w Planie Zagospodarowania, stopień wyposażenia w urządzenia infrastruktury technicznej, stan zagospodarowania. Krajewska i Gaca (2007) przeprowadzili pomiar preferencji nabywców nieruchomości. Wśród czynników dla nieruchomości niezabudowanych wyróżniono: lokalizację, otoczenie i sąsiedztwo, uzbrojenie terenu, powierzchnię i kształt działki. Na podstawie przeprowadzonych badań ankietowych jako najważniejsze na równi z lokalizacją zostało ocenione uzbrojenie terenu. W innym przykładzie autorzy podjęli się modelowania zależności ceny 1m² gruntu od następujących atrybutów: lasy w odległości do 1000 m, wody w odległości do 1000 m, obszary chronione w odległości do 1000 m, dostęp do dróg lokalnych, dostęp do dróg zbiorczych, dostęp do dróg głównych, obecność infrastruktury energetycznej wysokiego napięcia, infrastruktura kanalizacyjna, magistrała wodociągowa, odległość od miasta [km], liczba mieszkańców, powierzchnia działki. Atrybuty podwyższające wartość nieruchomości to: obecność obszarów chronionych i obecność sieci kanalizacyjnej. Do czynników obniżających wartość nieruchomości zaliczono: obecność wody w odległości do 1000 m, występowanie linii energetycznych wysokiego napięcia, wzrost odległości od centrum, wzrost liczby mieszkańców oraz zależność, że im większa działka tym niższa wartość 1m². Ustalono zmienny wpływ atrybutów na wartość nieruchomości co świadczy o zmieniających się preferencjach nabywców. Przyjęto założenie o konieczności okresowych badań cech wpływających na wartość nieruchomości (Zydroń & Walkowiak, 2013). Kolejne badania dotyczyły wpływu wybranych czynników fizjograficznych i przestrzennych na ceny nieruchomości. Zmienne uwzględnione w badaniu, charakterystyczne dla działek budowlanych to: średnia cena transakcyjna 1 m² działki, wysokość n.p.m., średnie nachylenie, wskaźnik wydłużenia działki, odległość od głównej drogi, odległość od centrum miasta. W podsumowaniu autorzy zauważyli, że istotny wpływ na cenę miał czynnik hipsometryczny oraz odległość badanych nieruchomości od drogi głównej (Gawronski & Prus, 2005). Kolejne badanie dotyczyło opracowania mapy atrakcyjności inwestycyjnej na podstawie czynników wpływających na wartość nieruchomości niezabudowanych. Do „determinant atrakcyjności” zaliczono: ogólny poziom rozwoju, infrastrukturę transportową, jakość życia społeczeństwa,

położenie i przeznaczenie terenu oraz zasoby przyrody. We wnioskach ustalono, że dostępność infrastruktury transportowej jest cechą korzystną i pożądaną, podobnie bliskość do centrum. Negatywny wpływ na cenę 1m² gruntu miał zasięg oddziaływania linii wysokiego napięcia, wzrost odległości od wód, wzrost odległości od dróg ekspresowych, oddziaływanie oczyszczalni ścieków (Zydroń, Maćkowiak, i in., 2017).

6.2. Techniki GIS-MCDA wykorzystywane w ocenie przydatności gruntów

Podejścia GIS-MCDA korzystają z konwencjonalnych metod MCDA i reguł decyzyjnych do rozwiązywania problemów przestrzennych, takich jak: problem wyboru lokalizacji (ang. *site selection problem*) i analiza użytkowania gruntów (ang. *land use/suitability analysis*). Wśród najpopularniejszych metod możemy wymienić: Liniową Sumę Ważoną (WLC), metodę punktu referencyjnego (ang. *ideal/reference point methods*), Analityczny Proces Hierarchiczny (AHP) oraz metody oparte na relacji przewyższania (ang. *outranking methods*) (Malczewski & Rinner, 2015).

Liniowa Suma Ważona (WLC) jest procedurą łączenia map kryteriów. Do każdej mapy kryterium, na podstawie osądów decydentów przypisujemy wagę. Zastosowanie reguły łączenia pozwala na otrzymanie mapy przydatności. Procedura szczegółowo opisana w rozdziale 4.2.1. Przykłady wykorzystania: alokacja terenów przemysłowych (Eastman i in., 1995), lokalizowanie składowiska odpadów (Mahini & Gholamalifard, 2006).

Metoda punktu referencyjnego polega na uporządkowaniu alternatyw na podstawie ich odległości od interesującego nas miejsca (tzw. punktu idealnego, punktu referencyjnego, zbioru celów) (Malczewski & Rinner, 2015). Miara odległości określa stan idealny, pozwalający na realizację założonego celu. Mapy kryteriów to mapy ważonych odległości do określonych punktów. Przykładem wykorzystania procedury jest metoda TOPSIS (ang. *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) zaimplementowana przez Saleem i in. (2022) w celu oceny przydatności gruntów do planowania usług miejskich.

Analityczny Proces Hierarchiczny (AHP) umożliwia, przy pomocy metody porównań parami, otrzymanie wag istotności dla map kryteriów i map celów pośrednich. Połączenie ważonych map pozwala na uzyskanie wynikowej mapy przydatności. Metoda szczegółowo opisana w rozdziale 4.2.2. Mosadeghi (2015) opisał przykład wykorzystania metody AHP w planowaniu przestrzennym.

Metody oparte na tzw. relacji przewyższania opisują zależności między wariantami decyzyjnymi na podstawie preferencji decydenta. Do map kryteriów przypisywane są wagi oraz

obliczane miary zgodności i niezgodności porównywanych alternatyw. Na tej podstawie wyznaczana jest ostateczna wartość alternatywy. Metody te pozwalają na uszeregowanie alternatyw z uwzględnieniem alternatyw nieporównywalnych. Metoda wykorzystywana w przygotowaniu map przydatności do użytkowania gruntów (Joerin i in., 2001).

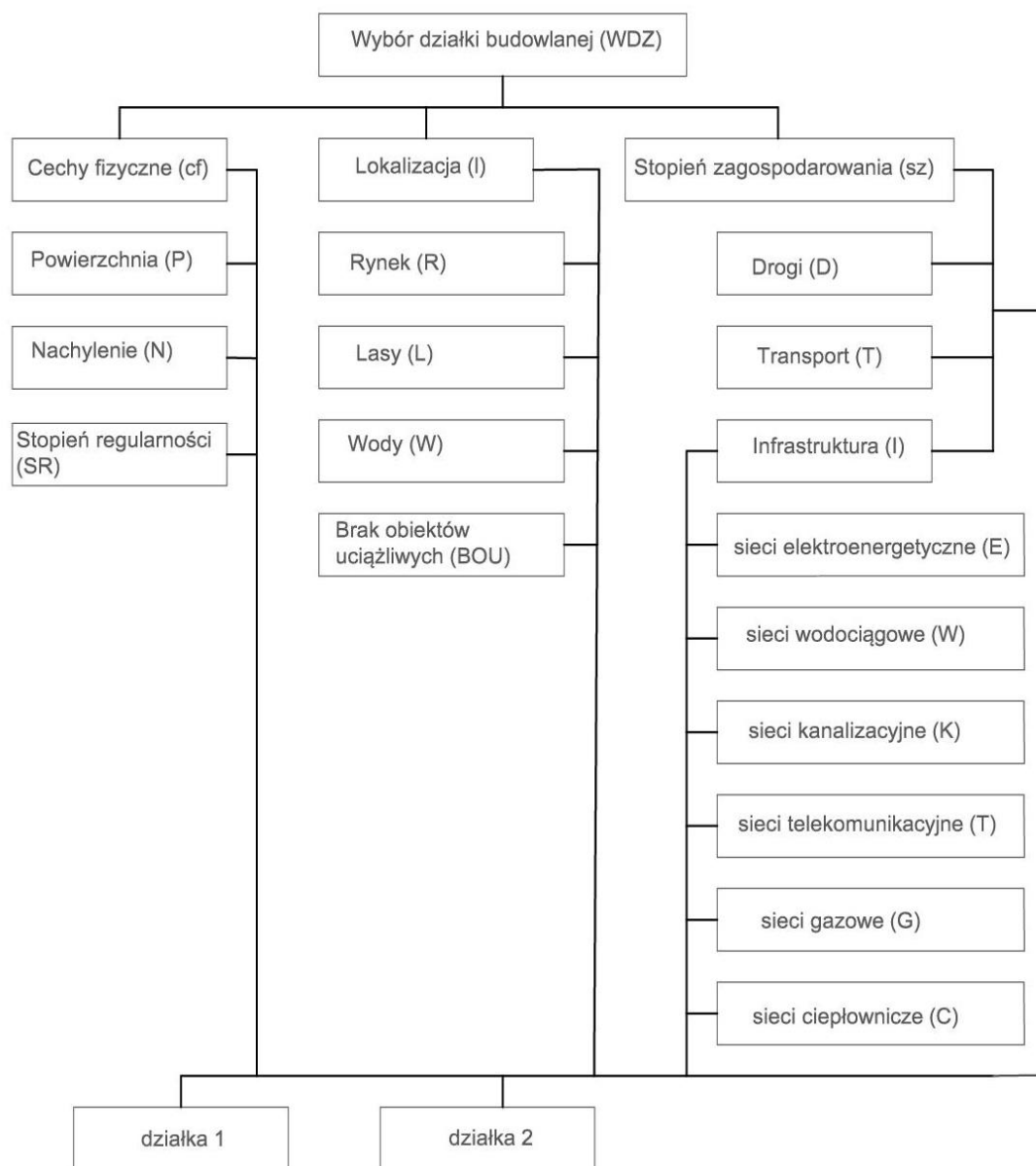
7. Ocena przydatności metod SDSS w planowaniu i budowie sieci wodociągowej na przykładzie osiedla Mokry Ług w Warszawie

Celem pracy jest wykazanie przydatności metod SDSS w procesie planowania rozbudowy sieci wodociągowej na terenach niezabudowanych przeznaczonych pod budownictwo jednorodzinne. Na podstawie przydatności metod i dostępności materiałów zdecydowano się na wykorzystanie metody AHP, oraz jej rozwinięcia AHP-OWA. Metoda AHP wymaga odpowiedniego przygotowania danych przed przystąpieniem do analizy i oceny. Ogólna charakterystyka metody zawarta jest w pierwszej części, tutaj przedstawione zostaną poszczególne etapy.

Badaniem objęto teren przeznaczony pod zabudowę jednorodziną, na którym został zaplanowany przebieg wodociągu. Planując inwestycje można podzielić budowę infrastruktury na etapy tak, aby w pierwszej kolejności zapewnić dostawy wody w miejsca, gdzie najpierw będzie wykorzystana. Takie planowanie i budowa pozwalają na odpowiednie wykorzystanie posiadanych funduszy, podniesienie atrakcyjności miejsca i odpowiedni napływ mieszkańców oraz minimalizację strat związaną z brakiem popytu. Celem analizy będzie wyznaczenie terenów, które są optymalne ze względu na potrzeby potencjalnych nabywców i tym samym powinny w pierwszej kolejności zostać wyposażone w infrastrukturę wodociągową.

Porównanie kryteriów zostało zestawione w ankietach. W badaniach ankietowych wzięli udział studenci pierwszego roku studiów stacjonarnych i niestacjonarnych Wydziału Inżynierii Lądowej i Transportu, kierunku Budownictwo; oraz studenci pierwszego roku studiów stacjonarnych Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki, kierunku Inżynieria Środowiska. Studenci uczestniczyli w kursie podstawy geodezji, na którym zostali zaznajomieni z tematyką Ewidencji Gruntów i Budynków oraz Geodezyjnej Ewidencji Sieci Uzbrojenia Terenu. Przed przystąpieniem do wypełniania ankiet zostali poinformowani odnośnie terminów i oznaczeń użytych w ankiecie. Pytania dotyczyły ważności kryteriów. Respondenci mieli za zadanie zaznaczyć odpowiednie pole w kwestionariuszu zgodnie z własnymi odczuciami dotyczącymi wskazanych kryteriów. Zebrano łącznie 107 ankiet z czego 3 zostały uznane za błędnie wypełnione i wykluczone z obliczeń. Z przeprowadzonych badań ankietowych zebrano 104 ankiety, które posłużyły do dalszych analiz.

7.1. Etap pierwszy zdefiniowanie problemu, rozbicie go na kryteria i budowa struktury hierarchicznej.



Ryc. 11 Struktura hierarchiczna problemu dotyczącego wyboru działki budowlanej.

Problem dotyczy wyznaczenia terenów, które są optymalne z punktu widzenia nabywców i zostaną wykorzystane pod zabudowę jednorodziną. Aby znaleźć taki obszar przyjęto założenie, że powinno znajdować się na nim jak najwięcej działek spełniających określone kryteria. Na tym etapie ustalono cel główny czyli wybór działki budowlanej. W kolejnym kroku należało wybrać kryteria podstawowe charakteryzujące działkę. Zakładając, że wybór elementów opisujących nieruchomość uzależniony jest od możliwości przedstawienia cech na mapie, zdecydowano się na następujące kryteria: *cechy fizyczne*, *lokalizacja* i *stopień*

zagospodarowania. Następnie do każdego kryterium zostały przypisane subkryteria. Dla kryterium *cechy fizyczne* wybrano subkryteria takie jak: *powierzchnia, nachylenie i stopień regularności.* Dla kryterium *lokalizacja* są przypisane takie subkryteria jak: *rynek, lasy, woda, brak obiektów uciążliwych.* Dla kryterium *stopień zagospodarowania* przypisano: *drogi* (czy jest możliwość dojazdu do działki); *transport* (możliwość skorzystania z autobusu, pociągu); *infrastruktura* (zakładamy uzbrojenie terenu w sieć wodociągową więc pytanie dotyczy możliwości przyłączenia do pozostałych sieci). Subkryterium infrastruktura zostało dodatkowo podzielone, aby uzyskać odpowiedź, które medium jest najważniejsze i przesądza o zakupie działki. Model hierarchiczny przedstawia Ryc. 11. Szczegółowy opis zostanie przedstawiony w dalszej części rozprawy.

Model hierarchiczny został przedstawiony i dokładnie omówiony przed przystąpieniem do prezentacji ankiet.

7.2. Etap drugi przygotowanie badań ankietowych, zebranie danych, sporządzenie wykresów i obliczenie macierzy porównań parami

W celu przeprowadzenia badań ankietowych w pierwszym kroku należy zaprojektować odpowiednie kwestionariusze. Istnieje wiele wzorów, w pracy wykorzystano przykład z użytymi wartościami liczbowymi odpowiadającej 9-cio stopniowej skali porównań Saaty'ego. W tabeli przedstawiono porównanie dwóch kryteriów względem siebie. Z lewej strony pokazany jest stopień przewagi kryterium A, od jednakowego znaczenia po całkowitą przewagę, z prawej stopień przewagi kryterium B. Zadaniem osoby ankietowanej było wskazanie, które kryterium jest bardziej preferowane i w jakim stopniu. Pola zaciemnione oznaczają opcję pośrednią, gdy decydent nie jest pewny wyboru. Według wzoru (Tabela 4) zostało sporządzonych 5 kwestionariuszy dotyczących wyboru działki budowlanej i w takiej formie zostały przekazane respondentom.

Tabela 4. Wzór tabeli przekazanej do wypełnienia respondentom.

Kryterium A	Stopień przewagi									Kryterium B
	Całkowita	bardzo duża	duża	mała (niewielka)	jednakowe znaczenie	mała (niewielka)	duża	bardzo duża	całkowita	

Po otrzymaniu wypełnionych ankiet tabela została uzupełniona o wartości od 9 do 1/9 wg. dziewięciostopniowej skali porównań Saaty'ego. Pozwoliło to na przypisanie do każdego elementu struktury hierarchicznej odpowiedniego stopnia istotności (Tabela 5).

Tabela 5. Wzór tabeli z przypisanymi wagami.

Kryterium A	Stopień przewagi																		Kryterium B
	całkowita		bardzo duża		duża		mała (niewielka)		jednakowe znaczenie		mała (niewielka)		duża		bardzo duża		całkowita		
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9		

Dane uzyskane z ankiet zostały zestawione w tabelach zbiorczych.

Tabela 6. Zbiorcza tabela dla kryteriów: *cechy fizyczne, lokalizacja i stopień zagospodarowania*.

Kryterium A	Stopień przewagi																		Kryterium B
	całkowita		bardzo duża		duża		mała (niewielka)		jednakowe znaczenie		mała (niewielka)		duża		bardzo duża		całkowita		
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9		
cf	4	1	2	2	11	3	12	0	14	1	11	6	16	1	14	4	2	1	
cf	1	0	5	0	13	0	15	2	24	2	12	4	15	1	9	0	1	sz	
l	3	0	7	0	20	2	12	4	32	2	10	2	6	1	2	0	1	sz	

Tabela 7. Zbiorcza tabela dla subkryteriów: *powierzchnia, nachylenie, stopień regularności*.

Kryterium A	Stopień przewagi																		Kryterium B
	całkowita		bardzo duża		duża		mała (niewielka)		jednakowe znaczenie		mała (niewielka)		duża		bardzo duża		całkowita		
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9		
P	4	0	13	4	21	3	4	1	9	1	19	5	14	1	4	0	1	N	
P	5	1	11	3	18	4	15	3	16	0	4	5	11	2	4	0	2	SR	
N	1	1	4	0	15	4	16	1	25	0	15	4	13	0	3	1	1	SR	

Tabela 8. Zbiorcza tabela dla subkryteriów: rynek, lasy, woda, brak obiektów uciążliwych.

Kryterium A	Stopień przewagi																	Kryterium B
	całkowita		bardzo duża		duża		mała (niewielka)		jednakowe znaczenie		mała (niewielka)		duża		bardzo duża		całkowita	
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	
R	1	2	6	0	18	3	14	1	13	1	7	4	18	4	10	0	2	L
R	4	0	9	1	19	3	18	1	8	1	12	5	13	0	8	0	2	W
R	5	0	7	1	10	2	3	1	10	2	6	4	23	3	17	3	7	BOU
L	0	1	8	4	19	6	10	2	26	0	9	1	5	2	6	2	3	W
L	9	0	5	1	17	3	7	0	11	0	6	4	10	5	16	0	10	BOU
W	9	0	4	0	12	0	16	0	5	1	8	3	16	5	15	1	9	BOU

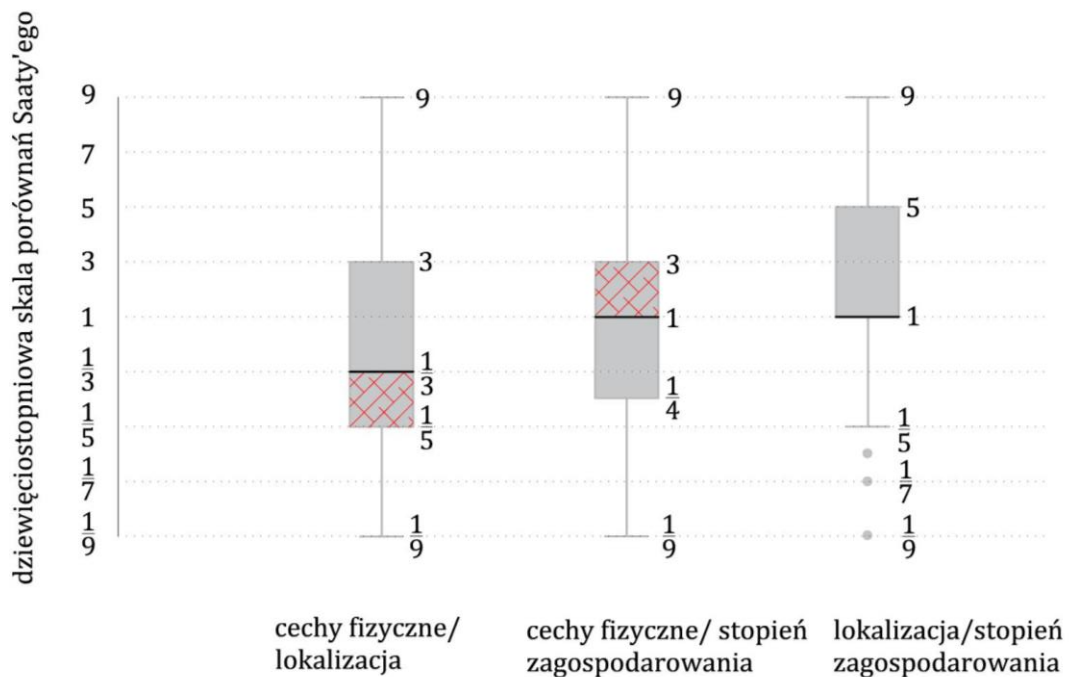
Tabela 9. Zbiorcza tabela dla subkryteriów: infrastruktura, drogi, transport.

Kryterium A	Stopień przewagi																	Kryterium B
	całkowita		bardzo duża		duża		mała (niewielka)		jednakowe znaczenie		mała (niewielka)		duża		bardzo duża		całkowita	
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	
I	5	2	12	1	32	4	12	2	7	0	9	5	11	0	2	0	0	D
I	3	0	22	3	32	5	7	2	10	1	5	1	8	2	3	0	0	T
D	4	0	12	2	24	8	13	0	24	1	4	3	5	0	4	0	0	T

Tabela 10. Zbiorcza tabela dla subsubkryteriów: sieci elektroenergetyczne, sieci wodociągowe, sieci kanalizacyjne, sieci gazowe, sieci telekomunikacyjne, sieci ciepłownicze.

Kryterium A	Stopień przewagi																	Kryterium B	
	całkowita		bardzo duża		duża		mała (niewielka)		jednakowe znaczenie		mała (niewielka)		duża		bardzo duża		całkowita		
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9		
E	1	0	0	2	12	3	16	0	43	0	5	0	15	0	5	0	2	W	
E	8	0	9	0	19	3	17	2	20	1	7	0	13	1	2	1	1	K	
E	13	4	18	4	26	2	10	0	11	0	5	0	9	2	0	0	0	G	
E	9	1	11	1	22	3	15	1	26	1	7	2	3	0	1	0	1	T	
E	15	1	9	0	24	2	8	1	20	1	10	3	8	0	2	0	0	C	
W	8	2	13	3	12	5	10	1	40	0	1	1	8	0	0	0	0	K	
W	19	4	18	5	26	2	9	0	12	1	7	0	0	0	1	0	0	G	
W	7	3	14	3	27	1	12	2	22	0	9	0	2	0	0	1	1	T	
W	15	1	8	3	15	2	18	2	26	1	5	1	1	2	3	1	0	C	
K	13	2	10	2	26	3	13	1	16	0	11	3	2	0	1	0	1	G	
K	3	0	15	2	22	4	8	0	14	3	8	2	15	0	6	1	1	T	
K	7	0	7	3	12	2	14	1	24	2	14	5	8	1	2	1	1	C	
G	1	0	3	2	5	1	14	3	12	1	12	4	16	3	13	3	11	T	
G	6	0	3	1	3	2	5	0	27	1	6	7	25	8	3	0	7	C	
T	8	2	9	0	10	1	14	0	12	1	12	3	19	2	11	0	0	C	

7.2.1. Porównanie kryteriów: cechy fizyczne, lokalizacja, stopień zagospodarowania



Wykres 1. Porównanie parami cech fizycznych, lokalizacji i stopnia zagospodarowania na diagramach pudełkowych z wykorzystaniem 9-cio stopniowej skali porównań Saaty'ego.

Przy porównaniu kryteriów *cechy fizyczne* i *lokalizacja* większość ankietowanych stwierdziła, że ważniejsza jest lokalizacja, z tego 25% wskazało na przedział od 1/3 (mały stopień przewagi) do 1/5 (duży stopień przewagi). Do dalszych badań przyjęto wartość 1/3 (mała przewaga lokalizacji). Z porównania kryteriów *cechy fizyczne* i *stopień zagospodarowania* wynikało, że ważniejsze są cechy fizyczne, w tym przypadku 25% respondentów wskazało na wartości od 1 do 3. Do dalszych badań przyjęto wartość 1/3 (mała przewaga cech fizycznych). Przy porównaniu kryteriów *lokalizacja* i *stopień zagospodarowania* mamy zdecydowaną przewagę lokalizacji (wartości od 1 do 5). Do dalszych obliczeń przyjęto wartość 1/5 (jako dużą przewagę kryterium lokalizacji). Podsumowując respondenci uznali że: *lokalizacja* jest 3 razy ważniejsza niż *cechy fizyczne* i 5 razy ważniejsza niż *stopień zagospodarowania*. *Cechy fizyczne* są 3 razy ważniejsze niż *lokalizacja*.

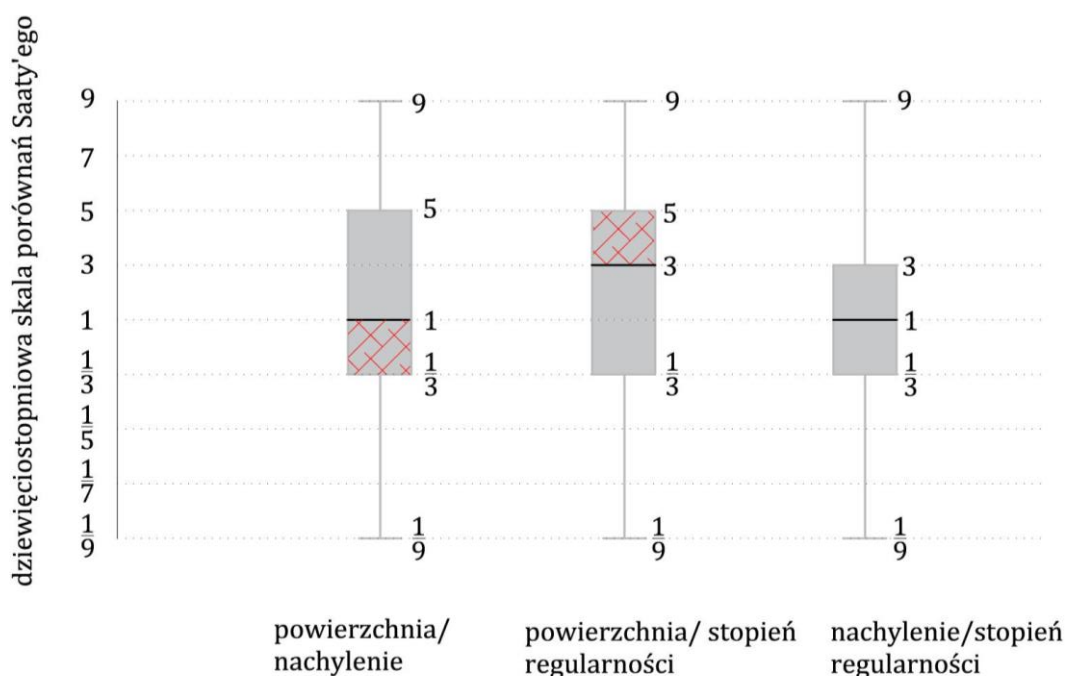
Dla danych uzyskanych z badań ankietowych obliczona została macierz porównań parami oraz indeks zgodności. Szczegółowe metody obliczeń przedstawiono w części teoretycznej. Tutaj obliczenia wykonane zostały przy wykorzystaniu programu Super Decision. Program pozwala na wyliczenie wag kryteriów oraz wyliczenie współczynnika spójności CR. Wartość CR poniżej 0.10 wskazuje na spójność macierzy porównań i tym samym na poprawne wypełnienie ankiet.

Tabela 11. Macierz decyzji, wagi i współczynnik spójności dla kryteriów: *cechy fizyczne, lokalizacja, stopień zagospodarowania*.

KRYTERIUM		cf	l	sz		wagi %
CR = 0.0370	cf	1	1/3	3		26
	l	3	1	5		64
	sz	1/3	1/5	1		10
						suma

Z przeprowadzonych obliczeń uzyskano wagi kryteriów. Dla respondentów przy wyborze działki budowlanej najważniejsza jest *lokalizacja* 64%, kolejne *cechy fizyczne* 26% i najmniej istotny *stopień zagospodarowania* 10%. Współczynnik spójności wynosi 0.04 czyli zbudowana macierz jest spójna. Otrzymane wyniki zostaną wykorzystane w dalszej analizie.

7.2.2. Porównanie subkryteriów: powierzchnia, nachylenie, stopień regularności

Wykres 2. Porównanie subkryteriów: *powierzchnia, nachylenie i stopień regularności*.

Z porównania subkryteriów *powierzchnia* i *nachylenie* większość respondentów wskazała, że ważniejsze jest nachylenie, z tego 25% odpowiedzi znajduje się w przedziale od 1/3 do 1. W celu uzyskania spójnych odpowiedzi przyjęto wartość 1/2 (niewielka przewaga nachylenia). Z porównania subkryteriów *powierzchnia* i *stopień regularności* wnioskujemy, że ważniejsza jest powierzchnia, 25% odpowiedzi zajmuje przedział od 3 do 5. Przyjęto wartość 3 (mała przewaga *powierzchni*). Z porównania subkryteriów *nachylenie* i *stopień regularności*

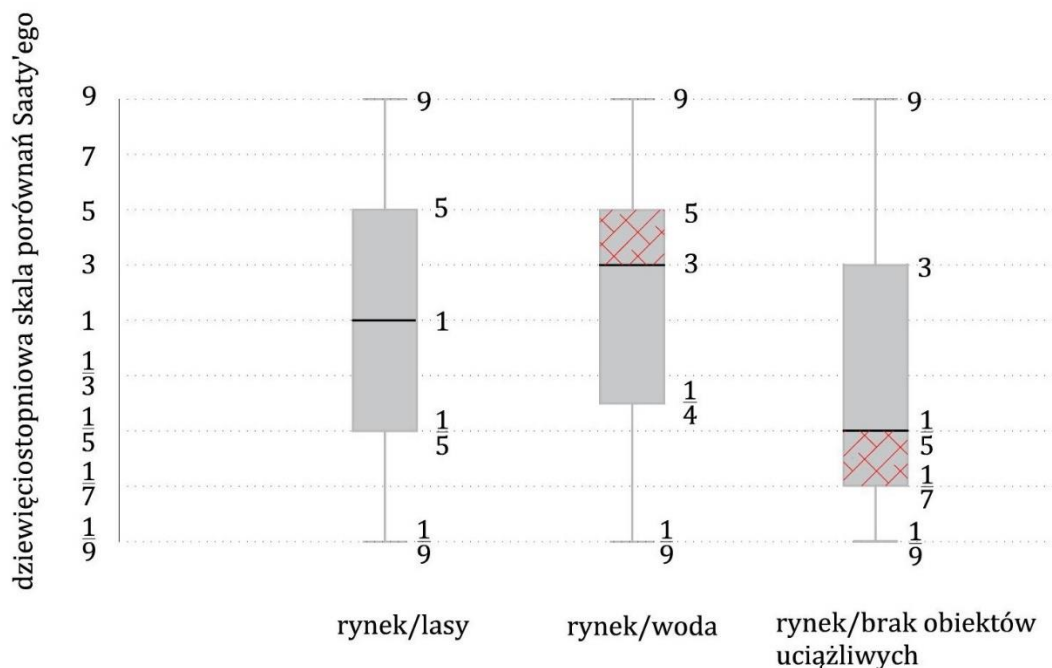
otrzymujemy wykres symetryczny wskazujący na przedział od 1/3 do 3. Z wcześniejszych porównań wynikało, że **stopień regularności** jest mniej ważny niż **powierzchnia**, która była niżej oceniana niż **nachylenie**, zatem **nachylenie** powinno być wyżej oceniane niż **stopień regularności**. Do dalszych obliczeń przyjęto wartość 1/3 wskazującą na małą przewagę **nachylenia**. Przyjmujemy że: **nachylenie** jest 2 razy ważniejsze od **powierzchni** i 3 razy ważniejsze od **stopnia regularności**, natomiast **powierzchnia** jest 3 razy ważniejsza od **stopnia regularności**.

Tabela 12. Macierz decyzji, wagi i współczynnik spójności dla subkryteriów: **powierzchnia, nachylenie i stopień regularności**.

KRYTERIUM		P	N	SR	wagi %
CR = 0.0516	P	1	1/2	3	33
	N		1	3	53
	SR			1	14
				suma	100

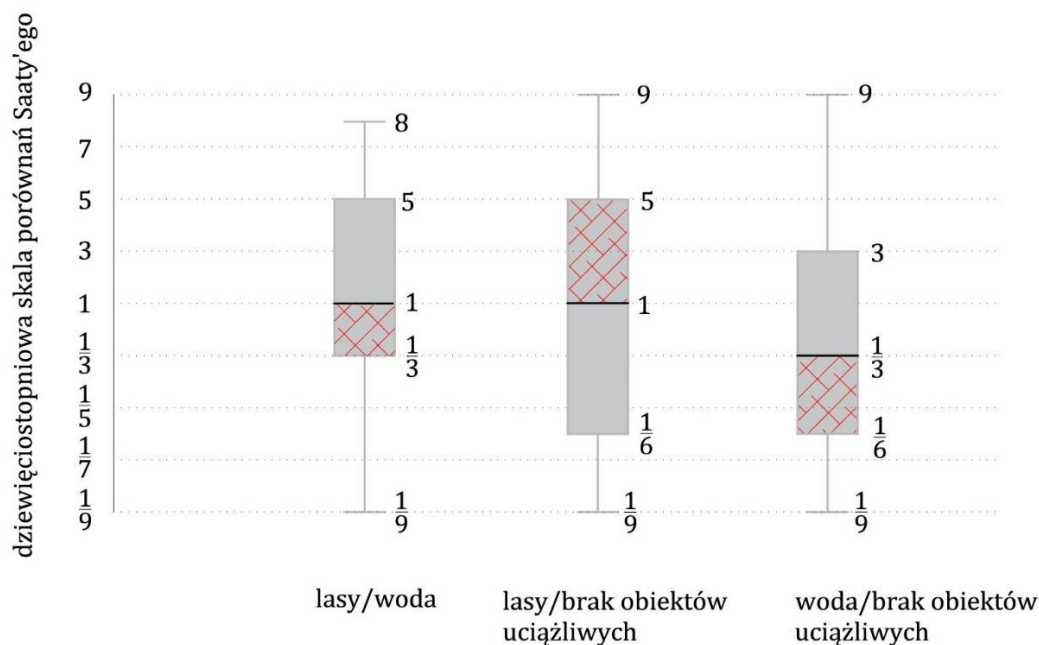
Z przeprowadzonych obliczeń uzyskano wagi kryteriów. Dla respondentów przy wyborze działki budowlanej najważniejsze jest **nachylenie** 53%, na kolejnym miejscu jest **powierzchnia** 33% oraz najmniej istotny **stopień regularności** 14%. Współczynnik spójności wynosi 0.05 czyli zbudowana macierz jest spójna. Otrzymane wyniki zostaną wykorzystane w dalszej analizie.

7.2.3. Porównanie subkryteriów: rynek, lasy, woda, brak obiektów uciążliwych



Wykres 3. Porównanie subkryteriów: **rynek, lasy, woda, brak obiektów uciążliwych** część A

Z porównania subkryteriów *rynek* czy *lasy* respondenci uznali, że oba mają takie samo znaczenie (wartość 1). Z porównania subkryteriów *rynek* czy *woda* tu zdecydowanie *rynek* (przyjmuję dużą przewagę, wartość 5), w kolejnym porównaniu *rynek* czy *brak obiektów uciążliwych* respondenci zaznaczyli *brak obiektów uciążliwych* (zakładam dużą przewagę, wartość 1/6).



Wykres 4. Porównanie subkryteriów: *rynek, lasy, woda, brak obiektów uciążliwych* część B.

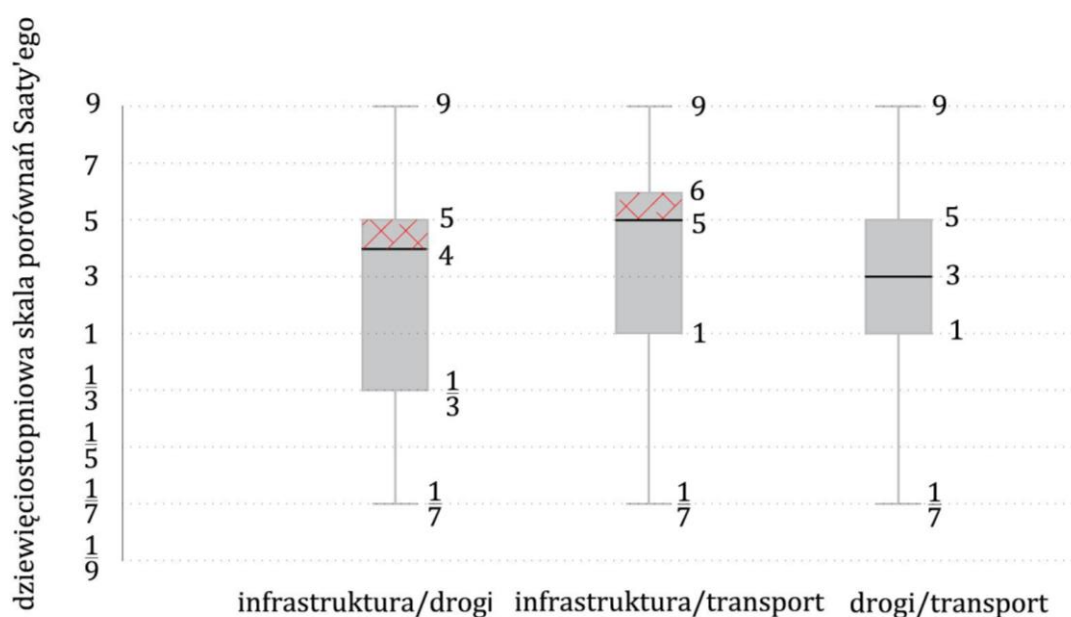
Z porównania subkryteriów co jest ważniejsze *lasy* czy *woda* przewaga jest po stronie *wody*. Mamy wystąpienie pierwszej niekonsekwencji, zakres jest od 1/3 do 5, zakładam na podstawie wcześniejszych wskazań, że jednak przeważa kryterium *lasy* (przyjmuję niewielką przewagę, wartość 3). Porównanie subkryteriów *lasy* czy *brak obiektów uciążliwych*, z danych wychodzi, że jednak *lasy*. Druga niekonsekwencja, wcześniejsze wskazania sugerują, że ważniejszy jest *brak obiektów uciążliwych* (zaznaczam małą przewagę 1/2). Ostatnie porównanie dotyczy subkryteriów *woda* i *brak obiektów uciążliwych*, respondenci wskazali *brak obiektów uciążliwych* (duża przewaga, wartość 1/6). Przyjmujemy że: *rynek* ma takie samo znaczenie jak obecność *lasu* wartość 1, jest 5 razy ważniejszy od *wody* i 6 razy mniej ważny niż *obecność obiektów uciążliwych*. *Lasy* są 3 razy bardziej preferowane niż *woda*. *Brak obiektów uciążliwych* jest 2 razy ważniejszy od dostępu do *lasu* i 6 razy ważniejszy od dostępu do *wody*.

Tabela 13. Macierz decyzji, wagi i współczynnik spójności dla subkryteriów: rynek, lasy, woda, brak obiektów uciążliwych.

KRYTERIUM		R	L	W	BOU	wagi %
CR = 0.0989	R	1	1	5	1/6	18
	L		1	3	1/2	20
	W			1	1/6	6
	BOU				1	56
						suma

Z przeprowadzonych obliczeń uzyskano następujące wagi: 56% i zdecydowana przewaga jeżeli chodzi o **brak** występowania **obiektów uciążliwych**, 20% dla **lasów** i 18% jeżeli chodzi o dostęp do **rynku**, tylko 6% dla dostępu do **wody**. Współczynnik spójności wynosi 0.10 czyli zbudowana macierz jest spójna. Otrzymane wyniki zostaną wykorzystane w dalszej analizie.

7.2.4. Porównanie subkryteriów: infrastruktura, drogi, transport



Wykres 5. Porównanie subkryteriów: infrastruktura, drogi, transport.

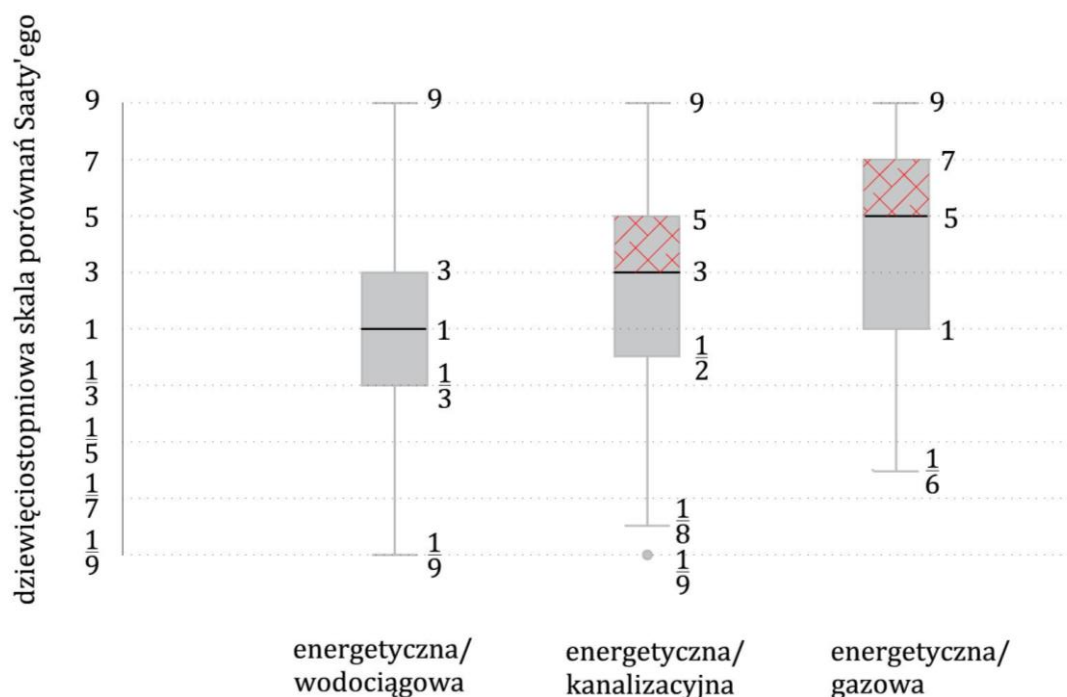
Z porównania subkryteriów **infrastruktura** czy **drogi**, **infrastruktura** jest od 4 do 5 razy ważniejsza niż **drogi** (duży stopień przewagi); kolejne porównanie: subkryteria **infrastruktura** czy **transport**, **infrastruktura** jest od 5 do 6 razy ważniejsza niż **transport** (duży stopień przewagi) i ostatnie: subkryteria **drogi** czy **transport**, 25% respondentów wskazało na wartości od 3 do 5 duża przewaga subkryterium **drogi**. Podsumowując **infrastruktura** jest 5 razy ważniejsza niż **drogi** i 6 razy ważniejsza niż **transport**. **Drogi** są 3 razy ważniejsze od **transportu**.

Tabela 14. Macierz decyzji, wagi i współczynnik spójności dla subkryteriów: *infrastruktura, drogi, transport*.

KRYTERIUM		I	D	T		wagi %
	I	1	5	6		72
	D		1	3		19
	T			1		9
CR = 0.0904					suma	100

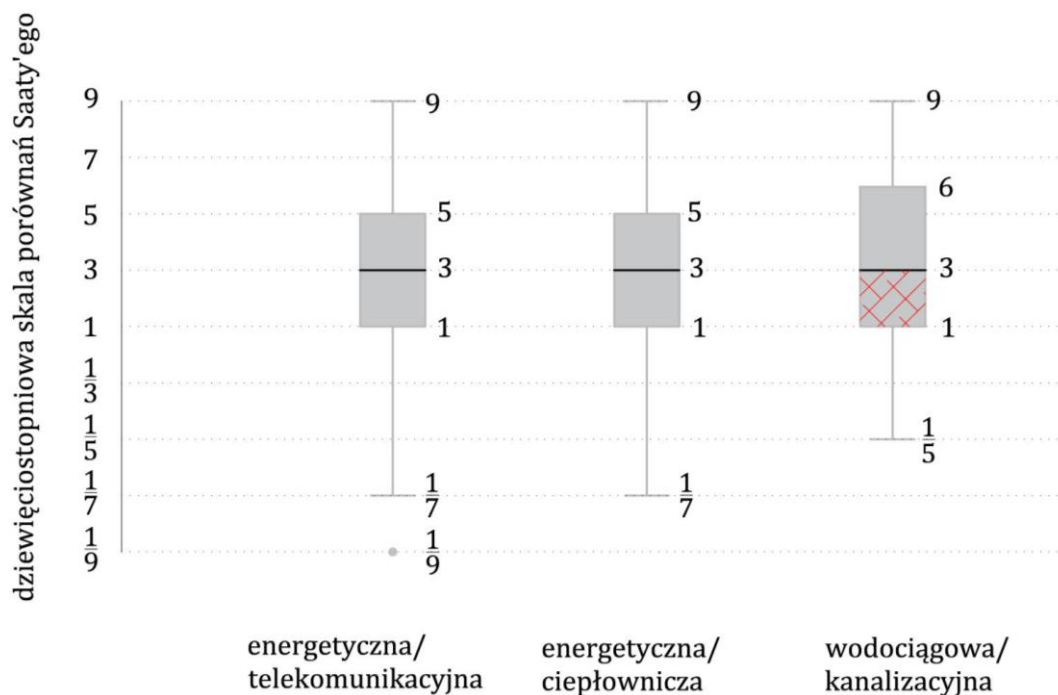
Z przeprowadzonych obliczeń uzyskano następujące wagi: 72% dla *infrastruktury*, 19% dla *dróg* oraz 9% dla *transportu*. Współczynnik spójności wynosi 0.09 czyli zbudowana macierz jest spójna. Otrzymane wyniki zostaną wykorzystane w dalszej analizie.

7.2.5. Porównanie subsubkryteriów reprezentujących subkryterium infrastruktura



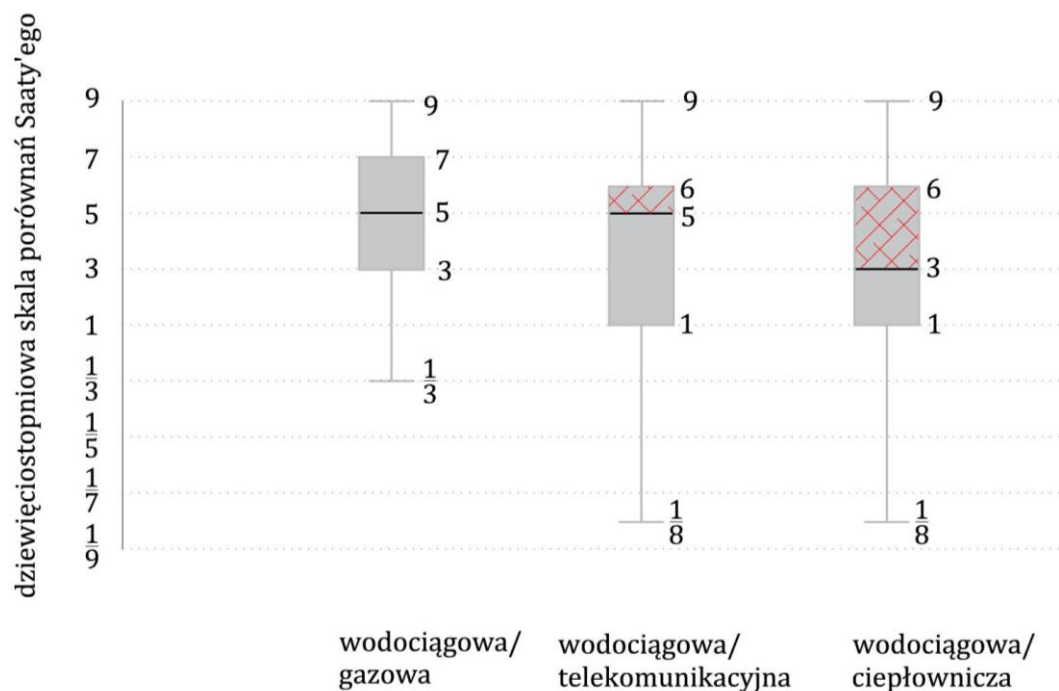
Wykres 6. Porównanie subsubkryteriów: *sieci elektroenergetyczne, sieci wodociągowe, sieci kanalizacyjne, sieci gazowe, sieci telekomunikacyjne, sieci ciepłownicze część A*.

Z przedstawionego wykresu wynika, iż dostęp do *sieci elektroenergetycznej* jest tak samo ważny jak do *sieci wodociągowej*, wartość 1 – jednakowe znaczenie obu subsubkryteriów. *Sieć elektroenergetyczna* jest ważniejsza niż *sieć kanalizacyjna*, przedział od 3 do 5 (duży stopień przewagi). Do dalszych badań przyjęto wartość 1/3. Porównanie *sieci elektroenergetycznej* i *gazowej* wskazuje, że 25% respondentów zaznaczyło wartości od 5 do 7 dla *sieci elektroenergetycznej*. Do dalszych obliczeń przyjęto wartość 1/7 (bardzo duży stopień przewagi). Podsumowując *sieć elektroenergetyczna* jest tak samo ważna jak *sieć wodociągowa*; wartość 1, 3 razy ważniejsza niż *sieć kanalizacyjna* i 7 razy ważniejsza niż *sieć gazowa*.



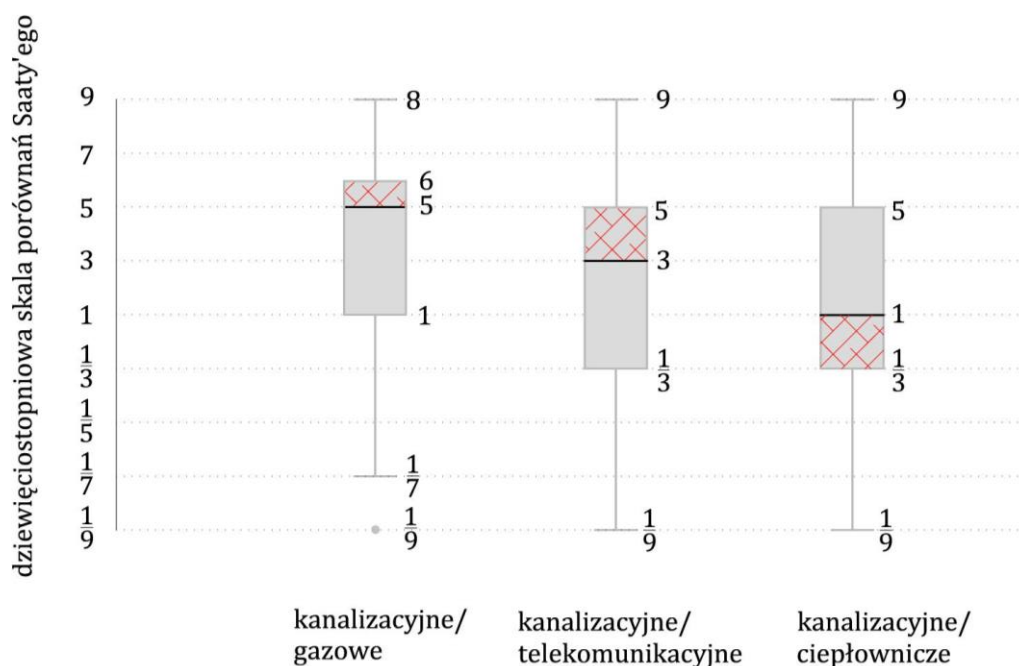
Wykres 7. Porównanie subsubkryteriów: *sieci elektroenergetyczne, sieci wodociągowe, sieci kanalizacyjne, sieci gazowe, sieci telekomunikacyjne, sieci ciepłownicze część B.*

Z porównania subsubkryteriów: *sieć elektroenergetyczna* i *sieć telekomunikacyjna* większość odpowiedzi wskazuje na *sieć elektroenergetyczną* od 1 do 5, przyjęto wartość 3 (mały stopień przewagi). Z porównania *sieci elektroenergetycznej* i *ciepłowniczej* mamy odpowiedzi w przedziale od 1 do 5, przyjęto wartość 3. Z porównania *sieci wodociągowej* i *kanalizacyjnej* 25% odpowiedzi znajduje się w przedziale od 1 do 3, przyjęto wartość 2 (mała przewaga *sieci wodociągowej*). Podsumowując *sieć elektroenergetyczna* jest 3 razy ważniejsza niż *sieć telekomunikacyjna* i *sieć ciepłownicza*. *Sieć wodociągowa* jest 2 razy ważniejsza niż *sieć kanalizacyjna*.



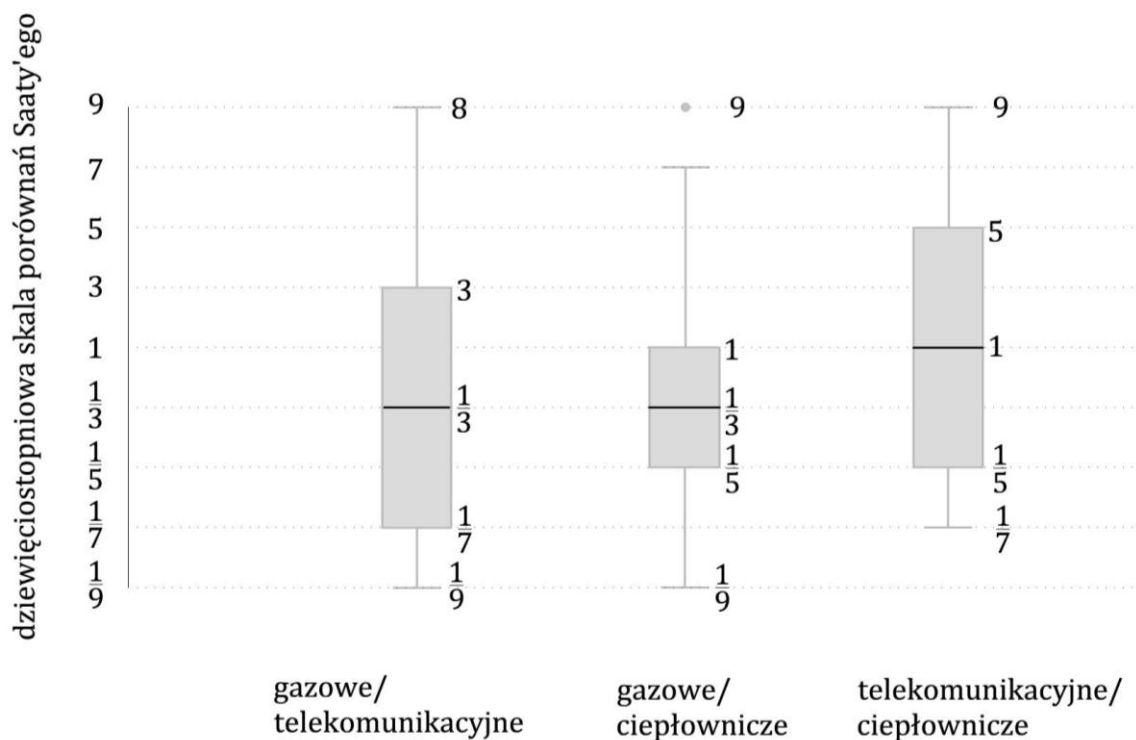
Wykres 8. Porównanie subsubkryteriów: *sieci elektroenergetyczne, sieci wodociągowe, sieci kanalizacyjne, sieci gazowe, sieci telekomunikacyjne, sieci ciepłownicze część C.*

Z porównania subsubkryteriów: *sieć wodociągowa* i *sieć gazowa* większość odpowiedzi wskazuje na *sieć wodociągową* od 3 do 7, przyjęto wartość 5 (duży stopień przewagi). Z porównania *sieci wodociągowej* i *telekomunikacyjnej* 25% odpowiedzi wskazuje na przedział od 5 do 6 dla *sieci wodociągowej*, przyjęto wartość 6 (duży stopień przewagi). Z porównania *sieci wodociągowej* i *ciepłowniczej* 25% odpowiedzi znajduje się w przedziale od 3 do 6, przyjęto wartość 3 (mała przewaga *sieci wodociągowej*). Podsumowując do dalszych analiz przyjmujemy, że *sieć wodociągowa* jest 5 razy ważniejsza niż *gazowa*, 6 razy ważniejsza niż *telekomunikacyjna* i 3 razy ważniejsza niż *sieć ciepłownicza*.



Wykres 9. Porównanie subsubkryteriów: *sieci elektroenergetyczne, sieci wodociągowe, sieci kanalizacyjne, sieci gazowe, sieci telekomunikacyjne, sieci ciepłownicze część D.*

Z porównania subsubkryteriów: *sieci kanalizacyjnej* i *sieci gazowej* większość odpowiedzi wskazuje na *sieć kanalizacyjną*, 25% odpowiedzi mieści się w przedziale od 5 do 6, przyjęto wartość 6 (duży stopień przewagi). Z porównania *sieci kanalizacyjnej* i *telekomunikacyjnej* 25% odpowiedzi wskazuje na przedział od 3 do 5 dla *sieci kanalizacyjnej*, przyjęto wartość 3 (mały stopień przewagi). Z porównania *sieci kanalizacyjnej* i *ciepłowniczej* 25% odpowiedzi znajduje się w przedziale od 1/3 do 1, przyjęto wartość 1/3 (mała przewaga *sieci ciepłowniczej*). Podsumowując do dalszych analiz przyjmujemy, że *sieć kanalizacyjna* jest 6 razy ważniejsza niż *sieć gazowa* i 3 razy ważniejsza niż *sieć telekomunikacyjna*. *Sieć ciepłownicza* jest 3 razy ważniejsza niż *sieć kanalizacyjna*.



Wykres 10. Porównanie subsukryteriów: *sieci elektroenergetyczne, sieci wodociągowe, sieci kanalizacyjne, sieci gazowe, sieci telekomunikacyjne, sieci ciepłownicze część E.*

Z porównania subsukryteriów: *sieci gazowej i sieci telekomunikacyjnej* odpowiedzi mieszczą się w przedziale od 1/7 do 3, przyjęto wartość 1/3 (mały stopień przewagi *sieci telekomunikacyjnej*). Z porównania *sieci gazowej i ciepłowniczej*, odpowiedzi wskazują na przedział od 1/5 do 1, przyjęto wartość 1/5 duży stopień przewagi *sieci ciepłowniczej*. Z porównania *sieci telekomunikacyjnej i ciepłowniczej* odpowiedzi znajdują się w przedziale od 1/5 do 5, przyjęto wartość 1, jednakowe znaczenie obu sieci. Podsumowując możemy przyjąć że, *sieć gazowa* ma mniejsze znaczenie niż *sieć telekomunikacyjna* wartość 1/3 oraz *sieć ciepłownicza*, wartość 1/5. *Sieć telekomunikacyjna* jest tak samo ważna jak *sieć ciepłownicza*.

Tabela 15. Macierz decyzji, wagi i współczynnik spójności dla subskryteriów: *sieci elektroenergetyczne, sieci wodociągowe, sieci kanalizacyjne, sieci gazowe, sieci telekomunikacyjne, sieci ciepłownicze.*

KRYTERIUM		E	W	K	G	T	C	wagi %
	E	1	1	3	7	3	3	30
	W	1	1	2	5	6	3	30
	K			1	6	3	1/3	14
	G				1	1/3	1/5	3
	T					1	1	8
	C						1	15
CR = 0.0849		suma						100

Z przeprowadzonych obliczeń uzyskano następujące wagi: 30% dla *sieci elektroenergetycznej*, 30% dla *sieci wodociągowej*, 15% dla *sieci ciepłowniczej*, 14% dla *sieci kanalizacyjnej*, 8% dla *sieci telekomunikacyjnej* oraz 3% dla *sieci gazowej*. Współczynnik spójności wynosi 0.09 czyli zbudowana macierz jest spójna. Otrzymane wyniki zostaną wykorzystane w dalszej analizie.

8. Przykład przestrzennej metody wspomagania decyzji przy zastosowaniu modelu AHP-OWA dla osiedla Mokry Ług Warszawie

8.1. Obszar badań i dane wejściowe

Mokry Ług jest fragmentem dzielnicy Rembertów, znajduje się w jej północnej części. Rembertów to dzielnica Warszawy położona w prawobrzeżnej części miasta. Osiedle Mokry Ług od strony północnej graniczy z gminą Zielonka, od wschodu z gminą Wołomin.

Obszar badań, osiedle Mokry Ług znajduje się w północno-wschodniej części Doliny Środkowej Wisły. Północną i wschodnią granicę stanowią obszerne kompleksy leśne stanowiące część „Warszawskiego Obszaru Chronionego Krajobrazu”. Od południa granicę obszaru wyznacza Struga z Rembertowa. Główne rysy rzeźby powstały w wyniku działania lądolodu skandynawskiego. Deniwelacje mieszczą się w zakresie od 91 m n.p.m. do 96 m n.p.m. Litologia terenu ma genezę rzeczną, są to głównie piaski z domieszką żwirów stanowiące najwyższą terasę nadzalewową Wisły.

Dane wykorzystane w przestrzennej metodzie wspomagania decyzji zostały dobrane pod kątem opracowania map kryteriów. Pochodzą one z krajowych serwisów WMS tj. geoportal.gov.pl i mapa.um.warszawa. Są to: Numeryczny Model Terenu (NMT) i Baza Danych Obiektów Topograficznych (BDOT10k) dostępne w układzie PL-1992; oraz Działki Ewidencyjne (współrzędne punktów załamania granicy działek) dostępne w układzie PL-2000. Powyższe dane uzupełniono o informacje dotyczące pokrycia terenu z serwisu WMS OpenStreetMap (OSM).

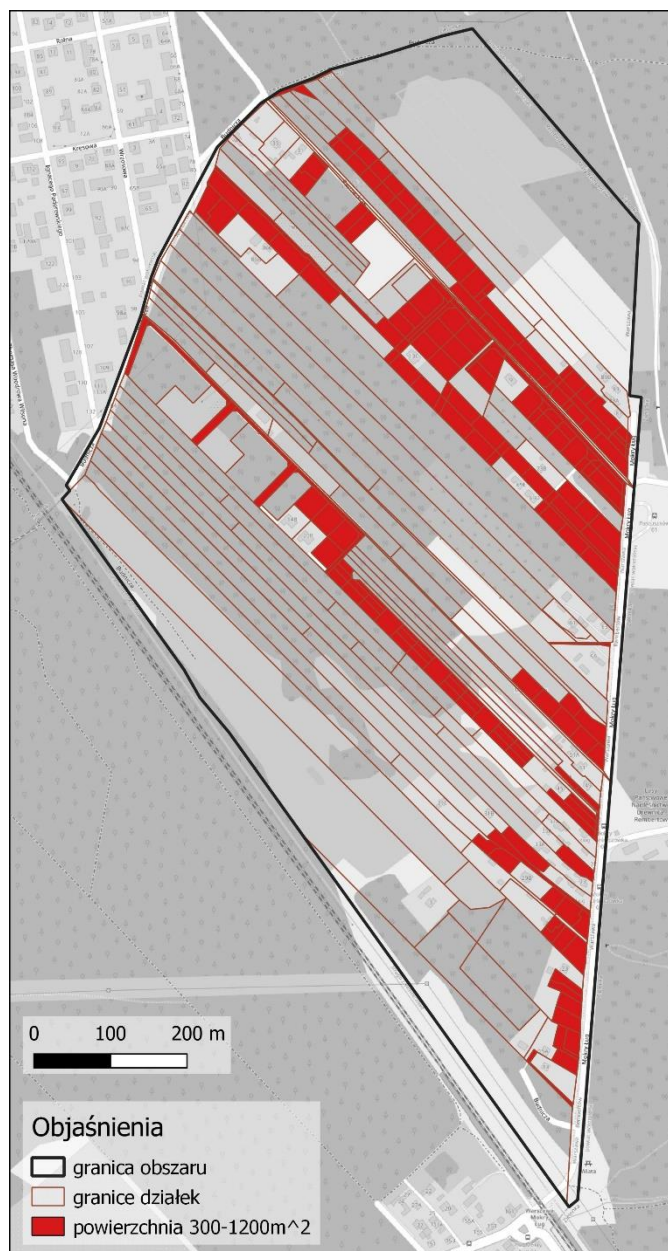
8.2. Kryteria analizy AHP

8.2.1. Cechy fizyczne

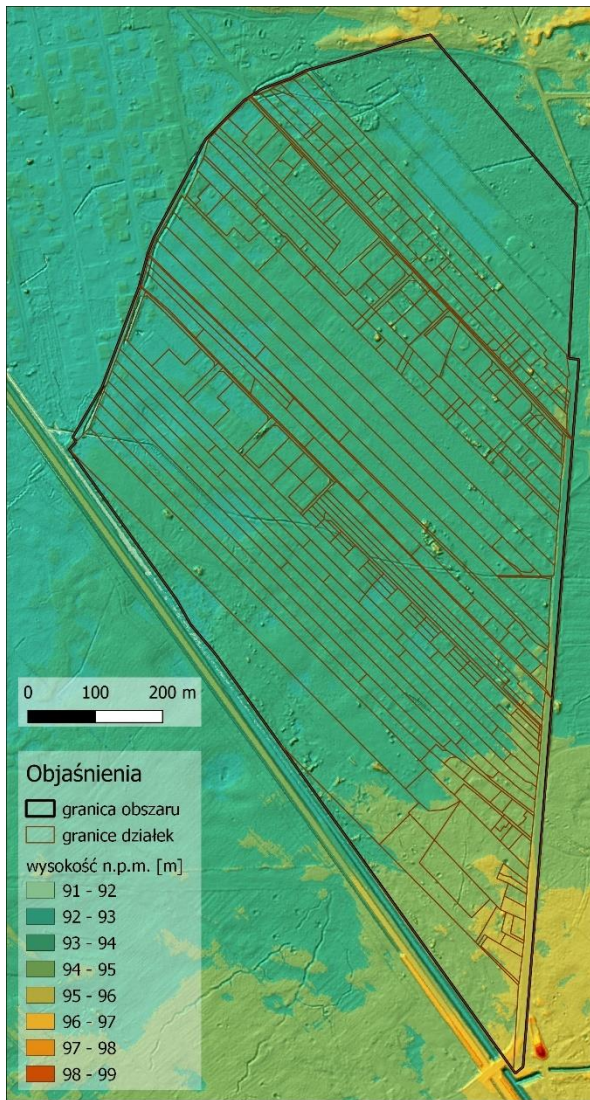
W pracy uwzględniono następujące *cechy fizyczne* działek ewidencyjnych: *powierzchnia*, *nachylenie* i *stopień regularności*. Każda z tych cech była przedmiotem opracowania kartograficznego w postaci mapy subkryterium przedstawiającej rozkład przestrzenny danej cechy.

Dla wszystkich map subkryteriów zastosowano spójny schemat kolorów, w którym kolor cieplejszy wskazuje na bardziej korzystne cechy fizyczne z punktu widzenia analizowanego problemu badawczego. Kolory zimne należy łączyć z cechami negatywnymi.

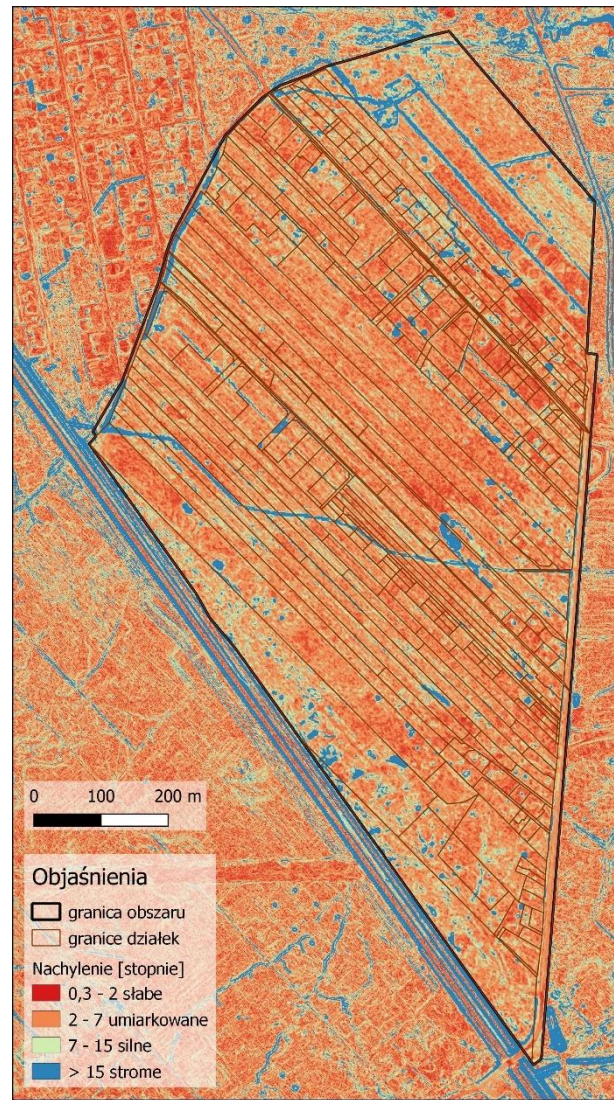
Mapę subkryterium **powierzchnia** (Ryc. 12) opracowano na podstawie współrzędnych punktów załamania granic działek z serwisu WMS z warstwy Działki Ewidencyjne. W tym celu wykorzystano własny model geoprzetwarzania danych opracowany w programie QGIS. W modelu tym zastosowano sekwencję następujących narzędzi: *Create Points Layer From Table*, *Points to Path*, *Lines to Polygons*, *Add Geometry Attributes*. Wyznaczone w ten sposób granice działek przedstawiono kolorem brązowym. Korzystając z zapytań atrybutowych do dalszej analizy wytypowano działki o powierzchni w przedziale $300\text{m}^2\text{--}1200\text{m}^2$. Działki te oznaczono na mapie kolorem czerwonym.



Ryc. 12. Mapa powierzchni działek na tle elementów topografii z serwisu OpenStreetMap.



Ryc. 13. Numeryczny Model Terenu.



Ryc. 14. Mapa Nachylenia.

Mapę subkryterium *nachylenie* (Ryc. 14) opracowano wykorzystując numeryczny model powierzchni terenu (Ryc. 13) o rozdzielczości przestrzennej 1m i średnim błędzie wysokości 0.2 m. Model ten został opracowany na podstawie danych LIDAR w układzie współrzędnych pionowych PL-EVRF2007-NH. Do obliczenia nachylenia powierzchni wykorzystano algorytm Zevenbergena i Thorne'a (1987).

Przyjmuje się, że wzrost kąta nachylenia działki powoduje wzrost kosztów budowy. Zatem najbardziej optymalnym jest wybór działki na terenie płaskim $0,3^{\circ}$ – 2° , na którym nie przewiduje się trudności w budowie domów czy osiedli. W terenie umiarkowanie nachylonym 2° – 7° przewidujemy już pewne komplikacje. Natomiast teren silnie nachylony 7° – 15° to górna granica budowy osiedli. Dane przedstawiono za Klimaszewski (1981) tabela pt. „Ocena stoków z gospodarczego punktu widzenia”.

Mapę subryterium *stopień regularności* (Ryc. 15) opracowano wykorzystując warstwy: granice działek i granica obszaru. Granica obszaru pochodzi z BDOT10k, warstwa ADJA (jednostka podziału administracyjnego). Dla warstwy granice działek obliczony został współczynnik kształtu. Współczynnik ten wskazuje na atrakcyjność działki przez odniesienie jej powierzchni do obwodu.

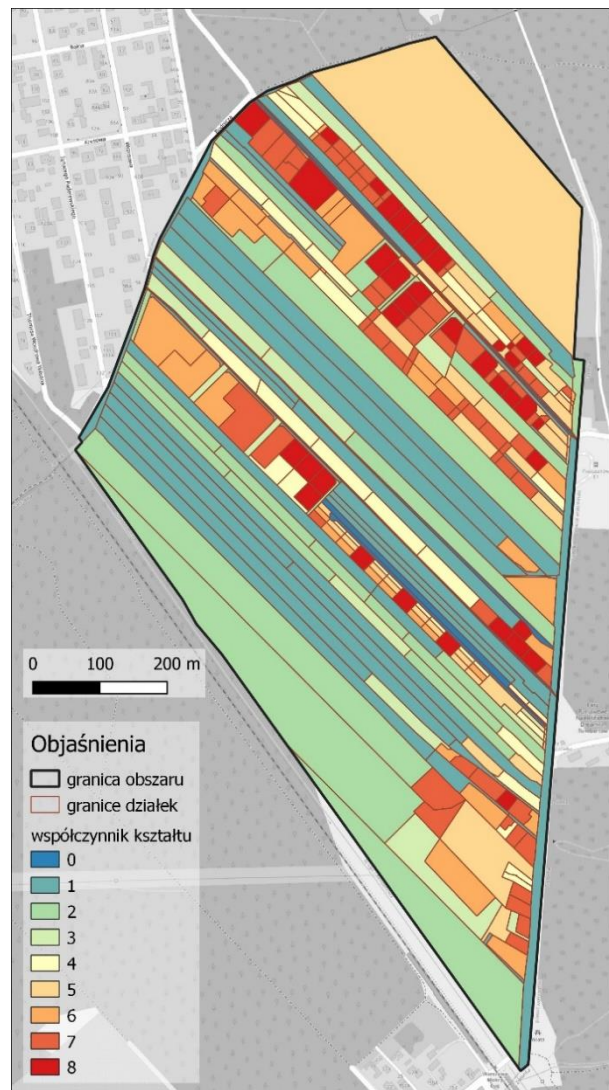
$$W_k = 40\pi \frac{P}{O^2} \quad (8-12)$$

gdzie:

- W_k to współczynnik kształtu,
- P to powierzchnia działki,
- O to obwód działki.

Współczynnik unormowany jest w przedziale (0–10), gdzie wartość 10 osiągnięta jest dla koła, a wartość 0 dla nieskończonej wydłużonej figury geometrycznej. Dla działki o kształcie kwadratu współczynnik wynosi 7,85; dla prostokąta o stosunku boków 3:2 wynosi 7,54 (Dmytrów i in., 2018).

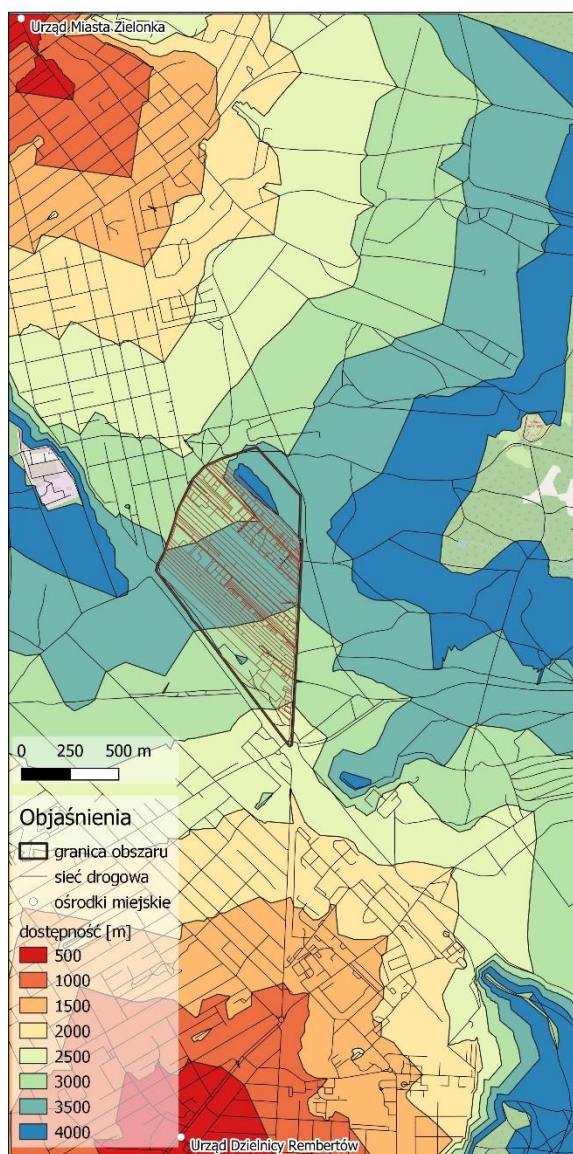
Procedurę obliczenia współczynnika kształtu wykonano przy wykorzystaniu narzędzia kalkulator pól na warstwie granice działek. Na mapie kolor zbliżony do czerwonego wskazuje na działki o najbardziej optymalnym kształcie.



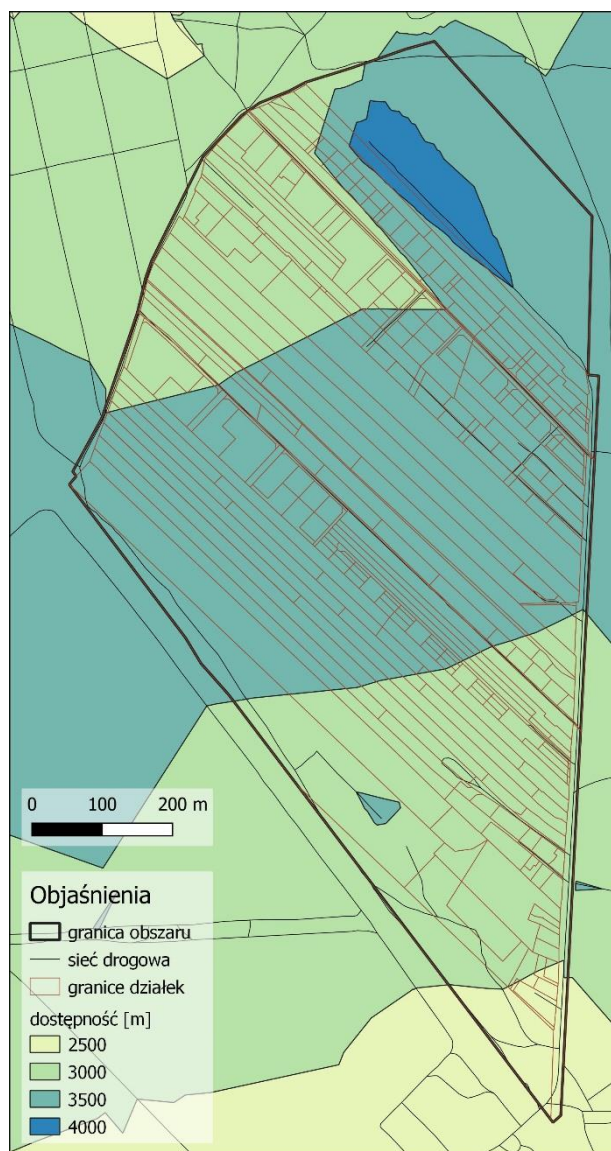
Ryc. 15. Mapa stopnia regularności działek.

8.2.2. Lokalizacja

Elementy przypisane do kryterium *lokalizacji* działek ewidencyjnych to subkryteria: *rynek, lasy, woda i brak obiektów uciążliwych*. Każde z subkryteriów było przedmiotem opracowania kartograficznego w postaci mapy przedstawiającej rozkład przestrzenny danej cechy.



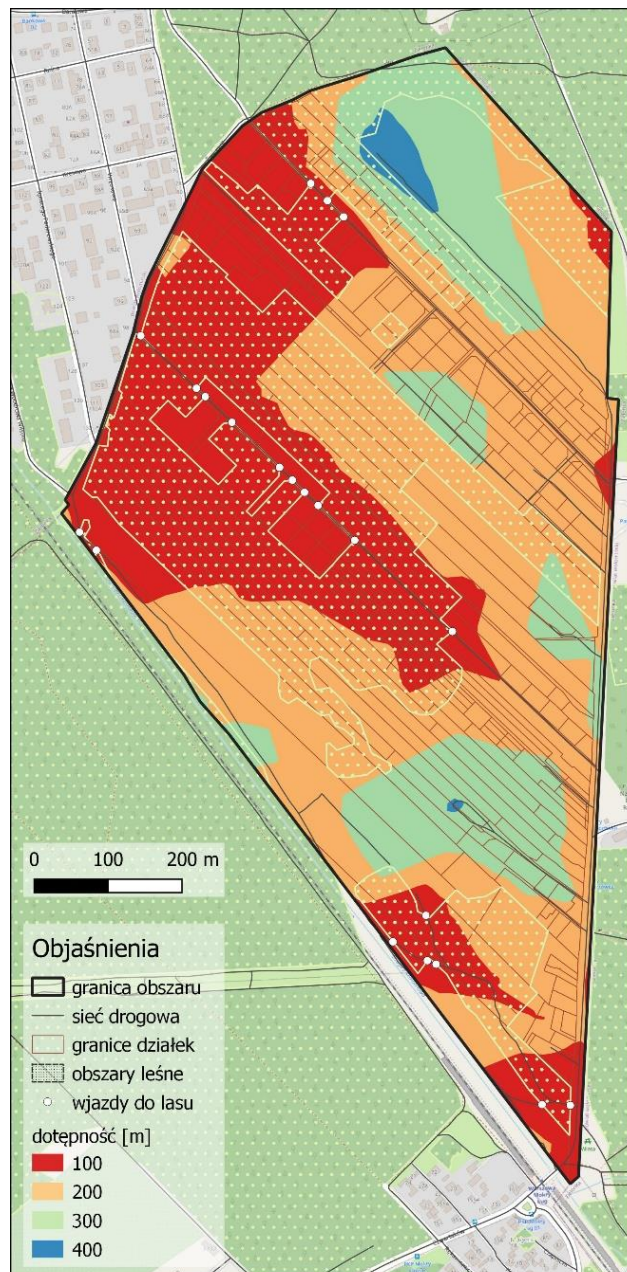
Ryc. 16. Mapa dostępności do rynku (pełny obszar analizy)



Ryc. 17. Mapa dostępności do rynku (obszar analizy z zaznaczonymi działkami).

Mapę subkryterium *rynek* (Ryc. 16 i Ryc. 17) uzyskano wykorzystując warstwy: drogi i ośrodki miejskie. Warstwa drogi pochodzi z bazy BDOT10k, warstwa SKJZ (jezdni). W celu uzyskania warstwy *ośrodki miejskie* zaznaczono położenie dwóch ośrodków miejskich: Urzędu Miasta Zielonka oraz Urzędu Dzielnicy Rembertów. Przy użyciu narzędzia *iso-area as polygons (from point)* wyznaczono obszary dostępności do ośrodków w interwałach co 500 m. Na Ryc. 17 przedstawiono fragment mapy z wygenerowaną dostępnością i zaznaczonymi granicami działek. Analizowany obszar znajduje się w odległości ok. 4 km od ośrodków miejskich, dla poszczególnych działek odległości te wynoszą ok. 2,5–4,0 km.

Mapę subkryterium *las* (Ryc. 18) wykonano przy wykorzystaniu serwisu WMS OpenStreet Map oraz warstwy *drogi*. Obszary zaznaczone jako tereny leśne zostały zwektoryzowane, co pozwoliło na utworzenie warstwy *obszary leśne*. W kolejnym kroku zaznaczone zostały *wjazdy do lasu*. Są to punkty przecięcia drogi oraz poligonu reprezentującego obszar leśny. Następnie wykorzystując narzędzie *iso-area as polygons (from point)* przeprowadzono analizę dostępności. Odległości od punktów wjazdu do lasu w kierunku analizowanych działek zostały wykonane po sieci drogowej w interwałach co 200 m.



Ryc. 18. Mapa dostępności do lasu.

Mapę subkryterium *brak obiektów uciążliwych* (Ryc. 19) wykonano korzystając z bazy BDOT10k dla powiatów warszawskiego i wołomińskiego, są to warstwy: SKJZ (sieć komunikacyjna, jezdnia), SULN (sieć uzbrojenia terenu, linia napowietrzna), SKTR (sieć komunikacyjna, tor lub zespół torów) oraz SWKN (sieć wodna, kanał). Dla poszczególnych obiektów zastosowano odpowiednio szerokie strefy buforowe.

Napowietrzne linie elektroenergetyczne wytwarzają pola elektromagnetyczne, które oddziałują na użytkowników budynków. Dopuszczalne wartości takich pól określa rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych oraz sposobów sprawdzania

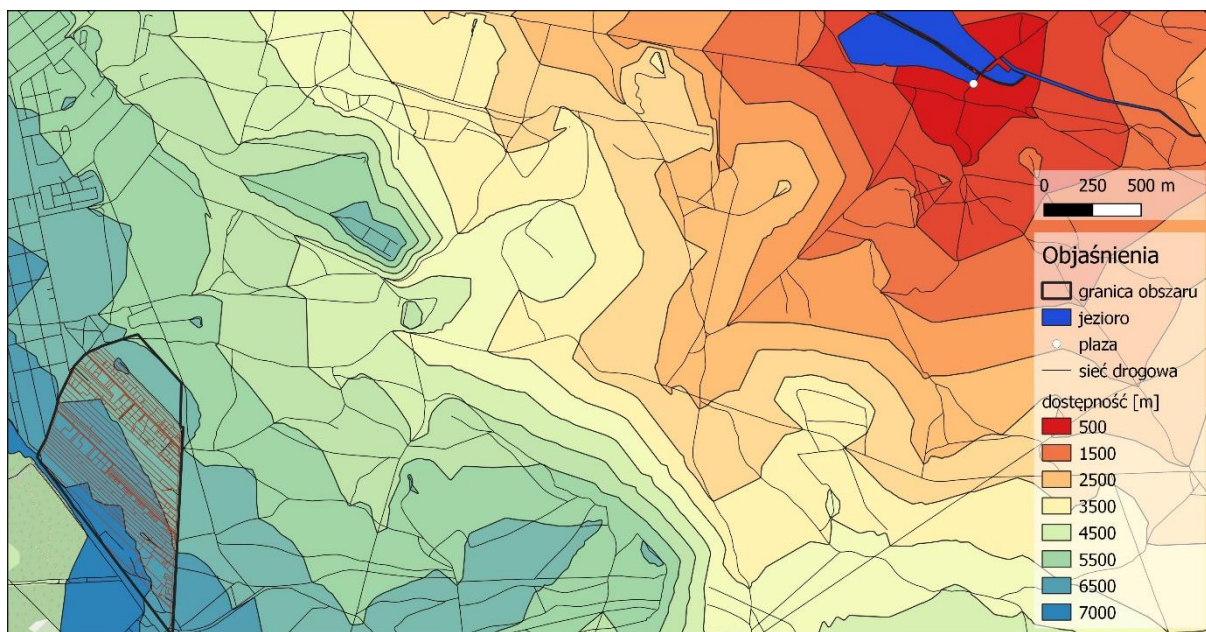
dotrzymania tych poziomów (Dz. U. z 2003 r., nr. 192, poz. 1883). Na analizowanym terenie przyjęto pas szerokości 30 m dla napowietrznej linii elektroenergetycznej o napięciu 220kV oraz 4 m dla 1kV.

W przypadku toru kolejowego obowiązuje ustawa o transporcie kolejowym (Dz.U. z 2021 r. poz. 1984 t.j.), gdzie ustalona jest minimalna odległość od granicy obszaru kolejowego na poziomie 10 m, przy czym przyjmuje się, że odległość od skrajnego toru nie może być mniejsza niż 20 m. Na analizowanym obszarze przyjęto odległość 20 m od osi toru. Odległości od cieków wodnych „Strugi z Rembertowa” regulują przepisy prawa wodnego (Dz.U. z 2021r., poz. 2233 t.j.). Po ustaleniu przebiegu linii brzegowej obowiązuje przepis dotyczący zakazu grodzienia nieruchomości w odległości nie mniejszej niż 1,5 m od linii brzegowej ustalonej dla wód publicznych śródlądowych. Na analizowanym terenie przyjęto odległość 1,5 m od osi cieków.



Ryc. 19. Mapa terenów wyłączonych z zabudowy.

Mapę subkryterium *woda* (Ryc. 20 i Ryc. 21), wykonano przy wykorzystaniu warstw z DBOT10k: SKJZ (jezdnia) i PTWP (woda powierzchniowa). Przykładowe jezioro znajduje się w odległości ok. 6 km od analizowanego terenu. W celu wykonania analizy dostępności do jeziora założono warstwę *plaża*. Dostępność obliczona została przy wykorzystaniu narzędzia *iso-area as polygons (from point)* po sieci drogowej z interwałem 500 m.



Ryc. 20. Mapa dostępności do jeziora (pełny obszar analizy).

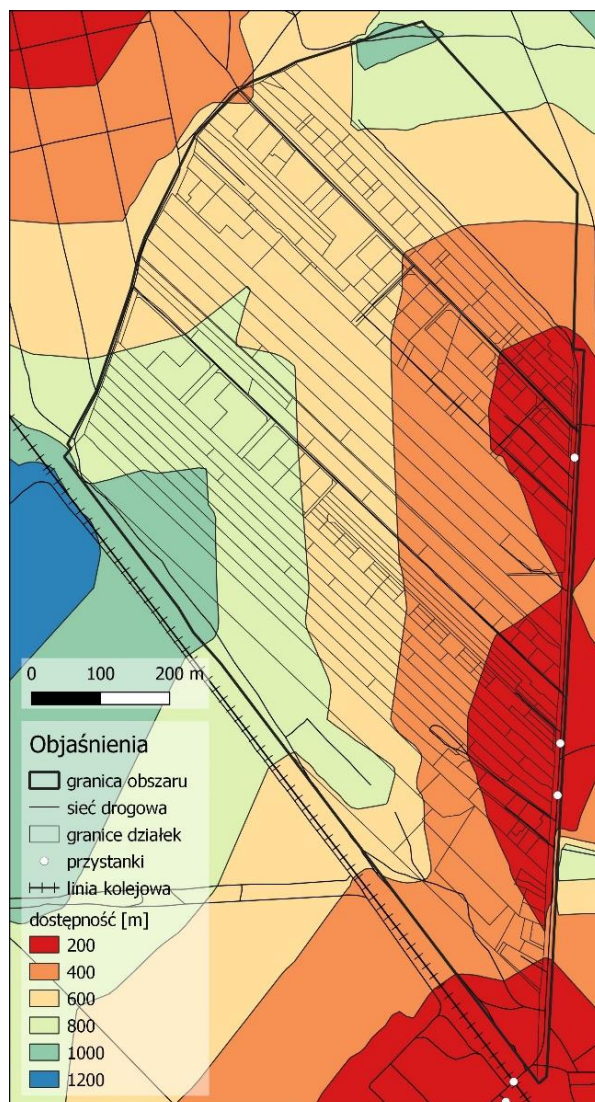
Fragment mapy z przedstawioną dostępnością do jeziora i zaznaczonymi granicami działek przedstawiono na Ryc. 21. Analizowany obszar znajduje się w odległości ok. 6 km od jeziora. Odległości do sugerowanej plaży dla poszczególnych działek wynoszą ok. 5,5–7 km.



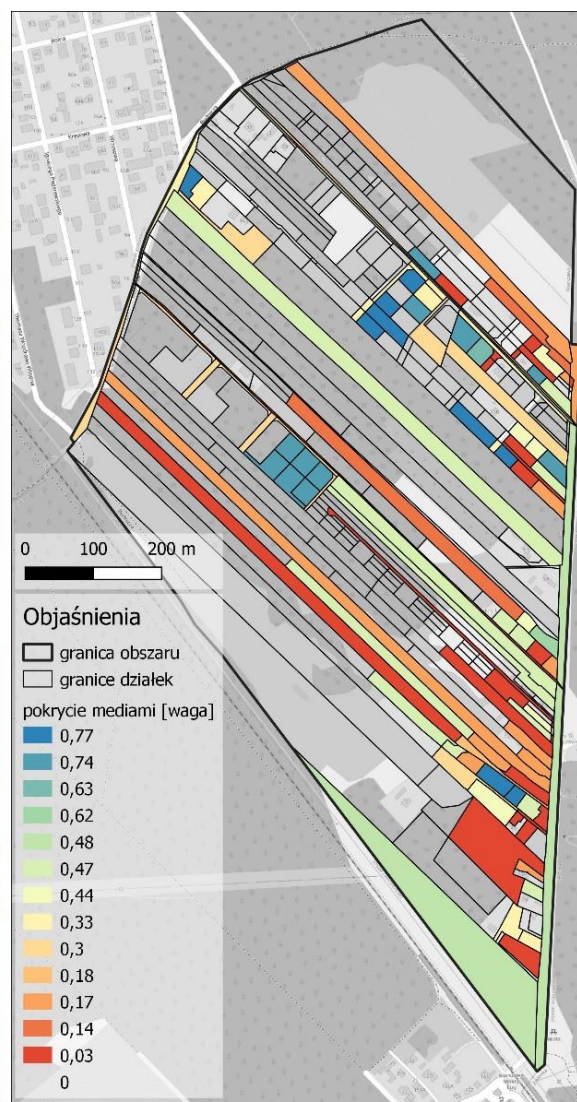
Ryc. 21. Mapa dostępności do jeziora (analizowany teren z zaznaczonymi działkami).

8.2.3. Stopień zagospodarowania

Elementy przypisane do kryterium stopień zagospodarowania to subkryteria: **drogi**, **transport** i **infrastruktura**. Zostały one opracowane kartograficznie w postaci map przedstawiających rozkład przestrzenny danej cechy.



Ryc. 23. Mapa dostępności do komunikacji miejskiej.

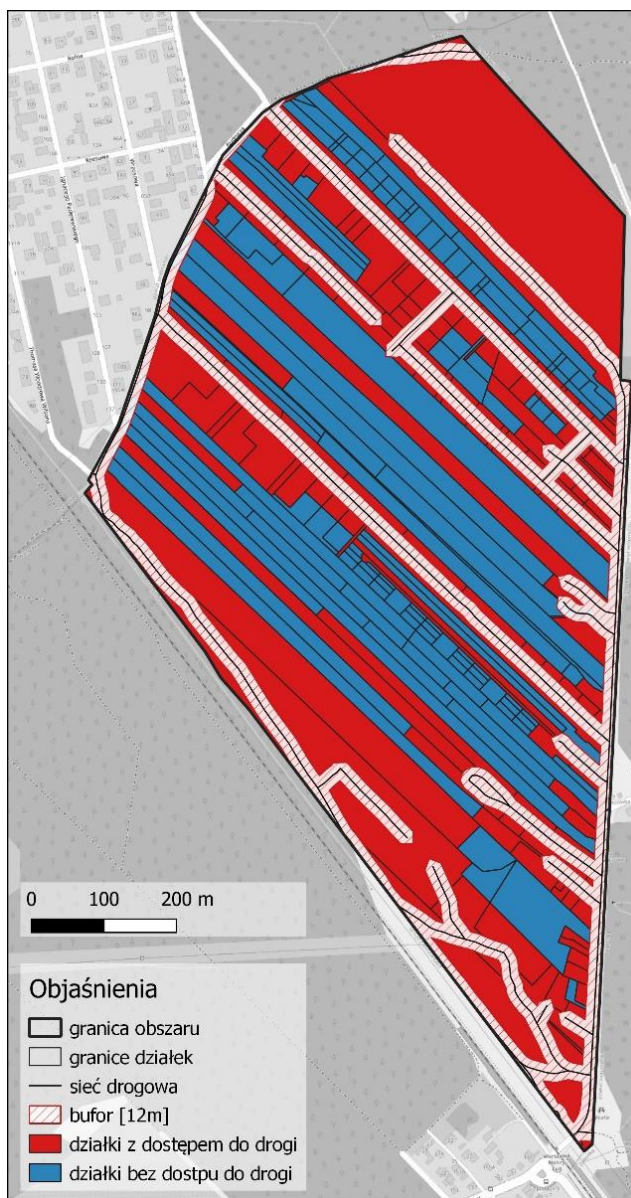


Ryc. 22. Mapa dostępności do infrastruktury.

Mapa subkryterium **transport** została przedstawiona na Ryc. 23. Do wykonania mapy wykorzystano warstwy: *sieć drogową* i *przystanki*. Na podstawie mapy OSM zaznaczone zostały przystanki autobusowe i przystanek kolejowy. Dostępność do komunikacji miejskiej obliczono przy wykorzystaniu narzędzia *iso-area as polygons (from point)* jako odległość od przystanków do działek w przedziałach 200 m po sieci drogowej.

Mapę subkryterium *infrastruktura* przedstawia Ryc. 22. Do wykonania mapy wykorzystano dane dotyczące uzbrojenia terenu udostępnione przez geoportal.gov.pl., warstwa WMS KIUT (Krajowa Integracja Uzbrojenia Terenu). Do każdej działki przypisano istniejące uzbrojenie. Sumaryczne wagi uzbrojenia działek obliczono, korzystając z kalkulatora pól i wykorzystując wagi uzyskane na podstawie badań ankietowych.

Mapę subkryterium *drogi* przedstawiono na Ryc. 24. Do przygotowania mapy wykorzystano warstwy: *drogi* i *działki*. Część działek została przeznaczona pod pas drogowy. Nie są one użytkowane zgodnie z przeznaczeniem co ogranicza ilość działek z bezpośrednim dostępem do drogi. Ponadto działki drogowe często przylegają do działek budowlanych co wpływa na wykluczenie takiej działki z analizy. Aby zwiększyć liczbę działek z dostępem do drogi zastosowano bufor o szerokości 12m. Inny problem dotyczył wielkości działek. W celu ograniczenia liczby zbyt dużych działek z dostępem do drogi wykorzystano procentowy udział działki w dostępie do drogi.



Ryc. 24. Mapa dostępności do dróg.

9.3. Przygotowanie map do analizy

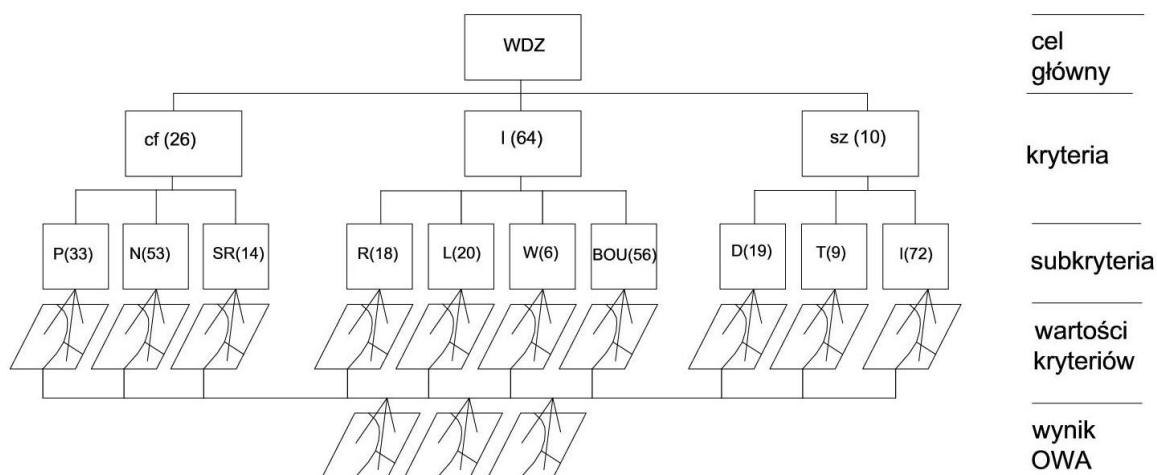
W kolejnym kroku mapy kryteriów i subkryteriów zostały poddane procedurze geoprzetwarzania. Uzyskano zestaw porównywalnych map, który pozwolił na wykonanie analizy AHP-OWA.

Przygotowano trzy zestawy map rastrowych reprezentujących kryteria i subkryteria dla których, na podstawie badań ankietowych, zostały określone odpowiednie wagi. Schemat hierarchicznej struktury zależności kryteriów i subkryteriów przedstawiono na Ryc. 25. Wszystkie mapy subkryteriów były łączone zgodnie z zasadą od najwyższej ocenianej (najwyższa waga) do najgorzej ocenianej. Procedura pozwoliła na uzyskanie map kryteriów spełniających wszystkie warunki zgodnie z przypisanymi wagami (warunek AND).

Pierwszy zestaw subkryteriów reprezentują mapy: **powierzchnia** (waga 33), **nachylenie** (waga 53) i **stopień regularności** (waga 14). W wyniku połączenia wymienionych map subkryteriów otrzymano mapę kryterium **cechy fizyczne**, (waga 26).

Drugi zestaw subkryteriów reprezentują mapy: **rynek** (waga 18), **lasy** (waga 20), **woda** (waga 6), **brak obiektów uciążliwych** (waga 56). W wyniku połączenia wymienionych map subkryteriów otrzymano mapę kryterium **lokalizacja** (waga 64).

Trzeci zestaw subkryteriów reprezentują mapy: **drogi** (waga 19), **transport** (waga 9) i **infrastruktura** (waga 72). W wyniku połączenia wymienionych map subkryteriów otrzymano mapę kryterium **stopień zagospodarowania** (waga 10).



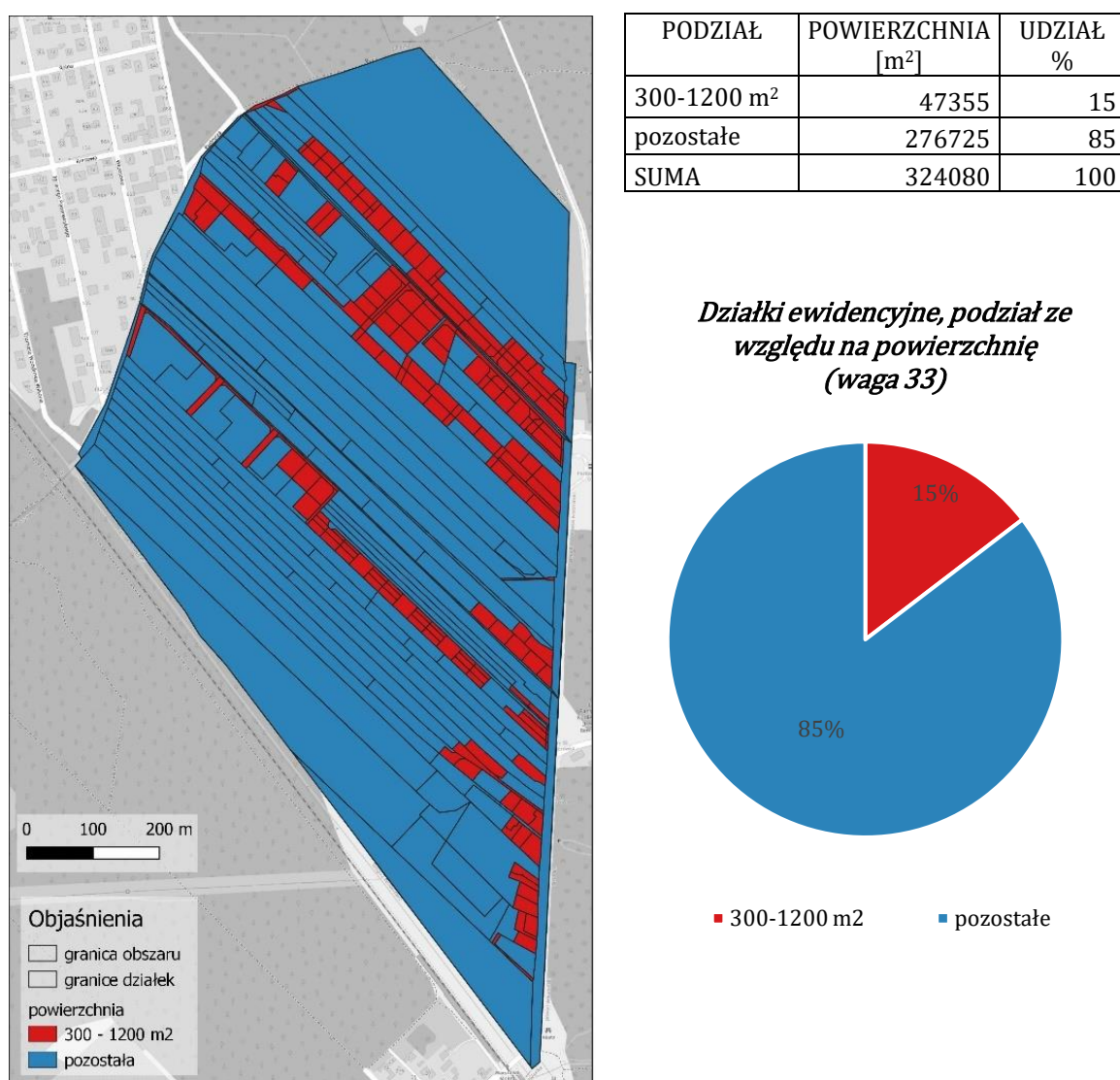
Ryc. 25. Przestrzenny model decyzyjny na podstawie Boroushaki i Malczewski (2008) ze zmianami.

Otrzymane mapy kryteriów zostały połączone zgodnie z zasadami procedury OWA co pozwoliło na uzyskanie zestawu sześciu map reprezentujących ciągłe przejście od warunku AND do warunku OR.

9.3.1. Cechy fizyczne

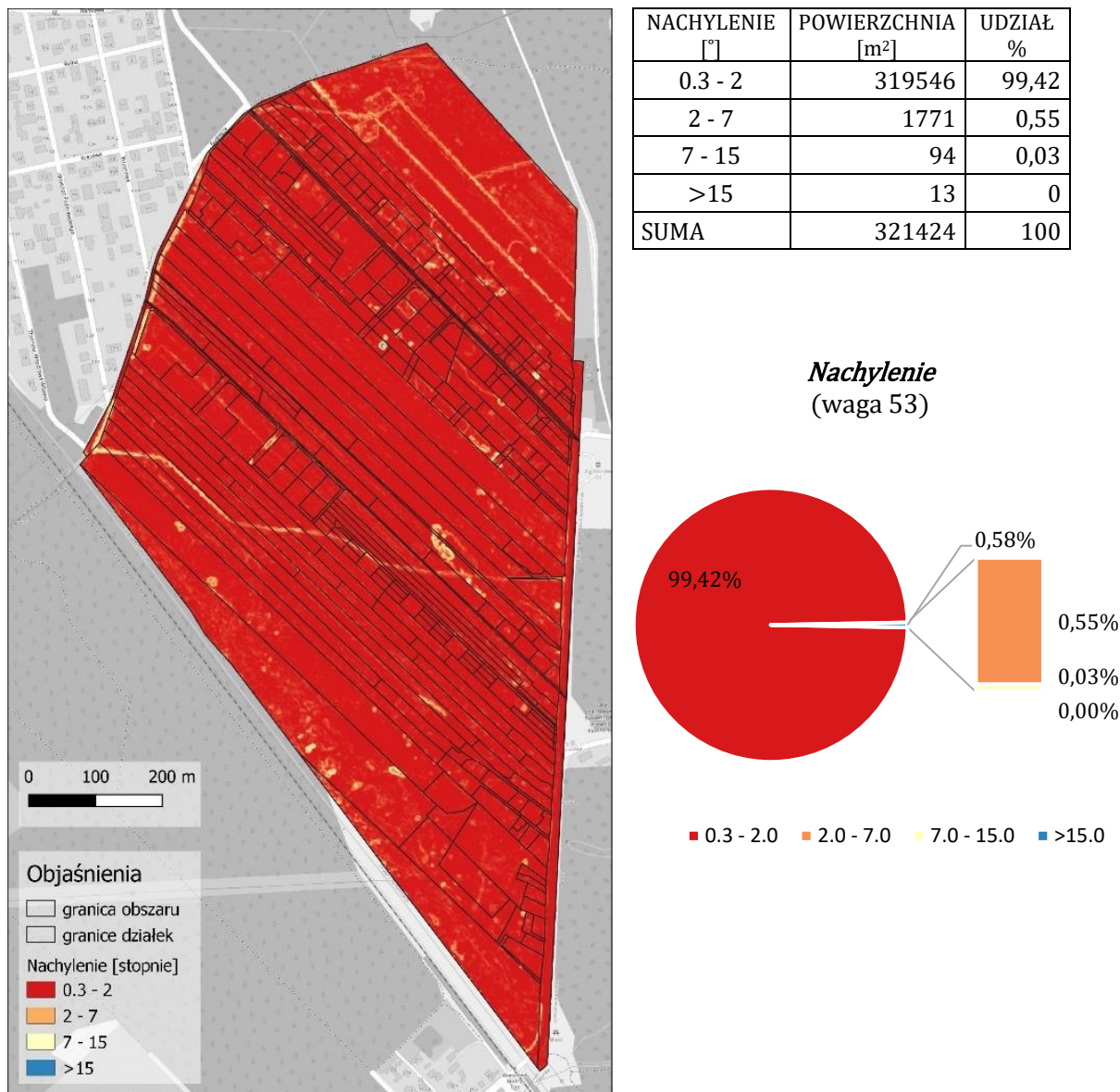
Kryterium *cechy fizyczne* reprezentują trzy mapy subkryteriów: *powierzchnia*, *nachylenie* i *stopień regularności*.

Mapa rastrowa dla subkryterium *powierzchnia* (Ryc. 26) przedstawia, wyróżnione kolorem czerwonym działki ewidencyjne o powierzchni 300-1200m². Działki te stanowią 15% analizowanego obszaru, łącznie 47 355m². Pozostałe działki o powierzchni do 300m² i powyżej 1200m² zajmują 85% analizowanego obszaru co obejmuje 276 725m². Waga dla omawianego kryterium ma wartość 33/100, subkryterium będzie miało wpływ na ocenę kryterium *cechy fizyczne*.



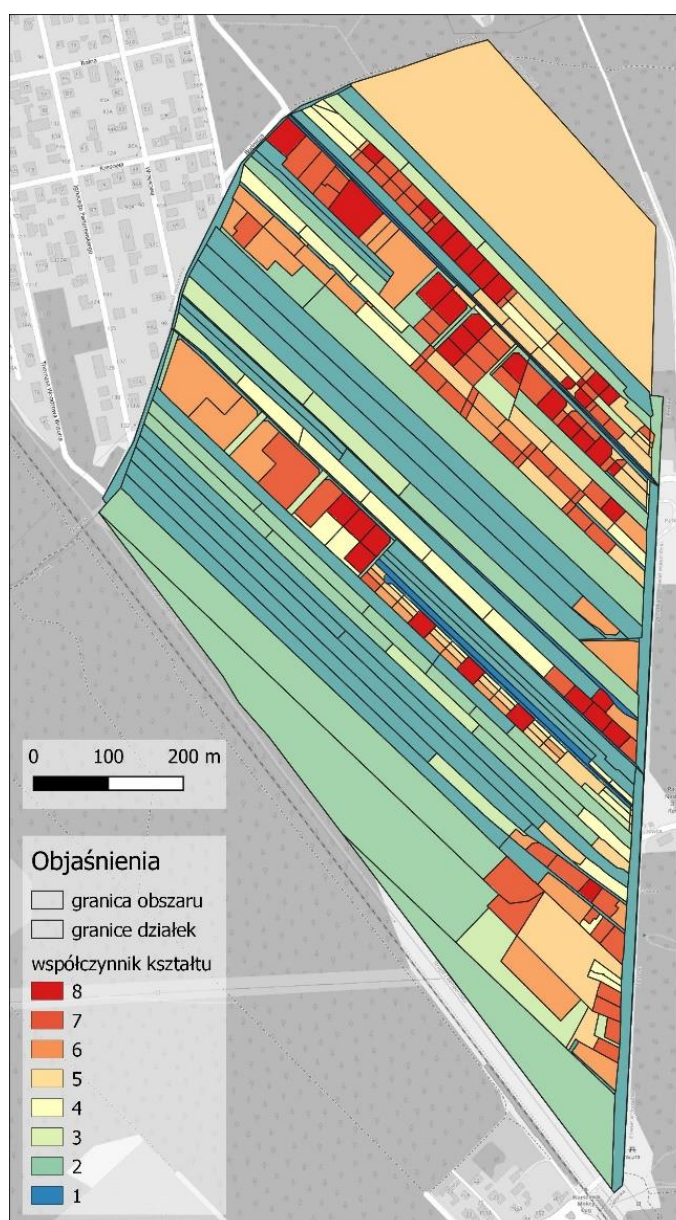
Ryc. 26. Mapa rastrowa i obliczenia dla subkryterium *powierzchnia*.

Mapa rastrowa dla subkryterium **nachylenie** (Ryc. 27) przedstawia tereny spełniające stawiane wymagania, czyli nachylenie powierzchni nie przekraczające 2° . Obszary te łącznie stanowią 99% obszaru czyli $319\,546\text{m}^2$. Pozostałe tereny stanowią 1% badanego obszaru czyli ok $1\,878\text{m}^2$. Waga dla omawianego kryterium przyjmuje wartość 53/100, co oznacza że subkryterium będzie miało istotny wpływ na ocenę kryterium **cechy fizyczne**.

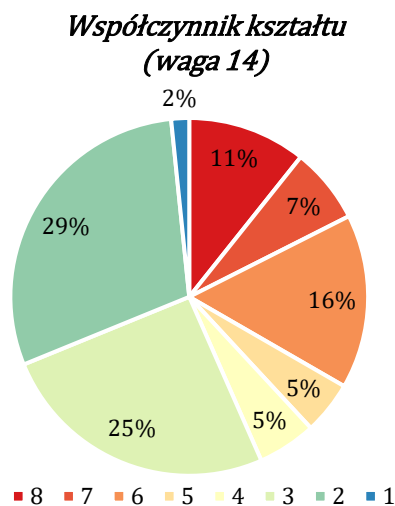


Ryc. 27. Mapa rastrowa i obliczenia dla subkryterium **nachylenie**.

Mapa rastrowa dla subkryterium *stopień regularności* (Ryc. 28). Na badanym terenie przeważają działki rolne dla których współczynnik kształtu mieści się w przedziale 1-3, łącznie stanowią 57% powierzchni terenu, co odpowiada 183 432m². Działki ewidencyjne o preferowanym kształcie, dla których współczynnik kształtu mieści się w przedziale 7-8 to 18% powierzchni analizowanego terenu, czyli 56 881m². Waga dla współczynnika kształtu przyjmuje wartość 14/100, nie będzie mieć znaczącego wpływu na ocenę kryterium *cechy fizyczne*.



WSPÓŁ-CZYNNIK KSZTAŁTU	POWIERZCHNIA [m]	UDZIAŁ %
8	34714	11
7	22167	7
6	51119	16
5	15480	5
4	17164	5
3	82417	25
2	95748	30
1	5267	2
SUMA	324076	100

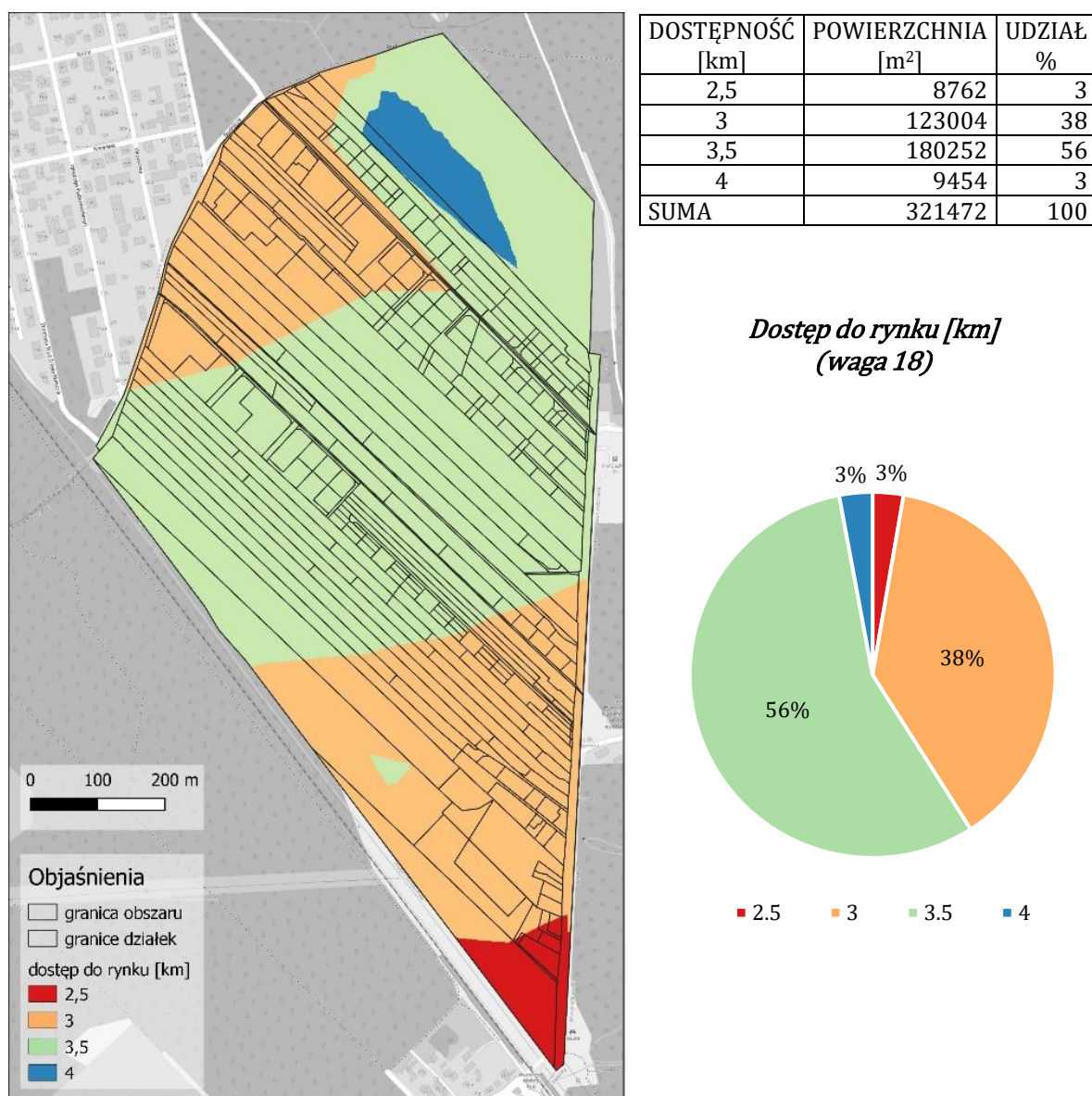


Ryc. 28. Mapa rastrowa i obliczenia dla subkryterium *stopień regularności*.

9.3.2. Lokalizacja

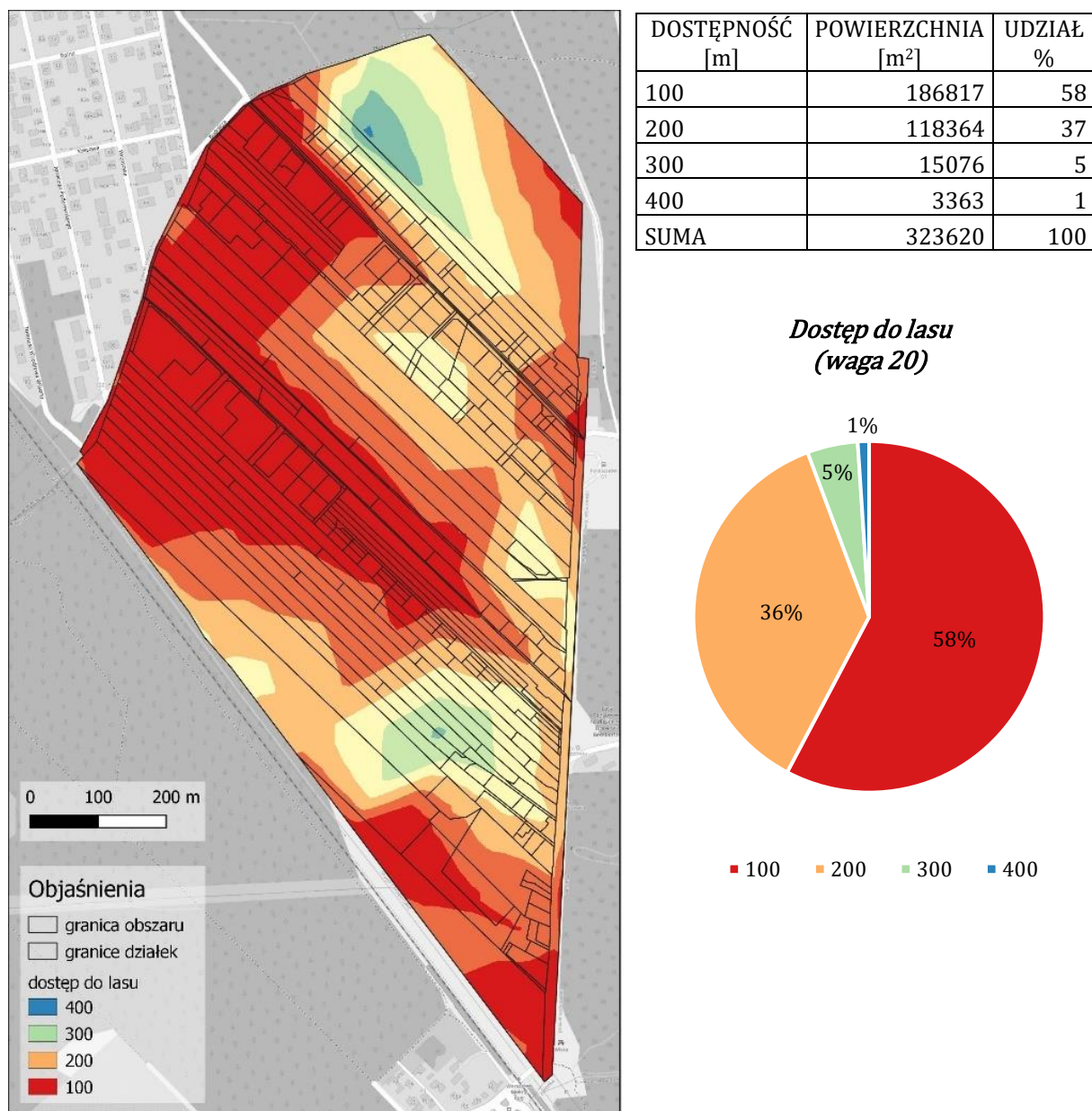
Kryterium *lokalizacja* reprezentują cztery mapy subkryteriów: *rynek*, *lasy*, *woda* i *brak obiektów uciążliwych*.

Mapa rastrowa dla subkryterium *rynek* (Ryc. 29) przedstawia tereny z dostępnością do najbliższych ośrodków miejskich w zakresie 2,5–4km. Z przedstawionych danych wynika, że dostęp do najbliższego centrum w odległości do 2,5km ma 3% obszaru, 38% jest w odległości ok. 3km, 56% to 3,5km. Waga omawianego czynnika przyjmuje wartość 18/100, mamy cztery subkryteria czyli subkryterium rynek będzie miało wpływ na ocenę kryterium *lokalizacja*.



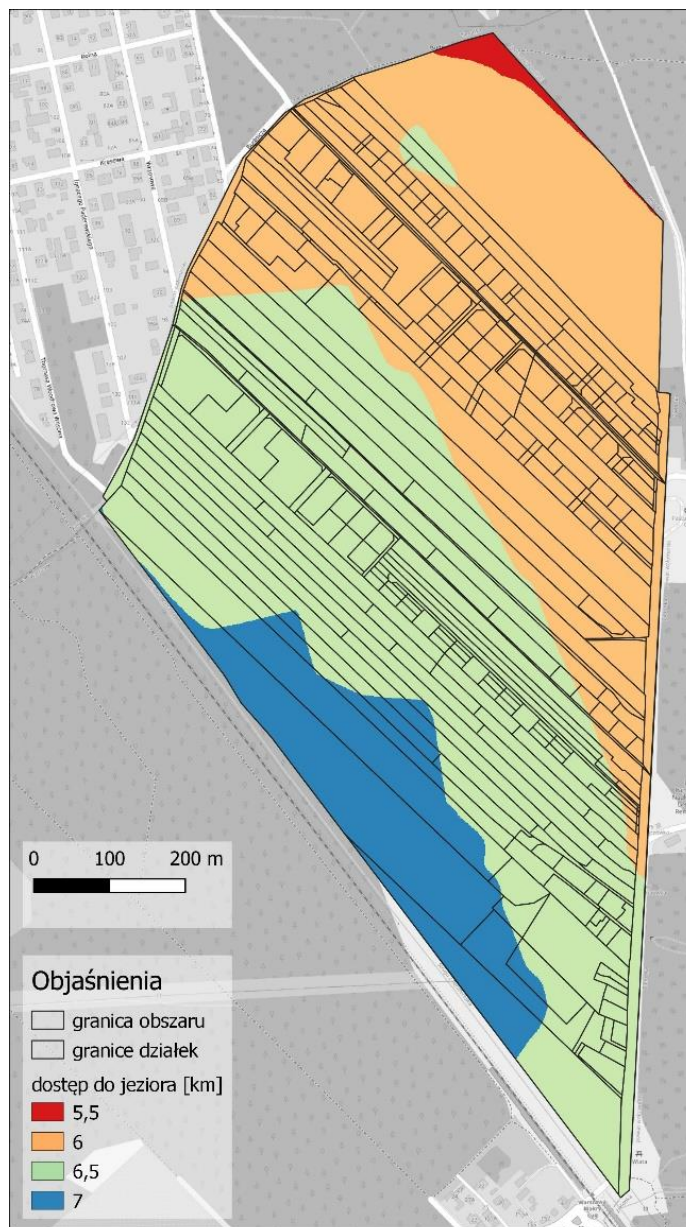
Ryc. 29. Mapa rastrowa i obliczenia dla subkryterium *rynek*.

Mapa rastrowa dla subkryterium *lasu* (Ryc. 30) przedstawia obszary porośnięte lasem oraz odległości wstępu do lasu w zakresie 100–200m. Z przedstawionej mapy wynika że, 58% obszaru ma zapewniony dostęp do lasu w odległości 100m, 43% w odległości do 400m. Waga analizowanego czynnika przyjmuje wartość 20/100, czyli będzie widoczny wpływ subkryterium na ocenę kryterium *lokalizacja*.



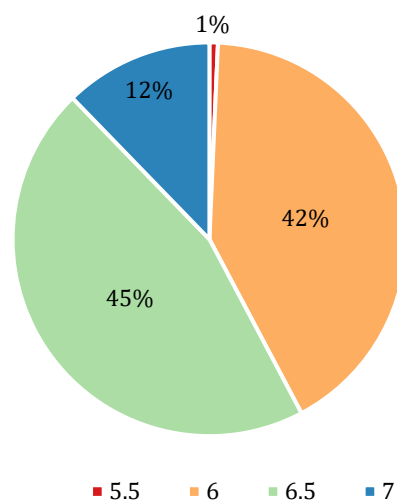
Ryc. 30. Mapa rastrowa i obliczenia dla subkryterium *lasu*.

Mapa rastrowa dla subkryterium *woda* (Ryc. 31) przedstawia obszary z dostępem do jeziora w zakresie 5,5–7km. Z przedstawionej mapy wynika, że dostęp do jeziora dla 43% obszaru jest w odległości ok. 6km. Dla pozostałej części, 57% obszaru to odległość do 7km. Waga analizowanego subkryterium przyjmuje wartość 6/100 czyli nie będzie mało istotnego znaczenia w ocenie kryterium *lokalizacja*.



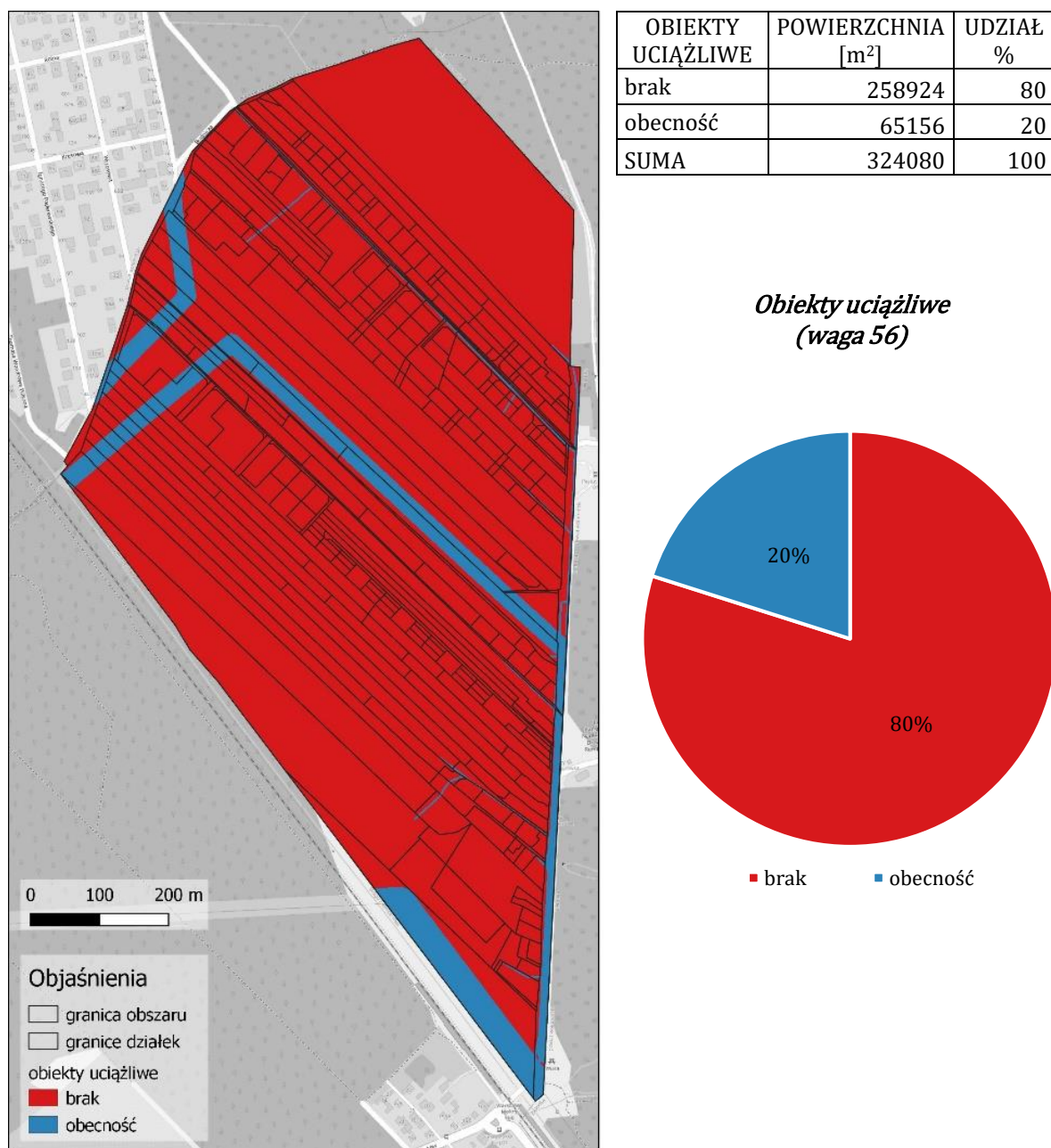
DOSTĘPNOŚĆ [km]	POWIERZCHNIA [m ²]	UDZIAŁ %
5,5	2234	1
6	133589	42
6,5	146251	45
7	39398	12
SUMA	321472	100

*Dostęp do jeziora [km]
(waga 6)*



Ryc. 31. Mapa rastrowa i obliczenia dla subkryterium *woda*.

Mapa rastrowa dla subkryterium **brak obiektów uciążliwych** (Ryc. 32) przedstawia tereny na których kolorem niebieskim zaznaczono bufory z przebiegiem linii elektroenergetycznej, linii kolejowej i rzeki zaliczane do obiektów uciążliwych. Z przedstawionej mapy wynika, że na 80% terenu nie ma wpływu obecność obiektów uciążliwych. Waga analizowanego subkryterium przyjmuje wartość 56/100, w dalszych analizach obszary te zostaną wykluczone z badań.



Ryc. 32. Mapa rastrowa i obliczenia dla subkryterium **brak obiektów uciążliwych**.

9.3.3. Stopień zagospodarowania

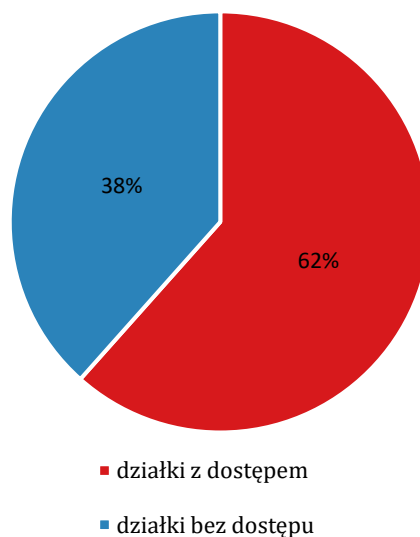
Kryterium *stopień zagospodarowania* reprezentują trzy mapy subkryteriów: *drogi*, *transport* i *infrastruktura*.

Mapa rastrowa dla subkryterium *drogi* została przedstawiona na Ryc. 33. Na analizowanym terenie 62% działek ma zapewniony dostęp do drogi natomiast 38% nie posiada zapewnionego dostępu do drogi. Waga analizowanego subkryterium przyjmuje wartość 19/100 co oznacza, że nie będzie ono miało istotnego wpływu na kryterium *stopień zagospodarowania*.



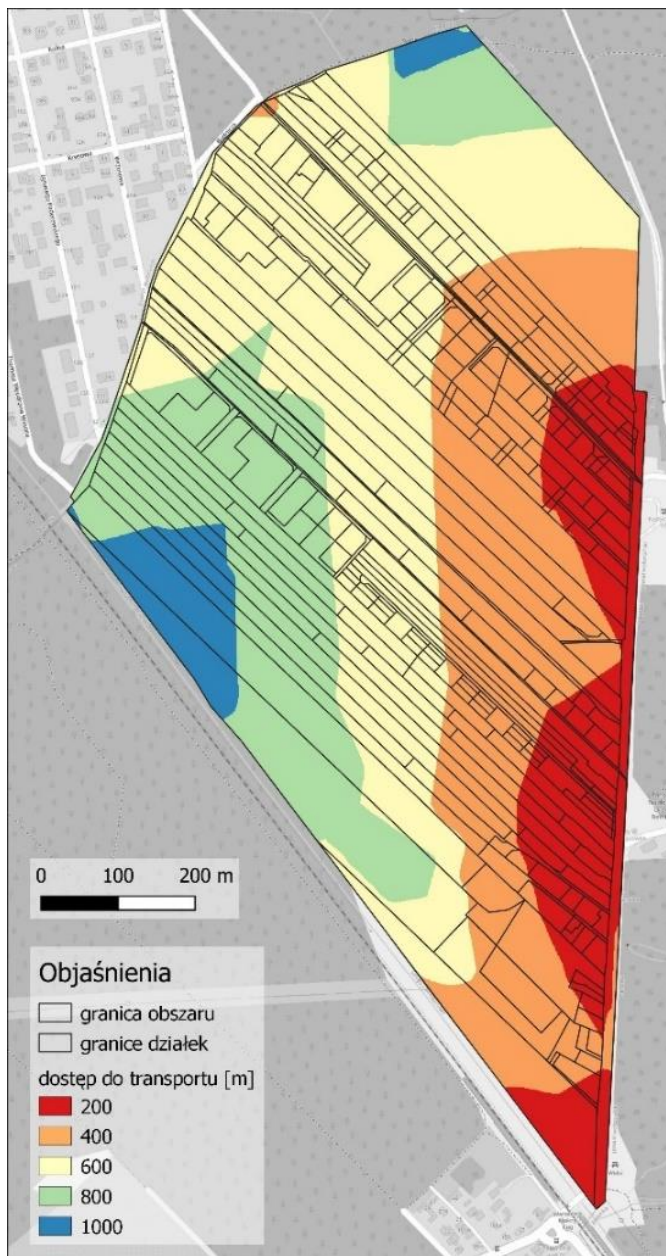
DOSTĘP DO DROGI	POWIERZCHNIA [m ²]	UDZIAŁ %
działki z dostępem	199284	62
działki bez dostępu	124337	38
SUMA	323621	100

Dostęp do drogi (waga 19)



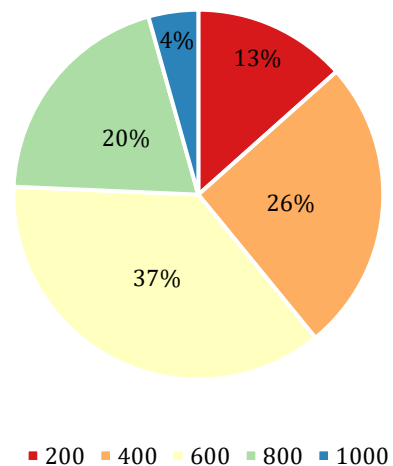
Ryc. 33. Mapa rastrowa i obliczenia dla subkryterium *drogi*.

Mapa rastrowa dla subkryterium **transport** została przedstawiona na Ryc. 34. Dostęp do transportu w odległości 200m jest zapewniony dla 13% obszaru. 24% ma dostęp utrudniony jest to ok. 800m do środków transportu miejskiego. Waga analizowanego czynnika przyjmuje wartość 9/100 co oznacza mały udział subkryterium transport w ocenie kryterium **stopień zagospodarowania**.



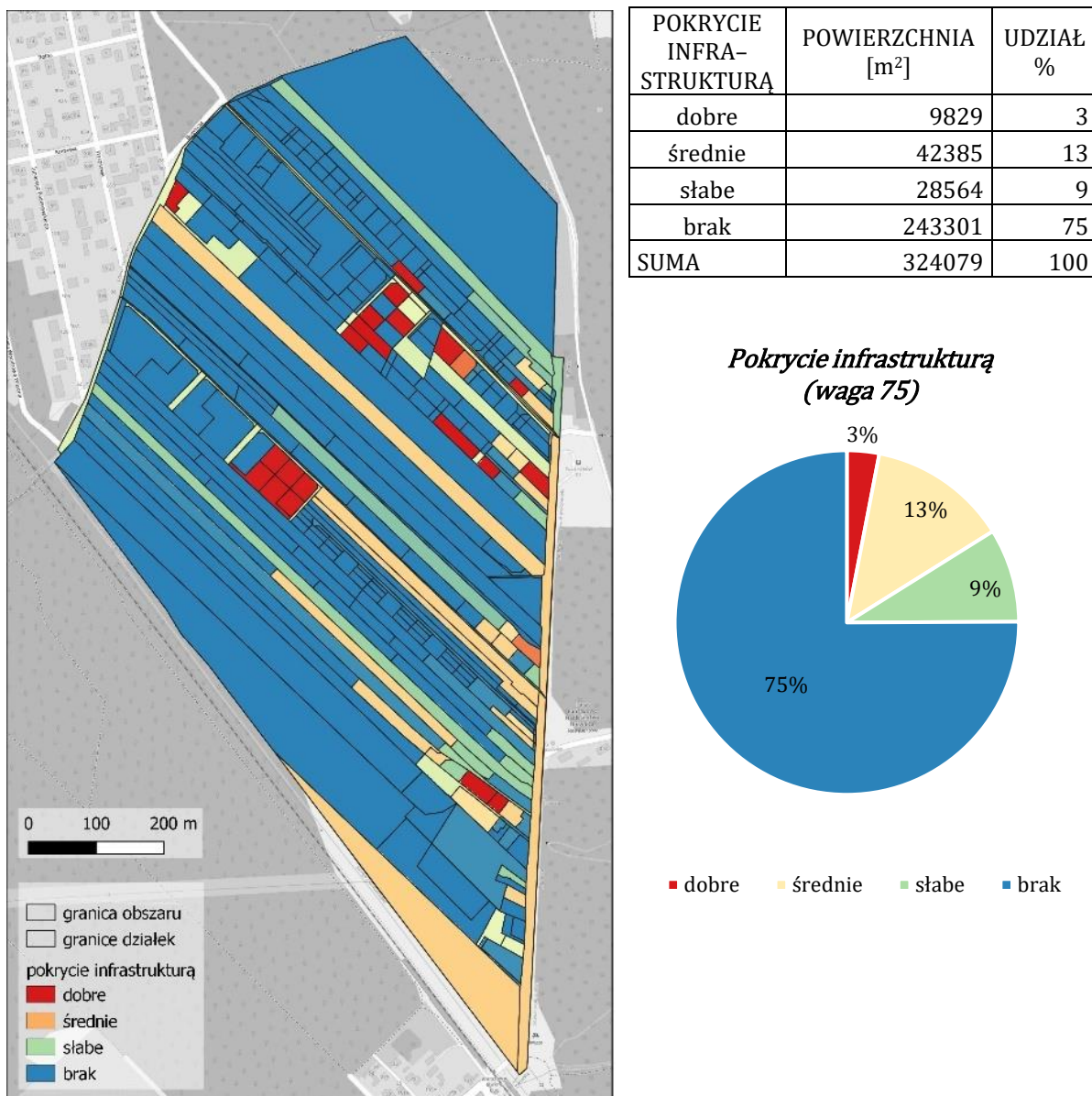
DOSTĘP [m]	POWIERZCHNIA [m ²]	UDZIAŁ %
200	43139	13
400	82517	26
600	117643	37
800	64175	20
1000	13999	4
SUMA	321473	100

Dostęp do transportu [m]
(waga 9)



Ryc. 34. Mapa rastrowa i obliczenia dla subkryterium **transport**.

Mapę rastrową dla subkryterium *infrastruktura* przedstawia Ryc. 35. Z przedstawionych danych wynika, że obszar z zapewnioną infrastrukturą stanowi tylko 3%. Waga dla analizowanego subkryterium przyjmuje wartość 75/100 co oznacza duży wpływ tego czynnika na kryterium *stopień zagospodarowania*.



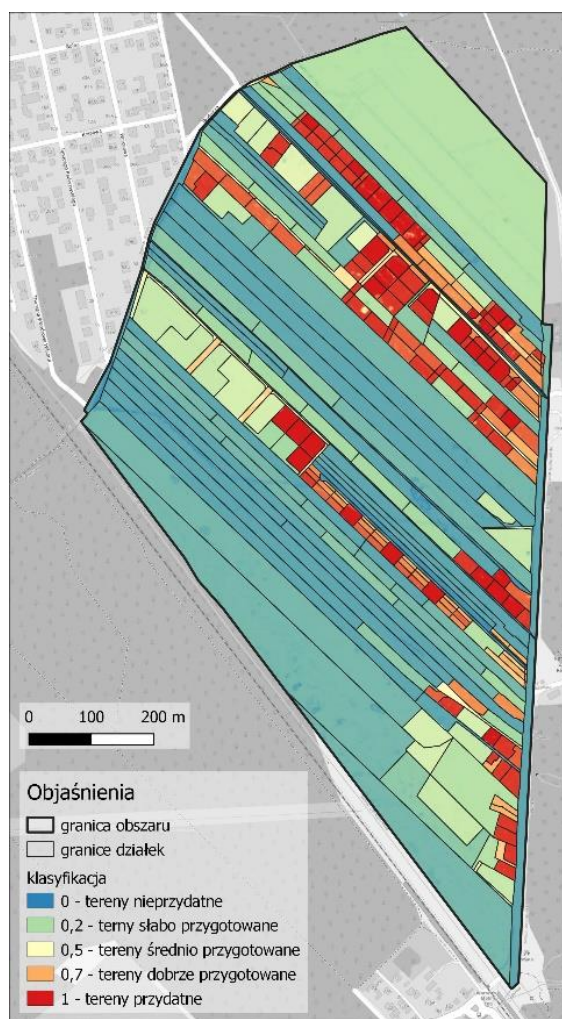
Ryc. 35. Mapa rastrowa i obliczenia dla subkryterium *infrastruktura*.

9.4. Analiza AHP-OWA

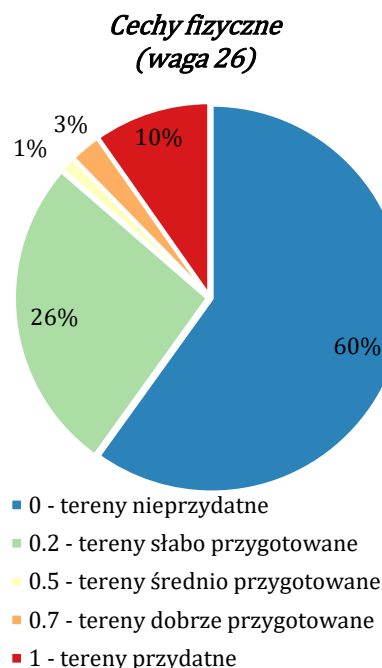
9.4.1. Mapy kryteriów

Zestawy map poddano analizie AHP-OWA. Mapy subkryteriów zostały połączone od najlepiej ocenianego kryterium. Mapy przedstawiają wariant najbardziej ostrożny, wszystkie warunki muszą być spełnione a warstwy ułożone są od najwyższej ocenianej.

Analizę AHP-OWA przeprowadzoną dla kryterium *cechy fizyczne* przedstawiono na Ryc. 36. Zastosowano następującą kolejność i wagowanie warstw subkryteriów: *nachylenie* (53), *powierzchnia* (33), *stopień regularności* (10). Z przedstawionych danych statystycznych widzimy, że ok. 60% obszaru stanowią tereny nieprzydatne. Tereny spełniające wymagania respondentów to ok. 13% obszaru. Waga przypisana do kryterium przyjmuje wartość 26/100, czyli udział kryterium będzie widoczny w dalszych analizach.

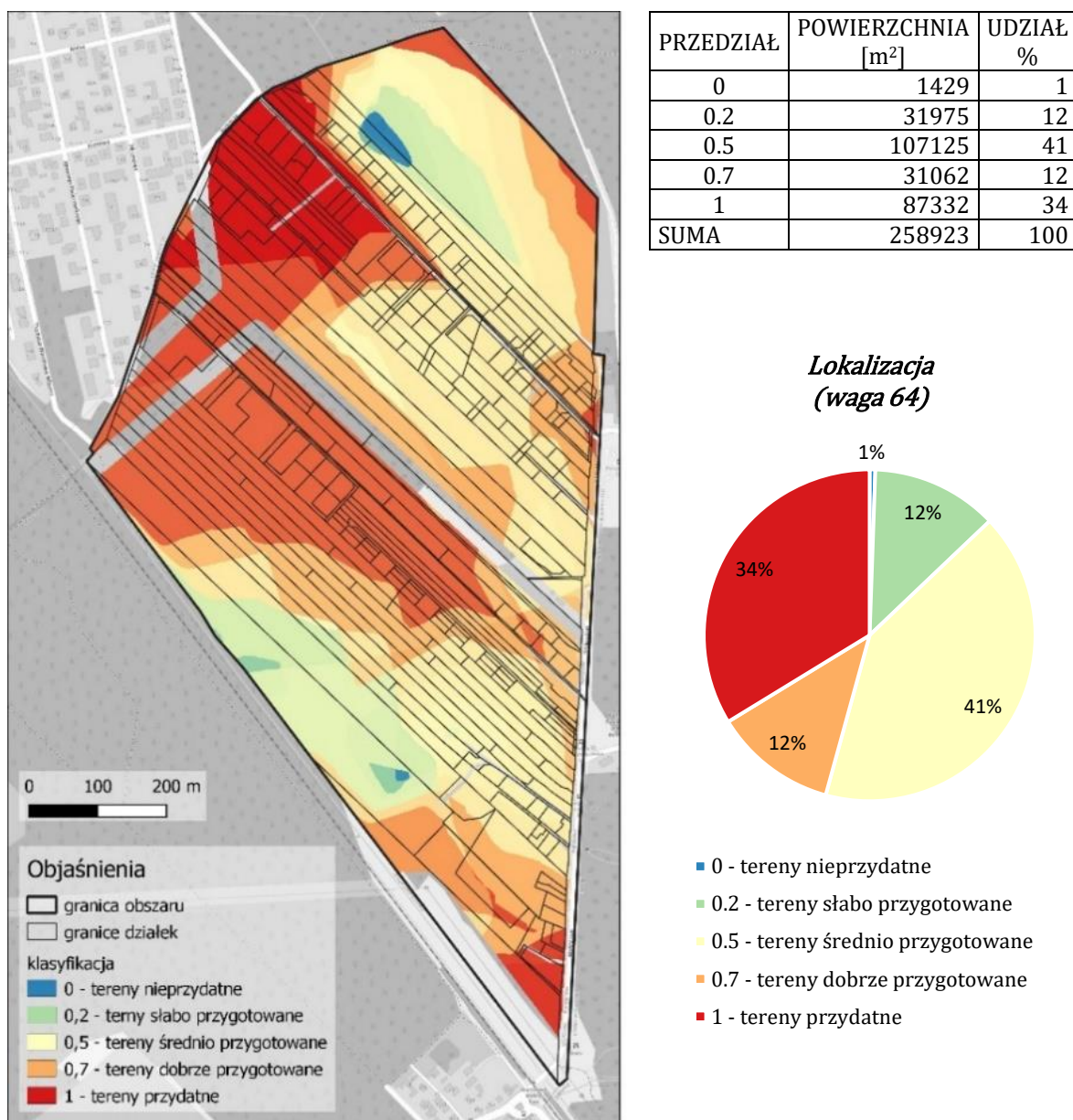


PRZEDZIAŁ	POWIERZCHNIA [m ²]	UDZIAŁ %
0	192562	60
0.2	84979	26
0.5	4243	1
0.7	8252	3
1	31324	10
SUMA	321360	100



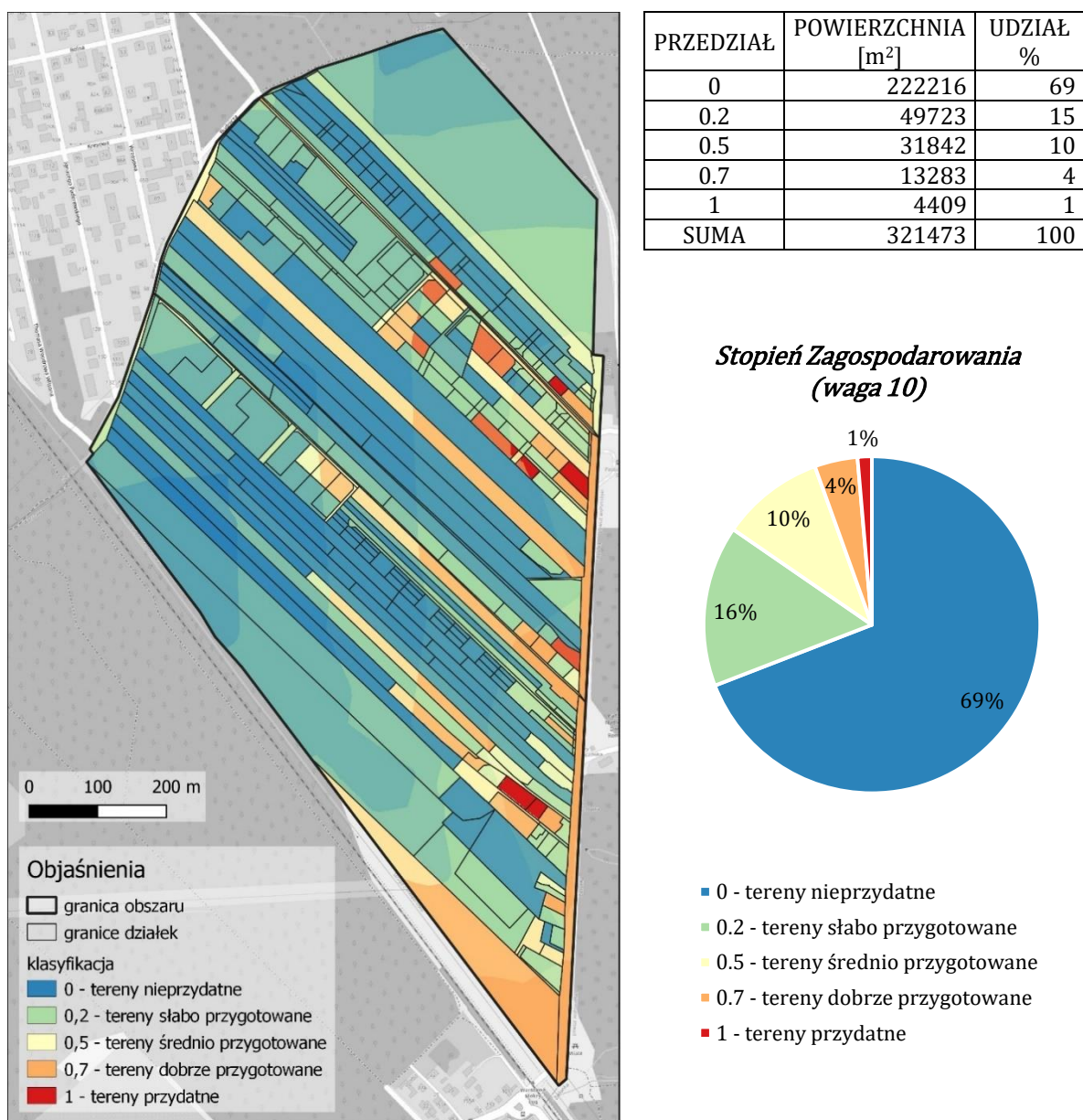
Ryc. 36. Analiza AHP-OWA dla kryterium *cechy fizyczne*.

Analizę AHP-OWA przeprowadzoną dla kryterium **lokalizacja** przedstawiono na Ryc. 37. Zastosowano następującą kolejność i wagowanie warstw subkryteriów: **brak obiektów uciążliwych** (56), **lasy** (20), **rynek** (18), **woda** (6). Na mapie wycięte zostały obszary determinujące przebieg linii elektroenergetycznych, kolei i rzeki. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że 34% terenów jest atrakcyjnych dla respondentów. Waga dla kryterium przyjmuje wartość 64/100 co w istotny sposób wpłynie na przebieg dalszej analizy.



Ryc. 37. Analiza AHP-OWA dla kryterium **lokalizacja**.

Analiza AHP-OWA przeprowadzona dla kryterium *stopień zagospodarowania* (Ryc. 38). Zastosowano następującą kolejność i wagowanie warstw subkryteriów: *infrastruktura* (72), *drogi* (19), *transport* (9). Przeważająca część badanego obszaru 69% nie posiada zainwestowania związanego z infrastrukturą. Obszary spełniające wymagania to zaledwie 1% analizowanego terenu. Waga kryterium przyjmuje wartość 10/100, czyli nie będzie ono miało wyraźnego wpływu na wyniki analizy.



Ryc. 38. Analiza AHP-OWA dla kryterium *stopień zagospodarowania*.

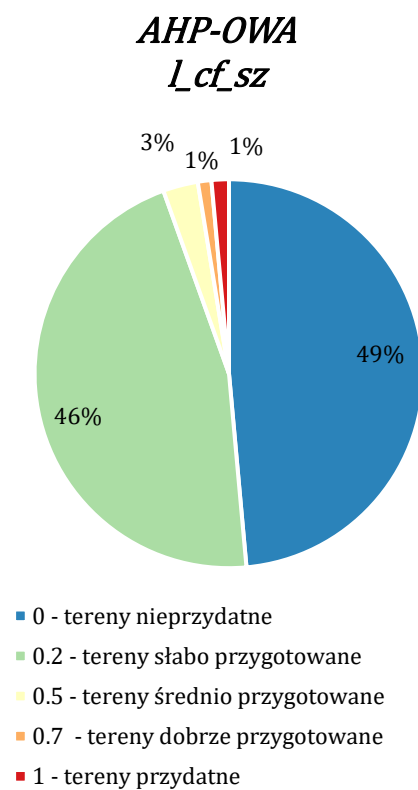
9.4.2. Wyniki analizy – ranking końcowy

W etapie końcowym uzyskano zestaw map od terenów spełniających wszystkie zadane kryteria (warunek AND) przez mapy pośrednie (w tym WLC) po mapę spełniającą tylko jedno kryterium (warunek OR). Wagi kryteriów nie ulegają zmianie natomiast zmienia się kolejność warstw.

Analiza AHP-OWA przeprowadzona dla następującej kolejności kryteriów i ich wag: **lokalizacja** (64), **cechy fizyczne** (26), **stopień zagospodarowania** (10) (Ryc. 39). Na przedstawionej mapie 49% stanowią tereny nie spełniające założonych kryteriów, kolejne 46% to tereny słabo przygotowane; 2% stanowią tereny spełniające stawiane wymagania.

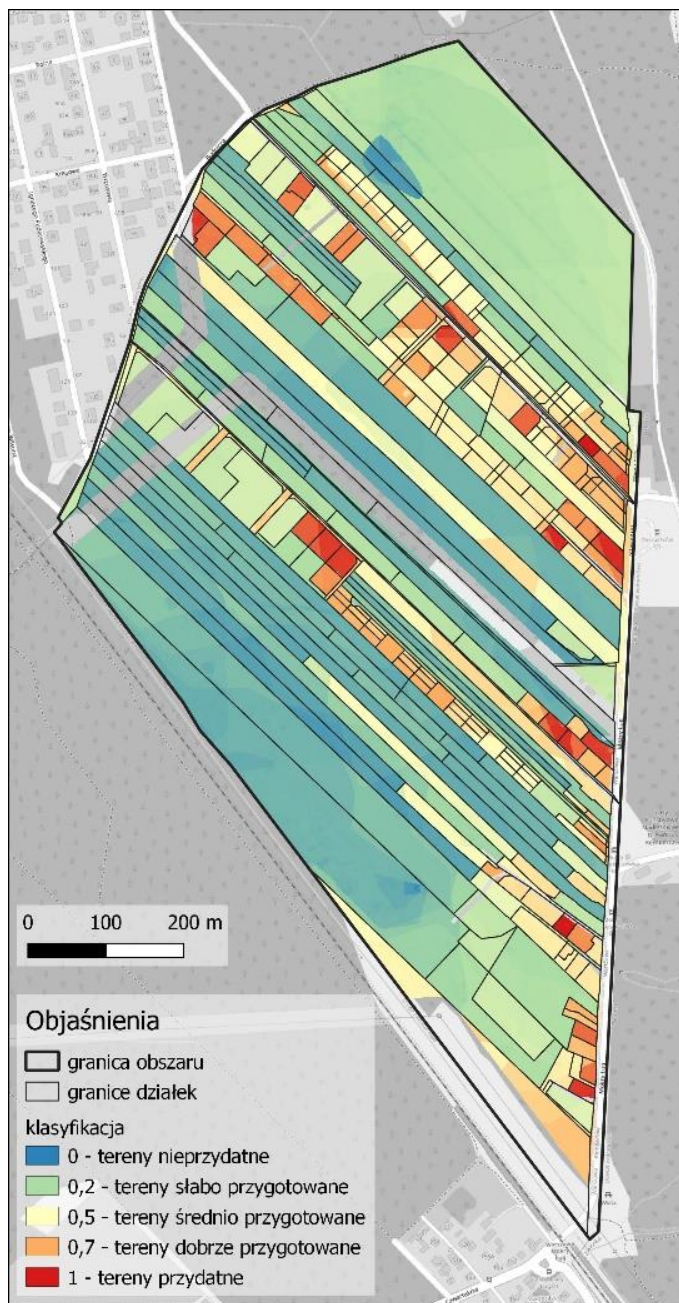


PRZEDZIAŁ	POWIERZCHNIA [m ²]	UDZIAŁ %
0	125554	49
0.2	118792	46
0.5	7523	3
0.7	2910	1
1	3739	1
SUMA	258518	100

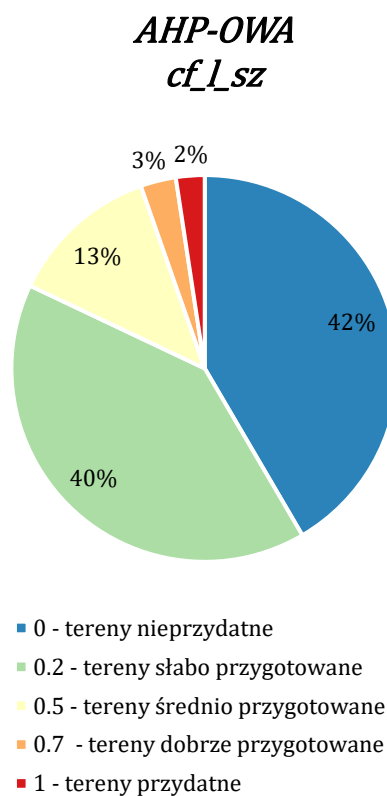


Ryc. 39. AHP-OWA **lokalizacja** (waga 64), **cechy fizyczne** (waga 26), **stopień zagospodarowania** (waga 10).

Analiza AHP-OWA przeprowadzona dla następującej kolejności kryteriów i ich wag: **cechy fizyczne** (26), **lokalizacja** (64), **stopień zagospodarowania** (10) (Ryc. 40). Na przedstawionej mapie 42% stanowią tereny nie spełniające założonych kryteriów, 40% to tereny słabo przygotowane; 5% stanowią tereny spełniające stawiane wymagania.

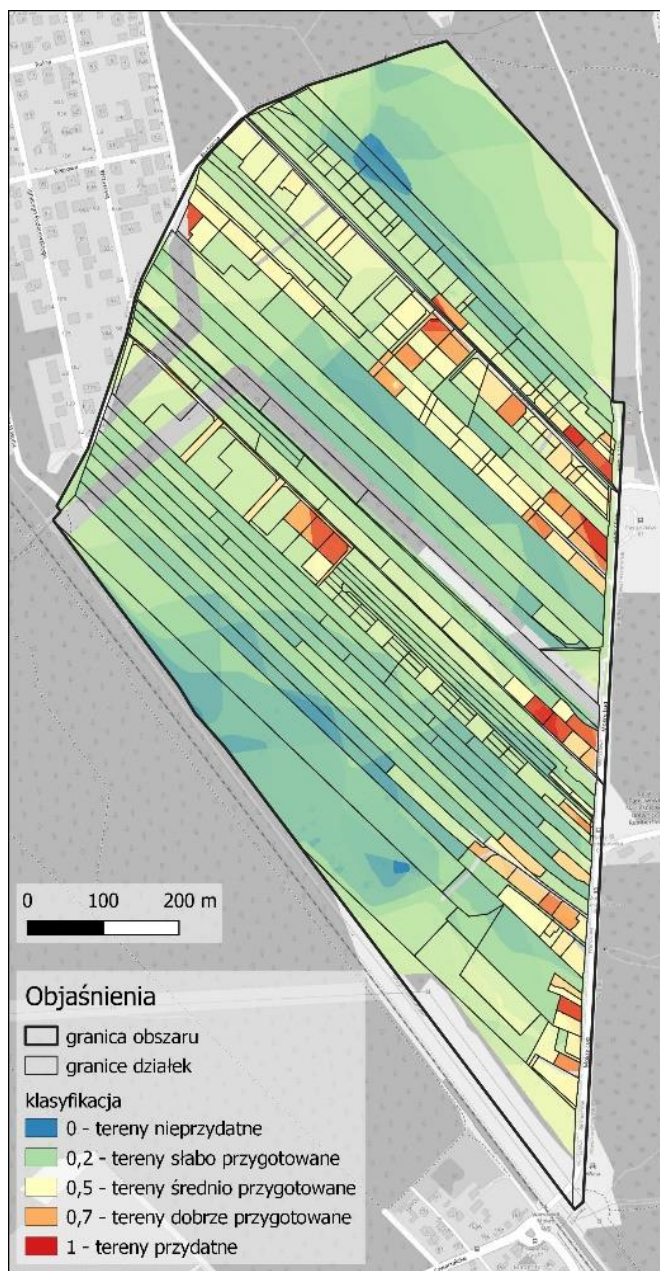


PRZEDZIAŁ	POWIERZCHNIA [m ²]	UDZIAŁ %
0	107479	42
0.2	104603	40
0.5	32570	13
0.7	7661	3
1	6206	2
SUMA	258519	100

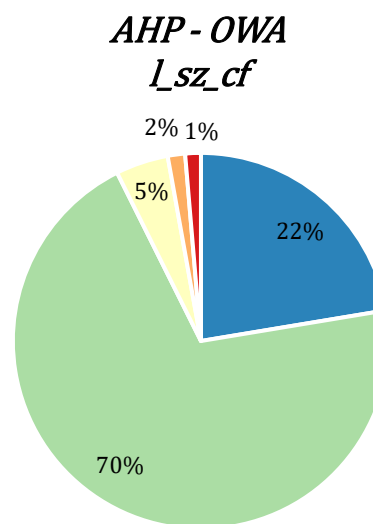


Ryc. 40. AHP – OWA **cechy fizyczne** (waga 26), **lokalizacja** (waga 64), **stopień zagospodarowania** (waga 10).

Analiza AHP-OWA przeprowadzona dla następującej kolejności kryteriów i ich wag: **lokalizacja** (64), **stopień zagospodarowania** (10), **cechy fizyczne** (26) (Ryc. 41). Na przedstawionej mapie 22% stanowią tereny nie spełniające założonych kryteriów, 70% to tereny słabo przygotowane, 2% stanowią tereny spełniające stawiane wymagania.



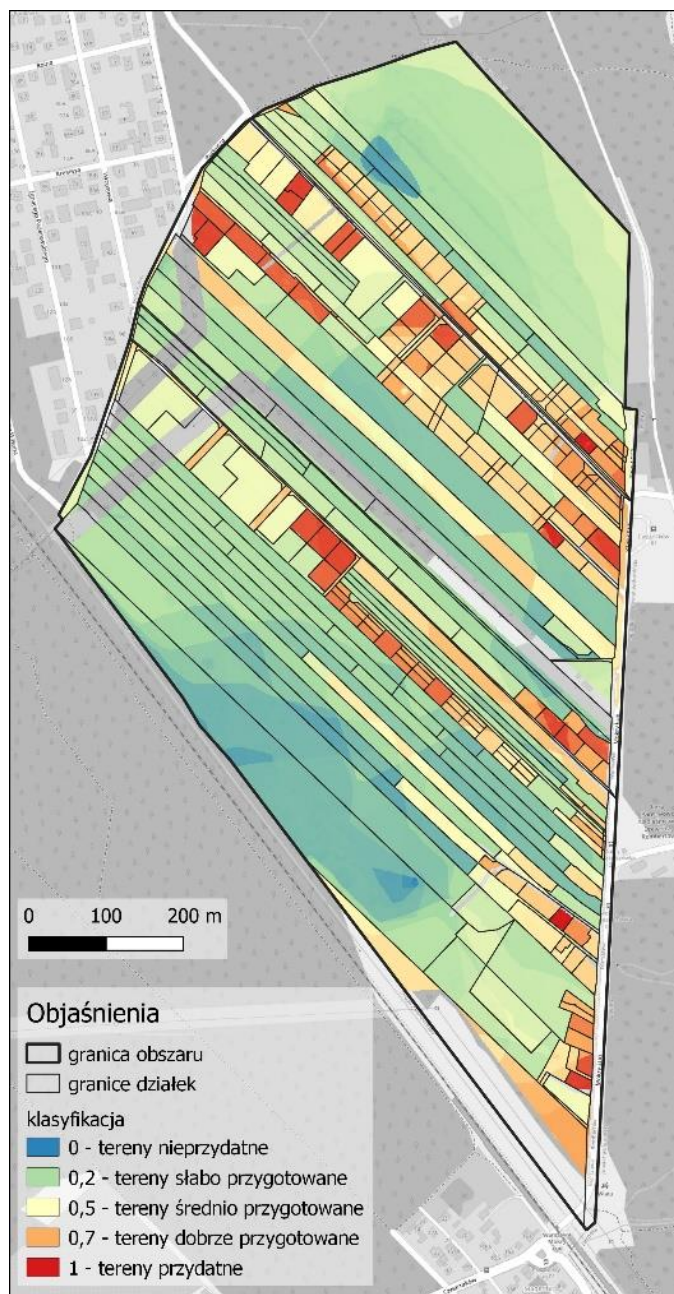
PRZEDZIAŁ	POWIERZCHNIA [m ²]	UDZIAŁ %
0	57871	22
0.2	181623	70
0.5	11690	5
0.7	3857	1
1	3476	1
SUMA	258517	100



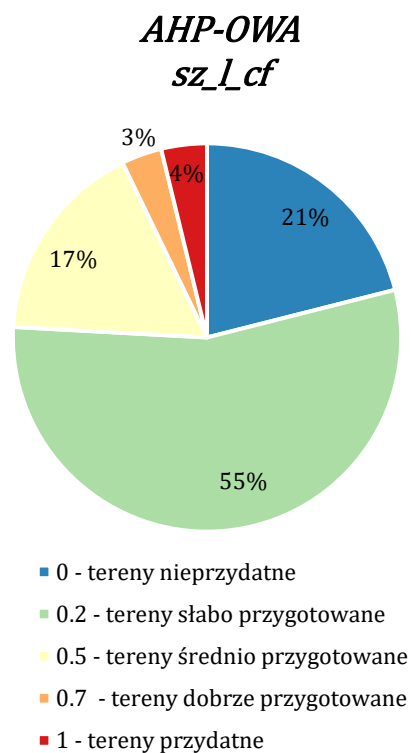
- 0 - tereny nieprzydatne
- 0.2 - tereny słabo przygotowane
- 0.5 - tereny średnio przygotowane
- 0.7 - tereny dobrze przygotowane
- 1 - tereny przydatne

Ryc. 41. AHP – OWA lokalizacja (waga 64), stopień zagospodarowania (waga 10), cechy fizyczne (waga 26).

Analiza AHP-OWA przeprowadzona dla następującej kolejności kryteriów i ich wag: **stopień zagospodarowania** (10), **lokalizacja** (64), **cechy fizyczne** (26) (Ryc. 42). Na przedstawionej mapie 21% stanowią tereny nie spełniające założonych kryteriów, 55% to tereny słabo przygotowane, 7% stanowią tereny spełniające stawiane wymagania.

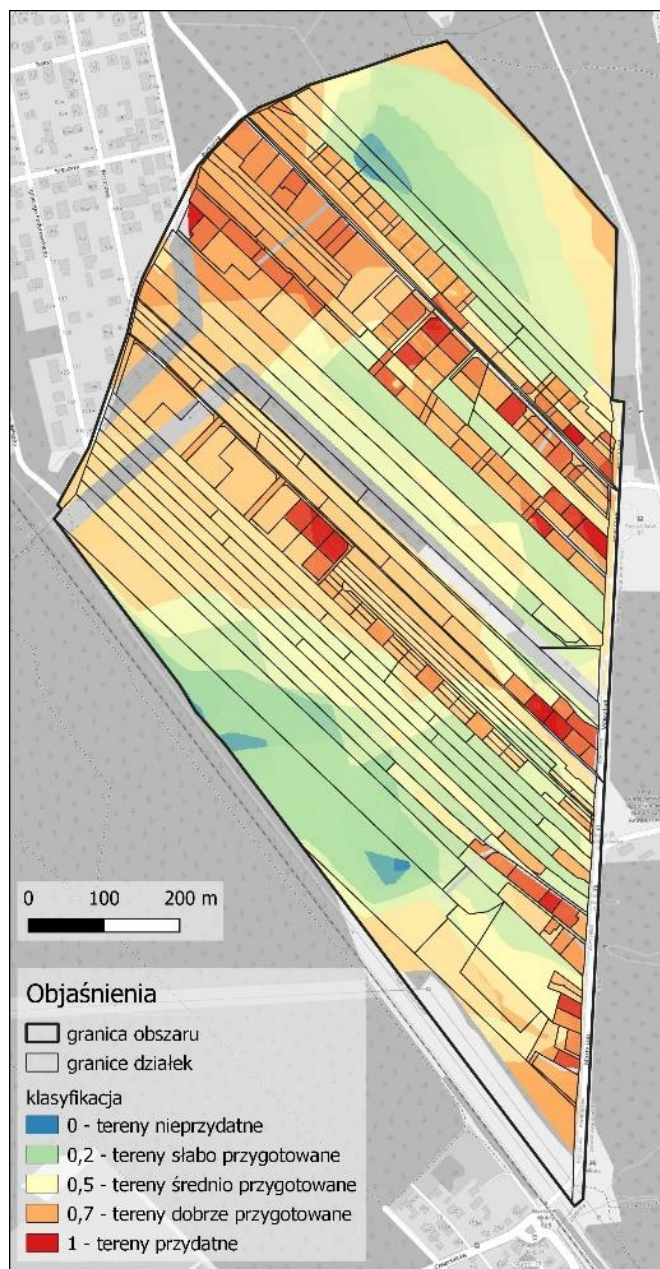


PRZEDZIAŁ	POWIERZCHNIA [m ²]	UDZIAŁ %
0	54421	21
0.2	141708	55
0.5	43861	17
0.7	8701	3
1	9826	4
SUMA	258517	100

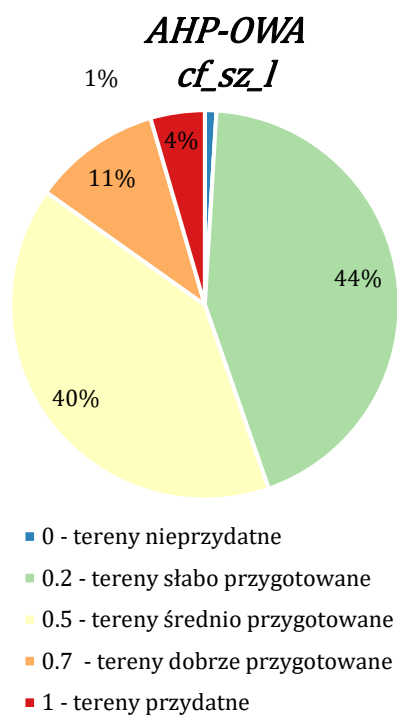


Ryc. 42. AHP-OWA **stopień zagospodarowania** (waga 10), **lokalizacja** (waga 64), **cechy fizyczne** (waga 26).

Analiza AHP-OWA przeprowadzona dla następującej kolejności kryteriów i ich wag: *cechy fizyczne* (26), *stopień zagospodarowania* (10), *lokalizacja* (64) (Ryc. 43). Na przedstawionej mapie 1% stanowią tereny nie spełniające założonych kryteriów, 44% to tereny słabo przygotowane, 16% stanowią tereny spełniające stawiane wymagania.

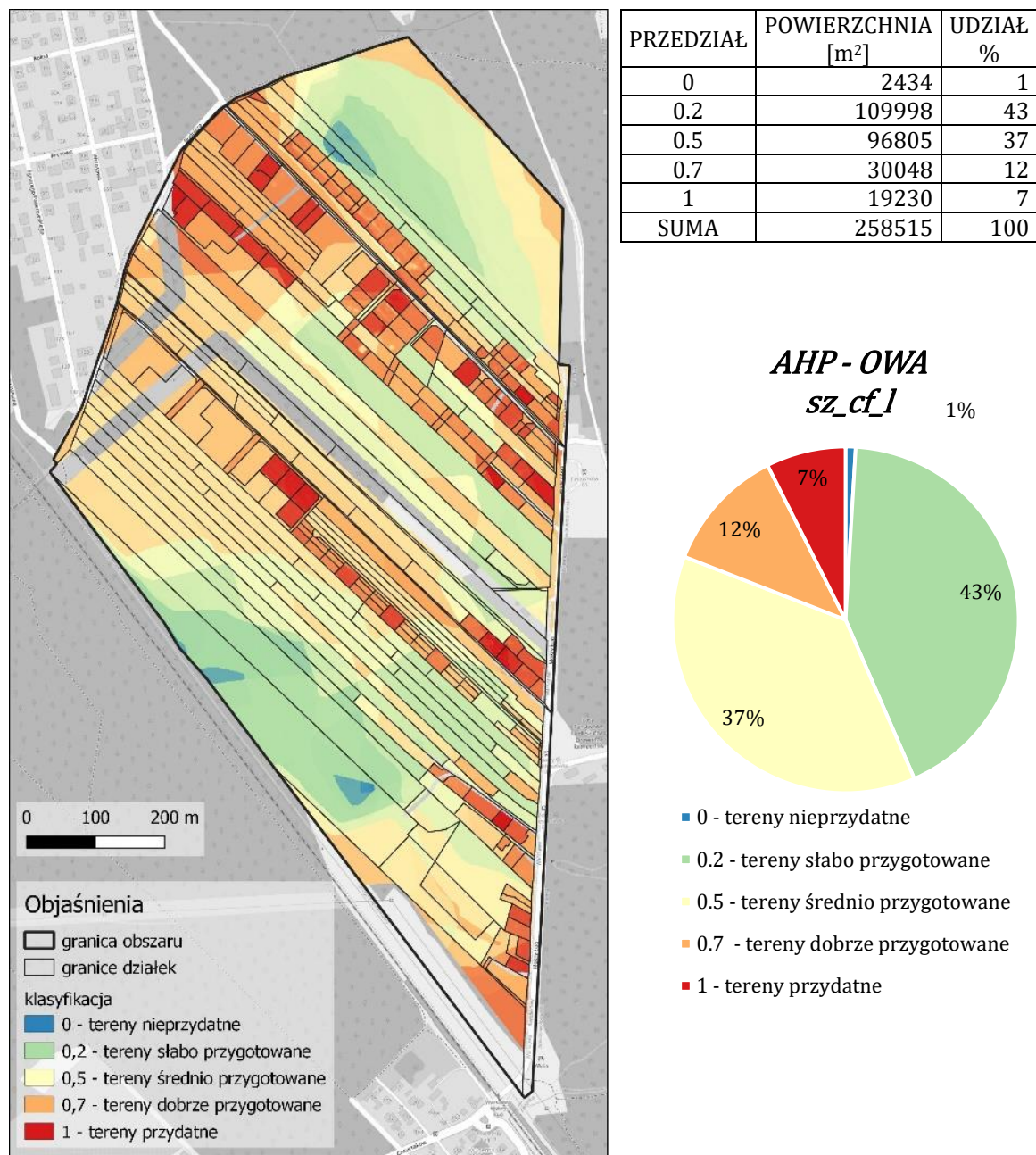


PRZEDZIAŁ	POWIERZCHNIA [m ²]	UDZIAŁ %
0	2463	1
0.2	113050	44
0.5	103804	40
0.7	27535	11
1	11665	5
SUMA	258517	100



Ryc. 43. AHP – OWA *cechy fizyczne* (waga 26), *stopień zagospodarowania* (waga 10), *lokalizacja* (waga 64).

Analiza AHP-OWA przeprowadzona dla następującej kolejności kryteriów i ich wag: *stopień zagospodarowania* (10), *lokalizacja* (64), *cechy fizyczne* (26) (Ryc. 44). Na przedstawionej mapie 1% stanowią tereny nie spełniające założonych kryteriów, 55% to tereny słabo przygotowane, 7% stanowią tereny spełniające stawiane wymagania.



Ryc. 44. AHP – OWA *stopień zagospodarowania* (waga 10), *cechy fizyczne* (waga 26), *lokalizacja* (waga 64).

10. Dyskusja

Analizowany przykładowy obszar, osiedle Mokry Ług, został poddany ocenie pod kątem cech opisujących działki, uwzględniając kryteria tj: **cechy fizyczne, lokalizacja i stopień zagospodarowania**, a następnie subkryteria tj.: **powierzchnia, nachylenie, stopień regularności, rynek, woda, lasy, brak obiektów uciążliwych, drogi, transport i infrastruktura**. Dodatkowo subkryterium **infrastruktura** zostało opisane przez takie subsubkryteria jak: **sieci elektroenergetyczne, sieci wodociągowe, sieci kanalizacyjne, sieci gazowe, sieci telekomunikacyjne i sieci ciepłownicze** (Ryc. 11). Celem przeprowadzonych badań była ocena istotności budowy sieci wodociągowej poprzez wytypowanie obszarów optymalnych pod kątem zabudowy jednorodzinnej. Ocenę przeprowadzono na podstawie badań ankietowych skierowanych do „przyszłych nabywców”. Respondentom postawiono pytanie: „w jakim stopniu przedstawione cechy powinna spełniać działka, aby podjęta została decyzja kupna”. Na podstawie otrzymanych odpowiedzi ustalono wagi poszczególnych cech (kryteriów, subkryteriów i subsubkryteriów) (Ryc. 25). Cechy zostały wybrane na podstawie przeglądu literatury dotyczącej szacowania wartości nieruchomości niezabudowanych (Gawronski & Prus, 2005; Krajewska & Gaca, 2007; Maksymiuk, 2013; Zydrón & Walkowiak, 2013; Beim, 2015). Przyjęto założenie, że atrybuty charakterystyczne dla działek lepiej ocenianych – droższych, wskażą nieruchomości atrakcyjne dla nabywców. W dalszej kolejności wagi zostały przypisane do map kryteriów i subkryteriów, co pozwoliło na otrzymanie map przydatności terenów. Otrzymane wyniki pozwoliły na sumaryczny opis każdego kryterium i tym samym na przyjęcie następujących założeń:

Kryterium cechy fizyczne:

Analizowane subkryterium **powierzchnia** dla którego waga wynosi 33% przedstawiono na Ryc. 12. Działki spełniające kryterium powierzchni (300-1200m²) stanowią 15% obszaru, co sugeruje słabe przygotowanie terenu do sprzedaży (Ryc. 26). Istotność przedstawionego subkryterium przedstawiono w pracach Zydrón i Walkowiak (2013) oraz Krajewska i Gaca (2007) gdzie zwrócono uwagę na spadek zainteresowania dla zbyt dużych działek budowlanych. Możemy przyjąć założenie, że teren będzie atrakcyjny dla nabywców jeżeli przeprowadzone zostanie jego przygotowanie pod kątem wielkości działek przeznaczonych do sprzedaży.

Analizowane subkryterium **nachylenie** dla którego waga wynosi 53% przedstawiono na Ryc. 14. Na przeważającym obszarze nie przekracza ono 2°, czyli teren nie wymaga

skomplikowanych prac związanych z wyrównaniem terenu (Klimaszewski, 1981) (Ryc. 27). Ta korzystna cecha środowiska naturalnego wynika z faktu, iż obszar badań położony jest w obrębie najwyższej i dość rozległej terasy nadzalewowej Wisły (Sarnacka, 1980). Jakkolwiek, ta powierzchnia jest rozcięta w kilku miejscach przez naturalne lub zmeliorowane koryta bezimiennych cieków, przez co wzdłuż ich brzegów nachylenia są większe. Jako jedną z cech rynkowych średnie nachylenie działki budowlanej uwzględniono w artykule Gawroński i Prus (2005). Autorzy ci wykorzystali opisywaną cechę rynkową jako czynnik wpływający na cenę nieruchomości niezabudowanych.

Analizowane subkryterium *stopień regularności* dla którego waga wynosi 14% przedstawiono na Ryc. 15. Dążeniem nabywców jest kupno działki o kształcie „idealnym” (zbliżonym do kwadratu) (Dmytrów i in., 2018). Przyjmując wartość współczynnika kształtu na poziomie 7 działki spełniające ten warunek stanowią zaledwie 18% obszaru (Ryc. 28). Problem związany jest ze słabym przygotowaniem terenu pod inwestycje budowlane (brak wydzielonych działek) oraz brakiem nadzoru nad dzielonymi działkami. Dzielone nieruchomości były działkami rolnymi, w wyniku podziałów powstawały działki o kształcie prostokąta. W pracy Krajewskiej i Gacy (2007) kształt jako wskaźnik preferencji nabywców był jednym z atrybutów wpływających na wartość nieruchomości. W badaniach dotyczących analizy związku cen transakcyjnych z kształtem działki wykazano jego dodatnią zależność (Dmytrów i in., 2018).

Podsumowując kryterium *cechy fizyczne* przedstawione na Ryc. 36 możemy przyjąć, że teren jest atrakcyjny ze względu na nachylenie, brakuje jednak działań związanych z przygotowaniem działek do sprzedaży. Przeważają działki o kształcie wydłużonym i powierzchni przekraczającej 1200m². Brakuje również wytycznych gminy związanych z dążeniem do większej regularności przy podziale działek. Aby uzasadnić rozbudowę sieci wodociągowej konieczna byłaby większa współpraca pomiędzy gminą i przedsiębiorstwem wodociągowo-kanalizacyjnym. Większe zaangażowanie gminy mogłoby przyczynić się do podniesienia atrakcyjności analizowanego terenu, co z kolei przełożyłoby się na większe zainteresowanie nabywców i tym samym stanowiło by argument za rozbudową sieci.

Kryterium lokalizacja:

Analizowane subkryterium *rynek* dla którego waga wynosi 18% przedstawiono na Ryc. 16. Przyjęto założenie o obecności centrum kulturalno-rozrywkowego w okolicach ośrodków miejskich i naturalnych potrzebach mieszkańców do korzystania z takich usług. Dla części

respondentów dostępność do centrów handlowo-usługowych w odległości spaceru była istotnym czynnikiem warunkującym zakup nieruchomości. Z przeprowadzonych badań wynika, że dostępność do rynku ograniczona jest do osób zmotoryzowanych; 97% terenu jest w odległości większej niż 3km (Ryc. 29). Na podstawie badań Zydronia i Walkowiaka (2013) możemy przyjąć, że wzrost odległości do centrum miasta ma negatywny wpływ na wartość nieruchomości. Z racji poszukiwania terenów atrakcyjnych spadek wartości nieruchomości wskazuje na niższą jakość i mniejsze zainteresowania z punktu widzenia wymagań nabywców. Badany teren ma ograniczony dostęp do centrów kulturalno-usługowych zatem osoby zainteresowane dostępnością do rynku raczej nie zdecydują o zakupie nieruchomości. W szerszym ujęciu problematyka dotyczy występowania stref suburbanizacji (Jakóbczyk-Gryszkiewicz, 2009; Krukowski, 2018), gdzie wzrost odległości od centrum miasta ma istotny wpływ na wartość gruntu. Nieruchomości stają się atrakcyjne ze względu na cenę ale brakuje działań związanych z planowaniem przestrzeni (Krukowski, 2018).

Analizowane subkryterium *lasy* dla którego waga wynosi 20% przedstawiono na Ryc. 18. Dla respondentów dostęp do lasu był jednym z istotnych warunków zakupu działki. Ponieważ nieruchomości nie zostały odpowiednio przygotowane do sprzedaży pod kątem ich zabudowy, wiele z nich charakteryzuje pokrycie terenu typowe dla obszarów leśnych. Z tego powodu analizowana tutaj dostępność do lasu mierzona w odległości może być zafałszowana. Tym samym, dokonywane zmiany w charakterze pokrycia terenu na zbywanych nieruchomościach będą wymuszały konieczność przeprowadzenia nowych analiz w tym zakresie. Dostępność do lasu w odległości do 1km uwzględnili w badaniach Zydroń i Walkowiak (2013). Wpływ tzw. zielonej infrastruktury opisany został w pracy Maksymiuk (2013), gdzie autorka wykazała wzrost wartości nieruchomości uzależniony od obecności obszarów zielonych oraz ich powierzchni. W badanym przypadku obecność lasów wpływa korzystnie na jakość terenu ale należy zauważyć, że w miarę zagospodarowywania obszaru lasy mogą zostać wycięte i dostęp ulegnie zmianie (Ryc. 30).

Analizowane subkryterium *woda* dla którego waga wynosi 6% przedstawiono na Ryc. 20 i Ryc. 21. Obecność cieków wodnych i jezior jest różnie oceniana i w zależności od badanej grupy preferencje ulegają zmianie. Pozytywny wpływ obecności wody wskazano w pracy Zydroń et al. (2017), natomiast w pracy Zydronia i Walkowiaka (2013) obecność wody była traktowana jako czynnik obniżający wartość nieruchomości. W pracy Żółtaszek i Stodulskiej (2021) wody powierzchniowe są czynnikiem podnoszącym wartość lokalizacji z zastrzeżeniem, że walory estetyczne oraz odległość są satysfakcjonujące dla nabywców.

Z przeprowadzonych badań wynika, że dostęp do najbliższego jeziora dla 87% terenu znajduje się w odległości ponad 6,5 km (Ryc. 31). Obserwujemy brak możliwości pieszego dojścia ale obiekt jest dostępny dla osób zmotoryzowanych. W badaniach ankietowych przeprowadzonych przez autora dostęp do jeziora nie ma istotnego wpływu na kryterium *lokalizacja*.

Analizowane subkryterium *brak obiektów uciążliwych* dla którego waga wynosi 56% przedstawiono na Ryc. 19. Do obiektów uciążliwych zaliczono napowietrzną linię elektroenergetyczną, linię kolejową i ciek wodny. Z przeprowadzonych analiz wynika, że na 80% obszaru nie ma wpływu obecność obiektów uciążliwych patrz Ryc. 32. Negatywny wpływ linii wysokiego napięcia zaznaczono w pracy Zydronia et al. (2017), natomiast odległość wody do 1km w pracy Zydronia i Walkowiaka (2013). O ujemnym wpływie torów kolejowych na wartość nieruchomości pisze Beim (2015), łącząc ich obecność z hałasem wibracją i oczywiście estetyką. Ponad połowa ankietowanych ma negatywny stosunek do tzw. obiektów uciążliwych. Odpowiednie przygotowanie terenu, przykładowo ukrycie linii wysokiego napięcia w gruncie, budowa bulwarów wzdłuż cieku wodnego czy oddzielenie toru kolejowego pasem drzew mogłoby wpłynąć na poprawę atrakcyjności miejsca.

Podsumowując kryterium *lokalizacji* możemy przyjąć, że teren jest atrakcyjny ze względu na obecność lasów, 58% obszaru ma dostęp do lasu w odległości do 200 m. Drugim czynnikiem jest dostęp do jeziora w odległości do 6 km. Obiekty uciążliwe zajmują tylko 20% powierzchni terenu. Problem stanowi dostępność do ośrodków kulturalnych, która jest w odległości ponad 3km. Krajewska i Gaca (2007) uznali na podstawie przeprowadzonych badań ankietowych, że lokalizacja jest istotnym atrybutem w określaniu ceny nieruchomości. Aby podnieść atrakcyjność analizowanego terenu konieczne byłoby zaangażowanie gminy. Przewidywana wycinka drzew, w przypadku przygotowania działek do sprzedaży, w istotny sposób obniży jakość terenu. Sugeruje się przeprowadzenie prac planistycznych nad projektem parków, zadrzewionych alejek czy zagospodarowaniem terenu wzdłuż „Strugi z Rembertowa”. Bez wyraźnej ingerencji władz gminy nie ma uzasadnienia dla rozbudowy sieci wodociągowej.

Kryterium stopień zagospodarowania:

Analizowane subkryterium *drogi* dla którego waga wynosi 19% przedstawiono na Ryc. 24. Na podstawie przeprowadzonych analiz ustalono, że 62% terenu posiada dostęp do drogi (Ryc. 33). Średnie pokrycie infrastrukturą drogową wskazuje na słabe przygotowanie terenu do sprzedaży. Możemy przyjąć, że postępujący wzrost zabudowy mieszkaniowej i coraz większe jej rozproszenie spowoduje wzrost znaczenia komunikacji samochodowej i infrastruktury

drogowej (Krukowski, 2018). W badaniach dotyczących wpływu atrybutów na wartość nieruchomości odległość od drogi jest czynnikiem uwzględnianym w wycenie nieruchomości (Zydroń & Walkowiak, 2013). W pracy dotyczącej czynników wpływających na ceny działek budowlanych Gawroński i Prus (2005) stwierdzili istotny wpływ odległości nieruchomości od drogi głównej.

Analizowane subkryterium *transport* dla którego waga wynosi 9% przedstawiono na Ryc. 23. Dostępność do komunikacji miejskiej tj. autobus czy pociąg w zakresie 400m odpowiada 39% obszaru (Ryc. 34). Wskazuje to na właściwe pokrycie transportem i obsługę zapotrzebowania przy istniejącym poziomie zabudowy. Prowadzone badania wskazują na wpływ transportu publicznego na ceny nieruchomości (Beim, 2015). Duże znaczenie możemy przypisać infrastrukturze kolejowej, która może przejąć część obsługi komunikacyjnej związanej z dojazdami do pracy (Krukowski, 2018). Badania ankietowe wykazały słabe zainteresowanie respondentów dostępem do tego typu udogodnień. Natomiast obserwowane tendencje (Krukowski, 2018; Beim, 2015; Montgomery, 2015) wskazują na coraz większą potrzebę korzystania ze ścieżek rowerowych czy komunikacji miejskiej. Konieczne są dodatkowe badania w tym zakresie.

Analizowane subryterium *infrastruktura* dla którego waga wynosi 75% przedstawiono na Ryc. 22. Dobrze przygotowany obszar to zaledwie 3% powierzchni, 75% nie posiada uzbrojenia (Ryc. 35). Na podstawie pomiaru preferencji nabywców Krajewska i Gaca (2007) uznali, że uzbrojenie terenu (na równi z lokalizacją) jest najważniejszym atrybutem wpływającym na wartość nieruchomości. Do podobnych wniosków doszli Zydroń i Walkowiak (2013) wskazując, że obecność kanalizacji jest atrybutem podwyższającym wartość nieruchomości. W przeprowadzonych badaniach respondenci wskazali, że obecność sieci wodociągowej i energetycznej jest konieczna aby podjąć decyzję o zakupie działki. Budowa infrastruktury wiąże się z podniesieniem standardu obsługi i większym zainteresowaniem ze strony nabywców.

Podsumowując kryterium *stopień zagospodarowania* możemy podkreślić problemy z dostępem do dróg i słabe pokrycie infrastrukturą. Dobrze przygotowany jest dostęp do komunikacji miejskiej. Respondenci uznali mały wpływ tego kryterium na decyzję o zakupie działki w stosunku do pozostałych kryteriów. Niskie wymagania wpływają na słabe zaangażowanie podmiotów odpowiedzialnych za wyposażenie terenu w odpowiednie media czy pokrycie siecią drogową.

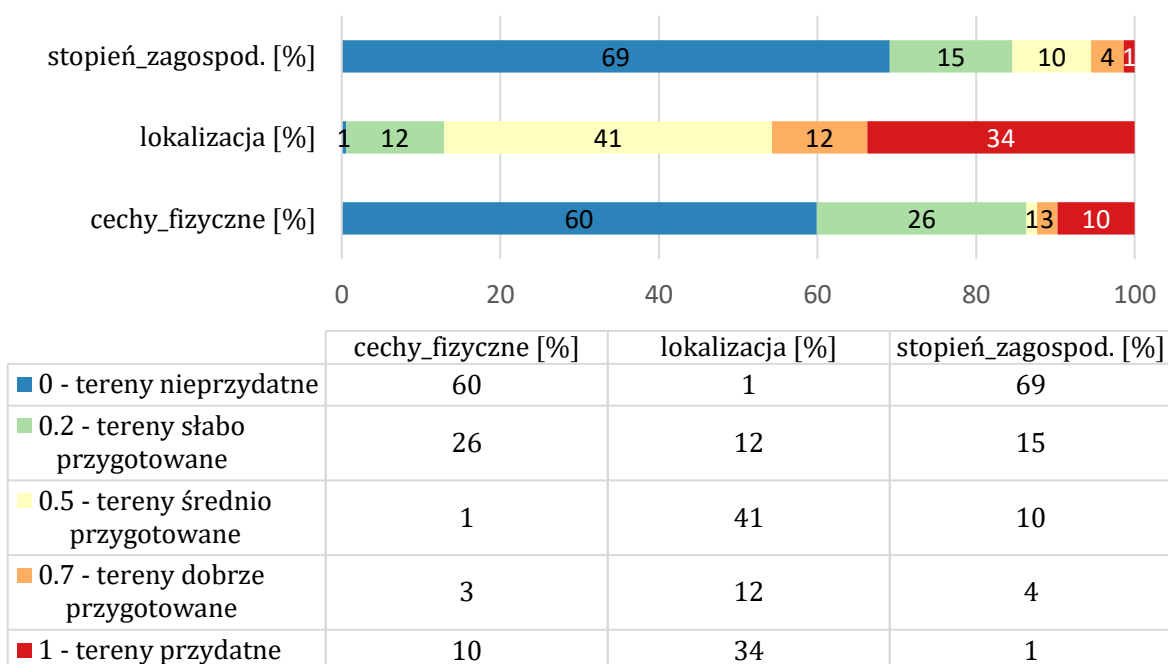
Analiza map otrzymanych w wyniku zastosowania procedury AHP-OWA

W oparciu o mapy wektorowe subkryteriów przygotowano, przez zastosowanie procedury geoprzetwarzania, trzy zestawy porównywalnych map rastrowych (Ryc. 26–Ryc. 35). Mapy te otrzymały wagi obliczone metodą AHP i zostały poddane procedurze OWA. W rezultacie uzyskano mapy kryteriów: ***cechy fizyczne***, ***lokalizacja*** i ***stopień zagospodarowania***. Wszystkie mapy otrzymane w wyniku zastosowania procedury OWA dla poziomu kryteriów przedstawiają warunek AND, czyli aby teren został uznany za przydatny każde subkryterium musi być na najwyższym poziomie (wartość 1). Na mapie reprezentującej kryterium ***cechy fizyczne*** możemy zauważyć że: działki o zadanej powierzchni zaliczone zostały do terenów przydatnych lub dobrze przygotowanych; nachylenie terenu nie wyróżnia się na mapach ze względu na swoją jednorodność; natomiast niska waga subkryterium stopień regularności w porównaniu do subkryterium powierzchnia powoduje, że jest ono mniej widoczne i działki o mniej regularnym kształcie stanowią tereny przydatne lub dobrze przygotowane (Ryc. 36). Na mapie reprezentującej kryterium ***lokalizacja*** działki z najlepszym dostępem do rynku zakwalifikowane zostały jako tereny przydatne; lasy są ważnym subkryterium, co przekłada się na dość dużą powierzchnię – 34% obszarów przygotowanych; nie obserwujemy wpływu subkryterium woda, natomiast obecność obiektów uciążliwych wyklucza nam ok. 20% terenu. Słaby ***stopień zagospodarowania*** możemy prześledzić na Ryc. 38 gdzie tylko 5% obszaru kwalifikuje się jako tereny przydatne lub dobrze przygotowane. Ma to związek z wysoką oceną pokrycia infrastrukturą i tym samym jej brakiem na analizowanym obszarze.

Na wykresie 11 przedstawiono procentowy udział stopnia przydatności terenu w rozbiciu na kryteria w całkowitej powierzchni badanego obszaru.

Wykres 11. Zbiorcze zestawienie dla porównania map kryteriów.

Porównanie map kryteriów procedura AHP-OWA

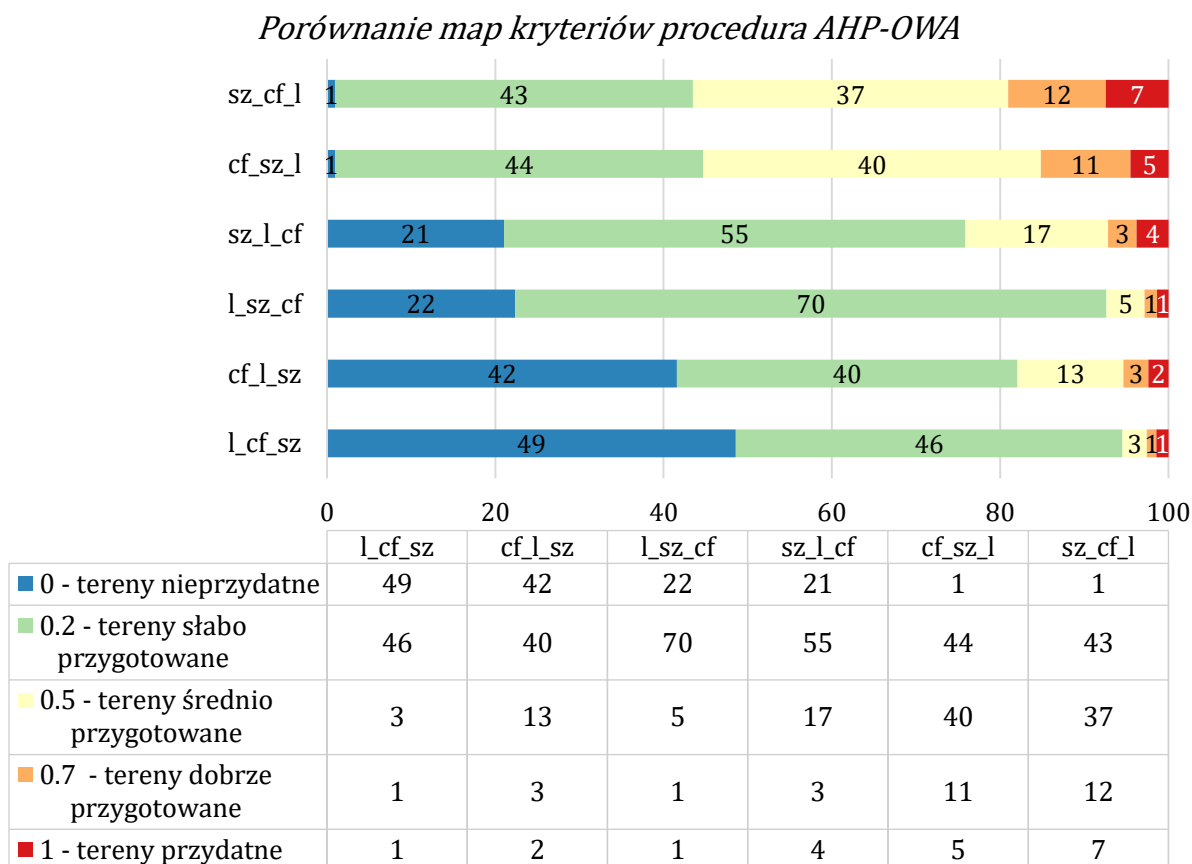


Na podstawie przedstawionego wykresu możemy wnioskować o słabym przygotowaniu terenu w kierunku sprzedaży. **Cechy fizyczne** i **stopień zagospodarowania** na poziomie spełniającym oczekiwania respondentów to zaledwie 11% analizowanego obszaru. Kryterium które może wpływać na decyzje przyszłych nabywców to **lokalizacja** – 34% analizowanego terenu spełnia wymagania respondentów.

Drugi etap przetwarzania polegał na zastosowaniu procedury AHP-OWA dla pełnego spektrum od warunku AND do warunku OR. W procedurze wykorzystano mapy rastrowe kryteriów. Do każdej mapy przypisano wagi obliczone metodą AHP, następnie były one łączone z zastosowaniem wagi porządku – procedura OWA. W efekcie uzyskano sześć porównywalnych map.

Na wykresie 12 przedstawiono procentowy udział przydatności terenu w całkowitej powierzchni badanego obszaru.

Wykres 12. Zbiorcze zestawienie dla porównania map kryteriów (z uwzględnieniem wag ważności i wag kryteriów).



Na podstawie przygotowanego wykresu możemy stwierdzić, że przeważająca część obszaru to tereny nieprzydatne lub słabo przygotowane pod przyszłe inwestycje. Brakuje wyraźnych zachęt do inwestycji w budowę domu jednorodzinnego. Analizowany problem dotyczący rozbudowy sieci wodociągowej należy przesunąć w czasie. Konieczne jest większe zainwestowanie terenu aby budowa sieci wodociągowej była opłacalna. Przedstawione mapy mogą sugerować szybszy rozwój inwestycji budowlanych w północnej części badanego terenu. Przy najbardziej optymistycznym założeniu ok. 50% zakwalifikowano jako tereny przydatne. Ma to związek z podziałami działek na tej części obszaru, co powinno skutkować większym zainteresowaniem nabywców. Konieczne jest jednak większe zaangażowanie gminy i tym samym uruchomienie pewnych mechanizmów przyspieszających rozwój obszaru.

Podsumowanie

Badając problematykę związaną z planowaniem i zagospodarowaniem przestrzennym spotykamy się ze zjawiskiem suburbanizacji (Montgomery, 2015). Budowa zbyt dużych i niezaplanowanych przedmieść jest wynikiem masowego używania samochodów, liberalizacji

procesów inwestycyjnych oraz dużymi dysproporcjami cen gruntów. Zjawisko to prowadzi do ucieczki poza centrum miasta. Nowe osiedla budowane są z pominięciem wartości przestrzennych charakterystycznych dla tradycyjnych miast. Obserwuje się problemy z odpowiednim uzbrojeniem terenu, zapewnieniem właściwej obsługi komunikacyjnej nie wspominając o tworzeniu i kultywowaniu życia społecznego (Krukowski, 2018). Prowadzone badania wskazują, że sytuacja dotyczy całej strefy podwarszawskiej, a powstające obszary zabudowy „stają się coraz mniej przyjemnym miejscem do życia” (Domaradzki, 2006) Analizowany obszar, osiedle Mokry Ług z racji położenia na obrzeżach Warszawy może borykać się z podobnymi problemami. Z jednej strony mamy atrakcyjne tereny, na które może wkroczyć budownictwo jednorodzinne, z drugiej budowa samego osiedla będzie przykładem tzw. rozpełzania miasta (ang. *urban sprawl*). Możemy przewidywać problemy z uzbrojeniem, transportem czy dostępnością do strefy handlowej, co w bardzo wyraźny sposób zostało przedstawione na mapach. Projektowana przestrzeń mogłaby zachęcać przyszłych nabywców do kupna nieruchomości. Przykładowo planując teren można uwzględnić przyszłe potrzeby mieszkańców tak aby przestrzeń wpływała na poprawę jakości życia. Poza tym odpowiednie przygotowanie terenu pozwoli uniknąć inwestycji w przyszłą rewitalizację przestrzeni, względnie ograniczyć koszty związane z poprawą miejsc już istniejących. Powstałe „miejsce” będzie bardziej atrakcyjne dla nabywców, pozwoli na szybki rozwój i tym samym na zwrot poniesionych nakładów.

Dla analizowanego terenu w 2010 r, zatwierdzono Miejscowy Plan Zagospodarowania Przestrzennego (Uchwała nr XCIII/2734/2010) (Ryc. 45). Przy założeniu, że miasto przystąpi do realizacji planu można by wnioskować o poprawie wybranych kryteriów. Plan zakłada podziały działek pod przyszłe budownictwo jednorodzinne. W wyniku podziałów wzrośnie liczba działek w przedziale 300-1200m² oraz kształcie bardziej preferowanym przez nabywców. Ponadto, w celu właściwej obsługi projektowanego osiedla, plan przewiduje podziały pod drogi. Oba zabiegi będą miały istotny wpływ na kryteria *cechy fizyczne* i *stopień zagospodarowania* powodując zwiększenie obszaru klasyfikowanego jako przydatny. Z kolei prace związane z przygotowaniem terenu pod planowane osiedle spowodują wycinkę lasu i tym samym pogorszenie wyników dla kryterium *lokalizacja*. Opisane zabiegi wynikające z przewidywań planu wymagałyby kolejnej analizy AHP-OWA w wyniku której otrzymano by nowy rozkład terenów przydatnych. Analiza nowych map mogłaby być bardziej korzystna dla

rozpoczęcia inwestycji dotyczącej rozbudowy wodociągu. Warto jednak zaznaczyć, że niska sumaryczna ocena kryteriów *cechy fizyczne* i *stopień zagospodarowania* (łącznie waga 36) może nie zrekompensować pogorszenia wyników dla *kryterium lokalizacja* (waga 64) spowodowanym wycinką lasów. Dlatego też dla analizowanego przypadku wskazane byłyby kolejne zabiegi wpływające na poprawę atrakcyjności.

Przedstawione analizy pozwalają na wskazanie odpowiednich działań wpływających na podniesienie atrakcyjności terenu. W zależności od potrzeb można zdecydować się na stopniową poprawę zagospodarowania, skupić się na najpilniejszych potrzebach z założeniem, że w określonym przedziale czasu uzupełnione zostaną pozostałe. Przekonanie większej grupy osób do zakupu nieruchomości skróci całkowity czas związany z osiedlaniem i zmianami zapotrzebowania na dostawę wody.



Ryc. 45 Plan podziału działek z projektem wodociągu na podstawie Planu Zagospodarowania Przestrzennego dla osiedla Mokry Ług.

11. Wnioski

Planowanie przestrzenne dotyczące terenów niezabudowanych jest obarczone dużą niepewnością, możemy przewidywać potencjał miejsca pod zabudowę na podstawie pewnych przesłanek, sporządzonej dokumentacji i doświadczenia osób zajmujących się planowaniem. Każde dodatkowe metody przybliżają nas do właściwych osądów dotyczących danej lokalizacji. Metody MCDA są cenne ze względu na możliwość uwzględnienia preferencji osób zainteresowanych zakupem działki. Wymagania zmieniają się i wynikają ze zdolności nabywczych, stylu życia czy aktualnych trendów i coraz większej świadomości osób zainteresowanych. Przygotowując teren pod rozbudowę domów jednorodzinnych muszą zostać uwzględnione zarówno potrzeby dotyczące zagospodarowania, otoczenia jak i dostarczenia odpowiedniej ilości i jakości mediów. Rozbudowa sieci następuje po przygotowaniu terenu pod kątem rozmieszczenia działek, jest to proces przesunięty w czasie (względem planu) i wynika z zaangażowania właścicieli gruntów. Korzystając z analiz GIS-MCDA możemy w pewnym stopniu przewidzieć „jakość” miejsca, określić co i jak należy wykonać, żeby inwestycja w infrastrukturę przyniosła korzyści.

W pracy została przedstawiona analiza AHP-OWA w kontekście planowania sieci wodociągowej. Metoda jest prosta do przeprowadzenia ale wymaga, aby respektować rzeczywiste potrzeby respondentów. Mapy użyte do analizy powinny uwzględniać aktualne zmiany w zagospodarowaniu terenu. Wyniki zastosowanej procedury umożliwiają eksplorację różnych przesłanek i perspektyw w ocenie przydatności gruntów, dzięki czemu można uwzględnić różnorodne strategie decyzyjne w zarządzaniu infrastrukturą.

Cel rozprawy, a więc przedstawienie metodyki pozwalającej na ocenę lokalizacji planowanej infrastruktury zrealizowano przy pomocy następujących metod i narzędzi badawczych:

1. Ustalono zestaw cech: kryteriów, subkryteriów i subsubkryteriów obejmujących: *cechy fizyczne* opisane przez *powierzchnię, nachylenie i stopień regularności; lokalizację* opisaną przez *rynek, woda, lasy i brak obiektów uciążliwych*; oraz *stopień zagospodarowania* opisany przez *drogi, transport i infrastrukturę*. Dodatkowo subkryterium *infrastruktura* zostało opisane przez takie subsubkryteria jak: *sieci elektroenergetyczne, sieci wodociągowe, sieci kanalizacyjne, sieci gazowe, sieci telekomunikacyjne i sieci ciepłownicze*. Zestaw ten został opracowany na podstawie literatury dotyczącej wyceny nieruchomości niezabudowanych przeznaczonych na cele

budowlane. Brane były pod uwagę cechy rynkowe (atrybuty) nieruchomości wpływające na podejmowaną decyzję lokalizacyjną. Skupiono się na tych atrybutach, które były możliwe do przedstawienia na mapach. W celu określenia wpływu poszczególnych czynników na ocenę lokalizacji zaproponowano strukturę hierarchiczną (Ryc. 11), która w dalszej kolejności została uzupełniona o współczynniki wagowe (Ryc. 25). Wszystkie zagadnienia zidentyfikowano jako istotne z punktu widzenia rozpatrywanego problemu.

2. Ankieta opracowana na potrzeby niniejszej pracy zawiera pytania ukierunkowane na obliczenie współczynników wagowych dla metody AHP (Tabela 5). W szczególności obejmuje pytania dotyczące preferencji lokalizacyjnych dla przyszłego budynku, a także potrzeby charakteryzujące badaną grupę respondentów. Ankietę zastosowano na przypadkowo (losowo) dobranej grupie osób (studentów) w celu oceny jej skuteczności pod kątem osiągnięcia celów przyszłej analizy, a zatem – czytelności, jednoznaczności pytań i odpowiedzi, a w efekcie – jakości uzyskanych wskaźników na potrzeby wagowania map kryteriów i subkryteriów. Obliczone na jej podstawie wagi zastosowano w dalszych pracach na analizowanym obszarze testowym.
3. W celu opracowania kartograficznego map subkryteriów wykorzystano dane udostępniane przez portale mapowe tj. [geoportal.gov.pl.](http://geoportal.gov.pl), mapa.um.warszawa i OSM. Dane te poprzez zastosowanie odpowiednich procedur analizy danych pozwoliły na uzyskanie map wektorowych (Ryc. 12–Ryc. 24). Uzyskane mapy zostały poddane procedurze geoprzetwarzania, dzięki której otrzymano trzy zestawy map rastrowych reprezentujących subkryteria (Ryc. 26–Ryc. 35). Ustalono, że ich analiza będzie obejmowała operacje typu OWA uwzględniające zróżnicowane wagi zależne od wskazań decydenta (ankieta).
4. Mapy uzyskane w procedurze geoprzetwarzania zostały wykorzystane do przeprowadzenia procedury AHP-OWA. W pierwszym kroku były to mapy subkryteriów. Łączenie map odbywało się poprzez wykorzystanie wag kryterium (ankiety) oraz wag porządku (kolejność map). Zastosowano procedurę, w której kolejność map wynikała z wielkości przypisanej wagi. Przykładowo dla kryterium *cechy fizyczne* zastosowano następującą kolejność map: pierwsze nachylenie z wagą 53%, druga powierzchnia z wagą 33% i kolejny stopień regularności z wagą 14%. Otrzymano mapę dla której obowiązuje warunek AND, czyli aby obszar został zakwalifikowany jako przydatny każde subkryterium powinno być na najwyższym poziomie (wartość 1) (Ryc. 36). W analogiczny sposób otrzymano mapę kryterium *lokalizacji* (Ryc. 37) oraz kryterium *stopień zagospodarowania* (Ryc. 38). Kolejny etap procedury polegał na wykorzystaniu map kryteriów w celu uzyskania zestawu

map stanowiących wynik analizy. Zastosowano podobną procedurę jak w przypadku map kryteriów – wykorzystanie wag kryterium oraz wag porządku dla wszystkich możliwych kombinacji map. Uzyskano sześć możliwych połączeń map kryteriów:

- **lokalizacja** (waga 64), **cechy fizyczne** (waga 26), **stopień zagospodarowania** (waga 10) (Ryc. 39. AHP-OWA **lokalizacja** (waga 64), **cechy fizyczne** (waga 26), **stopień zagospodarowania** (waga 10).
- **cechy fizyczne** (waga 26), **lokalizacja** (waga 64), **stopień zagospodarowania** (waga 10) (Ryc. 40),
- **lokalizacja** (waga 64), **stopień zagospodarowania** (waga 10), **cechy fizyczne** (waga 26) (Ryc. 41),
- **stopień zagospodarowania** (waga 10), **lokalizacja** (waga 64), **cechy fizyczne** (waga 26) (Ryc. 42),
- **cechy fizyczne** (waga 26), **stopień zagospodarowania** (waga 10), **lokalizacja** (waga 64) (Ryc. 43),
- **stopień zagospodarowania** (waga 10), **cechy fizyczne** (waga 26), **lokalizacja** (waga 64) (Ryc. 44).

Mapy przedstawiają warunek od AND do OR czyli pełne spektrum analizy. Decydent może sam podjąć decyzje, które cechy i w jakim stopniu przesądzą na korzyść lub o przesunięciu inwestycji w czasie.

Rozbudowa sieci wodociągowej i oddanie jej do użytku wymaga zapewnienia odbiorcom odpowiedniej jakości wody, odpowiedniego ciśnienia i stałych dostaw. Zaopatrzenie w wodę ma wpływ na standard życia ludności i jej warunki sanitarne. Rozbudowując sieć należy uwzględnić dane dotyczące wydajności źródła, wielkości zapotrzebowania etc., tak aby uniknąć przewymiarowania wodociągu. Informacje dotyczące wymiarowania sieci wodociągowej powinny być określone dla odpowiedniego horyzontu czasowego i wynikać z Planu Zagospodarowania. Aby wspomóc proces podejmowania decyzji i tym samym rozwiązać przedstawiony problem badawczy dotyczący rozbudowy sieci wodociągowej przez poszukiwanie terenów wybieranych jako optymalne pod zabudowę mieszkaniową zaproponowano wykorzystanie metody AHP-OWA. Budowa struktury hierarchicznej pozwoliła na rozbicie problemu na elementy składowe (kryteria, subkryteria i subsubkryteria). Zastosowane badania ankietowe umożliwiły ocenę elementów składowych problemu. Otrzymane w procedurze AHP-OWA mapy wskazują tereny spełniające oczekiwania respondentów. Wyniki analizy w sposób przybliżony sygnalizują przyszłe zasiedlenie terenu.

Zmiany grupy docelowej czy działania zmierzające do lepszego zagospodarowania mogą przyczynić się do zmiany wyników analizy. Zaletą zastosowanej metody jest jej elastyczność i dostosowywanie się do aktualnych potrzeb z drugiej strony wadą jest konieczność ciągłej aktualizacji. Jednakże na podstawie przeprowadzonych badań możemy wskazać kierunki rozwoju terenu zmierzające do poprawy jakości życia i tym samym zwiększające zainteresowanie przyszłych nabywców, co przekłada się na argument za rozbudową sieci wodociągowej.

12. Literatura

- Abrishamchi, A., Ebrahimian, A., Tajrishy, M. & Mariño, M.A. (2005). Case Study: Application of Multicriteria Decision Making to Urban Water Supply. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 131(4)326-335
- Amorocho-Daza, H., Cabrales, S., Santos, R., & Saldarriaga, J. (2019). A New Multi-Criteria Decision Analysis Methodology for the Selection of New Water Supply Infrastructure. *Water*, 11(4), 805.
- Andrienko, G., Andrienko, N., Jankowski, P., Keim, D., Kraak, M. -J., MacEachren, A., & Wrobel, S. (2007). Geovisual analytics for spatial decision support: Setting the research agenda. *International Journal of Geographical Information Science*, 21(8), 839–857.
- Beheshtifar, S., & Alimoahmadi, A. (2015). A multiobjective optimization approach for location-allocation of clinics. *International Transactions in Operational Research*, 22(2), 313–328.
- Beim, M. (2015). 2.2 Wpływ inwestycji w transport publiczny i rowerowy na wartość nieruchomości. W: A. Zając Piotr (Red.), *Biała Księga Mobilności 2015*. TOR, Zespół Doradców Gospodarczych.
- Bitner, A. (2007). Konstrukcja modelu regresji wielorakiej przy wycenie nieruchomości. *Acta Scientiarum Polonorum. Administratio Locorum*, 06(4).
- Bojórquez-Tapia, L. A., Juárez, L., & Cruz-Bello, G. (2002). Integrating Fuzzy Logic, Optimization, and GIS for Ecological Impact Assessments. *Environmental Management*, 30(3), 418–433.
- Borouhaki, S., & Malczewski, J. (2008). Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS. *Computers & Geosciences*, 34(4), 399–410.
- Butler, D., Kokkalidou, A., & Makropoulos, C. (2006). Supporting the siting of new urban developments for integrated urban water resource management. *Integrated urban water resources management*, 19-34. Springer, Dordrecht.
- Calizaya, A., Meixner, O., Bengtsson, L., & Berndtsson, R. (2010). Multi-criteria decision analysis (MCDA) for integrated water resources management (IWRM) in the Lake Poopo Basin, Bolivia. *Water resources management*, 24(10), 2267-2289.

- Churchman, C. W., Ackoff, R. L., & Arnoff, E. L. (1957). Introduction to Operations Research. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 120(3), 357.
- Collins, M. G., Steiner, F. R., & Rushman, M. J. (2001). Land-Use Suitability Analysis in the United States: Historical Development and Promising Technological Achievements. *Environmental Management*, 28(5), 611–621.
- Cunha, M., Marques, J., Creaco, E., & Savic, D. (2019). A Dynamic Adaptive Approach for Water Distribution Network Design. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 145.
- Cymerman, R., & Hopper, A. (2006). Wycena nieruchomości: Zasady i procedury. Polska Federacja Stowarzyszeń Rzeczoznawców Majątkowych.
- Diamond, J. T., & Wright, J. R. (1988). Design of an Integrated Spatial Information System for Multiobjective Land-Use Planning. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 15(2), 205–214.
- Domaradzki, K., (2006). Podkowa Leśna a procesy urbanizacyjne. *Podkowiński Magazyn Kulturalny*, 49-50.
- Dmytrów, K., Gnat, S., & Kokot, S. (2018). Próba uwzględnienia kształtu nieruchomości gruntowych jako atrybutu w procesie zalgorytmizowanej wyceny. *Problemy Rynku Nieruchomości: Biuletyn Stowarzyszenia Rzeczoznawców Majątkowych Województwa Wielkopolskiego*, 50(2), 4–10.
- Eastman, J. R. (1999). Multi-criteria evaluation and GIS. *Geographical information systems*, 1(1), 493-502.
- Eastman, J. R., Jiang, H., & Toledano, J. (1998). Multi-criteria and multi-objective decision making for land allocation using GIS. W: E. Beinat & P. Nijkamp (Red.), *Multicriteria Analysis for Land-Use Management* (s. 227–251). Springer, Netherlands.
- Eastman, J. R., Jin, W., Kyem, P., & Toledano, J. (1995). Raste Procedure for Multi-Criteria/Multi-Objective Decisions. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 61, 539–547.
- Eastman, J. R., Kyem, P. A. K., Toledano, J., & Jin, W. (1993). GIS and decision Making (Geneva: UNITAR). *Multicriteria Analysis for Land-Use Management*, 33-42.

- Feick, R. D., & Hall, G. B. (2001). Balancing consensus and conflicts with a GIS-based multi-participant, multi-criteria decision support tool. *GeoJournal*, 53(4), 391–406.
- Figueira, J., Greco, S., & Ehrogott, M. (2005). Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys (T. 78). Springer, New York.
- Gass, S. I., & Saaty, T. L. (1955). Parametric Objective Function (Part 2)—Generalization. *Journal of the Operations Research Society of America*, 3(4), 395–401.
- Gawroński, K., & Prus, B. (2005). Lokalny rynek nieruchomości oraz wybrane czynniki kształtujące ceny nieruchomości rolnych i działek budowlanych na przykładzie miasta Niepołomice. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 4.
- Goodchild, M. F. (1992). Geographical information science. *International Journal of Geographical Information Systems*, 6(1), 31–45.
- Hejmanowska, B., & Hnat, E. (2009). Wielokryterialna analiza lokalizacji zabudowy na przykładzie gminy Podegrodzie. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 20.
- Hobbs, B. F. (1980). A Comparison of Weighting Methods in Power Plant Siting. *Decision Sciences*, 11(4), 725–737.
- Hwang, C.L., & Yoon, K. (1981). Methods for Multiple Attribute Decision Making. W: C.L. Hwang & K. Yoon (Red.), *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications A State-of-the-Art Survey* (s. 58–191). Springer.
- Jakóbczyk-Gryszkiewicz, J. (2009). Tendencje przestrzenne w kształtowaniu cen ziemi w Polsce po 1990 roku. *Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego*.
- Jankowski, P. (1995). Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. *International Journal of Geographical Information Systems*, 9(3), 251–273.
- Jankowski, P., Andrienko, N., & Andrienko, G. (2001). Map-centred exploratory approach to multiple criteria spatial decision making. *International Journal of Geographical Information Science*, 15(2), 101–127.
- Jiang, H., & Eastman, J. R. (2000). Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 14(2), 173–184.

- Joerin, F., Thériault, M., & Musy, A. (2001). Using GIS and outranking multicriteria analysis for land-use suitability assessment. *International Journal of Geographical Information Science*, 15, 153–174.
- Karnatak, H. C., Saran, S., Bhatia, K., & Roy, P. S. (2007). Multicriteria Spatial Decision Analysis in Web GIS Environment. *GeoInformatica*, 11(4), 407–429.
- Keenan, P. B. (2003). Spatial Decision Support Systems. W: M. Mora, G. Forgionne, and J. N. D. Gupta (Red.) *Decision Making Support Systems: Achievements and challenges for the New Decade: Idea Group*, 28-39.
- Keenan, P. B. (2006). Spatial Decision Support Systems: A coming of age. *Control and Cybernetics*, 35(1).
- Keeney, R. L. (2008). Applying Value-Focused Thinking. *Military Operations Research*, 13(2), 7–17.
- Keller, C. P. (1990). Unit 57—Decision Making Using Multiple Criteria. *NCGIA Core Curriculum in GIS. UC Santa Barbara: National Center for Geographic Information and Analysis*.
- Klimaszewski, M. (1981). Geomorfologia. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Kobryń, A. (2014). Wielokryterialne wspomaganie decyzji w gospodarowaniu przestrzenią. Difin SA.
- Koopmans, T. C. (1951). An analysis of production as an efficient combination of activities. *Activity analysis of production and allocation*. Yale University Press.
- Krajewska, M., & Gaca, R. (2007). Preferencje nabywców nieruchomości na wybranych rynkach rodzajowych. *Studia i Materiały Towarzystwa Naukowego Nieruchomości*, 15(3–4), 35–42.
- Krukowski, J. (2018). Rozmieszczenie stref suburbanizacji w Rejonie Puszczy Kampinoskiej i północno-zachodnich dzielnic Warszawy, określone na podstawie cen transakcyjnych gruntów niezabudowanych. W: A. Maciejewska (Red.), *Gospodarka nieruchomościami w planowaniu przestrzennym*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Krzanowski, R., & Raper, J. (2001). *Spatial Evolutionary Modeling*. Oxford University Press.

- Li, X., & Yeh, A. G.-O. (2000). Modelling sustainable urban development by the integration of constrained cellular automata and GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 14(2), 131–152.
- Lipińska, D. (2016). Podstawy inżynierii środowiska. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.
- Liu, R., Zhang, K., Zhang, Z., & Borthwick, A. (2014). Land-use suitability analysis for urban development in Beijing. *Journal of Environmental Management*, 145, 170–179.
- Łyp, B. (2016). Planowanie miejskiej infrastruktury wodnej i ściekowej. Wydawnictwo Seidel-Przywecki.
- Mahini, A. S., & Gholamalifard, M. (2006). Siting MSW landfills with a weighted linear combination methodology in a GIS environment. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 3(4), 435–445.
- Makropoulos, C., & Butler, D. (2006). Spatial ordered weighted averaging: Incorporating spatially variable attitude towards risk in spatial multi-criteria decision-making. *Environmental Modelling & Software*, 21, 69–84.
- Makropoulos, C. K., Butler, D., & Maksimovic, C. (2003). Fuzzy Logic Spatial Decision Support System for Urban Water Management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 129(1), 69–77.
- Maksymiuk, G. (2013). Wpływ zielonej infrastruktury na wartość ekonomiczną nieruchomości. *Problemy Ekologii Krajobrazu*, 36.
- Malczewski, J. (2000). On the Use of Weighted Linear Combination Method in GIS: Common and Best Practice Approaches. *Transactions in GIS*, 4(1), 5–22.
- Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. *Progress in Planning*, 62(1), 3–65.
- Malczewski, J. (2011). Local Weighted Linear Combination. *Transactions in GIS*, 15(4), 439–455.
- Malczewski, J., Chapman, T., Flegel, C., Walters, D., Shrubsole, D., & Healy, M. (2003). GIS–Multicriteria Evaluation with Ordered Weighted Averaging (OWA): Case Study of Developing Watershed Management Strategies.
- Malczewski, J., & Jaroszewicz, J. (2018). Podstawy analiz wielokryterialnych w systemach informacji geograficznej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.

- Malczewski, J., & Rinner, C. (2015). *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science*. Springer, Berlin Heidelberg.
- Marques, J., Cunha, M., & Savic, D. (2015). A Multicriteria Approach for a Phased Design of Water Distribution Networks. *Procedia Engineering*, 119, 1231-1240.
- Massam, B. H. (1988). Multi-Criteria Decision Making (MCDM) techniques in planning. *Progress in Planning*, 30, 1–84.
- McDowell, R. W., Snelder, T., Harris, S., Lilburne, L., Larned, S. T., Scarsbrook, M., Curtis, A., Holgate, B., Phillips, J., & Taylor, K. (2018). The land use suitability concept: Introduction and an application of the concept to inform sustainable productivity within environmental constraints. *Ecological Indicators*, 91, 212–219.
- Miller, W., Collins, M. G., Steiner, F. R., & Cook, E. (1998). An approach for greenway suitability analysis. *Landscape Planning*, 42(2–4), 91–105.
- Montgomery, C. (2015). *Miasto szczęśliwe. Jak zmienić nasze życie, zmieniając nasze miasta*. Wysoki zamek.
- Nowakowska-Błaszczuk, A., & Błaszczuk, P. (1974). *Wodociągi i kanalizacja w planowaniu przestrzennym*. Wydawnictwo Arkady.
- Okeola, O., & Sule, B. (2012). Evaluation of management alternatives for urban water supply system using Multicriteria Decision Analysis. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 24, 19–24.
- Prusak, A., & Stefanow, P. (2014). *AHP - analityczny proces hierarchiczny*. Wydawnictwo C.H. Beck.
- Roy, B. (1990). *Wielokryterialne wspomaganie decyzji*. Wydawnictwa Naukowo Techniczne.
- Saaty T.L. (1980). *The analytic hierarchy process*. New York: McGraw-Hill.
- Saleem, J., Ahmad, S. S., & Shabbir, R. (2022). Evaluating land suitability analysis for urban services planning in coal clusters of Punjab using AHP, WOM, and TOPSIS method. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(4), 324.
- Sarip, A. G. (2005, January). Integrating artificial neural networks and GIS for single-property valuation. In *Elevation-PRRES Conference, Pacific Rim Real Estate Society, Melbourne, Citeseer*.

- Sarnacka, Z. (1980). Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1: 50 000, arkusz Warszawa Wschód. Wydawnictwa Geologiczne.
- Spash, C., Kallis, G., Videira, N., Antunes, P., Guimarães Pereira, Â., Coccossis, H., Corral, S., del Moral, L., Hatzilacou, D., Lobo, G., Mexa, A., Paneque, P., Mateos, B., & Santos, R. (2006). Participatory Methods for Water Resources Planning. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 24, 215–234.
- Steinitz, C. (1976). Hand-drawn overlays: Their history and prospective uses. *Landscape architecture*, 66, 444-455.
- Strager, M. P., & Rosenberger, R. S. (2006). Incorporating stakeholder preferences for land conservation: Weights and measures in spatial MCA. *Ecological Economics*, 58(1), 79–92.
- Sugumarán, R., & DeGroot, J. (2020). Spatial Decision Support Systems: Principles and practices. CRC PRESS.
- Suligowski, Z., & Fudala-Książek, S. (2014). Zaopatrzenie w wodę. Wydawnictwo Seidel_Przywecki.
- Svoray, T., Bar (Kutiel), P., & Bannet, T. (2005). Urban land-use allocation in a Mediterranean ecotone: Habitat Heterogeneity Model incorporated in a GIS using a multi-criteria mechanism. *Landscape and Urban Planning*, 72(4), 337–351.
- Śleszyński, P. (2018). Społeczno-ekonomiczne skutki chaosu przestrzennego dla osadnictwa i struktury funkcjonalnej terenów. *Studia KPZK*, 182.
- Taleai, M., & Mansourian, A. (2008). Using Delphi-AHP Method to Survey Major Factors Causing Urban Plan Implementation Failure. *Journal of Applied Sciences*, 8, 2746–2751.
- Tomlin, C. D. (1990). *Geographic information systems and cartographic modeling* (Vol. 249). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Trifunovic, N. (2006). Introduction to Urban Water Distribution. Taylor & Francis Group.
- Unal, M., Cilek, A., & Guner, E. D. (2020). Implementation of fuzzy, Simos and strengths, weaknesses, opportunities and threats analysis for municipal solid waste landfill site selection: Adana City case study. *Waste Management & Research: The Journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA*, 38(1_suppl), 45–64.
- Urbański, J. (2001). Modelowanie kartograficzne strefy brzegowej morza. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego.

- Urbański, J. (2011). GIS w badaniach przyrodniczych. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego.
- von Neumann, J., Morgenstern, O., & Rubinstein, A. (1944). *Theory of Games and Economic Behavior* (60th Anniversary Commemorative Edition). Princeton University Press.
- Wierzbicki, A. (2018). *Teoria i praktyka wspomaganie decyzji*. ebook
- Yankiv-Vitkovska, L., Peresunko, B., Wyczałek, I., & Papis, J. (2020). Site selection for solar power plant in Zaporizhia city (Ukraine). *Geodesy and Cartography*, 69(1), 97–116.
- Ziemba, P., & Piwowarski, M. (2008). Metody analizy wielokryterialnej we wspomaganiu porównania produktów w Internecie. *Metody Informatyki Stosowanej*, 2 (15), 137–147.
- Zydroń, A., Kayzer, D., & Iwiński, M. (2017). Określenie wpływu wybranych parametrów działki budowlanej na jej wartość rynkową. *Studia i Prace WNEiZ US*, 47 (3). *Problemy współczesnej ekonomii*, 483–491.
- Zydroń, A., Maćkowiak, K., Antkowiak, M., & Kayzer, D. (2017). Opracowanie mapy atrakcyjności inwestycyjnej na przykładzie gminy Tarnowo Podgórne. *Inżynieria Ekologiczna*, 18 (1).
- Zydroń, A., & Walkowiak, R. (2013). Analiza atrybutów wpływających na wartość nieruchomości niezabudowanych przeznaczonych cele budowlane w gminie Mosina. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 15, (3).
- Żak, J. (2005). *Wielokryterialne wspomaganie decyzji w transporcie drogowym*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
- Żółtaszek, A., & Stodulska, M. (2021). Błękitno-zielona infrastruktura a rynek nieruchomości. *Acta Universitatis Lodzianensis. Folia Oeconomica*, 6(357), 24–38.

Przepisy prawne:

- Dz.U. z 2021 r., poz. 741 t.j. ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym.
- Dz.U. z 2022 r., poz. 559 t.j. ustawa z dnia 8 marca 1990 o samorządzie gminnym
- Dz. U. z 2020 r., poz. 2028 t.j ustawa z dnia 7 czerwca 2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków.
- Dz. U. z 1999 r. Nr 15, poz. 139 (uchylony)Ustawa z dnia 7 lipca 1994 o zagospodarowaniu przestrzennym.
- Dz.U. z 2021 r., poz. 2404 rozporządzenie z dnia w sprawie wymaganego zakresu projektu miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego.
- Dz. U. z 2003 r., nr. 192, poz. 1883, rozporządzenie z 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów.
- Dz.U. z 2021 r. poz. 1984 t.j. ustawa z dnia 28 marca 2003 r. o transporcie kolejowym.
- Dz.U. z 2021 r., poz. 2233 t.j. ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. - Prawo wodne.
- Dz.U. z 2021 r. poz.1899 t.j. ustawa z dnia 21 sierpnia 1997 r. o gospodarce nieruchomościami.
- Uchwała Rady m.st. Warszawy nr. XCIII/2734/2010 W sprawie uchwalenia miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego obszaru Mokry Ług.
- Uchwała Rady Krajowej 5/03/12 z 23.03.2012 PKZW Krajowy Standard Wyceny Podstawowy (KSWP) - Ogólne reguły postępowania.
- Uchwała Rady Krajowej 27/08 z 9.12.2008 PKZW Nota Interpretacyjna nr. 1 (NI-1) – Zastosowanie podejścia porównawczego w wycenie nieruchomości.

Spis rycin

Ryc. 1. Proces przygotowania decyzji na podstawie H. Simona ze zmianami na podstawie Wierzbicki (2018).....	12
Ryc. 2. Model decyzyjny na podstawie Prusak i Stefanow (2014).....	13
Ryc. 3. Przestrzenny model decyzyjny na podstawie Boroushaki i Malczewski (2008).....	14
Ryc. 4. Przykładowa struktura hierarchiczna z przypisanymi wagami na podstawie Malczewskiego i Jaroszewicz (2018).....	23
Ryc. 5. Przestrzeń strategii podejmowania decyzji na podstawie Jiang i Eastman (2000).....	31
Ryc. 6. Przykład planszy „Istniejące uzbrojenie terenu”. Rodzaje usług: W – sieć wodociągowa, KS- kanalizacja sanitarna, KD-kanalizacja deszczowa, G-sieć gazowa, C- sieć ciepłownicza na podstawie Łyp (2016).....	37
Ryc. 7. Przykład planszy „Zaopatrzenie w wodę” na podstawie Łyp (2016).....	38
Ryc. 8. Podstawowe elementy systemu zaopatrzenia w wodę na podstawie Suligowskiego i Fudala-Książek (2014).	39
Ryc. 9. Sieć rozgałęzieniowa, promienista na podstawie Nowakowskiej-Błaszyk i Błaszczyka (1974)	40
Ryc. 10. Sieć pierścieniowa, obwodowa na podstawie Nowakowskiej-Błaszyk i Błaszczyka (1974).	41
Ryc. 11 Struktura hierarchiczna problemu dotyczącego wyboru działki budowlanej.	49
Ryc. 12. Mapa powierzchni działek na tle elementów topografii z serwisu OpenStreetMap..	66
Ryc. 13. Numeryczny Model Terenu.	67
Ryc. 14. Mapa Nachylenia.	67
Ryc. 15. Mapa stopnia regularności działek.....	68
Ryc. 17. Mapa dostępności do rynku (obszar analizy z zaznaczonymi działkami).	69
Ryc. 16. Mapa dostępności do rynku (pełny obszar analizy).....	69
Ryc. 18. Mapa dostępności do lasu.	70
Ryc. 19. Mapa terenów wyłączonych z zabudowy.	71
Ryc. 20. Mapa dostępności do jeziora (pełny obszar analizy).	72
Ryc. 21. Mapa dostępności do jeziora (analizowany teren z zaznaczonymi działkami).	72
Ryc. 22. Mapa dostępności do komunikacji miejskiej.....	73
Ryc. 23. Mapa dostępności do infrastruktury.	73
Ryc. 24. Mapa dostępności do dróg.	74

Ryc. 25. Przestrzenny model decyzyjny na podstawie Boroushaki i Malczewski (2008) ze zmianami.	75
Ryc. 26. Mapa rastrowa i obliczenia dla subkryterium powierzchnia	76
Ryc. 27. Mapa rastrowa i obliczenia dla subkryterium nachylenie	77
Ryc. 28. Mapa rastrowa i obliczenia dla subkryterium stopień regularności	78
Ryc. 29. Mapa rastrowa i obliczenia dla subkryterium rynek	79
Ryc. 30. Mapa rastrowa i obliczenia dla subkryterium lasy	80
Ryc. 31. Mapa rastrowa i obliczenia dla subkryterium woda	81
Ryc. 32. Mapa rastrowa i obliczenia dla subkryterium brak obiektów uciążliwych	82
Ryc. 33. Mapa rastrowa i obliczenia dla subkryterium drogi	83
Ryc. 34. Mapa rastrowa i obliczenia dla subkryterium transport	84
Ryc. 35. Mapa rastrowa i obliczenia dla subkryterium infrastruktura	85
Ryc. 36. Analiza AHP-OWA dla kryterium cechy fizyczne	86
Ryc. 37. Analiza AHP-OWA dla kryterium lokalizacja	87
Ryc. 38. Analiza AHP-OWA dla kryterium stopień zagospodarowania	88
Ryc. 39. AHP-OWA lokalizacja (waga 64), cechy fizyczne (waga 26), stopień zagospodarowania (waga 10).	89
Ryc. 40. AHP – OWA cechy fizyczne (waga 26), lokalizacja (waga 64), stopień zagospodarowania (waga 10).	90
Ryc. 41. AHP – OWA lokalizacja (waga 64), stopień zagospodarowania (waga 10), cechy fizyczne (waga 26).	91
Ryc. 42. AHP-OWA stopień zagospodarowania (waga 10), lokalizacja (waga 64), cechy fizyczne (waga 26).	92
Ryc. 43. AHP – OWA cechy fizyczne (waga 26), stopień zagospodarowania (waga 10), lokalizacja (waga 64).	93
Ryc. 44. AHP – OWA stopień zagospodarowania (waga 10), cechy fizyczne (waga 26), lokalizacja (waga 64).	94
Ryc. 45 Plan podziału działek z projektem wodociągu na podstawie Planu Zagospodarowania Przestrzennego dla osiedla Mokry Ług.	104

Spis tabel

Tabela 1. Skala wartości stosowana w metodzie porównania parami na podstawie Saaty za Malczewski i Jaroszewicz (2018).....	25
Tabela 2. Macierz porównań parami na podstawie Malczewski i Jaroszewicz (2018)	26
Tabela 3. Wartości współczynnika losowego RI w zależności od liczby kryteriów wyznaczone przez Saaty’ego i Ozdemira w 2003r. na podstawie Malczewski i Jaroszewicz (2018).	28
Tabela 4. Wzór tabeli przekazanej do wypełnienia respondentom.	50
Tabela 5. Wzór tabeli z przypisanymi wagami.	51
Tabela 6. Zbiorcza tabela dla kryteriów: cechy fizyczne, lokalizacja i stopień zagospodarowania	51
Tabela 7. Zbiorcza tabela dla subkryteriów: powierzchnia, nachylenie, stopień regularności	51
Tabela 8. Zbiorcza tabela dla subkryteriów: rynek, lasy, woda, brak obiektów uciążliwych	52
Tabela 9. Zbiorcza tabela dla subkryteriów: infrastruktura, drogi, transport	52
Tabela 10. Zbiorcza tabela dla subsubkryteriów: sieci elektroenergetyczne, sieci wodociągowe, sieci kanalizacyjne, sieci gazowe, sieci telekomunikacyjne, sieci ciepłownicze	53
Tabela 11. Macierz decyzji, wagi i współczynnik spójności dla kryteriów: cechy fizyczne, lokalizacja, stopień zagospodarowania	55
Tabela 12. Macierz decyzji, wagi i współczynnik spójności dla subkryteriów: powierzchnia, nachylenie i stopień regularności	56
Tabela 13. Macierz decyzji, wagi i współczynnik spójności dla subkryteriów: rynek, lasy, woda, brak obiektów uciążliwych	58
Tabela 14. Macierz decyzji, wagi i współczynnik spójności dla subkryteriów: infrastruktura, drogi, transport	59
Tabela 15. Macierz decyzji, wagi i współczynnik spójności dla subsubkryteriów: sieci elektroenergetyczne, sieci wodociągowe, sieci kanalizacyjne, sieci gazowe, sieci telekomunikacyjne, sieci ciepłownicze	64

Spis wykresów

Wykres 1. Porównanie parami cech fizycznych, lokalizacji i stopnia zagospodarowania na diagramach pudełkowych z wykorzystaniem 9-cio stopniowej skali porównań Saaty'ego.	54
Wykres 2. Porównanie subkryteriów: powierzchna, nachylenie i stopień regularności.	55
Wykres 3. Porównanie subkryteriów: rynek, lasy, woda, brak obiektów uciążliwych część A	56
Wykres 4. Porównanie subkryteriów: rynek, lasy, woda, brak obiektów uciążliwych część B.	57
Wykres 5. Porównanie subkryteriów: infrastruktura, drogi, transport.	58
Wykres 6. Porównanie subsubkryteriów: sieci elektroenergetyczne, sieci wodociągowe, sieci kanalizacyjne, sieci gazowe, sieci telekomunikacyjne, sieci ciepłownicze część A.....	59
Wykres 7. Porównanie subsubkryteriów: sieci elektroenergetyczne, sieci wodociągowe, sieci kanalizacyjne, sieci gazowe, sieci telekomunikacyjne, sieci ciepłownicze część B.....	60
Wykres 8. Porównanie subsubkryteriów: sieci elektroenergetyczne, sieci wodociągowe, sieci kanalizacyjne, sieci gazowe, sieci telekomunikacyjne, sieci ciepłownicze część C.....	61
Wykres 9. Porównanie subsubkryteriów: sieci elektroenergetyczne, sieci wodociągowe, sieci kanalizacyjne, sieci gazowe, sieci telekomunikacyjne, sieci ciepłownicze część D.....	62
Wykres 10. Porównanie subsubkryteriów: sieci elektroenergetyczne, sieci wodociągowe, sieci kanalizacyjne, sieci gazowe, sieci telekomunikacyjne, sieci ciepłownicze część E.	63
Wykres 11. Zbiorcze zestawienie dla porównania map kryteriów.	101
Wykres 12. Zbiorcze zestawienie dla porównania map kryteriów (z uwzględnieniem wag ważności i wag kryteriów).....	102