

POLSKA AKADEMIA NAUK – Oddział w Krakowie
KOMISJA TECHNICZNEJ INFRASTRUKTURY WSI

POLISH ACADEMY OF SCIENCES – Cracow Branch
COMMISSION OF TECHNICAL RURAL INFRASTRUCTURE

INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH

IV/2

INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Monika Siejka

**OPTYMALNY WYBÓR LOKALIZACJI INWESTYCJI
W GOSPODARCE NIERUCHOMOŚCIAMI**

**OPTIMAL SELECTION OF INVESTMENTS LOCATION
IN LAND MANAGEMENT**

Monografia

Kraków 2015

RADA PROGRAMOWA – RESEARCH COUNCIL

Radomir Adamovský (*Praga*), Atilgan Atilgan (*Isparta*), Wacław Bieda,
Wilhelm Opitz von Boberfeld (*Giessen*), Károly Bodnár (*Szeged*), Jerzy Gruszczyński,
Bent Hasholt (*Kopenhaga*), Jozsef Horvath (*Szeged*), Dušan Húska (*Nitra*),
Stanisław Krzanowski (*przewodniczący*),
Csaba Juhász (*Debrecen*), Josep Maria Llop-Torné (*Lleida*), Antoni T. Miler,
Pavel Neuberger (*Praga*), Ferenc Pál-Fám (*Kaposvár*), Jan Pawelek, Štefan Pogran (*Nitra*),
Artur Radecki-Pawlik, Jerzy Ratomski, Stanisław Rolbiecki, Czesław Rycąbel,
Ulas Senyigit (*Isparta*), Janusz L. Siemiński, Mirosław J. Skibniewski (*Maryland-College Park*),
Stefan Stojko (*Lwów*), Rastislava Stolična (*Bratysława*),
Emilio V. Carral Vilarinho (*Santiago de Compostela*), Gerlind Weber (*Wiedeń*),
Stanisław Węglarczyk, Andrzej Woźniak, Zdzisław Wójcicki

Informujemy, że w odniesieniu do wszystkich publikacji zamieszczonych w czasopiśmie naukowym *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* od 2004 roku, wydanych w formie papierowej oraz on-line, wersją pierwotną i główną jest wersja papierowa.

We wish to inform that in relation to all papers published in *Infrastructure and Ecology of Rural Areas* (from 2004), both on-line and printed, the version of the dissertation which is considered to be primal and original is the printed one.

**Recenzenci: dr hab. inż. Waldemar Krupiński, prof. WSBiP
prof. zw. dr hab. inż. Zbigniew Piasek, dr h.c.**

DOI: <http://medra.org/10.14597/infraeco.2015.4.2.089>

ISSN 1732 – 5587

Monografię wykonano w Katedrze Geodezji Uniwersytetu Rolniczego
im. Hugona Kołłątaja w Krakowie.
Wydanie monografii zlecił Dziekan Wydziału Inżynierii Środowiska i Geodezji
Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie Prof. dr hab. inż. Krzysztof Ostrowski

WYDAWCA – EDITOR

Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi Oddziału Polskiej Akademii Nauk w Krakowie, poprzez
afiliowane Stowarzyszenie Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich

© Copyright by:
Stowarzyszenie Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich,
ul. św. Jana 28, 31-018 Kraków

Nakład: 150 egz.

www.infraeco.pl

SPIS TREŚCI

1. WPROWADZENIE.....	1117
1.1. Geneza i układ monografii.....	1117
1.2. Podstawy zakresu badań.....	1119
2. INWESTYCJE CELU PUBLICZNEGO W GOSPODARCE NIERUCHOMOŚCIAMI	1122
2.1. Realizacja inwestycji celu publicznego	1122
2.2. Wpływ lokalizacji obiektów inwestycyjnych na środowisko naturalne	1125
3. WYBRANE METODY PRZESTRZENNEJ ANALIZY DECYZYJNEJ.....	1131
3.1. Interpretacja metod	1131
3.2. Ocena prezentowanych metod.....	1148
4. INFRASTRUKTURA INFORMACJI PRZESTRZENNEJ PODSTAWĄ PROCESÓW DECYZYJNYCH.....	1150
4.1. Budowa systemu infrastruktury informacji przestrzennej	1150
4.2. Mapa jako źródło informacji o przestrzeni geograficznej	1157
4.3. Baza danych obiektów topograficznych	1158
5. GENERACJA MODELU LOKALIZACJI OBIEKTÓW INWESTYCYJNYCH.....	1164
5.1. Teoretyczne podstawy.....	1164
5.2. Analiza dokładności wyznaczenia współrzędnych punktów węzłowych	1169
5.3. Numeryczna optymalizacja długości boku siatki kwadratów	1171
6. NUMERYCZNA WIZUALIZACJA OBSZARÓW INWESTY- CYJNYCH	1176
6.1. Założenia autorskiej aplikacji komputerowej	1176
6.2. Zasada działania aplikacji LandRange	1181

7. BADANIA TESTOWE NA OBIEKCIE SYMULOWANYM	1189
7.1. Charakterystyka parametrów i obliczenie wag	1189
7.2. Interpretacja materiału badawczego	1193
7.3. Analiza wyników	1196
8. BADANIA EKSPERYMENTALNE NA OBIEKTACH RZECZYWISTYCH	1205
8.1. Interpretacja parametrów podstawowych	1206
8.2. Obliczenie wag	1208
8.3. Eksperymentalne obliczenie wartości parametrów	1211
8.4. Analiza badań własnych	1220
9. PODSUMOWANIE I WNIOSKI	1229
LITERATURA	1232

CONTENTS

1. 1. INTRODUCTION	1117
1.1. The origin and structure of monographs.....	1117
1.2. Basics of research	1119
2. PUBLIC INVESTMENTS IN LAND MANAGEMENT.....	1122
2.1. Achievement of a public investment	1122
2.2. Effect of the location of investment projects on the environment	1125
3. CHOSEN METHODS OF SPATIAL DECISION ANALYSIS	1131
3.1. Interpretation of methods.....	1131
3.2. Appraisal of the presented methods.....	1148
4. SPATIAL INFORMATION INFRASTRUCTURE THE BASE OF DECISION-MAKING ANALYSIS	1150
4.1. Construction of spatial information infrastructure	1150
4.2. Map as a source of geographical information.....	1157
4.3. Topographical database.....	1158
5. DEVELOPED MODEL OF OPTIMUM LOCATION OF INVESTMENTS.....	1164
5.1. Theoretical groundwork.....	1164
5.2. Analysis of the accuracy designation of nodes coordinates.....	1169
5.3. Numerical optimization of the length of side of the grid.....	1171
6. NUMERICAL VISUALIZATION OF INVESTMENT AREAS ...	1176
6.1. Assumptions of own computer application.....	1176
6.2. Rules of the application LandRange.....	1181

7. THEORETICAL STUDY.....	1189
7.1. Characteristic parameters and calculation of weights	1189
7.2. Interpretation of research material.....	1193
7.3. Analysis of results.....	1196
8. CASE STUDY ON THE REAL OBJECTS.....	1205
8.1. Interpretation of the basic parameters.....	1206
8.2. Calculation of weights	1208
8.3. Experimental calculation of parameters	1211
8.4. Analysis of the own research	1220
9. RESULTS AND CONCLUSIONS	1229
REFERENCES.....	1232

1. WPROWADZENIE

1.1. Geneza i układ monografii

Zadaniem gospodarki nieruchomościami jest podejmowanie decyzji inwestycyjnych, umożliwiających sukcesywne realizowanie zasady zrównoważonego rozwoju. Decyzje dotyczące lokalizacji inwestycji celu publicznego, mają duży wpływ na rozwój gospodarczy regionu. Powinny być, zatem podejmowane na podstawie wcześniej opracowanej i przyjętej strategii zdefiniowanej w sposób sformalizowany. Problemy decyzyjne można rozwiązywać, korzystając z teorii optymalizacji. U podstaw formułowania zagadnień dotyczących podejmowania decyzji leży pojęcie decyzji najlepszej, czyli optymalnej. W praktyce stosuje się uproszczenia, uwzględniając wyłącznie jedno kryterium, izolując je i optymalizując. Wybrane kryterium zakłada minimalizację strat lub maksymalizację korzyści. Uzyskana decyzja traktowana jest, jako optymalne rozwiązanie zadania decyzyjnego. Sposób podejmowania decyzji optymalnej na podstawie jednego kryterium posiada kilka zalet, między innymi: prostotę, precyzję a także możliwość matematycznego ujęcia problemu. Główną wadą tego uproszczonego podejścia do problemu, jest ograniczenie związane z koniecznością wyboru jednego kryterium, które będzie rozstrzygać o podjętej decyzji.

Optymalizacja, jako podejście do rozwiązywania zadania decyzyjnego, jest mocno ugruntowana na polu podejmowania decyzji w zadaniach dotyczących gospodarki nieruchomościami. Każdy uzyskany efekt, związany z realizacją obiektu inwestycyjnego, można wyrazić w sposób ilościowy przez zależność funkcyjną. Rozwiązanie polega na znalezieniu wartości zmiennych decyzyjnych, dla których wskazana funkcja osiąga minimum lub maksimum w zbiorze dopuszczalnym. Warunkiem koniecznym realizacji zadania decyzyjnego jest, aby zmienne decyzyjne były wyrażone ilościowo i przyjmowały wartości w granicach wyznaczających zbiór możliwych rozwiązań. Wynik tak postawionego zadania jest optymalnym wariantem projektu inwestycyjnego (Luenberger D.G., 1974; Gajda J.B., 2001).

Wyróżnia się kilka sposobów klasyfikacji metod optymalizacji. W zależności od rodzaju zadania decyzyjnego, rozpatruje się dwa przypadki. Pierwszy dotyczy ograniczeń związanych z jego realizacją. W zadaniach z ograniczeniami zmienne decyzyjne przyjmują wartości należące do zbioru dopuszczalnego. Jeżeli zmienne decyzyjne przyjmują dowolne wartości, realizowane jest zadanie bez ograniczeń. Kolejny sposób związany jest z rodzajem zmiennych. Zmienne mogą przyjmować charakter zmiennych statycznych bądź dynamicznych. Sposób klasyfikacji metod zależy też od zakładanego celu oraz generowanych ograniczeń. W optymalizacji liniowej zarówno funkcja wyrażająca cel jak i ograniczenia są liniowymi kombinacjami zmiennych decyzyjnych. W optymalizacji

nieliniowej przynajmniej jedna z funkcji występujących w zadaniu jest nieliniowa względem zmiennych decyzyjnych. Sposoby podziału metod optymalizacji uwzględniają dodatkowo deterministyczny lub stochastyczny charakter zmiennych decyzyjnych. Z punktu widzenia praktycznego zastosowania metod optymalizacji w gospodarce nieruchomościami podział ze względu na cel rozpatrywanego zadania decyzyjnego ma znaczenie użytkowe. Wyróżnia się tu metody jedno i wielokryterialne. Metoda wielokryterialna uwzględnia w swoich założeniach szereg kryteriów, a optymalizacja przebiega z uwzględnieniem wszystkich jednocześnie. Natomiast optymalizacja jednokryterialna obejmuje tylko jeden parametr (Stadnicki J., 2006).

Wybór odpowiedniej metody optymalizacji zależy od rodzaju zadania, jakie należy rozwiązać. Różnice występujące pomiędzy zadaniami powodują, że nie ma jednej efektywnej metody. Zadania decyzyjne rozwiązywane są za pomocą odpowiednich algorytmów. Ważne jest poznanie różnych algorytmów, aby dokonać właściwego wyboru w celu rozwiązania danego typu zadania.

Analizując problem, decydent jest podmiotem dokonującym wyboru ostatecznego rozwiązania. Wybrane rozwiązanie powinno osiągnąć konkretny stan pożądany. W gospodarce nieruchomościami stanem pożądanym jest osiągnięcie zrównoważonego rozwoju między innymi poprzez optymalną lokalizację inwestycji celu publicznego. Do takich działań zobowiązuje nas także członkostwo w Unii Europejskiej. Polska, jako pełnoprawny członek UE, zobowiązana jest do wdrażania zasad obowiązujących w państwach członkowskich. W dziedzinie gospodarki nieruchomościami wyróżnia się wytyczne zarządzania terenami UN/ECE, opracowane przez grupę ekspertów Meeting of Officials on Land Administration (MOLA). Podstawowym zadaniem MOLA było promowanie zarządzania terenami w krajach, gdzie dopiero rozpoczęto budowę systemu gospodarki rynkowej (Wilkowski W., i in., 2006). W przedmiotowych wytycznych zarządzanie terenami zostało zdefiniowane jako proces tworzenia, zapisywania i rozpowszechniania informacji o terenie obejmujący stan praw (własność, użytkowanie) jak również inne formy gospodarowania terenem. Zaliczono do nich między innymi: nabywanie gruntów przez wykup lub wywłaszczenie w celu lokowania inwestycji o charakterze publicznym i zasięgu ponadlokalnym. Jako podstawowy cel zarządzania terenami, podaje się też prowadzenie działań socjoekonomicznych. Zadaniem tych działań jest przestrzeganie zasad gospodarowania ziemią z uwzględnieniem sprawiedliwego podziału korzyści z niego wynikających. System zarządzania terenami obejmuje między innymi: wzmocnienie praw do ziemi, tworzenie i wdrażanie planów zagospodarowania przestrzennego uwzględniających zrównoważony rozwój terenów zarówno miejskich jak i wiejskich, a także zrównoważone gospodarowanie zasobami środowiska (Wilkowski W., i in., 2006). Wytyczne jednoznacznie podają, że zrównoważone gospodarowanie zasobami środowiska ma swoje odzwierciedlenie w gospodarce nieruchomościami w trzech aspektach: ochrony środowiska, zanieczyszczenia

środowiska oraz rekultywacji gruntów. Zarówno ochrona środowiska jak i zanieczyszczenie środowiska to aspekty, które decydują o wielkości nakładów finansowych, jakie generuje konieczność rekultywacji. W tej sytuacji szczególnie ważne jest prowadzenie badań w celu opracowania metodyki optymalnego wyboru lokalizacji inwestycji celu publicznego. Jako inwestycje celu publicznego można wskazać między innymi: lotniska, linie kolejowe, drogi publiczne (szczególnie autostrady, obwodnice miast, drogi szybkiego ruchu), zakłady utylizacji odpadów komunalnych, cmentarze, obiekty sportowe, szpitale, szkoły, itp. Na zachowanie zasady zrównoważonego rozwoju mają również wpływ inwestycje dotyczące lokalizacji takich obiektów jak: elektrownie (wiatrowe, jądrowe, węglowe), maszty przekaźnikowe (sygnalizacji sieci komórkowych, telewizyjnych), zakłady przemysłowe, itp.

Wybór lokalizacji inwestycji o charakterze ponadlokalnym, których przykłady zostały wyżej wymienione, związany jest z rozpatrzeniem szeregu kryteriów. Należą do nich kryteria będące warunkami koniecznymi związanymi z daną inwestycją oraz kryteria oceniające skutki tej inwestycji dla środowiska. Skutki rozpatruje się w aspekcie ochrony środowiska oraz emisji zanieczyszczeń. Z powyższych zasad wynika, że metodyka optymalnego wyboru lokalizacji inwestycji celu publicznego powinna w swoich założeniach uwzględniać analizę wielokryterialną.

1.2. Podstawy zakresu badań

Jednym z głównych zadań gospodarki nieruchomościami jest takie podejmowanie decyzji inwestycyjnych, aby sukcesywnie realizować zasadę zrównoważonego rozwoju. Decyzje dotyczące lokalizacji inwestycji celu publicznego, mają duży wpływ na rozwój gospodarczy regionu i powinny być podejmowane na podstawie rozwiązania zadania zapisanego w sposób sformalizowany. Problematykę dotyczącą wyboru lokalizacji obiektów inwestycyjnych można rozwiązywać, korzystając z teorii optymalizacji.

Opracowanie nowej metodyki optymalnego wyboru lokalizacji inwestycji celu publicznego stanowi podstawowy cel pracy. Zaproponowana w pracy metodyka umożliwia uwzględnienie zarówno warunków, jakie muszą zostać spełnione do realizacji założonego celu jak również skutków oddziaływania obiektu inwestycyjnego na otoczenie. Do warunków koniecznych należy zaliczyć wymogi prawne, techniczne oraz ekonomiczne. Jako skutki natomiast należy wskazać zarówno pozytywne wpływające na rozwój regionu jak i negatywne związane z zanieczyszczeniem środowiska, zmianą walorów krajobrazowych, itp. Różnorodny charakter inwestycji powoduje, że wymagają one spełnienia szeregu kryteriów tak ilościowych jak i jakościowych. Dodatkowo każda inwestycja w inny sposób oddziałuje na otoczenie. Opracowana metodyka daje możliwość regula-

cji liczby parametrów oraz możliwość uwzględniania charakteru analizowanych parametrów (ilościowych, jakościowych).

Przeprowadzone prace studialne i badawcze pozwoliły na postawienie następującej tezy. W badanym zjawisku występują zależności przestrzenne, umożliwiające oszacowanie wartości danego parametru w każdym punkcie przestrzeni. Tak postawiona teza umożliwiła realizację założonego celu przez zastosowanie metody całkowania powierzchniowego. Na obszarze badań założono siatkę kwadratów. Każdy kwadrat traktowano jako elementarną jednostkę badawczą. W każdym punkcie węzłowym siatki wskazano wartości poszczególnych parametrów.

Realizacja przedstawionego celu ogólnego wymagała realizacji celów pomocniczych:

- opracowania metodyki określenia liczby punktów węzłowych na badanym obszarze,
- opracowania metodyki wstępnej analizy dokładności wyznaczenia położenia punktów węzłowych,
- wskazania sposobu normalizacji parametrów,
- wskazania sposobu wagowania parametrów,
- opracowania metodyki wizualizacji wyników przeprowadzonych analiz,
- opracowania metodyki prognozowania wyników poza obszarem analizy.

Dane do realizacji zadania pozyskano z dostępnych i obecnie coraz bardziej powszechnych systemów informacji przestrzennej.

Opracowana metodyka optymalizacji wyboru lokalizacji inwestycji celu publicznego, uwzględniająca w swoim algorytmie elementy analizy decyzyjnej oraz opracowana nakładka aplikacyjna w środowisku Delphi, umożliwiająca wizualizację wyników, stanowi istotny wkład naukowy w rozwój procedur gospodarki nieruchomościami.

Metodyka optymalnego wyboru lokalizacji obiektu inwestycyjnego wraz aplikacją wizualizującą obszary o różnym stopniu przydatności do realizacji postawionego zadania decyzyjnego, została przetestowana na obiekcie modelowym oraz na obiektach rzeczywistym i może zostać wdrożona do realizacji.

Zakres pracy można podzielić na trzy zasadnicze części. Pierwsza część obejmuje przeprowadzoną na podstawie literatury interpretację metod wielokryterialnych wykorzystywanych w przestrzennej analizie decyzyjnej. Przeanalizowano zasady stosowania metod, sposoby normalizacji danych oraz wagowania parametrów. W części pierwszej zaproponowano źródła danych, z których można pozyskać informacje niezbędne do prowadzenia przedmiotowych analiz decyzyjnych, według metody opracowanej przez autora. Szczególną uwagę zwrócono na bazę danych obiektów topograficznych wchodzącą w skład budowanego systemu informacji przestrzennej.

Część druga to przedstawienie teoretycznych zasad proponowanej metodyki. Główne założenie oparto na całkowaniu powierzchniowym. Podstawę

stanowią tu dane w postaci współrzędnych prostokątnych (x,y) , określających położenie badanego obiektu. Obiektem jest obszar, na którym planuje się realizację danej inwestycji, podzielony siatką kwadratów na mniejsze (elementarne) jednostki badawcze. Dla sprawdzenia wymaganej dokładności pomiarów współrzędnych punktów węzłowych, przeprowadzono wstępną analizę dokładności. W celu interpolacji wartości funkcji poza punktami siatki, zastosowano wielomian drugiego stopnia. W tej części przedstawiono także autorskie rozwiązanie wyznaczenia liczby punktów węzłowych. Wyniki badań zostały zwizualizowane opracowaną w środowisku Delphi nakładką aplikacyjną LandRange. Przedstawiono algorytm obliczeniowy i fragment programu opracowanej aplikacji.

Trzecia część pracy zawiera badania testowe na obiekcie symulowanym oraz eksperymentalne przeprowadzone na obiektach rzeczywistych. Badania na obiekcie modelowym potwierdziły poprawność proponowanych rozwiązań matematycznych oraz działania aplikacji. Uzyskano zbieżne wyniki analiz w trzech różnych wariantach.

Badania na obiektach rzeczywistych obejmowały wybranie najlepszej lokalizacji do budowy zakładu termicznego przekształcania odpadów komunalnych, z pośród siedmiu wskazanych potencjalnych lokalizacji. Dla każdego obiektu badawczego zdefiniowano parametry określające warunki techniczne terenu oraz skutki lokalizacji zakładu związane z uciążliwością dla otoczenia, co w konsekwencji da podstawę i argumenty w konsultacjach środowiskowych. Źródłem danych do prowadzenia przedmiotowych analiz były zbiory danych przestrzennych, takie jak; baza danych obiektów topograficznych, mapy hydrogeologiczne, zintegrowany system informacji o nieruchomościach, dane pochodzące z monitoringu środowiska prowadzonego przez inspektoraty ochrony środowiska, a w szczególności dotyczące zanieczyszczenia powietrza, wód i gleb, itp.

Zgodnie z założeniami analizy i przeprowadzonymi obliczeniami parametrów optymalizacji, wybrane do analizy obszary zostały podzielone siatką kwadratów o boku 70 m. Dla każdego punktu węzłowego pozyskano odpowiednie wartości wskazanych parametrów. Zebrane dane zostały znormalizowane i przypisano im wagi obliczone metodą analitycznego procesu hierarchicznego. Przeprowadzono wzajemne porównanie uzyskanych wyników. Optymalną lokalizacją dla wskazanego celu jest obszar na terenie huty ArcelorMittal w Krakowie.

2. INWESTYCJE CELU PUBLICZNEGO W GOSPODARCE NIERUCHOMOŚCIAMI

Gospodarkę nieruchomościami można zdefiniować jako zespół działań podejmowanych przez organy administracji publicznej, osoby fizyczne i osoby prawne oraz przez jednostki organizacyjne nie posiadające osobowości prawnej, służących uporządkowaniu relacji społeczno-gospodarczych na szczeblu lokalnym, regionalnym i centralnym. Wiodącą rolę w gospodarce nieruchomościami odgrywają organy administracji publicznej, co wynika z obowiązujących w tym zakresie przepisów prawa, a w szczególności ustawy z dnia 21 sierpnia 1997 roku, o gospodarce nieruchomościami. Ustawa (1997) w swojej treści określa zasady prawidłowej gospodarki nieruchomościami, precyzuje pojęcie celów publicznych, interesu publicznego i użyteczności publicznej. Zasadniczo, zakres regulacji ustawy o gospodarce nieruchomościami nie obejmuje gruntów rolnych i leśnych, gdyż zostały one objęte odrębnymi ustawami. Pomimo to jednak niektóre przepisy ustawy o gospodarce nieruchomościami mają zastosowanie do gruntów rolnych i leśnych, między innymi w aspekcie dotyczącym ograniczenia praw do nieruchomości w związku z realizacją celów publicznych bądź potrzeby zapobieżenia powstaniu szkody w wypadku wystąpienia siły wyższej (klęski żywiołowej). Dlatego właściwe określenie lokalizacji inwestycji celu publicznego ma istotne znaczenie w gospodarce nieruchomościami, a w konsekwencji w dążeniach do osiągnięcia zasady zrównoważonego rozwoju zarówno na obszarach zurbanizowanych jak i poza tymi obszarami.

2.1. Realizacja inwestycji celu publicznego

Jednym z zadań organów administracji publicznej jest realizacja inwestycji celu publicznego. Podstawowe znaczenie w odniesieniu do tematu podjętego w niniejszej pracy ma zasada realizacji inwestycji celu publicznego. Inwestycje te, to działania o zasięgu lokalnym, ponadlokalnym i krajowym. Inwestycje o zasięgu lokalnym obejmują teren gminy, inwestycje ponadlokalne mają zasięg powiatowy lub wojewódzki, natomiast inwestycje o zasięgu krajowym obejmują inwestycje międzynarodowe i ponadregionalne (Ustawa, 2003).

W artykułe 6 ustawy (1997) podano wykaz celów publicznych, które obejmują pozyskanie gruntów oraz budowę i utrzymywanie między innymi takich obiektów jak:

- drogi publiczne, rowerowe i wodne, linie kolejowe oraz obiekty i urządzenia transportu publicznego, łączności publicznej i sygnalizacji,
- lotniska oraz urządzenia i obiekty do obsługi ruchu lotniczego,

- publiczne urządzenia wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę,
- publiczne urządzenia wykorzystywane do przesyłania, oczyszczania i odprowadzania ścieków,
- publiczne urządzenia wykorzystywane do składowania odpadów, ich odzysku oraz unieszkodliwiania,
- urządzenia służące ochronie środowiska, zbiorniki i inne urządzenia wodne służące zaopatrzeniu w wodę oraz regulacji przepływów i ochronie przed powodzią,
- urządzenia służące do przesyłania lub dystrybucji energii elektrycznej, płynów, pary, gazów,
- pomieszczenia dla organów władzy, administracji, sądów, prokuratur itp.,
- budynki dla państwowych szkół wyższych, publicznych szkół i przedszkoli,
- pomieszczenia dla publicznych obiektów ochrony zdrowia, domów opieki społecznej, placówek opiekuńczo-wychowawczych oraz obiektów sportowych,
- cmentarze.

Należy nadmienić, iż zasady gospodarki nieruchomościami regulują także inne akty prawne, wśród których wyróżnia się między innymi: ustawę o autostradach płatnych oraz Krajowym Funduszu Drogowym, ustawę o scalaniu i wymianie gruntów, ustawę Prawo wodne, ustawę Prawo lotnicze, ustawę o szczególnych zasadach przygotowania i realizacji inwestycji w zakresie dróg publicznych, ustawę o szczególnych zasadach przygotowania i realizacji inwestycji w zakresie lotnisk użytku publicznego, ustawę o szczególnych zasadach przygotowania i realizacji inwestycji w zakresie budowy przeciwpowodziowych. W aspekcie wymienionych przepisów gospodarowanie nieruchomościami można rozumieć jako zespół działań prawnych, technicznych i ekonomicznych zmierzających do uzyskania optymalnego stanu nieruchomości. Działania te mogą być prowadzone zarówno przez jednostki rządowe, samorządowe, ale także osoby prawne i fizyczne. Aby było to możliwe zachodzi konieczność integracji gospodarki nieruchomościami z systemami planowania przestrzennego, katastralnymi, ksiąg wieczystych, a także infrastrukturą danych przestrzennych (Hycner R., i in., 2003; Wilkowski W., i in., 2006; Kwartnik-Pruc A., i in., 2015).

Planowanie przestrzenne stanowi istotny element gospodarki nieruchomościami i jednocześnie jest podstawowym narzędziem ochrony i kształtowania środowiska. Kluczowym celem planowania jest osiągnięcie ładu przestrzennego oraz zrównoważonego rozwoju. Ustawa (2003) definiuje wymienione pojęcia następująco. Jako ład przestrzenny należy rozumieć ukształtowanie przestrzeni w harmonijną całość z uwzględnieniem uwarunkowań i wymagań funkcjonalnych, społecznych, gospodarczych, środowiskowych, a także kulturowych i estetycznych. Natomiast w zakresie definicji pojęcia „równoważony rozwój”,

ustawa (2003) odsyła do ustawy Prawo ochrony środowiska (2001). Pojęcie to zostało zdefiniowane w ustawie (2001) jako rozwój społeczno – gospodarczy w którym następuje integracja działań gospodarczych, politycznych i społecznych, z uwzględnieniem zasad równowagi przyrodniczej w celu zaspokojenia podstawowych potrzeb społeczności ludzkiej zarówno współczesnego pokolenia, jak i przyszłych pokoleń. Realizacja w planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym, tak postawionych zadań ogólnych, następuje trzystopniowo: na poziomie krajowym (konceptja przestrzennego zagospodarowania kraju), wojewódzkim (plan zagospodarowania przestrzennego województwa) oraz gminnym (miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego).

Konceptja przestrzennego zagospodarowania kraju określa cele i kierunki osiągnięcia zrównoważonego rozwoju kraju, a między innymi (Ustawa, 2003): podstawowe elementy sieci osadniczej, wymagania z zakresu ochrony środowiska, rozmieszczenie infrastruktury społecznej o znaczeniu międzynarodowym i krajowym oraz rozmieszczenie obiektów infrastruktury technicznej i transportowej, strategicznych zasobów wodnych i obiektów gospodarki wodnej o znaczeniu międzynarodowym i krajowym.

Plan zagospodarowania przestrzennego województwa uwzględnia ustalenia zawarte w koncepcji przestrzennego zagospodarowania kraju oraz strategii rozwoju województwa. Należą do nich między innymi (Ustawa, 2003): podstawowe elementy sieci osadniczej dla województwa i ich powiązania komunikacyjne oraz infrastrukturalne, obszary ochrony środowiska, przyrody i krajobrazu kulturowego, lokalizację inwestycji celu publicznego o znaczeniu ponadlokalnym, zagospodarowanie obszarów funkcjonalnych o znaczeniu ponadregionalnym, obszary szczególnego zagrożenia powodzią, granice terenów zamkniętych i ich stref ochronnych, obszary występowania udokumentowanych złóż kopalin i udokumentowanych kompleksów podziemnego składowania dwutlenku węgla.

Miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego, jako akty prawa miejscowego, rozstrzygają o przeznaczeniu terenów na obszarze danej gminy lub jej części. W planach tych określa się między innymi (Ustawa, 2003): przeznaczenie terenów wskazując tym samym możliwość lokalizacji obiektów o różnym charakterze, zasady kształtowania ładu przestrzennego, zasady ochrony środowiska, przyrody i krajobrazu kulturowego, wymagania związane z potrzebą kształtowania przestrzeni publicznej, zasady kształtowania zabudowy oraz wskaźniki zagospodarowania terenu, zasady kształtowania systemów komunikacji i infrastruktury technicznej, granice terenów rozmieszczenia inwestycji celu publicznego o znaczeniu lokalnym oraz granice terenów inwestycji celu publicznego o znaczeniu ponadlokalnym, umieszczonych w planie zagospodarowania przestrzennego województwa lub w ostatecznych decyzjach o lokalizacji drogi krajowej, wojewódzkiej lub powiatowej, linii kolejowej o znaczeniu państwowym, lotniska użytku publicznego lub inwestycji w zakresie terminalu lotniczego.

W przypadku braku na danym terenie miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego, przed rozpoczęciem inwestycji konieczne jest uzyskanie decyzji o warunkach zabudowy lub decyzji o ustaleniu lokalizacji inwestycji celu publicznego.

Przeprowadzone rozważania dotyczące planowania i zagospodarowania terenów, wykazują ścisły związek z gospodarką nieruchomościami. Każde zamierzenie inwestycyjne, niezależnie od zasięgu oddziaływania, powinno być uwzględnione w planowaniu przestrzennym na podstawie stosownej decyzji lub zapisu w akcie prawa miejscowego. Gospodarowanie nieruchomościami z uwzględnieniem zasad dotyczących planowania przestrzennego przyczyni się do osiągnięcia ładu przestrzennego i zrównoważonego rozwoju.

2.2. Wpływ lokalizacji obiektów inwestycyjnych na środowisko naturalne

Ingerencja człowieka w środowisko naturalne pozostawia za sobą ślady, niejednokrotnie nieodwracalne. Skutki tej ingerencji to zanieczyszczenie powietrza, wód, gleb, gromadzenie odpadów, hałas, itp. Podstawową przyczyną jest tu pożądany, mimo wszystko, rozwój nowych technologii, który pociąga za sobą zanieczyszczenie powietrza oraz degradację gleb i wód.

Do podstawowych związków chemicznych występujących w atmosferze, a szkodliwych dla zdrowia i życia ludzi należy zaliczyć między innymi: tlenek węgla, dwutlenek siarki, tlenki azotu, mieszaniny węglowodorów, a także zdyspergowane cząstki pyłów. Głównym źródłem występowania tego rodzaju substancji szkodliwych jest przemysł i elektrownie węglowe, jak również coraz bardziej dynamiczny rozwój komunikacji samochodowej. Zanieczyszczenie atmosfery niesie ze sobą pogorszenie stanu zdrowia ludzi, a także powoduje degradację terenów zielonych (Cymerman R., i in., 2000). Podobna sytuacja dotyczy zanieczyszczenia wód. Polska należy do grupy krajów charakteryzujących się ubogimi zasobami wodnymi. Czystość polskich rzek jest zagrożona niedostatecznie oczyszczonymi ściekami tak komunalnymi jak i przemysłowymi. Usuwa się do nich toksyczne środki chemiczne, a także niejednokrotnie ścieki bytowe. W Polsce nadal utrzymuje się stosunkowo duże zużycie czystej wody w różnych gałęziach przemysłu. Należy zwrócić uwagę, że nawet woda wykorzystywana do chłodzenia układów przemysłowych, po powrocie do rzek i jezior, podnosi temperaturę tych naturalnych zbiorników wodnych, zmieniając jednocześnie ich charakter. Poprawę zaistniałej sytuacji przyniosły działania zmierzające do wdrożenia dyrektywy UE w zakresie poprawy jakości wód (Dyrektywa 60/WE, 2000).

Kolejnym elementem składowym środowiska naturalnego, zagrożonym zanieczyszczeniami są gleby. Zakwaszenie gleb spowodowane w znaczącym stopniu emisją zanieczyszczeń pochodzących z przemysłu, przyczyniło się do

obniżenia ich zdolności produkcyjnych. Do podstawowych szkodliwych substancji chemicznych gromadzonych w glebach należą metale ciężkie (rtęć, miedź, ołów, kadm, cynk, nikiel, itp.). Przyczynę tego zjawiska upatruje się przede wszystkim w emisji substancji szkodliwych pochodzących z przemysłu, składowaniu odpadów zarówno przemysłowych jak i komunalnych, nadmiernej i ciągle rosnącej emisji spalin, a także w nadmiernym wykorzystaniu nawozów sztucznych i środków ochrony roślin w rolnictwie. W naszym kraju notuje się coraz więcej powierzchni gruntów całkowicie zdegradowanych i zdewastowanych (Woś A., 1995; Cymerman R., i in., 2000).

Poważnym zagrożeniem dla środowiska naturalnego jest także wzrastająca z każdym rokiem ilość gromadzonych odpadów. Na uwagę zasługuje fakt, że zagrożenia dla środowiska powstają na każdym etapie gospodarowania odpadami, a mianowicie: gromadzenia, transportu, unieszkodliwiania, a również powtórnego wykorzystania. Szacuje się, że ponad 90% odpadów pochodzi z przemysłu. Dominuje tu przemysł hutniczy, wydobywczy i energetyczny. Znaczna część odpadów poprzemysłowych jest wykorzystywana powtórnie. Jednakże około 4% odpadów to odpady niebezpieczne pochodzące między innymi z przemysłu chemicznego, rolno-spożywczego, maszynowego oraz hutnictwa (Cymerman R., i in., 2000). Od początku lat 90-tych dwudziestego stulecia, zwiększa się istotnie ilość odpadów pochodzących z gospodarstw domowych. Ze względu na duży udział w odpadach komunalnych różnego rodzaju opakowań, przeterminowanych leków, środków ochrony roślin, odpadów lakierniczych, baterii, zużytych smarów itp., stają się one odpadami niebezpiecznymi. Obecnie, wciąż najczęstszą metodą unieszkodliwiania odpadów jest składowanie. Zgromadzone na wysypiskach ulegają procesom fizycznym, biologicznym i chemicznym, które niejednokrotnie są uciążliwe dla otoczenia, a także są powodem pogarszającego się stanu środowiska. Wprowadzona w ostatnich latach nowelizacja polskich przepisów prawnych dotyczących gospodarki odpadami oraz dostosowanie ich do wymogów dyrektywy UE, wprowadziła obowiązek selektywnej zbiórki odpadów, ich przetwarzania i recyklingu. Jednym ze sposobów redukcji odpadów komunalnych z wykorzystaniem recyklingu jest budowa zakładów termicznego przekształcania odpadów komunalnych. Uruchomienie spalarni z jednej strony zmniejszy ilość składowanych odpadów z drugiej zaś będzie stanowić odnawialne źródło energii (Dyrektywa 98/WE, 2008).

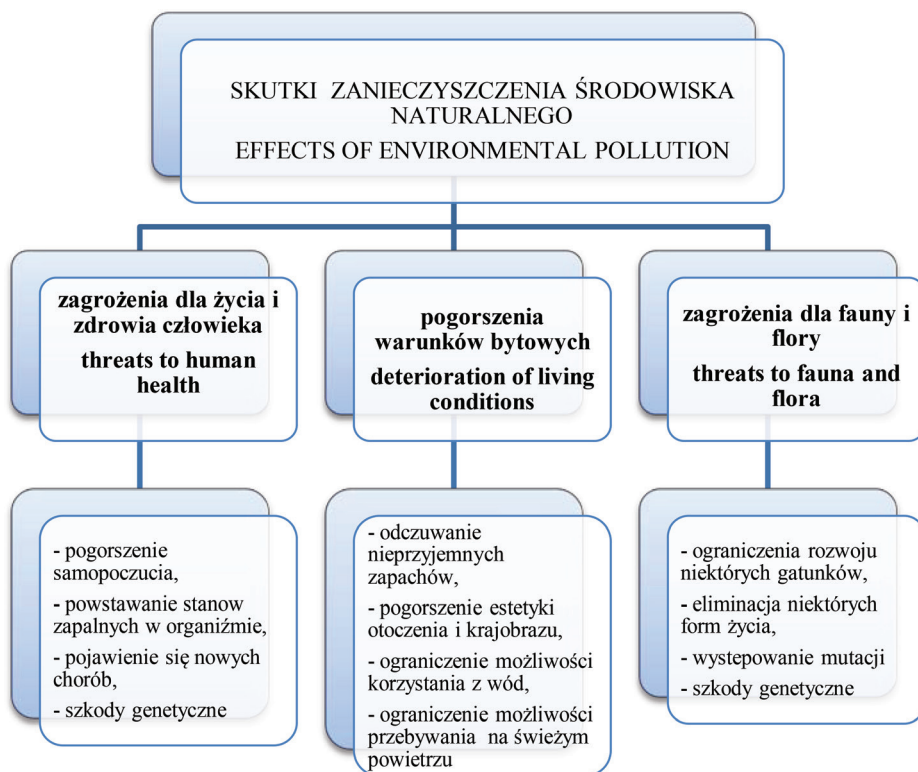
Rozwój cywilizacji przejawiający się w ciągłym postępie technicznym i technologicznym, którego konsekwencją jest między innymi szybki rozwój przemysłu, powoduje że jesteśmy narażeni na wciąż rosnący poziom hałasu. Szacuje się, że tzw. hałas przemysłowy przekracza normy w ponad 60% przypadków. Drugim co do wielkości, jest zagrożenie hałasem komunikacyjnym, a w szczególności drogowym i lotniczym.

Przedstawione zagrożenia środowiska naturalnego wskazują jednoznacznie na konieczność prowadzenia działań zmierzających do jego ochrony. Przy-

czynny tego stanu rzeczy zebrano i przeanalizowano w pracy zbiorowej pod redakcją Cymermana (2000). Wymienia się tam następujące czynniki wymuszające podjęcie działań związanych z ochroną środowiska:

- brak prawidłowych rozwiązań z zakresu ochrony środowiska w zakładach przemysłowych powstałych w latach 40-tych XX w.,
- permanentny przyrost liczby ludności,
- zmniejszająca się wolna przestrzeń poprzez likwidację terenów zielonych oraz terenów użytkowanych rolniczo w celu realizacji inwestycji,
- zagrożenia wynikające z rozwoju technologii produkcji w zakładach przemysłowych, rozwój transportu zarówno samochodowego jak i kolejowego, wodnego czy lotniczego, a także nieprawidłowe gromadzenie oraz utylizację odpadów i ścieków.

Skutki zanieczyszczenia środowiska w wyniku działalności człowieka przedstawia rysunek 1.



Źródło: na podstawie (Cymerman R., i in., 2000)
Source: based on (Cymerman R., i in., 2000)

Rysunek 2.1. Skutki zanieczyszczenia środowiska.
Figure 2.1. Effects of environmental pollution.

Wymienione zagrożenia dla zdrowia i życia człowieka, pogorszenie warunków bytowych czy też zagrożenia dla świata roślinnego i zwierzęcego (Rysunek 2.1), zmuszają nas do podjęcia działań w wyniku których możliwa będzie realizacja celów gwarantujących zachowanie odpowiedniej przestrzeni do zapewnienia podstawowych potrzeb dla ludzi (odpoczynek, mieszkanie, produkcja żywności itd.), pozostawienie następnym pokoleniom środowiska przydatnego do życia, a także pomoc przyrodzie w regeneracji szkód wyrządzonych działalnością człowieka (Cymerman R., i in., 2000). Wskazane cele są obecnie realizowane przez różne formy ochrony przyrody. Wyróżnia się obszary chronione (np. Parki Narodowe, Rezerваты przyrody, Parki krajobrazowe, obszary chronionego krajobrazu, ogrody zabytkowe itp.), obiekty objęte ochroną indywidualną (np. użytki ekologiczne, lasy ochronne, pomniki przyrody, itp.) oraz obiekty objęte ochroną gatunkową – ochrona gatunkowa roślin czy zwierząt. Dodatkowo, w celu uniknięcia szkodliwego oddziaływania na obszary chronione, tworzy się strefy ochronne. Są to obszary o zagospodarowaniu pośrednim pomiędzy gospodarką prowadzoną na obszarze chronionym, a gospodarką prowadzoną na terenach sąsiednich. Podstawową rolą tych stref jest ochrona danego obiektu przed szkodliwym działaniem z zewnątrz (np. źródło ujęcia wody) lub ograniczenie uciążliwego oddziaływania obiektu na tereny zlokalizowane w jego otoczeniu (np. zakład przemysłowy). Lokalizacja inwestycji o charakterze przemysłowym zawsze pociąga za sobą skutki w postaci uciążliwości dla środowiska. Polskie przepisy prawne (Rozporządzenie, 2010) w nawiązaniu do przepisów Unii Europejskich (Dyrektywa 35/WE, 2003) wskazują rodzaje przedsięwzięć, które mogą (zawsze lub potencjalnie) znacząco oddziaływać na środowisko. Wśród inwestycji oddziałujących na środowisko w znaczący sposób wyszczególniono tam między innymi:

- instalacje do wyrobu substancji przy zastosowaniu procesów chemicznych,
- instalacje do wytwarzania produktów farmaceutycznych z zastosowaniem procesów chemicznych lub biologicznych,
- elektrownie konwencjonalne, elektrociepłownie lub inne instalacje do spalania paliw w celu wytwarzania energii elektrycznej lub ciepłej,
- elektrownie jądrowe, reaktory jądrowe
- instalacje wykorzystujące do wytwarzania energii elektrycznej energię wiatru,
- lotniska,
- autostrady i drogi ekspresowe,
- zapory i inne urządzenia przeznaczone do stałego retencjonowania wody,
- budowle piętrzące,
- instalacje do oczyszczania ścieków,
- instalacje do odzysku lub unieszkodliwiania odpadów niebezpiecznych w tym składowiska odpadów niebezpiecznych oraz miejsca retencji tych odpadów,

- stacje demontażu w rozumieniu ustawy o recyklingu pojazdów,
- instalacje do odzysku lub unieszkodliwiania odpadów innych niż niebezpieczne przy zastosowaniu procesów termicznych lub chemicznych,
- składowiska odpadów innych niż niebezpieczne,
- obiekty unieszkodliwiania odpadów,
- instalacje do produkcji wyrobów ceramicznych, szkła, papieru itp.,
- instalacje do magazynowania i przesyłu paliw,
- stocznie produkcyjne i remontowe,
- ośrodki wypoczynkowe lub hotele zlokalizowane poza terenami mieszkalnymi, przemysłowymi i innymi terenami zabudowanymi i zurbanizowanymi terenami niezabudowanymi,
- stałe pola kempingowe lub karawaningowe,
- zabudowa przemysłowa lub magazynowa o powierzchni zabudowy nie mniejszej niż 0,5 ha na obszarach objętych formami ochrony przyrody oraz o powierzchni nie mniejszej niż 1 ha na pozostałych terenach,
- zabudowa mieszkaniowa objęta ustaleniami miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego o powierzchni zabudowy nie mniejszej niż 2 ha na obszarach objętych formami ochrony przyrody oraz o powierzchni nie mniejszej niż 4 ha na pozostałych terenach,
- zabudowa mieszkaniowa nie objęta ustaleniami miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego o powierzchni zabudowy nie mniejszej niż 0,5 ha na obszarach objętych formami ochrony przyrody oraz o powierzchni nie mniejszej niż 2 ha na pozostałych terenach,
- centra handlowe o powierzchni zabudowy nie mniejszej niż 0,5 ha na obszarach objętych formami ochrony przyrody oraz o powierzchni nie mniejszej niż 2 ha na pozostałych terenach,
- zabudowa usługowa tj. szpitale, placówki edukacyjne, kina, teatry, obiekty sportowe objęte ustaleniami miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego o powierzchni zabudowy nie mniejszej niż 2 ha na obszarach objętych formami ochrony przyrody oraz o powierzchni nie mniejszej niż 4 ha na pozostałych terenach,
- zabudowa usługowa nie objęta ustaleniami miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego o powierzchni zabudowy nie mniejszej niż 0,5 ha na obszarach objętych formami ochrony przyrody oraz o powierzchni nie mniejszej niż 2 ha na pozostałych terenach,
- garaże, parkingi samochodowe lub zespoły parkingów 0,2 ha na obszarach objętych formami ochrony przyrody oraz o powierzchni nie mniejszej niż 0,5 ha na pozostałych terenach,
- parki rozrywki, pola golfowe i stadiony,
- budowle przeciwpowodziowe i regulacja wód lub ich kanalizacja rozumiana jako zagospodarowanie wód umożliwiające ich wykorzystanie do celów żeglugowych,

- instalacje do oczyszczania ścieków przemysłowych,
- sieci kanalizacyjne o długości przedsięwzięcia nie mniejszej niż 1 km,
- punkty do zbierania i przeładunku odpadów,
- instalacje do przetwórstwa owoców, warzyw, ryb lub produktów pochodzenia zwierzęcego,
- instalacje do produkcji mleka,
- instalacje uboju zwierząt,
- browary lub słodownie,
- cukrownie.

Przedstawione przepisy prawne wskazują, jako uciążliwe dla środowiska, inwestycje związane nie tylko z przemysłem i rolnictwem ale także inwestycje infrastrukturalne, turystyczne i wypoczynkowe, komercyjne oraz mieszkaniowe. Lokalizacja tego rodzaju inwestycji powinna być tak wybrana, aby zminimalizować ich uciążliwe oddziaływanie zarówno na zdrowie i życie ludzi jak i otoczenie. W tym celu prowadzone są badania nad doskonaleniem metodyki optymalnego wyboru lokalizacji inwestycji o różnym charakterze oraz różnym zasięgu, zarówno lokalnym jak i ponadlokalnym. Przez optymalny wybór lokalizacji danej inwestycji należy rozumieć najlepsze jej usytuowanie pod względem skutków prawnych, ekonomicznych, technicznych i środowiskowych.

3. WYBRANE METODY PRZESTRZENNEJ ANALIZY DECYZYJNEJ

Analiza decyzyjna polega na wyborze optymalnego rozwiązania w warunkach niepewności, na podstawie syntezy relacji opisujących złożoność analizowanego zadania. W pierwszej kolejności należy zdefiniować zestaw kryteriów, a częściej nawet różne warianty zestawów kryteriów, które muszą zostać spełnione dla osiągnięcia założonego celu. Stąd, jako najlepsze wydaje się być wykorzystanie metod wielokryterialnych (Multi-criteria decision making, MCDM). Metody te stosowane są w analitycznych procesach podejmowania decyzji przy udziale wielu kryteriów. Ważną zaletą tych metod jest możliwość ich wykorzystania także w sytuacjach, gdy kryteria te są ze sobą sprzeczne. Metoda MCDM porządkuje alternatywy rozwiązań i wskazuje rozwiązanie najlepsze. Obecnie stosowanych jest szereg metod wielokryterialnych, które mogą również być skutecznie wykorzystywane w rozwiązywaniu problemów związanych z optymalizacją wyboru obszarów najkorzystniejszych dla lokalizacji danego obiektu lub grupy obiektów. Do metod wielokryterialnych, wykorzystywanych do rozwiązywania problemów decyzyjnych należą: metoda SAW – Simple Additive Weighting (Figueira J., i in. 2005; Roszkowska E., Brzostowski J., 2014), metoda AHP – Analytical Hierarchy Process (Saaty T.L., 1980; Athawale V.M., Chakraborty S., 2011), metoda MCE – Multi-Criteria Evaluation i metoda MOE – Multi-Objective Evaluation (Greco S., i in 2001; Eastman J.R., 2001; Hejmanowska B., 2005).

Ogólna zasada analiz wykonywanych metodami zaliczanymi do MCDM polega na utworzeniu macierzy (X), składającej się z m alternatywnych rozwiązań i n kryteriów (wzór 3.1).

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

gdzie x_{ij} , przedstawia parametr i -tej alternatywy j -tego kryterium.

Metody MCDM, charakteryzują się tym, że zbiór alternatywnych rozwiązań decyzyjnych należy uporządkować lub wybrać najlepszy z nich. Ważnym elementem metod wielokryterialnych jest określenie priorytetów wagowych dla poszczególnych kryteriów (w_j) tak, aby suma wag wszystkich kryteriów wynosiła jeden (Rao R.V., 2007).

3.1. Interpretacja metod

Według (Roszkowska E., Brzostowski J., 2014), jedną z najczęściej stosowanych metod wielokryterialnych w kontekście wspomagania decyzji, jest

metoda SAW (Simple Additive Weighting). Metoda ta oparta jest na funkcji wykorzystującej agregację kryteriów opartą na wartościach wariantów decyzyjnych (alternatywnych rozwiązań). Funkcja przypisująca poszczególnym parametrom ocenę punktową (tzw. funkcja scoringowa) wyznaczona za pomocą procedury SAW jest narzędziem umożliwiającym liniowe uporządkowanie kryteriów, szacowanie wartości kompromisu, oraz analizę uzyskanych alternatywnych rozwiązań.

W celu ujednolicenia wartości poszczególnych kryteriów, a także by możliwe było ich porównanie, dokonuje się normalizacji. Najczęściej wykorzystywane formuły to (Hwang C.L., Yoon K., 1981; Hejmanowska B., 2005; Wysocki F., 2010; Adamczewski Z., 2011; Roszkowska E., Brzostowski J., 2014):

1. normalizacja wektorowa

$$z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij})^2}}, \quad \text{gdzie } i \in I \quad (3.2)$$

$$z_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij})^2}}, \quad \text{gdzie } i \in J \quad (3.3)$$

2. normalizacja liniowa typu I

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}}, \quad \text{gdzie } i \in I \quad (3.4)$$

$$z_{ij} = 1 - \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}}, \quad \text{gdzie } i \in J \quad (3.5)$$

3. normalizacja liniowa typu II

$$z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}}, \quad \text{gdzie } i \in I \quad (3.6)$$

$$z_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}}, \quad \text{gdzie } i \in J \quad (3.7)$$

4. normalizacja liniowa typu III

$$z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, \quad \text{gdzie } i \in I \quad (3.8)$$

$$z_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, \quad \text{gdzie } i \in J \quad (3.9)$$

gdzie: $i = 1, 2, 3, \dots, m, j = 1, 2, 3, \dots, n$, I jest zbiorem korzyści, J jest zbiorem strat

W klasycznej procedurze SAW funkcja S przypisuje danemu rozwiązaniu (wariantowi decyzyjnemu) A_i kombinację liniową wektora wagowego oraz znormalizowanych wartości wariantu decyzyjnego zgodnie ze wzorem (np. Hwang C.L., Yoon K., 1981, Roszkowska E., Brzostowski J., 2014):

$$S(A_i) = \sum_{j=1}^n w_j \cdot z_{ij} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (3.10)$$

gdzie: w_j – współczynnik wagowy j -tego kryterium, z_{ij} – znormalizowana wartość i -tego wariantu decyzyjnego ze względu na j -te kryterium, ($j = 1, 2, \dots, n$).

Warianty decyzyjne ze zbioru A są porządkowane liniowo ze względu na wartość funkcji S , przy czym wyższe wartości $S(A_i)$ świadczą o tym, że wariant i -ty, jest lepszym rozwiązaniem. Warunkiem poprawnej analizy w procedurze SAW jest założenie wzajemnej niezależności kryteriów (z powodu relacji preferencji między nimi). Wymienianymi zaletami algorytmu SAW jest jego prostota obliczeniowa oraz łatwość interpretacji uzyskanego wyniku. Wadą zaś, zależność wyniku końcowego, uszeregowania alternatywnych rozwiązań, od przyjętej metody normalizacji parametrów, możliwość zmiany uporządkowania wariantów decyzyjnych w sytuacji usunięcia lub dołączenia nowego wariantu do rozważanego zbioru alternatyw (García-Cascales S.M., Lamata M.T. 2012, Roszkowska E., Brzostowski J., 2014). W klasycznym algorytmie SAW przyjmuje się założenie, że warianty decyzyjne są wyrażone liczbowo. W przypadku jakościowego opisu kryteriów należy przyjąć odpowiednie wartości liczbowe (Jadidi i in., 2008). Przykładowe skale ocen kryteriów jakościowych zawiera tabela 3.1.

Kolejną metodą wykorzystywaną do rozwiązywania zadań decyzyjnych jest analityczny proces hierarchiczny. Podstawą przeprowadzania analiz opisujących złożoność danego zadania jest podejście systemowe. System należy w tym przypadku rozumieć, jako interakcja jego części, przedstawiona za pomocą struktury, funkcji, zbioru celów, do osiągnięcia których został zaprojektowany z perspektywy jednostki, grupy lub środowiska (Saaty T.L., 1980).

Tabela 3.1. Przykład zamian skali ocen jakościowych na ocenę ilościową.
Table 3.1. Example conversion scale qualitative assessments
 on a quantitative assessment.

Ocena jakościowa Qualitative assessment	Wartość liczbową The numerical value
Odpowiednia	1
Dostateczna	3
Dobra	5
Bardzo dobra	7
Wyróżniająca	9
Wartości pośrednie pomiędzy ocenami	2,4,6,8

Źródło: na podstawie (Jadidi O., i in., 2008, Roszkowska E., Brzostowski J., 2014).

Source: based on (Jadidi O., i in., 2008, Roszkowska E., Brzostowski J., 2014).

System opisywany jest przez strukturę oraz funkcję. Struktura systemu to fizyczne, biologiczne, socjalne czy nawet psychologiczne układy, związane z przepływem informacji, określające jego związki i dynamikę. Funkcja systemu związana jest z realizacją celu ogólnego. Struktury i funkcji systemu nie można rozdzielać. Podstawą struktury, dającą możliwość badania funkcjonalnych związków, jego składowych i ich wpływu na cały system jest hierarchia. Siłę związków zachodzących pomiędzy jej elementami wyrażają priorytety. Hierarchia jest to system składający się z wzajemnie powiązanych podsystemów. W prostych systemach, hierarchia narzuca się sama w naturalnej zgodności z jego funkcją. Natomiast im system jest bardziej złożony tym trudniejsze jest znalezienie jego struktury, a tym samym budowy hierarchii. Nie funkcjonują gotowe reguły służące do budowy struktury hierarchicznej. Wybór danej struktury zależy od wiedzy prowadzącego analizę oraz od celu, jaki ma zostać osiągnięty. Wynik analizy zależy również od doboru odpowiedniego zakresu skali ocen.

Analityczny proces hierarchiczny (Analytical Hierarchy Process – AHP) jest jedną z metod rozwiązywania zadań decyzyjnych. Obecnie metoda ta jest coraz częściej stosowana w wielu dziedzinach nauki a także w realizacji zadań praktycznych. Najczęstsze zastosowania, to prognozowanie i planowanie zarówno w inżynierii, gospodarce nieruchomościami, ekonomii, jak i administracji, na szczeblu lokalnym jak również centralnym (Malczewski j., 1999; Joerin F., Musy A., 2000; Hamalainen R.P., i in., 2000; Mardle S., i in., 2004; Marinoni O., 2004; Sirikijpanichkul A., Ferreira L., 2005; Litwin U., i in., 2009; Łuczak A., Wysocki F., 2010; Piasek Z., Siejka M., 2003; Siejka M., 2010a, Siejka M., Ślusarski M., 2012; Salo A., Hämäläinen R.P., 2012).

Główną zaletą tej metody jest złożony wielokryterialny i wielozakresowy model przedstawiony w ujęciu hierarchicznym. Rozwiązanie zadane problemu

następuje etapowo. W pierwszej kolejności należy zbudować strukturę problemu w ujęciu hierarchicznym, elementami struktury są wskazane istotne czynniki mające wpływ na rozwiązanie zadanego problemu. Kolejny etap to zbudowanie macierzy porównań parami na poszczególnych etapach. Następnie obliczenie wartości priorytetów wszystkich elementów składowych systemu i ich ocena. Etap ostatni to wyznaczenie priorytetów wynikowych i uszeregowania alternatyw wskazanych rozwiązań.

Najważniejszym elementem jest budowa struktury hierarchicznej, bowiem od jej poprawności zależy, jakość rozwiązania. Pierwszym elementem struktury jest zawsze jednoznacznie i precyzyjnie określony cel, jaki należy osiągnąć. Na przykład, wybór najlepszej lokalizacji stadionu w danym mieście, wskazanie obszarów gruntów najlepiej nadających się pod budowę osiedli mieszkaniowych w danym mieście, wybór najlepszej lokalizacji oczyszczalni ścieków, ocena ryzyka zagrożenia dla środowiska w związku z lokalizacją zakładu przemysłowego (elektrownia, zakład utylizacji odpadów komunalnych, itp.) Na kolejnych poziomach znajdują się kryteria obejmujące aspekty techniczne, ekonomiczne, prawne i inne. Następne poziomy to uszczegółowienie poszczególnych kryteriów. Natomiast poziom ostatni zawiera konkretne alternatywy będące rozwiązaniem postawionego problemu. Na poziomach pośrednich hierarchii znajdują się takie atrybuty jak – czas, scenariusze rozwiązań, uczestnicy procesu, technologie, itp. Należy pamiętać, by na każdym poziomie były takie czynniki, które są porównywalne względem innego elementu. Założeniem metody jest, aby liczba poziomów i liczba elementów składowych mieściła się w zakresie 4-7 (Saaty T.L., 1980, Saaty T.L., 2000).

Przykład struktury hierarchicznej przedstawiono na rysunku 3.1.

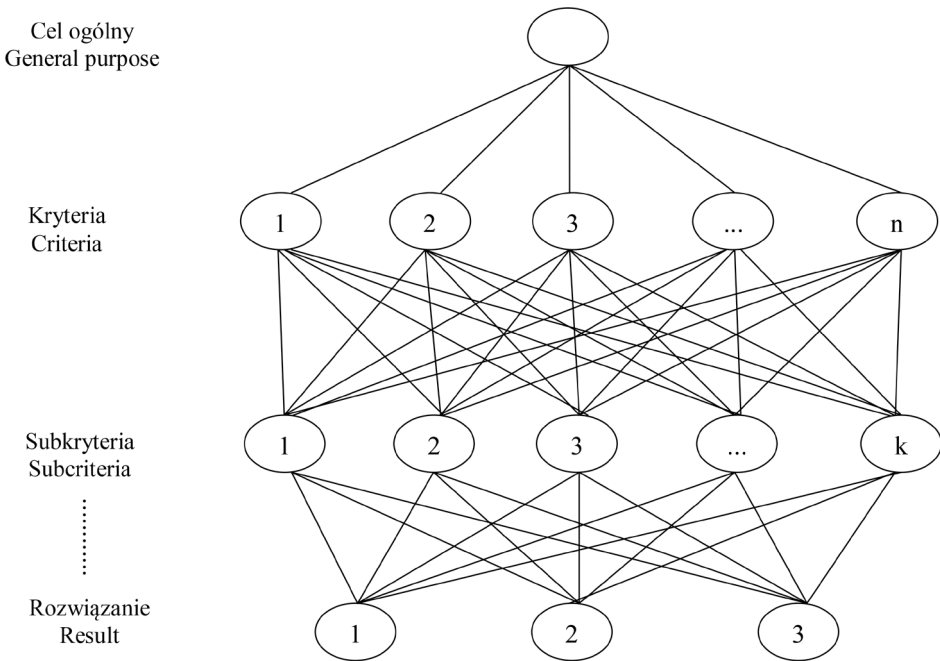
Jak wynika z przedstawionych wcześniej informacji, metoda AHP łączy podejście dedukcyjne i systemowe w jedną zorganizowaną logiczną całość. Dodatkową korzyścią ze stosowania hierarchii jest jej efektywność. Efektywność hierarchii definiuje się jako stosunek ilości bezpośrednich porównań parami do całego zbioru elementów składowych uwzględnionych w hierarchii. Po rozbiciu całego zbioru na klasy zawierające, co najwyżej m elementów, ilość potrzebnych porównań zmaleje do (Saaty T.L., 1977):

$$L = \frac{m}{2} \cdot (m^{(\log n / \log m)} - 1) \quad (3.11)$$

a efektywność takiego podejścia będzie równa:

$$E = \frac{n}{m} \quad (3.12)$$

gdzie: n – maksymalna ilość porównań, m – liczba elementów składowych w hierarchii, L – liczba porównań.



Rysunek 3.1. Standardowa struktura drzewa decyzyjnego hierarchii.
Figure 3.1. The standard structure of a decision tree of hierarchy.

Dla przykładu, jeżeli analizowany zbiór zawiera 98 elementów, to należy porównać 4753 pary, co daje efektywność na poziomie 679, dla $m = 7$. Natomiast, jeżeli zbiór ten zostanie podzielony hierarchicznie tak, aby liczba elementów w podzbiorze była $m \leq 7$, to liczba wszystkich porównań zmniejszy się istotnie. Jeżeli na pierwszym i trzecim poziomie będzie po 7 elementów, a na drugim 2 to liczba porównań wyniesie 322 (tabela 3.2).

Tabela 3.2. Efektywność podejścia AHP.
Table 3.2. The effectiveness of the AHP approach.

Poziom	Liczba podzbiorów/ elementów	Liczba porównań
1	7/7	21
2	7/2	7
3	14/7	294
Suma		322

Źródło: na podstawie (Saaty T.L., 1977)
Source: based on (Saaty T.L., 1977)

Ważnym elementem metody AHP jest skala ocen. Skalę tę, oparto na następujących założeniach:

1. istnieje możliwość wyrażania różnic w opiniach wykonujących analizę,
2. dopuszczać umiarkowaną niepewność bez zmiany wartości skali ocen,
3. silne zmiany w ocenach mają istotne odzwierciedlenie w odchyleniach skali,
4. małe zmiany wartości skali nie wpływają istotnie na wyniki modelu,
5. skala powinna spełniać równanie funkcjonalne:

$$f(x) \cdot f(x^{-1}) = 1 \quad (3.13)$$

Najprostszą funkcją, spełniającą powyższy warunek jest funkcja $f(x) = x$.

Jeżeli gradację skali oznaczmy przez x_1, x_2, \dots, x_n , to pożądanym byłoby, aby $x_{i+1} - x_i = 1$, gdzie: $(i=1, 2, 3, \dots, n-1)$. Warunek ten daje pewność, że skala obejmuje wszystkie oceny i różnicuje je w sposób równomierny. Przy ustalaniu skali ocen wykorzystano wyniki badań psychologicznych, które dowodzą, że racjonalne wykonanie porównań jest możliwe wówczas, gdy przedmiotem porównania są 7 ± 2 obiekty (Saaty T.L., 1977).

Przy ustalaniu skali przyjęto następujące założenia:

- różnicę pomiędzy kolejnymi wartościami skali jako równą 1,
- warunek równomierności,
- porównanie tych samych obiektów przyjmuje się jako równe 1.

W wyniku tak przyjętych założeń skala jest dziewięciopunktowa, czyli zawiera się w przedziale od 1 do 9 (Tabela 3.3).

Porównanie obiektów polega na ocenie dominacji jednego elementu nad drugim i określeniu jego ważności względem elementu położonego o poziom wyżej.

Tabela 3.3. Skala porównań param i opis.

Table 3.3. The scale and description.

Wartość oceny Intensity of importance	Porównanie Definition	Opis Explanation
1	Cechy jednakowo ważne	Dwie cechy wnoszą równy wkład do osiągnięcia celu
3	Dominacja jednej cechy nad drugą jest niewielka (minimalna)	Są pewne podstawy do przedkładania jednej cechy nad drugą
5	Dominacja jednej cechy nad drugą jest średnia (istotna)	Istnieją przesłanki logiczne i uzasadnione dane do tego by przedkładać jedną cechę nad drugą
7	Dominacja jednej cechy nad drugą jest duża	Są przekonujące dowody na korzyść przedkładania jednej cechy nad drugą

Wartość oceny Intensity of importance	Porównanie Definition	Opis Explanation
9	Dominacja jednej cechy nad drugą jest bardzo duża (absolutna)	Przewaga jednej cechy nad drugą jest tak oczywista, że nie może budzić najmniejszej wątpliwości
2,4,6,8	Pośrednie wartości pomiędzy ocenami nieparzystymi	Wykorzystuje się w sytuacjach, gdy wybór sąsiadujących liczb nieparzystych jest trudny /konieczny jest kompromis/
Odwrotne wartości podanych wyżej liczb Reciprocals of above numbers	Jeśli cecha „i” w porównaniu z cechą „j” uzyskała jedną z po- danych wyżej liczb, to cecha „j” w porównaniu z cechą „i” otrzymuje wartość odwrotną	Jeśli zgodność była postulowana dla otrzymania n wartości liczbowych, przy tworzeniu macierzy
Wartości niewy- mierne Rationals	Proporcje wynikające z konkretnych porównań liczbowych	Jeśli zgodność była postulowana dla otrzymania n wartości liczbowych, przy tworzeniu macierzy

Źródło: na podstawie (Saaty T.L., 1977)

Source: based on (Saaty T.L., 1977)

Podana w powyższej tabeli skala jest powszechnie wykorzystywana w praktyce (Ossadnik W., Lange O., 1999). W literaturze proponowane są inne skale (Tabela 3.4). Jednak ich zakres również zawarty jest w przedziale 1-9 (Saaty T.L., 1977; Saaty T.L., Vargas L., 2006).

Tabela 3.4. Alternatywne skale porównań.

Table 3.4. Alternative scales.

Klasa Class L	Określenie Definition	Oznaczenie skali Designation of scale						
		1-9	1-5	1-15	L^2	$L^{1/2}$	10/10-18/2*	9/9-9/1**
1	Cechy jednakowo ważne	1	1	1	1	1	10/10	9/9
3	Dominacja jednej cechy nad drugą jest niewielka (minimalna)	3	2	5	9	$3^{1/2}$	12/8	9/7
5	Dominacja jednej cechy nad drugą jest średnia (istotna)	5	3	8	25	$5^{1/2}$	14/6	9/5
7	Dominacja jednej cechy nad drugą jest duża	7	4	11	49	$7^{1/2}$	16/4	9/3
9	Dominacja jednej cechy nad drugą jest bardzo duża (absolutna)	9	5	15	81	$9^{1/2}$	18/2	9/1

Źródło: na podstawie (Saaty T.L., 1977)

Source: based on (Saaty T.L., 1977)

Uwagi/Notes: *(9+L) / (11-L), ** 9 / (10-L)

Po utworzeniu struktury hierarchii w postaci drzewa decyzyjnego, w którym na poszczególnych poziomach wskazane zostały wszystkie kryteria, przeprowadzamy porównanie parami elementów tej struktury dla każdego poziomu oddzielenie. W wyniku tego otrzymujemy macierz porównań parami:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \dots & \frac{K_1}{K_n} \\ \vdots & 1 & \vdots \\ \frac{K_n}{K_1} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

gdzie: $K_1, K_2, K_3, \dots, K_n$ – oceny poszczególnych kryteriów względem siebie.

Macierz ta jest macierzą kwadratową, w której na przekątnej znajdują się zawsze jedynki. Nad przekątną są oceny będące wynikiem porównania parami, a poniżej przekątnej odwrotności tych ocen.

Ten charakterystyczny rodzaj macierzy pozwala uzyskać szukane rozwiązania, którymi są; maksymalna wartość własna macierzy λ_{max} i odpowiadający tej wartości własnej, wektor własny. Składowe wektora własnego są priorytetami (wagami) częściowymi, a ich kombinacje ze wszystkich poziomów dają priorytety alternatyw rozwiązań.

Jeżeli kryteria oznaczone zostaną jako (w_1, w_2, \dots, w_n) , wówczas, oceny a_{ij} wyrażające relacje pomiędzy nimi będą spełniały zależność:

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}, \quad \text{gdzie} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (3.15)$$

wobec czego

$$a_{ij} \left(\frac{w_j}{w_i} \right) = 1 \quad (3.16)$$

Z tych zależności wynika, że kryterium w_i można określić jako średnią z iloczynów $(a_{i1}w_1, a_{i2}w_2, \dots, a_{in}w_n)$.

Wobec czego zależność wyrażona wzorem 3.16 przyjmie postać:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot \frac{w_j}{w_i} = n, \quad (3.17)$$

Postać macierzowa równania (3.17) jest następująca:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_1}{w_2} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_2} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

Po przekształceniu otrzymamy:

$$A \cdot w = n \cdot w \quad \text{czyli} \quad (A - n \cdot I) \cdot w = 0 \quad (3.19)$$

gdzie:

A – macierz kwadratowa ocen ważności poszczególnych kryteriów względem siebie,

w – wektor wag,

n – wymiar macierzy,

I – macierz jednostkowa

Pomijając rozwiązanie, w którym $w = 0$, czynnik $(A - n \cdot I)$ jest równy zero tylko wtedy, gdy wymiar macierzy n jest równy wartości własnej macierzy, a w jest wektorem własnym związanym z tą wartością własną (Saaty T.L., 1980).

W praktyce jednak, szczególnie w analizach decyzyjnych w których nie wszystkie kryteria wyrażone są wartościami ilościowymi, czynnik a_{ij} , związany z oceną i nie bazuje na dokładnych pomiarach lecz często na subiektywnych ocenach eksperckich, przyjętych ze skali ocen. Przykładem takich sytuacji jest ocena relacji pomiędzy np. skróceniem czasu dojazdu do osiedli mieszkaniowych a ochroną terenów zielonych w aspekcie rozbudowy układu komunikacyjnego, czy relacji pomiędzy dostępem do węzłów komunikacyjnych, a zagrożeniem otoczenia w przypadku ewentualnych akcji terrorystycznych w związku z lokalizacją dużego obiektu sportowego.

Jeżeli parametry kryteriów nie są wyrażone liczbowo, a_{ij} odbiega od „idealnej” wartości w_i/w_j i dlatego równanie (3.19) należy zmodyfikować przez zamianę n na λ_{max} , A na A' oraz w na w' . Uwzględniając powyższe założenia otrzymamy:

$$A' \cdot w' = \lambda_{max} \cdot w' \quad \text{czyli} \quad (A' - \lambda_{max} \cdot I) \cdot w' = 0 \quad (3.20)$$

gdzie, λ_{max} jest maksymalną rzeczywistą wartością własną macierzy A' , a w' jest wektorem własnym dla tej wartości własnej.

Macierz A' , charakteryzuje się tym, że wszystkie jej wyrazy są dodatnie, wartości na przekątnej są równe 1, a wyrazy symetrycznie rozłożone po prze-

ciwnych stronach przekątnej są wzajemnie odwrotne. Macierz tak określona, zgodnie z twierdzeniem Perrona-Frobeniusa, ma zawsze rzeczywistą i dodatnią wartość własną λ , która jest pierwiastkiem prostym równania charakterystycznego macierzy, jest największą co do modułu wartością własną macierzy, a odpowiadający tej wartości własnej wektor własny w ma zawsze wszystkie składowe dodatnie ($w_i > 0$) (Saaty T.L., 1980).

Z tego powodu podstawą w AHP do wyznaczenia priorytetów (wag) po zbudowaniu macierzy ocen będącej wynikiem porównań parami poszczególnych kryteriów, jest wyznaczenie dla każdej macierzy, maksymalnej wartości własnej λ_{max} i związanego z tą wartością wektora własnego w .

We wszystkich analizach dążymy do tego by minimalizować występowanie zjawisk negatywnych, takich na przykład jak zanieczyszczenia, niebezpieczeństwo, trudności, ograniczenia. Natomiast maksymalizować zjawiska pozytywne – korzyści, zyski, prestiż. Dlatego gdy dążymy do zminimalizowania zjawisk niekorzystnych np. dla środowiska, priorytety wynoszą:

$$P_i^s = \frac{1/a_i}{\sum \frac{1}{a_i}} \quad (3.21)$$

gdzie: P_i^s – priorytety w przypadku minimalizacji strat, a_i – wartość liczbowa składowej danego kryterium.

Natomiast, gdy oceniamy efektywność proponowanych rozwiązań, wówczas priorytet składowy wynosi:

$$P_i^e = \frac{a_i}{\sum a_i} \quad (3.22)$$

gdzie: P_i^e – priorytety w przypadku maksymalizacji korzyści, a_i – wartość liczbowa składowej danego kryterium.

Poprawność wykonanej oceny porównań parami wskazanych w analizie kryteriów sprawdzamy przez obliczenie dla każdej macierzy, wskaźnika zgodności – CI (consistency index) oraz stosunku zgodności CR (consistency ratio) według wzorów: (Saaty T.L., 1980):

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \leq 0,10 \quad (3.23)$$

gdzie: n – wymiar macierzy, λ_{max} – maksymalna wartość własna macierzy

$$CR = \frac{CI}{RI} \leq 0,10 \quad (3.24)$$

gdzie: RI (random index) jest wskaźnikiem losowym (Tabela 3.5) zależnym od wymiaru macierzy (Saaty T.L., 1980).

Tabela 3.5. Wartość wskaźnika losowego w zależności od wymiaru macierzy.**Table 3.5.** The random index value depending on the size of the matrix.

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>RI</i>	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,44	1,45	1,49	1,51	1,53	1,56	1,57	1,59

Źródło: na podstawie (Saaty T.L., 1977)

Source: based on (Saaty T.L., 1977)

W przypadku gdy stosunek zgodności $CR > 0,1$ lub wskaźnik zgodności $CI > 0,1$, ocena parametrów danej macierzy wymaga powtórzenia.

Po wyznaczeniu wszystkich priorytetów cząstkowych rozwiązaniem zadania jest wektor:

$$C[1, k]^T = \prod_{i=2}^k B_i = B_k \cdot B_{k-1} \dots B_2 \quad (3.25)$$

gdzie:

$C[1, k]$ – wektor wynikowy parametrów wagowych kryteriów przypisanych elementom poziomu hierarchicznego k , (to jest alternatywom rozwiązań) względem celu, czyli poziomu pierwszego,

B_i – macierz poziomu i , której kolumny są wektorami priorytetów elementów tego poziomu względem elementów poziomu $i - 1$.

W sytuacji, gdy mamy doczynienia z hierarchią niepełną, czyli niektóre parametry danego poziomu k nie są powiązane z parametrami zlokalizowanymi na poziomie $k+1$, składowe wektora priorytetów dla tych parametrów wynoszą zero.

Uproszczeniem metody AHP jest przestrzenna analiza decyzyjna metodą wieloparametryczną MCE. Wykorzystywana jest do wskazania jednego najkorzystniejszego rozwiązania, lub identyfikacji czy dane rozwiązanie jest dopuszczalne czy też nie. Analiza ta jest poszukiwaniem części wspólnej, czyli poszukiwaniem obszarów, które jednocześnie spełniają wszystkie kryteria (Hejmanowska B., 2005). Dane kryterium może być wyrażone wartością liczbową (bariera) lub funkcją (parametr). Odpowiednie zdefiniowanie kryterium, jako parametru, daje możliwość wagowania kryteriów.

Wykonując analizę z wykorzystaniem kryteriów wyrażonych liczbowo, tzw. twardych kryteriów (barier) uzyskujemy, jako wynik mapę, na której zaznaczone zostaną zarówno obszary spełniające jak i niespełniające zdefiniowanych warunków. W metodzie tej łączymy kryteria po to by znaleźć część wspólną. W sytuacji kryteria zostaną wyrażone funkcją, tzw. kryteria miękkie (parametryczne), nie uzyskuje się tak jednoznacznego wyniku analizy jak w poprzednim przypadku. Ta analiza daje wynik w postaci stopnia przydatności obszaru objętego analizą, do realizacji zadanego celu.

Przydatność obszaru jest obliczana na podstawie ważonego łączenia zdefiniowanych kryteriów według wzoru: (Voogd H., 1983; Carver S.J., 1991; Eastman J.R., 2001):

$$S = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i \quad (3.26)$$

gdzie:

S – przydatność,

w_i – waga przypisana do i – tego kryterium,

x_i – wartość i – tego kryterium,

n – liczba kryteriów,

$i = 1, 2, 3, \dots, n$.

W przypadku, gdy zachodzi konieczność zastosowania dodatkowo barier powyższy wzór ulega modyfikacji do następującej postaci:

$$S = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i \prod c_j \quad (3.27)$$

gdzie:

c_j – wartość j – tej bariery (kryterium ograniczającego),

$i = 1, 2, 3, \dots, n$.

W związku z tym, że kryteria odnoszą do różnych danych np. powierzchni, odległości, nachylenia stoku, zanieczyszczenia powietrza, gęstości zaludnienia, itp. wartości poszczególnych kryteriów wyrażone są w różnych jednostkach (np. w metrach kwadratowych, kilometrach, procentach, itd.) nie są ze sobą porównywalne. Dlatego też należy wprowadzić ich standaryzację, wykorzystując następujący wzór:

$$x_i = \left(\frac{R_i - R_{\min}}{R_{\max} - R_{\min}} \right) \cdot d \quad (3.28)$$

gdzie:

x_i – standaryzowana wartość i – tego kryterium, $i = 1, 2, 3, \dots, n$

R_i – wartość i – tego kryterium przed standaryzacją,

R_{\min}, R_{\max} – minimalna i maksymalna wartość kryterium,

d – przedział standaryzacji.

Analiza kryteriów w metodzie MCE może odbywać się metodami nakładkowania, liniowego wagowania lub uporządkowania średniej ważonej. Metoda nakładkowania (Boolean) polega na przemnożeniu lub zsumowaniu wszystkich wyników analiz elementarnych, czyli spełniających założone pojedyncze kryterium. W wyniku analizy wybierany jest obszar, dla którego spełnione zosta-

ły wszystkie kryteria (operacja logiczna AND) albo obszar, dla którego zostało spełnione przynajmniej jedno kryterium (operacja logiczna OR). Metoda ta wykorzystywana jest więc do analiz przestrzennych, w wyniku których wyznaczane są obszary spełniające lub nie spełniające ustalonych kryteriów.

Metoda liniowego wagowania (Weighted Linear Combination – WLC) oraz metoda uporządkowanej średniej ważonej (Ordered Weighted Average – OWA) należą do grupy metod miękkich, wobec tego pozwalają na uwzględnienie kryteriów w mniej radykalny sposób niż w metodzie nakładkowania. Metoda WLC polega na utworzeniu sumy iloczynów wartości danego kryterium i jego wagi (wzór (3.26)). Uzyskany w ten sposób wynik jest następnie przemnożony przez wartość kryterium ograniczającego (bariery) zgodnie ze wzorem (3.27), o ile kryterium to zostało wcześniej zdefiniowane.

Metoda uporządkowanej średniej ważonej OWA jest rozwinięciem metody liniowego wagowania. Wprowadza się w niej dodatkowy zestaw wag tzw. porządkujących. Przyjmuje się, że metoda OWA jest najogólniejszym przypadkiem analizy, podczas gdy metoda nakładkowania i metoda liniowego wagowania są szczególnymi przypadkami metody OWA (Hejmanowska B., 2005).

Zastosowanie metody OWA zależy od kompletu parametrów związanych z kryteriami w każdym punkcie pomiarowym. Rozważmy przypadek, w którym uwzględnimy cztery kryteria; A, B, C, D. Załóżmy, że w wyniku zastosowania wzoru (3.26), czyli po przemnożeniu wartości danego parametru i wagi dla tego kryterium otrzymamy wynik, który po uszeregowaniu w kolejności rosnącej jest następującym zestawem liczb [50, 80, 125, 180]. Kolejność liczb jest zależna wyłącznie od wartości parametrów, a nie od rodzaju kryterium. Dlatego w metodzie OWA wprowadza się wagi porządkujące. Wagi te zależą od stopnia ryzyka, założonego przez autora analizy. W przypadku analizy zachowawczej tzw. bezpiecznej, wagi porządkujące zostaną przyjęte, jako [1, 0, 0, 0], gdzie najmniejsza wartość kryterium otrzymuje wagę równą 1. Jest to rozwiązanie z operacją logiczną AND. Pozostałe kryteria, z wagą porządkującą równą 0, nie mają żadnego wpływu na ostateczny wynik analizy. Przeprowadzając analizę o największym stopniu ryzyka, wagi porządkujące przyjmą wartości [0, 0, 0, 1], wobec tego kryterium o najwyższej wartości przymnie wagę porządkującą równą 1. Ten zestaw wag odwzorowuje wynik operacji logicznej OR. Jeżeli natomiast wszystkie kryteria są równoważne, wynik analizy będzie odpowiadał metodzie WLC.

Przykład obliczenia przydatności na podstawie różnego zestawu wag porządkujących zamieszczono w tabeli 3.6.

Przedstawioną metodę analizy z wykorzystaniem wag porządkujących przeprowadza się w sytuacjach, gdy nie ma możliwości uzyskania jednoznacznego rozwiązania w pełni realizującego założony cel. Wówczas zachodzi możliwość przeprowadzenia analizy wariantowej, wykorzystującej kompromis między kryteriami, czyli zwiększając ryzyko kompensujemy niższą wartość jednych kryteriów z jednoczesnym przypisaniem wysokiej wartości innym.

Tabela 3.6. Przykład oceny przydatności w zależności od różnej wartości wag porządkujących.

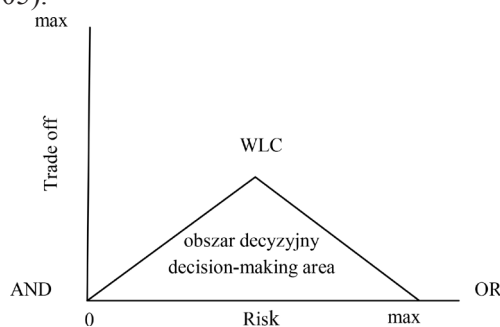
Table 3.6. Example assess the suitability depending on different value of ordering weight.

Wartości kryteriów Criteria values				Ocena przydatności Assessment of suitability
50	80	125	180	
Wagi porządkujące Ordering weight				
1	0	0	0	50
0,6	0,2	0,15	0,05	74
0,25	0,25	0,25	0,25	109
0,05	0,15	0,2	0,6	148
0	0	0	1	180

Źródło: na podstawie (Hejmanowska B., 2005, Eastman J.R., 2001)

Source: based on (Hejmanowska B., 2005, Eastman J.R., 2001)

Schemat wyników metody OWA ilustruje rysunek 3.2. Zestaw wag uporządkowanych w kolejności [1, 0, 0, 0] daje wynik operacji AND i charakteryzuje się minimalnym poziomem ryzyka, co należy rozumieć jako (kompromis=0, ryzyko =0). Wagi uporządkowane w kolejności [0, 0, 0, 1] dają wynik operacji logicznej OR, czyli (kompromis=0, ryzyko maksymalne). W przypadku przyjęcia wag porządkujących poszczególne kryteria, jako średniej arytmetycznej, czyli zastosowaniu metody WLC – uznanie kryteriów za jednakowo ważne, otrzymany wynik analizy uwzględnia średnie ryzyko i maksymalny kompromis (Hejmanowska 2005).



Źródło: na podstawie (Hejmanowska B., 2005, Eastman J.R., 2001)

Source: based on (Hejmanowska B., 2005, Eastman J.R., 2001)

Rysunek 3.2. Relacja pomiędzy kompromisem a ryzykiem.

Figure 3.2. The relationship between trade off and risk.

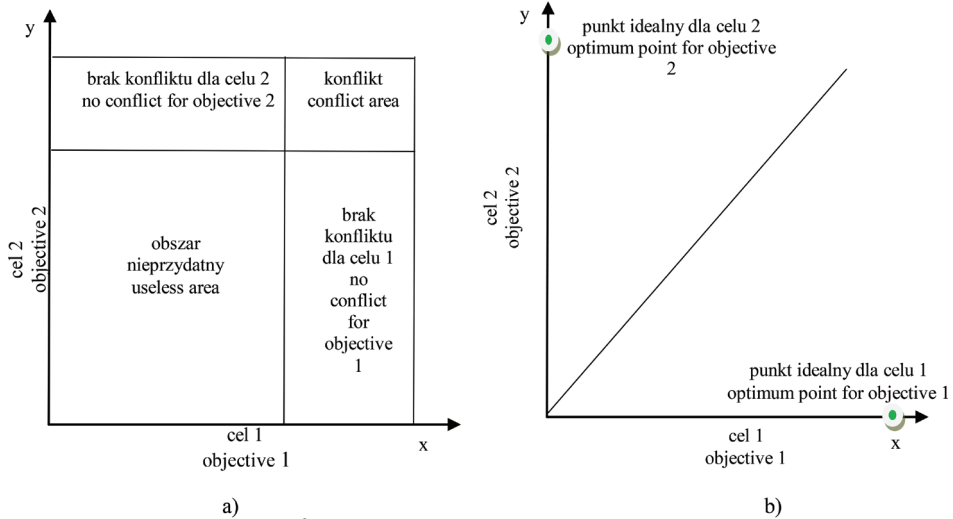
Należy pamiętać, że w metodzie OWA wprowadzamy dwa rodzaje wag: wagi dotyczące kryteriów oraz wagi porządkujące kryteria, zależne od wzajemnego położenia względem siebie wartości parametrów uporządkowanych rosnąco. Ostateczne wagi uzyskuje się po przemnożeniu wagi kryteriów z wagami porządkującymi, a następnie przeprowadzając ich normalizację tak by ich suma wynosiła 1 (Hejmanowska B., 2005).

Po przeanalizowaniu zasad stosowania wieloparametrycznej metody MCE wydaje się, że wadą jej jest to, iż optymalizacja procesu decyzyjnego zależy od czynników subiektywnych, o których decyduje prowadzący analizę. Pierwszy czynnik to odpowiedni dobór kryteriów, następny to odpowiedni dobór wag oraz w ostatnim etapie analizy przyjęcie optymalnego poziomu ryzyka przy określonym poziomie kompromisu. Dlatego też metodę tę należy rozpatrywać w różnych wariantach w odniesieniu do różnego poziomu ryzyka przy realizacji założonego celu.

Zastosowanie metody uwzględniającej kilak celów (Multi-Objective Evaluation – MOE) w analizie przestrzennej, związana jest z sytuacją, gdy kilka podmiotów jest zainteresowanych wynikami analizy. Podmioty te, dążąc do realizacji założonych celów, mogą poszukiwać wspólnych rozwiązań, czyli realizacja celów przez nich reprezentowanych uwzględnia wymagania postawione, jako kryteria. Drugi rodzaj to podmioty konfliktowe, mające cele przeciwstawne (sprzeczne). Podmioty te uzależniają realizację założonych celów od spełnienia postawionych kryteriów (Eastman J.R., 2001).

Analizy prowadzone metodą MOE mogą być jednocześnie analizami wielokryterialnymi. W sytuacji, gdy podmioty reprezentują wspólne cele, proces decyzyjny może być przeprowadzony w oparciu o jedną z metod MCE. W przypadku podmiotów reprezentujących cele przeciwstawne, obszar decyzyjny może zostać przydzielony tylko jednemu podmiotowi. Rozwiązanie sytuacji konfliktowej następuje wówczas etapowo. Etap pierwszy to podział kryteriów na trzy grupy: twardych ograniczeń, kryteria, które nie podlegają kompromisowi oraz kryteria, które powinny podlegać kompromisowi. Na przykład, czynniki związane z elementem finansowym mogą podlegać kompromisowi, natomiast czynniki związane z zagrożeniem bezpieczeństwa temu kompromisowi podlegać nie mogą. Następnie cele należy uszeregować zgodnie z priorytetem ważności kryteriów, wskazując cel o najwyższym priorytecie i wykonując dla niego analizę przydatności. Kolejny etap to potraktowanie wyniku tak przeprowadzonej analizy, jako kryterium – bariera (ograniczenie) i w dalszej kolejności przeprowadzić analizy uwzględniając interesy kolejnych podmiotów, czyli realizację celów postawionych przez kolejne podmioty.

Graficzne przykłady analizy przy udziale dwóch podmiotów konfliktowych pokazano na rysunku 3.3.



Źródło: na podstawie (Hejmanowska B., 2005)
Source: based on (Hejmanowska B., 2005)

Rysunek 3.3. Graficzna symulacja sytuacji konfliktowej dwóch celów;
a) rozkład obszarów, b) linia rozgraniczająca obszary.

Figure 3.3. Graphical simulation of a conflict situation the two objectives;
a) distribution areas, b) the line of demarcation between areas.

Na osiach zaznaczone zostały przydatności dla analizowanych celów, dla osi x , cel 1 i dla osi y , cel 2. Najlepsze rozwiązanie dla celu 1 znajduje się po prawej stronie zaznaczonej linii, natomiast dla celu 2, jest to obszar powyżej tej linii. W ten sposób obszar analizy zostanie podzielony na cztery części:

- 1) obszary najlepsze dla realizacji celu 1 i nienadające się do realizacji celu 2;
- 2) obszary najlepsze dla realizacji celu 2 i nienadające się do realizacji celu 1;
- 3) obszary nienadające się do realizacji żadnego z celów;
- 4) obszar konfliktowy dla obu celów.

Obszary najodpowiedniejsze do realizacji celu 1 znajdują się więc na osi x po prawej stronie, a na osi y , powyżej zaznaczonej prostej są obszary najodpowiedniejsze dla realizacji celu 2. Są to obszary niekonfliktowe. Jednakże wielkość tych obszarów jest najczęściej zbyt mała do praktycznego wykorzystania. Wobec tego zachodzi konieczność wykorzystania obszarów konfliktowych. W omawianej sytuacji na rysunku 3.3b, zaznaczono linię rozgraniczającą interesy podmiotów uczestniczących w analizie. Proces decyzyjny przebiega wówczas iteracyjnie. Polega to na wybraniu obszaru o wymaganej wielkości, w odniesieniu do linii rozgraniczającej. Pokazana na rysunku 3.3b, linia rozgraniczająca jest nachylona do osi x pod kątem 45° . Oznacza to, że w analizie realizowane

są dwa cele o takim samym priorytecie ważności. Jeżeli jednemu z celów przypiszemy wyższą wagę wówczas nachylenie linii rozgraniczającej ulegnie zmianie. Tangens kąta nachylenia linii prostej będzie odpowiadał stosunkowi wag przypisanych podmiotom.

Przedstawiony sposób analizy wydaje się być bardziej uniwersalnym rozwiązaniem od metody MCE, głównie ze względu na możliwość przeprowadzania analiz z punktu widzenia kilku podmiotów, a co za tym idzie kilku celów uwzględniając jednocześnie, szereg kryteriów.

3.2. Ocena prezentowanych metod

Przedstawione metody wielokryterialne są przydatne w procedurze wartościowania alternatywnych rozwiązań ze względu na kryteria przyjęte do oceny. Do ich zalet należy zaliczyć możliwość łączenia w prowadzonej analizie, cech/kryteriów o charakterze zarówno ilościowym jak i jakościowym oraz możliwość odniesienia cech do wzorca/antywzorca (metoda SAW). Metoda AHP natomiast przypisuje poszczególnym kryteriom zróżnicowane współczynniki wagowe, a także pozwala wyeliminować kryteria o najmniejszym znaczeniu w sensie merytorycznym.

Warunkiem poprawnej analizy w procedurze SAW jest założenie wzajemnej niezależności kryteriów (z powodu relacji preferencji między nimi). Wymienianymi zaletami algorytmu SAW jest jego prostota obliczeniowa oraz łatwość interpretacji uzyskanego wyniku. Wadą zaś, zależność wyniku końcowego, uszeregowania alternatywnych rozwiązań, od przyjętej metody normalizacji parametrów, możliwość zmiany uporządkowania wariantów decyzyjnych w sytuacji usunięcia lub dołączenia nowego wariantu do rozważanego zbioru alternatyw (García-Cascales S.M., Lamata M.T., 2012; Roszkowska E., Brzostowski J., 2014). W klasycznym algorytmie SAW przyjmuje się założenie, że warianty decyzyjne powinny być wyrażone liczbowo.

Z kolei metody MCE i MOE są wykorzystywane do wspomagania procesów decyzyjnych z wykorzystaniem GIS (Eastman J.R., 2001; Hejmanowska B., 2005). W sytuacji, gdy decyzja dotyczy realizacji jednego zadania, wówczas proces ten może być realizowany metodą analizy wieloparametrycznej – MCE. Natomiast, gdy analizę prowadzi się dla kilku celów jednocześnie wówczas do procesu weryfikacji kryteriów stosuje się metodę – MOE. Wymienione metody nie dają możliwości łączenia cech ilościowych i jakościowych oraz mogą być wykorzystane tylko do baz danych dostępnych w formatach obsługiwanych przez GIS. Innym ograniczeniem prezentowanych metod jest możliwość ich wykorzystania do analiz o zasięgu globalnym, odnoszącym się do regionu (wskazania województwa czy gminy). Natomiast w przypadku gdy zachodzi potrzeba wskazania lokalizacji obiektu inwestycyjnego, wówczas organ podejmu-

jący decyzję powinien znać możliwość optymalnego usytuowania tegoż obiektu w danej miejscowości, nawet z podaniem współrzędnych dla obszaru charakteryzującego się najlepszymi warunkami w aspekcie rozpatrywanych kryteriów. W tej sytuacji podjęto próbę opracowania metody optymalnego wyboru lokalizacji obiektów o charakterze inwestycyjnym, która uwzględnia zarówno cechy ilościowe jak i jakościowe opisywanych kryteriów, wykorzystuje informacje z różnych baz danych, podaje rozwiązania lokalne z możliwością wskazania współrzędnych obszaru będącego wynikiem analizy.

4. INFRASTRUKTURA INFORMACJI PRZESTRZENNEJ PODSTAWĄ PROCESÓW DECYZYJNYCH

Prowadzenie badań w aspekcie wyboru optymalnej, rozumianej jako najlepszej z potencjalnych, lokalizacji inwestycji w gospodarce nieruchomościami wymaga rozważenia, warunków oraz skutków jej usytuowania. Warunki związane są z rozwiązaniami prawnotechnicznymi oraz ekonomicznymi. Skutki natomiast to efekt oddziaływania na otoczenie. Aby można było przeprowadzić analizę dotyczącą wyboru optymalnej lokalizacji danego obiektu inwestycyjnego niezbędne są informacje obejmujące swym zakresem różne tematy danych przestrzennych, a w szczególności: geodezyjne, geograficzne, hydrograficzne, geologiczne, środowiskowe, społeczne itp. Przedstawiony zakres tematyczny danych wchodzi w skład budowanej platformy infrastruktury informacji przestrzennej. Znajomość struktury danych oraz organów odpowiedzialnych za ich prowadzenie i udostępnianie, jest istotna z punktu widzenia prowadzącego analizę.

4.1. Budowa systemu infrastruktury informacji przestrzennej

Powodem podjęcia inicjatywy budowy platformy infrastruktury informacji przestrzennej był pogląd, iż powszechny dostęp do produktów i usług opartych na danych przestrzennych gromadzonych na poszczególnych poziomach administracji istotnie przyczyni się do stabilności gospodarczej, równowagi społecznej, a także ochrony środowiska. Punktem zwrotnym w rozwoju danych przestrzennych była Dyrektywa INSPIRE (2007) oraz uchwalona w trzy lata później ustawa o infrastrukturze informacji przestrzennej (Ustawa, 2010). Przepisy te, zdefiniowały zakresy tematyczne niezbędnych danych oraz zobligowały do tworzenia spójnej platformy infrastruktury informacji przestrzennej (IIP). Przywołana Dyrektywa INSPIRE, definiuje IIP, jako opisane metadanymi zbiory danych przestrzennych, jak również dotyczące ich usługi, środki techniczne, procesy i procedury stosowane i udostępniane przez organy tę strukturę tworzące. W myśl przytoczonej definicji podstawowym zadaniem IIP jest ułatwienie dostępu i wykorzystania danych przestrzennych do realizacji zamierzonych celów, w tym zapewnienie dostępu do danych wykorzystywanych w procesach decyzyjnych. Budowa i rozwój IIP spowodowały, że funkcjonuje ona obecnie jako platforma wielopoziomowych systemów informacji o nieruchomościach i GIS, na rynkach lokalnych, regionalnych, krajowych i międzynarodowych. W ten sposób zasoby informacji przestrzennej oraz usług, funkcjonujące w ramach IIP, są dostępne dla wszystkich instytucji, osób fizycznych i prawnych. Dzięki temu procesowi uczestniczymy w powstawaniu społeczeństwa informacyjnego, mającego możliwość skutecznego i efektywnego wykorzystania informacji oszczędzając czas

i środki finansowe. Pozyskanie szeregu danych może odbywać się w dowolnym czasie bez ponoszenia kosztów (Bieda A., i in., 2015).

Jest to możliwe dzięki pięciu podstawowym założeniom zawartym w dyrektywie INSPIRE (2007):

1. dane powinny być pozyskiwane, przechowywane i zarządzane przez odpowiednie służby,
2. należy zapewnić ciągłość przestrzenną danych, by możliwe było pozyskanie zasobów z różnych źródeł oraz aby mogły być udostępniane różnym użytkownikom i do różnych celów,
3. dane przestrzenne powinny być przechowywane na jednym (odpowiednim) poziomie administracji publicznej i udostępniane podmiotom na pozostałych poziomach,
4. dane konieczne do odpowiedniego zarządzania przestrzenią na wszystkich poziomach administracji publicznej powinny być powszechnie, dostępne, czyli bez warunków ograniczających lub utrudniających ich wykorzystanie,
5. należy zapewnić dostęp do informacji na temat warunków dostępności do odpowiednich rodzajów danych oraz umożliwić użytkownikowi ocenę ich przydatności do realizacji zamierzonych celów.

Dyrektywa INSPIRE określiła podstawowe zagadnienia w ramach, których budowane są bazy danych (Tabela 4.1). Zagadnienia te mogą być sukcesywnie rozszerzane w miarę rozwoju platformy IIP.

Tabela 4.1. Tematy danych przestrzennych według Dyrektywy INSPIRE.

Table 4.1. The spatial data subjects of the INSPIRE Directive.

Źródło Source	Numer tematu Number of subject	Nazwa tematu Subject	Definicja Explanation	Organ wiodący The Government
Załącznik Attachment 1	1	Systemy odniesienia za pomocą współrzędnych	Systemy dla jednoznacznego przestrzennego odnoszenia informacji przestrzennej za pomocą współrzędnych (x , y , z) lub za pomocą szerokości, długości i wysokości na podstawie geodezyjnego poziomego i pionowego układu odniesienia	Główny Geodeta Kraju
	2	Systemy siatek geograficznych	Zharmonizowana wielorozdzielcza siatka o wspólnym punkcie początkowym i znormalizowanym położeniu oraz wielkości pól siatki	Główny Geodeta Kraju

Załącznik Attachment 1	3	Nazwy geograficzne	Nazwy obszarów, regionów, miejscowości, miast, przedmieść lub osiedli, albo każdy inny obiekt geograficzny lub topograficzny o znaczeniu publicznym lub historycznym	Główny Geodeta Kraju
	4	Jednostki administracyjne	Jednostki administracyjne, dzielące obszary, na których państwa członkowskie mają lub wykonują uprawnienia jurysdykcyjne, dla celów sprawowania władzy na poziomie lokalnym, regionalnym i krajowym, oddzielone granicami administracyjnymi	Główny Geodeta Kraju
	5	Adresy	Lokalizacja nieruchomości na podstawie danych adresowych, zazwyczaj nazwy ulicy, numeru budynku, kodu pocztowego	Główny Geodeta Kraju
	6	Działki katastralne	Obszary określone na podstawie rejestrów katastralnych lub ich odpowiedników	Główny Geodeta Kraju
	7	Sieci transportowe	Sieci transportu drogowego, kolejowego, lotniczego i wodnego oraz związana z nimi infrastruktura. Obejmują połączenia pomiędzy różnymi sieciami. Zalicza się do nich także transeuropejską sieć transportową w rozumieniu decyzji nr 1692/96/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 czerwca 1996 r. w sprawie wspólnotowych wytycznych dotyczących rozwoju transeuropejskiej sieci transportowej wraz z jej przyszłymi zmianami.	Główny Geodeta Kraju
	8	Hydrografia	Elementy hydrograficzne, w tym obszary morskie lub inne części obszarów wodnych oraz związane z nimi obiekty, łącznie z dorzeczami i zlewniami. W odpowiednich przypadkach zgodnie z definicjami zawartymi w dyrektywie 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiającej ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej oraz w formie sieci.	Minister właściwy ds. gospodarki morskiej/Prezes Zarządu Gospodarki Wodnej
	9	Obszary chronione	Obszar wyznaczony lub zarządzany w ramach prawa międzynarodowego, wspólnotowego lub państw członkowskich, w celu osiągnięcia szczególnych celów ochrony	Minister właściwy ds. środowiska

Załącznik Attachment 2	1	Ukształtowanie terenu	Cyfrowe modele wysokościowe powierzchni lądu, lodu i oceanu. Obejmuje również wysokość topograficzną terenu, batymetrię oraz linię brzegową.	Główny Geodeta Kraju
	2	Użytkowanie terenu	Fizyczne i biologiczne użytkowanie powierzchni ziemi, włączając w to powierzchnie sztuczne, obszary rolnicze, lasy, obszary półnaturalne, tereny podmokłe, akweny.	Główny Geodeta Kraju
	3	Sporządzanie ortobrazów	Dane obrazowe powierzchni Ziemi posiadające odniesienie geograficzne, pochodzące z rejestracji z pokładu satelity lub samolotu.	Główny Geodeta Kraju
	4	Geologia	Geologia charakteryzowana na podstawie składu i struktury. Obejmuje podłoże skalne, warstwy wodonośne i geomorfologię.	Główny Geolog Kraju
Załącznik Attachment 3	1	Jednostki statystyczne	Jednostki służące do rozpowszechniania lub wykorzystywania informacji statystycznych.	Prezes GUS
	2	Budynki	Położenie geograficzne budynków	Główny Geodeta Kraju
	3	Gleba	Gleby i podglebie charakteryzowane na podstawie głębokości, tekstury, struktury i zawartości cząstek oraz materiału organicznego, kamienistości, erozji, a w odpowiednich przypadkach na podstawie przeciętnego nachylenia oraz przewidywanej zdolności zatrzymywania wody	Główny Geodeta Kraju
	4	Zagospodarowanie przestrzenne	Terytorium charakteryzowane ze względu na jego obecny lub przyszły wymiar funkcjonalny lub przeznaczenie społeczno-gospodarcze (np. mieszkaniowe, przemysłowe, handlowe, rolnicze, leśne, wypoczynkowe).	Minister właściwy ds. budownictwa gospodarki przestrzennej i mieszkaniowej

Załącznik Attachment 3	5	Zdrowie i bezpieczeństwo ludzi	Rozmieszczenie geograficzne występowania patologii chorobowych (alergii, nowotworów, chorób układu oddechowego itd.), informacje dotyczące wpływu na zdrowie (biomarkery, spadek płodności, epidemie) lub dobre samopoczucie ludzi (zmęczenie, stres itd.) związane bezpośrednio (zanieczyszczenie powietrza, chemikalia, zubożenie warstwy ozonowej, hałas itd.) lub pośrednio (pożywienie, organizmy zmodyfikowane genetycznie itd.) z jakością środowiska	Minister właściwy ds. zdrowia
	6	Usługi użyteczności publicznej i służby państwowe	Obejmuje instalacje użyteczności publicznej takie jak: kanalizacja, zarządzanie odpadami, dostawa energii i dostawa wody, administracyjne i społeczne służby państwowe lub samorządowe, takie jak: administracja publiczna, obiekty ochrony cywilnej, szkoły i szpitale	Główny Geodeta Kraju
	7	Urządzenia do monitorowania środowiska	Lokalizacja i funkcjonowanie urządzeń do monitorowania środowiska obejmują obserwację i pomiary emisji, stanu zasobów środowiska i innych parametrów ekosystemu (różnorodności biologicznej, warunków ekologicznych wegetacji itd.) prowadzone przez organy publiczne lub w ich imieniu.	Główny Inspektor Ochrony Środowiska
	8	Obiekty produkcyjne i przemysłowe	Zakłady przemysłowe, w tym obiekty objęte dyrektywą 96/61/WE z dnia 24 września 1996 r. dotyczącą zintegrowanego zapobiegania zanieczyszczeniom i ich kontroli oraz urządzenia poboru wody, miejsca wydobywania i składowiska.	Główny Geodeta Kraju
	9	Obiekty rolnicze oraz akwakultury	Urządzenia rolnicze oraz urządzenia produkcyjne (łącznie z systemami nawadniania, szklarniami i stajniami)	Minister właściwy ds. rolnictwa
	10	Rozmieszczenie ludności – demografia	Geograficzne rozmieszczenie ludności, łącznie z poziomami aktywności i charakterystyką ludności, pogrupowanej według siatki geograficznej, regionu, jednostki administracyjnej lub innej jednostki analitycznej.	Prezes GUS

Załącznik Attachment 3	11	Gospodarowa- nie obsza- rem/strefy ograniczone/ regulacyjne oraz jednostki sprawozdaw- cze	Obszary zarządzane, regulowane lub wykorzystywane do celów sprawozdaw- czych na poziomie międzynarodowym, europejskim, krajowym, regionalnym i lokalnym. Obejmują również wysy- piska śmieci, obszary o ograniczonym dostępie wokół ujęć wody pitnej, strefy zagrożone przez azotany, uregulowane drogi wodne na morzach lub wodach śródlądowych o dużej powierzchni, obszary przeznaczone pod wysypiska śmieci, strefy ograniczeń hałasu, obsza- ry wymagające zezwolenia na poszuki- wania i wydobywanie, obszary dorzeczy, odpowiednie jednostki sprawozdawcze i obszary zarządzania strefą brzegową.	Główny Geodeta Kraju
	12	Strefy zagrożenia naturalnego	Obszary zagrożone charakteryzowane na podstawie zagrożeń naturalnych (wszyst- kie zjawiska atmosferyczne, hydrologicz- ne, sejsmiczne, wulkaniczne oraz pożary, które ze względu na swoją lokalizację, dotkliwość i częstotliwość mogą wywie- rać poważny wpływ na społeczeństwo), np. powodzie, osunięcia ziemi i osiadanie gruntu, lawiny, pożary lasów, trzęsienia ziemi, wybuchy wulkanów.	Minister właściwy ds. środowiska
	13	Warunki atmosferyczne	Warunki fizyczne w atmosferze. Obejmują dane przestrzenne oparte na pomiarach, modelach lub na kombinacji tych dwóch elementów, a także lokalizację pomiarów.	Minister właściwy ds. środowiska
	14	Warunki me- teorologiczno- geograficzne	Warunki atmosferyczne i ich pomiary; opad atmosferyczny, temperatura, ewa- potranspiracja, prędkość i kierunek wiatru.	Minister właściwy ds. środowiska
	15	Warunki oce- anograficzno- geograficzne	Warunki fizyczne oceanów (prądy, zasolenie, wysokość fal itd.).	Minister właściwy ds. gospodarki morskiej
	16	Regiony morskie	Warunki fizyczne mórz i akwenów słonowodnych w podziale na regiony i subregiony o wspólnych cechach.	Minister właściwy ds. gospodarki morskiej
	17	Regiony bio- geograficzne	Obszary o stosunkowo jednorodnych warunkach ekologicznych i o wspólnych cechach.	Główny Konservator Przyrody

Załącznik Attachment 3	18	Siedliska i obszary przyrodniczo-jednorodne	Obszary geograficzne odznaczające się szczególnymi warunkami przyrodniczymi, procesami, strukturą i (podtrzymującymi życie) funkcjami, które fizycznie umożliwiają egzystencję żyjącym na nich organizmom. Obejmują obszary lądowe i wodne wyróżniające się cechami geograficznymi, abiotycznymi i biotycznymi, czy to w całości naturalne czy też półnaturalne.	Główny Konserwator Przyrody
	19	Rozmieszczenie gatunków	Geograficzne rozmieszczenie występowania gatunków zwierząt i roślin pogrupowanych według siatki geograficznej, regionu, jednostki administracyjnej lub innej jednostki analitycznej.	Minister właściwy ds. środowiska
	20	Zasoby energetyczne	Zasoby energii, w tym węglowodory, energia wodna, bioenergia, energia słoneczna, wiatrowa itd., w odpowiednich przypadkach łącznie z informacjami dotyczącymi głębokości/wysokości i rozmiarów danych zasobów.	Główny Geolog Kraju
	21	Zasoby mineralne	Zasoby mineralne, w tym rudy metali, minerały przemysłowe itd., w odpowiednich przypadkach łącznie z informacjami dotyczącymi głębokości/wysokości i rozmiarów danych zasobów.	Główny Geolog Kraju

Źródło: na podstawie INSPIRE (2007)

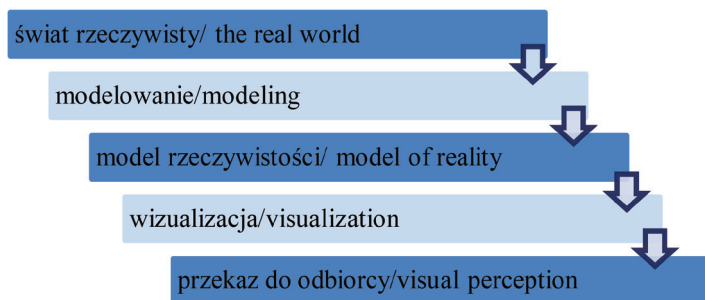
Source: based on INSPIRE (2007)

Za budowę i prowadzenie baz danych realizujących przedstawione zadania tematyczne odpowiedzialnych jest dwanaście organów wiodących w tym sześć ministerstw i sześć innych urzędów centralnych. Główny Geodeta Kraju odpowiedzialny jest za piętnaście z wymienionych trzydziestu czterech zakresów, stąd tworzenie i utrzymanie i rozwijanie infrastruktury informacji przestrzennej jest koordynowane przez ministra właściwego do spraw administracji publicznej, wykonującego swoje zadania przy pomocy Głównego Geodety Kraju. Do podstawowych zadań realizowanych przez służbę geodezyjną należy tworzenie i aktualizacja podstawowej bazy danych georeferencyjnych, która jest cyfrowym odpowiednikiem mapy topograficznej. Dane georeferencyjne zgromadzone w państwowym zasobie geodezyjnym i kartograficznym są podstawą do tworzenia wszystkich tematycznych systemów branżowych realizowanych zarówno przez organy wiodące jak i wszystkie instytucje państwowe i organizacje komercyjne.

Przedstawiony zakres tematyczny baz danych gromadzonych w ramach IIP w pełni wyczerpuje zakres informacji niezbędny do prowadzenia analiz decyzyjnych w dziedzinie gospodarki nieruchomościami.

4.2. Mapa jako źródło informacji o przestrzeni geograficznej

Podstawowym źródłem informacji o przestrzeni geograficznej jest mapa (Robinson A.H., i in. 1995; Makowski A., 2005a). Treść mapy daje użytkownikowi wiedzę na temat rozmieszczenia, charakterystyki, a także relacji przestrzennych pomiędzy obiektami wchodzącymi w jej zakres tematyczny (Makowski A., 2005b). Według Głażewskiego (2006) mapa jest wizualizacją modelowego zapisu rzeczywistości. W pierwszej kolejności powstaje model świata rzeczywistego, umożliwiającą, porządkowanie, zapis i analizę danych, a następnie model ten jest wizualizowany, by mógł zostać przekazany odbiorcy.



Źródło: na podstawie (Głażewski A., 2006)

Source: based on (Głażewski A., 2006)

Rysunek 4.1. Etapy modelowania w kartografii.

Figure 4.1. Stages of modeling in cartography.

Medyńska-Gulij (2011) definiuje model danych przestrzennych jako zapis informacji przestrzennych ukazujących strukturę informacji o obiektach rzeczywistych środowiska przyrodniczego. Model ten może być przedstawiony w postaci topograficznego (często nazywanego też krajobrazowym) modelu danych (Digital Landscape Model – DLM), kartograficznego modelu danych (Digital Cartographic Model – DCM) oraz teledetekcyjnego modelu danych (image model). DLM jest zbiorem danych zawierającym cyfrowy zapis geometrii i charakterystyki obiektów oraz relacji między nimi, dlatego też nazywany jest modelem topograficznym. DCM natomiast powstaje w wyniku transformacji kartograficznej cyfrowego modelu krajobrazu. Teledetekcyjny model danych, nazywany też obrazowym, jest modelem rzeczywistości geograficznej pokazującym wygląd obszaru zarejestrowany w różnych zakresach spektrum elektromagnetycznego.

Model ten nie pozwala na klasyfikację obiektową elementów treści. Najważniejszą cechą tych modeli jest możliwość obejrzenia obrazu danego obszaru (Głazewski A., 2006; Medyńska-Gulij B., 2011).

4.3. Baza danych obiektów topograficznych

Podstawowym celem powstania bazy danych obiektów topograficznych (BDOT10k) jest zapewnienie dostępu specjalistycznym urzędowym systemom informacji przestrzennej do aktualnych oraz wysokiej jakości danych topograficznych. W ten sposób dane zebrane w BDOT10k stanowią punkt wyjścia do budowy systemów informacji przestrzennej dla różnych instytucji rządowych, samorządowych, a także dla sektora prywatnego (Rozporządzenie, 2011, Obwieszczenie, 2015; Gotlib D., 2013).

Realizacja przedstawionego celu jest możliwa gdyż baza danych obiektów topograficznych jest podstawowym źródłem informacji o ich lokalizacji przestrzennej, charakterystyce, kodach kartograficznych, a także metadanych (Rozporządzenie, 2011; Dyrektywa 1205/WE, 2008). Informacje te uzyskuje się z wielu źródeł danych referencyjnych. Jako źródło podstawowe należy wymienić rejestry publiczne stanowiące państwowy zasób geodezyjny i kartograficzny. Natomiast źródłami uzupełniającymi są rejestry gromadzone przez inne urzędy i instytucje np. urzędy gmin, zarządy dróg, zarządy gospodarki wodnej, itp. Przykład BDOT10k w formie kartograficznej przedstawia rysunek 4.2.

Według (Gotlib D., 2013; Marmol M., Buczek A., 2013; Bielecka E., 2010) BDOT10k składa się z klas obiektów, dla których informacje przestrzenne pozyskano z następujących baz referencyjnych.

Jako bazę podstawową należy uznać ewidencję gruntów i budynków, prowadzoną przez powiatowe ośrodki dokumentacji geodezyjnej i kartograficznej. Jest ona źródłem informacji w zakresie pozyskania i aktualizacji geometrii oraz atrybutów następujących klas obiektów:

- budynek, symbol: OT_BUD_A; informacje dotyczące identyfikatora budynku, statusu budynku, liczby kondygnacji, rodzaju budynku według Polskiej Klasyfikacji Obiektów Budowlanych,
- inna budowla, symbol: OT_BUIB_A; informacje w zakresie geometrii i atrybutu – rodzaj budowli,
- teren roślinności trawiastej lub upraw rolnych, symbol: OT_PTTR_A; informacje w zakresie gleboznawczej klasyfikacji gruntów oraz rodzaju użytku gruntowego,
- miejscowość, symbol: OT_ADMS; informacje w zakresie granic miejscowości na podstawie granic obrębów ewidencyjnych.



Źródło: www.miip.geomalopolska.pl
Source: www.miip.geomalopolska.pl

Rysunek 4.2. Przykład bazy danych BDOT10k w formie kartograficznej.

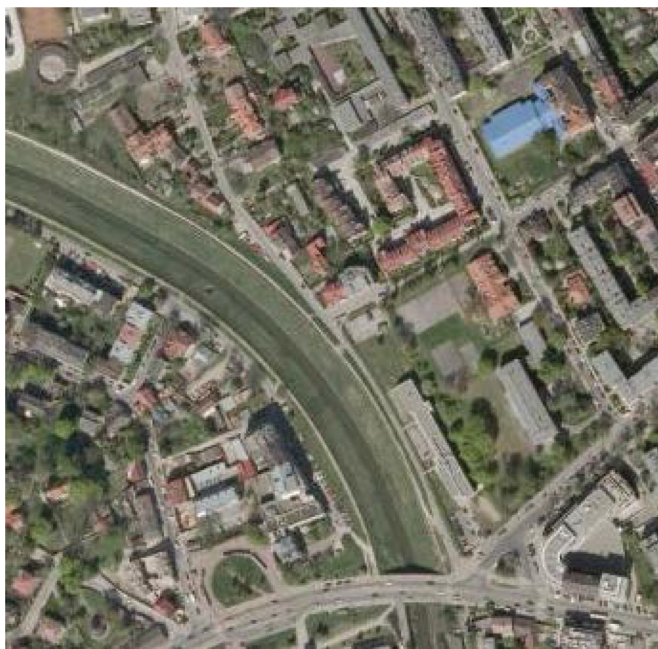
Figure 4.2. Database BDOT10k in cartographic form.

Korzystanie z wymienionych danych źródłowych musi być poprzedzone przeprowadzeniem badań w aspekcie kompletności, aktualności i poprawności topologicznej.

Państwowy rejestr granic i powierzchni, jednostek podziału terytorialnego kraju (PRG) jest bazą prowadzoną przez Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej. Baza ta wykorzystywana jest w zakresie pozyskania i aktualizacji geometrii oraz atrybutu klas obiektów topograficznych w zakresie jednostki podziału administracyjnego oznaczonej symbolem: OT_ADJA_A. Pozyskane informacje obejmują nazwę jednostki oraz kod jednostki podziału terytorialnego. Natomiast dla opracowań kartograficznych, posiadają dodatkowo identyfikator obiektu infrastruktury przestrzennej i identyfikator punktu granicznego. Przebieg granic przejmowany jest bezpośrednio z bazy państwowego rejestru granic i nie podlega kontroli topologicznej z przebiegiem granic innych obiektów (rzeki, jeziora, drogi, linie kolejowe itp.). Wobec tego jeżeli informacje te będą służyły do budowy systemów informacji przestrzennej lub produkcji map, kontrola topologiczna powinna zostać przeprowadzona przez użytkownika.

Bazą referencyjną w zakresie nazw geograficznych, poprawności ich brzmienia i pisowni, jest baza państwowego rejestru nazw geograficznych prowadzona przez Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej. Rejestr ten posiada dane przestrzenne i opisowe o jednostkach administracyjnych oraz obiektach fizjograficznych. Dane te udostępniane są w formatach SHP, XLS, XML, GML, TXT, dzięki czemu mogą zasilać inne warstwy bazy obiektów topograficznych.

Ewidencja miejscowości, ulic i adresów (EMUiA) jest bazą danych prowadzoną w formie elektronicznej przez urzędy miast i gmin. Jest to baza referencyjna dla warstwy miejscowość oznaczonej symbolem OT_ADMS_A. Baza ta zawiera informacje w zakresie identyfikatora obiektu, nazwy miejscowości, rodzaju miejscowości, liczby mieszkańców, identyfikatora TERYT, identyfikatora PRNG, a także nazwy ulicy i typu ulicy. Dane zawarte w bazie EMUiA pochodzą z bazy państwowego rejestru nazw geograficznych (PRNG) w zakresie nazw i rodzajów miejscowości. Natomiast przebieg granic pochodzi z bazy państwowego rejestru granic oraz ewidencji gruntów i budynków.



Źródło: www.miip.geomalopolska.pl

Source: www.miip.geomalopolska.pl

Rysunek 4.3. Przykład bazy danych – ortofotomapa.

Figure 4.3. Ortofoto database.

Zobrazowania lotnicze i satelitarne oraz ortofotomapy (Rysunek 4.3) i numeryczny model terenu stanowią bazy danych wykorzystywane do pozyskania i weryfikacji geometrii obiektów, a także ich klasyfikacji i wstępnej interpretacji. Obiekty, których nie można jednoznacznie zidentyfikować na podstawie posiadanych materiałów podlegają weryfikacji w terenie. Uzupełnieniem danych zawartych na ortofotomapie jest numeryczny model terenu (DTM). Umożliwia on dokładną weryfikację obiektów położonych na obszarach trudno dostępnych np. umożliwia wektoryzację i weryfikację geometrii cieków wodnych na obszarach zalesionych. DTM pełni ważną rolę w budowie treści opracowań kartograficznych. Dotyczy to obiektów rzeźby terenu takich jak: skarpy, warstwy, kopce, wąwozy, punkty wysokościowe itp. W przypadku tej bazy referencyjnej, dla zapewnienia odpowiedniej, jakości danych zawartych w BDOT10k, istotne jest monitorowanie aktualności posiadanych materiałów źródłowych.

Baza danych obiektów topograficznych BDTO500 o szczegółowości map w skalach od 1:500 do 1:5000, jest numerycznym opracowaniem wielkoskalowym o treści właściwej dla mapy zasadniczej. Bazy te prowadzi się na obszarach miast oraz na terenach wiejskich, lecz tylko dla terenów zwartej zabudowy lub przeznaczonych pod zabudowę. Obecnie w Polsce brak jest danych tego typu.

Krajowy rejestr urzędowego podziału terytorialnego kraju TERYT, jest bazą prowadzoną przez Główny Urząd Statystyczny. Baza ta jest bazą referencyjną w zakresie jednostek terytorialnych dla wszystkich rejestrów i systemów administracji publicznej. Zawarte tam informacje zawierają identyfikatory i nazwy jednostek podziału terytorialnego, identyfikatory i nazwy miejscowości oraz nazwy i symbole ulic. Rejestr ten zapewnia jednoznaczną identyfikację jednostek terytorialnych na różnych poziomach szczegółowości (województwo, powiat, gmina, miasto, ulica itd.). Dzięki temu możliwa jest integracja danych pomiędzy różnymi systemami. W bazie BDOT10k wyróżnia się następujące klasy obiektów:

- jednostka podziału administracyjnego, symbol: OT_ADJT_A; zawierająca identyfikator terytorialny jednostki nadrzędnej oraz identyfikator jednostki administracyjnej
- miejscowość, symbol: OT_ADMS_A; zawierająca identyfikator gminy oraz identyfikator miejscowości w rejestrze TERYT
- wykaz ulic, symbol: OT_Ulica; zawierający identyfikator ulic pochodzący z centralnego katalogu ulic prowadzonego przez Główny Urząd Statystyczny.

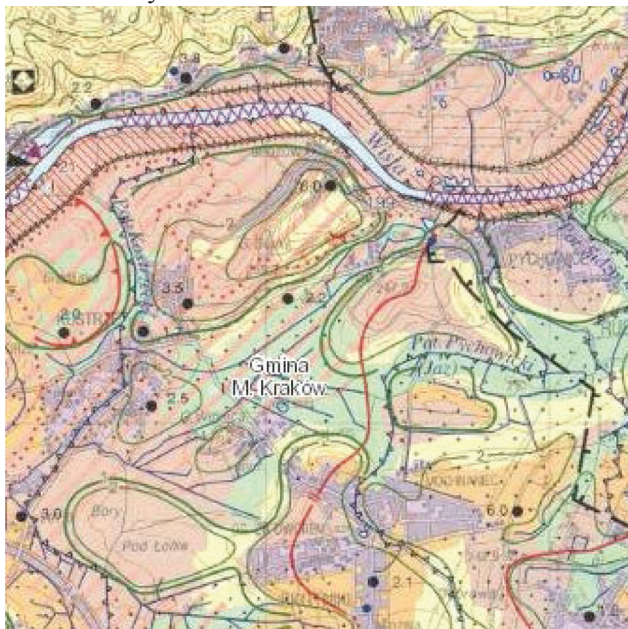
Baza rejestru zabytków nieruchomości tworzona i prowadzona jest przez wojewodów. Powstaje ona na podstawie decyzji o wpisie danego obiektu do rejestru zabytków. Jest to podstawowa forma ochrony zabytków w Polsce. Dokumentacja krajowej ewidencji zabytków nieruchomości gromadzona jest przez Narodowy Instytut Dziedzictwa. Obiekty mogą zostać wpisane do rejestru zabytków w ramach dwóch podstawowych form ochrony. Jedną jest uznanie

obiekty, jako pomnika historii, druga forma to obiekty wpisane na listę światowego dziedzictwa UNESCO. Są to obiekty chronione na podstawie konwencji w sprawie ochrony Światowego Dziedzictwa Kulturowego i Naturalnego (Konwencja UNESCO, 1972).

Baza danych obiektów topograficznych BDOT10k, zawiera następujące klasy obiektów:

- budynki, symbol: OT_BUBD_A; informacje dotyczące numeru funkcji ogólnej i szczegółowej budynku,
- kompleks zabytkowo-historyczny, symbol: OT_KUZA_A,
- obiekt, symbol: OT_OIOR_A; informacja dotycząca rodzaju obiektu.

Rejestry zabytków posiadają bardzo często niepełną informację adresową ze względu na brak aktualizacji zmian nazw miejscowości lub zmian adresu obiektu. Dlatego informacje pochodzące z tego rejestru powinny zostać zweryfikowane na podstawie innych źródeł.



Źródło: www.GUGiK
Source: www.GUGiK

Rysunek 4.4. Przykład mapy hydrograficznej w skali 1:50 000.

Figure 4.4. Hydrographic maps at a scale of 1:50 000.

Rejestrem referencyjnym dla BDOT w zakresie sieci wodnej jest Mapa Podziału Hydrograficznego Polski prowadzona przez Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej oraz Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (Rysunek 4.4).

Mapa ta powstała na bazie wojskowych map topograficznych w skali 1:50 000, wobec czego charakteryzuje się niską dokładnością. W tej sytuacji geometrię sieci hydrograficznej pozyskuje się z aktualnej ortofotomapy, referencję do Mapy Podziału Hydrograficznego Polski uzyskuje się przez nadanie identyfikatora właściwym obiektom. Przykłady obiektów na warstwach:

- woda powierzchniowa, symbol: OT_PTWP_A,
- rzeka i strumień, symbol: OT_SWRS_L,
- kanał, symbol: OT_SWKN_L,
- rów melioracyjny, symbol: OT_SWRM_L.

Dane opisowe i lokalizacyjne dotyczące dróg i obiektów mostowych pozyskiwane są od zarządców tych obiektów. W zależności od klasy obiektu zarząd może być sprawowany przez jednostkę centralną, wojewódzką, powiatową lub gminną. W bazie BDOT10k znajdują się następujące klasy obiektów:

- droga, symbol: OT_SKDR_L; informacje dotyczące atrybutu kategorii zarządzania i klasa drogi,
- jezdnia, symbol: OT_SKJZ_L; informacje dotyczące atrybutu kategorii zarządzania i klasa drogi,
- szlak drogowy, symbol: OT_SzlakDrogowy; informacje dotyczące atrybutu numer drogi,
- rondo, węzeł drogowy, symbol: OT_SKRW_P; informacje dotyczące atrybutu typ węzła drogowego,
- kompleks komunikacyjny, symbol: OT_KUKO_A; informacje dotyczące atrybutu rodzaj kompleksu, np. MOP-miejsce obsługi podróży.

Wymienione dane dotyczące dróg i obiektów mostowych prowadzone są w postaci map analogowych oraz tabel zawierających informacje opisowe. Wprowadzenie tych danych do bazy BDOT10k, wymaga przeprowadzenia kontroli w zakresie ciągłości atrybutów oraz poprawności wprowadzonych danych.

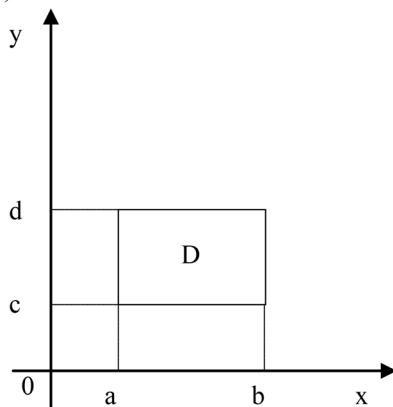
Przedstawione dane dotyczące obiektów i ich atrybutów, jako baza BDOT10k, mogą stanowić usystematyzowane źródło informacji terenowej dla różnych specjalistycznych opracowań związanych z analizą decyzyjną danych przestrzennych pod warunkiem, że będą charakteryzowały się wysoką jakością. Do głównych elementów jakości danych należy zaliczyć kompletność i aktualność. W tej sytuacji bazy BDOT muszą być sukcesywnie aktualizowane w określonych interwałach czasowych oraz podlegać kontroli technicznej i merytorycznej (Marmol M., Buczek A., 2013).

5. GENERACJA MODELU LOKALIZACJI OBIEKTÓW INWESTYCYJNYCH

Metody przedstawione w rozdziale 3 wykorzystywane są w analizach decyzyjnych w różnych dziedzinach gospodarki, jednak ich zastosowanie do wskazania potencjalnych lokalizacji obiektów inwestycyjnych o charakterze ponadlokalnym jest ograniczone. Metody te nie dają możliwości łącznego rozpatrzenia wszystkich elementów takich jak: prowadzenie analiz wielokryterialnych, wykorzystanie ocen ilościowych i jakościowych oraz przyporządkowanie wartości poszczególnych parametrów konkretnym lokalizacjom identyfikowanym współrzędnymi (x,y) . Dlatego w niniejszej pracy opracowano metodę uwzględniającą połączenie tych elementów. Zaproponowaną metodę oparto na rachunku różniczkowym.

5.1. Teoretyczne podstawy

Formuły przedstawiające całkę podwójną przebijają prostą postać, kiedy powierzchnia D jest prostokątem o bokach równoległych do osi układu współrzędnych (Rysunek 5.1).



Rysunek 5.1. Usytuowanie powierzchni D o bokach równoległych do osi układu.

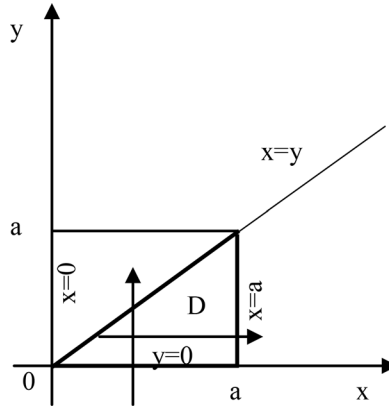
Figure 5.1. Location surface D with sides parallel to the axis of the system.

W tym przypadku zarówno granice dolne jak i górne całki są stałe:

$$\iint_D f(x,y) d\sigma = \int_a^b dx \int_c^d f(x,y) dy = \int_c^d dy \int_a^b f(x,y) dx \quad (5.1)$$

W innych przypadkach dla całki podwójnej ważna jest przede wszystkim powierzchnia całkowania. Najlepiej przedstawić tę powierzchnię bezpośrednio na płaszczyźnie Oxy , a następnie określić kolejność całkowania.

Jeśli powierzchnia całkowania D (Rysunek 5.2) jest trójkątem ograniczonym prostymi $y=0$, $y=x$ i $x=a$, oraz przyjmujemy kolejność całkowania najpierw po zmiennej y a później po zmiennej x to wewnętrzne całkowanie będzie przebiegać od linii $y=0$ do linii $y=x$, a zewnętrzne od punktu $x=0$ do punktu $x=a$.



Rysunek 5.2. Powierzchnia całkowania ograniczona prostymi $y=0$, $y=x$, $x=a$

Figure 5.2. The integral area limited by lines $y=0$, $y=x$, $x=a$

Dlatego:

$$\iint_D f(x, y) dx dy = \int_0^a dx \int_0^x f(x, y) dy \quad (5.2)$$

Zmieniając porządek całkowania otrzymamy:

$$\iint_D f(x, y) dx dy = \int_0^x dy \int_y^a f(x, y) dx \quad (5.3)$$

Rozpatrując przykład całki podwójnej, $\iint_D f(x, y) dx dy$ dla powierzchni D

(Rysunek 5.3) ograniczonej liniami $y=0$, $y=x^2$ i $x+y=2$, otrzymamy wzór (5.4)

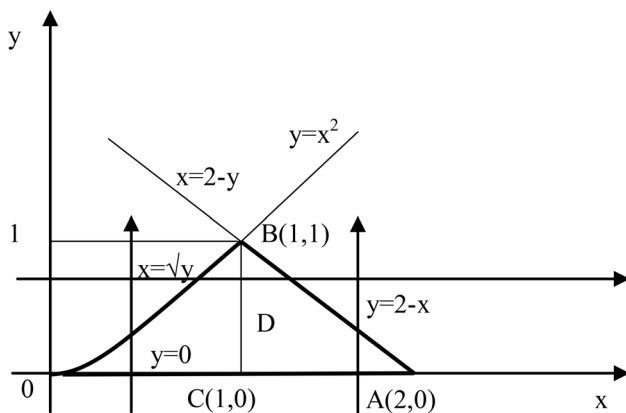
$$\iint_D f(x, y) dx dy = \int_0^1 dy \int_{\sqrt{y}}^{2-y} f(x, y) dx \quad (5.4)$$

tylko wtedy, gdy przyjmujemy kolejność całkowania najpierw po zmiennej x , a później po zmiennej y .

W sytuacji gdy zmienimy kolejność całkowania to wyniku nie uda się przedstawić w postaci jednej całki podwójnej, gdyż krzywa OBA (Rysunek 5.3) ma różną postać funkcyjną w różnych sektorach. Dzieliąc powierzchnię D na dwie OBC i CBA otrzymamy:

$$\iint_D f(x, y) dx dy = \int_0^1 dx \int_0^{x^2} f(x, y) dy + \int_1^2 dx \int_0^{2-x} f(x, y) dy \quad (5.5)$$

Przykład ten dowodzi, że wzory te można stosować zamiennie w zależności od obranej kolejności całkowania (Leja F., 1959; Kryszicki W., Włodarski L., 1983).



Rysunek 5.3. Powierzchnia całkowania ograniczona prostymi $y=0$, $y=x^2$, $x+y=2$

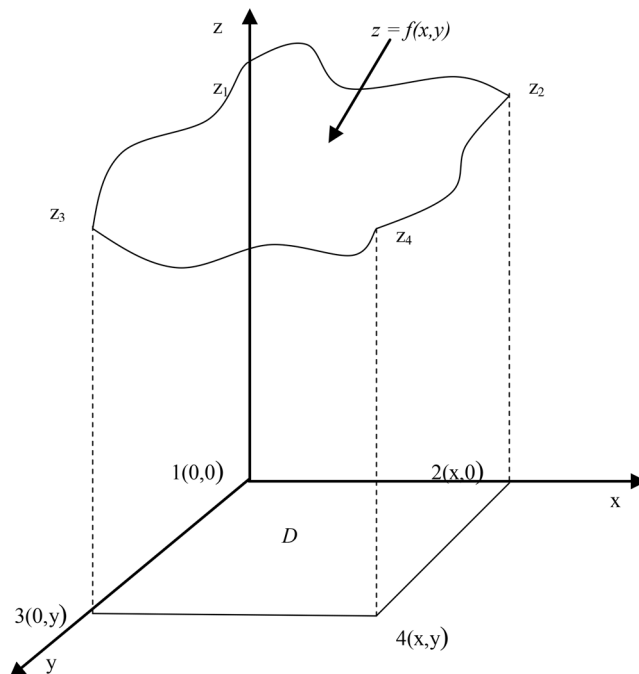
Figure 5.3. The integral area limited by lines $y=0$, $y=x^2$, $x+y=2$.

W analizowanym zadaniu wskazujemy powierzchnię o określonym stopniu przydatności (powierzchnię kwalifikowaną) do realizacji założonego celu, przyjmując założenie, że rozpatrywana powierzchnia opisana jest funkcją, wówczas

$$\iint_D f(x, y) d\sigma = \int_a^b dx \int_c^d f(x, y) dy = \int_c^d dy \int_a^b f(x, y) dx \quad (5.6)$$

Analizowany w pracy problem można przedstawić jako zbiór obiektów składających się z brył o podstawie prostokąta, którego boki są równoległe do osi układu współrzędnych, a jego powierzchnia górna opisana jest wzorem $z=f(x, y)$, (Rysunek 5.4).

Wobec faktu, że dane zostały znormalizowane odpowiednio według wzorów 3.8 i 3.9, wartość funkcji zawiera się w przedziale $<0, 1>$.



Rysunek 5.4. Elementarna jednostka badawcza.

Figure 5.4. Elementary research unit.

Przedstawiona metoda całkowania powierzchniowego została wykorzystana, jako podstawa oceny wpływu wskazanych czynników na możliwości rozwojowe analizowanych obszarów (w aspekcie optymalnego wyboru lokalizacji, osiedla mieszkaniowego, hali widowiskowo-sportowej oraz zakładu termicznego przekształcania odpadów komunalnych – ZTPOK). Podstawę stanowią dane w postaci współrzędnych prostokątnych (x, y) , określających położenie badanego obiektu. Obiektem jest działka ewidencyjna lub obszar, na którym planuje się realizację danej inwestycji. Dla tak postawionego zadania wskazano powierzchnię ograniczającą opisaną funkcją:

$$z = e_x x + e_y y + z_0 \quad (5.6a)$$

gdzie: e_x – średnie nachylenie powierzchni względem osi x , e_y – średnie nachylenie powierzchni względem osi y , z_0 – wysokość punktu przecięcia powierzchni z osią z .

Jeżeli powierzchnię elementarnej jednostki badawczej aproksymujemy płaszczyzną wówczas rozwiązaniem równania 5.6a:

$$X = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot L \quad (5.7)$$

gdzie: A – macierz współrzędnych prostokątnych punktów określających położenie badanego obiektu, L – macierz wysokości (wartości parametrów), jest wektor:

$$X = \begin{bmatrix} e_x \\ e_y \\ z_0 \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

Pole powierzchni elementarnej jednostki badawczej będzie określone wzorem:

$$S = \iint_D f(x, y) dx dy \quad (5.9)$$

Dla każdej elementarnej jednostki badawczej należy ustalić gęstość punktów pomiarowych. W wyniku tego powstanie siatka kwadratów, a każdy kwadrat będzie elementarną jednostką odniesienia (jednostką badawczą). Zastosowanie wzoru 5.9 powoduje, że dla każdego analizowanego obiektu otrzymamy macierz, w której liczba wierszy odpowiada liczbie elementarnych jednostek odniesienia – j , a liczba kolumn liczbie parametrów – n :

$$S = \begin{bmatrix} S_{1,1} & \cdots & \cdots & \cdots & S_{1,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ S_{i,1} & \cdots & \cdots & \cdots & S_{i,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ S_{j,1} & \cdots & \cdots & \cdots & S_{j,n} \end{bmatrix} \quad (5.10)$$

gdzie: j – numer elementarnego obiektu, i – numer parametru.

Znalezienie sum:

$$\sum_{i=1}^n S_i \cdots \sum_{j=1}^m S_j \quad (5.11)$$

gdzie: m – liczba elementarnych jednostek badawczych, n – liczba parametrów daje w konsekwencji współczynnik przydatności badanego obszaru do założonego celu:

$$S_{pr} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m k_i S_{ij} \quad (5.12)$$

gdzie: k_i – waga parametru i .

Znając wartość teoretyczną, jako zależność opisaną wzorem:

$$S_t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m k_i D_j \quad (5.13)$$

gdzie: D_j – powierzchnia elementarnej jednostki badawczej
możemy obliczyć odchyłkę powierzchni kwalifikowanej badanego obiektu od wartości modelowej, co daje możliwość wyboru najlepszego (optimalnego) wariantu.

$$\Delta S = S_t - S_{pr} \quad \text{gdzie} \quad \Delta S \rightarrow \min \quad (5.14)$$

5.2. Analiza dokładności wyznaczenia współrzędnych punktów węzłowych

Obszar objęty badaniem podzielono siatką kwadratów na mniejsze jednostki badawcze. W celu sprawdzenia wymaganej, a zarazem wystarczającej dokładności wyznaczenia współrzędnych punktów węzłowych, przeprowadzono wstępną analizę dokładności. Danymi wyjściowymi są następujące elementy: obszar objęty pomiarem pokryty siatką kwadratów; długość boku siatki oraz wartość funkcji w węzłach siatki.

W celu interpolacji wartości funkcji $z = f(x, y)$, pomiędzy węzłami siatki, zastosowano wielomian drugiego stopnia. W ten sposób zostały wyznaczone wartości współczynników wielomianu w odniesieniu do współrzędnej z .

Algorytm rozwiązania tak postawionego zadania, przedstawia się następująco:

1. wyznaczenie współrzędnych w węzłach siatki i utworzenie katalogu danych wejściowych,
2. dla każdego punktu węzłowego zostaną obliczone współczynniki wielomianu drugiego stopnia.

W wyniku tego powstanie macierz współczynników – A :

$$A = \begin{bmatrix} a_{00}^1 & a_{10}^1 & a_{01}^1 & a_{11}^1 \\ a_{00}^2 & a_{10}^2 & a_{01}^2 & a_{11}^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{00}^n & a_{10}^n & a_{01}^n & a_{11}^n \end{bmatrix} \quad (5.15)$$

oraz macierz wyrazów wolnych; L :

$$L = [l_1 \quad l_2 \quad \dots \quad l_n]^T \quad (5.16)$$

gdzie: n – numer parametru,

3. budowa układu równań i rozwiązanie metodą Gaussa:
 - utworzenie układu równań normalnych:

$$A^T \cdot A \cdot X + A^T \cdot L = 0 \quad (5.17)$$

- rozwiązanie:

$$X = -(A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot L \quad (5.18)$$

4. otrzymanie wartości współczynników wielomianu:

$$X = \begin{bmatrix} a_{00} \\ a_{10} \\ a_{01} \\ a_{11} \end{bmatrix} \quad (5.19)$$

5. wyznaczenie wartości funkcji:

$$f(x, y) = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{11}xy \quad (5.20)$$

gdzie:

$$a_{00} = f(0,0)$$

$$a_{10} = f(1,0) - f(0,0)$$

$$a_{01} = f(0,1) - f(0,0)$$

$$a_{11} = f(0,0) - f(1,0) - f(0,1) + f(1,1)$$

6. znalezienie wartości x oraz y dla wszystkich kolejnych punktów węzłowych opisanych funkcją:

$$f(x, y) = f(x_0, y_0)(x - x_0)(y - y_0) + f(x_1, y_0)(x - x_1)(y - y_0) + f(x_0, y_1)(x - x_0)(y - y_1) + f(x_1, y_1)(x - x_1)(y - y_1) \quad (5.21)$$

przez obliczenie wartości pochodnych według wzorów (5.22), i (5.23)

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial x} &= f(x_0, y_0)(y - y_0) + f(x_1, y_0)(y - y_0) \\ &\quad + f(x_0, y_1)(y - y_1) + f(x_1, y_1)(y - y_1) \end{aligned} \quad (5.22)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial y} &= f(x_0, y_0)(x - x_0) + f(x_1, y_0)(x - x_1) \\ &\quad + f(x_0, y_1)(x - x_0) + f(x_1, y_1)(x - x_1) \end{aligned} \quad (5.23)$$

7. obliczenie błędu średniego kwadratowego wyznaczenia funkcji m_f dla wszystkich punktów węzłowych:

$$\begin{aligned} m_f &= \left[[(f(x_0, y_0) + f(x_1, y_0)) \cdot (y - y_0) + (f(x_0, y_1) + f(x_1, y_1)) \cdot (y - y_1)]^2 m_x^2 \right. \\ &\quad \left. + [(f(x_0, y_0) + f(x_0, y_1)) \cdot (x - x_0) + (f(x_1, y_0) + f(x_1, y_1)) \cdot (x - x_1)]^2 m_y^2 \right]^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (5.24)$$

8. przeprowadzenie interpolacji (wzór 5.20) według przyjętego interwału próbkowania Δ , dla optymalnego wyznaczenia m_f

$$\begin{aligned}x &= x_0 + \Delta_i \\ y &= y_0 + \Delta_i\end{aligned}\tag{5.25}$$

9. po otrzymaniu współrzędnych (x,y) dla wszystkich punktów węzłowych według punktu 8, należy przeprowadzić obliczenia według punktów 6 i 7.

Przedstawiona metoda optymalnego wyboru lokalizacji obiektów inwestycyjnych o charakterze ponadlokalnym oparta została na rachunku różniczkowym, gdzie granice całkowania określone są przez współrzędne opisujące obszary wskazane jako najmniejsze jednostki badawcze (współrzędne punktów węzłowych siatki kwadratów), a funkcja podcałkowa opisuje zmienność danego parametru na tym obszarze. Wobec tego w celu sprawdzenia wymaganej, dokładności pomiarów współrzędnych punktów węzłowych, przeprowadzono wstępną analizę dokładności. Wartość funkcji pomiędzy węzłami interpolowano stosując wielomian drugiego stopnia.

Praktyczne zastosowanie proponowanej metody przedstawiono w rozdziałach 7 i 8. W rozdziale 7 przeprowadzono badania testowe na obiekcie symulowanym, weryfikując poprawność przyjętych rozwiązań matematycznych. Natomiast w rozdziale 8 przeprowadzono badania na obiekcie rzeczywistym, prezentując przydatność zaproponowanego rozwiązania merytorycznego w rozwiązaniach praktycznych.

5.3. Numeryczna optymalizacja długości boku siatki kwadratów

W rozwiązywaniu zadań praktycznych ważnym elementem jest wskazanie jak zmiana gęstości punktów węzłowych siatki kwadratów wpływa na parametry dokładnościowe uzyskanego wyniku w postaci powierzchni kwalifikowanej. Gęstość punktów będzie zależeć od długości boku kwadratu. W niniejszym rozdziale, na podstawie przeprowadzonych badań, wyprowadzono wzór i obliczono długość boku kwadratu, a w konsekwencji liczbę i gęstość punktów węzłowych siatki kwadratów.

Na podstawie analizy wyników pomiarów wartości poszczególnych parametrów uzyskanych na punktach kontrolnych rozmieszczonych co 50 m, otrzymano różnice standaryzowanych wartości tych parametrów w zakresie od 0,22 do 0,02 (Tabela 5.1). Zakres ten wpływa na zmianę powierzchni kwalifikowanej, obliczonej dla podstawowej jednostki badawczej, na poziomie od 550 m² do 50 m².

Tabela 5.1. Zmiana powierzchni kwalifikowanej w odniesieniu do zmiany wartości parametrów.

Table 5.1. Changing the surface qualified in relation to changes in parameters value.

Obiekt Object	Różnice standaryzowanych wartości parametrów Differences standardized values of parameters Δz		Różnica powierzchni kwalifikowanej Changing the qualified surface [m ²]		Współczynnik tolerancji Tolerance factor [m]	
	Δz max	Δz min	dS max	dS min	da max	da min
1	0,17	0,03	425	75	21	9
2	0,22	0,03	550	75	23	9
3	0,13	0,02	325	50	18	7
4	0,13	0,05	325	125	18	11
5	0,22	0,03	550	75	23	9
6	0,17	0,02	425	50	21	7
7	0,22	0,03	550	75	23	9

Biorąc pod uwagę fakt, że dopuszczalna różnica powierzchni w pracach modernizacyjnych ewidencji gruntów wynosi 2 % (Rozporządzenie, 2013), natomiast przy sporządzaniu wykazów synchronizacyjnych związanych z regulacją stanów prawnych nieruchomości, systemy uznaje się za w pełni równoważne już przy 5 % różnicy powierzchni (Hycner R., Trembecka A., 1997; Mika M., Siejka M., 2012), z kolei w systemie IACS dopuszcza się tolerancję techniczną na poziomie 5% powierzchni działki (Hejmanowska B., 2005), można uznać za poprawne przyjęcie dokładności wyznaczenia powierzchni kwalifikowanej na poziomie 3 %. Różnica ta powoduje, że wielkość współczynnika tolerancji przy optymalizacji długości boku pomiarowego figury podstawowej wynosi 9 m (Tabela 5.1).

Korzystając ze wzoru na pole powierzchni podstawowej jednostki badawczej, $S = a^2$, gdzie a jest długością boku, otrzymamy: $dS = 2ada$. Przechodząc do przyrostów $\Delta S = 2a\Delta a$ wtedy długość boku figury podstawowej wynosi:

$$a = \frac{\Delta S}{2\Delta a} \quad (5.26)$$

Wzór (5.26) został zastosowany do obliczenia optymalnej długości boku figury podstawowej w oparciu o wielkość obszaru objętego badaniem przy założonej tolerancji dokładności uzyskanego wyniku (Tabela 5.2).

Tabela 5.2. Optymalne długości boków figury podstawowej dla badanych obiektów.
Table 5.2. The optimal length of the sides of the elementary unit for the tested objects.

Numer obiektu Number of object	ΔS [m ²]	Δa [m]	a [m]
1	1200	9	67
2	1500	9	83
3	900	9	50
4	1200	9	67
5	1500	9	83
6	1200	9	67
7	1500	9	83
Średnia			70

Z powyższych rozważań wynika, że wykonanie pomiarów na punktach kontrolnych rozmieszczonych na badanym obszarze w odległościach co 70 m, daje możliwość uzyskania wyniku z dokładnością do 3 %.

Znając długość boku figury podstawowej, można wyznaczyć liczbę wszystkich punktów siatki, czyli punktów pomiarowych, według wzoru:

$$n = n_x \cdot n_y, \quad \text{gdzie} \quad n_x = \frac{L_x}{a} + 1, \quad n_y = \frac{L_y}{a} + 1 \quad (5.27)$$

gdzie: n – liczba punktów, n_x – liczba punktów względem osi x, n_y – liczba punktów względem osi y, L_x , L_y – długości boków obszaru objętego analizą.

W tabeli 5.3 pokazano optymalne długości boków dla badanych obiektów oraz gęstość punktów węzłowych siatki kwadratów – δ . Gęstość punktów węzłowych wyliczono, jako stosunek liczby punktów siatki w odniesieniu do obszaru objętego badaniem.

Jak wynika z danych zawartych w tabeli 5.3, dla zachowania dokładności wyznaczanej powierzchni na poziomie 3%, gęstość punktów węzłowych siatki wynosi średnio 4 punkty na 1 ha powierzchni objętej analizą.

W tabeli 5.4 podano przykładowe długości boków figury podstawowej w zależności od zmiany dokładności wyznaczenia powierzchni kwalifikowanej, dla badanych obiektów.

Tabela 5.3. Obliczenie gęstości punktów węzłowych dla badanego obszaru.

Table 5.3. Calculation of the density of nodes for the study area.

Numer obiektu Number of object	Powierzchnia Surface [m ²]	L _x [m]	L _y [m]	n _x	n _y	n	δ liczba punktów/[ha] number of points/[ha]
1	40000	200	200	4	4	16	4
2	50000	250	200	5	4	20	4
3	30000	150	200	3	4	12	4
4	40000	150	265	3	5	15	4
5	50000	250	200	5	4	20	4
6	40000	200	200	4	4	16	4
7	50000	250	200	5	4	20	4

Tabela 5.4. Zmiana długości boku figury podstawowej i jej wpływ na dokładność wyznaczenia powierzchni kwalifikowanej.

Table 5.4. Changing the length of the side of the elementary unit and its impact on the accuracy of the designation of qualified surface

Zmiana powierzchni Changing the surface ΔS [m²]			Współczynnik tolerancji The tolerance factor Δa [m]			Optymalna długość boku figury podstawowej The optimal length of the side of the elementary unit [m]		
Oczekiwana dokładność wyznaczenia powierzchni Expected accuracy of the designation of the area								
5%	7%	10%	5%	7%	10%	5%	7%	10%
2000	2800	4000	11	13	16	91	108	125
2500	3500	5000	11	13	16	114	135	156
1500	2100	3000	11	13	16	68	81	94
2000	2800	4000	11	13	16	91	108	125
2500	3500	5000	11	13	16	114	135	156
2000	2800	4000	11	13	16	91	108	125
2500	3500	5000	11	13	16	114	135	156
Średnia						100	116	134

Opracowana metoda obliczenia optymalnej długości boku figury podstawowej siatki kwadratów wykazała, że wykonanie pomiarów w punktach węzło-

wych rozmieszczonych na badanym obszarze w odległościach, co 70 m, daje możliwość uzyskania wyniku z dokładnością do 3 %. Dla tej dokładności gęstość punktów węzłowych wynosi średnio 4 punkty na 1 ha powierzchni objętej badaniem. Zwiększenie długości boku kwadratu spowoduje obniżenie dokładności uzyskanego wyniku; i tak dla boków o długości 100 m, 116 m i 134 m, błędy wyniosą odpowiednio 5 %, 7 % i 10 %.

6. NUMERYCZNA WIZUALIZACJA OBSZARÓW INWESTYCYJNYCH

Wizualizację przestrzennego rozmieszczenia czynników, decydujących o możliwości wykorzystania terenu objętego badaniem do realizacji zadania decyzyjnego, którym może być lokalizacja obiektów o charakterze biurowym, magazynowym, mieszkaniowym, komercyjnym, obiektów o funkcjach ponadlokalnych jak stadiony, szpitale, oczyszczalnie ścieków, zakłady termicznego przekształcania odpadów komunalnych, cmentarze, itp., zaproponowano rozwiązanie w postaci aplikacji wykonanej w środowisku Delphi (Sadowski T.M., 2003) z wykorzystaniem serwisu GoogleMaps, jako bazy referencyjnej. Autorska nakładka pokazuje wynik analizy, przez wskazanie terenów o różnym stopniu przydatności do założonego celu, na podstawie zważonych wartości parametrów charakteryzujących teren objęty analizą. Ze względu na fakt, iż wynik przeprowadzonej analizy jest informacją mówiącą o nasileniu wybranych do niej parametrów, a użytkownik może ocenić przydatność tego terenu do założonych celów – aplikacja została nazwana LandRange.

6.1. Założenia autorskiego programu numerycznego

Do wizualizacji wyników analiz wykorzystano założenie, iż każdy badany obiekt został opisany przez szereg zmiennych wyznaczonych w punktach węzłowych. Dla każdego badanego obiektu założono siatkę kwadratów o bokach dX , dY . W analizowanej sytuacji zachodzi potrzeba wyprowadzenia wzorów interpolacyjnych dla funkcji wielu zmiennych. Na wstępie, funkcję tę ograniczono do funkcji dwóch zmiennych, $z = f(x, y)$.

W przypadku równooddalonych, w nieskończoności, punktów węzłowych (x_i, y_j) , (gdzie: $i, j = 0, 1, 2$), po wprowadzeniu oznaczeń h_1 i h_2 , gdzie $h_1 = (x_{i+1} - x_i)$ oraz $h_2 = (x_{j+1} - x_j)$ powstanie wielomian charakterystyczny dla wzoru interpolacyjnego Newtona, dla jednej zmiennej (Judin D.B., Golsztejn E.G., 1961; Kalichman I.L., 1971; Hildebrand F.B., 1987).

W pierwszej kolejności wyznaczono różnicę funkcji dwóch zmiennych w kierunku osi x oraz osi y .

Wyrazy różnic cząstkowych pierwszego stopnia przyjmują postać:

$$\Delta_x z_{ij} = z_{i+1,j} - z_{ij}, \quad \Delta_y z_{ij} = z_{i,j+1} - z_{ij} \quad (6.1)$$

Wyrazy różnic cząstkowych drugiego stopnia przyjmują postać:

$$\begin{aligned} \Delta_{xx}^2 z_{ij} &= z_{i+2,j} - 2z_{i+1,j} + z_{ij}, \\ \Delta_{yy}^2 z_{ij} &= z_{i,j+2} - 2z_{i,j+1} + z_{ij}, \\ \Delta_{xy}^2 z_{ij} &= (z_{i+1,j+1} - z_{i,j+1}) - (z_{i+1,j} - z_{ij}) \end{aligned} \quad (6.2)$$

Wówczas wielomian interpolacyjny drugiego rzędu przyjmie postać:

$$f(x, y) = \frac{x - x_0}{h_1} \Delta_x z_{00} + \frac{y - y_0}{h_2} \Delta_y z_{00} + \frac{(x - x_0)(x - x_1)}{2h_1^2} \Delta_{xx}^2 z_{00} + \frac{(x - x_0)(y - y_0)}{h_1 h_2} \Delta_{xy}^2 z_{00} + \frac{(y - y_0)(y - y_1)}{2h_2^2} \Delta_{yy}^2 z_{00} \quad (6.3)$$

Dla obszaru objętego badaniem została założona siatka kwadratów punktów pomiarowych, usytuowanych w zadanych z góry odległościach dX , dY . W każdym punkcie wykonano pomiar wartości parametrów wybranych do analizy. W celu określenia rozkładu danego parametru na badanym obszarze zastosowano interpolację dwuliniową. Wykorzystano postać funkcji tabelarycznej.

Tabela 6.1. Przykład funkcji tabelarycznej.

Table 6.1. Table-valued function, example.

$f(0,0)$	$f(0,1)$	$f(0,2)$	$f(0,3)$	$f(0,4)$
$f(1,0)$	$f(1,1)$	$f(1,2)$	$f(1,3)$	$f(1,4)$
$f(2,0)$	$f(2,1)$	$f(2,2)$	$f(2,3)$	$f(2,4)$
$f(3,0)$	$f(3,1)$	$f(3,2)$	$f(3,3)$	$f(3,4)$

Funkcja tabelaryczna $z = f(x, y)$ jest interpolowana liniowo za pomocą algorytmu, który pozwala na ekstrapolację wartości poza siatką przy użyciu wartości parametrów z kolejnych węzłów. W procesie interpolacji wykorzystano sumę wartości poszczególnych parametrów kolejnych punktów węzłowych, z uwzględnieniem współczynników wagowych (k).

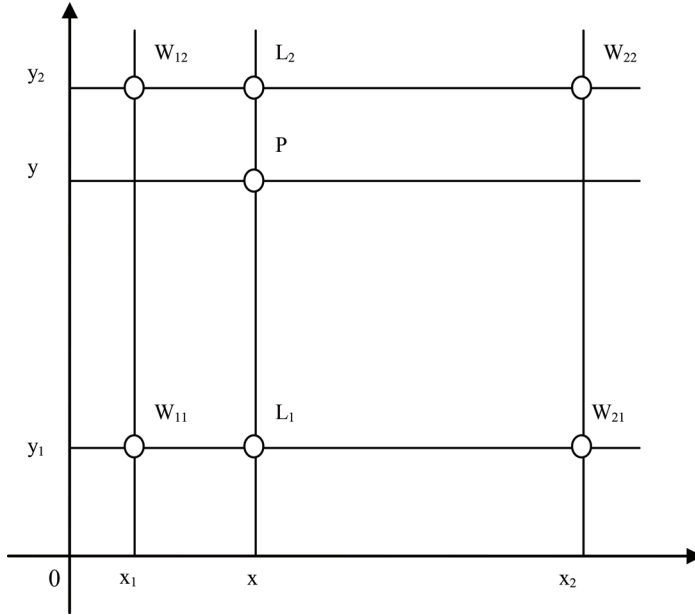
Do dalszych obliczeń zastosowano następujący algorytm w formie tabelarycznej.

Tabela 6.2. Algorytm w formie tabelarycznej.

Table 6.2. Algorithm in tabular form.

$k_1 \cdot f_1(0,0) + k_2 \cdot f_2(0,0) + \dots + k_n \cdot f_n(0,0)$	$k_1 \cdot f_1(0,1) + k_2 \cdot f_2(0,1) + \dots + k_n \cdot f_n(0,1)$
$k_1 \cdot f_1(1,0) + k_2 \cdot f_2(1,0) + \dots + k_n \cdot f_n(1,0)$
...
...		$k_1 \cdot f_1(3,4) + k_2 \cdot f_2(3,4) + \dots + k_n \cdot f_n(3,4)$

Metodę obliczeń oparto na wzorach interpolacji dwuliniowej (Rysunek 6.1).



Rysunek 6.1. Schemat interpolacji dwuliniowej.

Figure 6.1. Bilinear interpolation scheme.

Ogólna zasada interpolacji dwuliniowej polega na znalezieniu wartości funkcji w punkcie interpolowanym P , podczas gdy znana jest wartość funkcji w punktach węzłowych siatki $W_{11}, W_{12}, W_{21}, W_{22}$.

Jeżeli zachodzi konieczność interpolacji funkcji f w punkcie $P = (x, y)$ i dane są wartości punktów węzłowych W zlokalizowanych wokół punktu P , czyli: $W_{11} = (x_1, y_1)$, $W_{12} = (x_1, y_2)$, $W_{21} = (x_2, y_1)$ oraz $W_{22} = (x_2, y_2)$, to wówczas przeprowadzamy interpolację liniową w kierunku osi x , otrzymując:

$$f(L_1) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(W_{11}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(W_{21}), \quad L_1 = (x, y_1) \quad (6.4)$$

$$f(L_2) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(W_{12}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(W_{22}), \quad L_2 = (x, y_2) \quad (6.5)$$

Następnie przeprowadzamy interpolację liniową w kierunku osi y (pomiędzy punktami L_1 i L_2), aby uzyskać ostateczny wynik w postaci:

$$f(P) \approx \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} f(L_1) + \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} f(L_2) \quad (6.6)$$

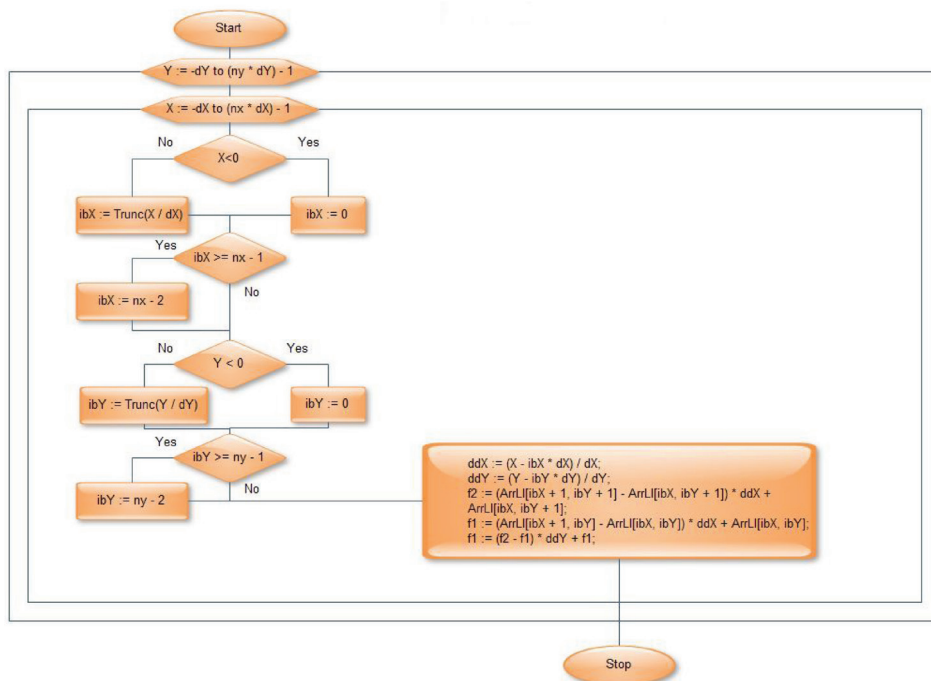
W analizowanym przypadku punkty w których wykonujemy pomiary są narożnikami pojedynczego kwadratu tj: (0, 0), (1,0), (0, 1) i (1, 1), wobec tego wzór interpolacji liniowej upraszcza do następującej postaci:

$$f(x, y) \approx f(0, 0)(1 - x)(1 - y) + f(1, 0)x(1 - y) + f(0, 1)(1 - x)y + f(1, 1)xy \quad (6.7)$$

Natomiast wzór interpolacji dwuliniowej przyjmie postać:

$$f(x, y) = z_{00} \frac{(x - x_1)(y - y_1)}{(x_0 - x_1)(y_0 - y_1)} + z_{10} \frac{(x - x_0)(y - y_1)}{(x_1 - x_0)(y_0 - y_1)} + z_{01} \frac{(x - x_1)(y - y_0)}{(x_0 - x_1)(y_0 - y_1)} + z_{11} \frac{(x - x_0)(y - y_0)}{(x_1 - x_0)(y_1 - y_0)} \quad (6.8)$$

Wynik dwuliniowej interpolacji nie zależy od zadanej z góry wielkości interwału dX , dY . Powyższe zadanie realizuje następujący algorytm (Rysunek 6.2).



Rysunek 6.2. Algorytm interpolacji dwuliniowej.

Figure 6.2. Bilinear interpolation algorithm.

Poniżej przedstawiono fragment algorytmu obliczeniowego równomiernej interpolacji dwuliniowej z ekstrapolacją pasa o szerokości jednego przedziału,

poza granicami obszaru. Wartości wyższe niż maksymalne i wartości ujemne przyrównano do wartości ekstremalnych.

```
f_max := - 1E+200;
f_min := 1E+200;
n_px := (nx+1) * dX;
n_py := (ny+1) * dY;
p := 0;
SetLenght (ArrPix, n_px, n_py) ;
for Y := - dY to (ny * dY) - 1 do // 90
begin
  for X := - dX to (nx * dX) - 1 do // 150
  begin
    // przy założeniu, że punkt centralny - ( 0,0)
    if X < 0 then
      ibX := 0 // 1. do początku siatki
    else
      ibX := Trunc (X / dX) ; // 2. w metrach
    ...
    ArrPix [X + dX, Y + dY] := f1;
    if f_max < f1 then
      f_max := f1;
    if f_min > f1 then
      f_min := f1;
    end;
  end;
end;
```

Obliczenia wykonane za pomocą algorytmu przedstawionego na rysunku 6.2 są wizualizowane według algorytmu przedstawionego na rysunku 6.3.

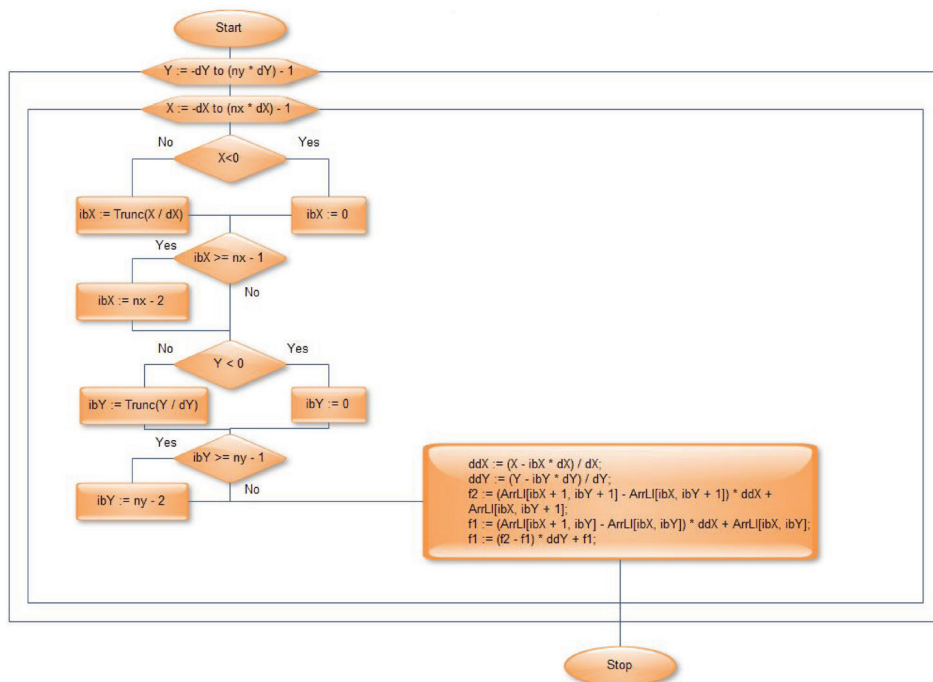
Poniżej przedstawiono fragment programu realizującego zapisany algorytm gamy kolorów.

```
fThreshold.ShowModal;
Ceilind:= fThreshold.edtCeiling.Value;
Threshold := fThreshold.edtThreshold.Value;
try
  ARotated :=TPNGImage.Create;
  PNG := TPNGImage.CreateBlank(COLOR_RGBALPHA, 16, n_px, n_py);
  N_index := fThreshold.edtIndex.Value;
  kT :=1 / (Ceiling - Threshold) ;
  for Y := 0 to n_py - 1 do
  begin
```

```

AlphaPNG := PNG.AlphaScankine(Y) ;
SL := PNG.Scanline(Y) ;
for X := 0 to n_px - 1 do
begin
  v := ArrPix(X, Y) ;
  if v >= Threshold then
  begin
    v := (v - Threshold) * kT;
    v := IntPower (v, N_index) :
  ...

```



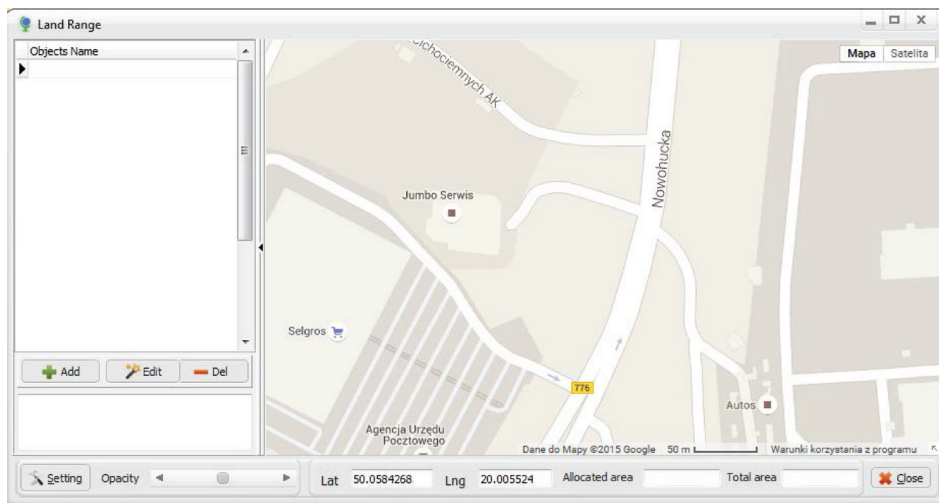
Rysunek 6.3. Algorytm gradientu kolorów.

Figure 6.3. Color gradient algorithm.

6.2. Zasada działania aplikacji LandRange

Wykorzystanie serwisu GoogleMaps powoduje, iż aplikacja działa tylko wtedy, gdy zapewniony zostanie dostęp do sieci Internet. Po uruchomieniu aplikacji, następuje wczytanie mapy serwisu GoogleMaps według współrzędnych

geodezyjnych (WGS 84) zadanych w ustawieniach początkowych. Wczytana mapa jest mapą aktywną, zmiana położenia kursora rejestrowana jest wskazaniem jego bieżących współrzędnych WGS 84, na dolnym pasku narzędziowym.



Rysunek 6.4. Okno wejściowe aplikacji.
Figure 6.4. Input window of applications.

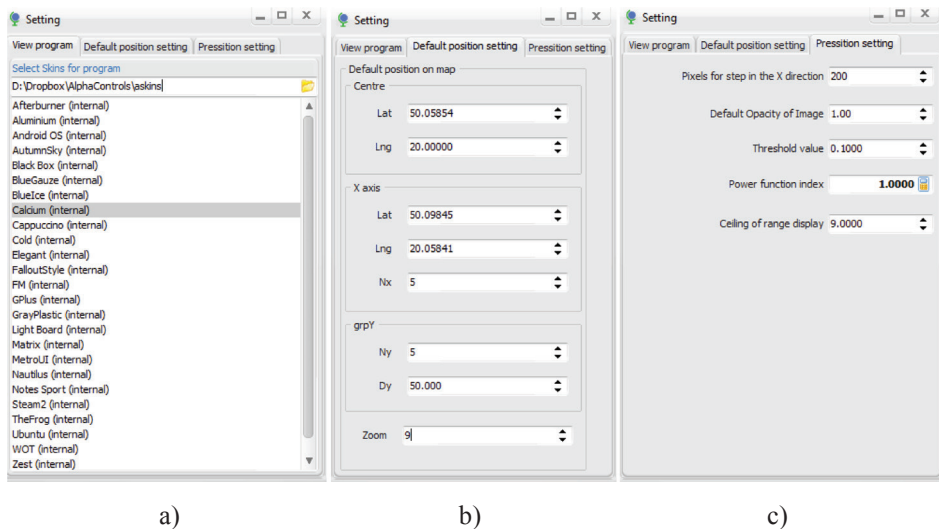
W oknie wejściowym dostępne są następujące opcje (Rysunek 6.4):

- nazwa obiektu (Objects name),
- dodawanie obiektów – utworzenie nowego obiektu (Add),
- edycja istniejącego obiektu (Edit)
- usuwanie obiektu (Del)
- ustawienia (Setting),
- ustawienie nieprzezroczystości obrazu, (Opacity)
- współrzędne kursora (Lat., Lng.),
- wyrażona w hektarach powierzchnia spełniająca zadane z góry kryterium (Allocated area),
- wyrażona w hektarach powierzchnia obszaru objętego analizą (Total area),
- wyjście z programu (Close).

Jednym z podstawowych elementów aplikacji, na który należy zwrócić uwagę jest okno ustawień (Setting), składające się z trzech zakładek (Rysunek 6.5):

- ustawienie wyglądu zewnętrznego,
- wskazanie miejsca położenia badanego obszaru, przez wskazanie współrzędnych wejściowych,
- ustalenie parametrów wewnętrznych pomiarów.

Ustawienie wyglądu zewnętrznego dotyczy podania wykorzystanych nakładek programu, dołączonych do projektu Alpha Controls (Rysunek 6.5a).



Rysunek 6.5. Widok okna ustawień; a) ustawienia zewnętrzne, b) dane wejściowe, c) ustawienia parametrów wewnętrznych.

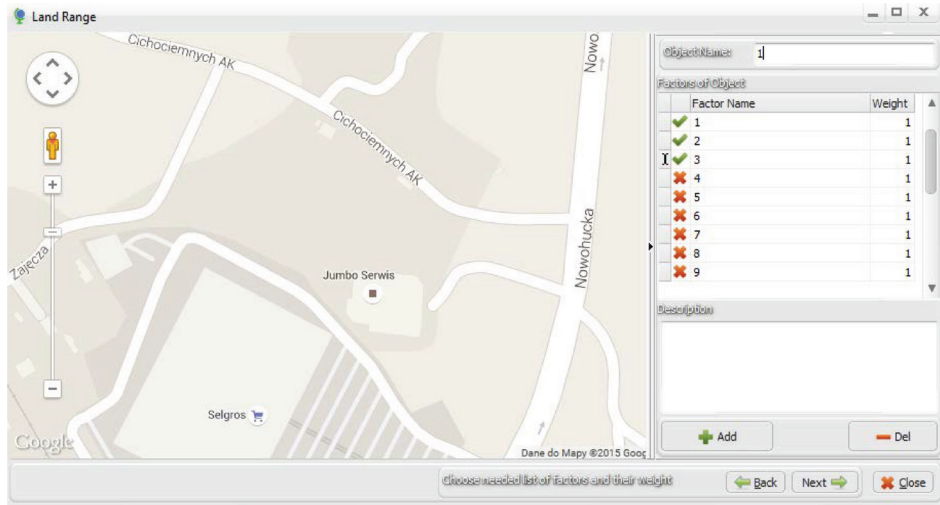
Figure 6.5. View the settings window, a) the external setting, b) inputs data, c) setting internal parameters.

Ustawienia wejściowe (Rysunek 6.5b) badanego obszaru określają współrzędne początkowe dwóch punktów: punktu zerowego, będącego środkiem układu współrzędnych oraz ostatniego punktu siatki interpolacyjnej wzdłuż osi X wraz z ilością punktów pomiarowych. Dodatkowo należy podać ilość punktów pomiarowych oraz odległość pomiędzy nimi wzdłuż osi Y . W tym miejscu można ustawić również skalę mapy.

Ustawienia parametrów wewnętrznych dotyczą obrazu (Rysunek 6.3c). Obejmują liczbę pikseli pomiędzy punktami interpolacji siatki, co decyduje o jakości obrazu, a także wpływa na jego efektywność (wymaganą długość czasu niezbędnego do budowania obrazu).

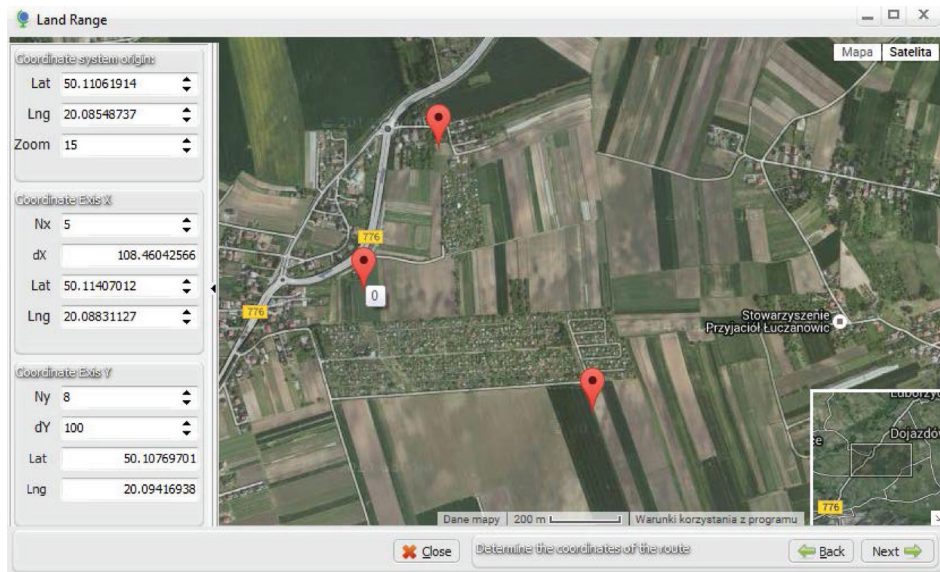
W niniejszym panelu ustawić można również domyślne krycie obrazu, związane z przejrzystością zdjęć. Ważnym elementem jest możliwość wprowadzenia wartości progowej (Threshold value). Powierzchnia, dla której łączna wartość parametrów będzie niższa od wskazanej, zostanie odrzucona. Wzrost wartości czynnika decydującego o sile barw spowoduje zmianę nasycenia kolorów. Natomiast wskazanie wartości maksymalnej zakresu skali spowoduje

odpowiedni rozkład barw pomiędzy warstwą cięcia (progową) a wartością maksymalną. Wartość maksymalna zależna jest od liczby parametrów oraz ich wag.



Rysunek 6.6. Dodanie nowego obiektu badań.

Figure 6.6. Adding a new research object.

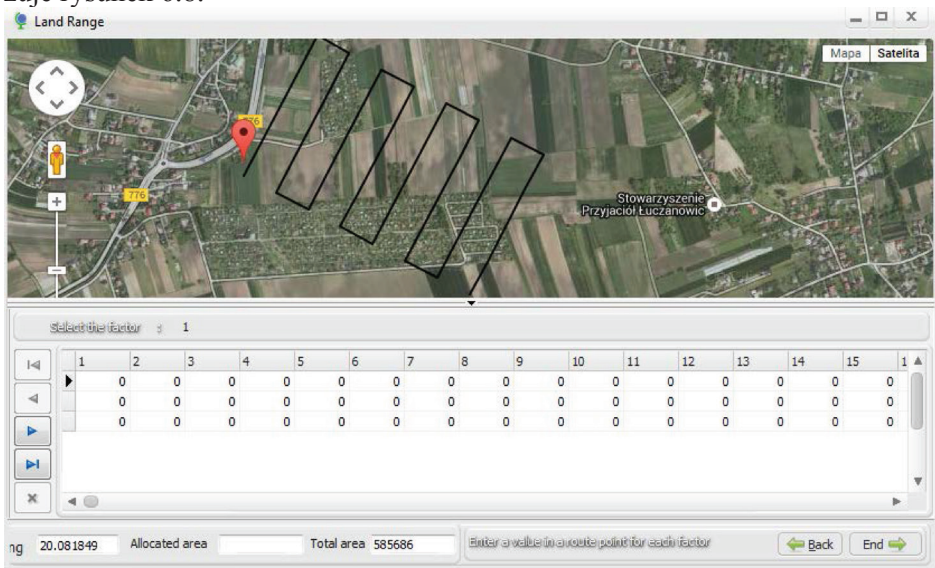


Rysunek 6.7. Dodanie nowego obiektu badań, wskazanie zakresu badanego obszaru.

Figure 6.7. Adding a new research object, indication of the scope of the research area.

Dodanie nowego obiektu badań polega na podaniu dowolnej nazwy obiektu w oknie „Object name”, wskazaniu nazwy parametrów względem których będzie prowadzona analiza w oknie „Factor name” oraz dodatkowo charakterystyki tych parametrów w oknie „Description” (Rysunek 6.6). Zaproponowana aplikacja daje możliwość wprowadzenia wag dla poszczególnych parametrów. Wprowadzenie wartości wagi na poziomie 1 spowoduje, iż wszystkie parametry będą analizowane, jako równoważne. Ilość parametrów jest nieograniczona, czerwony znak „x” oznacza, że dany parametr zostanie wyłączony z analizy, natomiast znak zielony „√” oznacza przyjęcie parametru do analizy. Z każdego miejsca istnieje możliwość monitorowania analizy za pomocą dwóch przycisków nawigacyjnych: „Next” i „Back”.

Następnym etapem po wskazaniu parametrów jest wybór lokalizacji badanego obszaru i systemu interpolacji parametrów sieci. Mapa zawiera trzy markery oznaczone 0 , X , Y , odpowiadające kolejno: środkowi układu współrzędnych siatki interpolacyjnej, osi X oraz Y siatki (Rysunek 6.7). Wartości współrzędnych poszczególnych markerów oraz liczba punktów pomiarowych, pokazane są w odpowiednich oknach programu. Markery mogą być wskazane na mapie za pomocą myszki lub ich dokładna lokalizacja może być wskazana przez podanie dokładnych wartości współrzędnych. Wartości N_x oraz N_y odpowiadają liczbie punktów pomiarowych wskazanych parametrów. Przebieg trasy pomiaru pokazuje rysunek 6.8.



Rysunek 6.8. Rozmieszczenie punktów pomiarowych oraz wartości wybranych parametrów.

Figure 6.8. Arrangement of points and values of selected parameters.