

Komitet Redakcyjny

Józef JACHIMSKI, Janusz KOTLARCZYK,
Ryszard ŚLUSARCZYK, Ryszard TADEUSIEWICZ

Redaktor Naczelny

Jakub SIEMEK

Sekretarz

Kazimierz TWARDOWSKI

Adres Redakcji

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica
Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu
30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30
www.wnig.agh.edu.pl/geo
tel. (012) 617-22-24, fax (012) 617-22-45
e-mail: twardow@uci.agh.edu.pl
sztymar@uci.agh.edu.pl

Adres Wydawnictwa

Polska Akademia Umiejętności – Wydawnictwo
31-016 Kraków, ul. Sławkowska 17
tel. (012) 424-02-12
e-mail: office@pau.krakow.pl

Zamówienia przyjmuje i realizuje (łącznie z wysyłką) Wydawnictwo

POLSKA AKADEMIA UMIEJĘTNOŚCI
PRACE KOMISJI GEOINFORMATYKI

GEOINFORMATICA POLONICA

5



KRAKÓW 2003

Redakcja tomu
Maria MICHAŁEWICZ

Skład, łamanie
Irena JORDAN

Copyright by Polska Akademia Umiejętności
Kraków 2003

Skład nakładu:
PAU, 31-016 Kraków, ul. Sławkowska 17

ISSN: 1642-2511

Złożono do druku: listopad 2003
Druk ukończono: kwiecień 2004

Druk i oprawa: Zakład Poligraficzny „Cenzus”

SPIS TREŚCI

Artykuły

Joanna BAC-BRONOWICZ	
<i>Wiarygodność informacji uzyskanej z modeli numerycznych rozkładu elementów przyrodniczych na przykładzie opadu atmosferycznego</i>	7
Zbigniew KASINA	
<i>Wysad solny jako obiekt przestrzennego rozpoznania wnętrza Ziemi</i>	17
Małgorzata MYCKE-DOMINKO	
<i>Systemy informacji przestrzennej w Lasach Polskich jako jedno z zastosowań geomatyki</i>	35
Jan R. OLĘDZKI	
<i>Obrazy satelitarne podstawą regionalizacji geograficznej</i>	43
Wojciech PACHELSKI	
<i>Geoinformatyczne bezpośrednie opisywanie położenia</i>	55
Kazimierz TRAFAS	
<i>Miasto jako obiekt badań geoinformatycznych</i>	75

Kronika

Kronika prac Komisji Geoinformatyki PAU (Janusz KOTLARCZYK, Ryszard ŚLUSARCZYK).....	85
---	----

CONTENTS

Papers

Joanna BAC-BRONOWICZ	
<i>Reliability of information obtained from spatial numerical models of distribution of natural elements on the example of precipitation.....</i>	7
Zbigniew KASINA	
<i>Salt dome as a object of spatial recognition of Earth interior.....</i>	17
Małgorzata MYCKE-DOMINKO	
<i>The systems of spatial information in Polish Forests as one of the applications of geomatics.....</i>	35
Jan R. OŁĘDZKI	
<i>Satellite images as a basis for geographic regionalisation.....</i>	43
Wojciech PACHELSKI	
<i>Direct describing a position in terms of geoinformatics.....</i>	55
Kazimierz TRAFAS	
<i>City as a subject of geoinformatic research.....</i>	75

Chronicle

Chronicle of the works of the Geoinformatics Commission PAU (Janusz KOTLARCZYK, Ryszard ŚLUSARCZYK).....	85
---	----

JOANNA BAC-BRONOWICZ¹

WIARYGODNOŚĆ INFORMACJI UZYSKANEJ Z MODELI NUMERYCZNYCH ROZKŁADU ELEMENTÓW PRZYRODNICZYCH NA PRZYKŁADZIE OPADU ATMOSFERYCZNEGO

Słowa kluczowe:

informacja punktowa, rozkład zjawisk przyrodniczych, przestrzenny model numeryczny, prawdopodobieństwo informacji, opad atmosferyczny, system informacji geograficznej

Abstrakt

Informacje przetworzone, wchodzące do baz systemów informacji geograficznej, powinny mieć określoną wiarygodność lokalną. Parametry opisujące zjawiska i elementy przyrodnicze są często określane średnimi wartościami uzyskanymi z obserwacji wieloletnich wykonywanych w punktach. Ciągłe modele rozkładów, tak określonych parametrów, interpoluje się na podstawie z góry założonego zbioru kryteriów dla całych analizowanych obszarów. Na podstawie rozkładów parametrów, uzyskanych z ich modeli przestrzennych, tworzy się bazy danych, przez przyporządkowanie odpowiednich wartości jednostkom odniesienia. W artykule proponuje się wydzielenie klas wiarygodności w zależności od reprezentatywności miejsc pomiaru, kompletności danych i rozkładu przestrzennego punktów wyznaczających oraz sposób określenia granic obszarów o określonym stopniu wiarygodności informacji.

RELIABILITY OF INFORMATION OBTAINED FROM SPATIAL NUMERICAL MODELS OF NATURAL ELEMENTS DISTRIBUTION ON THE EXAMPLE OF PRECIPITATION

Key words:

punctual data, distribution of natural elements, spatial numerical models, reliability of information, precipitation, geographic information system

Abstract

The paper presents a method of increasing a reliability of information obtained with use of the models of distribution of parameters which describe the environment. Particular attention was given to periodic, punctually gathered data, related to continuous occurrences. Distribution models of features distinguished in this way are usually constructed on

¹Akademia Rolnicza, Katedra Geodezji i Fotogrametrii, Wrocław

the previously assumed set of criteria for the whole area. Determination of reliability of information fed into the model is shown on the example of data representing the amount of precipitation. Correctness and usefulness of modeling of climate parameters depend mostly on truthfulness, adequacy and also representativeness of the data. This example has been chosen because the reliability of the parameters depends on taking into consideration suitably long periods of observation. Changes in localization of survey stations and of different time intervals should also be taken into account, because in the synthetic studies precipitation data have been interpreted in a different manner and in a different time. The precise determination of zones, for which the value of natural parameters has been found with high probability, is of great importance particularly in interdisciplinary research where specialists from different scientific fields cooperate very closely.

1. Wstęp

Karol Drwin w 1861 roku pisał o naturze nauki: „Jakieś 30 lat temu wiele mówiono o tym, że geolodzy powinni prowadzić obserwacje, a nie teoretyzować. Pamiętam dobrze, jak ktoś powiedział, że skoro tak to można by pójść na zwirowisko, policzyć kamyki i opisać ich kolory. Jakże to dziwne, że każda obserwacja musi przemawiać za jakimś poglądem lub przeciwko niemu, by się do czegoś przydać”. Nauki przyrodnicze to niezwykle połączenie danych i teorii, faktów i hipotez, obserwacji i poglądów. Jeżeli naukowe obserwacje mają być użyteczne, trzeba je porównywać z teorią albo hipotezą lub modelem. Fakty nie zawsze mówią same za siebie. Trzeba przepuścić je przez barwne soczewki idei: „*percepcja wymaga koncepcji*” (Schermer 2001).

Dane opracowywane w analizach geograficznych, opisujące środowisko przyrodnicze, często pozyskiwane są z obserwacji wieloletnich. Wartości parametrów mierzonych na powierzchni Ziemi najczęściej uzyskuje się z pomiarów wykonywanych w różnego rodzaju punktach wyznaczających. Na podstawie takich obserwacji buduje się modele zjawisk i elementów środowiska. Wartości rozpoznane punktowo interpoluje się zazwyczaj na podstawie z góry założonego zbioru kryteriów, na całą powierzchnię opracowywanego obszaru, zamieniając informację dyskretną na ciągłą. Na podstawie wartości parametrów, uzyskanych z tak konstruowanych modeli przestrzennych zjawisk i elementów przyrodniczych, tworzy się bazy danych, dla całych analizowanych obszarów. Odpowiednie wartości przyporządkowuje się powierzchniowym jednostkom odniesienia. Jednostkami takimi (polami podstawowymi) mogą być figury regularne geometryczne (typu GRID, TIN), jednostki natu-

ralne (krajobrazowe, glebowe, zlewnie) a także jednostki administracyjne (gminy, okręgi wyborcze, dekanaty). Tak opracowane bazy danych, oparte na informacjach przetworzonych, wchodzi do dalszych opracowań geoinformacyjnych (Berlant 2000), najczęściej konstruowanych obecnie w postaci systemów informacji geograficznej. Od czasu powstania pierwszych modeli numerycznych (Digital... 1988, Rzeźba terenu 1998, Świątek 2000, Yang i in. 2000) rozwijane i doskonalone są metody weryfikacji wartości cech określanych na ich podstawie, czyli porównania wartości odtworzonych z modelu z wartościami występującymi w rzeczywistości. Ocena dokładności dotyczy zarówno modeli rzeźby terenu jak i różnego rodzaju modeli kartograficznych takich jak mapy regionów, bonitacyjne czy statystyczne itp. Podniesienie wiarygodności systemu informacji geograficznej i kartowania geoinformacyjnego wymaga ustalenia kryteriów, celowego ograniczenia danych i opracowania metod umożliwiających korzystanie z modeli z określonym stopniem zaufania (Hootmans i in. 1993).

W modelach przestrzennych, skonstruowanych na podstawie wartości zmierzonych punktowo, według hipotezy założonego rozkładu przestrzennego cech, ocena dokładności i reprezentatywności danych bywa czasami intuicyjna. Na ogół zbiory wartości używane z konieczności do modelowania przyrodniczego nie spełniają wszystkich wymogów dokładnościowych. Zbiory te składają się z niewystarczającej ilości obserwacji, miejsca obserwacji nie są wystarczająco reprezentatywne. Często globalny rozkład wartości uznawany jest za poprawny jeżeli informacja lokalna uzyskana z modelu, jest zgodna z informacjami, które uzyskano „z natury i doświadcze-

nia”. Może to dotyczyć nawet niewielkich fragmentów opracowanego rozkładu wartości, gdyż na ogół trudno uwolnić się od utrwalań przekonań i wyobrażeń. Zapewnienie poprawnej weryfikacji może być przeprowadzane na podstawie obserwacji nadliczbowych. Przy modelowaniu średnich z wieloletnich wartości obserwowanych zjawisk przyrodniczych bardzo rzadko można opuścić pewną ilość danych (nadliczbowych), których wyłączenie nie zmieni kształtu wymodelowanej powierzchni a pozwoli na późniejsze oceny dokładności modelu.

Powszechnie podaje się zastrzeżenie, że aby informacja była użyteczna musi być wiarygodna i pełna. Syntetyczne bazy stworzone na podstawie wartości uzyskanych z ciągłych modeli elementów środowiska powinny zatem zawierać informacje dodatkowe (w postaci metadanych) określające sposób zamiany, w tym modelu, informacji punktowej na ciągłą oraz określenie dokładności i reprezentatywności uzyskiwanych parametrów. Informacje, spełniające ten warunek, mogą być podstawą ustalenia za pomocą modelu lokalnych wartości parametrów powinny mieć określone: skalę tematyczną (dokładność pozyskania) danych wejściowych, początki i długości okresów pomiarowych, sposób weryfikacji punktów wyznaczających model oraz opis procedur wyznaczenia wartości poza punktami obserwacyjnymi.

Jednym z podstawowych aspektów informacji jest jej przeznaczenie. Nie jesteśmy w stanie przewidzieć części przyszłego wykorzystania obecnie przygotowywanych baz. Trudno ocenić, z jaką dokładnością należy je przygotowywać i jakie kryteria stosować przy wyborze informacji. Jeżeli stworzone bazy opisujące zjawiska przyrodnicze mają być uniwersalne i funkcjonować w sieci semantycznej, konieczne jest udostępnienie wiarygodnych źródeł informacji o ściśle określonej strukturze oraz systemów reguł interferencyjnych pozwalających na wnioskowanie. Takie opracowanie danych daje możliwość sterowania alternatywnymi decyzjami i optymalnego wyboru prognoz.

Dobrym przykładem geoinformacyjnych opracowań przyrodniczych, opartych na danych uśrednionych pomierzonych w punktach, są bazy dotyczące zespołu elementów klimatu. Informacje o zespole elementów określających typ klimatu potrzebne są do analiz prowadzonych w środowisku GIS oraz do oceny zasięgu i prze-

strzennego modelowania przede wszystkim zjawisk i procesów przyrodniczych. Warunki klimatyczne odgrywają znaczącą rolę w badaniu i modelowaniu: erozji gleb, hydrologii, prognozowaniu zmian w sposobie użytkowania ziemi, prognozowaniu plonów, planowaniu struktury użytkowania gruntów spełniającej warunki zrównoważonego rozwoju, oceny przydatności terenu, zagrożeń powodzią i posuchą, wpływu inwestycji na zasoby przyrodnicze oraz bezpieczeństwa i zdrowie ludzi, ochrony jakości wód podziemnych, opracowaniu waloryzacji przyrodniczej itp.

2. Pozyskanie danych klimatycznych

Jak we wszystkich dziedzinach tak i w klimatologii udoskonalona się metody obserwacji. Techniki komputerowe połączone z techniką satelitarną umożliwiły rejestrację danych o czasowym i przestrzennym rozkładzie między innymi temperatur przy powierzchni ziemi. W efekcie otrzymuje się ogromne bazy danych stanowiące źródłowy materiał do najróżniejszych analiz klimatycznych (Wyszkowski 2001). Większość parametrów klimatu mierzona jest zarówno sposobem tradycyjnym, jak i w systemie ciągłym, za pomocą nowoczesnych, automatycznych stacji monitoringu. Wydawałoby się więc, że obecnie wygenerowanie modelu rozkładu parametrów klimatu nie powinno być zadaniem skomplikowanym.

Przykładem danych klimatycznych o różnym stopniu wiarygodności (zależnym od czasu miejsca i warunków pomiaru) są wartości opadu atmosferycznego mierzone w poszczególnych stacjach. Opad uznawany jest za bardzo dobrze rozpoznane zjawisko. Opady ekstremalne były opisywane i oceniane od czasów starożytnych. Wcześniej zaczęto też rejestrację wartości, gdyż jest to parametr konkretny i łatwo mierzalny. Okazuje się jednak, że sieć pomiarowa nie zawsze jest dostosowana do rozkładu parametrów opadu, a miejsca pomiaru często nie spełniają warunku reprezentatywności otoczenia stacji pomiarowej.

Opady okazały się elementem niemożliwym do pozyskania ze zdjęć satelitarnych i tylko częściowo mogą być monitorowane radarowo oraz przez nowoczesne, elektroniczne, bezobsługowe stacje. Wyniki ze stacji automatycznych nie mogą stanowić zadawalającego

uzupełnienia wcześniej dokonywanych pomiarów metodami tradycyjnymi, choć prowadzone są prace nad łączeniem ich w długie ciągi pomiarowe.

Zgodnie z doświadczeniami klimatologów okresem wiarygodnym do określania wielkości opadu średniego jest nieprzerwana rejestracja danych z, co najmniej, trzydziestu lat. Wiarygodność wartości parametrów klimatu dla danego terenu, dla szerokiego spektrum, uzależniona jest od przyjęcia odpowiednich i odpowiednio długich okresów pomiarowych, reprezentatywności tych okresów, kroku czasowego i zakresu zmienności, uchwycenia momentów krytycznych. Rozkład wartości opadu okazał się „bardzo czuły” na małe zmiany wartości, zmiany miejsca pomiaru, zmienny przebieg w czasie. Okazał się też bardzo trudnym do odtworzenia procesem zarówno ze względu na przebieg jak i dynamikę. Dla opadów należałoby stworzyć obiektywne, ukierunkowane charakterystyki w skalach globalnych i regionalnych, wyróżnić typy rozkładów i określić regiony o podobnych splotach charakterystyk.

3. Modelowanie rozkładów parametrów klimatycznych

Do modelowania warunków klimatycznych wykorzystuje się przede wszystkim średnie wartości wieloletnie oraz ich wielkości skrajne występujące z zadanym prawdopodobieństwem, w zależności od potrzeb użytkownika. Na podstawie pomiarów prowadzonych na całym świecie wcześniej opracowano modele rozkładu opadu w skali globalnej. Przeprowadzono też modelowanie na skalę krajową. Najnowszym opracowaniem tego typu dla klimatu dla Polski jest między innymi Model Agroklimate. Jest to moduł Zintegrowanego Systemu Informacji o Rolniczej Przestrzeni Produkcyjnej (Zaliwski, Górski 2000).

W badaniach prowadzonych od ponad stu lat nad opadem okazało się, że w skali regionalnej (topoklimatycznej) należy uwzględnić zależność wielkości opadu od rzeźby terenu i wysokości n.p.m., które w powiązaniu z warunkami wietrznymi kształtują ich rozkład. Polska sieć stacji pomiarowych nie reprezentuje znacznej części jednostek wyodrębnionych przez warunki topoklimatyczne i dlatego powszechnie stosowane funkcje interpola-

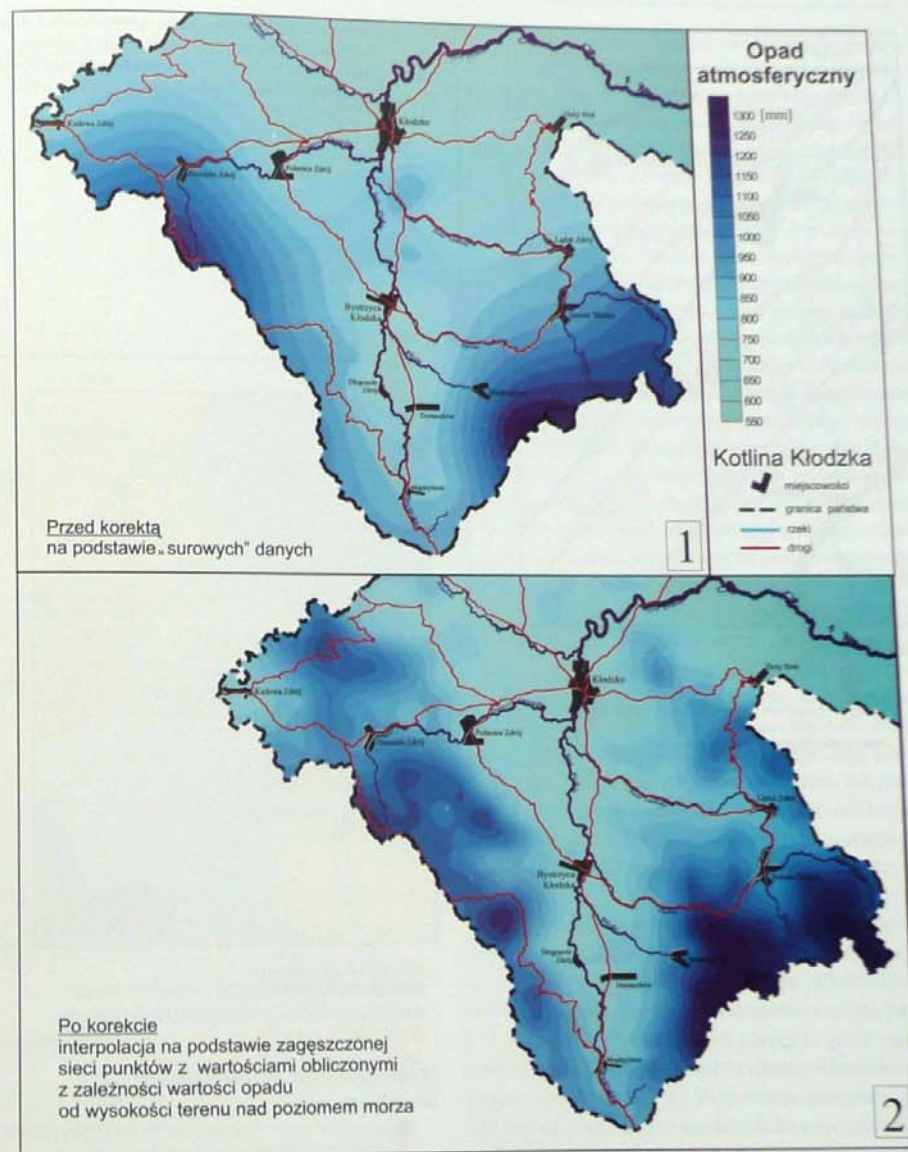
cyjne nie spełniają oczekiwań prawidłowego i całościowego modelowania klimatycznego.

W opracowaniach klimatycznych często spotyka się zagęszczenie istniejącej, rzeczywistej sieci pomiarowej o dodatkowe punkty, dla których dokonano oszacowania wielkości badanej cechy na podstawie homogenizacji ciągów do odpowiednio długich serii pomiarowych.

Inną metodą jest zagęszczanie sieci na podstawie krzywych opadowych, obliczonych na podstawie zależności wartości opadu od wysokości terenu nad poziomem morza. Autorzy tych opracowań stwierdzają, że dla prezentacji rozkładu opadów na obszarze, gdzie występują duże zróżnicowania wysokości względnych oraz ograniczona sieć pomiarowa, wskazane jest wykonanie korekty modeli wyjściowych (Bac-Bronowicz 2001c). Na podstawie tak opracowanych modeli rozkładu opadów atmosferycznych, można uzyskać znacznie więcej informacji o analizowanym terenie. Przykładem opracowania izohiet na podstawie danych „surowych” i zagęszczonych jest rysunek 1. Aby odpowiedzieć na pytanie, na ile uzyskany obraz jest poprawny - niezbędne jest wykonanie badań terenowych na zagęszczonej sieci pomiarowej. Na pewno należy ostrzec przyszłego użytkownika takiego modelu o „manipulacjach” danymi wejściowymi i tego konsekwencjach.

4. Możliwości podniesienia wiarygodności modelowania parametrów klimatu

Obecnie do budowy modeli elementów klimatu z konieczności muszą służyć wszystkie dostępne dane o różnym stopniu wiarygodności. Dane pozyskane z modelu zawsze będą zawierały pewien stopień niepewności, zarówno z powodu błędów w danych, na których oparta jest analiza, jak i z powodu niedoskonałości procedur ich przetwarzania. Zagadnieniem podstawowym staje się więc wydzielenie w modelu stref wiarygodności informacji o rozkładzie zjawiska: obszarów z informacją istotną, niepewną i brakiem informacji. Wartości parametrów z określoną wagą wiarygodności mogą okazać się przydatniejsze przy łączeniu z danymi z innych baz, niż średnio niepewne informacje interpolowane dla całego modelu rozkładu przestrzennego danej cechy lub zespołu cech klimatu. Wyznaczenie stref wiarygodności



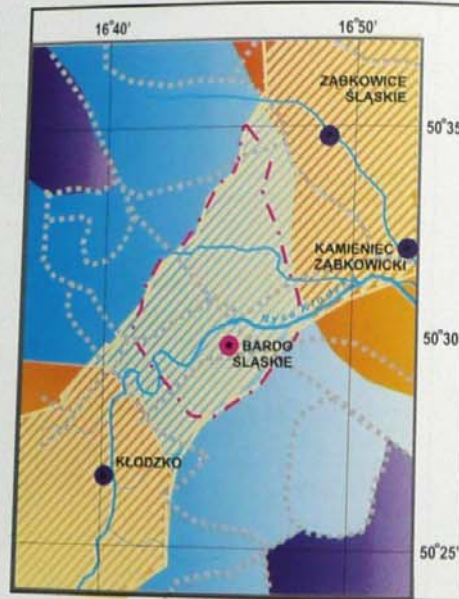
Rys. 1. Porównanie modeli kartograficznych wartości średnich opadów atmosferycznych. Mapa 1 przedstawia bezpośrednią interpolację na podstawie danych, na mapie 2 przedstawiono przebieg izohiet po korekcie ze względu na wysokość terenu nad poziomem morza.

Fig. 1. Direct interpolation of isohets according to data (mean yearly sums of precipitation) is shown on map 1. Isohets after correction according to terrain level above the sea is shown on the map 2.



Stacje pomiarowe
 ● z ciągiem obserwacyjnym aktualnym i historycznym
 ● z ciągiem obserwacyjnym historycznym
 *** Jednostki fizycznogeograficzne

Rys. 2. Zmiana w przebiegu izohiet spowodowana dodaniem punktu historycznego leżącego w dolinie.
 Fig. 2. Change in isohets' lay-out according to localization of historical measurement point in not on slope.



Regiony opadowe:
 Mokry
 Wilgotny
 Średniowilgotny
 Duże średnie male
 Prawdopodobieństwo przynależności

Stacje pomiarowe
 ● z ciągiem obserwacyjnym aktualnym i historycznym
 ● z ciągiem obserwacyjnym historycznym
 Region średniowilgotny przed uwzględnieniem danych historycznych
 Region z wyróżnieniem: brak danych oraz dużym prawdopodobieństwem zaliczenia do regionu wilgotnego - po uwzględnieniu danych historycznych

Rys. 3. Propozycja wyznaczenia stref wiarygodności informacji o opadzie z modelu.
 Fig. 3. Proposition of zones' reliability of determination of information about precipitation from cartographic model.

informacji, na podstawie której został zbudowany model, podnieście dokładności uzyskania informacji.

Zaproponowana metoda określenia klas wiarygodności informacji, w opracowywanym modelu rozkładu przestrzennego opadów atmosferycznych, będzie zastosowana przy tworzeniu systemu informacji o opadach atmosferycznych na obszarze Dolnego Śląska.

4.1. Ocena wiarygodności średniej z wartości parametru uzyskanego w stacji pomiarowej

Pierwszym etapem sposobu określenia wiarygodności informacji uzyskanej z modelu, zaproponowanym przez autorkę, jest weryfikacja danych źródłowych pod kątem ich kompletności i reprezentatywności (Bac-Bronowicz 2001a). Analizowanym stacjom pomiarowym nadaje się odpowiednie klasy wiarygodności ze względu na kompletność danych i niezmienność lokalizacji stacji. Wiarygodność zostaje określona w postaci metadanych jako stopień wiarygodności wyznaczenia wartości średniej parametru oraz także w bazie może być umieszczony zapis w odpowiednim rekordzie – np. stacja Kłodzko przenoszona w okresie pomiarowym 3 raz albo: stacja Bielawa przeniesiona na odległość 200 m ze skutkiem zmiany wysokości o 100 m, brak obserwacji z lat 1954 - 1958 itp.

4.2. Ocena reprezentatywności położenia stacji pomiarowej dla jej otoczenia, ze względu na wysokość nad poziomem morza

Następnym etapem oceny możliwości modelowania na podstawie dostępnych danych klimatycznych jest określenie reprezentatywności stacji pomiarowej ze względu na wysokość bezwzględną terenu wokół stacji – reprezentatywności miejsca pomiaru.

Do takiej oceny proponuje się wygenerowanie numerycznego „pseudomodelu terenu” wyłącznie na podstawie wartości wysokości n.p.m. w punktach odpowiadających położeniu stacji pomiaru opadu atmosferycznego – eksperymentalnie przeprowadzono takie badania na Dolnym Śląsku. Do wyznaczenia tego modelu przyjęto wysokość wszystkich stacji opadowych i post-runków meteorologicznych, kiedykolwiek istniejących,

zanim w ogólnie dostępnych rocznikach opadów. Pseudomodel następnie porównywano z prawidłowo wyznaczonym, na podstawie danych topograficznych, modelem numerycznym wysokości terenu. Na tej podstawie zauważono, że można wyróżnić strefy niezgodnego kształtu modeli. Za strefy obniżenia wiarygodności informacji uznano obszary, w których na podstawie pomiaru odstepu między wyznaczonymi powierzchniami (z pseudomodelu i modelu terenu) wykazano przecinanie się powierzchni. Jeżeli na linii interpolacyjnej między punktami wyznaczającymi wystąpią znaczne odstępstwa obu modeli, to w odpowiednich rekordach bazy zostaną wprowadzone informacje o obniżeniu wiarygodności modelowania dla tej strefy. Zapobieganie to, między innymi, uznaniu obszaru górzystego, nie reprezentowanego przez stację pomiarową, za region o podobnych wartościach opadu – takich jak w stacjach położonych niżej, (jeżeli znajduje się on między tymi stacjami). Na rysunku 2 zilustrowano sytuację, w której przeprowadzono interpolację na podstawie aktualnych danych (z wartości średnich z ciągów pomiarowych aktualnych). Następnie, z powodu dużych różnic w obu modelach „wysokościowych”, sięgnięto do danych historycznych (ze stacji z Barda Śląskiego) i przeanalizowano rozkład wartości w tamtym okresie pomiarowym w stosunku do danych ze stacji sąsiednich. Na tej podstawie przeprowadzono interpolację prawdopodobną. Dla wielu form terenu, takich jak Góry Bardzkie - Grzbiet Zachodni i Wschodni oraz Przełom Bardzki, nie ma obecnie możliwości uzyskania aktualnych danych ze stacji pomiaru opadu atmosferycznego.

Wyznaczając granice regionów podobnych co do wartości opadów między stacjami położonymi w kotlinach (jak na przykładzie – Ząbkowicka i Kłodzka) wyznaczony region o podobnych wartościach opadu zostanie „rozciągnięty” na terenach górskich, gdzie opady mają znacznie większą wartość (obszar zakreskowany żółtymi liniami na rys. 3). W metodzie przedstawionej powyżej na obszarze gór Bardzkich dwa modele terenu (na podstawie wysokości tylko stacji i drugi – z pełnej informacji topograficznej) przecinają się w ten sposób wyznaczone zostały strefy ograniczonego zaufania do wartości interpolowanych lub strefy „bez informacji”.

Prezentacja stref zaufania na mapach będących wizualizacją danych z baz systemów informacji geograficznej, przedstawiających wyniki modelowania z różną wiarygodnością, stanowi odrębny, ważny problem. Rysunek 3 przedstawia pierwszą autorską próbę wizualizacji obszarów o różnej wiarygodności informacji klimatycznej, wyróżnionych metodą opisaną powyżej.

W omawianym opracowaniu punkty zostały automatycznie zlokalizowane według współrzędnych i mimo weryfikacji wstępnej (nazwy zgodne z miejscowościami na mapie) nie wykryto wszystkich błędów. Przy okazji wyznaczania stref przecinania modeli można zauważyć wartości zdecydowanie odstające i wyeliminować część błędów „grubych” powstałych w czasie wprowadzania danych do bazy: współrzędnych punktów i ich wysokości n.p.m. W ten sposób zauważono, które ze współrzędnych określających położenie stacji są błędne; np. przełęcz Okraj znalazła się nad Odrą z powodu błędu we współrzędnych, ale ponieważ wysokość została określona prawidłowo to wyróżniała się 1000 metrowym wywyższeniem nad okolicą.

Na podstawie analiz geograficznych (porównania z wysokościami w najbliższym otoczeniu) stwierdzono, że stacje pomiarowe w większości zostały zlokalizowane w punktach niższych, niż sąsiadujące z nimi obszary. Pseudomodely terenu, wyznaczone na podstawie wysokości ograniczonej ilości punktów pomiarowych do stacji działających w różnych okresach obserwacyjnych (od połowy do jednej czwartej liczby ogólnej stacji), tym bardziej nie odzwierciedlały przebiegu wielu form terenu. Wskazuje to na brak reprezentacji odpowiednich pomiarów opadu dla wielu form terenu.

4.3. Ocena reprezentatywności stacji pomiarowej dla jej otoczenia, ze względu na bariery morfologiczne

Analiza przebiegu barier morfologicznych, które z przyrodniczego punktu widzenia są podstawowym czynnikiem warunkującym rozkład przestrzenny cech klimatycznych, jest podstawowym założeniem metodycznym prezentowanego sposobu oceny wiarygodności modelowania. Następnym proponowanym etapem „uwiarygodnienia” modelu rozkładu opadów jest wykorzystanie

jednostek fizycznogeograficznych (Kondracki 2000). Badany teren proponuje się najpierw podzielić na dwie kategorie: jednostki zawierające stacje pomiarowe, w których wykonywano w danym ciągu pomiarowym obserwacje oraz drugą: bez reprezentacji wartości zmierzonych. Jeżeli jednostka zawierająca stację jest zróżnicowana fizjograficznie w sposób znaczący dla rozkładu danego parametru (np. duże różnice wysokości względnych w dolinie rzeki), wówczas należy wydzielić jednostkę niższego rzędu, reprezentatywną dla otoczenia stacji. Obzary wokół stacji pomiarowych (pierwszej kategorii), na podstawie przynależności do tej samej jednostki fizycznogeograficznej, z dużym prawdopodobieństwem można zaliczyć do regionu o podobnym rozkładzie opadów (druga kategoria). Jeżeli linia interpolacyjna przebiega przez jednostkę sąsiadną o charakterystyce podobnej do jednostki zawierającej stację i zarazem odznacza się wyróżnikami nieistotnymi przy interpolacji opadów, można informację przenieść również do tej jednostki i zaliczyć do kategorii drugiej.

W następnym etapie ocenia się możliwości dalszego przeniesienia informacji do jednostek bez reprezentacji punktów pomiarowych. W tym celu wydzieliła się dwie klasy: jednostki, w których zlokalizowana była stacja w innych okresach pomiarowych i bez reprezentacji stacji. Dla jednostek pierwszej klasy szuka się analogii klimatycznych (Bac-Bronowicz, 1996). Dla Dolnego Śląska istnieje obszerna baza danych zawierająca ponad 450 stacji z okresu pięćdziesięciolecia przedwojennego. Na tej podstawie można wyznaczać tereny o podobnych warunkowaniach klimatycznych i z przyjętym prawdopodobieństwem przenieść informację z regionów uznanych za podobne (trzecia kategoria). Musi jednak być spełniony warunek, że nie zmienił się w sposób znaczący sposób użytkowania terenu (zabudowa, wycięcie lasów, sąsiedztwo nowego zbiornika wodnego itp.). Po takich zgrupowaniach jednostek w ostatniej klasie zostają te, którym nie można przypisać informacji z wystarczającą dokładnością. Jeżeli nie ma możliwości prawdopodobnej interpolacji geograficznej (przeniesienia informacji) w danej jednostce, to należy ją wyłączyć przy budowie modelu.

Opisany wyżej sposób przyjęcia jako pól podstawowych jednostek fizycznogeograficznych odpowiada dokładności mapy w skali 1:400 000 (Bac-Bronowicz

2001b). Przy wymaganiach większej dokładności można wyznaczyć pola opierając się na podziałach na przykład na glebowe jednostki krajobrazowe, geomorfologiczne lub regiony fotomorficzne. Szczegółowa charakterystyka podziałów, przedstawiona jest w tabeli 1. Mnogość kryteriów (Ostrowski 1986) powoduje dość znaczne rozdrobienie jednostek na mapie, jednakże dzięki dużej szczegółowości bazy danych możliwe jest na ogół łączenie poszczególnych jednostek podstawowych. Eliminacji granic dokonuje się zgodnie z przyjętymi kryteriami podziałowymi, nie mającymi wpływu na rozkład elementów klimatu.

Zaproponowana metoda rozkładu wartości elementów klimatu – dla obszarów, na których nie są one wyznaczane – może być stosowane dla większości obszaru Polski.

Przy rozważaniu podobieństwa pól podstawowych (jednostek fizycznogeograficznych) do określania rozkładu parametrów klimatycznych bardzo pomocną

informacją może okazać się charakterystyka typów pokrycia terenu. Planuje się pozyskanie informacji na podstawie zdjęć satelitarnych z satelity NOAA/AVHRR (North Oceanic and Atmospheric Administration – USA/Advanced Very High Resolution Radiometer) na podstawie cech zmienności wskaźnika NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) dla różnych klas rodzaju pokrycia terenu (Struzik 1999). Do jednostek zostanie przypisany udział procentowy obszarów o poszczególnych sposobach użytkowania. Informacja zostanie używana za pomocą procedur zawierania i wycinania obiektów, stosowanych w systemach informacji przestrzennej.

Przy wyżej podanym sposobie przypisywania informacji zintegrowanym jednostkom naturalnym utworzonym z jednostek fizycznogeograficznych, do interpolacji należy zastosować metody powierzchniowo-rastrowe, przypisując wartości przeniesione środkiem pól (Mości-broda 1999).

Tabela 1. Jednostki podstawowe fizycznogeograficzne
Table 1. Basic Physico-Geographical Division

Dokładność opracowania	Autor	Nazwa jednostki przyjętej za podstawową	Podstawowe kryteria wydzieleni wpływające na rozkład elementów klimatu	Wielkość na Dolnym Śląsku	
				Na mapie cm ²	W terenie km ²
1: 500 000	Kondracki, Walczak (Atlas Śląska Dolnego i Opolskiego 1997)	Jednostki fizycznogeograficzne -	Zróżnicowanie: orograficzne, hydrograficzne, bariery naturalne	0,4 - 70	1 - 1750
1: 200 000	Białosulz European Soil Information System (EUSIS) (Białosulz 2000)	Glebowe jednostki krajobrazowe	Ukształtowanie terenu; dominujące: formy morfologiczne, wystawa, nachylenie stoku oraz dominująca forma użytkowania terenu, przepuszczalność wodna gleb	1,5 - 20	6 - 80
1: 200 000	Oleśki Regiony fotomorficzne Polski (Oleśki 2001)	Regiony fotomorficzne	Ocena fototonu i barwy, fotostuktury, fototekstury	1,5 - 460	6 - 1837
1: 100 000	Szonar (opracowanie autorskie w ramach badań własnych w realizacji do 2000 r – Instytut Geografii Uniwersytetu Wrocławskiego)	Jednostki geofizyczne	Rzeźba terenu, dominujące formy, krawędzie morfologiczne i progi, wysokość krawędzi, formy antropogeniczne, geomorfologia	0,4 - 14	0,4 - 14

5. Podsumowanie

Po wykonaniu analiz oceny istotności informacji parametrów liczbowych zaproponowano wyróżnienie czterech stref wiarygodności informacji: najbliższe otoczenie stacji (duża wiarygodność), dalsze otoczenie i jednostki sąsiednie (średnia wiarygodność), analogi klimatyczne (mniejsza wiarygodność) i bez informacji.

Interpolując informację o wartości opadu, do pól podstawowych regularnych w bazie innego systemu (na przykład typu GRID), można do nich dołączyć metadane dotyczące wag wiarygodności. Na ich podstawie użytkownik modelu będzie mógł w dowolnym miejscu terenu ocenić jego przydatność. Oceniając model należy mieć przede wszystkim na uwadze jego przeznaczenie.

Wyróżnienie stref, dla których z bardzo dużym prawdopodobieństwem określono wartość parametrów przyrodniczych, jest szczególnie ważne w badaniach interdyscyplinarnych, w których specjaliści muszą ze sobą ściśle współpracować. Wiarygodne informacje umożliwią efektywną współpracę. Dane o parametrach klimatycznych są częścią baz systemów informacji dotyczących: gospodarki zasobami naturalnymi, śledzenia dotychczasowego przebiegu zjawisk w celu wczesnego ostrzegania przed katastrofami naturalnymi. Konstrukcja map prawdopodobieństwa i wyznaczenie kategorii wiarygodności do danych klimatycznych pozwala na wyróżnienie obszarów, dla których wnioski wynikające z rozkładu ich wartości mogą być wątpliwe (np. ryzyko wystąpienia opadów a strategia rozwoju rolnictwa, osłona przeciwpowodziowa itp.). Wydaje się, że lepiej czasami mieć informację o braku danych na niektórych obszarach opracowywanego terenu, niż posłużyć się wyinterpolowaną informacją, daleko odbiegającą od rzeczywistości i na jej podstawie podjąć niewłaściwe decyzje.

Bibliografia

- Atlas Śląska Dolnego i Opolskiego, 1997, Uniw. Wroc., Prac. Atlasu Doln. Śląs. Wrocław.
- Bac S., 1997, *Estimation of the reliability of information on atmospheric precipitation*, Acta Univ. Wratis.
- Bac-Bronowicz J., 1996, *Konstrukcja wielo cechowych map agroklimatycznych*, Pam. Puławski, IUNG.
- Bac-Bronowicz J., 2001a, *Znaczenie wiarygodności danych wieloletnich mierzonych punktowo w modelowaniu zjawisk przyrodniczych na przykładzie opadu*, Geodezja, t.7, z. 2. AGH Kraków.
- Bac-Bronowicz J., 2001b, *Możliwość interpretacji danych klimatycznych na podstawie jednostek fizycznogeograficznych w systemach informacji przestrzennej*, Ann.UMCS, sec.B, LV/LVI, 4.
- Bac-Bronowicz J., 2001c, *Modele kartograficzne elementów klimatu Kotliny Kłodzkiej związane z planowaniem zmian w strukturze użytkowania ziemi*, [w:] *Modelowanie kartograficzne w badaniach przydatności obszarów pod zalesienie*. Praca zb. Wyd. AR Wrocław.
- Berlant A.M., 2000, *Kartowanie geoinformacyjne - koncepcja i podstawy geograficzne*, Polski Przegląd Kartograficzny, T.32, nr 1.
- Białołusz S., 2000, *The Soil Digital Database for the area of the Odra basin at the scale 1:250 000*. Symp. Comparison of Polish and German soil classification systems for soil cartography of the mountain and sub-mountain areas. Wrocław.
- Digital Cartographic Data Standard Task Force (DCD-STF), 1988, *The proposed standard for digital cartographic data*, The American Cartographer, 15(1).

- Hootsmans R. M., F. J. M., Van der Wel, 1993, *Detection and visualization of ambiguity and fuzziness in composite spatial datasets*, Proc. of the Fourth European Conference on GIS, 2, Utrecht.
- Kondracki J., 2000, *Geografia regionalna Polski*, PWN, Warszawa.
- Mościbroda J., 1999, *Mapy statystyczne jako nośniki informacji ilościowej*, Wyd. UMCS, Lublin.
- Olędzki J.R., 2001, *Regiony fotomorficzne Polski*, Akapit-DTP, Warszawa.
- Ostrowski J., 1986, *Generalizacja w procesie tworzenia map glebowych i prezentacja pokrywy glebowej na mapach komputerowych w systemie TEMKART*, Prace IGiK, T XXXIII, z. 2, Warszawa.
- Podlacha K., 1986, *Jednolita sieć pól podstawowych jako układ odniesień przestrzennych do kodowania informacji w systemie PROMEL*, Prace IGiK, T XXXII, z. 2, Warszawa.
- Rzeźba terenu, sesja 2., 1998, Mat. VIII Konferencji Naukowo-Technicznej, Systemy Informacji Przestrzennej, Warszawa.
- Schermer M., 2001, *Barwne kamiki i maksyma Darwina*, Świat Nauki, nr 6.
- Struzik P., 1999, *Zastosowanie informacji satelitarnej AVHRR/NOAA do klasyfikacji rodzaju pokrycia terenu*, Mat. Bad. IMGW, ser. Hydrologia i Oceanologia, 25, Warszawa.
- Świątek B., 2000, *Ocena efektywności automatycznej interpolacji warstw w aspekcie wykorzystania jej wyników*, Mat. X Konferencji Naukowo-Technicznej, Systemy Informacji Przestrzennej, Warszawa.
- Yang X., Hodler T., 2000, *Visual and Statistical Comparison of Surface Modeling Techniques for*

Point-based Environmental Data, Cartogr. and Geogr. Inform. Science, Vol. 27, no. 2.

Wyszowski A., 2001, *Zastosowanie danych gridowych w analizie przestrzennej i czasowej temperatury powietrza w Europie Bałtyckiej*, Ann. UMCS, sec.B, LV/LVI, 45.

Zaliwski A., Górski T., 2000, *Model agroklimatu Polski jako moduł ZSI RPP*, Mat. X Konferencji Naukowo - Technicznej, Systemy Informacji Przestrzennej, Warszawa.

Summary

This paper presents a method of increasing a reliability of information obtained with the use of the models of distribution of parameters which describe the environment. Particular attention was given to periodic, punctually gathered data, related to continuous occurrences. Models of features' distribution distinguished in this way are usually constructed on the basis of previously assumed set of criteria for the whole area. Determination of reliability of information fed into the model is shown on the example of data representing the amount of precipitation. We know more and more about the climate on the Earth but simple mechanisms are not sufficient to transform point information into continuous one and to assign adequate attributes to elementary fields in spatial information groundwork. Correctness and usefulness of modelling of climate parameters depend mostly on truthfulness, adequacy and also representativeness of the data. This example has been chosen because the reliability of the parameters depends on taking into consideration suitably long periods of observation. Surroundings of a survey point has great influence on the value of measured characteristic, especially in environmental research where attributes depend on external conditions. Phenomena connected with the climate highly depend on the relief and absolute height. Precipitation has got a low variation rate within lowland. Values of parameters can significantly vary in places of high land's variability, especially in case of existing morphological barriers. Common obstacles for the airflow are river valleys, elevations and mountain ridges. Rivers and high buildings in the city centre are sufficient barriers to change the distribution significantly. Specific topoclimate (river valley, clearing, slope with certain exposition) is created under the influence of the closest surroundings of survey point and depends on: buildings, type of the vegetation, relief. Location of the measuring station also can highly influence survey results, especially in case of the northern or the southern slope. To indicate stations' surroundings, the still existing physiogeographic regionalisations configured on the maps were used. Secondly standardized differential referen-

ce unit of sums of precipitation and DEM might be used to determine zones with incompetent information.

Changes in localisation of survey stations and in different time periods should also be taken into account, because in the synthetic studies precipitation data have been interpreted in a different manner and in different time. Polish network of measuring stations does not represent most of units which were separated by topo-climatic conditions. Therefore, commonly used interpolation functions do not fulfill any conditions of good climate modelling. What is proposed to indicate values on the basis of point observations is approximation using spline functions.

The precise determination of zones, for which the value of natural parameters has been found with high probability, is of great importance particularly in interdisciplinary research where specialists from different scientific fields cooperate very closely. Information about a general accuracy of a model will enable evaluation of its common applicability. Local accuracy has to be known to make a spatial decision based on this model. Sometimes it is better not to have any information about the phenomenon than to use the information which is unreliable because the reliability in some parts of the elaboration is small.

ZBIGNIEW KASINA¹

WYSAD SOLNY JAKO OBIEKT PRZESTRZENNEGO ROZPOZNANIA WNĘTRZA ZIEMI

Słowa kluczowe:

geofizyka, prześwietlania sejsmiczne, wysady solne, informatyka

Abstrakt

W pracy przedstawiono założenia programu do interpretacji zasięgu wysadu w oparciu o wyniki prześwietlań sejsmicznych komora solna-powierzchnia ziemi. Dokonano analizy efektywności tego programu na danych polowych. Opisano także informatyczne aspekty przestrzennego rozpoznawania wysadów solnych, obejmujące: zastosowanie sieci neuronowych do punktowania pierwszych wstapien oraz do edycji tras, zastosowanie fraktali do punktowania pierwszych wstapien, wykorzystanie algorytmów optymalizacji globalnej (algorytmy genetyczne, wyzarczanie symulowane) do rozwiązywania problemu poprawek statycznych

SALT DOME AS A OBJECT OF SPATIAL RECOGNITION OF EARTH INTERIOR

Key words:

geophysics, transmission measurements, salt domes, informatics

Abstract

In the paper the principles of the program of dome extent interpretation from the results of transmission measurements between salt chamber and surface have been presented. The analysis of the program effectiveness have been realized using field data. The informatic aspects of salt dome recognition have been described too taking into consideration: application of neural networks to first breaks picking and to trace edition, application of fractals to first breaks picking, application of global optimization algorithms (genetic algorithms, simulated annealing) for solving problems of static corrections.

¹Akademia Górniczo - Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Kraków

1. Wstęp

Wysady solne stanowią ważny obiekt przestrzenny rozpoznania wnętrza Ziemi. W ich otoczeniu zlokalizowane są liczne złoża węglowodorów, a same wysady są coraz częściej miejscem lokalizacji zbiorników i magazynów. W rozpoznaniu wysadów solnych istotną rolę odgrywają badania sejsmiczne, wykorzystujące zarówno pomiary na powierzchni ziemi, jak i w otworach zlokalizowanych w wysadach solnych lub w ich sąsiedztwie. Spośród badań sejsmicznych powierzchniowych najistotniejsza rola przypada sejsmice trójwymiarowej. Natomiast spośród sejsmicznych badań otworowych najbardziej efektywne są trójwymiarowe pionowe profilowania sejsmiczne w wersji offsetowej. Dwuwymiarowe pionowe profilowania sejsmiczne realizowane na kilku profilach, przechodzących przez otwór solny, również stwarzają możliwość określenia przestrzennego zasięgu wysadu solnego.

Dokładne odtworzenie kształtów wysadów oraz bardzo złożonej budowy ośrodka otaczającego wysad wymaga wykorzystania zaawansowanych narzędzi informatycznych w fazie przetwarzania danych i ich interpretacji. Narzędzia te obejmują: sieci neuronowe, fraktale, funkcje korelacyjne i bikoherencje, algorytmy i programy optymalizacji globalnej (algorytmy genetyczne, wyrażanie symulowane), zaawansowane programy wizualizacji trójwymiarowej.

Problem interpretacji zasięgu wysadu wokół otworu za pomocą najtańszego narzędzia, jakim jest prześwietlanie sejsmiczne, nie znalazł jeszcze dotychczas rozwiązania w rozpowszechnionych systemach przetwarzania danych sejsmicznych. Brak jest takich rozwiązań w systemach przetwarzania (PROMAX, OMEGA) i interpretacji (SEISWORKS, CHARISMA, OASIS) stosowanych w Polsce. Opracowanie zatem efektywnego programu do rozwiązania postawionego zadania wraz z oceną jego efektywności oraz wymagań stawianych stopniowi wstępnego przedkościowego rozpoznania nadkładu i otoczenia wysadu stwarza możliwość wypełnienia istniejącej luki w zakresie oprogramowania metody sejsmicznej.

Rozpatrywane w dotychczas opublikowanych pracach (Whitmore i Lines 1966; McMechan *et al.*, 1988;

Cassery i Narion 1992;) warianty akwizycji nie obejmują tego przypadku, który często pojawia się w warunkach polskich, gdy w trakcie wiercenia otworu solnego lub projektowania procesu ługowania soli w istniejącym otworze zachodzi potrzeba określenia bocznego zasięgu wysadu, a do dyspozycji mamy tylko otwór solny bez żadnych dodatkowych otworów w otoczeniu wysadu. Szczególny problem stwarza przypadek, gdy w komorze solnej w otworze solnym dokonujemy wzbudzenia energii sejsmicznej, a rejestracji dokonujemy na rozstawie geofonów, rozmieszczonych na powierzchni ziemi, na profilu przechodzącym przez otwór solny. W tym przypadku na propagację fali od punktu wzbudzenia do punktów odbioru, umieszczonych zwykle równomiernie od otworu do odległości rzędu ok. 2 km, silny wpływ wywierają nie tylko pionowe zmiany prędkości (zwykle na granicach refraktorów), ale także poziome zmiany prędkości, związane ze złożoną budową otoczenia wysadu solnego. Dodatkowy wpływ - obserwowany przy większych głębokościach punktów wzbudzenia w otworze - mogą wywierać pionowe gradienty prędkości w głębszych warstwach otaczającego wysad ośrodka. Przedstawiony problem nie był dotychczas rozwiązany w dostępnych publikacjach zarówno krajowych, jak i zagranicznych.

Zaproponowany poniżej sposób rozwiązania postawionego zadania prześwietla sejsmicznych dostosowany jest do często wykorzystywanej metodyki pomiarowej, w której wzbudzeń fali dokonuje się w otworze solnym (w komorze solnej), zwykle z krokiem 50 m do głębokości ok. 1500-2000 m, a rejestracji na powierzchni ziemi w zakresie odległości od otworu od kilku do około 1500-2000 m z krokiem 20-25 m (rys. 1). Zarejestrowane sejsmogramy pozwalają określić czasy pierwszych wstąpień fali bezpośredniej. Idea zaproponowanego rozwiązania sprowadza się do określenia zasięgu wysadu w procesie trasowania promienia sejsmicznego od każdego punktu odbioru do danego punktu wzbudzenia do momentu, gdy czas obliczony jest równy (zadaną dokładnością) czasowi pomierzonemu. Kąt wyjścia promienia z punktu odbioru określany jest w oparciu o prędkości pozorne na powierzchni obserwacji. W procesie trasowania promienia sejsmicznego wykorzystywana jest aprioryczna informacja o rozkładzie prędkości w nadkładzie i otoczeniu wysadu, dostępna z wcześniej

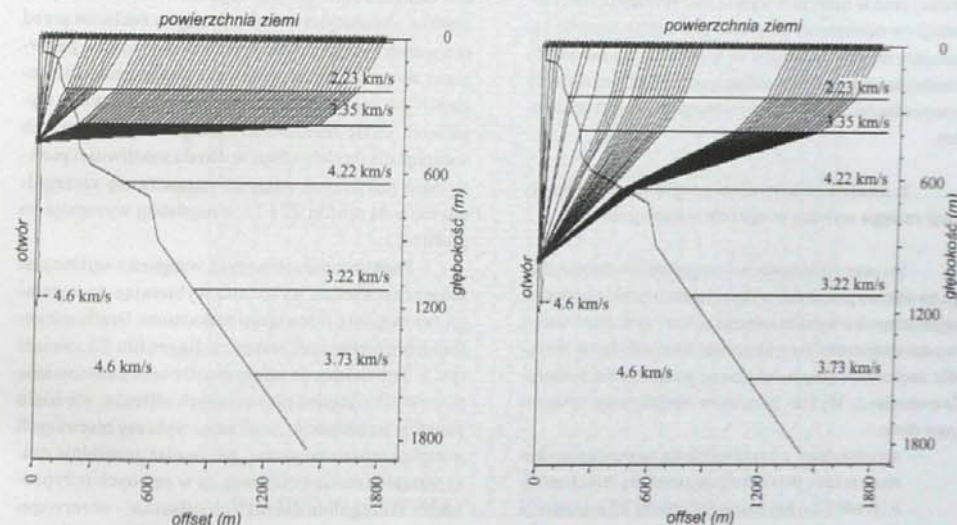
przeprowadzonych płytkich badań refrakcyjnych lub wyników interpretacji tomograficznej metodą fal refrakcyjnych lub odbitych.

Opracowany podstawowy wariant programu interpretacyjnego zakłada warstwowy model ośrodka w otoczeniu wysadu i składa się z następujących kroków obliczeniowych:

- wykreślenie wyinterpretowanych odcinków granicy wysadu w wyinterpretowanych punktach załamania promienia na granicy wysadu.
- wprowadzenie poprawek czasowych do czasów wstąpień, zastępujących warstwę solanki (o prędkości ok. 1600 m/s) warstwą soli o prędkości ok. 4600 m/s, z uwzględnieniem średnicy komory na poziomie każdego punktu wzbudzenia,
- określenie prędkości pozornych i kątów wyjścia promienia w punktach odbioru,
- trasowanie promienia sejsmicznego, z uwzględnieniem jego załamania, na pośrednich granicach refrakcyjnych zadanych w formie linii łamanych,

- określenie takiego położenia punktu załamania promienia na granicy wysadu, dla którego sumaryczny czas przebiegu promienia od punktu odbioru do punktu wzbudzenia jest równy (z daną dokładnością) czasowi zarejestrowanemu,
- oszacowanie kąta upadu zbocza wysadu,
- wykreślenie wyinterpretowanych odcinków granicy wysadu w wyinterpretowanych punktach załamania promienia na granicy wysadu.

Analiza efektywności zaproponowanego podejścia - wykonana na danych modelowych (Kasina 2003) - potwierdziła jego skuteczność oraz różne jej uwarunkowania. W procesie interpretacji granicy wysadu wykorzystujemy - w trakcie trasowania promieni sejsmicznych - przybliżony model prędkościowy ośrodka w otoczeniu wysadu. W przypadku dobrej znajomości tego modelu otrzymujemy granice wysadu, cechujące się dobrą ciągłością. Gdy informacja prędkościowa nie jest dokładna, istnieje możliwość interaktywnej korekty parametrów modelu (głębokości i kształtu granic,



Rys. 1. Model sejsmogeologiczny ośrodka z poziomymi granicami wokół wysadu wraz z lokalizacją punktów wzbudzenia w otworze i punktów odbioru na powierzchni ziemi; naniesiono trajektorie promieni sejsmicznych: a) dla PS 5, b) dla PS 14

Fig. 1. Seismogeological medium model with horizontal boundaries around the dome and with locations of shot points in the well and receivers on the surface; seismic ray trajectories are drawn: a) for SP 5, b) for SP 14

prędkości warstwowych) w celu uzyskania poprawy ciągłości wyinterpretowanej granicy wysadu. Punktem wyjścia w interpretacji jest określenie granicy wysadu w strefie najbliższej otworowi (najpłytszej) i dowiezanie granicy wysadu do jej położenia w otworze. Decyzję o liczbie pośrednich granic załamujących, uwzględnionych w procesie trasowania promienia od punktu odbioru na powierzchni ziemi do punktu wzbudzenia w komorze solnej, podejmujemy, interaktywnie w oparciu o uzyskiwane wyniki interpretacji.

Istotnymi elementami zaproponowanej metodyki interpretacji są: określanie prędkości pozornej w punktach odbioru oraz określenie modelu prędkościowego ośrodka wokół wysadu. Prędkości pozorne określane są na bazie czasów przebiegu fali, zarejestrowanej w trzech kolejnych punktach odbioru. Wykorzystywana jest tu aproksymacja liniowa hodografu z normą L2. Model prędkościowy ośrodka konstruowany jest - przy braku innych danych - w oparciu o interpretację wyników profilowania prędkości średnich (w odniesieniu do głębszych granic) oraz w oparciu o wyniki interpretacji płytkiej refrakcji (w odniesieniu do granic płytszych). Granice załamujące modelu zadawane są w postaci linii łamanych. Poniżej ostatniej granicy załamującej istnieje możliwość wprowadzenia ośrodka gradientowego ze stałym gradientem.

2. Analiza efektywności programu do interpretacji zasięgu wysadu w oparciu o dane polowe

Do oceny efektywności programu interpretacyjnego na danych polowych wykorzystano wyniki pomiarów sejsmicznych z wysadu solnego „Góra” zlokalizowanego w centralnej części Antyklinorium Kujawskiego w skrzydle zachodnim (rejon lokalnego podniesienia Konary-Inowrocław). Wyniki pomiarów obejmowały następujące dane:

- sejsmogramy z prześwietlania sejsmicznego komora solna - powierzchnia ziemi dla trzech profili (profil T1 o azymucie 90°, profil T2 o azymucie 130°, profil T3 o azymucie 187°),
- graficzne zestawienie czasów pierwszych wstąpień dla poszczególnych profili,
- pliki tekstowe z czasami pierwszych wstąpień dla

poszczególnych profili i dla poszczególnych punktów wzbudzenia,

- sejsmogramy z płytkich badań refrakcyjnych,
- wyniki (szkice) interpretacji spagu strefy małych prędkości wraz z morfologią terenu, wynikami interpretacji prędkości w strefie przypowierzchniowej (VSMP oraz prędkości w stropie warstwy pod strefą małych prędkości),
- wyniki (szkice) interpretacji głębokościowej i prędkościowej płytkich badań refrakcyjnych.

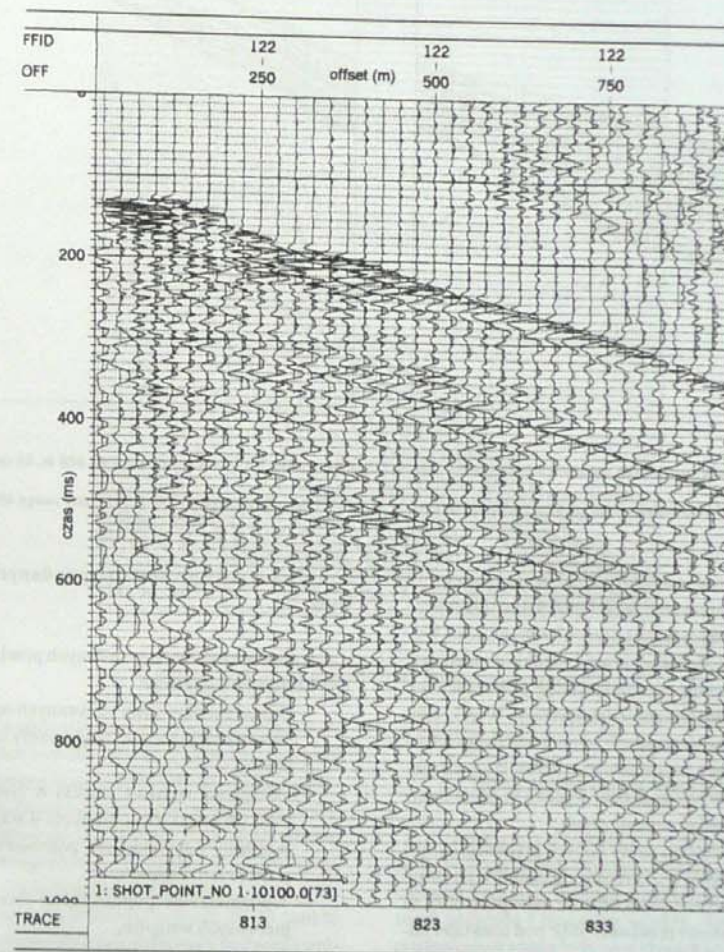
Prześwietlania sejsmiczne komora solna (G-11)

- powierzchnia ziemi wykonano dokonując wzbudzeń (17 PS-ów) w komorze solnej w zakresie głębokości 360 m - 1160 m z krokiem 50 m oraz rejestracji na powierzchni ziemi w zakresie do 1800 m z krokiem 25 m (73 odbiorniki). Przykład sejsmogramu reprezentatywnego dla wyników prześwietłań przedstawiono na rys. 2. W większości przypadków pierwsze wstąpienia zaznaczają się bardzo dynamiczną fazą zapisu w zakresie pierwszych kilkudziesięciu odbiorników, a więc w zakresie offsetów do około 1000 m. W przypadku offsetów powyżej 1000 m obserwujemy wzrost poziomu zakłóceń przed pierwszymi wstąpieniami i osłabienie dynamiki pierwszych wstąpień. To zdecydowane pogorszenie stosunku S/N dla większych offsetów powoduje w wielu wypadkach utratę możliwości identyfikacji pierwszych wstąpień dla dużych offsetów. Utrata możliwości punktowania pierwszych wstąpień zaznacza się szczególnie silnie na profilu T2 i T3, a najslabiej występuje na profilu T1.

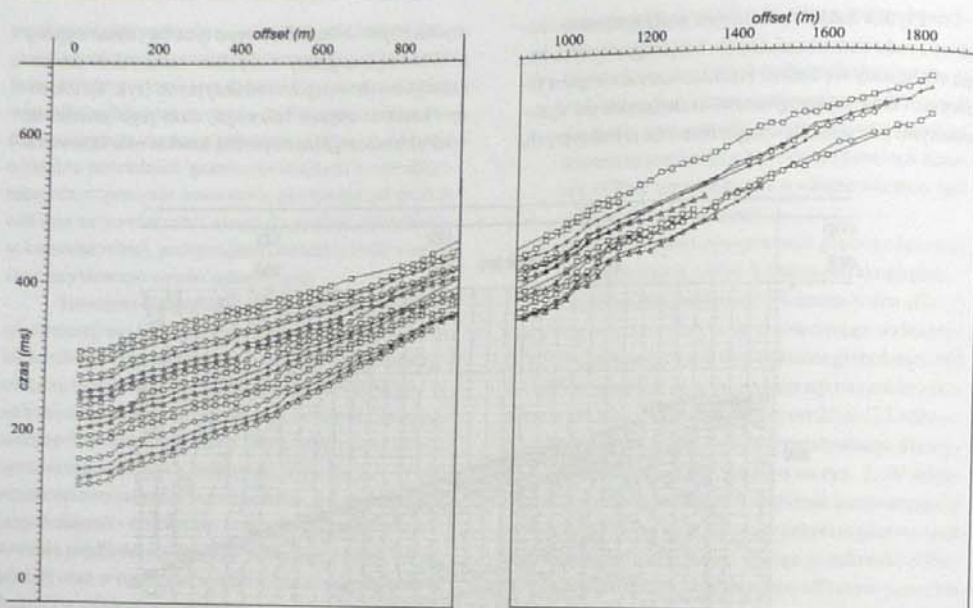
Punktowanie pierwszych wstąpień z sejsmogramów prześwietłań wykonano wybierając do korelacji fazowej fazę pierwszego maksimum. Graficzne zestawienie pierwszych wstąpień dla profilu T2 zawiera rys. 3. Potwierdza on utratę możliwości punktowania pierwszych wstąpień dla większych offsetów, dla wielu punktów wzbudzenia. Analizując wykresy pierwszych wstąpień można zauważyć, że chociaż generalnie czasy wstąpień rosną z offsetem, to w pewnych przypadkach - szczególnie dla małych offsetów - obserwujemy przypadki zakłócenia tej monotoniczności. Jest to o tyle istotne, że zaproponowana metodyka interpretacji zakłada dodatnie prędkości pozorne pierwszych wstąpień.

Płytkie badania refrakcyjne miały generalnie charakter sondowań sejsmicznych. Sejsmogramy tych badań cechowały się bardzo zróżnicowanym obrazem falowym. Obok sejsmogramów, cechujących się dynamicznymi pierwszymi wstąpieniami fal refrakcyjnych,

wydłużonymi osiami fazowymi tych fal, obserwujemy również sejsmogramy z szybkim zanikaniem faz poszczególnych wstąpień refrakcyjnych (rys. 4). Złożony charakter obrazu falowego, duża jego zmienność wzdłuż poszczególnych profili, krótkie osie fazowe fal



Rys. 2. Sejsmogram z prześwietłań na profilu T1, głębokość punktu wzbudzenia - 410 m
Fig. 2. The seismogram from transmission measurements on line T1, shot point depth - 410 m



Rys. 3. Wykres czasów pierwszych wstąpień z prześwietlań sejsmicznych na profilu T2: a) zakres offsetów 0 - 800 m, b) zakres offsetów 850 - 1800 m

Fig. 3. The graph of first breaks from transmission measurements on line T2: a) offset range 0 - 800 m, b) offset range 850 - 1800 m

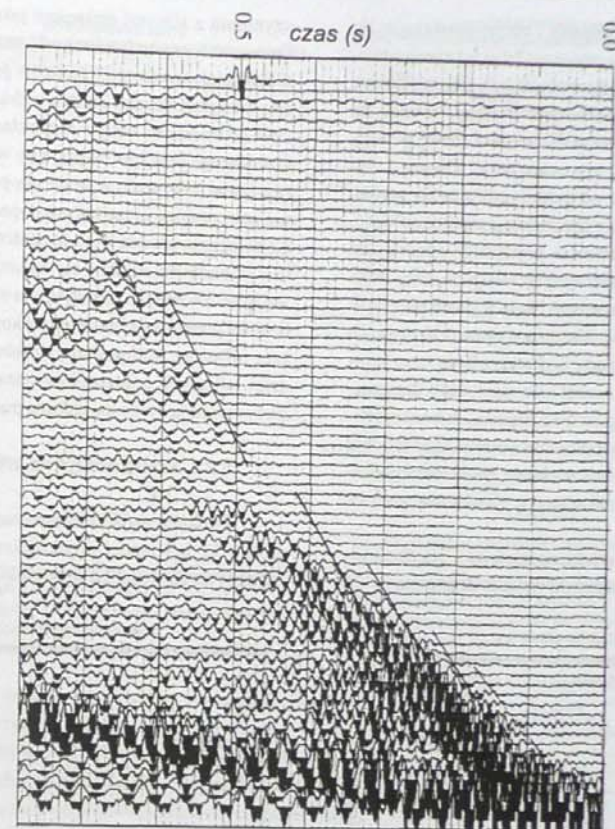
refrakcyjnych nie stworzyły możliwości uzyskania hodografów zbiorczych i ciągłej interpretacji głębokościowej oraz prędkościowej płytkich refraktorów. Wyniki interpretacji głębokościowej i prędkościowej płytkiej refrakcji cechuje niewielki zasięg głębokościowy oraz silna fragmentaryczność interpretacji. Wyniki tego typu - jako jedyne dostępne w rejonie badanego otworu - były podstawą konstruowania przybliżonych modeli prędkościowych nadkładu wysadu w fazie interpretacji prześwietlań sejsmicznych.

Wyniki pomiaru strefy małych prędkości (SMP) dostarczyły wartości współrzędnych punktów jej spągu i stropu oraz wartości prędkości. Te dane pozwoliły na interpolację wartości prędkości SMP pod punktami odbioru.

2.1. Przetwarzanie wstępne danych pomiarowych

Przetwarzanie wstępne danych pomiarowych objęło następujące operacje:

- obliczenie poprawek statycznych na odbiorniki i sprowadzenie ich do spągu strefy małych prędkości,
- zastąpienie warstwy płuczki w komorze (prędkość 1.6 km/s) solą (prędkość 4.6 km/s) i wprowadzenie odpowiednich poprawek do czasów pierwszych wstąpień,
- wprowadzenie poprawek na fazę do czasów pierwszych wstąpień,
- wyzerowanie czasów pierwszych wstąpień, które zaburzają monotoniczny wzrost czasów wstąpień z offsetem.



Rys. 4. Przykład sejsmogramu z badań refrakcyjnych na profilu T1
Fig. 4. The example of seismogram from refraction surveys on line T1

Wprowadzenie poprawek na fazę wynikało z faktu, że punktowanie pierwszych wstąpień wykonano dla pierwszej fazy maksimum. Jest ona opóźniona w stosunku do czasu pierwszego wstąpień. Opóźnienie to zmienia się z offsetem. Po analizie obrazu falowego sejsmogramów stwierdzono, że poprawka na fazę zmienia się w przybliżeniu liniowo (rośnie), ale najsilniej rośnie w zakresie od 1 do ok. 20-40 punktu odbioru (PO). Określono więc przedziały szybszej i wolniejszej zmiany poprawki na fazę uzyskując odpowiednie wartości poprawek dla poszczególnych profili

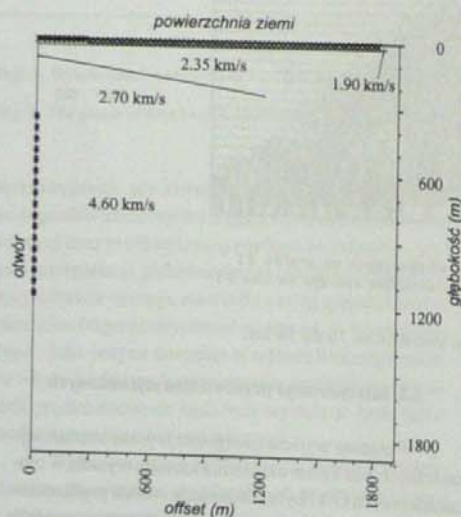
w zakresie od 10 do 16 ms.

2.2. Interpretacja prześwietleń sejsmicznych

Punktem wyjścia interpretacji prześwietlań sejsmicznych pod kątem określenia kształtu wysadu w otoczeniu otworu G-11 była konstrukcja modeli prędkościowych nadkładu i otoczenia wysadu. Startowe modele prędkościowe oparte były na wynikach interpretacji płytkiej refrakcji. Modele te były następnie modyfikowane w trakcie interpretacji w ten sposób, by uzyskać jak

najlepszą ciągłość interpretacji i dobre dowiązanie do pozycji stropu wysadu w otworze (70 m od ujęcia otworu). Dla każdej pary punkt wzbudzenia-punkt odbioru określone jest położenie punktu granicy wysadu na trajektorii promienia oraz mały element samej granicy (estymowany jest upad tego elementu). Promień sejsmiczny trasowany jest od punktu odbioru do punktu wzbudzenia. Kąt wyjścia promienia z punktu odbioru, określany jest na podstawie prędkości pozornych, określonych z czasów pierwszych wstąpień. Przy estymowaniu prędkości pozornych i kąta wyjścia uwzględniono morfologię terenu. Każdy z wyinterpretowanych elementów granicy wysadu jest wykreślany w programie graficznym. Duży rozrzut tych elementów dla danego PS-u związany jest głównie z błędami doboru modelu prędkościowego. Interaktywna korekta tego modelu pozwala często udokładnić rozkłady prędkości i poprawić ciągłość wyinterpretowanych elementów granicy wysadu.

Przy dużych niejednorodnościach prędkościowych w nadkładzie i otoczeniu wysadu często mamy do

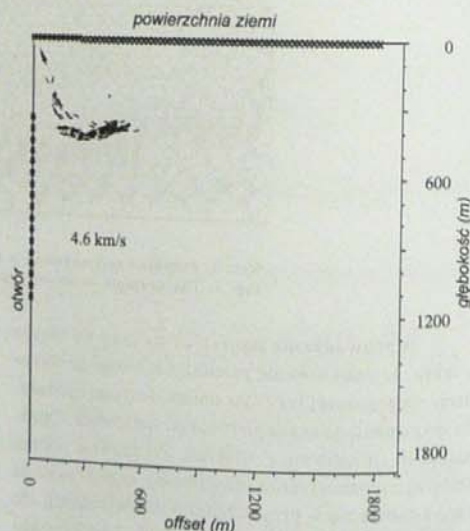


Rys. 5. Model prędkościowy otoczenia wysadu wykorzystywany do interpretacji na profilu T1
Fig. 5. The velocity model of dome surroundings used in interpretation on line T1

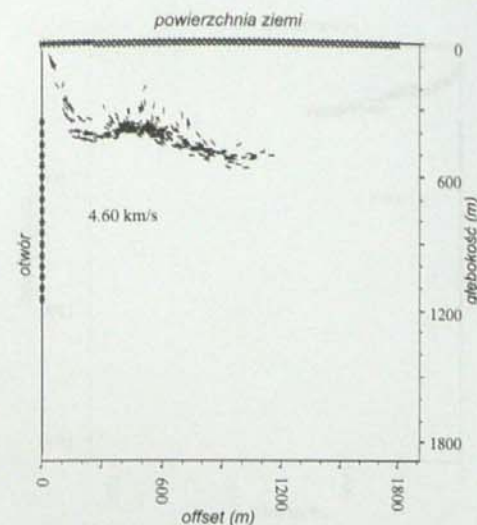
czynienia z silnymi zmianami poziomymi prędkości. Oznacza to często konieczność modyfikacji prędkości dla różnych przedziałów offsetów przy interpretacji czasów wstąpień danego punktu wzbudzenia. Aby ograniczyć do minimum wpływ niedokładności modelu prędkościowego przyjęto zasadę, aby w interpretacji wykorzystywać pary, punkt wzbudzenia-punkt odbioru, zapewniające przebieg promieni prostopadły do spodziewanego położenia zbocza wysadu. Zatem dla płytkich punktów wzbudzenia staramy się wykorzystać jedynie czasy wstąpień dla małych offsetów. Dla średniego zakresu głębokości punktów wzbudzenia wykorzystujemy średni zakres offsetów. Interpretację czasów wstąpień z najbardziej odległych odbiorników staramy się wykonywać, wykorzystując tylko najgłębsze punkty wzbudzenia.

2.2.1. Interpretacja na profilu T1

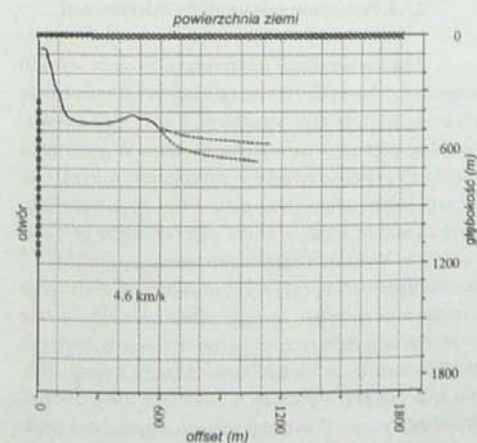
Punktem wyjścia interpretacji zasięgu wysadu na profilu T1 był model prędkościowy z płytkich badań refrakcyjnych. Analiza wyników interpretacji dla róż-



Rys. 6. Wyniki interpretacji granicy wysadu na profilu T1 uzyskane dla odbiorników 1 - 30
Fig. 6. The results of dome boundary interpretation on line T1 obtained for receivers 1 - 30



Rys. 7. Wyniki interpretacji granicy wysadu na profilu T1 uzyskane dla odbiorników 1 - 50 po odrzuceniu danych z PS-ów 15-17
Fig. 7. The results of dome boundary interpretation on line T1 obtained for receivers 1 - 50 after rejection data from SP 15-17



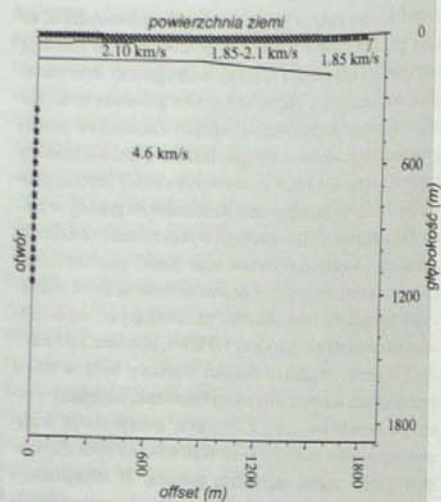
Rys. 8. Wyinterpretowana granica zasięgu wysadu solnego na profilu T1
Fig. 8. The interpreted boundary of salt dome extent on line T1

nych PS-ów i całego zakresu offsetów potwierdziła, że dane prędkościowe z drugiej połowy profilu nie dają możliwości uzyskania spójnej, wiarygodnej interpretacji. Uwzględnienie głębszych granic prowadziło do dużego rozrutu wyinterpretowanych elementów granicy wysadu. Podobnie uwzględnienie głębszej granicy z prędkością 4.0 km/s z pierwszej części profilu prowadziło do zbyt dużego rozrutu elementów granicy wysadu. Ostatecznie do interpretacji wykorzystano rejestrację z małych i średnich offsetów oraz model prędkościowy przedstawiony na rys. 5. Zawiera on dwie granice refrakcyjne z prędkościami ośrodka, zmieniającymi się od powierzchni ziemi od wartości 1.9 km/s, poprzez 2.35 km/s do 2.7 km/s. Prędkość drugiej warstwy była w kilku przypadkach nieznacznie modyfikowana, osiągając wartości z przedziału 2.6 - 2.75 km/s. Interpretacja wstąpień z punktów odbioru 1-10 realizowana była dla modelu tylko z jedną najpłytszą granicą. W interpretacji danych z pozostałych punktów odbioru zastosowano model dwuwarstwowy.

Na rysunku 6 przedstawiono wyniki interpretacji uzyskane dla odbiorników 1 - 30 bez progu na błąd prędkości pozornych. Zastosowanie takiego progu (w zakresie ok. 10% wartości prędkości pozornych) nie zmieniło istotnie wyników interpretacji. Na rys. 7 przedstawiono wyniki interpretacji uzyskane dla odbiorników z przedziału od 1 do ok. 50 po odrzuceniu wyników interpretacji z PS-ów 15-17, wprowadzających znaczącą niejednorodność. Kończącą interpretację zasięgu wysadu wyznacza obwiednia elementów granicy wysadu poprowadzona od strony otworu. Przedstawiono ją na rys. 8. Linia ciągła dotyczy bardziej wiarygodnej interpretacji w zakresie mniejszych offsetów (odbiorniki 1 - 30). Linia przerywana wyznacza interpretację z większych offsetów z uwzględnieniem (górna linia przerywana) lub bez uwzględnienia (dolna linia przerywana) PS-ów 15-17.

2.2.2. Interpretacja na profilu T2

Punktem wyjścia interpretacji na profilu T2 był także model prędkościowy z badań refrakcyjnych. Także i w tym przypadku, uwzględnienie głębszych refraktorów o podwyższonej prędkości nie dawało możliwości uzyskania spójnej interpretacji. Ostatecznie do



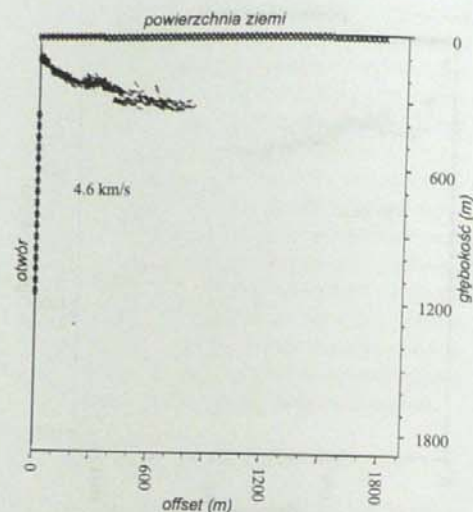
Rys. 9. Model prędkościowy otoczenia wysadu wykorzystywany do interpretacji na profilu T2

Fig. 9. The velocity model of dome surroundings used in interpretation on line T2

interpretacji wykorzystano model 3-warstwowy przedstawiony na rys. 9. Na rys. 10 przedstawiono wyniki interpretacji ze wszystkich PS-ów przy rozszerzeniu zakresu uwzględnionych offsetów (odbiorniki 1 - 35). Nałożenie progu na błąd prędkości pozornych nie zmieniło istotnie tego obrazu.

2.2.3. Interpretacja na profilu T3

Podstawą interpretacji zasięgu wysadu na profilu T3 był model prędkościowy z rys. 11. W rozważanym przypadku otrzymane wyniki interpretacji w porównaniu z wynikami z profilu T2 i T1, chociaż dla wybranych PS-ów interpretacja jest dość spójna. Na rys. 12 przedstawiono obwiednie dla trzech rozpatrywanych wariantów interpretacji. Trzeci - najmniej prawdopodobny wariant interpretacji - daje istotne zawężenie wysadu w zakresie głębokości 300-600 m.

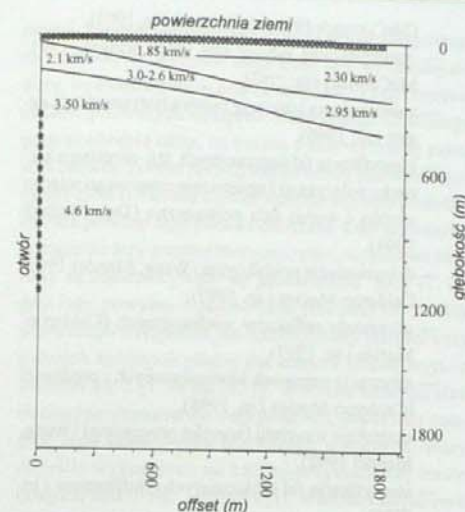


Rys. 10. Wyniki interpretacji granicy wysadu na profilu T2 uzyskane dla odbiorników z offsetów małych i średnich

Fig. 10. The results of dome boundary interpretation on line T2 obtained for receivers from the small and middle offsets

2.2.4. Podsumowanie wyników interpretacji

Analiza wyników interpretacji zasięgu wysadu w oparciu o dane pomiarowe ze wszystkich trzech profili potwierdza, że w przypadku profilu T1 i T2 uzyskano dobrą spójność wyników interpretacji. W przypadku profilu T3 spójność wyników jest znacznie gorsza. Generalnie jednak interpretacja potwierdza, że powyżej głębokości 600 m zasięg wysadu zdecydowanie przekracza 300 m. Wielowariantowa interpretacja na profilu T3 potwierdziła istotną rolę rozpoznania prędkościowego ośrodka w interpretacji zasięgu wysadu. Uwzględnianie w interpretacji głębszych refraktorów, o podwyższonych prędkościach, może istotnie zawęzić zasięg wysadu. Jednak informacja o głębszych refraktorach nie może być fragmentaryczna. W sytuacji słabego rozpoznania prędkościowego nadkładu i otoczenia wysadu, z którą mamy najczęściej do czynienia, najbardziej wiarygodna jest interpretacja najkrótszych dróg przebiegu fali sejsmicz-



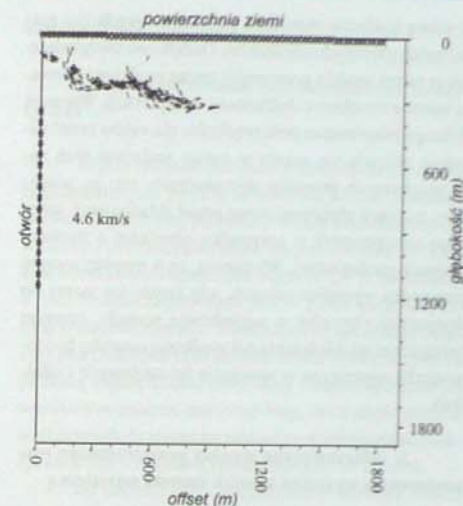
Rys. 11. Model prędkościowy otoczenia wysadu wykorzystywany do interpretacji na profilu T3

Fig. 11. The velocity model of dome surroundings used in interpretation on line T3

nej przez ośrodek otaczający wysad. Zatem najpewniejsza jest interpretacja zasięgu wysadu w jego najpłytszej części. W rozważanym przypadku najbardziej wiarygodna jest interpretacja do odległości ok. 600 m od otworu.

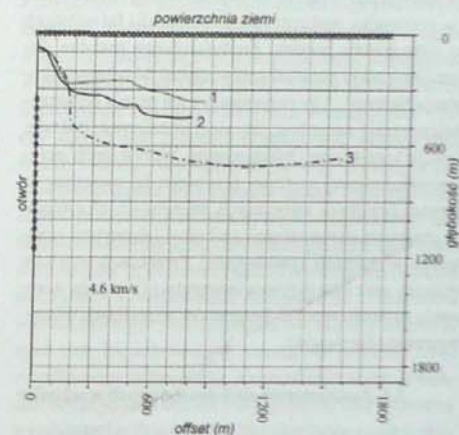
Błąd interpretacji zasięgu trudno jest precyzyjnie oszacować. Biorąc jednak pod uwagę wnioski z obliczeń modelowych, rozrzut wyinterpretowanych odcinków granicy wysadu przy interpretacji danych połowych, można sądzić, że błąd ten nie powinien średnio przekraczać wartości 50 m dla płytszej części wysadu. Zakres tego błędu dla głębszej części wysadu jest - w rozpatrywanym przypadku bardzo słabego rozpoznania prędkości w otoczeniu wysadu - trudny do oszacowania.

Podsumowując należy stwierdzić, że zaproponowany program może stanowić efektywne narzędzie określania zasięgu wysadu solnego, w oparciu o wyniki prześwietłań komora solna - powierzchnia ziemi. Podstawowym warunkiem efektywności takiej interpretacji jest wstępne opracowanie wiarygodnego modelu prędkościowego ośrodka otaczającego wysad, a szczególnie



Rys. 12. Wyniki interpretacji zasięgu wysadu na profilu T2 dla PS-ów 1 - 7 i wariantu modelu prędkościowego z jednym płytkim refraktorem przy wykorzystaniu danych z małych i średnich offsetów

Fig. 12. The results of dome boundary interpretation on line T2 obtained for SP 1 - 7 and for the variant of velocity model with one shallow refraction boundary when the data are used from small and middle offsets



Rys. 13. Wyniki interpretacji zasięgu wysadu na profilu T3 dla różnych wariantów interpretacji

Fig. 13. The results of dome extent interpretation on line T3 for different interpretation variants

w miarę dokładne określenie położenia i prędkości granicznych głównych refraktorów. Dodatkowo uwzględnienie w takim modelu poziomych zmian prędkości pozwala istotnie zwiększyć dokładność interpretacji. Warunek dobrego rozpoznania pola prędkości dla celów przetwarzania pojawia się często w czasie realizacji tych zaawansowanych procedur sejsmicznych (m. in. procedury migracji głębokościowej przed składaniem), które mają zastosowanie w przypadku ośrodków o złożonej budowie geologicznej. Wydaje się, że w rozpatrywanym przypadku wysadów solnych, gdy często nie mamy do dyspozycji otworów w sąsiedztwie wysadu, cennym narzędziem udokładnienia pól prędkości mogłaby być tomografia sejsmiczna w wariancie fal czołowych i odbitych.

3. Informatyczne aspekty przestrzennego rozpoznawania wysadów solnych metodą sejsmiczną

Dokładne odtworzenie kształtów wysadów oraz bardzo złożonej budowy ośrodka otaczającego wysad wymaga wykorzystania zaawansowanych narzędzi informatycznych w fazie przetwarzania danych i ich interpretacji. W fazie przetwarzania dokonujemy punktowania pierwszych wstąpień fal bezpośrednich i czołowych, a w przypadku wykorzystania tomografii fal odbitych do odtwarzania modelu prędkościowego ośrodka dokonujemy także punktowania wstąpień fal odbitych (korelacja fazowa). Aby przyspieszyć ten proces wykorzystujemy takie narzędzia, jak: sieci neuronowe, fraktale, funkcje korelacyjne i bikoherencje. Wpływ strefy powierzchniowej na czasy przebiegu fal usuwamy za pomocą poprawek statycznych, stosując do ich estymacji programy optymalizacji globalnej (algorytmy genetyczne, wyzarczenie symulowane). Prezentacja wyników obliczeń oraz interaktywna interpretacja wymaga stosowania zaawansowanych programów wizualizacji trójwymiarowej (*Earthcube*).

3.1. Zastosowanie sieci neuronowych w sejsmice

Zastosowania sieci neuronowych w badaniach sejsmicznych obejmują m.in.:

- automatyczne punktowanie pierwszych wstąpień

- (McCormack 1991; McCormack i in. 1993),
- automatyczną edycję tras (McCormack 1991; McCormack i in. 1993),
- automatyczną korelację fazową horyzontów (Leggett i in. 1996),
- identyfikację fal poprzecznych, tzn. określanie kierunku polaryzacji i opóźnienia czasowego między szybką i wolną falą poprzeczną (Dai, McBeth 1994),
- dekonwolucję predykcijną (Wang, Mendel 1992; Calderon-Macias i in. 1997),
- eliminację refleksów wielokrotnych (Calderon-Macias i in. 1997),
- estymację poprawek kinematycznych i prędkości (Calderon-Macias i in. 1998),
- ekstrakcję waveletu (wavelet processing) (Wang, Mendel 1992),
- identyfikację fal zakłócających (Buffenmyer i in. 2000),
- identyfikację uskoku i kominów gazowych (Mel-dahl P. i in. 2001).

3.1.1. Zastosowanie sieci neuronowych do punktowania pierwszych wstąpień

Punktowanie pierwszych wstąpień refrakcyjnych wraz z edycją tras zakłóconych i analizą prędkości konsumuje około 75 % czasu geofizyka przetwarzającego. Dlatego procesy punktowania i edycji stały się polem wykorzystania sieci neuronowych (McCormack i in. 1993, Leggett i in. 1996). Wykorzystano tu zdolności sieci do uczenia się na przykładach, ich tolerancję na nieciągłość danych, dużą skuteczność przy wysokim poziomie szumów.

Najpowszechniej stosowaną siecią jest sieć neuronowa z propagacją wstecz (*backpropagation neural network* - *BNN*). Uczenie sieci rozpoczyna się, gdy przetwarzający pokazuje sieci pierwsze wstąpień na kilku wybranych trasach, które są reprezentatywne dla zmian amplitudy, fazy i częstotliwości na analizowanym profilu sejsmicznym. W czasie trenowania sieć stopniowo analizuje dwuwymiarowe okno danych ze środkiem pokrywającym się z dodatnimi pikami powyżej i poniżej pików pierwszego wstąpień, wskazanego przez wyko-

nawcą. Typowy rozmiar okna to 9 - 11 tras ze 100 próbkami czasowymi. Rozmiar okna musi być wystarczająco duży, by można było w nim zawrzeć nagle przesunięcia czasów pierwszych wstąpień. Dla każdego dodatniego pików w obrębie okna, na każdej trasie wybranej przez wykonawcę, system określa najpierw, czy pierwsze wstąpień zidentyfikowane przez wykonawcę leży powyżej, czy też poniżej tego pików na osi czasu. Gdy prawdziwe wstąpień leży poniżej bieżącego pików, wyjściowe neurody są dostosowywane do generowania pary (1, 0); gdy leży powyżej - generowana jest para (0, 1). Pik pierwszego wstąpień jest zdefiniowany jak pierwszy z dwóch kolejnych pików, dla których wektor wyjścia zmienia się z (1, 0) na (0, 1). W czasie treningu sieć iteracyjnie dopasowuje wagi połączeń, dopóki nie osiągnie tego samego pików pierwszego wstąpień, który określił wykonawca na każdej przykładowej trasie (zwykle jest to ok. 150 iteracji). Wartości wejściowe sieci składają się z sekwencji jedynek i zer, reprezentujących 2-wymiarowy obraz pików sejsmicznych danych.

Sieć neuronowa pikera pierwszych wstąpień typowo wykorzystuje 3000 do 4000 wejściowych neurodów, zasilających dwie wyjściowe neurody. W czasie każdej iteracji poszukiwane są grupy pików pierwszych wstąpień, które rozmieszczone są wzdłuż linii. Piki kolejnych 5 tras, na prawo i na lewo od trasy bieżącej, są badane w celu określenia, czy trend liniowy jest silny lub słaby. Oceniono, że zastosowanie sieci neuronowych do punktowania poprawiło 8-krotnie efektywność w stosunku do punktowania ręcznego bez straty dokładności punktowania. Badania na danych modelowych w formie rekordu syntetycznego pozwoliły stwierdzić, że sieć rozpoznaje kierunek narastania czasów wstąpień od trasy do trasy. Okazało się także, że sieć wiarygodnie punktowała pierwsze wstąpień, dopóki częstotliwość dominująca nie zmieniła się więcej niż o 25 % w stosunku do wyjściowej częstotliwości. Zastosowanie tras syntetycznych ze zmiennym poziomem szumów przypadkowych (pasmowych i niepasmowych) potwierdziło, że sieć wiarygodnie punktuje wstąpień na wszystkich trasach, na których stosunek S/N jest lepszy, niż na danych treningowych. Jednak jej efektywność poważnie się obniża, gdy stosunek S/N osiąga

niższą wartość.

3.1.2. Wykorzystanie sieci neuronowych do edycji tras

Wykorzystanie sieci neuronowych do edycji tras realizowane jest zwykle za pomocą dwóch procedur. W ramach pierwszej procedury wykrywane są trasy odwrócone i przyporządkowana im jest wartość „0” (trasom normalnym odpowiada wartość „1”). Informacja o tych trasach zapisywana jest w pliku parametrycznym o zadanej nazwie. Realizacja tej procedury musi być poprzedzona treningiem sieci, wykonanym za pomocą odpowiedniej procedury i zapamiętaniem jej wyników w postaci macierzy wag. Jako część danych wejściowych do pierwszej procedury traktowane są funkcje korelacji wzajemnej między sąsiednimi trasami.

Do uczenia sieci wykorzystano strategię zwaną kaskadową korelacją (*cascade-correlation*). Zamiast ustalania wag w sieci o ustalonej topologii, korelacja kaskadowa startuje z minimalną siecią nie zawierającą ukrytych węzłów. Połączenia między węzłami wejścia i wyjścia poddane są treningowi w celu zminimalizowania błędów, tzn. różnicy między pożądanym wyjściem i uzyskanym wyjściem. Kiedy dalsza poprawa nie jest możliwa, dodawane są węzły ukryte, jeden po drugim, w celu redukcji błędów rezydualnych. Zaproponowana strategia ma kilka ważnych zalet w stosunku do klasycznego algorytmu BP (*back propagation*): proces uczenia jest znacznie szybszy, sieć określa swój własny rozmiar i topologię; zachowuje strukturę, które zbudowała nawet przy zmianie układu treningowego, algorytm zapewnia zbieżność do rozwiązania bez niebezpieczeństwa ugrzęźnięcia w lokalnym minimum. Przed wykonaniem tej procedury należy upewnić się, że układ treningowy, który powinien zawierać 5 do 10 rekordów rozmieszczonych wzdłuż profilu, nie zawiera odwróconych tras. Wejściowe dane treningowe powinny mieć zaaplikowane odtworzenie wzmocnienia w celu zwiększenia stacjonarności; złe trasy powinny być wcześniej wydedytowane. Powinno też być określone przez wykonawcę okno czasowe danych (interaktywnie) dla poszukiwania tras odwróconych. Wykrywane są tylko izolowane trasy odwrócone.

W ramach kolejnej procedury wykonawca tworzy ręcznie układ tras do treningu z zaznaczonymi trasami złymi. Edytor zostaje poddany treningowi na zadanych trasach i na wyjściu zapisywana jest wynikowa macierz węzłów. W drugiej fazie edytor rozpoznaje trasy złe i nieaktywne (przyporządkowuje im wartość „0”) i dobre (przyporządkowuje im wartość „1”). Opcjonalnie program może eliminować trasy złe. System edycji tras zawiera 520 wejściowych węzłów obejmujących:

- widmo amplitudowe FFT (512 próbek) całej trasy,
- sześć wewnątrztrasowych parametrów statystycznych (średnia częstotliwość trasy, średnia energia trasy, średnia absolutna amplituda, stosunek największej amplitudy do kolejnej, szybkość obniżania się energii, znormalizowana odległość offsetowa źródło-odbiornik),
- dwie wewnątrztrasowe estymaty statystyczne (maksymalna wartość skrokorelacji dwóch sąsiednich tras, średnia energia trasy odniesiona do czterech sąsiednich tras).

Część informacji w podanych atrybutach pokrywa się, ale należy pamiętać o tym, że jedną z cech sieci neuronowych jest zdolność do rozpoznawania redundancji (powtarzalności informacji) i oszacowanie właściwych wag wewnętrznych połączeń w trakcie treningu. Stwierdzono, że efektywność edycji za pomocą sieci sięga 95% edycji ręcznej.

Testowanie efektywności pikerów opartych na sieciach neuronowych potwierdziło, poprawność ich działania na 95% danych wibratorowych sejsmiki 3-D o umiarkowanej jakości i na 98% danych dynamicznych dobrej jakości. W przypadku edycji tras uzyskano wskaźnik zgodności z ręczną edycją na poziomie od 95 do 98%. Dla dużych układów danych 3-D poprawa produktywności została oceniona na ok. 800 %.

3.2. Wykorzystanie fraktali do punktowania pierwszych wstąpień

Metoda punktowania pierwszych wstąpień na danych z szumem oparta na fraktalach wykorzystuje zmianę wymiaru fraktala w obrębie trasy, gdy pojawia się sygnał (Boschetti i in. 1996). Można tu wykorzystać dwie

różne metody proponowane do obliczenia wymiaru fraktala krzywej, w tym przypadku trasy sejsmicznej: metodę dzielnika (*divider method*) oraz metodę Hurst'a.

Podstawą metody dzielnika jest pomiar długości krzywej na drodze aproksymacji jej za pomocą pewnej liczby segmentów prostoliniowych, zwanych krokami (*steps*). Obliczona długość krzywej jest iloczynem liczby kroków i długości samego kroku i związana jest z wymiarem fraktala relacją:

$$L(r) \propto r^{(1-D)}$$

gdzie L jest długością krzywej, r jest długością kroku, D jest wymiarem fraktala.

Rysując logarytm długości kroku w funkcji logarytmu odpowiadającej mu długości krzywej uzyskujemy wykres *Mandelbrot-Richardson'a*. Nachylenie linii dopasowanej do tych punktów związane jest z wymiarem fraktala równaniem:

$$D = 1 - S, \quad S \leq 0, \quad 1 < D < 2$$

gdzie D jest wymiarem fraktala, S jest nachyleniem linii sejsmicznej wymiar fraktala ma wartość między 1 i 2.

W metodzie Hurst'a wymiar fraktala obliczany jest na drodze określania zakresu danych wewnątrz okien o różnych rozmiarach. Jeśli dane spełniają warunki modelu fraktala, mamy:

$$R/S \propto F^H$$

gdzie R jest maksymalną różnicą obserwowaną w oknie, S - odchyleniem standardowym, F - stałą, H jest zwane wykładnikiem Hursta (*Hurst exponent*). Wykładnik ten związany jest z wymiarem fraktala relacją:

$$D = 2 - H$$

i można go określić rysując znormalizowaną maksymalną różnicę w funkcji rozmiaru okna w przestrzeni bilogarytmicznej. Linia prosta na wykresie Hursta pojawia się zwykle jedynie w ograniczonym zakresie rozmiarów okna. Metoda Hursta posiada tę przewagę, że wymaga znacznie mniej obliczeń niż metoda dzielnika i może być realizowana 1-2 razy szybciej. Pracuje dobrze na trasach z wysokim i średnim poziomem S/N.

Omawiany algorytm okazał się efektywny przy zastosowaniu obu metod, gdy stosunek S/N osiągał wartość wysoką i średnią. Przy niskim stosunku S/N metoda Hurst'a okazała się nieefektywna. Dodanie szumu ze średnią amplitudą, równą ok. 80% średniej amplitudy sygnału, algorytm okazał się efektywny, gdy zakres

kroku był kompatybilny ze strukturą sygnału. Należy także zaznaczyć, że nie jest wymagany preprocessing danych. Maksymalny dozwolony krok zależy od częstotliwości sygnału i nie może przekraczać długości fali sygnału.

4. Wykorzystanie algorytmów optymalizacji globalnej problemu resztkowych poprawek statycznych

Algorytmy genetyczne należą do klasy algorytmów globalnej optymalizacji. Próbuja one znaleźć optymalną odpowiedź na drodze rozwijania populacji próbnych odpowiedzi na drodze, która naśladuje ewolucję biologiczną. Istotą algorytmu genetycznego jest wykonanie układu operacji na populacji modeli, które prowadzą do nowej populacji modeli, charakteryzującej się wyższą wartością funkcji dopasowania. Pierwsza, startowa populacja modeli jest wybrana przypadkowo. Kolejne populacje charakteryzują się spodziewanym średnim dopasowaniem nie niższym, niż poprzednie. W procesie poszukiwań mamy trzy podstawowe etapy:

- *selekcję*: określenie, którzy członkowie bieżącej populacji będą członkami następnej populacji,
- *rekombinację*: konstruowanie nowych modeli-dzieci na drodze kombinacji cech skopiowanych z układu modeli-rodziców,
- *mutację*: przypadkowe perturbacje parametrów przypadkowo wybranego modelu-dziecka w celu dodania nowego zróżnicowania.

Algorytm genetyczny wykorzystał Wilson i in. (1994) do estymowania resztkowych poprawek statycznych.

Wyżarzanie symulowane (*simulated annealing*) należy do klasy technik, które oparte są na analogii między optymalizacją i wzrostem np. dużych kryształów w wolno stygnącym wytopie. Algorytm przypomina pewien rodzaj wspinania się na górę, podczas którego od czasu do czasu zmieniamy wzgórze. Został wykorzystany przez Vasudevana i in. (1991) do estymowania statycznych poprawek resztkowych, których rolą jest usuwanie wpływu strefy małych prędkości na czasy przebiegu fal.

Część prezentowanej pracy, poświęcona zastosowaniu sieci neuronowych do punktowania pierwszych wstąpień, powstała jako wynik realizacji tematu badawczego KBN w ramach działalności statutowej (um. 1111.140.06). Natomiast część pracy poświęcona odtwarzaniu zasięgu wysadu, w oparciu o interpretację pionowych profilowań sejsmicznych, powstała jako wynik realizacji grantu KBN nr 8 T12B 048 20.

Bibliografia

- Boschetti F., Dentih M. D., List R. D., 1996, *A fractal-based algorithm for detecting first arrivals on seismic traces*, Geophysics, vol. 61, no. 4, 1095-1102
- Buffenmyer V., Poulton M., Johnson R., 2000, *Identification of seismic crew noise in marine surveys by neural networks*, The Leading Edge, no. 4, 370-376
- Calderon-Macias C., Sen M. K., Stoffa P. L., 1997, *Hopfield neural networks, and mean field annealing for seismic deconvolution and multiple attenuation*, Geophysics, vol. 62, no. 3, 992-1002
- Calderon-Macias C., Sen M. K., Stoffa P. L., 1998, *Automatic NMO correction and velocity estimation by a feedforward neural network*, Geophysics, vol. 63, 1696-1707
- Casserly, R., and B.P. Narion, 1992, *Drill-bit source salt-proximity surveys for realtime determination of bit position relative to the salt face*, The Leading Edge, 11, no. 8, 37-39
- Dai H., MacBeth C., 1994, *Split shear-wave analysis using an artificial neural network*, First Break, vol. 12, no. 12, 605-613
- Kasina Z., 2002, *Wykorzystanie modeli sejsmicznych do optymalizacji parametrów akwizycji prześwietlań wysadów solnych*, Technika Poszukiwań Geologicznych, Geosynoptyka i Geotermia (w druku)
- Kasina Z., 2003, *Interpretacja prześwietlań sejsmicznych komora solna-powierzchnia ziemi - studium modelowe*, Geologia (Kwartalnik AGH), Wyd. Naukowo-Dydaktyczne (w druku)
- Leggett M., Sandham W. A., Durrani T. S., 1996, *3D horizon tracking using artificial neural networks*, First Break, vol. 14, no. 11, 413-418
- McMechan, G.A., L.Z. Hu, and D. Stauber, 1988, *Determination of salt proximity by wavefield imaging of transmitted energy*, Geophysics, 53, 1109-1112.
- Michael D., McCormack D., 1991, *Neural computing in geophysics*, The Leading Edge, vol. 10, no. 1, 11-15
- McCormack M. D., Zaucha D. E., Duschek D. W., 1993, *First-break refraction event picking and seismic data trace editing using neural network*, Geophysics, vol. 58, 67-78
- Meldahl P., Heggland R., Bril B., de Groot P., de Groot B., 2001, *Identifying faults and gas chimneys using multiattributes and neural networks*, The Leading Edge, no. 5, 474-482
- Wang L., Mendel J. M., 1992, *Adaptive minimum prediction-error deconvolution and source wavelet estimation using Hopfield neural networks*, Geophysics, vol. 57, 670-679
- Wilson W. G., Laidlaw W. G., Vasudevan K., 1994, *Residual statics estimation using the genetic algorithm*, Geophysics, vol. 59, 766-774
- Vasudevan K., Wilson W. G., Laidlaw W. G., 1991, *Simulated annealing statics computation using an order-based energy function*, Geophysics, vol. 56, 1831-1839
- Whitmore, N.D., and L.R. Lines, 1986, *Vertical seismic profiling depth migration of a salt dome flank*, Geophysics, vol. 51, 1087-1109

Summary

In the paper the main principles of the program of salt dome extent interpretation have been presented. The input data (traveltimes) are the results of transmission measurements between salt chamber and surface. The main features of the wave pattern of the transmission and refraction measurements have been discussed. The shallow refraction soundings were the base of the construction of velocity model of salt dome surroundings. The analysis of the program effectiveness have been realized using field data from measurements on three lines crossing the salt well. The idea of the proposed algorithm is to define the extent of salt dome around the well in the process of tracing seismic rays from each shot point located in the well to the receivers located on the surface. The tracing is continuing to that point of

ray trajectory for which the calculated traveltime is equal to measured traveltime with assumed precision. The program creates possibility to correct the parameters of the velocity field using the principle of continuity of dome boundary segments. It was stated that the velocity data available in the investigated area are too fragmentary and make it possible to interpret reliably the extent of salt dome only in the range of low and middle depths. In the paper the role of informatic tools in salt dome recognition have been discussed too. The application of neural networks and fractals to first breaks picking as well as application of neural networks to seismic trace editing has been considered. The role of global optimization algorithms including genetic algorithms and simulated annealing in the solution of the problem of static corrections has been presented too.

MALGORZTA MYCKE-DOMINKO¹

SYSTEMY INFORMACJI PRZESTRZENNEJ W LASACH POLSKICH JAKO JEDNO Z ZASTOSOWAŃ GEOMATYKI²

Słowa kluczowe:

GIS w leśnictwie, Numeryczna Mapa Ochrony Przeciwpowarowej Lasu

Abstrakt

Artykuł zawiera krótkie omówienie zastosowania Geograficznego Systemu Informacji Przestrzennej w leśnictwie polskim. W zarysie ujęto historyczny aspekt rozwoju zastosowań GIS w Lasach Państwowych. Na tym tle zaprezentowano jedno z zastosowań jakim jest Mapa Ochrony Przeciwpowarowej Lasu Nadleśnictwa Dobieszyn wykonana w Instytucie Badawczym Leśnictwa (IBL). Jest ona pierwszą mapą numeryczną o tej tematyce, zawierającą elementy leśnej mapy gospodarczej, jak i mapy ochrony przeciwpowarowej lasu, wzbogaconą o treść uzyskaną z klasyfikacji obrazu satelitarnego Landsat TM. Ponadto jest mapą rozbudowaną o aplikację umożliwiającą zlokalizowanie miejsca zaistniałego pożaru poprzez podanie azymutów z dwóch obserwacyjnych wież, a także pokazanie najkrótszej drogi z siedziby Straży Pożarnej do miejsca pożaru.

THE SYSTEMS OF SPATIAL INFORMATION IN POLISH FORESTS AS ONE OF THE APPLICATIONS OF GEOMATICS

Key words:

Forest Fire Prevention Map, GIS in Polish Forest

Abstract

At this article is presented The Numeric Map of the Forests Fire Prevention on the historical background evaluation of Geographical Information Systems in the Polish Forests. It is the first map which shows all elements necessary for during fire extinction actions. As an interactive map we can find the assumed point of fire thanks to the fixed two azimuths provided by the observation towers and the shortest routes to this point will be shown and expressed in kilometers.

¹Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Warszawa

²Od Redakcji. Artykuł zamieszczamy jako ilustrację zastosowań GIS w naukach leśnych nie będących przedmiotem badań Komisji Geoinformatyki PAU.

Geomatyka jest to nauka o informacji przestrzennej zlokalizowanej odniesionej do Ziemi, a także o sposobach i środkach technicznych zbierania, przechowywania, przetwarzania i udostępniania tej informacji w formie danych przestrzennych (Bartelme 1995). Na geomatykę składają się geodezja, fotogrametria, teledetekcja, systemy informacji przestrzennej, kartografia komputerowa.

Początków historii systemów informacji przestrzennej należy upatrywać w kartografii. W połowie wieku XVIII zaczęły powstawać dokładne mapy zasadnicze, a także pierwsze mapy tematyczne. Mapa stanowiła podstawę zarówno dla danych analitycznych, jak i statystycznych.

Na początku XXI wieku najbardziej dynamicznie rozwijają się systemy informacji przestrzennej.

Jednakże gwałtowny rozwój geomatyki nastąpił w połowie XX wieku wraz z rozwojem technologii komputerowej. Technologia zarządzania geoinformacją rozwijała się na pograniczu wielu dyscyplin. Były to systemy rysunkowe (grafika), systemy analityczne (narzędzia analizy przestrzennej) i systemy statystyczne (mechanizmy zarządzania bazą danych).

Rozwój geomatyki inspirowany przez potrzeby głównie użytkowników map związany był głównie ze służbami militarnymi. Rozwój Systemów Informacji Przestrzennej jako nauki wiąże się z badaniami przeprowadzanymi na uniwersytetach głównie amerykańskich i kanadyjskich i w instytutach naukowych. W Europie najsilniejszy rozwój miał miejsce w Holandii i w Niemczech.

Systemy Informacji Przestrzennej odniesione do naszego globu to Systemy Informacji Geograficznej. Termin ten definiuje się korzystając z wcześniej przyjętej terminologii angielskiej i amerykańskiej.

- **GIS jako system informatyczny** przeznaczony do pracy z danymi, które są odniesione do przestrzennych lub geograficznych współrzędnych. GIS jest systemem baz danych z możliwością przechowywania przestrzennie odniesionych danych oraz zbiorem funkcji przeznaczonych do przetwarzania tych danych (Star J., Estes J. 1990).
- **GIS jako zestaw narzędzi** jest zautomatyzowanym systemem do gromadzenia, przechowywania,

wyszukiwania, analizowania i wyświetlania danych przestrzennych (Clarke K. 1990).

- **GIS jako dziedzina nauki** to nowa, interdyscyplinarna dziedzina obejmująca geografie, kartografię, informatykę i matematykę i zajmująca się badaniami zarówno nad użytkowaniem, jak i teorią GIS (Goodchild 1993).

Można wyróżnić trzy główne cechy systemu GIS:

1. GIS udostępnia mechanizmy wprowadzania, gromadzenia i przechowywania danych przestrzennych oraz zarządzania nimi,
2. na podstawie zgromadzonych danych w bazie danych możliwe jest dokonanie analiz opierających się na relacjach przestrzennych między obiektami,
3. wyniki analiz mogą być przedstawione w postaci opisowej (tabelarycznej) lub graficznej (mapa, diagramy, wykresy, rysunki).

Prace nad systemami informacji przestrzennej w lasach trwają w Polsce od kilkunastu lat. Pierwsze projekty systemu informacji o terenie powstały na początku lat siedemdziesiątych. Były to trzy niezależne projekty o nazwie TEREN, które zakładały gromadzenie informacji o geometrycznych i przyrodniczych cechach terenu, w tym również obszarów leśnych. Znaczącym przedsięwzięciem było opracowanie koncepcji systemu BIGLEB, w oparciu o który powstało kilka podsystemów, w ramach których utworzono pełną bazę danych dla obszaru całego kraju. Szereg innych systemów rozwijanych w tamtym okresie, w tym SIT – System Informacji o Terenie, dotyczyło ewidencji wszystkich gruntów w kraju.

Historycznym momentem dla rozwoju systemów informacji przestrzennej w Polsce było seminarium naukowe, które odbyło się 6 lipca 1990 roku na Wydziale Leśnym SGGW w Warszawie. W jego następstwie powstało wtedy głównie na SGGW szereg prac naukowych dotyczących SIP w leśnictwie. W IBL dla nadleśnictw Hajnówka, Browsk, Białowieża wykonano wtedy mapy numeryczne, a dla Puszczy Kozienickiej mapę numeryczną wykonał Instytut Geodezji i Kartografii. Instytut ten wykonał również mapy dla nadleśnictwa Rudy Raciborskie i kilku nadleśnictw w Sudetach Zachodnich.

Na zlecenie Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych rozpoczęto prace nad zastosowaniem systemu informacji przestrzennej w leśnictwie. Kompleksowe systemy informacji przestrzennej zostały wykonane dla nadleśnictwa Brzeziny przez SGGW, dla nadleśnictwa Wipsowo i Ujsoły przez IBL. Należy również wspomnieć o wkładzie prac w SILP jaki miały: BULiGL, Politechnika Warszawska (doc. Wilkowski i dr Giedymin), Akademia Rolnicza we Wrocławiu (dr Lasota), Codima i ECOGIS sp. z o.o.

Dla potrzeb gospodarki leśnej powstawał od 1991 roku System Informatyczny Lasów Państwowych /SILP/, który zawiera jednolity, uporządkowany zbiór aktualnych informacji przyrodniczo-leśnych i techniczno-ekonomicznych, umożliwiający prawidłowe zarządzanie gospodarką leśną na poziomie nadleśnictwa, regionalnej dyrekcji Lasów Państwowych i Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych. System ten od 1996 jest praktycznie wdrażany na poziomie nadleśnictwa, a ostatnio na poziomie Regionalnych Dyrekcji LP. SILP składa się z pięciu modułów, które obsługują finanse i księgowość, kadry i place, gospodarkę terenową, infrastrukturę oraz gospodarkę leśną (moduł LAS).

Główną bazą wyjściową modułu LAS jest opis taksacyjny z pełnym adresem leśnym, który pozwala na łączenie baz tematycznych z bazami geometrycznymi systemu. Obecnie trwają prace nad modernizacją SILP I i założenia SILP II, w którym mapy numeryczne stanowią będą integralny składnik systemu.

Na szczeblu Dyrekcji Generalnej funkcjonuje Numeryczna Mapa Nadleśnictw Polski. W 1994 roku Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych zleciła Instytutowi Geodezji i Kartografii wykonanie tej mapy. Mapa ta oprócz zasięgów terytorialnych nadleśnictw zawiera m.in. warstwy parków narodowych, podział administracyjny kraju, rejonizację przyrodniczo-leśną, zasięg głównych gatunków drzew, zasięg kompleksów leśnych, zasięg Leśnych Kompleksów Promocyjnych, drogi, koleje, wody, miejscowości, siedziby nadleśnictw, hipsometrię. Mapa ta jest ciągle uzupełniana i aktualizowana.

W 2001 roku powstała najdokładniejsza w Polsce mapa o zasięgu krajowym tj. Mapa Kompleksów Leśnych, która znajdzie zastosowanie na wszystkich szczeblach

zarządzania. W nadleśnictwach wprowadzone zostały dodatkowe informacje, jak: granice terytorialnego zasięgu nadleśnictw i obrębów leśnych, dokładna lokalizacja siedzib nadleśnictw i RDLP, szczegółowe usytuowanie niektórych obiektów genetyki leśnej.

Unikalne oprogramowanie informatyczne powiązane z SILP-em i mapę numeryczną, na której zaznaczone są drzewostany nasienne wyłączone, drzewa doborowe i plantacje nasienne, posiada Leśny Bank Genów w Kostrzycy.

Przełomową datą w zakresie wprowadzenia map numerycznych i systemów informacji przestrzennej w leśnictwie polskim był rok 1997, kiedy w Waplewie odbyła się konferencja naukowo-techniczna nt. „Urządzanie lasu podstawą zrównoważonej gospodarki leśnej”. Powołano wówczas dwa zespoły: Zespół ds. Informacji Przestrzennej w Leśnictwie i Centralnego Banku Danych oraz Zespół ds. Przenoszenia Informacji pomiędzy Planem Urządzania Lasu a SILP. Określono wtedy kierunki, metodykę i etapy rozwoju SIP w leśnictwie.

Pierwsze próby wprowadzania GIS do lasów wraz z mapami numerycznymi, wdrożonymi w nadleśnictwach zostały poczynione w nadleśnictwie Świerklaniec (RDLP Katowice) w 1997, w nadleśnictwie Złotów (RDLP Złotów) w 1998/1999, w 1999 w nadleśnictwie Jawor (RDLP Wrocław) i Kliniska (RDLP Szczecin). W budowanym systemie informacji przestrzennej wykorzystano głównie mapy numeryczne, które wykonano w trakcie prac urzędzeniowych, większość w aplikacji LEMAN.

W 2000 roku wykonano mapy dla około 30 nadleśnictw. Mapy dla tych nadleśnictw wykonują: BULiGL, TAKSUS SI, KRAMKO). Mapy te zostały opracowane zgodnie z zarządzeniem Dyrektora Generalnego LP z dnia 28 czerwca 1999 r. Korzystanie z Systemu Informacji Przestrzennej w większości nadleśnictw odbywa się z wykorzystaniem przeglądarki MAPNIK firmy TAKSUS SI, która ma bezpośrednie połączenie z bazami alfanumerycznymi SILP. W kilku nadleśnictwach mapy pracują na programach GIS: ArcView lub MapInfo.

Wszelkie te opracowania mogłyby utworzenie standardu leśnej mapy numerycznej, który na zlecenie DGLP opracowała firma TAXUS SI. Opracowany projekt standardu zawiera następujące tezy:

- Struktura bazy graficznej powinna spełniać kryteria „systemu otwartego”, co umożliwi dodawanie nowych elementów systemu informacji przestrzennej.
- Leśna mapa numeryczna powinna posiadać treść mapy ewidencyjnej w powiązaniu z leśnym podziałem administracyjnym.
- Dokładność mapy powinna być możliwie wysoka.
- Baza geometryczna i opisowa stanowią integralną całość (umieszczone we wspólnej bazie danych).
- Obszar zainteresowania dotyczy całego zasięgu terytorium nadleśnictwa.
- Ustalenie docelowego jednolitego dla całej Polski układu współrzędnych elipsoidalnych GRS' 80.
- Możliwość wydruku mapy w określonej symbolice.

Projekt standardu został poddany testowaniu, aby ostatecznie móc zdefiniować standard leśnej mapy numerycznej dla poziomu nadleśnictwa. Mapy te posiadać będzie 439 nadleśnictw, które tworzone są w 10-letnim cyklu prac urzędniowych.

Testowane były nadleśnictwo Skarżysko przez oddział przemysły BULiGL i nadleśnictwo Dojlidy przez WL SGGW.

Na szczeblu regionalnej Dyrekcji LP trwają prace nad testowaniem projektu standardu Systemu Informacji Przestrzennej w RDLP Łódź. Wdrożenie SIP i SILP na tym szczeblu planuje się od poł. 2002 r. Dla Dyrekcji Generalnej LP wdrożenie standardu planuje się w 2002 roku.

Odnosnie Parków Narodowych prace trwają w 11 parkach. SIP I/lub mapy posiadają: Drawieński, Białowiecki, Biebrzański, Bieszczadzki, Kampinoski, Magurski, Pieniński, Poleski, Tatrzański i Wigierski. Zostały one wykonane przez różne instytucje i tylko Świętokrzyski PN posiada SIP wykonany zgodnie z projektem standardu przyjętego przez LP. Zaistniała sytuacja dotycząca PN wynika z braku koordynacji działań, braku środków finansowych, braku numerycznych wersji opisów taksacyjnych.

W przypadku Parków Krajobrazowych szereg z nich przystępuje do opracowywania SIP. Posiada je Zespół Jurajskich PK, Gostyński-Włocławski PK,

Mazowiecki PK i Kozienicki PK.

Dla rezerwatów przyrody standardy tworzenia SIP nie powstały. W zależności od zarządcy może być on opracowywany.

Przystąpienie Polski do NATO i perspektywa wstąpienia do Unii Europejskiej stwarza konieczność przyjęcia przez Polskę standardów tych organizacji. W przypadku NATO jest możliwa kompatybilność. W Unii Europejskiej nie ma jeszcze wypracowanych obowiązujących unormowań w tym zakresie.

Jednym z opracowań leśnej mapy numerycznej jest Mapa Ochrony Przeciwpowodziowej Nadleśnictwa Dobieszyn oraz uzupełniająca ją aplikacja „pożar”.

Mapa ochrony przeciwpowodziowej lasu posiada pełną treść analogowej mapy ochrony przeciwpowodziowej. Ponadto jest mapą aktywną i pozwala na odczytanie na ekranie komputera na bieżąco kompleksowej treści mapy, jak i na wyselekcjonowanie poszczególnych elementów oraz na przeprowadzenie bieżącej analizy lokalizacji pożaru i wyboru najkrótszej drogi dotarcia do niego. Mapa została wykonana w ramach prac badawczych Zakładu Ochrony Przeciwpowodziowej Lasu Instytutu Badawczego Leśnictwa.

Obszarem, dla którego została opracowana mapa, jest Nadleśnictwo Dobieszyn, znajdujące się w obrębie Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Radomiu.

Na mapie znajdują się te elementy, które są niezbędne z punktu widzenia ochrony przeciwpowodziowej lasu, jak i gaszenia pożaru, a także zabezpieczenia obszaru po pożarze.

Na mapie znajdują się:

- siedliskowy typ lasu,
- pokrywa siedliska,
- wyróżnik warstwy,
- gatunki drzew i krzewów,
- udział gatunku,
- gatunek podszytu,
- wiek poszczególnych gatunków w drzewostanie,
- zwarcie,
- stopień zadrzewienia
- pierśnica poszczególnych gatunków drzew w drzewostanie,
- wysokość poszczególnych drzew w drzewostanie.



Rys. 1. Fragment Mapy Ochrony Przeciwpowodziowej Lasu z zaznaczonym miejscem pożaru i drogami dojazdowymi.

Ponadto baza danych zawiera: numer gminy, numer leśnictwa, numer oddziału, literę wydzielenia i jego powierzchnię. W bazie danych umieszczono również operacyjne strefy zagrożenia pożarowego wg kategorii zagrożenia pożarowego oraz według ich numeracji.

Mapa zawiera także bazę o pożarach dla lat 1994-1999. Umieszczono tam pożary, jakie miały miejsce w poszczególnych dniach, miesiącach i latach, podając ich powierzchnię i straty.

Topograficznie zlokalizowano obiekty, które koniecznie musiały znaleźć się na tej mapie. Są to:

- wieże obserwacyjne /na terenie nadleśnictwa są dwie wieże/,
- siedziba nadleśnictwa,
- siedziby leśnictw,
- punkty czerpania wody,
- siedziba Państwowej Straży Pożarnej,
- siedziby Ochotniczych Straży Pożarnych,
- ciek wodny i wody powierzchniowe,
- sieć drożna (6 kategorii dróg) oraz drogi pożarowe.

Dołączona została również siatka współrzędnych. Jest ona adekwatna do podziału siatki kilometrowej, która znajduje się na Mapie Topograficznej Polski w skali 1:200 000 wydanej przez Wojskowe Zakłady Kartograficzne. Południkowo umieszczona jest numeracja cyfrowa, zaś równoleżnikowo literowa.

Opracowanie zostało wykonane przy wykorzystaniu oprogramowań: ARC/INFO, Arc View i ERDAS Imagine.

Opracowana mapa jest mapą w pełni kartometryczną (Odwzorowanie Gaussa-Krügera w systemie UTM /Universal Transverse Mercator/, układ współrzędnych „1942”), co pozwala w każdym jej punkcie na pomiar odległości, powierzchni, a także na podanie współrzędnych danego miejsca.

Mapę można połączyć z kompozycją barwną obrazu satelitarnego LANDSAT TM, /kanały 4,3,2/. Dla przedstawienia bardziej wyrazistej struktury pokrycia terenu dokonano klasyfikacji nadzorowanej tego zdjęcia. Warstwy te dają bardzo dobry obraz terenu znajdującego się poza powierzchnią leśną. Są idealnym tłem dla Mapy Ochrony Przeciwpowodzi Lasu, gdyż pokazują pokrycie terenu pozostałymi typami

użytkowania terenu. Dla uzyskania bardziej dokładnego obrazu terenu, jako tło może posłużyć też barwne zdjęcie lotnicze. Zdjęcia te bardzo szczegółowo pokazują strukturę wewnętrzną lasu, drogi i przecinki w lesie.

Dla tej mapy przy współpracy z Instytutem Geodezji i Kartografii utworzono aplikację „Pożar” pozwalającą na szybkie zlokalizowanie pożaru na podstawie podanych azymutów z dwóch wież, a także na określenie najkrótszej drogi dojazdowej od siedziby PSP lub OSP.

Jak dotychczas aplikacja ta jest jedynym takim rozwiązaniem dla tego rodzaju map. Jej zastosowanie pozwala na precyzyjne określenie miejsca pożaru wraz z pełną informacją o charakterze drzewostanu w miejscu pożaru, jak i w sąsiadujących oddziałach.

Pokazanie odległości, w tym również najkrótszej, jest bardzo istotne z punktu operacyjnej wartości mapy, gdyż pozwala na wybór optymalnego dojazdu zarówno pod względem długości, jak i szybkości dostarczenia jednostek gaśniczych.

Lokalizację miejsca pożaru określa się na podstawie podanych azymutów z dwóch wież obserwacyjnych. Po uruchomieniu aplikacji pożarowej w menu głównym na ekranie komputera pojawia się okienko dialogowe, w które należy wpisać kolejny azymut z pierwszej wieży i azymut z drugiej wieży. Wyznaczony przez te azymuty punkt będzie określony przez jeden z następujących komunikatów:

1. obserwowany punkt jest poza obszarem mapy.
2. obserwowany punkt znajduje się na terenie lasów prywatnych,
3. obserwowany punkt nie znajduje się na terenie leśnym,
4. obserwowany punkt jest oddalony od dróg.

W przypadku pojawienia się pierwszego komunikatu skrypt zostanie przerwany, w pozostałych trzech jest dalej kontynuowany. Odnośnie lokalizacji miejsca pojawi się wiadomość, na jakim terenie ten punkt jest zlokalizowany i jego położenie będzie zaznaczone sygnaturą.

Jeżeli punkt znajdzie się na obszarze lasów państwowych, to na mapie rozwinie się ponownie okienko dialogowe, w którym wyświetlą się informacje o lokalizacji punktu, jego koordynatach, w której strefie

pożarowej się on znajduje, a także wszystkie informacje, które były umieszczone w bazie danych dla tego wydzielenia oraz dla wydzielen, które znajdują się w najbliższym sąsiedztwie zlokalizowanego punktu. Tutaj również standardowo wyznaczone miejsce domniemanego pożaru wyświetla się jako sygnatura kołowa, a wyselekcjonowane sąsiadujące z danym punktem wydzielenia są podświetlone kolorem żółtym. W nagłówku mapy wyświetlają się też współrzędne zlokalizowanego punktu.

Na mapie można również wywołać drogi najkrótszego dojazdu do miejsca pożaru z najbliższej i sąsiednich siedzib Straży Pożarnej. Wyniki pojawiają się w tabeli rezultatów uszeregowane od najkrótszej drogi do najdłuższej. Jeśli miejsce pożaru jest oddalone od drogi, to pojawi się wtedy odpowiedni komunikat /punkt oddalony jest od drogi/, a na mapie będzie uwzględnione miejsce na najbliższej sąsiadującej drodze. Wyselekcjonowana najkrótsza droga od najbliższej Straży Pożarnej wyświetli się standardowo w kolorze żółtym, a wybrane wszystkie pozostałe będą zaznaczone kolorem niebieskim. Odległości te podane są w metrach.

Na podstawie aktywnie wybranego punktu ewentualnego miejsca pożaru można prześledzić jego najbliższe otoczenie, jak i określić drogę, a na jej podstawie ewentualny czas dotarcia jednostek Straży Pożarnej.

Możliwość zmiany skali mapy pozwala na szczegółowy obraz wyszukanego miejsca, a wyświetlane okna informacyjne z rezultatami poszukiwań wyświetlają się równocześnie z obrazem mapy. Zależnie od potrzeby użytkownika może on dostosować ilość wyświetlanych informacji w zależności od swoich potrzeb poprzez dołączanie kolejno wybieranych warstw lub ich wyłączenie. Zaś wizualny obraz grafiki mapy uczytelnia się i uwypukla się poprzez zmianę barw, czy sygnatur wybranych elementów.

Bibliografia

- Bartelme N., 1995, *Geoinformatik - Modelle, Strukturen, Funktionen*. Springer-Verlag Berlin.
- Botul K., 1996, *Budowa geometrycznej bazy danych systemu informacji przestrzennej na przykładzie Nadleśnictwa Wipsowo*, Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, seria B, nr 26, IBL Warszawa.
- Clarke K., 1990, *Analytical and Computer Cartography*, Prentice Hall.
- Goodchild M. (red.), 1993, *Environmental Modelling with GIS*, Oxford University Press, Oxford.
- Karaszkiewicz W., Korpetta D., Olenderek H., Olenderek T., 1999, *System map leśnych jako konsekwencja wdrażania SIP w leśnictwie polskim*, Systemy Informacji Przestrzennej, IX Konferencja Naukowo-Techniczna, Warszawa 14-15 września 1999.
- Korpetta D., Nowicki A., 1996, *Budowa geometrycznej bazy danych systemu informacji przestrzennej dla nadleśnictwa*, Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, seria B, nr 26, IBL Warszawa.
- Mozgawa J., Piekarski E., Olenderek H., Będkowski K., 2000, *Fotogrametria i teledetekcja w leśnictwie w Polsce*, Fotogrametria, teledetekcja i GIS u progu trzeciego tysiąclecia, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji vol.10, Kraków.
- Okla K., Zawila-Niedzwiecki T., 1999, *Systemy Informacji Przestrzennej w leśnictwie i ochronie przyrody*, Prace Instytutu Geodezji i Kartografii t.XLVI, zeszyt 100, Warszawa.
- Okla K. (red.) 2000, *System Informacji Przestrzennej w lasach państwowych – podręcznik użytkownika leśnej mapy numerycznej*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe S.C., Warszawa.

Okla K., 2001, *Wdrażanie systemu informacji przestrzennej w Lasach Państwowych*, Systemy Informacji Przestrzennej, XI Konferencja Naukowo-Techniczna, Warszawa 28-30 maja 2001.

Olenderek H., 1996, *Stan prac nad systemami informacji przestrzennej w Polsce*, Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, seria B nr 26, IBL Warszawa.

Olenderek H., Okla K., 2000, *Systemy informacji przestrzennej w leśnictwie*, Systemy informacji przestrzennej, X Konferencja Naukowo-Techniczna, Zegrze k. Warszawy 12-14 czerwca 2000.

Starr J., Estes J., 1990, *Geographic Information Systems: An Introduction*, Prentice Hall.

Wisniński S., 1996, *System informacyjny Lasów Państwowych*, Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, seria B nr 26, IBL Warszawa.

Wydział ds. Systemu Informacji Przestrzennej LP, Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, www.lasypanstwowe.gov.pl/sip

Zajączkowski J., Plutecki W., 2001, *Wykorzystanie systemu informacji przestrzennej w modelowaniu rozwoju pożaru lasu*, Systemy Informacji Przestrzennej, XI Konferencja Naukowo-Techniczna, Warszawa 28-30 maja 2001.

Summary

Geomatics is the science about the spatial situation referred to the Earth and also ways and resources of technical assembling, storing, processing and rendering of this information of spatial data.

The spatial information system referred to our globe is the Geographical Information System. In Poland we define this term using English and American terminology.

- The Geographical Information System – is a computer designed system to work with data, which are referred to spatial or geographical coordinates. GIS is a system with a possibility of gathering, storing information to processing it to design a function, which in the future can serve different purposes.
- The Geographical Information System is a set of tools, on automated system to accumulate, store, find, analyze and project spatial data.
- The Geographical Information System is a new field of science, an interdisciplinary branch of geography, cartography, computer science and mathematics.

Works on the above Systems of Spatial Information in forests have been conducted in Poland for a dozen or so years. Projects were written at the Academy of Agriculture, the Institute of Geodesy and Cartography and the Forest Research Institute. From 1994 the General Directorate of the National Forest made the Institute of Geodesy and Cartography responsible for the realization of a Forest Numeric Map. On this basis some specialized Polish companies (BULIGL, TAKSUS SI, KRAMKO) made the first maps for Forest Inspectorates. These maps included all the information about the state forests, however excluding private forests.

A special kind of numeric map was made in the Forest Research Institute by the Forest Fire Protection Department. Its map was created for the Dobieszyn Forest Inspectorate in the central part of Poland. On this map these are such elements, which are indispensable from the point of view of the forest fire protection. Many layers give such data as: potential forest site type, stratum discriminant, tree species, age of stand, height of

the stand, crowns density and stand stocking, and others. Also all roads (surfaced and unsurfaced), appointed places where fire brigades can take water, observation towers, localization of the fire brigades seats.

This map is an interactive map and forest fire brigades can use it during fire extinction actions. They can find the assumed point of fire thanks to the fixed two

azimuths which have been provided by the observation towers. All proprieties surrounding the forest are shown in supplementary tables. From the point of fire the shortest way to the fire brigade site will be marked and all the remaining routes to this point will be shown and expressed in kilometers.

JAN R. OŁĘDZKI¹

OBRAZY SATELITARNE PODSTAWĄ REGIONALIZACJI GEOGRAFICZNEJ ZASTOSOWANIA TELEDETEKCJI W BADANIACH REGIONALNYCH

Słowa kluczowe:

zdjęcia lotnicze, obrazy satelitarne, struktura środowiska, regionalizacja

Abstrakt

W artykule przedstawiono rozwój badań nad zastosowaniem zdjęć lotniczych i satelitarnych w analizie struktury środowiska. Badania wykazały, że zdjęcia lotnicze, a szczególnie fotomosaiki, ukazują jednostki strukturalne środowiska i wzajemne powiązania między przyrodniczymi i antropogenicznymi komponentami środowiska. Obrazy satelitarne umożliwiają prowadzenie tego rodzaju badań w skalach od lokalnej poprzez regionalno- kontynentalne do globalnej. W artykule przedstawiono badania, w których do analizy struktury środowiska Polski i Europy wykorzystano obrazy z satelitów NOAA, LANDSAT i SPOT.

SATELLITE IMAGES AS A BASIS FOR GEOGRAPHIC REGIONALISATION

Key words:

aerial photographs, satellite images, structure of the environment, regionalisation

Abstract

The paper outlines the development of research on the application of aerial photographs and satellite images in the analysis of environmental structure. The research indicates that aerial photographs, and photomosaics in particular, provide a comprehensive rendition of the environment, showing interrelationships between natural and anthropogenic components. This has, in turn, originated similar research using satellite images. The paper discusses the application of images from NOAA, LANDSAT and SPOT satellites to describe the regional structure of the environment of Central Europe and Poland.

¹Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych-Zakład Teledetekcji Środowiska

Rozwój teledetekcji i jej zastosowań w badaniach różnych aspektów środowiska, przyczynia się do lepszego zrozumienia struktury środowiska i praw rządzących jego funkcjonowaniem.

Teledetekcja w połączeniu z systemami informacji geograficznej, w wyniku integracji tych dwóch technologii tworzy nową dziedzinę wiedzy, którą nazywam **telegeoinformacją**, pozwala ona na nowo spojrzeć na środowisko i na nowo przeanalizować szereg starych problemów z zakresu nauk o środowisku.

Jedną z możliwości wykorzystania danych teledetekcyjnych do badania struktury środowiska było ich

zastosowanie w odniesieniu do aspektów rolniczych. Opracowanie takie wykonał F. J. Marschner (1959). Wyznaczono w nim, na podstawie małoskalowych zdjęć lotniczych, struktury przestrzenne związane z użytkowaniem ziemi w Stanach Zjednoczonych. Zdjęcia małoskalowe redukują bowiem zawilosci terenowe, widoczne na zdjęciach w większych skalach, co umożliwia skupienie się, nie na szczegółach, ale na regionalnych prawidłowościach przestrzennych, umożliwiając tym samym wyznaczanie większych obszarów o podobnych cechach środowiska i podobnym sposobie jego użytkowania. Kontynuacją tego kierunku badań było

Tabela 1. Struktury środowiska według danych satelitarnych, według wybranych autorów.
Table 1. Environmental structure research based on satellite data, by selected authors.

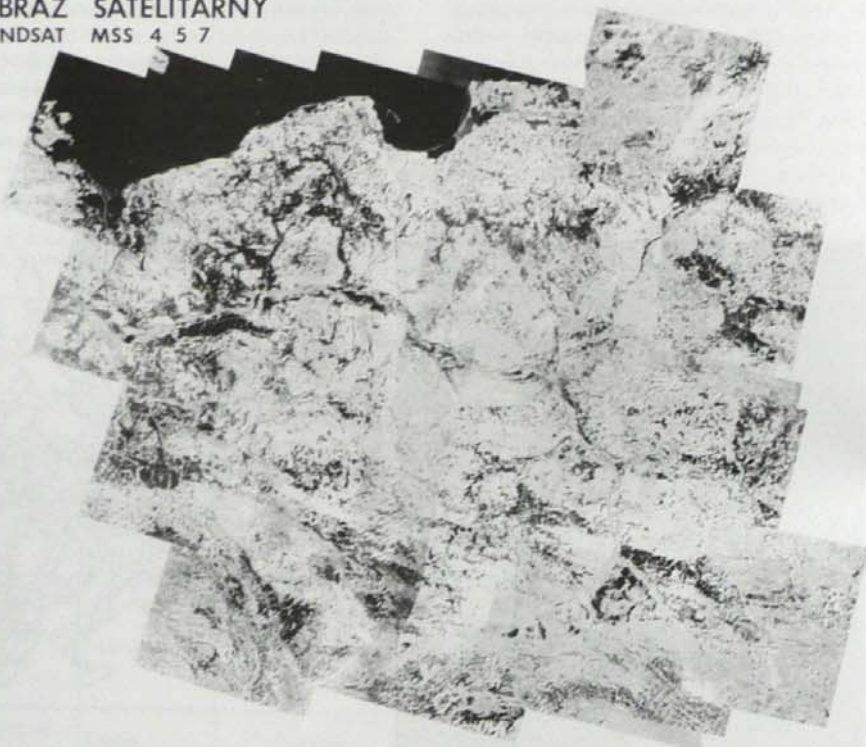
Autor Author	Rodzaj obrazów Type of images	Skala Scale	Badany obszar Area	Liczba stopni podziału Numbers of levels	Geograficzna istota wydzielonych jednostek przestrzennych Geographical nature of isolated spatial units
S.A. Aldrich in., 1971.	Meteorologiczne Meteorological	1:1500000-1:2000000	Północna Kanada North Canada	1	Strefy roślinności Vegetation zones
A.A. Grigoriew, 1975	Meteorologiczne Meteorological	1:3000000-1:7000000	Zachodnia część USA West part of USA	1	Regiony fizycznogeograficzne Physical geographic regions
G.B. Burow, 1984	Meteorologiczne Meteorological	1:2000000-1:4000000	Fragmenty ZSRR Part of Soviet Union	1-2	Kompleksy przyrodniczo-terytorialne Natural and territorial complexes
P. Laut i in., 1977	Landsat	1:1000000	Południowa Australia South Australia	3	Asocjacje środowiskowe, mezoregiony fizycznogeograficzne Environmental association, Physical geographic mezoregions
H. Haefner, i in., 1978	Landsat	1:1000000	Jemeńska Republika Arabska Yemen	3	Regiony fizycznogeograficzne Physical geographic regions
T.H. Lee i in., 1980	Landsat	?	USA	1	Jednostki typologiczne Typological units
Chao Sung-chi, 1984	Landsat	?	Chiny China	2	Jednostki krajobrazowe Landscape units
H. Barsch i in., 1984	Wielospektralne (MKF-6 i Fragment) Multispectral MKF-6 and Fragment-multispectral scanner	?	NRD German Democratic Republic	1	Jednostki krajobrazowe średnie rangi Landscape units medium ranks
E. Lambin, 1986	Landsat	1:1000000	Burkina Faso	1	Regiony geograficzne Geographic regions



Ryc. 1. (A) – Obraz satelitarny Europy, na podstawie danych z AVHRR (NOAA), opracowany w NRSC, Wielka Brytania; i (B) jego podział na jednostki fotomorficzne.

Fig. 1. The satellite image of Europe, on the basis of data from AVHRR (NOAA), elaborated by NRSC, Great Britain; and (B) its breakdown into the photomorphomic units.

POLSKA
OBRAZ SATELITARNY
LANDSAT MSS 4 5 7



Ryc. 2. Obraz satelitalny Polski, na podstawie czarno-białych reprodukcji kompozycji barwnych MSS Landsat.
Fig. 2. The satellite image of Poland, on the basis of black-and-white reproductions of the colour MSS Landsat compositions.

opracowanie regionalizacji fragmentu terytorium Chile, która ujmowałaby zarówno komponenty przyrodnicze środowiska, jak i sposób jego użytkowania, zwłaszcza przez rolnictwo. Konieczność wykonania takiej regionalizacji wynikała z potrzeby podjęcia prac nad typologią obszarów wiejskich tego kraju. Chciano opracować metodę wyznaczania jednostek przestrzennych, przystosowaną do operowania dużą ilością informacji już dostępnych z map tematycznych, jak również umożliwiającą wprowadzanie nowych danych, które byłyby uzyskiwane w przyszłości. Uważano, że zdjęcia lotnicze dostarczają wiedzy na temat praktyk rolniczych w poszczególnych typach terenu. Najbardziej przydatnymi do tego celu okazały się fotomosaiki w skali 1:100 000. D.D. Mac Phail (1971) zauważył wówczas, że obrazy takie przedstawiają kompozycje geometryczne działek pól uprawnych, sieci hydrograficznej, budowy geologicznej, wilgotności gruntu i szaty roślinnej. Elementy te tworzą na obrazach lotniczych określone, przestrzennie wyróżniające się, jednostki powierzchniowe charakteryzujące się jednolitością fototonu oraz struktury i tekstury obrazu. Fototon zmienia się w zależności od form użytkowania terenu, fototekstura zaś odzwierciedla strukturę własnościową pól uprawnych i osadnictwa, i jest ściśle uzależniona od zróżnicowania rzeźby terenu. Po raz pierwszy pojawił się wówczas termin „obszar fotomorficzny”. D. D. Mac Phail (1971) uważał, że pojęcie to dobrze charakteryzuje jednostki przestrzenne, do których można odnosić informacje na temat charakteru terenów rolniczo-wiejskich, i że obszary takie mogą być przedmiotem kartowania geograficznego. Wykazano wtedy bardzo dobitnie „zintegrowany” charakter zdjęcia lotniczego – jako nośnika informacji o środowisku i jego strukturze. Tym samym wykazano, że zdjęcia lotnicze są użytecznym narzędziem diagnostycznym w badaniach regionalnych. Mapy takich „obszarów fotomorficznych” mogą być używane jako wstępne konstrukcje kartograficzne do analizy ilościowej występowania danego zjawiska. „Obszary fotomorficzne” są zewnętrznym przejawem korelacji między różnymi komponentami środowiska i ich elementami. W przypadku Chile stwierdzono, że „obszary fotomorficzne” odzwierciedlają powiązania między użytkowaniem ziemi, typami gleb, rzeźbą oraz różnymi cechami topograficznymi, mogą więc stanowić podstawę deli-

mitacji krajobrazów lub typów terenu.

Nowe możliwości wykorzystania danych teledetekcyjnych w badaniach regionalnych pojawiły się wraz z dostępnością do obrazów satelitalnych, najpierw satelitów meteorologicznych, a następnie satelitów „środowiskowych” (Grigoriev, 1975). Zestawienie opracowań, w których wskazywano na możliwość wykorzystania obrazów satelitalnych w badaniach struktury środowiska, przedstawiono w tab. 1.

Początkowo niedoceniane w badaniach geograficznych, obrazy z satelitów NOAA pozwoliły na opracowanie dość dokładnej mapy struktury środowiska kontynentu europejskiego. Wykorzystano do tego celu obrazy AVHRR o zdolności rozdzielczej w punkcie nadziowym 1,1 km a na skrajach sceny 6,9 km, w wersji opracowanej przez National Remote Sensing Center (NRSC) w Wielkiej Brytanii w skali 1:3500000 w postaci obrazu EUROPE. Na podstawie tego obrazu wydzielono dla Europy jednostki fotomorficzne, które mogą być uznane za równoważne regionom, podprovincjom i prowincjom geograficznym (Olędzki, 1986). Ryc. 1. przedstawia wyżej wymieniony obraz i jego podział na jednostki regionalne.

Z chwilą pojawienia się w roku 1972 obrazów satelitalnych z satelitów Landsat, a zwłaszcza obrazów ze skanera MSS powstała możliwość zastąpienia pomniejszenia i mozaikowania zdjęć lotniczych, przez obrazy satelitarne w skali 1:250 000. Skala ta okazała się być bardzo przydatna do opracowań regionalnych. Rozdzielczość przestrzenna obrazów wynosząca 79 m, bardzo wysoka, jak na tamte czasy, była na tyle niska, że zacierala szczegóły terenowe, utrudniając badania regionalne, ujawniając tym samym określone prawidłowości występujące na większych przestrzeniach. W Zakładzie Teledetekcji Środowiska Uniwersytetu Warszawskiego opracowano, jeszcze metodą analogową, pierwszą w Polsce mozaikę obrazów satelitalnych w skali 1:1000000, w postaci czarnobiałej. Powstała ona w wyniku połączenia czarnobiałych reprodukcji barwnych kompozycji MSS (Olędzki, 1988), ryc. 2.

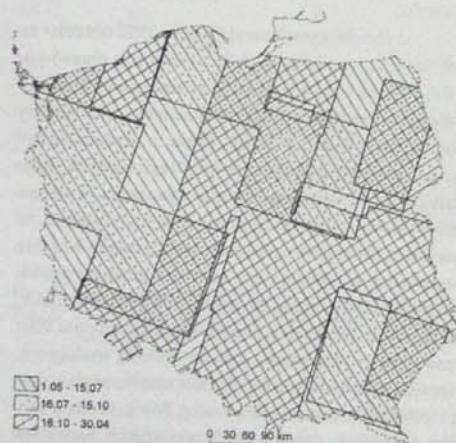
Mozaika ta uwidoczniła zróżnicowanie pokrycia terenu Polski, nawiązując do zróżnicowania środowiska. Powstała wówczas myśl, aby dokładnie przeanalizować obrazy satelitarne – kompozycje barwne MSS,

w celu wyróżnienia na nich „obszarów fotomorficznych”, które nazwano „jednostkami fotomorficznymi”.

Charakterystyka kompozycji barwnych MSS dla obszaru Polski

Do analizy wykorzystano 40 obrazów w skali 1:250 000, z satelitów Landsat-1, -2 i -3. Były one wykonane w latach 1973, 1975-1979. Zróżnicowanie czasowe pozyskania tych obrazów przedstawia ryc. 3. 60% obrazów pochodziło z okresu późna wiosna – lato; 35% z późnego lata i jesieni i 5% z miesięcy zimowo wiosennych. Dysponowano również pewną liczbą obrazów czarnobiałych – z różnych kanałów MSS, a także obrazami z satelitów sowieckich. Czarnobiałe obrazy traktowane były jako materiał pomocniczy i uzupełniający.

Jakość większości obrazów należy ocenić jako dobrą i bardzo dobrą. 47,5 % wykonanych było przy bezchmurnym niebie, większość pozostałych obrazów charakteryzowała się zachmurzeniem poniżej 10% powierzchni zdjęcia.



Ryc. 3. Pokrycie Polski obrazami satelitarnymi wykonanymi z satelitów Landsat -1, -2, -3, w poszczególnych okresach roku, w latach 1973-1979.

Fig. 3. Coverage of the territory of Poland with the satellite images taken from the Landsat -1, -2, -3 satellites in particular periods of the year, in the years 1973-1979.

Do pokrycia powierzchni Polski wystarcza 20 obrazów MSS. Rozporządzając 40 obrazami możliwe było analizowanie tego samego obszaru w różnych porach roku. Umożliwiło to stwierdzenie faktu, że niezależnie od pory roku (poza śnieżną zimą) w jakiej wykonane były obrazy, granice wyróżnianych jednostek regionalnych są stabilne i nie wykazują istotnych przesunięć. Oceniono również kartometryczność tych obrazów, co było istotne ze względu na to, że mozaiki obrazów i kalelek interpretacyjnych zestawiano w sposób analogowy. Średni błąd odległości na analogowym obrazie satelitarnym wynosił 0,25%, co dla 100 km daje 25 m w terenie. Przekłada się to na wartość 0,1 mm na obrazie w skali 1:250 000, w jakiej były opracowywane zdjęcia.

Mimo różnych sezonów w jakich wykonane były obrazy satelitarne MSS, zarówno ich jakość, jak i ich kartometryczność uznano za w pełni wystarczającą do sporządzenia podziału Polski na jednostki fotomorficzne, które w wyniku analizy ich powiązania z komponentami środowiska uznano za regiony fotomorficzne.

Pojęcie regionu fotomorficznego

W interpretacji obrazów teledetekcyjnych istnieją dwa podejścia do rozwiązywania problemów badawczych, opierające się o dwie główne metody prowadzenia badań naukowych. Wybór metody uzależniony jest od celu badań. Jednym jest podejście indukcyjne – wychodzące od analizy poszczególnych faktów obserwowanych na obrazach i na tej podstawie wyprowadzanie wniosków dotyczących pojedynczych komponentów środowiska, które w dalszych rozważaniach są uogólniane. Drugie podejście posługujące się metodą dedukcji, wychodzące od ogólnych przesłanek prowadzi do wniosków szczegółowych i różnego rodzaju podziałów znaczeniowych. Przy podejściu dedukcyjnym obraz teledetekcyjny traktowany jest jako zbiór możliwych do przedstawienia w jednym ujęciu faktów, odnoszących się do różnych komponentów środowiska. W obrazie takim nakładają się niejako „warstwy danych” odnoszące się do poszczególnych komponentów środowiska. Zagęszczenie danych odnoszących się do jednego komponentu środowiska wypukla element lub zbiór

elementów tego komponentu, przyczyniając się do tego, że obraz teledetekcyjny, dla konkretnego miejsca niesie więcej informacji o tym komponentcie niż o innych, które w mniejszym stopniu mogą uwzewnętrzniać na nim swój charakter, a często mogą być badane tylko drogą wnioskowania pośredniego.

Uwzględniając powyższe założenia można stwierdzić, że już przy wstępnym oglądaniu obrazów teledetekcyjnych, oddają one w jakimś stopniu zróżnicowanie środowiska. Obraz taki dzieli się na powierzchnie różnej wielkości, mające różny charakter względem powierzchni sąsiednich. Wynika to stąd, że obraz poszczególnych fragmentów terenu kształtowany jest zgodnie z wypadkową ważności poszczególnych komponentów środowiska, znajdującą swój wyraz obrazowy. Komponent najważniejszy – przewodni odwzorowywany przez największą liczbę cech interpretacyjnych, tworzy zewnętrzny wygląd danej jednostki terytorialnej – jej fizjonomię. Obraz taki raz będzie oddawał rzeźbę, innym razem panujące na danym terenie stosunki wodne, zróżnicowanie roślinności, użytkowanie ziemi, czy nawet stosunki społeczno-ekonomiczne i przeszłość polityczno-administracyjną danego terytorium (Olędzki, 1975). Każdy z komponentów środowiska ma swój określony udział w tworzeniu takiego a nie innego obrazu danego terytorium.

Obrazy teledetekcyjne powierzchni Ziemi należy traktować nie tylko jako statyczny zbiór cząstkowych obrazów poszczególnych komponentów środowiska. Są one obrazem dynamicznym pokazującym związki i wzajemne zależności między nimi. Umiejętność odczytywania tych związków wymaga dobrej znajomości całości kształtu praw rządzących środowiskiem przyrodniczym.

Cały zapis informacji geograficznej w obrazach teledetekcyjnych, zarówno analogowych, jak i cyfrowych tworzonej jest przez trzy elementy, będące jednocześnie bezpośrednimi cechami fotointerpretacyjnymi. Są to fototon (lub barwa) na obrazie fotograficznym i poziom sygnału piksela obrazu cyfrowego oraz fototekstura i fototekstura. Wszystkie inne cechy interpretacyjne wyrażone w różnego rodzaju opracowaniach i podręcznikach są pochodnymi zapisu tych trzech cech. Z ich analizą i oceną mamy do czynienia przy każdym oglądaniu obrazów zapisanych techniką fotograficzną lub

„półtonową” techniką cyfrową. Cechy te można oceniać w aspekcie zarówno jakościowym, jak i ilościowym. Przy ocenie jakościowej posługujemy się określeniami przymiotnikowymi: dla fototonu są to odcienie szarości od białego do czarnego; dla fototekstury wprowadza się określenie wielkości elementu jednorodnego pod względem fototonu oraz jego kształtu, a dla fototekstury, określone przestrzenne uporządkowania elementów strukturalnych.

Poprzez określone związki barwy lub fototonu, fototekstury i fototekstury z komponentami i elementami środowiska odzwierciedlają one faktyczne – rzeczywiste zróżnicowanie struktury środowiska i mogą przez to stanowić podstawę do prowadzenia różnego rodzaju podziałów terytorialnych – regionalizacji.

Metodyka wyróżniania regionów fotomorficznych

Przeprowadzenie podziału Polski na regiony fotomorficzne poprzedzone było szeregiem prac, badających możliwości wykonania takiego podziału i jego sensowności (Mierzwińska, 1981; Bychawski, 1982; Czyż, 1982; Kozubek, 1984; Olędzki, 1983; 1992; Hernik, 1998). Z badań tych wynikało, że obrazy satelitarne z satelitów LANDSAT, na których przedstawiona była Polska, dawały dostatecznie dużo informacji o środowisku, a także odzwierciedlały strukturę tego środowiska, mogły więc stanowić podstawę do wyróżniania jednostek regionalnych.

Przyjęto dedukcyjną metodę budowania podziału o trzech stopniach hierarchii. Kryterium wyróżniania jednostek oparte było o cechy fotomorficzności i wynikało ze zdefiniowanego wyżej pojęcia regionu fotomorficznego.

Słowne zdefiniowanie linii rozgraniczających obszary uznane jakościowo za jednorodne jest dość trudne. Pewnym, przybliżonym wyjaśnieniem toku postępowania, może być opis wyróżniania takich regionów w północnej Polsce. Na przykład na danym obszarze występują dość często jeziora, których brak jest na innych obszarach. Zagęszczenie ich występowania, przestrzenne ułożenie i charakter powierzchni, daje możliwość poprowadzenia granicy między takimi obszarami.

Podobnie jest w przypadku występowania ciemnoczerwonych i szaroczerwonych plam odpowiadających lasom (analizę prowadzono na kompozycjach w barwach umownych). Innym przykładem może być występowanie większych zgrupowań wielkopowierzchniowych działek gruntów rolnych. Występowanie elementów wymienionych w dwóch pierwszych przykładach nie jest przypadkowe i ma określony sens przyrodniczy. Rozgraniczenie tego rodzaju powierzchni to nie tylko wyznaczenie określonych typów użytkowania ziemi, ale także wyróżnienie określonych obszarów przyrodniczych. Także rozmieszczenie i ukierunkowanie działek gruntów rolniczych jest uwarunkowane przyrodniczo, na przykład mogą one nawiązywać do form rzeźby lub układów sieci hydrograficznej, głębokości występowania wód podziemnych itp. Formy użytkowania terenu lub jego pokrycia stanowiły kryterium dla wyróżnienia jednostek regionalnych I rzędu.

Dalszy podział prowadzono w obrębie wyróżnionych jednostek I rzędu. Wyróżniając jednostki II rzędu, zwracano uwagę na cechy, które różnicowały wewnętrznie większe jednostki. Liniami granicznymi były tu często linie morfologiczne, a zwłaszcza wyraźnie widoczne linie dolin rzecznych.

Kolejnym etapem było podzielenie jednostek II rzędu na jednostki regionalne III rzędu. Przyjęto, że przy ich wydzielaniu podstawą były kryteria wymienione wyżej, ale występujące w mniejszym natężeniu.

Podział prowadzono na poszczególnych „scenach” obrazów satelitarnych, z których każdy obejmował 36 000 km².

Przy prowadzeniu granic regionów fotomorficznych pojawiały się trudności związane z podjęciem decyzji odnośnie zaliczenia jakiegoś terytorium, do jednego z wyróżnianych regionów. Problemy stwarzała, mimo wszystko, zbyt duża szczegółowość obrazów satelitarnych. Wymagało to sztucznego obniżenia szczegółowości obrazu satelitarnego poprzez nakładanie na niego półprzezroczystej folii. Uniemożliwiała ona dostrzeganie szczegółów, a tym samym lepiej była widoczna wewnętrzna zawartość wydzielanej jednostki.

Obiektywizację wyznaczonych granic uzyskano, tam gdzie było to możliwe, przez analizę kilku obrazów wykonanych w różnym czasie.

Mapę regionów fotomorficznych dla całej Polski osiągnięto przez montaż pomniejszonych fotograficznie kalek interpretacyjnych na jednym wspólnym podkładzie. Finalnym produktem tego etapu badań było zestawienie mapy w skali 1:750 000, ryc. 4.

Charakterystyka podziału regionalnego Polski

Łącznie, dla Polski wydzielono dwanaście jednostek I rzędu – makroregionów o powierzchni od 1378 km² do 136 741 km², przy średniej wielkości regionu wynoszącej 25 057 km². 50 mezoregionów II rzędu o średniej powierzchni wynoszącej 6 254 km². Jednostek regionalnych III rzędu wydzielono 519, o średniej powierzchni 602 km².

37% regionów fotomorficznych ma powierzchnię poniżej 300 km², 46% ma powierzchnię od 301 do 1000 km² i 17% regionów ma powierzchnię od 1001 do 5200 km². Wydzielone regiony zostały uporządkowane przez odpowiednie kodowanie. Przyjęto dziesiętny system numeracji. Kod 5.10.17. oznacza że mikroregion znajduje się w 5 makroregionie, 10 mezoregionie, w którym ma numer porządkowy: 17. Każdej jednostce nadano również nazwę geograficzną. W większości nawiązują one do nazewnictwa fizyczno-geograficznego, chociaż część nazw ma charakter historyczny. Ponieważ regiony fotomorficzne obejmują swymi granicami obszary różne od terenów wydzielanych w różnego rodzaju podziałach geograficznych i innych, ich nazewnictwo siłą rzeczy nie może ściśle odpowiadać zakresom terytorialnym obejmowanym przez stosowane przez te podziały nazwy. Przyjęto więc pewną umowność w nadawaniu regionom fotomorficznym określonych nazw. W przypadku gdy znaczna część regionu fizyczno-geograficznego wchodziła w obręb regionu fotomorficznego – przyjmowano nazwę fizyczno-geograficzną. Często nazwy regionów fotomorficznych łączą w sobie terminologię krajoznawczą, geomorfologiczną lub inną opisową z nazwą większej miejscowości lub innego obiektu geograficznego. Nazewnictwo to należy zatem traktować w kategoriach umownych. W przybliżeniu opisuje ono fizjonomię i charakter geograficzny, a także lokalizację wydzielonego regionu fotomorficznego. Pełen wykaz i nazewnictwo regionów fotomorficznych



Ryc. 4. Mapa regionów fotomorficznych Polski
Fig. 4. The map of photomorphological regions of Poland.

Polski zamieszczono w monograficznym opracowaniu – *Regiony fotomorficzne Polski* (Olędzki, 2001).

Istotność geograficzna regionów fotomorficznych

Dla wybranych regionów fotomorficznych: Pogórze Karpackie, Wyżyny Krakowskiej oraz Podlasia, przeprowadzono analizę ich jednorodności pod względem budowy geologicznej (*Mapa geologiczna*

Polski w skali 1:200 000; *Przeglądowa mapa geologiczna Polski* w skali 1:300 000, 1947-1952); rzeźby (*Przeglądowa mapa geomorfologiczna Polski*); hydrogeologii (*Przeglądowa mapa hydrogeologiczna Polski* w skali 1:300 000, 1955-1963); gleb (*Mapa gleb Polski* 1:300 000, 1961) i użytkowania ziemi (*Polska, użytkowanie ziemi* 1:500 000, 1980).

Podobną ocenę wykonano dla podziału terytorium Polski na regiony fizyczno-geograficzne według J. Kondrackiego (1977), który to podział uwzględnia ze swej

natury w sposób kompleksowy komponenty przyrodnicze środowiska. Porównanie regionów z obu podziałów powinno wykazać, czy regiony fotomorficzne mogą w sposób zadawalający charakteryzować delimitowane przez nie obszary i w jakim stosunku pozostaje ich jednorodność do regionów fizyczno-geograficznych. Wyniki tego porównania ilustruje ryc. 5. Regiony fotomorficzne wykazują się ogólnie większą jednorodnością w odniesieniu do komponentów przyrodniczych, a dodatkowo jeszcze pokazują użytkowanie ziemi jako komponent antropogeniczny. Tak więc *de facto* można je traktować jako regiony geograficzne, ujmujące zarówno aspekty fizyczno-geograficzne środowiska, jak i antropogeniczne. Udowodniono w ten sposób, że regionalizacja prowadzona w oparciu o zdjęcia satelitarne jest doskonałym sposobem oceny struktury środowiska.

Możliwość zastosowania obrazów Landsat TM, Spot i ERS w badaniach regionalnych

Kolejne próby w tym zakresie prowadzone są w oparciu o zdjęcia satelitarne LANDSAT TM w skali 1:100 000. Pozwalają one na bardziej precyzyjne wyznaczenie granic wyróżnianych regionów, a w wyniku mniejszej generalizacji wyodrębnienie mniejszych jednostek regionalnych. Obrazy z satelity SPOT, w skali 1:25 000 umożliwiają wyodrębnienie jednostek czwartego rzędu - nanoregionów, ryc. 6.

W badaniach struktury środowiska można się również posługiwać obrazami mikrofalowymi. Próbkę tego rodzaju wykonano również w Zakładzie Teledetekcji Środowiska Uniwersytetu Warszawskiego (Błażejewska, 2001).

Zastosowanie oprogramowania *geomedia profesjonal* w budowaniu bazy danych o regionach geograficznych Polski

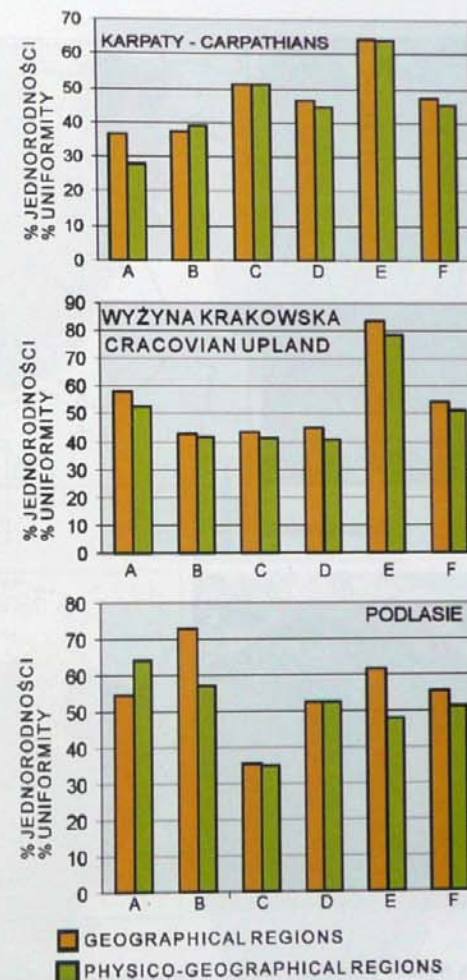
Powyżej przedstawione badania wykonano w sposób analogowy. Miały one na celu określenie, czy wyróżniane na podstawie obrazów satelitarnych jednostki przestrzenne mają sens geograficzny. Obecnie kiedy wiadomo, że jednostki takie mogą w sposób zintegrowany (to znaczy przyrodniczy i gospodarczy) reprezentować

regiony geograficzne, podjęto dalsze prace z wykorzystaniem systemów informacji geograficznej, głównie oprogramowania GEOMEDIA PROFESIONAL, mające na celu utworzenie przeglądowej bazy danych o regionach geograficznych Polski.

W pierwszym etapie przystosowano wyniki interpretacji wizualnej, przedstawione powyżej, do ujęć geoinformatycznych. Ryc. 7, przedstawia kolejne etapy dopasowania podziału regionalnego I, II i III stopnia do odwzorowania stożkowego Albersa. Etap ten zakończono na połączeniu podziału regionalnego z podstawową kompozycją barwną obrazów Landsata MSS opracowaną w Instytucie Geodezji i Kartografii (Lewiński, 1998).

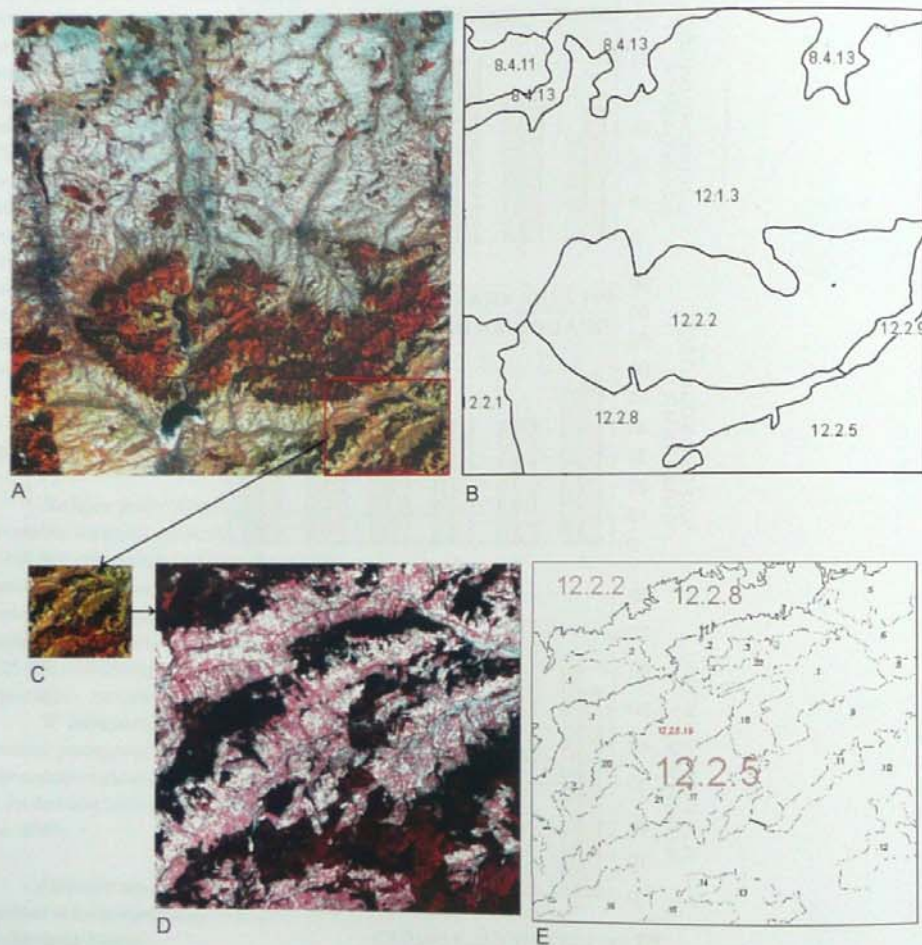
Kolejnym etapem jest dopasowanie podziału regionalnego do kartograficznych opracowań dotyczących głównych komponentów środowiska, takich jak budowa geologiczna, rzeźba w ujęciu genetycznym, hydrogeologia - głębokość występowania wód podziemnych, gleby i użytkowanie ziemi (pokrycie terenu) - ryc. 8. Warstwy tematyczne w połączeniu z wyróżnionymi na podstawie obrazów satelitarnych regionami powinny dać możliwość uzyskiwania szybkiej i w miarę aktualnej informacji o środowisku poszczególnych regionów Polski. Dostęp do informacji o komponentach środowiska w poszczególnych regionach możliwy będzie zarówno z tabelarycznego wykazu regionów, jak i z mapy poprzez wpisane na nie kody regionów. Podświetlając kod, wyświetlana jest tabela z danymi ogólnymi, odnośnie powierzchni, a w kolumnie atrybutów podawane są dane odnośnie kodu, ważności komponentów środowiska i nazwa mikroregionu. Ideę tę ukazuje ryc. 9, na której uwidoczniono poszczególne elementy środowiska regionu 12. 2.14 - Beskidu Magurskiego.

Dalszy rozwój bazy danych teledetekcyjnych o środowisku poszczególnych regionów może nastąpić poprzez dodanie do niej wielkoskalowych obrazów lotniczych. Przykładem może być przejście od obrazu satelitarnego do wielkoskalowego obrazu lotniczego, ryc. 10. Łączenie danych różnego pochodzenia i w różnej skali, mimo wielu problemów łączenia tego typu danych, wydaje się być drogą do wzbogacenia wiedzy, jeśli nie w skali całego kraju, to na pewno, w odniesieniu do obszarów takich jak parki narodowe, czy też tereny

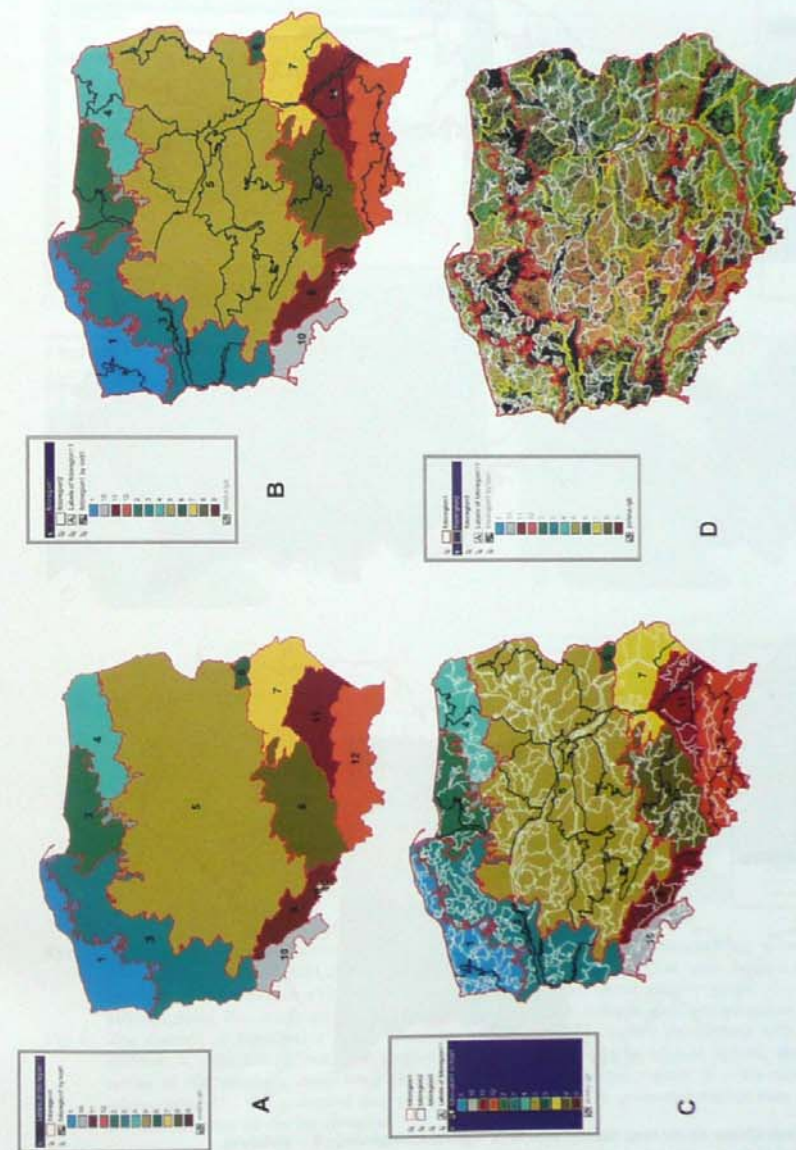


Ryc. 5. Porównanie jednorodności regionów fizyczno-geograficznych i geograficznych wyznaczonych metodą fotomorficzną w aspekcie homogeniczności wyróżnianego regionu.

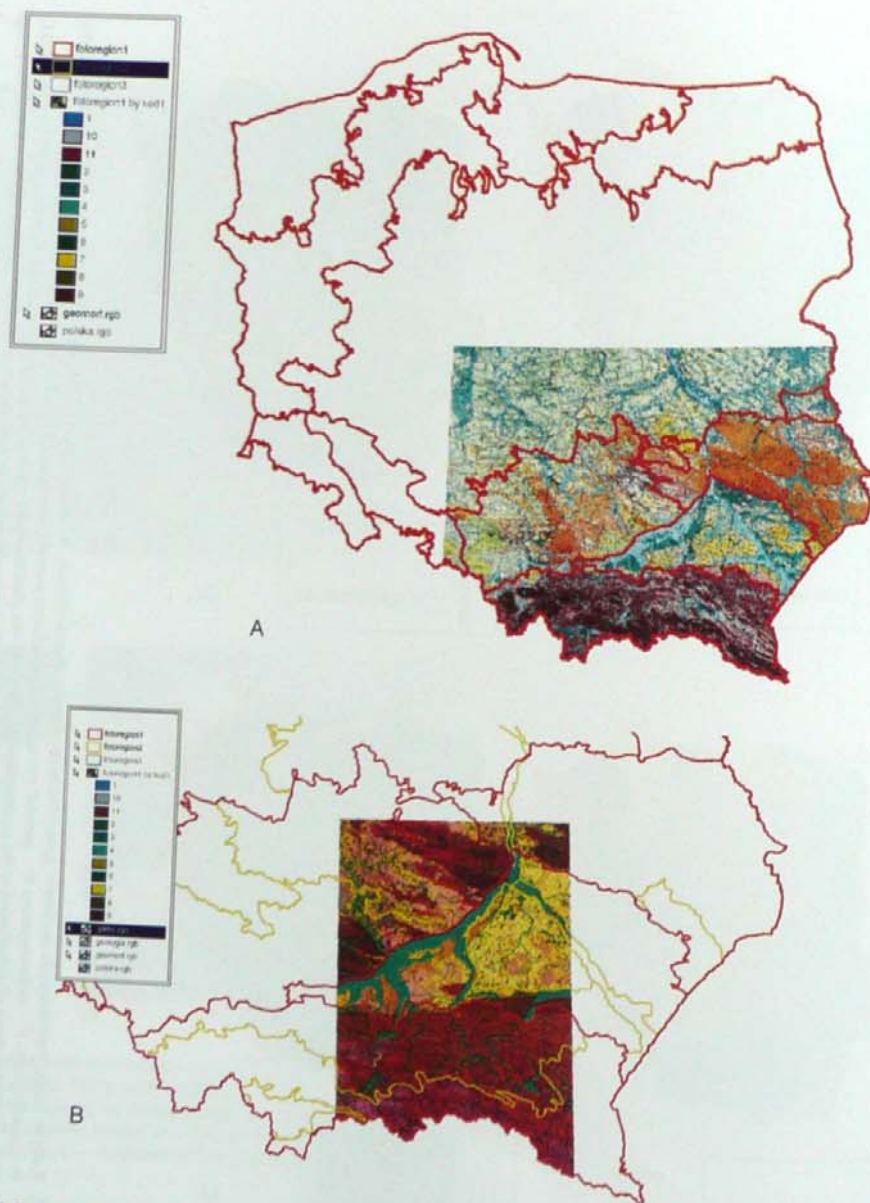
A - geologia; B - rzeźba; C - wody podziemne; D - gleby; E - użytkowanie ziemi; F - przeciętne.
Fig. 5. A comparison of the uniformity of the physico-geographical and geographical regions determined with the photomorph method with respect to the homogeneity of the region distinguished.
A - geology; B - sculpture of the earth's surface; C - underground waters; D - soils; E - Land use; F - average.



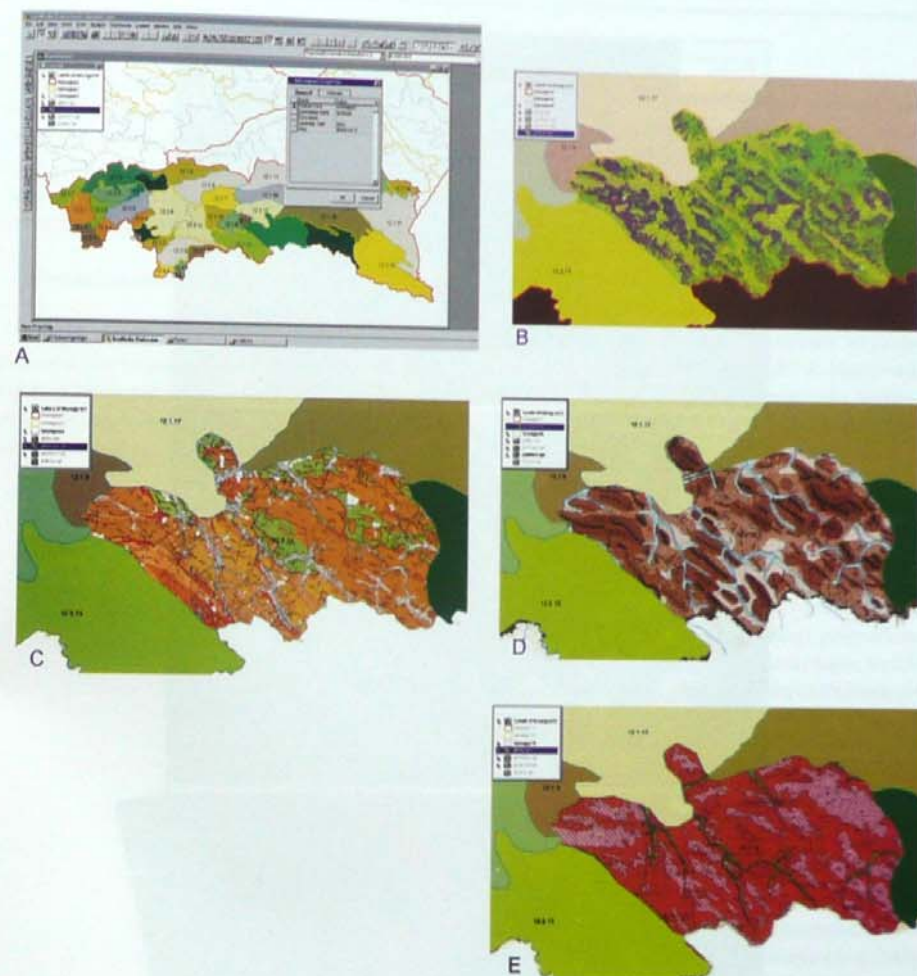
Ryc. 6. Możliwość wyróżniania regionów geograficznych, metodą fotomorficzną na podstawie obrazów satelitarnych Landsat TM w skali 1:100 000 (A→B) i Spot HRV w skali 1:25 000 (D→E); C – fragment obrazu TM.
 Fig. 6. The capacity of distinguishing geographical regions with the help of the photometric method on the basis of the satellite images of Landsat TM on the scale of 1:100,000 (A→B) and Spot HRV on the scale of 1:25,000 (D→E), C – fragment of the TM image.



Ryc. 7. Kolejne etapy wydzielenia regionów geograficznych metodą fotomorficzną, w środowisku GEOMEDIA PROFESSIONAL: A – makroregiony; B – mezoregiony; C – mikroregiony; D – podział na regiony geograficzne metodą fotomorficzną, na tle obrazu satelitarnego Polski.
 Fig. 7. The consecutive stages of delimitation of the geographical regions with the photometric method in the environment of GEOMEDIA PROFESSIONAL: A – macroregions; B – mesoregions; C – microregions; D – division into geographical regions with the photometric method against the satellite image of Poland.



Ryc. 8. Regiony geograficzne na tle map tematycznych: A – geomorfologicznej; B – glebowej.
Fig. 8. Geographical regions against the background of subject-oriented maps: A – geomorphological map, B – soil map.



Ryc. 9. Idea funkcjonowania bazy danych o regionach geograficznych wyznaczanych metodą fotomorficzną.
A – makroregion karpacki (12) z podświetlonym mikroregionem 12.2.14 oraz jedną z tabel bazy danych, opisujących właściwości wybranego regionu; B – satelitarny obraz mikroregionu; C – mapa geologiczna mikroregionu, D – mapa geomorfologiczna mikroregionu, E – mapa gleb mikroregionu.

Fig. 9. The concept of functioning of the database on geographical regions determined with the photomorphic method. A – the Carpathian macroregion (12) with the microregion 12.2.14 lighted, along with one of the tables of the database, describing the properties of the selected region; B – the satellite image of the microregion; C – the geological map of the microregion, D – the geomorphological map of the microregion, E – the soil map of the microregion.



Ryc. 10. Przykładowa baza danych obrazowych dla fragmentu mikroregionu 12.2.14. A – zdjęcie lotnicze na tle obrazu satelitarnego Landsat TM; B – zdjęcie lotnicze wielkoskalowe na tle zdjęcia lotniczego średnioskalowego; C – zdjęcie wielkoskalowe.
Fig. 10. The exemplary data base for the fragment of the microregion 12.2.14. A – aerial photograph against the Landsat TM satellite image; B – the large-scale aerial photograph against the medium scale aerial photograph; C – the large-scale photograph.

intensywnie przekształcane przez działalność człowieka. Zaprezentowana tu możliwość łączenia danych teledetekcyjnych: satelitarnych i lotniczych z danymi kartograficznymi z wykorzystaniem systemów informacji geograficznej i wiedzy geograficznej o środowisku wydaje się być dobrym przykładem integracyjnego charakteru geoinformatyki jako współczesnej, i metody, i dziedziny wiedzy z kręgu nauk o Ziemi.

Podziękowanie

Pragnę w tym miejscu podziękować Panu dr inż. Stanisławowi Lewińskiemu za współpracę przy wykonywaniu geoinformatycznych opracowań związanych z przedstawioną powyżej problematyką, zwłaszcza za opracowania w oprogramowaniu „Geomedia”.

Bibliografia

- Aldrich, S.A. & al., 1971, *An Effort to Identify the Canadian Forest-Tundra Ecotone Signature on Weather Satellite Imagery*, Remote Sensing of Environment, vol. 2, no. 1.
- Barsch, H. & al., 1984, *Remote sensing in Landscape diagnosis*, GeoJournal, 8.1.
- Błażejewska K., 2001, *Próba klasyfikacji warunków środowiskowych fragmentu Małopolski na podstawie obrazu radarowego ERS-2*. Maszynopis w Zakładzie Teledetekcji Środowiska Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego.
- Burow G.B. et al., 1984, *Izuczenie prirodno-teritorialnych kompleksow*, [w:] *Priroda Zemli iz kosmosa (Earth nature from Space)*, Ed. Tiszchenko A.P. Leningrad.
- Bychawski S., 1982, *Zasoby informacji geograficznej na zdjęciach satelitarnych*. Maszynopis, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu warszawskiego, Katedra kartografii.
- Chao Sung-chio, 1984, *Analysis of desert terrain in China using Landsat imagery*, [w:] *Deserts and arid lands*. Ed. Farouk El-Baz, Martinus Nijhoff Publishers, Haga-Boston-Lancaster.
- Czyż B., 1982, *Wiarygodność geograficznej informacji satelitarnej w badaniach zagospodarowania województwa białostockiego*. Maszynopis w Zakładzie Teledetekcji Środowiska Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego.
- Grigoriew A. A., 1975, *Kosmicheskaja indikacija landshaftow zemli (World landscape indication on satellite images)*, Leningrad.
- Haefner H. et al., 1978, *Land evolution and classification from Landsat imagery, in the Yemen Arab*

- Republic, [w:] COSPAR: *The contribution of space observations to global food information systems*, Pergamon Press Oxford, New York.
- Hernik A., 2001, *Analiza porównawcza struktury krajobrazu opracowanej metodą kompleksowej geografii fizycznej i metodą fotomorficzną dla Narwiańskiego Parku Narodowego wraz z otuliną z zastosowaniem SIG*, Fotointerpretacja w Geografii, T.31.
- Kondracki J., 1977, *Geografia fizyczna Polski (Physical Geography of Poland)*, PWN, Warszawa.
- Kozubek E., 1984, *Sezonowa zmienność informacji geograficznej zawartej na obrazach satelitarnych, na przykładzie Żuław Wiślanych*. Maszynopis. Wydział Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego – Katedra Kartografii.
- Lambin E., 1986, *Stratification d'une image Landsat en termes de systemes agraires (sud-ouest du burkina Faso)*. Photo Interpretation, images aeriennes et spatiales. No. 6. Editions Technip.
- Laut P., et al., 1977, *Environments of South Australia Province 7, Western Pastoral*. Division of Land Use Research Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Canberra, Australia.
- Lee W.T.H., et al., 1980, *Terrain analysis from Landsat using a color TV enhancement system*, [w:] *Remote Sensing of Environment*, vol. 10, no. 3.
- Lewiński S., 1994, *Satelitarna mapa Polski*, Fotointerpretacja w geografii, T.24, s.38-40.
- Lewiński S., 1995, *Polska z kosmosu - satelitarna mapa Polski*, Polski przegląd kartograficzny, T.27, nr 2 s. 68-73.
- Mac Phail D.D., 1971, *Photomorphic mapping in Chile*, Photogrammetric engineering, vol 37, no. 11.
- Mapa geologiczna Polski w skali 1:200 000, (poszczególne arkusze wydawane w różnych latach), Instytut Geologiczny, Wyd. Geol., Warszawa.
- Mapa gleb Polski 1:300 000, 1961, Instytut Upraw Nawożenia i Gleboznawstwa, Wyd. Geol., Warszawa.
- Marschner F.J., 1959, *Land use and its patterns in the United States*. Agriculture Research Service, USDA, Agriculture Handbook, No 153, Washington D.C.
- Mierzwińska, W., 1981, *Geograficzne (środowiskowe) uwarunkowania zróżnicowania struktury obrazu fotograficznego województwa suwalskiego*. Maszynopis w Zakładzie Teledetekcji Środowiska Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego.
- Olędzki J.R., 1975, *Wpływ granic politycznych na gospodarkę regionów przygranicznych*. Geografia w szkole, R.28, z. 4.
- Olędzki J.R., 1983, *Rejestracja i interpretacja wybranych elementów środowiska geograficznego na obrazach MSS z satelity Landsat-1*, Dokumentacja teledetekcyjna, Uniwersytet Śląski
- Olędzki J.R., 1986, *Photomorphic regionalization of Poland*, Miscelanea Geographica, Uniwersytet Warszawski.
- Olędzki J.R., 1988, *Polska na zdjęciach lotniczych i satelitarnych*, PWN, Warszawa.
- Olędzki J.R., 1992, *Geograficzne uwarunkowania zróżnicowania obrazu satelitarnego Polski i jego podziału na jednostki fotomorficzne* (Environmental significance of diversity of satellite images of Poland as basis for the delineation of photomorphic units), Rozprawy Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.

Summary

Contemporary development of remote sensing and its applications in the research on various aspects of the environment can (and in many cases does) significantly contribute to the better understanding of its structure and laws governing its functioning. Remote sensing combined with geographical information systems (GIS), as a new branch of environmental studies – *telegeoinformation* (which is part of the geoinformatic), allows to analyze anew the old environmental studies, adding new information furnished by the more and more sophisticated satellite systems focused on environmental research. *Telegeoinformation*, by making possible comprehensive and multi-factor analysis. Provides opportunities for practical and speedy development of geodata both for purely academic and applied goals, which is proved e.g. by the use of *telegeoinformation* in the assessment of the condition and forecast of crops of main cultivable plants; in monitoring and analysis of quickly changing situations related to natural calamities; or other cases requiring the processing of large volumes of quickly changing data.

The availability of satellite images, aerial photographs and other remotely sensed data, both historical and currently conducted, makes it possible to launch large-scale research on the changeability and dynamics of the natural environment as an entity, or its individual components and elements both globally regionally or locally. This corroborates the integrating role of *telegeoinformation* creating a basis for combining many different data, thus facilitating seeking for interrelationships between various phenomena.

One of the possibilities for using remotely sensed data in geographic studies is their application in analyzing the structure of the environment.

Accumulation of good quality data from NOAA meteorological satellites made it possible to put together global images, with discernible major areas with more or less homogeneous physiognomies. It is possible to isolate on them large regions – areas in the scale of the entire globe and continents.

NOAA data acquired using the AVHRR equipment provide images with the definition capability from 1,1 km in the nadir to 6,9 km outside the nadir.

Polska, użytkowanie ziemi 1:500 000, 1980, Instytut Geodezji i Kartografii, Państwowe Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych, Warszawa.

Przeglądowa mapa geologiczna Polski w skali 1:300 000, 1947-1952, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

Przeglądowa mapa geomorfologiczna Polski w skali 1:500 000, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN.

Przeglądowa mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:300 000, 1955-1963, Instytut Geologiczny, Warszawa.

Olędzki J.R., 2001, *Regiony fotomorficzne Polski*, Akapit DTP, Warszawa.

On the basis of such data it was possible to put together a relatively detailed image of the entire Europe, which impressively pictures the regional structure of our continent. The analysis makes use of the image of Europe made in the National Remote Sensing Center (NRSC) in Great Britain, in the scale 1:3 500 000. On its basis, the division of Europe into photomorphic units (regions) was obtained, that is, regions which may be equivalent to provinces or sub provinces from the physical and geographic division.

On the basis of LANDSAT MSS satellite images in the scale 1:250 000, it was possible to isolate photomorphic units – geographic regions with a relatively good internal homogeneity of environmental components. Putting up such images as well as its interpretation maps reveals Poland's environmental structure on three hierarchic levels. Compared to the physiogeographic division of J. Kondracki (1988), the first level corresponds to sub provinces, the second – macro-regions

and the third – to meso-regions. 12 first-level units (regions) were isolated; 50 second-level and 519 third-level ones. Those regions are characterized by a higher environmental homogeneity than is the case in the complex physiogeographic division, and reveal specific interrelationships between components of the environment.

Further research on environmental structure can be conducted on processed satellite images from LANDSAT TM and SPOT in the scale 1:50 000 and 1:25 000. They allow for very detailed examination of environmental structure at the level of micro-regions and geotops – landscape units.

In light of the exiting studies, geographical regions (photomorphic units) isolated using inference method based on satellite imagery, characterized by a high homogeneity of the environment, provide a solid foundation for all kinds of spatial studies on environmental structure and its monitoring.

WOJCIECH PACHELSKI¹

GEOINFORMATYCZNE BEZPOŚREDNIE OPISYWANIE POŁOŻENIA

Słowa kluczowe:

informacja geograficzna, bezpośrednie opisywanie położenia, modelowanie pojęciowe, schemat pojęciowy, geodezyjny system odniesienia, geodezyjny układ odniesienia, elipsoida geodezyjna, geoida, odwzorowanie kartograficzne, konwersja współrzędnych, transformacja współrzędnych, UML, diagram klas, język EXPRESS.

Abstrakt

Obszerna dziedzina modelowania informacji geograficznej ma na celu formułowanie w kategoriach informatycznych takich sformalizowanych opisów struktur informacyjnych, które mogłyby stanowić podstawę spójnych realizacji narzędziowych GIS w zróżnicowanych środowiskach oraz ułatwiać, a często nawet wręcz umożliwiać, komunikowanie informacji pomiędzy takimi realizacjami. Z tych względów dziedzina ta została objęta normalizacją w skali międzynarodowej (ISO), europejskiej (CEN), a ostatnio także krajowej (PKN).

Przedmiotem niniejszego opracowania jest ta część metodologii modelowania informacji geograficznej, która dotyczy opisywania położenia obiektów geograficznych za pomocą współrzędnych w odpowiednio definiowanych systemach odniesienia. Przedstawia się w nim m.in.:

1. Niektóre pojęcia podstawowe i ich definicje, a mianowicie:
 - geodezyjny system odniesienia;
 - układ odniesienia (datum);
 - układ współrzędnych;
 - odwzorowanie kartograficzne.
2. Skrótowy przegląd pojęć, metod i technologii geodezyjnych prowadzących zarówno do definiowania geodezyjnego systemu odniesienia, jak i położenia obiektów w tym systemie.
3. Podstawy notacji graficznej UML oraz diagram geodezyjnego systemu odniesienia, zapisany w tej notacji. Schemat pojęciowy bezpośredniego opisu położenia jest również przedstawiony w zapisie leksykalnym w języku EXPRESS.

W opracowaniu wykorzystano normę międzynarodową ISO/FDIS 19111:2002 oraz Polską Normę PN-N-02270:2000.

¹Centrum Badań Kosmicznych PAN, Warszawa, oraz Uniwersytet Warmiński - Mazurski, Olsztyn.

DIRECT DESCRIBING A POSITION IN TERMS OF GEOMATICS

Key words:

geographic information, direct position, conceptual modeling, conceptual schema, geodetic reference system, geodetic datum, geodetic ellipsoid, geoid, cartographic projection, coordinate conversion, coordinate transformation, UML, class diagram, EXPRESS language.

Abstract

A large field of modelling geographic information aims at formulating in terms of computer science such formal descriptions of information structures, which could provide the basics for compatible implementations of GIS in diverse environments, as well as to facilitate, or even to make it possible, information communication or exchange between them. That is why the field became a subject of international (by the ISO), European (by the CEN) and national (Polish Committee of Standardisation) activities.

This paper deals with a part of the methodology of geographic information modelling, which concerns describing positions of geographic objects by means of co-ordinates in properly defined reference systems. There are considered, among others:

1. Some basic concepts and definitions, which include:
 - geodetic reference system,
 - datum,
 - co-ordinate system,
 - cartographic projection.
2. An overview of geodetic concepts, methods and technologies, which are used to define a geodetic reference system, as well as to determine object positions within it.
3. Basics of the graphic notation UML and a diagram of a geodetic reference system in this notation. A conceptual schema of a direct description of such a system is also presented in the lexical language EXPRESS.

In the paper the International Standard ISO/FDIS 19111:2002 and the Polish Standard PN-N-02270:2000 have been used.

1. Wstęp

Rolą informacji geograficznej jest opisywanie tej części świata rzeczywistego, która dotyczy przestrzeni życiowej człowieka, a więc – zgodnie z przyjętą definicją informacji geograficznej¹ – obiektów i zjawisk, których położenie jest w sposób jawny bądź niejawnie odniesione do Ziemi. Mówiąc inaczej, chodzi tu o obiekty i zjawiska występujące na powierzchni Ziemi, a także w bezpośrednim jej sąsiedztwie – ponad lub pod tą po-

wierzchnią.

Każdy opis rzeczywistości, czyli jej **model**, jest:

- zawsze **abstrakcyjny** – czyli posługuje się ze-
społem pojęć uogólniających rzeczywiste lub
wyobrażone obiekty i zjawiska oraz ich cechy
i związki pomiędzy nimi, tj. operując, na przy-
kład, pojęciem *droga* rozważamy zwykle *drogę*
w *ogóle*, a nie jakąkolwiek konkretną drogę;
- zawsze **częściowy** – czyli dotyczy wyłącznie
stosownie wyodrębnionego, w sensie prze-
strzennym, czasowym, przedmiotowym i innym,
fragmentu tej rzeczywistości, tj., na przykład,
rozważamy jedynie niektóre obiekty i zjawiska
oraz ich cechy i związki między nimi; oraz

— zawsze jest jednym z wielu możliwych **widoków**,
aspektów bądź **perspektyw**, czyli „punktów wi-
dzenia” – zależnym przede wszystkim od celu, któ-
remu ma służyć.

Ogromna złożoność omawianej „rzeczywistości geograficznej” z jednej strony, z drugiej strony zaś systematyczne i analityczno – syntetyczne właściwości ludzkiego umysłu stosowane do jej opisywania i interpretowania opisów, powodują konieczność wyodrębnienia z tej rzeczywistości oddzielnych jej fragmentów, właściwości oraz cech strukturalnych i pojęciowych, które są wspólne dla różnych możliwych zastosowań informacji geograficznej. Aczkolwiek i ta klasyfikacja może być dokonana według różnych kryteriów, to nowoczesna metodologia informacji geograficznej zawarta w normach międzynarodowych ISO² i europejskich CEN³, jak też ostatnio w Polskich Normach⁴, wyróżnia zgodnie następujące główne, jak też abstrakcyjne, częściowe i formułowane w różnych aspektach w powyżej rozumianym sensie, grupy zagadnień:

- **aspekty geometryczne i topologiczne** informacji geograficznej,
- zagadnienia **jakości** informacji geograficznej,
- **metadane**, czyli takie dane o informacji geograficznej, które pozwalają tę informację stosownie klasyfikować, katalogować, przeszukiwać itp.,
- **bezpośrednie i pośrednie metody opisywania położenia** obiektów i zjawisk, czyli ich lokalizacji w przestrzeni,
- **metody i formalizmy** informatyczne stosowane do modelowania i opisywania struktur informacyjnych,
- **udostępnianie, przenoszenie** (transfer) i **wizualizacja** informacji geograficznej,
- **aktualizacja i zarządzanie** informacją,
- inne zagadnienia.

Jak wynika z powyższego zestawienia, przedmiot niniejszego opracowania – **metody bezpośredniego opi-**

sywania położenia – stanowi jedną z części składowych obszernej **metodologii informacji geograficznej**. Metody te obejmują opisywanie położenia obiektów geograficznych za pomocą współrzędnych w stosownie zdefiniowanych układach odniesienia, w odróżnieniu od **metod pośrednich**, które opierają się na tzw. identyfikatorach geograficznych, jak na przykład nazwach jednostek administracyjnych, kodach pocztowych, kilometrażu dróg, cieków wodnych itp. Podczas gdy metody bezpośrednie są nieodzowne i podstawowe dla lokalizacji obiektów, lecz często nie są wygodne dla praktycznego wykorzystania przez użytkowników, to metody pośrednie – na ogół wygodniejsze w praktycznym użyciu – są jedynie środkiem pomocniczym, a opisy położenia dokonane z ich pomocą muszą zawsze podlegać stosownym (zwykle niewidocznym dla użytkownika) przekształceniom na opisy bezpośrednie, tj. za pomocą współrzędnych.

Powyższa uwaga wyjaśnia użycie sformułowania **bezpośrednie opisywanie położenia** w tytule niniejszego opracowania. Dla pełnego wyjaśnienia tytułu sformułowanie to należy uzupełnić o następującą interpretację również słowa **geoinformatyczne**. Chodzi tutaj mianowicie o podstawy metodologiczne i zasady budowania pewnego abstrakcyjnego modelu informacyjnego dla tego zakresu i zapisanie go jako tzw. **schemat pojęciowy** za pomocą środków formalnych informatyki – czyli stosownych języków leksykalnych i notacji graficznych, oparty na metodach geodezji i kartografii, pozwalających na opis kompletny, jednoznaczny, niezależny od narzędzi sprzętowo – programowych oraz, ewentualnie, przetwarzalny komputerowo. Opis taki może i powinien stanowić podstawę dla zgodnych i spójnych komputerowych realizacji GIS w zróżnicowanych środowiskach.

2. Podstawy metodologiczne

Zawarta w wymienionych powyżej grupach norm (międzynarodowych, europejskich i w Polskich Normach) metodologia informacji geograficznej obejmuje zastosowania teorii, metod i środków formalnych, głównie z zakresu informatyki i geodezji, do budowy wspomnianych schematów pojęciowych, zarówno jako schematów znormalizowanych dla zagadnień ogólnych, jak też

¹ Informacja geograficzna jest to informacja dotycząca zjawisk powiązanych bezpośrednio lub pośrednio z ich położeniem względem Ziemi (PKN, 2002).

² International Standardization Organisation, Komitet Techniczny TC 211 Geographic information/Geomatics.

³ Comité Européen de Normalisation, Komitet Techniczny TC 287 Geographic information.

⁴ Normy te są opracowywane w ramach Polskiego Komitetu Normalizacyjnego przez Komitet Techniczny (KT) 297 ds. Informacji Geograficznej.

wskazówki, co do stosowania tych metod i środków formalnych do budowania przez użytkowników własnych modeli informacyjnych w formie pojęciowych schematów aplikacyjnych dla konkretnych zastosowań oraz integracji tych ostatnich ze schematami znormalizowanymi.

W myśl tej uniwersalnej i niezależnej od środków narzędziowych metodologii, której podstawy i cele są wspólne w omawianych grupach norm, budowanie schematu pojęciowego polega ogólnie na sformułowaniu głównych *encji*, *związków*, *atributów* i *ograniczeń* dla wcześniej ustalonego zakresu przedmiotowego budowanego modelu⁵. Podstawowym jest tu pojęcie *encji*⁶, które Baker (1996) definiuje jako *rzecz lub obiekt, rzeczywisty lub wyobrażony, mający dla nas znaczenie (ważny), o którym informacje mają być dostępne*. Encje danego modelu pozostają ze sobą w pewnych *związkach* (in. *relacjach*) oraz mają przypisane odpowiednie *atributy*. Powyższe terminy oznaczają zatem kolejno:

- **encja** odpowiada klasie modelowanych obiektów bądź pojęć abstrakcyjnych, może też być użyta do reprezentowania relacji lub do zdefiniowania dziedziny atrybutów; sama encja posiada zespół atrybutów; struktura encji może być hierarchiczna, czyli dana encja może być zarówno nadrzędna (tj. tzw. nadtypem), jak też podrzędna (tj. tzw. podtypem), względem innych encji; w metodyce obiektowej modelowania informacji w miejsce terminu *encja* jest stosowany termin *klasa*;
- **atribut** opisuje właściwość (jedną z wielu możliwych) encji bądź jej związek z inną encją; każdy atrybut posiada nazwę i skojarzony z nim typ danych, np. całkowity, rzeczywisty, itp., w tym także

typ definiowany przez użytkownika;

- **związek** jest formą zależności pomiędzy encjami; najczęściej występującymi związkami są: związek w postaci *jest* oraz związek w postaci *posiada*; związek w postaci *jest* jest związkiem uogólniającym bądź specjalizującym (inaczej *nadtyp - podtyp*), np. „samochód *jest* pojazdem”, „działka *jest* fragmentem powierzchni Ziemi”; związek w postaci *posiada* jest natomiast związkiem znaczeniowym, opisującym asocjacje (skojarzenia) pomiędzy różnymi encjami, np. „samochód *posiada* koła”, „działka *jest* w posiadaniu osoby”; ważną cechą związku jest również jego liczność, np. „zero do wielu”, „zero lub jeden”, itp.; wszystkie związki są dwukierunkowe (tj. od *A* do *B* i od *B* do *A*);
- wartości atrybutów i związków podlegają **ograniczeniom** (np. atrybut *pole powierzchni* encji *działka* musi być liczbą dodatnią).

Przedmiotem procesu budowania schematu pojęciowego jest właśnie m.in. ustalenie zbioru encji w danym modelu oraz opisanie ich atrybutów i związków pomiędzy nimi, a także występujących ograniczeń. Należy przy tym zauważyć, że taki dobór encji, atrybutów i związków, czyli samo modelowanie, jest procesem twórczym, zależnym od subiektywnych koncepcji i rozwiązań projektanta. M.in. do projektanta należy zwykle rozstrzygnięcie, czy dany element modelu ma być uznany jako encja, atrybut innej encji bądź jako związek. Budowanie modelu nie jest więc procesem deterministycznym, tj. prowadzącym do jednego i jednoznacznego rozwiązania. Jak w każdym projektowym procesie inżynierskim możemy zatem mówić o rodzinie rozwiązań (modeli) dopuszczalnych, a wśród nich – o rozwiązaniach (lub rozwiązaniu) optymalnych.

Omawiana metodologia przewiduje stosowanie różnych środków formalnych do zapisu modelu w formie schematu pojęciowego. Do najważniejszych z nich należą:

- opis w języku naturalnym;
- notacja graficzna;
- język leksykalny.

Opis w języku naturalnym jest zwykle stosowany we wstępnej fazie budowy schematu pojęciowego i pozwala przede wszystkim skonkretyzować zakres przedmiotowy modelu oraz jego główne encje i związki. Stopniowe uszczegóławianie modelu, polegające głów-

nie na definiowaniu atrybutów, innych związków i ograniczeń, łączone jest na ogół ze stosowaniem notacji graficznej. Powszechnie stosowaną taką notacją jest przy tym tzw. diagram klas UML, którego główne zasady podane są w załączniku A. Jest to forma przyjęta zarówno w normach międzynarodowych ISO, jak i w Polskich Normach. Do grupy tej należy również notacja graficzna języka Express, tzw. język Express-G, który jest stosowany w normach europejskich. Diagramy (schematy pojęciowe) zapisane za pomocą notacji graficznych są stosunkowo łatwo przyswajalne przez człowieka i dopuszczają dowolny stopień szczegółowości zapisu. W końcowej fazie definiowania modelu jest natomiast zwykle stosowany język Express wg normy międzynarodowej (PKN, 2001), który jest językiem norm europejskich i Polskich Norm, jest też przez te normy zalecany do stosowania we własnych schematach użytkowników. Jest to język niezależny od platform sprzętowych, a jednocześnie pozwala na pełne, kompletne i jednoznaczne sformułowanie modelu. Ważną jego cechą jest również możliwość automatycznego (komputerowego) przetwarzania opisanych w nim struktur w celu sprawdzenia ich wewnętrznej poprawności.

Powyższe ogólne zasady modelowania pojęciowego znajdują pełne zastosowanie do zawartych w Polskiej Normie PN-N-02270 (PKN, 2000) reguł bezpośredniego opisywania położenia. W szczególności na podstawie stosowanych współcześnie teorii, koncepcji, metod i technologii geodezyjnych w normie tej ustala się stosowne zbiory encji wraz z ich atrybutami oraz ich wzajemne związki i stosujące się do nich ograniczenia. Strukturalną formą tych ustaleń jest znormalizowany schemat pojęciowy, który jest w zarysie przedstawiony w rozdziale 4, po prezentacji najważniejszych aspektów metodycznych i technologicznych geodezji i kartografii w rozdziale 3.

3. Główne koncepcje geodezyjne i kartograficzne

3.1. Uwagi ogólne

Warunkiem podstawowym dla wyznaczania bądź opisywania położenia za pomocą współrzędnych jest znajomość *geodezyjnego systemu odniesienia*, w jakim te

współrzędne mają być wyrażane, czyli znajomość zespołu definicji opisujących fizyczne i geometryczne parametry Ziemi: jej wielkość, kształt, orientację w przestrzeni i pole siły ciężkości. To ostatnie, będąc nierozdzielnie związane z geometrią przestrzeni⁷, decyduje o podstawowym dla wszelkich zjawisk na Ziemi i w jej otoczeniu kierunku linii pionu i powierzchni poziomej, czyli o „naturalnym” i powszechnym dla wszelkich działań i zachowań systemie odniesień. Do składników systemu odniesienia zalicza się również określony *układ współrzędnych*, który jest zespołem reguł (ściśle – funkcji matematycznych) pozwalających na wzajemnie jednoznaczne przypisanie liczb rzeczywistych (współrzędnych) punktom przestrzeni. Wszystkie wymienione powyżej składniki definicji systemu odniesienia stanowią dane niezbędne zarówno dla jednoznacznego opisywania położenia obiektów, jak i dla przekształcania opisanych w tym systemie położenia do innego systemu, czyli umożliwiają bezpośrednie opisywanie położenia obiektów w różnych systemach odniesienia. Chodzi tu więc właśnie między innymi o przekształcanie współrzędnych pomiędzy takimi systemami odniesionymi do kierunku pionu i powierzchni poziomej a uniwersalnym systemem geocentrycznym. Fakt ten ma również zasadnicze znaczenie zarówno dla głównych zadań tradycyjnej kartografii matematycznej, jak i dla współczesnych systemów informacji geograficznej, gdzie chodzi m.in. o takie właśnie przekształcanie opisów położenia, które są związane z przedstawianiem (odzworowaniem) na płaszczyźnie obiektów i zjawisk odniesionych do fizycznej powierzchni Ziemi i silnie powiązanych z jej polem siły ciężkości.

Powyższy problem jest rozwiązywany w kategoriach pojęciowych w dwóch etapach, z których pierwszy polega na przybliżeniu fizycznej powierzchni Ziemi, z uwzględnieniem jej właściwości geometrycznych i dynamicznych (najczęściej – określonego fragmentu tej powierzchni), stosownie dobraną obrotową *elipsoidą geodezyjną*. Jest to domena geodezji, której metody pozwalają wyznaczyć – za pośrednictwem tzw. osnów geodezyjnych – położenia obiektów w rzucie na tę elipsoidę.

⁷ *Ubi materia, ibi Geometria* – Johannes Kepler („gdzie materia, tam geometria”, cyt. za E.W. Grafarend: *Differential geometry of the gravity field*, Man. Geod. (1986) 11:29 – 37).

⁵ Stosowana jest tu terminologia wg norm europejskich (CEN) i Polskich Norm (PKN), która jest właściwa dla tzw. metody związków encji (ER – entity – relationship). W normach międzynarodowych (ISO), kojarzonych z metodą obiektową (OO – object oriented), w miejsce encji stosuje się bliskoznaczne pojęcie *klasy* oraz dodatkowo wprowadza się pojęcie tzw. *usługi*, tj. procesu, który może być realizowany w odniesieniu do danej klasy.
⁶ Jest to powszechnie obecnie stosowany w teorii relacyjnych baz danych termin odpowiadający pojęciowemu modelowi fizycznego lub abstrakcyjnego obiektu świata rzeczywistego. Został on wprowadzony do terminologii krajowej w polskim przekładzie książki Ullmana (1988).

a także ich wysokości ponad nią, ściślej – ponad powierzchnię poziomą – *geoidę*, opisaną względem tej elipsoidy. W drugim etapie, będącym domeną kartografii matematycznej, następuje natomiast „rzutowanie” (fikcyjne) fragmentu powierzchni takiej elipsoidy na płaszczyznę za pomocą stosownie dobranych funkcji matematycznych przekształcających współrzędne elipsoidalne obiektów na współrzędne płaskie ich obrazów na mapie. W obu przypadkach w toku przekształceń ulegają zmianom cechy metryczne przestrzeni, tj. na przykład odległości i kierunki. Zawsze w matematycznych i fizycznych procesach związanych z tymi przekształceniami uczestniczą współrzędne punktów, stąd procesy te sprowadzają się do stosownych przekształceń systemów odniesienia. Istotną rolę odgrywają zatem pojęciowe definicje tych systemów oraz sposoby ich realizacji.

Konkretna definicja pojęciowa geodezyjnego systemu odniesienia nosi nazwę *geodezyjnego układu odniesienia* (ang. *geodetic datum*)⁸ i opisuje, jak układ współrzędnych, związany z tym układem odniesienia, jest „umocowany” w bryle Ziemi co do swego początku i orientacji oraz specyfikuje parametry (wielką półosi, spłaszczenie) elipsoidy geodezyjnej. Takiemu układowi odniesienia przypisuje się zwykle nazwę, jak np. NAD27⁹, ED50¹⁰, WGS84¹¹, EUREF-89¹² i inne. W czasach poprzedzających geodezyjne pomiary satelitarne układy odniesienia były definiowane dla oddzielnych fragmentów powierzchni Ziemi (np. kontynentów lub regionów), w powiązaniu z niegeocentryczną elipsoidą odniesienia, inną dla każdego fragmentu. Do elementów pojęciowych takich definicji układów odniesienia należała m.in. specyfikacja tzw. *punktu głównego* układu (zwykle przyjmowanego w sposób umowny), jak też warunek, by elipsoida odniesienia przybliżała najlepiej (w sensie naj-

niejszych kwadratów) geoidę na danym fragmencie. Praktyczna realizacja tak zdefiniowanego układu następowała poprzez założenie i pomiar osnów (sieci) geodezyjnych na danym obszarze i wyznaczone w ten sposób współrzędne punktów. Poprzez stopniowe zagęszczanie takich osnów można wyrazić położenia obiektów terenowych za pomocą współrzędnych w danym układzie. Trudności techniczne w tym czasie, aczkolwiek nie uniemożliwiały teoretycznej pojęciowej definicji jednolitego globalnego układu odniesienia, to jednak znacznie utrudniały jego potencjalną realizację w formie globalnej jednolitej osnowy geodezyjnej oraz czyniłyby taką realizację niepraktyczną. Jednocześnie te same trudności techniczne utrudniały również przekształcanie położenia obiektów z jednego istniejącego układu odniesienia na inny.

W tej sytuacji geodezyjne pomiary satelitarne, których praktyczne znaczenie należy prawdopodobnie liczyć od momentu opublikowania w r. 1966 pierwszego globalnego modelu Ziemi o nazwie *Standard Earth* (Lundquist i Veis, 1966) jako prekursora współczesnych geocentrycznych układów odniesienia, umożliwiają za równo wyrafinowane definiowanie dowolnego z takich układów w kategoriach pojęciowych, jak też jego praktyczną realizację jako wspólnego układu odniesienia dla układów niegeocentrycznych. Rola pomiarów satelitarnych w pojęciowym definiowaniu i realizacji geocentrycznego układu odniesienia jest przy tym podwójna:

- „geometria” globalnego geocentrycznego układu odniesienia, tj. początek, orientacja i skala układu współrzędnych, jest definiowana za pośrednictwem pozycyjnych pomiarów satelitarnych typu GPS¹³ i laserowych pomiarów odległości do satelitów (SLR¹⁴), a także pomiarów laserowych do Księżyca (LLR¹⁵) oraz pomiarów radiointerferometrycznych (VLBI¹⁶) odległych radioźródeł;
- „dynamika” tego układu, czyli struktura pola grawitacyjnego i przebieg geoidy, prowadzące wprost do zdefiniowania geocentrycznej ziemskiej elip-

soidy odniesienia, wynikają z analiz zakłócanego przez to pole ruchu orbitalnego satelitów, jak też ze specjalnych typów pomiarów, jak gradiometria (pomiar gradientów siły ciężkości) i pomiar odległości pomiędzy satelitami.

Naturalną konsekwencją takiego podejścia jest to, że geocentryczna ziemska elipsoida jest „gorszym” globalnym przybliżeniem geoidy niż elipsoidy niegeocentryczne w sensie lokalnym: o ile bowiem tzw. absolutne odstępstwa geoidy od elipsoidy geocentrycznej są rzędu do ok. ±100m, to odstępstwa względne (lokalne) wynoszą do ok. ±30m. Tym samym więc, oprócz swego uniwersalnego globalnego charakteru rolę geocentrycznego układu odniesienia jest również stworzenie pewnej wspólnej podstawy umożliwiającej wzajemne przekształcenia położenia pomiędzy klasycznymi układami niegeocentrycznymi.

Należy zauważyć rozróżnienie pomiędzy pojęciową definicją układu odniesienia a jego praktyczną realizacją. Definicja pojęciowa oznacza „teoretyczną” bądź idealną specyfikację elementów układu, jak np. żądanie, by początek układu pokrywał się ze środkiem masy Ziemi, oś Z zaś – z osią obrotu Ziemi. Realizacja tak zdefiniowanego układu nie jest natomiast nigdy realizacją idealną bowiem zawsze jest oparta na obciążonych błędami pomiarach geodezyjnych za pomocą różnych technik. Polega ona na wyznaczeniu współrzędnych punktów osnowy geodezyjnej w wyniku wykonania i opracowania pomiarów przy tak przyjętym założeniu teoretycznym. Stąd jednej z tej samej definicji pojęciowej układu może odpowiadać wiele realizacji różniących się co do zbioru i rozkładu punktów osnowy, typów i dokładności pomiarów oraz epok, w jakich były wykonane. Dla uwypuklenia tego faktu często w nazwach takich realizacji występuje zwrot *reference frame* i nazywa bądź skrót nazwy (jak np. EUREF-89), która identyfikuje określoną wersję realizacyjną danego układu. W terminologii polskiej zwrot *układ odniesienia* odnosi się zarówno do stosownej ogólnej definicji pojęciowej, jak i do konkretnej realizacji praktycznej.

W zależności od charakterystyk geometrycznych i fizycznych geodezyjne układy odniesienia klasyfikuje się jako układy trój-, dwu- i jednowymiarowe.

3.2. Umowny ziemski system odniesienia CTS

W sensie pojęciowym „naturalnym” dla jednolitego i całościowego opisu figury Ziemi i jej pola siły ciężkości układem odniesienia, tj. takim, w którym taki opis daje się sformułować w sposób najprostszy z możliwych, jest układ zawierający:

- prostokątny kartezjański trójwymiarowy układ współrzędnych (X, Y, Z) o początku w środku masy Ziemi (tj. układ geocentryczny), o osi Z skierowanej wzdłuż osi obrotu Ziemi do bieguna północnego oraz o osi X skierowanej do arbitralnie wybranego punktu w płaszczyźnie równika (zawierającego południk Greenwich); płaszczyzną podstawową takiego układu jest równik, oś Y w tej płaszczyźnie zaś uzupełnia układ jako prawoskrętny;
- geodezyjną elipsoidę odniesienia, której środek pokrywa się ze środkiem masy Ziemi i początkiem układu współrzędnych, i która najlepiej w sensie globalnym przybliża geoidę.

Układ ten jest zilustrowany na Rys. 3.1. Położenie dowolnego punktu wyraża się w nim za pomocą współrzędnych kartezjańskich (X, Y, Z), bądź – względem elipsoidy odniesienia – za pomocą elipsoidalnych współrzędnych geograficznych (φ, λ, h), pomiędzy którymi istnieją następujące zależności:

$$\begin{aligned} X &= (r + h) \cos \varphi \cos \lambda \\ Y &= (r + h) \cos \varphi \sin \lambda \\ Z &= [r(1 - e^2) + h] \sin \varphi \end{aligned} \quad (3.1)$$

gdzie e jest mimośrodem elipsoidy, zaś r – promieniem jej krzywizny w pierwszym wertykale.

Powyższy układ jest układem chwilowym, ponieważ odnosi się do chwilowego położenia osi obrotu Ziemi czyli osi Z układu. Ruch tej osi, znany jako ruch bieguna, był śledzony metodami astrometrii (jako zmiany szerokości geograficznej) od ponad stu lat, od 1988 r. zaś jest przedmiotem specjalnej międzynarodowej służby ruchu obrotowego Ziemi (IERS¹⁷) z wykorzystaniem zaawansowanych metod pomiarowych wymienionych w p. 3.1. Rolą tej służby jest realizacja międzynarodowego

⁸ Wobec braku w języku polskim ścisłego odpowiednika terminu angielskiego *datum* wprowadza się tu rozróżnienie pojęć *system* i *układ*. W ten sposób *geodezyjny system odniesienia* jest rozumiany jako pojęcie abstrakcyjne, ogólne, którego konkretnymi przypadkami (*instancjami*) są poszczególne geodezyjne układy odniesienia.

⁹ North American Datum 1927.

¹⁰ European Datum 1950.

¹¹ World Geodetic System 1984.

¹² European REference Frame 1989.

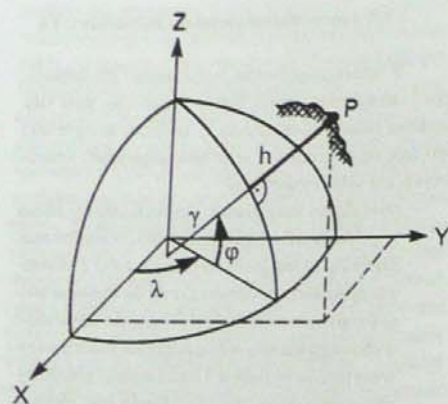
¹³ Global Positioning System.

¹⁴ Satellite Laser Ranging.

¹⁵ Lunar Laser Ranging.

¹⁶ Very Long Baseline Interferometry.

¹⁷ International Earth Rotation Service.

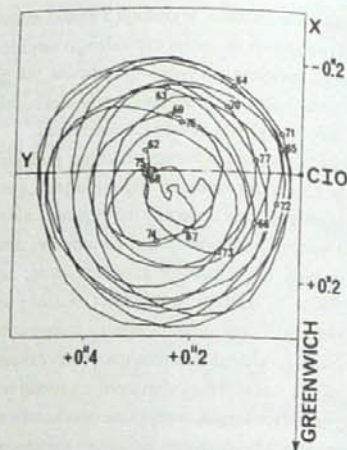


Rys. 3.1. Chwilowy ziemski układ odniesienia
Fig. 3.1. Instantaneous terrestrial reference system.

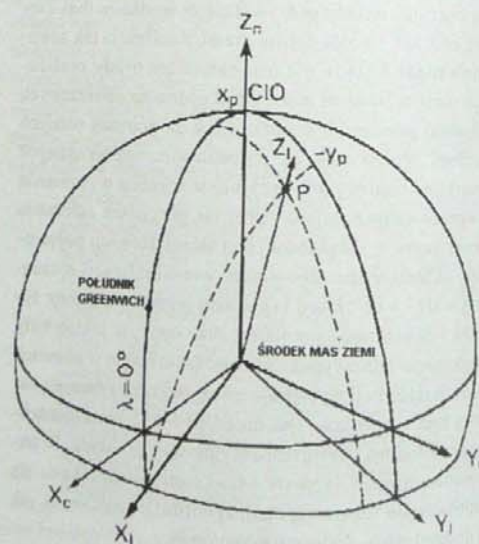
ziemskiego układu odniesienia (ITRF¹⁸) względem pewnego umownego ziemskiego układu odniesienia (CTS¹⁹), opartego na umownym międzynarodowym początku układu (CIO²⁰). Ten ostatni został zdefiniowany jako średnie położenie chwilowego bieguna Ziemi w latach 1900–1905. Położenia bieguna w latach 1962–77 względem CIO zilustrowane są na Rys. 3.2, podczas gdy umowny ziemski układ odniesienia CTS jest zilustrowany na Rys. 3.3.

3.3. Geodezyjne układy odniesienia

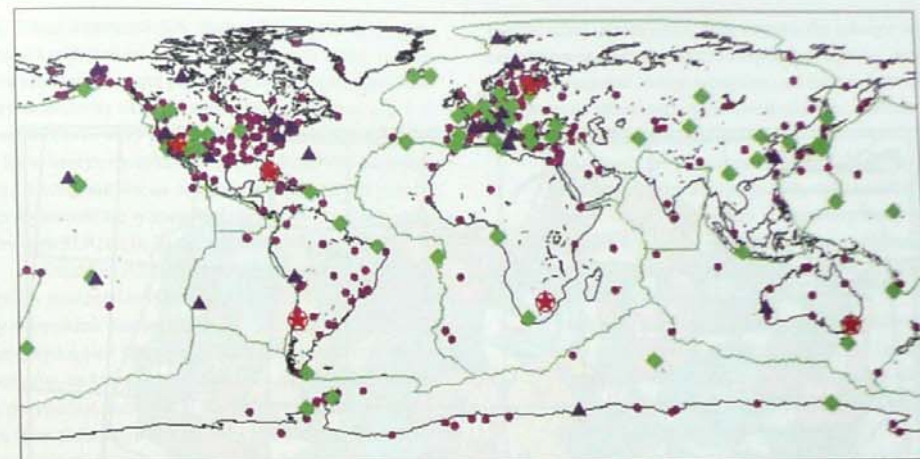
Trójwymiarowe (3-D) geodezyjne układy odniesienia definiuje się zwykle jako układy geocentryczne, w których początek kartezjańskiego układu współrzędnych pokrywa się ze środkiem mas Ziemi, oś Z pokrywa się z umowną osią obrotu Ziemi (CIO), oś X jest skierowana do umownego południka zerowego (południka Greenwich), oś Y zaś uzupełnia układ jako układ prawoskrętny. Elipsoidę geodezyjną w takim układzie odniesienia definiuje się jako koncentryczną z początkiem układu współrzędnych, o malej osi skierowanej wzdłuż



Rys. 3.2. Ruch bieguna w latach 1962–1977 (na podstawie (Vanicek i Krakiwsky, 1986))
Fig. 3.2. Polar motion in 1962–1977, acc. to (Vanicek, Krakiwsky, 1986)



Rys. 3.3. Umowny ziemski układ odniesienia CTS
Fig. 3.3. Conventional Terrestrial System CTS.



Ryc. 3.4. Rozmieszczenie punktów sieci ITRF-2000 wg (IERS, 2003).
Fig. 3.4. Distribution of points of the ITRF-2000 network, acc. (IERS, 2003).

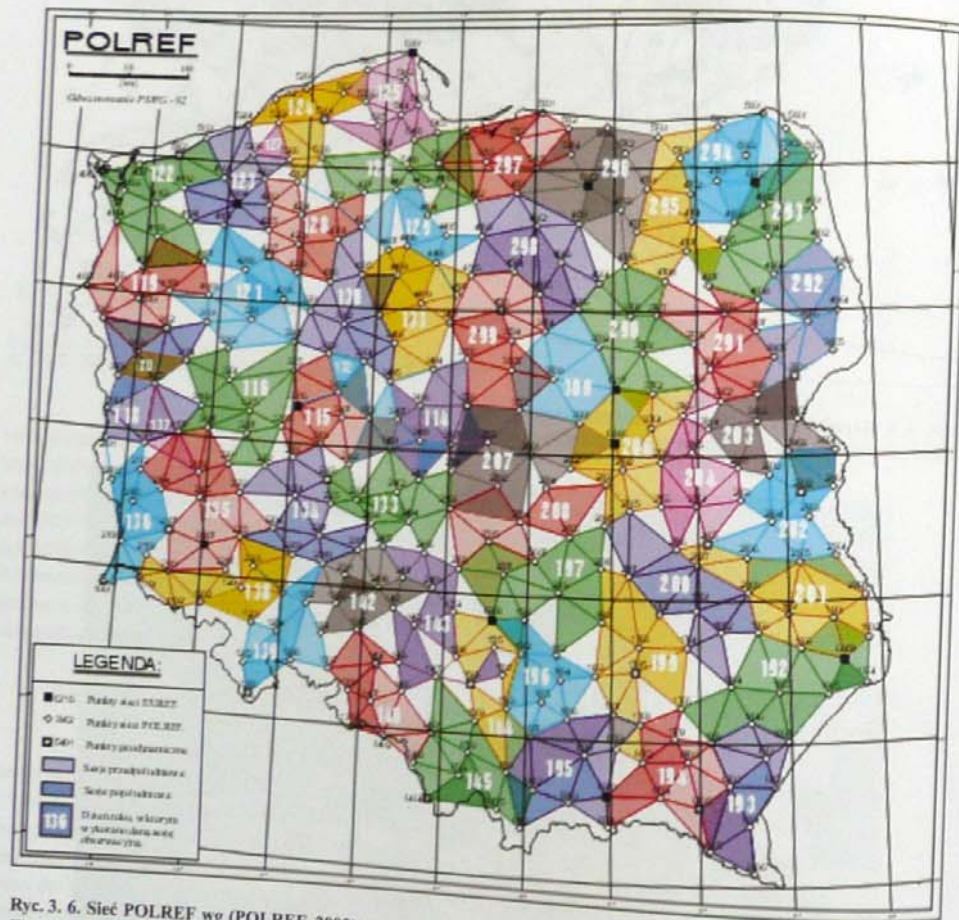


Ryc. 3.5. Rozmieszczenie punktów sieci EUREF-POL-92 wg (POLREF, 2003).
Fig. 3.5. Distribution of points of the EUREF-POL-92 network, acc. (POLREF, 2003).

¹⁸ International Earth Rotation Service Terrestrial Reference Frame.

¹⁹ Conventional Terrestrial System.

²⁰ Conventional International Origin.



Ryc. 3. 6. Sieć POLREF wg (POLREF, 2003).
Fig. 3. 6. The network POLREF, acc. (POLREF, 2003).

osi Z oraz o parametrach: duża półka a (zwykle utożsamiana z promieniem równikowym Ziemi) i spłaszczenie f . Powszechnie przyjętą pojęciową definicją takiego układu jest umowny układ ziemski CTS omówiony w p. 3.1. Jest on realizowany przez IERS jako wspomniany układ ITRF w kolejnych epokach (od 1990 do 2000), składający się z sieci punktów na obszarze globu, których położenia wyznacza się w sposób ciągły na podstawie pomiarów typu SLR, LLR, VLBI, GPS i innych (Rys. 3.4.).

Układem odniesienia przyjętym przez większość krajów europejskich jest układ EUREF-89 (aktualizowany w epokach następnych). Jest to układ zagęszczający europejską sieć punktów ITRF do łącznej liczby ok. 90 punktów, na których wykonano pomiary GPS, przy czym w przypadku punktów ITRF traktowanych jako oporowe (tzw. *fiducial*) pomiary GPS wykonano równocześnie z pomiarami innych typów. W układzie tym 11 punktów leżących na terytorium Polski jest wykorzystywanych jako krajowy układ odniesienia EUREF-POL-92 (Rys. 3.5), zagęszczony z kolei za pomocą pomiarów GPS do sieci 359 punktów i stanowiący układ POLREF (Rys. 3.6). Ten ostatni został przyjęty jako podstawa „państwowego systemu odniesień przestrzennych” (Rozporządzenie, 2000) w krajowych pracach geodezyjnych.

Dwuwymiarowy (2-D) „poziomy” geodezyjny układ odniesienia definiuje sposób, w jaki dwuwymiarowy układ współrzędnych elipsoidalnych jest „umocowany” w stosunku do Ziemi. Danymi wyrażającymi to „umocowanie” są: współrzędne geodezyjne punktu głównego (jako początku układu), odchylenie linii pionu²¹ i wysokość geoidy w tym punkcie, jak również parametry a i e elipsoidy odniesienia. Tego typu układy odniesienia są stosowane jako klasyczne lokalne bądź regionalne (np. wspomniane NAD27, ED50) podstawy dla wyrażania „poziomych” położenia obiektów.

3.4. Pionowe (wysokościowe) układy odniesienia

Pionowe, czyli wysokościowe, układy odniesienia są układami jednowymiarowymi (1-D) i wyrażają odchylenie fizycznej powierzchni Ziemi od zdefiniowanej

powierzchni odniesienia. Podstawową dla takiego wysokościowego układu odniesienia jest definicja „zerowej” powierzchni ekwipotencjalnej, od której mierzone są stosowne charakterystyki wysokościowe. Układy te różnią się zatem co do:

- stosowanej powierzchni odniesienia: elipsoida geodezyjna odniesienia, geoida, quasigeoida²²;
- typów stosowanej miary (charakterystyki) wysokości: wysokości elipsoidalne (in. geodezyjne), wysokości ortometryczne, wysokości normalne oraz liczby geopotencjalne;
- punktu początkowego układu czyli poziomu zerowego wysokości: średni poziom mórz i oceanów w skali globalnej, wskazania jednego lub więcej mareografów w skali lokalnej lub regionalnej, lub inny stosownie zdefiniowany poziom.

Geometryczna zależność pomiędzy wysokością ortometryczną i elipsoidalną punktu a odstępem geoidy od elipsoidy, która wyraża podstawowy związek pomiędzy „geometrią” a „dynamiką” układu odniesienia, jest zilustrowana na Rys. 3.7 oraz wzorem (3.2). (Pozostałe miary wysokości nie mają prostej interpretacji graficznej).

$$h = H + N \quad (3.2)$$

Podobnie, jak w przypadku poziomych i geodezyjnych układów odniesienia, prowadzone są studia i prace zmierzające do ustanowienia globalnego pionowego układu odniesienia. W ramach tych prac powstał Europejski Wysokościowy System Odniesienia 2000 (EVRS-2000²³) w wyniku uzupełnienia kontynentalnej wysokościowej sieci niwelacyjnej UELN-95/98²⁴ o wyniki pomiarów GPS i dane mareograficzne. EVRS-2000 jest zrealizowany jako następujący układ odniesienia EVRF-2000²⁵ (Łyszkowicz, 2001):

- powierzchnia odniesienia: elipsoida geodezyjna GRS-80;
- miara wysokości: liczby geopotencjalne;
- punkt początkowy: średni poziom morza według wskazań mareografu w Amsterdamie.

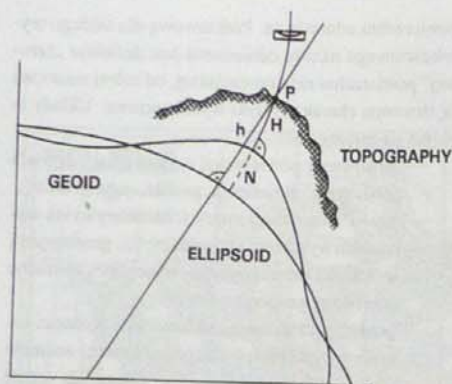
²² Powierzchnia matematyczna będąca przybliżeniem geoidy.

²³ European Vertical Reference System 2000.

²⁴ Unified European Levelling Network 1995/98.

²⁵ European Vertical Reference Frame 2000.

²¹ Dwa kąty wyrażające to odchylenie mierzone są względem normalnej do elipsoidy odniesienia w tym punkcie.



Rys. 3.7. Wysokość ortometryczna H i elipsoidalna h oraz odstęp geoidy od elipsoidy N

Fig. 3.7. Orthometric H and ellipsoidal h heights, and geoid undulation N .

Krajowy pionowy układ odniesienia jest zdefiniowany w Rozporządzeniu (2000) przez wysokości normalne odniesione do średniego poziomu Morza Bałtyckiego w Zatoce Fińskiej, według wskazań mareografu w Kronsztadzie (Rosja).

3.5. Odwzorowania kartograficzne

W prostym ujęciu odwzorowanie kartograficzne jest matematyczną reprezentacją elipsoidy geodezyjnej (lub powierzchni kuli – w przypadku map drobnoskalowych) na płaszczyźnie. Jeśli każdy punkt P na elipsoidzie jest identyfikowany za pomocą współrzędnych geograficznych (φ, λ) oraz odpowiadający mu punkt na płaszczyźnie odwzorowania p' – za pomocą współrzędnych kartezjańskich (x, y) , to dane odwzorowanie kartograficzne jest zdefiniowane przez następujące dwie funkcje:

$$\begin{aligned} x &= x(\varphi, \lambda) \\ y &= y(\varphi, \lambda) \end{aligned} \quad (3.3')$$

Istnieje również przekształcenie odwrotne:

$$\begin{aligned} \varphi &= \varphi(x, y) \\ \lambda &= \lambda(x, y) \end{aligned} \quad (3.3'')$$

W ten sposób odwzorowanie kartograficzne może stanowić, obok układu współrzędnych i elipsoidy geodezyjnej, dodatkowy składnik geodezyjnego systemu odniesienia.

W państwowym systemie odniesień przestrzennych według Rozporządzenia (2000) są zdefiniowane następujące odwzorowania:

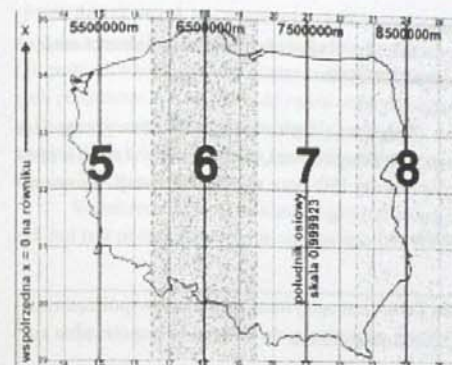
- układ współrzędnych płaskich prostokątnych „2000” według odwzorowania Gaussa – Krügera w 3-stopniowych pasach południkowych (Rys. 3.8);
- układ współrzędnych płaskich prostokątnych „1992” według odwzorowania Gaussa – Krügera w jednym (ok. 12-stopniowym) pasie południkowym dla całego obszaru kraju;
- czasowo (do końca 2009 r.) – układ „1965” oraz układy lokalne.

3.6. Przekształcenia współrzędnych

Wśród przekształceń współrzędnych wyróżnia się (ISO, 2002) *konwersje współrzędnych*, jako przekształcenia wynikające ze zmiany układu współrzędnych w ramach tego samego układu odniesienia, oraz *transformacje współrzędnych*, które polegają na zmianie układu odniesienia przy tym samym typie układu współrzędnych.

W pierwszym przypadku konwersja współrzędnych jest procesem deterministycznym, następuje przy stałych i dokładnych wartościach parametrów konwersji oraz prowadzi do wzajemnie jednoznacznych i dokładnych wartości współrzędnych w nowym układzie (pomijając błędy obliczeń). Zawsze istnieje przy tym konwersja odwrotna, tj. jeśli jest dana konwersja z układu A do B , to istnieje również konwersja z B do A (przy czym funkcje przekształcające nie muszą być dane w postaci jawnej). Przykładem konwersji jest przekształcenie współrzędnych z układu elipsoidalnego na układ kartezjański opisane wzorem (3.1) i przekształcenie odwrotne (jako proces iteracyjny), jak też dowolne odwzorowanie kartograficzne opisane wzorami (3.3') i (3.3'').

W przypadku transformacji współrzędnych, natomiast, parametry transformacji podlegają wyznaczeniu na podstawie współrzędnych zespołu punktów należących do obu układów odniesienia. Transformacja jest procesem opracowania tych współrzędnych jako wielkości stochastycznych, stąd parametry transformacji są również wielkościami stochastycznymi. Transformacja daje wyniki zależne od zestawu wykorzystanych danych.



Rys. 3.8. Układ współrzędnych płaskich „2000”

Fig. 3.8. Planar coordinate system „2000”.

Powszechnie stosowaną transformacją trójwymiarowych układów odniesienia jest 7-parametrowa transformacja Helmerta, która w kartezjańskim układzie współrzędnych jest opisana równaniem (N – nowy układ odniesienia, S – stary układ odniesienia):

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_N = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_S + \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -R_3 & R_2 \\ R_3 & 0 & -R_1 \\ -R_2 & R_1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_S + D \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_S \quad (3.4)$$

gdzie parametry T_1, T_2, T_3 wyrażają równoległe przesunięcie początku układu odniesienia wzdłuż osi układu, R_1, R_2, R_3 – kąty obrotu osi układu (wielkości małe), D zaś jest parametrem zmiany skali układu. Parametry te podlegają wyznaczeniu na podstawie współrzędnych punktów znanych w obu układach, przy minimalizacji sumy kwadratów residuów, tj. jako proces stochastyczny. Oznacza to, że wartości i dokładności parametrów transformacji danych dwu układów odniesienia zależą od doboru punktów wspólnych i dokładności ich współrzędnych. Powyższa transformacja jest konformenna, tzn. zachowuje niezmienniczość skali i kątów układu. Podobną zależność można podać także dla współrzędnych elipsoidalnych.

W sposób oczywisty na układach odniesienia dozwolone są operacje złożone, tj. będące kombinacjami konwersji i transformacji.

4. Bezpośredni opis położenia w kategoriach geoinformatyki

4.1. Opis w języku naturalnym

W myśl przedstawionych w p. 2 zasad modelowania pojęciowego opis w języku naturalnym może stanowić wstępną wersję modelu informacyjnego, w której wymienia się podstawowe dla tego modelu encje, atrybuty, związki, ograniczenia, itp. Jak wynika z zarysu metodyki geodezyjnej przytoczonego w p. 3, tego typu elementy modelu informacyjnego w przypadku bezpośredniego opisywania położenia mają charakter czysto abstrakcyjny i odpowiadają pojęciom i teoriom matematycznym w zastosowaniu do struktur geometrycznych i dynamicznych Ziemi jako całości bądź oddzielnych jej fragmentów.

W Tabelicy 4.1 przytoczona jest jedna z możliwych wersji takiego opisu o arbitralnie dobranym zespole encji i stopniu szczegółowości opisu. Wersja ta uwzględnia jednak zarówno powszechnie stosowaną obecnie na świecie metodykę geodezyjną (zob. p. 3), jak też jest oparta na terminologii i rozwiązaniach przyjętych w Polskiej Normie PN-N-02270 (PN, 2000)²⁶ oraz w normie międzynarodowej (ISO, 2002). W opisie tym wyróżniono podkreśleniem ważne elementy (encje, atrybuty, związki), o których informacje winny być dostępne i uwzględnione w modelu.

4.2. Model systemu odniesienia jako diagram klas w notacji UML

Język UML jest obecnie pojmowany jako nowoczesne narzędzie modelowania i opisu informacji. W tej roli został on przyjęty, w zakresie tzw. diagramów klas, do opisu modeli informacji geograficznej w normach międzynarodowych, jest też wykorzystywany w tej roli w Polskich Normach. Dopuszcza on formułowanie modeli w sposób poglądowy, o arbitralnie dobranym i zmiennym stopniu szczegółowości oraz z punktu widzenia konkretnych potrzeb użytkownika. W zakresie

²⁶ Norma ta jest w chwili obecnej przedmiotem nowelizacji w ramach prac KT 297.

dotyczącym bezpośredniego opisywania położenia i w stopniu wykorzystywanym w niniejszym opracowaniu język ten jest przedstawiony w załączniku A.

Na Rys. 4.1 jest przedstawiony w notacji UML model geodezyjnego systemu odniesienia w sposób uszczegóławiający powyższy model opisowy. Jest to model oparty na normie międzynarodowej (ISO, 2002).

Tab. 4.1. Model bezpośredniego opisywania położenia w języku naturalnym
Tab. 4.1. Model of direct position in natural language.

Lokalizacja, czyli położenie obiektu na lub w pobliżu powierzchni Ziemi, jest opisywane za pomocą współrzędnych w sposób jednoznaczny wtedy i tylko wtedy, gdy geodezyjny system odniesienia, do którego te współrzędne się odnoszą, jest w pełni zdefiniowany.

Geodezyjny system odniesienia może być systemem prostym bądź złożonym. Prosty geodezyjny system odniesienia jest definiowany poprzez jeden układ odniesienia (datum) i jeden układ współrzędnych. System odniesienia jest realizowany za pomocą współrzędnych przypisanych punktom osnowy geodezyjnej w określonej epoce. Nazwa i epoka realizacji stanowią identyfikator systemu odniesienia. Geodezyjny system odniesienia może zawierać odzworowanie kartograficzne.

Opis poziomych i pionowej składowych położenia może wymagać stosowania złożonego geodezyjnego systemu odniesienia. System taki składa się z dwóch prostych systemów odniesienia, oddzielnych dla tych składowych.

Układ odniesienia może być geodezyjny, pionowy (wysokościowy) lub lokalny. Geodezyjny układ odniesienia definiuje związek układu współrzędnych z bryłą Ziemi i jest podstawą dwu- lub trójwymiarowych systemów odniesienia, przeważnie za pośrednictwem elipsoidy geodezyjnej. Pionowy (wysokościowy) układ odniesienia służy do wyrażania miar wysokości punktów względem geoidy. Jako miary wysokości stosuje się wysokości ortometryczne, wysokości geodezyjne (elipsoidalne), wysokości normalne oraz tzw. liczby geopotencjałe. Geoida jest powierzchnią ekwipotencjalną (tzw. zerową) potencjału siły ciężkości Ziemi, bliska średniego poziomu morza. Geoidę opisuje się zwykle przez podanie jej odstępów względem elipsoidy odniesienia (geodezyjnej). Lokalny układ odniesienia jest układem o lokalnie (indywidualnie) zdefiniowanych parametrach i właściwościach układu współrzędnych.

Geodezyjny układ odniesienia jest definiowany poprzez południk zerowy i elipsoidę odniesienia. Południk zerowy definiuje południk, od którego liczone są wartości długości geograficznej. Przez domniemanie południkiem tym jest zwykle południk Greenwich. Elipsoida odniesienia może być geocentryczna bądź niegeocentryczna. Parametrami elipsoidy odniesienia są wielka półoś i odwrotność spłaszczenia. Elipsoida odniesienia jest identyfikowana poprzez swój identyfikator.

Układ współrzędnych jest definiowany jako funkcja przypisująca w sposób wzajemnie jednoznaczny punktom przestrzeni jedno-, dwu- lub trójwymiarowej uporządkowany zespół, odpowiednio – jednej, dwu lub trzech, liczb rzeczywistych. Układ współrzędnych definiuje nazwy, jednostki, kierunki i kolejność osi układu. Układ współrzędnych posiada swój identyfikator.

Odzworowanie kartograficzne opisuje sposób przedstawienia fragmentu elipsoidy odniesienia na płaszczyźnie i jest zdefiniowane przez funkcję przekształcającą współrzędne geograficzne na tej elipsoidzie (φ, λ) na współrzędne kartezjańskie na płaszczyźnie (x, y). Te ostatnie są zdefiniowane w stosownym układzie współrzędnych. Odzworowanie kartograficzne posiada swój identyfikator i zasięg stosowalności.

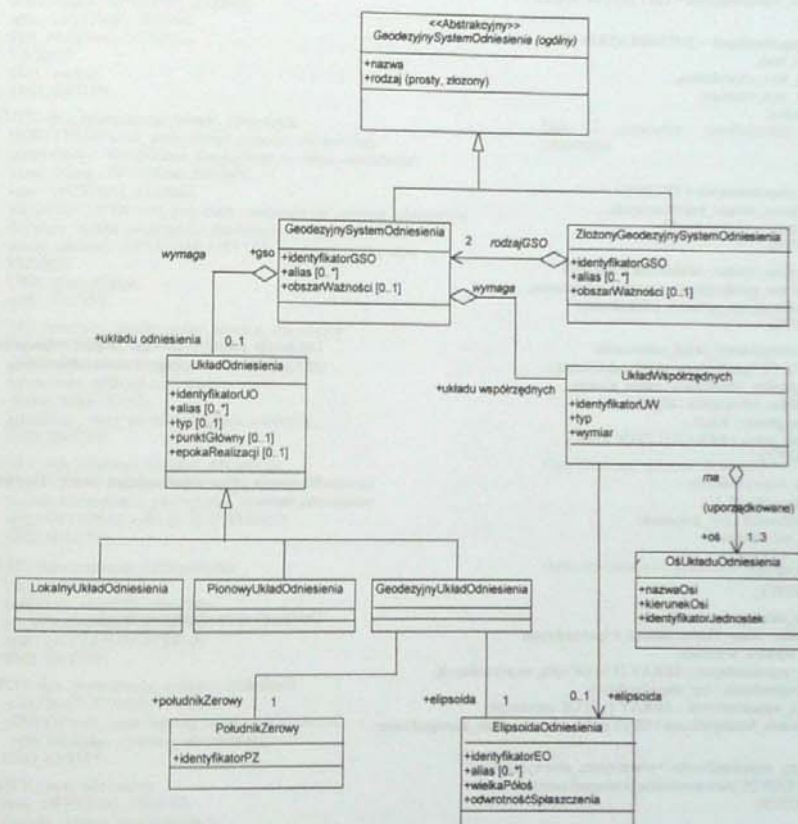
4.3. Model systemu odniesienia jako schemat w języku EXPRESS

Inną formą zapisu modelu informacyjnego jest język leksykalny Express, zdefiniowany w normie międzynarodowej ISO oraz w polskiej wersji tej normy

(PKN, 2001). Język ten dopuszcza zapis kompletnego modelu w sposób niezależny od platform narzędziowych i w postaci wzorcowej dla praktycznych realizacji na tych platformach. Kompletność i uniwersalność zapisu w Expressie zapewnia zgodność takich realizacji, niezbędna dla ich współdziałania m.in. poprzez efektywne komunikowanie informacji.

W zakresie modeli informacji geograficznej język ten jest podstawową formą zapisu przyjętą w nor-

mach europejskich i w Polskich Normach. Pojedynczy model jest w nim formułowany jako tzw. schemat. W przypadku bezpośredniego opisywania położenia schemat taki jest przytoczony, wraz z objaśnieniami, w Tablicy 4.2. Przedstawiony model jest oparty na Polskiej Normie PN-N-02270:2000 (PKN, 2000) z uwzględnieniem modyfikacji wynikających z opisów podanych w pp. 4.1 i 4.2.



Tab. 4.2. Schemat w języku EXPRESS dla opisu geodezyjnego systemu odniesienia
Tab. 4.2. EXPRESS schema of geodetic reference system

<pre> SCHEMA bezpośredni_opis_położenia; REFERENCE FROM schemat_daty_i_czasu (data_kalendarzowa); TYPE identyfikator_układu_współrzędnych = STRING; END_TYPE; ... TYPE identyfikator_systemu_odniesienia = STRING; END_TYPE; TYPE sekwencja = ARRAY [1:3] OF STRING; END_TYPE; TYPE zestaw_współrzędnych = LIST [1:3] OF REAL; END_TYPE; TYPE typ_współrzędnych = ENUMERATION OF (3-D_system_wsp, 3-D_geod_z_wys_elipsoidalna, 3-D_geod_z_wys_ortometr, 2-D_geodezyjny, 2-D_płaski); END_TYPE; TYPE układ_współrzędnych = SELECT (identyfikator_układu_współrzędnych, opis_układu_współrzędnych); END_TYPE; TYPE geodezyjny_system_odniesienia = SELECT (identyfikator_geodezyjnego_systemu_odniesienia, opis_geodezyjnego_systemu_odniesienia); END_TYPE; ENTITY dwuwymiarowy_układ_odniesienia SUBTYPE OF (geodezyjny_układ_odniesienia); pozycja_punktu_odniesienia : punkt_główny; powierzchnia_odniesienia : elipsoida; wysokosc_geoidy : REAL; odchylenie_pionu : ARRAY [1:2] OF REAL; END_ENTITY; ENTITY opis_współrzędnych; skala_jednostek : REAL; system_jednostek : typ_jednostek; kierunek_osi : kierunek; definicja : STRING; nazwa : STRING; END_ENTITY; ENTITY opis_układu_współrzędnych; identyfikator : identyfikator_układu_współrzędnych; wymiar : wartosc_wymiaru; definicja_współrzędnych : ARRAY [1:3] OF opis_współrzędnych; typy_współrzędnych : typ_współrzędnych; sekwencja_współrzędnych : ARRAY [1:3] OF sekwencja; odzworowanie_kartograficzne : OPTIONAL odzworowanie_kartograficzne; WHERE WR1 : (typy_współrzędnych <> płaszczyzna_dwuwymiarowa) OR NOT EXISTS (odzworowanie_kartograficzne); END_ENTITY; ENTITY bezpośredni_opis_położenia; w_poz_systemie_odniesienia : pozycyjny_system_odniesienia; pozycja : zestaw_współrzędnych; w_układzie_współrzędnych : układ_współrzędnych; END_ENTITY; </pre>	<p>Deklaracja schematu, w której wykorzystuje się inny schemat.</p> <p>Deklaracje typów danych wykorzystywanych w schemacie, m.in. identyfikatora układu współrzędnych, identyfikatora systemu odniesienia, typów współrzędnych, i in.</p> <p>Deklaracja dwuwymiarowego układu odniesienia jako podtypu geodezyjnego systemu odniesienia.</p> <p>Deklaracja opisu współrzędnych: skala, kierunek osi, nazwa.</p> <p>Deklaracja opisu układu współrzędnych.</p> <p>Deklaracja bezpośredniego opisu położenia</p>
--	---

<pre> ENTITY elipsoida; odwrotnosc_splaszczczenia : REAL; wielka_polos : REAL; END_ENTITY; ENTITY punkt_główny szerokosc_geodezyjna : wspolrzeczna_geodezyjna; dlugosc_geodezyjna : wspolrzeczna_geodezyjna; nazwa : OPTIONAL STRING; END_ENTITY; ENTITY geodezyjny_system_odniesienia ABSTRACT SUPERTYPE OF (ONEOF (3-D_układ_odniesienia, (2-D_układ_odniesienia ANDOR 1-D_układ_odniesienia))); wazny_od : data_kalendarzowa; nazwa : OPTIONAL STRING; pelna_nazwa : OPTIONAL STRING; opis : OPTIONAL STRING; opis_odchylenia : STRING; UNIQUE URI : nazwa; END_ENTITY; ENTITY opis_geodezyjnego_układu_odniesienia SUBTYPE OF (opis_pozycyjnego_systemu_odniesienia); identyfikator : identyfikator_pozycyjnego_systemu_odniesienia; pelna_nazwa : OPTIONAL STRING; opis : OPTIONAL STRING; parametry : OPTIONAL parametry_geodezyjnego_systemu_odniesienia; definicja_układu_odniesienia : geodezyjny_układ_odniesienia; punkt_oporowy : OPTIONAL LIST [1:?] OF punkt_odniesienia; UNIQUE URI : identyfikator; END_ENTITY; ENTITY parametry_geodezyjnego_systemu_odniesienia; nazwa : STRING; predkosc_katowa : REAL; odwrotnosc_splaszczczenia : REAL; wielka_polos : REAL; grawitacja : wzor_na_przyspieszenie_normalne; END_ENTITY; ENTITY opis_lokalnego_systemu_odniesienia SUBTYPE OF (opis_pozycyjnego_systemu_odniesienia); nazwa : identyfikator_pozycyjnego_systemu_odniesienia; opis : OPTIONAL LIST [1:?] OF STRING; END_ENTITY; ENTITY odzworowanie_kartograficzne nazwa : STRING; parametry_elipsoidy : elipsoida; typ_odzworowania : STRING; opis : LIST [0:?] OF STRING; END_ENTITY; ENTITY opis_pozycyjnego_systemu_odniesienia ABSTRACT SUPERTYPE OF (ONEOF (opis_geodezyjnego_systemu_odniesienia, opis_lokalnego_systemu_odniesienia)); END_ENTITY; ENTITY punkt_odniesienia; opis : OPTIONAL STRING; pozycja : zestaw_współrzędnych; odniesienie_do_daty : data_kalendarzowa; opis_współrzędnych : system_współrzędnych; END_ENTITY; </pre>	<p>Deklaracja elipsoidy odniesienia i punktu głównego układu.</p> <p>Deklaracja geodezyjnego systemu odniesienia</p> <p>Opis i parametry geodezyjnego systemu odniesienia</p> <p>Opis lokalnego systemu odniesienia</p> <p>Odzworowanie kartograficzne</p>
---	--


```

ENTITY trojwymiarowy_uklad_odniesienia
SUBTYPE OF (geodezyjny_uklad_odniesienia);
definicja_orientacji : ARRAY [1:3] OF STRING;
definicja_punktu_początkowego : STRING;
END_ENTITY;

ENTITY jednowymiarowy_uklad_odniesienia
SUBTYPE OF (geodezyjny_uklad_odniesienia);
wysokosc : REAL;
poziom_odniesienia : STRING;
END_ENTITY;

END_SCHEMA;

```

5. Zakończenie

1. Bezpośrednie, czyli za pomocą współrzędnych, opisywanie położenia w kategoriach geoinformatyki należy do zagadnień objętych obszerną dziedziną modelowania pojęciowego informacji geograficznej. Położenia takie są określone w sposób jednoznaczny wtedy i tylko wtedy, gdy stosowne systemy odniesienia są zdefiniowane w sposób kompletny.
2. Stąd bezpośrednie opisywanie położenia prowadzi się do pełnego i jednoznacznego definiowania systemów odniesienia, czyli do podania tych elementów, które na taką pełną i jednoznaczną definicję się składają, jak też do wyspecyfikowania takich środków formalnych, za pomocą których taka definicja może być jednoznacznie wyrażona. Środki takie należą do dziedziny informatyki. W zakresie omawianej tutaj metodologii są to: notacja graficzna UML oraz język leksykalny EXPRESS. Omawiana metodologia nie obejmuje natomiast definiowania konkretnych systemów odniesienia.
3. Modelowanie pojęciowe, w tym bezpośrednie opisywanie położenia, jest czynnikiem porządkującym zespół pojęć i definicji w sposób kompletny i jednoznaczny, dostarcza opisu modelu, który może podlegać zautomatyzowanej weryfikacji oraz być podstawą uzgodnień między użytkownikami, jak też przedmiotem obrotu i wymiany.
4. Stosowanie takiego opisu jest nieodzowne dla budowania zgodnych implementacji GIS w zróżnicowanych środowiskach sprzętowo - programowych, przedmiotowych, instytucjonalnych i innych.

5. Bezpośrednie opisywanie położenia jest konieczne w procesach projektowania, budowy i eksploatacji GIS, aczkolwiek opisy takie mogą być niewidoczne dla przeciętnego użytkownika GIS (posługującego się raczej opisami pośrednimi za pomocą identyfikatorów geograficznych).
6. Takie opisy pozwalają uniknąć istotnych błędów i omyłek m.in. przy kojarzeniu wyników pomiarów bezpośrednich (np. za pomocą GPS) z danymi pochodzącymi z GIS, odniesionymi do różnych układów odniesienia.
7. Stosowanie spójnych systemów odniesienia, opisanych w kategoriach informatycznych, jest również niezbędne dla globalnych i regionalnych badań geodynamicznych poprzez zintegrowane sieci geodezyjne.

Bibliografia

- Baker R., 1996, *Case MethodSM - Modelowanie związków encji*, WNT, Warszawa.
- Bernhardsen T., 1992, *Geographic Information Systems*, Viak IT, Arendal, Norway.
- IERS, 2003, *IERS Network*, <http://lareg.ensg.ign.fr/ITRF/network.html>
- ISO, 2002, ISO/TC 211 N 1292: *Text of 19111 Geographic information - Spatial referencing by coordinates, as sent to the ISO Central Secretariat for registration as FDIS*. ISO/TC 211 Secretariat. 2002-06-12.
- Longley PA., Goodchild MF., Maguire DJ., Rhind DW., 1999, *Geographical Information Systems, Volume 1 - Principles and Technical Issues*. John Wiley & Sons, Inc.
- Lundquist CA., Veis G., 1966, *Geodetic Parameters for a 1966 Smithsonian Standard Earth*. Smithsonian Astrophys. Obs. Spec. Rep., No. 200, 683 pp.
- Lyszkowicz A., 2001, *Europejski Wysokociowy System Odniesienia 2000*, GEODETA - Magazyn geoinformacyjny nr 12 (79), grudzień 2001.
- Pachelski W., 2002a, *Informacja geograficzna: Podstawy modelowania według norm europejskich i krajowych*, Geodezja i Kartografia, Vol. LI, z. 1 - 2, ss. 69 - 96, 2002.
- Pachelski W., 2002b, *Działalność normalizacyjna w dziedzinie informacji geograficznej, cz. I (tytuł od redakcji: Logiczna konieczność)*, GEODETA - Magazyn geoinformacyjny, Nr 11 (90), listopad 2002, ss. 46 - 48.
- Pachelski W., 2002c, *Działalność normalizacyjna w dziedzinie informacji geograficznej, cz. II (tytuł od redakcji: Metodyka i formalizm)*, GEODETA - Magazyn geoinformacyjny, Nr 12 (91), grudzień 2002, ss. 34 - 36.
- Pachelski W., 2003a, *Działalność normalizacyjna w dziedzinie informacji geograficznej, cz. III (tytuł od redakcji: Na razie normy CEN)*, Magazyn geoinformacyjny GEODETA - Magazyn geoinformacyjny, Nr 1 (92), styczeń 2003, ss. 20 - 21.
- Pachelski W., 2003b, *Normalizacja w dziedzinie informacji geograficznej*. NORMALIZACJA (mies.), w druku.
- PKN, 2000, *PN-N-02270:2000: Informacja geograficzna - Systemy odniesienia - Bezpośrednie opisywanie położenia*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- PKN, 2001, *PN-ISO 10303-11:2001: Systemy i integracja automatyzacji przemysłowej - Reprezentacja i wymiana danych o produktach. Część 11 - Metody opisu: Podręcznik języka EXPRESS*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- PKN, 2002, *PrPN-N-12009: Informacja geograficzna - Model odniesienia* (projekt do zatwierdzenia).
- POLREF, 2003, *POLREF*, <http://www.cbk.waw.pl/zgp/index.html>
- Rozporządzenie, 2000, *Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 8 sierpnia 2000 r. w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych*, Dz. U. z 2000r. Nr 70, poz. 821.
- Schenk DA., Wilson PR., 1994, *Information Modelling: the EXPRESS Way*, Oxford Univ. Press, New York - Oxford.
- Seeber G., 1993, *Satellite Geodesy - Foundations, Methods, and Applications*. Walter de Gruyter.
- Seeger H., 1999, *Spatial referencing and coordinate reference systems*. In: (Longley et al., 1999), pp. 427 - 436.

Tuszyner A., 2003a, Wprowadzenie do notacji UML. Wykłady na kursie podyplomowym "Podstawy modelowania informacji geograficznej", Uniwersytet Warmiński - Mazurski w Olsztynie, 2003.

Tuszyner A., 2003b, *Mało szczegółowo nie znaczy źle*, GEODETA - Magazyn geoinformacyjny nr 4 (95),

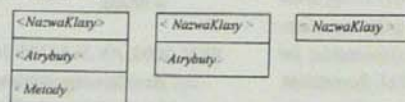
kwiecień 2003.

Ullman JD., 1988, *Systemy baz danych*, WNT, Warszawa.

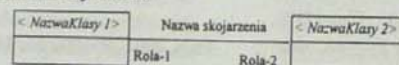
Vanicek P., Krakiwsky EJ., 1986, *Geodesy: the Concepts*, North-Holland.

Załącznik A. Notacja diagramów klas w UML

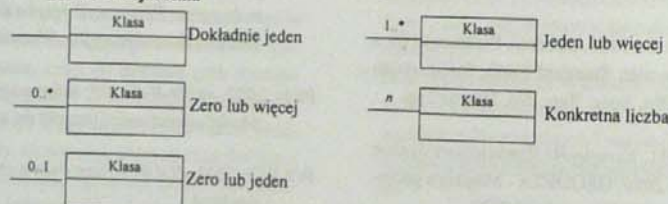
Reprezentacja klasy



Skojarzenie między klasami



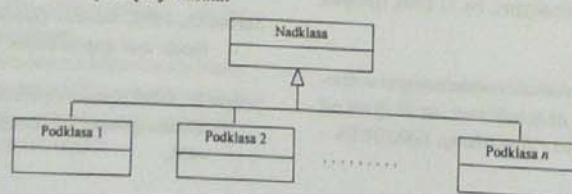
Liczność skojarzenia



Agregacja (gromadzenie) klas



Dziedziczenie pomiędzy klasami



Uwagi:

1. Nazwa atrybutu lub operacji może być poprzedzona symbolem „+”, który oznacza powszechną „widzialność” tego atrybutu lub operacji.
2. Klasa abstrakcyjna <<Abstrakcyjny>> posiada konkretnych instancji, tj. innych, niż będących instancjami jej podklas.
3. Skojarzenie między klasami (asocjacja) oznacza powiązanie znaczeniowe pomiędzy instancjami danej klasy.
4. Dziedziczenie pomiędzy klasami jest równoważne specyfikowaniu nadklasy, której atrybuty i metody są dziedziczone przez wyspecyfikowane podklasy tej nadklasy.
5. Agregacja pomiędzy klasami oznacza taką współzależność, w której jedna z klas gra rolę „zbiornika”, a druga klasa – rolę jego „zawartości”.

Summary

A role of geographic information is that part of the real world, which concerns a living space of a human being, i.e. accordingly to an accepted definition of geographic information, objects and features related either directly or indirectly to the Earth. Considered are, then, objects and features on the Earth surface, as well as close to it, either above or below it.

Each model of reality or its description is:

- always **abstract**, i.e. it uses a set of concept which generalise real or imaginary entities and their properties and attributes, as well as relationships between them, so, for example, once we say road we think rather about a road in general than about any particular road;
- always **partial**, i.e. it concerns only a properly separated, in the sense of space, time, subject and any other, fragment of a reality; and
- always is one of many possible **views, aspects or perspectives**, depending upon a goal it is designed for.

A large field of modelling geographic information aims at formulating in terms of computer science such formal descriptions of information structures, which could provide the basics for compatible implementations of GIS in diverse environments, as well as to facilitate, or even to make it possible, information communication or exchange between them. That is why the field became a subject of international (by the ISO), European (by the CEN) and national (Polish Committee of Standardisation) activities.

The following specific areas are usually distinguished within that field:

- geometry and topology of geographic information;
- quality;
- metadata;
- direct and indirect describing positions;
- methods and formal means used for modelling and describing information structures;
- update and query.

This paper deals with one part of the methodology of geographic information modelling, which concerns direct describing positions of geographic objects by

means of co-ordinates in properly defined reference systems. There are considered, among others:

1. Some basic concepts and definitions, which include:
 - geodetic reference system,
 - datum,
 - co-ordinate system,
 - cartographic projection.
2. An overview of geodetic concepts, methods and technologies, which are used to define a geode-

tic reference system, as well as to determine object positions within it.

3. Basics of the graphic notation UML and a diagram of a geodetic reference system in this notation. A conceptual schema of a direct description of such a system is also presented in the lexical language EXPRESS.

In the paper the International Standard ISO/FDIS 19111:2002 and the Polish Standard PN-N-02270:2000 have been used.

KAZIMIERZ TRAFAS¹

MIASTO JAKO OBIEKT BADAŃ GEOINFORMATYCZNYCH

Słowa kluczowe:

miasto, urbanizacja, planowanie przestrzenne, systemy informacji przestrzennej, kartografia, ekologia, zarządzanie miastem

Abstrakt

Miasto jest strukturą bardzo skomplikowaną o szczególnym nasileniu konfliktów (przestrzennych, ekonomicznych i społecznych), wynikających przede wszystkim z realizacji potrzeb życiowych jego mieszkańców, czego zewnętrznym przejawem jest stale przekształcany fragment przestrzeni, którą ono zajmuje, a ma także wpływ na otoczenie. Jednocześnie istnieje możliwość tworzenia dla miasta wyjątkowo bogatych i różnorodnych baz danych: graficznych (głównie w postaci map) i atrybutowych. Najbardziej użyteczne są relacyjne bazy danych, które umożliwiają kojarzenie ze sobą różnych danych, a przede wszystkim na uzyskiwanie odpowiedzi na pytania do nich skierowane (też głównie w postaci map). Autor, po omówieniu zagadnień ogólnych, związanych z właściwościami i funkcjonowaniem systemów informacji przestrzennej (SIP) w kontekście rozwiązywania problemów miejskich, prezentuje kilka przykładów ich wykorzystania, głównie jako wspomaganie decyzji w planowaniu i zarządzaniu miejskim, podaje także struktury baz danych i funkcjonujące modele postępowania w tym zakresie.

CITY AS A SUBJECT OF GEOINFORMATIC RESEARCH

Key words:

city, urbanization, spatial planning, geographical information systems, cartography, ecology, city management

Abstract

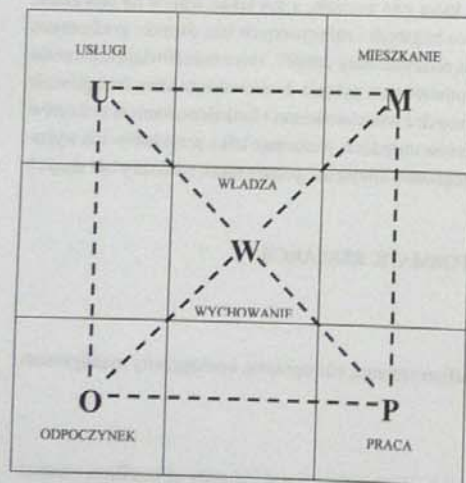
A contemporary city presents a complex structure, with a higher than usual intensity of conflicts (spatial, economical and social). The conflicts result mainly from realisation of the every day needs of the urban population, and lead to continuous changes within that part of geographical space the city occupies, and within its surrounding.

¹Uniwersytet Jagielloński, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej (Zakład Kartografii i Teledetekcji)

There is an opportunity to create for urban areas exceptionally data-rich and diverse databases: graphical (mostly maps) and attributal. The relational databases are the most useful ones, they allow to link different data and to generate answers to questions in form of a cartographic output.

In the paper, generic topics related to properties and functions of Geographical Information Systems in the context of cities and urban areas are presented. Next, several examples of their use as a spatial decision support tool in urban planning and management are discussed, with relation to structures of databases and functional models.

Miasto, definiowane jako wyższa forma rozwoju osiedla ludzkiego, jest wprawdzie pojęciem przede wszystkim przestrzennym, ale jego wysoce złożona i skomplikowana struktura powoduje, iż należy go traktować znacznie szerzej. Jest też, jak każde osiedle ludzkie, emanacją bytu społecznego w przestrzeni. Jego podstawowe funkcje (rys. 1) właściwe dla osiadłego trybu życia człowieka znajdują swój wyraz materialno-techniczny, jako elementy przestrzennego zagospodarowania. W jego obszarze dochodzi do specyficznych relacji pomiędzy przestrzenią przezeń zajmowaną a zamieszkującymi w nim ludźmi, a także z przebywającymi czasowo przybyszami z zewnątrz. Relacje te mają różny charakter



--- KOMUNIKACJA, ŁĄCZNOŚĆ

Rys.1. Model funkcjonalny osiedla ludzkiego (miasta) wg J. Goryńskiego
Fig1. Functional model of the city (after J. Goryński)

i przejawiają się przede wszystkim w samej strukturze miasta oraz funkcjach (wewnętrznych i zewnętrznych), jakie ono pełni. Miasto uznawane jest powszechnie jako obszar o największej koncentracji konfliktów nie tylko przestrzennych, ale także środowiskowych, kulturowych i społecznych. Wywoływane one są głównie przez same procesy urbanizacyjne, których źródłem jest zjawisko napływu ludności do miast oraz jej stale rosnące wymogi cywilizacyjne. Istnieje więc silne powiązanie pomiędzy tymi procesami a rozwojem techniki oraz warunkami produkcji (Goryński 1966). Miasto rozpatrywać więc można z kilku punktów widzenia, jako:

- wysoko zorganizowane osiedle ludzkie,
- część stale przekształcaną przestrzeni geograficznej,
- skupisko ludności realizującej swoje potrzeby związane z osiadłym trybem życia, w zakresie rodzinnym, zawodowym czy kulturowym a przede wszystkim mieszkaniowym,
- ośrodek koncentracji instytucji czy organizacji obsługujących pod jakimś względem (np. w zakresie szkolnictwa czy służby zdrowia) pewien obszar poza nim np. region, województwo, obszar metropolitalny,
- jako węzeł komunikacyjny i transportowy (ostatnio także i w zakresie przepływów informacji).

Niezależnie od tego miasto rozpatrywać można jako pewien system ekologiczny (ekosystem, geosystem), mówi się wtedy o tzw. ekologii miasta (*urban ecology*). Istotą badań w tym zakresie są np. badania nad zmianami demograficznymi wywołanymi przez urbanizację (migracje do miast i ich wpływ na środowisko) czy opracowanie modelu związków między urbanizacją a zmianami środowiska (Sukopp 1990). Niektórzy badacze (Bartkowski 1986) traktują miasto jako system przepływu materii, energii i informacji ujmując np. w sposób

całościowy bilans energetyczny miasta a także wody i biomasy, w układzie przestrzennym na obszarze miasta albo też, jako model planistyczny – ekonomiczny z modelami cząstkowymi: infrastruktury społecznej, rynku pracy, przemysłu i transportu (Klassen, Paelinck, Wagenaar 1982). Punktem wyjścia większości tych badań jest analiza relacji pomiędzy środowiskiem miasta, rozumianym jako fragment przestrzeni a działalnością w niej człowieka. Zewnętrznym przejawem będzie wtedy np. relacja pokrycia terenu roślinnością – do zabudowy i na tej podstawie wydzielanie jednostek typologicznych (Richling, Solon 1993).

Złożoność procesów urbanistycznych oraz samej struktury przestrzennej miasta, istnienie wielu zależności (i konfliktów), a także możliwość zebrania wielu danych i tworzenie z nich odpowiednich modeli, czyni z miasta jeden z najbardziej frapujących obiektów dla zastosowania metod geoinformatycznych. Można nawet powiedzieć, że tylko ich wykorzystanie pozwala na zebranie, uporządkowanie, przechowywanie oraz przetwarzanie tak wielu danych, które są możliwe do uzyskania dla miasta.

Najważniejszymi systemami informacji dla miast są te, które operują danymi przestrzennymi tj. mającymi swój „adres przestrzenny”. Nazywane są one systemami informacji przestrzennej – SIP, a częściej systemami informacji geograficznej – GIS. Ujęcie przestrzenne zapewnia nam przede wszystkim mapa, która stanowi w tym przypadku swego rodzaju „cyfrowy model kartograficzny”. Tworzą go zintegrowane wieloparametrowe warstwy informacyjne, uzyskane w wyniku nakładania, łączenia i obliczeń statystycznych dokonywane na zbiorach danych, które składają się z jednostek terytorialnych opisanych wektorami o wielu parametrach (Kolejka 2002). Dane dotyczące jakiegoś obszaru (miasta) i gromadzone w systemie informacji przestrzennej można podzielić na: geometryczne (określające lokalizację obiektów, np. przy pomocy współrzędnych geograficznych lub topograficznych), atrybutowe (opisowe, określające charakter obiektów) oraz zorientowane obiektowo tzw. obiektowe bazy danych. Przedstawienie danych w postaci map daje możliwość ujęcia relacji przestrzennych pomiędzy poszczególnymi obiektami, które mogą także być skategoryzowane. Dzięki prezentacji tych kategorii uwidocznione

zostają relacje pomiędzy ich różnymi elementami, co pozwala na analizę rozkładu przestrzennego zjawiska. Natomiast łącząc dane atrybutowe i przestrzenne, za pomocą identyfikatorów, można ujawniać relacje między konkretnymi wartościami a jednostkami odniesienia (np. dzielnicami miasta).

Celem tworzenia SIP dla miast jest zarządzanie danymi i analiza informacji przestrzennych. Punktem wyjścia są bazy danych, zawierające informacje niezbędne dla funkcjonowania miasta, które wprawdzie zmieniają się często, istnieje jednak pewien rdzeń informacyjny, który jest potrzebny stale. Ważne jest zatem rozróżnianie danych wymagających współużytkowania, od wszystkich innych dostępnych danych. Baza danych SIP dla miasta może być zcentralizowana, ale jej części mogą być też rozłożone w wielu bazach w licznych miejscach (wtedy „porcje” danych są przechowywane w różnych miejscach, jednak cała baza danych dostępna jest dla użytkownika i zarządzana w sposób skoordynowany). Dane graficzne są przechowywane w warstwach, w formie głównie kartograficznej, ale z informacjami o charakterze topologicznym.

Istotnym zagadnieniem jest sama organizacja baz danych; wyróżnia się ich trzy podstawowe typy:

- **hierarchiczną**, mającą strukturę drzewa, ze z góry określoną zależnością danych; jest ona skuteczna przy przetwarzaniu dużej ilości danych, nie sprawdza się jednak w bardziej dynamicznym środowisku, gdzie często zmieniają się relacje (a więc w mieście, które cechuje prawie zawsze znaczny dynamizm),
- **sieciową**, umożliwiającą wielokrotną hierarchizację danych (do tych samych danych może prowadzić wiele ścieżek) oraz bardziej elastyczny do nich dostęp, utrudnia jednak aktualizację danych (co nie jest korzystne dla miast); jest ona nadrzędna w stosunku do hierarchicznej,
- **relacyjną**, organizującą dane w zbiory pojęciowe składające się z „prostokątnych” danych ujętych w rzędy i kolumny. Kluczowym atutem elastyczności i wyjątkowej jej przydatności np. dla miasta, jest możliwość szybkiego łączenia danych z różnych zbiorów. Systemy relacyjne zasadzają się na standardowym języku zapytań – SQL.

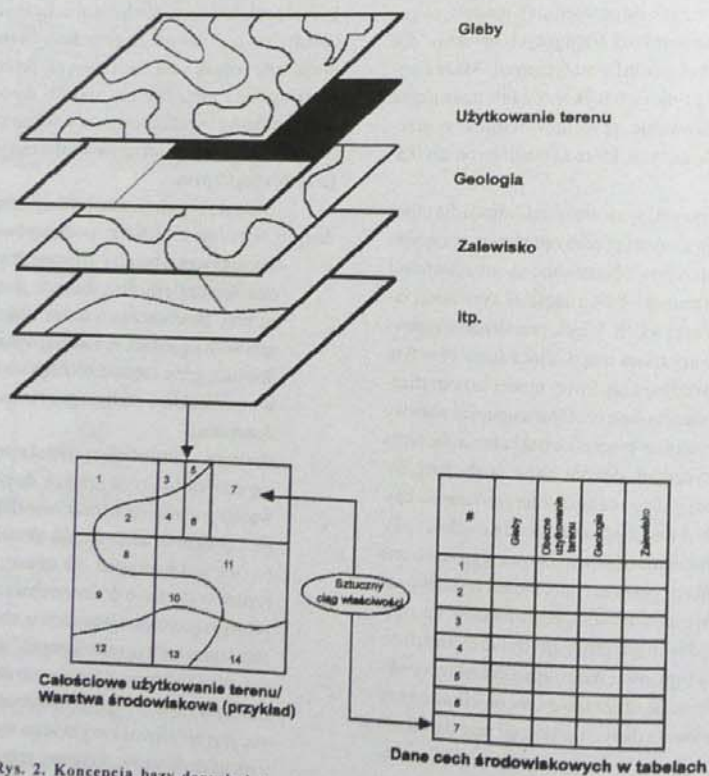
Wartości współrzędnych, punkty, linie i pola nie są same w sobie relacyjne, ale adresy, ulice, skrzyżowania, budynki, działki nieruchomości itp. – już tak. Nadając im postać geometryczną, użytkownicy mogą je łatwo postrzegać i manipulować nimi. Rys. 2 przedstawia ogólną koncepcję bazy danych dla środowiska, przyjętej w Los Angeles. Przykład zastosowania relacyjnej bazy danych podany został natomiast na rys. 3, dotyczy on procentu mieszkań wyposażonych w CO w dzielnicach miasta Krakowa.

Istotną sprawą jest także łączenie baz danych z systemami zewnętrznymi znajdującymi zastosowanie np. przy prowadzeniu rejestru gruntów, zezwoleń na bu-

dowę, utrzymywaniu sieci wodociągowych, kanalizacyjnych, itp.

Systemy informacji przestrzennej służą udoskonaleniu planowania i podejmowania decyzji. SIP może dostarczyć zarówno bardzo zwyczajnych, jak i bardzo wyszukanych informacji, np. może:

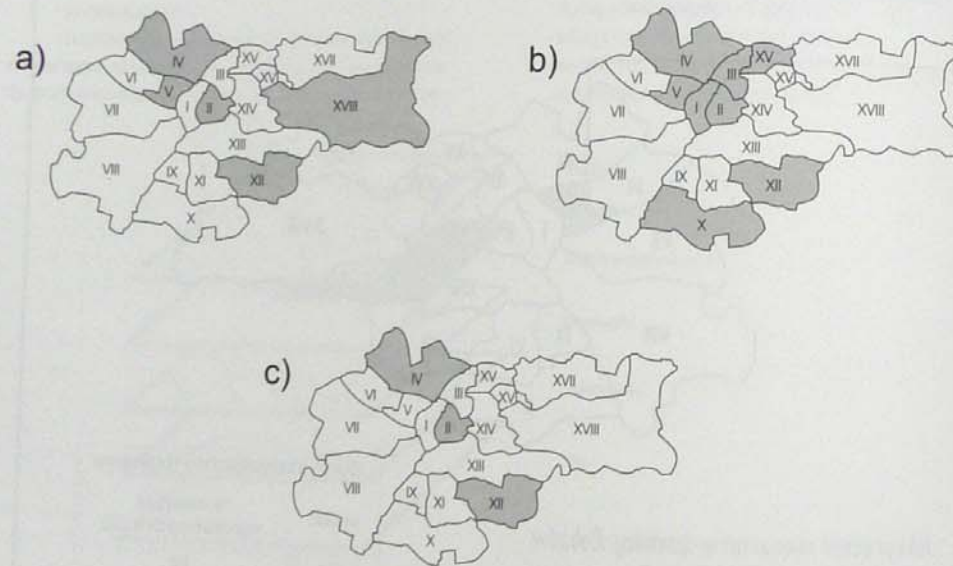
- wskazać odcinki sieci kanalizacyjnej nie używanej od pewnego czasu,
- wybrać rejon policyjny i odnaleźć raporty o przestępczości, podając dzień miesiąca, charakterystyką ofiary bądź typ przestępstwa,
- ułożyć rejestry użytkowania gruntów,
- wybrać wszystkie działki podatkowe i wskazać te, które mają zaległości podatkowe.



Rys. 2. Koncepcja bazy danych dotyczących środowiska, dla Los Angeles
Fig. 2. Conceptuon of an environmental database for Los Angeles



Rys. 3. Przykład relacyjnej bazy danych (procent mieszkań z CO w dzielnicach Krakowa).
Fig. 3. Relational database (percentage of apartments with central heating in districts of Kraków City).



Rys. 4. Pytania do bazy danych i odpowiedzi (przykład dotyczący mieszkalnictwa w Krakowie).
Fig. 4. Answers to the questions about the database (example of housing in Kraków City).

Istotą systemów informacji przestrzennej jest udzielanie odpowiedzi na odpowiednio skonstruowane pytania, np.:

- co znajduje się w...?
- gdzie znajduje się...?
- co się zmieniło od...?
- jaka jest najkrótsza droga pomiędzy...?
- jaka zachodzi relacja pomiędzy...?
- co stanie się gdy...?

Rys. 4 prezentuje przykład najczęściej stosowanego schematu takiej procedury, w tym przypadku z zakresu zagadnień związanych z budownictwem mieszkaniowym w Krakowie:

- a) pytanie analityczne I: wskaż, które dzielnice miasta nie leżą w zasięgu ewentualnego zagrożenia powodziowego? (odpowiedź - dzielnice: II, IV, V, XII, XVII);
- b) pytanie analityczne II: wskaż które dzielnice posiadają dogodne sieciowe uzbrojenie terenu? (odpowiedź - dzielnice: I, II, III, IV, V, X, XII, XV);
- c) pytanie syntetyczne, wynikające z odpowiedzi na dwa poprzednie: które dzielnice posiadają najlepsze warunki dla budownictwa mieszkaniowego? Odpowiedź ostateczna: dzielnice II, IV, XII;

Podstawową procedurą w systemach informacji przestrzennej są tzw. analizy przestrzenne, które sprowadzają się do trzech typów operacji: nakładania, sieciowych i powierzchniowych. Ze wszystkimi typami mamy do czynienia w badaniach miast; najczęściej stosowana jest analiza polegająca na łączeniu kilku zbiorów danych spełniających określone kryteria. Łączy się więc np. zbiory danych pochodzących z dwóch różnych okresów, np. dwa kolejne plany zagospodarowania przestrzennego, następnie wyodrębnia się jakiś element, np. tereny przeznaczone na zabudowę mieszkaniową i przez nałożenie obu tych planów otrzymuje się rezultat w postaci wyodrębnienia obszarów:

- gdzie nie zaszły zmiany,
- gdzie zrezygnowano z lokalizacji zabudowy mieszkaniowej, oraz
- gdzie wyznaczono nowe tereny pod zabudowę mieszkaniową

Uzupełniającą jest analiza statystyczna rezultatów, w ramach której można otrzymać: bilans wielkości powierzchni dla poszczególnych kategorii (lub ilości w nich), działek własnościowych (w połączeniu z danymi katastralnymi) lub lokalizacji w strefach wysokościowych terenu (w połączeniu z mapą warstwicową) itp. Przy porównywaniu (nakładaniu) ze sobą różnych planów zagospodarowania przestrzennego, a odnoszących się do tego samego podkładu, który stanowi mapa ewidencji gruntów, zachodzi często różnica w przebiegu granic poszczególnych wydziałów, chociaż powinny one być zgodne z niezmienną strukturą mapy ewidencyjnej. Występują wtedy w wyświetlonym obrazie tzw. poligony resztkowe; ich usunięcie stanowi dodatkowe utrudnienie w badaniach zmian pomiędzy obu planami. Uzyskuje się przez to bardziej obiektywny obraz zmian (dotychczas przerysowujący podejmował arbitralną decyzję, który z dwóch wariantów jest słuszniejszy), jest to więc dowód na to, iż tylko metody informatyczne mogą obiektywnie ujawnić te niezgodności oraz stosunkowo szybko je usunąć w sposób systemowy. Inną procedurą GIS-owską, ważną w analizie i planowaniu obszarów miejskich jest tzw. buforowanie, tj. określenie pewnych stref odległościowych (ekwidystant) od różnych obiektów zarówno punktowych, jak i liniowych czy powierzchniowych. Ważne są też analizy o charakterze prognostycznym, np. wybór wariantu przeprowadzenia trasy komunikacyjnej. Zestawia się wówczas kilka map tematycznych (najlepiej w strukturze rastrowej) w zależności od występujących w danym obszarze problemów środowiskowych (poziom występowania wód gruntowych, lokalizacji terenów chronionych, klasy gleb itp.) lub potrzeb lub zagrożeń dla ludności (Kragg, Ormeling 1998).

Nakładając na wybrane mapy możliwe przebiegi trasy można ocenić, który z wariantów jest najmniej kolizyjny w stosunku do wartości środowiska lub warunków życiowych mieszkańców, określając uprzednio stopień wrażliwości lub podatności na wpływy tej inwestycji, nawet tylko w klasyfikacji werbalnej, jako wpływ: duży, średni czy mały. Z tymi zagadnieniami łączą się też np. oceny oddziaływania uciążliwych obiektów na otaczające obszary sąsiednie. Najprostsze są tutaj metody badania tzw. stref dopuszczalnych jeśli

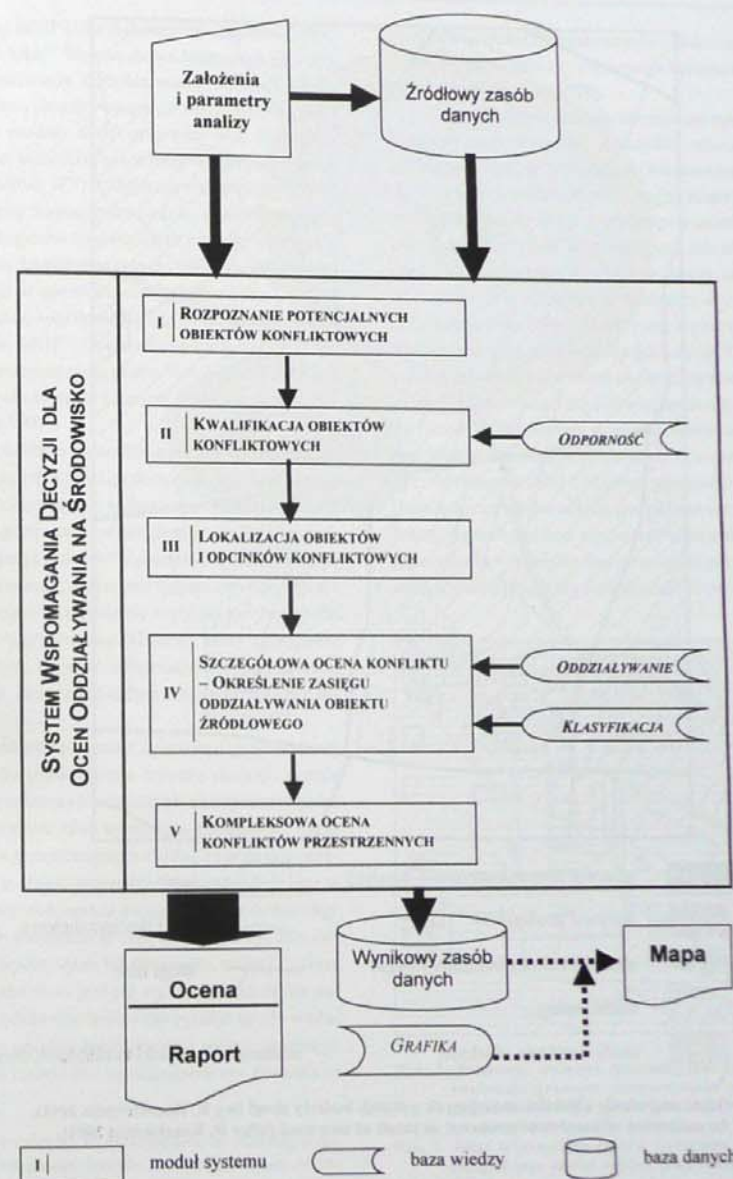
chodzi o poszczególne zagrożenia np.: hałas, zanieczyszczenia powietrza etc. Istotną jest tutaj jednak pełna analiza zależności przestrzennych, zachodzących pomiędzy obiektami będącymi źródłami tego szkodliwego oddziaływania a obiektami podlegającymi temu oddziaływaniu. Oczywiście złożoność środowiska (szczególnie miejskiego) znacznie utrudnia możliwość wykonania wszystkich analiz dla wszystkich sytuacji, ale im więcej jest wykonanych, tym bardziej przybliżamy się do optymalnej oceny. Taką szansę wieloaspektowej analizy dają nam systemy eksperckie uznawane jako konstrukcja programu komputerowego wspomagającego proces podejmowania decyzji. W odniesieniu do opracowywanych w Polsce tzw. ocen oddziaływania na środowisko (OOS) zaproponowano pewien schemat, który podaje za R. Kozakiewiczem (2001) (rys. 5).

Pierwszym modulem jest *rozpoznanie potencjalnych obiektów konfliktowych*, obejmujący analizę uciążliwości dla poszczególnych obiektów znajdujących się w strefie oddziaływania np. emitora i wyselekcjonowanie ich z bazy danych. Następnie przeprowadza się *kwalifikację obiektów konfliktowych* wykorzystując atrybuty opisowe poszczególnych obiektów, dalej *lokalizuje się obiekty konfliktowe lub ich części* zwykle w lokalnym układzie odniesienia, uwzględniając także relacje przestrzenne pomiędzy różnymi obiektami, natomiast *szczegółowa ocena konfliktu* obejmuje parametry zarówno obiektu źródłowego, jak i narażonych. Rozróżnia się różne typy relacji: tłumienie, izolacja, rozproszenie, modyfikacja itp. Analizę kończy *kompleksowa ocena konfliktów przestrzennych*, w której zwraca się uwagę na takie zjawiska, jak: synergizm, kumulacja, czy wtórne oddziaływanie poszczególnych czynników. Autor przytacza przykład (rys. 6), w którym rozważa wpływ drogi na dwa rezerwaty: florystyczny A o słabej kondycji odpornościowej i geologiczny B – o dużej odporności. Ustalono strefy narażenia wyrażające się różnymi odległościami od obiektu źródłowego, wychodząc z arbitralnie ustalonej strefy narażenia pierwszego stopnia 750 m. Po przeprowadzonej analizie weryfikacyjnej stwierdzono, że strefy narażenia wyznaczone dla obiektu A zawierają sam obiekt źródłowy, a przecięcie stref narażenia z obiektem źródłowym generuje pewne odcinki konfliktowe. W związku z tym

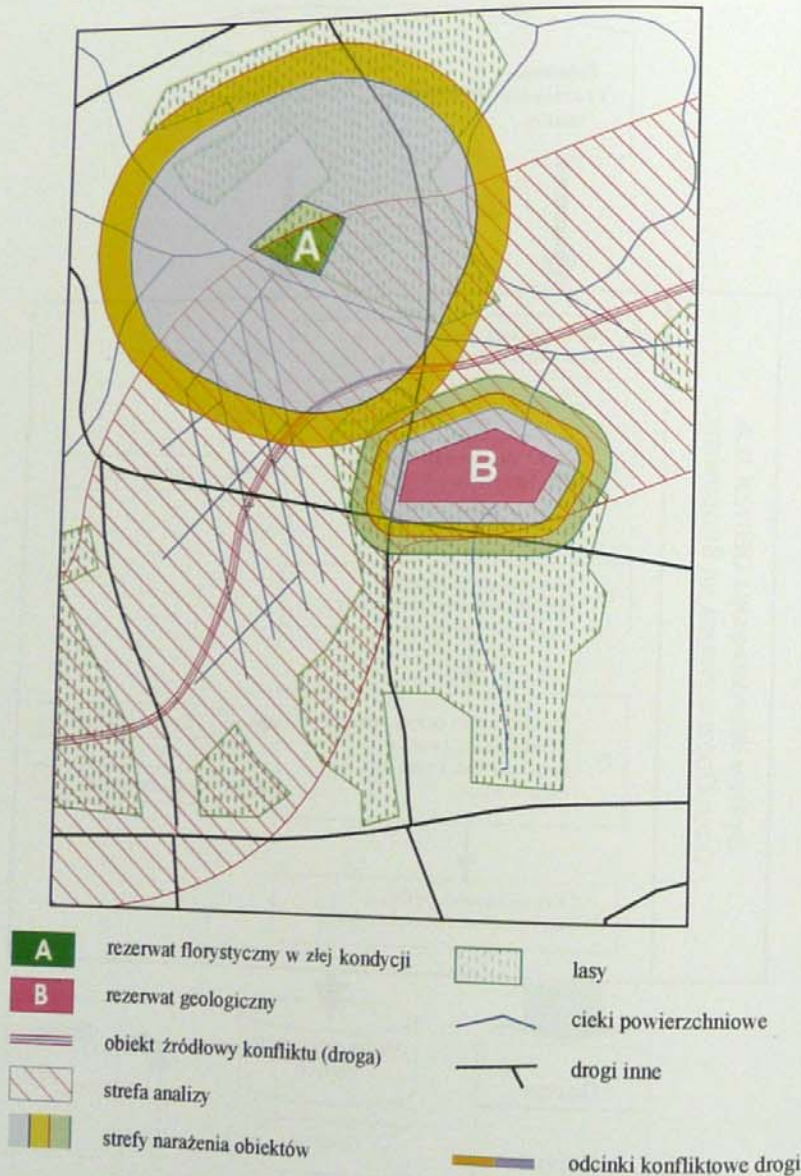
obiekt A został uznany jako narażony na zmiany spowodowane budową drogi a obiekt B za niezagrożony (pomimo zlokalizowania bliżej drogi).

Innym narzędziem programowym, który pozwala powiązać różnego rodzaju dane z poszczególnymi obiektami przestrzennymi jest Arc View. Narzędzie to pozwala na bardzo szybki dostęp do wielu informacji (np. fotografii, planu budynku, wartości sprzedażnej, danych statystycznych) o obiekcie, po uprzednim wskazaniu go na mapie. System ten został wykorzystany i wdrożony dla krakowskiego Kazimierza, w ramach międzynarodowego programu ECCOS (European City Cooperation Scheme) – realizowanego pod kierunkiem autora – jako pomoc w planowaniu i zarządzaniu miastem zabytkowym. Oprócz bowiem celów ogólnych w tym: legislacyjnych, planistycznych czy promocyjnych, uwzględniał on takie informacje jak: wartość kulturalna i historyczna, tzw. „produkt dziedzictwa kulturowego” i jego turystyczną promocję oraz szczegółowe informacje dotyczące stanu technicznego, procesów regeneracji i rewitalizacji zarówno poszczególnych budynków, jak i wyznaczonych specjalnie obszarów kluczowych. Łącznie uwzględniono ponad 100 różnych informacji o każdej działce budowlanej. Ważne jest to szczególnie w takich częściach miasta, gdzie mamy do czynienia z jednej strony z nieuregulowanymi stanami własnościowymi nieruchomości, zmieniających się właścicieli a z drugiej, z wieloma problemami wynikającymi ze złej kondycji technicznej budynków i koniecznością ich rewaloryzacji. Łatwo dostępna baza danych oraz możliwości kojarzenia ze sobą bardzo różnych informacji – jest wtedy niezbędna szczególnie, że istotną rolę odgrywają tutaj czynniki komunikacji społecznej oraz częste sytuacje konfliktowe (Broński, Goerlich 1995).

Najważniejszym jednak zastosowaniem systemów informacji przestrzennej dla potrzeb miasta jest wspomaganie licznych procedur związanych z planowaniem przestrzennym a szczególnie z planem zagospodarowania przestrzennego zarówno ogólnym (aktualnie mającym formę „studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego”), jak i szczegółowym (miejscowym). Kategoria „planowanie przestrzenne” jest jedną z 14 kategorii tematycznych tworzących Małopolski (obecnie Miejski) System Informacji



Rys. 5. Schemat systemu wspomagania decyzji dla ocen oddziaływania na środowisko (wg R. Kozakiewicza).
Fig. 5. A schema of the decision support system for estimates of impact on environment (after R. Kozakiewicz).



Rys. 6. Ocena zagrożenia obiektów chronionych wskutek budowy drogi (wg R. Kozakiewicza 2001).
Fig. 6. An estimation of hazards of protected as result of new road (after R. Kozakiewicz 2001).

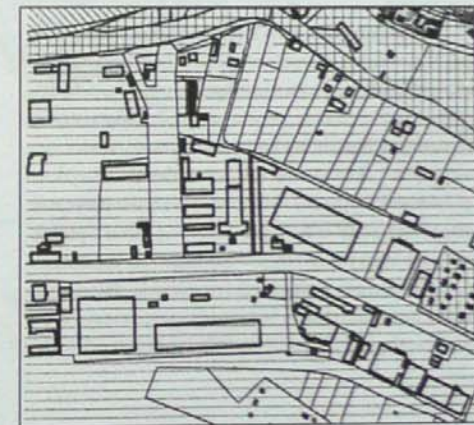
Przestrzennej MSIP (Chrobak 2000)*. Jego elementem jest też „GIS Atlas” Województwa Małopolskiego, dla którego pozyskiwanie, kompletowanie i aranżacja struktury banku danych odbywa się na stacji roboczej wyposażonej w moduły MGE oraz bazę SQL Microsoft opcja: Oracle, Informix, pracującej w systemie operacyjnym Windows NT) Obejmuje on między innymi elaborat planu zagospodarowania przestrzennego, obszary strategiczne (rozwojowe), rezerwy terenowe, przebiegi tras komunikacyjnych, obszary chronione. MSIP pracuje w oparciu o rozwiązanie f-my INTERGRAPH wraz ze współpracującym z nim środowiskiem MicroStation, MGE i GeoMedia, a dane systemu dostępne są za pomocą programów VistaMap i w Internecie, co zapewnia łączenie z innymi danymi zewnętrznymi (Trafas, Pyka 1997).

Jeśli chodzi o łączenie poszczególnych warstw informacyjnych dla potrzeb decyzji w zakresie planowania przestrzennego to najbardziej efektywnym jest łączenie kategorii „planowanie przestrzenne” z kategoriami: „ewidencja gruntów” i „budynki” (rys. 7), a także „uzbrojenie terenu”, mającymi bogate atrybuty opisowe i pozwalające na uzyskanie szybkiej informacji dla przeciętnego użytkownika (klienta), który zgłasza się do urzędu chcąc uzyskać informacje o swojej działce, względnie tej, którą chce nabyć lub, na której chce inwestować.

Komputerowy system informacji przestrzennej służy także do prowadzenia rejestru decyzji, przede wszystkim w zakresie koniecznych do uzyskania przez każdego inwestora: tzw. warunków zabudowy i zagospodarowania przestrzennego (WZiZT) oraz pozwolenia na budowę. Takie prowadzenie rejestru daje lepsze możliwości wyszukiwania decyzji według dowolnego z istniejących parametrów (np. kodu sprawy, data decyzji, kto ją wydał, dane lokalizacyjne, rodzaj i zakres decyzji itp.); możliwe jest też wykonywanie analiz poprzez odpowiednio sformułowane pytanie np. ile wydano decyzji na obiekty budownictwa jednorodzinnego w danym roku i gdzie one są zlokalizowane. Pozwala to

na ujęcia syntetyczne (jakościowe i ilościowe), ważne w sprawozdawczości czy planowaniu budżetu miasta (Forzyciarz, Jędrzychowski 1999).

Wspomaganie zarządzania sieciami miejskimi jest kolejnym zastosowaniem systemów informacji przestrzennych. I tak np. w Poznaniu (Sztukiewicz, Rydzewski 1997) opracowano metodę oceny stanu jezdni ulic z uwzględnieniem opisu ilościowego parametrów stanu oraz dowolnej liczby pomierzonych lub określonych cech elementów ulic. Powiązanie oceny stanu jezdni ulic z wyborem właściwych zabiegów w zakresie ich utrzymania pozwoliło na efektywne wykorzystanie nakładów przeznaczonych na miejskie drogi. Ocena stanu ulic lub ich elementów może być dokonywana za pomocą globalnego wskaźnika lub w oparciu o tzw. symptomy stanu (przyjęto trzy poziomy stanu nawierzchni: wymagany, ostrzegawczy i krytyczny, a sam stan może być określany przez 10 różnych parametrów). Dla potrzeb systemu wprowadzono podział nawierzchni na elementy jednorodne pod względem konstrukcji i stanu, szczególnie w obrębie pasa ruchu; wykonano także modelowanie prognostyczne służące do przewidywania



Rys. 7. Połączone warstwy informacyjne: budynki, ewidencja gruntów, przeznaczenia planu zagospodarowania przestrzennego (dla fragmentu miasta Krakowa)

Fig. 7. Joint information layers: buildings, plots and designations of the spatial plan (part of Krakow City)

*Autorowi temu dziękuję za udostępnienie mi materiałów pochodzących z Miejskiego Zarządu Baz Danych Urzędu Miasta Krakowa

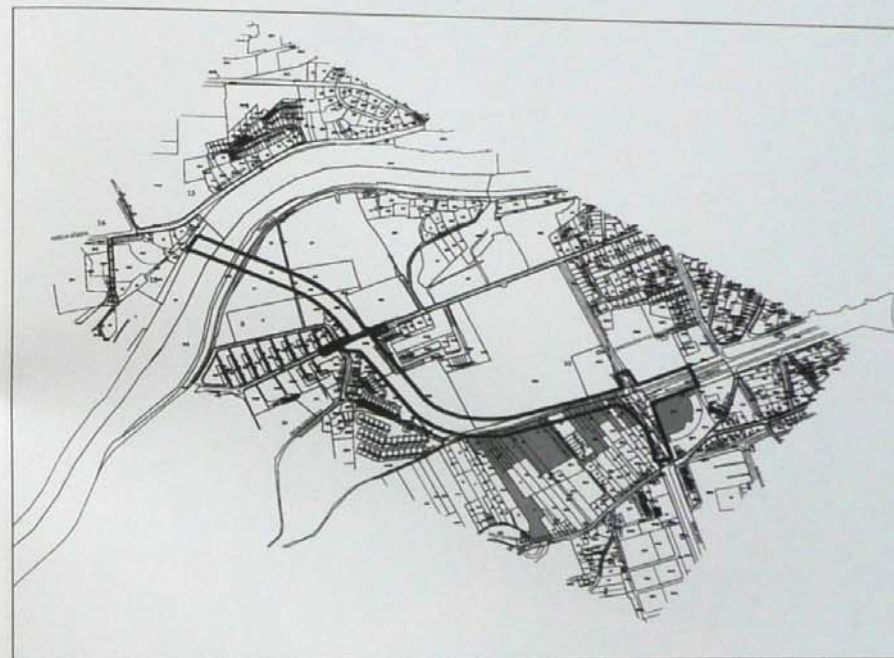
zmian stanu technicznego nawierzchni ulic. Systemy geoinformacyjne pozwalają wreszcie, na tworzenie wizualizacji przestrzennych np. obiektów architektonicznych, których projekty można oglądać z różnych stron oraz wkomponowywać w różne symulowane sytuacje przestrzenne (tutaj dominuje AutoCAD). Specjalną formą wizualizacji jest symulacja np. różnych wariantów przebiegu tras komunikacyjnych przeprowadzana na mapie ewidencyjnej (rys.8) lub na zdjęciu lotniczym (rys.9). Takie ujęcia oprócz swej pogładowości samej w sobie pozwalają na bardziej kompleksową ocenę funkcjonowania danej inwestycji w krajobrazie, a także ujawniać mogą związane z tym konflikty.

W przyszłości należy przewidywać, że przede wszystkim na potrzeby miast, do systemów informacji przestrzennej wbudowywać się będzie sztuczna inteligencja. Bazy danych i mapy będą tak przygotowywane, aby ewentualne sprzeczności od razu zwracały uwagę użytkownika (urzędnika). Jeśli np. pewne grunty wykorzystywane są na cele mieszkaniowe i proponowane zezwolenie przewiduje tam budowę domów, wtedy SIP da sygnał w wypadku jeśli plan zagospodarowania przestrzennego przewiduje np. przemysłowe wykorzystanie tego terenu.

Publiczny dostęp do informacji o przestrzeni miejskiej zapewniony zostanie w przyszłości dzięki publicznym terminalom, a sama informacja podawana będzie w wersji multimedialnej, przy czym oprócz obrazu i dźwięku istotnym będzie wykorzystanie możliwości animacyjnych i ukazywanie wielu problemów miejskich (np. komunikacyjnych) – w ruchu, a nie tylko statycznie. Zastosowania SIP-u powiązane zostaną bliżej z projektowaniem trójwymiarowym wspomaganiem komputerowo, a wspomniane wyżej narzędzia sprawią, że analitycy miejscy oraz mieszkańcy będą mogli uczestniczyć w symulacji realnych i przewidywanych sytuacji w przestrzeni.

Bibliografia

- Bartkowski T., 1986, *Zastosowania geografii fizycznej*, PWN Warszawa.
- Broński K., Goerlich K., 1995, *An information support for urban planning and urban management*, GIS data base for Kazimierz - City Prof, Sub-Project I, Appendix I, Section I, Report of the Project Activities GIS data base.
- Chrobak T., 2000, *Niełatwo być liderem*, Geodeta, nr 7, s. 5-10, Warszawa.
- Foryciarz K., Jędrzychowski I., 1999, *Komputerowy system informacji przestrzennej*, Miasto, nr 11, s. 56-57, Poznań.
- Goryński J., 1966, *Urbanizacja, urbanistyka i architektura*, Współcz. Bibl. Nauk. - Omega, PWN Warszawa.
- Klaassen L.H., Paelinck J.H.P., Wagenaar S., 1982, *Systemy przestrzenne*, PWN, Warszawa.
- Kolejka J., 2002, *Integracja warstw i zjawisk w systemach informacji geograficznej*, [w:] Świat mapy - Świat na mapie, Głównie problemy współczesnej kartografii 2002, s. 94-107, Wrocław.
- Kozakiewicz R., 2001, *System wspomagania decyzji w ocenie oddziaływania obiektów liniowych na środowisko*, AGH - rozprawa doktorska, Kraków.
- Kraak M., Ormeling F., 1998, *Kartografia - wizualizacja danych przestrzennych*, PWN Warszawa.
- Richling A., Solon J., 1994, *Ekologia krajobrazu*, PWN, Warszawa.
- Sukopp H., 1990, *Urban ecology and its application in Europe*, Urban Ecology, SPB Academic Publishing, The Hague.



© Miejski Zarząd Baz Danych

Rys. 8. Projekt przebiegu nowej trasy komunikacyjnej („Trasa Zwierzyniecka” w Krakowie – na bazie mapy ewidencyjnej).

Fig. 8. Projects of the new route („Trasa Zwierzyniecka” in Kraków City) on the basis of plot map.

Systemy informacji o terenie, Planowanie i wdrażanie, 1997, Związek Miast Polskich, Poznań.

Sztukiewicz R., Rydzewski P., 1997, *Dbajmy o drogi*, Geodeta, nr 11, s. 17-21, Warszawa.

Trafas K., Pyka K., 1997, *The future of the regional Atlas: computer or GIS atlas?* Proceedings vol. IV, 18th ICA/ACI International Cartographic Conference, s. 2150-2157, Stockholm.

Summary

A contemporary city presents a complex structure, with a higher than usual intensity of conflicts (spatial, economical and social). The conflicts result mainly from realisation of the every day needs of the urban population, and lead to continuous changes within that part of geographical space the city occupies, and within its surrounding.

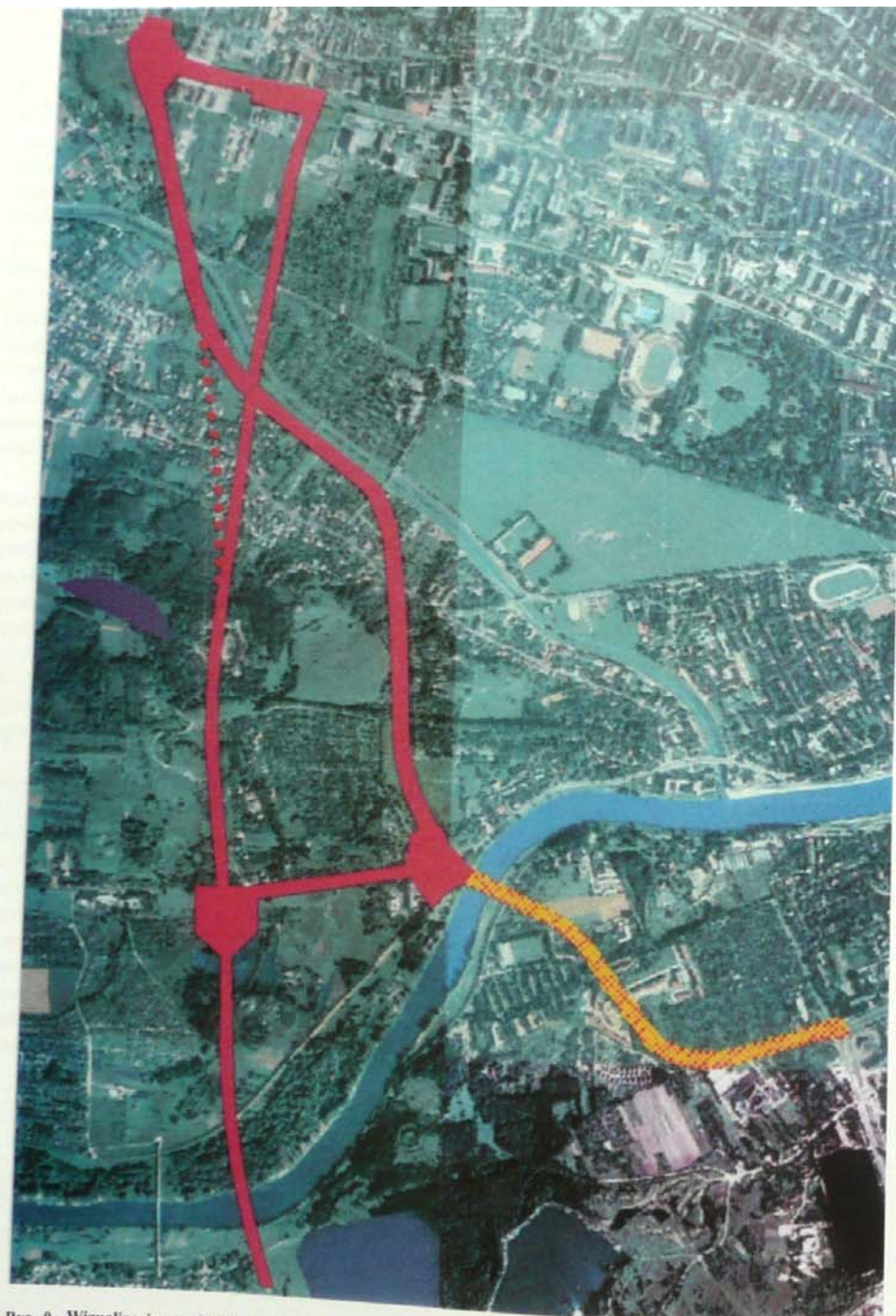
There is an opportunity to create for urban areas exceptionally data-rich and diverse databases: graphical (mostly maps) and attributal. The relational databases are the most useful ones, they allow to link different data and to generate answers to questions in form of a cartographic output, so called "GIS-Atlas" e.g. Atlas of Małopolska voivodship. The MGE INTERGRAPH system has been selected for the development and target use of this Atlas. Collecting, completing, and constructing the data base structure of this is managed on a working station equipped with MGE modules and SQL Microsoft base - Oracle, Informix option, operating in the Windows NT environment.

Essential of Spatial Information System are the answers to the questions about the data base e.g.:

- what are in ...?
- where are they location...?
- what are the changes...?
- what is the shortest distance between...?
- what is the relationship between...?
- what will happen if...?

Spatial information relates to elements like point, lines and areas. Coordinates, stored in a special database, can be used to display and draw maps. Attached to each elements the GIS can store attribute data describing the element. Notice that the data structure of maps is bases on different layers of information. In the paper, presented, several examples of Spatial Information System use as a spatial decision support tool in urban planning and city management are discussed.

GIS is important as well to analyse future uses eg.: the choice of communication routes this done compilation of few thematic maps, depend of environmental conditions (level of groundwaters, localization of protected areas, categories of soils etc.). GIS methods



Rys. 9. Wizualizacja przebiegu nowej trasy komunikacyjnej („Trasa Zwierzyniecka” w Krakowie) na bazie zdjęcia lotniczego (udostępnione przez Miejski Zarząd Baz Danych UM Kraków).
Fig. 9. Computer visualisation of the new route („Trasa Zwierzyniecka” in Kraków City – on the basis of aerial photo).

applicable to define and mark of hazards zones of air pollution (distance from emitters), highways etc., which are sources of negative influences (especially on the frame *Estimates of impacts on environment* - as a legal requirement in Poland). Next several examples as a supporting of management of the city infrastructure (water supply, sewage, central heating and roads - streets network).

A decision support system is needed for each cities. The record structure is designed so as to contain all necessary information for historic city (like Cracow) management from the point of view of real estate. The system, which introduce in Kazimierz district, should satisfy information needs of strategic and operational managerial functions of the city, including: legislative, predictive, planning and promotional functions, as well as public communication and conflict resolution. Simultaneously, the system would meet specific needs of the historic city, such as information on: cultural and historic value, for heritage planning, tourist promotion, and information for setting up a regeneration and revitalization poli-

cy from the local citizens perspective (e.g. by considering housing problems).

Spatial Information System is very useful to elaborate of spatial (physical) plan of the city, especially to joint particular information layers (eg. buildings, plots and land use categories) derived from overlaid, joint, statistically proceeded analytic data sets consist of homogeneous territorial units described using multi-coordinate vectors.

Examples comprise multi-criteria choices of location of new transport facilities, environmental impact assessment models and spatial simulation models, which might be used in the design process by visualization, which could be seen some objects or situations, from different angles.

Finally, future development of spatial information systems is discussed, related mostly to the further progress of artificial intelligence and multimedia communication technologies.

KRONIKA PRAC KOMISJI

W okresie od 1 stycznia do 31 czerwca 2003 odbyły się następujące posiedzenia naukowe Komisji:

8 stycznia z referatem Wiesławy Żyszkowskiej (Uniwersytet Wrocławski, Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego, Zakład Kartografii) pt.: „Wkład geoinformatyki do kartografii”;

19 lutego z referatem Krystiana Pyki (AGH, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej) pt.: „Tworzenie i udostępnianie informacji przestrzennej przez administrację publiczną województwa małopolskiego”;

12 marca z referatem Joanny Bac-Bronowicz (Akademia Rolnicza we Wrocławiu, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska, Katedra Geodezji i Fotogrametrii) pt.: „Rola mapy w geoinformacji”;

9 kwietnia z referatem Piotra Wężyka (Akademia Rolnicza w Krakowie, Wydział Leśny, Katedra Ekologii Lasu) pt.: „Geoinformatyka w służbie ochrony przyrody i środowiska”;

14 maja z referatem Stanisława Mularza (Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Ochrony Środowiska, Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej) pt.: „Geoinformatyczne (lub geoinformacyjne) aspekty zdalnego monitoringu kopalń odkrywkowych”;

11 czerwca z referatem Sławomira MIKRUTA (Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Zakład Fo-

togrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej), pt.: „Wpływ skanowania i kompresji metodą JPEG na wykrywanie obiektów liniowych i punktowych na obrazach cyfrowych”.

Streszczenia referatów ukażą się w kolejnym tomie „Sprawozdań z czynności i posiedzeń PAU”. Streszczenia z referatów wygłoszonych na posiedzeniach w drugim roku działalności Komisji (2000) znajdują się w tomie LXIV/2000 (Kraków-2001) tychże „Sprawozdań”.

Streszczenia referatów z 2001, 2002, 2003 roku ukazują się w kolejnych tomach „Sprawozdań”.

W części organizacyjnej kolejnych posiedzeń prezentowano kandydatów na nowych członków Komisji i przeprowadzano procedury formalnego ich przyjęcia.

W roku 2003 od stycznia do czerwca przyjęto następujących nowych członków Komisji:

- dr hab. Wiesław Żyszkowski z Uniwersytetu Wrocławskiego - Zakład Kartografii Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego, sylwetkę Kandydatki przedstawili prof. K. Trafas i prof. J. Kotlarczyk,

- dr inż. Joannę Bac-Bronowicz z Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Katedra Geodezji i Fotogrametrii Wydziału Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, sylwetkę Kandydatki przedstawili prof. J. Jachimski i prof. J. Kotlarczyk,

W rezultacie powiększenia składu Komisja liczy obecnie 41 członków. (Jedna osoba zmarła w r. 2003).

W obecnym składzie Komisji znajdują się przedstawiciele następujących dyscyplin:

nauk informatycznych - 5 osób,
geologii - 8 osób,
geofizyki - 6 osób,
geografii - 3 osoby,
geodezji - 4 osoby,

kartografii - 2 osoby,
fotogrametrii i teledetekcji - 6 osób,
nauk górniczych - 3 osoby,
geomechaniki - 3 osoby,
inżynierii środowiska - 1 osoba.

przewodniczący
Janusz KOTLARCZYK

sekretarz
Ryszard ŚLUSARCZYK

WSKAZÓWKI DLA AUTORÓW PRAC

Kompletny materiał przeznaczony do druku o objętości nie większej niż 2 arkusze powinien zawierać:

- tekst zasadniczy w języku polskim lub angielskim,
- tytuł w języku polskim i angielskim,
- tabele i rysunki z podpisami w języku polskim i angielskim,
- krótkie abstrakty (do 15 wierszy) i słowa kluczowe w języku polskim i angielskim,
- obszerniejsze streszczenie (do 45 wierszy) w języku alternatywnym (angielskim lub polskim) względem tekstu zasadniczego.

Dyskietkę z wpisanym tekstem należy przekazać do Redakcji wraz z jednym kompletnym wydrukiem przygotowanej pracy na papierze formatu A4. Liczba wierszy i znaków w jednym wierszu jest dowolna. Należy tylko zachować jednowierszowe odstępy między poszczególnymi akapitami.

Tekst powinien być zapisany w jednym z następujących formatów:

ASCII 8 - prosimy o podanie standardu polskich liter (np. Centralno-europejskie, Latin 2, Mazowia),
WORDPERFECT (wersja 5.0, 5.1 i następne),
WORD ROR WINDOWS (wersja 2.0, 6.0 i 7.0).

Na marginesie nadesłanego wydruku prosimy zaznaczyć miejsca wstawienia rysunków i tabel.

Tytuły i podtytuły należy oddzielić od tekstu światłem górnym i dolnym oraz określić stopień tytułu (I rzędu, II, III... Rozdział zasadniczy - I rz., podrozdział - II rz., tytuł podrzędny - III rz., itd.) na wydruku.

Tabele należy umieścić w osobnym pliku. Na wydruku każda tabela powinna być opisana nazwiskiem Autora i numerem tabeli.

Wszelkie symbole we wzorach i powołaniach na nie w tekście należy pisać pismem prostym. Ważne jest, by 0 (zero) wpisane było przez klawisz cyfrowy, w celu odróżnienia go od litery O (o).

Powołania w tekście na rysunki, tabele, wzory, rozdziały i podrozdziały - zgodnie z numeracją. W powołaniach na literaturę podajemy w nawiasie okrągłym nazwisko autora i rok wydania, np. (Rysiowa 1969) - jeden autor, (Nowakowski, Kapinos 1992) - dwóch autorów, (Kluz i in. 1972) - więcej niż trzech autorów, a w przypadku prac zbiorowych - tytuł (początek tytułu) i rok wydania (Poradnik... 1971).

Rysunki powinny być dostarczone:

- na papierze lub kalce (z podanym nazwiskiem autora i numerem rysunku),
- na dyskietce lub płycie CD-ROM w rozdzielczości: rys. czarno-białe 600 dpi (600 pikseli/cal), rys. kolorowe 300dpi (300 pikseli/cal),
- w jednym z podanych niżej formatów:
 - a) *.TIF - format zapisu mapy bitowej wykorzystywany przez większość programów obsługujących skanery,
 - b) *.IMG - pliki tworzone przez programy pracujące w środowisku GEM,
 - c) *.PLT - rysunki eksportowane z programów typu CAD,
 - d) *.CGM - format zapisu grafiki wykorzystywany m. in. Przez takie programy, jak: HARVARD PACKARD GRAPHICS, APPLAUSE,
 - e) *.CDR z programu CorelDRAW.

Możliwa jest po uzgodnieniu edycja rysunków kolorowych.

Literatura powinna być umieszczona na końcu pracy z oznaczeniem „BIBLIOGRAFIA”.

W trakcie wpisywania tekstu należy przestrzegać następujących zasad:

- nie kończyć poszczególnych wierszy klawiszem ENTER,
- nie stosować zacięć akapitowych za pomocą tabulatora czy spacji,
- poszczególne akapity rozdzielać wstawiając jedną pustą linię,
- nie dzielić ręcznie wyrazów,
- nie justować poszczególnych linii akapitu za pomocą klawisza spacji,
- nie rozspacjowywać wyrazów (np. t y t u ł),
- nie podkreślać wyrazów, zdań (np. podkreślony).