

GEOINFORMATICA
POLONICA

4 : 2002

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
tel. (012) 617-22-24, fax (012) 617-22-45
e-mail: wardow@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

Zamówienia przyjmuje i realizuje (łącznie z wysyłką) Wydawnictwo

POLSKA AKADEMIA UMIEJĘTNOŚCI
PRACE KOMISJI GEOINFORMATYKI

GEOINFORMATICA
POLONICA

4



KRAKÓW 2002

Publikacja dotowana przez Komitet Badań Naukowych

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: grudzień 2002
Druk ukończono: czerwiec 2003

Druk i oprawa: Poligrafia Inspektoratu Towarzystwa Salezjańskiego
ul. Konfederacka 6, 30-306 Kraków, tel. 266-40-00

SPIS TREŚCI

Artykuły

Konrad ECKES	
<i>Logika obrazu mapy jako podstawa do budowy systemu ekspertowego</i>	7
Zbigniew KASINA	
<i>Wpływ parametrów akwizycji przetwarzania na wyniki przestrzennego rozpoznawania wnętrza Ziemi metodą tomografii sejsmicznej</i>	17
Marian NOGA	
<i>Współczesne architektury komputerowe</i>	35
Wiesława ŻYSZKOWSKA	
<i>Wkład geoinformatyki do kartografii</i>	43

Artykuł przeglądowy

Tomasz SZMUC	
<i>Precyzyjna reprezentacja wiedzy niepełnej – zbiory rozmyte i przybliżone</i>	55

Kronika

Kronika prac Komisji Geoinformatyki PAU (Janusz KOTLARCZYK, Ryszard ŚLUSARCZYK)	81
---	----

Informacje o konferencjach

Sprostowanie dotyczące notatki o XI Konferencji Naukowo-Technicznej PTIP' 2001 (Wojciech PACHELSKI)	83
---	----

CONTENTS

Papers

Konrad ECKES	
<i>Logic of the map image as a base for the building of an expert system</i>	7
Zbigniew KASINA	
<i>The effect of aquisition and processing parameters on the results of spatial recognition of earth interior using seismic tomography</i>	17
Marian NOGA	
<i>Modern Computer Architectures</i>	35
Wiesława ŻYSZKOWSKA	
<i>Geoinformatics' contribution to cartography</i>	43

Survey paper

Tomasz SZMUC	
<i>Precise representation of uncertain knowledge – fuzzy sets and rough sets</i>	55

Chronicle

Chronicle of the works of the Geoinformatics Commission PAU (Janusz KOTLARCZYK, Ryszard ŚLUSARCZYK).....	81
--	----

Information on conferences

A correction concerning a note of the 11 th Scientific-Technical Conference of PTIP' 2001 (Wojciech PACHELSKI).....	83
--	----

KONRAD ECKES¹

LOGIKA OBRAZU MAPY JAKO PODSTAWA DO BUDOWY SYSTEMU EKSPERTOWEGO²

Słowa kluczowe:

system informacji o terenie (SIT), system ekspertowy, mapa wielkoskalowa, analiza obrazu mapy, logika obrazu mapy.

Abstrakt

W systemach informacji o terenie (SIT) obrazy map, budowane na podstawie danych pomiarowych, podlegają weryfikacji i kontroli wyłącznie przy udziale czynnika ludzkiego.

Celem niniejszej pracy jest sformalizowanie procesu weryfikacji obrazu mapy i zaproponowanie reguł weryfikacji opartych na logice obrazu. Zaproponowane reguły mogą stanowić podstawę do budowy systemu ekspertowego zintegrowanego z SIT-em. System taki może weryfikować i korygować obraz mapy przy ograniczonym udziale czynnika ludzkiego.

W pracy zaproponowano 11 grup czynników kontroli obrazu mapy: fizyczne zajęcie przestrzeni, spójność obszaru, czynniki geometryczne, ciągłość, rytmiczność i powtarzalność, reguły wynikające z instrukcji pomiarowych i norm, relacje pomiędzy obiektami, baza wiedzy inżynierskiej i prawo, kryteria wysokościowe, grawitacja, czynniki przyrodnicze.

Zaawansowane technologie, automatyzacja i sukcesywne eliminowanie czynnika ludzkiego stwarzają konieczność wprowadzania nowych form kontroli informacji i wspomagania ludzkiej pracy. Celem niniejszego opracowania jest zbudowanie podstaw systemu ekspertowego jako części składowej SIT.

LOGIC OF THE MAP IMAGE AS A BASE FOR THE BUILDING OF AN EXPERT SYSTEM

Key words:

land information system, expert system, large scale map, map image analysis, map image logic.

Abstract

In the land information system (LIS) the map images, which are build from survey data, submit to operator's control and verification.

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Kraków

² Praca została wykonana w ramach badań własnych - temat nr 10.10.150.534

The aim of this work is to formalize this process and to propose verification rules based on the logic of the map image. On these rules one can build an expert system, integrated with LIS. The expert system can verify and correct errors with the limited part of the human factor.

The following 11 groups of map image control factors are proposed: physical covering of an area, coherence of an area, geometric factors, continuity, regularity and recurrence, survey regulations and standards, relationships between the objects, engineer knowledge and low, elevation factors, gravitation, nature factors.

Advanced technologies, automation, the decrease in human factor bring a need for a new control of information and support of human work. The aim of this work is to build the base for an expert system integrated with LIS.

1. Wprowadzenie

Przedmiotem niniejszych rozważań są obrazy map wielkoskalowych 1: 500, 1:1000 i 1:2000, wykonywanych według obowiązujących przepisów jako mapa podstawowa terenów o średnim i wysokim stopniu zainwestowania. Mapa ta, zwana mapą zasadniczą, pokrywa obszary o znacznym nagromadzeniu szczegółów terenowych – naziemnych i podziemnych. Dla terenów miast i zakładów przemysłowych stosowana jest skala 1: 500, dla terenów o mniejszym stopniu koncentracji szczegółów stosowane są skale mniejsze (o większym mianowniku).

Wymienione skale odwzorowania rzeczywistości ogólnogeograficznej wymagają pomiarów terenowych o wysokiej dokładności oraz uwzględnienia znacznej liczby szczegółów sytuacyjnych, które w wielkiej skali mogą być uwidocznione w obrazie mapy. Mapa taka jest obrazem o niewielkim stopniu przetworzenia obiektów świata realnego. Mapa wielkoskalowa, w odróżnieniu od map w skalach średnich i małych, podlega procesowi generalizacji szczegółów w stopniu nieznacznym.

W systemach informacji o terenie, stosowane są kontrole pierworysów obrazów map wyłącznie z udziałem czynnika ludzkiego. Obserwator obrazu mapy dokonuje oceny logiki tego obrazu. Korzystając ze szkiców polowych sprawdza przede wszystkim wierność topologiczną.

W procesie weryfikacji obrazu, dokonywanym przez obserwatora, wykorzystywana jest olbrzymia przewaga sposobu postrzegania sytuacji przez człowieka nad sekwencyjnym sposobem analizowania obrazu przez komputer. Postrzeganie obrazu z udziałem czynnika ludzkiego pozwala na dokonywanie wszechstronnej oce-

ny logiki obrazu. Zaleta takiej kontroli polega nie tylko na sprawdzeniu geometrii i topologii obrazu, lecz także na wykrywaniu i potwierdzaniu prawidłowości występujących w świecie realnym. Zakładając, że mapa wielkoskalowa relatywnie wiernie odzwierciedla rzeczywistość, podlegając w minimalnym zakresie procesowi generalizacji – możemy wyprowadzić wniosek, że prawidłowości w obrazie mapy są konsekwencją prawidłowości świata realnego. Te prawidłowości będziemy nazywać logiką obrazu mapy. Zwrot „logika obrazu mapy” przyjmuje tutaj szerokie znaczenie, pochodzące od słowa „logos” rozumianego jako powszechne prawidłowości świata.

2. Kierunki rozwoju uzyskiwania danych do systemów informacji o terenie

Rozwój technologii pomiarowych i opracowań kameralnych związany jest nierozłącznie z wdrażaniem automatyzacji procesów. Racjonalizacja technologii prowadzi do sukcesywnego ograniczania udziału czynnika ludzkiego i przejęcia kontroli nad procesem obiegu informacji i obrazem mapy – przez algorytmy bazujące na wiedzy.

Już w chwili obecnej stosowane są technologie uzyskiwania danych wykorzystujące rejestratory polowe. W skrajnych przypadkach następuje rezygnacja ze szkiców polowych, a więc zapisu w terenie pełnej topologii obrazu mapy. W pracach kameralnych następuje rekonstrukcja obrazu mapy na ekranie komputera. W przypadku zastąpienia szkicu polowego przez rejestrację elementów strukturalnych topologii obrazu – obraz terenu na ekranie komputera

- będzie pierwszym obrazem powstającym jako wynik pomiarów,
- obraz terenu będzie wstępnie weryfikowany w oderwaniu od terenu.

Powyższy przypadek wskazuje, jak ważnym problemem jest sformułowanie zasad weryfikacji obrazu mapy opartych na logice tego obrazu. Konieczne jest zestawienie zbiorów reguł reprezentujących prawidłowości występujące w świecie realnym i przechodzących do obrazu mapy wielkoskalowej. Po takim zestawieniu można analizować obraz mapy zgodnie z przyjętymi regułami i wyszukiwać lokalne odstępstwa od założonych reguł logiki obrazu.

Jeżeli sformułowane reguły mogą być wyrażone jako algorytmy i na ich podstawie zostaną napisane programy – możemy mówić o budowie systemu ekspertowego [Chromiec, Strzemieczna 1994, Mulawka 1996]. System ekspertowy jest programem komputerowym, który na podstawie szczegółowej wiedzy może wyciągać wnioski i podejmować decyzje, działając w sposób zbliżony do procesu rozumowania człowieka [Mulawka 1996].

Zatem naszym głównym celem jest zapis tej wiedzy w postaci reguł logiki obrazu. Wstępny zarys problematyki został przedstawiony w referatach [Eckes 1993, Eckes 1995]. Niniejsza praca zawiera nowe i szerokie spojrzenie na ten temat.

3. Reguły logiki obrazu i przypadki ich naruszenia

W punkcie 1 stwierdzono, że prawidłowości obrazu mapy mają swoje źródło w świecie realnym. Sięgając do genezy tych prawidłowości możemy stwierdzić, że wynikają one z praw przyrody lub mają charakter antropogeniczny.

Różnorodność prawidłowości wymaga wprowadzenia odpowiedniej klasyfikacji. Nie jest to łatwe, ponieważ pewne nieprawidłowości można interpretować w sposób niejednoznaczny. Przykładowo niezamknięcie konturu działki można kwalifikować jako brak spójności obszaru lub także jako nieciągłość granicy. Nie będzie to jednak prowadzić do większych trudności w formułowaniu reguł. Reguły zostały sklasyfikowane w jedenastu niżej wymienionych punktach.

Mocą reguły będziemy nazywać prawdopodobieństwo wystąpienia faktycznych błędów w obrazie mapy w przypadku naruszenia reguły.

3.1. Fizyczne zajęcie przestrzeni

Niniejsza reguła mówi, że obiekty powierzchniowe, tej samej klasy – nie mogą pokrywać się na tym samym poziomie. Fizyczną przestrzeń może zajmować tylko jeden obiekt. Naruszeniem tej reguły jest nakładanie się obiektów jednorodnych. Na rys. 1 nakładają się na siebie kontury dwóch budowli na działkach nr 190/7 i 194. Na tym rysunku występują także inne błędy sytuacyjne.

Oczywiście jest całkowicie dopuszczalne nakładanie się obiektów niejednorodnych. Typowym przykładem jest tutaj posadowienie budynku na działce.

Moc niniejszej reguły jest relatywnie wysoka, co oznacza, że w przypadku nakładania się jednorodnych obiektów należy się liczyć z prawie pewnym błędem.

Jednorodne obiekty mogą się pokrywać ale na różnych poziomach, na przykład dwie drogi, z których jedna przebiega przez wiadukt nad drugą. Jednak przepisy opracowania map jednoznacznie podają który obiekt powinien być przedstawiony jako ciągły, a który ma być przerwany w celu eliminacji niejednoznaczności.

Nakładanie się obiektów może być wykrywane za pomocą narzędzi programowych z grupy OVERLAY w zaawansowanych pakietach GIS – przez utworzenie warstw z pojedynczymi obiektami i wzajemne analizowanie par takich warstw elementarnych.

3.2. Spójność obiektów powierzchniowych

Reguła spójności obszaru nakłada warunek na obszar aby był zamknięty, posiadał nieprzerwany obrys, w sposób ciągły oddzielający go od obszarów sąsiednich. Granica obszaru nie może się też przecinać sama ze sobą. Naruszenie tej reguły zostało przedstawione na rys. 2. Kontur budynku na działce 245/2 jest niedomknięty, linia łamana konturu budynku na działce 244 przecina się sama ze sobą.

Moc niniejszej reguły, podobnie jak i reguły w punkcie 3.1, jest relatywnie wysoka. Naruszenie reguły wskazuje na wysoce prawdopodobny błąd.

3.3. Czynniki geometryczne

Na podstawie geometrii obiektów antropogenicznych, do których zaliczamy budowle i elementy infrastruktury, można wyróżnić pięć reguł geometrycznych: prostopadłość, równoległość, prostoliniowość, symetria, charakterystyczne kształty. Kolejne poniższe reguły bazują na wymienionych zasadach – w granicach pewnych tolerancji. Przykłady ilustrujące reguły zostały przedstawione na rys. 3.

Reguła prostopadłości obiektów budowlanych wynika z funkcjonalności takich obiektów. Spośród wszystkich równoległoboków najbardziej funkcjonalny jest prostokąt. Na rys. 3 oznaczono przykładowo kąty proste pomiędzy liniami konturowymi obiektów o oznaczeniu BIBL. oraz A3. Moc niniejszej reguły jest dość wysoka. Sprawdzenie naruszenia reguły prostopadłości w systemie ekspertowym może być wykonywane za pomocą narzędzi analogicznych jak w edytorach grafiki CAD.

Reguła równoległości zakłada, że linie konturowe budowli są do siebie równoległe. Na rys. 3 regułę tę potwierdzają linie obrysu budowli o oznaczeniach A1 i A2 oraz B1, B2, B3 i B4. Moc tej reguły jest dość wysoka, zwłaszcza dla obiektów budowlanych standardowych i powtarzalnych. W kompozycjach architektonicznych stosuje się też równoległość osi budowli lub osi zespołów budowlanych w celu osiągnięcia określonych efektów estetycznych.

Reguła prostoliniowości dotyczy najczęściej ścian budowli, osi ulic, osi tras komunikacyjnych jak również obiektów infrastruktury. Na rys. 3 oznaczono słupy oświetleniowe ustawione w liniach L1-L2, L3-L4 oraz linię prostą L5-L6 długiej budowli M. Prostoliniowość elementów obiektów jest czynnikiem porządkującym, przydającym im cechę ładu przestrzennego i cechy estetyczne. Jako przykład może służyć utrzymywanie linii zabudowy ulicznej lub w budownictwie jednorodzinym.

Reguła symetrii nie ma zastosowania do powszechnych budowli użytkowych, chociaż wiele z nich posiada kształt regularny. Natomiast reguła ta ma często zastosowanie w odniesieniu do budowli reprezentacyjnych i historycznych. W tego typu obiektach można wyróżnić oś

symetrii. Na rys. 3 taka oś S1-S2 została oznaczona na budynku reprezentacyjnym uniwersytetu technicznego. Moc reguły symetrii w odniesieniu do budowli lub parków jest na ogół niska. Natomiast regule symetrii podlegają także niektóre znaki umowne na mapach wielkoskalowych: punktowe liniowe i powierzchniowe. W takich przypadkach rysunek znaku umownego musi bezwzględnie podlegać regule symetrii – zgodnie z zasadami obowiązujących instrukcji.

Wiele obiektów inżynierskich posiada charakterystyczne kształty geometryczne lub struktury drzewiaste:

- chłodnie kominowe, zbiorniki gazu, płuczki, kominy, obrotnice – mają kształt koła,
- osie tras komunikacyjnych składają się z prostych, krzywych przejściowych i łuków,
- osie rowów melioracyjnych mają strukturę drzewiastą; podobnie strukturę drzewiastą mają zlewnie rzek, jednak w tym przypadku geometria osi cieków jest złożona i jest funkcją warunków przyrodniczych.

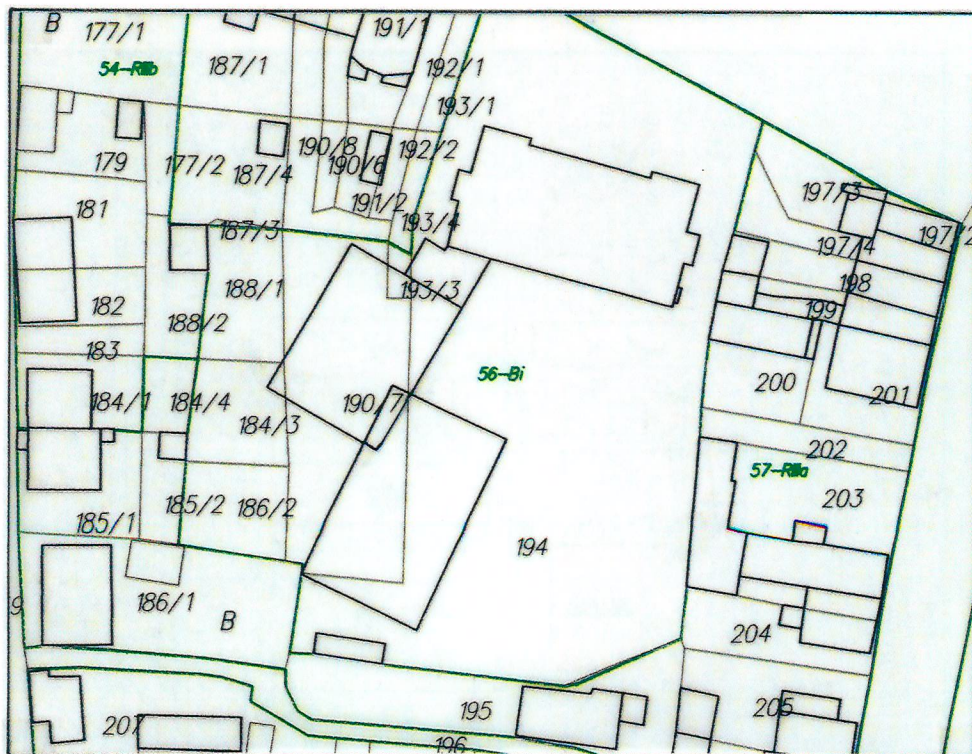
3.4. Ciągłość

Regułę ciągłości można rozpatrywać z dwóch punktów widzenia:

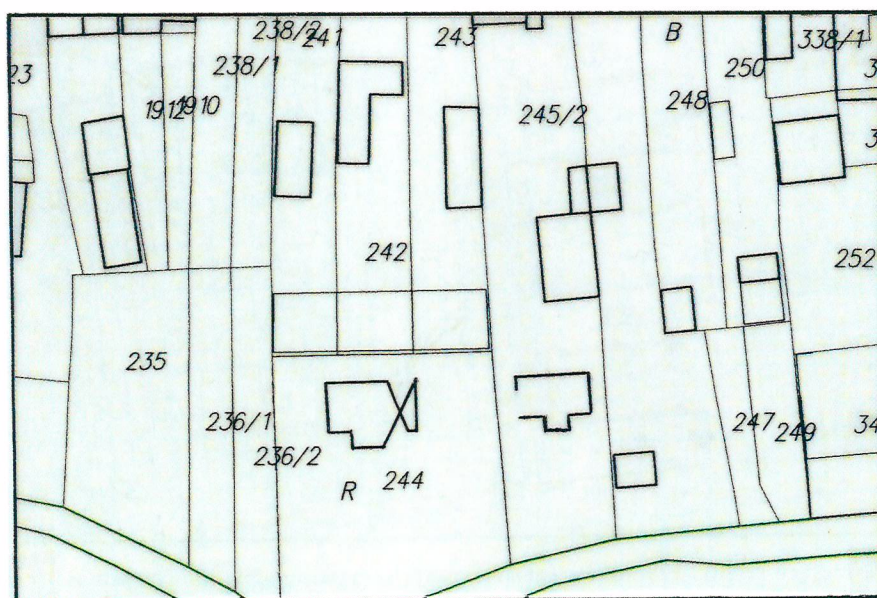
- ciągłość jako nieprzerwany przebieg elementów obiektu,
- ciągłość jako płynność kształtów obiektu.

Reguła ciągłości obiektów dotyczy obiektów liniowych i powierzchniowych i zakłada, że elementy obiektu odwzorowane są bez przerw, w niezmienniej postaci. Naruszeniem tej reguły jest przerwa lub niedomknięcie konturu. Rys. 4 przedstawia naruszenie reguły ciągłości przez przerwanie granicy drogi na obszarze działek nr 157 i 160. Rys. 5 przedstawia naruszenie reguły ciągłości dla konturów warstwic, których przebieg został przerwany (w środku rysunku). W powyższych przypadkach moc reguły ciągłości jest wysoka.

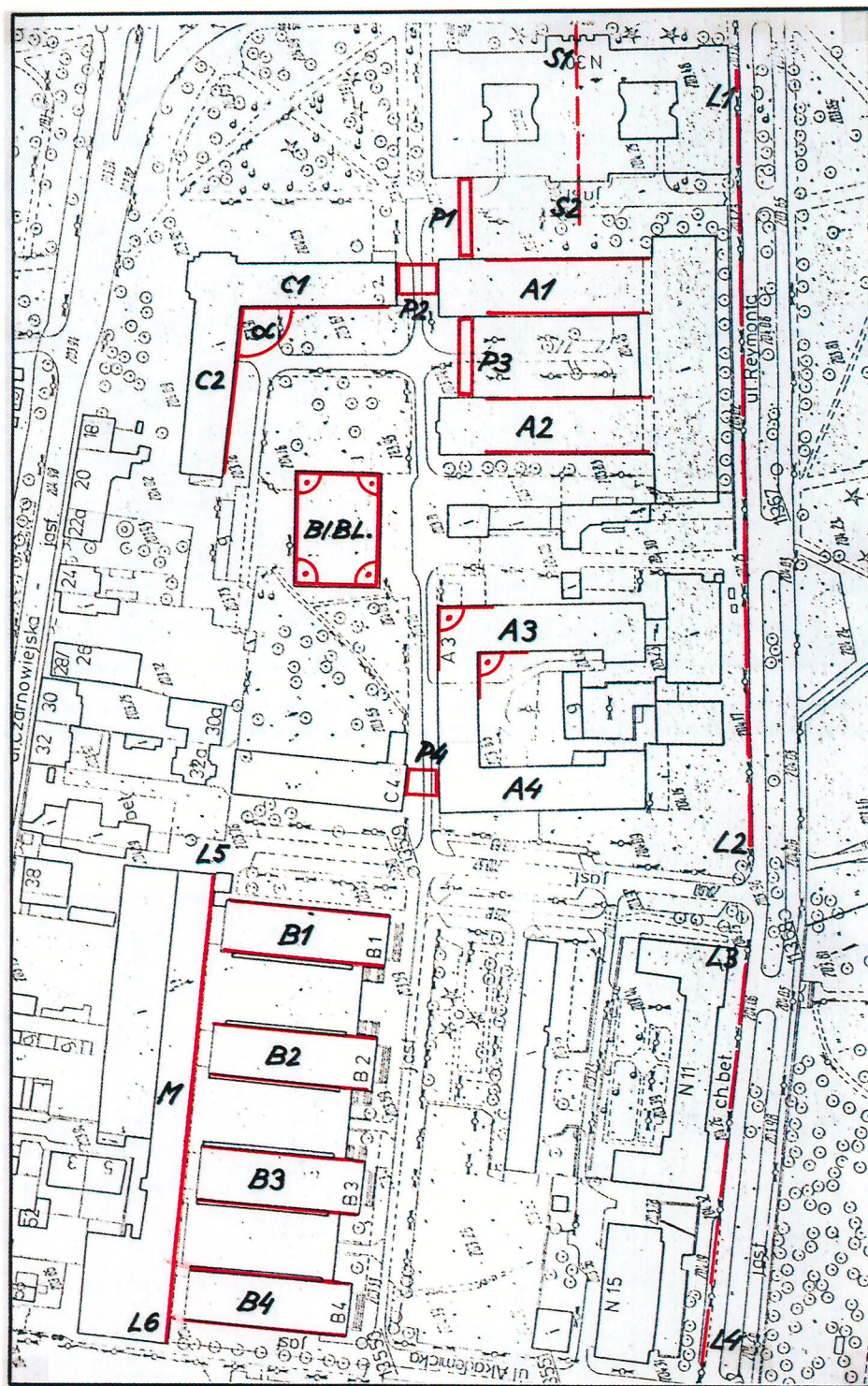
Drugi przypadek reguły ciągłości zakłada, że przebieg wielu obiektów powinien być płynny. Trasy komunikacyjne powinny mieć płynnie zmieniające się krzywizny, rzeki nizinne ustalają swoje koryta w postaci łagodnych łuków. Warstwice na mapach mają płynne zmiany krzywizny.



Rys.1. Naruszenie reguły fizycznego zajęcia przestrzeni; także inne błędy sytuacyjne położenia
 Fig. 1. Transgression of the rule of physical covering of an area: also position errors of the other buildings



Rys. 2. Przykłady naruszenia reguły spójności obszaru na działkach 245/2 i 244
 Fig.2. Examples of transgression of the coherence rule on the parcels 245/2 and 244



Rys. 3. Przykłady ilustrujące reguły: czynników geometrycznych, rytmiczności i powtarzalności oraz relacji pomiędzy obiektami
 Fig. 3. Examples of applying of the geometric rules, regularity and recurrence rules and relationships between the objects

Zaawansowane edytory grafiki CAD lub pakiety GIS posiadają narzędzia do usuwania naruszeń reguły ciągłości. Niedociągnięcia linii, powstałe między innymi podczas digitalizacji, są likwidowane w procesie korygowania obrazu.

3.5. Rytmiczność i powtarzalność

Reguła rytmiczności mówi, że pewne obiekty punktowe powtarzają się w określonych odstępach, wzdłuż jakiejś osi. Przykładem mogą być tu uliczne słupy oświetleniowe. Rys. 3 przedstawia słupy rozmieszczone wzdłuż osi L1-L2 oraz L3-L4.

Dla obiektów powierzchniowych będziemy mówić o regule powtarzalności. Rys. 3 przedstawia obiekty powtarzalne, oznaczone jako B1, B2, B3 i B4.

Powtarzalność obiektów jest u nas bardzo często spotykana w budownictwie blokowym z okresu budynków wielkopłytowych. Powtarzalność jest stosowana także obecnie w modularnym budownictwie przemysłowym. W takich przypadkach można zdefiniować obiekt typowy i następnie weryfikować obrazy kolejnych obiektów – poprzez badanie identyczności, z uwzględnieniem założonych tolerancji.

Reguły rytmiczności i powtarzalności mają zastosowanie także do znaków umownych, liniowych i powierzchniowych, na mapach wielkoskalowych. Przykładowo granice wielu szczebli jednostek administracyjnych są odwzorowywane przez linie o określonym rytmie kresek i punktów. Natomiast powierzchniowy znak skarpy posiada rytmicznie powtarzające się kreski poprzeczne – przemiennie długie i krótkie.

3.6. Reguły wynikające z instrukcji pomiarowych i norm

Instrukcje pomiarowe formułują wiele reguł dotyczących obrazu mapy. Znaki umowne na mapach wielkoskalowych zdefiniowane są ściśle w postaci opisanych reguł.

Przepisy pomiarowe zawierają różne kompleksowe reguły weryfikacji obrazu mapy. Taką weryfikację przeprowadza się na przykład poprzez sprawdzenie identyczności obrazu mapy z niezależnym dodatkowym po-

miarem przekroju kontrolnego.

Normy dostarczają również reguł, które odnoszą się do kształtowania obiektów świata realnego. Przykładowo mogą podlegać weryfikacji wymiary pojedynczych pól parkingowych. Szerokość takiego pola, zgodnie z normami, nie może być mniejsza niż 2,3 m.

3.7. Relacje pomiędzy obiektami

Dotychczas budowaliśmy reguły skupiając się głównie na pojedynczych obiektach. W tym punkcie będziemy uwzględniać relacje pomiędzy obiektami. Relacje takie już występowały w przypadku reguły fizycznego zajęcia przestrzeni lub ustawienia obiektów punktowych w linię prostą. Jednak tutaj zajmiemy się zależnościami funkcjonalnymi pomiędzy obiektami.

Z geometrycznego punktu widzenia można rozpatrywać następujące relacje:

- punkt względem punktu, linii lub obszaru,
- linia względem linii lub obszaru,
- obszar względem obszaru.

Reguła dostępności mówi, że w obrazie mapy katastralnej (ewidencyjnej) do każdej działki powinien być zapewniony dojazd. Reguła ta oparta jest na przepisie o „drodze koniecznej”.

Reguła sąsiedztwa oparta jest na zasadach zaczerpniętych z planowania przestrzennego. Zasady te ustalają dopuszczalne sąsiedztwo różnych obiektów w zależności od ich funkcji i oddziaływania na środowisko. Stosując weryfikację obrazu mapy opartą na tych regułach możemy wykryć nieprawidłowości nie tylko w obrazie mapy, lecz także w świecie realnym.

Reguła powiązania mówi o szczególnych związkach pomiędzy pewnymi obiektami. Dla przykładu – na mapie średnioskalowej, duże ośrodki miejskie, położone w niewielkiej odległości – powinny być powiązane siecią dróg. Na rys. 3 występuje relacja powiązania funkcjonalnego budynków, tworzących zwarty kompleks uniwersytecki. Niektóre budynki zostały połączone przeziękami P1, P2, P3 i P4.

Bardzo szeroką grupę relacji tworzą relacje konfliktowe. Na ich podstawie można budować reguły weryfikacyjne. Przykładami sytuacji konfliktowych mogą być: zbyt ciasna zabudowa mieszkalna, nieprawidłowe

odległości budynków od granicy działki, przebiegi przewodów podziemnych stwarzające niebezpieczeństwo, relacje uciążliwego oddziaływania zakładów przemysłowych, autostrad lub lotnisk.

Zaawansowane pakiety GIS posiadają znakomite narzędzia do badania naruszeń reguł relacji pomiędzy obiektami; typowym narzędziem jest buforowanie punktów, linii i obszarów.

3.8. Baza wiedzy inżynierskiej i prawo

Wiedza inżynierska i przepisy prawne pozwalają na formułowanie reguł weryfikacyjnych o szerokim zakresie zastosowań. Można wymienić tutaj wiele przykładów. Wiedza inżynierska pozwala właściwie zorientować osie budowlę względem kierunku Północ-Południe, przepisy budowlane ustalają warunki właściwego nasłonecznienia elewacji budowlę oraz definiują warunki koniecznego dojazdu do budynków dla służb ratowniczych, przepisy sanitarne ustalają kryteria ochrony miejsc poboru wody.

Wiedza inżynierska pozwala weryfikować obraz mapy wykorzystując listy kontrolne kompletności funkcjonalnej. Kompletność funkcjonalna formułowana jest na podstawie analizy sytuacji lokalnej i na jej podstawie obiekty są sprawdzane, czy dysponują minimalnym wyposażeniem wzorcowym. Taka analiza pozwoli wykryć błędy w obrazie mapy polegające na opuszczeniu znaku studni w zagrodzie wiejskiej lub opuszczeniu znaków podłączenia mediów do budynku w miejskiej zabudowie jednorodzinnej.

3.9. Kryteria wysokościowe

Analiza powierzchni topograficznej stanowi sama w sobie wielki problem. W naszym przypadku zajmujemy się prawidłowościami zobrazowania rzeźby terenu na mapie wielkoskalowej.

Sztuczna powierzchnia topograficzna w postaci niwelety dróg i placów przedstawiana jest na mapach w postaci rzędnych wzdłuż linii przekrojów. Niweleta taka musi zachować ciągłość. Niwelety osi tras nie mogą przekraczać dopuszczalnych spadków. Przekroje lotnisk i stadionów muszą wykazywać płaskość niwelety i za-

wyczaj minimalne spadki. Brzegi wód powierzchniowych stojących (jezior i stawów) muszą mieć rzędne wyższe niż rzędna lustra wody.

3.10. Grawitacja

Niniejsza grupa kryteriów jest w pewnym zakresie powiązana z kryteriami wysokościowymi. Na podstawie prawa grawitacji rzędne lustra wód powierzchniowych stojących powinny być równe. Natomiast rzędne lustra wód płynących powinny zmniejszać się w kierunku dolnego biegu. Znak umowny, kierunek biegu rzeki – strzałka – powinien być skierowany zgodnie z opadającymi rzędnymi.

Zgodnie z prawami grawitacji odcinki linii napowietrznych, energetycznych i transportu linowego, przyjmują kształt krzywych łańcuchowych.

Prawo grawitacji i kąty wewnętrznego tarcia surowców sypkich ustalają pierwotną rzeźbę składowisk surowców i skały płonej – nachylenie zboczy układa się pod kątem naturalnego zsyphu.

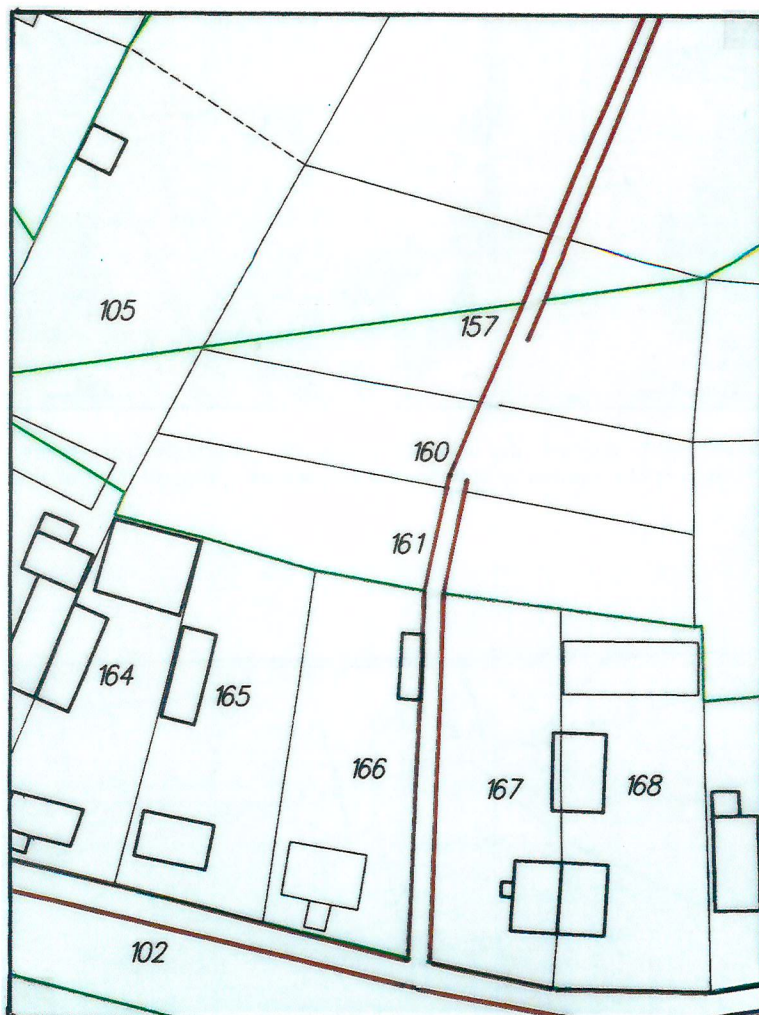
Z prawa grawitacji wynika powszechna reguła pionowości budowlę. Właśnie w takim stanie budowlę utrzymują się w stanie równowagi. W przypadku budowlę historycznych warunk ten często był nieosiągalny; budowlę starych miast mają szersze kontury przyziemia a bryły budowlę zwięzają się ku górze.

3.11. Czynniki przyrodnicze

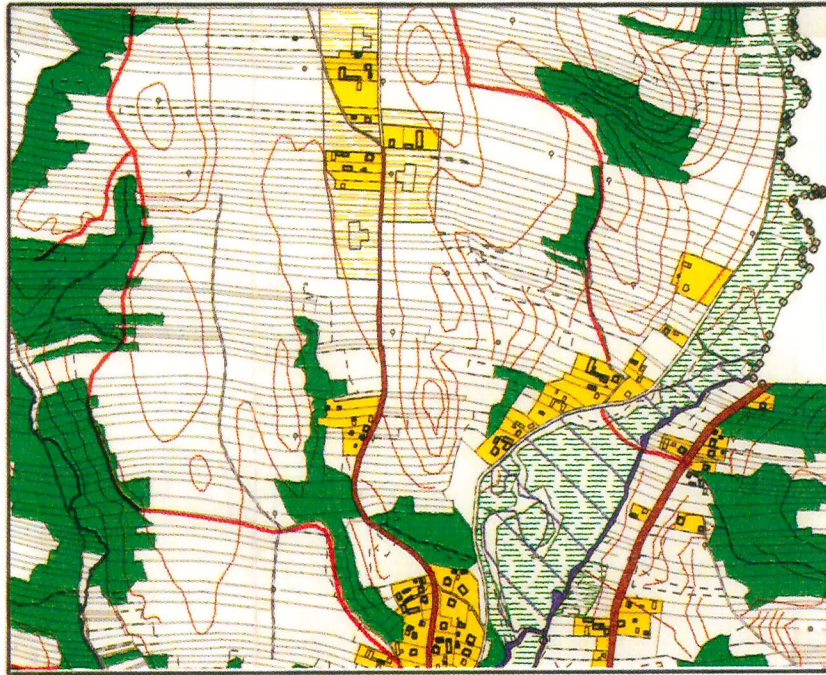
Można zestawić szereg kryteriów przyrodniczych, które mogłyby posłużyć do sformułowania reguł weryfikacji obrazu mapy. Kryteria te posiadają niewielką moc, jednak w kompleksowej i wszechstronnej weryfikacji obrazu mapy nie mogą być pominięte.

Weryfikując rzeźbę terenu na mapie, reprezentowaną przez warstwice, powinniśmy uwzględnić kryteria geomorfologiczne – sprawdzić kształt rzeźby z punktu widzenia genezy jej powstania. Dotyczy to między innymi takich typowych kształtów jak doliny rzek, profile brzegów morskich i kształtów wydm.

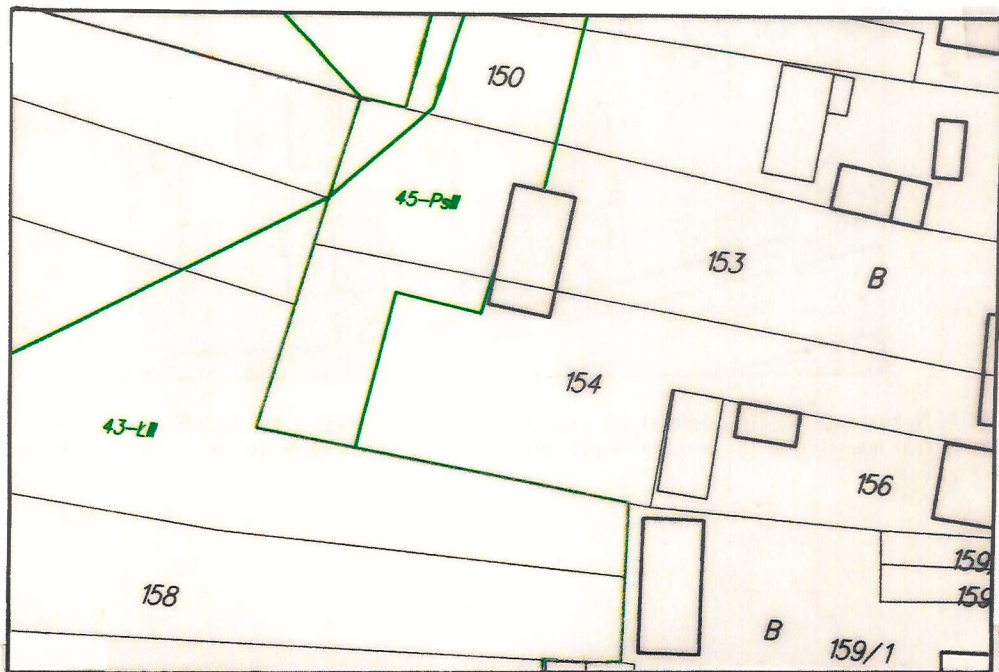
Analizując szatę roślinną należy uwzględnić kryteria klimatyczne, a te w warunkach naszego kraju są między innymi konsekwencją wysokości nad poziom morza.



Rys. 4. Naruszenie reguły ciągłości dla obiektu powierzchniowego - nieciągłość granicy drogi
Fig. 4. Transgression of the continuity rule for the area object - discontinuity of the way boundary



Rys. 5. Naruszenie reguły ciągłości dla obiektów liniowych – nieciągłość przebiegu warstwicy
 Fig. 5. Transgression of the continuity rule for the line object - discontinuity of the contour lines



Rys. 6. Przykład nieprawidłowości formalnej – przynależność budynku do więcej niż jednej działki
 Fig. 6. An example of the formal misstatement - building belonging to the more then one parcel

Bardzo interesującą relacją jest zależność powierzchni wyznaczonej przez wierzchołki drzew od kształtu powierzchni topograficznej na której rosną te drzewa.

Dominujące kierunki wiatrów determinują rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń. Analizując ich dynamikę można badać jej zgodność z lokalnymi warunkami klimatycznymi.

4. Ocena i uwarunkowania weryfikacji obrazów map na podstawie sformułowanych reguł

Sformułowane reguły odnoszą się w zasadzie do map wielkoskalowych w przedziale od 1:500 do 1:2000, jednak niektóre z nich można odnieść także do map w skalach mniejszych. W takim przypadku należy liczyć się z faktem, że przechodząc do skal mniejszych (o większym mianowniku skali) – obraz takich map przeszedł przez proces generalizacji a informacja uległa agregacji. Generalizacja jest arbitralnym procesem modyfikowania kształtów realnych. Jest oczywiście konieczna, ponieważ pozwala przedstawiać rzeczywistość geograficzną na pewnym poziomie abstrakcji, bez nadmiaru szczegółów. Proces generalizacji osłabia reguły logiki obrazu map, między innymi ze względu na różnorodność i niejednoznaczność algorytmów generalizacyjnych. Na tle analizy obrazu map w skalach mniejszych rysuje się uprzywilejowana pozycja weryfikacji obrazu map wielkoskalowych. Tę uprzywilejowaną pozycję powinniśmy w pełni wykorzystać.

Osłabienia czynników logicznych można się spodziewać także tam, gdzie maleje stopień naszej wiedzy o obiektach geograficznych. Ma to miejsce przede wszystkim w opisie obiektów niedostępnych. Mapy geologiczne powstają na podstawie zasad skrajnie różniących się od zasad uzyskiwania danych o obiektach o dostępie bezpośrednim. W podobny sposób, nie potrafimy sformułować mocnych kryteriów dla niektórych elementów środowiska przyrodniczego, na przykład stanu atmosfery czy zasięgu zmian w środowisku.

Czynniki logiczne zależą także od stopnia i sposobu ingerencji człowieka w odwzorowywaną rzeczywistość. Postęp cywilizacyjny porządkuje środowisko człowieka, czyni go przewidywalnym. Środowisko jest zarządzane według pewnych norm. Niski stopień roz-

woju cechuje się brakiem norm, przypadkowością, a nawet chaosem.

Poza przedmiotem niniejszej pracy pozostaje formułowanie metod zwiększania wiarygodności wierności odwzorowania świata realnego na mapach wielkoskalowych. Jednak słuszne wydaje się przytoczenie dwóch ważnych czynników uzyskiwania danych, oto one:

- redundancja (nadmiarowość),
- pozyskiwanie kompleksowego obrazu.

Redundancję tworzą wszelkie dodatkowe dane dostarczające czynników kontrolnych.

W praktyce są to powtórzenia określonych sekwencji pomiarów w celu weryfikacji zgodności. Pozyskiwanie kompleksowego obrazu umożliwia metody fotogrametryczne. Należy jednak zwrócić uwagę na wzrastające koszty zbyt dużych danych nadmiarowych jak również na ograniczenia metod fotogrametrycznych. Na mapach terenów o wysokim stopniu zainwestowania około połowa szczegółów sytuacyjnych reprezentuje urządzenia podziemne. W takim przypadku metody fotogrametryczne nie mogą mieć zastosowania. Również pomiary granic działek wymagają metod bezpośrednich, ze względów dokładnościowych i proceduralnych.

Działalność normalizacyjna jest ważnym czynnikiem podnoszącym wiarygodność procesu weryfikacji. Normy dostarczają wzorców powtarzalnych, natomiast rozwiązania techniczne nie uwzględniające norm obniżają jakość weryfikacji.

5. Etapy wdrażania systemu ekspertowego

Systemy ekspertowe, weryfikujące obraz mapy wielkoskalowej powinny działać na trzech etapach zaawansowania:

- Poziom wykrywania nieprawidłowości poprzez proces weryfikacji obrazu mapy – decyzja o kwalifikacji i dalszym postępowaniu jest podejmowana wyłącznie przy udziale czynnika ludzkiego (decyzję podejmuje operator systemu ekspertowego).
- Poziom wykrywania nieprawidłowości obrazu z przedstawieniem sugestii wariantów poprawienia obrazu lub sugestii odesłania przypadku do konkretnego etapu obiegu informacji w celu powtórnego opracowania i dokonania korekty.

- Poziom korygowania nieprawidłowości obrazu w oparciu o bazę wiedzy oraz poddanie tej czynności pod ocenę operatora.

W pierwszym przypadku system ekspertowy wspomaga pracę operatora zestawiając mu przypadki naruszenia reguł. Na poziomie drugim, poza wykryciem odstępstw od reguł system formułuje wariantową sugestię dalszego postępowania – oferuje sposoby korekty lub odesłanie do prawdopodobnego źródła błędów. Na poziomie trzecim system wykrywa naruszenia reguł, generuje warianty korekty i decyduje o wyborze wariantu najlepszego. Jednak i w tym przypadku konieczna jest akceptacja operatora systemu ekspertowego.

Na poziomie drugim do wygenerowania sugestii korekty konieczne jest oparcie się na regułach bazy wiedzy lub także częściowo na analizach statystycznych. Na poziomie trzecim, w procesie korekty obrazu nie mogą mieć zastosowania reguły statystyczne. Wierność odwzorowania jest czynnikiem bezwzględnie nadrzędnym i o automatycznej korekcie obrazu nie mogą decydować algorytmy probabilistyczne lecz wyłącznie algorytmy deterministyczne. Takie algorytmy są jednak na obecnym poziomie wiedzy trudne do sformułowania.

Trudność zbudowania algorytmów deterministycznych wynika z dużej złożoności rzeczywistości geograficznej:

- świat realny jest wielostronny i wielotematyczny,
- jest zmienny w czasie,
- szereg sfer przyrodniczych świata realnego nie zostało w pełni poznanych.

Czynniki te powodują, że nawet zaawansowane algorytmy deterministyczne korekty obrazu mapy mogą prowadzić w pewnych przypadkach do rozwiązań błędnych.

Należy oczywiście wziąć pod uwagę fakt występowania nieprawidłowości także w świecie realnym. Spośród wielu można wymienić niektóre przykłady: przynależność budowli do więcej niż jednej działki, niezachowanie zasad należytego oświetlenia słonecznego (zbyt gęsta zabudowa), brak dojazdu do obiektów dla służb ratowniczych, samowola budowlana, nieprawidłowości odwzorowania wysokościowego wynikające ze szkód górniczych. Zatem odesłanie nieprawidłowości do ponownego pomiaru może doprowadzić do potwier-

dzenia faktu jej istnienia. W takim przypadku nieprawidłowość musi być zaakceptowana jako stan realnie istniejący.

Rys. 6 przedstawia przykłady sytuacji naruszenia reguły formalnej – przynależności budynku do jednej działki. Budynek w środku rysunku jest posadowiony na dwóch działkach nr 153 i 154. Taki przypadek, zweryfikowany i potwierdzony, zostaje zaakceptowany – jako istniejący faktycznie w terenie. Na rys. 3 przedstawione jest naruszenie reguły prostopadłości; linie konturowe budynków C1 i C2 nie są prostopadłe – kąt α jest kątem rozwartym.

Wyjątki od reguł potwierdzają złożoność świata realnego i konieczność wszechstronnych analiz przy formułowaniu reguł ekspertowych.

6. Podsumowanie

W podsumowaniu można zestawić następujące wnioski końcowe oraz przytoczyć w skrócie najważniejsze wnioski zawarte w tekście.

Wobec rysujących się nowych tendencji w obiegu informacji o terenie, konieczna staje się budowa systemu ekspertowego, wspomagającego czynnik ludzki – dla zapewnienia wierności obrazu mapy. Budowa systemu ekspertowego musi bazować na regułach logiki obrazu mapy, reprezentujących bazę wiedzy.

W niniejszej pracy zostały zestawione reguły logiki obrazu mapy wielkoskalowej – sklasyfikowane w jedenastu punktach rozdziału trzeciego. Po opracowaniu algorytmów mogą one stanowić podstawę budowy systemu ekspertowego.

Moc zestawionych reguł jest zróżnicowana. Naruszenie niektórych z nich wskazuje na prawie pewne błędy, naruszenie innych sygnalizuje prawdopodobną nieprawidłowość o niewielkim stopniu pewności.

Wykrywanie nieprawidłowości może być pierwszym poziomem wdrożenia systemu ekspertowego. Drugi poziom może generować warianty sugestii korekty lub odesłania przypadku do prawdopodobnego źródła powstania nieprawidłowości. Na trzecim poziomie wdrożenia system dokonuje samoczynnie korekty obrazu mapy. Na wszystkich trzech poziomach ostateczna decyzja powinna powstawać przy udziale czynnika ludzkiego.

Złożoność świata realnego jest na obecnym etapie trudna do opanowania na skutek jego wielostronności, zmienności w czasie i ograniczonego poznania środowiska. Zatem system ekspertowy może także w pewnych przypadkach wykazywać lokalne naruszenia reguł, które istnieją faktycznie w świecie realnym – jako anomalie i wyjątki.

Nie wnikając w całą procedurę weryfikacji obrazu mapy i sposoby dochodzenia do wierności odwzorowania, a rozpatrując jedynie sam proces korekty obrazu mapy – można stwierdzić, że w chwili obecnej dostępne, zaawansowane pakiety CAD i GIS dostarczają odpowiednich narzędzi do tego celu. Wymieniano te narzędzia w rozdziale trzecim, podczas omawiania reguł logiki obrazu. Narzędzia takie powinny być włączone do procedur ekspertowych systemu.

System ekspertowy zintegrowany z systemem informacji przestrzennej może odegrać istotną rolę w podniesieniu wierności i jakości obiegu informacji o terenie. System taki będzie posiadać następujące cechy:

- weryfikacja obrazu mapy obejmuje szeroki zakres kryteriów ujętych w regułach ekspertowych,
- wspomaganie procesu weryfikacji w pewnym zakresie niezależnie tę czynność od zróżnicowanych doświadczeń zawodowych pracowników kameralnych,
- wspomaganie czynności weryfikacji zmniejsza wpływ cech osobowych pracowników kameralnych takich jak zmysł przestrzenny, spostrzegawczość i zmęczenie,
- zapis algorytmiczny wprowadza elementy obiektywnej oceny sytuacji.

W systemach informacji przestrzennej nadrzędnym celem jest przestrzeganie zasady wierności odwzorowania rzeczywistości geograficznej. Sformułowanie reguł logiki obrazu mapy wielkoskalowej może nie tylko przyczynić się do zachowania tej wierności, lecz także przyczynić się do wzrostu efektywności obiegu informacji w systemie.

Bibliografia:

- Bartelme N.: *Geoinformatik – Modelle, Strukturen, Funktionen*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2000.
- Chromiec J., Strzemieczna E.: *Sztuczna inteligencja – metody konstrukcji i analizy systemów eksperckich*. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa, 1994.
- Eckes K.: *Logiczne czynniki kontroli obrazu mapy w systemach informacji o terenie*. Materiały III Konferencji Naukowo-Technicznej „Systemy informacji przestrzennej”. Wyd. Polskie Towarzystwo Informatyki Przestrzennej, Warszawa, 1993.
- Eckes K.: *An Analysis and Verification of Spatial Information using Artificial Intelligence*. Proceedings of the Fourth Seminar EUROLIS on European Land Information Systems'95, October 7-12, 1995, Kos, Greece.
- Mulawka J.J.: *Systemy ekspertowe*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1996.

Summary

In the information system (LIS) the map images, which are build from survey data, submit to the operator's control and verification.

The aim of this work is to formalize this process and to propose verification rules based on the logic of the map image. On these rules one can build an expert system integrated whis LIS. The expert system can verify and correct errors with the limited part of the human factor.

The following 11 groups of map image control factors are proposed: physical covering of an area, coheren- ce of an area, geometric factors, continuity, regularity and recurrence, survey regulations and standards, relationships between the objects, engineer knowledge and low, eleva- tion factors, gravitation, nature factors.

Advanced technologies, automation, the decrease in human factor bring a need for a new control of infor- mation and support of human work. The ain of this work is to build the base for an expert system integrated with LIS.

The construction of the expert system must be ba- sed on logic rules of the map image, which represent the base of knowledge. The present work shows the list of logic rules of the large scale map image.

The expert system integrated with the land infor- mation system may play an essential role in the fidelity and quality improvement in the circulation of informa- tion about the terrain. Such system shall have the follo- wing features:

- verification of the map image covers a large scope of criteria expressed in expert rules,
- the support for the verification process to a certain extent makes this activity independent of diverse professional experience of laboratory workers,
- the support for verification activities decreases the influence of personal factors of laboratory wor- kers, such as spatial sense, perceptiveness and fa- tigue,
- the algorithmic shape of the rule introduces ele- ments of an objective judgement about the situ- ation.

In land information systems the primary aim is to abide by the rules of the mapping fidelity of geographic reality. The formulation of the logic rules for the large scale map image may not only contribute to the mainte- nance of this fidelity but also to the increase in efficiency of the information circulation in the system.

ZBIGNIEW KASINA¹

WPŁYW PARAMETRÓW AKWIZYCJI I PRZETWARZANIA NA WYNIKI PRZESTRZENNEGO ROZPOZNANIA WNĘTRZA ZIEMI METODĄ TOMOGRAFII SEJSMICZNEJ

Słowa kluczowe:

geofizyka, metody sejsmiczne, tomografia

Abstrakt

W pracy przedstawiono różne warianty pomiaru i interpretacji w tomografii sejsmicznej oraz rolę parametrów akwizycji i przetwarzania w odtwarzaniu przestrzennej budowy wnętrza Ziemi. Szczególną uwagę skierowano na rolę parametrów inwersji tomograficznej w odtwarzaniu przestrzennych rozkładów prędkości. Opisano różne kierunki zastosowań tomografii sejsmicznej w poszukiwaniach geologicznych, w eksploatacji złóż surowców mineralnych, w rozwiązywaniu problemów sejsmiki inżynierskiej i problemów ochrony środowiska oraz w badaniu głębokiego wnętrza Ziemi. Wypuklono także informatyczne aspekty tomografii sejsmicznej, związane z przetwarzaniem i wizualizacją dużej objętości danych.

THE EFFECT OF AQUISITION AND PROCESSING PARAMETERS ON THE RESULTS OF SPATIAL RECOGNITION OF EARTH INTERIOR USING SEISMIC TOMOGRAPHY

Key words:

geophysics, seismic methods, tomography

Abstract

Different variants of measurements and interpretation in seismic tomography are presented in the paper as well as the role of aquisition and processing parameters in recovering spatial structure of Earth interior. The special attention is paid to the role of tomographic inversion parameters in recovering spatial velocity distributions. Different directions of seismic tomography applications in geological prospecting, in mineral deposits exploitation, in solving seismic engineering and enviromental protection problems as well as in investigation of deep Earth interior have been described. The informatic aspects of seismic tomography related to processing and visualization of large volume data have been stressed too.

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

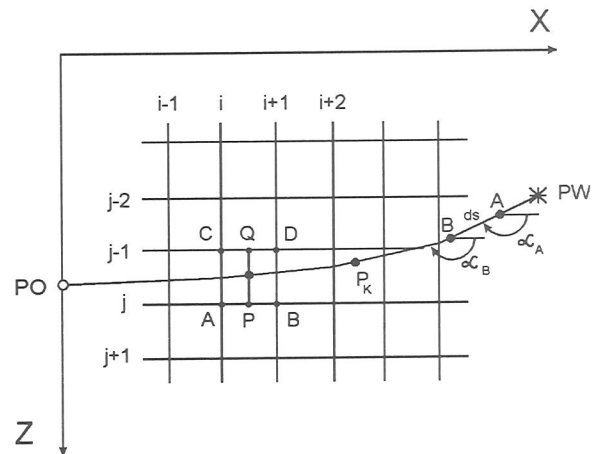
1. Wstęp

Tomografia sejsmiczna stanowi aktualnie jedno z najefektywniejszych geofizycznych narzędzi przestrzennego rozpoznania wnętrza Ziemi. Dostarczając informacji o rozkładzie prędkości oraz tłumienia ośrodka pozwala określać zarówno zróżnicowanie litologiczne warstw ośrodka, rozkłady parametrów sprężystych skał, rozmieszczenie stref spękań i anomalnego naprężenia w zakresie głębokości od kilku do kilkunastu kilometrów rozpatrywanych w poszukiwaniach geologicznych, jak i odtwarzać budowę Ziemi jako całości, od skorupy poprzez płaszcz aż do jądra. Odpowiedni dobór parametrów akwizycji danych sejsmicznych (sejsmika otworowa, sejsmika powierzchniowa w wariacie dwu- i trójwymiarowym) stwarza możliwość odtwarzania budowy Ziemi i rozkładów jej parametrów zarówno w dwóch, jak i w trzech wymiarach. Powtarzanie pomiarów sejsmicznych w czasie pozwala dodatkowo śledzić przestrzenno-czasowe zmiany budowy ośrodka w procesach geologicznych oraz w trakcie eksploatacji złóż.

Charakter przestrzennej informacji o ośrodku, użytkowanej w procesie inwersji tomograficznej, zależy zarówno od wariantów zastosowanej metodyki pomiarowej, typów wykorzystywanych fal, jak i od parametrów przetwarzania zarejestrowanych danych. Duża objętość danych przetwarzanych w tomografii sejsmicznej wymaga stosowania szeregu narzędzi informatycznych, zapewniających dużą szybkość i efektywność wydobywania informacji geologicznej z zapisów sejsmicznych. W fazie interpretacji wyników inwersji tomograficznej szczególnej wagi nabierają techniki przestrzennej wizualizacji budowy ośrodka i rozkładów jego parametrów.

2. Model interpretacji w tomografii sejsmicznej

Rozważmy ośrodek niejednorodny z dyskretnym rozkładem prędkości w węzłach siatki prostokątnej. Zasadniczym celem interpretacji w zadaniu odwrotnym tomografii sejsmicznej jest odtworzenie rozkładu prędkości w węzłach siatki prostokątnej (wybranej przez interpretatora) w oparciu o zarejestrowane czasy przebiegu fali dla danego układu punktów wzbudzenia (źródeł) PW i odbiorników PO (rys. 1).



Rys. 1. Schemat przebiegu promienia sejsmicznego od punktu wzbudzenia (PW) do punktu odbioru (PO) na tle założonej siatki obliczeniowej

Fig. 1. The scheme of seismic ray propagation from source point (PW) to receiver point (PO) on the background of calculation grid

Rozważmy promień sejsmiczny, biegnący od danego punktu wzbudzenia do punktu odbioru. Czas przebiegu promienia sejsmicznego wzdłuż konkretnej trajektorii można wyrazić poprzez sumę:

$$t_r = \Delta s \sum_{P_k} \frac{1}{v(P_k)} \quad (1)$$

gdzie $v(P_k)$ jest prędkością propagacji na k -tym odcinku trajektorii promienia o długości Δs i środkiem w punkcie P_k .

Prędkość $v(P_k)$ w dowolnym punkcie trajektorii promienia sejsmicznego można wyrazić poprzez liniową kombinację prędkości w sąsiednich węzłach siatki. Jeśli przez m oznaczymy liczbę sąsiednich węzłów, wówczas

$$v(P_k) = \sum_m c_m V_m \quad (2)$$

gdzie V_m jest prędkością w m -tym węzle siatki. Liczba tych sąsiednich węzłów zależy od sposobu zastosowanej interpolacji prędkości.

Wprowadźmy teraz do rozważań różnicę między czasem przebiegu fali zarejestrowanym i czasem obliczonym dla założonego - w pierwszym przybliżeniu - rozkładu prędkości:

$$\Delta t_r = t'_r - t_r \quad (3)$$

gdzie t'_r jest czasem zarejestrowanym, a t_r - czasem obliczonym. Wówczas, traktując powyższą różnicę jako błąd określenia czasu rejestracji (spowodowany błędem

dami doboru prędkości w węzłach siatki), otrzymamy:

$$\Delta t_r = -\Delta s \sum_{P_k} \frac{\Delta v(P_k)}{v^2(P_k)} \quad (4)$$

oraz

$$\Delta v(P_k) = \sum_m c_m \Delta V_m \quad (5)$$

gdzie $\Delta v(P_k)$ jest błędem estymacji prędkości w punkcie P_k , a ΔV_m - błędem prędkości w m -tym węźle sąsiednim. Relację (5) możemy napisać w postaci:

$$\begin{aligned} \Delta t_r &= -\Delta s \left(\frac{\Delta v(P_1)}{v^2(P_1)} + \frac{\Delta v(P_2)}{v^2(P_2)} + \dots + \frac{\Delta v(P_k)}{v^2(P_k)} + \dots \right) = \\ &= -\Delta s \left(\frac{\sum_m c_m \Delta V_m}{v^2(P_1)} + \frac{\sum_n c_n \Delta V_n}{v^2(P_2)} + \dots + \frac{\sum_r c_r \Delta V_r}{v^2(P_k)} + \dots \right) \end{aligned}$$

W poszczególnych składnikach w nawiasie mogą wystąpić przyrosty identycznych (co do indeksu) prędkości. Wówczas dodajemy współczynniki przy identycznych przyrostach prędkości. Ostatecznie, dla danego r - tego promienia sejsmicznego otrzymamy równanie:

$$\Delta t_r = \sum_m a_{r,m} \Delta V_m \quad (6)$$

gdzie $a_{r,m}$ stanowi sumę współczynników przy identycznych (co do indeksu) przyrostach prędkości.

Jeśli rozważania uogólnimy na R rozpatrywanych promieni sejsmicznych oraz przez M oznaczymy liczbę efektywnie wykorzystywanych prędkości w węzłach siatki, wówczas otrzymamy układ równań:

$$\sum_{m=1}^M a_{r,m} \Delta V_m = \Delta t_r, \quad r = 1, 2, \dots, R \quad (7)$$

W przedstawionym układzie równań, który określa model interpretacji tomografii sejsmicznej, jako niewiadome traktujemy przyrosty ΔV_m , które należy nałożyć na prędkości w węzłach siatki, by uzyskać lepszą estymację czasów zarejestrowanych czasami obliczonymi.

Aby uniknąć w rozwiązaniu zbyt dużych nieregularności prędkości, wprowadzamy do rozważań więzy nałożone na estymowane różnice prędkości ΔV_m . Ostatecznie, minimalizujemy wielkość:

$$S = \sum_{r=1}^R \left(\sum_{m=1}^M a_{r,m} \Delta V_m - \Delta t_r \right)^2 + \lambda \sum_i (\Delta V_m - \Delta V_i)^2 \quad (8)$$

gdzie i oznacza indeksy węzłów sąsiednich w stosunku do węzła z indeksem m , λ - współczynnik więzów.

Jeśli do układu równań (7) wprowadzimy zapis macierzowy:

$$\hat{A}_{(R,M)} = a_{r,m}, \quad \Delta \hat{V} = \Delta V_m, \quad \hat{\Delta t} = \Delta t_r$$

wówczas równanie (7) przyjmie postać:

$$\hat{A} \Delta \hat{V} = \hat{\Delta t} \quad (9)$$

Warunek minimalizacji wielkości S w postaci:

$$\frac{\partial S}{\partial \Delta V_k} = 0, \quad k = 1, 2, \dots, M \quad (10)$$

można sprowadzić do następującego układu równań w postaci macierzowej:

$$(\hat{A}^T A + \lambda \hat{\Omega}) \Delta \hat{V} = \hat{A}^T \hat{\Delta t} \quad (11)$$

gdzie $\hat{\Omega}$ jest macierzą więzów, \hat{A}^T - transpozycją macierzy \hat{A} . Rozwiązanie powyższego układu równań ze względu na poszukiwaną macierz (wektor kolumnowy) poprawek prędkości $\Delta \hat{V}$ stanowi rozwiązanie zadania odwrotnego tomografii sejsmicznej. W przypadku zastosowania metod iteracyjnych do rozwiązania układu równań (11) otrzymamy kolejne przybliżenia rozwiązania. Wprowadzając tak określone poprawki $\Delta \hat{V}$ do wartości prędkości (założonych) w węzłach siatki otrzymamy kolejne przybliżenia poszukiwanego rozkładu prędkości.

Ważnym etapem inwersji tomograficznej jest rozwiązanie zadania prostego tomografii sejsmicznej, sprowadzającego się do określania trajektorii i czasów przebiegu promieni sejsmicznych dla zadanej geometrii pomiaru i danego, początkowego rozkładu prędkości. Układ równań różniczkowych, określających trajektorię i czas przebiegu promienia sejsmicznego ma postać (m. in. Kasina 2001):

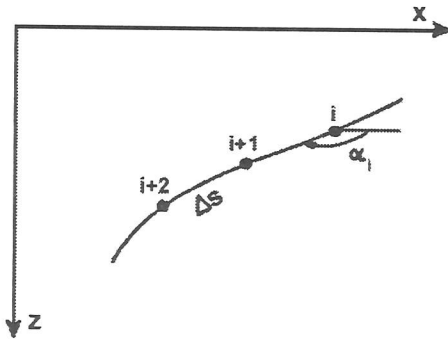
$$d\alpha = \frac{1}{v} \left(\frac{\partial v}{\partial x} \sin \alpha - \frac{\partial \alpha}{\partial z} \cos \alpha \right) ds$$

$$dx = ds \cos \alpha$$

$$dz = ds \sin \alpha$$

$$dt = \frac{ds}{v}$$

gdzie α określa kąt zawarty między osią x i trajektorią promienia, v - funkcję prędkości, t - czas przebiegu (rys. 2). Powyższy układ równań rozwiązujemy zwykle metodą numeryczną Rungego-Kutty czwartego rzędu



Rys. 2. Wycinek trajektorii promienia sejsmicznego
Fig. 2. The segment of seismic ray trajectory

określając zmiany (dx, dz) współrzędnych kolejnych punktów trajektorii promienia, zmianę $d\alpha$ kąta a oraz przyrost dt czasu przebiegu.

Przedstawiony wariant inwersji tomograficznej należy do jednej z kilku metod rekonstrukcji tomograficznej - *inwersji macierzowej*, realizowanej na drodze rozwiązywania układu równań (zwykle metodą gradientów sprzężonych lub tzw. dekompozycji na wartości własne (*Singular Value Decomposition - SVD*), będącej podstawą uogólnionej teorii inwersji (m.in. Michelen 1993). Spośród innych powszechnie stosowanych metod inwersji tomograficznej należy wymienić:

- *technikę rzutowania wstecz (Back Projection Technique - BPT)* - do bardzo przybliżonego określania rozkładów prędkości bez stosowania iteracji; metoda ta zapewnia niezłą rozdzielczość poziomą i słabą pionową,
- *iteracyjną technikę ART (Algebraic Reconstruction Technique)*, w której poprawki prędkości określamy na podstawie różnic danych przewidywanych (obliczonych) i pomierzonych dla kolejnych promieni, promień po promieniu,
- *iteracyjną technikę SIRT (Simultaneous Iterative Reconstruction Technique)*, w której krok z realizacji modelowania wprost (obliczanie czasów przebiegu dla modelu startowego) wykonujemy dla wszystkich promieni przed obliczaniem poprawek prędkości.

Głównym celem tomografii sejsmicznej jest określanie rozkładów prędkości w oparciu o czasy przebiegu zarejestrowanych fal. Ważnym parametrem ośrodka jest

również jego tłumienie, charakteryzujące zachowanie się fali w ośrodku nieidealnie sprężystym (lepko-sprężystym). Informacja o rozkładzie tłumienia zawarta jest w amplitudach zarejestrowanych fal sejsmicznych, a narzędziem do jej odtworzenia jest tomografia amplitudowa. Model interpretacji tej tomografii oparty jest na relacji między amplitudą sygnału sejsmicznego i tłumieniem w postaci:

$$A_k = A_0 \exp\left[-\int_{R_k} \alpha(x,z) ds\right] \quad (12)$$

gdzie $\alpha(x,z)$ jest współczynnikiem tłumienia, A_0 - amplitudą w punkcie wzbudzenia, A_k - amplitudą w punkcie odbioru promienia R_k po wprowadzeniu poprawek na charakterystykę kierunkowości źródła, rozwieranie sferyczne czoła fali oraz charakterystykę urządzenia rejestrującego. Zwykle w rozważaniach uwzględnia się funkcję

$$P_k = \ln \frac{A_k}{A_0} = -\int_{R_k} \alpha(x,z) ds$$

i wówczas równania (1) i (12) można zapisać w ogólnej postaci

$$Y_k = \int_{R_k} x(r,s) da$$

gdzie Y_k ($k = 1, 2, \dots, N$) oznacza mierzony czas przebiegu lub względną amplitudę (jej logarytm) dla k -tego promienia sejsmicznego, $x(r,s)$ reprezentuje spowolnienie (odwrotność prędkości) lub współczynnik tłumienia.

3. Warianty tomografii sejsmicznej i rola parametrów akwizycji w inwersji tomograficznej

Klasyfikację tomografii sejsmicznej możemy przeprowadzić stosując różne kryteria. Z punktu widzenia lokalizacji badań sejsmicznych wyróżniamy:

- tomografię powierzchniową, w której punkty wzbudzenia i odbioru umieszczone są na powierzchni ziemi (tomografia fal odbitych, tomografia fal czołowych, tomografia fal refragowanych),
- tomografię otworową, w której punkty wzbudzenia lub/i odbioru umieszczone są w otworach (tomografia międzyotworowa, tomografia w pionowym profilowaniu sejsmicznym).

Z punktu widzenia typu wykorzystywanych fal wyróżniamy:

- tomografię fal bezpośrednich (tomografia międzyotworowa, tomografia w pionowych profilowaniach sejsmicznych),

- tomografię fal odbitych (tomografia refleksyjna),
- tomografię fal czołowych (tomografia refrakcyjna),
- tomografia fal refragowanych,
- tomografia fal powierzchniowych,
- tomografia wielofazowa, w której wykorzystujemy różne typy fal (np. tomografia transmisyjno-refleksyjna oparta na falach bezpośrednich i odbitych).

Z punktu widzenia wykorzystywanych cech zapisu wyróżniamy:

- tomografię czasów wstąpień (*traveltime tomography*), w której wykorzystujemy tylko czasy przebiegu fal sejsmicznych),
- tomografię amplitudową (wykorzystujemy amplitudy silnych wstąpień fal sejsmicznych w celu określenia tłumienia ośrodka) (m. in. Brzostowski i McMechan 1992),
- tomografię dyfrakcyjną (wykorzystujemy pełny obraz falowy).

Z punktu widzenia zastosowanego podejścia falowego wyróżniamy:

- *tomografię promieniową (ray tomography)*, w której propagacja fal jest określona poprzez równanie eikonału (Hamiltona) i przebiega zgodnie z zasadami sejsmiki geometrycznej (zasada Snella, zasada Fermata, zasada Huygensa); odmianami tej tomografii są:

tomografia prostoliniowa (rozpatrujemy tylko prostoliniowe promienie sejsmiczne) i *tomografia krzywoliniowa* (uwzględniamy krzywoliniowe promienie sejsmiczne),

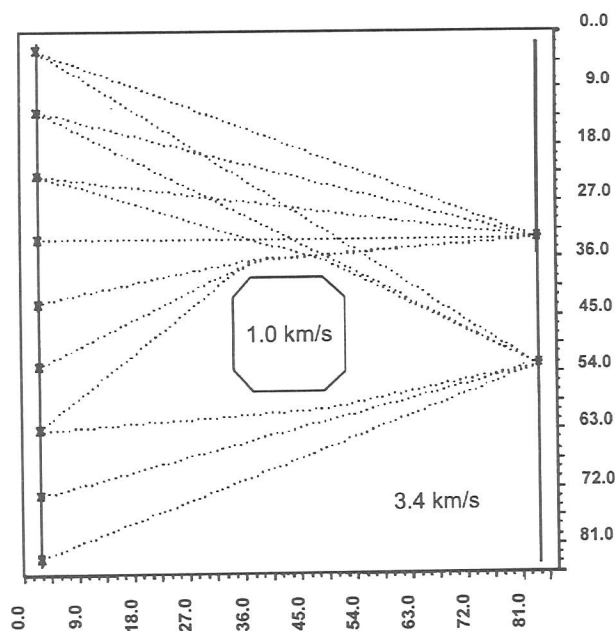
- *tomografię dyfrakcyjną*, w której propagacja fal jest określona poprzez pełne równanie falowe, a interpretowane pole traktujemy jako wynik interferencji fali padającej i fali rozproszonej na niejednorodnościach ośrodka; z punktu widzenia zastosowanego sposobu linearyzacji równania falowego wyróżniamy tutaj tomografię opartą na aproksymacji Rytova i aproksymacji Borna.

Z punktu widzenia rozpatrywanych wymiarów propagacji fal wyróżniamy:

- tomografię dwuwymiarową (2-D), gdy pomiar odbywa się w jednej płaszczyźnie (np. prześwietlanie międzyotworowe),

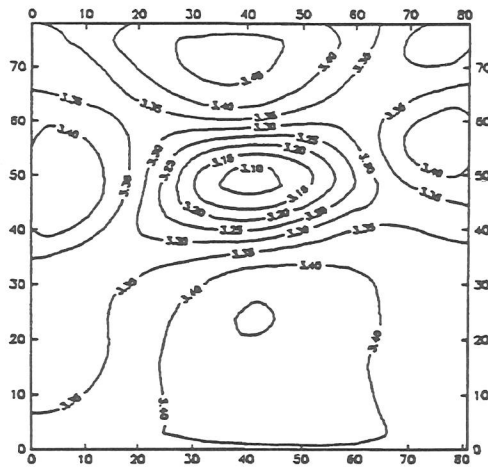
- tomografię trójwymiarową (3-D), gdy rozmieszczenie punktów wzbudzenia i odbioru w przestrzeni (w wielu otworach i/lub na powierzchni ziemi) stwarza możliwość odtworzenia trójwymiarowych rozkładów prędkości (względnie tłumienia).

Początki rozwoju tomografii sejsmicznej związane były z wykorzystaniem prześwietlań międzyotworowych do określania rozkładów prędkości w oparciu o pierwsze wstąpiecia fal sejsmicznych bezpośrednich (m. in. Bois i in. 1971, Ivansson 1985). Schemat pomiaru w tym wariantie tomografii, w którym źródła fal rozmieszczone są w jednym otworze, a odbiorniki w drugim przedstawiono na rys. 3; wyniki inwersji tomograficznej w postaci dwuwymiarowych map prędkości ilustruje rys. 4. Niemal równocześnie pojawiły się (Bishop i in. 1985) rozwiązania tomograficznego odwzorowania prędkości w nadkładzie granic odbijających w oparciu o interpretację fal odbitych (rys. 5). Ten wariant tomografii zwany tomografią fal odbitych rozwijany był także w następnych latach (m. in. Carrion i in. 1993), stając

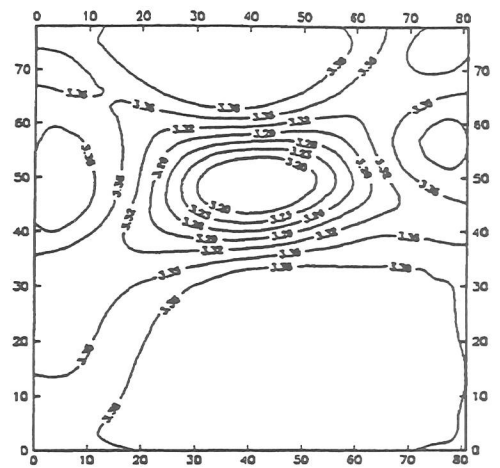


Rys. 3. Trajektorie promieni sejsmicznych obliczone dla modelu pustki przy kroku dyskretyzacji prędkościowej 1,5 m (liniowa interpolacja prędkości) dla wybranych punktów wzbudzenia i odbioru

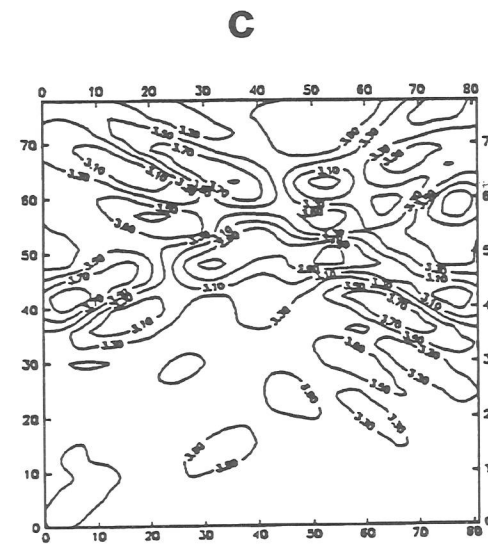
Fig. 3. Seismic ray trajectories calculated for the model of void using the step of velocity discretization 1,5 m (linear velocity interpolation) for the selected shot and receiver points



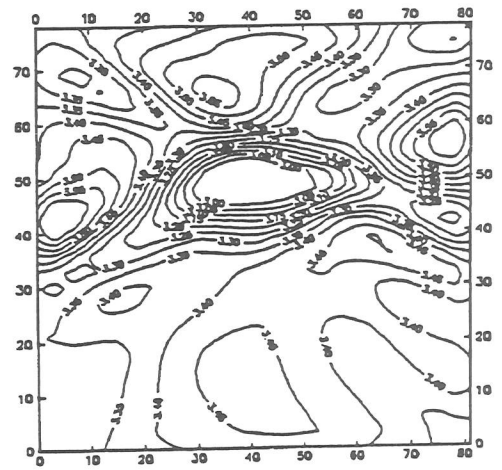
a



b



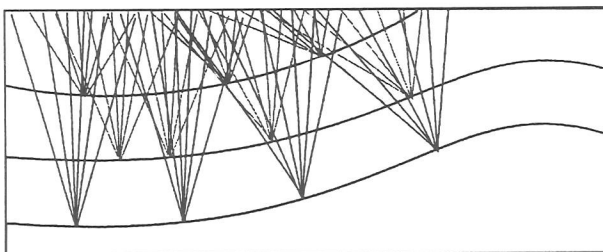
c



d

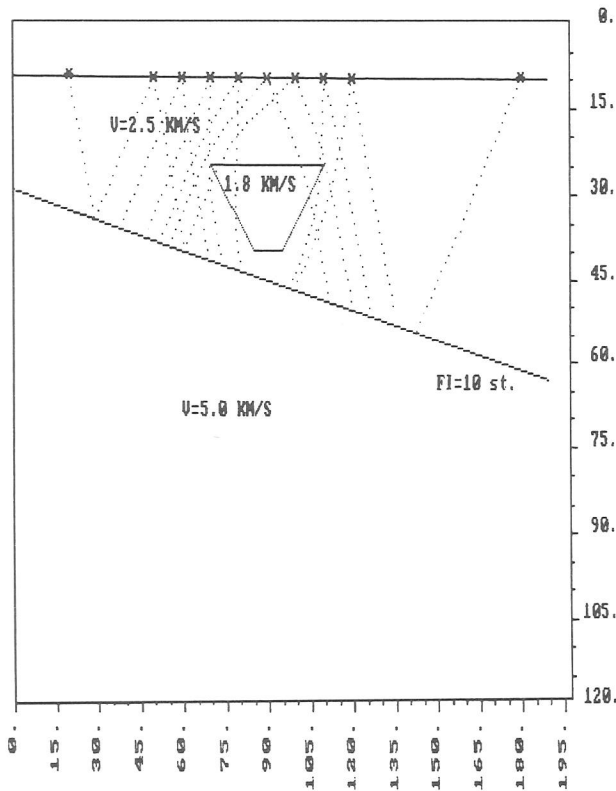
Rys. 4. Dwuwymiarowa prezentacja wyników interpretacji tomografii prostoliniowej dla wariantu pustki 2,9/3,4 km/s oraz różnych wartości parametrów więzów λ dla kroku dyskretyzacji $\Delta x = \Delta z = 3,0$ m i dla parametru wygładzenia splotowego $q = 0,2/0,1$; a) $\lambda = 5$, b) $\lambda = 10$, c) $\lambda = 0$, d) $\lambda = 0,5$

Fig. 4. Two dimensional presentation of straight line tomography interpretation results for the case of void 2,9/3,4 km/s and different values of damping λ for the discretization step $\Delta x = \Delta z = 3,0$ m and for the seismic quelling parameter $q = 0,2/0,1$; a) $\lambda = 5$, b) $\lambda = 10$, c) $\lambda = 0$, d) $\lambda = 0,5$

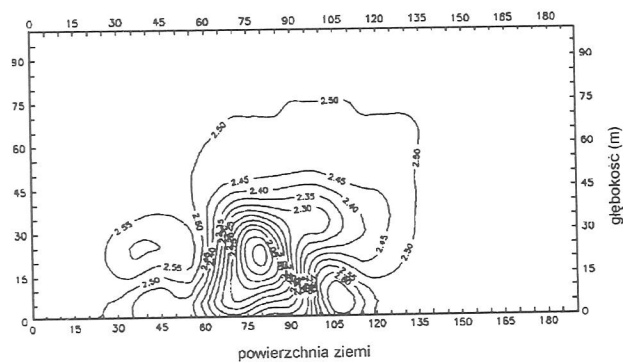


Rys. 5. Schemat trajektorii sejsmicznych fal odbitych w modelu wielowarstwowym

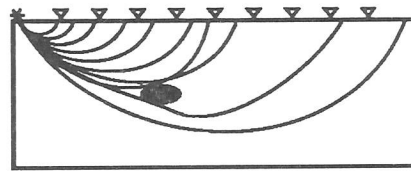
Fig. 5. The scheme of seismic trajectories of reflected waves in multilayered model



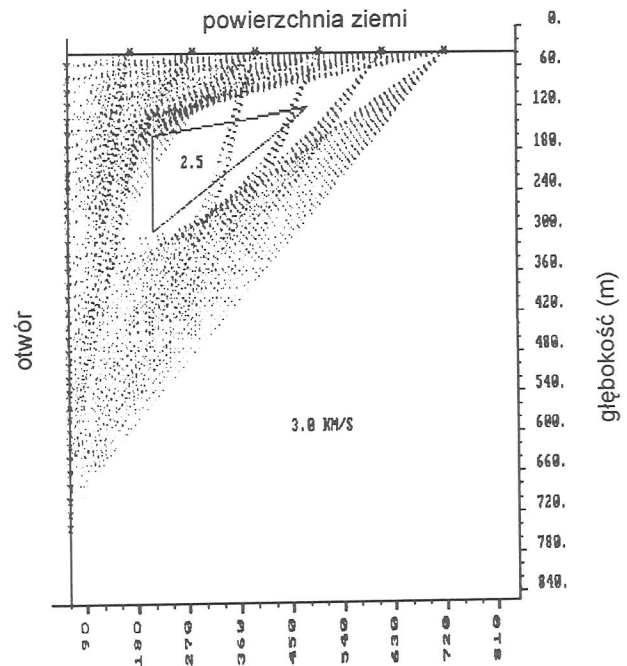
Rys. 6. Założony model ośrodka wraz z trajektoriami promieni sejsmicznych fali czołowej dla zadanych pozycji punktów wzbudzenia i odbioru
 Fig. 6. The assumed medium model with seismic ray trajectories of head wave for assumed shot and receiver point positions



Rys. 7. Wyniki drugiej iteracji inwersji tomograficznej (wariant tomografii krzywoliniowej) w formie mapy; wariant z więzami i wygładzaniem splotowym ($q=1,0/0,5$) po 10 iteracjach metody gradientów sprzężonych
 Fig. 7. The results of second tomographic iteration (variant of curvilinear tomography) in the form of map; variant with damping and seismic quelling ($q=1,0/0,5$) after 10 iterations of conjugate gradient method

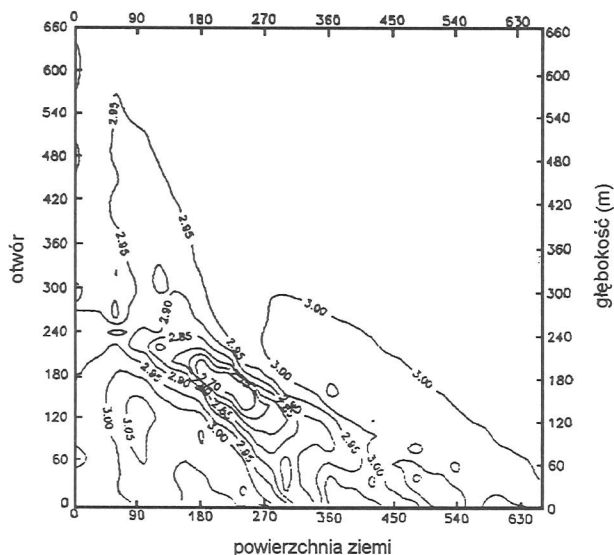


Rys. 8. Trajektorie ugiętych promieni sejsmicznych fali refragowanej
 Fig. 8. Trajectories of bended seismic rays of refracted wave



Rys. 9. Model ośrodka jednorodnego z pustką wraz trajektoriami promieni sejsmicznych dla wariantu pomiarowego pionowych profilowań sejsmicznych
 Fig. 9. The model of homogeneous medium with the void and seismic ray trajectories for the case of vertical seismic profiling measurements

się ważnym narzędziem odtwarzania rozkładów prędkości w sejsmice powierzchniowej. Pojawił się także (De Amorim i in. 1987) wariant tomografii refrakcyjnej, wykorzystującej wstąpienia fali czołowej do interpretacji rozkładu prędkości w nadkładzie refraktora (rys. 6, 7) oraz wariant tomografii (Brzostowski i McMechan 1992) wykorzystującej fale refragowane (rys. 8). Tomograficzna interpretacja pionowych profilowań sejsmicznych (*Vertical Seismic Profiling - VSP*), w których fale wzbudzamy na powierzchni ziemi w sąsiedztwie otworu,

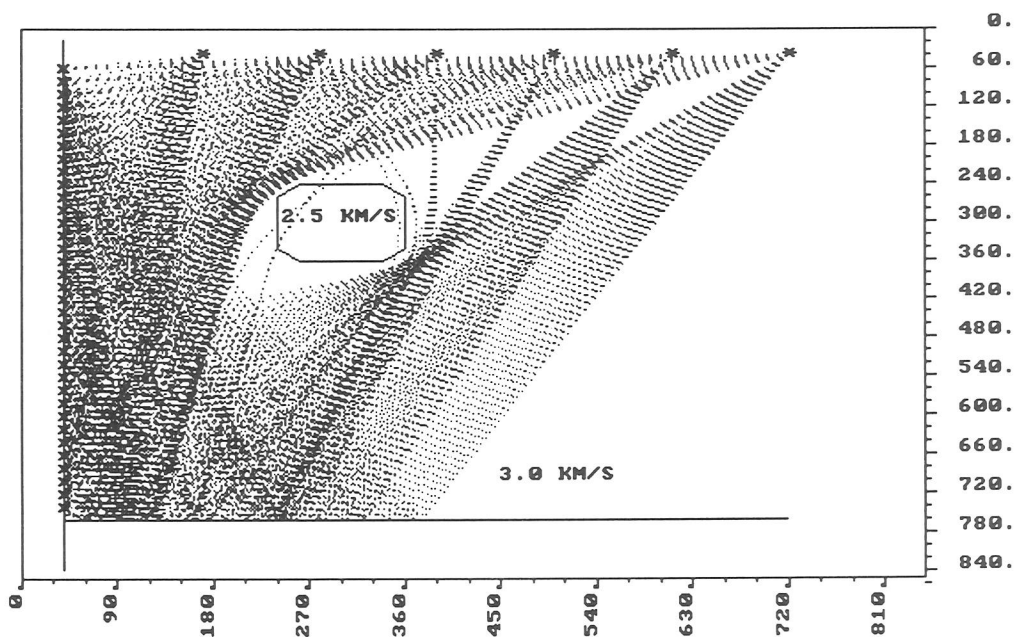


Rys. 10. Wyniki inwersji tomograficznej dla modelu pustki z rys. 9 - wariant tomografii prostoliniowej z więzami

Fig. 10. The results of tomographic inversion for the model of void from fig. 9 - the variant of straight line tomography with damping

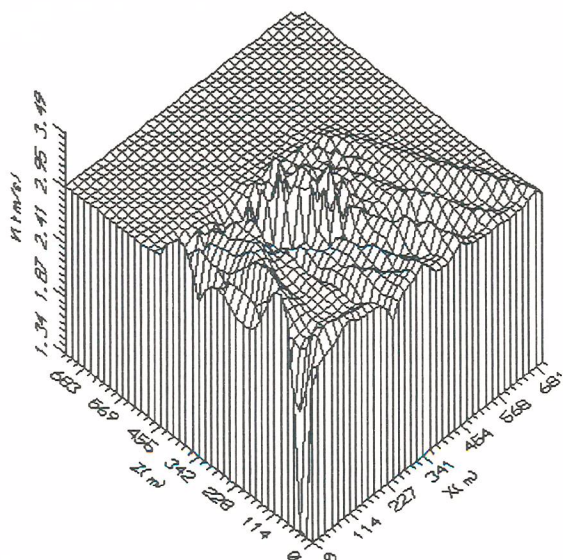
a odbiorniki umieszczone są w otworze, stwarza możliwość wykorzystania fal bezpośrednich (rys. 9, 10) oraz bezpośrednich i odbitych (rys. 11, 12) do odtwarzania dwu- i trójwymiarowych rozkładów prędkości wokół otworu (m.in. Kasina 1999). Wreszcie w sejsmologii znalazły również zastosowanie warianty tomografii fal powierzchniowych (*surface wave tomography*) (Nolet 1987), wykorzystujące fale Love'a i Rayleigh'a.

Tomografia promieniowa jest najczęściej stosowanym w praktyce wariantem tomografii. Przy optymalnym doborze geometrii pomiaru i przy zastosowaniu odpowiednich procedur inwersji tomograficznej zapewnia ona w większości przypadków dobrą efektywność odtwarzania pól prędkości przy relatywnie niewielkich nakładach obliczeniowych. Podstawową zasadą projektowania parametrów akwizycji (rozmszczenie punktów wzbudzenia i odbioru) jest zapewnienie dobrego prześwietlenia promieniami sejsmicznymi zarówno badanej niejednorodności, jak i obszaru otaczającego tę niejednorodność. Na etapie inwersji sejsmicznej ten warunek oznacza taki dobór siatki nałożonej na prześwietlany



Rys. 11. Model ośrodka z pustką 2,5 km/s wraz z geometrią prześwietlania i trajektoriami promieni sejsmicznych fali bezpośredniej i fali odbitej

Fig. 11. The medium model of the void 2,5 km/s with the geometry of transmission measurements and seismic ray trajectories of direct and reflected wave



Rys. 12. Trójwymiarowa prezentacja wyników interpretacji tomograficznej (wariant z więzami, bez wygładzania spłotowego) w oparciu o wstąpienia fali bezpośredniej i fali odbitej dla modelu pustki 2,1 km/s

Fig. 12. The three dimensional presentation of tomographic interpretation results (the variant with damping without seismic quelling) obtained using arrivals of direct and reflected waves for the model of void 2,1 km/s

obszar, aby każde jej oczko przecięte było kilkoma promieniami.

Zarówno tomografia czasów wstąpień, jak i tomografia amplitudowa nie wykorzystują pełnego obrazu falowego. Dodatkowo, oba te warianty bazują na tzw. promieniowym przybliżeniu i często nazywane są *tomografią promieniową*. Najmniejszy szczegół rozkładu prędkości (o rozmiarze r_{\min}), jaki możemy określić w tomografii promieniowej określony jest szerokością pierwszej strefy Fresnela i w przybliżeniu opisany jest relacją (Williamson 1991):

$$r_{\min} = \sqrt{L\lambda}$$

gdzie L jest długością drogi propagacji, λ - długością fali sejsmicznej.

W przypadku niejednorodności prędkościowych ośrodka porównywalnych z długością fali sejsmicznej tomografia promieniowa zawodzi. Konieczne jest wówczas stosowanie najbardziej złożonego wariantu tomografii, tzw. *tomografii dyfrakcyjnej*, w której wykorzystuje się pełny zarejestrowany obraz falowy (m. in. Wu i Toksöz 1987, Woodward 1992), obejmujący zarówno

fale padające, jak i rozproszone (odbite, refrakcyjne, dyfrakcyjne).

3. Wpływ parametrów inwersji tomograficznej na wyniki odtwarzania przestrzennych rozkładów prędkości

Etap inwersji to najtrudniejszy - z teoretycznego punktu widzenia - etap interpretacji tomograficznej. Zadania tomografii należą bowiem do klasy zadań słabo uwarunkowanych, co wynika z istotnych ograniczeń sytuowania punktów wzbudzenia i odbioru. Jakość uzyskiwanych wyników w tomografii uwarunkowana jest wieloma czynnikami, spośród których do najistotniejszych należą:

- charakter zmian poziomych i pionowych prędkości w ośrodku,
- geometria pomiaru, warunkująca stopień pokrycia prześwietlanego obszaru promieniami sejsmicznymi,
- dokładność określania czasów wstąpień (m. in. Kasina 1990),
- rodzaj zastosowanej techniki trasowania promienia w tomografii promieniowej,
- rodzaj zastosowanej techniki rekonstrukcji tomograficznej (m. in. Krajewski i in. 1989),
- zastosowany sposób wygładzania rozkładów prędkości na etapie kolejnych iteracji (m. in. Philips i Fehler 1991, Kasina 1994),
- zakres stosowanych więzów (m. in. Philips i Fehler 1991, Kasina 1994),
- rodzaj minimalizowanej normy w trakcie doposowywania czasów obliczonych do czasów pomierzonych (m. in. Peterson i in. 1985, Lines 1991, Bube i in. 1997),
- rodzaj zastosowanej aproksymacji pola falowego (Borna lub Rytova) w tomografii dyfrakcyjnej,
- sposób dyskretyzacji prędkościowej ośrodka (podział na „piksele”, cele) (m. in. Kasina 1991b, Michelena i Harris 1991),
- rodzaj wariantu tomografii promieniowej (prostoliniowy lub krzywoliniowy) (m. in. Kasina 1991a),
- metoda rozwiązywania podstawowego układu równań tomografii promieniowej (m. in. Chiu i in. 1986),

- aprioryczna informacja o głębokości reflektora w tomografii refleksyjnej,
- zakres i sposób wykorzystania apriorycznej informacji geologicznej.

Wśród wielu czynników, które wpływają na zbieżność iteracji tomograficznych, do najbardziej uciążliwych należą anomalie o małych długościach fal przestrzennych, pojawiające się na tomogramach pośrednich etapów inwersji. Zwykle dążymy do ich wyeliminowania, gdyż generalnie stwierdzono ściśle powiązanie między małymi wartościami własnymi (obniżającymi skuteczność inwersji) i małymi długościami fal przestrzennych. Dodatkowo, anomalie te są związane z nagłymi zmianami gradientu prędkości i powodują lokalne zniekształcenia drogi promienia. Z drugiej jednak strony chcielibyśmy je zachować, jeśli są prawdziwe. Jedną z dróg osłabiania wspomnianych anomalii jest stosowanie różnych wariantów wygładzania tomogramów.

W zakresie metod wygładzania rozkładów prędkości najbardziej rozpowszechnione są operatory wygładzania na drodze uśredniania przestrzennego; do tej klasy operatorów wygładzania należy technika filtracji przestrzenno-koherencyjnej (*spatial-coherency filtering*) (Zhou 1993), eliminująca głównie anomalie pola prędkości, których rozkład przestrzenny scharakteryzowany jest przez niekoherentne fale o małych długościach. Inną metodą wygładzania jest metoda DLS (*Damped Least Squares* - „tłumione najmniejsze kwadraty”), metoda IRLS (*Iteratively Rewighted Least Squares* - metoda najmniejszych kwadratów z iteracyjnie poprawianymi wagami), metoda wygładzania splotowego (*seismic quelling*), (m. in. Kasina 1994), metoda wygładzania za pomocą *filtru mediany* zachowująca granice o dużych kontrastach, metoda regularyzacji. Porównanie tych metod przedstawili Philips i Fehler (1991). Stwierdzili oni, że: kombinacja pierwszych i drugich pochodnych dostarcza stabilności nieliniowym metodom iteracyjnym, gdy konieczne jest trasowanie promieni; wygładzanie splotowe jest techniką o bardzo małym błędzie; metoda DLS z operatorem wygładzania poprzez przestrzenne uśrednianie pracuje dobrze w przypadku modelu gładkiego i zawodzi w modelach o dużych gradientach; w modelach o dużych gradientach dobrze pracuje DLS z operatorem mediany; zarówno efektywność metody DLS, jak i IRLS gwałtownie słabnie przy danych obciążonych szumem.

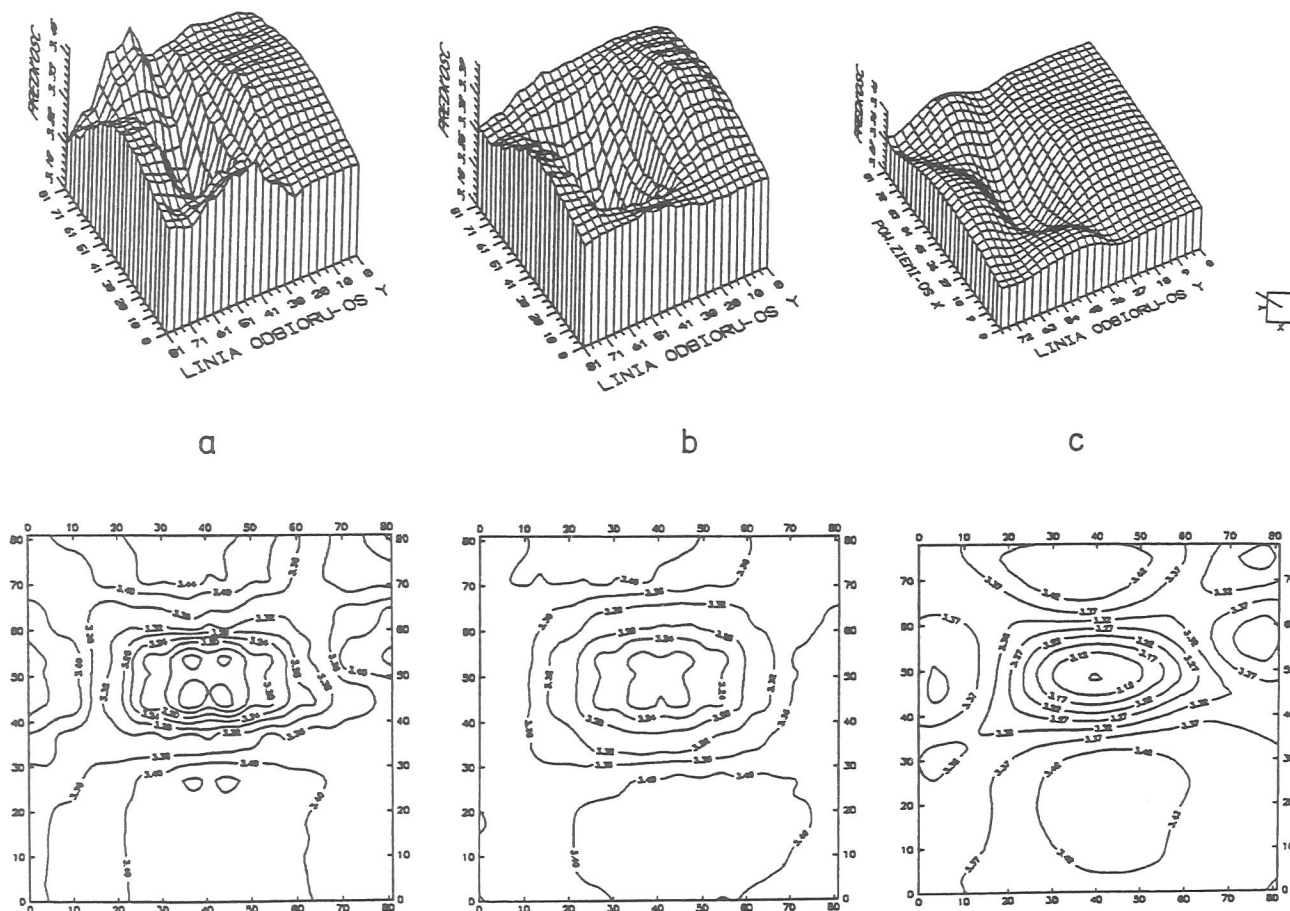
nie słabnie przy danych obciążonych szumem.

Z problematyką wygładzania ściśle związana jest zagadnienie więzów, których stosowanie również daje efekt wygładzania. W tym zakresie pojawiło się w ostatnich latach wiele publikacji. Vasco (1991) zaproponował iteracyjną metodę określania górnej i dolnej granicy zmian prędkości w poszczególnych blokach w oparciu o pomierzone czasy przebiegu. Singh (1991) zaproponował technikę RAYPT (*Ray-Projection Technique*), która określa średnie spowolnienie (odwrotność prędkości) dla każdego promienia, a następnie wprowadza więzy dla poszczególnych promieni. Carrion (1992) zaproponował wariant *tomografii dwudzielnej* (*dual tomography*), która stanowi uogólnione podejście do zlinearyzowanej inwersji z więzami. Carrion i in. (1993) zaproponowali podejście (*aperture compensation tomography* - tomografia z kompensacją apertury), w którym więzy ograniczone są tylko do tych obszarów, które znane są z wysokim poziomem ufności lub w których prędkość nie zmienia się w trakcie iteracji. Bjarnason i Menke (1993) zaproponowali metodą inwersji POCS (*Projection Onto Convex Sets*), która znajduje jedno lub kilka odwzorowań na przecięciu układów więzów, co jest ekwiwalentne znajdowaniu odwzorowania, spełniającego jednocześnie kilka warunków więzów, włączając obserwowane dane.

Rolę doboru parametrów więzów dobrze ilustruje rys. 4. Rozkład uzyskany z optymalną wartością parametru więzów (rys. 4b) odwzorowuje w sposób jednoznaczny strefę o obniżonej prędkości, podczas gdy interpretacja rozkładu uzyskanego bez więzów (rys. 4c) nastęrcza poważnych trudności. Podobnie zastosowanie optymalnego parametru wygładzania wraz z właściwym krokiem dyskretyzacji w procesie inwersji z więzami może istotnie poprawić wyniki, co dobrze ilustruje rys. 13, gdy porównamy rozkład uzyskany bez wygładzania (rys. 13a) z rozkładem określonym z optymalnym wygładzaniem (rys. 13c).

4. Wykorzystanie tomografii sejsmicznej do odzwierciedlania przestrzennych rozkładów parametrów ośrodka

Tomografia sejsmiczna znalazła szerokie zastosowanie zarówno w poszukiwaniach geologicznych złóż kopalin użytecznych, w monitorowaniu procesów



Rys. 13. Wyniki interpretacji tomografii krzywoliniowej dla wariantu pustki 2,9/3,4 km/s, parametru więzów $\lambda = 10$, różnych wartości kroku dyskretyzacji ($\Delta x, \Delta z$) i parametru wygładzania splotowego q : a) $\Delta x = \Delta z = 9,0$ m, $q = 0$; b) $\Delta x = \Delta z = 9,0$ m, $q = 0,2/0,1$; c) $\Delta x = \Delta z = 3,0$ m, $q = 0,2/0,1$

Fig. 13. The results of curvilinear tomography interpretation for the variant of void 2,9/3,4 km/s, damping parameter $\lambda = 10$, different values of discretization step ($\Delta x, \Delta z$) and seismic quelling q : a) $\Delta x = \Delta z = 9,0$ m, $q = 0,2/0,1$; b) $\Delta x = \Delta z = 9,0$ m, $q = 0,2/0,1$; c) $\Delta x = \Delta z = 3,0$ m, $q = 0,2/0,1$

eksploatacji tych złóż, w rozwiązywaniu problemów geofizyki inżynierskiej i ochrony środowiska, jak również w badaniach budowy i procesów wnętrza Ziemi.

Wykorzystanie tomografii sejsmicznej w geofizyce górniczej związane jest głównie z prześwietlaniem sejsmicznymi wyrobisk górniczych, w których pomiar prowadzony jest w płaszczyźnie pokładu ograniczonej układem dwóch chodników przyścianowych. W jednym z nich zlokalizowane są punkty wzbudzenia fali sejsmicznej, a w drugim punkty jej odbioru. Podstawowym celem tych pomiarów jest wyprzedzające określanie stref koncentracji i dekoncentracji naprężeń

oparte na relacji pomiędzy strukturą górotworu a parametrami sejsmicznymi badanego fragmentu górotworu (Dubiński 1980). Strefy podwyższonych naprężeń dowiązywane są do rejonów koncentracji ognisk wstrząsów niskoenergetycznych, indukowanych przez eksploatację ściany. Ocena stanu naprężeń i ich przestrzennego rozkładu odgrywa zasadniczą rolę w prognozowaniu zagrożeń tąpnięciami.

Drugi kierunek zastosowania metody geotomografii sejsmicznej w górnictwie związany jest z badaniami struktury geologicznej pokładu węglowego. Zaburzenia litologiczne i tektoniczne pokładu węgla odzwierciedlają

się anomalnym rozkładem parametrów sejsmicznych, a w szczególności współczynnika transmisji dwu typów fal sejsmicznych: fali poprzecznej rozchodzącej się w stropie pokładu węgla oraz fali poprzecznej propagującej w pokładzie. Anomalny rozkład współczynnika transmisji w pokładzie obejmuje często obszar, gdzie ciągłość pokładu jest zachowana, ale występują lokalne redukcje miąższości warstwy węgla rzędu 10-20 % (Dubieński i Dworak 1992).

Następny kierunek wykorzystania tomografii sejsmicznej w geofizyce górniczej związany jest z ochroną powierzchni nad obszarami eksploatowanymi oraz z określaniem niejednorodności przypowierzchniowych w obszarach wyeksploatowanych. Do określania stałych sprężystości ośrodka wykorzystywana jest tomograficzna inwersja czasów przebiegu fal bezpośrednich P, SV i SH (Michelena i in. 1995). Do interpretacji niejednorodności prędkościowych (m. in. strefy pustek) można wykorzystać tomografię refleksyjno-refrakcyjną (Ditmar i in. 1999), tomografię refrakcyjną w wersji fal czołowych (Belfer i Landa 1998) i w wersji fal refragowanych (Lanz i in. 1998) lub jednoczesną interpretację danych sejsmiki refleksyjnej i danych z przeświełań powierzchnia ziemi - otwór (wariant pionowego profilowania sejsmicznego) (m. in. Kasina 1995, Kasina 1999).

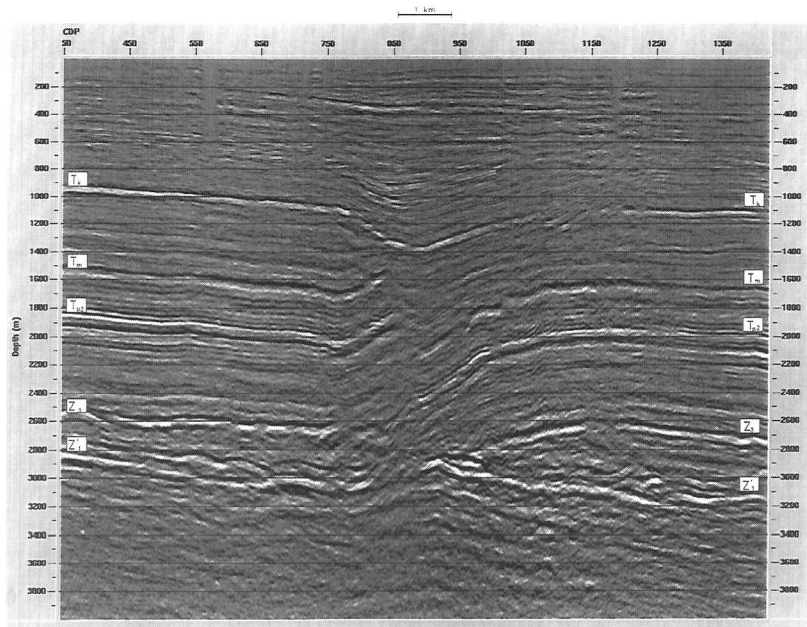
Jednym z kierunków wykorzystania tomografii w badaniu parametrów sprężystych gruntów i obiektów technicznych jest określanie zasięgu fundamentów budowli. Przykładem może być wykorzystanie tomografii do określenia głębokości posadowienia fundamentu budowli zabytkowej (Ślusarczyk i in. 1992). Innym kierunkiem wykorzystania tomografii sejsmicznej do badania obiektów technicznych jest prześwieclanie korpusu zapór ziemnych i betonowych. W przypadku zapór istnieje możliwość takiego rozmieszczenia punktów wzbudzenia i odbioru, aby uzyskać obraz pola prędkości przydatny do oceny parametrów materiału budującego korpus zapory. Można więc otrzymać rozkłady prędkości zarówno w płaszczyźnie pionowej, prostopadłej i równoległej do korpusu zapory, jak i w płaszczyźnie poziomej. Powtarzanie takich pomiarów w czasie stwarza możliwość oceny zmian jakości materiału budującego zaporę, a w szczególności stopnia zagęszcze-

nia tego materiału, określającego bezpieczną eksploatację obiektu.

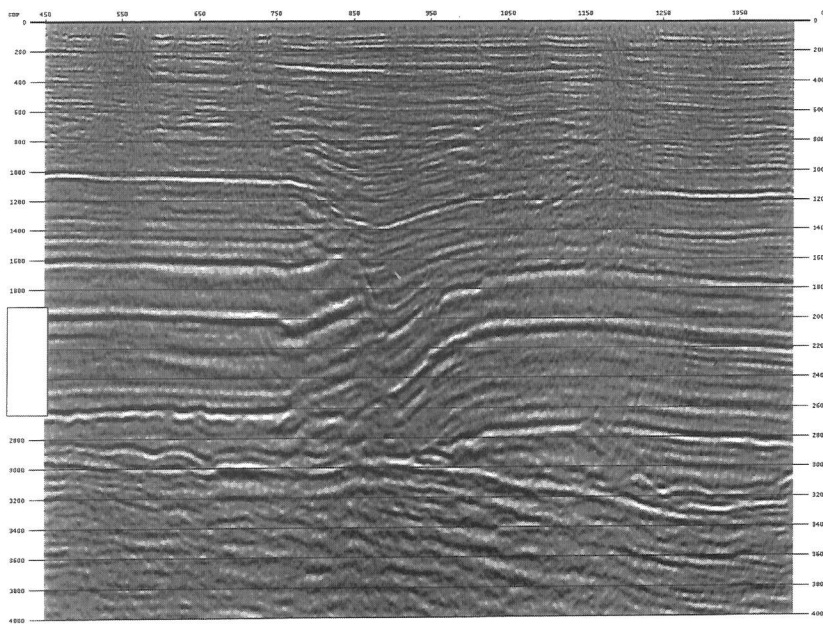
Ważny kierunek badań, zapoczątkowany w latach 80-tych (m. in. Laine 1987) i rozwijany w latach 90-tych (m. in. Justice i in. 1993) związany jest z zastosowaniem monitoringu tomograficznego do analizy procesów wtórnego wydobywania ropy (*Enhanced Oil Recovery - EOR*). W procesach tych stosujemy wtryskiwanie wody lub innych rozpuszczalników, jak CO_2 , w celu przemieszczenia lekkich rop do otworów produkcyjnych lub zastosowanie stymulacji termalnej, jak wtryskiwanie pary lub spalanie in situ, w celu obniżenia lepkości ciężkich rop dla ułatwienia ich wydobywania. Zasadniczego znaczenia nabiera problem szybkiego ustalenia wąskiej drogi przepływu płynu od miejsca iniekcji do miejsca produkcji. Monitoring tomograficzny może być także stosowany przy kontroli konsolidacji tam ziemnych, wokół podziemnych instalacji inżynierskich w celu kontroli stabilności mas skalnych, w poszukiwaniach energii geotermalnej w celu lokalizowania stref spękań, wykorzystywanych do przepływu wody po procesie stymulacji wypływu. Do rozwiązywania przedstawionych wyżej problemów stosuje się zarówno warianty tomografii czasów wstąpień, zwykle w wersji krzywoliniowej, jak i wariant tomografii amplitudowej oraz tomografii dyfrakcyjnej. Szerokie zastosowanie znalazła tutaj analiza przestrzennych rozkładów (tomogramów) stosunku V_p/V_s prędkości fal podłużnych i poprzecznych lub współczynnika Poissona (Justice i in. 1993). Niskie wartości tego współczynnika odzwierciedlają obecność gazu. Tomogram V_p/V_s może także wskazywać na obecność strefy spalania; strefę tę otacza zwykle obszar o wysokich wartościach współczynnika Poissona.

Do lokalizacji zbiorników odpadów metoda tomografii sejsmicznej znalazła zastosowanie w wariantcie tomografii fal refragowanych (Lanz i in. 1998). W zastosowanym modelu interpretacji osady przypowierzchniowe i zbiorniki odpadów charakteryzują się niskimi prędkościami (poniżej 1000 m/s), a głębsze osady leżące niżej - wyższymi prędkościami (powyżej 1500 m/s). Spąg zbiorników osadów stanowi zwykle silnie gradientową strefę.

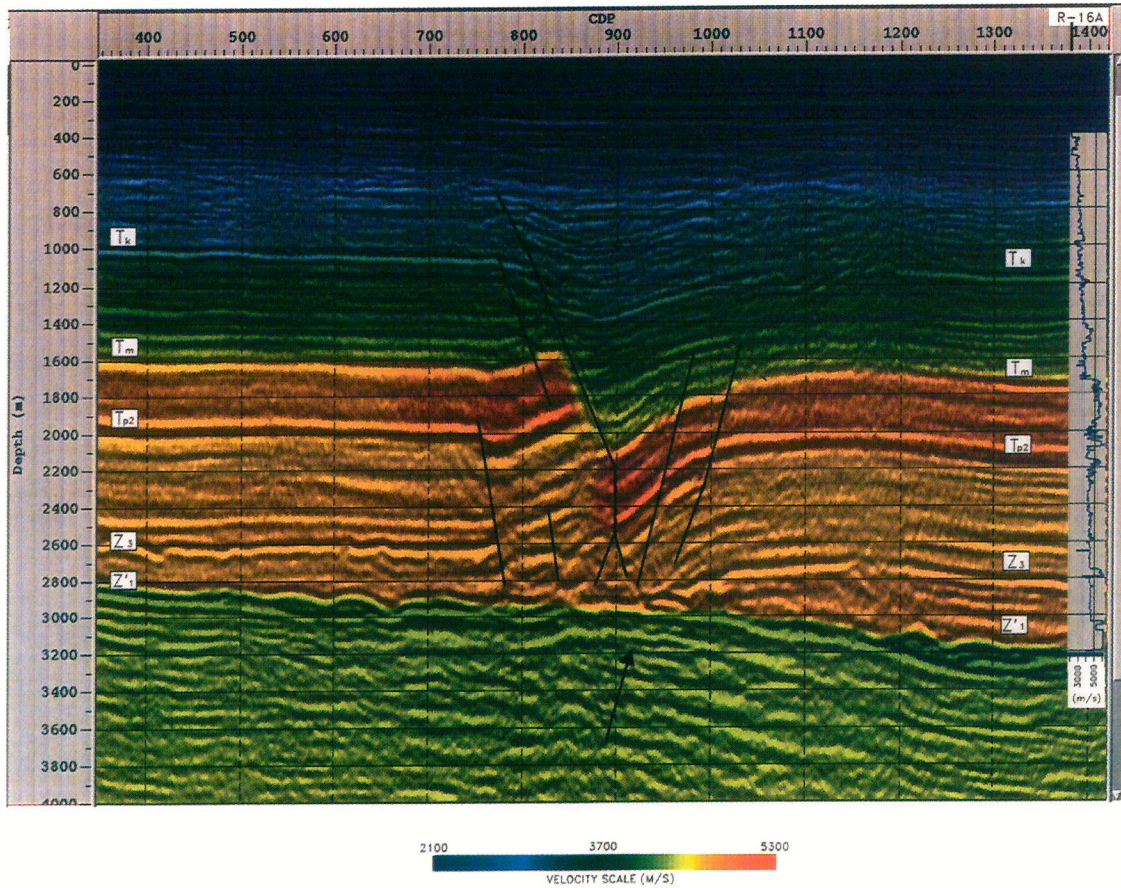
Ważnym zastosowaniem tomografii jest określanie poprawek statycznych oparte na zastosowaniu



Rys. 14. Sekcja w skali głębokości otrzymana po migracji czasowej i konwersji czasowo-głębokościowej; geologiczna interpretacja strukturalna w strefie nieciągłości jest bardzo niepewna
 Fig. 14. The depth section obtained after time migration and time-depth conversion; geological structural interpretation in the discontinuity zone is very uncertain



Rys. 15. Sekcja w skali głębokości otrzymana po końcowej iteracji migracji głębokościowej przed składaniem wykonanej z wykorzystaniem rozkładów prędkości z inwersji tomograficznej; interpretacja strukturalna w strefie nieciągłości jest znacznie łatwiejsza
 Fig. 15. The depth section obtained after final iteration of depth migration before stack using velocity distributions from tomographic inversion; structural interpretation in the discontinuity zone is much more easier



Rys. 16. Sekcja w skali głębokości po zastosowaniu migracji głębokościowej przed składaniem z naniesionym, końcowym modelem prędkości, określonym w procesie tomograficznej analizy prędkości migracji; wprowadzono wyniki interpretacji strukturalnej

Fig. 16. The depth section after application depth migration before stack with marked velocity model defined in the process of tomographic migration velocity analysis; the results of structural interpretation have been introduced

tomografii w wersji fal refrakcyjnych (m.in. Macrides i Dennis 1994) lub w wersji fal refragowanych. W pierwszym wariancie określamy rozkład niejednorodności prędkościowych w nadkładzie refraktora dokonując inwersji wstąpienia fali czołowej. W drugim wariancie zakładamy, że ośrodek przypowierzchniowy jest ośrodkiem gradientowym i wykorzystujemy do inwersji tomograficznej wstąpienia fali refragowanej. Poprawne zdefiniowanie przestrzennych przypowierzchniowych rozkładów prędkości pozwala udokładnić poprawki statyczne, których wprowadzenie do zapisów sejsmicznych warunkuje poprawne odtworzenie informacji geologicznej zawartej w zapisach sejsmicznych.

Jednym z najintensywniej rozwijanych zastosowań tomografii sejsmicznej w ostatnich latach jest opracowywanie rozkładów prędkości dla celów migracji głębokościowej przed składaniem w procesie analizy prędkości migracji (*Migration Velocity Analysis - MVA*). MVA składa się z szeregu procesów (procedur), które pozwalają w sposób łatwy i efektywny określić prędkości interwałowe dla migracji głębokościowej przed składaniem (*prestack depth migration*). Tomografia fal odbitych pozwala tu określać złożone modele prędkościowe, cechujące się silnymi zmianami prędkości. Odtworzenie przestrzennych rozkładów prędkości w oparciu o rejestracje sejsmiki powierzchniowej warunkuje efektywność migracji głębokościowej przed składaniem, najdroższej ale i najskuteczniejszej techniki odtwarzania najbardziej złożonej budowy geologicznej. Skuteczność tomograficznej analizy prędkości migracji w odtwarzaniu wgłębnej, złożonej budowy ośrodka ilustrują rys. 14, 15 i 16.

Tomografia sejsmiczna jako narzędzie przestrzennego rozpoznania rozkładów prędkości została wykorzystana w Polsce w roku 1997 do szczegółowych badań głębokich struktur litosfery metodami sejsmicznymi w ramach międzynarodowego projektu **POLO-NAISE'97** (*POLish Lithosphere ONsets - An Internationale Seismic Experiment*) (Guterch i in. 1999). W ramach tego projektu wykonano badania refrakcyjne i szerokokątowe refleksyjne, obejmujące swoim zasięgiem skorupę ziemską i dolną litosferę do głębokości około 100 km. Prace sejsmiczne zostały wykonane wzdłuż 5 profili łącznej długości około 2000 km.

Odległości między punktami strzałowymi zmieniały się w przedziale 15-35 km. W pracach rejestracyjnych wzięło udział 613 aparatów sejsmicznych z 10 organizacji naukowych w Stanach Zjednoczonych, Kanadzie i Europie Zachodniej. Do interpretacji danych pomiarowych z eksperymentu wykorzystano modelowanie sejsmiczne oparte także na inwersji tomograficznej (wykorzystano tomografię fal refragowanych). Izolinie prędkości 6,0 km/s oraz 8,0 km/s można w przybliżeniu interpretować odpowiednio jako granicę podłoża krystalicznego oraz granicę Moho. Modele potwierdzają wybitnie blokową budowę skorupy ziemskiej. Głębokość granicy Moho zmienia się w szerokim przedziale wartości od około 32 km na platformie paleozoicznej do około 42 km na platformie prekambryjskiej, osiągając maksymalną głębokość około 50 km w strefie Teisseyre'a-Tornquista. Badania w projekcie **POLO-NAISE'97** są częścią europejskich programów badawczych znanych jako **EUROPROBE Project** oraz **Palaeozoic Amalgamation of Central Europe (PACE)** koordynowanych przez Europejską Fundację Naukową w Strasburgu oraz Komisję Europejską w Brukseli. Kontynuacją tych badań jest projekt **CELEBRATION 2000 Project** (*Central European Lithospheric Experiment Based on Refraction 2000*).

Ukoronowaniem zastosowań tomografii do przestrzennego badania wnętrza Ziemi było przyznanie w 1997 prof. A. Dziewońskiemu (Uniwersytet Harvarda w Cambridge, doktor honorowy Akademii Górniczo-Hutniczej), nagrody Crafoorda (stanowi uzupełnienie Nagrody Nobla i obejmuje: matematykę, astronomię, nauki o Ziemi i nauki biologiczne) za wkład, jaki wniósł do badania budowy wnętrza Ziemi oraz ziemskich procesów globalnych wykorzystując tomografię sejsmiczną. Jego prace pozwoliły skonstruować Referencyjny Model Ziemi oraz odtworzyć strukturę i anizotropię jądra. Stanowią podstawę rozpoczęcia nowego projektu (*US Array*), obejmującego założenie regularnej sieci stałych stacji sejsmologicznych, oddalonych od siebie o 200-300 km i odgrywających rolę wielkiego teleskopu do trójwymiarowego oglądania - na drodze inwersji tomograficznej czasów przebiegu fal sejsmicznych - wybranych rejonów głębokiego wnętrza Ziemi.

5. Informatyczne aspekty tomografii sejsmicznej

Realizacja inwersji tomograficznej związana jest z przetwarzaniem dużej objętości danych sejsmicznych, szczególnie w przypadku tomograficznej analizy prędkości migracji. Wykorzystujemy tu bowiem trasy sejsmiczne pełnego zdjęcia sejsmiki powierzchniowej. Pojedyncza trasa sejsmiczna zapisywana w jednym punkcie odbioru ma długość (w przypadku sejsmiki poszukiwawczej) ok. 6 sekund przy kroku próbkowania 1-2 ms; zawiera więc 6000 lub 3000 liczb rzeczywistych zapisywanych (ze zmiennym przecinkiem) w postaci binarnej (16-32 bitowej). Przy każdym wzbudzeniu fali rejestrujemy zwykle od kilkadziesiątu do kilkuset tras sejsmicznych. Dla typowego zdjęcia sejsmicznego liczba punktów wzbudzenia sięga od kilkuset do kilku tysięcy. Ta duża objętość danych poddawana jest wielu procedurom przetwarzania, którym celem jest odpowiednio przygotowanie tras do inwersji tomograficznej. W celu przyspieszenia procesu przetwarzania i zwiększenia jego efektywności angażowane są następujące narzędzia:

- *sieci neuronowe*, wykorzystywane głównie do edycji danych (m. in. usuwanie zakłóceń i błędów zapisów) oraz do procesu automatycznego punktowania wstąpień fal (w celu określania czasów przebiegu fal sejsmicznych);
- *algorytmy genetyczne* oraz *algorytmy wyżarzania symulowanego (simulated annealing)*, wykorzystywane do rozwiązywania problemów optymalizacji;
- *kryteria informatyczne* (np. kryterium minimum entropii stosowane w procesach dekonwolucji, poprawiających stosunek sygnału do zakłóceń),
- *techniki rozpoznawania obrazów (transformacja Hough'a)* wykorzystywana do korelacji fazowej),
- *analiza zmiany wymiaru fraktala*, wykorzystywana do punktowania pierwszych wstąpień,
- *techniki korelacyjne* oraz *bicoherencja*, wykorzystywane do punktowania wstąpień fal,
- *GPS* oraz *GIS*, wykorzystywane w trakcie akwizycji danych sejsmicznych na lądzie i na morzu.

Duża objętość danych, rejestrowanych i przetwarzanych w tomografii sejsmicznej, wymaga stosowania zaawansowanych, interaktywnych technik wizualizacji

dwu- i trójwymiarowej, poszerzonej o wymiar czasu. W przypadku bowiem trójwymiarowych wariantów tomografii sejsmicznej, wykorzystywanych głównie w tomografii refleksyjnej oraz w pionowym profilowaniu sejsmicznym, konstruujemy zarówno przekroje pionowe w dowolnych płaszczyznach, jak i tzw. czasowe przekroje poziome (*time slices*), określające budowę ośrodka dla wybranego momentu czasu propagacji fali sejsmicznej.

6. Podsumowanie

Tomografia sejsmiczna stanowi skuteczne narzędzie przestrzennego rozpoznania budowy i parametrów wnętrza Ziemi zarówno w strefie przypowierzchniowej, jak i w głębszych partiach skorupy, płaszcza i jądra. Dobór odpowiednich parametrów akwizycji oraz odpowiedniego wariantu inwersji tomograficznej pozwala odtwarzać rozkłady prędkości i tłumienia ośrodka. Znajomość tych rozkładów stanowi podstawę interpretacji geologicznej wykonywanej zarówno w fazie poszukiwań, jak i eksploatacji złóż. Jest również niezbędna w celu rozwiązywania problemów ochrony środowiska oraz badania procesów zachodzących we wnętrzu Ziemi. Duża objętość danych, wykorzystywanych w tomografii sejsmicznej wymaga stosowania zaawansowanych narzędzi informatycznych obejmujących sieci neuronowe, analizę zmian wymiaru fraktala, algorytmy genetyczne i wyżarzania symulowanego. Wizualizacja wyników interpretacji tomograficznej wymaga zaawansowanych, interaktywnych technik prezentacji dwu- i trójwymiarowej, poszerzonej o wymiar czasu.

Niniejsze opracowanie powstało jako wynik prac naukowo-badawczych, realizowanych w ramach działalności statutowej (KBN) na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej, um. 11.140.06.

Bibliografia

- Belfer I., Landa E. (1998): *Shallow velocity-depth model imaging by refraction tomography*. Geophysical Prospecting, vol. 44, 859-870
- Bishop T., Bube K., Cutler R., Langan R., Love R., Resnick J., Shuey R., Spindler D., Wyld H. (1985): *Tomographic determination of velocity and depth in laterally varying media*. Geophysics, vol. 50, 903-923
- Bjarnason I. T., Menke W. (1993): *Application of the POCS inversion method to cross-borehole imaging*. Geophysics, vol. 58, 941-948
- Bois P., La Porte, Lavergne M., Thomas M. (1971): *Essai de détermination automatique des vitesses sismiques*. Geophysical Prospecting, vol. 19, 42-83
- Brzostowski M., McMechan G. (1992): *3-D tomographic imaging of near-surface seismic velocity and attenuation*. Geophysics, vol. 57, 396-403
- Bube K. P., Langan R. T. (1997): *Hybrid l^1 / l^p minimization with applications to tomography*. Geophysics, vol. 62, 1183-1195
- Carrion P. (1992): *Dual tomography for imaging complex structures*. Geophysics, vol. 56, 1395-1404
- Carrion P., Vesnaver A., Boehm G., Pettenati F. (1993): *Aperture compensation tomography*. Geophysics, vol. 41, 367-380
- Chiu S. K.L., Kanasewich E. R., Phadke S. (1986): *Three-dimensional determination of structure and velocity by seismic tomography*. Geophysics, vol. 51, 1559-1571
- De Amorim W. N., Hubral P., Tygel M. (1987): *Computing field statics with the help of seismic tomography*. Geophysical Prospecting, vol. 35, 907-919
- Ditmar P., Penopp J., Kasig R. and Makris J. (1999): *Interpretation of shallow refraction seismic data by reflection/refraction tomography*. Geophysical Prospecting, vol. 47, 871-901
- Dubiński J. (1980): *Wyznaczanie stref anomalii naprężeń w górotworze kopalnianym metodami sejsmicznymi*. Prace GIG, komunikat nr 705
- Dubiński J., Dworak J. (1992): *Sejsmiczne rozpoznawanie geochemicznych i geologicznych cech struktury eksploatowanego złoża*. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej '92, Wisła-Jawornik 2 - 7 marca 1992.
- Guterch A., Grad M., Thybo H., Keller G. R. (1999): *Seismic Structure of the Paleozoic Platform along POLONAISE '97 profile P1 in northwestern Poland*. Tectonophysics, 314, 123-143
- Ivansson S. (1985): *A study of methods for tomographic velocity estimation in the presence of low-velocity zones*. Geophysics, vol. 50, no. 6, 969-988
- Justice J. H., Mathisen M. E., Vassiliou A. A., Shiao I., Alameddine B. R., Guinzy N. J. (1993): *Crosswell seismic tomography in improved oil recovery*. First Break, vol. 11, no. 6, 229-239
- Kasina Z. (1990): *Analiza wpływu błędów czasów obserwacji na wyniki sejsmicznej tomografii prostoliniowej na podstawie modelowania numerycznego*. Prace Głównego Instytutu Górnictwa, seria dodatkowa
- Kasina Z. (1991a): *Odwzorowanie prędkościowych niejednorodności ośrodka w odwrotnym zadaniu sejsmicznej tomografii krzywoliniowej*. Pubs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., M-15 (235), 61-76
- Kasina Z. (1991b): *Wpływ kroku dyskretyzacji prędkościowej ośrodka na wyniki rozwiązania zadania odwrotnego sejsmicznej tomografii krzy-*

- woliniowej. Geofizyka Stosowana, Zesz.Nauk. AGH, z.8, 63-76
- Kasina Z. (1994): *Możliwości poprawy odwzorowań prędkościowych w tomografii sejsmicznej*. Technika Poszukiwań Geologicznych, Geosynoptyka i Geotermia, nr 4-5, 100-118
- Kasina Z. (1995): *Tomograficzna interpretacja prędkościowa fal odbitych i refrakcyjnych*. Nafta-Gaz, nr 7
- Kasina Z. (1999): *The role of reflected wave in tomographic velocity interpretation of model VSP data*. Acta Geophysica Polonica, vol. XLVII, no. 4, 401-409
- Kasina Z. (2001): *Tomografia sejsmiczna*. Wyd. Instytutu GSMiE PAN, Kraków
- Krajewski C., Dresen L., Gelbke C., Ruter H. (1989): *Iterative tomographic methods to locate seismic low-velocity anomalies: a model study*. Geophysical Prospecting, vol. 37, 717-751
- Laine E. F. (1987): *Remote monitoring of the steam-flood enhanced oil recovery process*. Geophysics, vol. 52, 1457-1465
- Lanz E., Maurer H., Green A. G. (1998): *Refraction tomography over a buried waste disposal site*. Geophysics, vol. 63, 1414-1433
- Lines L. (1991): *Applications of tomography to borehole and reflection seismology*. The Leading Edge of Exploration 10, 11-17
- Michelena R. J., Harris J. M. (1991): *Tomographic traveltime inversion using natural pixels*. Geophysics, vol. 56, 635-644
- Lanz E., Maurer H., Green A. G. (1998): *Refraction tomography over a buried waste disposal site*. Geophysics, vol. 63, 1414-1433
- Macrides C. G., Dennis L. P. (1994): *2D and 3D refraction statics via tomographic inversion with under-relaxation*. First Break, vol. 12, no. 10, 523-537
- Michelena R. J., Harris J. M., Muir F. (1995): *Crosshole tomography estimation of elastic constants in heterogeneous transversely isotropic media*. Geophysics, vol. 60, 774-783
- Nolet G. (1987): *Waveform tomography*. [In:] *Seismic tomography* ed.G.Nolet. D.Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, 301-322
- Peterson J. E., Paulsson B. N. P., McEvelly T. V. (1985): *Applications of algebraic reconstruction techniques to crosshole seismic data*. Geophysics, vol. 50, 1566-1580
- Philips W., Fehler M. (1991): *Traveltime tomography: a comparison of popular methods*. Geophysics vol. 56, 1639-1649
- Singh R. P., Singh Y. P. (1991): *RAYPT - A new inversion technique for geotomographic data*. Geophysics, vol. 56, 1215-1227
- Ślusarczyk R., Dec J., Bugajski A. (1992): *Zastosowanie metod sejsmicznych w budownictwie zabytkowym.*, Budownictwo-Czasopismo techniczne, Wyd. Politechniki Krakowskiej, zesz. 2, 67-72
- Vasco D. W. (1991): *Bounding seismic velocities using a tomographic method*. Geophysics, vol. 56, 472-482
- Williamson P. R. (1991): *A guide to the limits of resolution imposed by scattering in ray tomography*. Geophysics, vol. 56, 202-207
- Woodward M. J. (1992): *Wave-equation tomography*. Geophysics, vol. 57, 15-26

Wu R. S., Toksoz M. N. (1987): *Diffraction tomography and multisource holography applied to seismic imaging*. Geophysics, vol. 52, 11-25

Zhou H. (1993): *Traveltime tomography with a spatial-coherency filter*. Geophysics, vol. 58, 720-725

Summary

Seismic tomography is actually one of the most effective geophysical tools of spatial Earth interior recognition. It provides information about velocity and attenuation distributions in the medium and let us to define lithological differentiation of the medium layers, distributions of elastic rock parameters, localization of fracture and anomalous stress zones in the range of depth from several to about ten kilometers investigated in geological prospecting as well as let us to recover Earth structure as a whole from crust, through mantle down to the core. The suitable selection the parameters of seismic data acquisition (well seismics, surface 2-D and 3-D seismics) makes it possible to reconstruct Earth structure and distribution of its parameters in two and three dimensions. When we repeat the seismic measurements in time we can additionally observe spatial-time variations of medium structure during geological processes and deposit exploitation.

The character of spatial information about the medium which can be obtained in the process of tomographic inversion depends on the variants of applied measurement geometry, types of interpreted waves (direct waves, reflected waves, head waves, bending waves) as well as on the parameters of data processing (damping, smoothing, discretization step, inversion method, constraints). The large volume of data processed in the seismic tomography makes it necessary to use many informatic tools (neural networks, genetic algorithms, simulated annealing, fractals) to obtain high speed and effectivity of recovering geological information from seismic records. The special role play the techniques of spatial visualization of medium structure and distributions of its parameters during interpretation of tomographic inversion results.

MARIAN NOGA¹

WSPÓŁCZESNE ARCHITEKTURY KOMPUTEROWE

Słowo kluczowe:

informatyka: architektury komputerowe, superkomputery, klastry, mikroprocesory, przetwarzanie danych, przetwarzanie obrazów

Abstrakt

W artykule przedstawia istotne problemy w wykorzystaniu współczesnych superkomputerów i wieloprocesorowych klastrów do rozwiązywania złożonych problemów w obliczeniach naukowo-technicznych, przemysłowych i komercyjnych. Do istotnych problemów należy zaliczyć: parametry techniczne i funkcjonalność oprogramowania, rozwiązania podnoszące niezawodność oferowanych usług i ich bezpieczeństwo, ciągłość pracy, wybór sprzętu i koszt obliczeń.

MODERN COMPUTER ARCHITECTURES

Key words:

computer architectures, supercomputers, clusters, microprocessors, data processing, image processing

Abstract

We describe crucial problems related to application of modern supercomputers and multiprocessor clusters to solving complex problems in scientific, industrial and commercial computations. These problems include: technical parameters, functionality of software, security and quality of services, continuity of operation, choice of hardware and computational costs.

¹Akademia Górniczo - Hutnicza, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki, ACK Cyfronet, Kraków

Celem artykułu jest przedstawienie istotnych problemów w wykorzystywaniu współczesnych superkomputerów i wieloprocesorowych klastrów do rozwiązywania złożonych problemów w obliczeniach naukowo-technicznych, przemysłowych i komercyjnych. Do zagadnień tych należą :

- parametry techniczne i funkcjonalność oprogramowania
- rozwiązania podnoszące niezawodności oferowanych usług i ich bezpieczeństwo
- ciągłość pracy
- wybór sprzętu – elementy strategii
- koszt obliczeń

U podstaw rozwoju współczesnych architektur komputerowych było postawienie przez K. Wilsona w roku 1987 zadań z zakresu tzw. Wielkich Wyzwań (Grand Challenges). Pojęciem tym określa się zagadnienia związane z szeroko rozumianym problemem przetrwania naszej cywilizacji. Wielkie Wyzwania formułują zagadnienia obliczeniowe przekraczające moc obecnych komputerów o kilka rzędów wielkości: modele matematyczne w tym zakresie opisywane są poprzez typowe równania: Newtona, Schrödingera, Navier-Stokesa, Poissona, równania dyfuzji, Helmholtza, Maxwella i inne.

Cechą odróżniającą jest wielkość i interdyscyplinarność stosowanego modelu, zawierająca często wiele modeli cząstkowych. Typowymi przykładami są

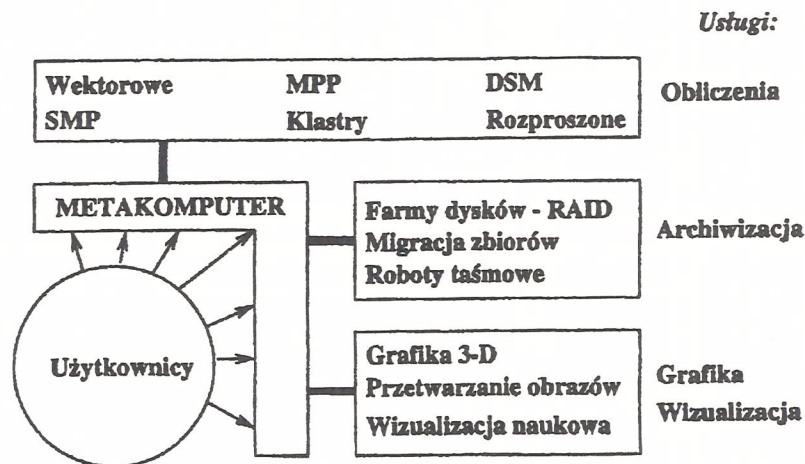
modele powstawania i transportu zanieczyszczeń w atmosferze, modelowanie zjawisk klimatycznych, biologia molekularna, poszukiwania złóż

Rozwiązanie w/w problemów wymaga dostępu do dużych mocy obliczeniowych i wymusiło z jednej strony rozwój technologii potrzebnych do wytwarzania coraz to wydajniejszych procesorów (technologia), wykonywanie kilku operacji w jednym taktie zegara (architektura procesora), łączenie wielu procesorów do wykonywania sekwencyjno-równoległych obliczeń (architektura połączeń, komunikacja wewnętrzna) wydajnych systemów operacyjnych, a z drugiej specjalistycznych pakietów oprogramowania. Integracja zasobów i usług w jeden system metakomputerowy umożliwiło efektywną realizację zadań z zakresu Wielkich Wyzwań.

Pojęcie metakomputera (rys. 1) i metakomputingu jest jedną z istotnych idei wyposażenia użytkownika w zintegrowany dostęp do podstawowych usług takich jak:

- moc obliczeniowa,
- wizualizacja naukowa, przetwarzanie grafiki i informacji multimedialnej
- archiwizacja informacji (uwzględnienie zarządzania hierarchicznymi systemami)

Dla oceny wydajności systemów komputerowych potrzebna jest znajomość metod ich oceny. Jest to problem złożony i w zależności od rozwiązywanych



rys. 1 Struktura metakomputera
fig. 1 Structure of metacomputer

problemów należy dobrać odpowiednią miarę. Najprostszym rozwiązaniem jest wykonanie testowych obliczeń na wybranym sprzęcie. Niestety rzadko to jest możliwe i wtedy należy dokonać oceny na podstawie zadań testowych (computer benchmarks) i tak:

- dla serwerów obliczeniowych najczęściej używaną miarą jest zestaw testów LINPACK. LINPACK jest nazwą biblioteki numerycznej algebry liniowej. Wydajność komputerów jest oceniana na podstawie szybkości rozwiązywania układu

równań liniowych (100 lub 1000 równań). Szybkość podawana jest Mflop/s (1 Mflop/s = milion operacji zmiennoprzecinkowych na sekundę). Osobno definiuje się miary oceny procesorów dla badania wydajności usług sieciowych, serwerów, baz danych, wspomaganie zarządzania, itp.

Na bazie LINPACK'a i z nim związanych miar wydajności utworzono listę 500 najbardziej wydajnych systemów komputerowych na świecie: lista TOP 500 (rys. 2 i 3). Lista ta pozwala nie tylko ocenić wydajność

PRODUCENT	USA/KANADA	EUROPA	JAPONIA	INNE	SUMA
HP	58	62	3	14	137
IBM	80	36	0	13	129
Sun	31	45	3	9	88
SGI	32	7	6	0	45
Cray Inc.	11	11	0	0	22
NEC	1	2	11	1	15
Fujitsu	0	3	9	1	13
Hitachi	0	1	12	0	13
Dell	7	0	0	1	8
inne	14	7	4	5	30
Suma	220	167	44	39	500

Liczba zainstalowanych w świecie komputerów (Lista Top 500 z 11.2002)

rys. 2 Liczba zainstalowanych w świecie komputerów (Lista Top 500 z 11.2002)
fig. 2 Number of computers installed in the world (Top 500 List of November 2002)

PRODUCENT	WIELKOŚĆ ZAINSTALOWANEJ MOCY, R_{MAX} (GFLOP/S)				
	USA/KANADA	EUROPA	JAPONIA	INNE	SUMA
IBM	59943,2	27422,9	0	5163,6	92529,7
HP	40285,6	19232	1584,2	3725,8	64827,6
NEC	241,4	1285	40900,2	241,4	42668,0
Sun	6909,42	9261,44	591,9	1775,7	18538,5
SGI	11484,6	2514,8	1779,3	0	15778,7
Cray Inc.	6928	4640	0	0	11568,0
Hitachi	0	1653	7264,4	0	8917,4
Dell	5504,9	0	0	344,4	5849,3
Fujitsu	0	1385	4073,2	232	5690,2
inne	18565,1	3662,9	1920,9	2543,4	26692,3
Suma	149862,2	71057,04	58114,1	14026,3	293059,7

Moc obliczeniowa (R_{max}) zainstalowanych w świecie komputerów (Lista Top 500 z 11.2002)

rys. 3 Moc obliczeniowa (R_{max}) zainstalowanych w świecie komputerów (Lista Top 500 z 11.2002)
fig. 3 Processor capacity (R_{max}) of computers installed in the world (Top 500 List of November 2002)

komputerów ale również wskazuje na relację pomiędzy rozwojem technologii krajów, kontynentów a posiadaną mocą obliczeniową. Niestety nie należymy do krajów dysponujących porównywalną mocą obliczeniową np. z RFN, Francją czy W. Brytanią. Ma to swoje przełożenie na nasze możliwości technologiczne i badania naukowe.

Tendencje rozwojowe procesorów

Na użytek tego opracowania ograniczono się do przedstawienia procesorów ogólnego przeznaczenia, wykorzystywanych w komputerach systemów otwartych pracujących zwykle pod kontrolą systemu operacyjnego Unix. Pominięto świadomie procesory specjalizowane jak i również procesory wektorowe, które stosowane są wyłącznie w superkomputerach wektorowych i przeznaczonych do obliczeń naukowo-technicznych. Wśród procesorów można wymienić

- CISC (Complex Instruction Set Computers)
- RISC (Reduced Instruction Set Computers)
- EPIC (Explicitly Parallel Instruction Computing)

Technologia CISC była najwcześniej rozwiniętą technologią procesorów. Procesor CISC posiadał złożoną listę rozkazów o różnej długości, co w znacznym stopniu komplikowało budowę kompilatorów i utrudniało uzyskanie efektywnej równoległości na poziomie instrukcji. Wady te powodowały trudności w uzyskaniu wysokiej wydajności. Technologia ta była stosowana we wczesnych rozwiązaniach komputerów (stosowana była m. in. w procesorach Intela, Cyrix, AMD i innych). Obecnie ta technologia ma mniejsze znaczenie.

Technologia RISC pozwoliła na znaczny wzrost wydajności procesora poprzez zwielokrotnienie jednostek funkcjonalnych (osobne układy dla arytmetyki zmiennej- i stała przecinkowej) podniesienie częstotliwości zegara powyżej ~16 Hz, optymalizacja kolejności obliczeń, duża pamięć podręczna, przejście na technologię ścieżek miedzianych.

Technologia EPIC została zaimplementowana w architekturę procesora IA-64 będącego aktualnie podstawowym procesorem, na którym praktycznie

wszystkie liczące się firmy komputerowe opierają swój rozwój. Główne cechy tej architektury to: nowy format słów o stałej długości 128 bitów, możliwość przeglądania rozkazów przed ich wykonaniem, możliwość eliminacji rozgałęzień kodu programu, możliwość wykonania dużej ilości instrukcji kodu programu w sposób równoległy, duża ilość jednostek funkcyjnych (8), zgodność na poziomie kodu programu między architekturą IA-64, procesorami Pentium i PA-RISC.

Kompilator dla architektury IA-64 stosuje technikę predykcji dla optymalizacji instrukcji warunkowych.

Obecnie można zauważyć duże zainteresowanie technologią EPIC, która prawdopodobnie stanie się technologią dominującą. Trudności w budowie kompilatorów powodują opóźnienie w rozpowszechnianiu tej technologii.

Wzrost wydajności komputerów był możliwy dzięki wzrostowi wydajności procesorów oraz przede wszystkim dzięki rozwojowi architektur komputerowych (rys. 4). Zastosowanie architektur równoległe łączonych procesorów w systemy wieloprocessorowe połączone szybkimi sieciami lub przełącznikami krzyżowymi stwarza możliwość znacznego zwiększenia wydajności systemów komputerowych. Obecnie dominujące architektury to:

- wektorowe (jednak wyraźnie daje się zauważyć w ostatnich latach tendencję zniżkową w zakresie ilości instalacji)
- równoległe z pamięcią rozproszoną i dzieloną.

W komputerach równoległych istotną rolę odgrywa architektura warstwy komunikacyjnej. Wśród różnych rozwiązań można wydzielić:

- architekturę magistralową (bus architecture)
- przełącznice krzyżowe (crossbar switch)
- sieci wielodostępowe (multistage switching networks)

W większości systemów komputerowych o wielu procesorach możliwe jest użycie jednego z dwóch klasycznych modeli obliczeniowych:

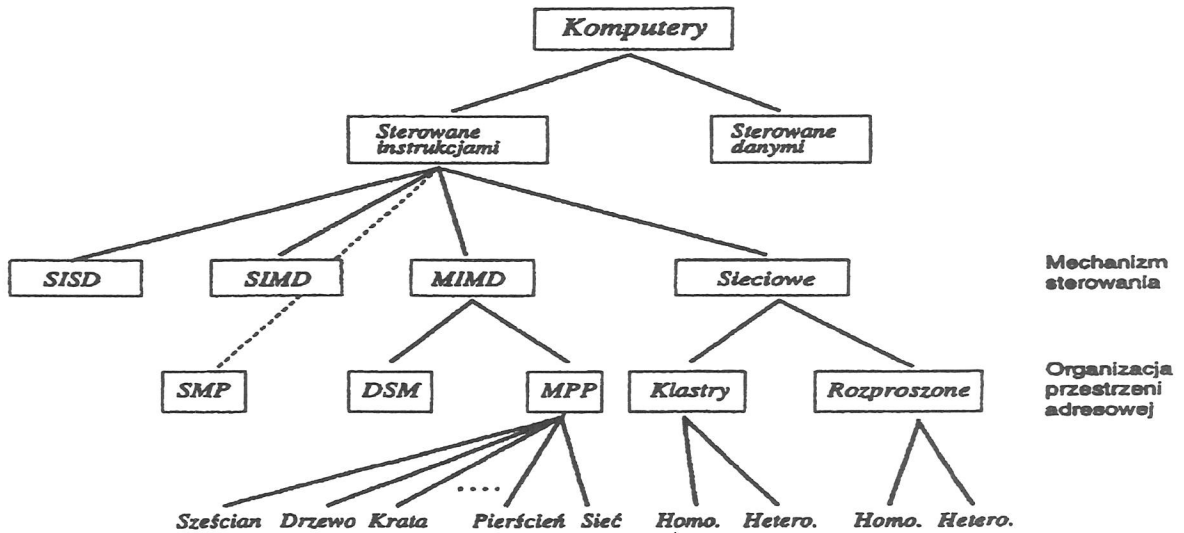
- model z wymianą wiadomości (message passing paradigm), wykorzystujący: Parallel Virtual Machine (PVM) lub Message Passing Interface (MPI)

Processor	Technologia CMOS, warstwy	Liczba tranzystorów – (mln)	Typowa częstotliwość (MHz)
POWERPC 601	0.6 μm ., 4L	2.8	80
POWERPC 604e	0.35 μm , 5L	5.1	332
POWER2SC	0.29 μm ., 5L	15.0	160
POWER3	0.2 μm , 5L		300
POWER4	0,18 μm	170	1300
Alpha 21064	0.7 μm , 3L	1.7	300
Alpha 21164	0.35 μm , 4L	9.3	600
Alpha 21264	0.35 μm , 6L	15.2	600
SuperSPARC	0.8 μm , 3L	3.1	60
SuperSPARC II	0.35 μm , 5L	5.4	250
UltraSPARC II	0.25 μm , 5L	5.4	450
Ultra SPARC III	0,18 μm , 7L	28	900
UltrSPARC III Cu	0,15 μm , 7L	28	1200
R4400	0.6 μm , 2L	2.2	150
R10000	0.35 μm , 4L	6.7	200
R14000	0,18 μm -L	7	600
R14000A	0,18 μm -L	7	700
PA7100	0.8 μm , 3L	0.8	100
PA8000	0.35 μm , 5L	3.8	180
PA-8500	0.25 μm , -L	120.	440
PA-8700	0,18 μm , 7L	186	800
Pentium II (Deschutes)	0.25 μm , -L	7.5	450
Pentium III (Coppermine)	0.18 μm , 6L	28	700
Pentium 4 (Northwood)	0,13 μm , -L	55	2400
Itanium (Merced) 4MB L3 cache	0.18 μm , -L	320 (25 procesor 295 cache)	800 800
Itanium 2 16 MB L3 cache (McKinley)	0.18 μm , -L	1000 (291 procesor 700 cache)	900

rys. 4 Rozwój technologii mikroprocesorów
fig. 4 Development of microprocessor technology

— model z równoległością danych (data – parallel programming), posługujący się językiem programowania wysokiego poziomu. Większość współczesnych kompilatorów wyposażona jest w możliwość obliczeń posługując się tym modelem np. Fortran (HPF), OpenMP.

Najbardziej popularne architektury to: (rys. 5)
— SMP (symetrical multiprocessing), pamięci wspólne, układ słabo skalowalny, mało wydajna komunikacja pomiędzy procesorami (zwykle magistrala, a w zaawansowanych konstrukcjach – przełącznica krzyżowa).



rys. 5. Klasyfikacja komputerów
fig. 5 Classification of computers

- cc-NUMA, systemy o fizycznie rozproszonej pamięci i dostępnej w sposób hierarchiczny. Maszyna składa się z wieloprocessorowych węzłów obliczeniowych. Komputery w tej architekturze są najczęściej stosowane w obliczeniach naukowo-technicznych.
 - Równoległa architektura SMP (parallel SMP) jest to architektura pośrednia pomiędzy cc-NUMA a architekturą SMP.
 - Najbardziej typowym przykładem architektury PSMP są systemy wysokiej dostępności budowane w oparciu o strukturę klastra. Klasy stwarzają możliwość wykorzystywania obliczeń o wysokiej złożoności (rozproszenie aplikacji) oraz wysokiej dostępności (poprzez sieć). Jednak są one dedykowane najczęściej do jednego typu zadań. Brak jest uniwersalnych pakietów oprogramowania aplikacyjnego na tego typu architekturę.
- Przykładowe typy zadań w powiązaniu z architekturą

wektorową:

siatki strukturalne np. meteorologia, przepływy, rozchodzenie zanieczyszczeń....

równoległą:

siatki strukturalne/niestrukturalne, algorytmy iteracyjne algebry liniowej np. genomika, turbulencje, biologia molekularna, fizyka/mechanika kwantowa, Monte Carlo...

klasy:

siatki niestrukturalne np. fizyka wysokich energii, Monte Carlo, przetwarzanie obrazów....

Obecny stan rozwoju architektur komputerowych cechuje:

- równoległe architektury komputerowe znajdują się ciągle na etapie intensywnego rozwoju. Wyraźnie daje się zauważyć opóźnienie w zakresie systemów operacyjnych, kompilatorów i oprogramowania aplikacyjnego w stosunku do możliwości hardware'u.
- rozwój zainteresowania technologią klastrów. Jednakże technologia ta napotyka na trudności w zakresie komunikacji między procesorowej jak również w zakresie oprogramowania. Trwają prace nad wykorzystaniem komputerów typu SMP w strukturach klastrów.

— wyraźnie spada zainteresowanie architekturami wieloprocessorowymi (z powodu wysokich kosztów i to zarówno kompilatorów jak i oprogramowania).

Bibliografia:

Proceedings, 15th Supercomputer Conference
June 08-10.2000, Mannheim, RFN

Proceedings, SuperComputer 1999, November 13-
19.11.1999, Portland, USA

Proceedings, SuperComputer, November 04-10,2000, Dal-
las, USA

Kitowski J. 2000, *Współczesne systemy komputerowe*,
Kraków

Summary

This article presents major problems arising from the use of modern supercomputers and multi-processor clusters for complex problem solving in scientific-technological, industrial and commercial computing. They include : technical parameters and software functionality, solutions enhancing reliability of offered services and their security, continuity of work, selection of equipment – elements of strategy, computing costs.

At the fundamentals of the development of modern computer architecture were the goals from the field of so-called Grand Challenges set in 1987 by K. Wilson. By this concept, one outlines questions pertaining to the survival of our civilization in a broad sense. Grand Challenges bring forth computing requirements surpassing current computing capacities by several orders of magnitude. Mathematical models in that domain are described by typical equations: by Newton, Schrödinger, Navier-Stokes, Poisson, diffusion equation, by Helmholtz, Maxwell and others.

The distinguishing feature is the size and interdisciplinarity of the applied model, often including a number of submodels. Emblematic examples are models of air pollution formation and migration in the atmosphere, weather phenomena modeling, biomolecular biology, the exploration of deposits...

The solving of the above mentioned problems requires the access to large computing powers and forced on one hand the development of technologies required for the production of continuously improved processors (technology), the simultaneous performance of several jobs (processing architecture), the merging of numerous processors for parallel-sequenced computing (architecture of links, internal communication) efficient operating systems, and on the other hand special software packages. The integration of resources and services in one metacomputing system enabled an effective performance of tasks from the field of Grand Challenges.

The concept of metacomputer and metacomputing is one of the pertinent ideas of providing the user with an integrated access to basic services such as: computing power, scientific visualization, graphic

and multimedia information processing, the recording of information (taking hierarchic systems management into consideration).

The present state of the art of computer architecture development is characterized by :

- parallel computer architectures being still at the stage of intensive expansion. There is a patent delay in the area of operating systems, compilers and application software regarding hardware capacities.
- growing interest in cluster technologies. Though this technology encounters difficulties as regards inter-computer communication as well as software development. Research on the use of SMP-type computers in cluster structures is going on.
- a distinct decline in interest in multiprocessor architectures (due to the high costs both of compilers and software).

WIESŁAWA ŻYSZKOWSKA¹

WKŁAD GEOINFORMATYKI DO KARTOGRAFII

Słowa kluczowe:

geoinformatyka, kartografia, GIS,

Abstrakt

Geoinformatyka łączy informatykę z różnymi dziedzinami nauk przyrodniczych oraz z kartografią i teledetekcją. Są dwa przeciwstawne stanowiska, dotyczące stosunku kartografii do geoinformatyki i technik komputerowych, wyrażone przez M.F. Goodchilda jako „paradoks kartografii końca XX w.” Lata osiemdziesiąte, a zwłaszcza dziewięćdziesiąte przysporzyły kartografii komputerowej w Polsce wielu zwolenników, nadal jednak wydaje się, że nie wszyscy kartografowie w Polsce właściwie oceniają wpływ dziedzin związanych z technikami komputerowymi na rozwój kartografii.

Artykuł analizuje wpływ technik komputerowych, jakie znalazły zastosowanie w kartografii oraz zakresy kartografii, jakie podlegały tym wpływom, podkreślając korzyści, jakie wypływają z powiązania kartografii z geoinformatyką.

GEOINFORMATICS' CONTRIBUTION TO CARTOGRAPHY

Key words:

geoinformatics, cartography, GIS

Abstract

Geoinformatics links informatics with different branches of natural sciences as well as with cartography and teledetection. There are two approaches to geoinformatics, expressed by M.F. Goodchild's „paradox of cartography”. In the 80. and especially 90. the circle of computer cartography adherents in Poland considerably increased, but still not all cartographers in Poland appreciate the influence of geoinformatics on the development of cartography. The paper discusses the influence of computer techniques which found an application in cartography as well as areas of the influence. The advantages of the links between cartography and geoinformatics are enhanced.

¹Uniwersytet Wrocławski - Wydział Nauk Przyrodniczych, Instytut Geograficzny, Wrocław

Przełom XX i XXI w., charakteryzujący się wkroczeniem technologii komputerowych do wielu dziedzin nauki oraz ich integrowaniem, spowodował pojawienie się nowych gałęzi, zajmujących się problemami leżącymi na styku różnych nauk. Jedną z takich dziedzin jest geoinformatyka, która zawdzięcza powstanie połączeniu nauk, badających przestrzeń geograficzną z informatyką, jako nauką zajmującą się przetwarzaniem informacji za pomocą systemów komputerowych. (Makowski, 2001). Geoinformatyka zajmuje się przetwarzaniem informacji przestrzennej (geoinformacji), łącząc informatykę z różnymi dziedzinami nauk przyrodniczych, przede wszystkim geografią, geologią i geofizyką oraz z kartografią i teledetekcją.

Szczególnie ściśle związki wydaje się mieć geoinformatyka z kartografią, ponieważ mapy są najbardziej efektywnym sposobem przedstawiania informacji przestrzennej. Można je nawet uznać za pierwsze wersje systemów informacji geograficznej, mimo iż zapisane w sposób analogowy. Mapy zawierają bowiem uporządkowane i usystematyzowane informacje o przestrzeni geograficznej, łączą informacje o położeniu z informacjami atrybutowymi i określają relacje topologiczne. Toteż właśnie one stanowią jedną z najważniejszych podstaw geoinformatyki. Związki między obiema dziedzinami są obopólne, kartografia bowiem uległa bardzo istotnym przemianom wraz z wkroczeniem do niej informatyki i systemów komputerowych, zwłaszcza systemów graficznych i systemów informacji geograficznej. W ciągu wieków kartografia wypracowała wiele metod zapisu i prezentacji informacji przestrzennej oraz wykorzystania map do analizy zjawisk przestrzennych. Od lat trzydziestych ubiegłego wieku znaczącą rolę w opracowaniu map spełniają zdjęcia lotnicze, a od drugiej połowy XX w. – obrazy satelitarne. W końcu XX w., w związku z pojawieniem się w kartografii technik komputerowych, dokonały się tak istotne zmiany w sposobach i technikach opracowania map, że kartografia znalazła się w zupełnie nowej sytuacji. Ocena tej sytuacji ukształtowała dwa przeciwstawne stanowiska, dotyczące stosunku kartografii do technik komputerowych, a w konsekwencji także do geoinformatyki.

Stosunkowo szybko zauważono, że techniki komputerowe niosą ze sobą ogromne możliwości usprawniania produkcji kartograficznej i wielu kartografów rozpoczęło badania nad możliwościami wykorzystania nowych technik do przyspieszenia procesu opracowania mapy i polepszenia jego efektów. Do wybitnych reprezentantów tego stanowiska należą m.in. W. Tobler (1959, 1964, 1976a), D.H. Douglas i T.K. Peucker (1972), M.S. Monmonier (1982), K. Brassel (1974, 1977) i wielu innych. Im właśnie zawdzięczamy rozwój nowej dziedziny kartografii, określanej mianem *kartografii komputerowej*, stanowiącej ważną część geoinformatyki. Zwolennicy tej opcji podzielają pogląd, że konsekwencje wprowadzenia do kartografii komputerów można porównywać z pojawieniem się odwzorowań Ptolemeusza i Merkatora, wprowadzeniem druku, litografii, fotografii czy fotogrametrii (Goodchild, 1999). W miarę rozwoju kartografii komputerowej pogląd ten wydaje się coraz bardziej uzasadniony, zwłaszcza iż wpływ ten sięga głębiej poza sferę przyspieszenia procesu opracowania mapy, wprowadzając zmiany również do teorii kartografii. Należy tu podkreślić, że badania nad sposobami usprawnienia produkcji kartograficznej, które początkowo stanowiły główny zakres zainteresowań kartografii komputerowej, doprowadziły do bardzo ważnych badań nad generalizacją i teorią kartografii, a nawet do zmiany paradygmatu badawczego, który od lat 60. ubiegłego wieku stanowił przekaz kartograficzny. Zmiany te wprowadzają kartografię jako naukę na nowy etap rozwoju, o czym będzie mowa w dalszej części artykułu.

Reprezentanci drugiego stanowiska oceniają negatywnie wpływ komputeryzacji na kartografię, żywiąc obawy nie tylko co do powstających z ich udziałem produktów, ale także co do przyszłości zawodu kartografa (Kretschmer, 1978; Paślawski, 1984; Pawlak, 2000a, 2000b). Nie są to niestety obawy bezpodstawne, ponieważ dziś każdy, kto ma do dyspozycji odpowiedni system komputerowy, może z łatwością opracować mapę, a nawet ją opublikować. Powstaje wiele map, opracowanych bez znajomości reguł kartograficznych, a nawet zawierających niedopuszczalne błędy, za które twórcy nie ponoszą żadnej odpowiedzialności. Systemy komputerowe ułatwiają także niestety

nielegalne wykorzystanie materiałów kartograficznych, a nawet dokonywanie plagiatów.

Oceniając specyficzną sytuację współczesnej kartografii, amerykański geograf M.F. Goodchild (1999) określił ją jako „paradoks kartografii końca XX w.”. Paradoks ten polega na tym, że z jednej strony mapy stały się bardziej niż kiedykolwiek wykorzystywanym narzędziem pracy, z drugiej jednak kartografowie wydają się być coraz bardziej niepotrzebni, a wiedza kartograficzna lekceważona. Wielu użytkowników programów GIS otwarcie przyznaje, że nie zwraca uwagi na to, czy mapa została opracowana poprawnie z kartograficznego punktu widzenia, ponieważ interesuje ich jedynie to, aby była ona przydatna z punktu widzenia konkretnego zadania.

Kartografowie nie mogą się oczywiście zgodzić z tym poglądem, nie tylko dlatego, że czują się zagrożeni w swojej egzystencji, ale przede wszystkim dlatego, że stoi on w sprzeczności z teoriami przekazu i wizualizacji kartograficznej, których podstawowym założeniem jest skuteczność komunikacji kartograficznej, uwarunkowana poprawnym zastosowaniem środków kartograficznej prezentacji. Dostrzegając problem lekceważenia zasad kartograficznych przez wielu użytkowników systemów informacji geograficznej, znana amerykańska kartografka Judy Olson wyraziła pogląd, że „GIS zabił kartografię” (Goodchild, 1999).

Wieloletnie odcięcie polskich pracowni kartograficznych od technik komputerowych i które w ograniczonym zakresie stały się dostępne dopiero po 1990 roku, tłumaczy w znacznej mierze niechętnie stanowisko wielu polskich kartografów wobec coraz ściślejszego wiązania kartografii z geoinformatyką. Znalazło to m.in. wyraz w niskiej ocenie roli kartografii komputerowej w rozwoju kartografii, jako nauki, zawartej w trzech publikacjach. W. Grygorenko (1984), nawiasem mówiąc autor kilku artykułów na temat kartografii komputerowej, za początek ostatniego okresu rozwoju kartografii jako nauki, uznał lata 50. XX w, a więc okres, w którym zaczął się kształtować paradygmat komunikacyjny. Oznacza to, że wpływ technologii komputerowych nie był wówczas dostatecznie dobrze rozumiany. Również J. Ostrowski (1984) nie odnotował ich wpływu na stanowiska metodologiczne kartografii. Z kolei J. Paślawski (1984), który

zauważył wprawdzie ten wpływ, ograniczył go jednak jedynie do automatyzacji. Lata osiemdziesiąte, a zwłaszcza dziewięćdziesiąte przysporzyły kartografii komputerowej w Polsce wielu zwolenników, nadal jednak wydaje się, że nie wszyscy kartografowie w Polsce właściwie oceniają wpływ dziedzin związanych z technikami komputerowymi na rozwój kartografii, zwłaszcza w pozytywnym sensie.

Podstawowe zmiany, jakich doświadcza kartografia w wyniku wkroczenia do niej geoinformatyki, dotyczą nie tylko sposobu opracowania map, ale także podejścia do tego procesu. Wynikają one przede wszystkim ze sposobu zapisu informacji, czego konsekwencją jest zmiana formy i trwałości zapisu informacji kartograficznej. W technice komputerowej informacja jest zapisywana w formie binarnej, w kartografii komputerowej pojawiły się zatem zupełnie nowe nośniki, takie jak: pliki, dyskietki, płyty CD, ekrany monitora, tworząc nowe środowisko pracy kartografa, a zarazem nowe warunki percepcji map. Trwałość zapisu daje możliwości wielokrotnego wykorzystywania raz zapisanych informacji, a zarazem swobodnego wprowadzania poprawek i aktualizowania map. Wśród technik komputerowych, jakie znalazły zastosowanie w kartografii, szczególnie ważną rolę odgrywają:

1. grafika komputerowa,
2. bazy danych,
3. systemy informacji przestrzennej (GIS),
4. sztuczna inteligencja,
5. Internet.

Ad. 1. Grafika komputerowa wprowadziła do kartografii ułatwienia, wynikające z automatyzacji procesu rysowania. Zmiany dotyczą przede wszystkim zwiększenia szybkości rysowania i precyzji oraz powtarzalności rysowania takich samych znaków. Nie mniej ważnym udogodnieniem jest możliwość dokonywania zmian w obrazie w zakresie skali, doboru kolorów, wyboru elementów, układu legendy i strony), która zapewnia interaktywność procesu opracowywania mapy.

Ad.2. Zastosowanie w kartografii baz danych umożliwia opracowywanie wielu map na podstawie jednego zbioru danych oraz przeprowadzanie wielu operacji, przede wszystkim selekcji i generalizacji jakościowej,

w oparciu o różne kryteria. Przyczynia się to nie tylko do częściowej automatyzacji procesu generalizacji, ale także do ujednoczenia stosowanych w nim kryteriów. Bardzo ważną konsekwencją zapisu informacji kartograficznej w bazach danych jest konieczność integrowania informacji pochodzącej z różnych źródeł, a więc uzgadniania przebiegu granic i położenia obiektów. Jak dalece niedoskonała pod tym względem była tradycyjna kartografia dostrzegamy przy wykorzystaniu map drukowanych do budowy baz danych przestrzennych.

Ad. 3. Techniki wypracowane w ramach systemów informacji przestrzennej pozwalają na rozszerzenie sposobów przetwarzania danych i uzyskiwania nowej informacji, a także na analizę zmienności czasowej zjawisk. Rozszerzyły i wzmocniły one znacznie możliwości kartograficznego modelowania zjawisk (Makowski, 1997; Spallek, 2001; Żyszkowska, 2000a). Należy tu zwrócić szczególną uwagę na znaczenie numerycznych modeli wysokości (NMT), które zmieniły podejście do przedstawiania oraz wykorzystywania danych o powierzchni terenu. Nie ulega ponadto wątpliwości, że systemy informacji geograficznej zwiększyły zakres funkcjonowania map. Mapy należą do najważniejszych elementów GIS, stanowiąc nie tylko jedno z najważniejszych źródeł informacji przestrzennej, ale także podstawowy sposób prezentacji wyników analiz. W ramach systemów informacji przestrzennej rozwinęła się w ostatnich latach koncepcja systemów opartych na obiektach (object - oriented systems), która zmienia podejście do generalizacji elementów mapy, aczkolwiek charakter i zakres tych zmian nie został jeszcze w pełni rozpoznany.

Ad. 4. W ostatnich dziesięciu latach coraz szersze zastosowanie w kartografii znajdują metody sztucznej inteligencji. Wykorzystuje się je przede wszystkim do tworzenia zautomatyzowanych systemów komputerowych służących do opracowywania map, zwanych systemami eksperckimi. Ich zasadniczą zaletą jest nie tyle zautomatyzowany, a więc uproszczony i skrócony proces opracowania mapy, ale przede wszystkim możliwość dostosowania zakresu treści mapy do potrzeb specyficznie określonych grup użytkowników. Stworzenie systemu, który mógłby całkowicie zastąpić pracę kartografa w opracowaniu dowolnego rodzaju map

wyda się obecnie jeszcze mało prawdopodobne, choć wiele elementów tego procesu udało się już z powodzeniem zautomatyzować. Tam jednak, gdzie praca kartografa polega na podejmowaniu subiektywnych decyzji, automatyzacja jest niezwykle trudna, a zdaniem wielu kartografów, niemożliwa do przeprowadzenia. Z jednej strony panuje pogląd, że opracowanie mapy wymaga wiedzy geograficznej i umiejętności jej syntetyzowania, z drugiej specjaliści od systemów eksperckich uważają, że kartografowie nie potrafią dostatecznie jasno zwerbalizować procesów wykonywanych na kolejnych etapach opracowania mapy, co jest konieczne do sformułowania algorytmów.

Największe trudności, jak się obecnie wydaje, sprawia proces generalizacji kartograficznej, przeprowadzany w klasycznej kartografii w sposób subiektywny i manualny. Dotychczasowe osiągnięcia ograniczają się do automatyzacji upraszczania linii, choć funkcjonujące w systemach GIS procedury nie zawsze zapewniają uzyskanie efektów na odpowiednim poziomie.

Ważnym elementem systemów eksperckich jest tzw. wiedza kartograficzna (Muller, 1991; Weibel, 1991; Iwaniak, 1993), obejmująca reguły opracowania map, stanowiące wielowiekowy dorobek metodologiczny i metodyczny kartografii. Jej wypracowanie stanowi obecnie zarówno szansę, jak i podstawowe zadanie współczesnej kartografii, a szansa powodzenia realizacji tego zadania zależy od tego, w jakiej mierze kartografowie będą zdolni do jednoznacznego zdefiniowania procesu opracowania mapy.

Ad. 5. Swoistą rewolucję spowodowało powiązanie kartografii z Internetem, zwłaszcza w sferze rozpowszechniania map. Zapewnił on bowiem powszechny i szybki dostęp do map, a w konsekwencji możliwość dostarczania map na zamówienie odbiorcy, z dostosowaniem zakresu treści do jego wymagań. Z kolei możliwości łączenia się z różnymi źródłami danych wywołały poważne zmiany nie tylko w zakresie dostępności i aktualizacji danych, ale także w zakresie struktury atlasów, opracowywanych w wersji elektronicznej.

Wśród tych atlasów można wyróżnić trzy rodzaje:

1. *atlasy prezentacyjne*, służące wyłącznie do oglądania map, zapisanych w formie cyfrowej, najczęściej w formacie rastrowym. Ten typ atlasu umożliwia wybór zakresu przestrzennego i skali mapy wyświetlanej na ekranie monitora. W wersjach uboższych powiększenie mapy nie pociąga za sobą zwiększenia dokładności mapy, a jedynie powiększenie samego obrazu. Jedynie wersje bardziej rozbudowane, zawierające mapy w tzw. szeregach skalowych, pozwalają na wywoływanie map w większych skalach przy powiększaniu obrazu. Struktura tego rodzaju atlasu zasadniczo nie różni się od struktury atlasu tradycyjnego, składa się bowiem na niego zbiór map o ściśle określonej skali i zasięgu przestrzennym.

2. *atlasy interaktywne*, zawierające algorytmy definiowania obrazu mapy i umożliwiające zmianę kolorów, wybór typu znaków oraz sposobów grupowania danych. Mapy zawarte w tych atlasach są zapisane w systemie wektorowym, w powiązaniu z relacyjną bazą danych. Wersje mniej zaawansowane dysponują jedną, stałą bazą danych, bardziej zaawansowane umożliwiają dokonywanie zmian i wprowadzanie aktualnych danych. Struktura tych atlasów jest całkowicie odmienna od struktury atlasów tradycyjnych. Tworzą ją bowiem nie tylko zbiory map, ale także tzw. linki, połączenia internetowe ze stronami instytucji, udostępniających swoje dane użytkownikom atlasu.

3. *atlasy analityczne*, połączone z systemami informacji geograficznej, umożliwiają przeprowadzanie samodzielnych analiz i zastosowanie różnych metod przetwarzania danych. Również struktura tych atlasów różni się od struktury atlasów tradycyjnych.

Niezależnie od atlasów elektronicznych, w Internecie dostępne są obecnie liczne strony, zawierające różnego rodzaju mapy. Ich poziom różni się oczywiście, różni są bowiem ich autorzy. Ogólnie dostępna jest mapa Digital Chart of the World, opracowana na podstawie mapy 1:1M, zawierająca warstwę z numerycznym modelem wysokości o rozdzielczości 30'. Jej poprawność wprawdzie budzi wiele zastrzeżeń (Kraak, Ormeling, 1999), jednak dane wysokościowe są często wykorzystywane w analizach klimatu świata. Jest to

jeszcze jeden przejaw zwiększonej powszechności map.

Każda z omówionych powyżej technik komputerowych wywarła znaczący wpływ na kartografię, choć każda z nich w różnym stopniu i na różne zakresy kartografii, od odwzorowań i teorii kartografii, poprzez opracowanie map, analizę map i redakcję, na druk i rozpowszechnianie map kończąc.

Odwzorowania kartograficzne

Techniki komputerowe zostały najwcześniej wykorzystane w kartografii do obliczania i transformacji odwzorowań kartograficznych (W. Tobler, 1964). Obecnie każdy system GIS zawiera około trzydziestu projekcji, zdefiniowanych w różnych układach współrzędnych, dla różnych elipsoid. Daje to kartografii możliwości przedstawiania kuli ziemskiej nie tylko w różnych odwzorowaniach, ale także w różnej perspektywie.

Metody prezentacji kartograficznej

W zakresie metod prezentacji kartograficznej technika komputerowa wprowadziła do kartografii zmiany, wynikające przede wszystkim z automatyzacji, a więc szybkości i powtarzalności opracowania. Polegają one na łatwości stosowania znaków i określania ich wielkości, możliwości korekty granic oraz prezentowania wyników różnych klasyfikacji i grupowania. Dotychczas jednak nie pojawił się program, który dysponowałby możliwością stosowania wszystkich znanych metod kartograficznych. Większość pakietów systemów informacji geograficznej ma ograniczony repertuar metod, ponieważ za pomocą dostępnych algorytmów można wykorzystać takie metody jak: sygnatury, metoda chorochromatyczna, kartogram i kartodiagram prosty. Ale już kartodiagram strukturalny, metoda dazymetryczna, kropkowa, czy izochrony nie mogą być zastosowane w sposób bezpośredni i wymagają zastosowania specjalnych aplikacji.

Najważniejsza zmiana wiąże się jednak z metodą izolinii, która w tradycyjnej kartografii była oparta na interpolacji osiowej i założeniach interpolacji liniowej. Zastosowanie takiej wersji interpolacji nie jest jednak możliwe w przypadku numerycznych modeli powierzchni, które są opracowywane w strukturze

rastrowej. Poszukiwanie innych matematycznych podejść do problemu aproksymacji powierzchni przyczyniło się do rozwoju nowych metod interpolacji, m.in. kriging, spline i in., które z jednej strony wyeliminowały problem przełęczy, a z drugiej umożliwiają dokonanie wyboru metody interpolacji. Zarazem jednak pojawił się nowy, nie rozwiązany dotychczas problem, jakim jest wybór metody interpolacji odpowiednio do charakteru danych.

Numeryczne modele terenu mogą być wykorzystywane do tworzenia tradycyjnych obrazów ukształtowania powierzchni w formie izolinii, lub profili. Zautomatyzowany proces wyznaczania izolinii umożliwia przyjmowanie dowolnego cięcia izolinii i dowolnego systemu ich opisu. Wraz z techniką komputerową rozwinęły się w kartografii metody perspektywicznego modelowania powierzchni trójwymiarowej, z możliwością zmiany kąta pionowego i kąta podniesienia perspektywicznego. Dają one podstawę do wizualizacji wirtualnych lotów nad wybranym obszarem, która jest wykorzystywana zarówno w atlasach elektronicznych, jak i w wielu grach komputerowych.

Wraz z rozwojem numerycznych modeli powierzchni zaczęto stosować metody automatycznego cieniowania (Brassel, 1974), które również wzbudzały wiele zastrzeżeń wśród kartografów, choć trzeba przyznać, że nie wszystkie spośród tradycyjnie cieniowanych map zasługiwały na uznanie.

Istotną nowość, jaką metodyka kartograficzna zawdzięcza systemom komputerowym, stanowią animacje komputerowe, wchodzące w zakres nowego działu kartografii, zwanego kartografią temporalną (MacEachren, 1994). Rozszerzają one zakres prezentacji kartograficznych o zjawiska zmieniające się w czasie i przestrzeni, które w tradycyjnej kartografii były przedstawiane w sposób pośredni, za pomocą środków statycznych.

Technika komputerowa daje także możliwości zmiany i transformowania metryki mapy, a więc wykorzystywania geometrii mapy nieeuklidesowych do przedstawiania różnego rodzaju zależności nieprzestrzennych w postaci tzw. anamorfoz kartograficznych.

Metody analizy map

Szybkość operacji i trwałość zapisu informacji przestrzennej zmieniły także w zasadniczy sposób możliwości przeprowadzania różnego rodzaju analiz przestrzennych z wykorzystaniem map. Należy tu podkreślić, że już w latach siedemdziesiątych W. Tobler (1976a), zaproponował wyodrębnienie nowej dziedziny kartografii, którą określił jako „kartografię analityczną”, zajmującą się komputerowym przetwarzaniem informacji przestrzennej. Podstawą tej kartografii jest możliwość dokonywania selekcji informacji z punktu widzenia różnego rodzaju kryteriów. Zautomatyzowane zostały nie tylko wszystkie metody kartometrii, ale także wiele metod stosowanych powszechnie w geografii. Dwie metody analizy – ekwidystanty i nakładanie na siebie map, stanowią dziś podstawę analizy przestrzennej w systemach GIS.

Geoinformatyka, jako nauka o przetwarzaniu informacji o przestrzeni geograficznej, wykorzystuje metody analizy map, wypracowane w różnych dziedzinach nauk przyrodniczych i kartografii. Wśród funkcjonujących w systemach GIS metod przetwarzania informacji można wyróżnić pięć grup. Pierwsza grupa obejmuje metody zawarte we wszystkich systemach, ponieważ stanowią one podstawę funkcjonowania GIS. Należą tu metody integracji danych i transformacji współrzędnych oraz selekcja. Drugą grupę stanowią metody analityczne, polegające na przetwarzaniu danych opartym na relacjach topologicznych. Grupa ta obejmuje procedury wyznaczania rejonów, podziału obszaru, analizy sieciowe oraz procedury budowania i przetwarzania numerycznych modeli wysokości. Trzecia grupa metod jest związana z pomiarami kartometrycznymi, które w systemach GIS są wykonywane w sposób automatyczny. Kolejną grupę metod stanowią metody przetwarzania danych atrybutowych, czyli operacje na tabelach atrybutowych, jak grupowanie i rekłasyfikacja, obliczanie parametrów statystycznych. Piąta grupa metod obejmuje metody analizy rozkładu przestrzennego oraz metody analizy powierzchni 3 D, z obliczaniem parametrów morfometrycznych, jak nachylenie powierzchni, ekspozycja i zakrzywienie.

Redakcja map

Wpływ geoinformatyki na kartografię polega również na zmianie podejścia do redakcji map. Systemy komputerowe operują warstwami informacji, a nie warstwami kolorów, a powtarzalność czynności umożliwia wielokrotne wykorzystywanie tych samych warstw w różnych zestawach i układach, przy dowolnym doborze elementów treści. Możliwy jest też swobodny dobór kształtu i koloru znaków.

Niezwykle istotną zmianą wydaje się także nowe podejście do koncepcji atlasu. W wersji klasycznej atlasy zawierały uporządkowane zbiory map o pewnej sekwencji skal i ujednoczonym zakresie treści. Atlasy komputerowe mogą być realizowane zarówno jako cyfrowe wersje takich klasycznych atlasów, ale także jako wersje interaktywne i multimedialne, które w miejsce zbioru map dysponują połączeniami z różnego rodzaju bazami danych, co umożliwia wyświetlanie jednorazowych map, zawierających aktualne informacje (Okonek, 2000). W niektórych wersjach atlasów komputerowych możliwa jest, choć w ograniczonym zakresie, zmiana metody prezentacji zjawisk. Jednocześnie ograniczony zakres przestrzenny i skalowy został zastąpiony płynnością obszaru mapy i skali map (Kraak, Ormeling; 1999). O zmianie struktury atlasów była już mowa powyżej.

Reprodukcja kartograficzna

Techniki komputerowe zmieniły także podejście do reprodukcji kartograficznej; pojawiły się nowe sposoby definiowania kolorów oraz rastrów. Pojawiły się także nowe techniki reprodukcji map – na drukarkach i ploterach, a dokonujące się jednocześnie zmiany w zakresie druku map w profesjonalnych drukarniach, związane z techniką komputerową, rewolucjonizują technologię przygotowania map do druku (Gałach, 2000). Operacje rozbiórki kolorów wyeliminowały tradycyjną reprodukcję fotograficzną, tak że mapa jest przygotowywana do druku w całości na ekranie i przekazywana do drukarni na nośnikach cyfrowych. Zmiany w tym zakresie kartografii mają poważne skutki dla struktury przedsiębiorstw wydawniczych zajmujących się produkcją map. Znikają tradycyjne pracownie reprodukcyjne, a ich funkcje przejmują redaktorzy - kartografowie.

Historia kartografii

Zmiany nie ominęły również tak klasycznej dziedziny, jak historia kartografii, a zwłaszcza metod analizy i oceny starych map. Opracowane przez W. Toblera (1976a) algorytmy pozwalają na odtworzenie odwzorowania starych map oraz obliczenie współczynników zmienności ich skali.

Teoria kartografii

Z punktu widzenia kartografii jako nauki, najbardziej istotne wydają się zmiany, jakie techniki komputerowe wywołały w teorii kartografii. Powiązanie kartografii z technikami wizualizacji zaowocowało **wykształceniem nowego paradygmatu w kartografii**, określanego mianem wizualizacji kartograficznej (McEachren, 1994, 1995), która do paradygmatu przekazu kartograficznego dodała zakres analizy mapy i modelowania. M.-J. Kraak (2002) zaproponował koncepcję *geowizualizacji*, jako nowej multidyscyplinarnej dziedziny służącej lepszemu zrozumieniu stosunków przestrzennych, poprzez budowanie wirtualnej rzeczywistości.

Wraz z pojawieniem się nowych form map i atlasów ulegają także definicje mapy i kartografii. Mapy były zawsze i pozostaną modelami przestrzeni geograficznej, mogą jednak dziś przyjmować różne formy, rzeczywiste i wirtualne oraz być zapisywane i przedstawiane na różnego rodzaju nośnikach, na papierze, na monitorach, w plikach, na dyskach, a kartografia musi odpowiedzieć na pytanie, czy każdą z tych form zapisu można określić jako mapę, czy też definicja ta może się odnosić wyłącznie do postaci o charakterze obrazu.

Niemniej ważne problemy teoretyczne są związane z generalizacją kartograficzną, która od połowy XIX w. nie przestała być jedną z głównych „raf” kartografii. Od pierwszych prac nad komputerowymi systemami kartograficznymi problem generalizacji należał do najważniejszych, aczkolwiek początkowo skupiano się głównie nad automatyzacją upraszczania linii. W ostatnich latach XX w. ukształtował się pogląd, że rozwiązanie problemu generalizacji wymaga podejścia całościowego, którego podstawą są teoretyczne modele generalizacji (McMaster, Shea, 1992, Iwaniak, Paluszyński, Żyszkowska, 1999),

określające główne cele i metody generalizacji automatycznej na użytek eksperckich systemów kartograficznych. Wypracowywane są nowe podejścia i metody generalizacji, np. oparte na sieciach neuronowych (A. Iwaniak, W. Paluszyński, 2001) lub fraktalach (Olszewski, 2001).

Systemy komputerowe, służące do opracowania map zmuszają także do ścisłego i jednoznacznego definiowania zasad prezentacji kartograficznej. Dużą rolę odgrywają tu prace nad semiotyką kartograficzną (Żyszkowska, 2000b), ponieważ pozwala ona na definiowanie elementów mapy za pomocą ogólnych kategorii, odnoszących się do semantyki i syntaktyki języka mapy i dających się zarazem wyrazić językiem komputerowym.

Powstające w ścisłej współpracy ze specjalistami z dziedziny sztucznej inteligencji tzw. kartograficzne systemy eksperckie stanowią być może najbardziej istotną nowość w kartografii (Muller, 1991; Weibel, 1991). Ich znaczenie polega nie tylko na tym, że upraszczają i przyspieszają one szereg pracochłonnych czynności kartograficznych, ale przede wszystkim na tym, że wymagając budowania tzw. wiedzy kartograficznej, przyczyniają się do ścisłego definiowania zasad i metod kartograficznych, co wielokrotnie wiąże się z redefiniowaniem pojęć i podejść w kartografii.

Podsumowując wielostronny wpływ technik komputerowych na kartografię, należy stwierdzić, że objął on wszystkie zakresy tej dziedziny, nie tylko proces rysowania, redagowania map i reprodukcji kartograficznej, ale także metodologię, poprzez kształtowanie nowych pojęć i podejść w formie nowych modeli metod prezentacji, redagowania map oraz wiedzy kartograficznej. Staje się więc oczywiste, że kartografia nie tylko wkroczyła w nowy okres rozwoju, ale także staje przed nową szansą, jaką jej daje powiązanie z techniką komputerową. Tą szansą jest większy udział map w życiu społecznym, zwiększenie ich roli w budowaniu społeczeństwa informacyjnego a co za tym idzie, zwiększenie społecznej roli kartografii.

Dostrzegając tę szansę nie można jednak zapominać o niebezpieczeństwach i trudnościach, jakie

są związane z zastosowaniem technik komputerowych w kartografii. Łatwość opracowania map powoduje wypieranie kartografów z zawodu, co wpływa na obniżenie poziomu map i brak odpowiedzialności za informację kartograficzną. To zagrożenie jednak wydaje się mieć charakter przejściowy, związany z etapem dostosowania się kartografów do nowej sytuacji.

Podstawowa trudność satysfakcjonującego wykorzystania technik komputerowych w kartografii jest związana z definiowaniem reguł opracowania map, z których wiele ma charakter subiektywny i jest intuicyjnie stosowana przez zawodowych kartografów. Z tym są związane niezbyt zadawalające wyniki dotychczasowych rozwiązań, które mogą służyć jako argumenty przeciw kartografii komputerowej i jej łączeniu z geoinformatyką.

Nie wydaje się natomiast aby słuszne były obawy o to, czy technika komputerowa wyeliminuje mapy z obiegu społecznego. Mapy zmieniają formę, będą zapisywane na innych nośnikach, ale ich funkcje pozostaną niezmiennie. Rola kartografii w nowoczesnym społeczeństwie jest bowiem tak znacząca, że nie można sobie wyobrazić życia bez map. Prawdopodobnie przez długie jeszcze lata będą funkcjonowały mapy i atlasy drukowane w tradycyjny sposób, na papierze, choć coraz więcej będzie map komputerowych, w tym także wirtualnych. Trudno jednak sobie wyobrazić, aby papierowa forma przekazu informacji, a więc książki, mapy i atlasy mogła całkowicie zniknąć z naszego życia.

Aczkolwiek w ciągu najbliższych lat kartografia zmieni się w sposób trudny do przewidzenia, to zmiany te będą z pewnością związane z kartografią komputerową. Traktując geoinformatykę nie jak wroga, a jako naturalnego sprzymierzeńca, kartografia ma szansę na trwanie i dalszy rozwój. Nic nie wskazuje na to, aby mógł nastąpić koniec kartografii, gdyż jest to dziedzina zbyt integralnie związana z charakterem ludzkiego myślenia i działania w przestrzeni.

Bibliografia

- Brassel K. 1974, *A model for automatic hill-shading*. Amer. Cartogr., t. 1, nr 1, s. 15-27.
- Brassel K. 1977, *A Survey of Cartographic Display Software*. Intern. Yearb. of Cartogr., t. 17, s. 60-77.
- Buttenfield B., McMaster R.B (ed.), 1991, *Map generalization: making rules for knowledge representation*. London, Longman.
- Douglas D.H., Peucker T.K., 1973, *Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature*. The Canadian Cartographer, t. 10, s. 112-123.
- Gałach H. 2000, *Przygotowanie i próbny druk map w technologii komputerowej*, [w:] Główne problemy współczesnej kartografii 2000: Złożoność, Modelowanie, Technologia. Uniw. Wrocław, Pracownia Atlasy Dolnego Śląska i Zakład Kartografii, Wrocław, s. 163-170.
- Goodchild M.F. 1999, *Cartographic Futures on a Digital Earth*. Proceedings ICA Conference (CD), Ottawa.
- Grygorenko W. 1984, *Ewolucja poglądów na temat roli i funkcji kartografii*. Polski Przegl. Kartogr., t. 16, nr 2, s. 53-57.
- Iwaniak A. 1993, *Baza danych a baza wiedzy*, VIII Szkoła Kartograficzna. Wrocław, s.9-16
- Iwaniak A., Paluszyński W., 2001, *Generalizacja map numerycznych – koncepcje i narzędzia*. Polski Przegl. Kartogr., t. 30, cz. 1, nr 2, s. 79-87, cz.1, nr 3, 1997, s. 163-172.
- Iwaniak A., Paluszyński W., 2001, *Wykorzystanie sieci neuronowych dla przetwarzania map rastrowych*, [w:] Materiały konferencyjne, Ogólnopolskie Sympozjum Geoinformacji, Geoinformacja zintegrowanym narzędziem badań przestrzennych. Wysowa, 2001, s. 79.
- Kraak M.-J., Ormeling F., 1998, *Kartografia, wizualizacja danych przestrzennych*. PWN, Warszawa.
- Kretschmer I. 1978, *The pressing problems of theoretical cartography*. Intern. Yearb. of Cartogr., t. 18, s. 13-16.
- MacEachren A. M. 1994, *Visualization in modern cartography: Setting the Agenda*, [w:] Visualization in modern cartography, wyd. A. M. MacEachren, D. R. F. Taylor, Pergamon, London.
- MacEachren A. M. 1995, *How maps work, Representation, visualisation and design*. N.York, Guilford Press, London.
- MacEachren A. 1994, *Time as a cartographic variable*, [w:] H.M. Hearnshaw, D.J. Unwin, Visualization in Geographic Information Systems, Chichester. Wiley,
- Maguire D.J., Goodchild M.F., Rhind D.W., 1991, *Geographical Information Systems; Principles and Applications*. Essex, Longman,
- Makowski A. 1997, *Cartography versus Spatial Information Systems*. Geodezja i Kartografia, t. 46, z. 3, s. 185-202.
- Makowski A. 2001, *Trójdzielna jedność mapy na tle systemu informacji przestrzennej*. Polski Przegl. Kartogr., t. 16, nr 1, s. .
- McMaster R.B., Shea K.S., 1992, *Generalization in Digital Cartography*. Assoc. of Amer. Geographers, Washington.
- Kraak J.-M., Ormeling F., 1998, *Kartografia, wizualizacja danych przestrzennych*. Warszawa, PWN, ss. 274.

- Monmonier M.S. 1982, *Computer-assisted cartography, principles and prospects*. N. Jork, Prentice Hall,
- Muller:J.C. 1991, *Building Knowledge tanks for rule based generalization*. Proceedings ICC, Bournemouth, Vol.1, s.257-266.
- Okonek M. 2000, *Stan i perspektywy rozwoju ogólnoinformacyjnych atlasów elektronicznych w Polsce*. Materiały Ogólnopol. Konfer. Kartograficznych, GUGiK, Warszawa, t. 22, s. 111-125.
- Olszewski R. 2001, *Interpolacja fraktalna jako stochastyczna odwrotność generalizacji kartograficznej*, Pol. Przegl. Kartogr., t. 33, nr 4, s. 339-350.
- Ostrowski J. 1984, *Podstawowe koncepcje teoretyczne i stanowiska metodologiczne we współczesnej kartografii*. Polski Przegl. Kartogr., t. 16, nr 4, s. 157-170.
- Pasławski J. 1984, *O głównych nurtach rozwoju kartografii*. Polski Przegl. Kartogr., t. 16, nr 2, s. 57-64.
- Pawlak W. 2000a, *Metodologia i technologia kartografii na brzegu XX wieku*. Materiały Ogólnopol. Konfer. Kartograficznych, GUGiK, Warszawa, t. 22, s. 75-84,
- Pawlak W. 2000b, *Problemy i zagrożenia współczesnej kartografii*, [w:] Główne problemy współczesnej kartografii 2000: Złożoność, Modelowanie, Technologia. Uniw. Wrocław., Pracownia Atlasy Dolnego Śląska i Zakład Kartografii, Wrocław, s. 163-170,
- Peucker T. K. 1972, *Computer Cartography*. Resource Paper no 17, Washington, Assoc. Of Amer. Geogr.,
- Spallek W. *Próba zastosowania metody dazymetrycznej do opracowywania map zasiewów roślin uprawnych*,
- Spallek W. 2001, *Zastosowanie systemów informacji geograficznej (GIS) do opracowania kartogramów dazymetrycznych*. Metody kartograficzne a możliwości systemów komputerowych, Uniw. Warszawski, Wydz. Geogr. i Stud. Region., Warszawa.
- Tobler W. 1959, *Automation and cartography*. Geogr. Review, t. 44, nr 4, s. 526-34
- Tobler W. 1964, *An experiment in the computer generalization of maps*. Techn. Report No.1, Office of Naval Research Task No. 389.
- Tobler W. 1976a, *Analytical cartography*. Amer. Cartographer, t. 3, nr 1, s. 21-31.
- Tobler W. 1976b, *A theory of the cartographic line*. Intern. Yearb. of Cartogr., t. 16, s. 134-143.
- Weibel R. 1991, *Amplified Intelligence and Rule-Based System*, [w:] Buttenfield B.P.,
- Żyszkowska W. 2000a, *Modelowanie kartograficzne w procesie opracowania mapy*, [w:] Główne problemy współczesnej kartografii 2000: Złożoność, Modelowanie, Technologia. Uniw. Wrocław., Pracownia Atlasy Dolnego Śląska i Zakład Kartografii, Wrocław, s. 137-150,
- Żyszkowska W. 2000b, *Semiotyczne aspekty wizualizacji kartograficznej*. Wyd. Uniw. Wrocław., Wrocław.

Summary

Geoinformatics is a new branch of science of spatial information (geoinformation) processing by means of computer systems. It combines informatics with the several different natural sciences as well as cartography and teledetection. Links with the cartography seem to be the closest because a map is the most effective mean of presentation of spatial information that contains systematic and ordered informations of geographical space linking localisation with attributes and topological relationships. The links between the two branches are reciprocal, as cartography changed very much due to the influence of computer systems, especially graphical and spatial information ones. This put the cartography in a new situation, which is considered either very promising or very disadvantageous. The former view is based on the possibilities of automatization of cartographic processes (Tobler, 1959, 1964, 1976a; Douglas and Peucker, 1972; Monmonier, 1982; Brassel, 1974, 1977), while the latter is connected with the negative influence of computerisation on cartography (Kretschmer, 1978; Pas³awski, 1984, Pawlak, 2000a, 2000b) and the fear of elimination of cartographers from the map production.

The most important changes in the cartography are influenced by the different approach to the maps preparing and the new ways of cartographic data input. This is combined with several computer technologies like: computer graphics, data bases, geographical information systems, artificial intelligence, Internet.

Computer graphics gave new oportunities in the design proces automatization, increasing the speed and precision of the design process. Use of databases allows not only to prepare several maps from the single data set but also to perform many operations based on the various cryteria. Spatial information systems allow to extend the ways of transformation as well as obtaining of new information and temporal data analysis, thus significantly improving abilities of the cartographic modelling of the processes. Artifical intelligence methods are particularly useful for creation of automatized computer systems, so called 'expert systems' used to map preparations. The important piece of the expert

systems is so called cartographic knowledge (Muller, 1991; Weibel, 1991; Iwaniak, 1993), which covers rules of the maps' designing process. It's the effect of several years of methodical and methodological experience in the cartography. Introduction of the Internet into the cartography caused revolutionary changes, especially in the distribution, not only by allowance of quick and wide access to the maps, but also to the delivery of maps prepared according to users' needs. Use of the mutiple databases linked by the Internet not only largely improved actualization of information but also influenced the electronic atlas' structure. We can distinguish three kinds of those atlases: presentation, interactive and analytical ones. Several kinds of maps are also available in the web, for example the Digital Chart of the World.

Every of the computer methods mentioned above significantly influenced cartography from the projection and theory of the cartography, through the map preparation, map analysis, to the map printing and distribution, although each one in the different level and area.

Although it's hard to say how the cartography is going to change in the forthcoming years, it's no doubt the changes will be connected to the computer cartography. The geoinformatics must not be treated as an enemy but an natural ally and the development force of the cartography, as the latter is integrally linked with the character of thinking and spatial activity of the human being.

TOMASZ SZMUC¹

PRECYZYJNA REPREZENTACJA WIEDZY NIEPEŁNEJ – ZBIORY ROZMYTE I PRZYBLIŻONE

Słowa kluczowe:

wiedza niepełna, zbiory rozmyte, zbiory przybliżone, klasyfikacja, tablice decyzyjne, kolorowane sieci Petriego

Abstrakt

Artykuł zawiera przegląd podstawowych pojęć i metod dotyczących dwóch najbardziej znanych podejść do reprezentacji wiedzy niepełnej: zbiorów rozmytych i zbiorów przybliżonych. Pierwsze z nich bazuje na rozszerzeniu funkcji przynależności na przedział $[0, 1]$, natomiast drugie opisuje niedokładność klasyfikacji przez relację równoważności, tzn. elementy nierozróżnialne należą do tych samych klas. Obie teorie, wywodzące się z dążenia do opisu tego samego problemu przyjmują jednak odrębne założenia początkowe, co oczywiście prowadzi do różnych metod analizy i odmiennych obszarów efektywnego zastosowania. Nie oznacza to jednak całkowitej rozłączności tych obszarów, należy również wspomnieć o możliwości komplementarnego stosowania obu podejść. W opracowaniu nieco mniej miejsca poświęcono zagadnieniom zbiorów rozmytych, gdyż teoria jest szerzej znana, natomiast zbiory przybliżone są podejściem młodszym i słabiej rozpowszechnionym. Efektywność metod oferowanych przez tę teorię jest bardzo dobrze widoczna dla tablicowej reprezentacji wiedzy (tablice decyzyjne). Ten sposób reprezentacji wiedzy jest szeroko stosowany w informatyce (systemy regułowe, wspomaganie podejmowania decyzji, analiza danych, klasyfikacja), co przenosi się na szeroki obszar zastosowań. W końcowej części pracy pokazano alternatywny sposób reprezentacji wiedzy - zastosowanie kolorowanych sieci Petriego. Stanowi to nie tylko alternatywne podejście, lecz również umożliwia rozszerzenie klasy analizowanych tablic, m.in. przez możliwości hierarchizacji.

PRECISE REPRESENTATION OF UNCERTAIN KNOWLEDGE – FUZZY SETS AND ROUGH SETS

Key words:

uncertain knowledge, Fuzzy Sets, Rough Sets, classification, decision tables, Coloured Petri Nets

Abstract

The paper contains an overview of basic notions and methods related to two mostly known approaches to representation of uncertain knowledge, i.e. fuzzy sets and rough sets. The first approach is based on an extension of membership function into interval $[0, 1]$, while the second one describes uncertainty of classification by equivalence

¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki, Kraków

relation, i.e. indistinguishable elements belong to the same classes. The both theories starting from the same requirements related to description of the same problem, are based on different assumptions, which lead to different analysis methods and different areas of efficient applications. However, the application areas are not totally disjoint, many examples of complement applications of both methods also can be encountered. Presentation of fuzzy sets theory is relatively less detailed, because the theory is widely known. Rough sets theory is relatively younger and not so popular. Efficiency of methods provided by the theory is especially visible in the case of table knowledge representation (decision tables). This knowledge representation is widely used in computer science (rule-based systems, decision support, data analysis, classification). The wide diversity of the applications implies wide range of areas, where the theory can be applied. In the final part of the paper, an alternative way for knowledge representation is shown. This part describes an application of Coloured Petri nets for specification and analysis of decision tables. It is not only an alternative approach, but also provides possibilities for extensions of class of analysed tables, among others by providing hierarchical structure.

1. Wstęp

Problematyka reprezentacji wiedzy niepełnej (nieprecyzyjnej) jest przedmiotem badań w zasadzie od początków informatyki. Dotyczy to w szczególności algorytmów, których działanie zależało od „jakościowo” (opisowo) określonych danych, np. silny ból, średnio powiększona wątroba, umiarkowane zaczerwienienie naskórka (w diagnostyce medycznej), dobre naświetlenie, niewielka odległość (w doborze nastaw aparatu fotograficznego), czy też małe średnie, duże przedsiębiorstwo (ekonomia).

Jakościowe określenie danych może wynikać z niemożności zmierzenia wartości (silny ból), lub też stosowaniu opisowych reprezentacji danych w algorytmie (podejmowaniu decyzji), np. wysoka, średnia, niska temperatura (diagnostyka medyczna). W obu przypadkach określenie wartości jest najczęściej wykonywane przez człowieka, choć w przypadkach możliwości pomiaru, mamy często możliwość precyzyjnego zdefiniowania kryterium klasyfikacji, np. wysoka temperatura to wartość należąca do przedziału $[39^{\circ}\text{C}, 42^{\circ}\text{C}]$. Nadawanie wartości przez człowieka jest obarczone pewnym stopniem niepewności, stąd jej znaczenie (semantyka), jak również klasyfikacja są obarczone pewną niepewnością. Ten rodzaj danych jest dobrze opisywany i analizowany przez teorię zbiorów rozmytych (*Fuzzy Sets*) (Zadeh 1965, Zadeh 1968, Zadeh 1996).

Z kolei sam pomiar wartości jest zazwyczaj obarczony błędem, stąd z każdą metodą i towarzyszącym jej oprzyrządowaniem (tor pomiarowy) jest związana do-

kładność, która określa ograniczenia względem stopnia rozróżnienia poszczególnych wyników. Pomiar może dotyczyć pojedynczych wielkości, złożonych, czy też ogólniej pewnej klasyfikacji przedmiotów, zjawisk, czy też obiektów świata rzeczywistego. W każdym takim przypadku mamy do czynienia z pewną niedokładnością klasyfikacji, która powoduje, że obiektywnie różne byty traktujemy (wskutek niedoskonałości klasyfikacji) jako nierozróżnialne, czyli równoważne względem przyjętego (dostępnego) kryterium klasyfikacji. Teoria zbiorów przybliżonych (*Rough Sets*) (Pawlak 1982, Pawlak 1985a, Pawlak 1985b, Pawlak 1991) bazuje na takich przesłankach i została stworzona do opisu i analizy tego typu zagadnień.

Tradycyjnie analiza danych jest realizowana metodami statystyki matematycznej. W podejściu tym przyjmuje się, że przyczyna i natura błędów jest opisana przez pewien proces losowy. Zakłada się więc, że dane liczbowe (wyniki pomiarów) stanowią charakterystykę pewnego zjawiska lub procesu w określonym horyzoncie czasowym. Analiza danych liczbowych z pewnego zbioru prowadzi zatem do określenia własności tego zbioru. Poprzedzone jest to jednak założeniem (ewentualnie weryfikowanym) względem rozkładu prawdopodobieństwa. Analiza statystyczna wymaga spełnienia dodatkowych warunków (liczność próbki, rozkład prawdopodobieństwa) i operuje na wielkościach wyliczonych z danych (wartości średnie, macierze kowariancji itp.). Podejście to ma bogatą i ugruntowaną pozycję, potwier-

dzone bogatą teorią, pakietami wspomagającymi analizę oraz licznymi zastosowaniami. Literatura dotycząca analizy i wnioskowania statystycznego jest niezwykle obszerna, godne polecenia są pozycje (Brandt 1998, Bromek, Pleszyńska 1991, Gajek, Kałuszka 1996).

W pracy scharakteryzowano krótko dwa, wymienione w tytule podejścia: zbiory rozmyte i zbiory przybliżone. Mimo, że bazują one na różnych przesłankach, mają jednak wiele cech wspólnych. Przede wszystkim należy zauważyć, że z teoretycznego punktu widzenia oba podejścia mają wspólne korzenie – są określone „nad” teorią zbiorów. Każde z nich jest pewną modyfikacją klasycznej teorii zbiorów. W przypadku zbiorów rozmytych polega to na rozszerzeniu zbioru wartości funkcji przynależności na przedział $[0, 1]$. Niedokładność (niepewność) dotyczy tu przynależności do zbioru i jest w różnym stopniu (dla poszczególnych elementów) określona. Z kolei dla zbiorów przybliżonych dopuszcza się brak określenia przynależności pewnych elementów (tzw. brzeg zbioru). Niepusty brzeg oznacza istnienie elementów, względem których, dysponując zadaną wiedzą, nie można rozstrzygnąć czy należą, czy też nie do danego zbioru. Należy zatem podkreślić, że mimo wspólnego korzenia każda z tych teorii korzysta z odmiennych przesłanek, co prowadzi do różnych narzędzi oraz obszarów zastosowań.

Zawartość niniejszej pracy jest pewnym rozszerzeniem referatu przeglądowego pod tym samym tytułem, wygłoszonego w dniu 14 marca 2001 na posiedzeniu Sekcji Geoinformatyki Polskiej Akademii Umiejętności. Wprowadzone uzupełnienia poprawiły spójność i kompletność prezentowanego materiału, jak również nieco późniejsze opracowanie tekstu umożliwiło aktualizację literatury, co jest ważne dla tej dziedziny, niezwykle bardzo szybko rozwijającej się. Ponadto dodano rozdział 4, stanowiący pomost między teorią zbiorów przybliżonych i formalizmem kolorowanych sieci Petriego. Elementem łączącym jest tu tablicowa reprezentacja wiedzy, analizowana z zastosowaniem różnych podejść: zbiorów przybliżonych i pewnej podklasy kolorowanych sieci Petriego (D-sieci). Zastosowanie tego formalizmu umożliwi nie tylko badanie własności tablic innymi metodami, lecz również pozwala rozszerzyć klasę konstruowanych i analizowanych tablic (wartości atrybutów wyrażane przez zmienne, przedziały).

2. Zbiory rozmyte

Termin *systemy rozmyte* obejmuje zbiory rozmyte, logikę rozmytą, algorytmy i sterowanie rozmyte. Podejście to charakteryzuje się rozszerzeniem (rozmyciem) funkcji przynależności, tzn. dla dwóch wartości 0, 1 w klasycznej teorii zbiorów, w kontekście zbiorów rozmytych dopuszcza się dyskretne lub ciągłe rozszerzenie na dowolną wartość z przedziału $[0, 1]$.

Dzięki temu możemy mówić, że pewien element należy do zbioru w stopniu 0.4 (40%), lub dane twierdzenie jest w 40% prawdziwe. Przyzwyczajenie do interpretacji binarnej może prowadzić do paradoksalnych z pozoru stwierdzeń, np. dana formuła jest w 50% prawdziwa lub równoważnie w 50% fałszywa.

Początkowo zbiory rozmyte były stosowane wszędzie tam, gdzie nie było możliwe zastosowanie technik tradycyjnych. W ogólności można stwierdzić, że zastosowanie tego podejścia jest uzasadnione we wszystkich tych przypadkach, gdy nie można zbudować modelu dokładnego, natomiast wystarczające jest zastosowanie niedokładnego lub przybliżonego rozumowania.

Przegląd pojęć w niniejszym rozdziale opracowano na podstawie literatury. Jako podstawowe wymienić tu należy pozycje (Zadeh 1965, Zadeh 1968, Terano, Asai i Sugeno 1992, Munakata 1998).

2.1. Podstawowe pojęcia zbiorów rozmytych

Zbiór rozmyty jest uogólnieniem zbioru w klasycznym sensie, gdzie funkcja przynależności przyjmuje wartości z przedziału $[0, 1]$.

Zbiorem rozmytym A nazywamy parę $(U, m : U \rightarrow [0, 1])$, gdzie U jest zbiorem (uniwersum), natomiast m funkcją przynależności określającą **stopień przynależności do A** dowolnego elementu z U .
Dowolny zbiór rozmyty A będziemy również zapisywać w postaci $A = \sum_i a_i / m_A(a_i)$, gdzie i indeksuje zbiór elementów z A , \sum jest operatorem unii, wykonywanym na jednoelementowych zbiorach.

Dla dowolnego uniwersum U możemy utworzyć szereg zbiorów rozmytych, np. wyróżniających pewną cechę elementów uniwersum (porównaj Przykład 1).

Przykład 1

Uniwersum U jest zbiorem mężczyzn: *Adam* (25 lat), *Bogusław* (32 lat), *Krzysztof* (40 lat), *Zbigniew* (50 lat). Dla tego zbioru, zapisanego symbolicznie $U = \{a, b, c, d\}$ można utworzyć rozmyte zbiory młodych mężczyzn i wysokich mężczyzn.

Zbiór rozmyty **młodych mężczyzn** $A = \{a \mid a \text{ jest młodym mężczyzną}\} = \{a/1.0, b/0.8, c/0.2, d/0.0\}$.

Zbiór rozmyty **wysokich mężczyzn** $B = \{b \mid b \text{ jest wysokim mężczyzną}\} = \{a/1.0, b/0.9, c/0.7, d/0.4\}$.

Funkcja przynależności może być reprezentowana w różny sposób (rys. 1), np. tabelarycznie (dyskretna) lub przez równanie (ciągła).

2.2. Operacje w zbiorach rozmytych

Wyróżnia się klasyczne (podobnie jak w teorii zbiorów) i specyficzne dla zbiorów rozmytych operacje. Te dwa rodzaje są opisywane w kolejnych podrozdziałach.

2.2.1. Klasyczne operacje na zbiorach rozmytych

Z definicji zbioru rozmytego jako pewnej konstrukcji nad zbiorem w klasycznym sensie wynika, że operacje klasyczne przeniosą się wprost w postaci

odpowiednich relacji (równości, większości, mniejszości) między wartościami funkcji przynależności. Poniżej przedstawiono odpowiednie definicje.

Równość zbiorów rozmytych $A = B \Leftrightarrow m_A(x) = m_B(x)$ dla każdego $x \in U$.

Zawieranie zbiorów rozmytych $A \subseteq B \Leftrightarrow m_A(x) \leq m_B(x)$ dla każdego $x \in U$.

Nośnik zbioru rozmytego A , $\text{supp } A = \{x \mid m_A(x) > 0\}$.

W myśl tej zasady można również zdefiniować sumę, przekrój i dopełnienie zbiorów rozmytych poprzez przypisywanie odpowiednio maksymalnej, minimalnej i dopełnieniowej (do jedynki) wartości dla funkcji przynależności zbioru wynikowego.

Suma zbiorów rozmytych: $A \cup B = \{x \mid \max(m_A(x), m_B(x)) \mid x \in U\}$.

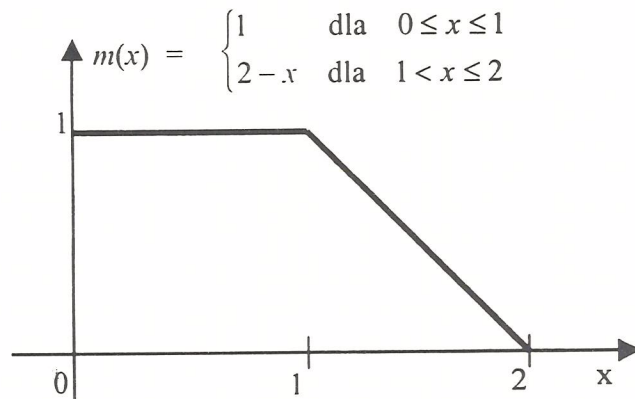
Przekrój zbiorów rozmytych: $A \cap B = \{x \mid \min(m_A(x), m_B(x)) \mid x \in U\}$.

Dopełnienie zbiorów rozmytych: $A' = \{x \mid 1 - m_A(x) \mid x \in U\}$.

Z powyższych definicji wynikają własności analogiczne dla klasycznej własności teorii zbiorów, sformułowane odpowiednio dla zbiorów rozmytych. Dotyczy to własności przemienności, łączności, rozdzielności, praw de Morgana, podwójnego dopełnienia,

x	$m(x)$
a	1.0
b	0.8
c	0.2
d	0.0

a)



b)

Rys. 1. Reprezentacja funkcji przynależności; a) postać tabelaryczna, b) w formie wzoru
Fig. 1. Representation of membership function; a) as a table, b) using equation style

identyczności i idempotencji. Mogą one być w prosty sposób, niemal bezpośrednio wyprowadzone dla zbiorów rozmytych z przedstawionych definicji.

2.2.2. Operacje specyficzne dla zbiorów rozmytych

Wymienione w poprzednim podrozdziale klasyczne operacje teorii zbiorów (przeniesione na zbiory rozmyte) są uzupełnione przez charakterystyczne dla zbiorów rozmytych. Dotyczy to w szczególności koncentracji i dylatacji, trzecia z nich operacja normalizacji ma charakter unifikacji postaci funkcji przynależności.

Koncentracja polega na przypisaniu kwadratu funkcji przynależności:

$$Con(A) = \{x / m_A^2(x) \mid x \in U\}.$$

Koncentracja odpowiada wyostrzeniu (*very something*) funkcji przynależności $CON(something) = very\ something$, np. $CON(young) = very\ young$. Interpretacja tej operacji jest oczywista. Podnoszenie ułamka właściwego do kwadratu zmniejsza jego wartość, stąd ogólnie wartości funkcji przynależności będą niższe dla poszczególnych elementów, przy czym efekt pomniejszenia wartości będzie wyraźniejszy dla elementów bliskich zero, co powoduje wyostrenie.

Dylatacja polega na rozszerzeniu członkostwa (przeciwna do wyostrenia) i jest definiowana przez pierwiastkowanie funkcji przynależności.

$$Dil(A) = \{x / \sqrt{m_A(x)} \mid x \in U\}.$$

Operacja dylatacji będzie zatem łagodzić funkcję przynależności i, jak już wspomniano, działa w kierunku przeciwnym do operacji wyostrenia.

Normalizacja jest natomiast określona następująco:

$$NORM(A) = \left\{ x / \left(\frac{m_A(x)}{Max} \right) \mid x \in U \right\}.$$

Normalizacja powoduje zatem przeskalowanie funkcji przynależności, przez sprowadzenie jej przeciwdziedziny do przedziału $[0, 1]$.

Operacje koncentracji i dylatacji mają znaczenie w klasyfikacji, normalizacja jest powszechnym zabiegiem w stosunku do funkcji przynależności.

2.3. Relacje rozmyte

Rozmytą relację można opisać dwoma metodami: przez rozmycie iloczynu kartezjańskiego, lub też przez wyliczenie iloczynu kartezjańskiego zbiorów rozmytych. Ten drugi sposób wydaje się bardziej elegancki przez zgodność z klasyczną teorią zbiorów.

Rozmytą relacją R dla zbioru $A \times B$ nazywamy dowolny **rozmyty podzbiór** $A \times B$, czyli $R = \{(a, b) / m_R(a, b) \mid a \in A, b \in B\}$, gdzie elementy $m_R(a, b)$ są stopniami przynależności charakteryzującymi ten rozmyty podzbiór. Innymi słowy relację R opisuje zbiór stopni przynależności $m_R(a, b)$, spełniających warunek $m_R(a, b) \leq m(a, b)$, gdzie $m(a, b)$ jest odpowiednio stopniem przynależności dla iloczynu kartezjańskiego (dla wszystkich par (a, b) , takich że $a \in A, b \in B$).

Korzystając powyższych oznaczeń relację rozmytą możemy zapisać:

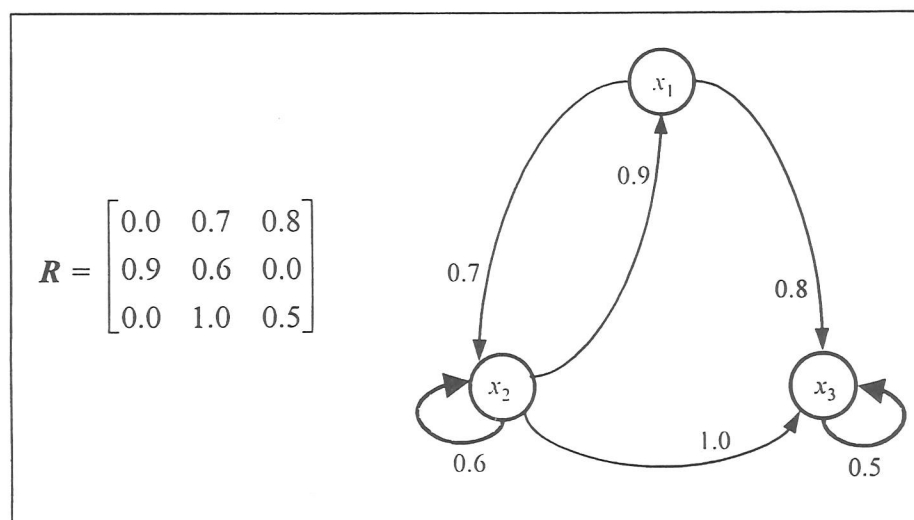
$$R = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \{(a_i, b_j) / m_R(a_i, b_j)\},$$

gdzie Σ oznacza unię (jednoelementowych zbiorów rozmytych), a nie dodawanie liczb (stopni przynależności).

Relacja rozmyta jest charakteryzowana przez stopnie przynależności, które możemy zapisać korzystając z poindeksowanych elementów zbiorów A i B . Stopień przynależności $m_R(a_i, b_j)$ ($a_i \in A, b_j \in B$) jest wówczas i, j -elementem macierzy, którą zapisujemy w postaci:

$$\begin{bmatrix} m_R(a_1, b_1) & m_R(a_1, b_2) & \dots & m_R(a_1, b_n) \\ \dots & & & \\ m_R(a_m, b_1) & m_R(a_m, b_2) & \dots & m_R(a_m, b_n) \end{bmatrix}$$

Macierz taka charakteryzuje (binarną) relację rozmytą. Podobnie możemy zdefiniować k -wymiarową relację rozmytą, jako rozmyty podzbiór iloczynu kartezjańskiego k zbiorów.



Rys. 2. Relacja rozmyta i jej ilustracja w grafie rozmytym
Fig. 2. Fuzzy relation and its illustration by fuzzy graph

Jeśli znana jest definicja relacji rozmytej, to określenie grafu rozmytego nie nastęrcza trudności. **Graf rozmyty** jest to graf skierowany, którego wierzchołkami są elementy dwóch zbiorów (A, B) , natomiast łuki odpowiadają relacji rozmytej, przy czym odpowiednie stopnie przynależności są etykietami tych łuków (rys. 2).

Graf rozmyty jest ilustracją graficzną powiązań między elementami (łuki łączą elementy wyłącznie o niezerowym stopniu przynależności). Więcej informacji na temat grafów i hipergrafów rozmytych oraz ich zastosowań można w monografii (Mordeson, Nair 2000).

Zdefiniowana w niniejszym podrozdziale relacja rozmyta została skonstruowana jako pewien rozmyty podzbiór iloczynu kartezjańskiego. Zakładano tym samym, że dla każdego elementu iloczynu kartezjańskiego określa się wartość funkcji przynależności, charakteryzującą tę relację rozmytą. Interesujące jest jednak określenie w jaki sposób taka funkcja może być tworzona z funkcji przynależności zbiorów rozmytych tworzących iloczyn kartezjański.

Niech A będzie zbiorem rozmytym nad U natomiast B zbiorem rozmytym nad V . **Iloczyn kartezjański zbiorów rozmytych** jest zdefiniowany następująco:

$$A \times B = \{(u, v) / \min(m_A(u), m_B(v)) \mid u \in U, v \in V\} = \bigcup_{U \times V} \{(u, v) / \min(m_A(u), m_B(v))\}$$

Pewnego wyjaśnienia wymaga zastosowanie operatora $\min()$ dla określenia wynikowego stopnia przynależności. Można tu podać pewną analogię do rachunku prawdopodobieństwa – jeśli potraktujemy wystąpienie u, v jako zdarzenia niezależne, to ich jednoczesne wystąpienie tych dwóch zdarzeń będzie reprezentowane odpowiednio przez ten operator. Warto zauważyć, że dla funkcji przynależności przyjmującej wartości 0,1 definicja iloczynu kartezjańskiego sprowadza się do znanej z teorii zbiorów.

2.4. Złożenie relacji rozmytych

Relacja (rozmyta) określa związek między elementami dwóch zbiorów, zatem złożenie dwóch relacji określa związek między elementami „skrajnych” zbiorów. Złożenie relacji opisuje zatem wynikanie i, jak to będzie pokazane w dalszej części, jest to podstawowa operacja przy wnioskowaniu rozmytym.

Niech A, B i C będą zbiorami, natomiast R relacją rozmytą z A w B oraz S relacją rozmytą z B w C .

Złożeniem rozmytych relacji R i S nazywamy:

$$R \circ S = \bigcup_{A \times C} \{(a,c) / \max_B [\min(m_R(a,b), m_S(b,c))]\},$$

gdzie $\max_B[x]$ oznacza wybór elementu x o maksymalnym stopniu przynależności wśród wszystkich elementów z B .

Obliczenie złożenia relacji (wynikowej macierzy rozmytej) odbywa się podobnie jak mnożenie macierzy, z tym jednak, że operację dodawania zastępujemy przez operator \max , a mnożenie przez \min .

Poniżej pokazano przykład takiego „mnożenia” macierzy.

$$\begin{bmatrix} 0.2 & 0.7 \\ 0.5 & 0.8 \end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix} 0.4 & 0.9 \\ 0.6 & 1.0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.9 \\ 0.5 & 0.9 \end{bmatrix}$$

Konstruowanie macierzy $R \circ S$ odbywa się według podanej zasady, przykładowo dla (a_2, c_1) stopień przynależności określa się znajdując najpierw $\min(0.5, 0.8) = 0.5$ oraz $\min(0.4, 0.6) = 0.4$ i następnie $\max(0.5, 0.4) = 0.5$.

Należy wspomnieć, że nie jest to jedyna forma obliczania złożenia relacji rozmytych. Można podać inne, w szczególności zastępując operator $\min()$ przez mnożenie stopni przynależności. Wybór formuły obliczania zależy od charakteru zastosowania oraz wygody obliczeń.

2.5. Logika rozmyta

Odpowiedniość podstawowych pojęć teorii zbiorów i logiki matematycznej przenosi się również na odpowiadające sobie pojęcia rozmyte. W tabeli 1 pokazano odpowiedniość pojęć dla teorii zbiorów rozmytych i logiki rozmytej.

Zdefiniowanie funktorów zdaniotwórczych logiki rozmytej nie nastręcza więc trudności. Z punktu widzenia zastosowań bardzo istotną rolę pełnią jednak implikacje rozmyte (szczególnie w szeroko rozumianych systemach regułowych), stąd warto im poświęcić uwagę.

Tab. 1. Analogie między zbiorami a logiką rozmytą
Tab. 1. Analogies between notions in fuzzy sets and fuzzy logic

Zbiór rozmyty	Logika rozmyta
stopień przynależności	wartość prawdy
\cup	or
\cap	and
dopełnienie	not

2.5.1. Rozmyte implikacje if A then B oraz if A and B then C

Sformułowanie:

if x jest młody then x jest mały

oznacza w rzeczywistości relację między dwoma zbiorami rozmytymi. W tym przypadku dotyczy to relacji między elementami zbioru rozmytego „młody” a zbioru rozmytego „mały”. Są to zbiory rozmyte nad pewnym zbiorem osób.

Istnieją różne sposoby określenia rozmytej implikacji jako rozmytej relacji. Brak jest standardowego podejścia, choć bardzo często przyjmuje się maksymalną (pełną) relację, czyli iloczyn kartezjański. Rozmyta implikacja jest wówczas określona przez równoważność:

$$A \Rightarrow B \equiv A \times B$$

Podobnie dla implikacji $(A \text{ and } B) \Rightarrow C$ przyjmuje się często:

$$(A \text{ and } B) \Rightarrow C \equiv A \times B \times C.$$

Podane określenia implikacji są wykorzystywane we wnioskowaniu rozmytym.

2.5.2. Wynikanie i wnioskowanie rozmyte

Dla danych dwóch zbiorów rozmytych X, Y interesujące może być ich powiązanie definiowane przez pewną relację (macierz) R . Możemy mówić wówczas, że Y zależy od X poprzez macierz R , lub Y wynika z X przez R . Dokładniej wynikanie to jest określone poniżej.

Niech R będzie relacją rozmytą z $U \times V$, X rozmytym podzbiorem U , Y rozmytym podzbiorem V . Mówimy, że Y wynika z X przez R jeśli $Y = X \circ R$. W tym przypadku X i Y są reprezentowane przez macierze jednowierszowe:

$X = \{u/m_x(u) \mid u \in U\}$, $Y = \{v/m_y(v) \mid v \in V\}$, natomiast R jest macierzą opisującą relację rozmytą $R = \{(u, v) / m_R(u, v) \mid u \in U, v \in V\}$. Fakt wynikania można również zapisać postępując się konwencją stosowaną

w innych formalizmach: $X \stackrel{R}{\Rightarrow} Y$. Można pisać także $X \Rightarrow Y$ jeśli wiadomo o jaką relację chodzi.

Zgodnie z definicją wynikania, obliczanie zbioru wynikowego (macierzy jednowierszowej) Y będzie realizowane przez mnożenie macierzy jednowierszowej X przez macierz rozmytą R . Przykład liczbowy podano poniżej, nie wymaga raczej komentarza – mnożenie (złożenie) odbywa się według zasad pokazanych wcześniej.

Przykład 2 Obliczanie wynikania $X \stackrel{R}{\Rightarrow} Y$

$$\begin{bmatrix} 0.4 & 0.9 & 0.2 \end{bmatrix}^x \circ \begin{bmatrix} 0.7 & 0.6 & 0.2 \\ 0.5 & 0.8 & 0.4 \\ 0.3 & 0.3 & 1.0 \end{bmatrix}^R = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.9 & 0.2 \end{bmatrix}^y$$

2.5.3. Wnioskowanie rozmyte

Opisane w poprzednim podrozdziale wyznaczenie rozmyte jest bazą do określenia reguł wnioskowania rozmytego. Poniżej podano dwie podstawowe reguły wnioskowania rozmytego.

1. Niech A, X będą zbiorami rozmytymi nad U oraz odpowiednio B, Y zbiorami rozmytymi nad V .

Reguła wnioskowania:

$$\frac{A \Rightarrow B, X}{Y}$$

jest realizowana w następujący sposób:

- a) Obliczamy rozmytą implikację $A \Rightarrow B$ jako rozmytą relację $R = A \times B$.
 - b) Wnioskujemy o Y jako $Y = X \circ R$.
2. Niech A, X będą zbiorami rozmytymi nad U , dalej B, Y zbiorami rozmytymi nad V oraz odpowiednio C, Z zbiorami rozmytymi nad W .

Reguła wnioskowania:

$$\frac{(A \text{ and } B) \Rightarrow C, X, Y}{Z}$$

jest realizowana podobnie jak w powyższym punkcie, tzn. obliczany jest zbiór rozmyty Z według wzoru:

$$Z = (X \times Y) \circ (A \times B \times C).$$

2.6. Zastosowania i ograniczenia

Teoria zbiorów rozmytych, ogłoszona w roku 1965 (Zadeh 1965) rozwija się intensywnie i doczekała się wielu zastosowań. Szczególnie należy tu wspomnieć o dwóch ważnych kategoriach: sterowanie rozmyte i systemy podejmowania decyzji na bazie logiki rozmytej (rozmyte reguły **if** A **then** B). Można zatem podać szereg obszarów z dziedziny przemysłu i ekonomii, gdzie efektywnie zastosowano teorię zbiorów rozmytych. Poniżej wymieniono podstawowe, rozpoczynając od tych najszerzej reprezentowanych.

1. Sterowanie rozmyte procesami, szczególnie jeśli parametry są określone niedokładnie lub model jest nieznany, lub bardzo skomplikowany (nieliniowy). Należy tu wymienić systemy transportowe (windy, sterowanie ruchem, sterowanie wentylacją w tunelu), przemysł samochodowy (silniki, hamulce), artykuły gospodarstwa domowego (pralki, lodówki, odkurzacze, klimatyzatory, kuchenki mikrofalowe, aparaty fotograficzne), przemysł wytwórczy, urządzenia elektroniki medycznej itp.
2. Analiza jakościowa: badania operacyjne, zarządzanie.
3. Systemy z bazą wiedzy – głównie systemy eksperckie stosowane w diagnostyce (technicznej, medycznej), wspomaganie planowania, przetwarzaniu języka naturalnego, sterowaniu robotami itp.
4. Rozpoznawanie obrazów bazujące na technikach rozmytych (medycyna, ekonomia).
5. Wyszukiwanie informacji w bazach danych.

Szeroki zakres zastosowań zbiorów rozmytych nie powinien do bezkrytycznego ich stosowania. Podejście to wymaga znacznie mniej informacji niż np. metody statystyczne, w związku z tym, jeśli dysponujemy wystarczającą informacją o rozkładzie i jego parametrach metody statystyczne pozwolą zapewne uzyskać lepsze wyniki. Przed zastosowaniem podejścia

rozmytego należy więc dokonać analizy jego uwarunkowań i ograniczeń. Podstawowe opisano krótko poniżej.

Arbitralne wyznaczanie funkcji przynależności. Wydaje się, że jest to najpoważniejsza wada tego podejścia. Funkcje przynależności ustalane są przez człowieka (ekspertów) i na ich bazie wykonuje się odpowiednie obliczenia. Trudno zatem, nawet po intensywnym ich strojeniu i testowaniu systemu, wykazać, że funkcje przynależności zostały prawidłowo określone. Przystępując do konstrukcji systemu regulowego (reguły rozmyte) trudno zazwyczaj określić ilość koniecznych reguł.

Brak możliwości uczenia. Arbitralność pewnych określeń może być częściowo usunięta przez proces uczenia. W podejściu rozmytym nie ma takiej możliwości, tworzy się jednak systemy hybrydowe: systemy rozmyto-neuronowe (Jang, Sun, Mizutani 1997, Jin 2003), połączenia sterowania rozmytego z algorytmami genetycznymi (Jin 2003) itp.

Niepewność stabilności. W systemach sterowania bazujących na podejściu rozmytym nie można udowodnić stabilności systemu, tzn. brak jest gwarancji, że system będzie zawsze zachowywał się stabilnie i nie będzie sytuacji chaotycznego działania systemu.

Konieczność intensywnego testowania. Konsekwencją wymienionych wcześniej wad jest konieczność intensywnego testowania systemu, w którym zastosowano podejście rozmyte. Dotyczy to szczególnie systemów o podwyższonych wymaganiach względem poprawnego działania. W przypadku systemów sterowania stosuje się wówczas tzw. *hardware in the loop simulation*, czyli badania symulacyjne systemu bezpośrednio w sprzętowym otoczeniu, w którym będzie w przyszłości pracował.

Literatura dotycząca zbiorów rozmytych jest bardzo bogata, stąd w wykazie podano jedynie podstawowe. Warta rekomendacji jako ogólne wprowadzenie jest książka (Terano, Asai, Sugeno 1992). Z kolei zagadnienia zastosowania zbiorów rozmytych w sterowaniu są dobrze opisane w monografiach (Lee 1990, Yager, Filev 1994). Aktualne wyniki badań dotyczące zbiorów rozmytych i ich zastosowań są umieszczane w licznych czasopismach, przy czym jako podstawowe

we należy wymienić: *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, *Fuzzy Sets and Systems* i *International Journal of Approximate Reasoning*. Z kolei poszukujący bardziej kompletnych opracowań mogą sięgnąć do serii: *Studies in Fuzziness and Soft Computing* wydawanej przez wydawnictwo Springer. W tej serii warto zwrócić uwagę na (Jin 2003) dotycząca bardzo zaawansowanych zastosowań oraz pozycję (Szczepaniak i in. 2003), prezentującą m.in. zastosowania zbiorów rozmytych w pozyskiwaniu danych (*data mining*).

3. Zbiory przybliżone - *Rough Sets*

Podstawy teorii zbiorów przybliżonych zostały sformułowane na początku lat osiemdziesiątych (Pawlak 1982, Pawlak 1985a, Pawlak 1985b) i po kilku latach teoria zaczęła się bardzo intensywnie rozwijać uzyskując światowe uznanie i potwierdzając przydatność wieloma aplikacjami i konstrukcją systemów wspomagających. Podstawowe zastosowania zbiorów przybliżonych dotyczą analizy i redukcji danych, w chwili obecnej znacznie rozszerzone do m.in. popularnych zagadnień eksploracji danych (*data mining*).

Teoria zbiorów przybliżonych (Pawlak 1991) w swym podstawowym obszarze umożliwia precyzyjną charakterystykę pojęć nieostrych, określenie zależności między danymi, redukcję danych, obliczenie istotności danych oraz generowanie reguł decyzyjnych na podstawie danych.

Zgodnie z uwagami poczynionymi we wstępie, opisana podstawową przesłanką teorii zbiorów przybliżonych jest dokładność klasyfikacji. Możliwość klasyfikacji (dokładność klasyfikacji) odzwierciedla się w zdolności rozróżniania obiektów. Klasa obiektów może być opisana przez zestaw atrybutów. Każdy obiekt tej klasy jest więc wyróżniony przez konkretne wartości poszczególnych atrybutów. Wartości te są zazwyczaj określane z pewną dokładnością, wynikająca na przykład z dokładności pomiarów. Ta dokładność decyduje o możliwościach rozróżniania (klasyfikacji) obiektów. Wartości atrybutów mieszczące się tej samej klasie dokładności są nierozróżnialne, stąd mimo że mogą być różne, są jednak równoważne w kontekście dysponowanej klasyfikacji.

Opisane spostrzeżenie jest podstawową przesłanką teorii zbiorów przybliżonych. Punktem wyjściowym jest w niej klasyfikacja rozumiana jako pewien podzbiór (kategoria) w rozważanym zbiorze (uniwersum). Zbiór wszystkich kategorii opisuje wiedzę, którą posiadamy o tym otoczeniu. Bardzo ważna jest klasyfikacja określona przez relację równoważności. Zbiór takich relacji (podziałów) nazywa się bazą wiedzy. Wybierając pewien podzbiór tych relacji określamy klasyfikację, przy pomocy której możemy klasyfikować obiekty. Klasyfikacja ta ma określoną siłę w sensie możliwości rozróżnienia poszczególnych obiektów. Dla pewnych obiektów dana klasyfikacja będzie całkowicie wystarczająca, tzn. umożliwi jednoznaczne rozstrzygnięcie czy dany element należy czy też nie do analizowanego zbioru, dla innych nie będzie to możliwe – klasyfikacja będzie zbyt gruboziarnista względem obiektu analizy. Ta intuicyjnie oczywista przesłanka stanowi podstawową zasadę teorii zbiorów przybliżonych (Pawlak 1982, Pawlak 1991). W rozdziale przedstawiono podstawowe pojęcia tej teorii, rozpoczynając od bazowych definicji związanych z klasyfikacją i bazami wiedzy. Dalej podano wspomniane już podstawowe elementy, łącznie z własnościami i zagadnieniami oceny klasyfikacji (topologiczna i ilościowa). W kolejnej części opisano specyfikację wiedzy z zastosowaniem tablic decyzyjnych. Wykorzystanie zbiorów przybliżonych w tym obszarze pozwala sformułować efektywne metody redukcji tablic decyzyjnych (Pawlak 1985b, Pawlak 1991). Zagadnienia te są opisane w końcowej części rozdziału.

Niniejszy rozdział opracowano na podstawie literatury, w części pojęciowej korzystano głównie z cytowanych już pozycji Z. Pawlaka twórcy teorii (Pawlak 1982, Pawlak 1985a, Pawlak 1985b, Pawlak 1991), które konfrontowano z pozycjami aktualnymi w szczególności w części dotyczącej zastosowań (Mrózek, Płonka 1999, Polkowski, Skowron 1998a, Polkowski, Skowron 1998b, Polkowski, Skowron 1999, Polkowski, Tsumoto, Lin Tsua 2001, Ziarko 1998).

3.1. Wiedza i klasyfikacja

Wiedza może być postrzegana jako ogół informacji o (części) rzeczywistości stanowiącej dziedzinę naszego zainteresowania. O jakości wiedzy decyduje

zatem zdolność do klasyfikacji obiektów będących przedmiotem analizy.

W prezentowanym podejściu wiedza jest zatem związana z różnymi klasyfikacjami obiektów stanowiących część rzeczywistego, lub abstrakcyjnego otoczenia (*uniwersum*).

Niech będzie dany skończony zbiór $U \neq \emptyset$ składający się z obiektów będących przedmiotem zainteresowania.

Każdy podzbiór $X \subseteq U$ jest nazywany **kategorią** w zbiorze U . Rodzina kategorii w zbiorze U nazywa się (**abstrakcyjną**) **wiedzą** o uniwersum U .

Rodzina kategorii $C = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ w zbiorze U nazywa się **klasyfikacją** jeśli jest podziałem tego zbioru, tzn.: $X_i \subseteq U$, $X_i \neq \emptyset$, $X_i \cap X_j = \emptyset$ dla $i \neq j$,

$$i, j = 1, \dots, n \text{ oraz } \bigcup_{i=1}^n X_i = U.$$

Klasyfikacja jest pewną rodziną podziałów zbioru. Z kolei bazą wiedzy nazywa się klasyfikację wyznaczoną przez rodzinę relacji równoważności.

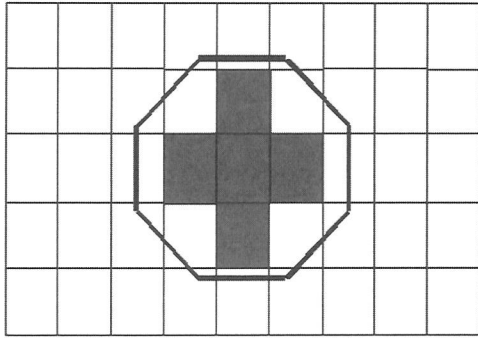
Bazą wiedzy nazywamy system $K = (U, R)$, gdzie U jest skończonym niepustym zbiorem, natomiast R rodziną relacji równoważności nad U .

Dla niepustej podrodziny $P \subseteq R$ przecięcie wszystkich relacji równoważności należących do tej podrodziny nazywamy **relacją nierozróżnialności** (*indiscernibility*) nad P , $IND(P)$.

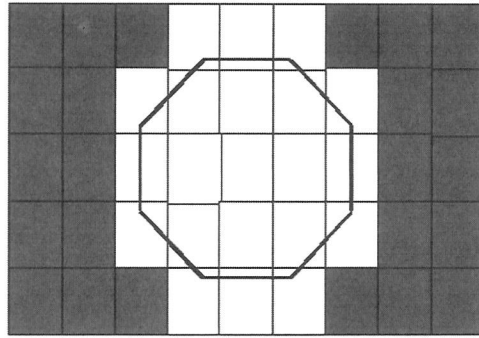
Dowolna klasa o reprezentancie x jest oznaczana $[x]_{IND(P)} = \bigcap_{R \in P} [x]_R$.

Relacja nierozróżnialności oznacza najmniejszą granulację klasyfikacji możliwą do osiągnięcia przy zadanej wiedzy. Podział $U/IND(P)$ oznacza podstawową wiedzę związaną z rodziną relacji równoważnościowych P . Klasy $IND(P)$ są nazywane podstawowymi kategoriami wiedzy P . Relacja nierozróżnialności, określająca, jak już wcześniej stwierdzono, dokładność klasyfikacji, może służyć do porównywania baz wiedzy.

Bazy wiedzy $K = (U, P)$ i $K' = (U, Q)$ nazywamy **równoważnymi** jeśli $IND(P) = IND(Q)$.



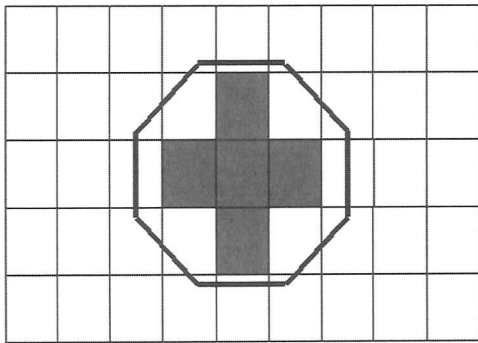
a)



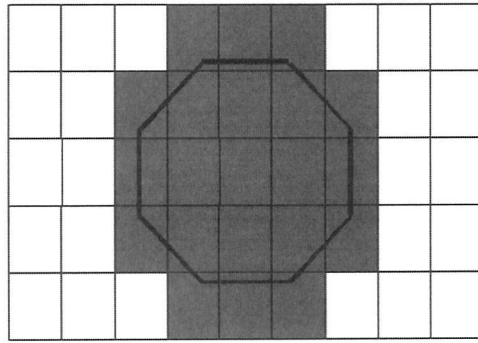
b)

Rys. 3. Przybliżona klasyfikacja zbioru X : a) elementy leżące całkowicie wewnątrz X ; b) elementy leżące całkowicie na zewnątrz

Fig. 3. Rough classification of set X : a) elements located totally outside X , b) elements located totally inside X



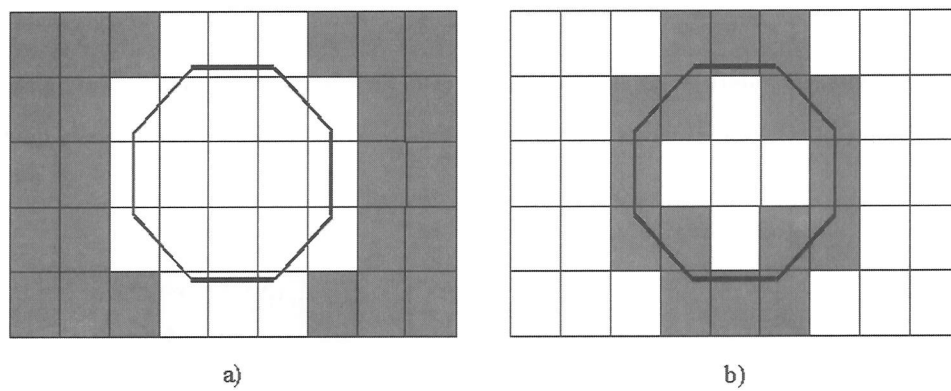
a)



b)

Rys. 4. Oszacowanie zbioru: a) przybliżenie dolne; b) przybliżenie górne

Fig.4. Set approximation: a) lower approximation; b) upper approximation



Rys. 5 R-obszary zbioru X : a) R-negatywny obszar X ; b) R-brzeg obszaru X
 Fig. 5. R-regions of set X : a) R-negative region of X ; b) R-boundary of X

Dla dwóch baz wiedzy $K = (U, P)$ i $K' = (U, Q)$ mówimy, że wiedza P jest **dokładniejsza** niż wiedza Q jeśli $IND(P) \subset IND(Q)$ i odwrotnie wiedza Q jest ogólniejsza niż P .

Interpretacja tego pojęcia jest oczywista – wielkość klas równoważności (grupujących elementy nierozróżnialne) decyduje o dokładności klasyfikacji.

3.2. Zbiory przybliżone

Zbiory przybliżone definiuje się w kontekście bazy wiedzy. Oznacza to, że jeśli rozważane jest pewne uniwersum U , baza wiedzy określona przez relację równoważności R , to nasuwa się pytanie, jak dokładniej możemy opisać zadany zbiór $X \subseteq U$ wykorzystując do tego klasy abstrakcji wyznaczone przez R . W takiej sytuacji można wyróżnić klasy abstrakcji w całości leżące wewnątrz zbioru X , te które są położone całkowicie na zewnątrz tego zbioru i wreszcie takie, które są umieszczone częściowo umieszczone wewnątrz i na zewnątrz zbioru X (rys. 3).

Dokładność pokrycia zbioru X przez klasy równoważności jest próbą zdefiniowania tego zbioru z zastosowaniem dostępnej wiedzy. Można zatem mówić o aproksymacji zbioru w kontekście posiadanej wiedzy. Aproksymacja ta może być dokonana przez zdefiniowanie odpowiednich zbiorów (topologicznie), lub przez podanie zależności ilościowych odpowiednich elementów (liczbowo).

3.2.1. Topologiczna charakterystyka niedokładności

Określenie danego zbioru X z zastosowaniem dostępnej wiedzy może być realizowane przez zdefiniowanie zbiorów (obszarów) grupujących elementy stanowiące przedmiot klasyfikacji.

Niech będą dane $X \subseteq U$ oraz R relacja równoważności nad U . Mówimy, że X jest **R-definiowalny** jeśli jest sumą pewnych bazowych R -kategorii. W przeciwnym przypadku X jest **R-niedefiniowalny**. Definiowalność względem posiadanej wiedzy może być wystarczająca lub (dokładna) lub częściowa (niedokład-

na). Będziemy zatem rozpatrywać zbiory definiowane **R-dokładnie**, lub zbiory zdefiniowane **R-niedokładnie** (przybliżone).

W przypadku zbiorów (przybliżonych) zdefiniowanych **R-niedokładnie** można dokonać oszacowania określając przybliżenie dolne i górne.

Niech będzie dana baza wiedzy $K = (U, R)$. Dla dowolnej $R \in \mathbf{R}$ oraz podzbioru $X \subseteq U$ określamy:

Dolne przybliżenie X : $\underline{R}X = \bigcup \{Y \in U/R \mid Y \subseteq X\}$.

Górne przybliżenie X : $\overline{R}X = \bigcup \{Y \in U/R \mid Y \cap X \neq \emptyset\}$.

W myśl wprowadzonych definicji $\underline{R}X$ jest maksymalnym R -definiowalnym zbiorem zawartym w X , natomiast $\overline{R}X$ jest minimalnym R -definiowalnym zbiorem zawierającym X . Zbiór $\underline{R}X = POS_R(X)$ nazywany jest również **R-pozytywnym** obszarem X (rys. 4.a), z kolei różnicę $U - \overline{R}X = NEG_R(X)$ **R-negatywnym** obszarem X (rys. 5.a). Zbiór powstały z klas o nieokreślonej przynależności nazywany jest R -brzegiem zbioru X , oznaczanym $B_R(X) = \overline{R}X - \underline{R}X$ (rys. 5.b).

Własności przybliżeń sformułowano i wykazano m.in. w książce (Pawlak 1991). Niektóre są typowe dla teorii zbiorów, pozostałe związane są bezpośrednio z definicjami i mogą być łatwo udowodnione.

Pojęcie aproksymacji zbioru prowadzi do odmiennego zdefiniowania relacji przynależności.

Definiujemy dwa rodzaje przynależności, dla dowolnego $x \in U$:

1. $x \in_R X \Leftrightarrow x \in \underline{R}X$ - x **na pewno należy** do X względem R ;
2. $x \in^R X \Leftrightarrow x \in \overline{R}X$ - x **być może należy** do X względem R .

Na podstawie powyższej definicji przynależności można sformułować i wykazać własności odpowiednio podobne do relacji przynależności (patrz (Pawlak 1991)).

3.2.2. Liczbowa charakterystyka niedokładności

Niedokładność określenia zbioru jest spowodowana istnieniem obszaru brzegowego. Liczbowo można to określić jako stosunek ilości elementów w obszarze brzegowym do wszystkich elementów mających związek z aproksymowanym zbiorem. Liczbową

charakterystykę (nie)dokładności podaje poniższa definicja.

Dokładność aproksymacji zbioru $X \subseteq U$ w bazie wiedzy (U, X) określa się liczbowo:

$$\alpha_R(X) = \frac{\text{card } \underline{R}X}{\text{card } \overline{R}X}, \quad \text{gdzie } X \neq \emptyset.$$

R-przybliżenie (nie)dokładność $X \subseteq U$ w bazie wiedzy (U, X) definiuje się następująco:

$$\rho_R(X) = 1 - \alpha_R(X)$$

Dokładność aproksymacji zbioru X w danej bazie jest określona liczbowo jako stosunek elementów, które na pewno należą do X do ilości wszystkich mających związek z tym zbiorem. R-przybliżenie (nie)dokładność) aproksymacji możemy natomiast wyrazić jako:

$$\rho_R(X) = \frac{\text{card } \overline{R}X - \text{card } \underline{R}X}{\text{card } \overline{R}X}$$

Ponieważ $\underline{R}X \subseteq \overline{R}X$, więc $\text{card } \overline{R}X - \text{card } \underline{R}X = \text{card } (\overline{R}X - \underline{R}X)$, a stąd:

$$\rho_R(X) = \frac{\text{card } B_R(X)}{\text{card } \overline{R}X}.$$

Na podstawie powyższej zależności można już wprost stwierdzić, że R-przybliżenie (nie)dokładność) jest określone jako stosunek ilości elementów na brzegu obszaru do liczby elementów mających związek z zbiorem X .

Aproksymacja klasyfikacji

Dotychczasowe pojęcia dotyczące aproksymacji pojedynczego zbioru (przy zadanej wiedzy) można naturalnie rozszerzyć na dowolną rodzinę zbiorów. Jeśli rodzina tych zbiorów jest klasyfikacją, to możemy mówić o aproksymacji klasyfikacji przy danej wiedzy.

Dla danej bazy wiedzy (U, R) oraz klasyfikacji $F = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ odpowiednio określamy:

1. $\underline{R}X = \{\underline{R}X_1, \underline{R}X_2, \dots, \underline{R}X_n\}$
- **R-dolne** przybliżenie klasyfikacji F .
2. $\overline{R}X = \{\overline{R}X_1, \overline{R}X_2, \dots, \overline{R}X_n\}$
- **R-górne** przybliżenie klasyfikacji F .

$$3. \alpha_R(F) = \frac{\sum \text{card } \underline{R}X_i}{\sum \text{card } \overline{R}X_i}$$

- **dokładność** aproksymacji F według R .

$$4. \gamma_R(F) = \frac{\sum \text{card } \underline{R}X_i}{\text{card } U}$$

- **jakość** aproksymacji F według R .

Własności i dalsze informacje dotyczące aproksymacji klasyfikacji można znaleźć w książce (Pawlak 1991).

3.3. Redukcja wiedzy

Baza wiedzy jest rozumiana jako rodzina relacji równoważności R nad pewnym uniwersum U . Rodzina tych relacji decyduje o możliwościach klasyfikacji, charakteryzowanych przez relację nierozróżnialności $IND(R)$. Konstruując bazę wiedzy należy rozważyć zagadnienie właściwego doboru relacji równoważności, w szczególności usunięcia relacji nadmiarowych, czyli nie mających wpływu na jakość klasyfikacji.

3.3.1. Redukt i rdzeń w bazie wiedzy

Przytoczona poniżej (Pawlak 1985a) definicja reduktu i rdzenia ma podstawowe znaczenie w redukcji baz wiedzy.

Niech R będzie rodziną relacji równoważności nad zbiorem U .

1. Dowolna relacja $R \in R$ jest **usuwalna** w R jeśli $IND(R) = IND(R - \{R\})$. W przeciwnym przypadku R jest **nieusuwalna** w R .
2. Rodzina R jest **niezależna** jeśli każda relacja $R \in R$ jest nieusuwalna.
3. Zbiór $P \subseteq R$ jest **reduktem** R jeśli P jest niezależny oraz $IND(P) = IND(R)$.
4. Zbiór wszystkich nieusuwalnych relacji R nazywa się **rdzeniem** R , co oznacza się $CORE(R)$.

Relacja równoważności R jest usuwalna, jeśli po jej usunięciu z R możliwości klasyfikacyjne rodziny R nie zmieniają się. Redukt to podzbiór zbioru relacji mających takie same możliwości klasyfikacyjne jak zbiór wyjściowy R . Rdzeń stanowią natomiast wszystkie nie-

usuwalne relacje.

Poniższy wniosek (Pawlak 1985a, Pawlak 1991) jest wykorzystywany do obliczania rdzenia na podstawie wyznaczonych wcześniej reduktów.

Wniosek

Rdzeń można wyznaczyć jako przekrój reduktów:

$$CORE(\mathbf{R}) = \bigcap_{R \in RED(\mathbf{R})} R$$

gdzie $RED(\mathbf{R})$ jest zbiorem wszystkich reduktów \mathbf{R} .

Obliczanie rdzenia może być zatem realizowane przez wyznaczenie przekroju wszystkich reduktów.

3.3.2. Względny redukt i rdzeń

Dotychczasowe rozważania dotyczyły pojedynczej klasyfikacji, tzn. wiedzy możliwej do wyrażenia z zastosowaniem jednej klasyfikacji. Był to zatem rodzaj klasyfikacji bezwzględnej. Interesująca, z punktu widzenia zastosowań jest klasyfikacja względna, tzn. użycie jednej klasyfikacji do opisu wiedzy reprezentowanej przez tę drugą. Poniższe rozważania dotyczą „relatywizacji” odpowiednich pojęć.

Niech P, Q będą relacjami równoważności nad U . P -pozytywnym obszarem Q nazywamy:

$$POS_P(Q) = \bigcup_{x \in U/Q} P x$$

P -pozytywny obszar Q jest zbiorem wszystkich obiektów U , które mogą być poprawnie sklasyfikowane w klasach z U/Q z zastosowaniem wiedzy określonej przez klasyfikację U/P .

Na rysunku 6 pokazano klasyfikację względną, wiedza Q (gruba linia przerywana) jest opisana z zastosowaniem klasyfikacji P (cienka linia ciągła). P -pozytywny obszar Q jest reprezentowany na rysunku przez sumę obszarów wypełnionych szarym tłem.

Względne pojęcia (nie)usuwalności, niezależności, reduktów i rdzenia będą określone odpowiednio jak podano poniżej.

Niech P, Q będą rodzinami relacji równoważności nad U .

Mówimy, że $R \in P$ jest Q -usuwalne w P jeśli:

$$POS_{IND(P)}(IND(Q)) = POS_{IND(P-R)}(IND(Q))$$

w przeciwnym przypadku R jest Q -nieusuwalne.

Jeśli każde R w P jest Q -nieusuwalne, to P jest Q -niezależne (niezależne względem Q).

Rodzina $S \subseteq P$ nazywa się Q -reduktem P wtw jeśli S jest Q -niezależną podrodziną P oraz

$$POS_S(Q) = POS_P(Q)$$

Zbiór wszystkich Q -nieusuwalnych elementarnych relacji w P nazywa się Q -rdzeniem dla P , $CORE_Q(P)$.

Innymi słowy $POS_P(Q)$ jest zbiorem wszystkich obiektów, które mogą być sklasyfikowane w elementarnych kategoriach wiedzy Q z zastosowaniem wiedzy P .

Wiedza P jest Q -niezależna, jeśli cała wiedza P jest konieczna do klasyfikacji obiektów w elementarne kategorie wiedzy Q .

Q -rdzeń wiedzy P jest zasadniczą częścią P , która nie może być usunięta bez osłabienia zdolności do klasyfikacji elementarnych obiektów w kategorii wiedzy Q .

Q -redukt jest minimalnym podzbiorem P , który umożliwia taką samą klasyfikację obiektów w elementarne kategorie wiedzy Q jak cała wiedza P .

3.3.3. Zależności w bazie wiedzy

Porównanie wiedzy Q i P może prowadzić do stwierdzenia o niezależności, zależności (częściowej lub całkowitej), czy też równoważności. Decydujące znaczenie w określeniu tych relacji ma zależność między relacjami nierozróżnialności (IND) porównywanej wiedzy.

Niech będą dane $K = (U, R)$ oraz $P, Q \subseteq R$.
Wiedza Q zależy od P ($P \Rightarrow Q$) wtw jeśli $IND(P) \subseteq IND(Q)$.

Wiedze P i Q są równoważne ($P \equiv Q$) wtw jeśli $P \Rightarrow Q$ i $Q \Rightarrow P$.

Wiedze P i Q są niezależne wtw nie zachodzi żadna z powyższych relacji, tzn.: $P \equiv Q$, wtw jeśli $P \Rightarrow Q$ lub $Q \Rightarrow P$.

Wiedza Q (całkowicie) zależy od P , jeśli wszystkie elementarne kategorie Q mogą być określone

z wykorzystaniem wiedzy P . W takim przypadku P cechuje się lepszymi zdolnościami klasyfikacyjnymi, czyli zapewnia drobniejszy (lub równy) podział.

Zależność całkowita jest dość wysokim wymaganiem. Osłabienie wymagania, a tym samym rozszerzenie pojęcia zależności, jest realizowane przez *współczynnik zależności*:

$$k = \gamma_p(Q) = \frac{\text{card } POS_p(Q)}{\text{card } U}$$

Fakt częściowej (przybliżonej) zależności zapisujemy $P \Rightarrow_k Q$ ($0 < k < 1$). Jeśli $k=1$, to Q całkowicie zależy od P . Jeśli $k = 0$, to Q nie zależy od P .

3.4. Reprezentacja wiedzy

Dotychczasowe rozważania dotyczyły klasyfikacji dokonywanej na pewnym abstrakcyjnym zbiorze U . Kolejnym etapem jest interpretacja tego zbioru i określenie systemu reprezentacji wiedzy.

System reprezentacji wiedzy (system informacyjny) jest dwójką $S = (U, A)$, gdzie:

U - jest skończonym niepustym zbiorem (uniwersum),

A - jest skończonym niepustym zbiorem funkcji (elementarnych atrybutów) $\{a \in A \mid a: U \rightarrow V_a\}$, gdzie V_a jest zbiorem wartości elementarnego atrybutu $a \in A$.

System reprezentacji wiedzy może być rozumiany jako tabela danych, w której kolumny reprezentują atrybuty (kategorie), a wiersze odpowiednio obiekty

(elementy z U). Na przecięciu kolumn i wierszy zawarta jest informacja o odpowiadających im obiektach. Z drugiej strony dane (wiersze) tabeli mogą być interpretowane jako wyniki pomiarów, poszczególne obserwacje, stany itp.

Warto zauważyć, że każdy atrybut (kolumna w tabeli) może określać relację równoważności, np. atrybut *kolor* klasyfikuje obiekty uniwersum w kategorie obiektów o tym samym kolorze. Klasyfikacja może dotyczyć nie tylko pojedynczego atrybutu, lecz kilku z nich, czyli pewnego podzbioru zbioru atrybutów.

Dla dowolnego podzbioru $B \subseteq A$ relacja nierozróżnialności (*indiscernibility*) jest zdefiniowana następująco:

$$IND(B) = \{(x, y) \in U \times U \mid (\forall a \in B) a(x) = a(y)\}.$$

Można łatwo wykazać, że:

$$IND(B) = \bigcap_{a \in B} IND(a).$$

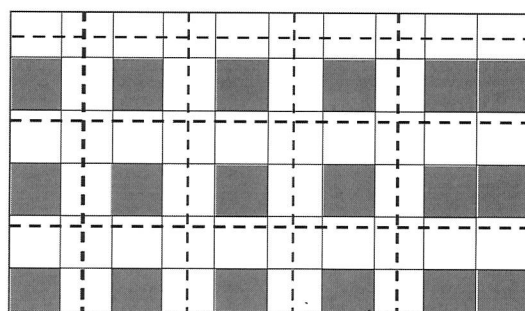
Atrybut (złożony) $B \subseteq A$ może być zatem uważany jako nazwa relacji równoważności $IND(B)$, czyli nazwa wiedzy reprezentowanej przez tę relację. Stąd wszystkie własności dotyczące wiedzy mogą być wyrażone w terminach atrybutów, a podane wcześniej pojęcia przenoszą się odpowiednio na systemy reprezentacji wiedzy.

Przykład

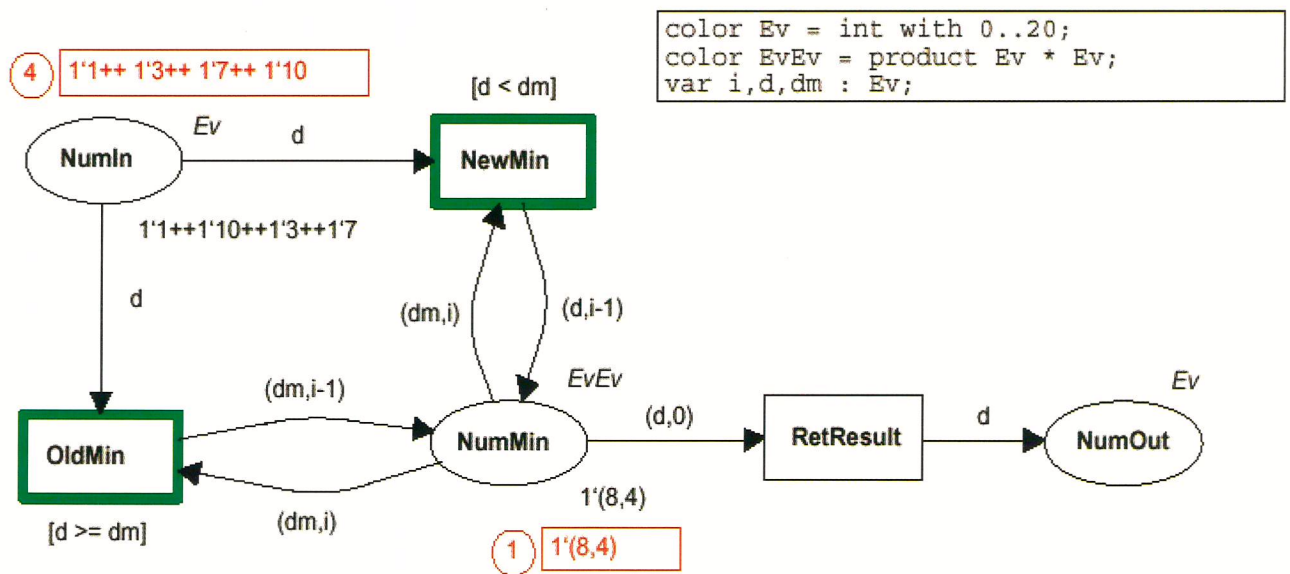
Rozważmy system reprezentacji wiedzy opisujący obserwacje związane z diagnostyką chorób serca (pewna modyfikacja przykładu z (Munakata 1998)).

Tab. 2. Reprezentacja tabelaryczna wiedzy dotyczącej stanu zdrowia dla 8 pacjentów
Tab. 2. Tabular representation of knowledge related to health for 8 patients

U Osoba	Temperatura	Ciśnienie krwi	Waga ciała	Ryzyko choroby serca	Stan zdrowia
1	normalna	niskie	duża	małe	słaby
2	poniżej	średnie	normalna	poważne	doskonały
3	powyżej	niskie	niska	poważne	dobry
4	normalna	średnie	niska	małe	doskonały
5	normalna	niskie	duża	żadne	dobry
6	powyżej	wysokie	niska	poważne	dobry
7	powyżej	średnie	normalna	poważne	doskonały
8	poniżej	średnie	normalna	żadne	dobry



Rys. 6. Ilustracja klasyfikacji względnej: wiedza Q wyrażona z zastosowaniem klasyfikacji P
Fig. 6. Illustration of relative classification: knowledge Q expressed using classification P



Rys. 8. Kolorowana sieć Petriego obliczająca minimum zbioru liczb (Rysunek wykonano z zastosowaniem pakietu CPN/Design)

Fig. 8. Coloured Petri net computing minimum for set of numbers (The net was edited using CPN / Design tool)

Poszczególne obserwacje dotyczące 8 osób zebrano w tabeli 2.

Każdy z atrybutów (temperatura, ciśnienie krwi, waga ciała, ryzyko choroby serca, stan zdrowia) jest reprezentowany przez odpowiednią kolumnę w tabeli. Warto zauważyć, że każdy z tych atrybutów przyjmuje trzy wartości, odpowiadające odpowiednio wartości poniżej standardowej, standardowej (normalny poziom) i powyżej standardowej. W celu skrócenia zapisu, możemy zatem przyjąć reprezentację: 0 (poniżej), 1 (poziom normalny) i 2 (powyżej) dla wszystkich atrybutów. Wartości te są oczywiście odmiennie interpretowane (dotyczą innych cech) w kontekście różnych atrybutów. Tabelę 2 możemy zatem przedstawić, wstawiając odpowiednie symbole i skracając tym samym zapis w poszczególnych kolumnach (Tabela 3).

Tab. 3. Symboliczny zapis wiedzy reprezentowanej w tabeli 2
Tab. 3. Symbolic specification of knowledge from table 2

<i>U</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>
1	1	0	2	1	0
2	0	1	1	2	2
3	2	0	0	2	1
4	1	1	0	1	2
5	1	0	2	0	1
6	2	2	0	2	1
7	2	1	1	2	2
8	0	1	1	0	1

Dla powyższej tabeli można wyliczyć relacje rozróżnialności:

$$\begin{aligned}
 U/IND\{a\} &= \{\{2,8\}, \{1,4,5\}, \{3,6,7\}\} \\
 U/IND\{b\} &= \{\{1,3,5\}, \{2,4,7,8\}, \{6\}\} \\
 U/IND\{c\} &= \{\{3,4,6\}, \{2,7,8\}, \{1,5\}\} \\
 U/IND\{a,b,c\} &= \{\{1,5\}, \{2,8\}, \{3\}, \{4\}, \{6\}, \{7\}\}
 \end{aligned}$$

Przykładowo dla zbioru atrybutów $C = \{a, b, c\}$ oraz podzbioru $X = \{1,2,3,4,5\}$ otrzymujemy:

$$\underline{C}X = \{1,3,4,5\}, \overline{C}X = \{1,2,3,4,5,8\} \text{ oraz } BN_C(X) = \{2,8\}$$

Zbiór atrybutów $C = \{a, b, c\}$ jest zależny. Atrybuty a oraz b są nieusuwalne, natomiast atrybut c jest nadmiarowy. Zależność tę można obliczyć następująco:

$$IND\{a,b\} = \{\{1,5\}, \{2,8\}, \{3\}, \{4\}, \{6\}, \{7\}\}$$

natomiast

$$\begin{aligned}
 IND\{c\} &= \{\{1,5\}, \{2,7,8\}, \{3,4,6\}\}^2, \\
 \text{stad } IND\{a,b\} &\subset IND\{c\}.
 \end{aligned}$$

Obliczamy zależność atrybutów $D = \{d,e\}$ od atrybutów $C = \{a, b, c\}$.

$$U/IND\{a,b,c\} = \{\{1,5\}, \{2,8\}, \{3\}, \{4\}, \{6\}, \{7\}\} = \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6\}.$$

$$U/IND\{d,e\} = \{\{1\}, \{2,7\}, \{3,6\}, \{4\}, \{5,8\}\} = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5\}.$$

$$\text{Stad } \underline{C}X_1 = \emptyset, \underline{C}X_2 = Y_6, \underline{C}X_3 = Y_3 \cup Y_5, \underline{C}X_4 = Y_4, \underline{C}X_5 = \emptyset.$$

Obszar pozytywny będzie wyznaczony jako:

$$POS_C(D) = Y_3 \cup Y_4 \cup Y_5 \cup Y_6 = \{3,4,6,7\}.$$

Tylko te elementy mogą być sklasyfikowane w blokach $U/UND(D)$ z zastosowaniem zbioru atrybutów $C = \{a, b, c\}$.

Stopień zależności między C i D wynosi zatem:

$$\gamma_C(D) = \frac{4}{8} = 0.5.$$

Warto zauważyć, że w niniejszym przykładzie (zaczepniętym z (Munakata 1998)) uzyskano wyniki rachunkowe identyczne jak dla odmiennego systemu reprezentacji wiedzy, prezentowanego przez tablicę w (Pawlak 1991). Tablice te różnią się wartościami atrybutów d i e przypisanymi do odpowiednich wierszy, jednak to odmiennie przypisanie nie zmienia zależności w bazie wiedzy.

3.4.1. Tablice decyzyjne

Ważną klasą systemów reprezentacji wiedzy są tablice decyzyjne. Tablice decyzyjne opisują decyzje podejmowane przy spełnieniu określonych warunków. Ten sposób reprezentacji wiedzy jest stosunkowo dobrze znany i jest szeroko stosowany w różnych obszarach: zapis decyzji, systemy regułowe, opis wymaganych reakcji systemów (specyfikacja wymagań dynamicznych w systemach czasu rzeczywistego) itp. Ten sposób reprezentacji jest w informatyce stosunkowo dawno znany (Hurley 1983). Związki tablic decyzyjnych z teorią zbiorów przybliżonych wynikają z traktowania

² Elementy zbioru zapisano o innej kolejności w stosunku do wcześniej obliczonego.

wiedzy jako pewnej tablicy, co pozwala zastosować pojęcia teorii zbiorów przybliżonych do analizy tych tablic.

Tablicą decyzyjną nazywamy czwórkę, $T = (U, A, C, D)$, gdzie (U, A) jest systemem reprezentacji wiedzy, natomiast $C, D \subset A$ są rozłącznymi podzbiórmi zbioru atrybutów. Atrybuty te zwane są odpowiednio atrybutami warunków (C) oraz atrybutami decyzji (D).

Interpretacja tablicy decyzyjnej jest konsekwencją jej definicji, będącej pewnym uszczegółowieniem systemu reprezentacji wiedzy. Każdy wiersz tablicy będzie zatem opisywał decyzję, w której wartości atrybutów należących do zbioru C są przesłankami decyzji, natomiast wartości atrybutów z D opisują podejmowaną decyzję. Podział między atrybuty warunkowe a decyzyjne zaznaczono w tablicy 2 przez pogrubioną linię. Atrybuty a, b, c są zatem atrybutami warunkowymi, natomiast d oraz e decyzyjnymi.

Wniosek

1. Tablica decyzyjna $T = (U, A, C, D)$ jest spójna \Leftrightarrow jeśli $C \Rightarrow_1 D$.
2. Każda tablica decyzyjna $T = (U, A, C, D)$ może być jednoznacznie rozłożona na dwie tablice $T_1 = (U_1, A, C, D)$ i $T_2 = (U_2, A, C, D)$, takie że $C \Rightarrow_1 D$ w tablicy T_1 oraz $C \Rightarrow_0 D$ w T_2 , przy czym $U_1 = POS_C(D)$ oraz $U_2 = \bigcup_{X \in U^+ IND(D)} BN_C(X)$.

Powyższy wniosek jest wykorzystywany przy analizie własności i upraszczaniu tablic decyzyjnych.

3.4.2. Upraszczenie tablic decyzyjnych

Analiza i upraszczanie tablic decyzyjnych jest bardzo istotnym zagadnieniem, ze względu na szerokie zastosowanie tego sposobu reprezentacji wiedzy.

Etapy upraszczania tablic decyzyjnych

1. Obliczanie reduktów względnych atrybutów warunków, czyli obliczanie które z atrybutów należące do C są D -usuwalne. Oznacza to eliminację kolumn tablicy decyzyjnej reprezentujących atrybuty należące do C nie mające wpływu na atrybuty z D .
2. Usuwanie powtarzających się wierszy. Eliminacja kolumn w poprzednim punkcie może prowadzić

do identycznej postaci wierszy w tablicy zredukowanej.

3. Eliminacja nadmiarowych wartości atrybutów. Pewne decyzje (reprezentowane przez wartości atrybutów decyzyjnych) mogą być zależne nie od wszystkich wartości atrybutów warunków. Stąd, dla podjęcia pewnych decyzji, nie jest konieczne ustalenie wartości wszystkich atrybutów warunkowych, te dla których wartość nie jest istotna mogą nie być brane pod uwagę przy określaniu decyzji.

Należy wspomnieć, że opisane zasady upraszczania tablic decyzyjnych prowadzą zazwyczaj do wyznaczenia wielu możliwych tablic decyzyjnych reprezentujących wiedzę zawartą w tablicy wyjściowej (przed redukcją). Wynika to z faktu istnienia wielu reduktów dla poszczególnych decyzji, a tym samym wielu alternatywnych opisów tej samej wiedzy. W przykładzie podanym w książce ((Pawlak 1991), str. 72) dla tablicy o 7 wierszach, 4 atrybutach warunkowych i 1 decyzyjnym w wyniku redukcji otrzymano 24 rozwiązania (niekoniecznie wszystkie różne).

Skuteczność redukcji ilustruje rysunek 7, gdzie pokazano przykład analizowany w (Pawlak 1991). Po lewej stronie (rys. 7.a) pokazano tabelę przed redukcją, natomiast po prawej stronie (rys. 7.b) jedną z możliwych postaci zredukowanych. Można zauważyć, że usunięto atrybut c - atrybut ten jest usuwalny ze względu na e (e -usuwalny). Wartości atrybutów warunkowych nieistotne dla poszczególnych decyzji oznaczono gwiazdką.

3.5. Zastosowania i ograniczenia

Teoria zbiorów przybliżonych, której podstawy określono na początku lat osiemdziesiątych (Pawlak 1982) zyskała dużą popularność i doczekała się wielu zastosowań, jak również narzędzi wspomagających (oprogramowania) wspomagających analizę danych metodą zbiorów przybliżonych.

Zgodnie z uwagami umieszczonymi we wprowadzeniu, obie teorie, tzn. zbiory rozmyte i zbiory przybliżone mają te same korzenie, tzn. są budowane nad teorią zbiorów. Mimo wspólnego początku teorie

<i>U</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>e</i>	<i>e</i>
1	1	0	0	1	1
2	1	0	0	0	1
3	0	0	0	0	0
4	1	1	0	1	0
5	1	1	0	2	2
6	2	1	0	2	2
7	2	2	2	2	2

a)

<i>U</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>e</i>
1,2	1	0	*	1
3	0	*	*	0
4	*	1	1	0
5,6,7	*	*	2	2

b)

Rys. 7. Skuteczność redukcji: a) tablica decyzyjna przed redukcją; b) jeden z możliwych wariantów po redukcji
 Fig. 7. An efficiency of reduction: a) decision table before reduction; b) one from many possible representations after reduction

oferują różne metody analizy i odmienne, często komplementarne możliwości zastosowań. Wydaje się, że różnicę między tymi podejściami najlepiej charakteryzuje przykład rozważany w (Munakata 1998).

Rozważmy zagadnienie klasyfikacji grupy ludzi (np. uczestników pewnej konferencji). Wyodrębnienie podzbioru kobiet (lub mężczyzn) nie następuje trudności i jest to przykład klasyfikacji dokładnej. Trudniejszy problem pojawi się, gdy zadaniem będzie wyznaczenie podzbioru młodych ludzi. Zbiór młodych ludzi jest dobrym przykładem zbioru rozmytego, współczynnik przynależności do tego zbioru będzie określał stopień młodości (młodzieńczości) i jeśli znany jest wiek uczestników, można zdefiniować ten współczynnik, np. dla osób do 25 lat jako 1, od 25 do 30 lat jako 0.9 i następnie dla wybranych kolejnych przedziałów wiekowych.

Jeśli nie jest znany wiek osób, to klasyfikacji możemy dokonywać na podstawie zewnętrznych cech (atrybutów warunkowych), np. włosów (bujne, rzadkie, łysina), ich koloru (stopień siwizny), brzmienia głosu, faktury skóry itp. Jeśli dla każdej osoby określimy te atrybuty, to pojawia się problem decyzyjny – określanie na podstawie wartości atrybutów wartości decyzji dla każdej osoby, np.: młoda, w średnim wieku, w podeszłym wieku. Jest to typowy problem z dziedziny zbiorów przybliżonych.

Założmy dalej, że dysponujemy odpowiednią aparaturą umożliwiającą automatyczny pomiar odpowiednich atrybutów warunkowych (systemy rozpozna-

wania obrazów, głosu itp.). System pomiarowy można następnie użyć do pomiaru wartości atrybutów dla grupy np. kilkuset osób, których wiek jest znany. Dane mogą być oczywiście niepełne, częściowo niespójne itp. Wyznaczanie decyzji odbywać się będzie na podstawie znajomości wieku. W ten sposób, na podstawie analizy danych treningowych można określić, które atrybuty są istotne dla podejmowanych decyzji i dokonać właściwego strojenia reguł decyzyjnych. Wspomniane konstruowanie i strojenie odbywać się będzie z wykorzystaniem teorii zbiorów przybliżonych. Tak uzyskane reguły oraz system pomiarowy można następnie zastosować do klasyfikacji osób o nieznanym wieku.

Ten sam wynik klasyfikacji można oczywiście osiągnąć stosując podejście rozmyte, tzn. konstruując, na bazie opisanych wyżej eksperymentów odpowiednie rozmyte reguły typu *if kolor_włosów... and ... then ...*. Będzie to jednak zazwyczaj bardziej pracochłonne niż w przypadku zbiorów przybliżonych. Analiza tych dwóch podejść skłania stwierdzenia, że podejścia te mogą być stosowane rozłącznie w zależności od postaci danych wejściowych, lub też komplementarnie. W tym ostatnim przypadku można sobie wyobrazić użycie teorii zbiorów przybliżonych do wstępnego przetwarzania (wyodrębnienie atrybutów istotnych) w celu wyznaczenia reguł rozmytych. Z drugiej strony system rozmyty może być użyty do wspomaganie systemu bazującego na teorii zbiorów przybliżonych. Przykładowo niektóre atrybuty warunkowe mogą być

wyrażone w sposób rozmyty tzn. w postaci rozmytych reguł *if-then* i następnie przetworzone w odpowiednie reguły decyzyjne, lub też można zbudować na ich bazie moduł wnioskowania współpracujący z drugim, działającym na bazie zbiorów przybliżonych.

Warto wskazać jeszcze jedną różnicę między wspomnianymi teoriami. Teoria zbiorów przybliżonych wywodzi się z teorii systemów informacyjnych (Pawlak 1981) i zagadnień klasyfikacji, stąd od samego początku ścieżka wyvodu jest dobrze określona. Z kolei teoria zbiorów rozmytych na początku zawiera pewien "skrót" związany z założeniem o arbitralnym określeniu funkcji przynależności. Ma to swoje konsekwencje w konieczności starannego doboru tej funkcji, lub odpowiedniego jej strojenia. Tej wady wydaje się nie mieć teoria zbiorów przybliżonych, która analizuje dane nic o nich nie zakładając. W tym przypadku brak jest arbitralnego założenia na wejściu, choć może ono być ukryte w założeniach dotyczących samych danych, np. w pewnych decyzjach. Jest to jednak problem występujący po stronie danych, a nie metody.

Obszar zastosowań teorii zbiorów przybliżonych jest stosunkowo szeroki. Zastosowania te dotyczą najczęściej danych zapisanych w postaci tabelarycznej a reprezentujących pewną wiedzę, która jest przedmiotem analizy i wnioskowania. W takim ogólnym ujęciu zastosowania dotyczą niżej wymienionych zagadnień.

- Analiza danych, upraszczanie reprezentacji, znajdowanie istotnych (nieusuwalnych) atrybutów i wartości, określanie zależności między danymi.
- Systemy z regułową bazą wiedzy: systemy ekspertowe, sterowniki regułowe itp.
- Systemy klasyfikacji i rozpoznawania.
- Systemy pozyskiwania wiedzy z baz danych (*data mining*).

Powyższy dość ogólny podział zastosowań jest w różny sposób pokrywany przez przykłady zastosowań dziedzinowych. Do najbardziej znanych należy zaliczyć zastosowania w: ekonomii (np. wycena przedsiębiorstwa, polityka kredytowa banku, strategia marketingowa przedsiębiorstwa), sterowaniu (sterowniki regułowe), diagnostyce medycznej (liczne przykłady

rozpoznawania i klasyfikacji różnych obrazów medycznych). Lista pozycji dotyczących zastosowań jest bardzo długa. Godną polecenia jest książka (Mrózek, Płonka 1999), zawierająca opis licznych i różnorodnych zastosowań. Warto również sięgnąć po książki z serii *Studies in Fuzziness and Soft Computing*³, szczególnie pozycje (Polkowski, Skowron, 1998a, Polkowski, Skowron, 1998b, Polkowski, Skowron, 1999, Polkowski, Tsumoto, Lin Tsua 2001), dotyczące bardzo aktualnych zagadnień pozyskiwania wiedzy, w tym problemów pozyskiwania wiedzy z baz danych (Ziarko 1998).

4. Uzupełnienia i zakończenie

W pracy pokazano przegląd podstawowych pojęć i metod charakteryzujących dwa główne podejścia dotyczące reprezentacji wiedzy niepewnej. Wspomniane podejścia wywodzą się z podobnych przesłanek i są zbudowane nad ogólnymi pojęciami teorii zbiorów. Mimo wspólnych korzeni podejścia te dostarczają różnych metod, mogą być również stosowane w różnych wzajemnych układach: komplementarnie, zamiennie, czy wreszcie rozłącznie.

W prezentowanym przeglądzie nieco więcej uwagi poświęcono zbiorom przybliżonym, jako teorii nieco mniej znanej a zarazem bardzo obiecującej i będącej aktualnie przedmiotem wielu prac. Solidne podstawy tego podejścia (teoria systemów informacyjnych), wykorzystanie prostej i zrozumiałej reprezentacji wiedzy w postaci tablicowej wraz z efektywnymi metodami analizy stanowią o sile tego podejścia. Warto tu zwrócić uwagę na tabelaryczną reprezentację danych, stosowaną szeroko w różnych obszarach informatyki (bazy danych, opis różnych struktur danych, systemy decyzyjne, specyfikacja wymagań itp.). Upraszczenie i analiza tablic decyzyjnych jest zatem bardzo ważnym zagadnieniem.

Fakt tablicowej reprezentacji wiedzy może być zatem pomostem do pokazania relacji z innymi teoriami, wykorzystującymi również ten sposób reprezentacji. Warto wspomnieć o teorii sieci Petriego,

³ Lista monografii z tej serii jest dostępna w witrynie: www.springer.de/cgi/svcat/search_book.pl?series=2914

która wydaje się bardzo odległa od omawianych tu zagadnień, niemniej może być również stosowana do analizy tablic decyzyjnych. Poniżej krótko pokazano odpowiednie związki, przy czym właściwe rozważania poprzedzono krótkim wprowadzeniem do kolorowanych sieci Petriego (Jensen 1995).

4.1. Wprowadzenie do kolorowanych sieci Petriego

Sieć Petriego jest grafem dwudzielnym, w którym zbiór wierzchołków dzieli się na tzw. zbiór miejsc i zbiór przejść. Dodatkowo do miejsc można dopisać tzw. znaczniki, których przepływ opisuje własności dynamiczne sieci.

Przykład niehierarchicznej kolorowanej sieci Petriego (CP-sieci) pokazano na rysunku 8. Miejsca reprezentowane poprzez okręgi mają przypisane typy danych, których wartości (tzw. **znaczniki**) mogą przechowywać. Nie ogranicza się przy tym liczby znaczników zawartych w jednym miejscu, mogą się one również powtarzać. Rozkład znaczników w miejscach sieci określany jest mianem **znakowania** i może być interpretowany np. jako stan systemu modelowanego przez daną sieć. Wstępny rozkład znaczników w miejscach sieci określa się jako **znakowanie początkowe** (np. $1 \cdot 1 + 1 \cdot 3 + 1 \cdot 7 + 1 \cdot 10$ oznacza, że miejsce *Numin* zawiera jeden znacznik „1”, jeden znacznik „3” itd.).

Tranzycje przedstawiane za pomocą prostokątów związane są z dynamicznym aspektem CP-sieci. Miejsca i tranzycje połączone są za pomocą łuków skierowanych, którym przypisane zostały tzw. wagi, tzn. wyrażenia mogące zawierać zmienne, ale takie, że dowolne wartościowanie takiego wyrażenia jest wielozbiorem nad zbiorem będącym typem danych dla miejsca będącego jednym z wierzchołków danego łuku. Dodatkowo każda z tranzycji ma przypisane dozór (*guard*), tzn. wyrażenie przyjmujące wartości logiczne. Dozory umieszcza się w nawiasach kwadratowych, brak dozoru oznacza domyślną wartość *true*.

Funkcją wiążącą tranzycji *t* nazywana jest funkcja *b* określona na zbiorze wszystkich zmiennych, występujących w wyrażeniach łuków otaczających tranzycję *t* oraz w jej dozorze, która w miejsce każdej zmien-

nej występującej w danym wyrażeniu podstawia wartość odpowiedniego typu (musi być przy tym spełnione zastrzeżenie tranzycji *t*). Parę (t, b) nazywa się **wiązanem**. Wiązanie (t, b) jest *M*-aktywne (inaczej mówiąc, że tranzycja *t* jest aktywna przy znakowaniu *M* i przy funkcji wiążącej *b*), jeżeli wielozbiór znaczników zawartych w każdym z miejsc wejściowych tej tranzycji jest nie mniejszy niż wielozbiór będących wynikiem wartościowania przy funkcji *b* wyrażenia łuku łączącego dane miejsce z tranzycją *t* (np. dla sieci na rysunku 7 aktywne są tranzycje *NewMin* i *OldMin*). Efektem **odpalenia** aktywnej tranzycji jest zmiana znakowania sieci. Nowe znakowanie powstaje przez usunięcie z miejsc wejściowych tranzycji *t* odpowiednich wielozbiorów znaczników będących wynikiem wartościowania wyrażenia łuków wejściowych tranzycji *t* i dodanie analogicznie wyznaczonych wielozbiorów znaczników do miejsc wyjściowych tej tranzycji.

Zmiany znakowań sieci mogą być przedstawione w formie tzw. pełnego grafu osiągalności (O-grafu). Wierzchołki tego grafu reprezentują poszczególne znakowania osiągalne ze znakowania początkowego (tzn. takie, które można osiągnąć ze znakowania początkowego przez odpalenie skończonego ciągu tranzycji), zaś łuki są etykietowane wiązaniami, których odpalenie powoduje odpowiednie zmiany. O-graf nawet w przypadku niewielkich sieci może osiągać znaczne rozmiary. Do analizy własności sieci wykorzystuje się więc pewne modyfikacje pełnego grafu osiągalności (Jensen 1995).

Niezmiennikiem tranzycji nazywany jest wielozbiór wiązań takich, że odpalenie ich w pewnej ustalonej kolejności powoduje powrót do tego samego znakowania, przy którym odpalone było pierwsze z nich.

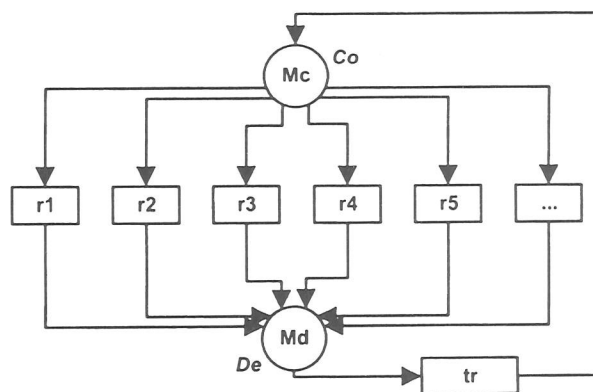
Różnego typu grafy osiągalności i niezmienniki sieci reprezentują pewne formalne metody analizy ich własności. Podstawowe własności sieci Petriego dzielą się na dwie grupy. Pierwsza z nich dotyczy ograniczoności sieci, tzn. analizy liczby znaczników jakie mogą się pojawiać podczas pracy w poszczególnych miejscach sieci. Druga grupa związana jest z żywotnością sieci. Wiązanie nazywane jest żywym, o ile zawsze ma ono szansę być jeszcze aktywnym (tzn.

wychodząc od dowolnego znakowania osiągalnego ze znakowania początkowego, można otrzymać znakowanie, przy którym dane wiązanie jest aktywne), natomiast tranzycja nazywana jest żywą o ile zawsze ma ona szansę być aktywną w co najmniej jednym ze swoich wiązań. CP-sieć jest żywa, jeżeli nie osiąga ona znakowania martwego, tzn. znakowania, przy którym nie jest aktywne żadne wiązanie.

4.2. Reprezentacja tablicy decyzyjnej z zastosowaniem kolorowanej sieci Petriego

W celu analizy własności zbioru reguł, tablica decyzyjna jest przekształcana do postaci niehierarchicznej kolorowanej sieci Petriego, zwanej D-siecią (zob. (Szpyrka 1999, Szpyrka, Szmuc 2001, Ligęza i in. 2001)). D-sieć odpowiadająca tablicy decyzyjnej jest budowana według następującego algorytmu.

1. W D-sieci umieszcza się dwa miejsca, miejsce warunkowe Mc odpowiadające atrybutom warunkowym i miejsce decyzyjne Md odpowiadające atrybutom decyzyjnym.
2. Kolor miejsca Mc zdefiniowany jest jako iloczyn kartezyjański dziedzin atrybutów warunkowych, zaś miejsca Md jako iloczyn kartezyjański dziedzin atrybutów decyzyjnych.
3. Przy znakowaniu początkowym w miejscu warunkowym znajduje się jeden znacznik, zaś miejsce decyzyjne pozostaje puste.
4. W sieci umieszcza się dokładnie tyle tranzycji ile reguł decyzyjnych wyróżniono w tablicy decyzyjnej. Tranzycje takie nazywamy tranzycjami decyzyjnymi.
5. Dla każdej z tranzycji r_i prowadzony jest łuk wejściowy od miejsca warunkowego do tej tranzycji oraz łuk wyjściowy do miejsca decyzyjnego. Jako wagi łuków przyjmuje się struktury odpowiedniego typu. Wagi łuków wejściowych i wyjściowych tranzycji decyzyjnej ustalane są w sposób następujący:
 - jeżeli w odpowiedniej komórce tabeli znajduje się stała wartość, to wartość ta będzie odpowiednią współrzędną w wyrażeniu będącym wagą danego łuku;
 - jeżeli natomiast w odpowiedniej komórce tabeli znajduje się wyrażenie logiczne, to odpowiednią współrzędną w wyrażeniu będącym wagą łuku będzie zmienna, występująca w tym wyrażeniu logicznym, zaś warunek umieszczony jest w zastrzeżeniu tranzycji.
6. W sieci umieszczona jest dodatkowa tranzycja zwana tranzycją odnawiającą i oznaczana symbolem t_r . Jest ona połączona łukami od miejsca decyzyjnego do tej tranzycji i od tej tranzycji do miejsca warunkowego. Jako wagi tych łuków przyjmuje się struktury złożone ze zmiennych odpowiednich typów.



Rys. 9. Postać sieci decyzyjnej (D-sieci)
Fig. 9. A typical decision net (D-net)

Strukturę typowej sieci decyzyjnej pokazano na rysunku 9. Interpretacja tej sieci wynika z przeprowadzonej konstrukcji, tzn. reguł wymienionych powyżej. Zauważmy, że w sieci decyzyjnej można zapisywać tablice decyzyjne nie tylko o liczbowych wartościach atrybutów warunkowych, lecz również w postaci zmiennych lub zmiennych i warunków logicznych.

Należy przy tym podkreślić, że analiza sieci decyzyjnych może być realizowana przez badanie własności sieci kolorowanych, które w kontekście sieci decyzyjnych mają prostą interpretację charakterystyczną

dla tablic decyzyjnych. Poniższe 3 twierdzenia zaczerpnięte z pracy (Szpyrka 1999) dotyczą właśnie tych własności. Podane są tutaj bez dowodów, które można znaleźć w cytowanej uprzednio literaturze.

Twierdzenie 1. (o równoważności zupełności zbioru reguł z żywotnością D-sieci) Zbiór reguł R jest zupełny \Leftrightarrow , gdy zbiór znakowań warunkowych C_M nie zawiera znakowania martwego.

Powyższe twierdzenie sprowadza badanie zgodności zbioru reguł do badania żywotności odpowiedniej D-sieci, czyli stwierdzenia braku oznakowania martwego grafie osiągalności takiej sieci.

Twierdzenie 2. Jeśli każda klasa abstrakcji relacji \sim posiada dokładnie jedno znakowanie decyzyjne, to zbiór reguł R jest zgodny.

Relacja równoważności \sim jest określona w zbiorze wszystkich cykli decyzyjnych polegających na odpaleniu pewnej tranzycji regułowej oraz tranzycji odnawialnej prowadzących to tego samego oznakowania (od którego rozpoczął się dany cykl).

Twierdzenie 3. Reguła $r \in R$, gdzie R jest zupełnym i zgodnym zbiorem reguł jest regułą niezależną \Leftrightarrow , gdy istnieje jednoelementowa klasa abstrakcji relacji \sim , posiadająca regułę r .

Rozważając wszystkie cykle decyzyjne D-sieci możemy wygenerować zbiór wszystkich informacji zgodnych ze zbiorem reguł R . Jeżeli D-sieć reprezentuje zupełny i zgodny zbiór reguł, to sieć taka nie osiąga innych znakowań niż znakowania występujące w cyklach decyzyjnych. Każdy z cykli decyzyjnych zawiera jedno znakowanie warunkowe i jedno decyzyjne. Znakowania te łącznie mogą być utożsamione z jedną informacją o obiekcie. Ważnym jest fakt, że jest to informacja zgodna ze zbiorem reguł. Zatem zbiór wszystkich osiągalnych znakowań D-sieci wyznacza jednoznacznie największy w sensie relacji inkluzji zbiór informacji zgodnych z wiedzą reprezentowaną przez D-sieć. Inaczej mówiąc D-sieć wyznacza jedno-

znacznie największą tabelę rekordów bazy danych opartą na atrybutach ze zbioru A taką, że informacje zawarte w tej tabeli są zgodne z rozważaną wiedzą.

4.3. Zakończenie

Przedstawione w rozdziałach 2 i 3 dwa typowe podejścia związane z reprezentacją i analizą wiedzy nieprecyzyjnej stanowią klasyczny nurt rozważań. Każde z tych podejść zostało scharakteryzowane w końcowej części wymienionych z rozdziałów. W niniejszym pokazano natomiast związki z innym, wydaje się bardzo odległym podejściem, teorią sieci Petriego. Związki między tablicami decyzyjnymi a sieciami Petriego były już przedmiotem badań (Suraj 1999), lecz dotyczyły translacji w zwykłych sieci miejsc i przejść, co prowadziło raczej do skomplikowanych sieci i raczej dość odległych od praktyki wyników. Opisywane tutaj podejście rozwijane od kilku lat w Katedrze Automatyki AGH umożliwia szerszą reprezentację tablic decyzyjnych oraz wspomaganie analizy tablic metodami kolorowanych sieci Petriego. Szczególnie istotne może to być w analizie poprawności złożonych struktur danych, gdzie dodatkowo można skorzystać z mechanizmów hierarchicznego opisu.

Nie są to jedyny korzyści tego podejścia, warto również wspomnieć o możliwościach połączenia obu podejść, co może być istotne w zastosowaniach, gdzie sieci Petriego są wiodącym narzędziem opisu formalnego, np. przy projektowaniu i analizie oprogramowania czasu rzeczywistego. W takim przypadku możliwe jest zastosowanie jednolitego formalizmu zarówno w fazie analizy jako i projektowania.

Bibliografia

- Brandt S.: *Analiza danych*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1998
- Bromek J., Pleszczyńska E. (eds.): *Statistical inference: Theory and practice*. PWN-Kluwer Academic Publishers, Warsaw-Dordrecht, 1991
- Gajek L., Kałuszka M.: *Wnioskowanie statystyczne – modele i metody*. WNT, Warszawa, 1996
- Hurley R. B.: *Decision Tables in Software Engineering*. Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1983
- Jang J.-S.R., Sun C.T., Mizutani: *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*. Prentice-Hall, 1997
- Jensen K.: *Coloured Petri Nets. Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use*. Vol. I-III, Springer Verlag, 1995/96
- Jin Yaochu: *Advanced Fuzzy Systems Design and Applications*. Studies in Fuzziness and Soft Computing, Vol. 112, Springer Verlag, 2003⁴
- Lee C.C.: *Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller*. Parts I and II. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. Vol. 20, 1990, 419-435
- Ligęza A., Nalepa G., Szmuc T., Szpyrka M., Szwed P., Wojnicki I.: *Analiza, weryfikacja i projektowanie systemów tablicowych. Metody logiczne, algebraiczne i graficzne*. Materiały XIV Sympozjum Zastosowania Teorii Systemów, Zakopane 2001, Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, 545-554
- Mordeson J.N., Nair P., S.: *Fuzzy Graphs and Fuzzy Hypergraphs*. Studies in Fuzziness and Soft Computing, Vol. 46, Springer Verlag, Berlin, 2000
- Mrózek A., Płonka L.: *Analiza danych metodą zbiorów przybliżonych*. Akademicka Oficyna PLJ, Warszawa 1999
- Munakata T.: *Fundamentals of the New Artificial Intelligence. Beyond Traditional Paradigms*. Springer Verlag, 1998
- Pawlak Z.: *Information Systems – Theoretical Foundations*. Information Systems, Vol. 6, 1981, 205-218
- Pawlak Z.: *Rough Sets*. International Journal of Computer and Information Sciences, Vol. 11, 1982, 341-356
- Pawlak Z.: *On Rough Dependency of Attributes in Information Systems*. Bull. Polish. Acad. Sci., Technical Sciences, Vol. 33, 1985, 551-559
- Pawlak Z.: *Rough Sets and Decision Tables*. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 208, 1985, 186-196
- Pawlak Z.: *Rough Sets: Theoretical Aspects and Reasoning about Data*. Kluwer Academic Publisher, 1991
- Polkowski L., Skowron A.: *Proc. First International Conf. on Rough Sets and Soft Computing*. RSCTC'98, Warszawa, 1998, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1424, Springer Verlag, Berlin, 1998
- Polkowski L., Skowron A.: *Rough Sets in Knowledge Discovery 1*. Studies in Fuzziness and Soft Computing, Vol. 18, Springer Verlag, Berlin, 1998
- Polkowski L., Skowron A.: *Rough Sets in Knowledge Discovery 2*. Studies in Fuzziness and Soft Computing, Vol. 19, Springer Verlag, Berlin, 1999

⁴ Książka wraz ze spisem treści jest zapowiadana w witrynie Springer Verlag (www.springer.de).

- Polkowski L., Tsumoto S., Lin Tsua Y.: *Rough Set Methods and Applications. New Developmentys in Knowledge Discovery in Information Systems*. Studies in Fuzziness and Soft Computing, Vol. 56, 2001
- Terano T., Asai K., Sugeno M.: *Fuzzy Systems Theory and Its Applications*. Academic Press, 1992
- Suraj Z.: *Rough Sets Methods for Synthesis and Analysis of Concurrent Systems*. In (Polkowski Skowron 1999), Chapt. 22.
- Szczepaniak P. S., Segovia J., Kacprzyk J., Zadeh L.: *Intelligent Exploration of the Web*. Studies in Fuzziness and Soft Computing, Vol. 111, Springer Verlag, 2003⁵.
- Szpyrka M., *Wspomaganie tworzenia oprogramowania systemów reaktywnych z zastosowaniem kolorowanych sieci Petriego*, Praca doktorska wykonana pod kierunkiem T. Szmuca, AGH, Kraków, 1999
- Szpyrka M., Szmuc T.: *Algebraiczno-grafowe metody reprezentacji wiedzy dla analizy i weryfikacji atrybutowych systemów tablicowych*. Materiały XIV Sympozjum Zastosowania Teorii Systemów, Zakopane 2001, Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, 535-544
- Yager R.R., Filev D.P.: *Podstawy modelowania i sterowania rozmytego*. WNT Warszawa 1995. Tłum. z jęz. angielskiego: *Essentials of Fuzzy Modeling and Control*. J. Wiley & Sons, 1994
- Zadeh L.A.: *Fuzzy Sets*. Information and Control, Vol. 8, 1965, 338-353
- Zadeh L.A.: *Fuzzy Algorithms*. Information and Control, Vol. 12, 1968, 94-102
- Zadeh L.A.: *Fuzzy Logic = computing with words*. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 4, 1996, 103-111
- Ziarko W.: *Rough Sets as a Methodology for Data Mining*. In Polkowski, Skowron A. (eds) (Polkowski, Skowron 1998b), 1998, 554-576

⁵ Jak w przypadku poprzednim.

Summary

The paper contains, in its main part, an overview of basic notions and methods related to two mostly known approaches to representation of uncertain knowledge, i.e. fuzzy sets and rough sets. The first approach is based on an extension of membership function into interval $[0, 1]$, while the second one describes uncertainty of classification by equivalence relation, i.e. indistinguishable elements belong to the same classes. The both theories starting from the same requirements related to description of the same problem, are based on different assumptions, which lead to different analysis methods and different areas of efficient applications. However, the application areas are not totally disjoint, many examples of complementary applications of both methods also can be encountered.

Presentation of fuzzy sets theory is relatively less detailed, because the theory is widely known. Basic notions and operations (general and specific to this approach) are presented to provide a foundation for considerations on fuzzy reasoning. Discussion on area of applications and main restrictions of the fuzzy set theory concludes this section.

Rough sets theory, introduced in eighties, is relatively younger and not so popular. The approach is based on information system theory formerly developed by Z. Pawlak. The concept of classification is used for description of uncertainty. The idea yields in an observation, that knowledge about a universe is represented by a possibility for classification of objects from that universe. Classification is described by equivalence relation on this set (universe). The fact, that two elements belong to the same class is interpreted as the ones being undistinguished using given knowledge (classification). This uncertainty of classification leads to the fact, that having an area (a consistent subset of universe) and using given knowledge one can decide that some elements surely belong to area, the others are outside this area, and some of them are on the border. In the later case, it is impossible to decide (using given knowledge) if they are inside or outside this region. The theory provides tools for reasoning on data, classifications and reductions. Applicability of the

tools is especially visible in the case of the so-called knowledge representation systems, where any instance of object is defined by a set of its attributes values. The systems are described in tabular form, where any row describes a particular instance of object and columns represent its attributes. This interpretation covers a wide area of knowledge representations, including decision tables, data bases, rule-based systems, etc. The direct application of rough sets theory is related to the tabular representation of data and enables, in general, reduction and reasoning on such knowledge. A simple example illustrating the reduction is presented in the paper. A comparison of the fuzzy and rough sets concludes this section. The both theories describe the same aspect, i.e. uncertainty, however start from different assumptions, which lead to different methods of analysis. The main difference lies in an arbitrary assumption on membership function in fuzzy sets, which is a kind of shortcut causing a necessity of careful assignment of the function, or its corresponding tuning. Rough sets theory does not assume anything at the beginning, and analyses data as they are. The assumption can be however hidden in some decisions related to data, but they appear in the data side, do not in the method. The considerations are concluded, that the both theories complement each other, and sometimes can be used interchangeably, as well as in some applications the advantages of one of them is visible.

Tabular representation of knowledge is a kind of bridge connecting the rough set approach with decision Petri nets (D-nets) considered in the next section. D-nets are a subclass of coloured Petri nets. An algorithm for translation from decision table into the corresponding D-net is presented in the paper. Basing on this algorithm properties of decision tables can be proved using Petri nets tools. Theorems presented in the paper provide facilities for proving consistency and completeness of set of rules (described by decision table) as the corresponding properties of coloured Petri nets. The fact extends range of tabular knowledge analysis not only by providing additional methods and tools, but also extends a class of considered tables enabling description and analysis of hierarchical tables. It should be mentioned additionally that the transition ena-

bles application of the tools in analysis and design of reactive software. In this case, the benefits are on the rough sets side, which may be used in requirements analysis.

KRONIKA PRAC KOMISJI

Na styczeń okresu sprawozdawczego przypadł koniec statutowej kadencji Komitetu Administracyjnego Komisji. W związku z tym 9 stycznia 2002 r. odbyło się zebranie wyborcze Komitetu. W wyniku głosowania nastąpiła reelekcja wszystkich członków Komitetu na następną 3-letnią kadencję, na te same funkcje.

Komitet Administracyjny Komisji Geoinfoematyki PAU pracuje w następującym składzie:

Prof. dr hab. inż. Ryszard Tadeusiewicz - zastępca przewodniczącego,

Prof. dr hab. inż. Janusz Kotlarczyk - przewodniczący,

Prof. dr hab. inż. Józef Jachimski - zastępca przewodniczącego,

Prof. dr hab. inż. Jakub Siemek - pełnomocnik d/s wydawnictw,

Prof. dr hab. inż. Ryszard Ślusarczyk - sekretarz Komitetu Administracyjnego.

W czwartym roku działalności odbyły się następujące posiedzenia naukowe Komisji:

9 stycznia z referatem Stanisława Doktora, Marka Granicznego, Zbigniewa Kowalskiego (Państwowy Instytut Geologiczny) pt.: „Możliwości zastosowania wyników interpretacji zdjęć radarowych dla analizy tektonicznej Karpat”;

20 lutego z referatem Kazimierza Trafasa (Uniwersytet Jagielloński, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Zakład Kartografii i Teledetekcji) pt.: „Miasto jako podmiot analiz geoinformatycznych”

13 marca z referatem Zbigniewa Kasiny (Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska, Zakład Geofizyki) pt.: „Tomografia sejsmiczna jako narzędzie przestrzenne rozpoznania wnętrza Ziemi” (pełny tekst ukaże się w 4 tomie „*Geoinformatica Polonica*”)

17 kwietnia z referatem Adama Walanusa i Doroty Napleki (PAN - Kraków, Instytut Botaniki, StatSoft Polska Sp. z o.o. Kraków) pt.: „Przeptyw informacji w palinologii - pyłek roślin w czasie i przestrzeni”

15 maja z referatem Jana Romualda Olędzkiego (Uniwersytet Warszawski) p.t. „Obrazy satelitarne podstawą regionalizacji geograficznej” (pełny tekst ukaże się w 5 tomie „*Geoinformatica Polonica*”)

12 czerwca z referatem Beaty Hejmanowskiej (Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej) pt.: „Wykorzystanie wysokorozdzielczych zobrażeń teledetekcyjnej do określenia stanu wybranych elementów środowiska” (pełny tekst ukaże się w 5 tomie „*Geoinformatica Polonica*”)

9 października z referatem Małgorzaty Mycke-Dominiko (Instytut Badawczy Leśnictwa - Warszawa) pt.: „Systemy informacji przestrzennej w Lasach Polskich jako jedno z zastosowań geomatyki” (pełny tekst ukaże się w 5 tomie „*Geoinformatica Polonica*”)

13 listopada z referatem Wojciecha Pachelskiego (Centrum Badań Kosmicznych PAN - Warszawa) pt.: „Geoinformatyczne bezpośrednie opisywanie

położenia” (pełny tekst ukaże się w 5 tomie „*Geoinformatica Polonica*”)

11 grudnia z referatem Zbigniewa KASINY (AGH, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Zakład Geofizyki) pt.: „Informatyczne aspekty przestrzennego rozpoznania wysadów solnych metodą sejsmiczną” (pełny tekst ukaże się w 5 tomie „*Geoinformatica Polonica*”)

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 i 2002 roku ukażą się w kolejnych tomach *Sprawozdań....*”.

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

W roku 2001 i 2002 przyjęto następujących nowych członków Komisji:

1. Dr Mateusza Trolla z Instytutu Geografii UJ - Zakład Systemów Informacji Geograficznej, sylwetkę kandydata przedstawili prof. W. Widacki i prof. J. Kotlarczyk.
2. Dr Jacka Kozaka z Instytutu Geografii UJ - Zakład Systemów Informacji Geograficznej, sylwetkę kandydata przedstawili prof. W. Widacki i prof. J. Kotlarczyk.
3. Prof. dr. hab. inż. Konrada Eckesa z Wydz. Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH - Katedra Informacji o Terenie, sylwetkę kandydata przedstawili prof. J. Jachimski i prof. J. Kotlarczyk.
4. Dr hab. Stanisława Gruszczyńskiego z Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH - Zakład Kształtowania i Ochrony Środowiska, sylwetkę kandydata przedstawili prof. J. Jachimski i prof. J. Kotlarczyk.
5. Dr hab. Kazimierza Trafasa z Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ - Zakład Kartografii i Teledetekcji, sylwetkę kandydata przedstawili prof. W. Widacki i prof. J. Kotlarczyk.

6. Prof. dr. hab. Jana R. Olędzkiego z Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego - Zakład Teledetekcji, sylwetkę kandydata przedstawili prof. J. Jachimski i prof. J. Kotlarczyk.

W rezultacie powiększenia składu Komisja liczy obecnie 40 członków. W obecnym składzie Komisji znajdują się przedstawiciele następujących dyscyplin:

nauk informatycznych – 5 osób,
geologii – 9 osób,
geofizyki – 6 osób,
geografii – 3 osoby,
geodezji – 3 osoby,
kartografii – 1 osoba,
fotogrametrii i teledetekcji – 6 osób,
nauk górniczych – 3 osoby,
geomechaniki – 3 osoby,
inżynierii środowiska – 1 osoba.

przewodniczący
Janusz KOTLARCZYK

sekretarz
Ryszard ŚLUSARCZYK

INFORMACJE O KONFERENCJACH

Sprostowanie dotyczące notatki o XI Konferencji Naukowo-Technicznej PTIP' 2001 (Wojciech PACHELSKI)

W t. 3 (2001) rocznika „Geoinformatica Polonica” zamieszczona str. 83 notatka o XI Konferencji PTIP' 2001 powinna brzmieć następująco:

„*Sesja Sekcji Geoinformatyki Komitetu Geodezji PAU' w ramach XI Konferencji Naukowo-Technicznej PTIP' 2001*

Sesja Sekcji Geoinformatyki Komitetu Geodezji PAN odbyła się w dniu 29 maja 2001 w Warszawie w ramach XI Konferencji Naukowo-Technicznej Polskiego Towarzystwa Informatyki Przestrzennej. Wygłoszone zostały następujące referaty: „

1. Adam Łyszkowicz (CBK PAN): *Współczesne metody wyznaczania wysokości.*
2. Roman Kadaj (Politechnika Rzeszowska): *Przekształcenia odwzorowawcze map, czyli w warsztatach kartografii numerycznej.*

3. Edward Nowak (Politechnika Warszawska): *Estymacja i weryfikacja numerycznego modelu terenu.*
4. Wojciech Pachelski (CBK PAN/IGiK): *Geoinformacyjne bezpośrednie opisywanie położenia.*

Trzy spośród wygłoszonych referatów, a mianowicie prof. prof. Łyszkowicza, Kadaja i Nowaka, ukazały się w wydanych przez Polskie Towarzystwo Informatyki Przestrzennej materiałach konferencji.

Wojciech PACHELSKI

Za nieścisłości Redakcja przeprasza Organizatorów Konferencji i Czytelników.

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 FOR 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 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) * .PCX,
 - f) * .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).

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

Complete material to be published shall not exceed 2 quires and shall include:

- basic text in Polish or English,
- title in Polish or English,
- tables and figures (drawings) with captions in Polish and English,
- short abstracts (not exceeding 15 lines) and key words in Polish and English,
- an extensive summary (not exceeding 45 lines) in the alternative language (English or Polish) with respect to the basic text.

A diskette with the text shall be given to the Editorial Staff, together with a complete printout of the prepared work on a paper of A4 format. The number of lines and signs in a line is not limited. A one-line space between individual paragraphs shall be maintained, however.

The text shall be written and saved in one of the following formats:

ASCII 8 – the Authors are requested to specify the standard of Polish letters (e.g. Central-European, Latin 2, Mazovia),
WORDPERFECT (versions 5.0, 5.1 and the following ones),
WORD FOR WINDOWS (versions 2.0, 6.0 and 7.0).

The places where figures, drawings or tables are to be introduced shall be marked on the margin of the printout sent to us.

Titles and subtitles shall be separated from the text with the top and bottom blank and the title category shall be specified (I category, II, III, ... , Main chapter – I category, subchapter – II category, subordinate title – III category , etc.) in the printout.

Tables shall be put in a separate file. Each table in the printout shall be described with the Author's name and the table number.

All symbols in formulas and connected references in the text shall be written in straight writing. It is very important to use 0 (zero) number key in order to differentiate it from the letter O (o).

References in the text that concern drawings, tables, figures, chapters, subchapters – according to numbering. When referring to bibliography the author's name and the year of publication shall be given in brackets, e.g. (Rysiowa 1969) – one author, (Nowakowski, Kapinos 1992) two authors, (Kluz et al. 1972) – more than three authors. In case of team works: the title (the beginning of the title) and the year of publication (Poradnik ... 1971).

Drawings shall be delivered:

- on paper or tracing paper (with the author's name and the number of the drawing),
- on a diskette in one of the formats listed below:
 - a) *.TIF – format of a bit map system used in the majority of programs for scanners,
 - b) *.IMG – files generated by programs working in GEM environment,
 - c) *.PLT – drawing/figures exported from programs of CAD type,
 - d) *.CGM – computer graphics program used for instance by programs such as: HARVARD PACKARD GRAPHICS, APPLAUSE,
 - e) *.PCX,
 - f) *.CDR from program CorelDRAW.

Edition of coloured drawings/figures is possible after consultation.

Bibliography shall be placed at the end with a heading: "BIBLIOGRAPHY"

While writing the text the following principles shall be observed:

- individual lines shall not be ended with ENTER key,
- paragraphs shall not be spaced using tabulator or space key,
- individual paragraphs shall be separated by one empty line inserted,
- words shall not be manually divided,
- individual lines in a paragraph shall not be justified using space key,
- words shall not be spaced (e.g. t i t l e),
- words or sentences shall not be underlined (e.g. underlined)

