

GEOINFORMATICA
POLONICA

1 : 1999

Komitet Redakcyjny

Józef JACHIMSKI, Janusz KOTLARCZYK (Przewodniczący Komisji),
Ryszard ŚLUSARCZYK, Ryszard TADEUSIEWICZ

Redaktor Serii

Jakub SIEMEK

Sekretarz Serii

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: twardow@uci.agh.edu.pl
sztymar@uci.agh.edu.pl

Adres Wydawnictwa

Polska Akademia Umiejętności – Wydawnictwo
31-016 Kraków, ul. Sławkowska 17

POLSKA AKADEMIA UMIEJĘTNOŚCI
PRACE KOMISJI GEOINFORMATYKI

**GEOINFORMATICA
POLONICA**

1



KRAKÓW 1999

Publikacja dotowana przez Komitet Badań Naukowych

Redakcja tomu:
Maria MICHAŁEWICZ

Skład, łamanie
Irena JORDAN

Copyright by Polska Akademia Umiejętności
Kraków 2000

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

ISBN: 83-86956-74-7

Złożono do druku: grudzień 1999
Druk ukończono: czerwiec 2000

SPIS TREŚCI

Słowo wstępne (Janusz KOTLARCZYK)..... 7

Artykuły

Józef JACHIMSKI, Władysław MIERZWA, Stanisław MULARZ, Krystian PYKA
Cyfrowa fotogrametria i teledetekcja w Polsce.....11

Bogdan CIANCIARA
*Emisja sejsmiczna jako nośnik informacji o rozwoju procesu pękania
górotworu*.....37

Stanisław GRUSZCZYŃSKI
*Ocena zagrożenia gleb w rejonach górniczych za pomocą sztucznych
sieci neuronowych*.....45

Zbigniew KASINA
*Recovering spatial geological information from seismic data
(Odtwarzanie przestrzennej informacji geologicznej z danych sejsmicznych)*.....63

Kronika

Kronika prac Komisji Geoinformatyki (Janusz KOTLARCZYK, Ryszard ŚLUSARCZYK).....75

Informacje o konferencjach

Konferencja:
*Spatial Information Management in the New Millenium
(Zarządzanie informacją przestrzenną w nowym tysiącleciu)* (Janusz MAGIERA).....77

Konferencja naukowo-techniczna:
Optymalizacja wydobywania kopalin przy wykorzystaniu technik informatycznych (Marek NIEĆ).....79

CONTENS

Preface (Janusz KOTLARCZYK).....	7
----------------------------------	---

Papers

Józef JACHIMSKI, Władysław MIERZWA, Stanisław MULARZ, Krystian PYKA <i>Digital photogrammetry and remote sensing in Poland.....</i>	11
Bogdan CIANCIARA <i>Seismic emission as a carrier of information on the development of the rock-mass fracturing process.....</i>	37
Stanisław GRUSZCZYŃSKI <i>Evaluation of threats on soils in mining with the help of artificial neural networks.....</i>	45
Zbigniew KASINA <i>Recovering spatial geological information from seismic data.....</i>	63
Chronicle Work Committee (Janusz KOTLARCZYK, Ryszard ŚLURARCZYK).....	75
Information about conferences (Janusz MAGIERA, Marek NIEĆ).....	77

SŁOWO WSTĘPNE

Przedkładamy Szanownym Czytelnikom pierwszy tom prac Komisji Geoinformatyki PAU, ufni w pomyslny rozwój tej nowej serii wydawnictw PAU, dla której przyjęliśmy nazwę „Geoinformatica Polonica”. Mamy także nadzieję na spełnienie zadań postawionych przy jej powołaniu, a to: promocji polskiej myśli geoinformatycznej i integracji geoinformatyków polskich. Przyszłość serii zależeć będzie jednak od aktywności specjalistów, którzy zechcą zasilić łamy „G.P.” swoimi pracami.

Narodziny geoinformatyki

Na wstępie należy wyjaśnić, co to jest geoinformatyka i jak ją rozumiemy. Jest to tym bardziej konieczne, gdyż w różnych środowiskach nadaje się temu pojęciu zróżnicowaną treść.

Kierunek badawczy zwany tu geoinformatyką zrodził się w wyniku lawinowego przyrostu informacji w naukach o Ziemi. Szczególną cechą tych informacji jest związek z przestrzenią dwu-, trój-, a nawet czterywymiarową (czwarty wymiar – czas). Gromadzenie i przetwarzanie danych tego rodzaju wymagało użycia specjalistycznych metod i narzędzi, których dostarczyła (i nadal dostarcza) dynamicznie rozwijająca się dyscyplina – informatyka. Bardzo szybko zostały zaadoptowane w naukach o Ziemi różne działy teorii informacji, metody rozpoznawania obrazów, sieci neuronowe i in. Pojawiły się rozmaite systemy eksperckie i świetnie skonstruowane, niezwykle pojemne banki danych.

Zastosowaniu metod informatycznych w naukach geologicznych patronowała od samego początku swego istnienia Międzynarodowa Asocjacja Geologii Matematycznej (IAMG), wyłoniona na Międzynarodowym

Kongresie Geologicznym w Pradze w 1968 roku. Poświęcała ona tej tematyce specjalne sesje swych seminariów i kongresów (np. sesja dotycząca sztucznej inteligencji w geonaukach), a także łamy swoich czasopism („Mathematical Geology”, „Computer & Geosciences”). Po raz pierwszy użyto wszakże terminu „informatyka geologiczna” we Francji. Tam też od wczesnych lat siedemdziesiątych ukazuje się w ramach roczników „Sciences de la Terre” odrębna seria pod takim właśnie tytułem: „Informatique Géologique”, wydawana przez regionalną agendę C.N.R.S. i Uniwersytet w Nancy. Należy tu podkreślić, że w rozumieniu specjalistów francuskich wprowadzony przez nich termin obejmuje nie tylko problematykę zbierania i automatycznego przetwarzania danych różnego rodzaju, ale także modelowania matematycznego w geologii, co w zasadzie jest przedmiotem badań geologii matematycznej.

Podobnie szeroki zakres zainteresowań geoinformatyczno-geomatematycznych przejawia utworzone w 1990 roku „Japońskie Towarzystwo Geoinformatyki” (Japan Society of Geoinformatics). Zrzesza ono geologów, geofizyków, geografów, ale także inżynierów budownictwa, nauczycieli i in. Towarzystwo wydaje od roku 1990 własny kwartalnik pn. „Geoinformatics”. Zbliżony profil tematyczny reprezentuje włoskie czasopismo „Geoinformatica”, wydawane (nieregularnie) od 1991 roku przez Zespół ds. Zastosowań Informatyki w Naukach o Ziemi – GIAST (Gruppo per l’Informatica Applicata alle Scienze della Terra).

Znaczne zawężenie zakresu pojęcia „geoinformatyka” nastąpiło, paradoksalnie, w wyniku wzrostu roli informatyki w naukach o Ziemi. Oto upowszechnienie zdalnego uzyskiwania danych metodami fotogrametrii, zdjęć lotniczych i satelitarnych i in. wymusiło przyśpie-

szenie nowych zastosowań informatyki i jej zaawansowanych narzędzi. W latach siedemdziesiątych powstał niezwykle wydajny i znaczący system geograficznej informacji–GIS, a następnie także inne, pochodne, jak np. system informacji o środowisku. Możliwości, jakie stworzył GIS w zakresie gromadzenia danych, a także ich przetwarzania i kartograficznego prezentowania, wymagają uruchomienia olbrzymiego potencjału badawczego i stałego doskonalenia systemu, ułatwiają też integrację przedstawicieli nauk geologicznych i geograficznych z geodetami, a nawet specjalistami w zakresie ekologii środowiska, planowania przestrzennego, nauk rolniczo-leśnych i in. W tym środowisku użytkowników GIS powstała propozycja użycia terminu „geoinformatyka” jako synonimu „nauki o geograficznej informacji”. W roku 1997 utworzono w wydawnictwie Klugera międzynarodowy kwartalnik pn. „GeoInformatica”, poświęcony postępom informatyki w systemach geograficznej informacji.

Dla bardzo szerokiego grona użytkowników technologii informacji przestrzennej, z nastawieniem przede wszystkim na pracowników służb mierniczych i użyteczności publicznej, agencji kartograficznych, telekomunikacyjnych i transportowych, samorządów i urzędów planowania rozpoczęto wydawać w 1998 roku w Holandii międzynarodowy branżowy magazyn informacyjny (ukazuje się 8 razy w roku) pt „GeoInformatics”. Jak widać, reprezentuje on inny zakres tematyczny niż bliźniaczy w nazwie japoński kwartalnik.

O międzynarodowej naukowej wadze problematyki geoinformatycznej świadczy powołanie w ramach Międzynarodowej Unii Nauk Geologicznych (IUGS) – Komisji ds. Zarządzania i Zastosowania Informacji w Geonauce–CoGeoInfo (Commision of the Management and Application of Geoscience Information). Jednym z zadań Komisji jest pomoc w powszechnym zastosowaniu technologii informatycznych do gromadzenia, interpretacji i przedstawiania informacji dotyczących nauk o Ziemi, włącznie z geodezją. W tym zakresie działalność Komisji pokrywa się z przedmiotem badań geoinformatyki.

W ostatnich latach również w szeregu państw europejskich doceniono znaczenie geoinformatyki i na kilku uniwersytetach i w instytutach naukowych powstały silne centra naukowe rozwijające ten kierunek badawczy (Münster, Wiedeń, Enschede, Stockholm).

Jak z powyższego omówienia widać, zakres znaczeniowy terminu geoinformatyka nie został wystarczająco precyzyjnie i ostatecznie ustalony. Celem uniknięcia nieporozumień celowe wydaje się wstępne zdefiniowanie geoinformatyki, uwzględniające wszystkie dotychczasowe formy użytkowania tej nazwy i istotę samego kierunku badawczego.

Najogólniej mówiąc, geoinformatyka to nauka o sposobach gromadzenia, przechowywania, przetwarzania, analizowania i przedstawiania danych, zdefiniowanych w ziemskiej czasoprzestrzeni, przy wykorzystaniu odpowiedniej technologii informatycznej. Idzie przy tym o informacje o wymiarach i kształcie Ziemi oraz o informacje o obiektach, zjawiskach i procesach zachodzących na powierzchni Ziemi, jak i w litosferze. Przedmiotem badań może być środowisko fizyczne i jego właściwości, bądź zasoby naturalne czy antropogeniczne, jak i zachodzące w nich zmiany. Gromadzenie tego rodzaju informacji właściwe jest wszystkim naukom o Ziemi, łącznie z geodezją, oraz naukom górniczym i o ochronie środowiska, a także naukom zajmującym się niegeologicznymi obiektami na powierzchni Ziemi.

Z uwagi na swoją powszechność szczególną rolę spełniają informacje o składowej geograficznej, ujęte w rozmaite systemy, z których GIS stał się jednym z kluczowych (ale nie jedynym) narzędzi geoinformatyki. W przeciwieństwie jednak do niektórych wspomnianych tendencji, zawężających znaczenie terminu, przez geoinformatykę należy rozumieć wszelkie aplikacje informatyki (jej teorii, metod i technik) do danych zdefiniowanych przestrzennie, niekoniecznie z uwzględnieniem GIS-u.

Z drugiej strony nie wydaje się słuszne, na obecnym etapie rozwoju nauki, włączenie całej problematyki geomatematycznej w zakres geoinformatyki.

Początki geoinformatyki w Polsce

Problematyka geoinformatyczna pojawiła się dość wcześnie na III (międzynarodowym) Sympozjum „Zastosowanie Metod Matematycznych w Geologii”, które odbyło się w styczniu 1974 roku w Krakowie. Sympozja te, organizowane co 1-2 lata przez Zakład Geologii Ogólnej i Matematycznej AGH i Sekcję Geologii

Matematycznej Pol. Tow. Geologicznego, od roku 1976 przybrały nową nazwę „Zastosowania Metod Matematycznych i Informatyki w Geologii” (ostatnie, XX odbyło się w 1997 roku). Warto uzupełnić, iż na sympozjach tych pojawiały się też referaty związane z zastosowaniem informatyki w górnictwie. W latach osiemdziesiątych organizatorzy Sympozjum parokrotnie czynili starania o uruchomienie nowej serii Zeszytów Naukowych AGH pn. „Geomatematyka, geostatystyka, geoinformatyka”. Niestety, mimo przychylności Władz AGH, ostatecznie serii nie udało się powołać do życia.

Geodezja i fotogrametria zajmują się problematyką tworzenia systemów informacji o terenie, a więc problematyką, w której procesy przetwarzania informacji zawsze odgrywały rolę dominującą. Trudno się więc dziwić, że już w 1959 roku odbyło się w Krakowie sympozjum międzynarodowej grupy studiów „Obliczenia geodezyjne”, działającej w ramach międzynarodowej Asocjacji Geodezyjnej. W ramach tego sympozjum po raz pierwszy dyskutowano w AGH przydatność właśnie zbudowanych w Polsce komputerów PARC dla potrzeb geodezji. Na Wydziale Geodezji Górniczej AGH w 1963 roku zainstalowano pierwszą maszynę cyfrową UMC10 i w ślad za tym wprowadzono przedmiot „Elektroniczna technika obliczeniowa”. Od 1971 roku prowadzone są w Polsce prace nad komputerowym systemem informatycznym TEREN, a w 1974 roku powstała w AGH na Wydziale Geodezji Górniczej i Przemysłowej nowa jednostka naukowo-dydaktyczna: „Zakład Informatyki Geodezyjno-Kartograficznej” pod kierunkiem Profesora Michała Odlanickiego-Poczobutta. Od 1994 roku inny zakład AGH został przemianowany na Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej.

Prócz posiadania wspomnianej tradycji, Kraków znajduje się w uprzywilejowanej sytuacji, gdyż skupia wielu przedstawicieli dyscyplin geoinformatycznych. Tu zrodziła się w sposób naturalny potrzeba wspólnego dyskusowania problemów, pojawiających się przy stosowaniu metod informatycznych w szeroko pojętych naukach o Ziemi. Możliwą formą organizacyjną okazało się powołanie Komisji Geoinformatyki przy Wydziale IV Przyrodniczym PAU.

W roku 1998, z inicjatywy podpisanego, powiodło się zorganizowanie zespołu złożonego z geologów, geofizyków, geodetów, górników i informatyków (w najbliższym czasie przewidziane jest poszerzenie zespołu o geografów). Komisja Geoinformatyki została zatwierdzona przez Wydział IV PAU z końcem 1998 roku i zaakceptowana przez Zarząd Akademii. W styczniu 1999 został wyłoniony Komitet Administracyjny i Komisja rozpoczęła działalność (patrz Kronika). Komisja postanowiła wydawać swoje prace pod nazwą ułatwiającą profesjonalnym czytelnikom szybkie odnalezienie tytułu wydawnictwa o poszukiwanym profilu, z drugiej strony odróżniającą je od już ukazujących się i omówionych wyżej tytułów: „Geoinformatica” i „GeoInformatica”.

Życzymy przyjemnej lektury i gorąco zachęcamy do współpracy.

Przewodniczący
Komisji Geoinformatyki PAU
Janusz KOTLARCZYK

Kraków, grudzień 1999

JÓZEF JACHIMSKI,^{*)} WŁADYSŁAW MIERZWA,^{*)}
STANISŁAW MULARZ,^{*)} KRYSZTOF PYKA,^{*)}

CYFROWA FOTOGRAMETRIA I TELEDETEKCJA W POLSCE

Słowa kluczowe:

fotogrametria cyfrowa, teledetekcja, Polska

Abstrakt

Tradycje fotogrametryczne sięgają w Polsce okresu pierwszej wojny światowej. Doświadczenia badawcze i technologiczne dotyczące metod fotogrametrii analogowej i analitycznej oraz fotointerpretacji zaowocowały łatwością przejścia do metod cyfrowych w ostatniej dekadzie bieżącego stulecia. Przejście to było tym łatwiejsze, że wiele cyfrowych rozwiązań technologicznych powstawało, w wyniku badań prowadzonych w Polsce, równoległe do rozwiązań światowych. Należą do nich opracowanie: cyfrowego autografu VSD oraz programu do wytwarzania cyfrowych ortofotogramów ze zdjęć lotniczych. Do pionierskich fotogrametrycznych zastosowań komercyjnych pakietów należy zaliczyć ortofotomapy cyfrowe, szczególnie te, które opracowano dla terenu Krakowa i Warszawy, przy wykorzystaniu równocześnie obrazów lotniczych i satelitarnych. Metody cyfrowe przyspieszyły też rozwój specjalnych opracowań fotogrametrii bliskiego zasięgu, szczególnie dokumentacji obiektów zabytkowych. Również teledetekcja lotnicza i satelitarna, cyfrowa ze swej natury, ma znaczne osiągnięcia: zastosowanie termowizji do badania termicznego zanieczyszczenia rzek, lub badanie warunków mikroklimatycznych w aglomeracjach miejsko-przemysłowych, badanie stanów powodziowych rzek szacowania plonów i zbiorów pasz z trwałych użytków zielonych oraz szacowanie wilgotności gruntu na podstawie zobrażeń satelitarnych. Do niewątpliwych osiągnięć należy też opracowanie cyfrowej mapy użytkowania ziemi w Polsce, cyfrowej satelitarnej fotomapy Polski i wydanie atlasu zdjęć satelitarnych Polski. Teledetekcja naziemna (termowizja) ma osiągnięcia w badaniu stanu zwałowisk lub obiektów przemysłowych i w badaniu strat ciepła w budynkach mieszkalnych.

Klamrą spinającą różne zastosowania fotogrametrii i teledetekcji są systemy informacji przestrzennej o środowisku, które znajdują zastosowanie nie tylko jako nośnik półproduktów i produktów końcowych opracowań zdalnych, ale służą również do przeprowadzania coraz bardziej złożonych analiz. Dzięki upowszechnianiu się systemów GIS, geoinformatyka staje się w Polsce metodą uniwersalnego wykorzystywania kompleksowej informacji o środowisku, gromadzonej przez różnych specjalistów, w znacznym stopniu metodami fotogrametrii i teledetekcji.

^{*)} Akademia Górniczo-Hutnicza – Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Kraków

DIGITAL PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING IN POLAND

Key words:

digital photogrammetry, remote sensing, Poland

Abstract

The Polish tradition in photogrammetry began in the period of the First World War. Good experiences in the analog and analytical photogrammetry resulted in easy approach to digital methods in the last decade. Introduction of a digital photogrammetry was easy thanks to Polish research experiences and own developments, such as digital stereoplotter (VSD), and software for differential rectification of digital images. The pioneering were orthophotomaps, specially those of Cracow and Warsaw, produced with the use of combined aerial and satellite images. Digital methods influenced a rapid development of special applications of close range photogrammetry, specially those concerning documentation of historic monuments. Aerial and satellite remote sensing applications have also important achievements: investigation of a thermal water pollution in rivers, investigation of microclimates in the urban and industrial agglomerations, investigation of the river flood, evaluation of expected crops harvest and green food for animals, and assessment of ground moisture using satellite imagery. An important achievement it is the digital map of the land use in Poland and an atlas of satellite images of Poland. Terrestrial remote sensing has achievements in evaluation of the state of dumped deposits, or industrial objects, and in assessment of warm losses in the inhabited buildings.

Presently, the Spatial Information Systems comprise all the application of photogrammetry and RS, which not only are bearing the half-products and products of evaluation of the image content, but serve also for noticeably complicated analysis. Thanks to the GIS growing popularity, the geoinformatics in Poland became a method of universal use of complex information about the environment, gathered by various specialists, mostly employing photogrammetric and RS methods.

Wprowadzenie

Teledetekcja i fotogrametria – to dwie specjalności naukowe stawiające sobie za zadanie zbieranie jakościowej i ilościowej informacji o powierzchni Ziemi, jej zasobach naturalnych i stanie środowiska na podstawie obrazów terenu rejestrowanych w różnych zakresach fal elektromagnetycznych.

Zdalne, fotograficzne metody inwentaryzacji powierzchni Ziemi robiły światową karierę wraz z rozwojem lotnictwa na początku bieżącego stulecia (Piasecki 1973). Teledetekcja wzięła swój początek w działaniach zwiadu lotniczego (Sitek i in. 1997). Celem jej jest rejestracja i interpretacja treści obrazu lotniczego (lub satelitarnego), czyli odpowiedź na pytania: „co to jest?”, „czym w rzeczywistości jest obiekt zarejestrowany na zdjęciu?” Fotogrametria natomiast ma dać odpowiedź na pytanie: „jaki kształt i wymiary w naturze ma zarejestrowany obiekt?”, także na pytanie: „gdzie się ten obiekt znajduje,

jakie ma współrzędne?” – zajmuje się zatem przestrzenną strukturą i geometrią terenu. Pomimo wielu podobieństw te dwie gałęzie nauki o metodach odczytywania informacji z obrazów różni się podejściem teoretycznym do rozwiązywania zagadnień. Jeśli chodzi o problemy związane z tele-detekcją i interpretacją obrazów, niezbędne jest spojrzenie na interpretowany obraz z punktu widzenia jego treści merytorycznej, a więc z punktu widzenia przyrodnika, urbanisty, demografa czy nawet z punktu widzenia administratora i polityka. W przypadku natomiast rozwiązywania problemów fotogrametrycznych potrzebne jest spojrzenie na treść geometryczną opracowywanego obrazu, a więc podejście techniczne i informatyczne.

Zarówno fotogrametria jak i teledetekcja zajmują się zbieraniem informacji przestrzennej o terenie i, podobnie jak szereg innych specjalności naukowych,

służą współcześnie tworzonym Systemom Informacji Przestrzennej (SIP)*). Ta służba systemom odbywa się na zasadach wzajemności, bowiem fotogrametria i teledetekcja wprowadza do systemów i aktualizuje informacje przestrzenne, ale równocześnie czerpie z tych systemów informacje niezbędne w procesach technologicznych, np. informacje o kształcie powierzchni topograficznej, niezbędne do właściwego korygowania geometrii obrazów, lub informacje o sposobie wcześniejszego użytkowania terenu, niezbędne do prawidłowego przeprowadzania procesów klasyfikacji aktualnych treści niesionych przez obrazy.

Skomputeryzowane systemy informacji przestrzennej zawierać mogą (i powinny) pełny wachlarz informacji, od katastru własności – do stanu skażeń środowiska, poprzez wszelkie informacje przyrodnicze, demograficzne, urbanistyczne, gospodarcze, polityczne, administracyjne. Niezależnie od meritum, gdy informacja dotyczy określonego punktu lub obszaru czasoprzestrzeni, skomputeryzowane systemy SIP, LIS i GIS są niezwykle skutecznym narzędziem do jej przechowywania, porządkowania, przetwarzania i selektywnego udostępniania. Skomputeryzowany system nie tylko wyszukuje w krótkim czasie oczekiwane informacje w olbrzymich zbiorach (bazach danych), ale dodatkowo pozwala te bazy danych zapisywać w zminiaturyzowanej, łatwej do powielania i udostępniania formie, na coraz doskonalszych nośnikach magnetycznych i optycznych. Informacja przestrzenna, dotychczas ekskluzywna, staje się dzięki temu produktem masowego użycia, łatwym do wykorzystania przez dowolnego użytkownika.

Ogrom informacji zawartych w przestrzennych bazach danych pozostaje w jawnej sprzeczności z ograniczonymi możliwościami przyswajania tej informacji przez człowieka, który jest ogniwem najsłabszym w opartym prawie w całości na bardzo sprawnych komputerach informatycznym ciągu technologicznym. Dzięki jednak coraz doskonalszym sposobom ekranowej wizualizacji informacji zawartych w bazach danych, jej czytelność w skondensowanej formie obrazów, map

i wykresów staje się coraz lepsza, co sprzyja masowemu wykorzystywaniu systemów, nawet przez słabo przygotowanych użytkowników. Jednym z najbardziej sugestywnych sposobów przedstawiania informacji przestrzennej jest pokazanie tej informacji w rzucie ukośnym lub w rzucie perspektywicznym; powstający w ten sposób „obrazek ekranowy” nie jest sam w sobie łatwo mierzalny, ale znacząco przyspiesza percepcję prezentowanych treści. Pomiary na takim i na innych obrazach ekranowych polegają w nowoczesnych systemach na wskazywaniu na ekranie punktów, linii lub wybranych obszarów. Zaznaczone szczegóły są interpretowane przez system, stosownie do wymagań użytkownika, z wykorzystaniem zawartych w bazie danych ich współrzędnych przestrzennych, przypisanych im atrybutów oraz różnych, rastrowych i wektorowych, warstw tematycznych. W efekcie na oczekiwaniu udostępniane są użytkownikowi dodatkowe informacje, niepokazane na oglądanym rysunku ekranowym.

Tak więc systemy informacji o środowisku udostępniać mogą użytkownikom informacje w wielkiej różnorodności form, w tym w formie map tematycznych i fotomap. Mapy kreskowe mają bardzo długą i bogatą tradycję. Mapy papierowe (nazywane tak dla odróżnienia od wizualizowanych na ekranie komputera map wirtualnych) pełnią dwie funkcje. Dostarczają informacji jakościowej oraz przestrzennej. W przeciwieństwie do map wirtualnych, których wizualizacja w swobodnie dobranej kompozycji tematycznej przygotowywana może być prawie natychmiast, mapy papierowe wytworzone są w z góry zaplanowanej kompozycji, według przyjętego standardu. Użytkownik może jedynie zaakceptować lub odrzucić istniejącą mapę. Modyfikacja istniejącej mapy oznacza na ogół wytworzenie nowej mapy, co jest czasochłonne i kosztowne.

Wprowadzenie metod fotogrametrycznych do wytwarzania map kreskowych nie tylko zmniejszyło koszty procesu technologicznego i przyspieszyło go. Fotogrametria wprowadziła też nową formę mapy: mapę fotograficzną. Mapa fotograficzna jest to obraz fotograficzny terenu uzyskany z fotografii lotniczej (lub z obrazu satelitarnego), przedstawiony w rzucie ortogonalnym lub w dowolnym odwzorowaniu kartograficznym. Fotograficzny obraz terenu może być

*) W literaturze anglojęzycznej dominują określenia GIS (Geographic Information Systems) i LIS (Land Information Systems).

poddawany redakcji kartograficznej, zwiększającej jego czytelność (Rys. 1).

Dzisiaj „Fotogrametria i Teledetekcja oraz GIS” to dziedzina wiedzy o metodach zdalnego uzyskiwania, gromadzenia, porządkowania i selektywnego udostępniania informacji o powierzchni Ziemi, a także o zjawiskach i procesach na niej zachodzących, i o cechach warstw podpowierzchniowych. Współcześnie zdobywa się informacje zdalnie z pokładu samolotu lub satelity. Informacje te mają postać obrazów powierzchniowego rozkładu natężenia promieniowania elektromagnetycznego odbitego od powierzchni Ziemi lub promieniowania emitowanego przez przypowierzchniowe warstwy skorupy ziemskiej. Rejestrowane w coraz węższych przedziałach długości fal, przesyłane na Ziemię drogą radiową, cyfrowe obrazy wielospektralne dostarczają selektywnej informacji o szczególnych cechach gleby i roślinności, o ukształtowaniu powierzchni terenu, a także o rodzaju, wymiarach, kształcie sztucznych obiektów wzniesionych ludzką ręką. Łatwość i szybkość gromadzenia informacji ma dwa oblicza. Z jednej strony pozwala na prowadzenie wielotematycznego, kompleksowego monitoringu środowiska, a co za tym idzie - stwarza szansę na wystarczająco szybkie podejmowanie decyzji gospodarczych, organizacyjnych i politycznych, aby zapobiec rozprzestrzenianiu się zjawisk niekorzystnych dla życia ludzi oraz utrzymać glebę, powietrze i wodę w jak najlepszym stanie. Z drugiej jednak strony, taki wielotematyczny monitoring Ziemi oznacza konieczność ciągłego przyjmowania i analizowania olbrzymich ilości informacji, tysięcy wielospektralnych obrazów, które w postaci cyfrowej codziennie trafiają z pokładu satelitów do komputerów rozmieszczonych w naziemnych stacjach odbioru i przetwarzania danych. Do prac wymagających większej rozdzielczości przestrzennej (mapy wielkoskalowe), a więc i większej dokładności, używa się obrazów rejestrowanych na wielkoformatowej taśmie filmowej z pokładu samolotu, następnie skanowanych, aby przejść z analogowego zapisu informacji na postać cyfrową. Do prac inwentaryzacyjnych, wymagających bardzo wysokiej dokładności geometrycznej (np. inwentaryzacja zabytków, zastosowania przemysłowe lub medyczne),

stosuje się obrazy uzyskiwane ze stanowisk naziemnych, z wykorzystaniem kamer termofotogrametrycznych albo aparatów fotograficznych lub kamer cyfrowych, rejestrujących obrazy w barwach naturalnych lub obrazy wielospektralne, w tym także obrazy termalne badanego obiektu.

Masowe przetwarzanie informacji fotogrametrycznych i teledetekcyjnych stało się możliwe dzięki automatycznym technikom analizy obrazów cyfrowych. Autokorelacja obrazów obiektu występującego na różnych zobrazowaniach, automatyczne wykrywanie krawędzi (obiektów liniowych) na obrazach, automatyczne wykrywanie obiektów o predefiniowanych kształtach, komputerowa klasyfikacja treści obrazów wielospektralnych w celu określenia sposobu użytkowania Ziemi – to techniki umożliwiające rozwój systemów zdalnego monitoringu stanu środowiska.

Fotogrametria w Polsce

Analizując stan fotogrametrii cyfrowej w Polsce, nie sposób nie uwzględnić tła historycznego. Za początek polskiej fotogrametrii przyjmuje się umownie wczesne lata okresu międzywojennego (Gosiewski 1927; Piasecki 1930, 1932a; Piątkiewicz 1929; Wilczkiewicz 1925, 1930), przy czym pierwsze – teoretyczne i praktyczne – prace z zakresu fotogrametrii naziemnej miały miejsce jeszcze przed pierwszą wojną światową. Już od roku 1921 fotogrametria lotnicza znalazła zastosowanie w polskim wojsku. Wykorzystywano ją głównie do aktualizacji map topograficznych. Cywilna firma „Fotolot”, działająca w ramach przedsiębiorstwa PLL LOT, wykonywała lotnicze zdjęcia pomiarowe w latach 1930–1939 i opracowywała fotomapy oraz mapy sytuacyjno-wysokościowe (Piasecki 1973).

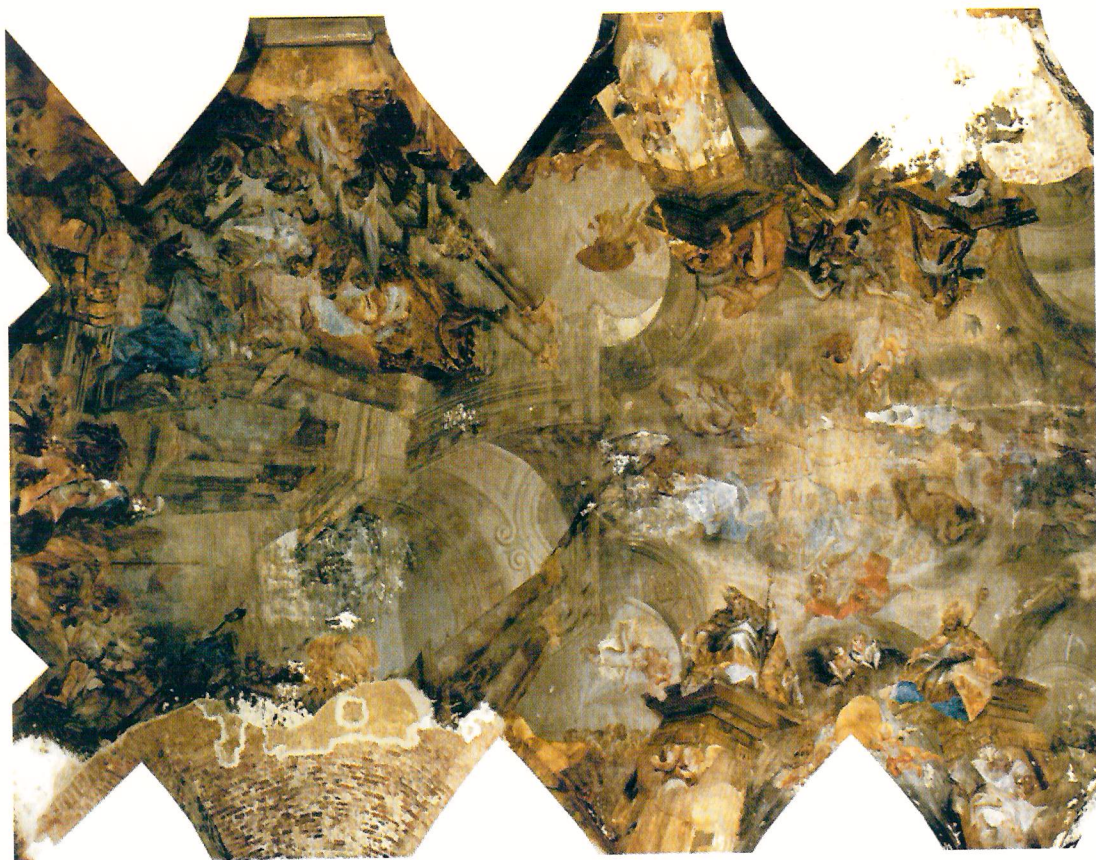
Od najwcześniejszych lat sięgano po nowatorskie technologie (Kłopotniński 1938; Wilczkiewicz 1932; Piasecki 1935).

Fotogrametria lotnicza znajdowała zastosowanie w pracach urbanistycznych (Piasecki 1932b; Wilczkiewicz 1934), przy opracowaniu planów regulacji rzek (Gryglaszewski 1931), przy klasyfikacji gruntów dla potrzeb podatkowych (Nowak 1935) oraz w pracach związanych z przebudową ustroju rolnego (Odlanicki-Poczobutt 1939).



Rys. 1. Mapa fotograficzna wykonana przez kompilację zdjęć lotniczego i obrazu satelitarnego—część zachodnia jest obrazem zarejestrowanym z satelity, z wysokości kilkuset kilometrów, część środkowa i wschodnia powstała z przetworzenia zdjęcia lotniczego, wykonanego z wysokości kilku kilometrów (strzałka wskazuje jedno z miejsc połączenia informacji satelitarnej i lotniczej)

Fig. 1. A photographic map compiled from aerial photos and satellite image. The left part was recorded by satellite from the altitude of several hundred of kilometers, while the middle and right parts come from aerial photos taken from the altitude of a few kilometers (arrow indicates a joint of the satellite and aerial images)



Rys. 2. Fotoplan rozwinięcia malowidła na sklepieniu – klasztor pocysterski w Lubiążu
Fig. 2. A photoplan of development of painting located on a vault. Library of Cistercian Abbey in Lubiąż

Fotogrametrię naziemną stosowano w pracach badawczych na Spitsbergenie (Zawadzki 1934), przy sporządzaniu mapy Tatr (Piątkiewicz 1929), a także w kryminologii (Piątkiewicz 1933).

Powojenna fotogrametria odrodziła się już w roku 1945. Pierwsze lata powojenne zaowocowały opracowaniem licznych fotoszkieł i fotoplanów (Piasecki 1951 a,b; Dmochowski 1952; Blachut 1948). W roku 1950 powstało Państwowe Przedsiębiorstwo Fotogrametrii, które pozostając pod nadzorem Ministerstwa Obrony Narodowej, przez wiele lat jako jedyne wykonywało zdjęcia lotnicze. W konsekwencji reorganizacji przeprowadzonej na początku lat siedemdziesiątych powstało Państwowe Przedsiębiorstwo Geodezyjno-Kartograficzne (PPGK) w Warszawie, które wchłonęło PPF (Linsbarth 1991).

Siłami PPGK oraz licznych przedsiębiorstw okręgowych opracowywano mapy topograficzne i gospodarcze według ujednoliconej dla całego kraju koncepcji. Ukazało się szereg prac badawczych, zmierzających do unowocześnienia technologii aerofotogrametrycznych (Bartoszewicz 1955; Blachut 1973; Bohonos, Bujakiewicz 1969, 1974; Butowtt 1974, 1964, 1965, 1967; Gaździcki 1973; Jachimski 1975, 1978, 1980; Linsbarth 1959, 1964, 1969; Majde 1969, 1975; Mierzwa 1974, 1984; Musiał 1979, 1986; Pawlak 1973; Pęczek 1969, 1975; Piasecki 1956, 1960a,b, 1978, 1980; Rymarowicz 1959; Sitek 1965a,b, 1966, 1967a,b, 1968, 1972, 1974, 1978, 1983; Świątkiewicz 1972).

W połowie lat siedemdziesiątych produkcja fotogrametryczna skupiała się na wykonywaniu map wielkoskalowych. W działach fotogrametrycznych kilku firm pracowało łącznie ponad tysiąc osób. Pojawiła się nowa technologia opracowywania map fotograficznych – ortofotografia. Ale pomimo osiągnięcia wysokiego poziomu produkcji, zwiększenia zatrudnienia i ogromnych nadziei wiązanych z ortofotomapami, pod koniec lat siedemdziesiątych rozpoczął się powolny regres. Kryzys gospodarczy i stan wojenny praktycznie zakończyły stosunkowo korzystny okres produkcji fotogrametrycznej w Polsce, a w końcu lat osiemdziesiątych nastąpiło całkowite załamanie się rynku fotogrametrycznego w zakresie opracowań lotniczych.

Nieprzerwany i bardzo dynamiczny jest rozwój metod fotogrametrii nietopograficznej, który w małym stopniu ograniczany był restrykcyjnymi przepisami o tajności zdjęć.

W rozwoju fotogrametrii jako techniki można wyróżnić trzy zasadnicze fazy: fotogrametrię analogową, analityczną i cyfrową. Właśnie jesteśmy świadkami prawdziwego odrodzenia fotogrametrii w Polsce, ale już w wariacie cyfrowym. Dotyczy to zarówno aspektów badawczych, jak i komercyjnych. Dodatkowo renesansowi fotogrametrii sprzyja lawinowy wzrost zainteresowania systemami informacji przestrzennej GIS/LIS. W ramach programu PHARE nr PL. 9206 pt. „Land Information System”, realizowanego w latach 1995–1998, wyodrębniono 15 zadań, w tym zadanie dotyczące wykonania kolorowych zdjęć lotniczych dla terenu całej Polski (Kurczyński 1997b) oraz zadanie dotyczące ogólnopolskich szkoleń w zakresie wykorzystania informacji zawartych na zdjęciach lotniczych. Programy te zostały zrealizowane. Pozostaje uzasadniona nadzieja, że wkrótce przyniosą pozytywne skutki.

Zdjęcia lotnicze w Polsce powojennej były materiałem trudno dostępnym i dlatego stopień ich wykorzystywania do celów gospodarczych był znikomy w stosunku do możliwości. Niemniej wykonano dziesiątki tysięcy zdjęć, z których znakomita większość znajduje się w zasobach Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Warszawie.

Nieustającym problemem, z którym boryka się fotogrametria i teledetekcja w Polsce, jest sprawa tajności obrazowań. Przepisy o tajności są zmienne, a fluktuacje natężenia restrykcji nie wydają się mieć związku z rzeczywistymi wymaganiami obronności kraju. Niestety, każde zaostrzenie przepisów o tajności zdjęć lotniczych odbija się niekorzystnie na gospodarczym wykorzystaniu produktów przetwarzania obrazów, a w konsekwencji przynosi niepowetowane straty materialne i społeczne. Głęboką nadzieję na urealnienie powszechnego dostępu do zdjęć lotniczych wiązać należy ze stale wzrastającą rozdzielczością materiałów satelitarnych. Prywatne firmy amerykańskie zapowiadają komercyjne udostępnianie wielospektralnych obrazów powierzchni Ziemi o wymiarach piksela, w terenie nie przekraczających jednego metra (Kurczyński 1997a; Sitek 1997). Powszechna

dostępność takich materiałów poza granicami naszego kraju unaocznili zapewne decydentom bezsens restrykcji nakładanych na użytkowników materiałów fotograficznych i teledetekcyjnych w Polsce.

Pojęcie FOTOGRAMETRIA oznacza dziedzinę techniki zajmującą się uzyskiwaniem wiarygodnych informacji o obiektach i ich otoczeniu przez rejestrację, pomiar i interpretację obrazów. Pierwotnie do rejestracji obrazów wykorzystywano wyłącznie technikę fotograficzną. Obecnie stosowane są także inne metody zapisu obrazów, ale fotografia – jako nośnik informacji – jest w pewnych zastosowaniach wciąż niezastąpiona. Przykładem są fotograficzne zdjęcia lotnicze wykonywane dla celów pomiarowych. Natomiast samo opracowanie fotograficzne, czyli odczytywanie treści zdjęcia i pomiar przestrzenny – coraz częściej realizowane są w technologii cyfrowej.

Pierwszym ogniwem opracowań fotograficznych jest zawsze kamera. Specyfika kamery fotograficznej polega na zastosowaniu rozwiązań gwarantujących – z najwyższą możliwą dokładnością – precyzyjne zrealizowanie rzutu środkowego. Niemożliwe jest jednak całkowite wyeliminowanie zakłóceń rzutu środkowego, spowodowanych dystorsją obiektywu oraz deformacjami materiału negatywowego czy refrakcją atmosferycznej. Ich minimalizacja lub ewentualnie dokładna znajomość charakteru wpływu przyczynia się do zwiększenia dokładności opracowań fotograficznych.

Ostrość zdjęć lotniczych przez kilka dziesięcioleci limitowana była błędami rozmazania obrazu, wywołanymi ruchem postępowym i kołysaniem samolotu (wraz z kamerą) w trakcie naświetlania filmu. Dopiero przed kilku laty wprowadzono kamery wyposażone w tzw. kompensator rozmazania, który powodując w kamerze przesunięcie materiału fotograficznego o wektor równy drodze obrazu spowodowanej ruchem samolotu, gwarantuje ostre odwzorowanie punktowych szczegółów terenowych. Wpływ kołysania samolotu w znacznej mierze kompensują żyroskopowe stabilizatory.

W Polsce stosowane były głównie kamery lotnicze szwajcarskiej firmy Wild. Aby wykonać zdjęcia lotnicze w ramach programu PHARE, stosowano kamery najnowszej generacji, wyposażone w mechanizm przeciwdziałający rozmazaniu obrazu powstającego

wskutek ruchu samolotu w czasie naświetlania filmu. (Kurczyński 1997a).

Próby zastąpienia emulsji fotograficznej przez system elektronicznych czujników CCD wciąż nie są w pełni zadowalające, aczkolwiek obserwuje się stały postęp w zakresie kamer cyfrowych. Już dzisiaj są one przydatne w opracowaniach architektonicznych i w tzw. fotogrametrii bliskiego zasięgu (Boroń 1998).

Kolejnym zadaniem fotogrametrii jest określenie pozycji kamery fotograficznej, odpowiadające momentowi rejestracji zdjęcia. Parametry pozwalające na umiejscowienie zrekonstruowanej wiązki w przestrzeni nazywają się elementami orientacji zewnętrznej zdjęcia. Należy się spodziewać, że już wkrótce elementy orientacji zewnętrznej zdjęcia będą z wystarczającą dokładnością rejestrowane podczas nalotu fotograficznego (Preuss 1997). Stosuje się też automatyczną nawigację z wykorzystaniem GPS^{*)}, która umożliwi wykonywanie tzw. zdjęć celowanych, często projektowanych tak, aby jedno zdjęcie pokrywało obszar terenu odwzorowywany na jednym arkuszu mapy. Ale do dzisiaj, pomimo rozwoju techniki GPS, aktualnym zadaniem fotogrametrii jest odtworzenie elementów orientacji w procesie zwanym aerotriangulacją (Ziobro 1997).

W latach siedemdziesiątych stosowano kilka krajowych rozwiązań w zakresie aerotriangulacji. Ich specyfika polegała na wykorzystaniu pomiarowego instrumentarium produkcyjnego (głównie autografów analogowych i analitycznych) oraz dostępnych wówczas komputerów. Rozwiązania te straciły na znaczeniu w momencie przełomu technologicznego, w wyniku którego fotogrametrię prawie w całości – poza samą rejestracją zdjęć – zdominowały metody cyfrowe. Obecnie wykorzystywane są programy dostarczane przez producentów „cyfrowych kombajnów fotograficznych”, określanych jako fotograficzne stacje robocze (Kaczyński, Ziobro 1998; Kaczyński 1999).

Przez dziesiątki lat nazywano fotogrametrię „sztuką unikania obliczeń”. Szereg niezwykle pomysłowych wynalazków umożliwił realizację analogowych technologii opracowania map

^{*)} GPS (Global Positioning System) - satelitarny system określania położenia w skali globu.

kreskowych i map fotograficznych na podstawie zdjęć lotniczych. Powstały niezwykle precyzyjne autografy analogowe, oparte na zasadzie podwójnej projekcji mechanicznej, które po wprowadzeniu automatycznej (komputerowej) rejestracji współrzędnych bywają do dnia dzisiejszego wykorzystywane w wielu pracowniach. Już w początkach ery komputerów zbudowano jednak autograf analityczny, w którym podstawowe zadanie fotogrametryczne, polegające na określeniu relacji przestrzennych między obrazem i terenem, rozwiązywano w komputerze przez obliczenia, a jedynie podzespół do pomiaru i obserwacji zdjęć miał rozwiązanie optyczno-mechaniczno-elektryczne. W tym czasie powstały również różniczkowe przetworniki pasmowe, w których zastosowano hybrydowe, częściowo analogowe, a częściowo analityczno-komputerowe metody umożliwiające zmianę geometrii zdjęć.

Osiągnięcia w zakresie teorii metod analitycznych i analogowo-komputerowych konstrukcji sprzętowych nie były jednak ostatnim słowem na drodze wprzęgnięcia komputerów do rozwiązywania zadań fotogrametrycznych. Krokiem milowym w tym rozwoju stało się wprowadzenie obrazów cyfrowych. Niezwykle płodny w procedury automatyzacyjne rozwój ery obrazów cyfrowych nabrał dynamiki pod koniec lat osiem-dziesiątych, kiedy to komputery o dużej szybkości obliczeniowej i dużej pamięci stawały się coraz łatwiej dostępnym osobistym wyposażeniem naukowców i laboratoriów produkcyjnych.

Kluczem do odtworzenia rzeczywistych kształtów zobrazowanych obiektów jest uzyskanie przestrzennego modelu terenu (obiektu). Pozwala na to odpowiednio zarejestrowana para zdjęć (stereogram), wykonanych z różnych punktów przestrzeni. Opracowanie zdjęć z wykorzystaniem sztucznego efektu stereoskopowego jest możliwe na autografach analogowych i analitycznych. Wśród instrumentów analogowych stosowanych w Polsce najbardziej rozpowszechnione były autografy szwajcarskiej firmy Wild – A8, A10 oraz firmy Zeiss -Jena z serii Topocart. Autografy analogowe zostały wyparte przez analityczne, w których rekonstrukcja wiązek zdjęć i ich orientacja dokonywana jest analitycznie. Instrumenty te, ze względu na cenę, pojawiły się w kraju zaledwie w kilku egzemplarzach

(w tym PS1 i P3 Zeiss (Jachimski 1996)). Obecnie używa się coraz częściej autografów cyfrowych operujących obrazami cyfrowymi, powstałymi przez zeskanowanie oryginalnych zdjęć albo uzyskanymi ze skanerów lub kamer cyfrowych (Ewiak 1998).

Powstały autografy cyfrowe, które umożliwiają pomiar stereoskopowego modelu terenu przez rejestrowanie punktów wskazywanych przez operatora kursorem. Cursor ten porusza się po ekranie na tle dwóch obrazów cyfrowych stanowiących parę stereoskopową. Pomiar polega na identyfikacji pikseli, których położenie na obrazie jest określone numerem odpowiedniego wiersza i kolumny matrycy obrazowej. Tak więc czynność pomiarowa nie zawiera w sobie operacji mierzenia, a co za tym idzie – nie może być obciążona innymi błędami niż błędy identyfikacji pikseli. Fakt ten powoduje, że autografy cyfrowe mogą pracować z bardzo dobrym rezultatem nawet na monitorach średniej jakości, a to sprzyja popularyzacji metod fotogrametrycznych wśród szerokiego grona odbiorców.

Metody fotogrametrii cyfrowej są coraz bogatsze w procedury automatyzujące proces opracowania. Do takich procedur należy np. procedura autokorelacji, która pozwala odnaleźć obraz tego samego przedmiotu na różnych obrazach (Zieliński 1998). Do ważnych procedur automatyzujących opracowanie należy też procedura pozwalająca na określenie z subpikselową dokładnością położenia krawędzi, która rozgranicza na obrazie dwa pola o różnej jasności (Jachimski, Mikrut 1998). Procedury te są ważnym krokiem do automatyzacji wektoryzacji treści obrazów.

Bardzo ciekawą propozycją jest względnie prosty autograf cyfrowy, wykorzystujący komputer PC i stereoskop zwierciadlany, skonstruowany w Zakładzie Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH (Jachimski, Zieliński 1992). Wśród stacji fotogrametrycznych pozwalających na wykonanie wszystkich etapów opracowania fotogrametrycznego w naszym kraju dominują urządzenia firmy Intergraph. Inne firmy jak, Leica/Helava, I²S, Erdas są reprezentowane w Polsce przez pojedyncze egzemplarze.

Wykorzystanie efektu stereoskopowego to jedna z charakterystycznych cech metod fotogrametrycznych. W autografach cyfrowych stereopercepcja realizowana jest poprzez wyświetlenie na jednym monitorze dwóch

obrazów tworzących stereogram i taką separację obrazów, aby tylko jeden z nich docierał do lewego, a drugi do prawego oka obserwatora. Autograf VSD-AGH wyświetla na połówkach ekranu odpowiednie obrazy, które są obserwowane z wykorzystaniem stereoskopu zwierciadlanego. Inna metoda, tzw. metoda z podziałem czasu, polega na wyświetlaniu na jednym monitorze na przemian, z częstotliwością co najmniej 85 Hz, dwóch obrazów (przeplot), na które obserwator patrzy przez specjalne okulary z tzw. aktywnymi przesłonami ciekłokrystalicznymi. System taki nazywany jest „*crystal eyes*” i stosowany jest w systemie fotogrametrycznym Image Station firmy Intergraph. Firma Wild-Leica w swoim autografie cyfrowym stosuje rozwiązanie polegające na umieszczeniu przed ekranem monitora filtra polaryzacyjnego, w którym polaryzacja z poziomej na pionową zmienia się z taką samą częstotliwością, z jaką na zmianę wyświetlane są obrazy lewy i prawy. Zaletą takiego rozwiązania jest możliwość równoczesnego oglądania modelu stereoskopowego przez kilka osób, z których każda musi być wyposażona w okulary z filtrami polaryzacyjnymi.

Szczególne miejsce wśród opracowań fotogrametrycznych zajmuje ortofotografia, czyli metoda wytwarzania map fotograficznych na drodze przetwarzania małych, wręcz „różniczkowych” fragmentów zdjęcia. Pierwsze polskie ortofotomapy powstały w roku 1973 w Zakładzie Fotogrametrii AGH. O ile ortofotomapa opracowywana analogowo była, w stosunku do zdjęcia oryginalnego łatwo rozpoznawalna, m.in. przez znacznie gorszą ostrość obrazu, to dzisiejsze produkty przetwarzania geometrycznego pod względem jakości nie ustępują wiele oryginałom. Pierwszy polski program do wykonywania ortofotografii przez różniczkowe przetwarzanie obrazów cyfrowych zaprezentowano na Kongresie w Kyoto (Jachimski, Mierzwa, Pyka, Boroń, Zieliński 1988).

Metoda ortorektyfikacji cyfrowej operuje pikselem. Przetwarzanie zdjęcia, czyli ortorektyfikacja, dokonuje się poprzez korekcję geometryczną (położenie) i radiometryczną (reprezentacja jasności) każdego piksela. Względnie mały wymiar piksela – rzędu kilku, kilkunastu bądź kilkudziesięciu mikrometrów sprawia, że w porównaniu z wymiarami zdjęcia rzędu 23 cm, a więc 230 000 mikrometrów, jest to faktycznie

różniczkowe przełożenie. Do różniczkowego przetworzenia zdjęcia lotniczego niezbędny jest numeryczny model powierzchni topograficznej terenu (ang. DTM – Digital Terrain Model), parametry charakteryzujące położenie zdjęcia w stosunku do terenowego układu współrzędnych oraz parametry charakteryzujące odwzorowanie, w którym sporządzana jest ortofotomapa. Numeryczny model powierzchni topograficznej uzyskać można w sposób prawie automatyczny ze zdjęć lotniczych, a parametry charakteryzujące orientację zdjęć mogą być obliczone w procesie aerotriangulacji. Aerotriangulacja wykonywana na obrazach cyfrowych może być realizowana na cyfrowych stacjach fotogrametrycznych w pełni automatycznej procedurze. Ręczny pomiar na zdjęciach zastępowany jest odpowiednimi procedurami autokorelacji obrazów. W Polsce kilka instytucji naukowych i przedsiębiorstw opanowało technologię aerotriangulacji cyfrowej i stosuje ją na skalę produkcyjną (Kaczyński 1997a, Kaczyński 1997c, Florek i in. 1997).

Prawie pełne pokrycie obszaru Polski zdjęciami PHARE oraz nowe metody ich cyfrowego przetwarzania umożliwiły wykonanie w ostatnich latach znacznej (ale wciąż zbyt małej) ilości ortofotomap, zwłaszcza w skalach 1:5 000 i 1:10 000.

Fotogrametria cyfrowa umożliwiła również rozwój fotogrametrii bliskiego zasięgu. Do wykonywania zdjęć coraz częściej wykorzystywane są kamery niometryczne lub semimetryczne. Uwzględniając dorobek fotogrametrii analitycznej, sformułowano metody opracowania zdjęć niometrycznych o dowolnych konfiguracjach z uwzględnieniem samokalibracji i metody DLT (Direct Linear Transformation). W związku z tym samo wykonanie zdjęć obiektu w terenie powierzyć można nie tylko fotogrametrom. Natomiast opracowanie kameralne zdjęć, wymagające specjalistycznej wiedzy, realizowane jest jednak przez fotogrametrów wykorzystujących skomplikowany aparat analityczny. Sam pomiar zdjęć, w którym istotny jest element interpretacji cech obiektu lub zjawiska, powierzany jest na ogół specjalistom z odpowiednich dziedzin (np. konserwator dzieł sztuki, lekarz).

Kamery cyfrowe, coraz powszechniejsze na rynku, umożliwiają jednakże wykonanie zdjęć o jakości porównywalnej do jakości zdjęć uzyskanych techniką

fotograficzną jedynie na bliskie odległości (max. 6–8m), (Boroń 1998; Gąsior 1998), natomiast przy fotografowaniu na większe odległości stosuje się nadal klasyczną technikę wykonywania zdjęć kamerami fotogrametrycznymi na materiałach fotograficznych (na ogół klisze światłoczułe), które następnie się skanuje i poddaje dalszej obróbce cyfrowej (Boroń 1994).

Istotną zaletą kamer cyfrowych, stanowiącą przełom w zakresie dotychczasowych zastosowań, jest możliwość uzyskania zdjęcia prawie natychmiast, bez potrzeby jego obróbki laboratoryjnej, jak to było dotychczas, gdy rejestrowano obraz na materiałach światłoczułych. Podstawowym przyrządem do opracowania zdjęć stał się komputer, który w wersji portatywnej (lab-top) można zabrać w teren i dzięki temu całość procesu opracowania – wraz z uzyskaniem wyników końcowych zrealizować – można w warunkach polowych. Sprzyja to rozwojowi fotogrametrycznych systemów eksperckich, działających prawie w czasie rzeczywistym. Umożliwia to zwiększenie pól zastosowań fotogrametrii bliskiego zasięgu o takie zagadnienia, jak: pomiary inżynierskie, diagnostyka w medycynie, inwentaryzacja zabytków itp. (Jachimski 1997; Boroń, Jachimski 1998; Boroń, Wróbel 1998; Borowiec, Tokarczyk 1998; Gołka, Haliński 1997; Jachimski, Zieliński 1997; Jachimski, Mierzwa 1998).

Zastosowanie obrazów cyfrowych umożliwiło realizację zadań niemożliwych do wykonania wówczas, gdy dysponowano jedynie technikami fotogrametrii analogowej czy analitycznej, np. sporządzenie ortofotoplanów rozwinięć malowideł (Rys. 2), zlokalizowanych na rozwijalnych i nierozwijalnych powierzchniach sklepień w obiektach zabytkowych (Jachimski 1998).

Jedynie fotogrametria cyfrowa umożliwiła zastosowanie do przekształcenia obrazów transformacji typu „rubber sheet”.

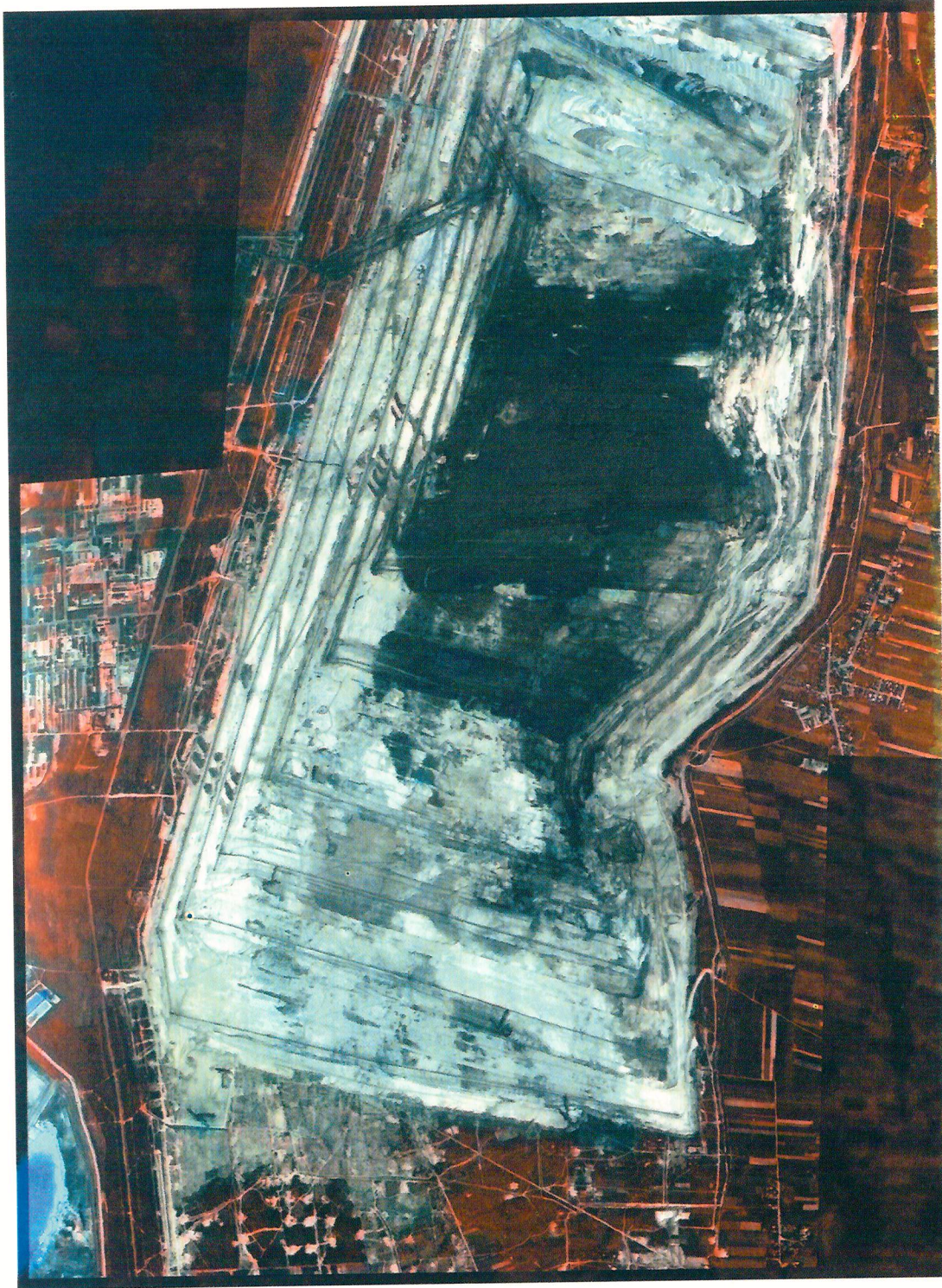
Fotointerpretacja i teledetekcja

Wprowadzony 23 lipca 1972 roku na orbitę wokółziemską pierwszy amerykański satelita serii LANDSAT rozpoczął erę cywilnej teledetekcji satelitarnej. Fakt ten dał również impuls do znaczącego rozwoju teledetekcji w Polsce od połowy lat siedemdziesiątych.

Już bowiem pierwsze obrazy powierzchni Ziemi, uzyskane jeszcze w tzw. fazie przedoperacyjnej tego systemu*, ujawniły ich ogromny potencjał informacyjny, tak w zakresie prowadzenia wielokierunkowych, interdyscyplinarnych badań, jak i aplikacji w różnych dziedzinach. Cykliczność rejestracji oraz niemal jednoczesne odwzorowanie dużych obszarów, w pasie o szerokości 185 km, stwarzały możliwość badania wielkopowierzchniowych zjawisk i procesów, zarówno przyrodniczych jak i antropogenicznych (np. śledzenie fali powodziowej, pożary kompleksów leśnych, propagacja zanieczyszczeń pyłowych w powietrzu atmosferycznym, zwłaszcza w rejonach dużych aglomeracji miejsko-przemysłowych, inwentaryzacja stanu i struktury upraw itp.). Dane satelitarne oprócz cech poznawczych i atrakcyjności merytorycznej miały w owym czasie dla naukowców i praktyków w Polsce jeden niezwykle ważki walor, a mianowicie były ogólnodostępne. W odróżnieniu od zdjęć lotniczych, które z definicji podlegały rygorowi przepisów o tajności, dystrybucja i korzystanie z danych satelitarnych odbywały się wówczas bez tych ograniczeń. Również ograniczony dostęp do specjalistycznych, komputerowych systemów przetwarzania obrazów cyfrowych nie stanowił istotnej przeszkody w upowszechnianiu danych satelitarnych w początkowym okresie. Bowiem wiele problemów badawczych, jak również zagadnień o charakterze aplikacyjnym, można było z powodzeniem rozwiązać w oparciu o analogową postać zobrazowań.

Oprócz zapisu cyfrowego na taśmie CCT (Computer Compatible Tape), który dzisiaj wydaje się nośnikiem niezwykle archaicznym, potencjalny użytkownik mógł zakupić wizualizację fotograficzną skorygowanych geometrycznie obrazów, bądź w postaci czarno-białych wycią-

* Satelita nosił wówczas nazwę ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite), która bardziej precyzyjnie określała przeznaczenie systemu jako technologii satelitarnej służącej do badania szeroko rozumianych zasobów Ziemi. Nazwa LANDSAT, która pojawiła się już w fazie operacyjnej, oznaczała system satelitarne przeznaczone do badania obszarów lądowych naszego globu w nawiązaniu do planowanego już wówczas komplementarnego systemu SEASAT, który miał służyć przede wszystkim do monitorowania akwenów morskich i oceanicznych.



Rys. 4. Przykład integracji wg formuły IHS (*Intensity, Hue, Saturation*) wielospektralnego obrazu satelitarnego systemu LANDSAT TM oraz zdjęcia lotniczego wykonanego w skali 1: 26 000. Treść tematyczna kompozycji barwnej, złożonej z kanałów (TM 2), czerwonego (TM 3) oraz infraczerwonego (TM 4), o rozdzielczości przestrzennej 30 metrów, została wzmocniona 2-metrową rozdzielczością przestrzenną zdjęcia lotniczego. (*Fragment odkrywki Kopalni Węgla Brunatnego „Belchatów”*)

Fig. 4. An example of merging of multispectral Landsat TM satellite imagery and aerial photos in scale 1: 26 000 using IHS formula. The thematic content of colour composite (displayed in RGB: red TM 4, blue TM 2 channels respectively) with ground resolution of 30 m was enhanced by digital aerial photos of 2 m resolution. Apart of the lignite open cast mine „Belchatów”

malnego zanieczyszczenia rzek (Ciołkosz 1975) oraz będąca ich rozwinięciem technologia monitoringu termalnego cieków powierzchniowych. Opracowanie nagrodzone w 1976 roku nagrodą Ministra Nauki, Szkolnictwa Wyższego i Techniki stanowiło efekt współpracy między Instytutem Geodezji i Kartografii, Wojskową Akademią Techniczną, Instytutem Meteorologii i Gospodarki Wodnej oraz „Energoprojektem” (Kryński, Ney 1995). Kolejnym i niezwykle interesującym, z metodycznego i poznawczego punktu widzenia, zastosowaniem termalnych obrazowań z pułapu lotniczego są badania warunków mikroklimatycznych w rejonach dużych aglomeracji miejsko-przemysłowych (Bychawski, Ciołkosz 1977; Ciołkosz, Halemba 1978) oraz prace o charakterze podstawowym, w tym m.in. o wpływie struktury obiektów na ich odwzorowanie termalne (Rudowski 1980).

Termowizja i obrazowania termalne skanerowe są również z powodzeniem wykorzystywane do badania obiektów, urządzeń i zwałowisk przemysłowych (Rys. 3), (Gocał, 1984; Gocał i in. 1985; Tokarczyk 1987), monitorowania zmian termiki gruntu w rejonach złóż siarki, eksploatowanych otworową metodą podziemnego wytopienia (Ciołkosz, Mularz 1977), detekcji zmian warunków gruntowo-wodnych skarp w kopalniach odkrywkowych (Mularz i in. 1984; Mularz 1985) oraz w obrębie zboczy naturalnych (Mularz 1989).

Przykładem kompleksowych studiów z wykorzystaniem wielopoziomowego modelu zdalnych rejestracji są badania i prace wdrożeniowe związane z monitoringiem obszarów eksploatacji górniczej. Swoiste poligony badawcze teledetekcji stanowią tutaj Górnśląski Okręg Przemysłowy (GOP), na którym rozwijano głównie kartowanie tematyczne z wykorzystaniem zdjęć lotniczych i satelitarnych (Ciołkosz 1977 b, c, 1985), oraz rejon eksploatacji odkrywkowej węgla brunatnego w Zagłębiach: Konińskim, Turowskim i Bełchatowskim. W tych ostatnich podejmowano szeroki wachlarz zagadnień, związanych przede wszystkim z inwentaryzacją, przeobrażeniem i degradacją poszczególnych komponentów środowiska geograficznego, w tym zwłaszcza zmianami geomorfologicznymi (Kozacki 1969, 1984), przekształceniem stosunków wodnych oraz ich negatywnym oddziaływaniem na stan upraw rolno-leśnych (Gronet 1984; Iracka 1987).

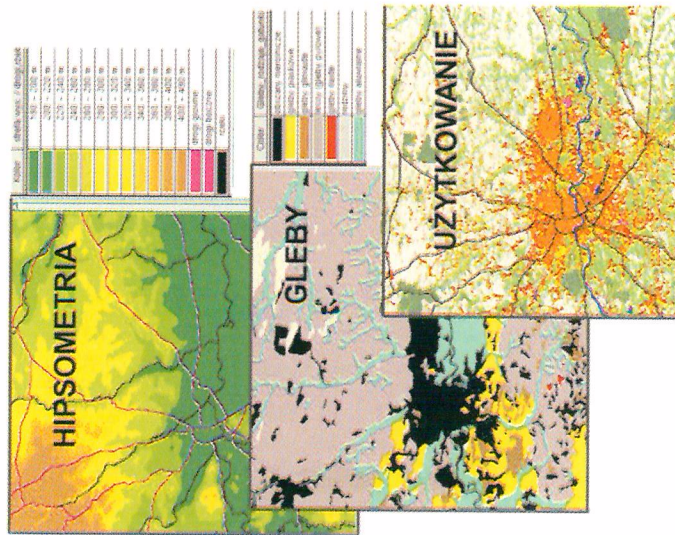
Dla rejonu Kopalni Węgla Brunatnego (KWB) „Bełchatów” wykonano dziesiątki fotointerpretacyjnych prac studialnych z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych, uzyskiwanych tak z pułapu lotniczego, jak i satelitarnego. Prace te dotyczyły m.in. analizy elementów geologiczno-strukturalnych (Graniczny 1980), przekształceń środowiska, kondycji zdrowotnej oraz objawów degradacji lasu i upraw rolnych w otoczeniu tego kompleksu górniczo-energetycznego (Mularz 1996).

Na szczególną uwagę zasługują także badania i prace wdrożeniowe związane z teledetekcyjnym monitoringiem skarp i poziomów roboczych odkrywki KWB „Bełchatów” oraz zwałowisk, zewnętrznego i wewnętrznego, z wykorzystaniem zarówno teledetekcji bliskiego zasięgu, jak i metod teledetekcji lotniczej i satelitarnej. W ich wyniku opracowano i wdrożono m.in. szczegółową metodykę rejestracji oraz interpretacji tematycznej teledetekcyjnych obrazowań kopalni na potrzeby bieżącego kartowania geologicznego skarp, oceny warunków geologiczno-inżynierskich i geologiczno-złożowych, a także inwentaryzacji stanu i prognozy skuteczności zabiegów rekultywacyjnych, prowadzonych przede wszystkim na obszarze zwałowiska zewnętrznego (Mularz 1981, 1998). Rezultaty tych badań wykazały, iż kompleksowy monitoring geologiczno-górniczy wieloprzestrzennych kopalń odkrywkowych może być z powodzeniem prowadzony w oparciu o wspomaganą komputerowo interpretację aktualnie dostępnych obrazów satelitarnych systemów LANDSAT TM i SPOT-PAN (Rys. 4). Szczegółową inwentaryzację postępu robót eksploatacyjnych, powstających deformacji skarp itp. powinno się prowadzić w oparciu o wieloczasowe zdjęcia lotnicze. Natomiast kartowanie geologiczne skarp i rejestracja zmian warunków gruntowo-wodnych dla bieżących potrzeb ruchu kopalni mogą być dokonywane na podstawie zdalnych rejestracji naziemnych, metodami fotograficznymi lub cyfrowo, np. kamerami CCD (Charge Coupled Device) lub aparatami cyfrowymi (Mularz 1987, 1992; Sitek 1988, 1990).

Teledetekcja satelitarna już od pierwszych lat istnienia notuje na swym koncie szereg osiągnięć, także na gruncie krajowym, co niewątpliwie miało związek z wyposażeniem OPOLIS-u w unikatową wówczas aparaturę do uzyskiwania i przetwarzania danych

teledetekcyjnych, m.in. w kamerę wielospektralną NAC MB 490, przeglądarkę addytywną NAC AC 90, przetwornik analityczno-analogowy MCDS i analogowo-cyfrowy PHOTOMATION P 1700 oraz w system do przetwarzania obrazów Z PAAC z komputerem PDP II/34 i urządzeniami peryferyjnymi (Kryński, Ney 1995). Spośród wielu dziesiątków prac badawczych i wdrożeniowych, wykonanych zarówno w krajowym centrum teledetekcji OPOLIS, jak i w innych placówkach naukowo-badawczych, głównie w większych ośrodkach akademickich, należy odnotować m.in.:

- opracowanie metodyki monitoringu środowiska geograficznego na podstawie interpretacji zdjęć lotniczych oraz kartowania wielospektralnych satelitarnych zobrażeń uzyskiwanych systemami: LANDSAT MSS, LANDSAT TM i SPOT (Bochenek i in. 1974, 1987, 1997; Bochenek, 1976, 1982; Bochenek, Poławski 1987; Bychawski i in., 1977; Bychawski 1980; Ciołkosz 1977a,b, 1982; Olędzki 1987; Wiśniewska, Zawila-Niedźwiecki 1998; Zawila-Niedźwiecki 1989; Zawila-Niedźwiecki i in. 1994);
 - metodę analizy numerycznej obrazów zbiorników wodnych, pozwalającą na ustalenie zależności pomiędzy zawartością zawiesin, chlorofilu typu α oraz niektórymi substancjami chemicznymi a obrazem wody w odwzorowaniu wielospektralnym (Baranowska 1978, 1982, 1984);
 - badanie zjawisk i procesów o znamionach tzw. „hazardu przyrodniczego”, np. stanów powodziowych (Ciołkosz 1977 a; Ciołkosz, Gronet 1983; Ciołkosz, Bielecka 1998), procesów geodynamicznych, w tym zwłaszcza osuwisk zboczy naturalnych (Ostaficzuk 1962, 1965; Ostaficzuk, Wysokiński 1968 a, b,) oraz sztucznych skarp, głównie w kopalniach odkrywkowych (Mularz i in., 1987);
 - interakcję lądu i morza (Baraniecki 1967; Olędzki 1975; Tomaszewski 1975; Furmańczyk 1994);
 - opracowanie teledetekcyjnej metody szacowania plonów i zbiorów pasz z trwałych użytków zielonych (Gruszczyńska, Janowska 1987; Dąbrowska-Zielińska 1989, 1993, Ciołkosz, Dąbrowska-Zielińska 1989; Gruszczyńska 1994);
 - opracowanie metodyki kartowania cech geologiczno-strukturalnych w oparciu o interpretację wielospektralnych obrazów satelitarnych, polegającą przede wszystkim na wizualnym kojarzeniu i wydzieleniu z treści obrazu elementów liniowych (tzw. fotolineamentów) lub struktur kolistych (Bażyński 1978; Bażyński, i in. 1980).
- Do niekwestionowanych osiągnięć kartografii teledetekcyjnej należy zaliczyć wydanie szeregu map tematycznych, opracowanych na podstawie interpretacji zdalnych zobrażeń, głównie satelitarnych systemów LANDSAT i SPOT. Są to m.in. mapy użytkowania ziemi w Polsce w skalach 1 : 500 000 i 1:250 000 (Ciołkosz, Popławski 1980; Ciołkosz 1981), mapa lasów w Polsce w skali 1:500 000, mapy stanów kompleksów leśnych Pienińskiego Parku Narodowego, Sudetów Zachodnich, Borów Tucholskich, mapy zmian środowiska wielkich miast Górnego Śląska oraz mapy szacunkowej oceny czystości wód Wielkich Jezior Mazurskich (Linsenbarth 1995). Warto w tym miejscu również odnotować opracowanie w IGiK numerycznej mapy użytkowania ziemi w Polsce w ramach europejskiego programu CORINE oraz przystąpienie do programu MARS (Monitoring of Agriculture by Remote Sensing – teledetekcyjne monitorowanie rolnictwa), realizowanego w ramach Wspólnoty Europejskiej (Baranowski, Ciołkosz 1994). Te ostatnie prace mają na celu stworzenie modeli procesów przyrodniczych oraz prognozowania ich przebiegu (Linsenbarth 1995). Na uwagę zasługuje opracowanie cyfrowej fotomapy obszaru Polski, która powstała w wyniku przetworzenia i „sklejenia” 20 scen z satelity LANDSAT (Linsenbarth 1995), oraz *Atlasu zdjęć satelitarnych Polski* (Ciołkosz, Ostrowski 1995). *Atlas* – wydany bardzo starannie pod względem edytorskim – stanowi pierwszą tego rodzaju publikację w naszym kraju. Na treść *Atlasu* składa się 29 obrazów satelitarnych terenu Polski, wykonanych przez satelity systemu LANDSAT w latach 1975–1984. Do każdego obrazu satelitarnego dołączono krótki opis, ułatwiający odczytanie prezentowanej treści, mapkę w tej samej skali oraz ukośne zdjęcia lotnicze wybranych fragmentów danego obszaru. *Atlas* można rekomendować jako niezwykle cenną pomoc dydaktyczną w nauczaniu teledetekcji, zwłaszcza w nauczaniu młodzieży szkolnej i studentów. Niezwykle ważny, głównie z punktu



Rys. 5. Mapy fotograficzne, tematyczne, numeryczny model terenu to elementy współczesnego, zintegrowanego GIS-u
 Fig. 5. An integrated GIS consists of : topographic maps, thematic maps, aerial photos and digital terrain model

widzenia gospodarki rolnej, problem zdalnego kartowania i monitorowania wilgotności gleb znalazł również swoje odbicie w podejmowanych badaniach i aplikacjach teledetekcji. Począwszy od badań podstawowych, skupiających się na modelowaniu odpowiedzi spektralnej powierzchni gleb (Cierniewski 1988, 1999), poprzez poszukiwania korelacji pomiędzy wilgotnością gleby, jej termiką, ewapo-transpiracją gleb pokrytych roślinnością a zdalnym obrazem gleby na zdjęciach (Dąbrowska-Zielińska 1984, 1989, 1994; Dąbrowska-Zielińska i in. 1991), aż do numerycznego modelowania inercji termalnej gruntu (Mularz, Hejmanowska 1990; Hejmanowska, Mularz 1996).

Szczególnie obiecujące w tym względzie wydają się być wyniki prowadzonych w ostatnich latach w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie badań nad możliwością określania wilgotności odkrytych gruntów z wykorzystaniem zobrażeń satelitarnych LANDSAT TM i modeli inercji termalnej (Hejmanowska 1997).

Rezultaty przeprowadzonego wielopoziomowego eksperymentu teledetekcyjnego (symultaniczna rejestracja z pułapu lotniczego z tzw. wsparciem naziemnym) wykazały poprawność założeń metodycznych, umożliwiających wdrożenie numerycznego modelowania inercji termalnej jako metody kartowania wilgotności odkrytych powierzchni gleb. Aktualnie prowadzone są w Polsce intensywne badania nad wykorzystaniem zobrażeń radarowych, głównie europejskiego systemu ERS-(1,2). SAR.PRI dla detekcji poziomu i zmian wilgotności gleb (Dąbrowska-Zielińska 1994; Gruszczyńska 1998). Ponadto obrazy radarowe są nowym i niezwykle cennym źródłem informacji o powierzchni Ziemi i, co jest równie ważne, ich wykonanie nie jest zależne ani od warunków atmosferycznych (chmury, mgła, aerozole), ani też od pory dnia czy nocy, ze względu na własne, niezależne od Słońca, źródło promieniowania elektromagnetycznego (mikrofale).

Optymalne wykorzystanie tych danych w badaniach zjawisk i procesów przyrodniczych stanowi przedmiot szeroko zakrojonych prac, których celem jest opracowanie stosownych metod i technologii praktycznego wykorzystania metod kompleksowej rejestracji satelitarnej (systemy optyczne i radarowe, integracja danych z różnych systemów).

Zdjęcia lotnicze, a zwłaszcza obrazy satelitarne stanowią również doskonały materiał do prowadzenia

teledetekcyjnego monitoringu powietrza atmosferycznego. Wykorzystuje się tu przede wszystkim rejestrację w kanałach widzialnych spektrum elektromagnetycznego, gdyż dla dłuższego promieniowania (bliska i środkowa podczerwień) powietrze zanieczyszczone pyłami i różnej postaci aerozolami jest niemal przezroczyste. W związku z tym odwzorowania w kanałach podczerwonych stanowią rodzaj swoistego tła, na którym wykrywa się obecność pyłowych zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym.

Dymy emitowane do atmosfery, zwłaszcza przez zakłady przemysłowe, są doskonale widoczne na obrazach satelitarnych. Z pułapu satelitarnego uzyskuje się niemal jednoczesną rejestrację obecności skażeń pyłowych w powietrzu atmosferycznym na dużym obszarze. Pozwala to na określenie zasięgu, kierunku i charakteru rozprzestrzeniania się pyłów oraz wyniesienia smug dymowych nad powierzchnię terenu (Ciołkosz i in. 1981; Ciołkosz, Majcher 1985; Dworak, Walczewski, 1985; Dworak 1986, 1987, 1990; Trafas 1981; Walczewski 1976, 1980). Można także dokonać ilościowej oceny względnego stężenia pyłów w atmosferze oraz określić geometrię i sposób rozcieńczania się smugi, w funkcji odległości od emitora. Teledetekcja satelitarna stanowi zatem obiektywne źródło danych o skażeniu pyłowym atmosfery, zwłaszcza w rejonach dużych aglomeracji miejsko-przemysłowych.

Fotogrametria i teledetekcja a GIS

Fotogrametria i teledetekcja stanowią podstawowe źródło zasilania danymi systemów informacji przestrzennej. Szczególną zaletą jest aktualność uzyskiwanych tą drogą danych. Dane rejestrowane są dla dużych obszarów, prawie w **jednym czasie, co jest szczególnie istotne dla analizy zjawisk dynamicznych** (np. przebieg fali powodziowej). Dane uzyskiwane są w postaci cyfrowej (np. obrazy satelitarne) bądź też łatwo można je przetworzyć na postać cyfrową, wymaganą w dalszych etapach ich analizy (np. drogą skanowania zdjęć lotniczych wykonanych na filmach światłoczułych). Metody fotogrametryczne i teledetekcyjne są najtańszymi, a w wielu przypadkach jedynymi metodami zdobywania pożądaných danych. Zapowiadane wprowadzenie do eksploatacji systemów satelitarnych nowej generacji, charakteryzujących się wysoką

rozdzielczością geometryczną i radiometryczną, przyczyni się do dalszego, znacznego obniżenia kosztów zdobywania aktualnych informacji o terenie.

Obraz powierzchni ziemi (terenu) „z lotu ptaka”, z pułapu lotniczego bądź satelitarnego, stanowi w systemach GIS (por. przypis na str. 2) jedną z podstawowych warstw informacyjnych zawartych w bazie danych systemu. Z jednej strony stanowi ona podstawę do tworzenia wielu warstw tematycznych z wykorzystaniem metod fotointerpretacji i teledetekcji, opartych na technikach komputerowego przetwarzania obrazów, a z drugiej stanowi tło, na którym pokazane są różne inne warstwy tematyczne w kontekście przyrodniczym, co umożliwia dostrzeżenie nowych relacji pomiędzy różnymi zjawiskami czy aspektami rzeczywistości.

Działalność naukowo-badawcza w zakresie GIS koncentruje się na wyższych uczelniach i w branżowych instytutach naukowo-badawczych. Wyniki badań i wdrożeń przedstawiane są głównie na konferencjach czy sympozjach, organizowanych cyklicznie przez Polskie Towarzystwo Fotogrametrii i Teledetekcji (założone w roku 1930), Klub Teledetekcji Środowiska działający w ramach Polskiego Towarzystwa Geograficznego od połowy lat sześćdziesiątych i Towarzystwo Informacji Przestrzennej (działające od 1991 roku).

W Polsce metody uzyskiwania, przetwarzania, analiz i udostępniania danych nie odbiegają od stosowanych w świecie. Związane jest to z zakupem w ostatnich latach przez wiele instytucji profesjonalnego oprogramowania komputerowego, umożliwiającego zarządzanie dużymi bazami danych przestrzenno-opisowych, oraz wykonywaniem skomplikowanych analiz typu GIS-owskiego. Można natomiast zaobserwować wkład polskiej nauki i praktyki w tworzenie oprogramowania i systemów dotyczących ewidencji gruntów i budynków oraz zarządzania sieciami technicznego uzbrojenia terenu.

Wykonanie w latach 1995–1998 kolorowych zdjęć lotniczych pokrywających prawie cały obszar Polski w skali 1:26 000 oraz wybranych 20 większych miast w skali 1:5 000 stanowi doskonałą podstawę do tworzenia systemów informacji przestrzennej. Oprócz Krajowego Systemu Informacji o Terenie, tworzonego z inspiracji Głównego Geodety Kraju, obejmującego głównie

przedstawiane na wielkoskalowych mapach zasadniczych (podstawowych) dane techniczne, dotyczące ewidencji gruntów i budynków, katastru czy sieci technicznego uzbrojenia terenu, rozwijane są regionalne systemy (Bielecka 1998; Bujakowski i in. 1996), jak np. Kociewski czy Małopolski System Informacji Przestrzennej (MSIP). Istotnym składnikiem MSIP jest zbudowany w latach 1995–98 w ramach grantu celowego KBN^{*)} komputerowy atlas województwa krakowskiego (Bujakowski i in. 1998; Trafas, Pyka 1997). Zakres tematyczny atlasu oprócz głównych komponentów środowiska geograficznego obejmuje również wybrane zjawiska społeczno-gospodarcze. Atlas utworzony został w postaci zintegrowanej bazy danych przestrzenno-opisowych. Ze względu na duży stopień nieaktualności map topograficznych istotna część danych do atlasu uzyskana została z aktualnych obrazów satelitarnych i zdjęć lotniczych (Rys. 5).

Szczególną rolę w systemach GIS odgrywa Numeryczny Model Rzeźby Terenu (NMRT), który oprócz opisu kształtu powierzchni terenu umożliwia opracowanie wielu map pochodnych, stanowiących podstawę do przeprowadzenia złożonych analiz (np. erozji wodnej gleb). Nowoczesne techniki fotogrametryczne, wykorzystujące odpowiednie procedury korelacji obrazów (dopasowywanie obrazów, rozpoznawanie obiektów na obrazach), pozwalają na uzyskanie danych do NMRT ze stereoskopowych zdjęć lotniczych lub stereoskopowych zobrażeń satelitarnych w procesie, który jest już w wysokim stopniu zautomatyzowany.

^{*)} Projekt celowy nr 9941994C/2163

Bibliografia

- Baraniecki L., 1967: *Morfologia i dynamika podwodnych osadów piaszczystych polskiego wybrzeża Bałtyku na podstawie analizy zdjęć lotniczych*. Fotointerpr. w Geogr. nr 4.
- Baranowska T., 1978: *Wyznaczenie stref zróżnicowanej przezroczystości wód Zalewu Szczecińskiego na podstawie wielospektralnych obrazów skanerowych Landsat-1*. Prace IGiK, T. XXV, z. 2 (59).
- Baranowska T., 1982: *Metoda numerycznego przetwarzania zdjęć lotniczych i satelitarnych dla potrzeb badań środowiska wodnego*. Biul. Inf. IGiK, T. 27, nr 6, s. 18–26.
- Baranowska T., 1984: *Kartowanie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w wodach jezior i strefie przybrzeżnej Bałtyku*. Biul. Inf. IGiK. Materiały V Krajowego Sympozjum Teledetekcji, T. 29, nr 2–3, s. 56–61.
- Baranowski M., Ciołkosz A., 1994: *Mapa pokrycia terenu w Polsce opracowana w ramach programu CORINE*. Fotointerpretacja w Geografii, Problemy Telegeoinformacji, nr 24.
- Bartoszewicz S., 1955: *Aerotriangulacja przestrzenna na stereokomparatorze*. Przegl. Geod. nr 2.
- Bażyński J., 1978: *Satelitarna Mapa Fotolineamentów Polski 1 : 500 000*. Arch IG (niepubl.).
- Bażyński J., Daniel-Danielska B., Graniczny M., Wilczyński M., 1980: *Przykłady geologicznej interpretacji obrazów satelitarnych dla celów praktycznych*, [w:] *Zastosowanie teledetekcji w badaniach środowiska geograficznego*, PWN Warszawa - Łódź.
- Bielecka E., 1998: *Wykorzystanie fotogrametrii i teledetekcji do zasilania Kociewskiego Systemu Informacji Przestrzennej*.
- Blachut T., 1948: *Aerotriangulacja na autografie Wild A6*. Przegl. Geod. nr 11-12.
- Blachut T. J., Sitek Z., 1973: *Stereo-Orto-fotogrametria*. Przegl. Geodez., nr 7.
- Bochenek Z., Bychawski W., Ciołkosz A., 1974: *Wykorzystanie długofalowego promieniowania podczerwonego do zdalnego badania środowiska geograficznego*. Prz. Geod., R. 46, nr 1, s. 47-48.
- Bochenek Z., 1976: *Zastosowanie techniki zdjęć wielospektralnych w badaniach szaty roślinnej*. Przegl. Geod. R. 48, nr 3, s. 127-128.
- Bochenek Z., 1982: *The use of digital image processing system for forest mapping. Wykorzystanie systemu numerycznego przetwarzania obrazów satelitarnych do sporządzania map obszarów leśnych*. Prace IGiK, T. XXIX, nr 2, s. 19-27.
- Bochenek Z., Poławski Z. F., 1987: *Zastosowanie zdjęć satelitarnych Landsat Thematic Mapper do klasyfikacji terenów miejskich*. Prace IGiK, T. XXXIV, nr 2, s. 33-39.
- Bochenek Z., Poławski Z. F., Zawila-Niedźwiecki T., 1987: *Wykorzystanie zdjęć Landsat Thematic Mapper do badania zdegradowanych obszarów leśnych na przykładzie Sudetów Zachodnich*. Prace IGiK, T. XXXIV, nr 2, s. 59-68.
- Bochenek Z., Ciołkosz A., Iracka M., 1997: *Zmiany stanu lasów w Sudetach Zachodnich na podstawie analizy zdjęć satelitarnych*. Prace IGiK, T. XLIV, z. 95.
- Bohonos B., 1964: *Opracowanie stereoskopowych zdjęć lotniczych przy zmienionej odległości obrazu na autografie*. Geod. i Kartogr., t. XIII, z. 2.
- Bohonos B., 1965: *Nowa metoda przetwarzania nadirowego zdjęć lotniczych*. Biuletyn WAT, nr 12/160.

- Bohonos B., 1967 : *O prawidłowym sposobie afinicznego przekształcenia modelu przy opracowaniu nadszerokątnych zdjęć na autografie*. Kwartalnik PAN, Geodezja i Kartografia, nr 1.
- Boroń A., 1994 : *Wpływ skanowania na geometrię obrazów cyfrowych*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 1, Kraków 1994.
- Boroń A., 1998 : *Przydatność aparatu cyfrowego Minolta RD 175 w fotogrametrycznych opracowaniach cyfrowych*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 8, Kraków 1998.
- Boroń A., Jachimski J., 1998 : *Inwentaryzacja kaplicy Świątokrzyskiej na Wawelu z wykorzystaniem metod fotogrametrii cyfrowej*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 8, Kraków 1998.
- Boroń A., Wróbel A., 1998 : *Opracowanie fotoplanu malowidła ze sklepienia kościoła oo. Pijarów w Krakowie z wykorzystaniem metod fotogrametrii cyfrowej*.
- Borowiec M., Tokarczyk R., 1998 : *Komputerowa prezentacja wyników inwentaryzacji architektonicznej*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 8, Kraków 1998.
- Bujakiewicz A., 1969 : *Zagęszczenie osnowy fotogrametrycznej metodą Hallerta*. Prace Nauk. Pol. Warszaw., Geodezja, nr 4.
- Bujakiewicz A., 1974 : *Wyznaczenie cech geometrycznych elementów prefabrykowanych nowoczesną metodą fotogrametrii analitycznej*. Geodezja i Kartografia, nr 4.
- Bujakowski K., Mierzwa W., Pyka K., 1996 : *Komputerowy atlas województwa krakowskiego jako załączek regionalnego systemu informacji geograficznej. Materiały Konferencji „GIS w zastosowaniach”*, InfoFestiwal, Kraków 1996.
- Bujakowski K., Mierzwa W., Pyka K., Trafas K., 1998 : *Komputerowy Atlas Województwa Krakowskiego (KAWK) - stan aktualny i przyszłość. Materiały VIII Konferencji Naukowo - Technicznej „Systemy Informacji Przestrzennej”*. Tom 2, Warszawa 1998.
- Butowtt J., 1974 : *Zastosowanie fotogrametrii do opracowania map wielkoskalowych dla celów specjalnych*. Informator IGiK, nr 6, T. XIX.
- Bychawski W., Ciołkosz A., 1977 : *Termowizyjna metoda wykrywania obszarów występowania inwersji termicznych i mgieł radiacyjnych*. Fotointerpr. w Geogr., z. 10, s. 51-58.
- Bychawski W., Iracka M., Mozgawa J., 1977 : *Wykorzystanie lotniczych zdjęć spektrostrefowych do badań uszkodzeń drzewostanów sosnowych*. Prace IGiK, T. XXIV, z. 1(55), s. 31-46.
- Bychawski W., 1980 : *Zastosowanie lotniczych zdjęć spektrostrefowych dla określania stref przemysłowego zagrożenia drzewostanów sosnowych*. Prace IGiK, T. XXVII, z. 3 (66), s. 27-83, Biul. Inform. IGiK, T. 26, nr 5, s. 11-16.
- Cierniewski J., 1988 : *Wpływ wilgotności i zbrylenia powierzchni gleby na jej odpowiedź spektralną w zakresie widma widzialnego i bliskiej podczerwieni oraz modelowanie matematyczne tej zależności*. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, Rozprawy Nauk., z. 18.
- Cierniewski J., 1999 : *Geometrical modeling of soil bidirectional reflectance in the optical domain*, Bogucki Scientific Publishers, Poznań.
- Ciołkosz A., 1975, : *Zastosowanie długofalowego promieniowania podczerwonego w badaniach termalnego zanieczyszczenia rzek*. Prace IGiK, T. XXII, z. 28 (51).
- Ciołkosz A., 1977 a : *Określenie zasięgu fali powodziowej w Polsce południowo-zachodniej za pomocą zdjęć lotniczych*. Prz. Geod., R. 49, nr 12, s. 432-433.

- Ciołkosz A., 1977 b : *Zastosowanie lotniczych zdjęć spektrostrefowych i obrazów termalnych w kartowaniu tematycznym*. Pol. Prz.Kart., T. 9, nr 4, s. 158-166.
- Ciołkosz A., 1977 c : *Teledetekcja i jej zastosowania w kartografii tematycznej*. Biul. Inform. IGiK, T. 22, nr 6, s. 107-114.
- Ciołkosz A., Mularz S., 1977 : *Badanie powierzchniowych zmian termiki gruntu rejonu złoża siarki w Grzybowie metodą termowizyjną*. Prace IGiK, T. XXIV, z. 1 (55).
- Ciołkosz A., Halemba B., 1978 : *Wykorzystanie lotniczych obrazów termalnych w opracowaniu termicznych warunków podłoża południowej Warszawy*. Prace IGiK, T. XXV, z. 2 (59).
- Ciołkosz A., Popławski Z., 1980 : *Mapa użytkowania ziemi w skali 1:250 000 sporządzona za pomocą wizualnej klasyfikacji treści obrazów satelitarnych*, [w:] *Zastosowanie teledetekcji w badaniach środowiska geograficznego*. Mat. III Symp. Teledetekcji, PWN, Warszawa-Łódź.
- Ciołkosz A., 1981 : *Przeglądowa mapa użytkowania ziemi w Polsce opracowana na podstawie zdjęć satelitarnych*, Polski Przegląd Kartograf, T. 13, nr 1.
- Ciołkosz A., Majcher I., Sujkowska W., 1981 : *Wyznaczanie zasięgu rozprzestrzeniania się dymów przemysłowych na podstawie zdjęć satelitarnych*. Prace IGiK, T. XXVII, z. 1 (67).
- Ciołkosz A., 1982 : *Remote Sensing as the information source for thematic cartography (Teledetekcja jako źródło informacji dla kartografii tematycznej)*. Prace IGiK, T. XXIX, nr 2, s. 51-60.
- Ciołkosz A., Gronet R., 1983 : *Rozwój sytuacji powodziowej w dolinie Bugu i Narwi wiosną 1979 roku zarejestrowany na landsatowskich obrazach satelitarnych*. Fotointer. w Geogr., T. 6, nr 16, s. 9-21.
- Ciołkosz A., Majcher I., 1985 : *Wyznaczanie zasięgów rozprzestrzeniania się dymów przemysłowych na podstawie zdjęć satelitarnych*. Prace Naukowe Uniw. Śląskiego w Katowicach, nr 735. Fotointerpret. w Geogr., VIII, s. 9-23.
- Ciołkosz A., Dąbrowska-Zielińska K., 1989 : *Wykorzystanie teledetekcji dla opracowania systemu dynamicznego określania wilgotności gleb użytków zielonych w celu prognozowania plonów*. Prace IGiK, T. XXXVI, nr 1-2, s. 41-51.
- Ciołkosz A., Ostrowski A., 1995 : *Atlas zdjęć satelitarnych Polski*.
- Ciołkosz A., Bielecka E., 1998 : *Powódź w dolinie Odry w 1997 r. w świetle interpretacji zdjęć satelitarnych*. Prace IGiK, T. XLV, z. 97.
- Dąbrowska-Zielińska K., 1989 : *Określenie ewapotranspiracji i wilgotności gleb w strefie korzeniowej roślin metodami teledetekcyjnymi*. Prace IGiK, T. XXXVI, nr 1-2, s. 5-39.
- Dąbrowska-Zielińska K., 1993 : *Prognozowanie plonów pasz zielonych na podstawie danych satelitarnych i meteorologicznych*. Zesz. Nauk. AGH, Geodezja, z. 117.
- Dąbrowska-Zielińska K., 1994 : *Określenie wilgotności gleby z danych rejestrowanych przez satelity NOAA i ERS-1*. Fotointerpretacja w Geografii. Problemy Telegeoinformacji, nr 24.
- Dąbrowska-Zielińska K., Ciołkosz A., Lewiński S., 1991 : *From evapotranspiration to soil moisture investigation based on NOAA thermal infrared data, case study - Poland*. Proc. Of 5th Int. Colloq. - Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, Courchvel, France, Vol. 2.

- Dmochowski S., 1952 : *Nowe koncepcje w metodzie triangulacji radialnej*. Przegl. Geod., nr 5.
- Dworak T. Z., Walczewski J., 1985 : *Zastosowanie teledetekcji kosmicznej do określania zanieczyszczenia atmosfery (na przykładzie Krakowa). Application of Space-Borne Remote Sensing in Determination of Atmospheric Pollution (with Cracow as an Example)*. Przegląd Geofizyczny, R. XXX, z. 1, s. 31-44. Summary.
- Dworak T. Z., 1986 : *Optical Remote Sensing Methods for the Investigation of Aerosols in the Atmosphere. (Optyczne teledetekcyjne metody badania aerozolu w atmosferze - na przykładzie aglomeracji krakowskiej)*. Zeszyty Naukowe AGH, nr 1046, Fizyka z. 3, s. 182. On the Example of the Cracow Agglomeration.
- Dworak T. Z., 1987 : *Określenie parametrów propagacji dymów przemysłowych widocznych na obrazach satelitarnych Ziemi*. Zeszyty Naukowe AGH, nr 1100, seria Geodezja, z. 94, s. 161-165.
- Dworak T. Z., 1990 : *Metodyka teledetekcyjnych badań zapylenia atmosfery*. Zeszyty Naukowe AGH, nr 1339, Seria Sozologia i Sozotechnika, z. 29, s. 130.
- Ewiak I., 1998 : *Niektóre aspekty skanowania zdjęć lotniczych za pomocą skanera PSI-Zeiss*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 8, Kraków 1998.
- Florek-Paszkowski R., Węgrzyn Z., Homa G., 1997 : *Ortofotografia cyfrowa - wybrane aspekty wytwarzania i zastosowań w Polsce*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 6, Kraków 1997.
- Furmańczyk K., 1994 : *Współczesny rozwój strefy brzegowej morza bezpływowego w świetle badań teledetekcyjnych południowych wybrzeży Bałtyku*. Wyd. Nauk. Uniw. Szczecińskiego, Szczecin.
- Gaździcki J., 1973 : *Opracowanie numeryczne aerotriangulacji przestrzennej metodą AEROBLOK*. Prace IGiK, nr 1/46.
- Gąsior D., 1998 : *Rolleimetric CDW - cyfrowy system fotogrametrii bliskiego zasięgu*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 8, Kraków 1998.
- Gocał J., 1984 : *Warunki i perspektywy stosowania termowizji w geodezyjnych pomiarach inżynierskich*. Z.Nauk. AGH, Geodezja, z. 84, s. 25-33.
- Gocał J., Ney B., Rudowski G., Wróbel A., 1985 : *Application of termovision technique to investigation of deformation of industrial objects. Materiały IV Międzynar. Symp. FIG, Kom. 6 nt. „Geodezyjne pomiary odkształceń”*, Katowice.
- Gołka J., Haliński J., 1998 : *Wykorzystanie możliwości fotogrametrii cyfrowej w opracowaniach architektonicznych na przykładzie elewacji frontowej Ratusza w Zamościu*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 8, Kraków 1998.
- Gosiewski A., 1927 : *Fotogrametria i aerofotografia. Liga Ochrony Powietrznej Państwa*, Warszawa, t. XVI.
- Graniczny M., 1980 : *Kompleksowa analiza fotogeologiczna na przykładzie Bełchatowa. Zastosowanie teledetekcji w badaniach środowiska geograficznego. Mat. III Symp. Teledetekcji*, Warszawa, 19-20.04.1979, PWN, Warszawa-Lódź, 1980, s. 311-323.
- Gronet R., 1984 : *Ocena zmian środowiska naturalnego pod wpływem wielkich inwestycji przemysłowych w świetle analizy wieloterminowych zdjęć lotniczych*. Biul. Inform. IGiK, Materiały V Krajowego Sympozjum Teledetekcji, T. 29, nr 2-3, s. 94-104.
- Gruszczyńska M., Janowska M., 1987 : *Zastosowanie metod teledetekcji do kartowania trwałych użytków zielonych*. Biul. Inf. IGiK, nr 6, s. 23-40.

- Gruszczynska M., 1994 : *Zastosowanie zdjęć satelitarnych ERS-1.SAR w badaniach rolniczych*. Fotointerpretacja w Geografii. Problemy Telegeoinformacji, nr 24.
- Gruszczynska M., 1998 : *Zastosowanie zdjęć mikrofalowych z satelitów ERS-1 i ERS-2 do określania wilgotności gleb pod zbożami*. Prace IGiK., T. XLV, z. 97
- Gryglaszewski R., 1931 : *Zdjęcia sytuacyjne rzek Polesia metodą aerofotogrametryczną*. Biuro Melioracji Polesia, Brześć nad Bugiem.
- Hejmanowska B., Mularz S., 1996 : *Thermal Inertia Modelling for Soil Moisture Assessment Based on Remotely Sensed Data*. Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B7.
- Hejmanowska B., 1997 : *Numeryczne modelowanie inercji termalnej gruntu dla teledetekcyjnego określania jego wilgotności*. Rozpr. Dokt. (niepubl.).
- Iracka M., 1987 : *Ocena procesu degradacji lasów w okolicach Bełchatowa na podstawie spektrostrefowych zdjęć satelitarnych*. Prace IGiK, T. XXXIV, z. 2.
- Jachimski J., 1975a : *Autograf analityczny w procesie opracowania mapy*. Mat. III Sesji Nauk.-Techn. nt. „Mapa zasadnicza kraju”, Wyd. SGP, Warszawa.
- Jachimski J., 1975b : *Historic Monuments*. Photogrammetria (3-6).
- Jachimski J., 1978a : *Problem stereoskopii w ortofotografii*. Zesz.Nauk. AGH, Geodezja, z. 54.
- Jachimski J., 1978b : *Sztuczne paralaksy i relief szczytkowy stereortofotomap*. Prace Kom. Góm.Geod., Geodezja, nr 25.
- Jachimski J., 1980 : *The homogeneity of geometry on a stereorthophotogram*. Prace XIV Kongresu Międzynar.Tow. Fotogrametrycznego, Komisja IV, Hamburg.
- Jachimski J., Mierzwa W., Pyka K., Boroń A., Zieliński J., 1988 : *Digital Image Rectification on Microcomputers for Orthophoto Production*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXVII, Part B-9, p.II/136-II/144, Kyoto, Japan.
- Jachimski J., 1991 : *Historyczny przegląd programów nauczania fotogrametrii i teledetekcji w technicznych, rolniczych i artystycznych wyższych uczelniach w Polsce*. Materiały Sympozjum Naukowego w 60-lecie Polskiego Towarzystwa Fotogrametrycznego, Warszawa 22-24 maja 1991 r.
- Jachimski J., Zieliński J., 1992 : *Digital Stereoplotting Using the PC-SVGA Monitor*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXIX, Part B-2, p.127-131.
- Jachimski J., Boroń A., Zieliński J., 1994 : *Video Stereo Digitizer i wstępna ocena dokładności pomiaru wielkoskalowych zdjęć lotniczych*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 1, Kraków 1994.
- Jachimski J., Kaczyński R., Bonarowska D., Borowiec M., 1996 : *Polish Society for Photogrammetry and Remote Sensing - National Report 1992-96*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXI, Part B6, ISPRS Congress 1996 Vienna, Austria.
- Jachimski J., 1997 : *Fotogrametryczna inwentaryzacja obiektów zabytkowych*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 7, Kraków 1997.
- Jachimski J., Zieliński J. M., 1998 : *VSD w inwentaryzacji zabytków*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 8, Kraków 1998.
- Jachimski J. Mierzwa W., 1998 : *Metodyka sporządzania cyfrowego fotoplanu rozwinięcia sklepienia na przykładzie malowideł biblioteki opactwa Cystersów w Lubiążu*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 8, Kraków 1998.

- Jachimski J., Mikrut S., 1998 : *Próba subpikselowej lokalizacji konturowej z wykorzystaniem drugiej pochodnej obrazu cyfrowego*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 8, Kraków 1998.
- Jarzabek J., Żarkowski A., 1997 : *Ortofotomapa wykonywana w systemie Leica-Helawa*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 6, Kraków 1997.
- Jędrzycka R., 1995 : *Cyfrowa metoda budowy numerycznego modelu terenu*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 3, Kraków 1995.
- Jędrzycka R., 1997 : *Aktualizacja NMT dla potrzeb tworzenia cyfrowej ortofotografii*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 6, Kraków 1997.
- Kaczyński R., 1995 : *Mapy cyfrowe ze zdjęć satelitarnych i lotniczych*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 3, Kraków 1995.
- Kaczyński R., 1997a : *Opracowanie ortofotomapy metodą fotogrametrii cyfrowej na różnych systemach*. Prace IGIK T. XLIV, z. 95.
- Kaczyński R., 1997b : *Wysokorozdzielcze rosyjskie zdjęcia satelitarne dla opracowania map terenów miejskich*. Prace IGIK T. XLIV, z. 95.
- Kaczyński R., 1997c : *Badania testowe wytwarzania ortofotografii różnymi systemami fotogrametrii cyfrowej*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 6, Kraków 1997.
- Kaczyński R., Ziobro J., 1998 : *Aerotriangulacja cyfrowa*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 8, Kraków 1998.
- Kaczyński R., 1999 : *Cyfrowo szybciej*. Geodeta nr 1 (44), 1999.
- Kłopotociński W., 1938 : *Graficzne wyrównanie aerotriangulacji*. Przegl. Fotogram., z. 3-4.
- Kossakowski J., 1998 : *Obrazy zdjęć lotniczych w postaci cyfrowej jako warstwa informacyjna w GIS wspierającym gospodarkę przestrzenną w gminie*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 8, Kraków 1998.
- Kozacki L., 1969 : *Zastosowanie zdjęć lotniczych dla określenia zmian niektórych elementów środowiska geograficznego na przykładzie Zagłębia Konińskiego*. Fotoint. w Geogr. z. 7.
- Kozacki L., 1984 : *Monitoring środowiska obszarów górniczych na przykładzie eksploatacji węgla brunatnego i kruszyw mineralnych*. Biul. Inform. IGIK, Materiały V Krajowego Sympozjum Teledetekcji, T. 29, nr 2-3, s. 87-93.
- Kryński S., Ney B., 1995 : *Instytut Geodezji i Kartografii w minionym dziesięcioleciu*. Prace IGIK, T. XLII, z. 92.
- Kurczyński Z., 1997a : *Zdjęcia lotnicze i zobrazowania satelitarne - stan obecny i perspektywy*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 7, 1997.
- Kurczyński Z., 1997b : *Zdjęcia lotnicze dla obszaru Polski realizowane w ramach programu modernizacji krajowego systemu informacji o terenie*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 6, Kraków 1997.
- Krzyworzeka M., Urban A., Wrona T., 1997 : *Próba określenia dokładności położenia różnych szczegółów na ortofotomapie cyfrowej*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 6, Kraków 1997.
- Linsenbarth A., 1959 : *Analiza wyników pracy doświadczalnej mającej na celu ustalenie dokładności i przydatności podkładu fotomapowego dla celów klasyfikacji gruntów*. Biul. Inform. PPF, nr 1-4.
- Linsenbarth A., 1964 : *Autografy analityczne*. Przegl. Geod., nr 9.

- Linsenbarth A., 1969 : *Numeryczny model terenu*. Przegl. Geod., nr 9.
- Linsenbarth A., 1991 : *Działalność instytucji i komórek fotogrametrycznych w Polsce (1921-1990)*. Materiały Sympozjum Naukowego w 60-lecie Polskiego Towarzystwa Fotogrametrycznego, Warszawa 22-24 maja 1991 r.
- Linsenbarth A., 1995 - *Aktualne zadania i działalność Instytutu Geodezji i Kartografii*. Prace IGiK, T. XLII, z. 92.
- Linsenbarth A., 1996 : *A remote sensing approach to geomorphological investigations of sand desert areas*. Prace IGiK T. XLIII, z. 93.
- Majde A., 1969 : *Wyznaczenie elementów orientacji zewnętrznej pojedynczego zdjęcia lotniczego*. Geodezja i Kart., t. XVIII.
- Majde A., 1975 - *Uogólnienie zastosowania geometrii rzutowej w fotogrametrii*. Prace Nauk. Pol. Warszawskiej, Geodezja, nr 16.
- Mierzwa W., 1974 : *Możliwości zastosowania aerotriangulacji do wyznaczania deformacji powierzchni terenu*. Zesz.Nauk. AGH, nr 433, Geodezja 28.
- Mierzwa W., Pyka K., 1984 : *Przekształcenie obrazów cyfrowych na obrazy półtonowe z zastosowaniem drukarki wierszowej*. Przegl. Geod., nr 7.
- Mierzwa W., Tokarczyk R., 1998 : *Wyrównanie sieci cyfrowych zdjęć naziemnych dla zastosowań inżynierskich i architektonicznych*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 8, Kraków 1998.
- Mularz S., 1981 : *Geologiczne kartowanie skarp kopalni odkrywkowej na podstawie zdjęć fotogrametrycznych*. Przegl. Geod., nr 4 (336).
- Mularz S. Tokarczyk A., Tokarczyk R., 1984 : *Termowizyjne badania dużej kopalni odkrywkowej węgla brunatnego*. Zeszyty. Nauk. AGH, Geodezja, z. 84.
- Mularz S., 1985 : *Termowizyjne obserwacje skarp w kopalni odkrywkowej*. Fotointerpretacja w Geografii, T. VII (18), Katowice.
- Mularz S., 1987 : *Badania termowizyjne gruntów zwałowych*. Ochrona Terenów Górniczych, Nr 80/2, 36-44.
- Mularz S., Pyka K., Sitek Z., 1987 : *Propozycje dokumentowania deformacji skarp kopalni odkrywkowej na podstawie zdjęć fotogrametrycznych*. Zesz. Nauk. AGH, Geodezja, z. 94.
- Mularz S., 1989 : *Thermal monitoring of a slope for geotechnical purposes*. 6-tf Conf. on Thermogrammetry and thermal engineering. Budapest, Abstracts, t. 1.
- Mularz S., 1996 : *Monitoring and Mapping the Belchów Mining Complex in Poland*, [in:] Raster Imagery in Geographic Information Systems. Environmental and Mineral Exploration. ONWORD Press. Santa Fe, USA.
- Mularz S., 1998 : *Satellite and airborne remote sensing data for monitoring of an open-cast mine*. Int. Arch. of Photogram. and Rem. Sens.Comm. IV, S.
- Mularz S., Hejmanowska B., 1990 : *Numeryczne modelowanie inercji termalnej dla zdalnego określenia wilgotności gleb*. AR Wrocław, 1990, IPiUTW, RPBR Nr 21, „Urządzenie rolniczej przestrzeni produkcyjnej”, z. 5. *Metody transformacji obrazów satelitarnych i fotogrametrycznych dla potrzeb gospodarki rolnej i wodnej*, s. 73-98.
- Mularz S., 1992 : *Remote Sensing Monitoring of open-cast mine*. Int. Arch. of Photogram. and Remote Sensing, Vol. XXIX, Part B5, 311-317.

- Musiał E., 1979 : *Technologia numerycznego opracowania aerotriangulacji AERONET*. Prace IGiK, T. XXVI, z. 3 (63).
- Musiał E., 1986 : *Komputerowy system wspomaganie obserwacji i wyrównania aerotriangulacji na mikrokomputerze IBM PC. Materiały VI Narady nt. Informatyki w Geodezji i Kartografii*. Poznań.
- Nowak W., 1935 : *Próba zastosowania aerofotogrametrii przy klasyfikacji gruntów dla celów podatkowych*. Przegl. Fotogram., z. 3-4.
- Odlanicki-Poczobutt M., 1939 : *Projekt zastosowania zdjęć fotolotniczych przy pracach związanych z przebudową ustroju rolnego na terenach górskich województw południowych*. Warszawa.
- Ołędzki J. R., 1975 : *Wykorzystanie zdjęć satelitarnych w badaniach wybrzeży morskich*. Fotointerpr. w Geogr., z.9, s.15-21.
- Ołędzki J. R., 1987 : *Regionalizacja fotomorficzna Polski*. Prace Naukowe UŚ w Katowicach: Fotointerpretacja w Geografii, tom IX (19), nr 861, s.129-147.
- Ołędzki J. R. (red.), 1988 : *Polska na zdjęciach lotniczych i satelitarnych*. PWN, Warszawa.
- Ostaficzuk S., 1962 : *Fotogrametryczne opracowanie zsuwu w Tresnej*. Biuletyn Geol. t. 2. Wyd. UW, Warszawa.
- Ostaficzuk S., 1965 : *Fotogrametryczne metody badania osuwisk*. Mat. XXXII Konf. Nauk.-Techn. SGP „Pomiary odkształceń obiektów przemysłowych”, Katowice.
- Ostaficzuk S., Wysokiński L., 1968a, : *Stacjonarne badania dynamiki zboczy metodami fotogrametrycznymi*. Przegl. Geol., nr 2.
- Ostaficzuk S., Wysokiński L., 1968 b, : *Badania fotogrametryczne w Płocku*, Przegl. Geol., nr 2.
- Ostrowski M., Preuss R., Kurczyński Z., 1994 : *Tworzenie cyfrowej ortofotomapy w barwach rzeczywistych na podstawie zdjęć wykonywanych kamerami niometrycznymi*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 1, Kraków 1994.
- Paszotta Z., 1995 : *Podstawy cyfrowej budowy ortofotografii*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 3, Kraków 1995.
- Paszotta Z., 1997 : *Propozycja inwentaryzacji urbanistycznej z wykorzystaniem metod fotogrametrii cyfrowej*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 6, Kraków 1997.
- Pawlak J., Mierzwa W., 1973 : *Program obliczania współrzędnych tłowych z eliminacją czynników systematycznych na maszynie UMC-1*. Zesz.Nauk.AGH, Geodezja 22.
- Pęczek L., 1969 : *Zagęszczenie płaskiej osnowy geodezyjnej metodą aerotriangulacji analitycznej*. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Geodezja, nr 4.
- Pęczek S., 1975 : *Nowa metoda analityczna rozwiązania podstawowego problemu fotogrametrii*. Prace Nauk., Geodezja, nr 15.
- Piasecki M. B., 1930 : *Współczesne metody i przyrządy fotogrametryczne*, Warszawa.
- Piasecki M. B., 1932a : *Wyniki prób zwiększenia dokładności fotoplanów*. Przegląd Fotogram., z. 3-4.
- Piasecki M. B., 1932b : *Zdjęcia aerofotogrametryczne przy studiach urbanistycznych*. Przegl. Miern., nr 7-8.
- Piasecki M. B., 1935 : *Prace fotogrametryczne w dużych skalach wykonane w Polsce do roku 1935*. Przegl.Fotogram., z. 3-4.

- Piasecki M., 1951a : *Metody bezpośredniego wyznaczania elementów orientacji zewnętrznej zdjęć lotniczych*. Przegl. Geod., nr 9.
- Piasecki B., 1951b : *Metody opracowania planów sytuacyjnych w terenach falistych drogą przetwarzania zdjęć lotniczych*. Przegl. Geod., nr 4.
- Piasecki M. B., 1956 : *Opracowanie zdjęć stereoskopowych przy zmienionej odległości obrazu*. Geodezja i Kartografia, t. 5.
- Piasecki M. B., 1960a : *Fotogrametryczne metody sporządzania map sytuacyjno-wysokościowych w skalach 1:1 000 i 1 : 2 000*. Zbiór referatów pt. „Fotogrametria w górnictwie”, Katowice, Instytut Górnictwa.
- Piasecki M. B., 1960b : *Korzyści stosowania fotogrametrii przy budowie autostrad*. Przegl. Geod., nr 11.
- Piasecki M. B., 1978 : *Analiza dokładności opracowań fotogrametrycznych terenów zabudowanych*. Przegl. Geod., R. 50, nr 3.
- Piasecki M. B., 1980 : *Francuski autograf analityczny: „Traster 77”*. Przegl. Geod., R. 52, nr 2.
- Piątkiewicz B., 1929 : *Zdjęcia fotogeodezyjne parku narodowego w Tatrach, wykonane przez Ministerstwo Robót Publicznych*. Przegl. Miern., R. 6, nr 4.
- Piątkiewicz B., 1933 : *Zastosowanie fotogrametrii w kryminologii*. Przegl. Fotogram., z. 3-4.
- Preuss R., 1994 : *Integracja fotogrametrii z GIS/LIS*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 1, Kraków 1994.
- Preuss R., 1997 : *Sposoby odtwarzania orientacji zdjęć we współczesnych technologiach fotogrametrycznych*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 7, Kraków 1997.
- Pyka K., 1998 : *Przetwarzanie obrazów cyfrowych w pakiecie MGE Intergraph - uwagi użytkownika*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 8, Kraków 1998.
- Pyka K., Waluś L., 1998 : *Doświadczenia firmy COMPASS S.A. w zakresie fotogrametrii cyfrowej*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 8, Kraków 1998.
- Rączka U., 1998 : *Metody filtracji obrazów radarowych*. Prace IGIK, T. XLV, z. 97.
- Rudowski G., 1980 : *Wpływ struktury obiektów i konstrukcji urządzeń pomiarowych na odwzorowanie termalne*. Prace IGIK, T. XXVII, z. 2 (65).
- Rymarowicz A., 1959 : *Wpływ skurczu filmu fotograficznego na opracowanie pojedynczego stereogramu na autografie*. Biul. Inform. PPF, nr 1-4.
- Sawicki P., 1997 : *Techniki bliskiego zasięgu i widzenie maszynowe*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 7, Kraków 1997.
- Sawicki P., Więcek B., 1998 : *Cyfrowy system videothermalny dla aplikacji w bliskim zasięgu*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 8, Kraków 1998.
- Sitek Z., 1965a : *Analysis of the Use of Reseau Photographs*. Z.Nauk. Wydz. Fizyki Stosowanej National Research Co Council, Ottawa Ap-PR-32, Dec.1965, 1-68.
- Sitek Z., 1965b : *Aerotriangulacja analityczna*. Przegl. Geod., nr 8-9.
- Sitek Z., 1966 : *Analiza nowoczesnych zdjęć reseau i ich zastosowanie w aerotriangulacji przestrzennej*. Z.Nauk. AGH, Rozprawa nr 71, Kraków.
- Sitek Z., 1967a : *Analityczne wyrównanie aerotriangulacji za pomocą wielomianów*. Przegl. Geod., nr 9.

- Sitek Z., 1967b : *Możliwość podniesienia dokładności opracowań fotogrametrycznych*. Przegl. Geod., nr 5.
- Sitek Z., 1968 : *Kierunki rozwojowe nowoczesnej fotogrametrii*. Przegl. Techn. AGH, nr 23, Seria G, Z. 9, Kraków.
- Sitek Z., Mierzwa W., 1972 : *Analityczna aerotriangulacja przestrzenna z niezależnych modeli na UMC-1*. Prace Kom. Górn.-Geodez. PAN w Krakowie, Geodezja 13, Geodezja i Fotogrametria.
- Sitek Z., 1974 : *Uwagi o sporządzaniu map na podstawie ortofotografii*. Z.Nauk AGH, nr 463, Geodezja 32.
- Sitek Z., 1978 : *Analiza fotograficznych i geometrycznych właściwości ortofotomap*. Prace Kom. Górn.Geod., Geodezja, nr 25.
- Sitek Z., 1983 : *Wykorzystanie modelowanej funkcji przenoszenia (MTF) do oceny jakości zdjęć fotogrametrycznych*. Przegl. Geod., R. 55, nr 6.
- Sitek Z., 1988 : *Monitoring in open Cast Mines Using Close Range Remote Sensing Method*. Proceedings of the Indo-British Workshop on Remote Sensing of Environmental in Mining Field, Nov. 1988, Indian School of Mines Dhanbad - 826 004, s. 99-112.
- Sitek Z., 1990 : *Role of Photogrammetry and Remote Sensing in Slope Monitoring in Opencast Mines*. MINMAG, Vol. XX, Dec.1990, Dep. of Mining Eng. Inst. of Technol. Banaras Hindu, University, Varanasi 221005.
- Sitek Z., 1991 : *Polskie Towarzystwo Fotogrametryczne*. Materiały Sympozjum Naukowego w 60-lecie Polskiego Towarzystwa Fotogrametrycznego, Warszawa 22-24 maja 1991r.
- Sitek Z., 1991 : *Fotogrametria ogólna i inżynierska*. Państwowe Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych. Warszawa -Wrocław 1991.
- Sitek Z., 1997 : *Komercyjne obrazy satelitarne Ziemi i GIS w fotogrametrii cyfrowej*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 6, Kraków 1997.
- Sitek Z., Blachut T., Bychawski W., Jachimski J., Kaczyński R., Linsenbarth A., Majde A., 1997: *Fotogrametria i teledetekcja - tendencje i prognozy rozwojowe na przełomie XX i XXI wieku*. Międzynarodowa Konferencja „Geodezja i Kartografia u progu XXI wieku”, Wyd. Instytutu Geodezji i Kartografii oraz Komitetu Geodezji PAN, Warszawa 1997.
- Świątkiewicz A., 1972 : *Sporządzenie fotomap w skalach 1: 2 000 i 1 : 1 000 z powiększeniem obrazu zdjęć lotniczych 6-12-krotnym*. Przegl. Geod., nr 9.
- Tokarczyk A., 1987 : *Opracowanie map izotermicznych zwałowisk kopalnianych na podstawie zobrazowań kamery termowizyjnej*. Z.Nauk.AGH, nr 1100, Geodezja z. 94, s. 167-173.
- Tomaszewski E., 1975 : *Wielospektralna analiza wód morskich i strefy przybrzeżnej*. Fotointerpr. w Geografii, z. 9, s. 9-13.
- Trafas K., 1981: *Teledetekcyjne badania zasięgów dymów przemysłowych w rejonie Krakowa*. Folia Geogr., Series Geogr. -Phys., XIV, 121.
- Trafas K., Pyka K., 1997 : *The future of the Regional Atlas: Computer or GIS Atlas*. Proceedings vol. IV 18th ICA/ACI International Cartographic Conference, ICC 97, Stockholm 1997.
- Walczewski J., 1976 : *Some Characteristics of Industrial Smoke Propagation in the Silesian Region, Poland*. Artif. Satel. 11, No 3.
- Walczewski J., 1980 : *O możliwościach kontrolowania środowiska za pomocą zdjęć lotniczych i satelitarnych*. Fotointerpr. w Geografii, T. 4, nr 14, s. 100-111.

- Węgrzyn Z., 1995 : *Uwagi o zastosowaniu ortofotografii cyfrowej w urządzaniu obszarów wiejskich*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 3, Kraków 1995.
- Węgrzyn Z., 1994 : *Pozyskiwanie bazy danych wektorowej SIT z ortofotografii cyfrowej przy użyciu Video Stereo Digitizera*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 1, Kraków 1994.
- Wężyk P., Mansberger R., 1998 : *Techniki fotogrametrii cyfrowej i GIS w ocenie degradacji drzewostanów świerkowych w masywie Kudłonia w Gorcach*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 8, Kraków 1998.
- Wężyk P., 1998 : *Techniki fotogrametrii cyfrowej, GIS i GPS w badaniach nad przestrzenną depozycją pyłów wybranych metali ciężkich na obszarze Łasku Wolskiego w Krakowie*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 8, Kraków 1998.
- Wilczkiewicz E., 1925 ; *Zdjęcia fotogrametryczne dla celów katastralnych*. Czasopismo Techniczne dla Spraw Pomiarowych. R. 1, nr 1.
- Wilczkiewicz E., 1932 : *Wpływ zakrzywienia Ziemi i refrakcji na przeprowadzenie triangulacji fotogrametrycznej*. Przegl.Fotogram., z. 1-2.
- Wilczkiewicz E., 1934 : *Fotogrametria w zastosowaniu do pomiarów miejskich*. Życie Techniczne, nr 5.
- Wiśniewska E., Zawila-Niedźwiecki T., 1998 : *Klasyfikacja treści leśnej zdjęć satelitarnych*. Prace IGiK, T. XLV, z. 97.
- Wrona T., Węgrzyn Z., 1994 : *Wpływ rozdzielczości skanowania zdjęć lotniczych na dokładność odwzorowania szczegółów*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 1, Kraków 1994.
- Wróbel A., 1994 : *Cyfrowa rejestracja w kamerze termowizyjnej AGA 780 i możliwości jej wykorzystania*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 1, Kraków 1994.
- Zawadzki A.R., 1934 : *Zdjęcia fotogrametryczne wykonane przez ekspedycję polską na Spitsbergenie w okresie 21VI - 29VIII 1934*. Przegl.Fotogram., z. 3.
- Zawiła-Niedźwiecki T., 1989 : *Metoda opracowania map stanu lasu na podstawie zdjęć satelitarnych Landsat - Thematic Mapper IGiK* (praca doktorska).
- Zawiła-Niedźwiecki T., 1990 : *Wykorzystanie zdjęć przez satelity Landsat TM i SPOT w badaniach lasu*. Prace IGiK, T. XXXVII, nr 1-2, s. 63-73.
- Zawiła-Niedźwiecki T., Bochenek Z., Strzelecki P., 1994 : *Wykorzystanie zdjęć satelitarnych ERS-1 w inwentaryzacji szkód leśnych*. Prace IGiK, T. XLI, z. 90.
- Zieliński J. M., 1998 : *Strategia automatyzacji pomiarów na stereogramach cyfrowych z zastosowaniem metod autokorelacji*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, nr 8, Kraków 1998.
- Ziobro J., 1997 : *Analiza parametrów orientacji przy cyfrowym opracowaniu zdjęć lotniczych*. Prace IGiK, T. XLIV, z. 95.
- Ziobro J., Kaczyński R., 1998 : *Analiza wpływu stopnia kompresji obrazu cyfrowego oraz apertury skanowania na późniejszy automatyczny pomiar*. Prace IGiK, T. XLV, z. 97.

Summary

The beginning of photogrammetry in Poland to date the I World War. Research achievements and technological experiences in analogue and analytical photogrammetry and remote sensing make easier the conversion to the digital methods in the last decade. The conversion was relatively easy because many digital technological solutions were based on research results carried on parallelly to the world achievements. It includes the design and construction of a digital stereoplottor VSD, programme for generation of digital orthophotos from aerial photos etc. As a pioneer application of the commercial software the digital orthophotos generated simultaneously from aerial and satellite images for Warsaw and Cracow regions should be mentioned. The digital methods cause the faster development of special applications of close range photogrammetry especially for documenting of monumental objects. Also the remote sensing, from the satellite and aerial ceiling has a significant achievements. They are as follows: application of a thermovision to examine a thermal river degrada-

tion, study the microclimatic conditions in urban - industrial agglomerations, study of floating stages, assessment of harvest and growth of green forage and crop, soil moisture assessment based on satellite imagery analysis and thermal inertia modelling. As significant achievements the land use, land cover digital map of Poland as well as digital photomaps and the atlas of satellite images of Poland can be recognized. Thermovision was also applied to examine industrial waste dumping sites and other industrial facilities and to detect the heat loss in residential buildings. The results of applications of photogrammetric and remote sensing methods can be integrated in environment spatial information systems and become the base for advanced analysis. Geoinformatics in Poland, due to wide spread of GIS, become a tool for common use of complex information on environment collected by specialists in the different fields mostly with the use of photogrammetric and remote sensing methods

Recenzent:

Zbigniew SITEK

BOGDAN CIANCIARA*

EMISJA SEJSMICZNA JAKO NOŚNIK INFORMACJI O ROZWOJU PROCESU PĘKANIA GÓROTWORU

Słowa kluczowe:

pękanie górotworu, wstrząsy, tapania, predykcja zagrożenia, sejsmoakustyka

Abstrakt

W pracy badano możliwość odwzorowania tendencji przebiegającego w górotworze procesu pęknięcia na podstawie analizy rejestrowanej emisji sejsmoakustycznej. Problematyka ta leży u podstaw predykcji silnych wstrząsów górniczych oraz wielu zagrożeń z zakresu geotechniki. Przedstawiono koncepcję identyfikacji procesu pęknięcia górotworu na podstawie analizy probabilistycznej rejestrowanej emisji sejsmoakustycznej. Stwierdzono, iż emisja sejsmoakustyczna może być opisywana za pomocą niejednorodnego i niestacjonarnego strumienia zdarzeń. Parametry tego modelu opisują tendencje rozwoju procesu pęknięcia. Jako przykład przedstawiono zastosowanie tej teorii do predykcji silnych wstrząsów górniczych. Predykcja wstrząsu prowadzona jest na podstawie analizy funkcji ryzyka, której model opisują parametry rozkładów statystycznych cech emisji. Przebieg funkcji ryzyka w czasie uzyskuje się, estymując jej wartość w określonym oknie T, które podlega przesuwaniu z ustalonym krokiem Δ .

SEISMIC EMISSION AS A CARRIER OF INFORMATION ON THE DEVELOPMENT OF THE ROCK-MASS FRACTURING PROCESS

Key words:

fracturing of rock-mass, tremors, rock-burts, prediction of mining safety, seismoacoustic

Abstract

The possibility of reconstruction of trends in developing the fracturing process in rock-mass is analysed on the base of registered seismoacoustic emission. Such reconstruction is needed for strong mining shocks prediction and estimation of risk that other dangerous geotechnical processes can occur. The identification of fracturing process conception is presented in the paper on the base of probabilistic analysis the registered seismoacoustic emission. It was shown, that seismoacoustic emission can be described with non-homogeneous nonstationary stream of events. The parameters of the model are describing trends in developing fracturing process. The example of using the model, for prediction the strong mining shocks from seismoacoustic observations. The prediction is based on analyses of risk function in which estimated parameters of proposed model have been used. The risk function values in time are obtained from estimation its values in time windows with fixed length T which is shifted for time window D.

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

1. Wprowadzenie

Głównym celem tej pracy jest wyjaśnienie, w jakim stopniu jest możliwe śledzenie rozwoju procesów pękania, które poprzedzają wystąpienia wstrząsów.

Eksploatacja górnicza w kopalniach podziemnych powoduje naruszenie równowagi geomechanicznej górotworu, najczęściej związanej z osiadaniem skał stropowych. Skutkiem tego wytwarza się zmienny w czasie i przestrzeni gradient naprężeń, który jest przyczyną pękania skał (Marczak 1995). Rozwijający się proces pękania w określonych warunkach może prowadzić do wstrząsu. Zatem możliwość śledzenia rozwoju procesu pękania jest jednym z podstawowych zagadnień w problematyce związanej z predykcją silnych wstrząsów oraz oceny stopnia zagrożenia tąpnięciami. Pęknięcie górotworu jest zjawiskiem bezpośrednio nieobserwowalnym, można go jednak obserwować w sposób pośredni. Jednym z nośników informacji, który umożliwia śledzenie pękania, jest emisja sejsmiczna. Poszczególne pęknięcia, zwane zjawiskami sejsmicznymi, wywołują drgania sprężyste, które rozchodzą się w górotworze i mogą być rejestrowane w formie sygnałów stanowiących emisję sejsmiczną. Emisja odwzorowująca procesy pękania poprzedzające wstrząsy zawarta jest w zakresie częstotliwościowym charakteryzującym sejsmoakustykę. Dla zachowania ciągłości informacyjnej emisji konieczne jest, aby dolna granica pasma rejestracji zawarta była w zakresie seismologicznym i wynosiła od kilku do kilkunastu Hz. Skuteczność śledzenia procesów pękania prowadzących do wstrząsu uwarunkowana jest odpowiednią jakością układu pomiarowego rejestrującego emisję. Aparatura rejestrująca emisję w tak szerokim zakresie pasma częstotliwościowego powinna posiadać wysoką dynamikę zapisu, przekraczającą 100db, a rozmieszczenie czujników w górotworze powinno zapewnić obserwację całego obszaru, w którym rozwijają się procesy pękania. Emisja rejestrowana w zakresie sejsmoakustycznym zawiera, oprócz informacji użytecznej, różnego typu zakłócenia. Zakłócenia te związane są z zaburzeniami w przebiegu procesu pękania oraz oddziaływaniami natury mechanicznej i elektrycznej. Dlatego bardzo istotnym zagadnieniem jest stosowanie odpowiednich metod eliminacji tych zakłóceń.

Jak wynika z licznych opracowań, zarówno pęknięcie górotworu, jak również wywołana nim emisja mają strukturę stochastyczną. Przyjmuje się, że emisja sejsmoakustyczna może być charakteryzowana dwoma podstawowymi cechami, opisującymi:

- rozmiary zjawisk (pęknięć), wyrażane np. za pomocą energii rejestrowanych sygnałów drgań,
- odstępy czasu między kolejnymi zjawiskami.

Cechy te – traktowane jako zmienne losowe – powiązane są ze sobą zależnością, która umożliwia sformułowanie jednolitego modelu opisującego ich rozkłady statystyczne (Cianciara 2000).

Przebiegający w czasie proces emisji może być modelowany w formie punktowego strumienia zdarzeń o parametrze λ , który określa aktywność emisji (Kowalenko i in. 1989). Parametr λ zależy pośrednio od rozmiarów zjawisk emisji i podobnie jak one powinien być traktowany jako zmienna losowa. Wynika stąd, że strumień emisji powinien być modelowany za pomocą niejednorodnych, podwójnie stochastycznych procesów. Parametr λ zależy również od zmieniających się w czasie parametrów geomechanicznych. W efekcie strumień emisji jest niestacjonarnym i niejednorodnym procesem stochastycznym.

Zakłada się, że model opisujący strumień emisji opisuje jednocześnie przebieg pękania górotworu. Odnosi się to również do rozkładów statystycznych wymienionych wyżej cech, które opisują emisję i pęknięcie. Na podstawie analizy rozkładów statystycznych możliwa jest ocena parametrów opisujących stopień niejednorodności emisji oraz współczynnik skali zjawisk. Parametry te opisują tendencje rozwoju pęknięć górotworu i mogą być wykorzystane do opracowania modeli predykcyjnych zagrożenia tąpnięciami. Proces emisji traktowany jest jako lokalnie stacjonarny w określonym przedziale czasu, tzw. oknie informacyjnym T . Wielkość tego okna zależy od szybkości przebiegających w górotworze procesów geodynamicznych i jest wyznaczana empirycznie. Jednocześnie okno to powinno zabezpieczać odpowiednią liczebność zjawisk, która umożliwi wiarygodną pod względem statystycznym estymację parametrów. W praktyce predykcja wstrząsów oraz ocena zagrożenia tąpnięciami może być prowadzona na podstawie analizy tzw. „funkcji ryzyka wystąpienia wstrząsu”, którą opisują parametry rozkładów statystycznych cech emisji. Parametry te wy-

znaczane są na podstawie analizy rejestrowanego strumienia emisji w oknie o określonej wielkości T metodą aproksymacji stochastycznej (Koronacki 1989). Następnie okno to, przesuwane o określony krok Δ , umożliwia wyznaczenie omawianych parametrów, a tym samym wyznaczenie przebiegu zmienności funkcji ryzyka w czasie. W pracy przedstawiono zastosowanie omawianej teorii w praktyce na przykładzie analizy emisji zarejestrowanej w kopalniach rud miedzi.

2. Opis statystyczny emisji sejsmoakustycznej

Jak już wspomniano we wstępie, na skutek eksploatacji w wyrobiskach górniczych ma miejsce osiadanie masywu skalnego. Na ogół osiadanie to jest nierówne, co prowadzi do wytwarzania się w górotworze zmiennego w czasie i przestrzeni pola naprężeń. Jak wynika z podstawowych teorii geomechanicznych, stanowi to bezpośrednią przyczynę pęknięcia górotworu. W miejscach, gdzie naprężenia przekraczają wytrzymałości krytyczne, rozpoczyna się proces pęknięcia podlegający określonym prawom (Goszcz 1999). W pewnych warunkach rozwój procesu pęknięcia może prowadzić do wstrząsu. Zrandomizowany rozkład parametrów geomechanicznych w ośrodku skalnym powoduje, że pęknięcie ma charakter probabilistyczny. Istnieje cały szereg teorii i wynikających z nich modeli opisujących przebieg procesu pęknięcia (niszczenia) górotworu przed wystąpieniem wstrząsu (Marczak 1985). Na ogół przed wstrząsem występuje powiększanie się rozmiarów pęknięć (w skali wykładniczej), czemu towarzyszy spadek aktywności i niekiedy efekt zatrzymania ruchu w górotworze. Jest to jednak trudne do wykrycia, ponieważ występuje wiele zjawisk zaburzających przebieg tego procesu, np. zjawisko emisji indukowanej, które towarzyszy każdemu większemu pęknięciu. Dlatego interpretacja zagrożenia powinna być oparta na bardziej zaawansowanej analizie własności probabilistycznych procesu pęknięcia.

Jak wiadomo, emisja sejsmoakustyczna odwzorowuje proces pęknięcia górotworu. Poszczególne pęknięcia wytwarzają drgania sprężyste, które rozchodzą się w ośrodku skalnym i mogą być rejestrowane jako zjawiska. Rejestrowane ciągi zjawisk tworzących emisję mają strukturę losową i mogą być opisywane modelem punktowego strumienia zdarzeń (Kowalenko i in. 1989). Poszczególne

zdarzenia, czyli pęknięcia, utożsamiane są ze zjawiskami emisji, których detekcja prowadzona jest na podstawie grup sygnałów, rejestrowanych odpowiednio rozmieszczonym w górotworze układem czujników. Strumień taki opisują dwie podstawowe cechy, reprezentujące: energie zjawisk (rozmiary zjawisk) oraz odstępy czasu między kolejnymi zjawiskami. Jak wiadomo, strumień zdarzeń charakteryzuje tzw. parametr strumienia λ , który reprezentuje liczbę pojawiających się zdarzeń w jednostce czasu (aktywność). Parametr ten zależy od prawdopodobieństwa pojawiania się zdarzeń, które z kolei zależy od rozmiarów zjawisk. W przypadku emisji sejsmoakustycznej parametr λ jest zależny od wymienionych wyżej cech, czyli:

$$\lambda = \lambda(E, u) \quad (2.1)$$

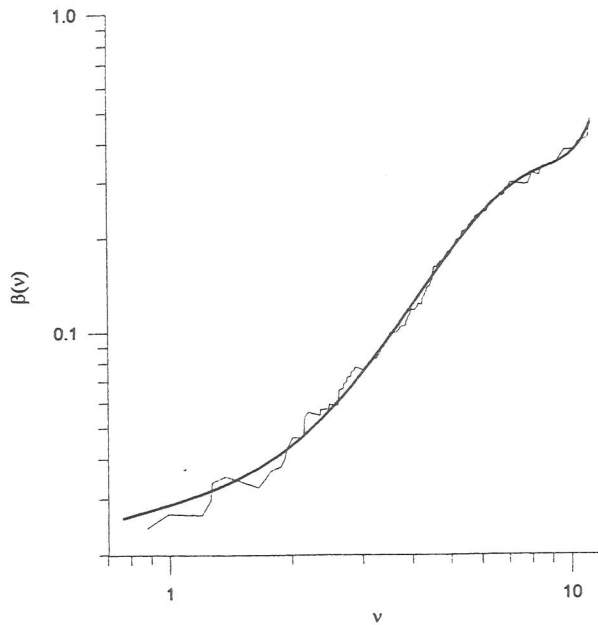
Jest to oczywisty wniosek wynikający z podstawowych praw, które uzależniają liczbę pojawiających się zjawisk od ich energii. Jako przykład może posłużyć prawo Gutenberga – Richtera, które wiąże liczbę pojawiających się zjawisk N od ich energii „ E ”, czyli:

$$N(E) = N_0 \left(\frac{E}{E_0} \right)^\alpha \quad (2.2)$$

Ze względu na to, że omawiane cechy mają strukturę przypadkową i są traktowane jako zmienne losowe, parametr λ jest również zmienną losową. W tym przypadku emisja ma złożoną budowę i musi być opisywana modelem podwójnie stochastycznego strumienia zdarzeń, czyli tzw. strumienia Coxa, który jest procesem niejednorodnym (Kowalenko i in. 1989). Dopiero taki model umożliwi właściwe odwzorowanie procesu pęknięcia w fazie poprzedzającej wystąpienie wstrząsu.

Jak już wspomniano, rozwój procesu pęknięcia charakteryzuje się na ogół wzrastającymi rozmiarami zjawisk w miarę zbliżania się do momentu wystąpienia wstrząsu. Zwiększanie się rozmiarów zjawisk zgodnie z ogólnym prawem powoduje również powiększanie odstępów czasu między kolejnymi zjawiskami.

Dodatkowo zmiany aktywności emisji w czasie powodują, iż model dobrze opisujący pęknięcie powinien być jednocześnie niestacjonarny. Reasumując, należy stwierdzić, że rejestrowana emisja w okresach przed wystąpieniem wstrząsu – opisywana za pomocą niestacjo-



Rys. 2.1. Wykres zależności parametru β od energii zjawisk $v = \ln(E/E_0)$

Fig. 2.1. The plot of relation between parameter β and the energy of events

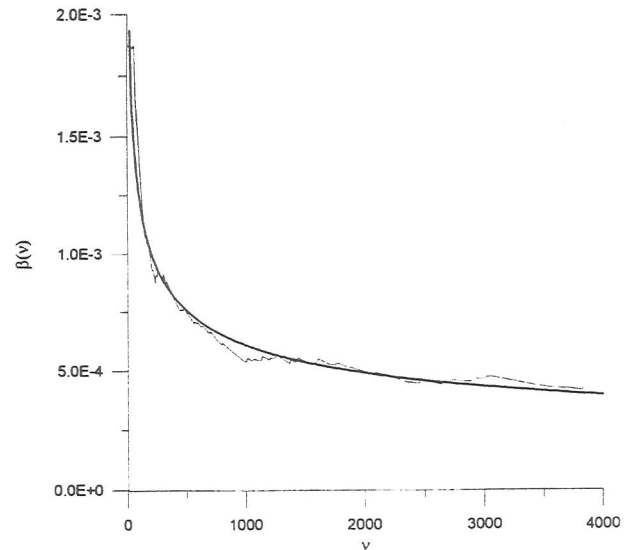
narnego i niejednorodnego strumienia zdarzeń – dobrze odwzorowuje proces pęknięcia górotworu. Jak wynika z licznych doświadczeń, model emisji w formie prostego strumienia zdarzeń, czyli gdy parametr $\lambda = \text{constans}$, nie daje dobrych ocen stopnia zagrożenia tapaniami. Dlatego bardzo istotnym zagadnieniem jest opracowanie modeli, które opisują zależność tego parametru od omawianych cech emisji. W prostym strumieniu zdarzeń dystrybuanty rozkładów statystycznych omawianych cech można opisać jednym syntetycznym modelem, a mianowicie:

$$F(v) = 1 - e^{-\beta v} \quad \text{dla} \quad v \geq 0 \quad (2.3)$$

gdzie:

- w przypadku energii $v = \ln \frac{E}{E_0}$, a β reprezentuje parametr rozkładu energii,
- w przypadku odstępów czasu między zjawiskami $v = \left(\frac{u}{u_0} - 1 \right)$, a β reprezentuje prostą aktywność emisji.

Na podstawie analizy materiału pomiarowego rejestrowanego w kopalniach stwierdzono, że zależność (2.1) ma bardzo skomplikowany charakter i musi być



Rys. 2.2. Wykres zależności parametru β od odstępów czasu między zjawiskami $v = (U/U_0 - 1)$

Fig. 2.2. The plot showing relationship between parameter β and the gaps between seismoacoustical, recorded events

analizowana niezależnie dla energii „E” i odstępów czasu między zjawiskami „u”.

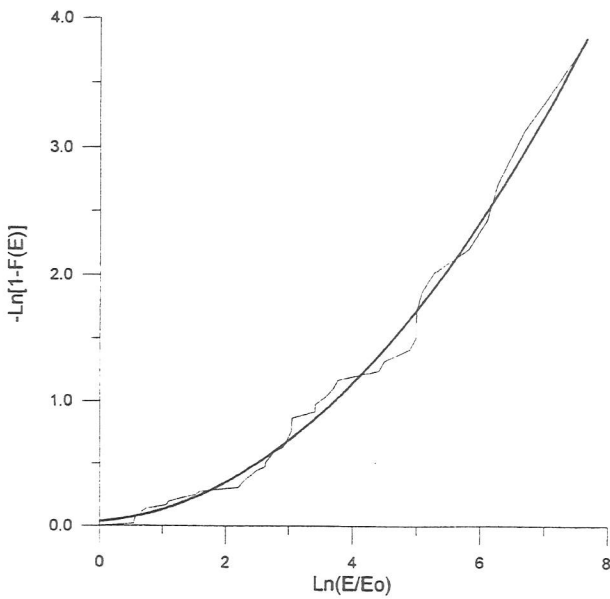
W przypadku energii, wprowadzając pewne uproszczenia, zależność tą można opisać następującym modelem:

$$\beta = P_n(v) \quad (2.4)$$

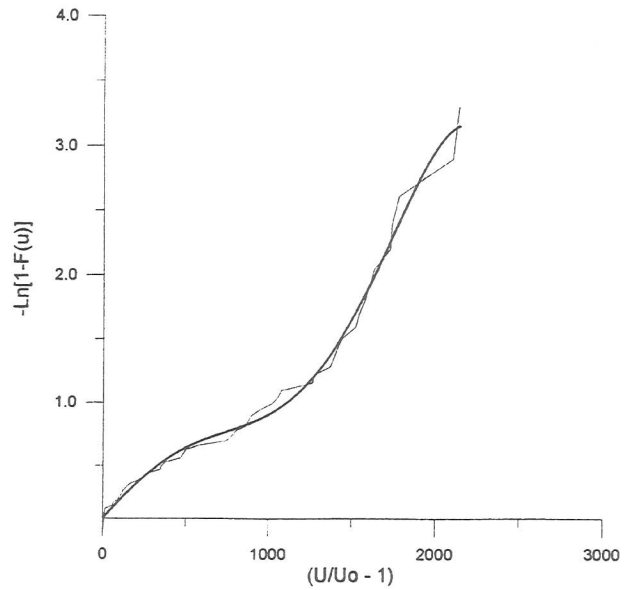
gdzie:

$$P_n(v) = \sum_{k=1}^n b_k v^{e_k}, \quad v = \ln \frac{E}{E_0}, \quad b_k, e_k - \text{parametry,} \\ b_k > 0 \text{ dla } (k = 1, \dots, n)$$

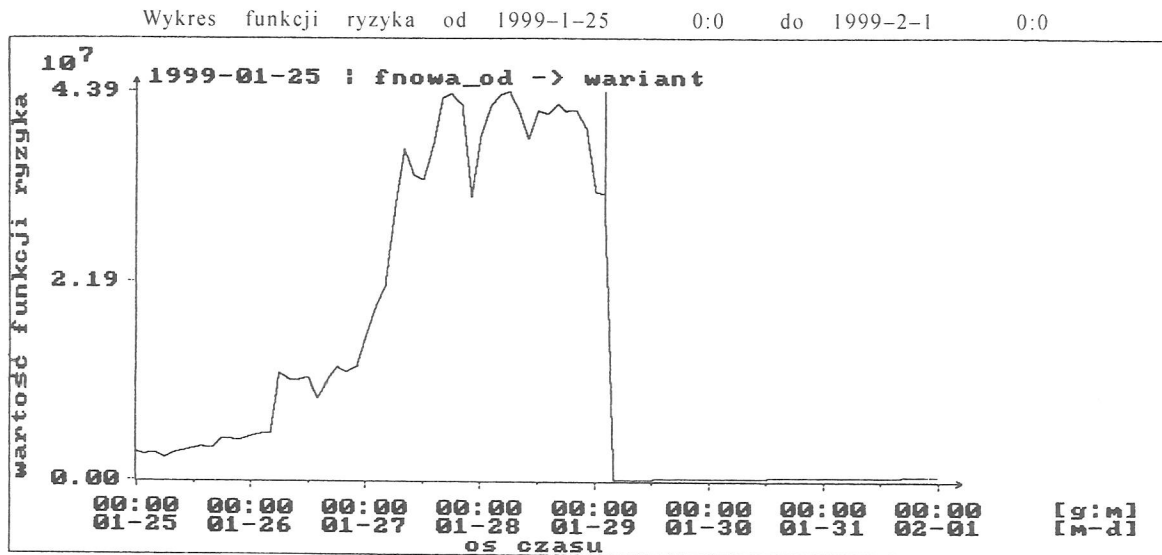
Wykres tej zależności zilustrowano na rysunku (2.1). Obliczenia wykonano na podstawie rejestracji z kopalń rud miedzi. Na rysunku (2.2) przedstawiono wykres obrazujący zależność parametru β od odstępów czasu między kolejnymi zjawiskami. Obliczenia zostały wykonane na tych samych zbiorach danych, które były użyte do obliczeń w przypadku energii. Widzimy, że zależność ta ma zdecydowanie inny charakter niż w przypadku energii.



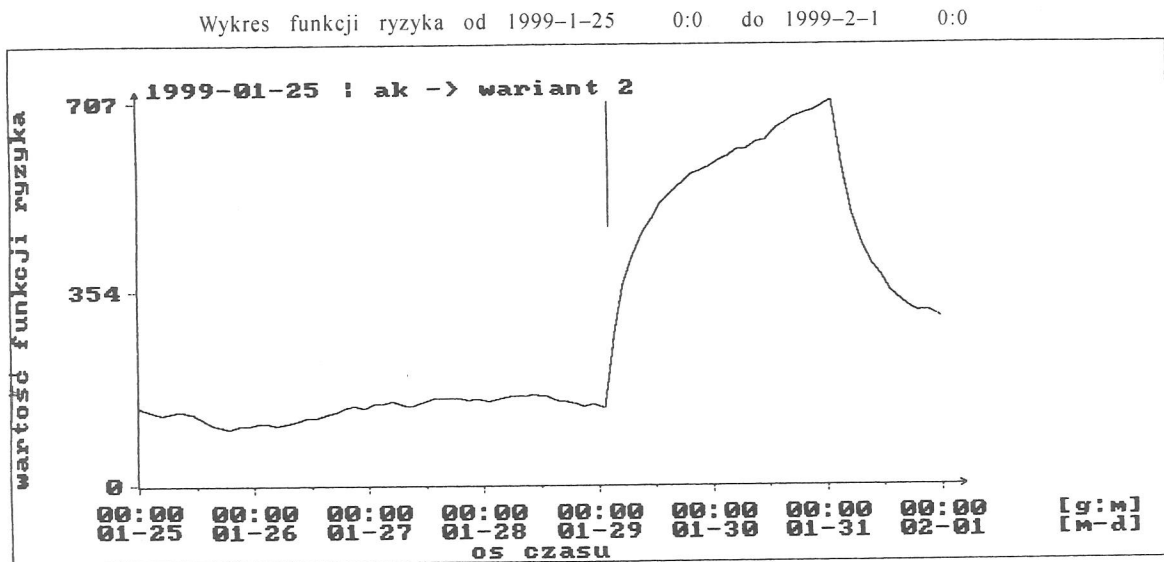
Rys. 2.3. Wykres dystrybuanty empirycznej energii zjawisk oraz jej aproksymacja modelem teoretycznym (2.6)
 Fig. 2.3. The empirical distribution of seismoacoustic events energy and its approximation with theoretical model (2.6)



Rys. 2.4. Wykres dystrybuanty empirycznej odstępów czasu między zjawiskami oraz jej aproksymacja modelem teoretycznym (2.7)
 Fig. 2.4. The empirical distribution of seismoacoustic events energy and its approximation with theoretical model (2.7)



Rys. 2.5. Przykładowy przebieg funkcji ryzyka w okresie wystąpienia wstrząsu o energii 2.5E8
 Fig. 2.5. The risk function for tremor with energy 2.5E8 as an example of the risk function structure



Rys. 2.6. Przykładowy przebieg aktywności emisji w okresie wystąpienia wstrząsu o energii 2.5E8
 Fig. 2.6. The seismoacoustic activity function for tremor with energy 2.5E8 as an example of the risk function structure

Model opisujący tę zależność można przedstawić następująco:

$$\beta = Q_n(v) \quad (2.5)$$

gdzie:

$$Q_n = \sum_{k=1}^n \lambda_k v^{d_k}, \quad v = \frac{u}{u_0} - 1, \quad \lambda_k \text{ i } d_k - \text{parametry}$$

$$\lambda_k > 0 \text{ dla } (k = 1, \dots, n)$$

Do estymacji parametrów modeli (2.4) i (2.5) zastosowano metodę aproksymacji stochastycznej (Koronacki, 1989). Jak wiadomo z literatury (Koronacki, 1989), metoda ta daje dobre wyniki przy bardzo słabych założeniach, co jest bardzo istotne w rozważanym tutaj przypadku. W efekcie zastosowania tej metody uzyskano dobre wyniki, co zostało zilustrowane na rysunkach (2.1) i (2.2). Parametry e_k i d_k , występujące w zależnościach (2.4) oraz (2.5), opisują stopień niejednorodności procesu emisji. Jeżeli parametry te są równe zero, wówczas strumień emisji jest jednorodny, a rozkład statystyczny jego cech opisuje model (2.3). W przypadku gdy strumień jest jednorodny, wtedy pojawiające się zdarzenia mają porównywalne

rozmiary, czyli zawarte są w stosunkowo wąskim zakresie zmienności, a odstępy czasu między kolejnymi zjawiskami są całkowicie losowe. W takich przypadkach nie pojawiają się tendencje do wzrastania rozmiarów zjawisk. Z punktu widzenia geomechaniki stan taki charakteryzuje niski stopień zagrożenia tąpnięciami. Natomiast powiększanie się tych parametrów jest wskaźnikiem wzrostu stopnia zagrożenia tąpnięciami. Uwzględniając zależności (2.4) oraz (2.5) w rozkładzie (2.3), uzyskamy modele rozkładów statystycznych opisujące niejednorodny stan emisji, czyli:

- dla energii:

$$F(v) = 1 - \exp[-vP_n(v)] \text{ dla } v > 0 \quad (2.6)$$

$$\text{gdzie: } v = \ln \frac{E}{E_0}$$

– dla odstępów:

$$F(v) = 1 - \exp[-vQ_n(v)] \text{ dla } v > 1 \quad (2.7)$$

$$\text{gdzie: } v = \frac{u}{u_0} - 1$$

Na rysunkach (2.3) i (2.4) przedstawiono przykładowe wykresy dystrybuant empirycznych

rozkładów omawianych cech emisji oraz ich aproksymacje odpowiednio modelami teoretycznymi (2.6) i (2.7). Analizując wykresy na rysunkach, widzimy bardzo dobrą skuteczność aproksymacyjną, co zostało potwierdzone w praktyce, poprzez weryfikację statystyczną hipotezy o zgodności rozkładów. Gdy $n = 1$, model omawianych rozkładów upraszcza się do następującej postaci (Cianciara 1999):

$$F(v) = 1 - \exp[-\beta v^\gamma] \quad (2.8)$$

gdzie:

w przypadku energii „E” $\beta = b_1, \gamma = 1 + e_1$,

natomiast w przypadku odstępów „u”

$$\beta = \lambda_1, \gamma = 1 - d_1$$

Modele te są znane z literatury pod nazwą rozkładu Weibulla (Lasocki 1993a). W przypadku tym istnieje możliwość zdefiniowania tzw. współczynnika skali zjawisk $\gamma = b \frac{1}{u}$, który – jak pokazano w pracy (Cianciara 2000) – jest proporcjonalny do zakresu energetycznego emisji i może być używany jako miernik zagrożenia tąpnięciami.

3. Zastosowanie praktyczne do oceny zagrożenia tąpnięciami

Jak wynika z powyższych rozważań, rejestrowana emisja jest dobrze opisywana za pomocą modelu niejednorodnego strumienia zdarzeń. Model ten jest również niestacjonarny, ponieważ emisja odwzorowuje przebiegające w górotworze, zmienne w czasie, procesy geodynamiczne. Dlatego do identyfikacji cech emisji zakłada się jej lokalną stacjonarność w określonym oknie T. Wielkość tego okna wyznaczana jest na drodze optymalizacyjnej, ponieważ zależy ono od szybkości zmian procesów geodynamicznych, a jednocześnie powinno zapewniać taką liczebność zjawisk, która umożliwia prowadzenie wnioskowań statystycznych na odpowiednim poziomie istotności. Identyfikacja ta polega na estymacji parametrów opisujących rozkłady statystyczne cech emisji w omawianym oknie. Przesuwając to okno o ustalony krok, uzyskamy opis statystyczny rejes-

trowanego strumienia w czasie. Zakłada się, iż parametry rozkładów statystycznych procesu emisji opisują również pękanie górotworu.

Stanowi to podstawę predykcji zagrożenia tąpnięciami. Miernikiem zagrożenia jest tzw. funkcja ryzyka wystąpienia wstrząsu, której model opisany jest za pomocą parametrów rozkładów statystycznych omawianych cech. W tym celu wykorzystuje się parametry opisujące stopień niejednorodności emisji i skalę zjawisk oraz parametr określający prawdopodobieństwo wystąpienia wstrząsu. W efekcie buduje się syntetyczną funkcję ryzyka, łączącą parametry obydwu omawianych cech. Funkcja ta jest proporcjonalna do skali zjawiska oraz stopnia niejednorodności strumienia emisji i opisuje tendencje procesu pęknięcia. Podlega ona charakterystycznemu zachowaniu się w czasie przed wystąpieniem wstrząsu. Od kilku do kilkunastu godzin przed wystąpieniem wstrząsu następuje wzrost funkcji ryzyka do określonej wartości i na ogół wstrząs występuje w maksimum lub tuż po maksimum. Przykładowy przebieg funkcji ryzyka w okresie wystąpienia wstrząsu o energii $2.5E8$ przedstawiono na rysunku (2.5). Obliczenia wykonane były na podstawie emisji rejestrowanej w Zakładach Górniczych „Rudna” w okresie od 25-01 do 01-02-1999. Na rysunku tym pionową kreską zaznaczono moment wystąpienia wstrząsu. Dla przykładu na rysunku (2.6) przedstawiono wykres przebiegu aktywności emisji rejestrowanej w tym okresie. Na rysunku tym widzimy znaczny wzrost aktywności po wystąpieniu wstrząsu, związany z emisją indukowaną.

4. Podsumowanie

Jednym z podstawowych zagadnień w zakresie predykcji silnych wstrząsów oraz zagrożenia górnego tąpnięciami jest możliwość śledzenia tendencji rozwoju procesu pęknięcia górotworu. Bezpośrednio nieobserwowalny proces pęknięcia może być odwzorowywany za pomocą emisji sejsmoakustycznej, która stanowi dla niego kanał informacyjny. Odwzorowanie to umożliwia sformułowanie stwierdzenia, że proces pęknięcia posiada taką samą strukturę stochastyczną, jak wywołana nim emisja sejsmoakustyczna. Za-

równie pękanie, jak i wywołaną nim emisję można opisywać za pomocą modelu punktowego strumienia zdarzeń, który w ogólnym przypadku jest niejednorodny i niestacjonarny. Model ten jest identyfikowany na podstawie analizy emisji sejsmoakustycznej rejestrowanej w oknie T, zakładając jej lokalną stacjonarność. Identyfikacja polega na estymacji w oknie T parametrów opisujących rozkłady statystyczne cech emisji. Przesuwając omawiane okno T o ustalony krok D, uzyskamy pełny obraz rozwoju procesu pęknięcia w czasie. Miarą tendencji rozwoju procesu pęknięcia jest tzw. funkcja ryzyka wystąpienia wstrząsu, której model opisują parametry rozkładów statystycznych cech emisji. Funkcja ta – wraz z układem kryteriów – stanowi podstawę predykcji zagrożenia górniczego tąpnięciami. Pierwsze wyniki zastosowania w praktyce tej koncepcji wskazują na bardzo wysoką efektywność ocen predykcji zagrożenia tąpnięciami. Musi to jednak zostać potwierdzone na znacznie obszerniejszym materiale pomiarowym, rejestrowanym w różnych warunkach geologiczno-górniczych.

Bibliografia

- Cianciara A., 2000: *System monitorowania zagrożenia wystąpieniem silnych wstrząsów w oparciu o analizę emisji sejsmoakustycznych*. Rozprawa doktorska, Biblioteka Główna AGH. Kraków.
- Goszcz A., 1999: *Elementy mechaniki skał oraz tąpnięcia w polskich kopalniach węgla i miedzi*. PAN IGSMiE Kraków.
- Koronacki J., 1989: *Aproksymacja stochastyczna metody optymalizacji w warunkach losowych*. PWN Warszawa.
- Kowalenko I. N., Kuzniecowa N. J., Szurienkowi W. M., 1989: *Procesy stochastyczne*. Poradnik PWN. Warszawa.
- Lasocki S., 1993a: *Weibull distribution as a model for sequence of seismic events induced by mining*. Acta Geophys. Pol. 41, no 2.
- Marcak H., 1985: *Geofizyczne modele rozwoju procesu niszczenia górotworu poprzedzające tąpnięcia i wstrząsy w kopalniach*. Publ. Inst. Geophys. Pol. Ac. Sc. M-6 (176), str. 317–332.
- Marcak H., 1995: *Wpływ struktury górotworu naruszonego robotami górniczymi na tworzenie sekwencji wstrząsów górniczych*. PWN Warszawa.

Recenzent:

Henryk MARCAK

STANISŁAW GRUSZCZYŃSKI^{*)}

OCENA ZAGROŻENIA GLEB W REJONACH GÓRNICZYCH ZA POMOCĄ SZTUCZNYCH SIECI NEURONOWYCH[†]

Słowa kluczowe:

gleba, sieć neuronowa, prognoza, teren górniczy, przekształcenia

Abstrakt

W pracy przedstawiono alternatywne, wobec istniejących metod, podejście do problemu prognozowania przekształceń gleb na terenach górniczych. Użytecznym narzędziem w rozwiązaniu tego problemu mogą być sztuczne sieci neuronowe (SSN). Przedstawiono próbę zastosowania SSN do prognozowania potencjalnych skutków przekształceń gleb towarzyszących eksploatacji górniczej. Podstawowym założeniem jest tutaj związek między cechami gleb i morfologii terenu a ich klasyfikacją.

Badania przeprowadzone na obszarach testowych: Przyszowice, Wzgórza Dalkowskie i Chełm, wskazują, że SSN mogą poprawnie klasyfikować gleby przetwarzając informacje glebowe i morfologiczne. Wytrenowane sieci dokonywały poprawnej klasyfikacji 91-97 procent powierzchni gleb, przy czym liczebność zbioru użytego do treningu sieci sięgała 10 procent bazy danych. Stanowi to znaczący postęp wobec klasycznych metod prognozowania przekształceń gleb podlegających zaburzeniom hydrologicznym.

EVALUATION OF THREATS ON SOILS IN MINING REGIONS WITH THE APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Key words:

soil, neural network, forecast, mining terrain, transformations.

Abstract

The paper presents alternative to the existing methods approach to the problem of forecasting the effects of soil transformations on the mining areas. The properly selected processing systems based on artificial neural networks (ANN) can be an useful tool for objective forecast of results accompanying some of the soil features changes (inclination, ground level location, land configuration etc.). A try of application the ANN classifiers to forecast the potential effects of soil transformations during mining exploitation. The idea comes from known in soil sciences though not quantitatively defined connections between geometrical, litological and hydrological soils properties and soils classification.

^{*)}Akademia Górniczo-Hutnicza – Wydział Geodzieji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Kraków

[†] Praca finansowana z funduszu badań własnych AGH(10.150.485)

The carried out studies in objects: Przyszowice, Wzgórza Dalkowskie i Chełm, confirmed neural classifiers as being able to proceed a proper soil classification based on possible to interpretate from cartographical-soil documentation and situation-height object properties. In each of the cases the identification correctness at 91 to over 97 percent of examined areas was achieved. It has to be emphasized that the training series were not more than 10 percent of information amount gathered in databases. This means radical qualitative progress in comparison to classical prognosis methods which generally formulate hydrological transformations.

1. Wstęp

Liczne względy praktyczne uzasadniają potrzebę prognozowania następstw eksploatacji górniczej w formie obrazu rozkładu przestrzennego głównych zagrożeń. Do obrazu przestrzennego rozkładu skutków przekształceń gleb na terenach górniczych prowadzą dwie drogi: pierwsza – buduje go na podstawie modelowania procesów zmian plonowania upraw w granicach terenu objętego przekształceniami, druga – rozwiązuje problem jako zadanie klasyfikacyjne, prowadzące do mapy prognozowanego rozmieszczenia jednostek klasyfikacyjnych gleb. Pierwsze, klasyczne podejście jest trudne do praktycznej realizacji, ponieważ ilościowe związki między zjawiskami zachodzącymi w glebach a ich plonowaniem są słabo znane – w rezultacie, przynajmniej obecnie, nie istnieje metoda prognozowania wywodząca się z niego w całości. Nowsze podejście klasyfikacyjne wymaga, by: a) istniały reguły wiążące cechy gleb, zmieniające się pod wpływem eksploatacji, z uprzednio wyspecyfikowanymi klasami, b) istniał zbiór danych (zbiór treningowy) będący reprezentatywnym odzwierciedleniem tych powiązań, złożony z par: wektora cech i odpowiadającej mu etykiety klasy. Znane, sformułowane explicite metody prognozowania skutków przekształceń gleb (Gruszczyński *et al.* 1993; Kowalkowski *et al.* 1969; Skawina *et al.* 1972; Żuławski *et al.* 1965) są hybrydą łączącą elementy obu koncepcji: model przekształceń odzwierciedla domniemany mechanizm generowania szkód, zaś wskaźniki liczbowe pochodzą z analiz systemów klasyfikacyjnych.

Zastosowanie metod klasyfikacji obiektów do zagadnień przyrodniczych ma dość długie tradycje, związane głównie z metodami statystycznymi (Kurzyński 1997; Rao 1982). Systemy informatyczne udostępniły aparat przetwarzający, który znacznie zwiększa skuteczność i wydajność analizy danych, co z kolei daje szansę na znaczącą poprawę jakości prognozy, bazującej na możliwościach

związanych z metodami klasyfikacji obiektów. Istotną pozycję zajmują tu sieci neuronowe, struktury przetwarzające dane, wykorzystywane do rozwiązywania zadań związanych z klasyfikacją i identyfikacją obiektów.

2. Kwalifikacja gleb i klasyfikatory neuronowe

Klasyfikacja polega na zaliczeniu obiektu do jednej z wcześniej wyspecyfikowanych grup (klas). Przeprowadza się ją, wykorzystując reguły wiążące cechy obiektu z jednostkami klasyfikacyjnymi. Jeżeli to powiązanie nie jest znane, klasyfikację poprzedza jego ustalenie na podstawie analizy poprawnie sklasyfikowanego zbioru obiektów (Almeida 1997; Bishop 1997; Kurzyński 1997; Żurada *et al.* 1996). Literatura zawiera liczne przykłady tego typu zadań oraz możliwości ich rozwiązań (Kurzyński 1997; Rao 1982).

Gleby są od wielu lat przedmiotem klasyfikacji, a jako obiekty charakteryzujące się wieloma cechami wpływającymi na klasyfikację są dobrym przykładem potencjalnej użyteczności wymienionych metod. Podstawowym rodzajem waloryzacji gruntów rolnych w Polsce, uwzględniającej cechy morfologiczne i użytkowe gleb, jest klasyfikacja bonitacyjna. W obecnym kształcie obowiązuje ona od lat pięćdziesiątych (wykorzystuje jednak wiele wyników uzyskanych w latach międzywojennych), zaś jej obraz zawierają mapy klasyfikacji gleb obojętniej w skali 1:5000. W klasyfikowaniu gleb wykorzystywane są związki między ich cechami morfologicznymi, położeniem oraz litologią a właściwościami użytkowymi. Pierwotnym celem klasyfikacji bonitacyjnej jest odzwierciedlenie przyrodniczego zróżnicowania gleb, aby ustalić opodatkowanie właścicieli gruntów proporcjonalne do uzyskiwanych efektów. Treść dokumentacji bonitacyjnej wykracza poza ten wymóg, po-

zwalając na zapoznanie się z typologią gleby, ich litologią oraz szczegółami morfologicznymi profilu. Informacje te zawierają opisy wzorców (prototypów) poszczególnych, charakterystycznych dla klas jednostek, zawarte w „*Komentarzu do tabeli klas gruntów*” (Komentarz 1963; Strzemski 1972). Niezależnie od tych indywidualnych opisów, każdy kontur bonitacyjny wyróżniony w terenie lub na mapie może zostać scharakteryzowany przy użyciu opisu grupowego, związanego z konkretną klasą wskazywaną przez jej etykietę; opis ten jest – rzecz jasna – mniej szczegółowy i odnosi się do cech użytkowych, zwłaszcza ograniczeń związanych z typowymi dla klasy wadami gleb. Polski system bonitacji obejmuje dziewięć klas gruntów ornych oraz sześć klas trwałych użytków zielonych.

Innym rodzajem klasyfikacji gleb w Polsce jest, ściśle związany z bonitacją, podział na kompleksy przydatności rolniczej. Jest on treścią map glebowo-rolniczych, dostępnych w skalach szczegółowych (1:5000) oraz przeglądowych (1:25000–100000). Kompleks jest jednostką jednorodną typologicznie i litologicznie, w obrębie której gleby wykazują podobne właściwości użytkowe, wyrażające się przydatnością do określonych upraw. W opinii M. Strzemskiego (Strzemski 1966, 1972) system kompleksów tworzących skalę nominalną, w odróżnieniu od porządkowej skali bonitacyjnej, nie jest klasyfikacją, lecz kwalifikacją. Termin ten nie zdobył powszechnego uznania, lecz dla zwięzłości w tym znaczeniu będzie używany w niniejszej pracy. Ze względu na łatwość interpretacji treści oraz bezpośrednią przydatność, mapa glebowo-rolnicza jest powszechnie wykorzystywana w praktyce gospodarczej, pracach urzędniowych, przyrodniczej waloryzacji obszarów itp. Podobnie jak klasa bonitacyjna, kompleks tworzony przez gleby występujące w danym terenie wskazuje pośrednio na cechy grupowe, typowe dla wykształconych tu gleb. Polski system obejmuje czternaście kompleksów gruntów ornych oraz trzy kompleksy trwałych użytków zielonych. W odróżnieniu od bonitacji, kwalifikacja gleb jest nastawiona w większym stopniu na wyodrębnienie jednostek wymagających odmiennego traktowania gospodarczego od otoczenia.

Klasyfikacja i kwalifikacja gleb, a także klasyfikacja typologiczna siedlisk leśnych jest prowadzona na podstawie terenowych (w niektórych przypadkach

także laboratoryjnych) oznaczeń gleboznawczych. Metodyka postępowania jest dobrze zdefiniowana i zdaje egzamin praktyczny, aczkolwiek dokumentacja kartograficzno-glebowa nie jest wolna od błędów (Niewiadomski 1985). Pod względem metodycznym klasyfikacja i kwalifikacja gleb w Polsce bazuje na zbiorze prototypów i regułach eksperta (Kurzyński 1997).

Wobec zadowalającej metodyki klasyfikacji gruntów można postawić pytanie: dlaczego dobrze opanowana, metodycznie rozbudowana procedura waloryzacji i kwalifikacji gleb nie może być zastosowana w prognozowaniu skutków ich przekształceń? Przyczyną tego stanu rzeczy jest lista kryteriów diagnostycznych. Elementy tej listy są bowiem zdefiniowane bardzo ogólnie (np. uregulowane lub nie wymagające regulacji stosunki wodne, ... w dobrym położeniu, gleby ciepłe, okresowo suche itp.) lub też odnoszą się do cech morfologicznych gleb, których nie jesteśmy w stanie prognozować (konkrekcje, oglejenie, głębokość poziomu próchnicznego itp.). Stwierzeń lub wymagań tak sformułowanych nie daje się jednoznacznie przetłumaczyć na język parametrów technicznych, co nie jest przeszkodą w diagnozowaniu gleb przez eksperta dysponującego dodatkową wiedzą ogólną. Jakościowy lub ilościowy opis właściwości gleb jest znany, jednakże możliwość przewidywania zmian większości cech pod wpływem oddziaływań górnictwa jest wątpliwa. Nie jest więc dostępny analogiczny do pierwotnego wektor cech odnoszący się do stanu przewidywanego. Czyni to mało użytecznym w prognozowaniu normalne postępowanie kwalifikacyjne, aczkolwiek ogólna wiedza na temat kryteriów i metodyki klasyfikacji jest przydatna w wyborze cech, których należałoby użyć, w miarę możliwości, do scharakteryzowania klasyfikowanego obiektu.

Zadanie prognozowania skutków przekształceń gleb można przedstawić jako problem klasyfikacyjny, w którym wektorem wejściowym są prognozowane cechy morfologiczno-glebowe, zaś oczekiwaną odpowiedzią jest kwalifikacja obiektu. Trzeba podkreślić ponownie, że wskazania dotyczące oceny właściwości gleb w systemie klasyfikacyjnym są zazwyczaj zbyt ogólnikowe, by mogły być podstawą kwalifikacji gleb w zmienionych warunkach uwilgotnienia lub przy zmienionej morfologii terenu. Dlatego o sukcesie prognozy decyduje wcześniejsze ustalenie reguł klasyfikacji w odniesieniu do zmienionego, w stosunku do normalnej ścieżki diagno-

zy klasyfikacyjnej, wektora cech. Postępowanie takie nie było dotychczas wykorzystywane w prognozowaniu następstw przekształceń gleb, w szczególności nie istnieje alternatywna metoda, umożliwiająca predykcję rozmieszczenia jednostek kwalifikacji gleb podlegających wpływom górnictwem.

Popularnym algorytmem znajdowania reguł klasyfikacji na podstawie zbioru zawierającego próbe poprawnie sklasyfikowanych przypadków (zbioru treningowego) jest analiza dyskryminacyjna Fishera (Rao 1982), polegająca na obliczeniu współczynników liniowych funkcji klasyfikacyjnych. Liczba funkcji odpowiada liczbie klas obiektów (liczbie różnoimiennych etykiet klas stanowiących cechę grupującą). Procedura klasyfikacji, po uzyskaniu funkcji klasyfikacyjnych, polega na ustaleniu wartości cech obiektu i obliczeniu wartości funkcji przypisanych do poszczególnych klas. Obiekt zalicza się do klasy, której wartość funkcji klasyfikacyjnej dla zbioru reprezentujących go argumentów jest największa. Pod względem obliczeniowym analiza dyskryminacyjna Fishera jest tania i szybka, jednakże zawodzi przy bardziej złożonych regułach klasyfikacji występujących w zbiorze treningowym.

Jedną z alternatyw programowych algorytmów klasyfikacji są sztuczne sieci neuronowe (Tadeusiewicz 1993; Żurada *et al.* 1996) (SSN lub klasyfikatory neuronowe). Są one obiektami programowymi lub rozwiązaniami sprzętowymi, złożonymi z jednostek realizujących stosunkowo proste operacje arytmetyczne. W wielkiej mnogości rozmaitych rozwiązań prawdopodobnie najczęściej używanym rodzajem sieci jest perceptron wielowarstwowy (*Multilayer perceptron – MLP*) (Tadeusiewicz 1993, 1998). Często w problemach klasyfikacyjnych wykorzystywane są sieci z kolowymi funkcjami bazowymi (*Radial Basis Function – RBF*). Rysunek 1. przedstawia schemat sieci neuronowej. Sieć przedstawiona na rysunku składa się z trzech warstw: wejściowej (*I*) – reprezentującej składowe wejściowego wektora cech, ukrytej (*H*) – złożonej z pewnej liczby jednostek przetwarzających (neuronów) oraz wyjściowej (*O*) – stanowiącej kolejną warstwę neuronów przetwarzających, a równocześnie generujących wektor wyjściowy sieci. Wynik działania neuronów uczestniczących w przetwarzaniu (w tym przypadku neuronów warstwy *H* i *O*) zależy od właściwej dla danej warstwy funkcji transferu $o(I(\mathbf{x}))$ (ang. *transfer function*)

(Duch *et al.* 1999). Funkcja transferu neuronu jest złożeniem dwu innych funkcji właściwych dla danej warstwy: funkcji aktywacji $I_j(\mathbf{x})$ (ang. *activation function*) oraz funkcji wyjścia $o(I)$ (ang. *output function*). Nomenklatura ta jest umowna i niezbyt konsekwentnie przestrzegana, ponieważ w literaturze funkcja transferu jest także nazywana funkcją aktywacji, funkcja aktywacji nazywana jest potencjałem postsynaptycznym (*Post-synaptic Potential*), zaś funkcja wyjścia z kolei funkcją aktywacji. Trzymając się terminów użytych wcześniej, istnieją trzy (Duch *et al.* 1999) grupy funkcji aktywacji: (a) bazujące na liniowej kombinacji sygnałów wejściowych neuronu, w tym typowa dla sieci *MLP*:

$$I(\mathbf{x}) = \mathbf{w}^T \mathbf{x} \quad (1)$$

reprezentująca iloczyn skalarny wektora wag neuronu \mathbf{w} i wektora sygnałów wejściowych neuronu \mathbf{x} , (b) bazujące na odległości, na przykład:

$$D_M(\mathbf{x}, \mathbf{y}; \alpha) = \left(\sum_{i=1}^N |x_i - y_i|^\alpha \right)^{1/\alpha} \quad (2)$$

będącego miarą odległości N – elementowego wektora wejściowego \mathbf{x} od wzorcowego wektora neuronu \mathbf{y} , oraz funkcje będące liniową kombinacją obu rozwiązań. Obszar rodzajów funkcji wyjścia jest równie duży, obejmuje między innymi (Duch *et al.* 1999): funkcje liniowe, funkcję logistyczną:

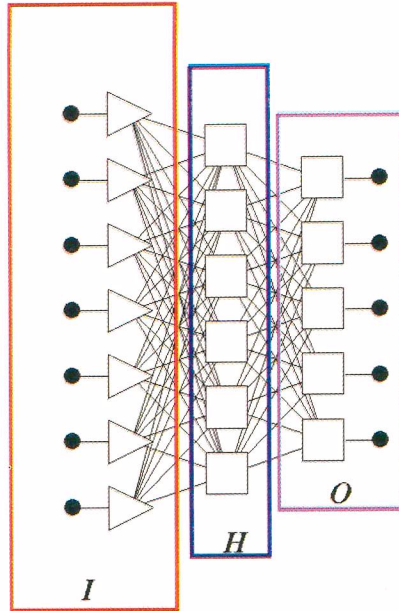
$$o = \frac{1}{1 + \exp(-\beta I(\mathbf{x}))} \quad (3)$$

gaussowską:

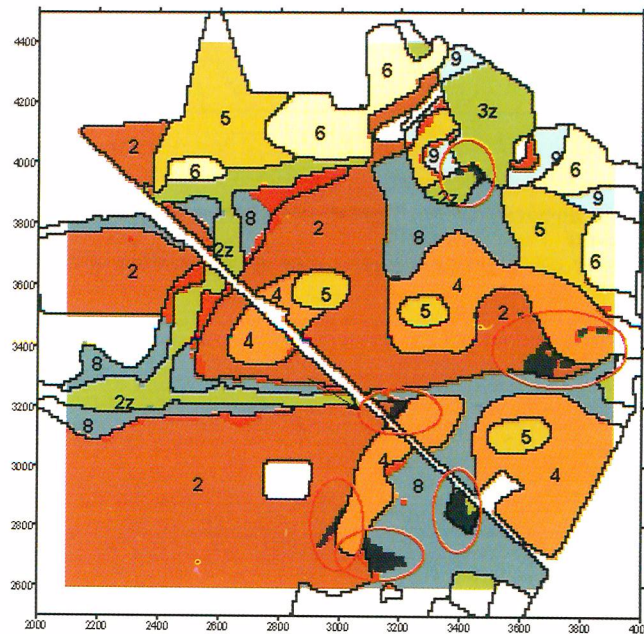
$$G(r, b) = \exp\left(-\frac{r^2}{b^2}\right) \quad (4)$$

hiperboliczne (np. *tanh*) itp.

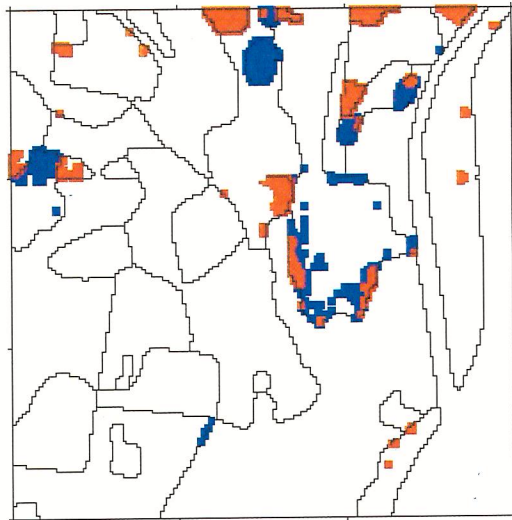
Funkcja transferu decyduje o sposobie treningu i istotnych właściwościach sieci: sieci z funkcjami nielokalnymi (zdecydowanie dominuje wśród nich sieć typu *MLP*) w procesie treningu są modyfikowane poprzez zmiany wektorów wag poszczególnych neuronów – ich trening, który polega na iteracyjnym poszukiwaniu optimum jest zwykle długotrwały, zatem zainteresowanie budzi problem



Rys. 1. Schemat sieci neuronowej zbudowanej: z warstwy wejściowej (*I*), jednej warstwy ukrytej (*H*) oraz warstwy wyjściowej (*O*); linie oznaczają połączenia między jednostkami przetwarzającymi kolejnych warstw
 Fig. 1. Schema of neuron net built of input layer (*I*), one hidden layer (*H*), and output layer (*O*); the lines mean the connection between the units processing the following layers



Rys. 2. Położenie błędnie zidentyfikowanych JE (punkty w kolorze czerwonym) oraz lokalizacja prognozowanych zmian kompleksów rolniczej przydatności gleb (kolor czarny) w obszarze testowym Przyszowice
 Fig. 2. Position of incorrectly identified elementary units (points in red colour), and also the location of forecast changes of soil agricultural ability complexes (black colour) in the tested area Przyszowice



Rys. 4. Położenie prognozowanych za pomocą sieci *MLP* zmian kompleksów przydatności gleb w obszarze Chełm (prognozowane zmiany – kolor niebieski)

Fig. 4. Position of forecast changes of soil ability complexes with the application of *MLP* net in Chełm area (the forecast changes – colour blue)

jego przyspieszenia (Tadeusiewicz 1998). Sieci z funkcjami lokalnymi (np. gaussowskimi) nie wymagają treningu iteracyjnego, zatem proces treningu sieci jest nieporównanie krótszy (Żurada *et al.* 1996). Ceną tego ułatwienia jest skomplikowany proces poszukiwania parametrów (położenia centrów i miary rozproszenia funkcji wyjścia neuronów warstwy ukrytej).

Sieci początkowo traktowano jako model teoretyczny i przyszły przedmiot potencjalnych rozwiązań sprzętowych, realizujących ideę przetwarzania równoległego. Obecnie programowe symulatory SSN są z powodzeniem uruchamiane na współczesnym sprzęcie przetwarzającym sekwencyjnie. Są one wykorzystywane do rozwiązywania różnych zadań praktycznych związanych z klasyfikacją obiektów i aproksymacją funkcji. W opisanych dalej symulacjach został wykorzystany pakiet o nazwie *STATISTICA Neural Networks (ST Neural Networks* – firma StatSoft) w środowisku Windows NT oraz symulator *SNNS (Stuttgart Neural Networks Simulator)*, obszerny pakiet opracowany na Uniwersytecie w Stuttgarcie, zaprojektowany do stosowania w środowiskach unixowych.

3. Symulacja

W rozważanym zadaniu dysponujemy niekompletną wiedzą o cechach glebowych oraz informacją dotyczącą obecnej i przewidywanej morfologii terenu. Cechy litologiczne gleb nie zmieniają się w czasie, zmiany morfologii terenu można mniej lub bardziej dokładnie przewidzieć (rzędna powierzchni, nachylenie, głębokość do zwierciadła wody gruntowej). Nie wystarcza to jednak do kwalifikacji gleb przez wykorzystanie reguł eksperta.

Występowanie zależności między morfologią terenu a morfologią gleb jest znane od wielu lat (Kowaliński 1966; Kowalkowski 1966, 1977, 1979; Kowalkowski *et al.* 1977a,b). Związek ten jest, między innymi, warunkiem sensownego dokumentowania kartograficznego gleb, w którym formy przestrzenne wskazują pośrednio na kierunek i intensywność zjawisk kształtujących gleby (napływ powierzchniowy, zmyw, podsiąk kapilarny), co ułatwia wyznaczenie zasięgu jednostek typologicznych. Oznacza to, że w pewnym przybliżeniu informacje morfologiczne mogą być skutecznym uzupełnieniem danych

litologicznych w zakresie kierunku i intensywności niektórych zjawisk kształtujących właściwości gleb. Można domniemywać, że do cech morfologicznych kształtujących właściwości gleb należą: rzędna terenu, nachylenie powierzchni, głębokość do zwierciadła wody, a także wskaźniki waloryzujące konfigurację terenu, mające znaczenie zarówno dla odpływu, jak i napływu powierzchniowego. Lista dostępnych parametrów wejściowych jest skromna, zatem tylko próba może wykazać skuteczność takiego rozwiązania. W formie hipotezy roboczej można założyć, że dostępne dane kartograficzno-glebowe oraz cechy morfologiczne terenu wystarczają do przeprowadzenia poprawnej kwalifikacji gleb, co może być wykorzystane w prognozowaniu skutków ich przekształceń na terenach górniczych.

W wielu wypadkach dostępna wiedza o położeniu zwierciadła wody gruntowej w stosunku do powierzchni terenu jest fragmentaryczna. Brak odpowiedniej informacji jest w tym zakresie raczej normą niż wyjątkiem. Jeżeli prognoza hydrogeologiczna zakłada zmiany tego położenia, to nie pozostaje nic innego, jak zdobycie odpowiedniej wiedzy poprzez sieć monitoringu. Fragmentaryczność danych hydrologiczno-glebowych prowadzi często do upraszczających założeń dotyczących tego elementu. W przypadku obszarów małych, niezróżnicowanych morfologicznie, z dobrze zarysowanym kierunkiem drenowania, przyjmuje się zwykle poziome lub jednostajnie nachylone zwierciadło wody gruntowej (Skawina *et al.* 1972; Żuławski 1965). Obszary rozległe, zróżnicowane morfologicznie charakteryzują bardziej złożone formy kształtu zwierciadła. Niektóre obserwacje na takich obszarach sygnalizują pewien stopień współkształtności rzędnych terenu i rzędnych wody gruntowej (Staszewski 1992; Wilk *et al.* 1990). W obu przypadkach sieć *MLP* wykrywa tego rodzaju układy, co wymaga jednak uzupełnienia wektora wejściowego o informację o współrzędnych i akceptacji założenia o zachowaniu także w przyszłości tej formy zależności. Ogranicza to zakres użytecznych architektur sieci do perceptronów wielowarstwowych, zmniejszając przydatność architektury słabiej ekstrapolującej (sieci z kołowymi funkcjami bazowymi: *RBF* i *PNN*).

Ustalenia wymaga obiekt prognozy, to znaczy jednostka powierzchni, dla której będzie formułowana jednolita ocena stanu prognozowanego. Wygodnym obiektem

byłby kontur glebowy, czyli spójny obszar, jednorodny pod względem kompleksu przydatności rolniczej, typu gleby i jej litologii, jednakże pod względem rzędnej, nachylenia, głębokości wody gruntowej i podobnych cech charakteryzuje go większa lub mniejsza zmienność. Wymagane jest tutaj pogodzenie dyskretnej struktury zmiennych charakteryzujących gleby z ciągłą zmiennością cech geometrycznych powierzchni terenu. Z tego powodu wygodniej jest ustalić, że obiektem prognozy jest płat gruntu o regularnym kształcie, który z uwagi na wielkość może być traktowany jako jednorodny pod względem wszystkich charakteryzujących go właściwości. Oznacza to modyfikację techniczną, związaną z przejściem z wektorowego zapisu zmienności przestrzennej gleb na rastrowy. Podstawowy element rastra, równocześnie dowiązany do odpowiedniego rekordu bazy danych, będzie nazywany dalej jednostką elementarną (JE). W opisywanych symulacjach JE jest kwadratowym płatem gruntu o powierzchni zależnej od skali dokumentacji źródłowej: jednoarowy dla skal dużych (do 1:5000) oraz czteroarowy dla skali przeglądowej. Odwołanie do konkretnej JE może nastąpić przez jej współrzędne w przyjętym układzie lokalnym lub wskazanie wiersza i kolumny zawierającej ten płat.

Podsumowując: istota rozważanego rozwiązania problemu, jakim jest prognozowanie skutków przekształceń gleb w rejonach górniczych, polega na sprowadzeniu tego zadania do zagadnienia klasyfikacyjnego. Celem jest ustalenie prawdopodobnych jednostek klasyfikacyjnych, których wystąpienia należy oczekiwać w terenie objętym przekształceniami. Zagadnienie klasyfikacyjne wymaga odpowiedniej bazy danych, złożonej z wielu poprawnie sklasyfikowanych przypadków: analiza tego zbioru powinna doprowadzić do identyfikacji reguł przyporządkowania różnych wzorców różnym klasom (jednostkom kwalifikacji). Baza danych jest tym samym źródłem wiedzy o regułach dominujących w klasyfikacji gleb w objętym nią terenie. Nietypowość zadania polega na tym, że istnieje procedura klasyfikacyjna (klasyfikacja na podstawie reguł eksperta), która jednak nie może być wykorzystana do predykcji z powodu braku metod prognozowania niektórych kryteriów, koniecznych w tym postępowaniu. Zakłada się, że wykryte reguły są reprezentatywne dla tego terenu i będą obowiązywać także w przyszłości. Nie istnieje żadna alternatywna metoda dochodzenia

do obrazu kwalifikacji gleb w terenach objętych przekształceniami górniczymi przy niedostatku informacji wymaganych w ścieżce reguł eksperta.

Symulacja obrazu kwalifikacji gleb za pomocą sieci neuronowych zostanie przedstawiona na przykładzie trzech obszarów testowych, różniących się charakterem litologicznym gleb oraz skalą dostępnych materiałów źródłowych:

1. Obszar Przyszowice, rejon dość zwięzłych utworów pyłowych i gliniastych, zwierciadło wody gruntowej nie wykształca się albo jest poza zasięgiem profilu glebowego; dostępne materiały kartograficzne w dużej skali, powierzchnia ok. 3 km².
2. Obszar Wzgórza Dalkowskie (LGOM), rejon silnie zróżnicowany pod względem litologicznym i glebowo-użytkowym, zróżnicowane warunki powietrzno-wodne gleb; dostępne materiały kartograficzne w średniej skali, powierzchnia ok. 86 km²,
3. Obszar Chełm, rejon dość słabo urzeźbiony i mało zróżnicowany pod względem litologiczno-glebowym, dostępna przybliżona informacja o początkowym położeniu zwierciadła wody gruntowej i dość dokładna rejestracja stanu obecnego; dostępne materiały kartograficzne w dużej skali, powierzchnia około 1,6 km².

Aby ocenić poprawność klasyfikacji, wykorzystano z następujących wskaźników liczbowych, których interpretacja jest oczywista:

1. Wskaźnik średniej poprawności klasyfikacji G :

$$G = \frac{\sum L_m}{n} 100 [\%] \quad (5)$$

wyrażający procentowo stosunek liczby poprawnie zidentyfikowanych JE do ich całkowitej ilości, niezależnie od klasy,

2. Średni wskaźnik poprawności klasyfikacji dla grup H :

$$H = \frac{\sum_{m=1}^M \frac{L_m}{n_m}}{M} 100 [\%] \quad (6)$$

wyrażający średnią poprawność klasyfikacji grup,

3. Kwadratowy wskaźnik zmienności poprawności klasyfikacji dla grup V^2 :

$$V^2 = \frac{\sum_{m=1}^M \left(\frac{L_m}{n_m} 100\right)^2}{M} - H^2 \quad (7)$$

4. Wskaźnik zmienności poprawności klasyfikacji dla grup V :

$$V = \sqrt{V^2} \quad (8)$$

5. Względny wskaźnik zmienności poprawności klasyfikacji dla grup v :

$$v = \frac{V}{H} 100[\%] \quad (9)$$

w których:

- L_m – liczba poprawnie zaklasyfikowanych JE należących do grupy m ,
- N – całkowita liczba JE
- n_m – całkowita liczba JE w klasie m ,
- M – liczba klas.

3.1. Obszar Przyszowice

W obszarze testowym występuje osiem kompleksów rolniczej przydatności gleb: sześć kompleksów gleb ornyczych oraz dwa trwałe użytki zielone. Czynnikiem różnicującym kwalifikację gleb jest litologia oraz morfologia terenu, natomiast wpływ głęboko zalegającego zwierciadła wody gruntowej można uznać za mniej istotny. Obszar leży od wielu lat w zasięgu eksploatacji górniczej. Spowodowała ona dość znaczne obniżenia powierzchni terenu, sięgające przypośrednio kilkunastu metrów od początku jej podjęcia. Udokumentowany obraz stanu gleb (mapa glebowo-rolnicza) pochodzi z roku 1970, z tego też okresu pochodzi mapa sytuacyjno - wysokościowa.

3.1.1. Wektor wejściowy

Wektor wejściowy obejmował następujące składniki:

- a) współrzędne x, y, z JE w układzie lokalnym,
- b) binarny identyfikator rodzaju użytku JE,

- c) wskaźniki litologicznego zróżnicowania uziarnienia w profilu glebowym: cztery wskaźniki odpowiadające czterem wyróżnionym warstwom profilu glebowego JE,
- d) nachylenie jednostki,
- e) dwa wskaźniki charakteryzujące konfigurację otoczenia jednostki pod kątem napływu powierzchniowego do JE, $konf_a$ i $konf_b$, obliczane według następujących wzorów:

$$konf_{a(ij)} = \beta \sum_{r=i-5}^{r=i+5} \sum_{k=j-5}^{k=j+5} \frac{z_{ij} - z_{rk}}{(x_{ij} - x_{rk})^2 + (y_{ij} - y_{rk})^2}; \quad (10)$$

$$(z_{ij} - z_{rk}) > 0, i \neq r, j \neq k$$

$$konf_{b(ij)} = \beta \sum_{r=i-5}^{r=i+5} \sum_{k=j-5}^{k=j+5} \frac{|z_{ij} - z_{rk}|}{\sqrt{(x_{ij} - x_{rk})^2 + (y_{ij} - y_{rk})^2}}; \quad (11)$$

$$i \neq r, j \neq k$$

Indeksy i i j oznaczają odpowiednio wiersz i kolumnę wskazujące położenie JE, natomiast β jest współczynnikiem zależnym od liczby jednostek stanowiących otoczenie, w szczególności $\beta=1/n$, gdzie n jest liczbą jednostek stanowiących otoczenie. Wskaźnik $konf_{a(ij)}$ jest średnim, ważonym odległością spadkiem między jednostkami stanowiącymi otoczenie ($i \pm 5$ wierszy oraz $j \pm 5$ kolumn) JE, leżącej w wierszu i i kolumnie j , jeśli rzędna otoczenia przewyższa rzędną JE. Wskaźnik $konf_{b(ij)}$ jest średnim spadkiem między JE_{ij} a jednostkami stanowiącymi otoczenie. Pierwszy z nich ma następujące właściwości: (a) jest większy od zera tylko wtedy, gdy przynajmniej część otoczenia ($x \pm 50$ m, $y \pm 50$ m) ma większe rzędne, (b) jest tym wyższy, im przewyższenie otoczenia jest większe oraz im bliżej jest obszar przewyższenia, (c) jest zerem, gdy wszystkie punkty otoczenia są położone niżej; można go uznać za wskaźnik rozmiaru napływu powierzchniowego. Drugi wskaźnik informuje o stopniu zróżnicowania rzędnych w obrębie otoczenia.

3.1.2. Wyniki

Tabela 1 przedstawia oceny poprawności identyfikacji kompleksów gleb przez różne klasyfikatory. F_{Λ} oznacza wynik uzyskany za pomocą liniowych funkcji klasyfikacyjnych przy założeniu prawdopodobieństwa

proporcjonalnego do liczebności klas w zbiorze treningowym, zaś F_B z założeniem jednakowego prawdopodobieństwa klas. Liczby w pozostałych kolumnach nagłówka oznaczają ilość neuronów tworzących ukrytą warstwę klasyfikatora. Wskaźniki procentowe odnoszą się do wszystkich jednostek elementarnych występujących w rejonie opracowania (suma zbioru treningowego, weryfikacyjnego i testowego). Zbiory treningowy i testowy liczyły po 3000 wzorców wybranych losowo z bazy danych liczącej 26797 rekordów.

Z zestawienia wynika, że stopień poprawności identyfikacji JE zależy od rodzaju klasyfikatora. Wnioski co do oceny różnych wariantów można wysnuć na podstawie analizy tabeli 2, która zawiera syntetyczne wskaźniki liczbowe dające oszacowanie poprawności klasyfikacji.

Z zestawienia wynika, że najkorzystniejsze właściwości wykazuje klasyfikator posiadający 9 neuronów w warstwie ukrytej. Pełniejsze wyobrażenie o skuteczności identyfikacji kompleksów daje tabela 3. prezentująca rozkład wskazań najlepszego klasyfikatora.

Analiza przedstawionego zestawienia upoważnia do pozytywnej oceny zachowania klasyfikatora.

Identyfikowane błędnie kompleksy wykazują podobieństwo pod względem litologicznym do kompleksów wskazanych przez klasyfikator. Biorąc pod uwagę metodykę wydzielenia kompleksów, można zakładać, że przynajmniej część błędów jest wynikiem wadliwej kwalifikacji.

Wprowadzając w miejsce wektorów wejściowych odpowiadających stanowi początkowemu ich wersje odnoszące się do stanu prognozowanego (prognozowana rzędna, nachylenie, wskaźniki konfiguracji terenu), można ustalić położenie gruntów, które pod wpływem przewidywanych zmian przesuną się do innych kompleksów. Rysunek 1 ilustruje położenie błędnie zidentyfikowanych jednostek oraz położenie fragmentów, w których należy oczekiwać wyraźnych zmian użytkowych gleb.

3.2. Wzgórza Dalkowskie (LGOM)

Jest to teren różniący się pod wielu względami od obszaru testowego Przyszowice. Bardzo duża powierzchnia powoduje, że występują tu wszystkie – poza pszennym wadliwym – niżowe kompleksy przydatności

Tabela 1. Procentowa zdolność poprawnej identyfikacji jednostek elementarnych przy użyciu różnych metod klasyfikacji i topologii klasyfikatorów
Table 1. Percentage ability of Elementary Units correct identification with the application of different classifying methods and topology of classifiers

Typ JE	Liczba jednostek	Wariant klasyfikacji lub liczba neuronów ukrytych							
		F_A	F_B	0	15	10	9	8	6
2	10180	91,5	69,1	97,3	99,3	98,0	99,0	98,5	99,6
4	4212	89,4	81,6	100,0	100,0	98,1	99,6	100,0	100,0
5	2577	59,9	51,5	66,2	99,0	98,7	99,0	100,0	98,3
6	1729	95,1	79,0	97,2	99,5	97,3	97,3	97,3	97,3
8	4893	55,6	59,5	57,9	88,0	85,5	92,0	90,3	73,3
9	551	54,3	78,0	52,3	89,5	75,7	96,7	70,1	85,5
2z	1744	42,4	51,9	96,0	99,8	96,8	99,7	99,3	97,0
3z	911	0,0	0,0	91,7	89,9	92,3	99,7	98,2	91,8

Objaśnienia: typ JE oznacza symbol kompleksu rolniczej przydatności gleb, liczba jednostek jest całkowitą liczbą jednostek danego typu występującą w bazie danych, F_A oznacza wariant liniowej analizy dyskryminacyjnej z prawdopodobieństwem *a priori* proporcjonalnym do liczebności grup, F_B oznacza wariant liniowej analizy dyskryminacyjnej z jednakowymi prawdopodobieństwami grup.

Tabela 2. Wskaźniki oceny poprawności identyfikacji jednostek elementarnych przy użyciu różnych metod i topologii klasyfikatorów

Table 2. The correctness valuation indexes of elementary units identification with the application of different methods and topology of classifiers

Wariant	G[%]	H[%]	V^2	V	v [%]
F _A	74,7	61,0	882,4	29,7	48,7
F _B	65,0	58,8	623,7	25,0	42,5
0	86,4	82,3	353,0	18,8	22,8
15	96,8	95,6	30,4	5,5	5,8
10	95,0	92,8	59,0	7,7	8,3
<u>9</u>	<u>97,7</u>	<u>97,9</u>	<u>1,2</u>	<u>1,1</u>	<u>1,1</u>
8	96,7	94,2	94,0	9,7	10,3
6	93,9	92,9	75,1	8,7	9,3

Zaznaczono wiersz komórki odpowiadający najlepszym wskaźnikom klasyfikacji

Tabela 3. Zestawienie wyników klasyfikacji zbioru Przyszowice przeprowadzonej za pomocą klasyfikatora neuronowego o topologii 11:9:8

Table 3. The results comparison of Przyszowice set classification applying neuron classifier of 11:9:8 topology

		Rozpoznany kompleks przydatności rolniczej gleb								l_m
		2	4	5	6	8	9	2z	3z	
OBSERWOWANY KOMPLEKS	2	10083	0	0	0	96	0	0	0	99,0
	4	7	4196	8	0	1	0	0	0	99,6
	5	0	8	2551	1	0	17	0	0	99,0
	6	0	0	1	1682	0	46	0	0	97,3
	8	392	0	0	0	4501	0	0	0	92,0
	9	0	0	18	0	0	533	0	0	96,7
	2z	0	0	0	0	0	0	1739	5	99,7
	3z	0	0	0	0	0	0	3	908	99,7

 l_m - procentowa poprawność rozpoznania kompleksu

rolniczej gleb ornych oraz dwa kompleksy trwałych użytków zielonych. Pod względem zróżnicowania litologicznego i typologicznego występuje także bardzo duża zmienność, obejmująca 170 wariantów (kompleks-typ gleby-gatunek) kompleksów glebowych. Występuje

tu także znaczna zmienność morfologiczna, od rozległych, płaskich dolin po dość wyraźne wzniesienia. Baza danych obejmuje 215320 rekordów (JE). Według przeprowadzonej analizy zachodzi tu na większości obszaru współbieżność między terenem a zwierciadłem wody gruntowej.

3.2.1. Wektor wejściowy

Podobnie jak w obszarze Przyszowice wektor wejściowy tworzyły:

- a) współrzędna x, y JE w układzie lokalnym,
- b) rzędna JE z ,
- c) binarny identyfikator rodzaju użytku,
- d) wskaźniki litologicznego zróżnicowania uziarnienia w profilu glebowym: osiem wskaźników (po dwa dla każdej warstwy) reprezentujących maksymalne zawartości frakcji spławialnej i pyłowej w grupie mechanicznej,
- e) nachylenie jednostki,
- f) wskaźnik charakteryzujący konfigurację otoczenia jednostki pod kątem napływu powierzchniowego, $konf_a$ zgodnie ze wzorem (10).

3.2.2. Wyniki

Tabela 4 zawiera syntetyczne zestawienie wyników klasyfikacji całego zbioru danych, przy czym poszczególne wskaźniki zostały obliczone według wzorów 5–9, natomiast warianty symulacji oznaczają:

F_A	Klasyfikacja przypadków (kompleksów) za pomocą liniowych funkcji klasyfikacyjnych. Prawdopodobieństwo <i>a priori</i> proporcjonalne do liczebności grup (kompleksów).	14:21:18:10 (b)	Sieć o identycznej topologii jak poprzednia, trenowana według algorytmu wstecznej propagacji na ciągu uczącym LGOM_I (4750 elementów).
F_B	Klasyfikacja przypadków (kompleksów) za pomocą liniowych funkcji klasyfikacyjnych. Prawdopodobieństwo <i>a priori</i> jednakowe dla grup.	14:15:15:10	Sieć z dwoma warstwami ukrytymi, liczącymi po 15 jednostek ukrytych. Algorytm wstecznej propagacji błędu z momentem.
14:0:10	Sieć bez warstwy ukrytej, z nieliniowymi (sigmoidalnymi) neuronami wyjściowymi.	14:25:25:10 (I)	Sieć z dwoma warstwami ukrytymi, liczącymi po 25 jednostek. Trening zgodnie z algorytmem wstecznej propagacji błędów, 20000 cykli treningu.
14:13:10 (I)	Sieć z jedną warstwą ukrytą, złożoną z 13 neuronów. 25000 cykli treningu zgodnie z algorytmem wstecznej propagacji błędu z momentem.	14:25:25:10 (II)	Sieć z dwoma warstwami ukrytymi, liczącymi po 25 jednostek. Trening zgodnie z algorytmem wstecznej propagacji błędów, 70000 cykli treningu.
14:13:10 (II)	Sieć z jedną warstwą ukrytą, złożoną z 13 neuronów. 25000 cykli treningu według algorytmu <i>backpropagation</i> oraz 1000 cykli algorytmu zmniejszania sprzężonego gradientu <i>Conjugate Gradiente Descent</i> .	14:13:10 (IIb)	Sieć z jedną warstwą ukrytą, liczącą 13 jednostek, trenowana za pomocą ciągu uczącego LGOM_II: wsteczna propa-
		14:13:10 (III)	Sieć z jedną warstwą ukrytą, złożoną z 13 neuronów. 25000 cykli treningu według algorytmu <i>backpropagation</i> oraz 2000 cykli według algorytmu <i>Conjugate Gradient Descent</i> .
		14:16:10 (I)	Sieć z jedną warstwą ukrytą, złożoną z 16 neuronów. 70000 cykli treningu zgodnie z algorytmem wstecznej propagacji błędów.
		14:16:10 (II)	Sieć z warstwą ukrytą, złożoną z 16 neuronów. 70000 cykli <i>backpropagation</i> oraz 2000 <i>Conjugate Gradient Descent</i> .
		14:21:18:10 (a)	Sieć z dwoma warstwami ukrytymi, budowana według tzw. <i>Pruning algorithm</i> zawartego w pakiecie SNNS. Topologia startowa 14:25:25:10, modyfikowana podczas treningu zgodnie z algorytmem określanym mianem <i>Skeletonization</i> , z włączoną opcją odtwarzania połączeń i jednostek usuniętych po wykryciu wzrostu błędu oraz treningiem bazującym na algorytmie wstecznej propagacji błędu.

- gacja błędu 10000 cykli, zmniejszenie gradientów sprzężonych 1000 cykli.
- 14:14:10 (IIb) Sieć z jedną warstwą ukrytą, liczącą 14 jednostek, trenowana za pomocą ciągu uczącego LGOM_II: wsteczna propagacja błędu 10000 cykli, zmniejszenie gradientów sprzężonych 1000 cykli.
- 14:15:10 (IIb) Sieć z jedną warstwą ukrytą, liczącą 15 jednostek, trenowana za pomocą ciągu uczącego LGOM_II: wsteczna propagacja błędu 10000 cykli, zmniejszenie gradientów sprzężonych 1000 cykli.

Zbiór LGOM obejmuje 25000 elementów wylosowanych bez zwracania z bazy danych, LGOM_I jest zbiorem złożonym z 4750 elementów wylosowanych w jednakowej liczbie dla każdego wariantu litologicznego (po 25 wzorców na wariant), zbiór LGOM_II składa się z 10000 elementów wylosowanych w jednakowej liczbie dla każdego kompleksu. Tabela 4 zawiera wskaźniki syntetycznej oceny różnych wersji klasyfikacji. Jak wynika z zestawienia, warianty sieci z co najmniej jedną warstwą ukrytą dają znacząco lepsze wyniki identyfikacji niż liniowe funkcje klasyfikacyjne czy też sieć bez warstwy ukrytej. Może to sugerować występowanie elementów nieseparowalnych liniowo w zbiorze danych. Można także zauważyć, że istnieje związek między sposobem wyodrębniania zbioru treningowego a skutecznością treningu sieci. Zestawienie to ilustruje także pewne trudności związane z wyborem klasyfikatora reprezentatywnego dla konkretnego problemu. Należy zwrócić uwagę, że ze względu na brak naukowych metod ustalania optymalnej architektury sieci oraz parametrów (i metod) ich treningu zwykle mamy do czynienia z wieloma różnymi ich wersjami, różniącymi się topologią i skutecznością. Tabela 4 ilustruje między innymi ten problem, wskazując na różnice między sieciami o tej samej topologii, lecz odmiennie trenowanymi.

Okolicznością komplikującą zagadnienie jest przy tym subiektywizm wyboru momentu zakończenia treningu, zwłaszcza przy zbliżeniu się, jej do stanu nasycenia, kiedy postępy w identyfikacji zbioru treningowego są bardzo małe. Biorąc pod uwagę stabilność identyfikacji kompleksów oraz zasadę wyboru jak najmniejszej struktury sieci, za najbardziej korzystny wariant klasyfikatora należy uznać perceptron z jedną warstwą ukrytą, złożoną z 15 neuronów, której ogólny błąd identyfikacji jest co prawda

wiekszy od błędu sieci z dwoma warstwami ukrytymi, jednakże przy znacznie zredukowanej liczbie połączeń podlegających treningowi oraz lepszej stabilności identyfikacji poszczególnych kompleksów.

3.3. Obszar Chełm

W odróżnieniu od obu opisanych wcześniej rejonów, obszar ten charakteryzuje stosunkowo niewielka zmienność morfologiczna. Dość płytkie i praktycznie płaskie zagłębienie terenowe występuje w obszarze dość płytko zalegającego zwierciadła wody gruntowej. Zmienność litologiczna i morfologiczna generuje zróżnicowanie gleb na osiem kompleksów przydatności rolniczej (6 kompleksów gleb ornych, 2 kompleksy trwałych użytków zielonych). Ogółem wyróżniono tu 16649 jednostki elementarne o powierzchni 1 ara.

3.3.1. Wektor wejściowy

Dysponujemy tutaj dość wiarygodnymi informacjami dotyczącymi położenia zwierciadła wody gruntowej. Znamy przy tym jego położenie w okresie poprzedzającym przekształcenia (piętrzenie wód w przyległym zbiorniku), jak też jego stan obecny, podniesiony w stosunku do okresu poprzedniego. Wektor wejściowy procedury klasyfikacyjnej obejmuje następujące zmienne:

- a) głębokość od powierzchni do zwierciadła wody gruntowej,
- b) wskaźniki litologicznego zróżnicowania uziarnienia w profilu glebowym: osiem wskaźników (po dwa dla każdej warstwy) reprezentujących maksymalne zawartości frakcji spławialnej i pyłowej w grupie mechanicznej,
- c) wskaźnik charakteryzujący konfigurację otoczenia jednostki pod kątem napływu powierzchniowego, $konf_a$ zgodnie ze wzorem (10).

Należy zwrócić uwagę, że w przeciwieństwie do poprzednio opisanych przykładów, informacja dotycząca położenia zwierciadła wody gruntowej jest tutaj pełna, co pozwala na rezygnację z jej substytutu w formie informacji o współrzędnych. Równocześnie – wobec silnej korelacji liniowej między wskaźnikiem obliczonym według wzoru (6) i nachyleniem powierzchni – można było zrezygnować z jednego z tych elementów, przy

Tabela 4. Wskaźniki oceny poprawności identyfikacji jednostek elementarnych przy użyciu różnych metod i topologii klasyfikatorów

Table 4. The correctness valuation indexes of elementary units identification with the application of different methods and topology of classifiers

Wariant	G[%]	H[%]	χ^2	V	v[%]
F _A	57,8	39,1	1236,7	35,2	89,9
F _B	45,8	60,8	674,4	26,0	42,8
14:0:10	45,7	69,4	947,9	30,8	44,4
14:13:10 (I)	92,8	88,1	100,0	10,0	11,4
14:13:10 (II)	93,1	87,9	137,4	11,7	13,3
14:13:10 (III)	<u>93,4</u>	88,2	128,8	11,4	12,9
14:16:10 (I)	93,3	89,3	277,0	16,6	18,6
14:16:10 (II)	93,6	90,0	206,5	14,4	16,0
14:21:18:10 (a)	95,6	<u>94,2</u>	<u>49,7</u>	<u>7,1</u>	<u>7,5</u>
14:21:18:10 (b)	85,2	90,1	98,1	9,9	11,0
14:15:15:10	91,3	70,6	1333,8	36,5	51,7
14:25:25:10 (I)	96,0	93,5	84,0	9,2	9,8
14:25:25:10 (II)	<u>96,3</u>	93,5	91,8	9,6	10,2
14:13:10 (IIIb)	89,5	95,3	47,9	6,9	7,2
14:14:10 (IIIb)	90,9	95,3	37,3	6,1	6,4
14:15:10 (IIIb)	91,8	<u>96,3</u>	<u>29,9</u>	<u>5,5</u>	<u>5,7</u>

Zaznaczono komórki odpowiadające najlepszym wskaźnikom klasyfikacji, odrębnie dla sieci z jedną i dwoma warstwami ukrytymi

czym decyzja o odrzuceniu nachylenia jako składowej wektora wejściowego wynikała z zastosowania genetycznego algorytmu selekcji zmiennych wejściowych, dostępnego w programie *ST Neural Networks*.

3.3.2. Wyniki

Do identyfikacji kompleksów zastosowano: sieć w pełni liniową (bez warstwy ukrytej i z liniowymi funkcjami aktywacji), sieć z jedną warstwą ukrytą, złożoną z 9 neuronów, oraz sieć z radialnymi funkcjami bazowymi (*RBF*– 320 neuronów w warstwie radialnej, wariant najlepszy dla tej klasy sieci wśród przebadanych, zawierających od 50 do 600 neuronów w warstwie

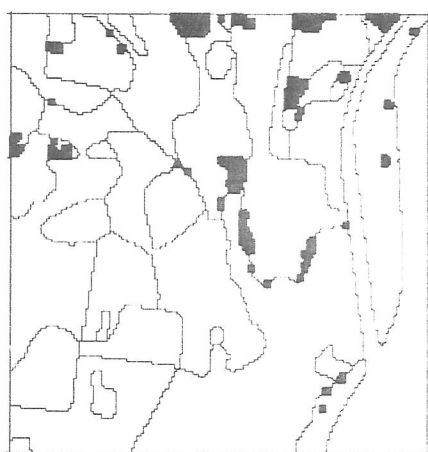
radialnej). Zbiór treningowy liczył 1600 wzorców, wylosowanych bez preferencji ze zbioru liczącego 16649 wzorców. Wśród sieci typu *MLP* mniejsza i większa niż 9 liczba neuronów w warstwie ukrytej powodowała pogorszenie jej właściwości.

Prezentowane wyniki (tabela 5.) wskazują, że rozwiązanie liniowe nie jest zadowalające, natomiast zarówno sieć *MLP*, jak i *RBF* dają wynik zbliżony jakościowo. Rysunek 3 prezentuje położenie błędnie identyfikowanych przez obie sieci jednostek. Jak widać, położenie ich praktycznie się pokrywa, co pośrednio wskazuje, że natura tych błędów wywodzi się raczej z kolizji danych wejściowych, aniżeli jest skutkiem immanentnej wady funkcjonowania sieci. Innymi słowy,

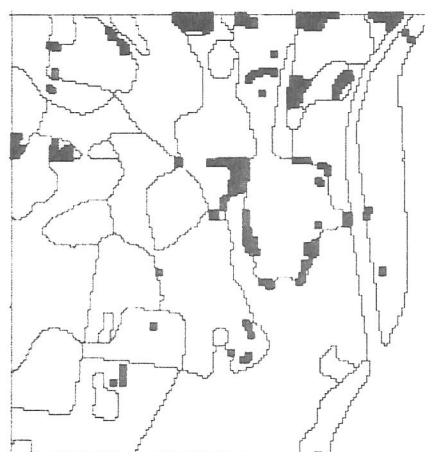
Tabela 5. Wskaźniki oceny poprawności identyfikacji jednostek elementarnych w obszarze Chełm przy użyciu różnych topologii klasyfikatorów

Table 5. The correctness valuation indexes of elementary units identification within the Chelm area with the application of different classifiers of topology

Wariant	$G[\%]$	$H[\%]$	V^2	V	$v[\%]$
Sieć liniowa	66,3	45,6	1614,1	40,2	88,1
MLP 11:9:8	97,5	97,5	12,1	3,5	3,6
RBF 11:320:8	97,3	97,2	13,9	3,7	3,8



A



B

Rys. 3. Położenie błędnie identyfikowanych JE w obszarze testowym Chełm: A – identyfikacja przez sieć MLP, B – identyfikacja przez sieć RBF

Fig.3. Position of incorrectly identified elementary units in Chelm tested area: A: identification through MLP net, B: identification through RBF net

wektory wejściowe błędnie rozpoznanych kompleksów są rozbieżne z wektorami ich właściwego kompleksu, natomiast pokrywają się z wektorami innego kompleksu. Można przypuszczać, że źródłem błędu jest upraszczające założenie dotyczące położenia zwierciadła wody gruntowej, które w rzeczywistości ma charakter bardziej złożony; wady tej nie możemy usunąć ze względu na brak odpowiednich danych i znaczne zgeneralizowanie tego elementu w bazie danych. Rysunek 4 przedstawia zasięg prognozowanych modyfikacji kompleksów pod wpływem spiętrzenia wód w przyległym zbiorniku wodnym, co przeniesie się na zwierciadło wody gruntowej. Zasięg prognozowanych zmian jest stosunkowo niewielki, obejmuje głównie upodobnienie się jednostek kompleksu 6 do

kompleksu 9 i 3z. Oczekiwane w wyniku zachodzących przesunięć skutki użytkowe można łatwo zidentyfikować, znając właściwości odpowiednich jednostek (Strzemski, 1966).

4. Problemy zastosowań

Sieć neuronowa reprezentuje bazę wiedzy o zasadach klasyfikacji zgromadzonych w zbiorze treningowym. Uzasadnione jest przypuszczenie, że zasady te obowiązują przynajmniej w danym terenie, przez co mogą być podstawą do predykcji obrazu kwalifikacji gleb w zmienionych warunkach morfologii.

Przedstawiona metoda ustalania modelu klasyfikacji ma kilka wygodnych właściwości. Do podstawowych zalet

sieci neuronowej jako systemu klasyfikującego należy z pewnością nikły udział użytkownika w ustalaniu formy zależności wiążącej wektor wejściowy i wyjściowy, ponieważ operacja jej uzgadniania przebiega w sposób automatyczny podczas trenowania sieci. Dzięki konstrukcyjnym właściwościom funkcjonowania sieci uwzględniane są między innymi takie elementy, jak interakcje niektórych cech. Uwaga projektanta musi być poświęcona tworzeniu odpowiedniej architektury klasyfikatora, wyborowi reprezentatywnego zbioru treningowego i sposobu treningu. Może to być czasochłonne, realizowane metodą prób i błędów, zwłaszcza gdy zadanie jest wykonywane po raz pierwszy i nie można wykorzystać wcześniejszych doświadczeń dotyczących stopnia jego złożoności.

Rozważenia wymaga sposób interpretacji wektora wyjściowego, to znaczy kryteriów decydowania o wyniku prognozy. W przedstawionych przypadkach interpretacja zakładała zasadę *zwycięzca bierze wszystko* (ang. *WTA – Winner Takes All*). W praktyce stosowania sieci neuronowych spotykane są także inne interpretacje, polegające na wyznaczaniu progów akceptacji i odrzucenia. Dopuszcza ona wystąpienie odpowiedzi *klasyfikacja nieznana*, odpowiadającej przypadkowi, w którym aktywacja żadnego neuronu nie sięgnie progu akceptacji, względnie więcej niż jeden neuron warstwy wyjściowej przekroczy ten próg. Można przeanalizować konsekwencje zasady *WTA*, oznaczającej akceptację kryterium najbliższej odległości wektora od granicy decyzyjnej. Działanie tego mechanizmu można prześledzić na kilku przykładach wyłonionych ze zbioru Chełm, przedstawionych w tabeli 6.

Wiersze tabeli 6 oznaczone numerem rekordu 550, zawierają wartość funkcji aktywacji neuronów warstwy wyjściowej dla wektora danych odpowiadającego stanowi początkowemu (maksimum dla neuronu odpowiadającego kompleksowi 7), zaś kolejny wiersz zawiera te same wartości dla stanu po przekształceniach (po podwyższeniu zwierciadła wody gruntowej z głębokości 3,9 m do 1,5 m ppt, maksimum usytuowane tym razem na pozycji odpowiadającej kompleksowi 3z). Zastosowanie zasady *WTA* daje dobry rezultat, ponieważ ocena kompleksu początkowego przez sieć pokrywa się ze stanem rzeczywistym. Intuicyjnie, zawarta w drugim wierszu prognoza jest także zbliżona do prawdy. Podobnie jest

w wierszach jednostki 8326. Także tu wskazanie stanu początkowego jest zgodne z dokumentacją, zaś stan prognozowany jest odmienny. Przekształcenia powodują przesunięcie wektora danych, w obu przypadkach zbliżają się one do przestrzeni obejmującej skupienie jednostek kompleksu 3z. Diametralnie odmienny jest przypadek jednostki w wierszu oznaczonym numerem 1326. Wektor wyjściowy stanu początkowego ma maksimum na pozycji odpowiadającej kompleksowi 6., podczas gdy baza danych deklaruje w danej konfiguracji kompleks 3z. W prognozie układ ten jest zasadniczo utrzymany, to znaczy maksimum w dalszym ciągu występuje na pozycji odpowiadającej kompleksowi 6, aczkolwiek wartość aktywacji na pozycji 3z znacznie wzrosła. Przyczyn złych identyfikacji może być wiele: obecność błędnego wzorca w zbiorze treningowym, błędy określenia rzędnych, błędy założeń dotyczących położenia wody gruntowej, generalizacja przebiegu granic między konturami w wyniku podziału terenu na jednostki elementarne, istotność innych czynników współdecydujących o klasyfikacji, nieobecnych jednak w wektorze wejściowym. Podstawowym wnioskiem wynikającym z analizy potencjalnych źródeł błędów jest świadomość wagi przywiązywanej do zawartości zbioru treningowego – sieć, niezależnie od topologii i sposobu treningu, odzwierciedla wyłącznie zależności występujące w prezentowanych podczas treningu wzorcach, łącznie z potencjalnymi błędami klasyfikacji, jak i błędami zmiennych znajdujących się w wektorze wejściowym. W ogólności wykrycie błędów identyfikacji zbioru testowego powinno skłaniać do baczniejszej analizy jakości danych wejściowych, zwłaszcza pod kątem potrzeby poszerzenia składowych wektorów cech.

Zastanowienia wymaga generalnie stosunek do przypadków (JE), które źle przeszły testowanie sieci. Są tutaj dwie możliwości: (a) wyłączenie tych jednostek z prognozy i traktowanie ich jako obszarów z nieustalonym wynikiem, (b) pominięcie faktu błędnej identyfikacji i akceptacja prognozy w formie proponowanej przez wytrenowaną sieć. Uzasadnione wydaje się rozwiązanie (a), ponieważ akceptuje ono możliwość istnienia innego czynnika powodującego nietypową klasyfikację obiektu, przez co także pozycja tej jednostki w przyszłości jest niemożliwa do ustalenia przy niewystarczającym zbiorze danych wejściowych.

Tabela 6. Aktywacja neuronów warstwy wyjściowej sieci MLP 11:9:8 dla wybranych danych testowych i prognozowanych ze zbioru Chełm

Table 6. The output layer neuron activation of 11:9:8 MLP net of chosen testing and forecasting data of Chelm set

Nr JE	Etykieta kompleksu								Kom- pleks
	3	4	5	6	7	9	2z	3z	
550	6,3E-13	2,9E-21	1,2E-08	0,003	<u>0,59</u>	3,6E-11	1,3E-06	0,23	7
	2,8E-13	1,3E-21	8,1E-08	2,3E-06	0,32	3,7E-11	2,3E-07	<u>0,84</u>	3z
8326	2,2E-12	4,4E-19	4,1E-14	<u>0,81</u>	1,0E-05	1,9E-05	5,9E-05	0,26	6
	6,8E-12	4,5E-19	1,6E-14	0,41	5,8E-05	3,6E-0,5	1,1E-07	<u>0,68</u>	3z
1326	1,4E-12	2,9E-18	1,0E-12	<u>0,97</u>	0,04	2,3E-09	1,8E-06	0,025	6
	8,1E-13	5,9E-20	2,4E-11	<u>0,43</u>	0,10	1,9E-10	7,7E-07	0,33	6

Na marginesie: problem błędu w rekordzie 1326 obszaru Chełm pośrednio wskazuje na całkiem „rozsądne” zachowanie się sieci. Gdyby nasza informacja była ograniczona wyłącznie do danych tworzących wektor wejściowy, to położenie zwierciadła wody gruntowej na głębokości 10 m poniżej poziomu gruntu (jak ma to miejsce w JE nr 1326) upodabnia ten fragment raczej do kompleksu 6 niż 3z. Intuicyjnie biorąc, bliższy kompleksowi 6 niż 3z. jest także ten fragment po przekształceniach, które powodują zmniejszenie się strefy aeracji do około 7 m.

Wytrenowana sieć może być użyta do sporządzania prognozy zachowania się poszczególnych jednostek w przypadku pojawienia się przekształceń. Podchodząc do zagadnienia formalistycznie, wskazuje ona najbardziej zbliżoną pod względem zespołu właściwości – charakteryzowanego przez składowe wektora wejściowego – klasę, wyodrębnioną w zbiorze treningowym. Oznacza to, że zmienione warunki kształtowania się gleb powinny z czasem upodabniać się do tych, które warunkują wykształcenie się jednostki zbliżonej do wskazywanej przez sieć.

5. Podsumowanie

Sieci neuronowe mogą być użytecznym narzędziem prognozowania skutków przekształceń gleb zagrożonych przekształceniami górnictwami. Chara-

kteryzuje je automatyzm konstrukcji modelu klasyfikacyjnego oraz równocześnie uwzględnienie wielu właściwości obiektu, odzwierciedlanych w wektorze wejściowym, co może być ważne przy przekształceniach obejmujących wiele czynników (spadek, konfiguracja, zwierciadło wody). Należy przewidywać, że ich stosowanie będzie ułatwione dzięki upowszechnieniu się systemów informacji przestrzennej obejmujących coraz większy teren i pojawiającej się potrzebie skutecznych narzędzi analitycznych, mających na celu wykrywanie regularności i wyjątków ukrytych w związanych z nimi bazach danych. W opisanych przykładach skuteczność identyfikacji zbioru testowego w każdym przypadku przekraczała 90 % jednostek elementarnych, tak więc, licząc się nawet z jeszcze większym błędem w odniesieniu do stanu prognozowanego, trudno byłoby wskazać konkurencyjny sposób obiektywnego wnioskowania o przyszłej kwalifikacji gleb. Podejście to jest na tyle elastyczne, że umożliwi zastosowanie także na terenach leśnych, jak i w odniesieniu do innych systemów kwalifikacyjnych.

Problemem pozostaje dostęp do danych źródłowych, charakteryzujących w dostatecznym stopniu warunki glebowe, zwłaszcza w przyszłości. Prezentowane w pracy sieci mają w dwu pierwszych przypadkach przydatność lokalną (nie mogą być przeniesione na inne tereny, ponieważ w wektorze wejściowym cech występują elementy mające odniesienie względne, związane z wystę-

pującą tendencją). Ostatni przypadek daje możliwość wykorzystania wytrenowanej sieci w innych terenach, podobnych pod względem litologicznym i morfologicznym. Do ogólniejszych zastosowań i budowy uniwersalnego rozwiązania należy stworzyć bazę danych, która zawierałaby wektory reprezentujące możliwie szeroką zmienność litologiczną, hydrologiczną i morfologiczną. Zaletą tego rozwiązania, oprócz otrzymania użytecznego, ogólnego modelu klasyfikacyjnego będącego samym w sobie przedmiotem badań zależności klasyfikacyjnych, jest możliwość etapowej budowy, w miarę poszerzania bazy danych o następne wzorce.

Bibliografia

Almeida L. B. 1997: *Multilayer perceptrons*, (w:) "Handbook of Neural Computation", Institute of Physics Publishing Ltd. and Oxford University Press.

Bishop Ch. M. 1997: *Classification and regression*, (w:) "Handbook of Neural Computation", Institute of Physics Publishing Ltd. and Oxford University Press.

Duch W., Jankowski N. 1999: *Survey of Neural Transfer Functions*. Neural Computing Surveys XX, XX–XX, (<http://www.phys.uni.torun.pl/kmk/publications.html#Neural>).

Gruszczyński S., Żuławski Cz. 1993: *Dokumentowanie szkód wywołanych osuszeniem gleb*. Kraków, Zesz. Nauk. AGH Nr 1496, Sozologia i Sozotechnika, z. 37.

Komentarz do tabeli klas gruntów w zakresie bonitacji gleb gruntów ornich terenów równinowych, wyżynnych i nizinnych wraz z regionalnymi instrukcjami dotyczącymi bonitacji gleb ornich terenów górzystych i komentarzami dotyczącymi bonitacji gleb użytków zielonych i gleb pod lasami dla użytku klasyfikatorów gleb i pracowników kartografii gleb – IUNG 1963, Warszawa, Ministerstwo Rolnictwa.

Kowaliński S. 1966: *Zróznicowanie właściwości morfologicznych, fizycznych i chemicznych czarnych ziem pod wpływem zmiany użytkowania*. Wrocław, Zeszyty Naukowe WSR we Wrocławiu. Rolnictwo, T.10, nr 29.

Kowalkowski A. 1966: *Główne kierunki rozwoju gleb w warunkach środowiska morfogenetycznego Wzgórz Dalkowskich*. Roczniki Gleboznawcze, T. XVI, nr 2, ss. 357 – 411, PWN, Warszawa.

Kowalkowski A. 1977a: *Wpływ różnej głębokości wody gruntowej na wilgotność i zasobność gleb rdzawych bielcowanych pod drzewostanami*

- osnowymi. Warszawa, Roczniki Gleboznawcze, T. XXVIII, nr 3–4.
- Kowalkowski A. 1977b: *Dynamika rozwoju późnoplejstoceny i holoceny gleb z piasków wydmowych w Pomorsku*. Roczniki Gleboznawcze, T. XXVIII, nr 3–4, ss. 19–33, PWN, Warszawa.
- Kowalkowski A. 1979: *Następstwo procesów glebowych w katenie gleb lessowych Kotliny Sudeckiej*. Roczniki Gleboznawcze, T. XXXI, nr 2, ss. 65–76, PWN, Warszawa.
- Kowalkowski A., Borzyszkowski J. 1977a: *Badania nad związkami między morfologią powierzchni ziemi a strukturą pokrywy glebowej*. Roczniki Gleboznawcze, T. XXVIII, nr 3–4, ss. 3–18, PWN, Warszawa.
- Kowalkowski A., Król H. 1977: *Budowa profilowa toposekwencji gleb na stoku lessowym z glebą kopalną*. Roczniki Gleboznawcze, T. XXVIII, nr 3–4, ss. 115–126, PWN, Warszawa.
- Krajewski R., Skawina T., Żuławski Cz. 1969: *Hydrologiczno-glebowa metoda szacowania szkód w użytkach rolnych, wywołanych osuszającą działalnością górniczą*. Katowice, Ochrona Terenów Górniczych, nr 9.
- Kurzyński M. 1997: *Rozpoznawanie obiektów. Metody statystyczne*. Wrocław, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
- Niewiadomski W. 1985: *Rozważania o plonotwórczej funkcji gleby*. Roczniki Gleboznawcze, T. XXXVI, nr 3, ss. 27–35, PWN, Warszawa.
- Rao R. C. 1982: *Modele liniowe statystyki matematycznej*. PWN, Warszawa.
- Skawina T., Trafas M., Żuławski Cz. 1972: *Klasyfikacja stosunków wodnych gleb dla potrzeb oceny i prognozowania szkód górniczych*. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, Puławy.
- Skawina T., Trafas M. 1972: *Zawodnienia gleb na terenach górniczych*. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, Puławy.
- Staszewski B. 1992: *Zmiany położenia zwierciadła wód gruntowych w zlewni objętej poeksploatacyjnymi, ciągłymi deformacjami powierzchni*. Praca doktorska – maszynopis. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
- Strzemski M. (red.) 1966: *Racjonalne użytkowanie ziemi w polskiej kartografii gleboznawczej*. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.
- Strzemski M. 1972: *Przyrodniczo-rolnicza bonitacja gruntów ornych*. Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, Puławy.
- Tadeusiewicz R. 1993: *Sieci neuronowe*. Akademicka Oficyna Wydawnicza RM, Warszawa.
- Tadeusiewicz R. 1998: *Nowe metody uczenia w sztucznych sieciach neuronowych*. Materiały 2. Seminarium „Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych w symulacji i sterowaniu procesami metalurgicznymi NeuroMet '98”, Kraków AGH.
- Wilk Z., Adamczyk A., Nałęcki T. 1990: *Wpływ działalności górnictwa na środowisko wodne w Polsce*. Wyd. SGGW-AR, Warszawa.
- Żuławski Cz. 1965: *Przewidywanie zmian glebowo-użytkowych wywołanych wpływami górnictwa odkrywkowego*. Zakład Badań Naukowych GOP PAN w Zabrze, Biuletyn nr 5, Zakład im. Ossolińskich, Wyd. PAN, Zabrze.
- Żurada J., Barski M., Jędruch W. 1996: *Sztuczne sieci neuronowe*. PWN, Warszawa.

Summary

The paper presents alternative to the existing methods approach to the problem of forecasting the results of soil conversion at the mining areas. The forecasting methods having been published are based on models combination of physical occurrences accompanying exploitation. For various models representative parameters set deciding on the size of losses comes from analyse of existing classifying systems. Modern methods of gathering and processing spatial data offer much more sophisticated methods to detect regularity existing in the created databases. Among those methods artificial neural networks (ANN) have been the most interesting ones dozen or so years.

A domain of ANN together with appreciable computer systems efficiency growth, systematically enriches with another field of applying. Particularly the problems connected with the rules of object classifying became enriched thanks to ANN with an efficient, elastic and quite versatile tool which in spite of some weakness is at least now irreplaceable in some regions of practical object classification. Because the basic scale evaluation of soils are classifying systems, therefore one can presume that the properly selected processing systems based on ANN can be an useful tool for objective forecast of results accompanying some of the soil features changes (inclination, ground level location, land configuration etc.).

A try of applying based on AN classifiers to the problem of forecasting potential results of soil forming physical conditions transformation for their classification standings was presented. The idea comes from known in soil sciences though not quantitatively defined connections between geometrical, litological and hydrological soils properties and soils classification.

The carried out studies at objects: Przyszowice, Wzgórze Dalkowskie i Chelm, confirmed neural classifiers as being able to proceed a proper soil classification based on possible to interpretate from cartographical-soil documentation and situation-height object properties. In each of the cases the identification correctness at 91 to over 97 percent of examined areas was achieved. It has to be emphasized that the training series were not more than 10 percent of information amount gathered in databases. It means that the properties of the correct approximation of classifying rules by ANN, observed by an adequately small identification error can be extended also onto the network generalization abilities. Indirectly it manifests that network can be extended also onto the network generalization abilities. Indirectly it manifests that network training led to identification of the classifying rules determinable with training series. This could have been expected considering number of training cases and network free parameters. Therefore trained networks represent some rules which combine physical features of land surface with distinguished soil classification units. The neural model advantage achieved this way is a simultaneous considering of all existing at an input vector and features. This means radical qualitative progress in comparison to classical prognosis methods which generally formulate hydrological transformations.

In this summary it is stated that neural models of soil classifying rules can be an useful tool to forecasting results of mining areas transformation. The requirement of their applying is also of course access to important, from situated prognosis point of raw litological, hydrological and morphological data plus forecast of this properties changes due to mining works.

Recenzent:

Józef JACHIMSKI

ZBIGNIEW KASINA^{*)}

RECOVERING SPATIAL GEOLOGICAL INFORMATION FROM SEISMIC DATA

Key words:

seismics, seismic processing, seismic interpretation

Abstract

This paper presents the current status of the development of seismic methods and their role in recovering spatial geological information for the purpose of exploring and exploiting natural resources. Different variants of seismic measurements are described, including 2-D and 3-D seismics, both surface and well. The range of seismic data processing has been analysed using modern techniques based on neural networks, fractal analysis, genetic algorithms, simulated annealing, and tomographic inversion. In the case of the transmission method, certain aspects of data interpretation have been presented somewhat more extensively. The role of 3-D seismics in reservoir geophysics and the recovery of spatial geological information has also been analysed.

ODTWARZANIE PRZESTRZENNEJ INFORMACJI GEOLOGICZNEJ Z DANYCH SEJSMICZNYCH

Słowa kluczowe:

sejsmika, przetwarzanie sejsmiczne, interpretacja sejsmiczna

Abstrakt

W pracy przedstawiono aktualny stan rozwoju metod sejsmicznych i ich rolę w odtwarzaniu przestrzennej informacji geologicznej dla celów poszukiwań i eksploatacji zasobów naturalnych. Opisano różne warianty pomiarów sejsmicznych uwzględniając sejsmikę powierzchniową 2-D i 3-D, sejsmikę otworową. Dokonano analizy zakresu przetwarzania danych sejsmicznych biorąc pod uwagę współczesne techniki oparte na sieciach neuronowych, analizie fraktali, algorytmach genetycznych, wyżarzaniu symulowanym i inwersji tomograficznej. Pewne aspekty interpretacji danych w przypadku przeświałła sejsmicznych zostały przedstawione nieco szerzej. Dokonano także analizy roli sejsmiki 3-D w geofizyce zbiornikowej oraz w odtwarzaniu przestrzennej informacji geologicznej.

^{*)}Akademia Górniczo-Hutnicza – Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Kraków

1. Introduction

The seismic method is currently the geophysical method which yields the greatest amount of spatial information about natural resources and their parameters. It is generally regarded as the most important tool used in exploring and exploiting natural resources. Geological information is obtained in the process of the propagation of elastic waves generated on the surface or in wells and recorded by receivers, also located either on the surface or in the wells. Differentiation in the elastic parameters of the medium caused by variations in the lithology, porosity, or pressure in the rocks can distinctly change the shape and the traveltime of the propagating seismic signals. By interpreting the recorded signals we can recover the geological information contained in seismic traces. The geological properties that define the seismic reflection record can be identified using bulk modulus, rigidity and density (which taken together define compressional velocity, shear velocity, acoustic impedance, Poisson's ratio and all the reflection coefficients), reflection time, and absorption. In the process of seismic data interpretation all available methods of geophysical and geological analysis are used to make our interpretation more reliable.

Although the seismic method is used for different purposes associated with mineral deposit exploration, environmental protection, or choosing the best localization for gas and waste storage caverns, the majority of applications of the seismic method are associated with the exploration and reservoir management of hydrocarbons. In this area the seismic method is used to generate prospective fields and assess reserves by defining the presence/absence of hydrocarbons, the structure in depth, the depth of fluid contacts, the area of fluid contacts, the thickness of the reservoirs, the effective porosity of the reservoirs, the permeability of the reservoirs (horizontal, vertical), the presence of permeability barriers, the overpressured zones, and the risk of breach of seal. Furthermore, for the purpose of understanding a prospective field, we can recover information from seismic data about the geological age, rock type, depositional environment, diagenetic history, the nature of the seal, the identification of the source rock, the burial history, and the hydrocarbon migration paths.

The kind of spatial information about natural resources which may be recovered from the seismic data is conditioned by the parameters of the acquisition technique applied and the range of seismic data processing and interpretation. Only when the proper parameters for seismic acquisition and data processing are selected is it possible to achieve the desired level of horizontal and vertical resolution of seismic data that is vital for solving the specific geological problem

2. The role of acquisition technique in gathering spatial geological information

At the current stage of development of seismic methods we can perform seismic measurements on land or at sea, on the surface or in deep wells. On land we can apply two basic types of measurements on the surface, based on recording the reflected and refracted waves. In this case we generate waves on the surface using the vibroseis method, or near the surface in shallow shot holes using dynamite explosions. The receivers are located on the surface and record the waves reflected from seismic boundaries, or refracted waves (called head waves). When the source and the receivers are located on the same straight lines, we are dealing with two-dimensional (2-D) seismics. When the receivers are located in positions other than along the same lines as the sources, we have three-dimensional (3-D) seismics, which must be used in areas with complex geological structures.

When the sources are located on the surface or near the surface in shallow shot holes, and the receivers are located in a deep well, we are dealing with what is known as Vertical Seismic Profiling (VSP). In this case we record both the direct and the reflected waves. Much higher vertical and horizontal resolution can be achieved in this case, but the interpretation is limited to the vicinity of the well.

When the sources are located in one well and the receivers in another, we can record direct and reflected waves, and use the seismic tomography method to recover the velocity field between the wells. The distribution of the velocity can reveal heterogeneities in the medium between the wells. Using this method with high-frequency sources, we can achieve much higher

resolution than in the case of surface seismics. This kind of tomographic interpretation can also be applied to VSP.

The type of source is the important parameter for seismic acquisition. On land, dynamite or vibroseis is typically used; at sea, we use mainly air guns. The best resolution of the seismic sections requires the generation of seismic signals that are very broad in hertz and in octaves. We must remember that measurements at sea have to be made very quickly, without stopping the ships. The volume of seismic data is very large, and special techniques must be used to process and interpret the data. To define the size of our seismic data space, we should bear in mind that for each source we record anywhere from ca. 100 to several thousand seismic traces, with a length of 6 seconds and a time sample interval of 2-4 ms. On each seismic line there can be 100 or more sources; in the case of 3-D seismics there can be 100 or more seismic lines.

If detailed three-dimensional information is required about the deposits, 3-D seismic acquisition must be used. From 70 to 80% of all reservoir geophysics consists in collecting, processing and interpreting 3-D seismic data. The subsurface sampling intervals computed according to design rules range from 10 to 100 m. Vertical sampling is determined by the digital sample interval of 2 or 4 ms. Thus the grid cell dimensions of seismic data points are typically around 5 x 15 x 50 m

3. The role of modern processing techniques in extracting spatial geological information from seismic traces

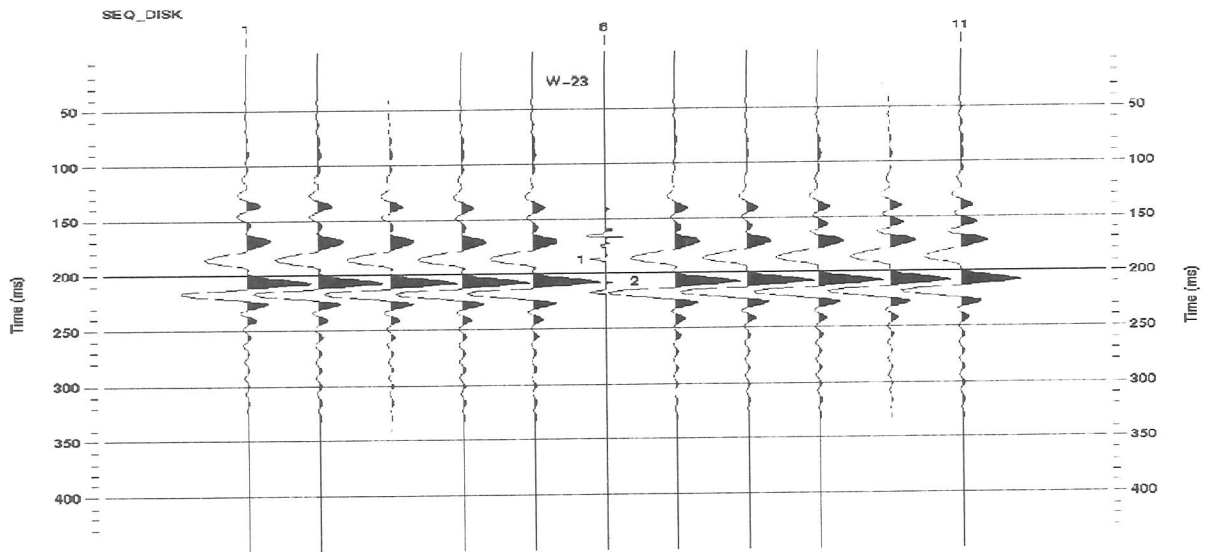
The basic goal of seismic data processing is to obtain seismic sections (in time or in depth) which can be directly interpreted by a geologist. Moreover, extracting the so-called „seismic attributes” (complex trace attributes, AVO attributes), direct hydrocarbon indicators (DHI), and information about pseudo-impedances requires advanced seismic data processing, including complex trace calculation by means of Hilbert transformation, seismic inversion with the application of so-called „sparse spike deconvolution” techniques, and wavelet processing. After such processing not only do we have at our disposal seismic sections that provide

structural geological information, but we can also define stratigraphic changes in the rocks and the most important parameter of the reservoir rocks: porosity.

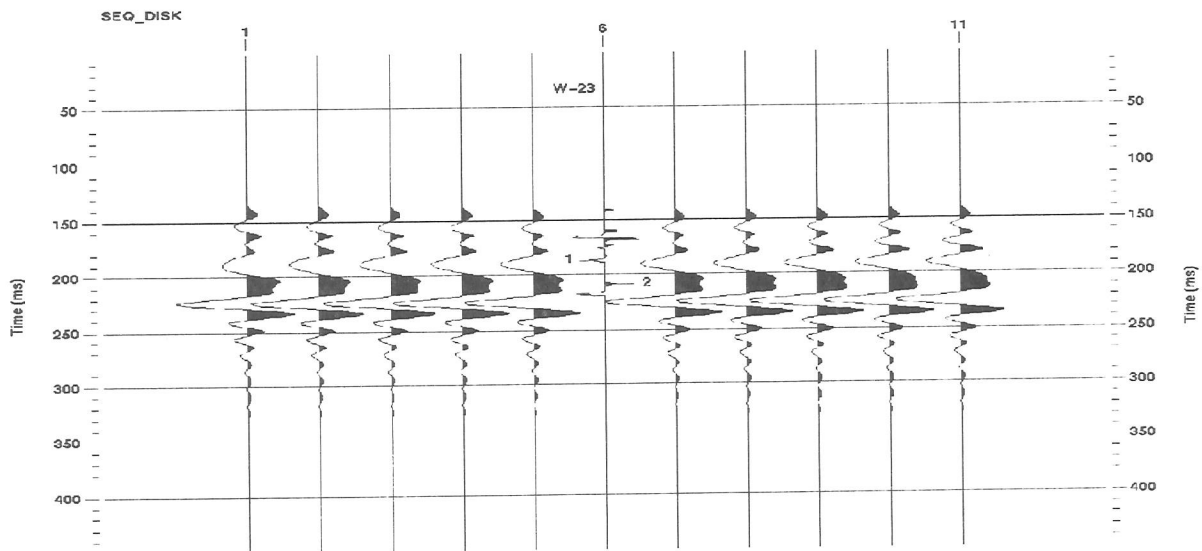
The necessity to process a large volume of seismic data in a relatively short time requires the application of new processing techniques based on neural networks, fractal analysis, genetic algorithms, simulated annealing, and tomographic inversion. For the most time-consuming procedures - first break picking, trace editing, and phase correlation - we use pickers based on neural networks (McCormack *et al.* 1993, Leggett *et al.* 1996), fractal analysis (Boschetti *et al.* 1996) or bicoherence-correlation (Yung and Ikelle 1997). Genetic algorithms (Rothman 1986) and simulated annealing (Rothman 1985) are used to estimate the residual static corrections, removing the effect of near-surface low velocity heterogeneities.

Statistical procedures based on minimum entropy deconvolution and Hopfield neural networks (Wang and Mendel 1992) are used for the purpose of wavelet processing, which improves the vertical resolution of seismic sections. The main goal of wavelet processing is to estimate the source wavelet and design a filter that will change this wavelet into a zero-phase signal. Then this filter is applied to the seismic section, treated as the convolution of the reflection coefficients with the source wavelet. This process is called „dephasing.” The result is a seismic section with improved resolution, and very good correlation can be observed between the seismic section and the well data (fig. 1).

Another technique which allows us to reveal the geological information contained in velocity distribution is tomographic inversion. The main goal of tomographic inversion is to estimate velocity distribution in two or three dimensions using the travel times of direct, reflected, or refracted waves, or head waves, recorded on the surface or in wells. The estimated velocity fields are used to interpret lithology, or serve as input parameters in such processing techniques as estimation of kinematic corrections, static corrections, or migration procedures, including the technique of depth migration before stacking, which is most important in complex areas. Moreover, tomographic inversion can be used to estimate the seismic wave attenuation coefficients that define the geological changes in the rocks.



a



b

Fig. 1. The role of dephasing in improving the process of tying the seismic traces to well data. a) model traces (after dephasing) with zero phase signal compared with the trace of the reflection coefficients, b) model traces (before dephasing) with minimum phase signal (numbers 1 and 2 define respectively the reflection coefficient from the top of the gas layer and from the bottom)

Rys. 1. Rola defazowania w poprawianiu procesu dowiązywania tras sejsmicznych do danych otworowych, a) trasy modelowe (po defazowaniu) z sygnałem zerofazowym zestawione z trasą współczynników odbicia, b) trasy modelowe (przed defazowaniem) z sygnałem minimalnofazowym (cyfry 1 i 2 definiują odpowiednio współczynnik odbicia od stropu warstwy z gazem i od spągu)

When using tomographic inversion we must remember that the efficiency of the technique here discussed depends on many factors related to the geological structure, the acquisition geometry, and the method of interpretation. The most important factors related to tomographic inversion are the following:

- the accuracy of picking traveltime;
- the step of velocity discretization of the medium;
- the method used to solve the basic set of tomographic equations;
- the constraints imposed on velocity distributions and the way additional velocity information is taken into account;
- the methods used for smoothing velocity fields (averaging, convolutional smoothing, regularization);
- the extent to which different wave field components, primarily different types of waves, are taken into consideration.

In many cases tomographic inversion is performed by using an algorithm and a program of curvilinear tomography (e.g. Kasina 1991). The basic set of tomo-

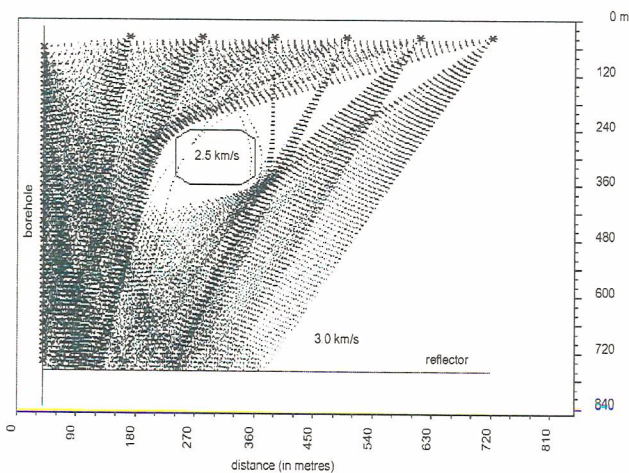


Fig. 2. The medium model of a low-velocity zone of 2.5 km/s, with transmission geometry and seismic ray trajectories of direct and reflected waves; the sources are placed on the surface and the receivers are located in the well

Rys. 2. Model ośrodka ze strefą o obniżonej prędkości 2.5 km/s z geometrią prześwietlania oraz trajektoriami promieni sejsmicznych fali bezpośredniej i odbitej; źródła umieszczone są na powierzchni ziemi, odbiorniki zlokalizowano w otworze

graphic equations has the following matrix form:

$$(A^T A + \lambda \Omega) \Delta V = A^T \Delta t$$

where: Ω - matrix of constraints, A^T - transposition of coefficient matrix A , λ - coefficient of constraints, ΔV - column vector of unknowns (values of velocity corrections in the nodes of the computational grid), Δt - column vector of travel time differences (measured between the travel times recorded and calculated for assumed velocity distribution), A - matrix of coefficients defining the relation between travel times and velocities. The matrix $A^T A$ is singular, and an iterative method (e.g. conjugate gradient method) is used to solve this set of equations. During generation of the coefficients of the above set of equations, convolutional quelling may be used to improve the results of the inversion. The essence of convolutional quelling is the replacement of the seismic ray with a beam involving many more

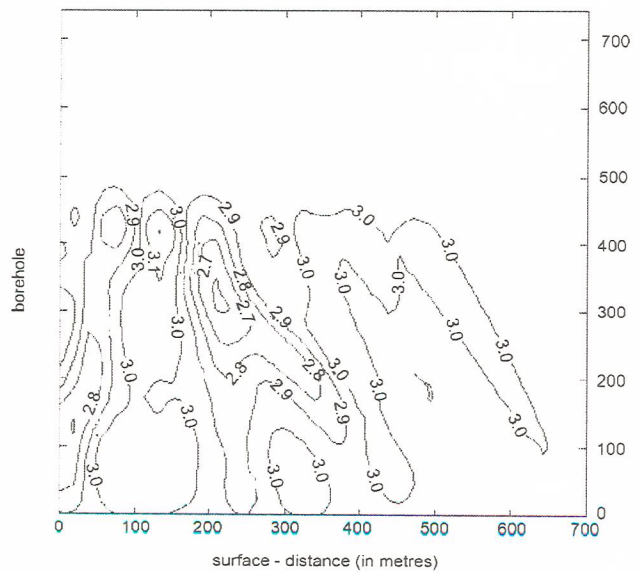


Fig. 3. 2-D presentation of tomographic interpretation results for a model with a low velocity zone of 2.5 km/s, when the travel times of direct waves and reflected waves have been used during tomographic inversion (variant with constraints and convolutional quelling)

Rys. 3. Dwuwymiarowa prezentacja wyników interpretacji tomograficznej dla modelu ze strefą o obniżonej prędkości 2.5 km/s dla wariantu inwersji tomograficznej z wykorzystaniem fali bezpośredniej i fali odbitej (wariant z więzami i wygładzaniem splotowym)

computational grid nodes during wave propagation (Meyerholtz *et al.* 1989). This technique may be used in conjunction with others to improve velocity images in seismic tomography (Kasina 1994).

One of the most effective ways to improve tomographic inversion is to use simultaneously several types of waves recorded in the field measurements. The tomographic inversion of VSP data using direct and reflected waves may be an example of such a multiphase technique (Kasina 1999a). By using these two types of waves during tomographic inversion, we can obtain good results for recovering velocity heterogeneities (fig. 3) for the assumed seismogeological model (fig. 2). If the tomographic inversion results are compared for two interpretation variants (fig. 4), essential improvement can be observed in the inversion when direct and reflected waves are used simultaneously.

When planning the application of tomographic inversion we must take into account the fact that this

interpretation technique is not always as effective as we might expect. It is possible to encounter just such a situation when using the transmission method between surface and salt well (fig. 5) for the purpose of analyzing a salt dome boundary (Kasina 1999). In this case we can use a method based on ray tracing to obtain good results in interpreting field data (fig. 6).

Another important technique for recovering geological information from surface seismic data is called „seismic inversion”, defined as a method of recovering a broad pseudo-acoustic impedance log from a band-limited seismic trace. This class of inversion is a poststack inversion. More recent deconvolution techniques may be grouped under the category of sparse-spike methods, including maximum-likelihood deconvolution and inversion, L1 norm deconvolution and inversion, and minimum entropy deconvolution (MED). The analysis of pseudoacoustic impedance variations in space provides

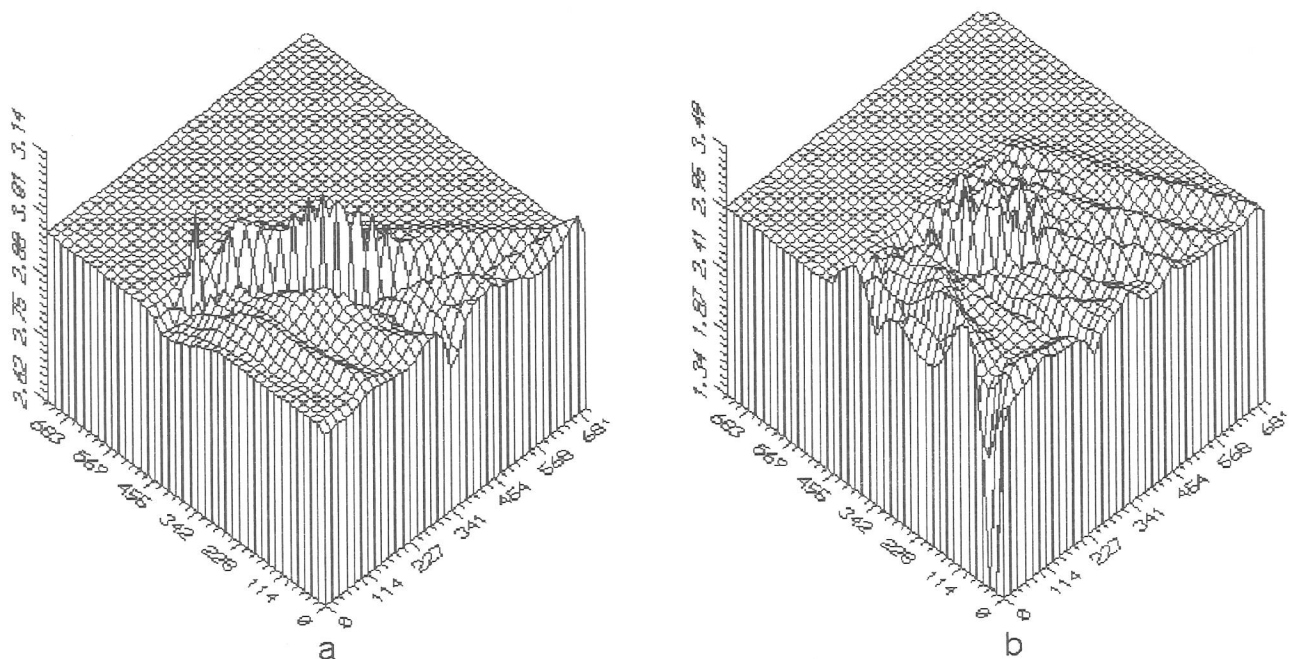


Fig. 4. 3-D presentation of tomographic interpretation results (variant with constraints and without convolutional quelling) for the case of a model with a low velocity zone of 2.1 km/s, when during tomographic inversion we use a) the travel times of direct waves only, b) the travel times of direct and reflected waves (vertical axis - velocity in km/s, horizontal axes - distance in metres).

Rys. 4. Trójwymiarowa prezentacja wyników interpretacji tomograficznej (wariant z więzami i wygładzeniami splotowymi) dla przypadku modelu ze strefą o obniżonej prędkości 2.1 km/s dla wariantu inwersji tomograficznej z wykorzystaniem a) czasów przebiegu fali bezpośredniej, b) czasów przebiegu fali bezpośredniej i odbitej (oś pionowa - prędkość w km/s, osie poziome - odległość w metrach).

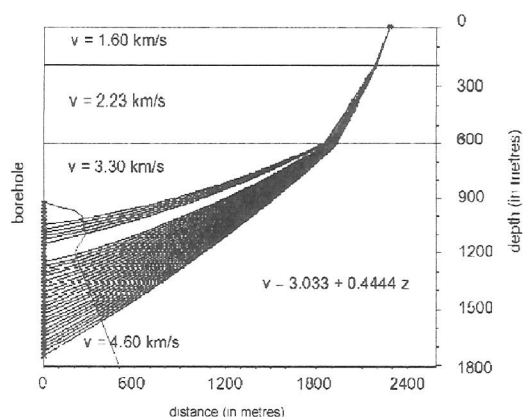


Fig. 5. The graphs of seismic ray trajectories for a selected shot point, against the background of a seismogeological model for the case of a velocity gradient in the surroundings of a salt dome with overhang

Rys. 5. Wykresy trajektorii promieni sejsmicznych dla wybranego punktu wzbudzenia na tle modelu seismogeologicznego dla przypadku gradientu prędkości w otoczeniu wysadu solnego z przewieszka

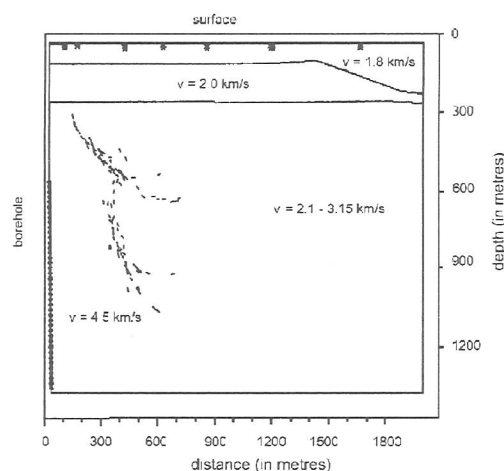


Fig. 6. An example of field data interpretation: dome reconstruction for the interpretation variant with intermediate boundaries in the dome overburden, assuming different constant velocities for each record in the dome's surroundings

Rys. 6. Przykład interpretacji danych polowych: rekonstrukcja wysadu dla wariantu interpretacji z granicami pośrednimi w nadkładzie wysadu i przy założeniu różnych stałych prędkości w otoczeniu wysadu dla każdego rekordu

the basis for inferences about variations in porosity, and is also used to confirm the occurrence of gas deposits.

The seismic data processing procedure which plays the most significant role in recovering 3-D structural geological information is called „seismic migration.” This procedure

- displays dipping energy in its true position;
- removes the effects of reflector curvature;
- collapses and focuses diffractions;
- improves the apparent continuity of reflecting surfaces;
- recovers accurate velocities in complex areas (in the process of what is called „migration velocity analysis”, or MVA);
- recovers stratigraphy by collapsing diffractions, delineating faults and shrinking the Fresnel zone.

The numerical techniques can generally be placed in three broad categories: summation or integral methods (Kirchhoff's migration), difference equation or differential methods, and transformation methods (Stolt's migration, Gazdag's migration). The role of migration in recovering complex structural geology may be evaluated by comparing the seismic section before (fig. 7) and after migration (fig. 8).

4. The role of seismic methods in reservoir geophysics

Seismic methods play an important role in reservoir management, which is defined as maximizing the economic value of a reservoir by optimizing hydrocarbon recovery while minimizing capital investments and operating expenses. Geophysical analyses help to identify reserves that may not be produced by the existing development plan, and may also save costs by minimizing dry holes and poor producers.

In the predevelopment phase, high resolution seismic data can greatly improve the defining structures and continuity of pay and nonpay zones. 3-D seismic data can help to reduce the risk of dry holes and the costs of delineation wells by predicting such drilling hazards as faults and overpressure. Borehole seismic techniques, such as offset-source vertical seismic profiles (VSP), are used to delineate the extent of the reservoir, or to locate faults and other geological discontinuities in the vicinity of a well.

In the initial development phase, seismic stratigraphy provides information on depositional

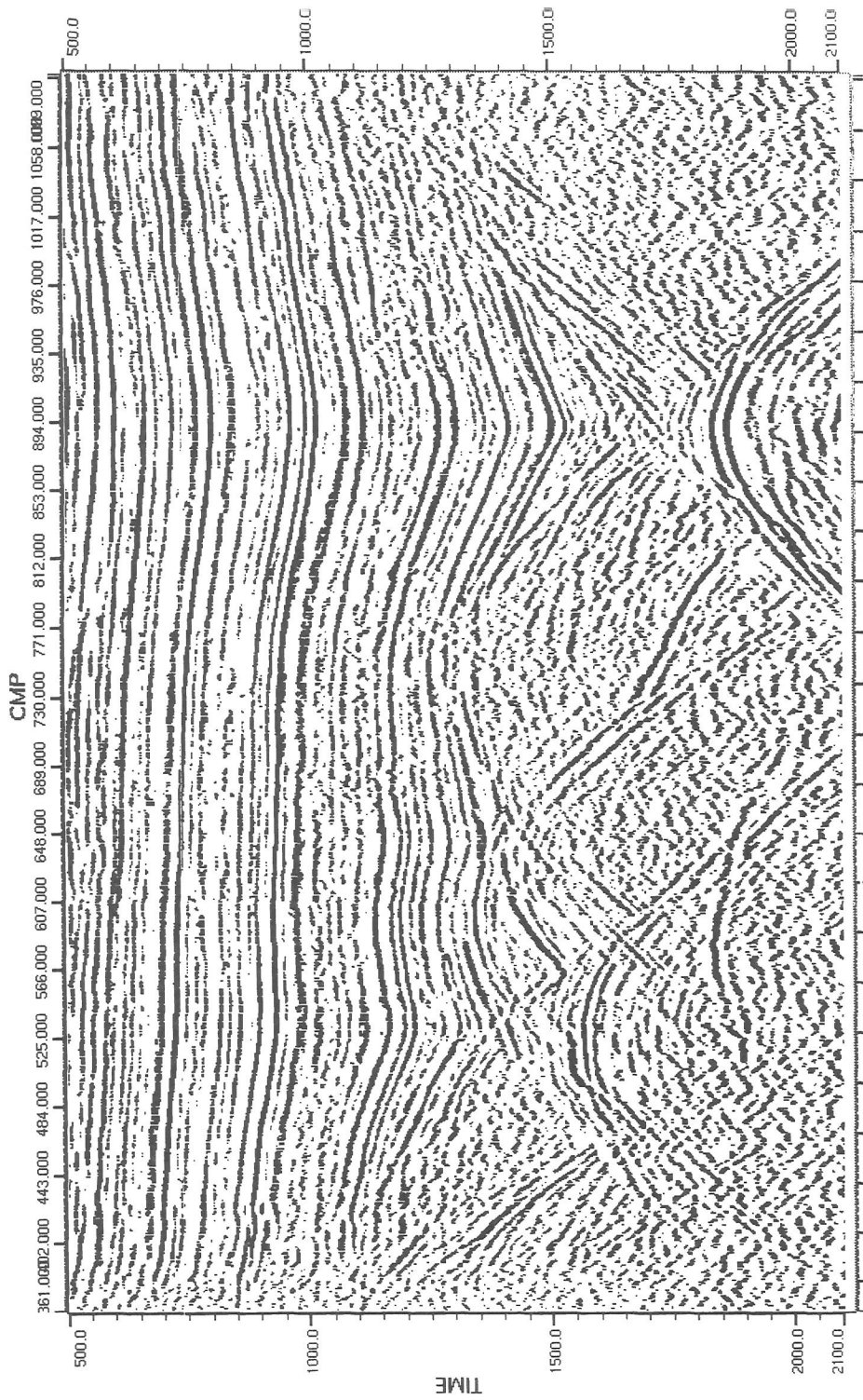
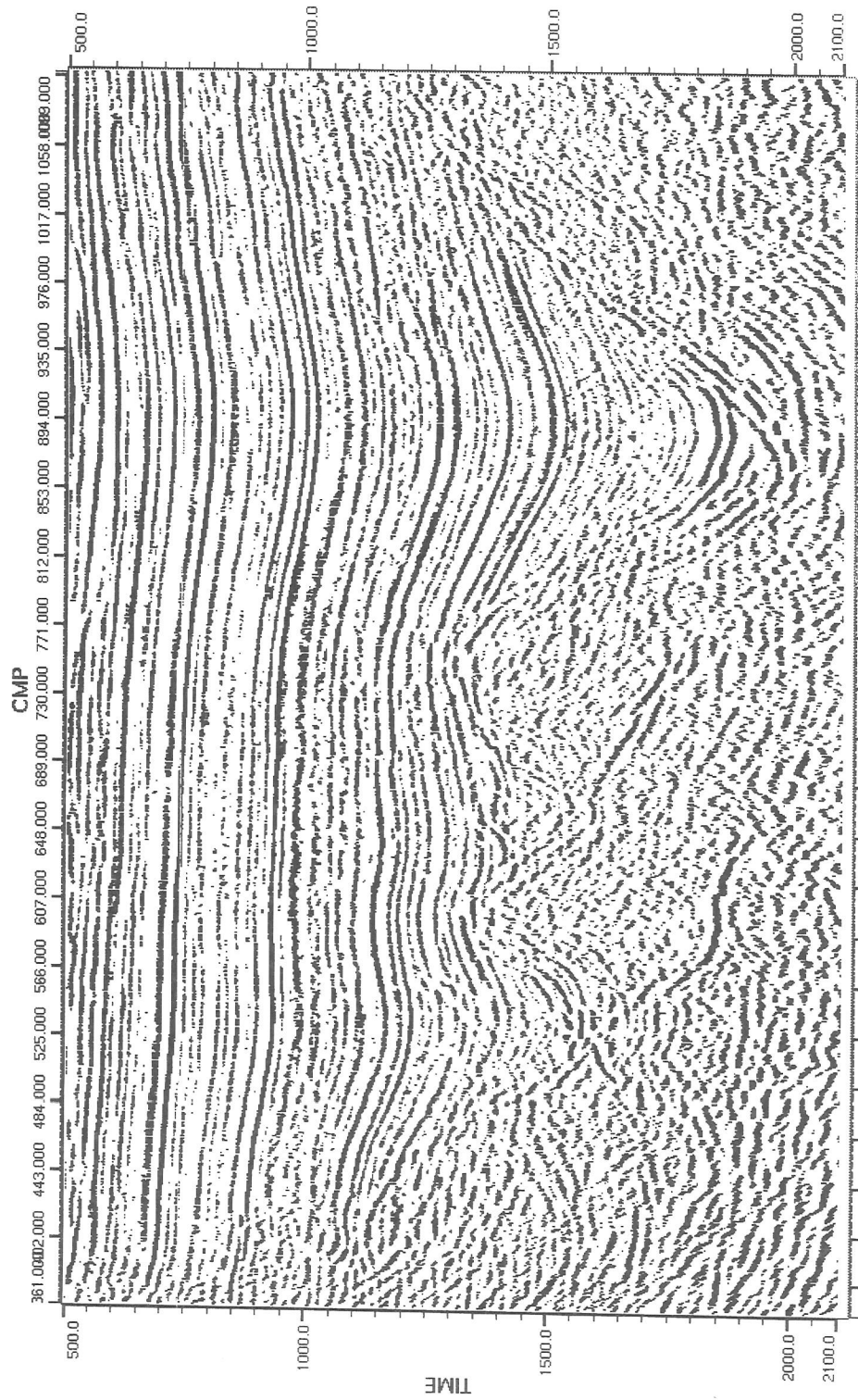


Fig. 7. The seismic section of a complex area before migration with strong diffractions visible in the lower part of the section.

Rys.7. Sekcja sejsmiczna z rejonu o złożonej budowie przed migracją z silnymi dyfrakcjami widocznymi w dolnej części sekcji.



Rys. 8. Sekcja z rys. 7. po migracji sejsmicznej, potwierdzająca redukcję dyfrakcji i poprawną definicję dużych upadów

Fig. 8. The section from fig. 7. after seismic migration, confirming collapse of diffractions and the proper definition of steep dips

patterns and lateral variations in the facies. Seismic analysis allows us to map fluid contacts, estimate lithology, and define reservoir fractures. Seismic data can be used to improve the spatial description of such rock properties as lithology and porosity.

In the operating phase, seismic methods help to detect reservoir heterogeneities and to locate by-passed oil, enabling the engineer to plan an infill drilling program more effectively.

In the enhanced recovery phase, 3-D surface seismic and cross-well seismic data can be used to monitor enhanced oil recovery (EOR) processes which induce changes in the physical properties of reservoir rocks. By using seismic methods we can map the steam, fire, or CO₂ fronts.

In short, it can be stated that seismic interpretation creates the possibility to map reservoir architecture (facies) and reservoir properties such as porosity, to locate fluid contacts, and to monitor fluid fronts.

5. The role of 3-D seismics in recovering spatial geological information

Seismic interpretation is the process of linking seismic sections to well data and recovering geological information from seismic traces. The 3-D technology has provided new ways of presenting the processed data, giving new insights into the subsurface. Thanks to the three-dimensional volume of the data, or cube data, we can create vertical sections by selecting adjacent seismic traces from the data volume along a horizontal line in any orientation.

In viewing 3-D data, we are never limited to a single vertical slice through the data volume. Composite displays which combine several differential slices can be extracted. The data volume may also be cut horizontally, extracting data samples at every trace location at the same time value. The resulting display is called a „time slice.”

3-D seismics provide improved positioning and cause the geological features to appear in their correct places on seismic sections. Greater resolution means that even small features can be defined, both vertically (thinner beds) and horizontally (small lateral changes, such as faults, channels and local zones of porosity).

Unlike two-dimensional data, which are viewed

only along shot lines, displays in a 3-D data volume may be extracted along any plane. The volume may also be sliced horizontally, and several vertical and horizontal slices may be displayed simultaneously on the workstation screen. Line/time displays combine a vertical section and a time slice into a single display, often called „chair displays.”

One valuable capability offered by 3-D interpretation is the ability to animate data using movies. A movie is a series of „snapshots” of data taken along a common direction, allowing the interpreter to move through the data volume in discrete intervals. By watching how horizons move over time and distance, the interpreter can review and correct his or her understanding of what a structure looks like, how it is faulted, and how it should be interpreted.

Horizon slices through a reservoir zone are typically used to delineate areas of maximum porosity. For the common type of clastic reservoir where the acoustic impedance of the reservoir sand is lower than that of the embedding shales, higher amplitude indicates better reservoir quality. Lateral variations in amplitude are best observed on seismic sections displayed in color. These variations are most reliably related to reservoir interfaces if the data contain zero phase signals.

By repeating the measurements on the same reservoir at different times during the reservoir’s production (time-lapse measurements), we can monitor the way in which the reservoir changes. Repetitive 3-D surveys are sometimes referred to as 4-D surveys.

Acknowledgments. This work was sponsored by the Polish Committee for Scientific Research under grant No. 9S60200706, and within the framework of a statutory activity project.

Bibliography

Boschetti F., M. D. Dentih and R. D. List, 1996: *A fractal-based algorithm for detecting first arrivals on seismic traces*, Geophysics, **61**, 1095-1102.

Kasina Z., 1991: *Reconstruction of velocity heterogeneities of medium in the inverse seismic curvilinear tomography problem*. Pubs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., M-15 (235), 61-76.

Kasina Z., 1994: *Possibilities of velocity images improvement in seismic tomography*. Exploration Technology, Geosynoptics and Geothermal, 4/5, 1-12.

Kasina Z., 1999: *The salt dome boundary interpretation by ray tracing method applied to VSP data*. Acta Geophysica Polonica, vol. XLVII, 203-213.

Kasina Z., 1999a: *The role of reflected wave in tomographic velocity interpretation of model VSP data*. Acta Geophysica Polonica, vol. XLVII, 401-409.

Leggett M., W. A. Sandham and T. S. Durrani, 1996: *3D horizon tracking using artificial neural networks*. First Break, **14**, 413-418.

Meyerholtz K. A., G. L. Pavlis and S. A. Szpakowski, 1989: *Convolutional quelling in seismic tomography*, Geophysics, **54**, 570-580.

McCormack M. D., D. E. Zaucha and D. W. Duschek, 1993: *First-break refraction event picking and seismic data trace editing using neural networks*, Geophysics, **54**, 67-78.

Rothman D. H., 1985: *Nonlinear inversion, statistical mechanics and residual statics estimation*, Geophysics, **50**, 2784-2796.

Rothman D. H., 1986: *Automatic estimation of large residual statics corrections*, Geophysics, **51**, 332-346.

Wang: L. X. and J. M. Mendel, 1992: *Adaptive minimum prediction-error deconvolution and source wavelet estimation using Hopfield neural networks*, Geophysics, **53**, 1527-1539.

Yung: S. K. and L. T. Ikelle, 1997: *An example of seismic time picking by third-order bicoherence*, Geophysics, **62**, 1947-1951.

Recenzent:

Henryk MARCAK

KRONIKA PRAC KOMISJI

Komisja Geoinformatyki PAU została powołana przez Wydział Przyrodniczy PAU z końcem roku 1998 w zaproponowanym składzie dwudziestu pięciu członków-założycieli.

Dnia 21 stycznia 1999 roku na zebraniu wyborczym został wyłoniony Komitet Administracyjny Komisji w składzie:

Prof. dr hab. inż. Janusz Kotlarczyk, geolog - przewodniczący,
Prof. dr hab. inż. Ryszard Tadeusiewicz, informatyk - zastępca przewodniczącego,
Prof. dr hab. inż. Józef Jachimski, geodeta - zastępca przewodniczącego,
Prof. dr hab. inż. Jakub Siemek, górnik-pełnomocnik ds. wydawnictw,
Prof. nadzw. dr hab. inż. Ryszard Ślusarczyk, geofizyk - sekretarz.

Na posiedzeniu w dniu 15 kwietnia 1999 roku Komisja przyjęła nazwę własnego wydawnictwa: „**Geoinformatica Polonica**”.

W roku 1999 odbyły się posiedzenia naukowe Komisji z następującymi referatami:

3 marca - R. Tadeusiewicz (czł. PAU): „Algorytmiczne i heurystyczne rozwiązywanie problemów w informatyce”.

15 kwietnia - J. Kotlarczyk (czł. PAU), S. Jucha, W. Maślej, B. Namysłowska-Wilczyńska: „Ilościowa pro-

gnoza potencjalnych stref akumulacji węglowodórów w synklinorium nidziańskim”.

Pełny tekst referatu ukazał się w czasopiśmie PAN „Gospodarka surowcami mineralnymi” tom 15 - zeszyt specjalny, Kraków 1999.

20 maja - J. Jachimski, K. Pyka, W. Mierzwa, S. Mularz: „Cyfrowa fotogrametria i teledetekcja w Polsce”.

18 czerwca - B. Cianciara: „Emisja sejsmiczna jako nośnik informacji o przebiegu procesu pęknięcia górotworu”.

13 października - S. Gruszczyński: „Określanie zagrożeń gleb w rejonach górniczych za pomocą sztucznych sieci neuronowych”.

24 listopada - Z. Kasina: „Rola nowoczesnych metod sejsmicznych w poszukiwaniu i eksploatacji zasobów naturalnych”.

W odpowiedzi na inicjatywę dr. inż. Janusza Magiery, członka Komisji i równocześnie członka Komitetu Organizacyjnego międzynarodowej konferencji „Spatial Information Management in the New Millenium”, Komisja Geoinformatyki PAU podjęła decyzję o wejściu w skład Komitetu Organizacyjnego tej konferencji. Członkowie Komisji przedstawili 6 referatów (informacja o tej konferencji jest zamieszczona w niniejszym tomie).

Janusz KOTLARCZYK
Ryszard ŚLUSARCZYK

INFORMACJE O KONFERENCJACH

Konferencja:

„Spatial Information Management in the New Millennium (Zarządzanie informacją przestrzenną w nowym tysiącleciu)”.

Kraków, 15–17. 11. 1999 r.

W dniach 15, 16 i 17 listopada 1999 roku odbyła się w Auli Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie polsko-chorwacka konferencja nt. Spatial Information Management in the New Millennium (Zarządzanie informacją przestrzenną w nowym tysiącleciu). W dniach od 8 do 17 listopada konferencji towarzyszyła wystawa około 60 posterów. Współorganizatorami konferencji były uczelnie i instytucje: Uniwersytet im. J. J. Strossmayera (Osijek, Chorwacja), Stowarzyszenie GIS Forum (Chorwacja), Stowarzyszenie SILGIS Center (Katowice), Wydział Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej (Gliwice), Wydział Techniki Uniwersytetu Śląskiego (Katowice), Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH (Kraków), Instytut Systemów Przestrzennych i Katastralnych (Gliwice), Uniwersytet York (Wielka Brytania). Z inicjatywy dr. inż. J. Magiera, Komisja Geoinformatyki PAU wzięła udział w przygotowaniu konferencji. Za zgodą pozostałych współorganizatorów konferencji, członkowie Komisji zgłosili 6 referatów, z których 2 zostały już wcześniej wygłoszone na posiedzeniach naukowych Komisji. Uznano za wskazane wsparcie w ten sposób konferencji promującej polsko-chorwacką współpracę w dziedzinie informacji przestrzennej.

W konferencji uczestniczyło blisko 110 osób. Zgłoszono 64 referaty autorstwa 130 osób, w tym 37 referatów 69 autorów polskich, 25 referatów 57 autorów z Chorwacji i 1 współautora z Francji oraz 2 referaty

3 autorów z Anglii. Streszczenia tych referatów zostały wydrukowane w materiałach konferencyjnych. Wygłoszono 55 referatów, zgrupowanych w sześciu sesjach tematycznych:

- *Odbudowa zabytków i zarządzanie w przypadku sytuacji kryzysowych* – 9 referatów, sesji przewodniczył P. J. Halls;
- *Zrównoważony rozwój i ekologia* – 14 referatów, przewodniczył J. Magiera;
- *Nowe projekty w rolnictwie i leśnictwie* – 9 referatów, przewodniczyli: M. Jurašić i M. Michalczewski;
- *Przestrzeń i prawo* – 9 referatów, przewodniczył M. Surowiec;
- *Systemy informacji przestrzennej w zastosowaniach praktycznych* – 8 referatów, prowadził J. Kazimierzak;
- *Zarządzanie na poziomie lokalnym* – 6 referatów, sesję prowadził D. Kerekovic.

Referaty wygłaszano w języku angielskim lub polskim, z symultanicznym tłumaczeniem. Materiały wydrukowano w obu tych językach.

Tematyka referatów była bardzo zróżnicowana: od inwentaryzacyjnych zastosowań GIS (systemów informacji przestrzennej) i innych technik cyfrowych, poprzez aplikacje kartograficzne czy wręcz czysto graficzne, po zastosowania w modelowaniu i wspomaganii zarządzania.

Najliczniejszą grupę stanowiły prezentacje GIS-owych procedur analitycznych i modelujących oraz przykłady ich zastosowań w ochronie środowiska, hydrogeologii, prospekcji geologicznej i wspomaganii zarządzania. Były to referaty o zależności rozmieszczenia metali ciężkich w glebach od czynników naturalnych

i antropogenicznych, o podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia, o analizie bilansu wód w zlewniach rzek, o modelach prognostycznych złóż ropy i gazu oraz kruszyw naturalnych, o wspomaganiu planowania i zarządzania obszarami leśnymi, strefami wybrzeża Dalmacji, obszarami rzecznej gospodarki rybackiej, hodowli chmielu, regionami agroturystycznymi oraz administracyjnymi jednostkami terytorialnymi.

Liczne były także przykłady zastosowań innych technik cyfrowych, w tym geostatystyki i teledetekcji, w powyższych dziedzinach, jak np. w badaniu propagacji zanieczyszczeń gleb związkami ropopochodnymi i metalami ciężkimi, w ocenie zagrożenia gleb przez erozję, w prognozowaniu stref wystąpień węglowodorów, w obróbce wyników badań sejsmicznych, w prospekcji surowcowej, w ekonomicznej analizie upraw uwzględniającej przestrzeny model agroklimatu, w ocenach oddziaływania inwestycji na środowisko, czy w zarządzaniu regionem i w analizie demograficznej.

Referaty najbliższe związane z tematyką konferencji poświęcone były zagadnieniom prawnym tworzenia, udostępniania i ochrony danych przestrzennych, w tym m.in. danym katastralnym, planowaniu przestrzennemu, roli samorządu terytorialnego.

Odrębną grupę stanowiły referaty poświęcone uzyskiwaniu i udostępnianiu danych przestrzennych. Sporo miejsca poświęcono technikom fotogrametrycznym i teledetekcyjnym oraz roli sieci internetowej i przekazów multimedialnych.

Dość liczne okazały się zastosowania inwentaryzacyjne GIS: w architekturze, urbanistyce i środowisku naturalnym. Zwróciły uwagę doświadczenia autorów chorwackich i angielskich w wykorzystaniu tych technik do usuwania zniszczeń wojennych. Większość przykładów należących do dwóch pierwszych z wymienionych grup nie wyszła jednak poza efektowną, trójwymiarową grafikę komputerową.

Wreszcie niektórzy autorzy mówili o ogólnych aspektach i trendach w stosowaniu informacji przestrzennej. M.in. Peter J. Halls w referacie *GIS – going beyond the map ?* wskazał na zasadniczy aspekt GIS – analizę, której brakowało w prawie połowie pokazanych zastosowań. Wykres etapów zastosowań GIS (I. K. Crain i C. L. Mac Donald, w: D. J. Maguire i in., *Geographical Information Systems*, v. 1, 1993) umiejscawia stan

prezentowany przez konferencję na przełomie etapu I – inwentaryzacyjno-analitycznego i II – analityczno-wspomagającego zarządzanie.

Wydaje się, że ogólny stan wykorzystania GIS w obu krajach jest jednak mniej zaawansowany, niż wynikałoby to z konferencji. Brało w niej bowiem udział wielu przedstawicieli środowiska akademickiego, które, co naturalne, ma znacznie więcej przykładów zastosowań analitycznych GIS niż „praktycy”. Odzwierciedlała to tematyka posterów towarzyszących konferencji. Zdecydowanie przeważały tam profesjonalne i efektowne prezentacje kartograficzne i teledetekcyjne, przygotowane przez firmy geodezyjne, w większości chorwackie. Postery przedstawiające wyniki procedur analitycznych czy modelujących były nieliczne, jednak ich poziom merytoryczny (podobnie jak i graficzny) był wysoki. Dotyczyły one w większości analizy środowiska naturalnego na terenie parków narodowych, krajobrazowych czy innych obszarów chronionych, analizy hydrograficznej czy prospekcji geologicznej.

Wyniki konferencji uzasadniają nadzieję na coraz powszechniejsze wykorzystanie informacji przestrzennej w Polsce i Chorwacji do analizy istniejącego stanu, modelowania przyszłych zmian i w procesie decyzyjnym, co jest głównym przeznaczeniem systemów informacji przestrzennej.

Janusz MAGIERA

Konferencja naukowo-techniczna:**„Optymalizacja wydobywania kopalin przy wykorzystaniu technik informatycznych”.**

Bogatynia 27- 29.11.1999 r.

W dniach od 27 do 29 listopada 1999 roku w Bogatyni, na terenie Kopalni Węgla Brunatnego TURÓW, odbyła się konferencja naukowo techniczna „Optymalizacja wydobywania kopalin przy wykorzystaniu technik informatycznych”, zorganizowana staraniem dyrekcji KWB Turów, Przedsiębiorstwa Robót Geologiczno - Wiertniczych w Sosnowcu, Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Górnictwa i Związku Pracodawców - Porozumienie Producentów Węgla Brunatnego. Jej celem było przede wszystkim zaprezentowanie wyników kompleksowego zastosowania technik informatycznych do wspomaganie działalności kopalni Turów, jak również wymiana doświadczeń w stosowaniu tych metod w innych zakładach górniczych. Mimo wąskiej tematyki obrad, konferencja wzbudziła bardzo duże zainteresowanie. Wzięło w niej udział 120 uczestników reprezentujących przede wszystkim zakłady górnicze, ośrodki naukowe i przedsiębiorstwa świadczące usługi w zakresie wdrażania technik informatycznych. Wyrazem zainteresowania uczestników były ożywione dyskusje na temat wygłaszanych referatów.

Na konferencji zaprezentowano 18 referatów. Dotyczyły one generalnie trzech grup zagadnień:

- budowy baz danych i przetwarzania informacji oraz budowy cyfrowych modeli złoża na potrzeby obsługi ruchu zakładów górniczych,
- systemów skomputeryzowanego uzyskiwania informacji i monitoringu zjawisk związanych z eksploatacją górnictw,
- wykorzystania narzędzi informatycznych do wspomaganie projektowania i harmonogramowania eksploatacji.

Przedmiotem referatów były, bez wyjątku, praktyczne zastosowania metod informatycznych do rozwiązywania konkretnych zagadnień, jakie pojawiają się w praktyce górniczej. Główną uwagę skupiono na zastosowaniach w kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego, w szczególności w kopalni Turów, która może poszczycić się kompleksowym wykorzystaniem technik informatycznych do zarządzania działalnością kopalni i sterowania wydobywaniem. Przedstawiano również przy-

kłady i próby ich zastosowania w innych kopalniach węgla brunatnego w Koninie, Bełchatowie, a także kopalniach podziemnych węgla kamiennego, rud miedzi i bardzo głębokich kopalni złota w basenie Witwatersrand w RPA. Przedstawione zastosowania były realizowane w oparciu o oprogramowania INTER/MINE 2000 i DATAMINE, aczkolwiek w wielu przypadkach, jak pokazano, wymagały one odpowiedniej modyfikacji lub uzupełnienia stosownie, do lokalnych warunków i problemów geologiczno - złożowych oraz górniczych.

Zaprezentowane referaty wyraźnie wskazują, że polskie górnictwo w zakresie wdrażania technik informatycznych nie pozostaje w tyle w stosunku do górnictwa światowego, aczkolwiek istniejące techniki informatyczne stwarzają możliwości znacznie szerszych ich zastosowań, niż to ma obecnie miejsce.

Ważnym uzupełnieniem obrad były: możliwość zapoznania się z praktycznym wykorzystaniem przedstawianych technik informatycznych na terenie kopalni oraz prezentacje tych technik przez firmy oferujące swoje usługi w ich stosowaniu do projektowania, wspomaganie i zarządzania działalnością górnictw.

Materiały konferencji zostały opublikowane w efektownej książce (ISBN 83-87869-03-1), wydanej przez Agencję Wydawnictw i Reklamy „Silesia” w Katowicach. Teksty referatów są bogato ilustrowane barwnymi rysunkami. Wydawnictwo to stanowi zwarty przegląd zastosowań technik informatycznych i może być uważane za trwały dorobek konferencji, zasługujący na szczególne uznanie.

Konferencja, poza wymianą informacji, miała też doniosłe znaczenie praktyczne, gdyż pozwoliła na określenie możliwości stosowania technik informatycznych i wskazanie barier natury formalnej, utrudniające ich wdrażanie w praktyce polskiego górnictwa.

W podsumowaniu obrad konferencji stwierdzono, że rozwój techniki komputerowej i rozwój oprogramowania stworzyły nieosiągalne wcześniej warunki dostępu do informacji i ich weryfikacji, w stopniu umożliwiającym całkowicie nowe metody zarządzania wydobywaniem kopalin. Kompleksowe wykorzystanie dużych ilości danych źródłowych w krótkim czasie oraz ich sprawne przetwarzanie pozwalają na rozwiązanie szeregu problemów z zakresu optymalizacji zarządzania eksploatacją zasobów w skomplikowanych warunkach geologiczno-górnictw.

Aktualny stan techniki umożliwia zastosowanie **sprawnych narzędzi informatycznych** w wielu dziedzinach zarządzania eksploatacją zasobów, w tym między innymi:

- tworzenie i eksploatację bardzo złożonych baz danych geologicznych,
- tworzenie cyfrowych trójwymiarowych modeli złoża, jego otoczenia i ich wybranych elementów, i ich prezentację za pomocą map, przekrojów, diagramów blokowych,
- tworzenie nowych i doskonalszych jakościowo form dokumentacji mierniczej i geologicznej,
- archiwizację i zabezpieczenie danych przed dostępem osób niepowołanych i zniszczeniem,
- planowanie, projektowanie i rozliczanie eksploatacji zasobów,
- obliczanie stateczności skarp i zboczy odkrywki i zwałowisk,
- monitorowanie zagrożeń naturalnych oraz innych zjawisk związanych z eksploatacją,
- sprawne dokumentowanie i archiwizowanie kolejnych stanów eksploatacji złoża, zagospodarowania powierzchni, zagrożeń naturalnych itp.,
- monitorowanie pracy układu technologicznego zakładu górniczego.

Dotychczasowe doświadczenia wykazują, że zastosowanie informatycznych systemów wspomagania zarządzania produkcją w przemyśle wydobywczym zasadniczo usprawnia procesy przygotowania, prowadzenia, rozliczania oraz kontroli i dokumentowania eksploatacji złóż. Pozwala skutecznie rozwiązywać problemy planowania, projektowania i zarządzania, w wielu przypadkach nierozwiązywalne metodami wcześniej stosowanymi. W szczególności powoduje:

- zasadnicze przyspieszenie i poprawę jakości prac mierniczych, geologicznych, planistycznych, projektowych oraz związanych z monitorowaniem zagrożeń naturalnych i pracą układu technologicznego,
- poprawę i tworzenie nowych możliwości szybkiego reagowania na zagrożenia naturalne i nieprawidłowości w eksploatacji złoża oraz w pracy układu technologicznego,
- możliwość sprawnej weryfikacji i kontrolowanie zamierzeń projektowych,

- poprawę bezpieczeństwa eksploatacji górniczej, bardziej racjonalne wydobycie kopaliny.

Dotychczasowe doświadczenia polskiego górnictwa w zakresie budowy cyfrowych baz danych wskazują, że koncepcja systemu informatycznego skupionego wokół jednej wspólnej bazy danych geologiczno-górnicznych jest rozwiązaniem optymalnym. Baza przyjęta i wdrażana, między innymi w KWB „Turów”, zawierająca komplet informacji, w tym wszystkie dane wymagane przepisami o dokumentacji mierniczo-geologicznej, dostępna dla wszystkich służb zajmujących się przygotowaniem oraz geologiczną, geodezyjną i technologiczną obsługą eksploatacji przynosi, już konkretne efekty w postaci:

- 1) uporządkowania, weryfikacji i usystematyzowania dużych zbiorów informacji źródłowych, geologicznych, mierniczych, górniczych i innych, oraz możliwości ich optymalnego wykorzystania przy pracach geologicznych, przy projektowaniu robót górniczych, w zarządzaniu ruchem zakładu górniczego i w innych środowiskach;
- 2) większej integracji współpracy między służbami mierniczymi, geologicznymi, górniczo-technologicznymi, geotechnicznymi, rekultywacji i ochrony środowiska;
- 3) większej efektywności i poprawy jakości prac związanych z dokumentowaniem (np. archiwizacją stanów robót górniczych na twardych pokładach).

Obrady konferencji wykazały, że prace nad tworzeniem i wdrażaniem zintegrowanych systemów informatycznych zarządzania wydobyciem w górnictwie, wymagają wsparcia ośrodków naukowo-badawczych i instytucji powołanych do wspierania postępu technicznego. Wskazane jest podjęcie w kraju szerszych badań i projektów wdrożeniowych w celu, między innymi, wypracowania właściwych kierunków rozwoju i zalecanych standardów.

Uczestnicy konferencji z uznaniem wskazywali na duże zaangażowanie i wkład KWB „Turów” oraz PRGW Sosnowiec w rozwój praktycznych zastosowań informatyki w polskim górnictwie odkrywkowym. Już obecnie są wyraźnie widoczne bardzo pozytywne efekty prac prowadzonych w tych firmach.

Podkreślono również potrzebę systematycznego informowania o nowych osiągnięciach w zakresie zastosowania techniki informatycznej w górnictwie przez organizowanie specjalistycznych konferencji, prezentacji i innych form upowszechniania wiedzy i osiągnięć technicznych.

Nieuchronność wdrożenia do praktyki górniczej narzędzi informatycznych i oczywistych z tego korzyści powinna znaleźć odzwierciedlenie w obowiązujących

górnictwo przepisach formalnoprawnych. Powinna też spowodować odpowiednią aktualizację tych przepisów, które w obecnej postaci mogą niekiedy hamować wdrożenie wspomnianych narzędzi.

Marek NIEĆ

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,
- ewentualnie, wg uznania Autorów, 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).



Drukarnia Uniwersytetu Jagiellońskiego
31-110 Kraków, Czapskich 4, Tel./fax. 422-59-41