GEOINFORMATICA POLONICA

2 : 2000

Komitet Redakcyjny

Józef JACHIMSKI, Janusz KOTLARCZYK,
Ryszard ŚLUSARCZYK, Ryszard TADEUSIEWICZ

Redaktor Naczelny

Jakub SIEMEK

Sekretarz

Kazimierz TWARDOWSKI

Adres Redakcji

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica
Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu
30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30
tel. (012) 617-22-24, fax (012) 617-22-45
e-mail: twardow@uci.agh.edu.pl
sztymar@uci.agh.edu.pl
Strona internetowa Redakcji
www1.wnaft.agh.edu.pl/geoinf.ssi

Adres Wydawnictwa

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

POLSKA AKADEMIA UMIEJĘTNOŚCI
PRACE KOMISJI GEOINFORMATYKI

GEOINFORMATICA POLONICA

2

KRAKÓW 2000

Publikacja dotowana przez Komitet Badań Naukowych

Redakcja tomu
Maria MICHALEWICZ

Skład, łamanie
Irena JORDAN

Copyright by Polska Akademia Umiejętności
Kraków 2001

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

ISSN: 1642 – 2511
ISBN 83 – 88857 – 04 – 5

Złożono do druku: grudzień 2000
Druk ukończono: czerwiec 2001

GEOINFORMATICA POLONICA
2:2000

SPIS TREŚCI

Od redakcji (Jakub SIEMEK, Kazimierz TWARDOWSKI) 7

Artykuły

Wojciech PACHELSKI
Fundamentals of spatial data modelling (according to European Standards)
Podstawy modelowania danych przestrzennych (według norm europejskich) 9
Bogdan CIANCIARA
Zastosowanie entropii do badania ilości informacji zawartej w strumieniu emisji sejsmicznej górotworu 19
Andrzej LEŚNIAK
Grupowanie zjawisk podobnych w sejsmologii inżynierskiej 25
Mariusz MŁYNARCZUK
Zastosowanie metod komputerowej analizy obrazów do pomiarów petrograficznych 37
Janusz MAGIERA, Konrad FORYCIARZ
Analiza przestrzenna rozkładu metali ciężkich w glebach Nowej Huty (Kraków) 43
Barbara NAMYSŁOWSKA - WILCZYŃSKA, Artur WILCZYŃSKI
Badania geostatystyczne rozkładu zawartości metali ciężkich w gruntach 51

Kronika

Kronika prac Komisji Geoinformatyki (Janusz KOTLARCZYK, Ryszard ŚLUSARCZYK) 67

Informacje o konferencjach

Sympozjum naukowe z okazji Jubileuszu 70-lecia Polskiego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji
Fotogrametria, teledetekcja i GIS u progu trzeciego tysiąclecia (Józef JACHIMSKI) 69

CONTENTS

Editor's note (Jakub SIEMEK, Kazimierz TWARDOWSKI) 7

Papers

Wojciech PACHELSKI
Fundamentals of spatial data modelling (according to European Standards) 9
Bogdan CIANCIARA
Use of entropy for research rock-burst hazard information in the stream of seismic emission from rock-masses 19
Andrzej LEŚNIAK
Clustering similar events in engineering seismology 25
Mariusz MŁYNARCZUK
Application of image analysis to petrography 37
Janusz MAGIERA, Konrad FORYCIARZ
Spatial analysis of distribution of heavy metals in soil. A case study of Nowa Huta. (Cracow, Poland) 43
Barbara NAMYSŁOWSKA - WILCZYŃSKA, Artur WILCZYŃSKI
Geostatistical studies of distribution of heavy metals content in soils 51

Chronicle Work Committee (Janusz KOTLARCZYK, Ryszard ŚLUSARCZYK) 67

Information about conferences (Józef JACHIMSKI) 69

OD REDAKCJI

Mamy przyjemność przedstawić P.T. Czytelnikom już drugi tom prac Komisji Geoinformatyki PAU, wydawnictwa ukazującego się pod nazwą *„Geoinformatica Polonica"*. Pozwalamy sobie przypomnieć, że pierwszy, otwierający edycję wolumen za rok 1999 został wydany w połowie 2000 roku. W słowie wstępnym w nim zawartym m.in. zdefiniowano i sprecyzowano pole zainteresowań merytorycznych tej serii.

Sądzimy, że wydawnictwo nasze wypełni lukę istniejącą na rynku publikacyjnym, starając się zamieszczać na swych łamach zarówno oryginalne, jak i przeglądowe artykuły z zakresu szeroko pojętej geoinformatyki. Ta dziedzina nauki, operująca danymi geoprzestrzennymi, łączy, lub też posiada obszary wspólne z klasycznymi już naukami o Ziemi, takimi jak geologia, geofizyka, geografia, geodezja, kartografia, górnictwo, inżynieria środowiska, techniki kształtowania powierzchni Ziemi, a nawet rolnictwo i agrotechnika. Umożliwia przetwarzanie dużych ilości wielowymiarowych wektorów informacji, poznawanie zjawisk związanych z Ziemią i prawidłowości rządzących ich przebiegiem. Dlatego też *„Geoinformatica Polonica"* stwarza możliwości Autorom, wywodzącym się z różnych kręgów dyscyplin nauki i techniki, prezentowania rozwiązań informatycznych, Czytelnikom zaś poznawanie bardzo różnych zastosowań informatyki w szerokim spektrum nauk o Ziemi.

W piśmie publikowane są prace uprzednio referowane na kolejnych posiedzeniach naukowych Komisji Geoinformatyki PAU. I tak w bieżącym tomie prezentowanych jest sześć prac, które były referowane w okresie od stycznia do maja 2000 r. Dotyczą one bardzo zróżnicowanych problemów, począwszy od norm europejskich związanych ze standaryzacją projektowania systemów informacji przestrzennej (praca Wojciecha PACHELSKIEGO) poprzez ocenę stopnia zagrożenia tąpaniami w kopalniach podziemnych na podstawie rejestrowanego strumienia emisji sejsmicznej górotworu (praca Bogdana CIANCIARY) i grupowanie (klasteryzację) w sejsmologii inżynierskiej zjawisk sejsmicznych podobnych, co do lokalizacji, czasu powstawania oraz ich natury (praca Andrzeja LEŚNIAKA), wykorzystanie metod komputerowej analizy obrazów do pomiarów petrograficznych (praca Mariusza MŁYNARCZUKA), a skończywszy na różnych sposobach analizy rozkładu zawartości metali ciężkich w gruntach – na podstawie badań przy użyciu GIS (praca Janusza MAGIERY i Konrada FORYCIARZA) oraz badań geostatystycznych (praca Barbary NAMYSŁOWSKIEJ-WILCZYŃSKIEJ oraz Artura WILCZYŃSKIEGO).

Zgodnie z zamierzeniami Redakcji, *„Geoinformatica Polonica"* będzie też zamieszczać na swych łamach informacje i doniesienia na temat konferencji o treści geoinformatycznej, w związku z czym zainteresowanych zachęcamy do nadsyłania stosownych materiałów.

redaktor naczelny:
Jakub SIEMEK

sekretarz serii:
Kazimierz TWARDOWSKI

GEOINFORMATICA POLONICA
2 : 2000

WOJCIECH PACHELSKI[1]

FUNDAMENTALS OF SPATIAL DATA MODELLING (ACCORDING TO EUROPEAN STANDARDS)[2]

Key words:

geographic information systems (GIS), conceptual schema, application schema, standardisation, entity – relationship method, the language EXPRESS

Abstract

A basic axiom of geoinformatics is building and describing spatial information models in an abstract way, independent on any hardware and software environments, in which the models can be implemented as spatial databases and sets of service procedures and programs. This axiom is fulfilled in the form of modern methodology contained in European Standards by CEN. The standards assume using the entity – relationship method to set up information models, as well as using the language EXPRESS, defined as an international standard by ISO, to describe the models. The standards provide also typical conceptual schemas to be applied by the users in their application schemas for such issues as data quality, data geometry and topology, direct and indirect positions of the objects and data transfer.

The contained in the European Standards modern methodology of spatial information is a prerequisite for making the GIS development in Poland conform to some general rules. This is, in turn, required to harmonise the so far installations between each other, as well as to provide the necessary and effective communication of information between diverse GIS installations in the same field and also between different topic layers.

PODSTAWY MODELOWANIA DANYCH PRZESTRZENNYCH
(WEDŁUG NORM EUROPEJSKICH)

Słowa kluczowe:

systemy informacji przestrzennej (SIP), schemat pojęciowy, schemat aplikacyjny, normalizacja, metoda związków encji, język EXPRESS

---

[1] Space Research Centre of Polish Academy of Sciences and Institute of Geodesy and Cartography, Warsaw, Poland

[2] The paper was prepared within the Committee of Scientific Research (KBN) project No PBZ-024-13. This financial contribution is gratefully acknowledged.

Abstrakt

Naczelnym postulatem geoinformatyki jest budowanie i opisywanie modeli informacji przestrzennej w sposób abstrakcyjny i niezależny od środowisk sprzętowych i programowych, w których takie modele mogą być implementowane w postaci baz danych przestrzennych oraz zespołów programów i procedur je obsługujących. Postulat ten jest realizowany w postaci nowoczesnej metodologii informatycznej zawartej w normach europejskich CEN, które zakładają stosowanie metody związków encji do budowania modeli informacyjnych oraz języka EXPRESS, ustanowionego jako norma międzynarodowa ISO, do opisu tych modeli. Normy te dostarczają również gotowych wzorców, w postaci schematów pojęciowych, do wykorzystania w budowanych przez użytkowników pojęciowych schematach aplikacyjnych dla opisu elementów składowych tych schematów, jak jakość danych, geometria i topologia danych, lokalizacje przestrzenne obiektów i transfer danych, w poszczególnych dziedzinach zastosowań.

Zawarta w omawianych normach nowoczesna metodologia informacji przestrzennej pozwala uporządkować rozwój SIP w Polsce, m.in. poprzez harmonizację dotychczasowych indywidualnych, niezależnych i wyizolowanych aplikacji narzędziowych, jak też poprzez zapewnienie środków dla efektywnego komunikowania informacji, zarówno pomiędzy różnymi implementacjami SIP w tej samej dziedzinie, jak i pomiędzy różnymi warstwami przedmiotowymi.

Introduction

A condition for effective functioning of GIS implementations is availability of their data each to the other as well as to other information systems and users in a way allowing for their efficient co-operation in tied together and combined interpreting data of different thematic layers. It consists in making data of different sources (databases) available to a particular system in order to perform its function or a process – the so-called data integration, as well as in making the data of given resources available to functions or processes of different systems – the so-called data sharing. In practice, however, we have to do with the both concepts since fulfilling widely understood GIS' goals means generally performing unlimited number of spatial functions and processes by different GIS implementations on the ground of data of many different resources.

This natural and inherent feature of GIS, which is the necessity of communication among humans and systems, appears in the face of the indispensable diversity of practical solutions in various surroundings with respect to the relevant subjects and institutions, and especially to the used hardware and software. Activities undertaken in a number of countries and organisations have already led to different national and institutional data transfer standards, which, however, offer only a limited usefulness due to constant structures, formats and codes they define as an intermediate form of data between different platforms.

Hence it is necessary to take into the account semantic aspects of the data, so that we would rather have means for automated communication of information instead of a formal transfer of data, which would disregard its meaning. It is required then a proper formal language to describe information, of universal character and commonly accepted in the community, that is a standardised formal language. Those were the premises to undertake standardisation efforts in the field of geographic information by the CEN/TC 287[1] and ISO/TC 211[2]. Both organisations developed families of standards to demonstrate modern methodology of modelling and describing spatial information as a tool for designing databases in the form of conceptual schemas. The last ones, possibly adopted as standards, could be a basis for consistent and compatible implementations in diverse environments.

In general, as an engineering process, designing an information system should consists of the following steps:

1) identification of external and internal (local)

[1] Comité Européen de Normalisation / Technical Comittee 287 *Geographic information*

[2] International Standardisation Organisation / Technical Committee 211 *Geographic information / Geomatics.*

constraints, which define goals and scope of the system with respect to its environmental, technical, economical, legal, organisational and other circumstances;

2) working out the composition of the system in the form of a conceptual schema, in a given field of application, as an exact, complete and unambiguous synthesis in a formal language and/or graphical notation;

3) implementations of the schema on given computer platforms by means of the specific software;

4) putting the system into operation in the relevant organisations, which includes feeding in the data into the databases and practical running the system.

Up to now the GIS development in Poland takes into the account only local needs and conditions but it overlooks the most of the external constraints and requirements. Among the last ones it is particularly ignored the necessity of effective communication of information among humans and systems in face of diverse practical solutions. It is also often underestimated the fact that the users of the GIS installations come from many different disciplines like finances, mortgage registers, town and country planning, agriculture, environment protection, etc. Then data models residing in the GIS installations have to be not only designed with requirements of the users considered, but moreover this should be done in such a way that the users be able to understand them. It is necessary then to account for a variety of external constraints already in the first step, as well as to employ in the next one universal and commonly accepted, i.e. standardised, methodologies and formal means for the model design and description.

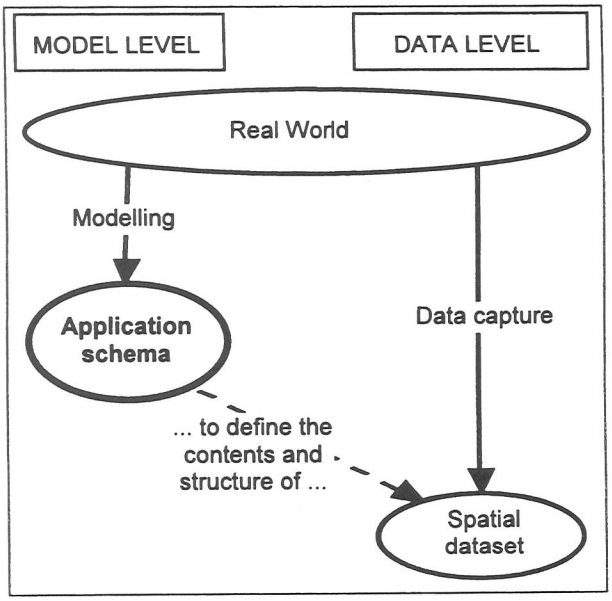
As a result the first and second steps are practically passed over in the country now, so that no standard spatial information models are being developed as a common basis for diverse implementations. Then the GIS installations come into being separately and independently one on the other, they are described only by means of specific for a given platform formal means and are not understood in other environments. In spite they usually satisfy individual and local needs of the users, they are not able to communicate with the external world. In that sense completion of the basic features of GIS – the availability of and accessibility to data – remains out of reach the means used so far. This motivates the need of developing general methodological basis and formal means for modelling spatial data.

Methodology of modelling spatial data according to European Standards

A dominating methodological idea in modelling information, including its implementation issues, are relational databases and a method of their design – the entity - relationship method (ER). This is a basis of the methodology contained in the European Standards by the CEN. An essential concept within this methodology is an entity, which according to (Baker 1996) is defined as a thing or an object, real or imaginary one, information of which has to be available. According to the ER method entities within the model remain in certain relations one to the other and are assigned certain attributes. Arrangement of a set of entities in a given model, together with description of their attributes and relations between them, is just a matter of designing an information system. This is to be done in a form of the already mentioned conceptual schema.

The adopted in 1999 European Standards (ENV) include a number of conceptual schemas for a series of general issues such as spatial schema, quality schema, data transfer schema, metadata schema, geographic identifiers and direct positioning schemas, as well as rules for application schemas. Application schemas themselves, which are conceptual schemas for specific application domains (e.g. the cadastre), are not standardised by the CEN, but detailed rules of their assembling and integrating with other schemas of particular CEN standards are a subject of the standard *Rules for application schemas* (CEN 1999). This is what makes that standard a fundamental one for the methodology and the basic standard of the CEN family of standards in the field of geographic information. However, application schema in any particular field can be a subject of another standardisation task (e.g. in a national scale), as well as it can be a basis for compatible implementations in diverse environments. Also all already existing implementations can be effectively harmonised in this way.

Fig. 1 shows basic duality in describing the real world that consists in modelling information structures and in data acquisition and registration. An application schema concerns only a structural model of a given part of the reality, which in turn is required for registering the captured data.



Rys. 1. Dwoistość modelowania świata rzeczywistego oraz funkcji schematu aplikacyjnego; za zgodą CEN, wg (CEN 1999)
Fig. 1. Duality of modelling the real world and the function of an application schema; a courtesy of CEN (CEN 1999)

The rules for application schemas are described in more details in the next section.

Fig. 2 shows how different standards of the CEN family are interrelated one to the other and how they facilitate data transfer between the "supplier" and the "recipient" of spatial data.

As it can be seen from Fig. 2 the application schema is associated with other conceptual schemas, namely with the metadata schema and the transfer schema. A metadata schema, see (CEN 1998b), defines the contents and structure of metadata, which in turn describe structure and contents of spatial data. Both application schema and metadata schema consist of properly designed structured sets of entities, together with their relations and attributes, which are linked to (or integrated with) the standardised conceptual schemas of geometry (CEN 1997), quality (CEN 1998a) and position (CEN 1998d, 1998e).

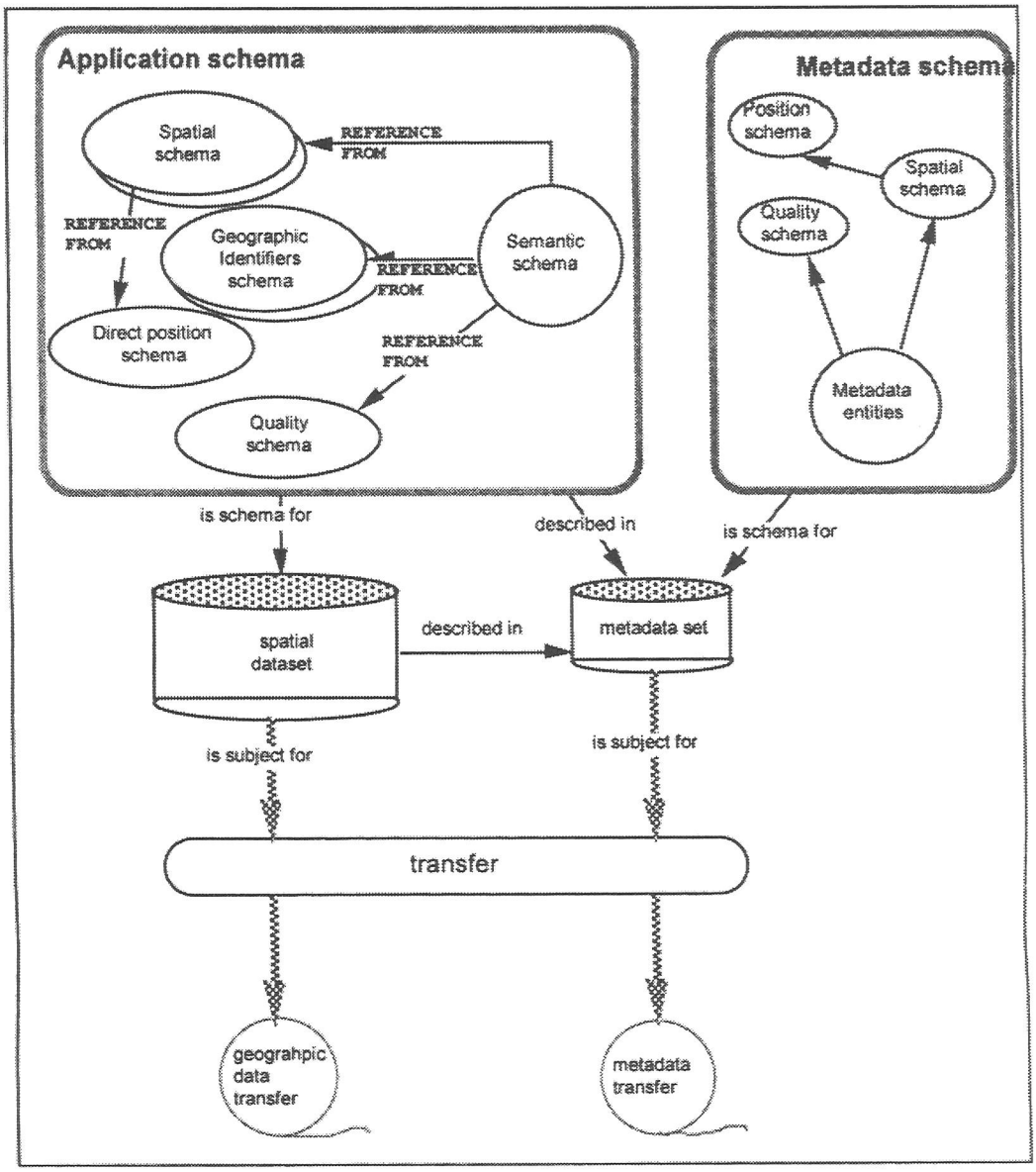
Data transfer means the transfer of particular spatial data sets, as well as the transfer of metadata sets. The last one consist of the application schema and the metadata schema. The method of the data transfer is given in the standard (CEN 1998c) by means of the transfer schemas and their standard implementation mechanisms and appropriate rules of coding. The first two aspects, transfer schemas and standard implementation mechanisms, are given only as general rules by means of the same formalism as other schemas, i.e. the language EXPRESS – see further section, whereas the coding rules use the standard ISO 10303-21:1994 and the language EDIFACT according to EN 29735.

Application schema

The European Standard ENV 13376 *Rules for application schemas*, (CEN 1999), defines general and common principles and courses of action in using the whole spatial data modelling methodology in different application domains without, however, referring to any particular domain. A conceptual application schema defined for any given domain or its part provides a structure and meaning (semantics) of the corresponding spatial data set (or sets), but it puts aside any specific data contents. Such a schema (e.g. for the cadastre) can and should be a task of a lower level standardisation process.

There is a dual purpose of an application schema:
– to achieve a common and correct understanding of the data, making it possible to retrieve unambiguously information from the data, and
– to provide a computer-readable form for data description, making it possible to apply automated mechanisms for geographic data management.

Both purposes are to be fulfilled in an environment of a number of spatial information users, and in a situation of their imperative access to the information with the use of diverse software and hardware. An application schema, agreed between users, is then the way in which correct communication of spatial information, including its semantic aspects, can be guaranteed.

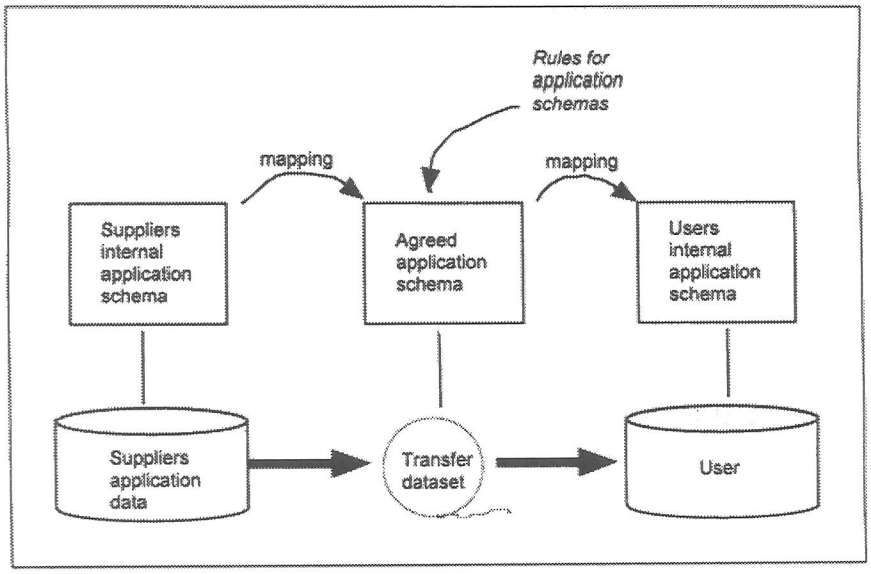


Rys. 2. Współdziałanie różnych znormalizowanych schematów w opisywaniu i przenoszeniu danych przestrzennych i metadanych; za zgodą CEN, wg (CEN 1999)

Fig. 2. Interaction between different standardised schemas for description and transfer of spatial data and metadata; a courtesy of CEN (CEN 1999)

This function of the application schema, as an instrument for mutual conforming internal (physical, not conceptual) application schemas of the users, is illustrated on Fig. 3.

According to that the "supplier" and the "user" of spatial data generally set up their internal (physical, i.e. platform oriented) application schemas independently one on the other. A condition of data transfer between them is the existence of an agreed conceptual application schema, which has to be adapted to the "supplier's" application schema and to which, in turn, the "user's" application schema should be adapted. The relevant standard defines the methods and formal means concerning



Rys. 3. Rola schematu aplikacyjnego w przenoszeniu danych przestrzennych; za zgodą CEN, wg (CEN 1999)

Fig. 3. The role of an application schema in spatial data transfer; a courtesy of CEN (CEN 1999)

such a conceptual application schema, but not internal (physical) application schemas and their conversions.

The above way of adapting and converting application schemas allows for different forms and contents of the "supplier's" and "user's" internal schemas, as well as of the agreed application schema. The last one, formulated according to the standard, has the following properties:

1) it allows the "user" to make use of his own data structures, formats, codes, etc., to the data received from the "supplier", and

2) the agreed application schema can be also written by means of the formalisms the "user" and the "supplier" carry on, so that they can process the schema on their own platforms.

Setting up an application schema is a process consisting of the following steps:

– strict formulation of the subject and scope of the information model, as well as an analysis of external conditions and users' requirements in the given field;

– conceptual modelling, i.e. defining basic entities, relations, attributes and constraints for the given scope in the form of a proper semantic schema, which is the basic part of the application schema;

– linking or integration of such a model with the standardised conceptual schemas to the form of a complete application schema.

In the first step the thing is to precisely formulate, according to the upcoming user' needs, subject, goals and functions to be satisfied by the prospective implementations based on the application schema. It is the most important element of agreement between its designers and future administrators and users on the concept of the information system in the given domain. The concept should take into account future development of the system, i.e. its possible growth of new users, of new links to other systems, as well as of new data types according to new tasks and functions. The concept as a whole should be arranged and agreed according to a standard methodology, as well as expressed and documented by means of a standard formalism.

The second step consists in formulating the so-called semantic schema, which is the main component of the user's application schema (see Fig. 2). This step comprises:

– identification and classification of main objects as entities within the already defined scope of the model which includes assigning names to the entities, precise defining entities, setting up a vocabulary, etc.;

– specification of relations and of attributes for particular entities;

– specification of constraints on the relations and attributes.

As a result the semantic schema should be described in a visual form as a diagram or a set of diagrams in the notation EXPRESS-G, as well as in a complete ready for computer processing form of the language EXPRESS. Both forms are outlined in the section below.

In the third step the user's semantic schema is integrated with the relevant parts of the standardised conceptual schemas for geometry and topology (ENV 12160), direct position (ENV 12762), geographic identifiers (ENV 12661) and quality (ENV 12656), to the form of a complete application schema. The last one can serve as a basis for system implementations on computer platforms. The standard ENV 13376:1999 (CEN 1999) depicts corresponding to that purpose constructs of the language EXPRESS, as well as the rules for using other standards of the family in the way much alike computer programs use available libraries of algorithms.

In all above steps of setting up an application schema it appears a large amount of creativity, which is a characteristic of all engineering efforts. It consists of author's subjective solutions which, beginning with the same assumptions and initial conditions, can lead in each step to different concepts that finally result in different application schemas. It is then the problem of qualitative evaluation and comparison of different variants of the system design, to which some methodological non-normative instructions are also given in the standard under consideration ENV 13376:1999 (CEN 1999).

The EXPRESS language

Another important component of the CEN's methodology of spatial information, besides of the rules for application schemas and as tool to operate with them, is the data description language EXPRESS defined as an international standard ISO 10303-11 (ISO 1994). Within the CEN family of standards it has been accepted as a result of a special comparative study (CEN 1996) to perform the following functions:

– as an universal, independent on specific software and hardware, methodology of conceptual information modelling and designing databases, applied in our case to spatial information;

– as a basic formal means used throughout the standards to describe the fixed normative and informative specifications, as well as the generic conceptual schemas to be included in the users' application schemas;

– as the recommended within the standards formal means for describing the users' application schemas.

One of basic principles of the EXPRESS language is an explicit separation within it of an abstract information model from the software and hardware environment in which the model is or can be implemented. This principle follows from a premise that a piece of information is not tied to a single application that uses it, as well as from another one that a piece of information does not (should not) care about the environment in which it lives, ref. (Schenck and Wilson 1994). Hence it results the necessity of using different methods and techniques for defining information as it is, which is a subject of EXPRESS, and for describing the environment (i.e. the physical data structures), in which information exists as data, that is not a subject of EXPRESS.

The considered methodology of EXPRESS uses five categories: schema, entity, attribute, relation and constraint, which are close in their meaning, but not identical, to the corresponding general concepts of the relational databases (see Section 3). They are characterised below according to (CEN 1996) and (Schenck and Wilson 1994):

– A schema (declared by means of the special word SCHEMA) defines a scope and context for a collection of entities. A single application schema can be described through a number of EXPRESS' schemas.

– An entity (declared by means of the special word ENTITY) corresponds to a given class of modelled objects or to a given abstract concept within the schema, as well as it can be also used to represent a relation within a domain of attributes. An entity is characterised by a set of attributes. An entity can be of a hierarchic structure, i.e. in the categories supertype / subtype.

– An attribute (ATTRIBUTE) defines a given feature of an entity or its relation to another entity. Each

SCHEMA parcel_schema;	Beginning of the schema declaration.
TYPE area = REAL; END_TYPE;	Explicit type declaration for the name area.
TYPE parcel_number = INTEGER; END_TYPE;	Explicit type declaration for the name parcel_number.
.....*other* TYPE *declarations*	
ENTITY point; x: REAL; y: REAL; END_ENTITY;	Declaration of the entity named point and its real-type attributes x and y as co-ordinates. Some other, omitted here declarations, should specify the co-ordinates, e.g. as for their system of reference.
ENTITY boundary_line SUPERTYPE OF (ONEOF(natural_boundary, legal_boundary)); from_bm: boundary_mark; to_bm: boundary_mark; INVERSE appears: SET[1:?] OF parcel FOR boundary; WHERE w1: from_bm :<>: to_bm; END_ENTITY;	The entity boundary_line for a boundary line is overriding the omitted entities natural_boundary and legal_boundary. It defines two attributes of type boundary_mark: from_bm and to_bm, which correspond to the initial and final boundary marks of the line. Its domain is the attribute boundary of a set of entities parcel (see below). A constraint says that values of from_bm and to_bm may not define the same mark (the symbol :<>:).
ENTITY boundary_mark; at: point; b_number: mark_number; b_type: mark_type; END_ENTITY;	This entity named boundary mark defines a boundary mark by means of the attributes: at of type point, b_number of type mark_number and b_type of type mark_type. The type declarations mark_number and mark_type are here omitted.

ENTITY parcel;
reference_point: point;
boundary: LIST[2:?] OF UNIQUE boundary_line;
registered_area: area;
number: parcel_number;
built_up: land_use_percentage;
fields: land_use_percentage;
forest: land_use_percentage;
waste: land_use_percentage;
DERIVE
computed_area: area := compute_parcel_area(SELF);
WHERE
w1: boundaries_form_polygon(boundary);
w2: (ABS(registered_area-computed_area)
<=registered_area*0.05);
w3: (built_up+fields+forest+waste) = 100.0;
w4: ref_point_in_parcel(reference_point, boundary);
END_ENTITY;
	This is the main entity of the schema. It contains explicit attributes of the given type declarations (the type declaration for land_use_percentage is here omitted). Besides of explicit attributes there is a derived-type attribute computed_area of the type area, which value results from the declared function compute_parcel_area. The attribute domains are constrained through w1, w2, w3 and w4, which consist of declared and standard function calls, as well as of execution of some arithmetic and relational operations. Each constraint has to evaluate to TRUE in order make actual attribute values belong to the defined database.

....*other* ENTITY *declarations*	
FUNCTION compute_parcel_area (arg: parcel): area; LOCAL area_size: area := 0.0; END_LOCAL; -- *the algorithm to compute the parcel area* RETURN (area_size); END_FUNCTION;	This is a declaration of the function compute_parcel_area to be refderenced from other modules of the schema to evaluate the area of a parcel to be used within other modules of the schema. It defines a formal parameter parcel and returns the value of area_size of type area. The function body is here omitted.
....*other* FUNCTION *and* RULE *declarations*	
END_SCHEMA;	The end of the schema declaration

Tablica 1. Fragment definicji danych dla działki gruntu jako przykład schematu w języku EXPRESS; za zgodą CEN, wg (CEN 1999)
Table 1. A fragment of data definition for a parcel as an example of an EXPRESS schema; a courtesy of CEN (CEN 1996).

attribute has a name and an associated data type. The last one can be either simple, such as integer, real, string etc., or complex (including the one defined by the user). A data type can be also another entity of the given schema.

– There are two kinds of relations in EXPRESS: a relation of the kind *is* and a relation of the kind *has*. The relation *is* expresses generalisation or specialisation, i.e. supertype or subtype, e.g. a car *is* a vehicle, a parcel *is* a part of the Earth surface, etc. The relation *has* is a semantic relation, i.e. it expresses associations between entities such as, e.g., a car *has* wheels, a parcel *has* an owner (or better a person *has* a parcel!). All relation are bi-directional, i.e. from A to B and from B to A.

– All attributes and relations are subject to constraints with respect to their allowed values.

Table 1. illustrates the use of EXPRESS to describe a data model for a parcel.

Besides of a lexical form the language EXPRESS allows for its graphical notation, EXPRESS-G, which can be used for a more demonstrative presentation of an information model by means of diagrams and special graphical symbols.

Conclusion

Standards in the field of geographic (spatial) information allow for designing and describing spatial databases and their transfer in general terms of geoinformatics, that is in the way commonly understood among the users and by other information systems. Such formulation of spatial databases and their transfer is nowadays probably one of the most important tasks of applied geodesy and its final product for other domains.

Dissemination of and, as a consequence, using standards seems to be the most effective way of development of geographic information systems in Poland. Coordinated activities in this domain may save funds spent at the present onto spontaneous creation of isolated applications, as well as onto other actions, which will finally have to be agreed to European Standards, anyway.

Thus the relevant methodology allows for:

– setting up typical application schemas in particular domains to be further agreed as standards in appropriate circles of users and implemented in suitable institutions;

– common use of data coming from different sources; and

– effective harmonisation of already existing applications and spatial databases.

There are strong inconsistencies between research, educational and practical aspects of the GIS development in Poland. In particular the practical aspect, based so far on valuable but isolated implementations, requires intensification through using modern methodology of spatial data modelling. Mastering the methodology by the system designers, managers and users is the best way to overcome the present barriers in the GIS development.

Standardisation and unification of computer platforms and of their specific formal means is not a reasonable and realistic way of the GIS development.

Bibliography

Baker R (1996): *Case Method^{SM} – Modelowanie związków encji (in Polish)*. WNT, Warszawa (Original title: *Case Method^{SM}* – Entity Relationship Modelling).

Bartelme N (1995): *Geoinformatik: Modelle, Strukturen, Funktionen*. Springer.

Bill R (1995): *Methodologies for System Design and Selection*. Chapter 15 in: *Geographic Information Systems - Materials for a Post-Graduate Course*, Vol. 3 - *GIS Organization*, ed. A.U. Frank, Dept. of Geoinformation, Technical University, Vienna.

CEN (1996): *Geographic Information - Data description - Conceptual Schema Language*. CR 13568. AFNOR.

CEN (1997): *Geographic Information - Data description - Spatial schema*. ENV 12160, CEN.

CEN (1998a): *Geographic Information - Data description - Quality*. ENV 12656, CEN.

CEN (1998b): *Geographic Information - Data description - Metadata*. ENV 12657, CEN.

CEN (1998c): *Geographic Information - Data description - Transfer*. ENV 12658, CEN.

CEN (1998d): *Geographic Information - Referencing – Geographic identifiers*. ENV 12761. CEN.

CEN (1998e): *Geographic Information - Referencing - Position*. ENV 12762. CEN.

CEN (1999): *Geographic Information - Data description – Rules for application schemas*. ENV 13376, CEN.

ISO (1994): *Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 11: Description methods: The EXPRESS language reference manual*. ISO 10303-11.

JEC-GI'97 (1997): *Geographical Information '97*. Third Joint European Conference & Exhibition on Geographical Information, Vienna, Austria, 1997, S. Hodgson, M. Rumor, J.J. Harts (eds.). IOS Press.

Longley PA, Goodchild MF, Maguire DJ, and Rhind DW (1999): *Geographical Information Systems*, John Wiley & Sons, Inc.

Pachelski W (1997): *Conceptual schema of the Polish* cadastral database. Proc. JEC-GI'97, Vienna 1997, IOS Press.

Pachelski W, Wysocka E (1999): *Standaryzacja systemów informacji przestrzennej: Teoria i praktyka (in Polish)*. Prace IGiK.

Salgé F (1999): *National and international data standards*. In: (Longley et al., 1999), pp. 693 – 706.

Schenck DA, Wilson PR (1994): *Information Modelling: the EXPRESS Way*. Oxford Univ. Press, New York - Oxford.

GEOINFORMATICA POLONICA
2:2000

BOGDAN CIANCIARA[1]

ZASTOSOWANIE ENTROPII DO BADANIA ILOŚCI INFORMACJI ZAWARTEJ W STRUMIENIU EMISJI SEJSMICZNEJ GÓROTWORU

Słowa kluczowe:

Pękanie górotworu, wstrząsy, tąpania, ocena, zagrożenia, entropia.

Abstrakt

W pracy przedstawiono sposób oceny względnej ilości informacji o tendencji rozwoju procesu pękania górotworu naruszonego eksploatacją górniczą. Sposób ten oparty jest na analizie entropii zmiennej losowej, reprezentującej odstępy czasu między zjawiskami rejestrowanego strumienia emisji sejsmicznej. Ilość informacji wyznacza się w odniesieniu do procesu czysto losowego, otrzymywanego wskutek modelowania numerycznego. Znajomość względnej ilości informacji o tendencji rozwoju pękania znacznie zwiększa wiarygodność ocen stopnia zagrożenia tąpaniami.

USE OF ENTROPY FOR RESEARCH ROCK-BURST HAZARD INFORMATION IN THE STREAM OF SEISMIC EMISSION FROM ROCK-MASSES

Key words:

fracturing of rock-mass, seismic tremors, rock-burst, estimation of rock-burst, hazard, entropy

Abstract

A method of use the relative quantity of information about a trends in fracturing development process in rock-masses, which is result of mining exploitation, are presented in the paper.

The method is based on analyse of random variable entropy which is representing the time intervals between the seismic events in registered stream of seismic emission.

The quantity of information is estimated in relation to pure random process, result of numerical modelling.

The knowledge of relative quantity of information, due to trends of fracturing process allow significantly increase the certainty of rock-burst risk estimation on the base of seismic emission.

---

[1] Akademia Górniczo – Hutnicza Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Kraków

1. Wprowadzenie

Emisja sejsmiczna wywołana niesprężystym odkształceniem górotworu zawiera czynnik czysto losowy. Poziom tego czynnika decyduje o informatywności emisji w aspekcie oceny stopnia zagrożenia tąpaniami. Dlatego bardzo istotnym zagadnieniem jest opracowanie sposobu oceny względnej ilości informacji o rozwoju procesu pękania, zawartej w rejestrowanym strumieniu emisji. Jak wiadomo, eksploatacja górnicza w kopalniach podziemnych powoduje naruszenie równowagi geomechanicznej masywu skalnego. W wyniku tego wytwarza się pole naprężeń, które powoduje niesprężyste odkształcanie górotworu. Uruchamiane w ten sposób procesy pękania mogą, w pewnych warunkach, prowadzić do wstrząsów. Ogólnie pękanie ma bardzo złożoną strukturę i powinno być opisywane w formie procesu stochastycznego. W czasie przed wstrząsem i po jego wystąpieniu pękanie charakteryzuje się niejednorodnością. Obserwowana niejednorodność rozmiarów pęknięć wraz ze zbliżaniem się do momentu wystąpienia wstrząsu wykazuje tendencje wzrostowe. Wynika stąd, że śledzenie rozwoju tendencji procesu pękania leży u podstaw predykcji wstrząsów. Pękanie górotworu odwzorowywane jest w formie emisji sejsmicznej, pod warunkiem że będzie ona rejestrowana w odpowiednio szerokim paśmie częstotliwościowym z wysoką dynamiką zapisu. Ponieważ pękanie powstaje w czasie w sposób dyskretny, emisja może być modelowana w formie punktowego strumienia zdarzeń. Strumień taki opisują dwie podstawowe cechy, a mianowicie:

- rozmiary zjawisk (np.: w formie energii źródeł lub rozmiarów spektralnych),
- odstępy czasu między kolejnymi zjawiskami.

Cechy te są zmiennymi losowymi o określonych rozkładach statystycznych. Modele dystrybuant tych rozkładów zostały przedstawione w pracy (Cianciara 1999).

W praktyce badanie rejestrowanego strumienia emisji jest prowadzone na drodze analizy omawianych cech, między innymi istnieje możliwość identyfikacji ich przestrzeni probabilistycznych. Identyfikacja ta polega na wydzieleniu (odfiltrowaniu) z rejestrowanego strumienia właściwej informacji użytecznej, a następnie estymacji parametrów modeli opisujących rozkłady statystyczne tych cech. Estymacja powinna być prowadzona w oknach informacyjnych o określonej wielkości T. Wielkość okna T zależy od aktywności emisji i powinna być tak dobrana, aby zapewnić odpowiednią liczebność zjawisk, niezbędną do właściwej estymacji omawianych parametrów.

Przesuwając okno T o określony krok Δ, uzyskamy przebieg zmienności estymowanych parametrów (przestrzeni probabilistycznej) w czasie. Na podstawie tych parametrów można ocenić dwie podstawowe wielkości, które charakteryzują proces pękania, czyli:

- stopień niejednorodności procesu pękania górotworu,
- skalę zjawisk, która jest proporcjonalna do maksymalnych rozmiarów pęknięć obserwowanych w oknie T (Cianciara 2000).

Wielkości te – ujęte w formie funkcji ryzyka (FR) – mogą stanowić miarę zagrożenia tąpaniami. Jak już wspomniano we wstępie, proces pękania wywołany osiadaniem skał stropowych ma bardzo skomplikowaną strukturę i jest przedmiotem wielu opracowań (Marcak 1985 i Goszcz 1999). Na ogół charakteryzuje się on zróżnicowanym i stosunkowo wysokim poziomem losowości, co ma istotny wpływ na ilość zawartej w nim informacji. Im proces jest bardziej losowy, tym mniej zawiera informacji zdeterminowanej (Seidler 1983).

Własności te przenoszą się na emisję sejsmiczną w całości, ponieważ odwzorowuje ona pękanie górotworu. Dlatego rejestrowana emisja daje możliwość konstruktywnego badania ilości informacji zawartej w procesach pękania. Pierwsze próby zastosowania pojęcia entropii probabilistycznej do badania ilości informacji o procesie pękania górotworu przedstawiono w pracy doktorskiej A. Cianciary (Cianciara 2000). Znajomość względnej ilości informacji o tendencji rozwoju procesu pękania, łącznie z funkcją ryzyka (FR), umożliwia znaczne wyeliminowanie wieloznaczności interpretacji, a tym samym pozwala na uzyskiwanie bardziej wiarygodnych ocen zagrożenia tąpaniami.

2. Ocena ilości informacji zawartej w strumieniu emisji

Głównym celem tej pracy jest zaproponowanie sposobu oceny ilości informacji o tendencji rozwoju pękania zawartej w strumieniu emisji sejsmicznej. Sposób ten oparty został na analizie cechy opisującej odstępy czasu pomiędzy zjawiskami strumienia emisji, ponieważ wartości tej cechy, w odróżnieniu od energii, mogą być wyznaczone z odpowiednią dokładnością. Cecha ta jest opisywana za pomocą zmiennej losowej ciągłej, której model dystrybuanty rozkładu statystycznego można opisać następującym wyrażeniem (Cianciara 1999):

$$F(v) = 1 - \exp[-vQ_n(v)] \quad \text{dla} \quad v \geq 0 \qquad (1)$$

gdzie:

$$Q_n(v) = \lambda_o + \sum_{k=1}^{n} \lambda_k v^{d_k}$$

λ_k i d_k parametry, $\lambda_k > 0$ dla $(k = 0,...,n)$

$$v = \frac{u}{u_o} - 1$$

u – odstępy czasu między zjawiskami,

u_o – wartość odniesienia, np.: najmniejszy odstęp w ciągu pomiarowym.

W przypadku uproszczonym, gdy $n = 1$ i $\lambda_o = 0$, model ten przyjmuje znaną z literatury postać pod nazwą rozkładu Weibulla, czyli :

$$F(v) = 1 - \exp[\lambda_1 \cdot v^{\gamma}] \qquad (2)$$

gdzie :

λ_1 i γ – parametry modelu.

Parametry rozkładu (2) umożliwiają zdefiniowanie dwóch podstawowych współczynników, mających prostą interpretację geomechaniczną (Cianciara 2000),opisujących:

– stopień niejednorodności procesu pękania:

$$d = 1 - \gamma ,$$

– skalę zjawisk emisji:

$$\delta = \lambda_1^{-\frac{1}{\gamma}}$$

W pracy tej nie będą rozważane rozmiary zjawisk, chociaż teoretycznie istnieje również możliwość badania ilości informacji na podstawie analizy tej cechy.

Do zdefiniowania miary ilości informacji wykorzystane zostało znane powszechnie pojęcie entropii zmiennej losowej. Pierwotnie entropia zdefiniowana była dla zmiennych losowych o rozkładach dyskretnych, a następnie uogólniono ją na przypadki ciągłe (Seidler 1983; Haykin 1998). W przypadku zmiennej losowej ciągłej entropię można wyrazić następująco (Haykin, 1998):

$$H[X] = -\int_{\infty}^{+\infty} f_X(x) \lg f_X(x) dx \qquad (3)$$

gdzie:

$f_x(x)$ jest gęstością rozkładu prawdopodobieństwa.

Z podstawowych własności entropii wynika, że przyjmuje ona wartość maksymalną w przypadku całkowicie losowym, natomiast wartość równą zero w przypadku całkowicie zdeterminowanym (Seidler 1983). Własności te zostały wykorzystane do zdefiniowania ilości informacji zawartej w zarejestrowanym strumieniu emisji. Kiedy rozmiary pęknięć (energie zjawisk) są całkowicie losowe, czyli nie wykazują żadnych tendencji wzrostowych, wtedy emisję opisuje model Poissona, czyli prosty strumień zdarzeń „Z" zależny od jednego parametru reprezentującego aktywność. Prawdopodobieństwo wystąpienia w takim strumieniu „k" zjawisk opisuje następująca zależność (Papoulis, 1972):

$$P(Z = k) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t} , \quad (k = 0,1,...) \qquad (4)$$

gdzie :

λ – aktywność emisji zjawisk,

t – przedział czasu, w którym analizowana jest emisja,

k – liczba zjawisk.

Wówczas gęstość rozkładu statystycznego odstępów czasu między kolejnymi zjawiskami opisuje model wykładniczy (Papoulis, 1972) :

$$f_U(u) = \lambda \cdot e^{-\lambda u} \quad \text{dla} \quad u \geq 0 \qquad (5)$$

gdzie :

u– odstępy czasu między kolejnymi zjawiskami,

λ – aktywność emisji.

Jak łatwo można się przekonać, obliczając całkę (3), entropia tej zmiennej losowej jest proporcjonalna do logarytmu aktywności i, jak wynika z teorii, jej moduł osiąga wartość maksymalną H_{max} (Haykin 1998).

Jeżeli w strumieniu emisji pojawia się tendencja, czyli czynnik zdeterminowany, wówczas można go przedstawić w formie sumy części sygnałowej i czysto losowej (poissonowskiej) :

$$X = S + N \tag{6}$$

gdzie :

S– część sygnałowa strumienia emisji,

N– część losowa.

Zakładając, że składniki S i N są nieskorelowane, wówczas – zgodnie z podstawowymi własnościami entropii – otrzymamy:

$$H[X] = H[S] + H[N] \tag{7}$$

Wynika stąd, że entropia osiąga wartość maksymalną, gdy część sygnałowa jest równa zero ($S = 0$), a strumień emisji jest procesem całkowicie losowym (poissonowskim), wówczas $N = Z$ oraz $X = Z$, i $H_{max} = H[X \mid S = 0]$, czyli $H_{max} = H[Z]$.

W każdym innym przypadku entropia strumienia emisji przyjmuje wartości mniejsze od maksymalnej $H[X] < H_{max}$.

Wykorzystanie tych własności umożliwia zdefiniowanie względnej ilości informacji o czynniku zdeterminowanym S w strumieniu emisji, w następującej formie :

$$I[S] = \left\{1 - \frac{H[X]}{H[Z]}\right\} \cdot 100\% \tag{8}$$

gdzie :

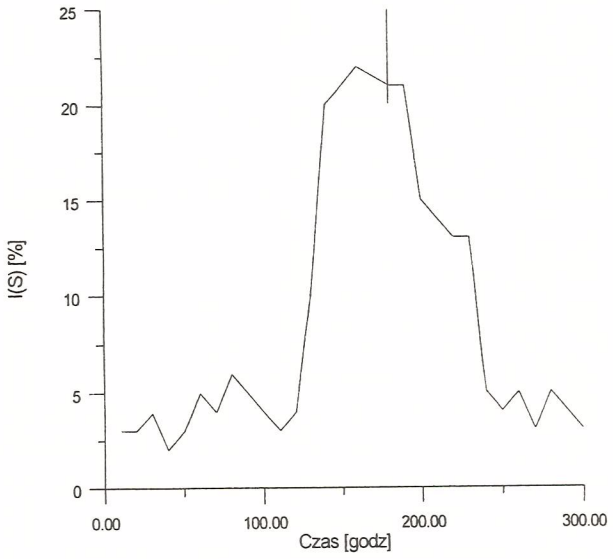
$I[S]$ – względna ilość informacji w procentach,

$H[X]$ – entropia rejestrowanego strumienia emisji obliczona na podstawie odstępów czasu między kolejnymi zjawiskami,

$H[Z]$ – entropia w przypadku gdy emisja jest procesem czysto losowym.

Obliczenia prowadzone są na podstawie emisji zarejestrowanej w określonym oknie czasowym T. W oknie tym wyznaczana jest wartość entropii strumienia $H[X]$ w oparciu o odstępy czasu między zjawiskami oraz entropia H[Z] strumienia czysto losowego (poissonowskiego) „Z", wymodelowanego za pomocą wzoru (5). Jak wynika z definicji (8), względna ilość informacji $I[S]$ wyznaczana jest w odniesieniu do procesu czysto losowego (poissonowskiego) „Z". Praktycznie obliczenia prowadzone są na podstawie danych pomiarowych emisji, zarejestrowanej w określonym oknie czasowym T. W oknie tym wyznaczana jest wartość entropii rejestrowanego strumienia $H[X]$ w oparciu o rozkłady odstępów czasu między zjawiskami, oraz entropia odpowiadającego mu strumienia czysto losowego $H[Z]$. Strumień czysto losowy jest modelowany w oparciu o zależność (5), przyjmując wartość parametru λ równą aktywności emisji rejestrowanej w oknie T. Następnie zgodnie z zależnością (8) obliczana jest ilość informacji $I[S]$ w odniesieniu do okna T. Przesuwając omawiane okno T z krokiem Δ i powtarzając procedurę obliczeniową,uzyskamy przebieg opisujący zmienność ilości informacji w czasie.

Przykładowy wykres obrazujący przebieg zmienności względnej ilości informacji w okresach przed wstrząsem i po jego wystąpieniu przedstawiono na rysunku 1. Obliczenia wykonano na podstawie emisji zarejestrowanej w Z.G. Rudna.



Rys.1. Przebieg względnej ilości informacji w czasie przed wstrząsem i po wystąpieniu wstrząsu o energii E= 2.3E4 [J]. Moment wystąpienia wstrząsu zaznaczono pionową kreską.

Fig.1. The plot of relative quantity of information in time before and after appearance of seismic tremors with energy E= 2.3E4 [J]. The moment of tremors appearance is shown in form of vertical line.

Znajomość względnej ilości informacji w rejestrowanym strumieniu może znacznie poprawić efektywność predykcji silnych wstrząsów oraz trafność oceny zagrożenia tąpaniami.

Podsumowanie

Wstrząsy górnicze poprzedzane są określonymi procesami geomechanicznymi przebiegającymi w górotworze. Między innymi następują jego odkształcenia niesprężyste, które wytwarzają drgania sprężyste i mogą być rejestrowane w formie emisji sejsmicznej.

Możliwość śledzenia tych procesów stanowi kluczowe zagadnienie w problematyce oceny stopnia zagrożenia tąpaniami. Na ogół procesy takie, zwane umownie pękaniem, charakteryzują się wysokim poziomem przypadkowości (losowości). Dlatego rejestrowana emisja sejsmiczna zawiera ograniczoną ilość informacji o rozwoju tendencji tych procesów, sprowadzając się do całkowitego jej braku, w przypadku gdy omawiane procesy są w pełni losowe. Procesy takie opisywane są modelem prostego strumienia zdarzeń, w którym prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń rządzone jest rozkładem Poissona (4).

W pracy tej zaproponowano sposób oceny względnej ilości informacji o rozwoju procesu pękania górotworu, oparty na analizie entropii zmiennej losowej reprezentującej odstępy czasu między zjawiskami rejestrowanego strumienia emisji.

Znajomość względnej ilości informacji o rozwoju procesu pękania, łącznie z przebiegiem funkcji ryzyka, może znacznie poprawić efektywność predykcji silnych wstrząsów oraz zwiększyć wiarygodność oceny stopnia zagrożenia tąpaniami.

Bibliografia

Cianciara A., 2000: *System monitorowania zagrożenia wystąpieniem silnych wstrząsów w oparciu o analizę emisji sejsmoakustycznej*. Rozprawa doktorska, Biblioteka Główna AGH.Kraków.

Cianciara B., 1999: *Emisja sejsmiczna jako nośnik informacji o rozwoju procesu pękania górotworu.* Geoinformatica Polonica nr1. Kraków.

Goszcz A., 1999: *Elementy mechaniki skał oraz tąpania w polskich kopalniach węgla i miedzi.* PAN IGSMiE Kraków.

Haykin S., 1998: *Systemy telekomunikacyjne.* Wydawnictwa Komunikacji i Łączności , Warszawa.

Lasocki S., 1993a: *Weibull distribution as a model for sequense 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.* Publs. 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.* Bibl. Szkoły Eksploatacji Podziemnej , Seria wykłady, nr 8. PAN IGSMiE, Kraków.

Papoulis A., 1972: *Prawdopodobieństwo, zmienne losowe i procesy stochastyczne.* WNT, Warszawa.

Seidler J., 1983: *Nauka o informacji. Podstawy, modele źródeł i wstępne przetwarzanie informacji.* WNT, Warszawa.

GEOINFORMATICA POLONICA
2:2000

ANDRZEJ LEŚNIAK[1]

GRUPOWANIE ZJAWISK PODOBNYCH W SEJSMOLOGII INŻYNIERSKIEJ

Słowa kluczowe:

multiplet, grupowanie, relokalizacja, sejsmologia inżynierska

Abstrakt

Naturalna emisja sejsmiczna na duże znaczenie w analizie dynamicznych zmian systemu spękań w górotworze. Poprawna lokalizacja źródeł sejsmicznych jest jednym z najbardziej istotnych czynników tej analizy. Spośród sposobów pozwalających na wzrost dokładności lokalizacji źródeł emisji duże nadzieje wiąże się ze względną lokalizacją źródeł tzw. multipletów. Multipletem nazywamy grupę zarejestrowanych zjawisk o bardzo podobnym kształcie sygnału. Jak pokazały wcześniejsze badania, wspomniana metoda przyczynia się w sposób istotny do wzrostu dokładności lokalizacji źródeł emisji. Niebagatelne znaczenie dla tej metody ma opracowanie efektywnego i niezawodnego sposobu wydzielania multipletów z dużych populacji sygnałów. W pracy został przedstawiony algorytm wydzielania grup zjawisk sejsmicznych o wzajemnie podobnych obwiedniach sygnałów. Algorytm ten opiera się na grupowaniu minimalno odległościowym względem szeregu cech określonych na bazie obwiedni sygnału. W pracy zamieszczono ponadto przykłady bazujące na danych polowych, obrazujące efektywność zaproponowanej metody grupowania i wzrost dokładności lokalizacji źródeł.

CLUSTERING SIMILAR EVENTS IN ENGINEERING SEISMOLOGY

Key words:

multiplets, clustering, relocation, engineering seismology

Abstract

Natural seismic emission is essential for study the dynamic behaviour of subsurface fractures. Correct location of seismic sources is a most important factor in the precise characterisation of the subsurface crack system. One of the most promising techniques to increase the source location precision is a relative source location of multiplets. A multiplet is a group of seismic events with very similar waveforms. This method has been reported to improve remarkably the accuracy of subsurface mapping. An effective and reliable method of picking the multiplets from large data sets is a

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

problem of great importance. The algorithm that categorises the seismic events into clusters with similar envelopes within each cluster is presented in the paper. In order to cluster events the algorithm uses features evaluated from their envelopes. The clustering method is based on a nearest neighbour classification method. The results of performance tests on field data using clustering algorithm are also presented.

1. Wstęp

Klasteryzacja (od angielskiego terminu cluster analysis) jest ważną techniką interpretacji danych, służącą do łączenia elementów populacji statystycznej w grupy. Elementy należące do każdej grupy mają podobne właściwości. Dokonując grupowania sygnałów sejsmicznych, można opierać się na różnych parametrach. Do najbardziej użytecznych należą: energia sygnału, częstotliwość narożna, czas emisji w źródle i położenie źródła. Interpretacja zjawisk zgrupowanych w ramach jednej grupy (tzw. *klastrów*) pozwala na gruntowną analizę procesów fizycznych związanych z emisją sejsmiczną, np. analizę procesów pękania skał. Jedną z ważnych zalet klasteryzacji jest możliwość wykrywania tzw. multipletów (ang.multiplets).

2. Charakterystyka zagadnień związanych z automatyczną detekcją dubletów

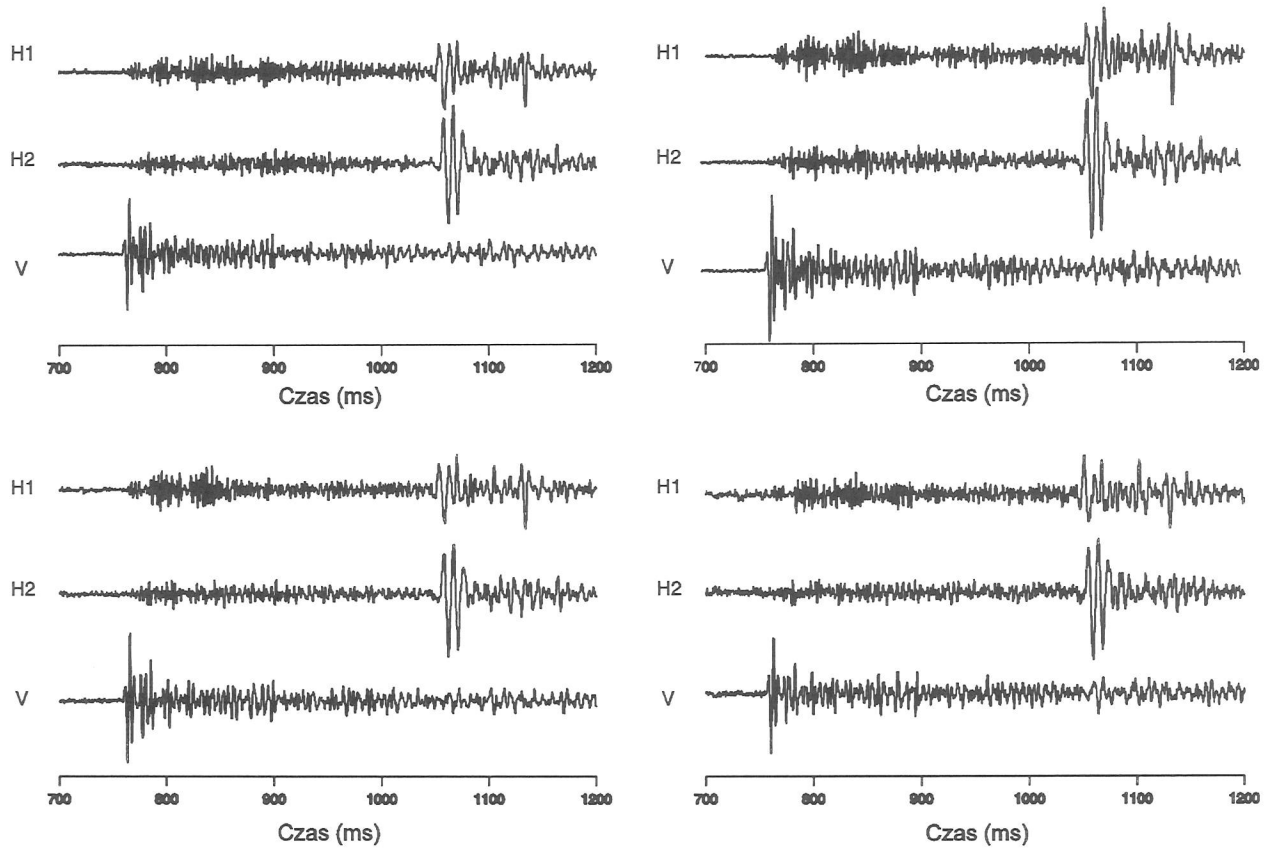
Multiptetem nazywa się grupę zjawisk sejsmicznych lub sejsmoakustycznych charakteryzujących się zbliżonym obrazem falowym. Położenia ognisk zjawisk sejsmicznych, wchodzące w skład danego multipletu, są zlokalizowane bardzo blisko w przestrzeni, w przeciwieństwie do czasów emisji tych zjawisk, które mogą się znacznie różnić. Przykład multipletu złożonego z czterech wysokoczęstotliwościowych zjawisk sejsmicznych o trzech składowych zaprezentowano na rysunku l.

Analiza multipletów pozwala na bardzo precyzyjną lokalizację źródeł emisji sejsmicznej, która może na przykład być obrazem aktywnych pęknięć górotworu. Ponadto tego typu analiza może być pomocna w opisie systemu spękań w górotworze i określaniu rozkładu naprężeń tektonicznych. Takie informacje są niezbędne w badaniach stanu wyrobisk górniczych w celu podniesienia bezpieczeństwa pracy, intensyfikacji wydobycia i obniżki kosztów. Podobnie nie można nie przecenić tego typu analizy w zagadnieniach związanych z analizą i charakteryzacją pól naftowych, zbiorników geotermalnych lub obszarów przyszłego składowania odpadów.

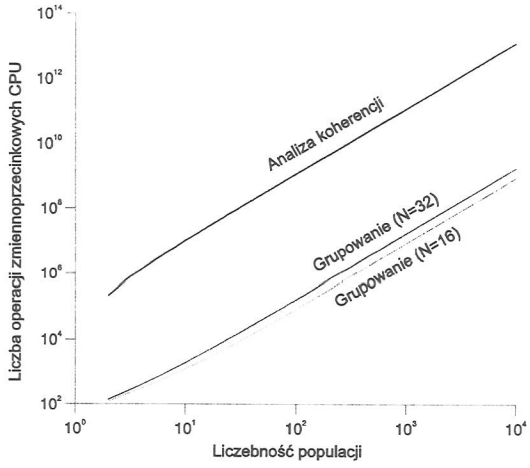
Dokładne rozpoznanie zjawisk zaliczanych do tej samej grupy może odbywać się przy użyciu funkcji koherencji. Koherencja zjawisk tworzących multiplet jest bliska jedności, szczególnie w pobliżu czasów wstąpienia fal typu P lub S. Niestety, analiza koherencji dla każdej pary zjawisk jest procedurą uciążliwą, głównie ze względu na długi czas obliczeń. Ma to szczególne znaczenie w przypadku danych trójskładowych, rejestrowanych aparaturami o wysokiej dynamice. Analiza tego typu staje się praktycznie nie do zrealizowania w trybie *on-line*, nawet przy użyciu bardzo szybkiego komputera. Na rysunku 2 przedstawiono szacunkową ocenę czasu pracy komputera potrzebną do wykonania analizy koherencji dla zmiennej liczby zjawisk w populacji.

Naturalnym rozwiązaniem wydaje się być porównywanie nie sygnałów, lecz ich obwiedni. Niestety, w wypadku sygnałów sejsmicznych również kształt obwiedni jest bardzo skomplikowany. W celu podniesienia efektywności analiz obwiednie sygnałów muszą ulec uproszczeniu. Innymi słowy, aby zredukować czas obliczeń oraz podnieść niezawodność i efektywność procedury grupowania sygnałów konieczne jest używanie pewnych uśrednionych obwiedni sygnałów.

Naszym celem jest opracowanie algorytmu efektywnego grupowania danych w relatywnie małe grupy, zawierające zjawiska o podobnych obwiedniach. Niezależnie od prowadzonej analizy obwiedni, w ramach każdej zidentyfikowanej grupy może zostać przeprowadzona analiza koherencji w celu weryfikacji dokonanego grupowania. Owocuje to oczywiście znaczną oszczędnością czasu obliczeń, ze względu na znacznie mniejszą liczbę zjawisk w każdej grupie z osobna. Najważniejszym wymaganiem, jakie należy postawić algorytmom grupowania, jest uniknięcie wadliwego rozbicia rzeczywistego multipletu na dwie części. Z tego względu nie jest wskazane zawężanie liczebności grupy zjawisk podobnych, gdyż



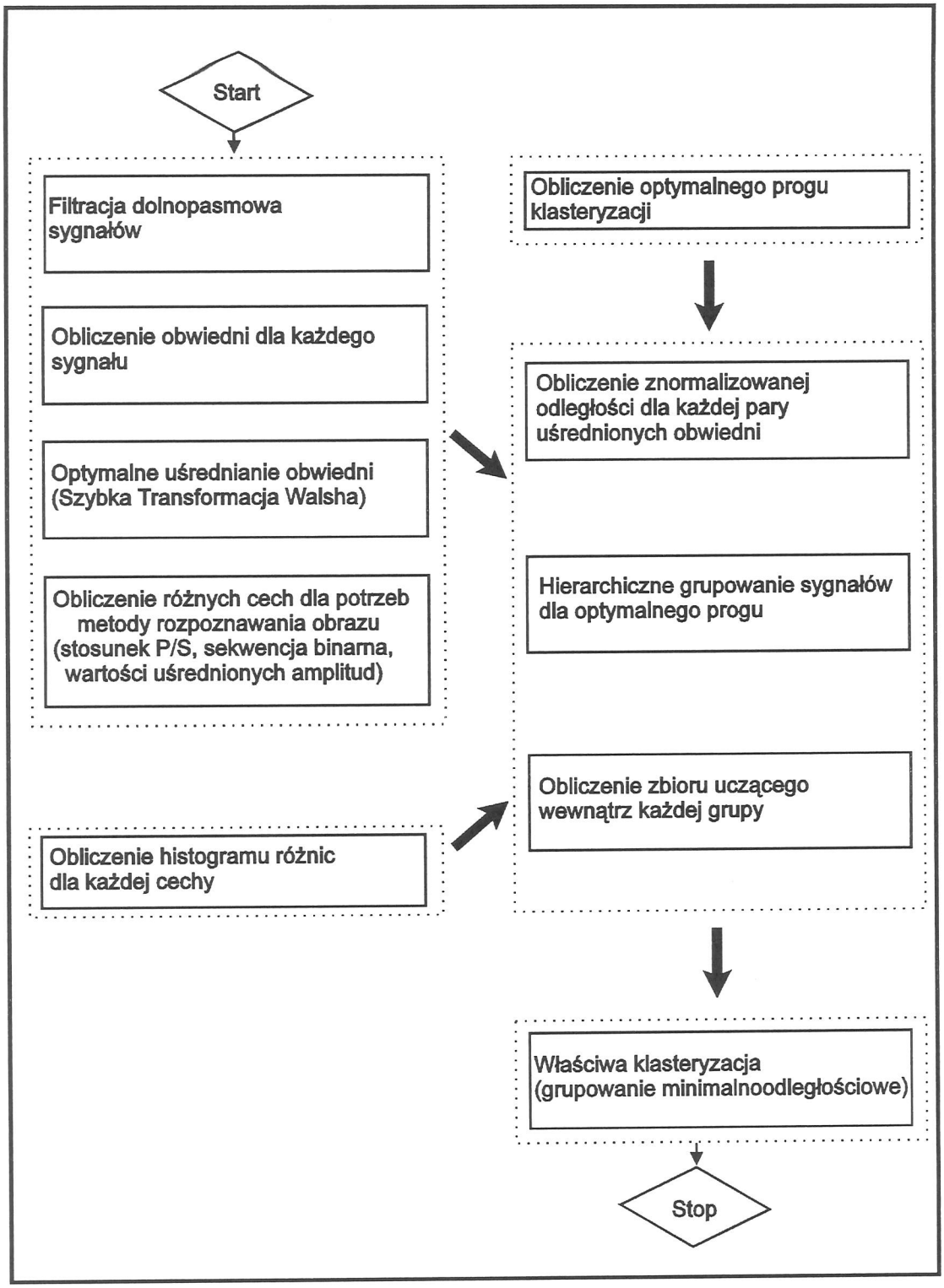
Rys. 1. Przykład multipletu zarejestrowanego czujnikiem trójskładowym.
Fig. 1. An example of a multiplet recorded by three component sonde.



Rys. 2. Szacunkowa ocena czasu obliczeń funkcji koherencji i grupowania na bazie obwiedni dla populacji sygnałów o różnych wielkościach.
Fig. 2. Time consumption of CPU to perform coherency analysis and envelope clustering for different size populations.

może to zostać zrobione w dalszej kolejności w ramach analizy koherencji.

Najważniejszym punktem analizy jest wybór metody grupowania danych. Gdy stosowana jest metoda upraszczania obwiedni sygnałów, rośnie szybkość przetwarzania danych, natomiast maleje rozdzielczość analizy. Wydzielone grupy sygnałów mogą częściowo się pokrywać. W takim wypadku analiza musi precyzyjnie zdefiniować zjawiska należące do więcej niż jednej grupy. Jest to zadanie szczególnie trudne dla standardowych algorytmów grupowania danych. Metoda zaprezentowana w artykule w pierwszym kroku definiuje *ciągi uczące* i redukuje zagadnienie rozpoznawania obrazu bez nauczyciela (klasteryzację) do rozpoznawania obrazu z nauczycielem. Następnym krokiem jest grupowanie wokół każdego ciągu uczącego zjawisk podobnych. W następnym rozdziale przedstawiony będzie dokładny opis algorytmu.



Rys.3. Opis algorytmu automatycznego grupowania sygnałów.
Fig. 3. Flow diagram of the cluster analysis algorithm.

3. Szczegółowy opis metody automatycznej detekcji dubletów

Sposób postępowania w celu identyfikacji klastra można rozłożyć na pięć części. Diagram na rysunku 3 ilustruje ich wzajemną zależność. W bieżącym rozdziale zostanie omówiona szczegółowo struktura poszczególnych bloków programowych.

Pierwszym krokiem przetwarzania jest dolnopasmowa filtracja wszystkich sygnałów. W następnym kroku jest obliczana obwiednia każdego zarejestrowanego sygnału. Obwiednia jest liczona jako amplituda zespolonej reprezentacji sygnału x(t):

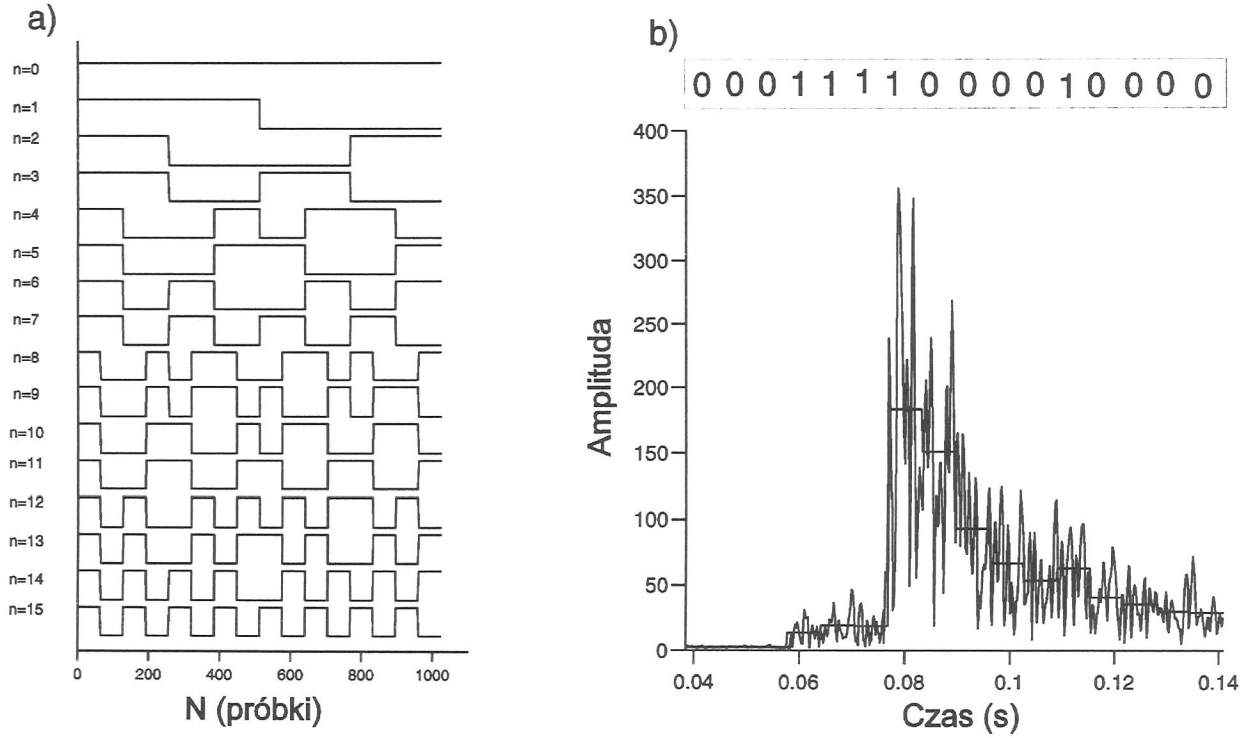
$$\bar{x}(t) = \sqrt{x^2(t) + \hat{x}^2(t)} \qquad (1)$$

gdzie $\hat{x}$ (t) jest transformacją Hilberta sygnału x(t). Aby zmniejszyć ilość parametrów, które w sposób jednoznaczny charakteryzują obwiednię, można zastosować filtrację opartą o zbiór ortogonalnych funkcji Walsha. Na rysunku 4a przedstawiono 16 pierwszych funkcji Walsha. Ponieważ funkcje Walsha są ortogonalne, mogą być użyte jako baza do liniowej reprezentacji dowolnej funkcji skończonej. W transformacji Fouriera analogiczną rolę odgrywają funkcje sinus i kosinus. Para transformat Walsha jest definiowana jako:

$$X(n) = \sum_{t=0}^{N-1} x(t)WAL(n,t) \qquad dla \quad n = 0,..., N-1$$

$$x^W(t) = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} X(n)WAL(n,t) \quad \text{dla} \quad t = 0,..., N-1 \qquad (2)$$

Na rysunku 4b przedstawiono przykład filtracji przeprowadzonej przy użyciu funkcji Walsha. W wyniku dolnopasmowej fltracji Walsha obwiednia (reprezentowana N próbkami) jest estymowana przy użyciu N1 wartości (Nl<<N). Uproszczoną obwiednię będziemy nazywać *obwiednią Walsha*. Każda wartość tej obwiedni jest war-



Rys. 4.a) Ciąg złożony z pierwszych 16 funkcji Walsha. b) Przykład filtracji obwiedni przy użyciu funkcji Walsha. W wyniku filtracji otrzymuje się obwiednię Walsha.

Fig. 4.a) The set of 16 basis Walsh functions. b) An example of filtering using the Walsh transform. As a result the Walsh envelope is obtained.

tością średnią z określonego przedziału wartości wyjściowej obwiedni sygnału. Aproksymacja jest tym lepsza, im liczba Nl jest większa. Z drugiej strony pociąga to za sobą zwiększenie liczby parametrów niezbędnych do opisu obwiedni.

Ponieważ uśrednianie obwiedni odbywa się wewnątrz ustalonych przedziałów, ważne jest by początek przefiltrowanej obwiedni odpowiadał momentowi wstąpienia fali P. Algorytm musi mieć możliwość odczytu wcześniej zidentyfikowanych czasów wejścia fali P lub możliwość samodzielnej ich estymacji.

Następnym etapem jest obliczenie wartości cech używanych do klasteryzacji. Dotychczasowe doświadczenia w zakresie identyfikacji multipletów pokazały, że bardzo trudno jest zdefiniować mały zbiór parametrów identyfikujących w sposób jednoznaczny obwiednię. Zadanie jest szczególnie trudne, jako że parametry muszą być obliczane w sposób automatyczny. W ramach niniejszego algorytmu zaproponowano użycie trzech parametrów:

- różnicy stosunków amplitud fal S/P.
- różnicy pomiędzy kodami binarnymi
- różnicy pomiędzy obwiedniami

Każdy z tych parametrów jest obliczany na podstawie obwiedni Walsha.

Pierwszy z parametrów może zostać użyty do identyfikacji zjawisk podobnych, gdyż sygnały pochodzące z blisko położonych źródeł sejsmicznych, które cechują się zbliżonym mechanizmem ogniska, mają zbliżone stosunki maksymalnych amplitud fal P i S. Za amplitudę fali P brana jest pierwsza wartość obwiedni Walsha, większa od poziomu szumów. Drugie absolutne maksimum obwiedni Walsha może być uznawane w pewnych okolicznościach za przybliżoną wartość amplitudy fali S. Dla pewnych szczególnych orientacji źródła nie jest to oczywiście prawdą, niemniej jednak będziemy nazywali parametrem 'S/P' stosunek wartości drugiego absolutnego maksimum do pierwszego. Dla przykładu zaprezentowanego na rysunku 4b wartości pierwszego i drugiego maksimum wynoszą odpowiednio 13.6i 183.1, co w rezultacie daje wartość parametru 'S/P' 13.46. Dla każdej pary zjawisk jest obliczana różnica wg wzoru:

$$d_1(x_i, x_j) = \left| (S/P)_i - (S/P)_j \right| \tag{3}$$

Następnym parametrem używanym do kalsteryzacji jest odległość pomiędzy zakodowanymi obwiedniami. Jako kod obwiedni Walsha o wartościach $[a_1, a_2, ..., a_N]$ został użyty ciąg binarny, złożony z $\{0,1\}$. Pierwszej wartości a_1 została przyporządkowana liczba 0. Następnej wartości jest przyporządkowana liczba 1, gdy $a_{i-1}<a_i$, zaś liczba 0, gdy $a_{i-1}>a_i$. Dla obwiedni Walsha z rysunku 4b kod binarny jest równy [0001111000010000]. Kod binarny tego typu jest czuły na zmiany odległości P-S oraz istnienie silnych fal wtórnych. Odległość pomiędzy dwoma zakodowanymi sekwencjami jest obliczana dla każdych dwóch sygnałów. Jeśli dwie zakodowane sekwencje mają jednakowe liczby na pozycji *k*-tej, to P(k)=l. W przeciwnym wypadku P(k)=0. Ponieważ początek sekwencji ma większe znaczenie w interpretacji ze względu na obecność faz P i S, całkowita odległość pomiędzy dwoma sekwencjami binarnymi dana jest w postaci wagowanej sumy wszystkich P(i):

$$d_2(x_i, x_j) = \sum_{k=1}^{N1} \frac{1}{k} P(k) \tag{4}$$

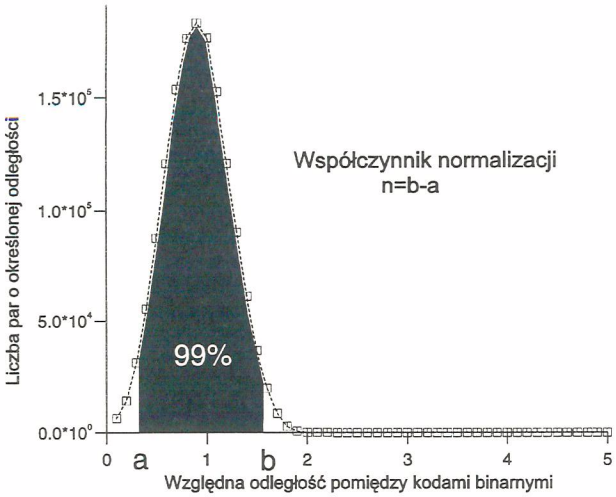
Trzecim parametrem obliczanym dla każdej pary sygnałów jest odległość pomiędzy obwiedniami Walsha:

$$d_3(x_i, x_j) = \sum_{k=1}^{N1} \frac{1}{k} \left| \frac{x_i^W}{x_{i_{\max}}^W} - \frac{x_j^W}{x_{j_{\max}}^W} \right| \tag{5}$$

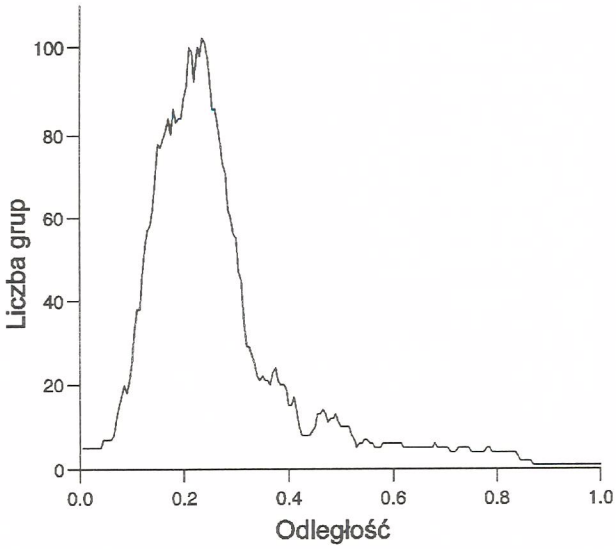
W celu obliczenia odległości pomiędzy dwoma obwiedniami są one uprzednio normalizowane przez wartość maksymalną. Różnica pomiędzy dwoma obwiedniami jest nieczuła na niewielkie przesunięcia czasowe poszczególnych składowych sygnału.

Kolejnym elementem algorytmu jest segment, w którym odbywa się normalizacja cech. Zakres zmienności każdej cechy jest z reguły inny. Przed przystąpieniem do właściwej klasteryzacji jest obliczany histogram dla każdej metryki d_1, d_2 oraz d_3, za pomocą którego oblicza się współczynnik normalizacji dla każdej metryki. Tak znormalizowane metryki są używane do określenia ogólnej metryki danej wzorem 6. Na rysunku 5 przedstawiono sposób normalizacji wybranej cechy.

Następnym elementem składowym systemu jest segment pozwalający na obliczenie optymalnego progu,



Rys. 5. Sposób normalizacji wybranej cechy (odległość pomiędzy kodami binarnymi).
Fig. 5. An example of the normalisation of particular feature (distance between two binary sequences).



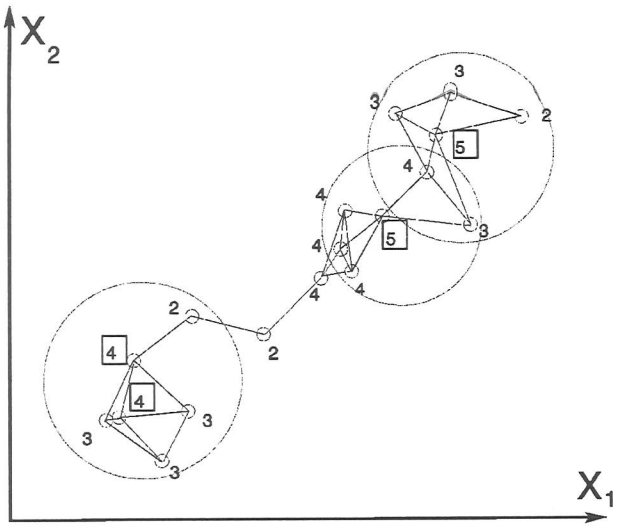
Rys. 6. Przykład histogramu służącego do określania optymalnej wartości progowej dla potrzeb grupowania sygnałów.
Fig. 6. Number of single link clusters versus distance used for evaluation of an optimal threshold.

określającego, które elementy populacji tworzą tzw. zbiory uczące, i obliczającego optymalną liczbę zbiorów uczących. Efektywną metodą w tym wypadku jest metoda grupowania hierarchicznego. Na wstępie cała populacja sygnałów jest grupowana z zastosowaniem określonego z góry, minimalnego progu. Następnie, zwiększając próg z małym krokiem, obliczamy każdorazowo ilość utworzonych grup dla każdego progu. Dla małej wartości progowej ilość nowo utworzonych grup jest bardzo mała. Następnie, wraz ze wzrostem progu, ilość grup zaczyna wzrastać. Po przekroczeniu pewnej maksymalnej wartości ilość grup zaczyna się zmniejszać. W granicznym przypadku ilość grup spada do jednej - tzn. dla odpowiednio dużej wartości progowej wszystkie sygnały zostają zakwalifikowane do jednej grupy. Optymalna wartość progowa jest określana w miejscu, gdzie liczba grup przyjmuje wartość maksymalną. Ponieważ niejednokrotnie zależność liczby tworzonych grup od wartości progu ma bardzo nieregularny charakter (patrz rysunek 6), konieczne jest każdorazowe wizualne badanie tego rozkładu w celu wybrania optymalnej wartości progu.

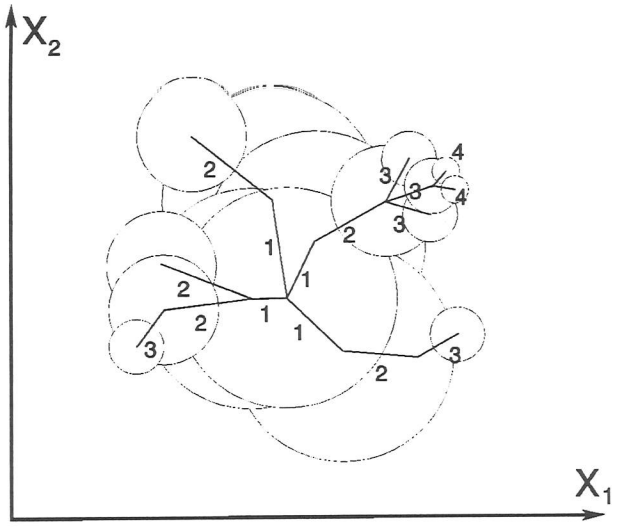
Kolejnym krokiem jest określenie zbioru uczącego dla rozpoznawania obrazów. Zbiór ten składa się z szeregu podzbiorów określanych mianem *wzorców*. Pierwszym krokiem w celu określenia zbioru uczącego jest obliczenie metryki złożonej z trzech metry: d_1, d_2 oraz d_3 według wzoru:

$$d(x_i, x_j) = \sum_{k=1}^{3} \left[d_k(x_i, x_j) \right]^2 \qquad (6)$$

Następnie stosuje się algorytm grupowania sekwencyjnego w celu utworzenia klas ekwiwalencji przy użyciu uprzednio obliczonego optymalnego progu. Klasy ekwiwalencji tworzone przez grupowanie sekwencyjne mają wydłużone kształty w przestrzeni cech (rysunek 7). Jest to niekorzystna właściwość tego algorytmu, gdyż sygnały zgrupowane w jednej klasie mogą znacznie różnić się między sobą. Aby prawidłowo zdefiniować wzorzec w każdej klasie, wybiera się element z maksymalną liczbą połączeń. Element ten wraz z elementami z nim połączonymi tworzy pierwszy wzorzec. Drugi wzorzec to element o maksymalnej liczbie połączeń, nie połączony z pierwszym wzorcem. Operacja tworzenia wzorców jest powtarzana do wyczerpania się elementów danej klasy o liczbie połączeń dwa lub większej.



Rys. 7. Przykład grupowania w przestrzeni cech X1 i X2. Grupa ma wydłużony kształt i tym samym nie wszystkie sygnały są do siebie podobne.
Fig. 7. An example of clustering for Xl and X2 features. Cluster has an elongated shape and similarity of some signals is small.



Rys. 8. Przykład grupowania minimalnoodległościowego w przestrzeni cech X1 i X2.
Fig. 8. An example of minimum distance clustering for X1 and X2 features.

Ostatnim krokiem algorytmu jest grupowanie typu NN (ang. nearest neighbour) przy użyciu zbioru uczącego określonego uprzednio. Powyższa metoda grupowania została użyta ze względu na konieczność zachowania dużego podobieństwa pomiędzy elementami tej samej grupy. W pierwszym kroku dla wybranego wzorca algorytm dołącza wszystkie elementy populacji, odległe mniej niż wartość progowa od jednego z elementów wzorca (krok 1 na rysunku 8). W następnym kroku wartość progowa jest dzielona na pół i dla niej cała operacja jest powtarzana (krok 2). W trzecim kroku po raz kolejny odległość progowa jest połowiona i dołączane są nowe elementy populacji na zasadzie identycznej jak poprzednio. Operacja jest powtarzana do momentu, aż żaden nowy element nie jest dołączany do pliku. Oczekuje się, że proces ulega przerwaniu po wykonaniu trzech lub czterech kroków.

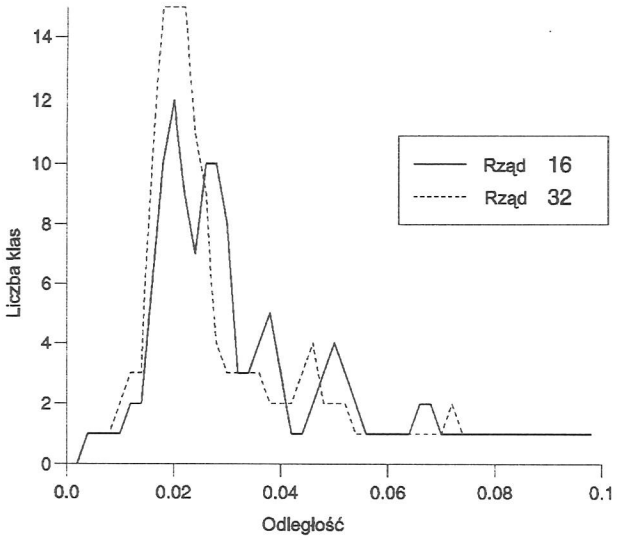
Testy przeprowadzone na danych polowych wskazują, że algorytm opisany powyżej cechuje się bardzo dobrymi własnościami z punktu widzenia użytkowego. Zapewnia szybką analizę bardzo licznych zbiorów danych. Jak pokazują przykłady algorytm jest nieczuły (w rozsądnych granicach) na długość zakodowanej obwiedni Walsha (patrz rysunek 9).

Ponadto wyniki grupowania w dużej mierze nie zależą od tego, czy znany jest moment wejścia fali P, czy też jest on estymowany z obwiedni Walsha (patrz rysunek 10).

W większości wypadków zjawiska zakwalifikowane do tej samej grupy mają wysoką koherencję. Z drugiej strony zjawiska o małej koherencji nie są kwalifikowane do tej samej grupy. Tym samym przedstawiony algorytm może stanowić podstawę do tworzenia grup sygnałów, co do których można mieć podejrzenia, że pochodzą z tego samego rejonu górotworu.

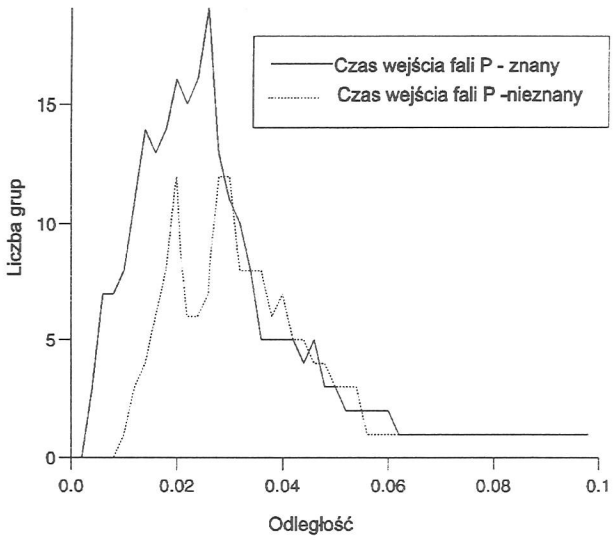
4. Przykład efektywności procedury grupowania sygnałów sejsmicznych w multiplety

Algorytm i programy grupowania danych zostały przetestowane przy użyciu dwóch zbiorów rejestracji, w których dokonano uprzedniej identyfikacji zbiorów zjawisk podobnych (multipletów) (Leśniak, Niitsuma 1996). Pierwszy z nich składa się ze 165 rejestracji trójskładowych zjawisk sejsmoakustycznych. Szczegółowa analiza poszczególnych sygnałów pozwoliła na wydzielenie 12 multipletów o różnej liczebności (patrz tabela I). Do



Rys. 9, Przykład histogramów otrzymanych dla różnych długości kodu obwiedni. Wartość progowa, dla której liczba klas jest maksymalna, jest niezależna od długości obwiedni.

Fig 9. Histograms evaluated for different lengths of envelope codes. Threshold for which number of classes is maximal is independent from the envelope length.



Rys. 10. Przykład histogramu dla znanego czasu wejścia fali P oraz dla przypadu, gdy czas ten jest wyznaczany automatycznie z obwiedni Walsha. Wartość progowa dla której liczba klas jest maksymalna jest niezależna od sposobu wyznaczania czasu wstąpienia fali P.

Fig. 10. An example of number of clusters detected with known and estimated P wave onset. Threshold for which the number of classes is maximal is independent from the way of evaluation of P wave onset.

identyfikacji multipletów używano wszystkich składowych (tj. X,Y,) sygnałów. Do estymacji obwiedni posłużono się aproksymacją na bazie zbioru funkcji Walsha czwartego rzędu, co oznacza, że przefiltrowana obwiednia składała się z 16 liczb. Grupowanie zostało przeprowadzone z użyciem wcześniej zidentyfikowanych czasów wejścia fali P. Grupowanie przeprowadzono dla dwóch odległości krytycznych równych 0.014 i 0.02, zidentyfikowanych na podstawie histogramu klastrów utworzonych metodą 'single link'.

Liczebność zjawisk w każdej grupie jest większa dla większej odległości krytycznej. Puste pola pokazują te przypadki, gdzie bezpośredni wynik identyfikacji nie został powtórzony przez automatycznie działający algorytm. Jak wykazała szczegółowa analiza tych przypadków, algorytm zawiódł, gdyż jeden z sygnałów wchodzących w skład multipletu był przesterowany, co prowadziło do wysycenia zapisu.

Tabela 1. Rezultaty automatycznego grupowania sygnałów dla pierwszej populacji punktów.
Table 1. Results of automatic clustering for first group of signals.

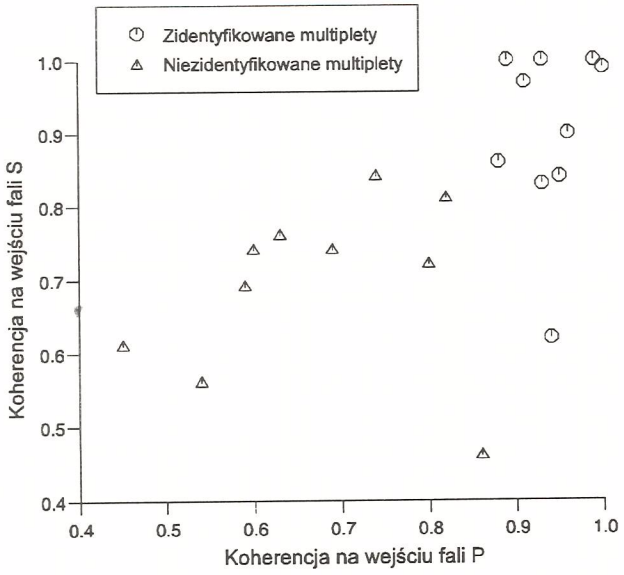
Nazwa multipletu		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Liczba zjawisk		2	2	12	2	2	2	2	2	2	2	3	2
Zidentyfikowane klastry	D=0.014	11	-	19	-	19	-	2	19	2	2	2	2
	D=0.02	15	2	22	-	22	-	2	22	9	15	4	3

Tabela 2.Rezultaty automatycznego grupowania sygnałów dla drugiej populacji punktów.
Table 2. Results of automatic clustering for second group of signals.

Nazwa multipletu		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	R	S	T
Liczba zjawisk		2	2	3	2	2	2	2	3	2	2	3	3	2	4	2	4	3	2	2
Zidentyfikowane klastry	N=16	2	3	-	-	-	-	-	7	6	6	33	-	27	27	27	10	-	7	28
	N=32	-	2	3	3	-	-	-	7	5	-	3	-	13	9	3	3	-	2	2

Jako drugi przykład został wybrany zbiór 217 zjawisk, które charakteryzowały się znacznie większym poziomem szumu niż pierwsza grupa zjawisk. Bezpośrednia analiza pozwoliła na identyfikację 19 multipletów o różnej liczebności zjawisk wewnątrz każdej grupy (patrz tabela 2).

Ponieważ rezultaty grupowania zależą od rzędu funkcji Walsha używanej do aproksymacji obwiedni, przeprowadzono porównanie wyników dla dwóch wybranych długości ciągu aproksymującego: N=16 i N=32. W obydwu przypadkach zastosowano odległość krytyczną równą 0.02, gdyż histogramy ilości klastrów utworzonych metodą 'single link' mają w tym wypadku jednoznaczne maksimum (patrz rysunek 9). Podobnie jak w poprzednim przykładzie, (wykorzystano określone w analizie bezpośredniej czasy rejestracji fali P. Jak widać, wzrost rzędu aproksymacji zaowocował mniejszą populacją poszczególnych multipletów, co mogłoby oznaczać lepszą rozdzielczość. Niestety, wiele multipletów (np. E,F, G, L, R) nie zostało wykrytych w sposób automatyczny.



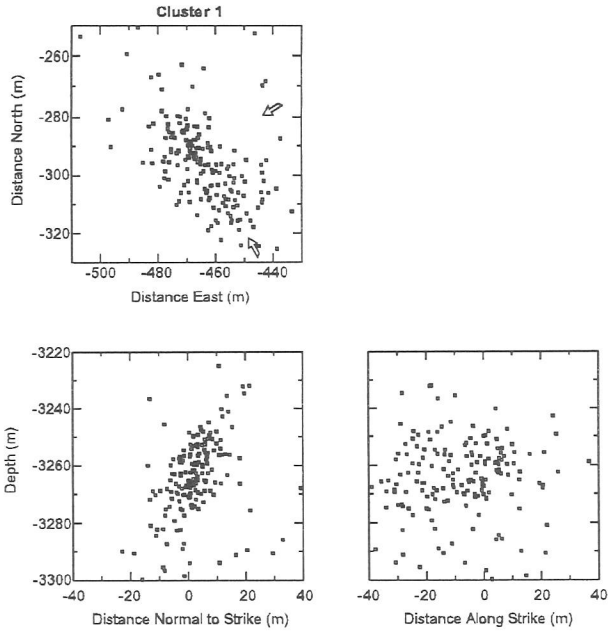
Rys. 11. Funkcja koherencji obliczana dla grupy losowo wybranych multipletów w oknach obejmujących czasy rejestracji fali P i S.
Fig. 11. The coherency function evaluated at P. and S. wave onsets for multiplets detected and non-detected by clustering algorithm.

Jedną z możliwych interpretacji tego faktu jest błędnie przeprowadzona bezpośrednia identyfikacja multipletów. Ponieważ wiarygodną metodą sprawdzenia, czy dwa zjawiska tworzą multiplet, jest obliczenie ich koherencji dla okien obejmujących czasy rejestracji fali P i S, przeprowadzono tego rodzaju analizę dla losowo wybrane grupy multipletów, z których część została zidentyfikowana w sposób automatyczny, a część nie. Rezultaty analizy przedstawiono na rysunku 11.

Nie wykryte podczas automatycznej analizy multiplety mają zdecydowanie mniejszą koherencję niż multiplety wykryte podczas analizy. Jednak, jak pokazuje analiza, część multipletów ma niską koherencję. Tym samym, by ustalić identyfikację, po przeprowadzeniu automatycznego grupowania sygnałów zawsze należy obliczyć koherencję dla każdej pary sygnałów wchodzących w skład mutlipletu.

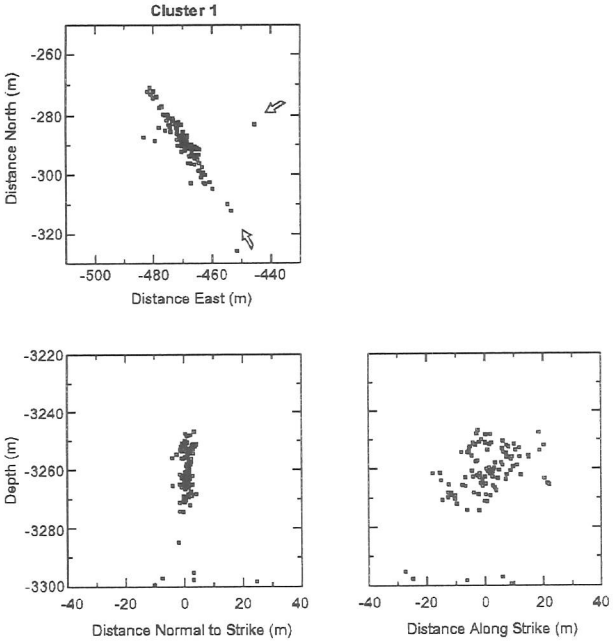
5. Relokalizacja dubletów

Analogicznie do metody wspólnej lokalizacji źródeł w lokalizacji dubletów wybieramy na wstępie zjawisko



Rys. 12. Lokalizacja hipocentrów wstrząsów sejsmicznych w ramach jednej grupy na polu naftowym Fenton Hill USA. (Phillips i in.1997)

Fig. 12. Hypocenter location of a group of seismic events at Fenton Hill geothermal Field USA. (Phillips et al.1997)



Rys. 13. Położenia hipocentrów po wykonaniu operacji relokalizacji. Jest widoczny znaczny wzrost rozdzielczości. (Phillips i in. 1997)

Fig. 13. Hypocenter location obtained after relocation. The better resolution is evident. (Phillips et al.1997)

odniesienia, do którego będziemy odnosili położenie pozostałych zjawisk. Relokalizacji ulegają tylko zjawiska należące do tego samego dubletu. Dla zjawisk w wybranym dublecie oblicza się różnicę czasową Δt_i, i=1,.., N-1 (N-ilość zjawisk w dublecie) względem zjawiska odniesienia (reperu), wykorzystując czasowo - częstotliwościową funkcję widma wzajemnego :

$$S_{xy}(f) = K_{xy}(f) - jQ_{xy}(f)$$

$$\psi(f) = \tan^{-1}\left(\frac{Q_{xy}(f)}{K_{xy}(f)}\right) \qquad (7)$$

$$\Delta(f) = \frac{\psi(f)}{2\pi f}$$

oraz różnicę kątów inklinacji i azymutu ΔI_i, ΔA_i, i=1,.., N-1. Następnie lokalizacja hipocentrów ulega takiej zmianie, by zminimalizować sumaryczną normę błędu lokalizacji. Na rysunku 12 przedstawiono rezultat lokalizacji emisji sejsmicznej na polu naftowym Fenton Hill w USA (Phillips, et al. 1997). Przedstawione zjawiska tworzą grupę zjawisk podobnych w ramach jednego klastru.

Z kolei na rysunku 13 przedstawiono położenie hipocentrów wstrząsów po wykonaniu operacji relokalizacji dubletów. Jest widoczny znaczny wzrost rozdzielczości obrazu „chmury". Możliwe jest określenie orientacji uskoku generującego zarejestrowane wstrząsy.

6. Podsumowanie

Powyższa metoda relokalizacji istotnie różni się od innych metod relokalizacji źródeł emisji.

— Relokalizacji ulegają tylko te zjawiska, co do których istnieje pewność, że zostały wygenerowane przez tę samą propagującą szczelinę (ten sam mechanizm źródła i bardzo zbliżona lokalizacja przestrzenna !).

— Sposób relokalizacji opiera się na bardzo dokładnie określonej różnicy czasowej i kierunku propagacji, czego brak w metodzie JHD - ze względu

na jej odmienne podejście do problemu relokalizacji.

— Metoda jest stabilna, mniej czasochłonna i bardziej efektywna, gdyż dotyczy relokalizacji mniejszych grup zjawisk w ramach ściśle zdefiniowanych klastrów.

Tym samym metoda relokalizacji dubletów może okazać się bardziej efektywna w przypadku lokalizacji prowadzonej w obszarach o niskiej aktywności, której głównym zadaniem będzie obserwacja rozwoju pojedynczej szczeliny, prowadzącej do wzrostu zagrożenia tąpaniami.

Bibliografia:

Leśniak, A., Niitsuma, H.,1996. *Clustering similar AE events using the filtered waveform envelope*. Progress in Acoustic Emission, VIII, Nara, Japan.

Phillips, W.S., L.S. House and M.C. Fehler, 1997. *Detailed Joint Structure in a Geothermal Reservoir from Studies of Induced Microearthauake Clusters,* J. Geophys. Res., 102, 11745 - 11763.

GEOINFORMATICA POLONICA
2:2000

MARIUSZ MŁYNARCZUK[1]

ZASTOSOWANIE METOD KOMPUTEROWEJ ANALIZY OBRAZÓW DO POMIARÓW PETROGRAFICZNYCH

Słowa kluczowe:

analiza obrazów, morfologia matematyczna, petrografia.

Abstrakt

W pracy zaprezentowano wyniki zastosowania metod komputerowej analizy obrazów i morfologii matematycznej do pomiarów petrograficznych. Wykorzystanie tych metod wpłynęło w znaczący sposób na zwiększenie szybkości pomiarów geometrycznych struktur skał. Praca przedstawia wyniki aplikacji metod automatycznej analizy obrazów do pomiarów 4 wybranych skał: granitu ze Strzelina, dolomitu z Rędzin, kwarcytu z Wiśniówki oraz piaskowca z Dąbek. W celu określenia poprawności pomiarów automatycznych uzyskane wyniki były porównywane z wynikami otrzymanymi w wyniku standardowych, nieautomatycznych metod pomiarowych. Otrzymane zgodności świadczą o tym, że zaproponowane algorytmy automatycznej analizy obrazów dają poprawne rezultaty dla wszystkich prezentowanych w niniejszej pracy skał.

APPLICATION OF IMAGE ANALYSIS TO PETROGRAPHY

Key words:

image analysis, mathematical morphology, petrography.

Abstract

The paper presents results of applying the methods of image analysis and mathematical morphology to petrography and rock mechanics. Application of these methods may improve the conducted geometrical measurements of rock structures. The study discusses the results obtained due to the application of automatic algorithms for 4 rocks: granite from Strzelin, dolomite from Rędziny, quartzite from Wiśniówka and sandstone from Dąbki. In order to evaluate the correctness of the automatic methods, the obtained results have been compared with the results obtained in a standard, non-automatic analysis. The obtained results show, that in the case of the examined rocks, the proper methods of imageanalysis have been developed.

---

[1] Polska Akademia Nauk - Instytut Mechaniki Górotworu, Kraków

Wstęp

Metody komputerowej analizy obrazów znajdują coraz szersze zastosowanie w takich dziedzinach badań, jak metalurgia, biologia, medycyna, a także w badaniach związanych z inżynierią materiałową. Niestety, do tej pory nie znalazły one szerszego zastosowania w geologii i mechanice skał. Związane jest to przede wszystkim z problemami, jakie niesie ze sobą ogromna różnorodność i zmienność struktur skalnych obserwowanych pod mikroskopem optycznym.

Prezentowane w niniejszym artykule prace miały na celu zbadanie możliwości zastosowania metod automatycznej analizy obrazów do wyznaczania parametrów stereologicznych wybranych struktur skalnych. Uznano, że wykorzystanie tych metod pozwoli uzyskać wiele różnorodnych korzyści. Zaliczyć do nich należy przede wszystkim zwiększenie szybkości prowadzonych pomiarów, osiągnięcie większej ich dokładności oraz pełnej powtarzalności. Automatyzacja pozwoli także na wyeliminowanie wszelkich problemów związanych ze znużeniem i zmęczeniem obserwatora.

Uznano, że opracowywane metody pomiarowe powinny być jak najbardziej uniwersalne i nie powinny ograniczać się do analizy pojedynczych obrazów. Dlatego też za cel postawiono sobie utworzenie takich algorytmów, które mogą zostać bez żadnych zmian użyte do analizy większej liczby obrazów lub nawet serii szlifów lub zgładów. Jest to zadanie stosunkowo trudne do realizacji, szczególnie gdy chodzi o analizę struktur tak skomplikowanych i różnorodnych jak struktury skał.

Prezentowany artykuł koncentruje się na przedstawieniu uzyskanych wyników dla kilku wybranych skał. Są nimi: granit ze Strzelina, dolomit z Rędzin, kwarcyt z Wiśniówki oraz piaskowiec z Dąbek. Ze względu na ograniczoną objętość publikacji nie zostały tutaj omówione sposoby tworzenia używanych algorytmów oraz zasady ich działania. Stosowny opis można znaleźć w pracach Młynarczuka i Serry (Młynarczuk1998; Serra, Młynarczuk 2000). Podobnie, podstawy analizy obrazów i morfologii matematycznej można odszukać w licznych monografiach (np. Gonzalez 1985; Serra 1981; Tadeusiewicz, Korohoda 1997; Wojnar, Majorek 1994).

Cel przekształceń morfologicznych

Celem opisywanych operacji morfologicznych jest przekształcenie jednego lub kilku szarych obrazów wejściowych w jeden lub kilka obrazów binarnych, na których to obrazach poprawnie odwzorowane są wszystkie interesujące nas obiekty. Obraz binarny jest punktem wyjścia do pomiarów geometrii obiektów znajdujących się na tym obrazie. Należy zauważyć, że w momencie gdy posiadamy poprawny obraz binarny interesującego nas obiektu, pomiary wielkości geometrycznych charakteryzujących ten obiekt *w zasadzie* nie nastręczają większych trudności. Można więc stwierdzić, że cały problem w analizie automatycznej sprowadza się do poprawnego przekształcenia obrazu szarego w obraz binarny, czyli do poprawnej **segmentacji** obiektów.

Poprawność uzyskanych wyników

Ponieważ prezentowane badania miały na celu określenie możliwości zastosowania metod automatycznej analizy obrazów do badań petrograficznych, wyniknął problem określenia dokładności prowadzonych w ten sposób pomiarów. Można przyjąć, że w prezentowanych metodach podstawowe źródło błędu znajduje się na etapie segmentacji obiektów. Natomiast sam pomiar parametrów geometrycznych tych obiektów nie jest *w zasadzie* obciążony znaczącymi błędami.

W opisywanych badaniach postanowiono, że w celu określenia błędu pomiaru automatycznego, analizowana struktura zostanie przemierzona również przy użyciu standardowych, nieautomatycznych metod pomiarowych (stereologiczna analiza punktowa i liniowa). Za błąd pomiaru automatycznego postanowiono natomiast uznać odchyłkę pomiędzy wynikami uzyskanymi w testowanej analizie automatycznej a wynikami uzyskanymi w standardowej analizie nieautomatycznej.

Analiza szlifów granitu ze Strzelina

Celem analizy szlifów cienkich granitu ze Strzelina było określenie ułamka objętościowego biotytu na tych szlifach. Ustalono, że analiza pojedynczych zdjęć

analizowanych pól nie niesie wystarczającej informacji do poprawnej segmentacji. Związane jest to z faktem, iż biotyt, jako minerał pleochroiczny, charakteryzuje się zmiennością barwy podczas obrotu preparatu względem polaryzatora. Z tego powodu pewne blaszki biotytu, słabo dostrzegalne przy jednym położeniu polaryzatora, uwidaczniają się gdy są obserwowane w innych położeniach. Opierając się na tej własności, uznano, że analizie poddawane będą każdorazowo 3 obrazy tego samego pola, rejestrowane w różnych położeniach polaryzatora. Takie postępowanie powoduje, że każdy minerał jest przynajmniej na jednym zarejestrowanym obrazie wyraźnie ciemniejszy niż minerały go otaczające. Opierając się na takim założeniu tworzony był obraz sztuczny, definiowany jako minimum z trzech obrazów wejściowych. Obraz ten, na którym wyraźnie uwidocznione są wszystkie blaszki biotytu, poddawany był dalszej obróbce. Miała ona za zadanie wyeliminowanie wszelkich zanieczyszczeń oraz „wyostrzenie" analizowanego biotytu. W rezultacie otrzymano obraz binarny, na którym poprawnie odwzorowane zostały wszystkie blaszki biotytu (rys 1). Obraz taki był punktem wyjścia do przeprowadzenia pomiarów automatycznych.

W celu wykonania tych pomiarów na każdym z analizowanych szlifów cienkich wybrano po 25 równomiernie rozłożonych pól pomiarowych, których obrazy zarejestrowano w pamięci komputera. Obrazy te były punktem wyjścia do pomiaru ułamka objętościowego granitu. Aby zweryfikować otrzymane wyniki, wykonano standardową analizę punktową analizowanego szlifu. Pomiary przeprowadzono dla trzech różnych szlifów cienkich. Wyniki pomiarów przedstawia tabela 1.

Analiza szlifów dolomitu z Rędzin

Celem analizy dolomiu z Rędzin była identyfikacja kształtu ziarn, co *de facto* sprowadzało się do detekcji ich granic. Stwierdzono, że obrazy czarno-białe niosą zbyt mało informacji do przeprowadzenia poprawnej segmentacji. W związku z tym zdecydowano się na analizę zdjęć barwnych. Zaobserwowano również, że dodatkowe informacje o przebiegu granic ziarn można uzyskać dzięki zmianie kąta położenia polaryzatorów (rys. 2). Postanowiono więc, że dla każdego badanego pola rejestrowanych będzie po 9 obrazów, każdy przy innym kącie skrzyżowania polaryzatorów.

Uznano, że algorytm segmentacji ziarn dolomitu powinien bazować na przekształceniu linii działów wodnych (Beucher 1991). Idea algorytmu wykorzystującego to przekształcenie polega na tym, że obraz wejściowy (bądź kilka obrazów wejściowych) przekształca się w taki sposób, aby otrzymać dwa obrazy: obraz maski oraz obraz znaczników (markerów). Następnie wykonywane jest przekształcenie linii działów wodnych. W przypadku prezentowanych badań stosunkowo prosto udało się otrzymać obraz maski. Przyjęto, że powstaje on jako maksimum z gradientów morfologicznych wszystkich 3 składowych RGB każdego z 9 obrazów barwnych tego samego pola. Zdecydowanie trudniej było uzyskać poprawny obraz markerów. Postanowiono, że będzie nim obraz minimów z obrazu maski. Postąpiono tak, chociaż późniejsze użycie przekształcenia linii działów wodnych doprowadziło do otrzymania obrazu przesegmentowanego, czyli obrazu, na którym zidentyfikowanych jest zdecydowanie więcej obiektów niż w rzeczywistości (rys. 3a). Dokładny ogląd otrzymanego obrazu doprowadził jednak do wniosku, że wszystkie istniejące w rzeczywistości granice ziarn

Tabela 1. Rezultaty wyznaczania ułamka objętościowego biotytu z analizy 3 szlifów cienkich granitu
Table 1. Lists of the results of the determination of the volume fraction of biotite from an analysis of 3 thin sections

Nazwa próbki	V_V obliczone z analizy nieautomatycznej	V_V obliczone z analizy automatycznej	Odchyłka $V_{V\,[2]} - V_{V\,[3]}$	Odchyłka% $(V_{V\,[2]} - V_{V\,[3]}) / V_{V\,[2]}$
1	3	2	4	5
G 5.1	0,100 ± 0,006	0,099	0,001	1,0
G 7.1	0,051 ± 0,005	0,050	0,001	1,9
G 1.1	0,042 ± 0,004	0,040	0,002	4,8

zostały poprawnie wykryte. Jedyną wadą uzyskanego wyniku jest to, że poszczególne ziarna zostały podzielone na mniejsze obszary. Do połączenia tych obszarów wykorzystano fakt, że dwa sąsiadujące ze sobą obszary są fragmentami tego samego ziarna, jeżeli: mają zbliżoną do siebie średnią szarość, wykazują podobną zmienność szarości podczas zmian kąta położenia polaryzatorów, a ponadto pomiędzy tymi obszarami, na obrazie maski, nie istnieje wyraźny gradient, który może świadczyć o istnieniu w tym miejscu granicy ziarn. Przyjęcie tych założeń doprowadziło do uzyskania poprawnego rezultatu (rys 3b).

W celu przeprowadzenia automatycznych pomiarów średniej długości cięciwy ziarn dolomitu dokonano rejestracji 25 równomiernie rozłożonych pól na szlifie. Każde pole rejestrowano w 9 różnych położeniach polaryzatorów. Wyniki analizy 3 różnych szlifów dolomitu, dokonanej z zastosowaniem opracowanego algorytmu analizy automatycznej pokazuje tabela 2. Umieszczono tam również rezultaty analizy nieautomatycznej (stereologicznej analizy liniowej), która została przeprowadzona na tych samych szlifach w celu weryfikacji otrzymanych wyników. Na rys. 4 uwidoczniono rozkłady długości cięciw szlifu D4, otrzymane w wyniku analizy automatycznej i nieautomatycznej.

Analiza szlifów kwarcytu z Wiśniówki

Postanowiono zweryfikować przydatność prezentowanego powyżej algorytmu segmentacji ziarn dolomitu do analizy innych skał monomineralnych. Jedną z takich skał jest kwarcyt z Wiśniówki (rys. 5a). Ogląd uzyskanego obrazu wynikowego (rys. 5b) pozwala stwierdzić, że opracowany algorytm prowadzi również do uzyskania poprawnych wyników segmentacji ziarn kwarcu w kwarcycie z Wiśniówki (rys. 5b). Także otrzymane wyniki oraz ich porównanie z wynikami pomiarów nieautomatycznych (tab. 3 oraz rys. 6) wskazują na uniwersalność algorytmu segmentacji ziarn dolomitu z Rędzin, a także na możliwość jego wykorzystania do analizy ziarn kwarcytu z Wiśniówki.

Tabela 2. Zestawienie wyników średniej długości cięciw dla analizy 3 szlifów dolomitu z Rędzin
Table 2. Lists of the results of the mean length of chords, for the analysis of 3 thin sections of dolomite from Rędziny

Szlif	Śr. dł. cięciwy z analizy nieautomatycznej [μm]	Śr. dł. cięciwy z analizy automatycznej [μm]	Różnica między wynikami: [4] – [3] [μm]	Odchyłka % między wynikami: (|[4] – [3]|)/[4])* 100% [%]
1	3	4	5	6
D 9	129.7 ± 3.40	131.50	1.80	1.4
D 4	103.7 ± 3.06	113.45	9.75	8.6
D 2	127.31 ± 3.48	133.76	6.45	4.8

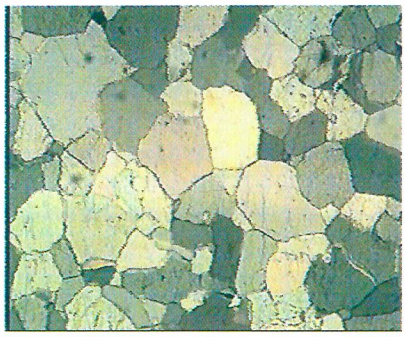
Tabela 3. Średnie długości cięciw wyznaczone dla 3 szlifów cienkich kwarcytu z Wiśniówki przy wykorzystaniu metod analizy nieautomatycznej i automatycznej
Table 3. Lists of the results of the mean length of chords, for the analysis of 3 thin sections of quartzite from Wiśniówka by means of automatic and non-automatic measurements

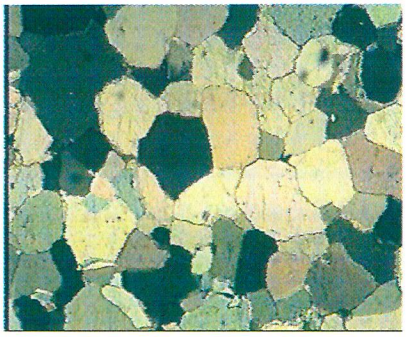
Nazwa szlifu	Pomiar automatyczny [μm]	Pomiar nieautomatyczny [μm]	Różnica między wynikami [2]- [3] [μm]	Odchyłka procentowa wyników ([4]/[2])*100 [%]
1	2	3	4	5
Kw 1	67,55	68.42 ± 2.00	0.87	1.29
Kw 2	47,53	48.51 ± 0.72	0.98	2.06
Kw 3	51,13	53.41 ± 0.97	2.28	4.45

a)

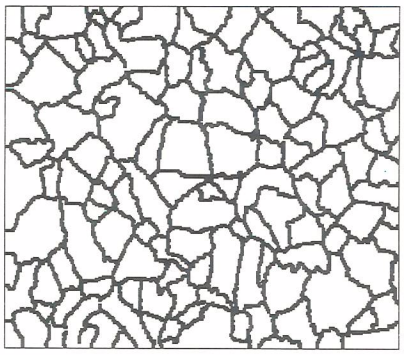
b)

Rys. 1. Sztuczny obraz granitu (a), końcowy rezultat przetwarzania obrazu (b).
Fig. 1. Artificial image of granite (a), the final result of the image processing (b).

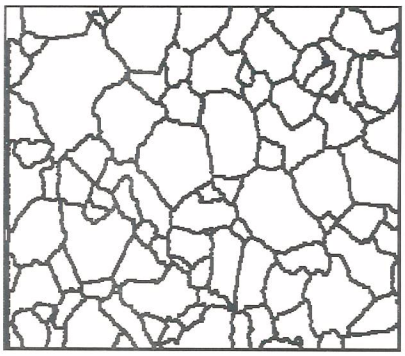




Rys. 2. Dwa obrazy tego samego pola zarejestrowanego przy 2 różnych kątach położenia polaryzatorów.
Fig. 2. Two images of the same field registered in two difference angle of position of the polarizers.

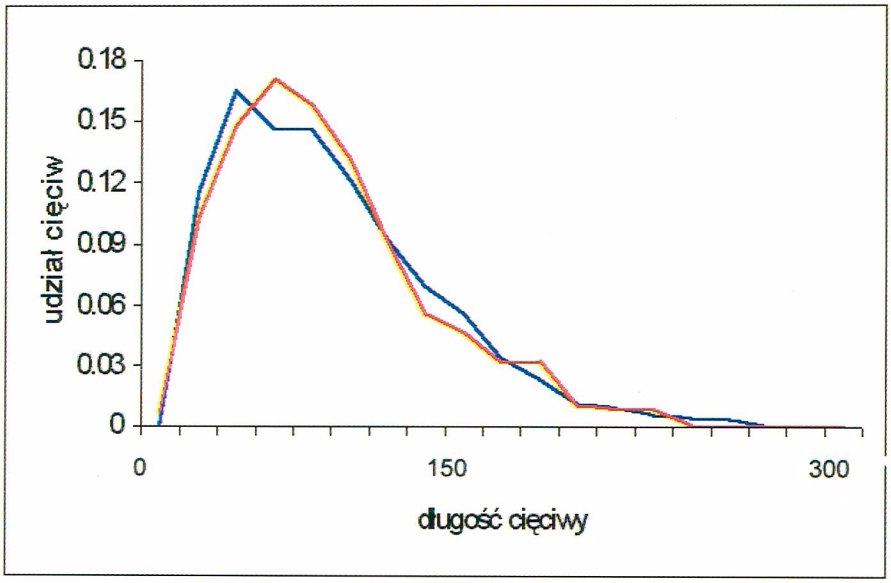


a)

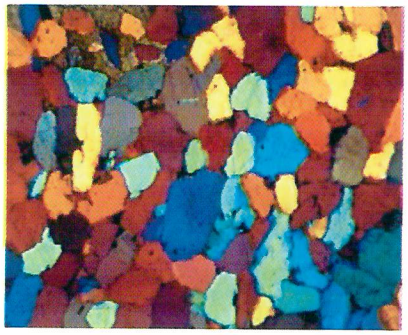
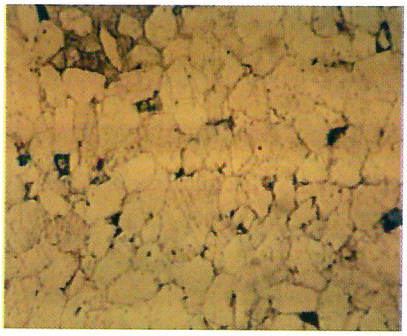


b)

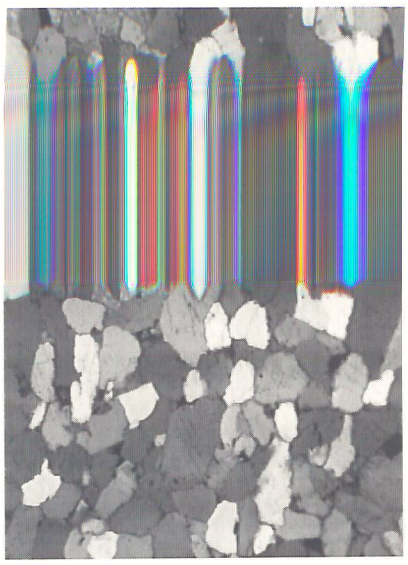
Rys. 3. Obraz przesegmentowany (a), oraz poprawnie posegmentowany obraz dolomitu z Rędzin (b).
Fig. 3. Oversegmented image (a), and correctly segmented image of dolomite from Rędziny (b).



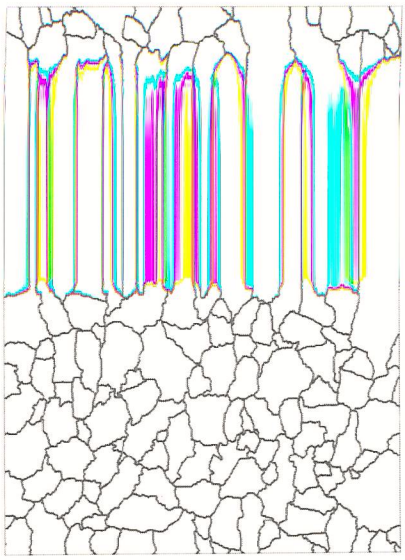
Rys. 6. Rozkład długości cięciw. Szlif KW1. Pomiar automatyczny - linia niebieska, nieautomatyczny - czerwona.
Fig. 6. Distribution of the chord for automatic (blueline) and non-automatic analysis (red line). Thin section KW1.


a)

b)

Rys. 7. Obrazy szlifu cienkiego piaskowca z Dąbek rejestrowane przy dwóch (a) i przy jednym (b) polaryzatorze.
Fig. 7. Image of thin section of sandstone from Dąbki registered by means of two (a) and one (b) polarizers.



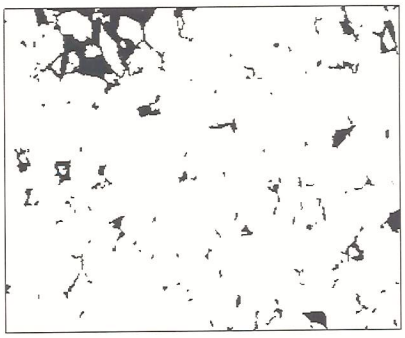
a)



b)

Rys. 8. Jeden z obrazów wejściowych (a) i wynik segmentacji granic ziarn kwarcu (b).
Fig. 8. Input image (a) and the result of segmentation of the quartz boundaries (b).

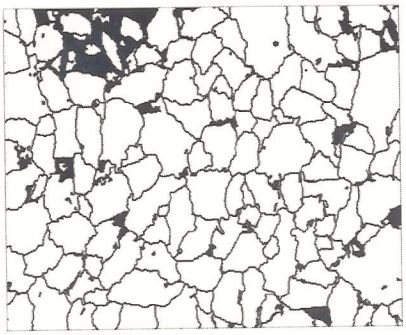
a)



b)

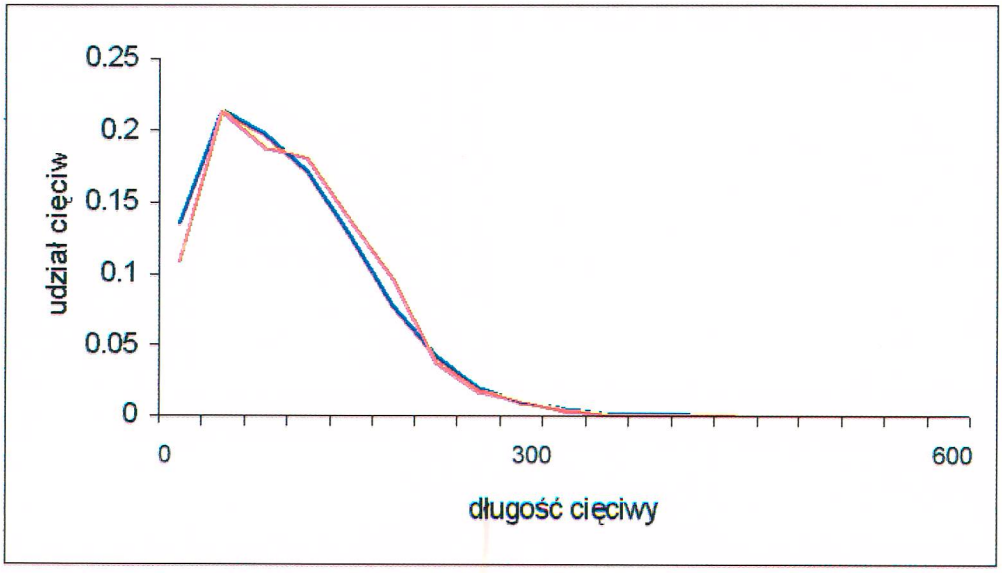
Rys. 9. Obraz wejściowy (a) wynik segmentacji „nie - ziarn" (b).
Fig. 9. Input image (a) and the result of segmentation of the „non - grains" (b).

a)



b)

Rys. 10. Końcowy rezultat detekcji ziarn kwarcu w piaskowcu z Dąbek (b).
Fig. 10. Final result of the segmentation of quartz grains in the sandstone from Dąbki (b).



Rys. 11. Rozkład długości cięciw. Szlif DBK7. Pomiar automatyczny - linia niebieska, nieautomatyczny - czerwona.
Fig. 11. Distribution of the chord for automatic (blueline) and non-automatic analysis (red line). Thin section KW1.

Analiza szlifów piaskowca z Dąbek

Piaskowiec z Dąbek, z punktu widzenia analizy automatycznej, traktowany jest jako materiał uziarniony, wieloskładnikowy. Ziarna skały mają przeważnie kształt figur wypukłych. Trudno dostrzec różnicę między obszarami lepiszcza, porami i wtrąceniami minerałów ciężkich a ziarnami, w przypadku oglądu obrazu rejestrowanego przy użyciu dwóch polaryzatorów (rys 7a), natomiast uwidocznia się ona bardzo dobrze na obrazie rejestrowanym przy użyciu jednego polaryzatora (rys 7b).

Taka struktura piaskowca z Dąbek wymusiła dwutorową analizę tej skały. Prezentowany wcześniej algorytm detekcji granic ziarn w dolomicie i kwarcycie został wykorzystany do segmentacji granic ziarn kwarcu również w tej skale. Rezultat takiej segmentacji przedstawiono na rys. 8b. Ponieważ użyty algorytm analizuje skałę przy założeniu, że jest ona monomineralna, nie wyróżniono tych składników struktury, które nie są ziarnami.

W tym miejscu możemy wykorzystać przewagę analizy automatycznej nad metodami standardowymi, polegającą na złożeniu kilku wyników cząstkowych w jeden wynik. Jeżeli przyjmiemy, że wynik przedstawiony na rys 8b poprawnie odzwierciedla granice ziarn kwarcu, to następny krok algorytmu prowadzić powinien do otrzymaniu drugiego obrazu wynikowego, na którym wyróżnione zostaną pory, lepiszcze i wtrącenia metali ciężkich, czyli części struktury nie będące ziarnami kwarcu. Wykryte one zostaną w oparciu o obraz rejestrowany przy jednym polaryzatorze. Na obrazie tym ziarna kwarcu charakteryzują się zdecydowanie jaśniejszą barwą. W związku z tym detekcja innych składników nie nastręcza większych trudności (rys. 9b).

Ostateczny rezultat analizy piaskowca z Dąbek bazować będzie na 2 wynikach cząstkowych, otrzymanych w efekcie uprzednio opisanych przekształceń. Obrazy te (8b i 9b) w rezultacie logicznego sumowania oraz niewielkiej filtracji dają wynik (rys. 10b), na którym uwidocznione są tylko i wyłącznie ziarna kwarcu.

Dla każdego z 2 analizowanych szlifów dolomitu z Dąbek obliczono wartość średniej długości cięciwy (tabela 4) oraz rozkłady długości cięciw (rys. 11). Zaprezentowane wyniki świadczą o poprawności proponowanej metody.

Korzyści płynące z wykorzystania analizy automatycznej

Podstawową korzyścią wynikającą z użycia analizy automatycznej jest znaczne skrócenie czasu pomiarów. W przypadku analizy nieautomatycznej czas niezbędny do wykonania analizy pojedynczego szlifu wahał się w granicach 8 do 20 godzin, w zależności od przyjętej metody pomiarowej oraz od stopnia skomplikowania struktury. W pełni automatyczna analiza prezentowanych szlifów zajmowała ok. 3-6 minut. Do tego należy dodać czas niezbędny do zarejestrowania w pamięci komputera analizowanych pól (w prezentowanych badaniach rejestrowano po 25 pól na każdym szlifie- trwało to ok. 20 minut).

Tabela 4. Średnie długości cięciw ziarn kwarcu wyznaczone dla 2 szlifów cienkich piaskowca z Dąbek przy wykorzystaniu metod analizy nieautomatycznej i automatycznej

Table 4. Lists of the results of the mean length of chords, for the analysis of 3 thin sections of sandstone from Dąbki by means of automatic and non-automatic measurements

Nazwa szlifu	Pomiar automatyczny [μm]	Pomiar nieautomatyczny [μm]	Różnica między wynikami [2]- [3] [μm]	Odchyłka procentowa wyników ([4]/[2])*100 [%]
1	2	3	4	5
DBK 7	95.90	92.51 ± 2.06	3.39	3.54
DBK 8	92.64	90.90 ± 2.25	1.74	1.88

Wnioski

W podsumowaniu należy stwierdzić, że metody morfologii matematycznej i analizy obrazu, które są z powodzeniem wykorzystywane w takich dziedzinach, jak metalurgia, biologia, medycyna, itp., mogą również być używane do analizy niektórych struktur skał. Z prowadzonych badań wynika, że jakkolwiek tworzenie takich algorytmów wiąże się z dużymi trudnościami, nie jest ono jednak z góry skazane na porażkę. Stosowanie wspomnianych metod pozwoli natomiast na znaczne usprawnienie prowadzonych pomiarów geometrycznej struktury skał.

Bibliografia

BEUCHER S. 1990: *Segmentation d'Images et Morphologie Mathematique*, PhD Thesis, Ecole des Mines de Paris.

GONZALEZ R. C., WINTZ P. 1987: *Digital Image Processing*, Addison Wesley.

MŁYNARCZUK M. 1998: *Opis wybranych struktur skał przy użyciu metod morfologii matematycznej i analizy obrazów*, praca doktorska, IMG PAN.

MŁYNARCZUK M. 1999: *Some remarks on the application of image analysis and image processing for the description of the geometrical structures of rocks.* Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii, vol. 33.

SERRA J. 1982: *Image Analysis and Mathematical Morphology*, Academic Press.

SERRA J., MŁYNARCZUK M. 2000: *Morphological Merging of Multidimensional Data.* Materiały konferencji STERMAT 2000, Kraków.

TADEUSIEWICZ R., KOROHODA P. 1997: *Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów*, Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji.

WOJNAR L., MAJOREK M. 1994: *Komputerowa analiza obrazu*, Fotobit Design.

GEOINFORMATICA POLONICA
2:2000

JANUSZ MAGIERA [1], KONRAD FORYCIARZ [2]

ANALIZA PRZESTRZENNA ROZKŁADU METALI CIĘŻKICH W GLEBACH NOWEJ HUTY (KRAKÓW)

Słowa kluczowe:

GIS, przestrzenna analiza wieloczynnikowa (MCE), metale ciężkie, Nowa Huta

Abstrakt

Rozmieszczenie i stężenie metali ciężkich w glebach zależą m.in. od czynników przestrzennych: odległości od źródeł zanieczyszczeń (emiterów), ukształtowania i zagospodarowania terenu (zabudowy i roślinności), litologii utworów powierzchniowych, gatunków gleb i in. Zastosowana metoda analizy przestrzennej (GIS) pozwala na poszukiwanie, analizowanie i modelowanie tych zależności. Cyfrowe (rastrowe) mapy czynników przestrzennych są porównywane z mapą stężenia metali, zestawioną na podstawie wyników analiz geochemicznych. Ekstrakcja wartości liczbowych oraz badanie zróżnicowania wartości średnich i wariancji służą reklasyfikacji map czynników przestrzennych. Mapy te są następnie używane w analizie wieloparametrowej (MCE – Multiple Criteria Evaluation), w której wyniku otrzymywany jest model rozmieszczenia metali ciężkich w glebach. Badanie skorelowania modelu z danymi geochemicznymi pozwala na jego weryfikację. Uzyskany model, jakkolwiek przybliżony, dobrze oddaje przestrzenną zmienność stężenia metali ciężkich.

SPATIAL ANALYSIS OF DISTRIBUTION OF HEAVY METALS IN SOIL. A CASE STUDY OF NOWA HUTA (CRACOW, POLAND)

Key words:

GIS, MCE (Multiple Criteria Analysis), heavy metals, Nowa Huta, Cracow, Poland

Abstract

Distribution and content of heavy metals in soil depend on some spatial factors, e.g: distance from emiters, landforms and landcover (buildings, vegetation), surficial (drift) geology, soil types etc. GIS allows searching, examining and modeling the relationships in question. Digital (raster) maps of the spatial factors are processed alone with raster map of

---

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

[2] ComArch SA, Kraków

the heavy metals content, gridded from geochemical analyses. Extraction of statistical values from the heavy metals map, with the spatial factors maps being used as filters, and testing of variance and variability of average values are applied for reclassification of the latter. Nextly, reclassified spatial factors are subject to the Multiple Criteria Evaluation (MCE). It results in a model of the distribution of the heavy metals in the soil that reflects all significant spatial factors. Finally, the model is verified by testing its correlation with the source geochemical data. The model obtained in the present study is rough. Nevertheless, it reflects well all significant spatial relationships.

Wstęp

Rozmieszczenie i stężenie metali ciężkich w glebach zależą od wielu czynników, m.in. takich, które można określić jako przestrzenne, a więc dające się przedstawić kartograficznie. Czynniki te to: odległości od źródeł zanieczyszczeń (emiterów), ukształtowanie i kierunki ekspozycji powierzchni terenu, zagospodarowanie terenu (rodzaj zabudowy i roślinności), litologia utworów powierzchniowych, typy gleb i in.

Celem niniejszego studium było wskazanie tych spośród czynników przestrzennych, które w istotny sposób wpływają na rozmieszczenie metali ciężkich w glebach badanego obszaru, określenie intensywności tego wpływu oraz stworzenie modelu rozmieszczenia zanieczyszczeń, który uwzględniałby wszystkie wskazane czynniki.

Analiza objęła obszar Nowej Huty, wschodniej dzielnicy Krakowa (rys. 1), szczególnie narażonej na wieloletnie wpływy obfitych źródeł zanieczyszczeń: Huty im. Sendzimira (dawniej Lenina), elektrociepłowni Łęg oraz centrum Krakowa, będącego obszarem niskiej emisji.

Wykorzystano wyniki analiz geochemicznych J. Szlugaja (1994), któremu autorzy bardzo dziękują za ich udostępnienie. Dane te oraz mapy obrazujące wspomniane czynniki przestrzenne zostały zamienione na postać cyfrową oraz przeanalizowane przez K. Foryciarza (1996). Wstępne wyniki tej analizy były już prezentowane (Magiera 1998, Foryciarz 1999). Niniejsza praca jest efektem ponownie przeprowadzonej, poszerzonej analizy.

Metoda

Zastosowano metodę nalizy przestrzennej (GIS) z użyciem oprogramowania rastrowego (IDRISI, Clark University, Worcester MA, USA; Kozak & Widacki 1997). Podstawą analizy były cyfrowe (rastrowe) mapy wymienionych wyżej czynników przestrzennych oraz rozmieszczenia metali ciężkich. Rozdzielczość rastra była nieco większa niż gęstość opróbowania i wynosiła 24 kolumny i 14 rzędów pikseli, przy wielkości piksela ok. 285 x 285 m.

Z powierzchni 24 km^2 pobrano 72 próby gleb, rozmieszczone w regularnej siatce (rys. 2), a następnie oznaczono w nich zawartość 7 metali ciężkich: Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn i Fe (Szlugaj 1994). Zawartości trzech z nich: Zn, Pb i Cd zostały użyte jako miara zanieczyszczenia gleb według formuły:

$$S = \sqrt{(Zn/_{200})^2 + (Pb/_{50})^2 + (Cd/_{3})^2}$$

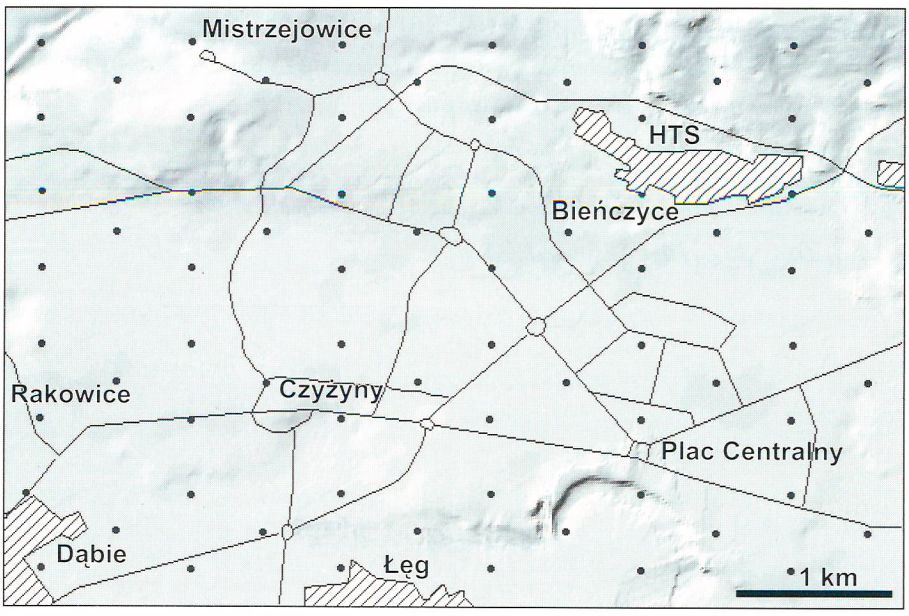
(Trafas i in., 1990). Została ona przedstawiona na mapie izoliniowej (rys. 3).

Ukształtowanie powierzchni terenu przedstawiono na trzech mapach: wysokości bezwzględnych, kątów nachylenia zboczy oraz kierunków ekspozycji zboczy. Przyjęto, że te trzy czynniki mogą mieć wpływ na intensywność sedymentacji metali ciężkich: wysokość – ze względu na częste warunki podinwersyjne i wynikającą stąd poziomą stratyfikację atmosfery, nachylenie i ekspozycja stoków – ze względu na przeważające wiatry z sektora zachodniego.

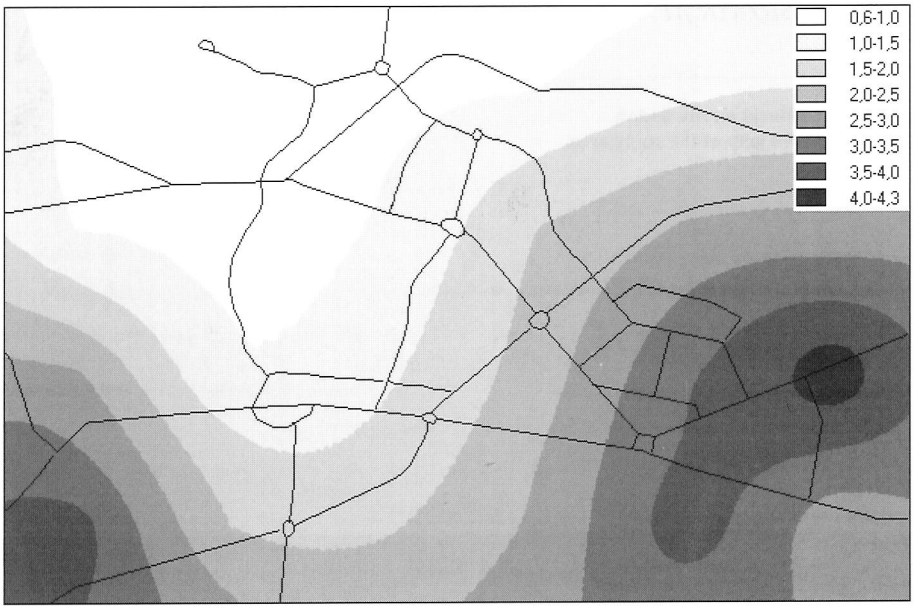
Na mapie zabudowy terenu wydzielono nową zabudowę niską, średnią i wysoką oraz starsze centrum, zakładając, że intensywność sedymentacji metali ciężkich z zawiesiny powietrznej zależy od własności aerodynamicznych zabudowy oraz od czasu. Podobne założenie umożliwiło wydzielenie na mapie trzech typów roślinności: niskiej (łąki, otwarte powierzchnie porośnięte trawą), średniej (krzewy, ogródki działkowe itp.) oraz wysokiej (drzewa, parki).

Kumulacja metali ciężkich w glebie zależy przede wszystkim od jej składu granulometrycznego, w szczegól-

Rys. 1. Lokalizacja terenu badań
Fig. 1. Location map of the study area



Rys. 2. Miejsca pobrania prób gleb do badań geochemicznych na tle cieniowanego modelu powierzchni terenowej i ważniejszych ulic oraz obszarów emisji zanieczyszczeń (zakreskowane)
Fig. 2. Sampling points over shaded DEM, streets network and emitters (chatched)



Rys. 3. Skumulowana zawartość metali ciężkich wg formuły:

$$S = \sqrt{(Zn/_{200})^2 + (Pb/_{50})^2 + (Cd/_{3})^2}$$

Fig. 3. Cumulated content of the heavy metals according to the formula:

$$S = \sqrt{(Zn/_{200})^2 + (Pb/_{50})^2 + (Cd/_{3})^2}$$

ności od zawartości minerałów ilastych o silnych własnościach sorpcyjnych (Trafas i in. 1990). Do analizy użyto zatem mapy gatunków gleb, oddających najlepiej związek gleby ze skałą macierzystą, a tym samym jej skład mineralny i ziarnowy. Dodatkowo uwzględniono geologię utworów powierzchniowych na podstawie *Szczegółowej mapy geologicznej Polski 1:50000, arkusz Kraków* (Rutkowski 1993).

Wreszcie odległość od granic głównych emiterów zanieczyszczeń, uznana za potencjalnie jeden z najważniejszych czynników wpływających na stężenie metali ciężkich w glebach, została przedstawiona na mapie izoliniowej.

Wszystkie mapy parametrów przestrzennych zostały zreklasyfikowane. Mapa wysokości terenu obejmowała 8 klas o szerokości 10 m, nachylenie stoków – 5 klas co 1 stopień, ekspozycja stoków – 8 klas co 45 stopni oraz teren poziomy, odległości od emiterów – 7 przedziałów co 500 m. Wydzielenia na pozostałych mapach otrzymały kody liczbowe.

Tak przygotowane dane poddane zostały analizie przestrzennej (rys. 4). W pierwszym etapie dokonano ekstrakcji liczbowych wartości stężenia metali ciężkich dla poszczególnych parametrów przestrzennych (procedura 1). Ekstrakcja ta polegała na tym, że na cyfrową mapę skumulowanego stężenia metali ciężkich (rys. 3) „nałożono" kolejno mapy wysokości bezwzględnych, nachylenia i ekspozycji stoków, zabudowy, zieleni, gleb, geologii powierzchniowej i odległości od emiterów, „odczytując" (ekstrahując): minima, maksima, średnie oraz odchylenia standardowe stężenia metali, spośród wartości występujących na obszarze poszczególnych wydzieleń (kategorii).

Następnie, przy użyciu testu t Studenta, oceniono zróżnicowanie wartości średnich pomiędzy kategoriami poszczególnych parametrów przestrzennych. Kategorie o zbliżonych średnich połączono (procedura 2). Otrzymano w ten sposób na nowo sklasyfikowane mapy czynników przestrzennych (rys. 5 –12), a poprzez powtórną ekstrakcję uzyskano wartości liczbowe dla nowo powstałych kategorii (tab. 1). Wartości te posłużyły do określenia zmienności (wariancji) stężenia metali ciężkich w kategoriach poszczególnych czynników przestrzennych względem zmienności w obrębie kategorii. Zastosowano testowanie rozkładu F Snedecora (procedura 4).

W teście tym miarą zmienności stężenia między kategoriami jest suma kwadratów różnic średniej z całego analizowanego obszaru i średnich w obrębie kategorii:

$$SQ_A = \sum n_i(\bar{x}_i - \bar{x})^2 ,$$

a miarą zmienności w obrębie kategorii - suma kwadratów różnic średniej i wartości stężeń w obrębie kategorii:

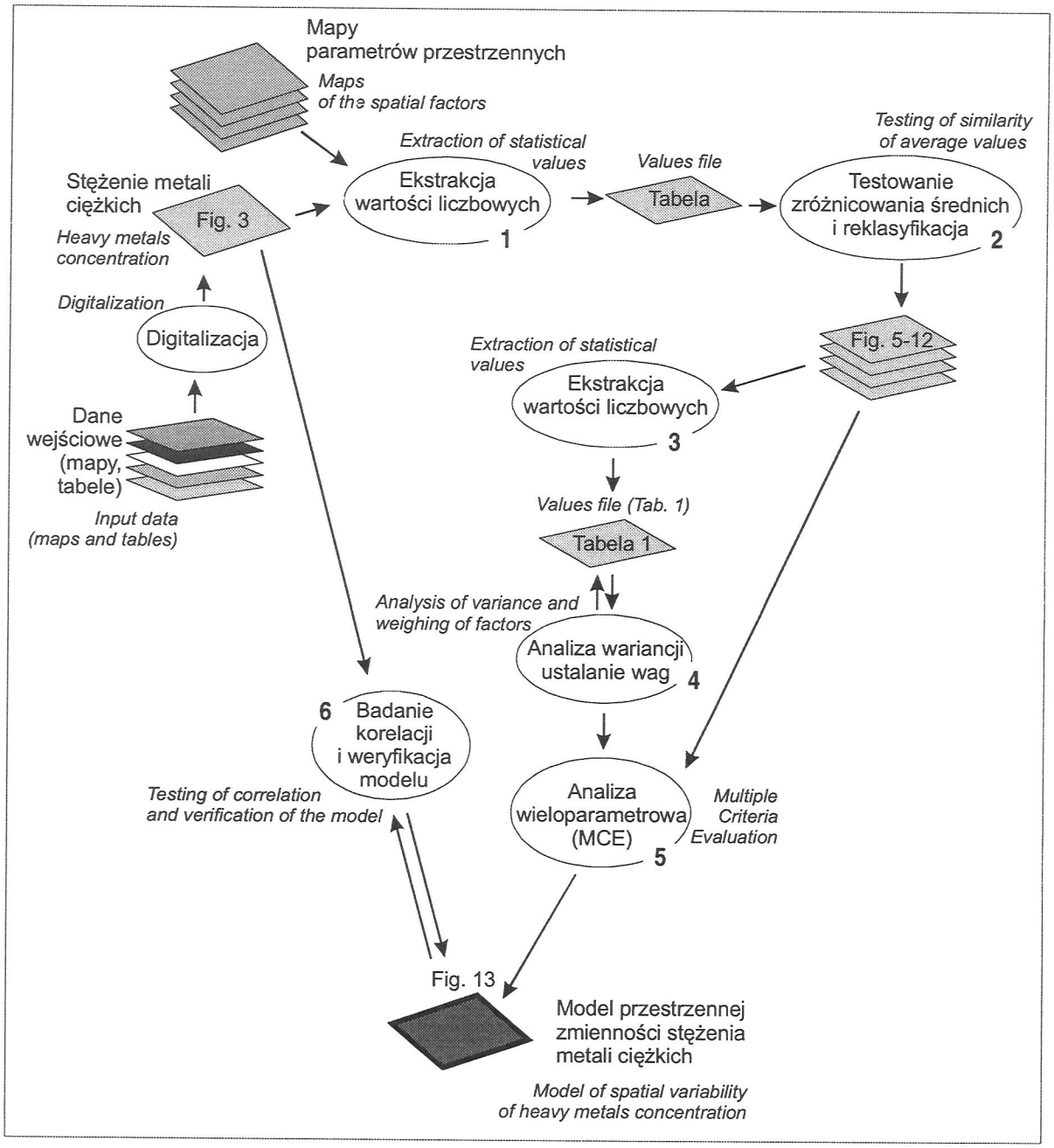
$$SQ_R = \sum\sum(x_{ij} - \bar{x}_i)^2 .$$

Decydujący dla testu jest stosunek tych kwadratów, uśrednionych względem liczebności kategorii ($f_A = p - 1$) i liczebności wszystkich próbek, czyli pikseli

$$(f_R = n - p): F = \frac{SQ_A / f_A}{SQ_A / SQ_R}$$

(Krawczyk, Słomka, 1994). Gdy F przekracza wartość krytyczną rozkładu, można uznać, że czynnik przestrzenny w sposób istotny wpływa na zróżnicowanie stężenia metali, przy czym im większe F, tym silniejsza zależność. W niniejszej analizie wartości krytyczne na poziomie istotności 0,05 wynosiły od 1,98 do 2,64, a wartości liczbowe statystyki F od 7,26 do 91,88 (tab. 1). Wartości te potwierdziły hipotezę, że stężenie metali w glebach zależy, niekiedy nawet bardzo ściśle, od wskazanych czynników przestrzennych. Posłużyły one ponadto do określenia wag poszczególnych czynników przestrzennych w następnym etapie - analizie wieloparametrowej. Zastosowano wagi proporcjonalne do wartości F.

Analiza wieloparametrowa (MCE - Multiple Criteria Evaluation) polega na obliczeniu średniej ważonej wszystkich istotnych czynników przestrzennych (procedura 5). Wynikiem jest mapa rastrowa - model rozmieszczenia zawartości metali ciężkich w glebach Nowej Huty (rys. 13). W ostatnim etapie (6) zweryfikowano otrzymany model przez analizę korelacji występujących w nim wartości z wartościami w miejscach pobrania prób do analizy geochemicznej.



Rys. 4. Diagram procedur analitycznych
Fig. 4. Flow-chart of the analytical procedures

Tabela 1. Czynniki przestrzenne i wyekstrahowane stężenia metali ciężkich.
Table 1. Spatial factors and extracted values of heavy metals content.

Czynnik przestrzenny *Spatial factor*		Kategoria *Classes*	Wartości wyekstrahowane *Values extracted*					
			min.	max.	średnia *average*	odch. stand. *std. dev.*	wariancja* *variance*	n (piksele) *n (pixels)*
Zabudowa *Building types*	1	bez zabudowy *no buildings*	0,68	4,19	**1,99**	0,99	23,35	184
	2	niska i średnia *low & medium*	0,67	2,37	**1,32**	0,58		38
	3	wysoka *high*	0,83	3,67	**1,86**	0,82		41
	4	stare centrum *old centre*	1,89	3,94	**3,11**	0,54		31
Wysokość terenu m npm *Height m asl*	1	197 - 210	1,32	4,19	**2,85**	0,69	48,88	109
	2	211 - 220	0,76	3,63	**1,87**	0,79		93
	3	221 - 230	0,72	3,11	**1,36**	0,62		32
	4	231 - 270	0,67	2,02	**1,00**	0,31		60
Geologia *Geology (drift)*	1	aluwia *alluvia* (holocen)	0,76	4,01	**2,59**	0,82	60,43	86
	2	piaski i żw. *sand & gravel* (plejst.)	0,76	4,19	**2,12**	0,93		123
	3	less *loess* (plejstocen)	0,67	3,64	**1,23**	0,63		85
Typy gleb *Soil types*	1	lessy i pyły *loess & silt*	0,67	4,19	**1,83**	0,95	20,62	247
	2	pyły ilaste i gliny pylaste *clayey silts &silty loams*	1,82	3,53	**2,65**	0,48		27
	3	iły pylaste *silty clays*	1,58	3,68	**2,99**	0,58		12
	4	gliny średnie i lekkie *loams*	3,25	3,69	**3,55**	0,14		8
Zieleń *Vegetation*	1	bez zieleni *no vegetation*	0,67	4,19	**1,92**	0,95	91,88	226
	2	niska i średnia *low & medium*	0,73	3,82	**2,06**	1,01		55
	3	wysoka *high*	2,12	3,75	**3,02**	0,55		13
Odległość od emiterów *Dist. from emiters* (m)	1	0-2000	0,68	4,19	**2,16**	0,93	12,65	236
	2	2001-2500	0,67	3,42	**1,50**	1,00		34
	3	2501-3000	0,72	2,91	**1,20**	0,76		18
	4	>3000	0,85	1,07	**0,95**	0,08		6
Nachylenie stoków (°) *Slope angle*	1	0-1	1,01	4,19	**2,72**	0,80	36,79	104
	2	1-2	0,67	3,88	**1,78**	0,88		127
	3	>2	0,68	3,40	**1,26**	0,59		63
Ekspozycja stoków *Slope aspect*	1	N-SE i poziome *N-SE & horiz.*	0,67	4,19	**2,24**	1,09	7,26	106
	2	S-SW	0,68	4,01	**1,94**	0,88		172
	3	W	0,70	2,72	**1,21**	0,57		12
	4	NW	0,73	0,97	**0,83**	0,10		4

*) rozkład F Snedecora *F statistics (Snedecor)*

Wyniki i ich interpretacja

Analiza wariancji wykazała, że koncentracja metali ciężkich wydaje się najbardziej uzależniona od rodzaju roślinności (F = 91,88), geologii osadów powierzchniowych (60,43), wzniesienia terenu (48,88) i nachylenia stoków (36,79), mniej od rodzaju zabudowy (23,35), typów gleb (20,62), odległości od emiterów (12,65) i ekspozycji stoków (7,26).

Zgodnie z przewidywaniami największa koncentracja metali ciężkich występuje w glebach pod drzewami. Drzewa stanowią istotną przeszkodę aerodynamiczną, a dodatkowe ilości metali ciężkich wychwytywanych przez liście dostają się do gleby po ich opadnięciu. Nieco mniejsza jest kontaminacja gleb pokrytych krzewami i trawą. W przypadku zabudowy najbardziej zanieczyszczone, również zgodnie z przewidywaniami, są gleby starego centrum, najmniej – w obrębie nowej, niskiej zabudowy. Z kolei najwyższą koncentrację wykazują obszary położone nisko, w dolinie Wisły. Zapewne jest to efekt częstych inwersji temperaturowych, powodujących opadanie zimnego, zanieczyszczonego powietrza i kumulację zanieczyszczeń gazowych i pyłowych w przyziemnej warstwie atmosfery. Z najsilniejszą koncentracją mamy do czynienia w glebach gliniastych, obfitujących w silnie sorbujące minerały ilaste, mniejszą - w glebach ilasto-pylastych i gliniasto-piaszczystych, najmniejszą w glebach pylastych (lessach) i mułowych. Koncentracja ta jest szczególnie wysoka tam, gdzie gleby te występują na podłożu osadów aluwialnych, a najmniejsza – na podłożu lessowym. Rola tego czynnika może być jednak zniekształcona przez znaczną dysproporcję między powierzchnią zajętą przez gleby lessowe i pylaste a powierzchnią gleb aluwialnych w dolinie Wisły. Wreszcie zawartość metali ciężkich zmniejsza się dość wyraźnie w miarę oddalania się od zdefiniowanych tu źródeł zanieczyszczeń.

Widoczne jest ponadto wyraźne zwiększenie zawartości metali na terenach poziomych oraz na stokach nachylonych na północ, północny wschód, wschód i południowy wschód, w stosunku do stoków eksponowanych ogólnie na zachód. Może to być ślad wpływu przeważających wiatrów z zachodu, które sprzyjają sedymentacji zawiesin na stokach zawietrznych. Jednak trudno jest jednoznacznie przypisać temu czynnikowi bardzo znaczącą rolę, jak na to wskazywałaby wysoka wartość statystyki F (36,79), wobec ogólnie bardzo mało zróżnicowanego nachylenia stoków na analizowanym obszarze, gdzie stoki bardziej strome niż 2^0 zajmują niewielką powierzchnię (rys. 6).

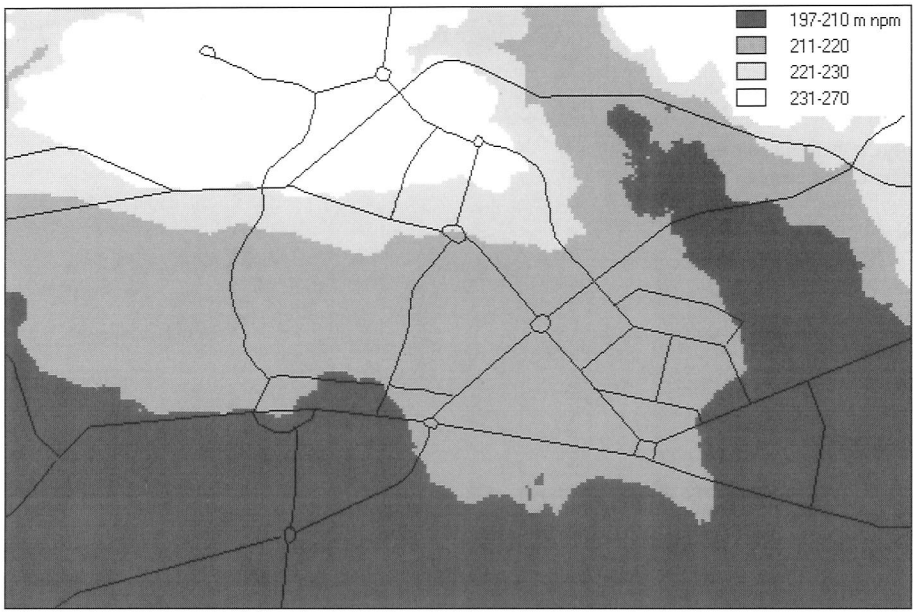
Model rozmieszczenia metali ciężkich w glebach Nowej Huty, otrzymany w wyniku zastosowania analizy wieloparametrowej (MCE), ukazuje mozaikę, z której wyróżniają się kształty pól czynników przestrzennych bardziej znaczących, a więc roślinności, osadów powierzchniowych, hipsometrii terenu, rodzaju zabudowy i typów gleb, natomiast czynniki mniej znaczące są tam gorzej widoczne (rys. 13). Model ten jest ogólnie zgodny z mapą skumulowanego stężenia metali ciężkich (rys. 3). Wskazuje on na najwyższą koncentrację w południowo-wschodniej i południowo-zachodniej części terenu, podczas gdy część północna i centralna ma koncentrację mniejszą. Zgodność tę potwierdza wysoki współczynnik korelacji obu map, wynoszący 0,68.

Wnioski

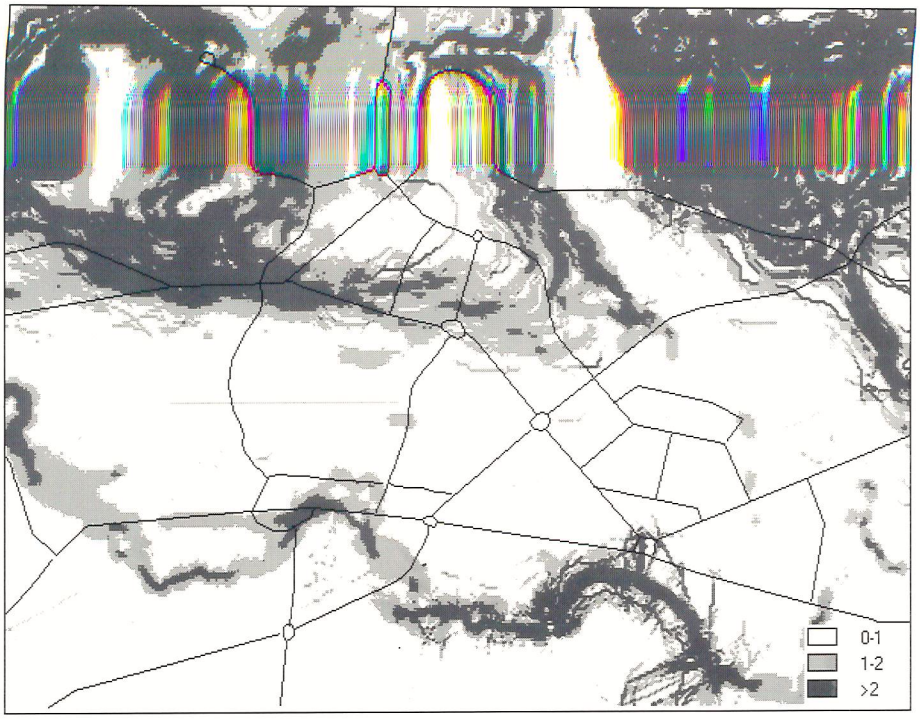
Zastosowana w niniejszej pracy wieloparametrowa analiza przestrzenna (MCE) miała na celu określenie roli ośmiu, uznanych za najważniejsze, czynników geograficznych kształtujących zmienność stężenia skumulowanej zawartości metali ciężkich w glebach Nowej Huty. Rola pięciu spośród tych czynników okazała się znacząca, trzy pozostałe odgrywają prawdopodobnie mniejszą rolę. Otrzymany model zmienności wykazuje znaczącą zgodność z danymi geochemicznymi. Współczynnik korelacji 0,68 wskazuje na poprawność zdefiniowania najbardziej istotnych czynników przestrzennych wpływających na rozmieszczenie metali ciężkich w glebach oraz na poprawność całego modelu.

Jest to jednak model przybliżony. Nie można wykluczyć, że zastosowane procedury analityczne nie zawsze uwzględniają zdefiniowane tu czynniki geograficzne we właściwy bądź odpowiednio precyzyjny sposób. Jest też prawdopodobne, że istnieją jeszcze inne, istotne, a nie uwzględnione czynniki. Stosowanie metody analizy przestrzennej (GIS) w badaniu rozmieszczenia metali ciężkich wymaga dalszego testowania. Otrzymany tu model powinien zostać zweryfikowany przez porównanie z niezależnym, dodatkowym zestawem danych geochemicznych dla tego samego obszaru. Weryfikacja taka zostanie dokonana po pojawieniu się nowych danych.

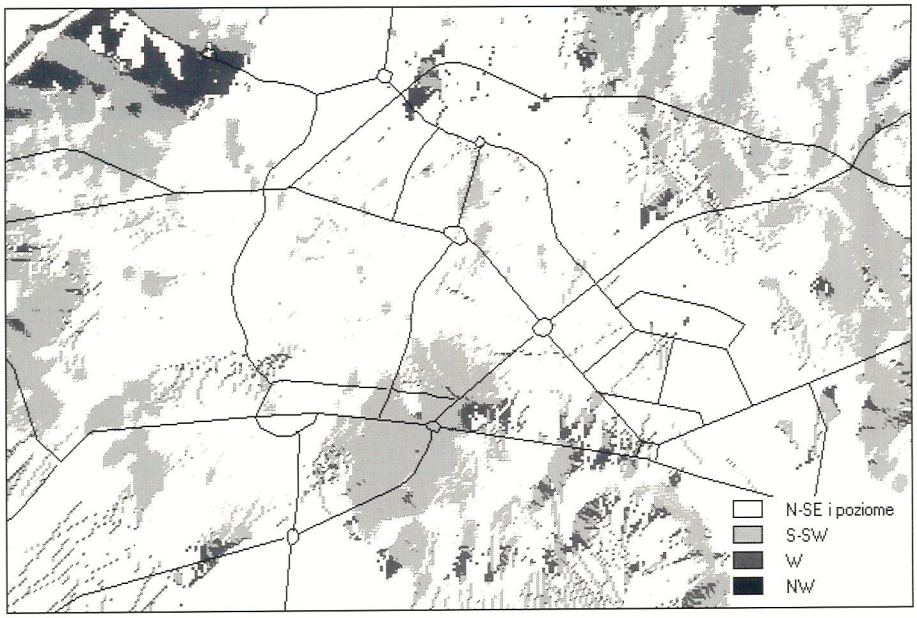
Analogiczne zastosowanie GIS (Bartuś 1999) wskazuje jednak na użyteczność tej metody. Równie przydatna okazała się ona w dziedzinach pokrewnych, jak np. w badaniach odporności zbiorników wód podziemnych na zanieczyszczenia (Żurek et al. 1999), podatności terenu na zmiany środowiskowe (Koščak et al. 1999)



Rys. 5. Wysokość terenu w m npm.
Fig. 5. Elevation in m asl.



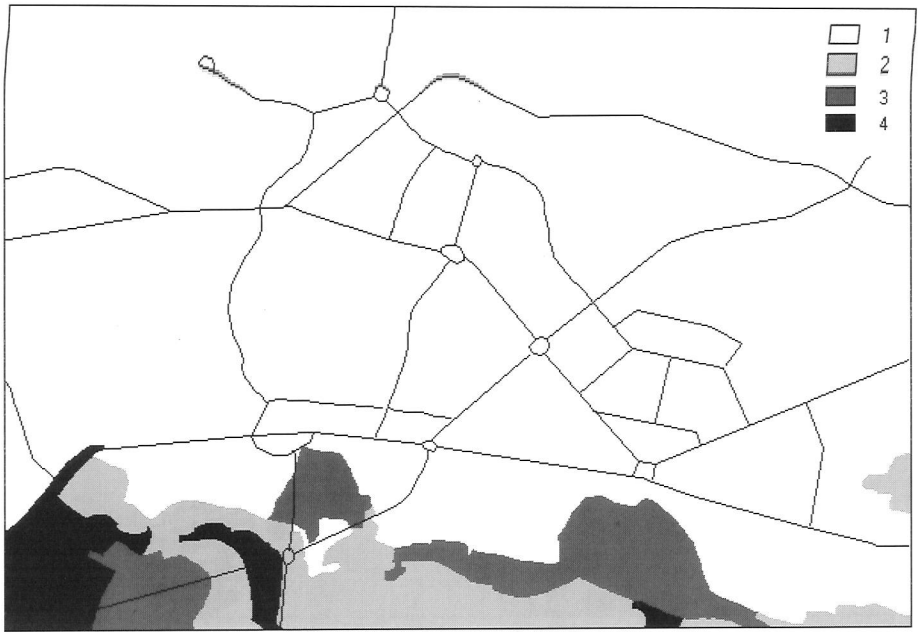
Rys. 6. Nachylenie stoków w stopniach
Fig. 6. Slope angles in degrees



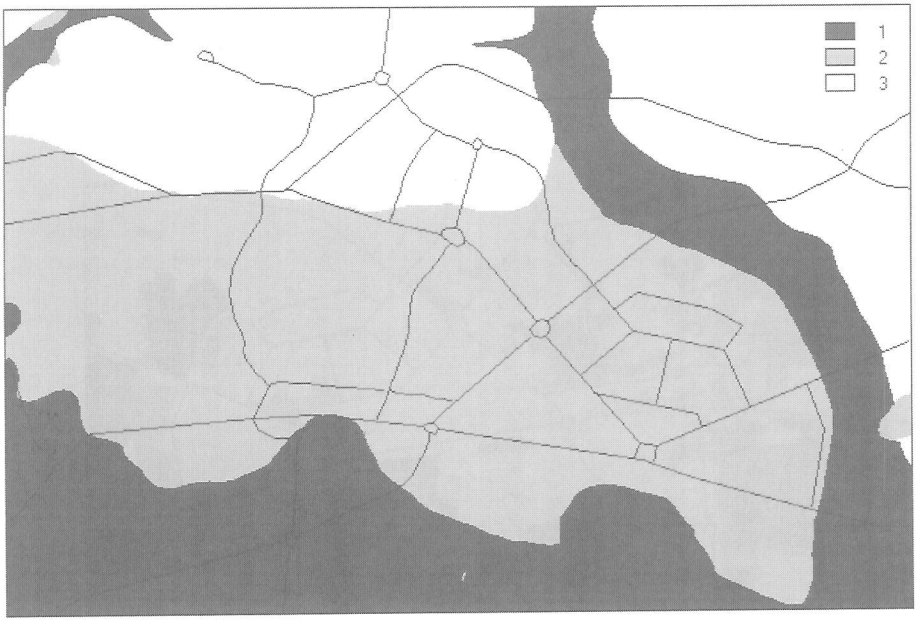
Rys. 7. Kierunki ekspozycji stoków
Fig. 7. Slope aspect

Rys. 8. Zabudowa: 1 – brak, 2 - nowa niska, 3 – nowa średnia i wysoka, 4 – stare centrum
Fig. 8. Buildings: 1 – no, 2 - new low, 3 – new medium and high stacked, 4 – old centre

Rys. 9. Zieleń: 1 – brak, 2 – niska (łąki) i średnia (działki, krzewy), 3 – wysoka (parki, drzewa)
Fig. 9. Vegetation: 1 – no vegetation, 2 – low (meadows) and medium (shrubs, gardens), 3 – high (parks, trees)



Rys. 10. Gatunki gleb: 1 – lessy i pyły, 2 – pyły ilaste i gliny pylaste, 3 – iły pylaste, 4 – gliny średnie i lekkie
Fig. 10. Soil types: 1 – loess and silt, 2 – clayey silt and silty loam, 3 – silty clay, 4 – medium and light loams



Rys. 11. Geologia: holocen: 1 – mady; plejstocen: 2 – piaski i żwiry terasy wysokiej, 3 – lessy
Fig. 11. Surficial (drift) geology: Holocene: 1 – alluvial loam; Pleistocene: 2 – sand and gravel, 3 – loess

Rys. 12. Odległości od głównych emiterów zanieczyszczeń atmosferycznych
Fig. 12. Distances from main emiters of atmospheric pollution

Rys. 13. Skumulowane stężenie metali ciężkich w glebach Nowej Huty. Model cyfrowy otrzymany metodą MCE.
Fig. 13. Cumulated content of the heavy metals in the soil of the Nowa Huta. Digital model by the MCE method.

czy w analizie sozologicznej na potrzeby *Mapy geologiczno-gospodarczej Polski 1:50.000* (Magiera 1998).

Prace są kontynuowane głównie w celu znalezienia wszystkich istotnych czynników przestrzennych, powiększenia zbioru danych oraz doboru właściwych parametrów modelowania, szczególnie tych wynikających z badań korelacji.

Autorzy dziękują prof. Andrzejowi Krawczykowi za bardzo owocną dyskusję nad założeniami metodycznymi pracy.

Bibliografia

Bartuś T. (1999): *Badania zawartości metali ciężkich w glebach gminy Oświęcim przy użyciu GIS,* (w:) "Spatial Information Management in the New Millenium". Int. Conf. Proc., Kraków 86-97.

Foryciarz K. (1996): *Wykorzystanie GIS w monitoringu geochemicznym gleb i aluwiów*. Praca magisterska; maszynopis; arch. Katedry Złóż Surowców Skalnych Wydz. GGiOŚ AGH, Kraków.

Foryciarz K. (1999): *Wpływ czynników naturalnych na koncentrację zanieczyszczeń gleb w środowisku miejskim*, (w:) "Spatial Information Management in the New Millenium". Int. Conf. Proc., Kraków: 76-86.

Koščak V., Mlakar A. & Marušič J. (1999): *Environmental vulnerability study of the Riparian landscape of the river Kupa*. Ibidem: 120-129.

Kozak J. & Widacki W. (1997): *Wprowadzenie do systemów informacji geograficznej*. Inst. Geogr. UJ. Wyd. TEXT, Kraków: cz.1: 95, cz. 2: 95.

Krawczyk A. & Słomka T. (1994): *Podstawowe metody matematyczne w geologii.* Wyd. AGH, Kraków: 168.

Magiera J. (1998): *Applications of the GIS techniques in geological and environmental studies*, (w:) GIS Croatia. Int. Conf. Proc., Osijek: 104-111.

Rutkowski J. (1993): *Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50.000, arkusz Kraków*. Wyd. PIG, Warszawa.

Szlugaj J. (1994): *Metale ciężkie w glebach na obszarze oddziaływania Huty im. T. Sendzimira w Krakowie*. Praca magisterska; maszynopis; arch. Zakł. Geochemii Środowiska Wydz. GGiOŚ AGH, Kraków.

Trafas M., Gruszczyński S., Gruszczyńska J., Zawodny Z. (1980): *Zmiany własności gleb wywołane wpływami przemysłu w rejonie olkuskim.* Zesz. Nauk. AGH, Sozologia i sozotechnika, 32, Kraków.

Żurek A., Duda R., Foryciarz K. & Kolat W. (1999): *Rangowa ocena odporności zbiorników wód podziemnych z wykorzystaniem GIS,* (w:) Spatial Information Management in the New Millenium, Int. Conf. Proc., Kraków: 129-136.

GEOINFORMATICA POLONICA
2 : 2000

BARBARA NAMYSŁOWSKA – WILCZYŃSKA[1],
ARTUR WILCZYŃSKI[2]

BADANIA GEOSTATYSTYCZNE ROZKŁADU ZAWARTOŚCI METALI CIĘŻKICH W GRUNTACH

Abstrakt

W artykule przedstawiono metodologię badawczą związaną z metodami geostatystyki liniowej (wariogram, kriging, kokriging), jak też nieliniowej (wariogram wskaźnikowy, kriging wskaźnikowy, symulacja warunkowa – turning bands), zastosowaną do przetwarzania danych pochodzących z monitoringu środowiskowego. Dane wejściowe do badań geostatystycznych stanowiły wyniki analiz chemicznych koncentracji zawartości w glebach metali ciężkich, tj. cynku, ołowiu, kadmu i chromu. Analizy te wykonano dla przypowierzchniowej warstwy gruntów o grubości 0,20m. Podstawą analizy geostatystycznej była baza danych zawierająca oznaczenia zawartości metali ciężkich: Zn, Pb, Cd i Cr oraz współrzędne X i Y, określające lokalizacje poboru próbek gleby. Analizowano zasięg i stopień zanieczyszczenia gleb w rejonach znajdujących się w obszarze bezpośredniego oddziaływania przemysłu górniczo-hutniczego. Proponowane metody geostatystyczne reprezentują użyteczne narzędzia do identyfikacji anomalii geochemicznych koncentracji zawartości metali ciężkich i innych składników toksycznych w gruntach, symulacji zanieczyszczenia oraz obliczania prawdopodobieństwa wystąpienia stref o wysokim ryzyku zagrożenia.

GEOSTATISTICAL STUDIES OF DISTRIBUTION OF HEAVY METALS CONTENT IN SOILS

Abstract

A research methodology, based on linear (variogram, kriging, co-kriging) and nonlinear geostatistics (indicator variogram, indicator kriging, conditional (turning bands) simulation), applied to the processing of environmental monitoring data is presented. Chemical analyses of heavy metals (zinc, lead, cadmium, chromium) concentrations in soils for a 0.20 m thick surface soil layer were used as input data. A database containing the data on: Zn, Pb, Cd and Cr content and coordinates X and Y specifying the sample locations constituted a basis for the geostatistical analysis. The extent and degree of soil pollution in areas directly exposed to the adverse effect of mining and metallurgical industries were analyzed.

The proposed geostatistical methods are useful tools for identifying geochemical anomalies in heavy metal and other toxic constituent concentrations in soils, simulating pollution and calculating the probability of occurrence of high - hazard zones.

[1]Instytut Geotechniki i Hydrotechniki – PolitechnikaWrocławska
[2]Instytut Energoelektryki – Politechnika Wrocławska

1. Wprowadzenie

Przetwarzanie informacji w bazach danych wymaga zastosowania efektywnych metod ich analizy. Takie właśnie możliwości daje geostatystyka, reprezentująca gałąź statystyki stosowanej – przestrzennej (Matheron 1962, Isaaks, Srivastava 1989, Namysłowska-Wilczyńska 1993, Wackernagel 1995, Armstrong 1998). Metody geostatystyki liniowej, tj. funkcja wariogramu, techniki estymacyjne - kriging, kokriging, jak też geostatystyki nieliniowej - wariogram wskaźnikowy, kriging wskaźnikowy i symulacja warunkowa - turning bands, zostały zastosowane do przetwarzania danych środowiskowych (Armstrong 1998, Isaaks 1989, Namysłowska-Wilczyńska, Wilczyński 1997, 1997, 1999, 1999, 2000, Namysłowska-Wilczyńska, Pyra 2000, Namysłowska-Wilczyńska, Rusak 2000, LA FEUILLE 1999, Research News 1996, 1999, 2000).

Metody geostatystyczne są stosowane przy rozwiązywaniu różnych zagadnień związanych z ekologią i ochroną środowiska, na przykład do przeprowadzania ocen zanieczyszczenia gruntów, powietrza, wód podziemnych, a także przy kontroli ich jakości (Kokesz, Nieć 1992, Wiatr 1996). Autorzy tych prac wskazywali na ich przydatność do przestrzennego monitorowania rozkładu koncentracji zanieczyszczeń (m.in. zawartości składników toksycznych i szkodliwych), do wykrywania ich źródeł i oceny rozprzestrzenienia oraz stanu zagrożenia środowiska. Modelowanie matematyczne danych środowiskowych ma istotne znaczenie dla poprawności wykonywanych analiz stopnia degradacji poszczególnych elementów środowiska naturalnego, przy sporządzaniu krótko- i długoterminowych prognoz. Geostatystykę wykorzystuje się też w procesie zarządzania odpadami toksycznymi, zdeponowanymi na hałdach kopalnianych i w osadnikach, oraz odpadami nuklearnymi, podczas prac związanych z rekultywacją terenu skażonego. Inne aktualne obszary jej zastosowania dotyczą przede wszystkim przetwarzania danych związanych z geologią zbiorników węglowodorowych – ropy naftowej i gazu ziemnego, a także z klimatologią, epidemiologią, hydrologią oraz finansami.

W pierwszej części artykułu zaprezentowano metodologię badawczą wykorzystującą wymienione wyżej metody, na przykładzie danych standardowych z oprogramowania ISATIS. Uwzględniono dane pochodzące z Laboratoire Cantonal d'Agronomie w Genewie, w Szwajcarii, załączone w pakiecie programów statystycznych i geostatystycznych ISATIS (ISATIS User's Guide 1997). Dane wejściowe do analizy geostatystycznej dotyczyły oznaczeń zawartości dwóch metali ciężkich w gruntach, mianowicie cynku Zn i ołowiu Pb. Scharakteryzowano kolejne kroki analizy strukturalnej (jedno- i wielowymiarowej) oraz sposoby przeprowadzenia interpolacji tych zmiennych w sieci regularnej za pomocą krigingu i kokrigingu. Wykonano następnie obliczenia związane z zastosowaniem symulacji warunkowej - turning bands, która umożliwia dokładne odzwierciedlenie zmienności zawartości metali ciężkich, a także otrzymanie mapy prawdopodobieństwa przekroczenia danego progu zanieczyszczenia dla analizowanej zmiennej (wartości progowej zawartości metalu ciężkiego). Wszystkie obliczenia związane z estymacją zawartości Zn i Pb oraz symulacją zawartości Zn, z wykorzystaniem wspomnianych wyżej danych standardowych, zostały wykonane przez autorów pracy.

W następnej części artykułu zaprezentowano wyniki użycia wspomnianych wyżej metod geostatystycznych do oceny stanu zanieczyszczenia gruntów metalami ciężkimi – cynkiem Zn, ołowiem Pb, kadmem Cd i chromem Cr w wybranych rejonach Górnego Śląska, tj. w rejonie Dąbrowy Górniczej i Tarnowskich Gór. Podstawę analizy stanowiły dane dotyczące zawartości metali ciężkich, pochodzące z monitoringu środowiskowego wykonanego w byłym województwie katowickim w latach 1982 – 1992.

Obliczenia związane z estymacją i symulacją zanieczyszczenia zostały przeprowadzone dla całych obszarów badania, określonych interwałem wartości współrzędnych X i Y, zawartych w bazach danych środowiskowych.

2. Możliwości metod geostatystycznych

2.1. Wstępna ocena statystyczna

Przygotowana do analizy geostatystycznej baza danych zawierała wartości współrzędnych X i Y oraz dane dotyczące zawartości metali Pb i Zn. Liczebność tych danych wynosiła 101 próbek – w przypadku Zn i 102 próbki dla Pb. W obliczeniach wykorzystano pakiet programów geostatystycznych ISATIS – wersja 3.1 (ISATIS User's Guide 1997), wersja 3.2 i wersja 3.2.1 (ISATIS Software

Tabela 1. Podstawowe informacje dla analizowanego zbioru danych
Table 1. Basic informations for the analysed data set

Zmienna	Liczebność próbek N	Wartość minimalna	Wartość maksymalna
Współrzędna x [km]	102	109,85	143,01
Współrzędna y [km]	102	483,66	513,04
ołów Pb [ppm]	102	1,09	33,20
cynk Zn [ppm]	101	3,00	31,60

Tabela 2. Wyniki obliczeñ podstawowych parametrów statystycznych
Table 2. Results of calculations of basic statistical parameters

Zmienna	Liczebność N	Wartość minimalna	Wartość maksymalna	Średnia $\bar{x}$	Odchylenie standardowe s	Wariancja s^2	Skośność	Kurtoza	Współczynnik zmienności V [%]
Zn	101	3,00	31,60	6,10	3,59	12,92	4,98	32,56	58,9
Pb	102	1,09	33, 20	3,35	3,69	13,62	5,18	31,82	110,0

Tabela 3. Macierz korelacyjna
Table 3. Correlation matrix

Zn	1	0,88
Pb	0,88	1

Manual 2000), zakupiony w Firmie GEOVARIANCES w Avon Cedex we Francji.

Wykonano obliczenia podstawowych parametrów statystycznych (Tabele 1-2) i histogramów rozkładów zawartości cynku i ołowiu (rysunki 1-2), a następnie obliczono współczynnik korelacji liniowej r zawartości Zn i zawartości Pb (Tabela 3).

Zawartości cynku w gruntach są wyższe niż ołowiu, o czym świadczą znacznie wyższe wartości średnie Zn, a ponadto wyższe wartości minimalne i maksymalne dla tego metalu (Tabela 2). Zauważa się też wyraźnie mniejszą zmienność zanieczyszczenia cynkiem (V_{Zn}-59%) w porównaniu z zanieczyszczeniem ołowiem (V_{Pb}-110%) (Tabela 3). Histogramy rozkładów zawartości obu metali wykazują asymetrię prawostronną (Tabela 2, rysunki 1-2). Zawartości obu rozważanych metali są wysoko skorelowane (Tabela 3).

2.2. Dopasowanie modeli wariogramów

Funkcja wariogramu $\gamma(h)$ pozwala nam scharakteryzować zmienność przestrzenną badanego parametru, zarówno związaną z odległością, jak i zmienność w czasie, zaś wariogram stanowi najlepszą jej miarę (Armstrong 1998, Isaaks, Srivastava 1989). Po zamodelowaniu struktury korelacji przestrzennej, modele te są wykorzystywane przez techniki estymacyjne krigingu. Obliczono izotropowe, uśrednione wariogramy empiryczne, analizując wartości funkcji γ (h), w zależności od odległości, a następnie przeprowadzono aproksymację ich przebiegów modelami teoretycznymi. W przypadku obu rozważanych metali ciężkich użyto modelu liniowego z efektem samorodków (rysunki 3 i 4).

Początkowe punkty na wykresach wariogramów empirycznych zawartości metali Pb i Zn, obliczone dla liczebności mniejszej niż 30 par, są na etapie modelowania wariogramów funkcjami analitycznymi, usuwane z analizy strukturalnej. Dopasowanie modelu przeprowadza się wówczas interaktywnie, a następnie akceptuje się poprzez włączenie opcji automatycznej aproksymacji.

W dalszym etapie wyznaczono wzajemny wariogram empiryczny Zn/Pb i dopasowano złożoną strukturę modelu (modele: wykładniczy i liniowy oraz efekt samorodków – rys. 5). Wariogram ten umożliwia prześledzenie łącznej zmienności obu analizowanych metali. Uwzględnienie parametrów modeli wariogramu wzajemnego pozwala następnie na zastosowanie techniki kokrigingu do oszacowania średnich wartości interesującej nas zmiennej, także z wykorzystaniem danych dotyczących wartości innej zmiennej (traktowanej jako pomocnicza).

W następnej części analizy zastosowano procedurę krosswalidacji - wzajemnego testowania zgodności przyjętych modeli teoretycznych z wariogramem empirycznym, w odniesieniu do zawartości Zn.

2.3. Krosswalidacja

Krosswalidacja polega na usuwaniu kolejno jednego punktu spośród danych i ponownym oszacowaniu wartości badanego parametru w jego lokalizacji, za pomocą krigingu, na podstawie informacji sąsiednich użytych do prognozowania, z uwzględnieniem poprzednio dopasowanego modelu (Matheron 1962, Wackernagel 1995). Innym istotnym parametrem tej fazy analizy strukturalnej jest pojęcie obszaru sąsiedztwa, które przekazuje systemowi obliczeniowemu; chodzi o to jakie punkty danych, położone dość blisko szacowanego punktu, będą używane podczas ponownej estymacji. W omawianym przypadku analizy, ze względu na małą liczbę punktów, stosuje się tzw. ustalone sąsiedztwo. Oznacza to, że każda informacja jest systematycznie wykorzystywana podczas estymacji średniej wartości Z* dla poszczególnych węzłów sieciowych na analizowanym obszarze. Kiedy dany punkt jest rozważany, technika krigingu dostarcza wartość szacowaną Z*, która może być porównywana ze wstępną znaną wartością Z i z odchyleniem standardowym estymacji s^*_k. Ta ostatnia wielkość zależy od przyjętego modelu wariogramu i lokalizacji informacji sąsiednich. Błąd empiryczny między wartościami estymowanymi Z* i wartościami prawdziwymi Z [Z-Z*] jest - dla uzyskania błędu standaryzowanego - ważony za pomocą prognozowanego odchylenia standardowego estymacji (s^*_k). Wielkość ta charakteryzuje jakość dopasowania. W wyniku wykonanych obliczeń statystycznych uzyskuje się średnią i wariancję błędów oryginalnych reestymacji oraz błędów standaryzowanych. Przy założeniu rozkładu normalnego, za daną odbiegającą uważa się wartość, która znalazła się poza wymienionym przedziałem [-2,5 – +2,5] (5% wartości ekstremalnych rozkładu normalnego).

W wyniku przeprowadzenia obliczeń krosswalidacji, z uwzględnieniem liczebności 102 danych i parametrów modelu wariogramu wzajemnego Zn-Pb (rys. 5), otrzymano dla zawartości Zn (rys. 6.):

- mapę bazową danych oryginalnych,
- histogram błędów standaryzowanych reestymacji,
- wykres rozproszenia danych rzeczywistych (oryginalnych) na tle wartości reestymowanych (elipsa Krige'a),
- wykres rozproszenia błędów standaryzowanych reestymacji na tle wartości reestymowanych.

Otrzymane wyniki, związane z zastosowaniem krosswalidacji, dotyczące oceny zawartości cynku Zn, pozwalają na zaakceptowanie przyjętej struktury modelu wariogramów. Stwierdza się bardzo niewiele wartości „odbiegających", zaznaczonych na rysunkach jako punkty zakropkowane (rys. 6).

3. Estymacja

Zagadnienie przestrzennego szacowania zanieczyszczenia gruntów metalami ciężkimi było analizowane z wykorzystaniem procedury krigingu zwyczajnego (punktowego). Kriging zwyczajny wykorzystuje pomiary w punktach opróbowania do oszacowania wartości rozważanej zmiennej w innych lokalizacjach – w miejscach nieopróbowanych. Metody krigingowe zostały omówione szczegółowo w wielu publikacjach, m.in. w pracach (Van der Meer, Stolle 1992, Van der Meer 1993, Wackernagel 1995, Armstrong 1998), w tym również polskich autorów (Kokesz, Nieć 1992, Namysłowska-Wilczyńska 1993).

W kringingu zwyczajnym przyjmuje się istnienie izotropii i niewystępowanie trendu w zachowaniu się wartości zmiennej zregionalizowanej. Średnie lokalne nie są ściśle związane ze średnią populacji i do obliczania średniej estymowanej Z* używa się próbek tylko z lokalnego sąsiedztwa. Średnie estymowane, obliczane dla bloków elementarnych (kriging blokowy) lub węzłów sieciowych (kriging punktowy), stanowią średnie ważone, uzyskiwane na podstawie małego zbioru sąsiednich, znanych punktów kontrolnych. Błąd średniokwadratowy ocen średnich wartości estymowanych jest minimalizowany.

Uwzględniając wartości wyznaczonych parametrów modeli geostatystycznych - wariancji progowej, efektu samorodków i zasięgu oddziaływania, podczas aproksymacji wariogramów empirycznych modelami teoretycznymi (rysunki 3-5) przeprowadzono estymację zawartości metali ciężkich, Zn i Pb, z zastosowaniem krigingu zwyczajnego (punktowego). W związku z tym analizowany obszar pokryto siatką elementarną o wymiarach 1km x 1km (rys. 7). Wartości średnich estymowanych interpolowano dla węzłów sieciowych siatki elementarnej. Całkowita ich liczebność wynosiła 1225. Ze względu na małą liczebność danych w procesie estymacji wartości średnich Z* dla węzłów sieciowych zastosowano tzw. „sąsiedztwo ustalone" (unique neighborhood). Oznacza to, że każda informacja będzie systematycznie używana podczas estymacji. Gdy stosuje się krosswalidację, poszczególne punkty danych są kolejno usuwane, a następnie ponownie szacowane na podstawie wszystkich pozostałych danych.

W rezultacie obliczeń wykonanych z zastosowaniem krigingu dla dowolnego punktu badanego obszaru na który nałożono siatkę, na przykład, o współrzędnych x =115 km, y = 494,5 km uzyskuje się dla zawartości Zn:

- całkowitą sumę wag krigingu, przypisanych próbkom wchodzącym do estymacji = 1,00;
- parametry Lagrange'a 0,08;
- wartość estymowaną Z* = 7,31;
- wariancję estymacji $s_k^2 = 4,55$;
- standardowe odchylenie estymacji $s_k = 2,13$;
- wariancję wartości estymowanej = 5,51;
- kowariancję między wartością oryginalną Z i wartością estymowaną Z* = 5,59;
- korelację między wartością oryginalną Z a wartością estymowaną Z* = 0,74;
- nachylenie linii regresji Z/Z* (wartości oryginalne Z, w stosunku do wartości estymowanych Z*) = 1,01;
- nachylenie linii regresji Z*/Z (wartości estymowane Z* w stosunku do wartości oryginalnych Z) = 0,55;
- udział składnika losowego (szumu) = 1,82.

3.1. Kriging

Rezultaty wykonanej estymacji przedstawiono na mapach rastrowych średnich estymowanych Z* zawartości cynku (rys. 8) i ołowiu (rys. 9) oraz mapach rastrowych odchyleń standardowych estymacji s_k (rys. 10 i rys. 11). Mapy te pokazują przestrzenny obraz rozkładu zawartości analizowanych metali, w obrębie obszaru objętego monitoringiem środowiskowym, a także wyniki ekstrapolacji poza jego granicami.

Dostrzega się występowanie jednego większego centrum o podwyższonych zawartościach Zn i Pb (rys. 8-9). Centrum wyższej koncentracji zawartości Zn składa się z dwóch mniejszych podcentrów łączących się ze sobą. Występuje też słabsze centrum, zaznaczające się w południowej części obszaru objętego monitoringiem (rys. 8). Strefa o podwyższonej zawartości Pb jest mniejsza, a ponadto zaznaczają się jeszcze inne podcentra, jedno o mniejszych wymiarach powierzchni w stosunku do głównego centrum Pb i dwa słabsze (rys. 9).

Na mapach rastrowych standardowego odchylenia estymacji (krigingu) s_k można dostrzec znacznie większe podobszary niższych wartości s_k w przypadku zawartości Zn (rys. 10) niż w przypadku zawartości Pb (rys. 11). Odchylenia wartości s_k są wyraźnie większe dla Pb, co wynika z większej zmienności zawartości tego metalu.

Z badań Kokesza i Muchy (1983), przeprowadzonych w celu ustalenia wpływu doboru modeli teoretycznych, dopasowanych do wariogramów empirycznych, na wartość błędu ekstensji, na przykładzie złoża Zn-Pb kopalni Trzebionka, wynika, iż błędy te wykazują niewielkie zróżnicowanie. Autorzy niniejszej pracy analizowali jedynie standardowe odchylenie estymacji s_k (tzw. odchylenie krigingu) przy zastosowaniu modelu liniowego wariogramu. Próba uwzględnienia innych modeli wariogramów obu metali (model J – Bessela) niż przedstawione na rysunkach 3-4 w p.2.2. artykułu dała w efekcie nie-

znacznie mniejsze wartości średnich Z* Zn i standardowego odchylenia estymacji s_k. Uzyskano wyraźnie niższe średnie Z* Pb , natomiast wartości odchylenia s_k były porównywalne dla użytych różnych modeli. W przypadku zastosowania modelu Bessela z procesu estymacji zostały wyeliminowane wysokie zawartości metali, dlatego obrazy zmienności były bardzo wygładzone.

3.2. Inne metody interpolacyjne

Dla porównania zademonstrowano również mapę rastrową zawartości Zn (rys.12), opracowaną w rezultacie użycia innej metody interpolacyjnej, mianowicie kwadratu odwrotnej odległości (ISATIS User's Guide 1997, Software Manual 2000). Można tutaj wymienić różne metody przeprowadzania tzw. szybkiej interpolacji, jak na przykład liniowy model krigingu, giętki model krigingu, metody odwrotnej odległości lub ich kwadratu, najbliższego sąsiada, najmniejszych kwadratów, średniej ruchomej i mediany ruchomej, etc.

W metodzie kwadratu odwrotnej odległości wartość wynikowa jest uzyskiwana również jako liniowa kombinacja sąsiadujących danych. W odróżnieniu od krigingu, każda waga jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości, od danych do szacowanego punktu. Jeśli najmniejsza odległość jest mniejsza niż przyjęty próg, wartość odpowiadającej próbki jest przepisywana do punktu szacowanego.

Zastosowanie metody odwrotnej odległości lub ich kwadratu pozwala na szybką interpolację średnich wartości analizowanych zmiennych, bez konieczności obliczania wariogramów empirycznych i modelowania ich przebiegów. Wymagane jest jedynie określenie parametrów sąsiedztwa, które charakteryzują zbiór punktów próbkowych wykorzystywanych do interpolacji. Na mapie rastrowej, uzyskanej z zastosowaniem metody kwadratu odwrotnej odległości, zaznaczają się trzy centra zanieczyszczenia gruntów cynkiem, o podobnym rozmieszczeniu przestrzennym (rys.12).

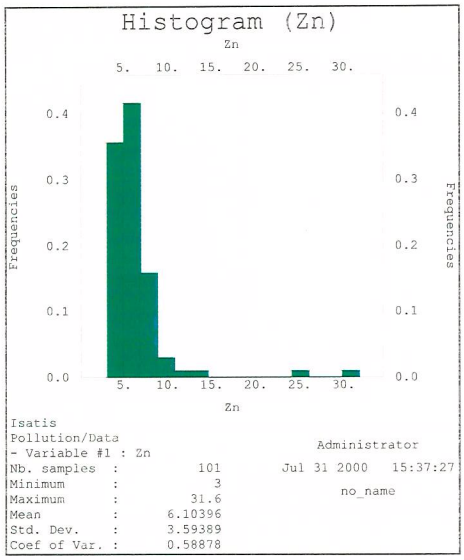
Kształty podobszarów zanieczyszczonych intensywniej są bardziej zaokrąglone, a ponadto znacznie mniejsze w stosunku do obrazu obserwowanego na mapie otrzymanej za pomocą krigingu zwyczajnego, punktowego (rys. 8). Jednak wartość obrazu ekstrapolowanego na dużych, niepróbowanych podobszarach wydaje się być wątpliwa.

3.3. Kokriging

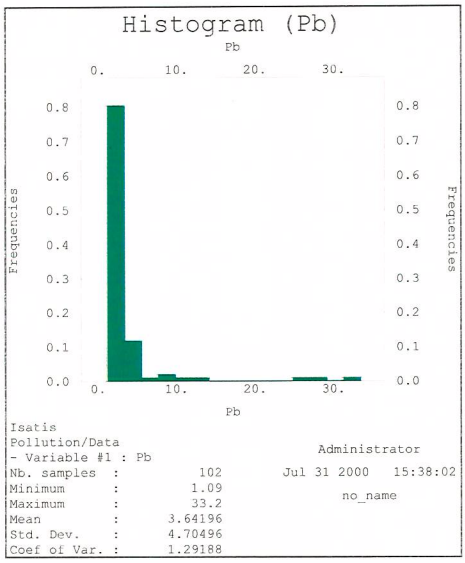
Kokriging należy do technik stosowanych w celu uwzględnienia wartości kilku zmiennych w procesie estymacji (Armstrong 1998, Isaaks, Srivastava 1989, Wackernagel 1995).

Zbiór analizowanych danych zawiera informacje związane z dwiema zmiennymi – zawartością Zn i zawartością Pb, które są silnie skorelowane. Współczynnik korelacji r wynosi 0.88. Z tego względu do szacowania średnich estymowanych zastosowano procedurę kokrigingu. Informacja na temat obu zmiennych jest dostępna dla wszystkich próbek, zatem mamy do czynienia z izotopią (Wackernagel 1995). Jeśli zmienne są wysoko skorelowane, użycie techniki kokrigingu może poprawić dokładność interpolacji. W pierwszym wariancie obliczeń związanych z kokrigingiem zmienną główną stanowiła zawartość Zn, zaś zmienną pomocniczą - zawartość Pb, w drugim wariancie było odwrotnie. Ustalono dwuwymiarowy model wariogramu Zn-Pb, złożony z trzech składowych: modelu wykładniczego, modelu liniowego i efektu samorodków (rys. 5). W wyniku wykonanych obliczeń z wykorzystaniem kokrigingu uzyskano mapy rastrowe zawartości metali ciężkich Zn/Pb i Pb/Zn (rys.13-14). Mapa kokrigingu średnich estymowanych zawartości Zn pokazuje, w porównaniu z mapą opracowaną na podstawie krigingu (rys. 8), bardziej wyraziście centra zanieczyszczenia (rys. 13), sugerując istnienie jeszcze jednego słabego miejsca o większej koncentracji zawartości metalu. Natomiast mapa kokrigingu średnich estymowanych zawartości Pb (rys. 14) jest porównywalna z obrazem skażenia gruntów tym metalem, przedstawionym na mapie krigingu (rys. 9). Trzecie centrum podwyższonej zawartości Pb charakteryzuje się jednakże mniejszymi wymiarami powierzchni, jeśli stosuje się technikę kokrigingu.

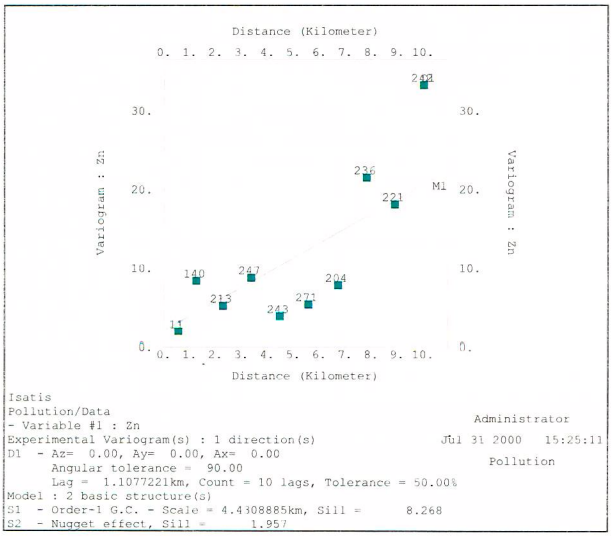
Mapy rastrowe standardowego odchylenia s_k, porównywane dla obu technik estymacyjnych, pokazują niższe wartości s_k w przypadku użycia kokrigingu (wyniki obliczeń – dostępne u autorów artykułu). Różnica między wartościami tego parametru, otrzymanymi podczas stosowania krigingu i kokrigingu, jest większa dla zawartości Pb.



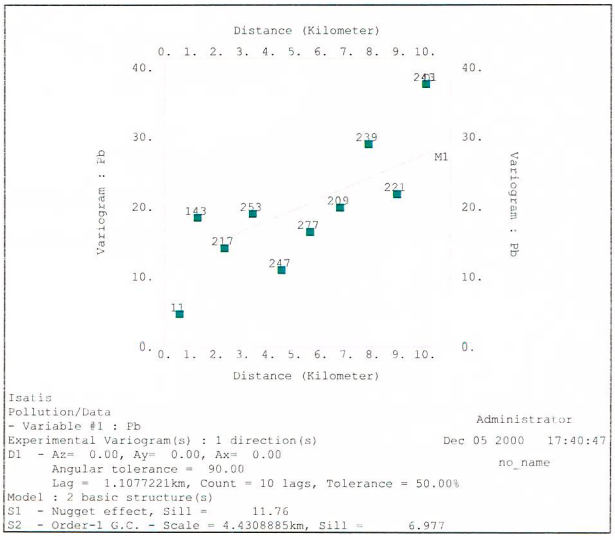
Rys. 1. Histogram rozkładu zawartości cynku Zn (ppm).
Fig. 1. Histogram of distribution of zinc Zn content (ppm).



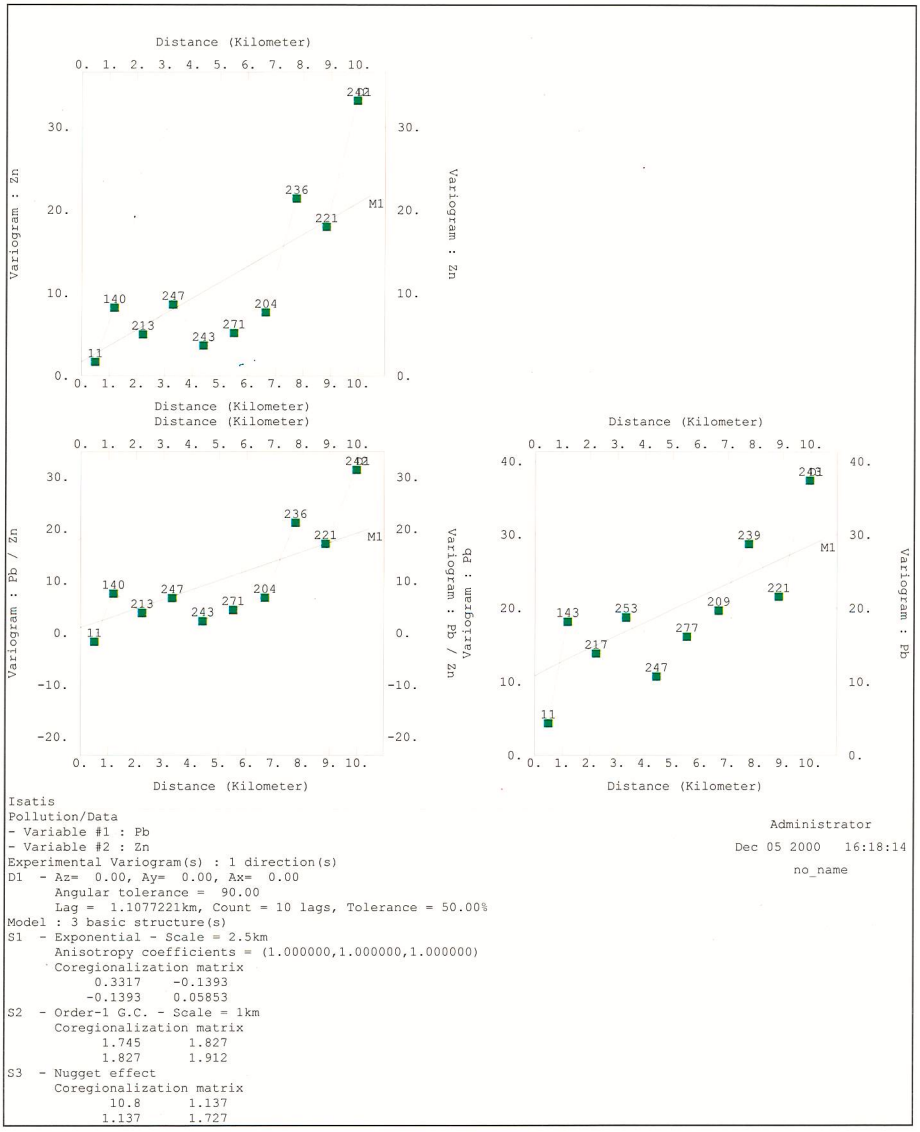
Rys. 2. Histogram rozkładu zawartości ołowiu Pb (ppm).
Fig. 2. Histogram of distribution of lead Pb content (ppm).



Rys. 3. Wariogram empiryczny zawartości cynku Zn z dopasowanym modelem liniowym, z efektem samorodków [ppm]^2.
Fig. 3. Empirical variogram of zinc Zn content with fitted model linear with nugget effect [ppm]^2.

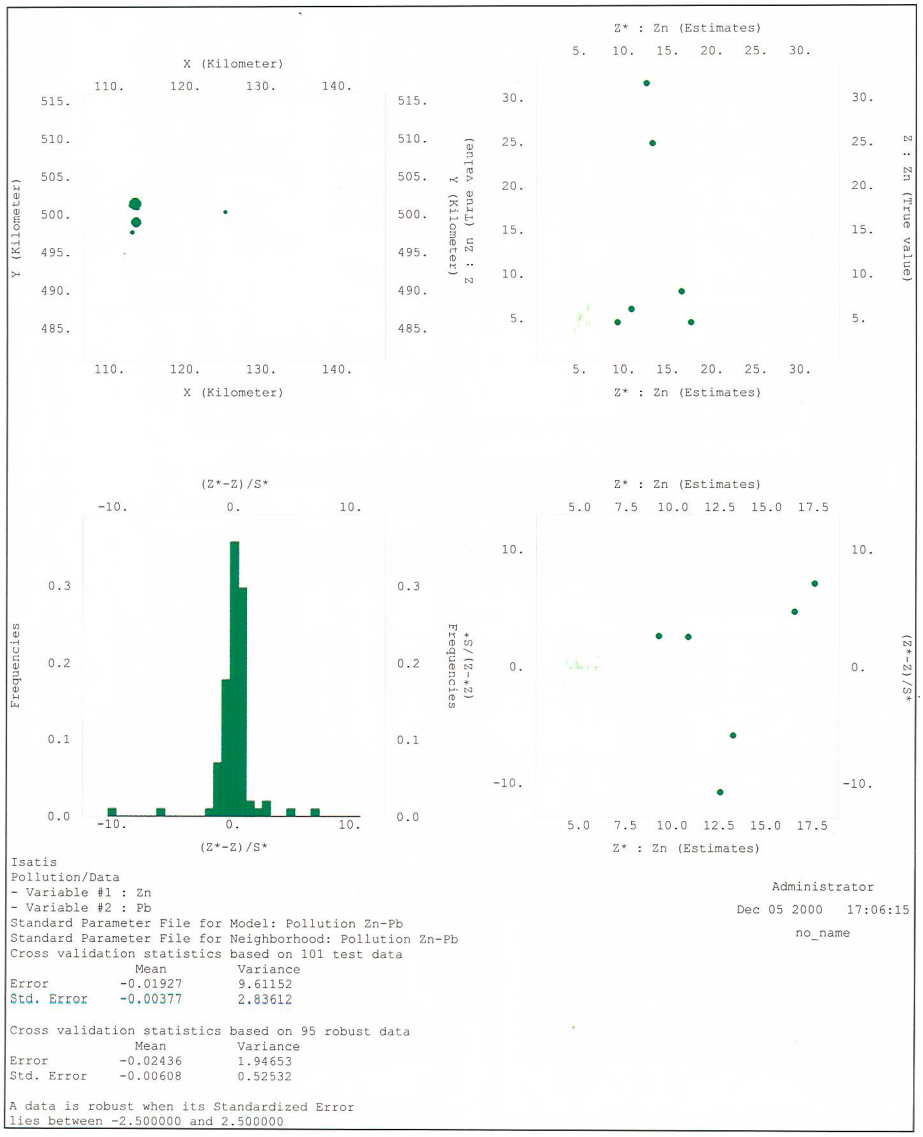


Rys. 4. Wariogram empiryczny zawartości ołowiu Pb z dopasowanym modelem liniowym, z efektem samorodków [ppm]^2.
Fig. 4. Empirical variogram of lead Pb content with fitted model (linear with nugget effect) [ppm]^2.

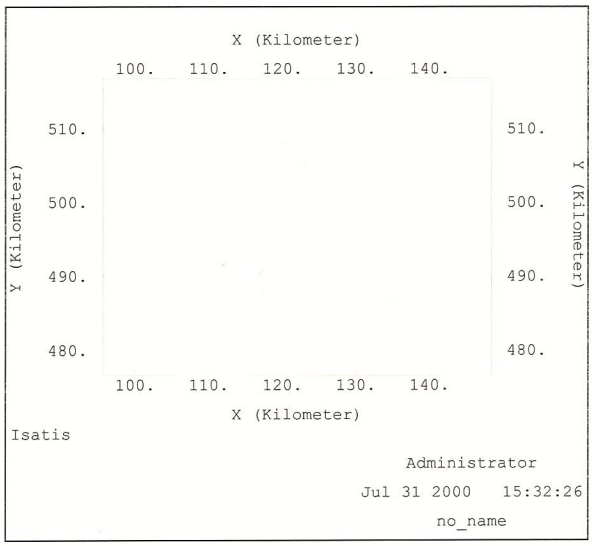


Rys. 5. Proste wariogramy empiryczne zawartości cynku Zn i ołowiu Pb z dopasowanymi modelami teoretycznymi. Wzajemny wariogram empiryczny Zn/Pb z aproksymowanym modelem teoretycznym (wykładniczy, liniowy, efekt samorodków) [ppm]^2.

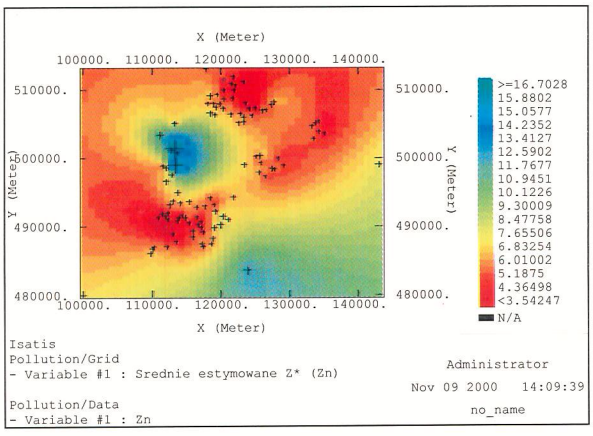
Fig. 5. Simple empirical variograms of zinc Zn and lead Pb contents with the fitted theoretical models. Cross empirical variogram Zn/Pb with the approximated theoretical model (expotential, linear, nugget effect) [ppm]^2.



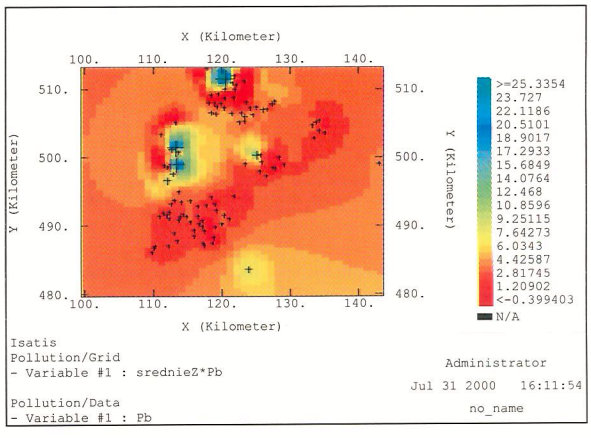
Rys. 6. Rezultaty zastosowania krosswalidacji dla zawartości cynku Zn (kriging punktowy).
Fig. 6. Results of cross validation application for zinc Zn content (point kriging).



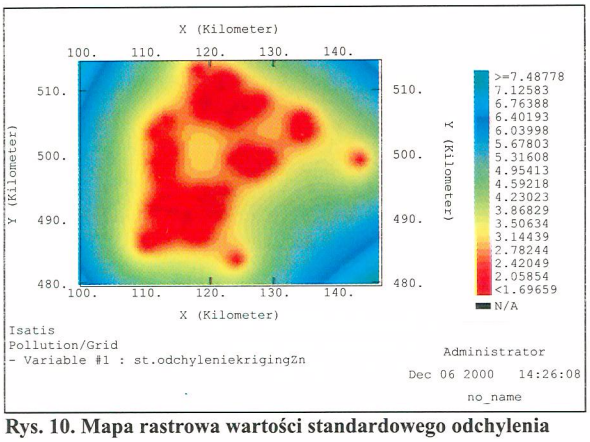
Rys. 7. Siatka pokrywająca obszar badania podczas estymacji wykonywanej za pomocą krigingu (wymiary pola elementarnego - 1 km x 1 km).
Fig. 7. Grid covering study area, used during estimation performed by means of kriging (the dimensions of elementary block - 1 km x 1 km).



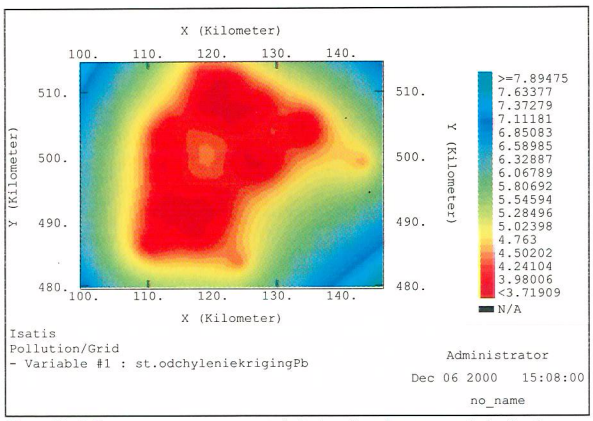
Rys. 8. Mapa rastrowa średnich estymowanych Z* zawartości cynku Zn (ppm) (obraz na podstawie krigingu punktowego).
Fig. 8. Raster map of estimated averages Z* of zinc Zn content (ppm) with the marked original data (the picture on the basis of point kriging).



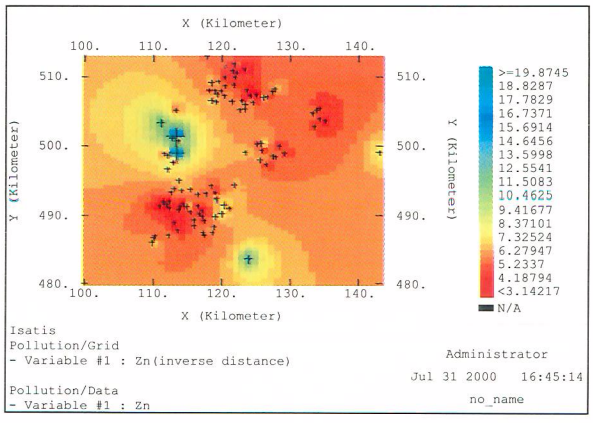
Rys. 9. Mapa rastrowa średnich estymowanych Z* zawartości ołowiu Pb (ppm) (obraz na podstawie krigingu punktowego).
Fig. 9. Raster map of estimated averages Z* of lead Pb content (ppm) with the marked original data (the picture on the basis of point kriging).



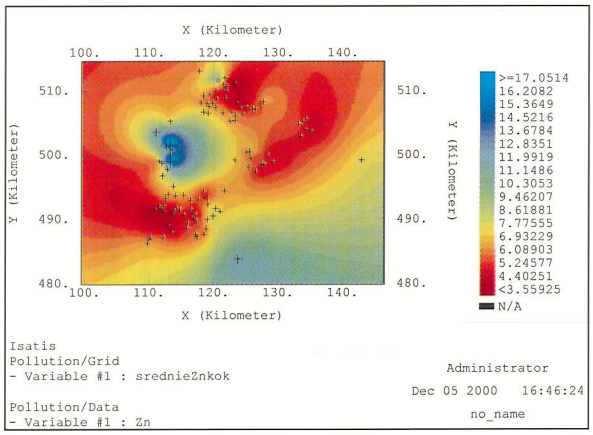
Rys. 10. Mapa rastrowa wartości standardowego odchylenia estymacji σ_k (zawartość Zn).
Fig. 10. Raster map of values of estimation standard deviation σ_k (Zn content).



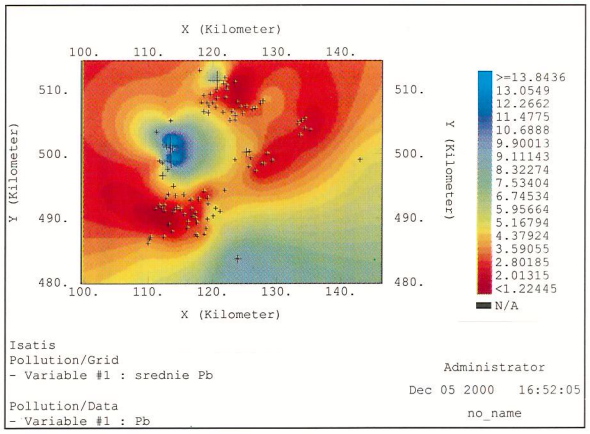
Rys. 11. Mapa rastrowa wartości standardowego odchylenia estymacji σ_k (zawartość Pb).
Fig. 11. Raster map of values of estimation standard deviation σ_k (Pb content).



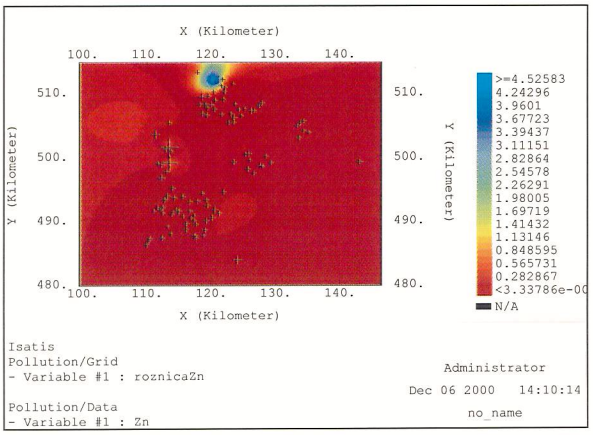
Rys. 12. Mapa rastrowa zawartości cynku Zn (ppm) (metoda kwadratu odwrotnej odległości).
Fig. 12. Raster map of zinc Zn content (ppm) (the method of squared inverse distance).



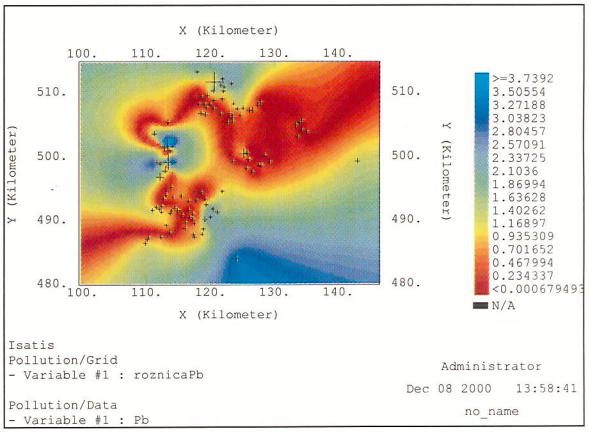
Rys. 13. Mapa rastrowa średnich estymowanych Z* zawartości cynku Zn (ppm) (kokriging Zn/Pb).
Fig. 13. Raster map of estimated averages Z* of zinc Zn contents (ppm) (cokriging Zn/Pb).



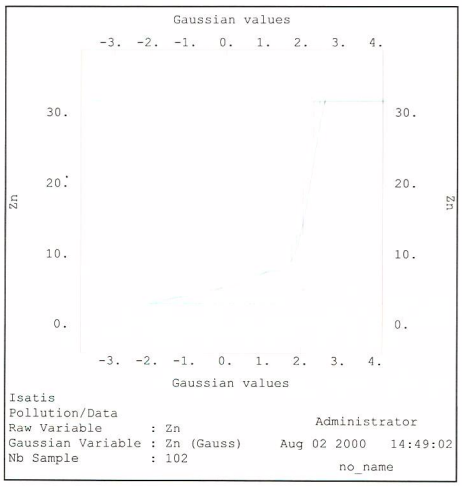
Rys. 14. Mapa rastrowa średnich estymowanych Z* zawartości ołowiu Pb (ppm) (kokriging Pb/Zn).
Fig. 14. Raster map of estimated averages Z* of lead Pb contents (ppm) (cokriging Pb/Zn).



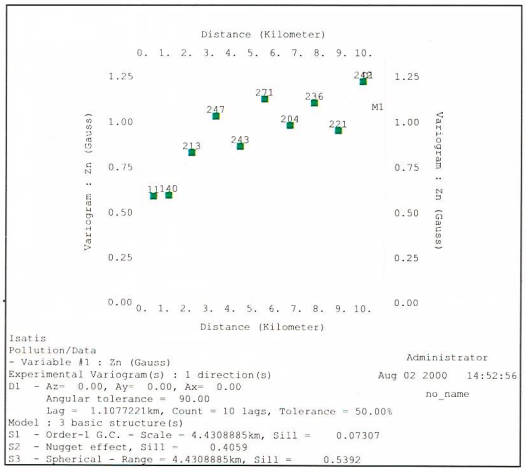
Rys. 15. Mapa rastrowa różnicy średnich estymowanych Z* zawartości cynku Zn między kokrigingiem (Zn/Pb) i krigingiem (Zn) (ppm) z naniesionymi lokalizacjami próbek (Zn).
Fig. 15. Raster map of the difference of estimated averages Z* of zinc Zn contents between cokriging (Zn/Pb) and kriging (Zn) (ppm) with marked localizations of samples (Zn).



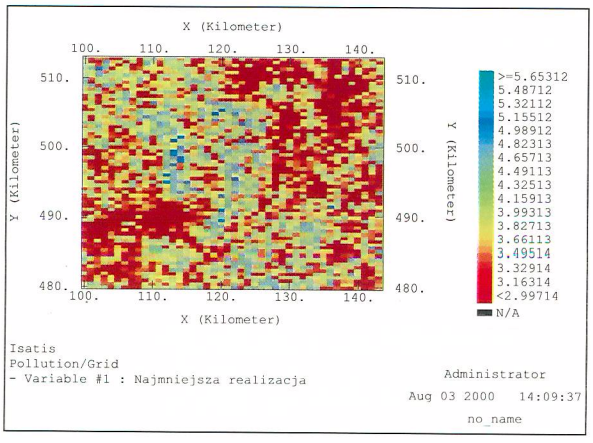
Rys. 16. Mapa rastrowa różnicy średnich estymowanych Z* zawartości ołowiu Pb między kokrigingiem (Pb/Zn) i krigingiem (Pb) (ppm)z naniesionymi lokalizacjami próbek (Pb).
Fig. 16. Raster map of the difference of estimated averages Z* of lead Pb contents between cokriging (Pb/Zn) and kriging (Pb) (ppm) with marked localizations of samples (Pb).



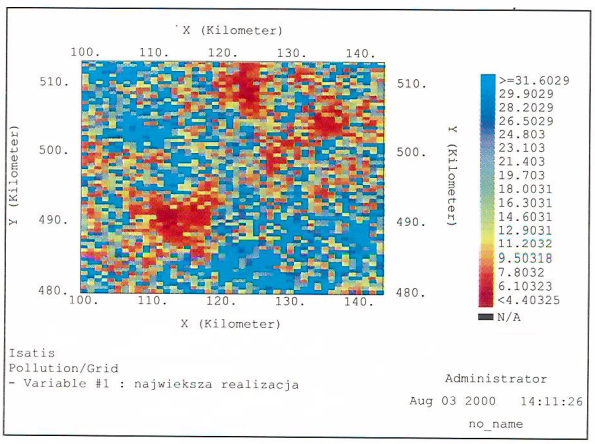
Rys. 17. Anamorfoza empiryczna wraz z modelem teoretycznym (zawartość Zn) (oś y – ppm, oś x – wartości Gaussa).
Fig. 17. Empirical anamorphosis with theoretical model (Zn content).



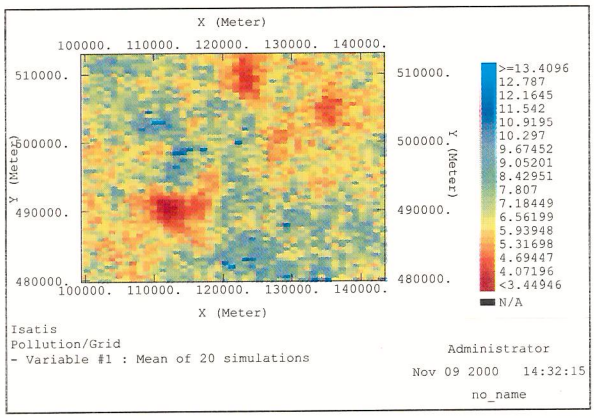
Rys. 18. Wariogram empiryczny przekształconych danych zawartości Zn, aproksymowany modelem teoretycznym (liniowy, sferyczny i efekt samorodków).
Fig. 18. Empirical variogram of transformed data of Zn contents, approximated by theoretical model (linear, spherical and nugget effect).



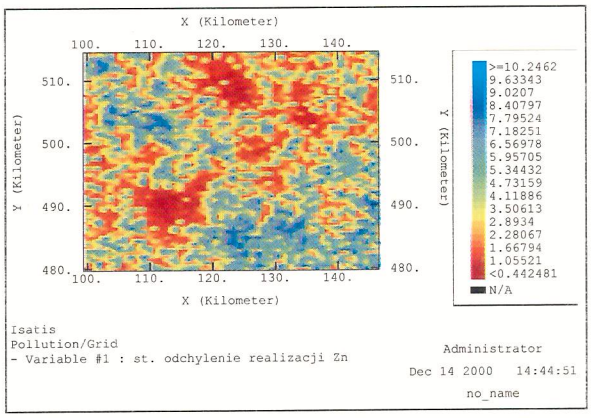
Rys. 19. Mapa wartości symulowanych zawartości cynku Zn (ppm), odpowiadających najmniejszym realizacjom w poszczególnych węzłach sieciowych (symulacja warunkowa).
Fig. 19. Map of simulated values of zinc Zn (ppm) contents representing the smallest realizations in particular grid nodes (conditional simulation).



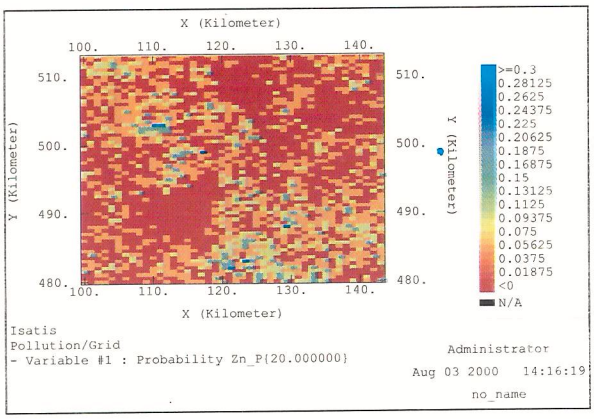
Rys. 20. Mapa wartości symulowanych zawartości cynku Zn (ppm), odpowiadających największym realizacjom w poszczególnych węzłach sieciowych (symulacja warunkowa).
Fig 20. Map of simulated values of zinc Zn contents (ppm) representing the biggest realizations in particular grid nodes (conditional simulation).



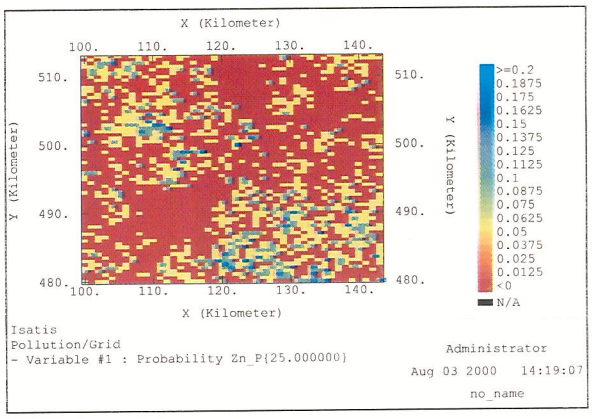
Rys. 21. Mapa symulacji warunkowej zawartości cynku Zn (ppm) (obraz uśredniony na podstawie 20 symulacji).
Fig. 21. Map of conditional simulation of zinc Zn contents (ppm) (the averaged picture on basis of 20-th simulations).



Rys. 22. Mapa wartości standardowego odchylenia realizacji dla zawartości Zn (ppm) – symulacja warunkowa.
Fig. 22. Map of standard deviation of realizations for Zn content (ppm) – conditional simulation.



Rys. 23. Mapa prawdopodobieństwa przekroczenia progu – 20 ppm zawartości cynku Zn w poszczególnych węzłach sieciowych.
Fig. 23. Probability map of the 20 ppm threshold exceeding of zinc Zn content in particular grid nodes.



Rys. 24. Mapa prawdopodobieństwa przekroczenia progu – 25 ppm zawartości cynku Zn w poszczególnych węzłach sieciowych.
Fig. 24. Probability map of the 25 ppm threshold exceeding of zinc Zn content in particular grid nodes.

W celu zobrazowania różnicy między kokrigingiem i krigingiem sporządzono mapy rastrowe różnicy wartości średnich estymowanych Z* (w wartości bezwzględnej) między wynikami dwóch estymacji, wykonanych dla zawartości Zn i Pb (rys.15-16). Obrazy dotyczące obliczeń wykonanych dla zawartości Zn różnią się tylko w N części obszaru, co spowodowane jest wpływem wartości „odbiegającej" zawartości Pb, odzwierciedlonym na mapie różnicy średnich Z* dla zawartości Pb (rys. 16). Natomiast w przypadku zawartości Pb zarysowuje się jedna duża strefa skażenia, składająca się z 3 podcentrów, i mała powierzchnia w N części obszaru oraz duży podobszar „potencjalnego" zanieczyszczenia w S rejonie.

Dla niektórych rejonów rozpatrywanego obszaru wyniki estymacji wykonanej za pomocą kokrigingu i krigingu różnią się w pewnym stopniu, szczególnie wyraźnie w przypadku zawartości Pb (rys.16). Mapy średnich Z*, otrzymane z użyciem wymienionych technik, pokazują wyraźnie przestrzenne rozmieszczenie stref anomalii metali, dając pogląd o ich rozmiarach i ewentualnym stopniu zanieczyszczenia gruntów. Poza granicami obszaru opróbowanego, wartości standardowego odchylenia estymacji s_k, zarówno krigingu, jak i kokrigingu znacznie wzrastają, w miarę powiększania się odległości od lokalizacji próbek (rysunki 10 i 11). Poczynione spostrzeżenia na temat zachowania się statystyk Z* i s_k są zgodne z wynikami obliczeń dotyczących estymacji średnich zawartości miedzi i ołowiu w przypowierzchniowej warstwie gruntów na obszarze LGOM-u, wykonanej za pomocą obu procedur (Namysłowska-Wilczyńska, Pyra 2000).

4. Symulacja warunkowa

W następnym etapie oceny zanieczyszczenia gruntów metalami ciężkimi została zastosowana symulacja warunkowa turning bands (Armstrong, Dowd 1993, Namysłowska-Wilczyńska 1995, Namysłowska-Wilczyńska, Wilczyński 1999, 2000, Wackernagel 1995). Jeśli interesuje nas prawdopodobieństwo, że zawartość metalu ciężkiego przekracza określoną wartość progową, wówczas ocena krigingowa jako liniowa technika minimalizacji wariancji, daje według autorów (Armstrong, Dowd 1993, Armstrong 1998, Van der Meer 1993), mniej poprawne rezultaty. Mapa obliczona z zastosowaniem krigingu zwyczajnego (wskaźnikowego) dla określonego progu nie powinna być stosowana jako mapa prawdopodobieństwa. Właściwym podejściem byłoby przeprowadzenie kilkunastu symulacji analizowanego parametru (np. zawartości metalu ciężkiego), które przedstawiają zmienność procesu zanieczyszczenia, a następnie przekształcenie poszczególnych symulacji na mapy prawdopodobieństwa, z uwzględnieniem odpowiedniego progu, poniżej lub powyżej wartości progowej.

Zdaniem autorów (Armstrong, Dowd 1993) symulacje warunkowe umożliwiają otrzymanie map przedstawiających większe zróżnicowanie zawartości metali ciężkich, w odróżnieniu od „wygładzonych" map uzyskiwanych na podstawie samych tylko metod krigingowych.

Metoda turning bands umożliwia przeprowadzenie numerycznej symulacji n-wymiarowych realizacji stacjonarnej funkcji losowej, scharakteryzowanej przez kowariancję C. Pozwala ona na uzyskiwanie realizacji $z_s(x)$ losowej, wielowymiarowej funkcji Gaussa $Z_s(x)$. Każda realizacja $z_s(x)$ dostarczana za pomocą metody turning bands jest sumą 15 niezależnych jednowymiarowych realizacji.

Technika symulacyjna turning bands polega na wykonaniu początkowo symulacji niewarunkowej. Otrzymuje się mapę przedstawiającą wartości funkcji wariogramu. Następnie obraz ten zostaje poprawiony przez interpolowanie błędu empirycznego pomiędzy danymi oryginalnymi i wartościami symulowanymi (niewarunkowymi), w punktach danych oryginalnych. Jest to określane jako warunkowanie lub kondycjonowanie. Interpolację błędu wykonuje się za pomocą krigingu, z uwzględnieniem przyjętego modelu wariogramu. Finalna mapa nazywana jest symulacją warunkową. Jedynym parametrem koniecznym do określenia jest podanie liczby pasm (bands), ustalonej zwykle na 100, i generatora liczb losowych.

Obliczenia symulacyjne zostały wykonane dla zawartości Zn. Dane oryginalne dotyczące tego metalu, zostały przekształcone na zmienne gaussowskie. Dopasowano funkcję transformacji (anamorfozę Gaussa) (rys. 17). Na rys. 17 przedstawiona jest anamorfoza empiryczna wraz z modelem teoretycznym, w którym wykorzystano wielomiany Hermita (ISATIS 2000). Na osi pionowej wykresu zaznaczone są posortowane dane oryginalne zawartości Zn, zaś na osi poziomej – kwantyle częstości w skali Gaussa.

Na podstawie danych przekształconych obliczono izotropowy wariogram empiryczny (rys.18), zaś jego przebieg aproksymowano złożoną strukturą modelu (modele: liniowy, sferyczny i efekt samorodków).

W dalszej kolejności przeprowadzono 20 symulacji warunkowych zanieczyszczenia gruntów cynkiem, stosując identyczne wymiary siatki elementarnej, jak podano w p. 3 artykułu. Następnie wyniki obliczeń symulacyjnych zostały przekształcone ponownie do postaci oryginalnej. Uzyskano statystyczne mapy symulacyjne: mapę uśrednioną dla 20 symulacji (rys. 21), mapę wariancji realizacji, mapy najmniejszych i największych realizacji (rys. 19-20) w poszczególnych węzłach sieciowych.

Mapy na rysunkach 19-20 przedstawiają obrazy ekstremalnych wartości symulowanych zanieczyszczenia - obraz optymistyczny z największymi wartościami symulowanymi (spośród najmniejszych) zawierającymi się w zakresie 5 - >5.6 ppm (rys. 19) i - pesymistyczny, z maksymalnymi wartościami, mieszczącymi się w przedziale 25 - >31.6 ppm (rys. 20). Najbardziej wiarygodny wydaje się być obraz uśredniony, pokazany na rys. 21. Największe wartości Zn zawierają się w tym przypadku w granicach od 11 - >13.4 ppm. Wyraźnie zarysowane są tutaj podobszary silniej zanieczyszczone.

Do ekstrapolacji przeprowadzonej z użyciem metody symulacyjnej, obejmującej podobszary nieopróbowane, należy podchodzić z pewną rezerwą, gdyż wartości standardowego odchylenia realizacji są znacznie większe (rys. 22) niż obserwowane podczas stosowania techniki krigingu (rys. 10).

Na podstawie zbioru wartości symulowanych obliczono w ostatnim etapie analizy - mapy wartości progowych, przedstawiające prawdopodobieństwo, że zawartość Zn przekroczy różne progi zanieczyszczenia (20 ppm - rys. 23, 25 ppm - rys. 24) w poszczególnych węzłach sieciowych. Prawdopodobieństwo zmniejsza się wraz ze zwiększeniem wartości progowej, osiągając wartość > 0.3 dla progu 20 ppm (rys. 23) i > 0.2, w przypadku progu 25 ppm (rys. 24).

Symulacja warunkowa daje bardziej zróżnicowany obraz zmienności zawartości metali ciężkich na analizowanym obszarze. W porównaniu z estymacyjnymi metodami krigingowymi umożliwia prześledzenie wahań zanieczyszczenia. Mapa uśredniona, uzyskiwana na podstawie dużej ilości symulacji (np. 50, 100), jest zbieżna z obrazem zmienności, otrzymanym za pomocą krigingu (Armstrong, Dowd 1993). Na mapach symulacyjnych prawdopodobieństwa zarysowane są strefy ryzyka zagrożenia większym skażeniem.

5. Przykłady zastosowań metod geostatystycznych dla wybranych rejonów Górnego Śląska

Po przedstawieniu metodologii badawczej, wykorzystującej omawiane wyżej metody geostatystyczne, w połączeniu z symulacją warunkową - turning bands, zaprezentowano przykłady jej zastosowania w odniesieniu do wybranych rejonów Górnego Śląska.

5.1. Rejon Dąbrowy Górniczej

Zademonstrowano wyniki oceny zanieczyszczenia przypowierzchniowej warstwy gruntów (o grubości 0,20 m) metalami ciężkimi w rejonie Dąbrowy Górniczej (Namysłowska-Wilczyńska 1999, Namysłowska-Wilczyńska, Wilczyński 1999).

Podstawą analizy geostatystycznej były dane pochodzące z regionalnego monitoringu środowiskowego gleb, wykonanego w roku 1984 przez Instytut Badania i Kontroli Środowiska w Katowicach, o liczebności prób wynoszącej N=152. Opracowano bazę danych zawierającą oznaczenia zawartości metali ciężkich i wartości współrzędnych prostokątnych X i Y, określających lokalizacje pobranych próbek gleby. Uzyskano obrazy estymacji zanieczyszczenia dla zawartości 6 metali – ołowiu Pb, kadmu Cd, cynku Zn, miedzi Cu, niklu Ni i chromu Cr z wykorzystaniem krigingu zwyczajnego (punktowego) (Namysłowska-Wilczyńska 1999). W obliczeniach uwzględniono siatkę elementarną o wymiarach 0,25km x 0,50km. Dla 3975 węzłów sieciowych przeprowadzono interpolację wartości średnich estymowanych Z* i standardowych odchyleń estymacji s_k oraz obliczono wartości współrzędnych X i Y. Parametry te stanowiły dane wejściowe do sporządzenia map rastrowych.

W niniejszym artykule zaprezentowano rezultaty obliczeń funkcji wariogramu, mapy rastrowe średnich estymowanych Z*i wartości standardowego odchylenia estymacji s_k dla dwóch metali, mianowicie zawartości

ołowiu – rysunki 25-27 i zawartości chromu - rysunki 28-30.

Na mapie rastrowej ołowiu zaznaczają się 3 wyraźniejsze centra o podwyższonej zawartości Pb wzdłuż jednej linii oraz dwa mniejsze, o niższej koncentracji tego metalu (rys. 26).

W przypadku chromu występują trzy podobszary skażenia, w tym dwa usytuowane w pobliżu siebie (rys. 29). Zajmują bardziej rozległą powierzchnię niż strefy o podwyższonej zawartości ołowiu (rys. 26).

W przypadku dwóch rozważanych metali najniższe wartości standardowego odchylenia estymacji s_k charakteryzują miejsca, gdzie sieć opróbowania była najbardziej gęsta (zawartość Pb - rys. 27, V_{Pb}= 78,48%; zawartość Cr – rys. 30, V_{Cr}=121,40%).

Rezultaty badań geostatystycznych zanieczyszczenia gleb różnymi metalami ciężkimi zamieszczono w pracy (Namysłowska-Wilczyńska 1999). Zasięgi zanieczyszczonej powierzchni gleb, określone na podstawie obrazów map rastrowych średnich estymowanych, charakteryzują się podobnym rozmieszczeniem przestrzennym w przypadku trzech metali Pb: (rys. 26), Cd i Zn. Dla wymienionych metali najwyraźniej zaznaczają się cztery centra zanieczyszczenia, usytuowane na ogół w tych samych miejscach. Pokrywają się centra następujących pierwiastków ołowiu i chromu oraz chromu i kadmu.

Zestawiając obrazy estymacji zawartości metali ciężkich (rys. 26 i rys. 29) z mapą lokalizacji zakładów przemysłowych w rejonie Dąbrowy Górniczej (rys. 31), można zidentyfikować potencjalne źródła zanieczyszczenia, podstawowe źródło,– którym jest Huta Katowice, a ponadto huty szkła.

W kolejnym etapie badań geostatystycznych wykonano symulację warunkową (turning bands) na przykładzie zawartości Pb. Po przekształceniu danych oryginalnych, dotyczących tego metalu, na zmienne gaussowskie obliczono wariogram empiryczny, który aproksymowano modelem o złożonej strukturze (liniowym, sferycznym i efektem samorodków). Wariogram ten zamieszczono w artykule (Namysłowska-Wilczyńska, Wilczyński 1999).

Następnie zostały opracowane statystyczne mapy symulacji warunkowej zawartości Pb (mapa uśredniona na podstawie 20 symulacji, mapy największych i najmniejszych realizacji, mapa standardowego odchylenia realizacji, mapy średnich wartości symulowanych przekroczenia wartości progowych zawartości ołowiu - 250 mg/kg, 300 mg/kg, 433 mg/kg, 800 mg/kg oraz mapy prawdopodobieństwa przekroczenia wymienionych progów w poszczególnych węzłach sieciowych. Stosowano identyczne wymiary siatki elementarnej jak w obliczeniach krigingowych (p. 5.1. artykułu). Mapy średnich estymowanych zawartości 6 metali ciężkich i obrazy symulacyjne zanieczyszczenia gruntów ołowiem pozwoliły określić strefy zagrożenia i wymiary powierzchni obszaru, który winien zostać objęty ponownym monitoringiem środowiskowym gruntów w badanym rejonie Dąbrowy Górniczej. Zaproponowano równomierną sieć opróbowania tego rejonu z dwoma wariantami liczebności prób (N=182 i N=266), których lokalizacje podano w postaci współrzędnych geograficznych (Namysłowska- Wilczyńska 1999, Osada 1999).

Obraz estymacji średnich zawartości ołowiu, otrzymany za pomocą krigingu, różni się w znacznym stopniu od otrzymanego z wykorzystaniem metody symulacyjnej turning bands. Podobszary zanieczyszczenia Pb, wyznaczone w rezultacie obliczeń symulacyjnych, są większe, bardziej rozległe. Na mapie uśrednionej z 20 symulacji intensywniejsze centra skażenia przebiegają prawie wzdłuż linii N-S, przy czym największe wymiary osiągają poniżej środkowej części analizowanego rejonu (rys. 32). Granice powierzchni tych centrów są jeszcze bardziej wyraziste na mapie największych wartości symulowanych, a ponadto mapa ta pokazuje jeszcze inne miejsca koncentracji podwyższonej zawartości Pb (rys. 33). W pierwszym przypadku zakres wartości symulowanych zawartości Pb obejmuje przedział od ok. 150 – 250 mg/kg (rys. 32), zaś w drugim przypadku (rys. 33) jest on szerszy wahając się od ok. 400 – 870 mg/kg. Tymczasem na mapie najmniejszych wartości symulowanych zawartości Pb są związane z przedziałem znacznie niższych wartości, najczęściej mieszczących się w granicach od 50 – 90 mg/kg (rys. 34).

Analizowano też mapy średnich wartości symulowanych w poszczególnych węzłach sieciowych, z uwzględnieniem 4 wartości progowych zawartości Pb (Namysłowska-Wilczyńska 1999, Namysłowska-Wilczyńska, Wilczyński 1999).

Wymiary symulowanych powierzchni zanieczyszczenia gruntów ołowiem zmniejszają się wraz ze zwiększa-

niem się wartości progowej zawartości Pb. Największe powierzchnie uzyskano dla progów skażenia 250 mg/kg (rys. 35) i 300 mg/kg. Po przyjęciu wyższych progów, w omawianym przypadku – 433 mg/kg (rys. 36) i 800 mg/kg, pokazują się tylko niewielkie bloczki i centra.

Na mapach prawdopodobieństwa przekroczenia przyjętych 3 progów zanieczyszczenia gruntów ujawniają się wyraźne cztery centra o podwyższonej koncentracji zawartości Pb (rys. 37 i rys. 38). Dla analizowanego najwyższego progu 800 mg/kg zmniejszają się one do wymiarów małych bloczków, rozmieszczonych na ogół pojedynczo lub w niewielkich skupieniach (Namysłowska-Wilczyńska 1999, Namysłowska-Wilczyńska, Wilczyński 1999).

Uwzględniając niższe progi skażenia, mianowicie 250 mg/kg i 300 mg/kg, uzyskano wartości prawdopodobieństwa ich przekroczenia, zawarte w granicach powyżej poziomu 0,15 –0,30 (rys. 37 i rys. 38). Natomiast dla wyższych wartości progowych – 433 mg/kg i 800 mg/kg wartości prawdopodobieństwa były niskie i osiągnęły poziom powyżej 0,10-0,15.

Estymacja zawartości ołowiu Pb i chromu Cr za pomocą krigingu zwyczajnego (punktowego) i symulacja warunkowa (turning bands) zawartości Pb umożliwiły określenie zasięgu podobszarów zanieczyszczonych dla rejonu Dąbrowy Górniczej. Ze względu na odmienne procedury obliczeniowe, obrazy rozkładu zawartości metali ciężkich nie są identyczne, a nawet w niektórych miejscach odbiegają od siebie. Metoda krigingu dała bardziej wygładzony obraz zmienności (centra ze strefami otaczającymi) w stosunku do obrazów symulacyjnych, pokazujących zróżnicowany charakter zanieczyszczenia. Generalnie jednak uzyskane wyniki dobrze odzwierciedlają obecność stref anomalnych. Mapy symulacyjne, obliczone dla testowanych wyżej progów zawartości Pb, wskazują na możliwość występowania stref dużego zagrożenia skażenia, zaznaczających się na południe od Huty Katowice. Maksymalna powierzchnia zanieczyszczenia gruntów ołowiem (rys. 26) i chromem (rys. 29) występuje w sąsiedztwie lokalizacji Huty Katowice (rys. 31), przy czym strefy o podwyższonej zawartości Cr są bardziej skoncentrowane. Zauważa się jeszcze mniejsze podobszary o podwyższonej zawartości obu metali. W odniesieniu do zawartości Pb mogą być one związane z rozprzestrzenieniem dolomitów kruszconośnych (Lis, Pasieczna 1995).

5.2. Rejon Tarnowskich Gór

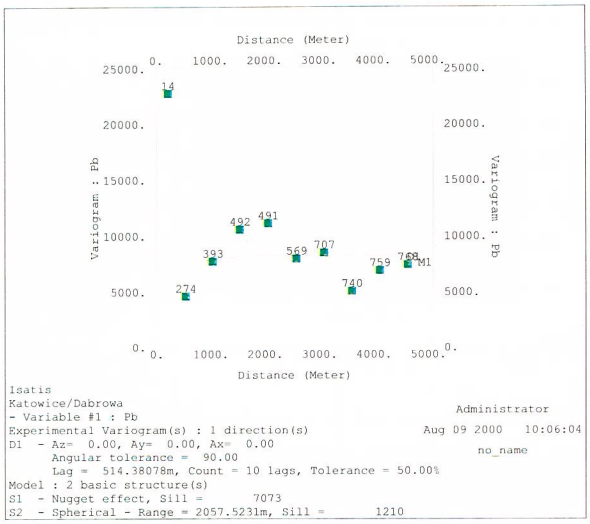
W badaniach stanu zanieczyszczenia gruntów ołowiem, kadmem i cynkiem w rejonach Tarnowskich Gór i Piekar Śląskich zastosowano metody geostatystyki nieliniowej - wariogramu wskaźnikowego i zwyczajnego krigingu wskaźnikowego, przy czym niektóre rezultaty dla tych rejonów pokazano w pracach (Namysłowska-Wilczyńska, Wilczyński 1997, 1999).

Podstawę analizy geostatystycznej stanowiły również dane uzyskane podczas monitoringu środowiskowego, przeprowadzonego w rejonie Tarnowskich Gór w roku 1983. Liczebność pobranych próbek wynosiła 80. Dotyczyły one powierzchniowej warstwy gruntów o grubości 0,20 m. W rozważaniach przyjęto siatkę o wymiarach 0,25 km x 0.1 km. W obliczeniach krigingowych uwzględniono 6510 węzłów sieciowych.

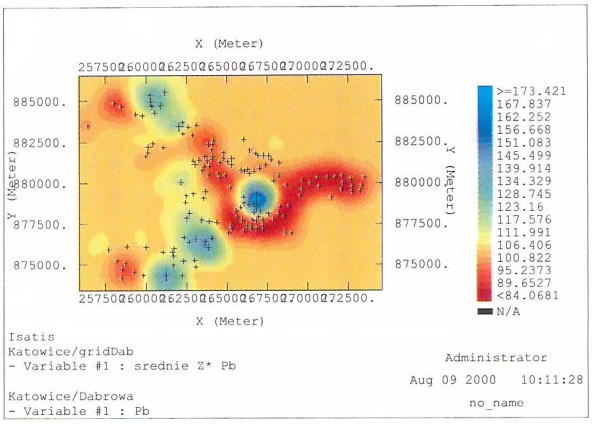
Wartości oryginalnych danych dotyczących zawartości metali ciężkich przekształcono do zakresu wartości 0-1 i skonstruowano wariogramy wskaźnikowe, przy przyjęciu różnych wartości progowych. Zaprezentowano przykład estymacji wskaźnikowej dla zawartości Pb, przyjmując trzy wartości progowe (rysunki 39-41), odpowiadające stopniom zanieczyszczenia gleb przyjętym przez IUNG (Instytut Upraw, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach), tj. 500 mg/kg, 2000 mg/kg i 7000 mg/kg (Kabata-Pendias, Motowicka-Terelak 1993). W rezultacie przeprowadzonej estymacji średnich wartości dla węzłów za pomocą krigingu zwyczajnego (punktowego), przy uwzględnieniu odpowiedniego modelu wariogramu wskaźnikowego, uzyskano mapy rastrowe jednorodnych danych wskaźnikowych. Pokazują one prawdopodobieństwo udziału badanego obszaru powyżej rozważanych progowych zawartości metali ciężkich, m. in. występowania podobszarów skażonych najintensywniej.

Na mapie prawdopodobieństwa wystąpienia zanieczyszczenia powyżej 500 mg/kg zaznaczyły się 4 centra podwyższonych koncentracji zawartości Pb, przy czym dominował jeden podobszar (rys. 39). Po zwiększeniu progu do 2000 mg/kg na mapie prawdopodobieństwa można było dostrzec dwa centra zanieczyszczenia, usytuowane w pobliżu siebie, jedno zdecydowanie silniejsze i drugie słabsze (rys. 40).

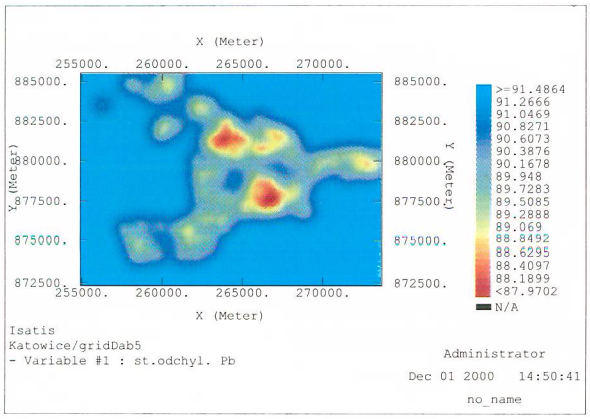
Black 133 lpi przy 45 stopniach



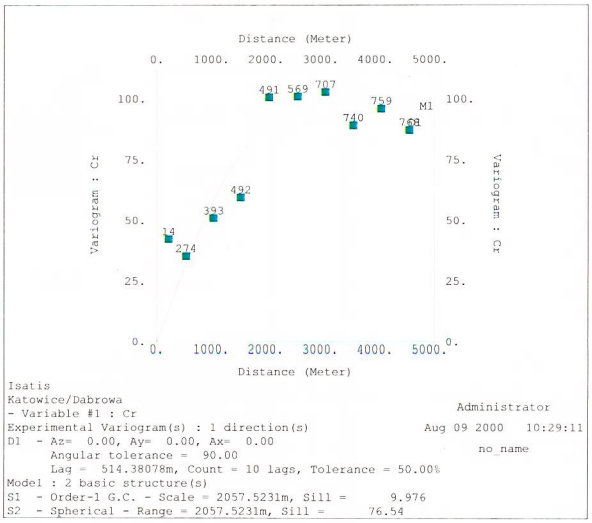
Rys. 25. Wariogram empiryczny zawartości ołowiu Pb w gruntach dla rejonu Dąbrowy Górniczej (z dopasowanym modelem teoretycznym - sferycznym z efektem samorodków) [mg/kg]^2.
Fig. 25. Empirical variogram of lead Pb contents in soils for the Dąbrowa Górnicza region (with the fitted theoretical model - spherical one with nugget effect) [mg/kg]^2.



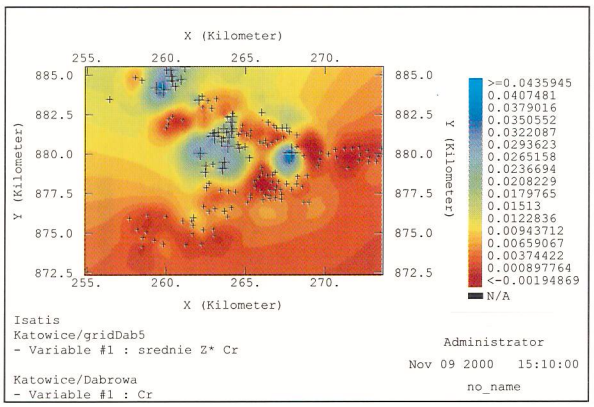
Rys. 26. Mapa rastrowa średnich estymowanych Z* zawartości ołowiu Pb (mg/kg) w gruntach dla rejonu Dąbrowy Górniczej.
Fig. 26. Raster map of estimated averages Z* of lead Pb contents (mg/kg) in soils for the Dąbrowa Górnicza region.



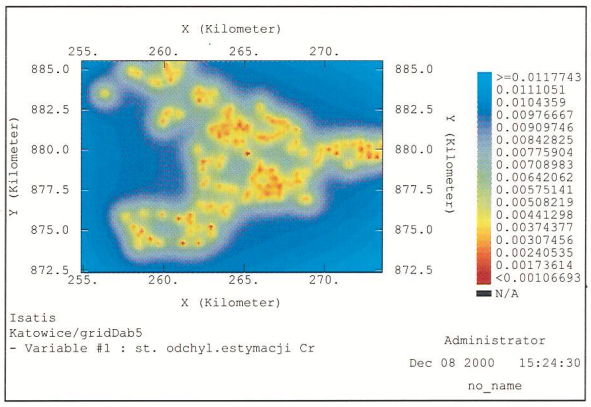
Rys. 27. Mapa rastrowa wartości standardowego odchylenia estymacji σ_k (zawartość Pb) dla rejonu Dąbrowy Górniczej.
Fig. 27. Raster map of values of estimation standard deviation σ_k (Pb content) for the region of Dąbrowa Górnicza.



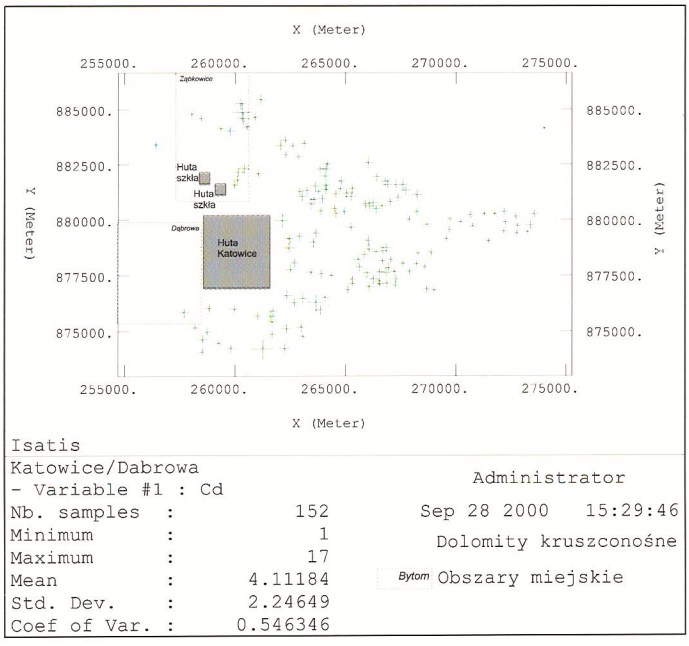
Rys. 28. Wariogram empiryczny zawartości chromu Cr w gruntach dla rejonu Dąbrowy Górniczej (z dopasowanym modelem teoretycznym – sferycznym i liniowym) [mg/kg]^2.
Fig. 28. Empirical variogram of chromium Cr contents in soils for the Dąbrowa Górnicza region (with the fitted theoretical model – spherical and linear ones) [mg/kg]^2.



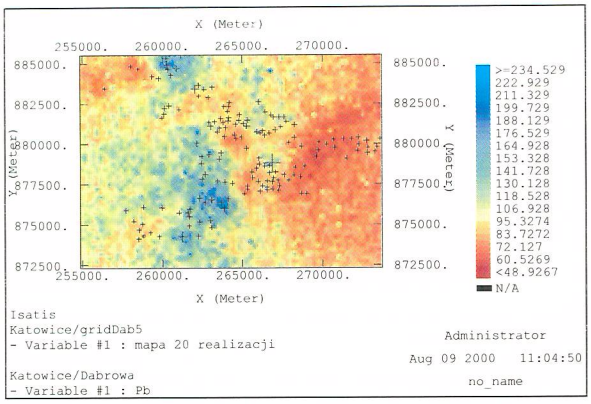
Rys. 29. Mapa rastrowa średnich estymowanych Z* zawartości chromu Cr (mg/kg) w gruntach dla rejonu Dąbrowy Górniczej.
Fig. 29. Raster map of estimated averages Z* of chromium Cr contents (mg/kg) in soils for the Dąbrowa Górnicza region.



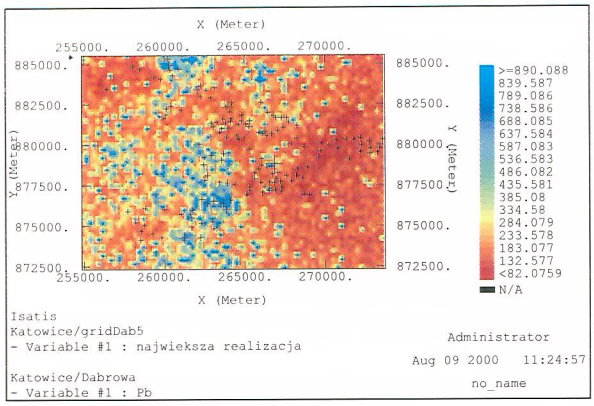
Rys. 30. Mapa rastrowa wartości standardowego odchylenia estymacji σ_k (zawartość Cr) dla rejonu Dąbrowy Górniczej.
Fig. 30. Raster map of values of estimation standard deviation σ_k (Cr content) for the region of Dąbrowa Górnicza.



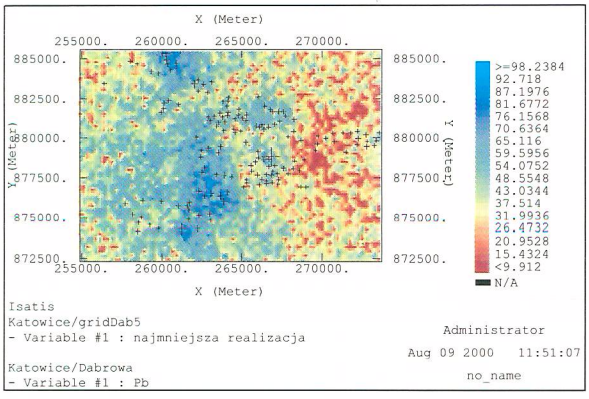
Rys. 31. Rejon Dąbrowy Górniczej wraz z naniesionymi punktami poboru próbek gruntów.
Fig. 31. Region of Dąbrowa Górnicza with the marked points of soils sampling.



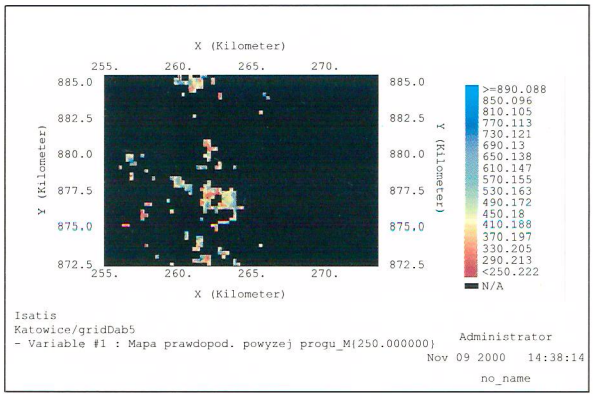
Rys. 32. Mapa rastrowa symulacji warunkowej zawartości ołowiu Pb (mg/kg) w gruntach dla rejonu Dąbrowy Górniczej (obraz uśredniony z 20-stu symulacji).
Fig. 32. Raster map of conditional simulation of lead Pb contents (mg/kg) in soils for the Dąbrowa Górnicza region (the averaged picture of 20-th simulations).



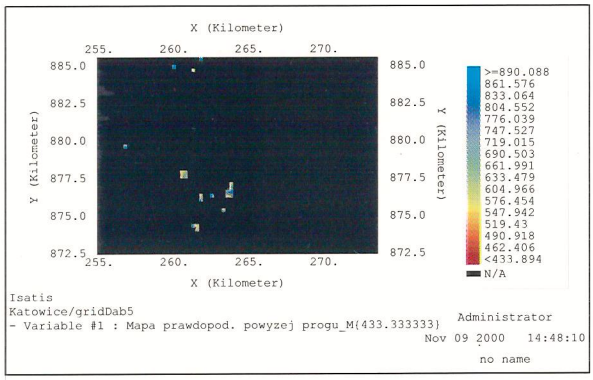
Rys. 33. Mapa rastrowa symulacji warunkowej zawartości ołowiu Pb (mg/kg) w gruntach dla rejonu Dąbrowy Górniczej (największe wartości symulowane w poszczególnych węzłach sieciowych).
Fig. 33. Raster map of conditional simulation of lead Pb contents (mg/kg) in soils for the Dąbrowa Górnicza region (the biggest simulated values in particular grid nodes).



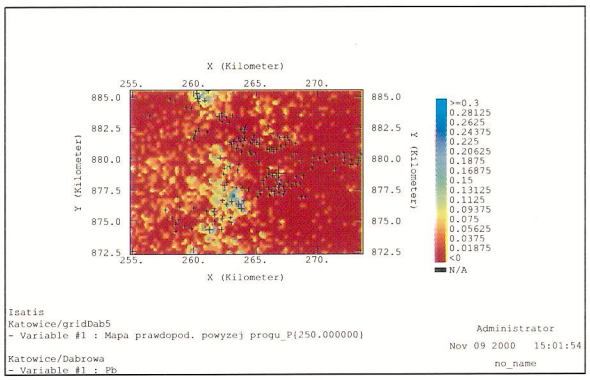
Rys. 34. Mapa rastrowa symulacji warunkowej zawartości ołowiu Pb (mg/kg) w gruntach dla rejonu Dąbrowy Górniczej (najmniejsze wartości symulowane w poszczególnych węzłach sieciowych).
Fig. 34. Raster map of conditional simulation of lead Pb contents (mg/kg) in soils for in Dąbrowa Górnicza region (the smallest simulated values mgPb/kg in particular grid nodes).



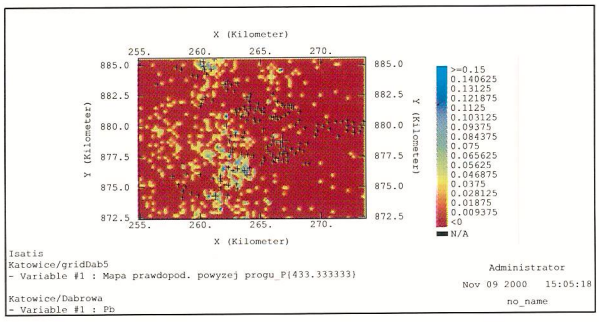
Rys. 35. Mapa średnich wartości symulowanych zawartości ołowiu Pb w gruntach w poszczególnych węzłach sieciowych (powyżej progu 250 mg/kg) dla rejonu Dąbrowy Górniczej.
Fig. 35. Map of averaged simulated values of lead Pb content in soils in particular grid nodes (above the threshold 250 mg/kg) for the Dąbrowa Górnicza region.



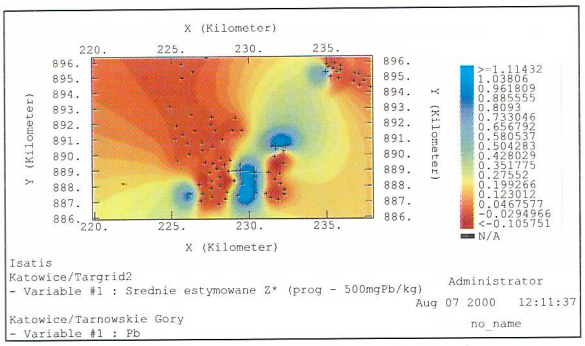
Rys. 36. Mapa średnich wartości symulowanych zawartości ołowiu Pb w gruntach w poszczególnych węzłach sieciowych (powyżej progu 433 mg/kg) dla Dąbrowy Górniczej.
Fig. 36. Map of averaged simulated values of lead Pb content in soils in particular grid nodes (above the threshold 433 mg/kg) for the Dąbrowa Górnicza region.



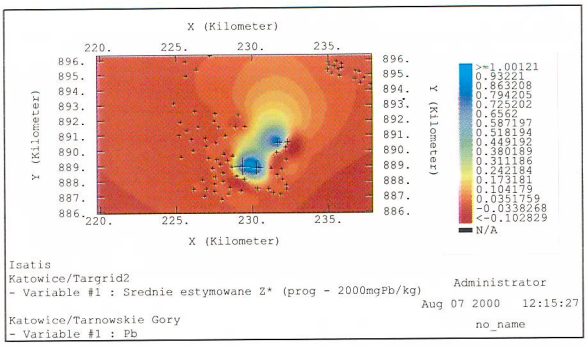
Rys. 37. Mapa rastrowa prawdopodobieństwa zawartości ołowiu Pb w gruntach dla rejonu Dąbrowy Górniczej (próg – 250 mg/kg).
Fig. 37. Probability raster map of lead Pb content in soils for the Dąbrowa Górnicza region (the threshold – 250 mg/kg).



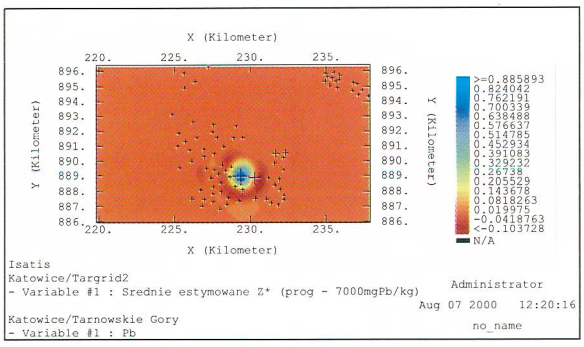
Rys. 38. Mapa rastrowa prawdopodobieństwa zawartości ołowiu Pb w gruntach dla rejonu Dąbrowy Górniczej (próg – 433 mg/kg).
Fig. 38. Probability raster map of lead Pb content in soils for the Dąbrowa Górnicza region (the threshold – 433 mg/kg).



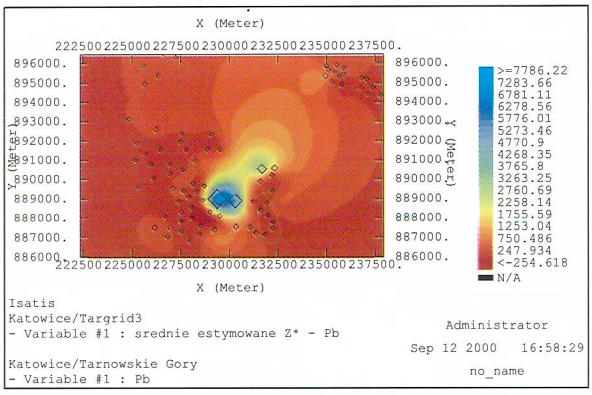
Rys. 39. Mapa rastrowa prawdopodobieństwa wystąpienia w gruntach zanieczyszczenia ołowiem Pb powyżej progu 500 mg/kg dla rejonu Tarnowskich Gór (kriging wskaźnikowy).
Fig. 39. Probability raster map of occurrence in soils of lead Pb pollution above the threshold 500 mg/kg for the Tarnowskie Góry region (indicator kriging).



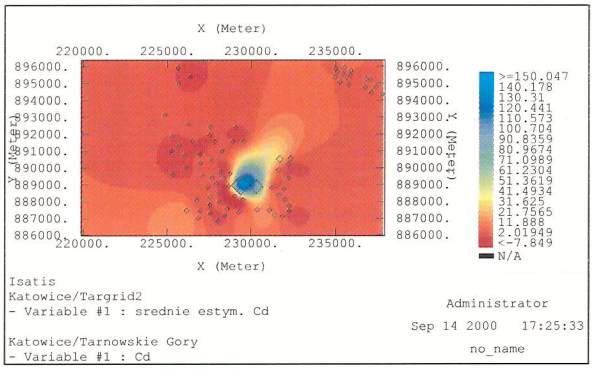
Rys. 40. Mapa rastrowa prawdopodobieństwa wystąpienia w gruntach zanieczyszczenia ołowiem Pb powyżej progu 2000 mg/kg dla rejonu Tarnowskich Gór (kriging wskaźnikowy).
Fig. 40. Probability raster map of occurrence in soils of lead Pb pollution above the threshold 2000 mg/kg for the Tarnowskie Góry region (indicator kriging).



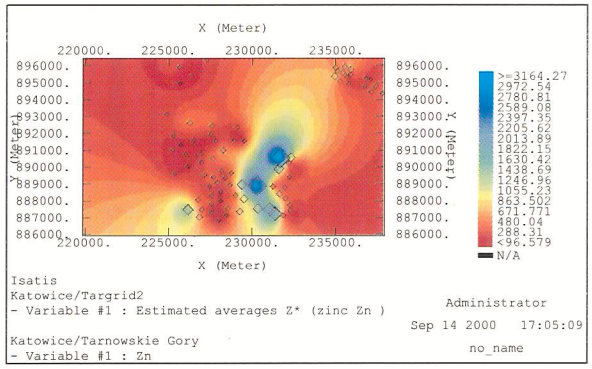
Rys. 41. Mapa rastrowa prawdopodobieństwa wystąpienia w gruntach zanieczyszczenia ołowiem Pb powyżej progu 7000 mg/kg dla rejonu Tarnowskich Gór (kriging wskaźnikowy).
Fig. 41. Probability raster map of occurrence in soils of lead Pb pollution above the threshold 7000 mg/kg for the Tarnowskie Góry region (indicator kriging).



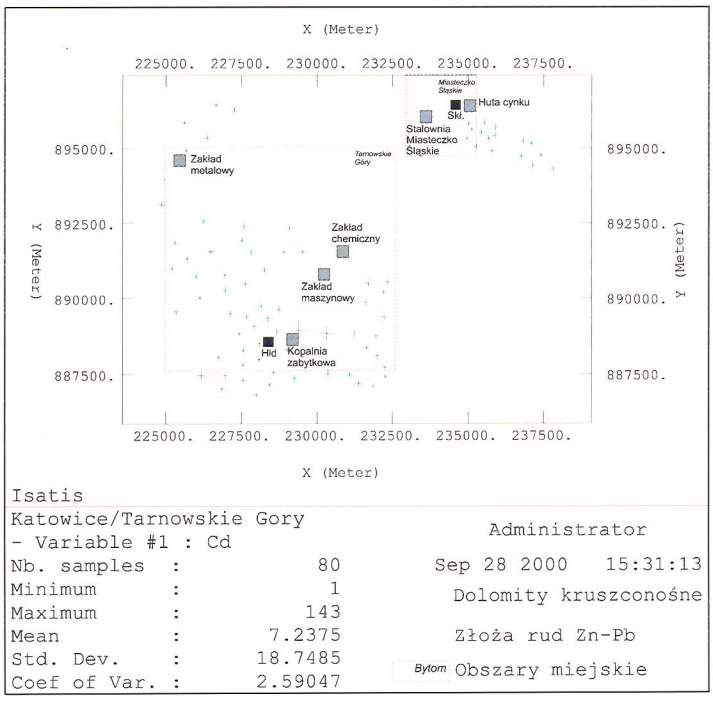
Rys. 42. Mapa rastrowa średnich estymowanych Z* zawartości ołowiu Pb (mg/kg) w gruntach dla rejonu Tarnowskich Gór.
Fig. 42. Raster map of estimated averages Z* of lead Pb contents (mg/kg) in soils for the Tarnowskie Góry region.



Rys. 43. Mapa rastrowa średnich estymowanych Z* zawartości kadmu Cd (mg/kg) w gruntach dla rejonu Tarnowskich Gór.
Fig. 43. Raster map of estimated averages Z* of cadmium Cd contents (mg/kg) in soils for the Tarnowskie Góry region.



Rys. 44. Mapa rastrowa średnich estymowanych Z* zawartości cynku Zn (mg/kg) w gruntach dla rejonu Tarnowskich Gór.
Fig. 44. Raster map of estimated averages Z* of zinc Zn contents (mg/kg) in soils for the Tarnowskie Góry region.



Rys. 45. Rejon Tarnowskich Gór wraz z naniesionymi punktami poboru prób gruntów.
Fig. 45. Region of Tarnowskie Góry with the marked points of soils sampling.

Na mapie prawdopodobieństwa, obliczonej dla progu - 7000 mg/kg, występowało już tylko pojedyncze, małe centrum zanieczyszczenia o zaokrąglonym kształcie (rys. 41).

Mapy wskaźnikowe dla wszystkich testowanych progów pokazują obszary ich przekroczenia z wysokimi wartościami prawdopodobieństwa, centra z prawdopodobieństwami - ok. 0,9 i strefą otaczającą - 0,7- 0,8.

Przeprowadzenie estymacji wskaźnikowej z uwzględnieniem poszczególnych progów zanieczyszczenia pozwala zorientowć się w przestrzennym rozmieszczeniu anomalii metali ciężkich w badanym rejonie, w zróżnicowanych wartościach prawdopodobieństwa przekroczenia różnych wartości brzegowych.

Na mapie izopletowej średnich estymowanych zawartości Pb dla rejonu Tarnowskich Gór zaznacza się bardzo wyraźnie centrum skażenia i jedno małe ognisko, bardzo słabe, które łączą się w większy podobszar (rys. 42).

Z wyraźnie zaznaczającym się centrum o podwyższonej koncentracji zawartości ołowiu, o owalnym kształcie, pokrywa się podobszar wysokich zawartości Cd, również o zaokrąglonym kształcie, przechodząc łagodnie w strefę o niższych zawartościach tego metalu (rys. 43). Ta ostatnia strefa w przypadku Pb jest zaznaczona silniej (rys. 42). Podobszar charakteryzujący się wyższymi zawartościami Zn zajmuje znacznie większą powierzchnię gleb, bez widocznych nieciągłości w strefie zanieczyszczenia, zaś główne centrum jest trochę przemieszczone w stosunku do rozkładu koncentracji zawartości Cd i Pb (rys. 44). Ponadto uwidacznia się pojedyncza mała strefa anomalii Zn.

Stwierdzony przestrzenny rozkład zawartości metali ciężkich Pb, Cd i Zn w rejonie Tarnowskich Gór znajduje potwierdzenie w wynikach obliczeń współczynnika korelacji r między poszczególnymi zawartościami tych metali. Współczynniki korelacji r wahały się od 0,57, w przypadku związku Cd-Zn, do 0,98 dla zależności Pb-Cd. Dla zależności Pb-Zn uzyskano wartość współczynnika r wynoszącą 0,62. Zaznaczające się na mapach izopletowych (rys.43 i rys.44) jedno bardzo wyraźnie centrum zanieczyszczenia gruntów metalami Cd i Pb, o prawie zbliżonych granicach powierzchni, wskazuje na identyczne źródło skażenia. Pozostałe związki korelacyjne są dużo słabsze. W odniesieniu do zawartości Zn, oprócz centralnej strefy podwyższonych koncentracji zawartości metali ciężkich, występują jeszcze dodatkowe źródła zanieczyszczenia.

W analizowanym rejonie Tarnowskich Gór rozkład zawartości poszczególnych metali ciężkich cechuje znaczny rozrzut stężeń w obrębie stosunkowo niewielkiego obszaru. Dla cynku jest to zakres od 103–3440 mg/kg, dla ołowiu - od 26-8200 mg/kg i kadmu - od 1–143 mg/kg (Namysłowska-Wilczyńska, Wilczyński 1999).

Stwierdzone strefy o anomalnie podwyższonych zawartościach analizowanych 3 metali są bardzo wyraźnie związane ze zlokalizowaniem tam zabytkowej kopalni rud Zn-Pb i z działalnością zakładu maszynowego (rys. 45). W przypadku zawartości Zn dodatkowe źródło skażenia może stanowić ponadto zakład chemiczny. Zakłady funkcjonujące w Miasteczku Śląskim, jak stalownia czy huta cynku (emisje pyłowe), mogą również wpływać negatywnie na stan zanieczyszczenia gruntów, o czym świadczy mapa prawdopodobieństwa przekroczenia progu zawartości Pb – 500 mg/kg (rys. 39).

W rejonie Dąbrowy Górniczej anomalie za które należy uznać podwyższone koncentracje zawartości metali ciężkich, układają się niekiedy prawie koncentrycznie wokół głównego źródła zanieczyszczenia, jakie niewątpliwie stanowi huta żelaza (emisje zanieczyszczeń pyłowo-gazowych) (rys. 31). Natomiast rejon Tarnowskich Gór znajduje się w zasięgu oddziaływania przemysłu wydobywczo-przetwórczego metali nieżelaznych (Lis, Pasieczna 1995, 1999). Na stwierdzony rozkład zawartości metali ciężkich może tutaj wpływać, oprócz działalności przemysłowej – współczesnej, także historyczna (rys.45). Są to pozostałości (hałda) odpadów górniczych, związanych z prowadzoną tutaj od XIV wieku eksploatacją złóż rud cynkowo-ołowiowych, z działalnością górniczo-hutniczą. Pylące hałdy mas odpadów są stałym źródłem zanieczyszczenia gleb (Wolak, Leboda, Hudicki 1995). O rozmieszczeniu istniejących anomalii geochemicznych decyduje też z pewnością czynnik naturalny, wywołany bliskością złóż Zn – Pb, występujących w pobliżu powierzchni, w stanowiących podłoże geologiczne utworach dolomitowych środkowego triasu.

6. Podsumowanie i wnioski końcowe

Zaprezentowana metodologia badawcza, wykorzystująca różne metody geostatystyczne do dokonywania oceny stanu zanieczyszczenia gruntów metalami ciężkimi, jest uniwersalna. Zakres jej stosowalności obejmuje różne dziedziny nauki i gospodarki, jest przydatna wszędzie tam, gdzie pojawia się potrzeba przetwarzania i analizy informacji zawartych w bazach danych zregionalizowanych. Badacz zajmujący się rozwiązywaniem różnorodnych zagadnień związanych z ochroną środowiska ma możliwość wyboru najbardziej odpowiedniego narzędzia estymacji średnich wartości parametrów środowiskowych, w zależności od rozwiązywanego problemu.

Na znacznych powierzchniach gruntów rozpatrywanych rejonów Tarnowskich Gór, Piekar Śląskich i Dąbrowy Górniczej stwierdzono istotne przekroczenia dopuszczalnych zawartości metali ciężkich, ołowiu, kadmu i cynku. Lokalnie występują podobszary o anomalnie podwyższonych koncentracjach zawartości tych metali. Wyraźnie zarysowane ich granice mogą wskazywać na sprzyjające warunki morfologii obszaru, a także mogą być spowodowane charakterem występujących gleb. Zbliżone rozmieszczenie przestrzenne wspomnianych największych anomalii dla poszczególnych metali ciężkich w badanych rejonach pozwala sądzić, iż mamy do czynienia z identycznym źródłem zanieczyszczenia. Natomiast podwyższone zawartości miedzi, niklu i chromu należałoby wiązać z działalnością hutniczą, mogą one pochodzić z emisji zanieczyszczeń pyłowych i gazowych.

Geostatystyka wskaźnikowa, zastosowana dla rejonu Tarnowskich Gór, jest użytecznym narzędziem do przestrzennego przedstawiania anomalii geochemicznych, zarówno pochodzenia naturalnego, jak i antropogenicznego w warstwach glebowych, i określenia prawdopodobieństwa wystąpienia stref o wysokim ryzyku skażenia gleb.

Metoda symulacji warunkowej (turning bands) pozwala na modelowanie wahań koncentracji stężeń metali ciężkich w gruntach. Dodatkową zaletę tej metody stanowi ponadto możliwość testowania wartości progowych skażenia - sporządzania map średnich wartości symulowanych lub map prawdopodobieństwa przekroczenia różnych progów zawartości metali.

Nieliniowe metody geostatystyczne, reprezentowane przez kriging wskaźnikowy i symulację warunkową, mogą być stosowane w jednakowym stopniu, w naukach środowiskowych przy prognozowaniu objętości gruntu zanieczyszczonego, do sporządzenia oceny ryzyka. Grunt, w którego przypadku koncentracja polutanta przekracza krytyczną wartość progową, musi zostać usunięty podczas podejmowania decyzji o naprawieniu jego własności na danym obszarze. Użycie progu, w przypadku wygładzonej oceny krigingowej koncentracji polutanta, będzie prowadzić do obciążonej oceny objętości gruntu zanieczyszczonego. W wyniku estymacji wskaźnikowej uzyskuje się mapę „wygładzoną", ponieważ kriging wskaźnikowy jest oparty na krigingu zwyczajnym. Kriging wskaźnikowy powoduje niedoszacowanie objętości zanieczyszczonego gruntu dla wybranego progu, zarówno globalnie, jak i lokalnie, zwiększające się dla wyższych wartości progowych. Tymczasem lokalne warunkowanie (symulacja) prowadzi do oceny mniej wygładzonej. Rezultaty symulacji warunkowej przedstawiają model zmienności zawartości metali ciężkich i mogą być wykorzystywane, obok technik krigingowych, przy podejmowaniu decyzji dotyczących działań naprawczych, związanych z ochroną środowiska. Zastosowanie różnych metod geostatystycznych do przetwarzania danych pochodzących z monitoringu środowiskowego pozwala na opracowanie bardziej wiarygodnej oceny ryzyka zanieczyszczenia środowiska naturalnego.

Bibliografia

Armstrong M., Dowd P.A.,: *Geostatistical Simulations.* Kluver Academic Publishers, 1993.

Armstrong M.: *Basic Linear Geostatistics.* Springer, Berlin 1998, p. 561.

Isaaks E.H., Srivastava R.M.: *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York 1989, p. 561.

ISATIS, wersja 3.1, USER'S GUIDE (1-7), CASE STUDIES (1-6), Geovariances, Avon Cedex, France, November 1997.

ISATIS, Isatis Software Manual, Geovariances and Ecole des Mines de Paris, March, 2000, p. 585.

Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M., Terelak H., Witek T.: *Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Ramowe wytyczne dla rolnictwa.* IUNG, Puławy 1993.

Kokesz Z., Mucha J.: *Zasady doboru modelu wariogramu przy obliczaniu wielkości błędów ekstensji.* Przegląd Geologiczny nr 2 (358), luty 1983, ss. 83-90.

Kokesz Z., Nieć M.: *Metody geostatystyczne w rozpoznawaniu i dokumentowaniu złóż oraz w ochronie środowiska.* Studia i Rozprawy 19.Wydawnictwo CPPGSMiE PAN, Kraków 1992, s. 53.

LA FEUILLE The Universe of Geostatistics, Geovariances Newsletter – October 1998, No 10, p.4.

LA FEUILLE The Universe of Geostatistics, Geovariances Newsletter – August 1999, No 11, p.4.

Lis J., Pasieczna A.: *Atlas geochemiczny Górnego Śląska 1:200 000*, PIG Warszawa 1995.

Lis J., Pasieczna A.: *Szczegółowa mapa geochemiczna Górnego Śląska 1:25 000*, Arkusz Sławków, PIG Warszawa 1999.

Matheron G.: *Trait de Geostatistique Appliquee*. Memoires du Bureau de Recherches Geologique et Minieres, vol.14: Editions Technip, Paris, 1962, p. 333.

Namysłowska-Wilczyńska B.: *Zmienność złóż rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej w świetle badań geostatystycznych*. Prace Naukowe Instytutu Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej Nr 64, Seria: Monografie 21, Wrocław 1993, s. 207.

Namysłowska-Wilczyńska B.: *Wybrane metody symulacji geostatystycznej, [w:] Komputerowe Wspomaganie Badań Naukowych. II KK KOWBAN'95. II Krajowa Konferencja zorganizowana przez* Wrocławskie *Towarzystwo Naukowe. Wrocław, 14-16 grudnia 1995 r.* Wrocław: Oficyna Wydawnicza Sudety, 1995, ss. 251- 262.

Namysłowska-Wilczyńska B., Wilczyński A.: *Badania geostatystyczne zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi w wybranych rejonach Górnego Śląska.* Ochrona Środowiska, Wyd. Oddz. Dolnośląskiego PZITS, czasopismo pod patronatem naukowym Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, 1997, nr 2(65), ss. 9-18.

Namysłowska-Wilczyńska B., Wilczyński A.: *An assessment of soil contamination with heavy metals using indicator geostatistics in Upper Silesia (S Poland). [w:] The Third Annual Conference of the International Association for Mathematical Geology. Proceedings of IAMG' 97.* Ed. by Vera Pawlowsky-Glahn. Barcelona, 22-27 September 1997. Part 2. Barcelona: International Center for Numerical Methods in Engineering 1997, pp. 905-910.

Namysłowska-Wilczyńska B., Wilczyński A.: *Zastosowanie geostatystyki wskaźnikowej do modelowania zanieczyszczenia środowiska naturalnego metalami ciężkimi.* IV Ogólnopolska Konferencja Na-

ukowa pt. „Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska", Zeszyty Naukowe Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Nr 15, Seria: Inżynieria Środowiska, Politechnika Koszalińska, Ustronie Morskie maj 1999 r., s. 461-474.

Namysłowska-Wilczyńska B.: *Wyznaczenie punktów poboru prób gleb na gruntach rolnych w rejonie Dąbrowy Górniczej na podstawie analizy geostatystycznej.* Raport Instytutu Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej, serii SPR nr 6/99, Wrocław, wrzesień 1999 r., s.18, załącznik (64 rysunki).

Namysłowska-Wilczyńska B., Wilczyński A.*: Geostatistical methods and turning bands simulation assessment of heavy metals pollution of soils in Dąbrowa Górnicza area.* Materiały Międzynarodowej Konferencji „Spatial Information Management in The New Millenium", Kraków, 15-17 November, 1999, ss. 97-107.

Namysłowska-Wilczyńska B.: *Survey of heavy metals pollution.* Firma Avon Cedex - France GEOVARIANCES, Ecole des Mines de Paris User's Meeting, Fontainebleau, September 21-22, 2000 (przedstawienie referatu na seminarium w dn. 21.09.2000 r.).

Namysłowska-Wilczyńska B., Pyra J.: *Wykorzystanie kiringowych metod estymacyjnych do oceny stanu zanieczyszczenia gruntów miedzią i ołowiem na obszarze LGOM-u.* III Forum Inżynierii Ekologicznej „Modelowanie matematyczne w strategii gospodarowania środowiskiem", Nałęczów 11-13 październik 2000 r., ss.222-234, Wydawnictwo Ekoinżynieria Lublin.

Namysłowska-Wilczyńska B., Rusak K.: *Czynnik czasu w badaniach zanieczyszczenia gruntów metalami ciężkimi*. Materiały VI KK KOWBAN' 99 Krajowej Konferencji „Komputerowe Wspomaganie Badań Naukowych", Wrocław – Polanica Zdrój 28 - 30 października 1999 r. Wrocławskie Towarzystwo Naukowe, ss. 215 - 227.

Namysłowska-Wilczyńska B., Wilczyński A.: *An Application of the Turning-Bands-Simulation Method for the Modeling of Environmental Data.* Book of Abstracts. CODATA 2000, 17th International CODATA Conference, 15-19 October, 2000 – Baveno, Italy, pp. 177-178

Osada E.: *Transformacja współrzędnych prostokątnych na geograficzne.* Raport Politechniki Wrocławskiej serii SPR nr 6/99, 1999, s.11.

Research News For 1996, Centre de Geostatistique, Ecole Nationale Supericure des Mines de Paris, Fontainebleau.

Research News For 1999, Centre de Geostatistique, Ecole Nationale Supericure des Mines de Paris, Fontainebleau.

Research News, Centre de Geostatistique, Ecole Nationale Supericure des Mines de Paris, January 2000, Fontainebleau.

Van der Meer F. D., Stolle F.: *Geostatistical evaluation and data integration for contamination modelling in Dallas (Texas).* International Institute For Aerospace Survey and Earth Sciences, Enschede, Holland, 1992 .

Van der Meer F. D.: *Introduction to Geostatistics.* International Institute For Aeorospace Survey and Earth Sciences, Enschede, Holland, 1993, p. 52.

Wackernagel H.: *Multivariate Geostatistics,* Springer - Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1995, p. 291.

Wiatr I.: *Metody geostatystyczne w monitorowaniu stanu degradacji środowiska naturalnego.* Ekoinżynieria, styczeń 1996.

Wolak W., Leboda R., Hudicki Z.: *Metale ciężkie w środowisku i ich analiza.* PIOS Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Chełmie, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Chełm 1995, s. 139.

Summary

Effective methods of data analysis are needed to process the data stored in databases. Geostatistics, which is a branch of applied spatial statistics, offers such possibilities. Linear geostatistics methods: variogram, kriging and co-kriging as well as nonlinear geostatistics methods: indicator variogram, indicator kriging and conditional simulation (turning bands) were applied to the processing of environmental data. The database prepared for the geostatistical analysis contained collected samples' X and Y coordinate values and soil lead and zinc contents found in the ISATIS software package, made available by the Institute of Agriculture in Geneva. All calculations connected with soils pollution study were performed by authors.

Results of a (one- and multidimensional) structural analysis of variability in the metals content and techniques of interpolating the variables in a regular network by kriging and co-kriging are presented. Also a conditional (turning bands) simulation of soil zinc pollution was run and a map of the probability of exceeding a particular pollution threshold for this metal was obtained.

Empirical isotropic variograms were calculated and approximated by theoretical models: linear with nugget effect for the both heavy metals contents. The Zn and Pb content was estimated by ordinary (point) kriging on the basis of geostatistical model parameters: sill variance, nugget effect and influence range. For comparison, results of estimation by other interpolation methods, i.e. the nearest neighbour and the squared inverse distance, are presented. The set of analyzed data includes information about the two highly correlated (correlation coefficient r=0.88) variables. Therefore also co-kriging was applied to estimate averages. A two-dimensional nested model, consisting of three basic structures: an exponential variogram, a linear variogram and nugget effect was determined. Then the heavy metal contents were estimated by co-kriging, estimating average Pb contents by taking into account Zn content data and conversely.

Finally, maps of threshold values showing the probability of Zn exceeding different pollution thresholds at particular grid nodes, calculated on the basis of a set of simulated values, were made.

After the presentation of research methodology based on the above geostatistical methods combined with conditional (turning bands) simulation, examples of its application to selected areas in Upper Silesia are given. The aim was to assess the heavy metal pollution of the soil surface layer (0.20 m thick) in the areas of Dąbrowa Górnicza and Tarnowskie Góry. The analysis was based on data from regional soil monitoring (sample size N=153 and N=80) carried out by the Environment Research and Control Institute in Katowice in years 1983 - 1984. Ordinary (point) kriging Pb and Cr content estimates are given. Statistical maps of Pb content conditional simulation (images: averaged on the basis of 20 simulations, for the lowest and highest simulation values), maps of simulated averages of exceeded threshold values: 250 mgPb/kg, 300 mgPb/kg, 433 mgPb/kg, 800 mgPb/kg and maps of the probability of exceeding these thresholds at particular grid nodes were made. On the basis of the estimated heavy metal content averages danger zones and the dimensions of the area near Dąbrowa Górnicza which should be covered by new soil environmental monitoring were determined. An example of an indicator estimation for the Tarnowskie Góry area, done using indicator variogram and indicator kriging for three Pb content thresholds: 500 mgPb/kg, 2000 mgPb/kg and 7000 mgPb/kg, is provided.

KRONIKA
PRAC KOMISJI

W drugim roku działania Komisji Geoinformatyki odbyły się następujące posiedzenia naukowe:

19 stycznia z referatem Mariusza Młynarczuka (Instytut Mechaniki Górotworu PAN – Kraków) pt.: „Zastosowanie metod analizy obrazów do pomiarów parametrów geometrycznych wybranych skał" (pełny tekst znajduje się w niniejszym 2 tomie *„Geoinformatica Polonica"*).

16 lutego z referatem Wojciecha Pachelskiego (Centrum Badań Kosmicznych PAN - Warszawa) pt.: „Podstawy modelowania danych przestrzennych" (pełny tekst znajduje się w niniejszym 2 tomie *„Geoinformatica Polonica"*).

15 marca z referatem Andrzeja Leśniaka (Zakład Geofizyki Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH) pt.: „Metody grupowania i analizy zjawisk podobnych w sejsmologii inżynierskiej" (pełny tekst znajduje się w niniejszym 2 tomie *„Geoinformatica Polonica"*) .

12 kwietnia z referatem Bogdana Cianciary (Zakład Geofizyki Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH) pt: „ Zastosowanie entropii do badania informacji o zagrożeniu tąpaniami, zawartej w strumieniu emisji sejsmicznej górotworu" (pełny tekst znajduje się w niniejszym 2 tomie *„Geoinformatica Polonica"*).

17 maja - mała sesja naukowa z referatami : Barbary Namysłowskiej - Wilczyńskiej i Artura Wilczyńskiego (Politechnika Wrocławska) pt.: „Rozkład zawartości metali ciężkich w gruntach na podstawie badań geostatystycznych" oraz Janusza Magiery (Katedra Złóż Surowców Skalnych Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH) i Konrada Foryciarza (ComArch s.a.): „Rozkład zawartości metali ciężkich w gruntach na podstawie badań przy użyciu GIS (systemu informacji przestrzennej)" (pełny tekst znajduje się w niniejszym 2 tomie *„Geoinformatica Polonica"*).

14 czerwca z referatem Henryka Marcaka (Zakład Geofizyki Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH) pt.: „Zastosowanie satelitarnych badań georadarowych do rozpoznawania właściwości utworów przypowierzchniowych Ziemi" (pełny tekst ukaże się w 3 tomie *„Geoinformatica Polonica"*).

11 października z referatem Wojciecha Masteja (Zakład Geologii Ogólnej i Matematycznej, Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, AGH) pt.: „Metody rozpoznawania obrazów we wspomaganiu prospekcji cynkowo - ołowiowych ciał rudnych w złożu Trzebionka" (pełny tekst ukaże się w kwartalniku *„Gospodarka Surowcami Mineralnymi"*, t. 2/2001).

15 listopada z referatem Wojciecha Widackiego (Zakład Systemów Informacji Geograficznej Instytutu Geografii UJ), pt.: „Systemy informacji geograficznej i ich rola w naukach przestrzennych" (pełny tekst ukaże się w 3 tomie *„Geoinformatica Polonica"*).

Na 15 grudnia planowany jest referat Mariana Nogi (ACK Cyfronet AGH) pt.: „Współczesna architektura komputerowa".

Streszczenia referatów ukażą się w kolejnym tomie *„Sprawozdań z czynności i posiedzeń PAU"*. Streszczenia z referatów wygłoszonych na posiedzeniach w pierwszym roku działalności Komisji (1999) znajdują się w tomie LXIII/1999 (2000) tychże *"Sprawozdań .."*.

Nowi członkowie – współpracownicy

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

W roku sprawozdawczym przyjęto następujących nowych członków-współpracowników Komisji:

– prof. Mariusz Flasiński, prof. Marian Noga, prof. Tomasz Szmuc, prof. Jan Zabrodzki (informatyka), wnioskodawcą był prof. R. Tadeusiewicz;
– dr Mariusz Młynarczuk (nauki górnicze), wnioskodawcą był prof. J. Bodziony;
– prof. Wojciech Pachelski (geodezja), wnioskodawcami byli prof. J. Jachimski i prof. J. Kotlarczyk;
– dr hab. Andrzej Leśniak (geofizyka), wnioskodawcami byli prof. Z. Kasina i prof. J. Kotlarczyk;
– prof. Wojciech Widacki (geografia), wnioskodawcą był prof. J. Kotlarczyk;
– dr Wojciech Mastej (geologia) wnioskodawcą był prof. J. Kotlarczyk.

W rezultacie powiększenia składu Komisji w jej obecnym składzie znaleźli się przedstawiciele następujących dyscyplin:

nauk informatycznych – 5 osób,
geologii – 9 osób,
geofizyki – 6 osób,
geografii – 1 osoba,
geodezji – 2 osoby,
fotogrametrii i teledetekcji – 5 osób,
nauk górniczych – 3 osoby,
geomechaniki – 3 osoby.

Konferencje naukowe

Z inicjatywy vice-przewodniczącego Komisji prof. Józefa Jachimskiego i równocześnie przewodniczącego Komitetu Organizacyjnego Międzynarodowego Sympozjum: *„Fotogrametria, Teledetekcja i GIS u progu Trzeciego Tysiąclecia"*, Komisja Geoinformatyki objęła współpatronat nad tą imprezą naukową. Pięciu członków Komisji wzięło czynny udział w sympozjum z dziewięcioma referatami. Materiały Konferencji zostały opublikowane w *„Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji"*, v.10 (rok 2000). Bliższe omówienie sympozjum znajduje się w niniejszym tomie *„Geoinformatica Polonica"*

Promocja prac Komisji

Komitet Administracyjny Komisji przygotował z początkiem br. stronę internetową Komisji do witryny PAU, jednak z przyczyn technicznych nie została ona jeszcze uruchomiona.

W związku z powyższymi trudnościami, strona internetowa wydawnictwa *„Geoinformatica Polonica"* czasowo pojawi się w witrynie AGH, na stronie Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu.

Komitet Administracyjny Komisji oraz redakcja *Geoinformatica Polonica* przeprowadziły akcje promocji naszej serii wydawniczej w kilkudziesięciu redakcjach czasopism branżowych (z zakresu geologii, górnictwa, geografii, geodezji, informatyki). W rezultacie w wydawnictwach tych ukazują się okazjonalnie odpowiednie informacje o *„Geoinformatica Polonica"*.

Podstawowe informacje o działalności Komisji i wspomnianym tegorocznym sympozjum zostały zamieszczone na łamach *„Forum Akademickiego"* - listopad (J.Jachimski i J. Kotlarczyk) i *„Przeglądu Geologicznego"*- grudzień (J.Kotlarczyk).

przewodniczący
Janusz KOTLARCZYK

sekretarz
Ryszard ŚLUSARCZYK

INFORMACJE O KONFERENCJACH

Sympozjum naukowe z okazji Jubileuszu 70-lecia Polskiego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji:

„Fotogrametria, teledetekcja i GIS u progu trzeciego tysiąclecia"

Obrazowe metody uzyskiwania, przechowywania, analizy i udostępniania informacji o sposobach użytkowania ziemi oraz stanie naturalnego środowiska i zabytków kultury materialnej rozwijane i wykorzystywane są w Polsce i na świecie ze stale wzrastającym zainteresowaniem i skutecznością. W dobie budowy Społeczeństwa Informacyjnego poszukujemy m.in. najbardziej sugestywnych sposobów selektywnego przekazywania szerokiemu gronu odbiorców wielorakich informacji zawartych w cyfrowych bazach danych. Szeroko rozumiane metody obrazowe ułatwiają, a niekiedy wręcz umożliwiają ten przekaz. Z drugiej strony, to właśnie lotnicze i satelitarne obrazy pozwalają tworzyć w pewny i bardzo szybki sposób trudny do wyobrażenia, ogromny zasób informacji. Złożona naukowa analiza tych informacji umożliwia selektywne ich przetwarzanie i udostępnianie w łatwej do percepcji formie odpowiednio zredagowanych obrazów. Tak wiec, gdy omawia się metody obrazowe w geoinformatyce, należy mieć na uwadze szereg specjalności naukowych, takich jak: fotointerpretacja, teledetekcja, fotogrametria, kartografia, satelitarne globalne metody pomiarowe (GPS), i, oczywiście, nauki zajmujące się cyfrowymi systemami informacji przestrzennej.

Jubileusz 70-lecia utworzenia Polskiego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji stał się okazją do podsumowania polskich i światowych osiągnięć metod obrazowych w ostatnim okresie. Trzydniowe sympozjum zorganizowane zostało przez Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej Akademii Górniczo Hutniczej w Krakowie w dniach 27-29 września 2000 r. Organizacji sympozjum patronowali: Polskie Towarzystwo Fotogrametrii i Teledetekcji (PTFiT-SGP), Sekcja Fotogrametrii i Teledetekcji Komitetu Geodezji PAN oraz Komisja Geoinformatyki Polskiej Akademii Umiejętności. Sympozjum zgromadziło ponad stu specjalistów z dziedziny fotogrametrii, teledetekcji i geograficznych systemów informacyjnych (GIS), członków i sympatyków Polskiego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji.

Propagowane przez Towarzystwo zdalne metody zdobywania i przetwarzania informacji o środowisku budziły duże zainteresowanie już od ponad stu lat, a powszechnie zaczęły być stosowane od momentu, kiedy pojawiły się masowo uzyskiwane zdjęcia lotnicze powierzchni ziemi. W ostatnich latach wielospektralne zobrazowania satelitarne, których rozdzielczość przestrzenna (czyli geometryczna), radiometryczna, spektrometryczna i czasowa stale wzrasta, stwarzają zupełnie nowe warunki do masowego wykorzystywania zdalnych informacji obrazowych. Już dzisiaj oferowane są komercyjne zobrazowania cyfrowe o rozdzielczości przestrzennej poniżej 1m, a więc o szczegółowości porównywalnej z mapami w skalach 1:25000 do 1:10000. Osiągalne są również radarowe zobrazowania powierzchni naszej planety, które umożliwiają pomiar kształtu powierzchni całej bryły ziemskiej z dokładnością kilkunasto, a nawet kilkumetrową; amerykańska misja radarowa, stosując tę metodę, wykryła w bieżącym roku unikalny fenomen geometrycznych "zapadlisk" powierzchni oceanów nad rowami tektonicznymi. Satelitarne metody radarowe umożliwiają też precyzyjny, z dokładnością centymetrową, pomiar zmian kształtu powierzchni ziemi.

Współczesne nam osiągnięcia w dziedzinie metod obrazowych przynoszą coraz to nowe rewelacje. Na tle tych osiągnięć trudno docenić zarówno wysiłek intelektualny i techniczny podjęty kilkadziesiąt lat temu przez twórców metod obrazowych, jak i trudności organizacyjne, które musieli pokonać.

Duże zainteresowanie fotogrametrią w Polsce datowane jest na początek obecnego stulecia. Niemniej z austriackich badań wynika, że autorem pierwszej publikacji z tej dziedziny był w 1876 r. niejaki Lucjan Mickiewicz, stacjonujący w Krakowie oficer armii austriackiej. W roku 1930, przed siedemdziesięciu laty, grupa polskich fotogrametrów powołała do życia Polskie Towarzystwo Fotogrametryczne (PTF). Pierwszym przewodniczącym Towarzystwa został profesor Kasper Weigel, geodeta i kartograf, naukowiec o światowej sławie. On też na Kongresie International Society for Photogrammetry (ISP) w Zurichu został wkrótce wybrany na przewodniczącego komisji Międzynarodowego Towarzystwa Fotogrametrycznego na Kongresie International Society for Photogrammetry (ISP) w Zurichu. Tak, z rozmachem, rozpoczęła się działalność organizacyjna naszego Towarzystwa, i trwa nadal. Ale znacznie wcześniej fotogrametrię zaczęto stosować dla celów gospodarczych i militarnych na ziemiach polskich.

Już w roku 1930 Polska miała znaczący dorobek, jeśli chodzi o zastosowanie fotogrametrii naziemnej i lotniczej. Powstało przedsiębiorstwo fotogrametryczne „Fotolot", kierowane przez Mariana Brunona Piaseckiego, późniejszego profesora Politechniki Warszawskiej i wieloletniego rzeczywistego, a potem honorowego przewodniczącego PTF. Fotomapy szybko zaczęły wchodzić do powszechnego użycia. We Lwowie i w Warszawie rozwijało się specjalistyczne szkolnictwo na poziomie uniwersyteckim.

Rok 1939 zahamował aktywność naszego Towarzystwa aż na 17 lat, bowiem po wojnie dopiero w 1957 roku, po politycznej odwilży, udało się wznowić działalność, tym razem w ramach organizacyjnych Stowarzyszenia Geodetów Polskich NOT.

Ponownie zaczęły się odbywać zebrania naukowo - techniczne, seminaria, konferencje i sympozja. Ponownie nasi przedstawiciele zaczęli się udzielać na forum Międzynarodowego Towarzystwa. Idąc drogą postępu, zarówno międzynarodowe, jak i krajowe towarzystwo rozbudowało nazwę, aby nadać teledetekcji pełnię praw. Stale poszerza się tematyka badań podejmowanych przez naszych członków i zakres ich zastosowań. Rozwój komputeryzacji, który stymuluje rozwój systemów informacji przestrzennej i geograficznych systemów informacyjnych, rozwój aktywnych skanerów (mikrofalowego radaru i skanera laserowego), GPS-u i Internetu, łączy się z postępami w teledetekcji i fotogrametrii cyfrowej. Nasza dyscyplina z niezwykle ekskluzywnej może stać się – w wybranych zakresach – dyscypliną popularną, zaspokajającą podstawowe potrzeby budowanego właśnie Społeczeństwa Informacyjnego. Nasze Towarzystwo popularyzuje i rozbudowuje geoinformatykę w zakresie przydatnych w tej dziedzinie metod obrazowych.

Jubileuszowe sympozjum odbyło się w gościnnie nam udostępnionych pomieszczeniach Polskiej Akademii Umiejętności w Krakowie oraz Wyższego Seminarium Duchownego Ojców Bernardynów w Kalwarii Zebrzydowskiej. Uroczystość, którą otworzył prorektor AGH, prof. Andrzej Kowal, rozpoczęły wystąpienia gości krajowych i zagranicznych, w tym adresy od przewodniczących towarzystw fotogrametrycznych krajów ościennych oraz od prof. Antonio Almagro z Hiszpanii, prof. Gottfrieda Konecnego z Niemiec i prof. Petera Waldhaeusla z Austrii. Wystąpił także prof. Michał Odlanicki Poczobutt – senior Towarzystwa. Wystąpienia te potwierdziły naszą wysoką pozycję naukową i techniczną, a także nieustającą aktywność na forum międzynarodowym. Za zasługi dla fotogrametrii i teledetekcji dyplomy honorowych członków PTFiT otrzymali: prof. Zbigniew Sitek i dr Jerzy Zarzycki.

W przemówieniach powitalnych przewodniczący organizacji patronujących sympozjum: prof. Janusz Kotlarczyk (PAU), prof. Adam Linsenbarth (Komitet Geodezji PAN) i niżej podpisany (PTFiT) dali wyraz związkom tematycznym miedzy różnymi grupami zainteresowań, które zajmują się geoinformatyką, a także wynikającej z tego coraz bardziej naglącej potrzebie uściślenia współpracy. Dzisiaj z przyjemnością mogę stwierdzić, że ten postulat znajduje realizację w zainicjowanej przez prof. Jana Olędzkiego, przewodniczącego Klubu Teledetekcji Polskiego Towarzystwa Geograficznego, wspólnej konferencji geoinformatycznej, którą fotogrametrzy oraz

specjaliści od fotointerpretacji i teledetekcji, a także geoinformatycy i kartografowie (Stowarzyszenie Kartografów Polskich) organizują wspólnie w dniach 3-5 października 2001 w Wysowej.

W ramach sesji technicznych naszego sympozjum zaproszeni referenci podsumowali obrady XIX Kongresu *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, który odbył się w lipcu 2000 r. w Amsterdamie. W rezolucjach kongresowych zwraca się uwagę na coraz to mocniejsze powiązania tematyczne między różnymi naukowymi i naukowo-technicznymi organizacjami międzynarodowymi, wynikające ze stosowania wspólnego warsztatu, jakim jest informatyka, a szczególnie informatyka obrazowa, oraz geoinformatyka. Te powiązania tematyczne stymulują coraz to ściślejszą współpracę między tymi organizacjami. Rezolucje podkreślają też konieczność intensyfikowania wysiłków poznawczych i projektowych dotyczących rozbudowywania mocy i rozdzielczości satelitarnych i lotniczych systemów skanujących, a także automatyzacji analizy zobrazowań, prowadzącej do rozpoznawania rodzaju, kształtu i wymiarów obiektów naziemnych i nadziemnych, a w konsekwencji do budowania zintegrowanych systemów monitoringu na potrzeby rolnictwa, urbanistyki, ochrony środowiska, zarządzania itp., w tym systemów wczesnego ostrzegania przed zagrożeniami. Ze szczególną troską zwracano uwagę na problemy integracji danych pochodzących z różnych źródeł, a także na problemy integracji zobrazowań w systemach informacji przestrzennej, ze szczególnym naciskiem na rozwój technik udostępniania i prezentacji informacji zawartych w tych systemach. Szczególnie podkreśla się potrzebę szerokiego wykorzystywania Internetu na potrzeby geoinformatyki, a także doskonalenia metod wizualizacji poprzez udostępnianie informacji w postaci animowanych sekwencji obrazów typu *virtual reality.*

Referaty przedstawiające indywidualny dorobek uczestników sympozjum (67 referatów) prezentowane były na sesjach posterowych, poprzedzanych trzyminutowym omówieniem referatu przez autora na sesji plenarnej.

W rezolucjach jubileuszowego sympozjum PTFiT, podjętych po trzech dniach obrad, uczestnicy stwierdzili, że w najbliższej przyszłości konieczna jest szybsza realizacja dwóch ważnych celów Towarzystwa; chodzi o szeroką popularyzację metod i produktów fotogrametrii, teledetekcji i GIS, szczególnie wśród młodzieży, oraz uzyskanie społecznego poparcia dla takiej nowelizacji ustawodawstwa, aby rozwój specjalistycznego sektora prywatnego uczynić bardziej opłacalnym i zdynamizować go, szczególnie w zakresie uzyskiwania nowych zdjęć lotniczych i kształtowania programu rozwoju propagowanych metod i produktów dla dobra jeszcze bardziej dynamicznego gospodarczego rozwoju Polski, przygotowującej się do wejścia w skład struktur europejskich.

Józef JACHIMSKI

WSKAZÓWKI DLA AUTORÓW PRAC

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

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

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

Tekst powinien być zapisany w jednym z następujących formatów:

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

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

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

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

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

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

Rysunki powinny być dostarczone:

— na papierze lub kalce (z podanym nazwiskiem autora i numerem rysunku),
— na dyskietce w jednym z podanych niżej formatów:

a) * .TIF – format zapisu mapy bitowej wykorzystywany przez większość programów obsługujących skanery,
b) * . IMG – pliki tworzone przez programy pracujące w środowisku GEM,
c) * . PLT – rysunki eksportowane z programów typu CAD,
d) * . CGM – format zapisu grafiki wykorzystywany m. in. przez takie programy, jak: HARVARD PACKARD GRAPHICS, APPLAUSE,
e) * . PCX,
f) * . CDR z programu CorelDRAW.

Możliwa jest po uzgodnieniu edycja rysunków kolorowych.

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

W trakcie wpisywania tekstu należy przestrzegać następujących zasad:

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

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

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

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

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

The text shall be written and saved in one of the following formats:
ASCII 8 – the Authors are requested to specify the standard of Polish letters (e.g. Central-European, Latin 2, Mazovia),
WORDPERFECT (versions 5.0, 5.1 and the following ones),
WORD FOR WINDOWS (versions 2.0, 6.0 and 7.0).
The places where figures, drawings or tables are to be introduced shall be marked on the margin of the printout sent to us.

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

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

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

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

Drawings shall be delivered:

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

Edition of coloured drawings/figures is possible after consultation.

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

While writing the text the following principles shall be observed:

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

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