

INCREASING THE EXACTNESS OF REGIONAL ENGINEERING
GEOLOGICAL INVESTIGATION

MATULA M.,^{*}

Summary:

To meet the growing requirements for more exact interpretation, prediction and recommendation, various methods of quantitative evaluation are being rapidly developed also in regional engineering geology. The paper deals with some questions of how to increase the level of exactness in all the main phases of processing information on regional geology: in acquisition, storage and retrieval of primary data; in classifying the relevant attributes of phenomena shown on our maps; in special purpose oriented transformation of engineering geological and geotechnical maps; and in optimization analyses when evaluating regional units and systems.

Introduction

It is well proved by the analysis of recent trends in engineering geology that the centre of new developments in this discipline has moved from narrowly limited "site investigation" to a wider field of "regional studies", oriented to the solution of constantly more comprehensive environmental problems. Encouraged by the growing requirements of planners and designers, methods of quantitative evaluation and qualified prediction of changes are being developed within the field of regional engineering geology. Its ability to provide realistic interpretations instead of merely geological statements is nowadays largely recognized in planning extensive infrastructures fully in overall harmony with regional conditions.

^{*} Prof. Milan Matula; Department of Engineering Geology, Comenius University, Zadunajská 15, 81100 Bratislava, Czechoslovakia.

Considering the questions of increasing the level of exact and quantitative evaluation of engineering geological information as the most relevant ones in all phases of regional data processing, I would like to deal with them in more detail in this brief report. The following phases are mainly implied: acquisition, storage and retrieval of primary data; quantitative classification of phenomena in engineering geological maps; transformation of engineering geological and geotechnical maps; trans- and optimization analyses in the evaluation of regional systems (units). With regard to the limited scope of this contribution I am presenting in it only some examples from Czechoslovakia.

Acquisition, storage and retrieval of primary engineering geological data

The innovation induced by newly developed investigation techniques in the field of geological and geophysical subsurface exploration, remote sensing, computer use, etc., can be fully efficient for regional engineering geological studies only if there is also a parallel development in our methods of interpretation, evaluation and utilization of the acquired data. In other words, we are facing nowadays the acute problems of how to improve our ability to use exact criteria and classifications in adequately quantified engineering geological terms, in order not to lag behind the possibilities which are provided by the rapid developments in observation and exploration techniques.

For advancing the precision of accumulated primary information data, which has always been and will be the fundamental starting point to a successful solution of all theoretical and applied tasks in our discipline, of decisive importance at present is progress mainly in the following two trends:

- a) preparation of a precise terminology, based on scientifically proved definitions, as well as of exact evaluation of all phenomena shown in engineering geological maps;

- b) preparation of internationally agreed quantitative and semiquantitative classifications for the main attributes of the phenomena being observed and measured, as an efficient tool for limiting the subjectivity of data on our maps.

Much has already been said about the indispensability of unification in terminology and this task belongs to our fundamental duties within the national and international sphere. It is a particularly appropriate time to see more evident progress in this field in the IAEG.

In regional engineering geology it is necessary to work with a great quantity of diverse data. That is why their exact evaluation and classification is far more necessary, as well as more difficult than in site investigation. An appreciable help in storing and retrieval of large amounts of data is presented by the systems of various computerized data banks. Their fundamental requirement, however, is that the primary information data must be formalized, but formalization is efficient only when based on a suitable quantitative analysis and on precise rules and standards.

In the phase of the acquisition and fommalization of primary data it is usually necessary to overcome many obstacles resulting from extreme diversity of filing and format systems, and in the different organization of data collected from various sources, and also in accuracy and incompleteness of information by different authors or agencies, and/or from various time priods. Critical selection and re-evaluation of the data, their reclassification in new and exact terms usually represent here bigger problems than the acquisition of new original data by applying unified and standardized observation, exploration and testing methods. The latter, however, are naturally also substantially more expensive and therefore it is necessary to use as much as possible the old accessible data in spite of the above mentioned difficulties.

The best way towards a systematic and exact acquisition and documentation of primary data obtained by observation and measurement of the engineering geological attributes (even those taken from older existing archives) in the use of unified and formalized record sheets. In Czechoslovakia, for example, engineering geology in general uses the standard forms of the State Geofond for primary records of drilling results, for observation of geological conditions and processes in individual localities, for hydrogeological data, etc. The records are made according to detailed manuals which contain definitions and classifications, as well as coding systems for all attributes stored in a unified Engineering Geological Databank.

The advantages may be multiplied by using data not only from the specialized engineering geological data base, but also from the similarly organized subsystems for such related disciplines as Geology of mineral deposits, Hydrogeology, Geomorphology, Environmental protection, etc., which are in my country the individual sections of the Automated Information System for Geology (forming a part of the Integrated System of Data on the State Territory).

The efficiency of unified databanks may be fully demonstrated in regional investigation only when they are employed to a great extent for collected data and for vast territories by all users of engineering geological information. Thus, for example, in Czechoslovakia the State Geofond Databank Rules apply by law to every author compiling a multipurpose engineering geological map at a scale of 1:25.000 which is prepared sheet by sheet in unified official edition for all important territories of the republic. All data from the existing file records, from new mapping, as well as from exploration and testing results are processed in mass and stored in the Geofond data base (see Fig. 1) where they are available not only for compiling the above mentioned medium-scale maps, but also for all other uses (e.g. also for the preparation of

individual sheets of an engineering geological map of the whole state territory at a scale of 1 : 200,000). Thus a higher efficiency is attained of a multiple use of investigation results, and duplications in exploratory works for other new projects may be prevented.

The engineering geological information stored in the data base may be processed by applying various specialized programs to receive outputs presented in the form of: verbal documentation, tables listing required data and parameters, geological sections, maps of documentation points, different analytical and synthetic maps, etc.

The growing importance of computerized databanks was highly acknowledged also by the III. International Engineering Geological Congress in Madrid and it is appreciated by the IAEG Mapping Commission, where a special group is preparing a review of achievements in this field.

Quantitative classification of data presented in engineering geological maps

From all that has been said above on the formalization of engineering geological data, it also follows that the preparation of a system for quantitative classification of mapped phenomena is an indispensable condition or increasing the exactness of regional engineering geological investigation and mapping. Such a classification system should be prepared for all fundamental components representing engineering geological conditions (i.e. rocks and soils, groundwater, landforms and geodynamic phenomena), as well as for all their current attributes, and for various scales of maps.

This, however, is an extremely difficult task, surpassing even the difficulty of unified terminology, and its efficient solution can be achieved only by international cooperation. The IAEG Mapping Commission, aware of this, is preparing at present a suggestion for quantitative classification of various

characteristics of rocks (i. e. engineering rocks and soils) important for engineering geology.

Part I of our report dealing with the classification of rock and soil materials is published in the Symposium Proceedings. A first draft of Part II on rock and soil mass classification has been discussed by members of the Commission, but it is felt that more work needs to be done before an agreed version can be presented for comment to the chairman of other IAEG Commissions.

Multipurpose engineering geological maps and their special purpose oriented transformation

In regional studies it is most reasonable, both technically and also economically, (1) to acquire a rather comprehensive set of engineering geological data, (2) to map systematically larger areas, and (3) to collect the comprehensive information in special databanks. This makes it possible to prepare syhthetic and very detailed multipurpose engineering geological maps for verious parts of the territory. Following the recommendations of the UNESCO-IAEG Guide to the Preparation of Engineering Geological Maps (1976), two types of multipurpose map are of the greatest importance as the fundamental models of the natural conditions: (a) maps of engineering geological conditions and their equivalents transformed in terms of (b) engineering geological zoning (Fig.2).

Using a **broad** and well organized data base, as well as the fundamental maps (as described above), it is possible to prepare subsequently any special purpose report (with money and time spent only for some inevitable additional field work), and also various special purpose engineering geological and geotechnical maps can be prepared by different transformation procedures.

May I illustrate this concept with examples from our practice, pointing out mainly some aspects of how to increase the precision and quantitative evaluation in various basic kinds of engineering geological maps.

Maps of engineering geological conditions

By simple superposition they represent individual classified rock (and soil) units, groundwater types, landforms, geodynamic phenomena, their distribution and variability, as well as properties over the whole map area. For the user experienced in reading such geological maps it is possible to understand the history and the dynamics of the past and even future geological development of the territory.

It has already been indicated above that one of the principal tasks of increasing the level of exactness of these maps, apart from the required accuracy and precision in observation, measurement and mapping operations, is the employment of quantitative classification systems for the relevant attributes of all phenomena mapped.

Maps of engineering geological zoning

By evaluating the spatial and functional interrelationships among the basic geoenvironmental components (rocks, water, land forms and geodynamic phenomena) we delineate individual territorial units in terms of engineering geological zoning (see UNESCO-IAEG Guidebook, 1976). Zoning units in substance are three-dimensional spatial models delimited on the basis of a certain uniformity in engineering geological conditions. For zones in multipurpose zoning maps this is a uniformity in the spatial distribution of certain genetically related lithological types, and for subzones the uniformity in such fundamental features as the spatial structure and vertical arrangement of engineering rock and soil types. In engineering geological districts the spatial

arrangement of rock and soil types, as well as hydrogeological conditions and/or geodynamic features are uniform (Matula, 1976).

Typological zoning maps

The exactness of zoning operations is increased by the introduction of principles of typology. For example, for the multipurpose zoning maps at 1:25,000 of the above mentioned Czechoslovak official edition there are 40 types of zonedefined to which each territorial unit must be unequivocally assigned and coded. For subzones the typological classification is applied following Table 1. Subzones are indicated by symbols which are formed by grouping the corresponding signs for engineering soil and rock types and thickness (as well as for the engineering type and depth of the pre-Quaternary basement) according to the vertical sequence of strata. For example, the symbol h1g2S1 expresses a very well quantified ground model in which cohesive soils (thickness < 2 m) at the surface are underlain by gravels (thickness 2-5 m) and at a depth of < 5 m hard rocks of the pre-Quaternary basement occur.

Typological zoning best facilitates the development of systematic regional studies, the classification of collected data on engineering geological environments and their individual components. It is a necessary model-base for generalizing and by analogy transmitting experience on rock behaviour, on efficient investigation methods, etc., in similar zoning units. It is the best starting point for the unification, standardization and typification of foundation conditions, calculations and foundation works. Typology is also an inevitable condition for the general use of computers in regional engineering geology studies.

Various types of special purpose maps

The multipurpose maps of engineering geological conditions and of zoning described above are the best basis for preparing various kinds of terrain evaluation and special purpose zoning maps, in which we apply different selected attributes for a gradual transformation of more generalized multipurpose models of engineering geological situations into highly specialized ones (see Fig. 2).

The quantitative classification is not to be applied only for the individual attributes of rocks, water types and geodynamic phenomena. It is necessary to introduce quantitative criteria also into the evaluation of whole systems represented by the entity of those fundamental geoenvironmental components, their spatial, time and function relationships, or individual zoning units. (In special purpose maps these quantitative criteria frequently acquire a very special character depending on the purpose of a map). In solving particular and special problems for the needs of varied kinds of land development and construction, special attributes of the geological environment become of primary interest. Such attributes then become fundamental criteria for various kinds of special purpose evaluation or zoning maps, and the very important requirement nowadays is to operate here, as much as possible, by using quantitative criteria.

We can prepare mainly four basic types of zoning maps at various scales for special purpose, which may be:

- a) maps for protection and rational exploitation of georesources, including groundwater;
- b) maps for regional planning, land development and construction;

- c) maps for delimitation of endangered areas, for organizing the warning systems, and for recommendation of measures against active or potential geological hazards (the so-called hazard or risk maps);
- d) maps for protection of vulnerable geological environments prone to undesirable changes caused by development.

Geotechnical maps

The next step in transforming the information on the geological environment to planning, design and construction needs, is the preparation of various specialized geotechnical maps. These are compiled in terms of how to adopt and/or adapt particular engineering geologically defined environments by specific engineering (geotechnical) measures to different kinds of technical use, which may be the exploitation and development, as well as the protection of human works and lives against detrimental natural or anthropogeneous processes and impacts. Geotechnical zoning may be successful only if it is prepared on the basis of verified engineering geological maps, so that in the chain of subsequent simplifying transformation of the models of engineering geological conditions in terms of "multipurpose ——— special purpose ——— geotechnical" zoning a misrepresentation of the geological and physical reality is prevented.

5. Optimatization, selection and decision making

Nowadays we are facing always more persistent demands of planners and developers to evaluate quantitatively not only the partical characteristics of individual components of engineering geological conditions (such as rocks, groundwater, landscapes, etc.), and not only even the qualities of the entire individual zoning units, but also to place on a more exact basis the quantitative evaluation of the whole regional systems and of the whole regional systems and of selecting the optimum land use alternatives. Various optimization procedures may be applied here which have been developed and largely used mainly in economics, in decision making, control theory, etc.

Three fundamental domains can be distinguished where quantitative evaluation and optimization procedures may be applied in regional and urban geology scapes. These are (Matula, 1978):

1. estimation of optimum land use potentials for various zoning units (or sites) within the map area;
2. selection of optimum sites (or zones) for a particular land use within the map area (e.g. for residential or industrial districts, for solid waste disposal, or for recreational zones);
3. decision on optimum use, or method of development, and/or construction within a particular site.

In applying methods of decision analysis aiming at selecting the optimum alternative we have to proceed through three equally significant phases shown in Fig. 3. Models of the competing alternatives may be defined here in terms of: proper management of environmental ecology; any kind or way of optimum land use; of reasonable extraction or conservation of mineral and water resources; of optimum construction site or corridor selection, etc.

From among these three phases of decision analysis most of our attention is centered on the second phase which covers the optimization procedures characterized by six consequent evaluation steps shown in Fig. 4. We may describe these operational steps as applied to the optimization studies for one of our developing areas with representing as an example the same section of various maps being prepared at a scale of 1 : 25.000.

1st step: For the main geoenvironmental components (which may be described as: engineering geological suitability for construction; limitation by geological hazards; protection of geological resources; geoenvironmental vulnerability by impacts due to human interventions) the most relevant factors

are selected and defined e.g. rock and soil quality, depth to water table, slope classification, flooding potential, or availability of fertile soils, construction materials, as well as potential changes in land stability, water regimen, etc.), Quantitative classification of the most relevant attributes for single factors are made according to criteria adopted with respect to the objectives of the investigation,

In ranking the positive or negative qualities of present factors Building Standards have been taken into account.

2nd step: Appropriate rating values normalized to a unitless measure (0-9) are assigned to each classification rank of the individual factors and the suitability (protection, vulnerability, etc.) values are calculated in correspondence with the real conditions in individual map units (which have been represented here as lithologically and structurally uniform subzones taken from the multipurpose engineering geological zoning map at 1:25,000).

Evaluation of the suitability for construction in our example was made for five specific purposes: (a) for residential building without basement and with less than 5 floors; (b) for extensive residential buildings with basement and more than 4 floors; (c) for extensive and heavy industrial structures; (d) for road excavations, deeper than 5 m; (e) for embankments and fills, higher than 5 m.

3rd step: Factors have been weighted according to their relative importance, and also from the viewpoint of the above individual purposes (a) to (e) by employing binary decision analysis, and for the second aspect, by expert estimates of different technological and economic requirements resulting from various construction works.

4th step: Final values of engineering geological suitability within individual subzones for five basic kinds of construction (as well as of the required degree of protection for georesources) have been computed by summing the products of normalized rating values and of the corresponding weighting values. For simplification the range of these value-ratings into three (or five) classes A-B-C (D-E) was taken as the base for aggregation of the new map units with different degree of suitability and/or protection). In our example five Engineering geological suitability zoning maps have been prepared (Fig. 6) and the Zoning map of georesources protection (Fig. 7).

5th step: By further overlay, redefinition and aggregation procedures a composite map of optimum suitability for construction showing the most suitable terrain units for various types of construction and development was prepared (Fig. 6).

6th step: From the combination of the above composite map of the optimum suitability for construction (Fig. 6) and of the georesources protection map (Fig. 7) a composite zoning map of the Optimum land development suitability to serve a rational land use by construction and geoenvironmental protection resulted (Fig. 8).

As may be evident from Fig. 4 other useful maps related to regional evaluation can be prepared by applying the same procedures, such as the map of geoenvironmental vulnerability, the map of areas restricted for construction (which may result from a map of geological hazards combined with geoenvironmental resources map), and/or a composite zoning map of Rational land use and geoenvironmental protection, implementing also the engineering geological and environmental prediction aspects.

6. Conclusion

In all phases of the regional evaluation studies, computer techniques provide a more useful help mainly in storing and manipulating large amounts of data by means of computerized databanks, as well as in evaluating information and processing data into suitable forms of outputs (mainly in the form of various analytical and synthetic maps).

Rational use and the high efficiency of the computer techniques, however, is conditioned not only by the development of modern technical methods and equipment, or only by developint new generations of computers, but also much more by perfecting the accuracy of engineering geological terms and terminology, and by increasing the level of quantitative classification of individual attributes, as well as the whole system studied.

A realistic change from predominant geological description and statements to engineering solutions in the field of regional engineering geology is based on a wider application of various quantitative methods aiming to increase the precision of our interpretations, the reliability of predictions, and the effectiveness of our recommendations.

References:

1. MATULA M. (1976): Principles and types of engineering geological zoning. Mem. Soc. Geol. Italiana, 14. Rome, p. 327-336.
2. MATULA M. (1978): Engineering geological evaluation for regional and urban development. Proceed, 3rd Int. Congress IAEG, Madrid.
3. UNESCO - IAEG (1976): Engineering geological maps. A Guide to their preparation. UNESCO Publish. House, Paris, 79 pp.

DATA ACQUISITION & FORMALISATION

DATA STORING

DATA RETRIEVAL & PRESENTATION

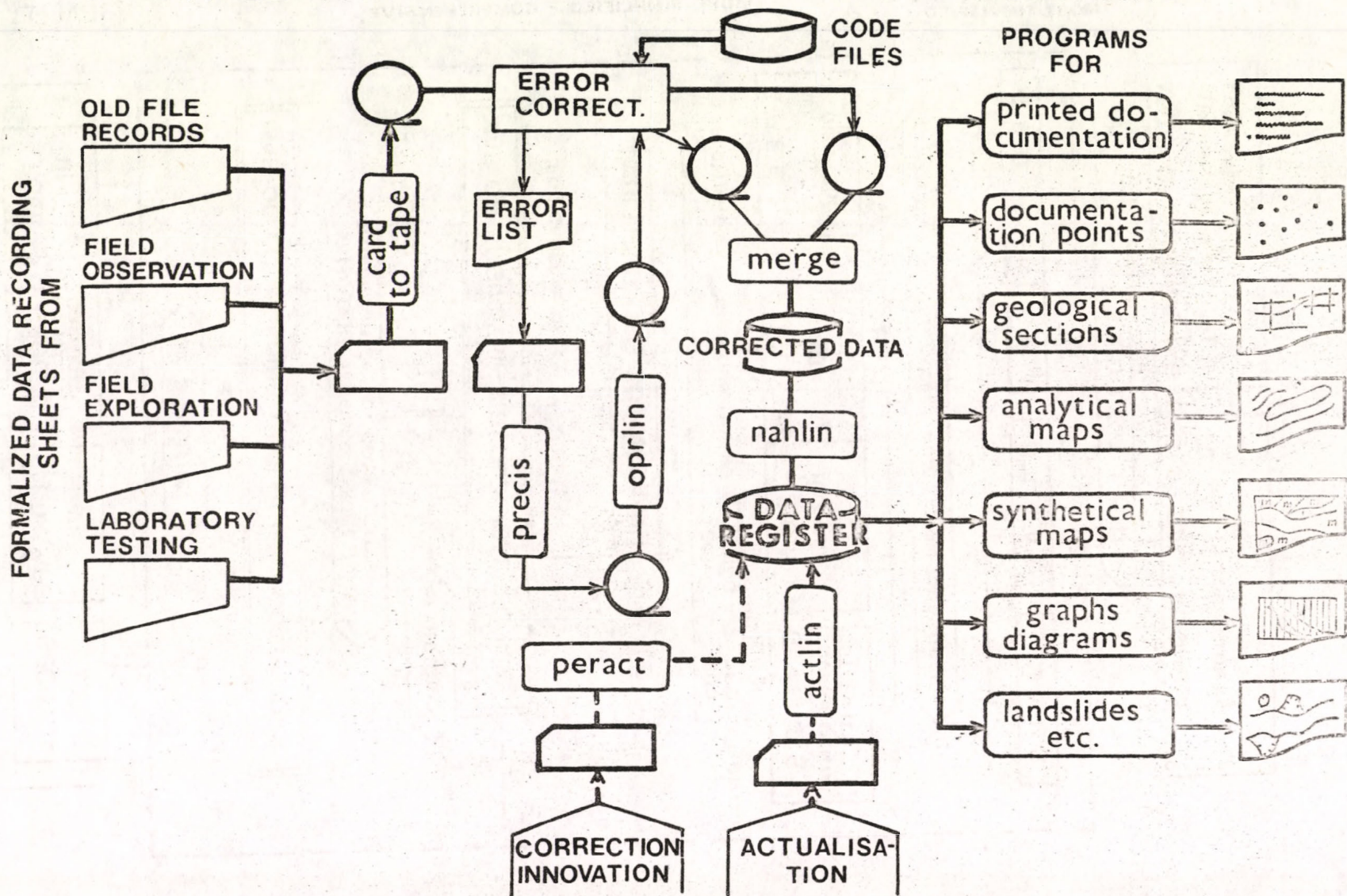


Fig. 1.

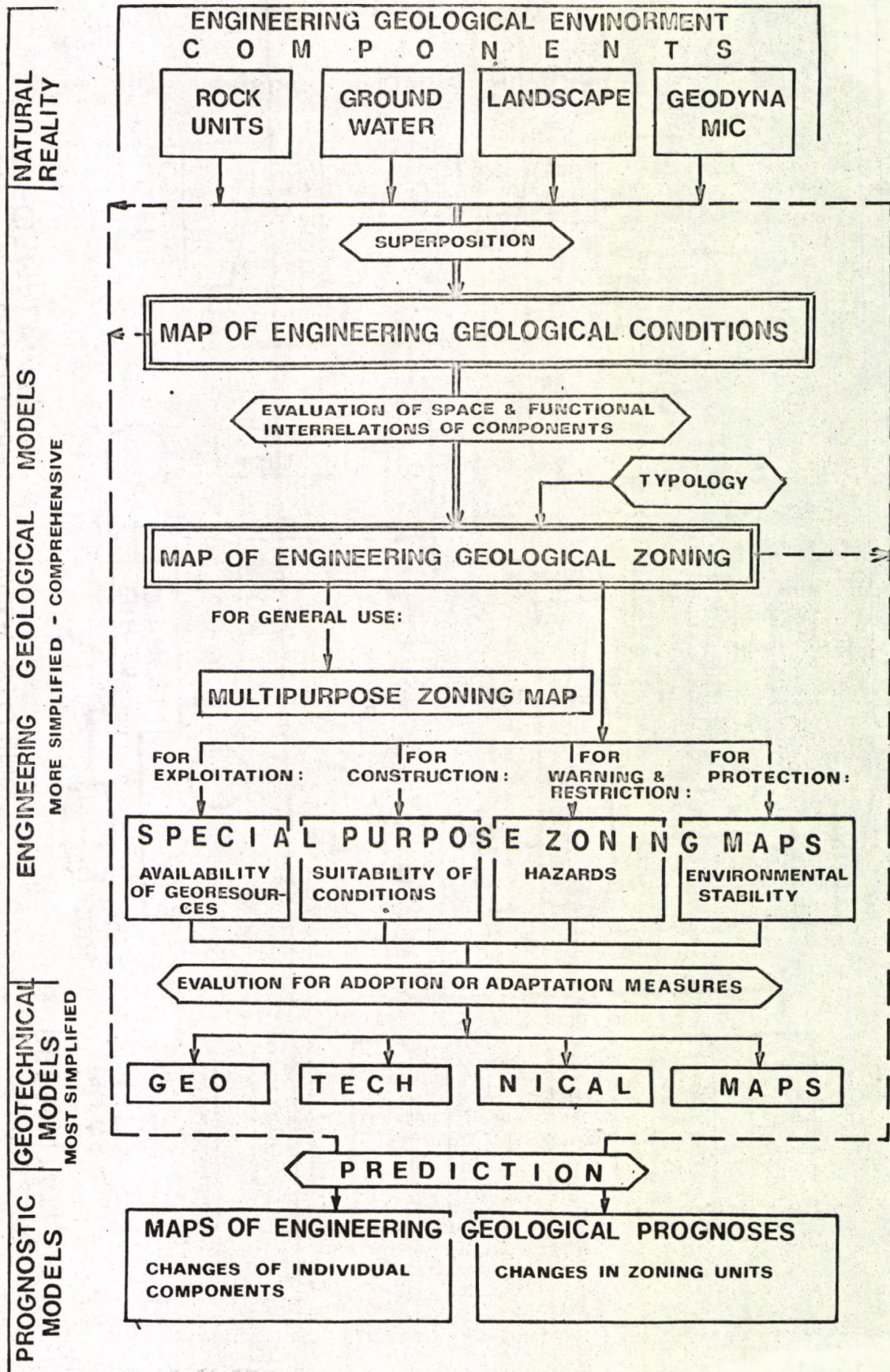


Fig. 2.

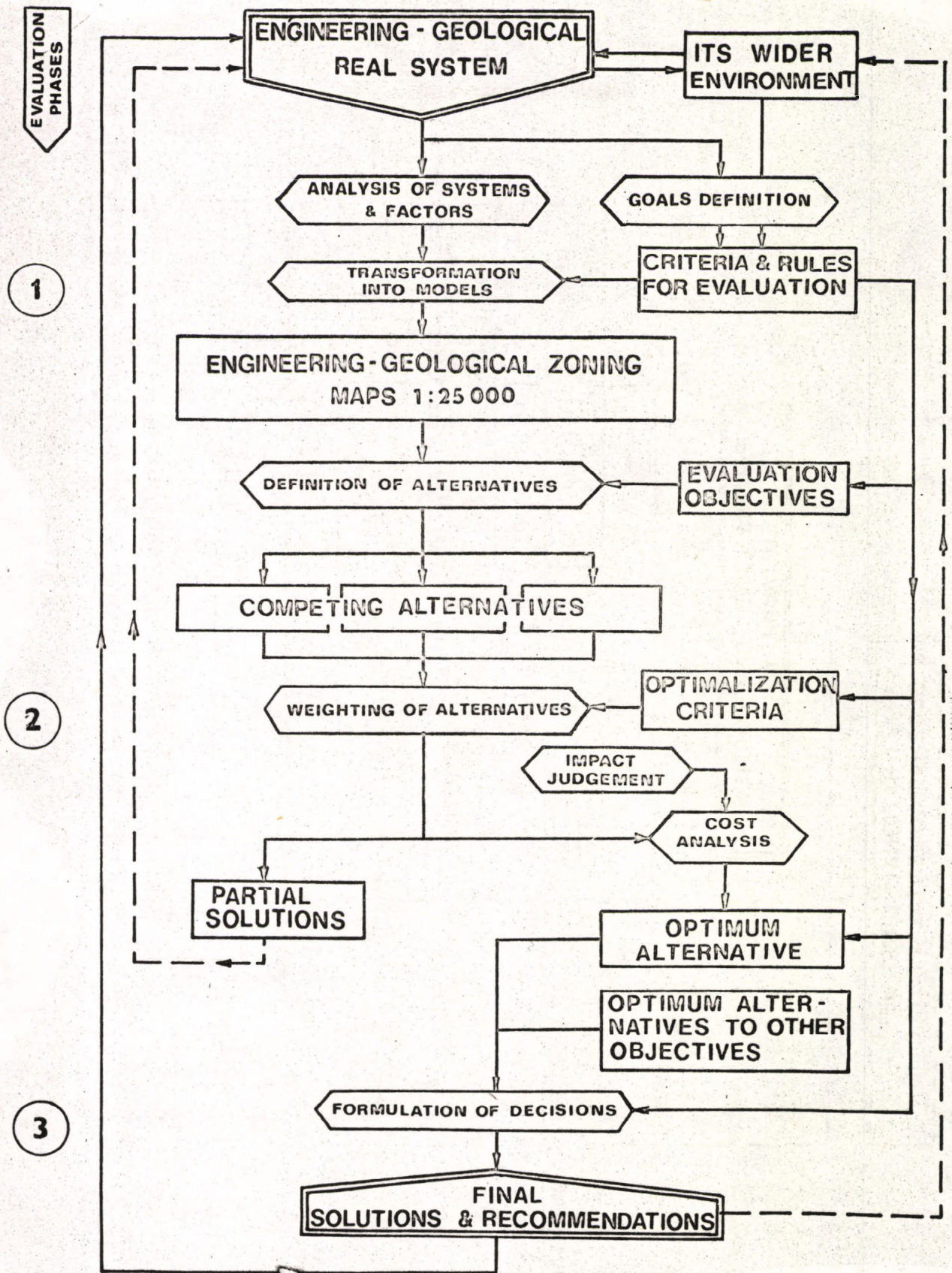


Fig. 3.

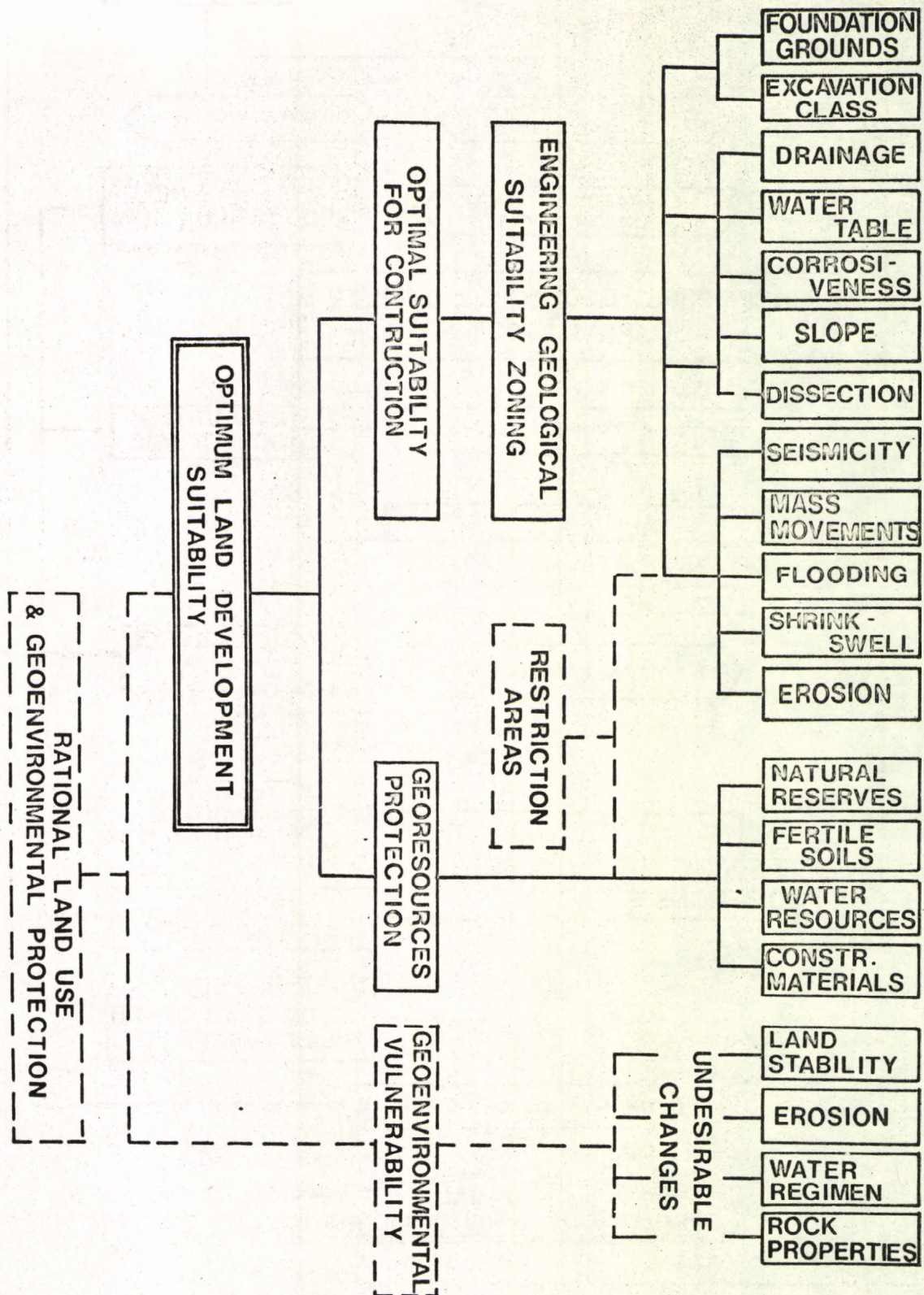


Fig. 4.

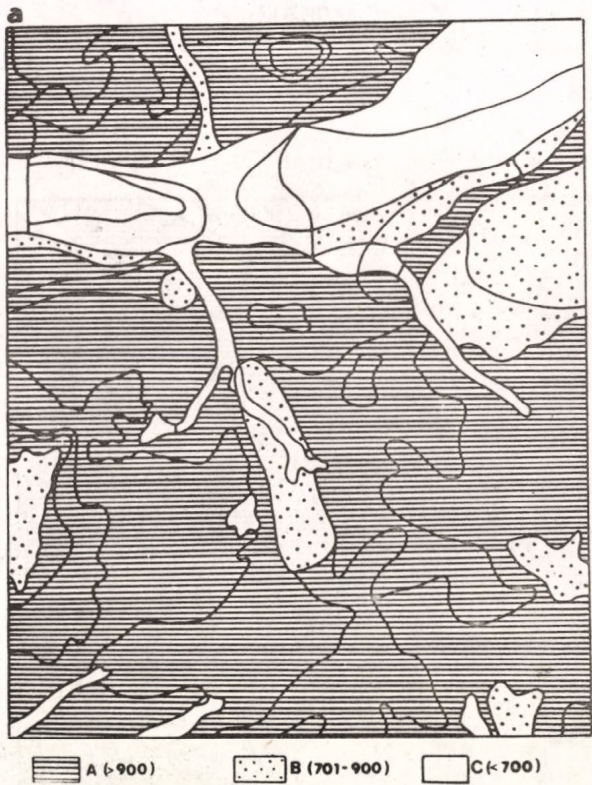


Fig. 5/a.

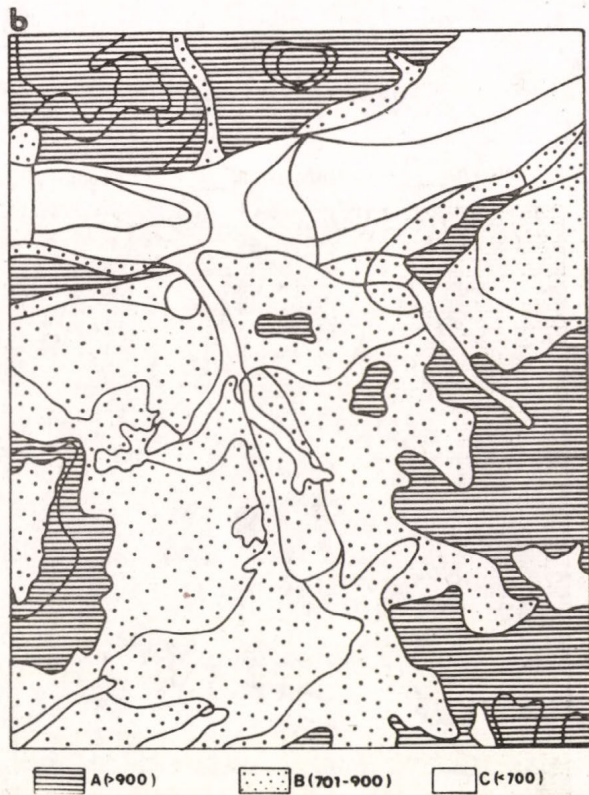


Fig. 5/b.

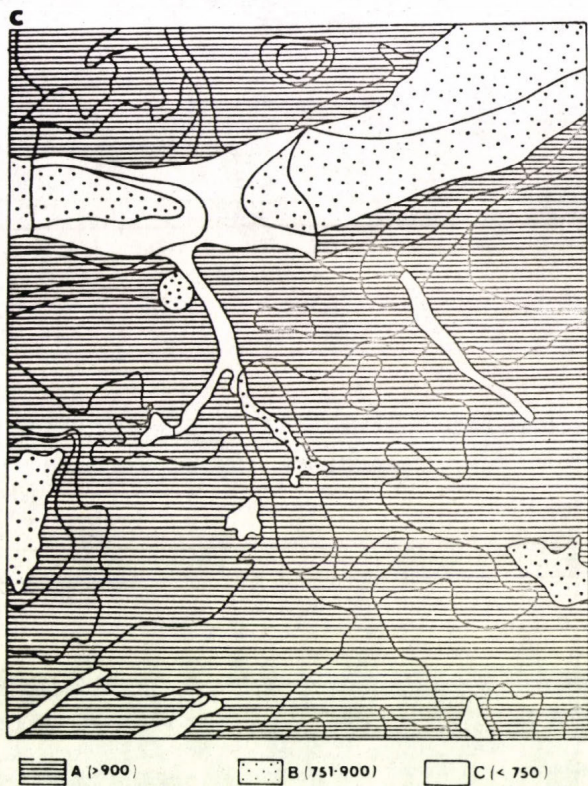


Fig. 5/c.

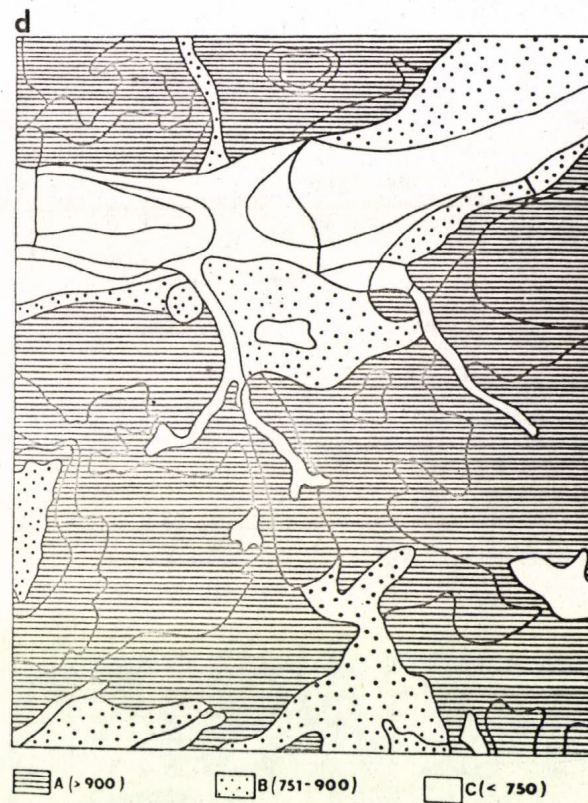


Fig. 5/d.

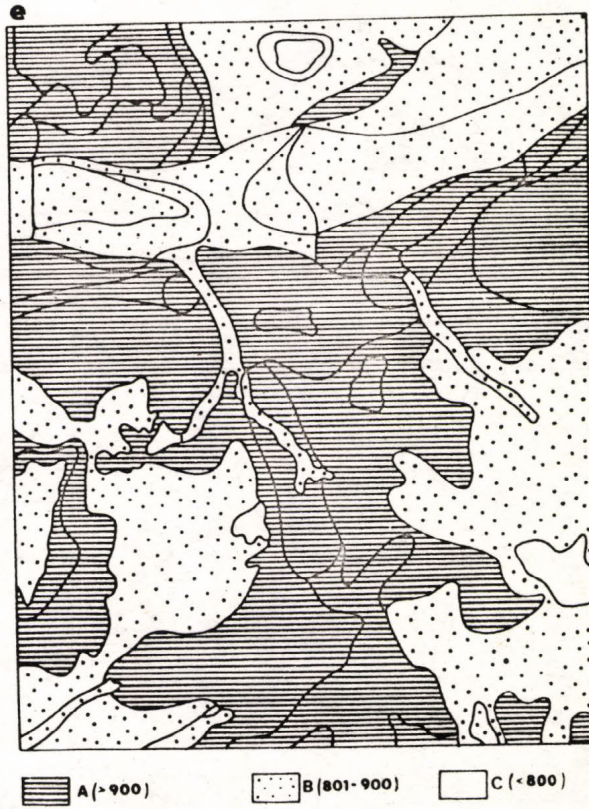
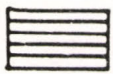
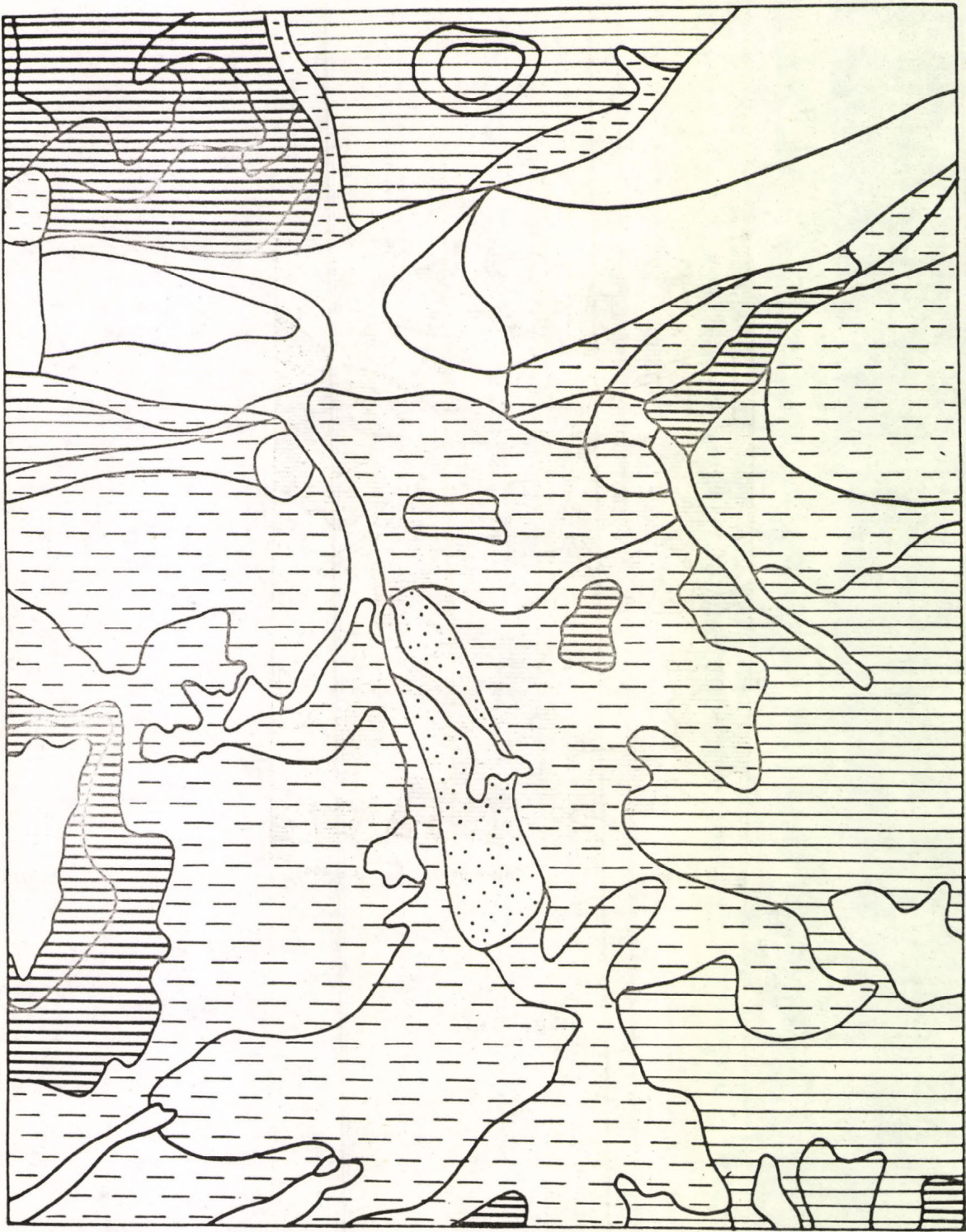
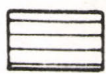


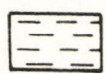
Fig. 5/e.



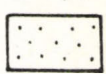
A



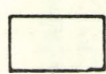
B



C



D



E

Fig. 6.

Fig. 7.



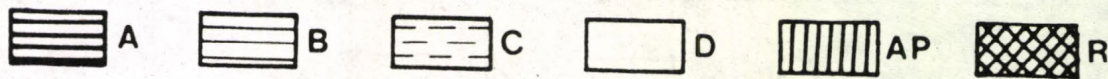


Fig. 8.

Captions to figures

- Fig. 1 Unified system of acquisition, storage and retrieval of engineering geological data in Czechoslovakia
- Fig. 2 Gradual transformation of more generalized multipurpose models of engineering geological environment into highly specialized ones (special purpose zoning, geotechnical and prognostic maps)
- Fig. 3 Flow chart of decision analysis aiming at selecting the optimum alternative in regional engineering geology
- Fig. 4 Flow chart of the optimization analysis for selecting the most suitable sites in the area to be developed
- Fig. 5 Zoning for engineering geological suitability for various kinds of construction:
- (a) for residential buildings without basement, less than 5 floors
 - (b) for extensive residential buildings, with basement and more than 4 floors
 - (c) for extensive and heavy industrial structures
 - (d) for road excavations (deeper than 5 m)
 - (e) for embankments and fills (higher than 5 m)
- Suitability values of individual subzones are calculated for each map separately and aggregated units are specified as; A - very suitable; B - moderately suitable; C - unsuitable
- Fig. 6 Optimum suitability of engineering geological conditions for construction and development. Aggregated units are specified as: A - most suitable subzones for all construction and development uses; B - most suitable subzones for extensive residential and

industrial construction (with the exception of high embankments);
C - most suitable subzones for industrial development (as well as
for all smaller construction uses (a, d, or e); E - subzones with
moderately suitable or unsuitable engineering geological
conditions

Fig. 7 Zoning for protection of natural resources

R - subzones requiring the highest degree of protection; P - sub-
zones with a high degree of protection in which construction works
may be allowed only after overall weighting of all necessary con-
servation and/or exploitation aspects; Q - subzones requiring
certain protection of geological resources, but construction works
allowed; O - subzones without protected georesources. (Numbers
in brackets are the limits of value ratings.)

Fig. 8 Optimum land development suitability

Aggregated units are specified as: A - most suitable conditions
for both extensive and current smaller construction uses; no, or
only a low degree of, protection; B - most suitable conditions for
industrial construction; no, or only a low degree of, protection;
C - most suitable conditions only for smaller kinds of construction;
no, or only a low degree of, protection; D - moderately suitable
and unsuitable conditions for construction; AP - most suitable
conditions for extensive construction uses, with a high degree of
protection; R - subzones requiring the highest degree of protection
(against construction works)

Table 1

QUATERNARY SOILS		PRE-QUATERNARY ROCKS AND SOILS	
g	gravelly soil	S	solid (hard) rocks
p	sandy soils	B	semisolid (weak) rocks
n	alternation of gravelly and sandy soils	F	alternation of hard and weak rocks (flyschoid)
h	cohesive soils	Z	highly weathered rocks
k	combination of cohesive and non-cohesive soils	G	gravelly soils
		P	sandy soils
s	loess soils	N	alternation of gravels and sands
o	organic soils	I	cohesive soils
b	bouldery soils	G	combinations of cohesive and non-cohesive soils
STRATA THICKNESS INDEX		DEPTH TO PRE-QUATERNARY SURFACE INDEX	
1	2 m	1	5 m
2	2 - 5 m	2	5 - 10 m
3	5 m	3	10 m

Table 1 Classification of rock and soil types, their thickness and depth to bedrock conditions in model-section for subzones.

A REGIONÁLIS MÉRNÖKGEOLÓGIAI KUTATÁS PONTOSSÁGÁNAK FOKOZÁSA

MATULA, M.^{x)}

Bevezetés

A mérnökgeológia fejlődésének jelenlegi irányait vizsgálva azt látjuk, hogy a mérnökgeológiai kutatás vizsgálati köre a "helyi" mérnökgeológiai viszonyok feltárása helyett az utóbbi időben egyre nagyobb mértékben a "regionális" kutatás felé fordult és környezetvédelmi problémák megoldását célzó tanulmányokká változott. A tervezés egyre növekvő igényeinek ösztönző hatására a regionális mérnökgeológia módszerei – elsősorban a kvantitatív értékelő módszerek, valamint a várható mérnökgeológiai változások minőségi előrejelzésének módszerei – ugrásszerű fejlődésnek indultak. Napjainkban egyre inkább nyilvánvalóvá válik, hogy a mérnökgeológia a földtani viszonyok tényszerű közlésén túl arra is képes, hogy ezeket a tényeket reálisan értelmezve megadja a lehetőséget arra, hogy a nagyméretű infrastrukturális beruházások a regionálisan adott környezeti viszonyokkal tökéletesen összhangban valósulhassanak meg.

Tekintettel arra, kétségtelenül a legfontosabb feladatok közé tartozik a regionális adatfeldolgozás minden egyes fázisában a mérnökgeológiai információ pontos és kvantitatív értékelésének szintjét emelni, előadásomban ennek néhány részletével kívánok behatóbban foglalkozni. Négy kérdéscsoportot fogunk érinteni, ezek sorrendben a következők: (1) elsődleges adatgyűjtés, adattárolás és adat-visszanyerés; (2) a mérnökgeológiai térképeken ábrázolt jelenségek kvantitatív osztályozása; (3) mérnökgeológiai és geotechnikai térképek transzformálása; (4). Az optimációs elemzés szerepe a regionális rendszerek (egysé-

^{x)} Pozsony Comenius Egyetem

gek) értékelésében. Az idő rövidsége miatt mind a négy kérdéscsoportot csupán néhány Csehszlovákia-i példával fogom illusztrálni.

(1) Elsődleges mérnökgeológiai adatok gyűjtése, tárolása és visszanyerése

A földtani és geofizikai kutatásban az utóbbi években bevezetett merőben új-szerű vizsgálati módszereket ("remote sensing"); számítógépes adatfeldolgozás, stb.) a mérnökgeológia csak akkor tudja saját céljaira is hatékonyan felhasználni, ha ezekkel párhuzamosan a saját adatok értelmező, értékelő és felhasználó módszereit is kellő mértékben tökéletesíti, fejleszteni tudja. Más szavakkal ez voltaképp azt jelenti, hogy napjainkban azzal a már-már sürgetővé váló problémával kell megküzdenünk, hogy kialakítsuk a magunk exakt kritérium-rendszerét és osztályozását, mert csak ezzel, valamint a megfelelően kvantitatívva tehető mérnökgeológiai terminológiával leszünk képesek kihasználni azokat a lehetőségeket, amelyeket az észlelési és feltárási módszerek gyors fejlődése tárt elénk.

Bármilyen elméleti és gyakorlati kérdés megoldásának alapja és kiinduló pontja az elsődleges információk és adatok összegyűjtése. Az elsődleges információ pontosságának a jövőben szükséges fejlődés szempontjából kulcsfontosságú növelése az alábbi két főirányban képzelhető el:

- (a) pontos, tudományos definíciókon alapuló terminológia kidolgozása; valamint a mérnökgeológiai térképeken ábrázolt jelenségek szabatos értékelési módszereinek kifejlesztése.
- (b) Olyan nemzetközileg elfogadott rendszer megalkotása, amely az észlelt és mért jelenségek legfontosabb jellemzőinek kvantitatív és félkvantitatív osztályozását teszi lehetővé, ezzel ugyanis térképeink szubjektivitását a lehetséges minimumra tudjuk csökkenteni.

A terminológia egységesítésének szükségességéről már sokszor és sokat beszéltünk, de most is szeretném hangsúlyozni, hogy ennek a feladatnak a megoldása mind nemzeti, mind nemzetközi szinten legfontosabb kötelességeink közé tartozik. Nagyon időszerű, hogy ez a kérdés IAEG (Nemzetközi Mérnökgeológiai Egyesülés) szinten is komolyan napirendre kerüljön.

A regionális mérnökgeológia sok és sokféle adattal dolgozik. Ezért van az, hogy itt az adatok pontos értékelése és osztályozása bonyolultabb, de egyben sokkal inkább égető szükségszerűség is, mint a lokális problémákkal foglalkozó helyi kutatások esetében. A nagymennyiségű adat tárolásában és kezelésében (visszanyerésében) hathatós segítséget nyújtanak a különféle számítógépes adatbankrendszerek. Ezek mindegyikénél azonban alapvető követelmény az elsődleges adatok megfelelő alakba öntése, ami pedig csak akkor oldható meg kellő hatékonysággal, ha ki vannak dolgozva azok az elemzés-mennyiségi módszerei, pontos szabályok és szabványok, amelyekre az adatok átalakításában támaszkodhatunk.

Ezzel kapcsolatban általában már az elsődleges adatok gyűjtésének és alakba öntésének szakaszában felmerül egy sor probléma. Ezek abból erednek, hogy az elsődleges adatfelvételi kartotékolási rendszerek rendkívül különbözőek, ugyancsak különböznek a más-más forrásból származó adatok felvételi rendszerei; szerzőnként, ill. intézményenként eltér az adatok pontossága, ill. az adatfelvétel hiányosságának foka, s ugyanez igaz a különböző időpontokban gyűjtött adatok vonatkozásában is. Az adatok kritikai újraértékelése, kiválogatása, elvi alapokon történő újra-osztályozása az esetek többségében majdnemhogy nagyobb gondot okoz, mint az egységesített-standardizált új észlelési, feltárási és anyagvizsgálati módszerek segítségével történő új adatgyűjtés. Mivel azonban az új adatok modern módszerekkel történő beszerzése általában költséges, nyilvánvaló, hogy mindenképp meg kell próbálni a régi, hozzáférhető adatokból minél többet felhasználni, még akkor is ha a régi adatok felhasználásakor minden esetben szembekerülünk a fent körvonalazott problémával.

Az észlelés és mérés után nyert elsődleges mérnökgeológiai adatok (jellemzők) rendszeres és exakt begyűjtésének és dokumentálásának legegyszerűbb és legjobb módja – még archiv anyagok esetében is – az egységesített és megfelelő alaku felvételi lapok alkalmazása. Csehszlovákiában pl. a mérnökgeológia általában az Állami Geofond adatbank szabványait használja mind a furási adatok elsődleges rögzítésére, mind pedig az egyes konkrét helyekre vonatkozó földtani viszonyokkal, ill. folyamatokkal kapcsolatos megfigyelések, ill. vízföldtani adatok rögzítésére, stb. Az adatrögzítés minden esetben részletes, kézikönyvszerűen kiadott utasítások alapján történik. Az utasításokra és kódolási rendszerek, amelyek az Egységesített Mérnökgeológiai Adatbankban tárolt jellemzőkre vonatkoznak.

Az egységesített adatbankok hatékonysága a regionális munka szintjén csak akkor mutatkozik meg, ha az adatbank nagy területre vonatkozó nagy mennyiségű adatot tárol és a mérnökgeológiai információ minden felhasználója egyformán használja, ill. szabályait egyformán betartja.

Csehszlovákiában pl. az Állami Geofond Adatbank szabályainak betartására a törvény kötelez minden olyan szerzőt, aki az 1:25 000 méretarányú többcélú mérnökgeológiai térkép szerkesztésében részt vesz. A térképet egyébként az ország minden fontos területére laponként, egységesített hivatalos kiadvány formájában elkészítik (1. ábra). A Geofond adatbázisában a régi kartotékrendszerek adatain kívül szerepel minden új térképezési, feltárási és anyagvizsgálati eredmény is. Ezek az adatok itt bárki számára hozzáférhetőek és nemcsak az említett közép méretarányú térképlapok szerkesztésére használhatók fel, hanem pl. meg lehet szerkeszteni belőlük az ország egész területét magában foglaló 1:200 000 méretarányú áttekintő mérnökgeológiai lapokat is. Ily módon lehetővé válik az adatok, vizsgálati eredmények többcélú felhasználása és elkerülhetők az új létesítményekkel kapcsolatos esetleges felesleges újabb feltáró munkák is.

Különböző speciális programok segítségével lehetőség van arra is, hogy az adatbankban tárolt mérnökgeológiai információval különféle műveleteket hajtsunk végre. A kijövő adatokat megjeleníthetjük szöveges vagy táblázatos formában; lehetőség nyílik a kívánt adatok és paraméterek listászerű felsorolására; földtani szelvények szerkesztésére; a dokumentációs pontok térképszerű megjelenítésére; valamint különféle elemző és szintetizáló térképek szerkesztésére és több hasonlóra is.

A számítógépes adatbankok növekvő fontosságát a madridi III. Nemzetközi Mérnökgeológiai Kongresszus is messzemenőleg elismerte, s egyben az IAEG Térképezési Bizottságán belül külön ezzel a problémakörrel foglalkozó munkacsoportot is létrehívott, amelynek első feladata az e tárgykörben eddig elért eredmények áttekintése és kritikai összefoglalása lesz.

(2) A mérnökgeológiai térképeken ábrázolt adatok kvantitativ osztályozása

Fentiekből egyenesen következik, hogy a regionális mérnökgeológiai vizsgálatok és a térképezés pontosságának növeléséhez elsősorban a térképezett jelenségek kvantitativ osztályozási rendszerének kidolgozására van szükség. Ennek az osztályozási rendszernek ki kell terjednie e jelenségek általánosan elfogadott jellemzőire és vonatkoznia kell mindenfajta méretarányra. Ez a kérdés bonyolultságát tekintve messze tulszárnyalja még az egységesített terminológia problémakörét is és megoldása kizárólag nemzetközi összefogással képzelhető el. Az IAEG Térképezési Bizottsága ennek teljes tudatában van, s jelenleg épp a mérnökgeológia számára fontos, kőzet és talajjelenségek kvantitativ osztályozásával kapcsolatos irányelveket készíti elő a közzéadásra.

(3) Többcélú mérnökgeológiai térképek, s azok speciális célorientált transzformációja

Regionális tanulmányok kapcsán - minden műszaki, mind gazdasági megfontolásból célszerű (1) minél átfogóbb mérnökgeológiai adattömeghez hozzájutni; (2) rendszeresen, minél nagyobb területeket feltérképezni és (3) az átfogó

információt speciális adatbankokból beszerezni. Ezáltal lehetőségünk nyílik arra, hogy a szóban forgó terület különböző részeire megszerkeszthessük a szintézis jellegű, valamint a nagyon részletes, többcélú mérnökgeológiai térképeket. Az UNESCO és az IAEG által 1976-ban kiadott "A mérnökgeológiai térképek szerkesztésének irányelvei" c. összeállításában foglaltak szerint - mint a természeti viszonyok alapvető modelljeinek - a többcélú térképek közül legnagyobb fontossága (A) a mérnökgeológiai viszonyok térképének, valamint (B) a mérnökgeológiai körzetbeosztás (rayon) előzőből levezetett változatainak (B) van. (2. ábra).

Egy nagy mennyiségű és jól szervezett adatot tartalmazó adatbázis, valamint a fentiekben ismertetett többcélú térképek felhasználásával később mér minimális - csupán az elengedhetetlen kiegészítő terepmunka miatt szükséges többlet pénz- és időráfordítással - bármilyen speciális jelentés vagy bármilyen speciális célú mérnökgeológiai vagy műszaki földtani térkép egyszerű transzformáció útján előállítható.

Legyen szabad a következőkben néhány a csehszlovákiai gyakorlatunkból vett példával illusztrálnom az elmondottakat, mégpedig annak hangsúlyozásával, hogy hogyan is növelhető a különböző mérnökgeológiai térképeknél a kvantitatív értékelés pontossága.

A mérnökgeológiai viszonyokat ábrázoló térképek

Ezekre a térképekre a térkép egész területére vonatkozó különböző - megfelelően osztályozott - kőzet ill. talaj-egységeket, a talajviztípusokat, a domborzati elemeket, geodinamikai jelenségeket, ezek eloszlását és változékonyságát, valamint különféle tulajdonságaikat hordjuk fel. A felhasználónak, amennyiben az ilyenfajta térképek olvasásában némi gyakorlattal rendelkezik, e térképek alapján lehetősége nyílik betekinteni az ábrázolt terület fejlődéstörténetébe, és dinamikájába, sőt a jövőben várható fejlődésének elemeibe is.

A korábbiakban már rámutattam arra, hogy az ilyenfajta térképek pontosságát, az észlelés, mérés, valamint a térképezési folyamat pontosságától függetlenül, oly módon növelhetjük, hogy a térképezett jelenségek mindegyikének jellemzésére kvantitativ osztályozási rendszert alkalmazunk.

Mérnökgeológiai rayon - térképek

Az alapvető földtani-környezeti elemek (kőzetek, víz, térszinformák és geodinamikai jelenségek) térbeli és funkcionális összefüggéseit elemezve egy adott területen belül különböző térszíni egységeket lehet elkülöníteni. Ezekkel az előzőekben említett 1976-os UNESCO utmutató részleteiben is foglalkozik. A körzet-beosztás egységei alapján véve olyan háromdimenziós modellek, amelyek a mérnökgeológiai viszonyok tekintetében közel egységesek. A többcélú rayon-térképeken általában területegységeket, alegységeket, valamint mérnökgeológiai területszakaszokat különböztethetünk meg. A nagyobb területegységen belül bizonyos egymással genetikai kapcsolatban lévő litológiai típusok térbeli eloszlásának egységességét követeljük meg; a kisebb területegységek elkülönítésének kritériuma az olyan alapvető jelenségek tekintetében tapasztalható egységesség mint a térbeli szerkezet, vertikális egymásra-következés, és a különböző mérnökgeológiaiag elkülöníthető kőzet és talajtípusok egymáshoz viszonyított aránya. A mérnökgeológiai körzetek kijelölése a kőzet és talajtípusok térbeli elrendeződése, továbbá a vízföldtani és geodinamikai viszonyok egységessége alapján történik.

Tipológikus rayon-térképek

A rayonok elkülönítésének exaktsága a tipológia alapjainak bevezetésével érhető el. Az előzőekben már említett 1:25 000, többcélú rayon- térképek hivatalos Csehszlovákiai kiadásában pl. 40 jól definiált területegység- típus ábrázolására van lehetőség. Ezekben minden egyes térszíni egységet egyértelműen be kell sorolni és kódolni a 40 egység típus valamelyikébe. A beosztást

az 1. sz. táblázat szemlélteti. Az alegységek jelölésére olyan szimbólumokat alkalmazunk, amelyeket a megfelelő mérnökgeológiai kőzet, ill. talaj-típusok jeléből és vastagságértékeiből (esetleg a mérnökgeológiai típus jelét és a negyedkornál idősebb aljzat mélységét kifejező adatokból) állíthatunk össze, mégpedig a rétegek egymásrakövetkezésének sorrendjében. A hlg2S1 szimbólum példányok okáért egy olyan jól kvantitatívra tett alapmodellt jelképez, amelyben a felszint 2 m vastagságban kohéziós talajok építik fel, ez alatt 2-5 m vastagságban kavics, 5 m-nél mélyebben pedig a negyedkornál idősebb aljzat kemény, kompakt kőzetei találhatóak.

Az ilyen fajta tipológiai körzetbeosztás szolgálja leginkább a szisztematikus regionális tanulmányok céljait, ez teszi lehetővé a mérnökgeológiai környezetre vonatkozó adatoknak és azok bizonyos elemeinek osztályozását. Ez szolgál az általánosítás szükséges modell-bázisául és analógiák alkalmazásával ez teszi lehetővé, hogy az egymáshoz hasonló rayon-egységek kőzeteinek viselkedésére vonatkozó ismereteinket, valamint az azok vizsgálatát célzó leghatékonyabb módszereket ábrázolhassuk. Ez adja a legjobb kiindulópontot az alapozási viszonyok, számítások és tényleges alapozási munkálatok egységesítéshez szabványosításához és tipizálásához is.

A speciális céltérképek fajtái

A mérnökgeológiai viszonyokat és a rayon-beosztást ábrázoló, fentiekben ismertetett többcélu térképek adják a legjobb alapot a különböző terület-értékelések és speciális céltérképek elkészítéséhez is. Az ilyen céltérképek voltaképpen a meglehetősen általános, a mérnökgeológiai szituációt modellszerűen ábrázoló, többcélu térképekből kiválasztott jellemzők, fokozatos transzformálásával előállítható, nagymértékben specializált térképeként foghatók fel. (2. ábra).

A kvantitativ osztályozásnak nemcsak a kőzetek, viztípusok, és geodinamikai jelenségek bizonyos jellemzőire kell kiterjednie. Kvantitativ kritériumrendszer kell kidolgozni az alapvető földtani- környezeti elemek, valamint azok térbeli, időbeli és funkcionális összefüggéseivel, és az egyes zónációs alap- egységekkel jellemezhető egységek értékelésére is. (A speciális céltérképek esetében a kvantitativ kritériumok - a térkép céljától függően - néha egészen különlegesen is lehetnek). A különböző környezetfejlesztési és építkezési munkálatokkal kapcsolatban felmerülő speciális problémák megoldása gyakran azt eredményezi, hogy a földtani-környezeti viszonyok egyébként merőben speciálisnak mondható jellemzői kerülnek az érdeklődés homlokterébe; Az ilyen jellemzők azután alapkritériumként szerepelnek a különféle speciális célértékelések, ill. rayon térképek elkészítésében. Ennek során napjainkban a legfontosabb követelmény a lehetőségekhez képest minél több kvantitativ kritérium használata.

A különböző méretarányu speciális céltérképeknek alapvetően négy típusa létezik:

- (a) a földtani erőforrások védelmét és racionális kihasználását célzó térképek ideértve a vizre vonatkozókat is.
- (b) a regionális tervezés, tájfejlesztés és építés céljait szolgáló térképek.
- (c) veszélyeztetett területek kijelölését, veszélyjelző rendszerek kiépítését és az aktiv vagy potenciális módon veszélyt jelentő földtani jelenségek ellen irányuló intézkedések megszervezését szolgáló térképek.
- (d) a fejlesztés hatására nem kívánatos változásokra hajlamos földtani környezetek védelmét szolgáló térképek.

A geotechnikai térképek

A földtani információ tervezési-építési célokat szolgáló transzformációjának a következő lépése a különböző speciális geotechnikai térképek megszerkesztése. Ezeket olyan céllal szerkesztjük, hogy feleletet adjunk arra, miként lehet bizonyos mérnökgeológiaiailag definiált körzeteket mérnökgeológiai megoldásokkal a különféle műszaki igényeknek megfelelővé tenni. Ezek az igények kapcsolódhatnak az erőforrások kiaknázásához, fejlesztéséhez, valamint az ember által létrehozott műtárgyaknak, ill. esetenként emberéleteknek a többi természetes, vagy antropogén folyamattal, behatással szembeni védelméhez. A geotechnikai rayon-beosztás csak akkor lehet sikeres, ha pontos és megbízható, ellenőrzött mérnökgeológiai térképek alapján történik. A mérnökgeológiai viszonyok modelljének a többcélu térképektől a speciális majd a geotechnikai térképek felé irányuló többszörös egyszerűsített transzformációja során csak így kerülhető el, a földtani és fizikai valóság meghamisítása.

(4) Optimáció, szelekció és döntés

Napjainkban a tervezés és tájfejlesztés szakemberei egyre kevésbé elégednek meg a mérnökgeológiai viszonyok bizonyos egyedi elemeinek (így a kőzet, talajviz és domborzati viszonyoknak) kvantitatív értékelésével, sőt gyakran már az egyes területegységek jellemzésének kvantitatív tétel sem elégti ki őket. Az igények egyre inkább a regionális rendszerek értékelésének exaktabb alapokra való helyezése felé mutatnak, s szükségessé válik az optimális terület-kihasználás alternatíváinak kidolgozása is.

Három olyan fő területet lehet kijelölni, ahol a kvantitatív értékelésnek és az optimális analízisnek regionális és lokális műszaki földtani vonatkozásban szerepe lehet. Ezek az alábbiak (Matula, 1978):

- (1) az optimális terület-kihasználás lehetőségeinek vizsgálata adott térképlap különböző rayon-egységeiben,

- (2) Adott térképlap területén egy bizonyos területkihasználási cél szempontjából (pl. lakóhelyi vagy ipari körzetek létesítése, szilárd állapotú meddőanyagok tárolási lehetőségeinek megteremtése, üdülőkörzetek létrehozása) optimálisnak ítélt helyek kiválasztása,
- (3) egy adott hely optimális felhasználás; a fejlesztés v. építés mód-
szereivel kapcsolatos döntések hozatala.

Az optimális alternatíva kiválasztását célzó döntésselőkészítő elemzés voltaképp három, egyformán fontos lépésben történik. A lépéseket a 3. ábrán mutatjuk be. A mérlegelendő alternatívák modelljeit ebben a példában a következőket szem előtt tartva kell kidolgozni: (1) Melyek a környezet ökológiájának megfelelő kezelését-védelmét biztosító módszerek; (2) hogyan lehet biztosítani az optimális terület-kihasználást; (3) hogyan oldható meg az ásványi kincsek és vízkészletek ésszerű kitermelése, ill. védelme; hogyan lehet kiválasztani az építési munkálatok, ill. vonalas létesítmények optimális helyét, stb.

A döntésselőkészítő elemzés bemutatott három fázisa közül most a másodikra - magára az optimációs műveletre - fogjuk összpontosítani a figyelmet. Ez a művelet hat egymást követő értékelő lépésből áll. Ezeket a műveleti lépéseket célszerűen egy fejlesztés alatt álló területünk optimációs tanulmányán és az ehhez készített 1:25 000-es méretarányú térképeken keresztül fogom bemutatni.

1. lépés: Kiválasztjuk és definiáljuk a legfontosabb földtani-környezeti elemek releváns tényezőit. (Ezek az elemek az alábbiak: építésföldtani célokra való alkalmasság; veszélyt jelentő földtani jelenségek korlátozó hatása; a földtani erőforrások védelmének szükségessége; a földtani környezet emberi beavatkozás folyán való "károsodásának lehetősége").

Az ezeknek megfelelő releváns tényezők közül csak példaként emlitenék néhányat:

Ezek a kőzet- és talajminőség; a talajvízszint felszíntől számított mélysége; lejtő-kategóriák; áradások lehetősége; termékeny talajok jelenléte; könnyen hozzáférhető építőanyagok jelenléte; a felszín stabilitásának lehetséges változásai; vízrendszerek, stb.). Az egyes tényezők legrelevánsabb jellemzőinek kvantitatív osztályozását a vizsgálat célját szem előtt tartó kritérium-rendszer alapján kell megoldani.

Az egyes tényezők pozitív vagy negatív voltának eldöntésében, ill. a rangsorolásban az érvényben lévő Építési Standardokat vettük figyelembe.

2. lépés: Minden faktor minden egyes osztályozási kategóriájához 0-tól 9-ig terjedő normalizált számértéket rendelünk hozzá, s ennek alapján rangsoroljuk a faktorokat. A mérnökgeológiai alkalmasságot (és/vagy "sebezhetőséget") a megfelelő térképi egységekkel összhangban számítjuk ki. (A térképi egységeket itt már a többcélú 1:25 000-es mérnökgeológiai térképről átvett szerkezetileg és litológiaiilag egységes területi alegységek képviselik).

Példánkban az építésföldtani alkalmasság vizsgálatát különböző speciális célra végeztük el. Ezek az alábbiak voltak: (a) alap-nélküli, és ötemeletnél alacsonyabb lakóházak építése; (b) alappal rendelkező és négy emeletnél magasabb épületekből álló nagyarányú lakóház-építkezés (c) nagyméretű nehéz ipari szerkezetek létesítése; (d) 5 méternél mélyebb utbevágások létesítése; (e) 5 méternél magasabb töltések építése.

3. lépés: A relevánsnak ítélt tényezőket relatív fontosságuk szerint rangsoroljuk. A rangsorolásnál az előző pontban felsorolt öt különböző célt (a - e) tartottuk szem előtt, s magát a rangsorolást a binér döntés-elemzés módszerével végeztük el. Figyelembe vettük különböző tervezési-építési munkálatok alapján szakértők által becsült technológiai és gazdaságossági követelményeket is. (5. ábra)

4. lépés: A fent felsorolt öt alapmunkálatra, ill. a földt. erőforrások megkövetelt mértékű védelmére vonatkozó mérnökgeológiai alkalmassági értékeket alegységként, a faktorok normalizált értékeinek és a megfelelő súlyozó értékeknek a szorzatát összeadva számitottuk. Hogy az így kapott értékek skáláját egyszerűsítsük, magukat az értékeket öt, ill. három (ABC ill DE) osztályba soroltuk, s ezek az osztályok szolgálták aztán az új összevont térképezési egységek elkülönítésének alapjául. Ezen egységek mindegyike az alkalmasság, ill. védendőség más és más fokozatával volt jellemezhető. Példánkban összesen öt mérnökgeológiai alkalmassági rayon-térképet és egy a földtani erőforrások védelmére vonatkozó rayon-térképet állítottunk össze (7. ábra).

5. lépés: További átrajzolási, újra-definiálási és összevonási műveletekkel elkészítettük az optimális mérnökgeológiai alkalmasságot szemléltető összefoglaló térképet, amely a különböző típusu építési és fejlesztési munkálatok céljára legalkalmasabb területeket mutatja be. (6. ábra)

6. lépés: Az optimális mérnökgeológiai alkalmasságot szemléltető összefoglaló térkép és a földtani erőforrások védelmét szolgáló térkép kombinációjával (6., ill. 7. ábra) újabb összetett térkép állitható elő, amely az optimális területfejlesztési alkalmassági térkép címet viselheti. Ez a térkép szolgálja az építési és földtani- környezetvédelmi törekvésekkel összhangban lévő racionális területkihasználást. (8. ábra)

A 4. ábrából nyilvánvaló, hogy a regionális értékeléssel kapcsolatban számos egyéb kombinációs térkép szerkesztésére is meg van a lehetőség. Így pl. a fent leirtakhoz hasonló módon előállitható a földtani környezet "sebezhetőségének" térképe; az építési célokra nem alkalmas területek térképe (ez utóbbit a veszélyt jelentő földtani jelenségek és a földtani-környezeti erőforrások térképeinek kombinációjából állítjuk elő), vagy pl. szerkeszthető olyan Racionális terület-kihasználási és földtani-környezetvédelmi térkép is, amelynek ugyancsak vannak földtani és környezetvédelmi előrejelzési elemei.

Összefoglalás

A mérnökgeológiai adatok exakt értelmezése, a mérnökgeológiai jelenségek előrejelzése és a szakvéleményezések iránt támasztott követelmények növekedése folytán a kvantitatív értékelési módszerek a regionális mérnökgeológián belül is gyors fejlődésnek indultak.

Előadásomban arról ejtek néhány szót, miként fokozható a pontosság a regionális földtani információ feldolgozásának fő szakaszaiban, nevezetesen az adatgyűjtés- tárolás - adatkinyerés folyamatában; a térképeken ábrázolt jelenségek legfontosabb jellemzőinek osztályozásában; a mérnökgeológiai és geotechnikai térképek speciális célorientált transzformációjában és a regionális egységek értékelését szolgáló optimációs elemzésekben.