

STUDY OF ROCK MASS FISSURATION FOR ENGINEERING GEOLOGICAL  
PURPOSES

PETAR LOKIN<sup>\*</sup>

Kőzettömb repedezettség vizsgálata mérnökgeológiai célokra

1. INTRODUCTION

The study of rock mass fissuration is an important objective of engineering geological investigations. This is only natural in view of the fact that fissures are the basic factor predetermining the behaviour of the rock mass in its interaction with the man-made structure. Almost any failure or deformation in the rock mass due to the load exerted by the overlying structure occurs along fissures, sealing up the opening or deforming the fissure filling.

In many cases the study of fissuration is even by far the most important part of the engineering geological study of the terrain. This, for instance, is the case in the study of sites for large underground excavations where economy in construction does not permit large investments for the improvement of the rock mass, or wall lining after excavation; in the study of the stability of slopes in the construction of roads or railways or stability of slopes in quarries and open pits; in the selection of remedial measures (anchoring, sealing of fissures by grouting, etc.).

---

<sup>\*</sup> Beograd Rudarsko Geoloiky Fak. Dusina Br. 7.

Nevertheless, the features of rock mass fissuration are still most often described in rough qualitative terms or through parameters whose value is not unique and therefore not representative of the actual state. Setting up of objective quantitative fissuration parameters and elaboration of an adequate methodology for their determination would, therefore, greatly contribute to further development of engineering geology. This would definitely have a positive effect on economy in construction, safety at work, and secure a more satisfactory service of the structure built.

The following are generally considered the most important objectives of the rock fissuration study:

- (a) Defining of quantitative parameters of rock mass fissuration and the method by which they can be determined.
- (b) The method of zoning the terrain, i. e. recognition of zones which are approximately homogeneous with respect to fissuration parameters;
- (c) Methods by which the degree of anisotropy within given, approximately homogenous, zones can be determined in terms of fissuration parameters;
- (d) Correlation between fissuration parameters and parameters of other properties of a given rock mass, particularly those of shearing strength, deformability and permeability for a more reliable prognostication of the rock mass behaviour.

These methodological problems of rock mass fissuration study are definitely among the most important problems facing engineering geology at the present level of its development. Their solution would contribute to further advancement of the theory and methodology of engineering geological investigations, and could widely be applied to the development of rock mechanics, geostatic calculations and designing of geotechnical ameliorations.

The present paper gives a brief description of the objectives listed above and a detailed presentation of the method for the quantitative estimate of the degree of rock fissuration based on fragmentation analysis of core pieces from exploratory boreholes. The prominence is given to the methods for calculating the anisotropy of rock mass fissuration.

## 2. A SURVEY OF METHODS FOR THE STUDY OF ROCK MASS FISSURATION

Methods applied in the study of rock mass fissuration are schematically surveyed in Table 1. All these methods are divided into two main groups:

- (1) Methods for fissuration analysis of exposed rock masses, i.e. for the study of this phenomenon on outcrops or artificial exposures; and
- (2) Fissuration analysis of buried rock masses.

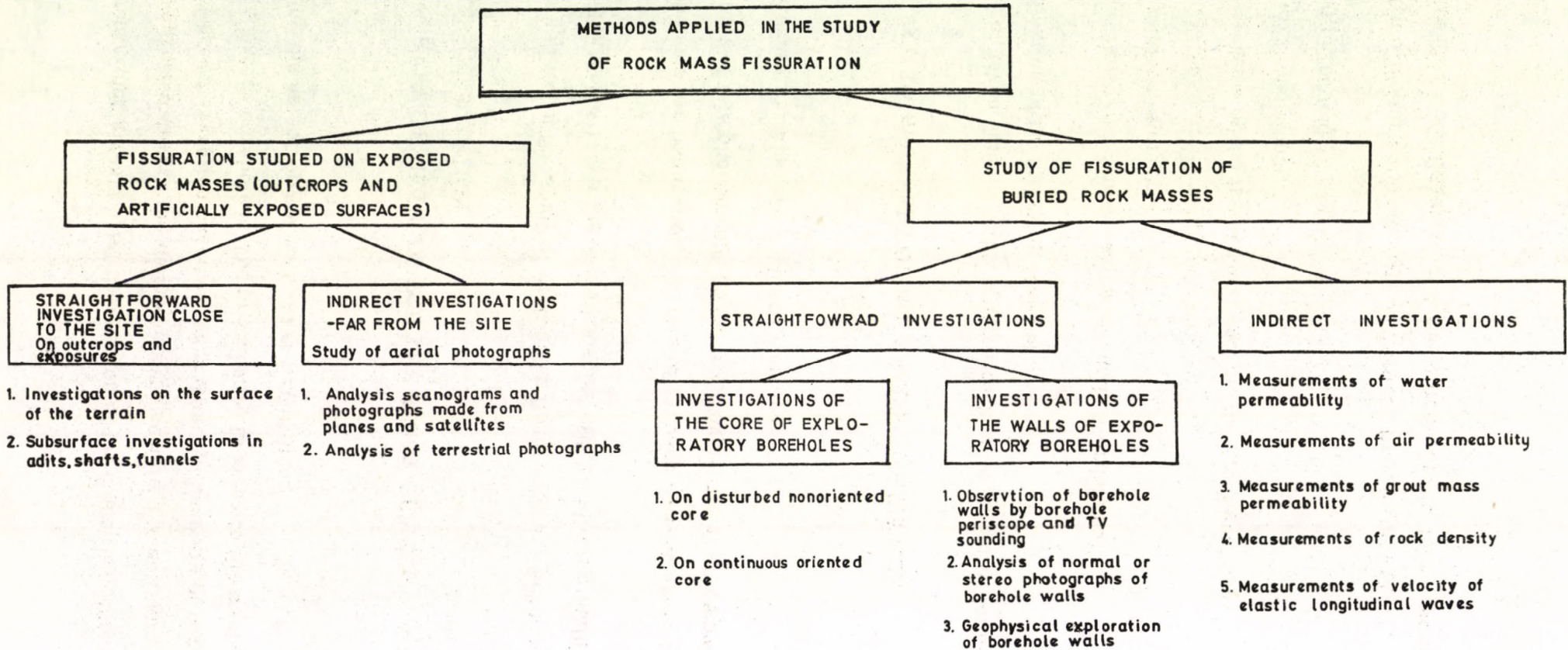
## 3. BASIC PARAMETERS OF ROCK MASS FISSURATION

A fissure, taken singly, within a given rock mass, is fully defined after determination of its following features:

- (a) Position in space (Elevation and co-ordinates)
- (b) Mode of origin;
- (c) Orientation; (Dip and strike)
- (d) Shape of the fissure and wall surface configuration;
- (e) Dimensions;
- (f) Kind and properties of the fill.

The main feature of a family of fissures (the term family denotes an ensemble of fissures with the same or at least similar

Table 1.



characteristics) is the density of fissures within the given family. Other characteristics of the family are extreme and average or mean values of various fissures constituting the family; yet another characteristic is the order of variability of these values. The order of variability of data referring to the orientation of fissures is particularly important. Thus, e.g., if the rock mass is expected to fail along fissures of a given family, average values of dip elements of the family are taken into account. Since, however, shearing is also possible along fissures whose dip elements do have the calculated mean values, it is of interest to calculate the order of probability of possible shearing and the relevant safety factor to be applied in such a case.

The parameters of a fissure system (system here refers to all fissures contained in a given body of rock) are

- (1) The number of the family of fissures of given characteristics present in a body of rock;
- (2) Occurrence of certain non-penetrative fissures which do not belong to any of the families within the given body of rock;
- (3) Spatial position between various families of fissures;
- (4) Total number (frequency) of fissures in the system.

Like in the case of a family of fissures, a system is fully defined only when - in addition to the parameters of the system enumerated above - all the parameters of a family of fissures (and of individual fissures), making up a given system, are defined.

The frequency of fissures making up a given system can be expressed by various parameters which, depending on whether they refer to a given direction in the rock mass, or to the surface or the volume of the rock mass, can be

Linear ("fissuration module" - A.I. Silin-Bekchurin, 1939; N.I. Kriger, 1953; "fissuration index" - J. Stini, 1950);

Planar ("average fissuration density" - E.N. Permjakov, 1949; "coefficient of fracture porosity" - L.I. Nejsthaadt, 1957);

Volumetric ("volumetric density of fissures" - V.K. Gromov, 1963; S.E. Batugin and P.V. Egorov, 1964; "coefficient of fracture porosity" - L.I. Nejstadt, 1957; "general fracture porosity" - M.V. Rac, 1962; "specific volume of fracture porosity" - S.E. Batugin and P.V. Egorov, 1964);

In view of the fact that the values of linear and planar parameters essentially depend on the orientation of the line and plane along which they are measured, the volumetric parameters are most valuable from the geological engineering standpoint.

The rock mass as a dissected medium is characterized by

Degree of fissuration, and

Mode of fissuration.

Degree of rock mass fissuration can be expressed in terms of fissure density and the size of the monolith bounded by the adjoining fissures ("average fissuration" - A.M. Gurev, 1964; "average volume of the monolith" - M.V. Rac and S.N. Černišev, 1970).

Mode of fissuration can be expressed in terms of the relative position and fissure density of various families, or the shape of the monolith bounded by the adjoining fissures.

Most of the fissuration parameters cited above figure in the relevant classification of the fissuration elements or in the classification of fissured rock masses.

#### 4. HETEROGENEITY OF ROCK MASS FISSURATION

Heterogeneity of rock mass fissuration can be due to the heterogeneity of the primary composition and structure of the rock mass, i.e. to the original differences in mechanical properties and, also, to a number of processes causing the formation of fissures in the rock mass (faulting, folding, contact-metamorphic changes, weathering, technogenic factors).

Choice of the fissuration parameters with reference to which the heterogeneity of a given body of rock mass will be investigated depends primarily on the purpose of investigation, and, next, on the kind of available data.

Zoning according to the fissuration parameters of exposed rock masses presents no great difficulties, if all the data on fissuration are available.

Zoning can also be carried out by plotting either statistical data or data referring to particular fissures on an adequately scaled map. If more parameters are considered, their classification and coding is desirable so that zoning can be simplified technically. An illustrative example is the coding suggested by M. Matual and R. Holzer, 1976.

Zoning of a buried rock mass by indirect study of fissuration is also readily practicable, the reliability of results depending on the density of data and the possibility to correlate fissuration parameters with the parameters of the measured properties of the given body of rock mass. According to personal experience, the most reliable results are afforded by seismo-acoustic and electrical methods of geophysical exploration.

Study of fissuration along the walls of exploratory boreholes, or on oriented cores, is rarely applied on a mass scale, and cannot, therefore, be used for zoning larger volumes of rock mass with respect to fissuration parameters.

## ZONING OF THE ROCK MASS BASED ON THE ANALYSIS OF DISTURBED CORE FRAGMENTATION

Regardless of the relative value of fissuration data obtainable by the study of disturbed cores, this technique has exceptional significance in view of the mass-application of exploratory boring and the possibility to estimate the fissuration of rock masses at greater depths.

For a quantitative estimate of the degree of rock fissuration based on core fragmentation analysis various methods and parameters are used. Some of the relevant parameters are:

- (a) Rock quality designation - RQD, D, Deere, 1963;
- (b) Specific fragmentation of the core (Pirgov, I.A., and N.A. Yartsev, 1972);
- (c) Kiruna factor - C (Hansagi, I., 1974).

To determine the heterogeneity of rock mass fissuration, the author has used his own method of core fragmentation analysis. The method has been fully reported on in Lokin, P. et M. Laban, 1977, 1978.

In the study of core fragmentation, the length of each core piece separated by two neighbouring fissures is measured. Core fragmentation due to boring or core extraction is not to be taken into account, i. e. fragments broken in this way must be treated as compact piece of core. If in a given case we wish to establish the frequency of microcracks and other mechanical discontinuities, not visible as open fissures along which the core breaks, discontinuity spacing can be measured instead of the core lengths.

Assuming that the zones with shorter core pieces correspond to more intensively fissured zones of rock masses in the terrain, then, by zoning the



core - according to its degree of fragmentation - we have also divided the rock mass into zones according to its degree of fissuration. The average length of core pieces (which corresponds to the average distance between fissures) was adopted as an indicator of rock fissuration within an approximately homogenous zone.

Core zones are identified according to the principle that within one approximately homogeneous zone no two pieces differ in length by more than some value  $\lambda$ . On the other hand, two neighbouring zones must contain at least two core pieces, one from each of them, whose difference in length definitely exceeds the given value of  $\lambda$ . Thus, the value of  $\lambda$  is an index used for defining the homogeneity of core fragmentation within the given zone limits. The value of  $\lambda$  is selected as convenient.

A more detailed description and mathematical demonstration of the method can be found in P. Loking and M. Laban, 1978.

Core fragmentation can be presented numerically by tabulating data on the boundaries between approximately homogeneous zones and the average core lengths within given zones. Or, alternatively, it can be presented by graphs in which borehole intervals, or depths of approximately zones are entered on the abscissa, while the average core lengths in corresponding zones are entered on the ordinate.

If length values of each core piece and respective depths of borehole intervals are entered, core fragmentation graph for value  $\lambda = 0$  will result. Such a graph gives, in fact, the most realistic picture of core fragmentation whose objectivity can be compared with that of a photograph of the core studied (Fig. 1.). However, excessive detailing makes such a diagram less practical for the construction of engineering-geological sections of the terrain in which zones of more or less uniform fissuration should be delimited.

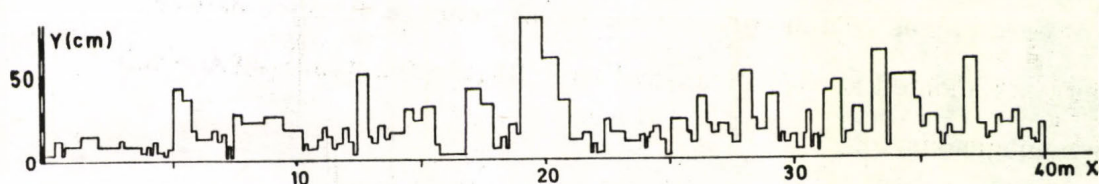


Fig. 1. - Core fragmentation graph for  $\lambda = 0$   
 (y - length of core piece; x - drilling depth)

By constructing core fragmentation graphs with  $\lambda > 0$  certain integration is achieved, its degree depending on the actual value of  $\lambda$ . The higher the value of  $\lambda$  the smaller the number of zones of approximately homogeneous fissuration. On the other hand, the accuracy of the graph is also lower, because the average value refers to the set of values between which differences are greater, Fig. 2.

Because of this value is selected to suit the case in hand, taking into account the extent to which the rock mass has been fissured, and also the specific character of the problem studied.

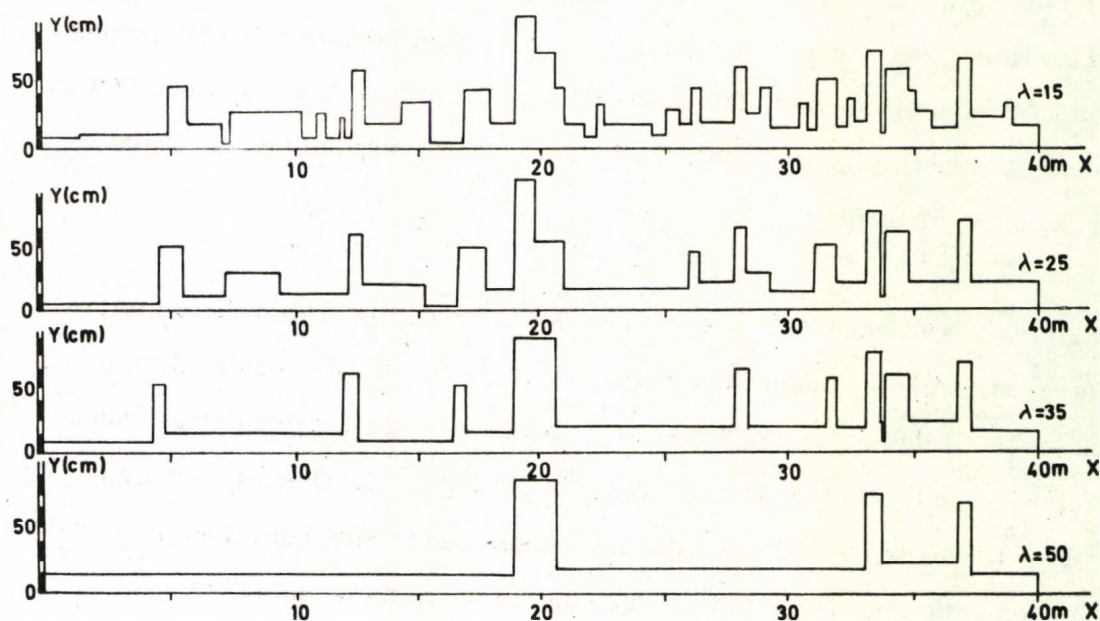


Fig. 2. = Core fragmentation graph for: 1 -  $\lambda = 15$ ; 2 -  $\lambda = 25$   
 3 -  $\lambda = 35$ ; 4 -  $\lambda = 50$  cm;  
 y - average length of core pieces; x - drilling depth)

To make the method more efficient the calculating procedure was programmed for the computer.

The input data are core piece lengths and drilling intervals.

The computer output has the form of tables and graphs with weighted values of the core piece lengths, i. e. length of each core piece is multiplied by the ratio  $\frac{Z}{Z_k}$ , where

- Z - length of the drilling interval;
- Z<sub>k</sub> - sum of lengths of all core pieces in that interval.

Core piece lengths must be weighted in this way to make the core fragmentation diagram tally with the actual borehole length. Without this correction the length value of the core fragmentation diagram would be less than the actual borehole length, the difference being due to core loss. In this way data on the core piece lengths are changed on purpose. Since the missing core length is evenly distributed among core fragments, the error is practically insignificant if the core length lost is fairly small. It follows that the application of this method is not advisable when core loss is excessively high.

The computer processing also yields graphical and numerical data on the percentage of core in each drilling interval.

Data on the boundaries between zones inside which core fragmentation is approximately uniform, as well as the average lengths of core pieces contained in them - also have the form of tables and graphs (Tables 2 and 3).

Since the scale of these graphs can be chosen at will, they can be plotted on other graphs presenting the geological column traversed by exploratory boreholes. In this way computer output data can be correlated with the results of other methods of research.

The output data include the relative error graph as a function of  $\lambda$ , which helps select its most adequate value for the given purpose.

#### EXTRAPOLATION OF CORE FRAGMENTATION DATA ON THE GEOLOGICAL SECTION THROUGH THE TERRAIN

Data obtained by the fragmentation analysis of cores from various boreholes can be plotted on the geological section of the terrain investigated. They can be of use in defining zones in which rock fissuration is approximately uniform, i. e., for the construction of engineering geological sections incorporating the fissuration parameter.

It goes without saying that in construction this type of profile use should be made of all other available data on rock mass fissuration, especially those obtained by mapping the exposed rock surfaces. In addition, the entire fissuration study, inclusive of zoning with respect to degree of fissuration, must be based on a thorough knowledge of lithological, genetical, and structural characteristics of rock masses.

Data obtained by core fragmentation analysis are used for qualitative zoning of those parts of rock mass that cannot be observed directly. Reliability of zoning carried out on the basis of these data depends on the density of borehole network, efficiency of coring operations, and the possibility of correlating the results of core fragmentation analysis with the data furnished by other methods of investigation.

/2	3	8	5	19	8	13	11
25	18	18	2	10	8	15	26/
11	13	10	10	10	18	14	8
14	6	4	3	6	12	4	17
10	1	6	11	7/	58	48/	25
18	15	25	14	22	3	14	1/
30	29	36	43	29/	24	12	5
18/	30/	16	5	8	1	8	12
12	11	7	1/	56/	14	8	11
13	18	20	18	30/	62	47	64/
2	2	2	2/	85	66/	11	9
5	24	17	15	12	17/	94/	66/
15	12	19	22	6	13	7	8
3	5/	29/	21	18	17	13	11
13	16	9	15	17	23	16	11
3	9	26/	27	18	9	13/	40/
16	22	24	15	11	10	9/	53/
20	40/	8	17	11	10	16	6
8	30/	7	17	5	13/	40	47/
16	31	15	17	14/	63/	5	8/
33/	16	25	24	13	6	7	12
14	11	11/	57/	18	19	9	15
21	19	27	9	15	17	9	10
18	21	22	29/	15	6	10	14
18	24	22	17	13	14	19	23
26	27	3	13/	37	29	30/	7
5	2	6	13/	30	37	43	31/
23	26	11	6	15	12	18	13
16	28/	18	9	11	10	2	13
3	1	1	12	13	3	7	20
16	19	13	14	6	4	9	13
3	3	9	7	13	25	12	23
19	12	7/	28	16	19	10	9
17	13/						

Table 2 - Core piece lengths, and boundaries of approximately homogeneous zones (marked with oblique lines)

225.00	12.50	2014.00	94.00
492.00	9.88	2080.00	66.00
598.00	53.00	2121.00	41.00
764.00	15.09	2255.00	10.30
1005.00	34.42	2284.00	29.00
1075.00	11.66	2556.00	13.60
1105.00	30.00	2623.00	16.75
1214.00	9.08	2663.00	40.00
1270.00	56.00	2810.00	16.33
1436.00	16.60	2863.00	53.00
1609.00	57.66	2965.00	25.50
1636.00	4.50	3102.00	13.70
1787.00	75.50	3144.00	10.50
1920.00	13.30	3231.00	43.50

Table 3 - Average core piece lengths in various zones

Fig. 3 shows a section through the terrain with core fragmentation graphs in which zoning was performed with value  $\lambda = 30$ . Most data refer to an andesitic massif (marked by B). Data collected by other methods of research were not plotted, since the primary objective of this report is to demonstrate the usefulness and applicability of core fragmentation analysis. However, the number of boreholes (7) was comparatively small and did not allow accurate and definitive zoning of the rock mass with respect to the fissuration parameter. Nevertheless, even from this rough analysis it was possible to see that fissuration is more intensive in the zone of weathering, near tectonic contacts, and major zones of faulting. It can also be observed that on the right side of the valley fissuration is of a lower degree of intensity, i. e. that the rock mass presents a better foundation, and that andesite and rocks surrounding it differ in the degree of fissuration.

Rough zoning of the andesitic massif is shown in Fig. 4.

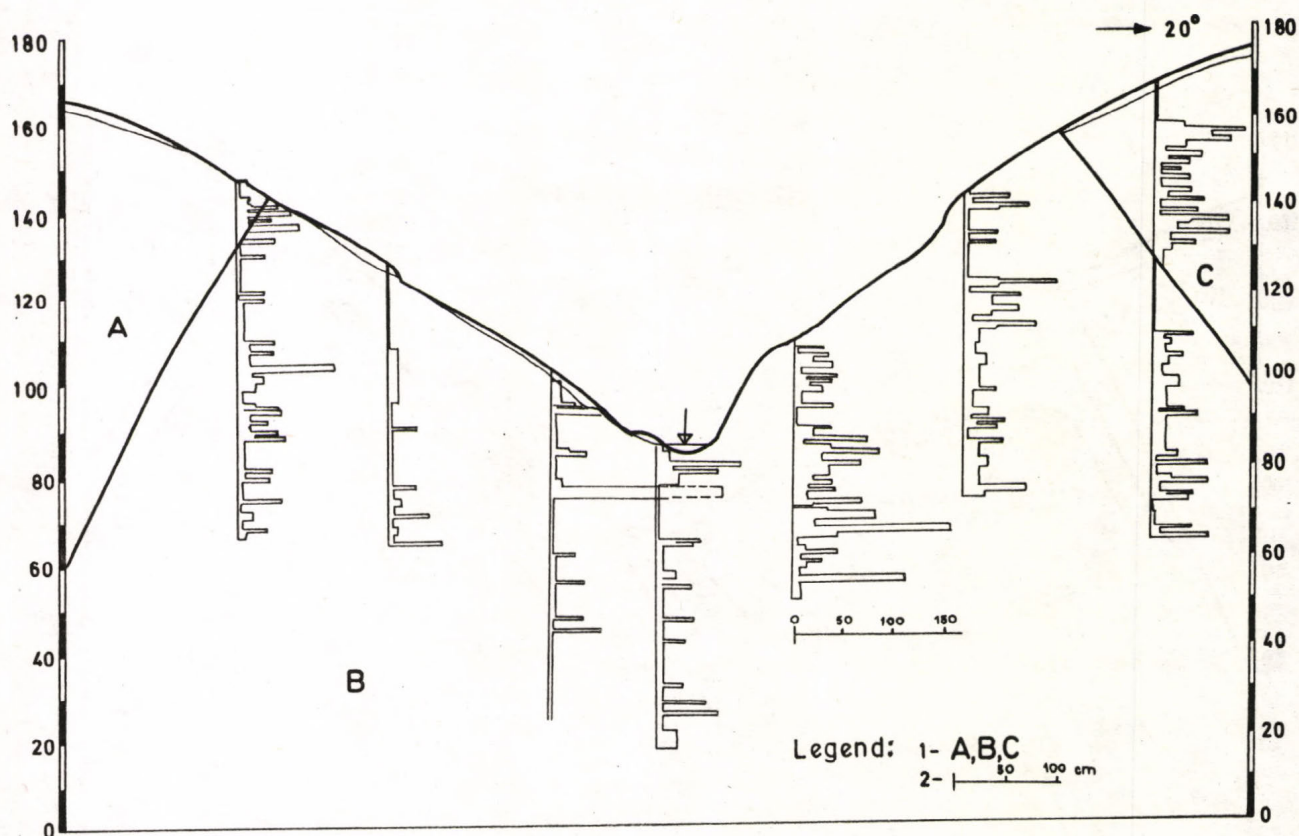


Fig. 3 - Engineering-geological section through the terrain with core fragmentation graphs (1-Rocks of different lithological character; 2-Average core piece lengths)

## 5. FISSURATION ANISOTROPY OF THE ROCK MASS

Rock mass fissuration anisotropy is one of the essential factors affecting the anisotropy of a given body of rock mass with respect to its mechanical strength, deformability and permeability.

In the study of this kind of anisotropy, we shall use the parameter "fissure frequency" (identical with the term "fissuration module" - A.I. Silin Bekurin, 1939), i. e. the number of fissures per unit length, measured in a given direction (P.Lokin, 1973). Anisotropy will be expressed in terms of the parameter "degree of fissuration anisotropy".

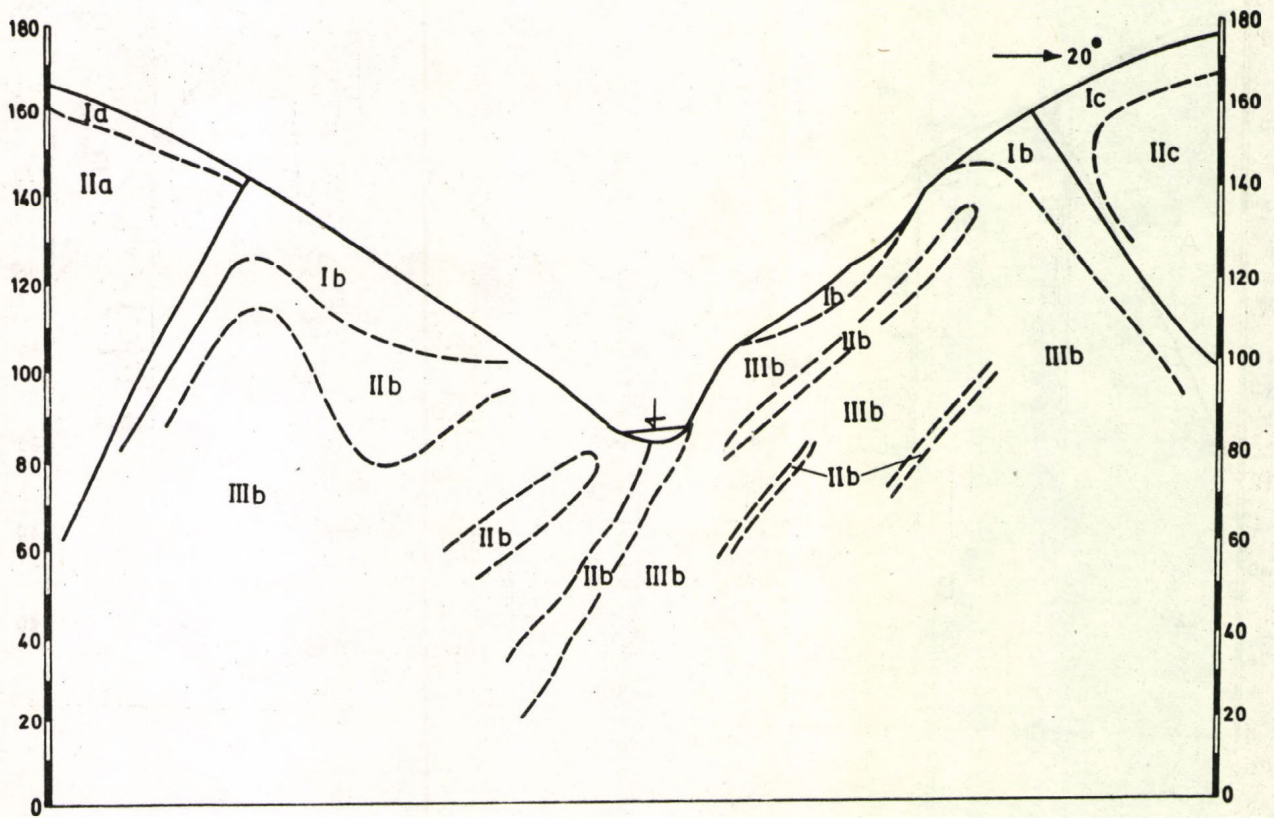


Fig. 4 - Engineering-geological section through the terrain with andesite zoned according to the degree of fissuration

$$1 : \frac{G_y}{G_x} : \frac{G_z}{G_x} : \frac{G_n}{G_x}$$

where

$G_x, G_y, G_z \dots, G_n$  are fissure frequencies along directions  $x, y, z, \dots, n$ .

Fissuration anisotropy of buried rock masses can be analyzed on the basis of core fragmentation data, or geophysical exploration - provided boring and/or exploration was conducted in directions differently oriented in space.



For calculating fissuration anisotropy on the basis of data obtained by the mapping of exposed rock masses (outcrops or artificially exposed surfaces) the author has developed two methods, one graphical and one analytical.

Graphical solution:

In order to arrive at a graphical solution for the anisotropy of a given system of fissures, let us first consider a family of fissures. We shall assume that the members of this family are parallel fissures at equal spacing in the direction of their common normal. In practical applications the average dip elements and spacing of the family obtained by statistical processing of measurements would be used.

The interval between the intersections of two neighboring fissures with an arbitrary straight line ( $m'$ ) depends only on the angle this line makes with the normal to the fissures:

$$m' = \frac{m}{\cos \psi}$$

where

$m$  is the distance between successive fissures in the direction of the normal;

$\psi$  is the angle between  $\bar{N}$  and the direction for which the frequency of fissures is to be calculated.

Hence for a given value of  $m$  the angles which directions with specified frequencies of fissures make with  $\bar{N}$  can be calculated. In an equal-area projection the poles of all straight lines making the same angle with  $\bar{N}$  line on a minor circle whose center is the pole of the normal and whose radius corresponds uniquely to  $\psi$  (Fig. 5).

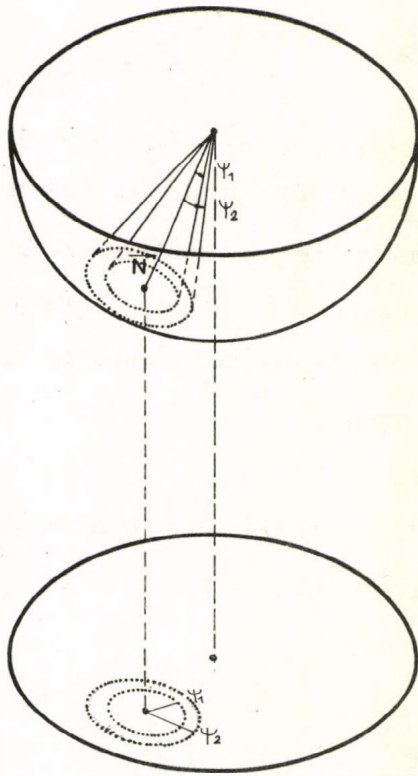


Fig. 5 - Mapping lines of equal frequency of fissures of one family in an equal-area projection

Different values of  $\psi$  give a set of concentric circles. For  $\psi = 90^\circ$  the poles of the straight lines lie on a circle representing the intersection of the fissure with the sphere. Thus the locus of the poles of the straight lines making an angle with  $\vec{N}$  is a circle corresponding to directions of equal frequency of fissures of the given family, i.e. the concentric circles about the normal are lines of equal frequency of fissures of that family.

Figure 6 shows lines of equal frequency of fissures of a family (I) with dip elements  $70/45$  and a distance between fissures  $m = 30$  cm (Fig. 6-a).

Hence the equal area projection provides a sufficiently accurate graphical presentation of the anisotropy associated with one family of fissures. The same procedure can be applied for all the other families making up a system under consideration.

Figures 6-b and 6-c show lines of equal frequency of fissures for a family (II) with dip elements 180/68  $m = 80$  cm, and a family (III) with dip elements 255/18 and  $m = 120$  cm.

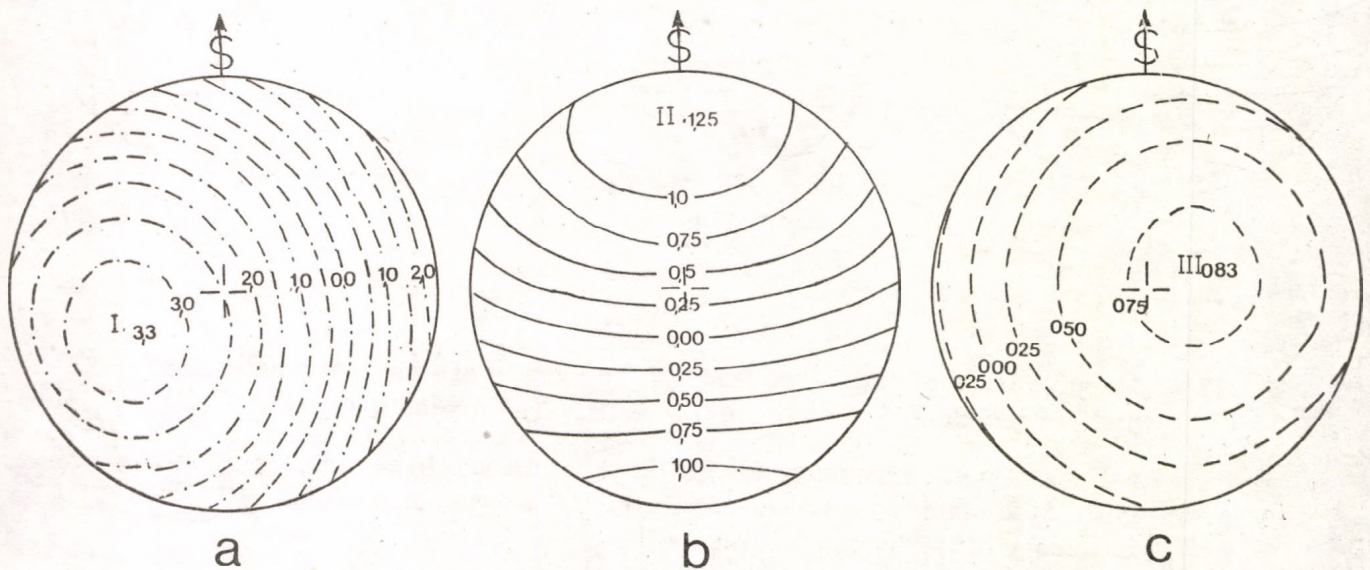


Fig. 6 - Lines of equal frequency of fissures (in equal-area projection) for families with dip elements 70/45 (a); 180/68 (b) and 255/18 (c), and spacing between fissures  $m = 30$  cm (a);  $m = 80$  cm (b) and  $m = 120$  cm (c)

The total frequency of fissures of the system consisting of these three families can be found by summing the values given by the lines of equal frequency for all three families. This is easiest done by mapping the lines of equal frequency of all the families on the same diagram (Fig. 7-a). After summing the values given by the lines (Fig. 7-b), points of equal total frequency of fissures are found by interpolation and lines of equal total frequency drawn by joining them up (Fig. 7-c).

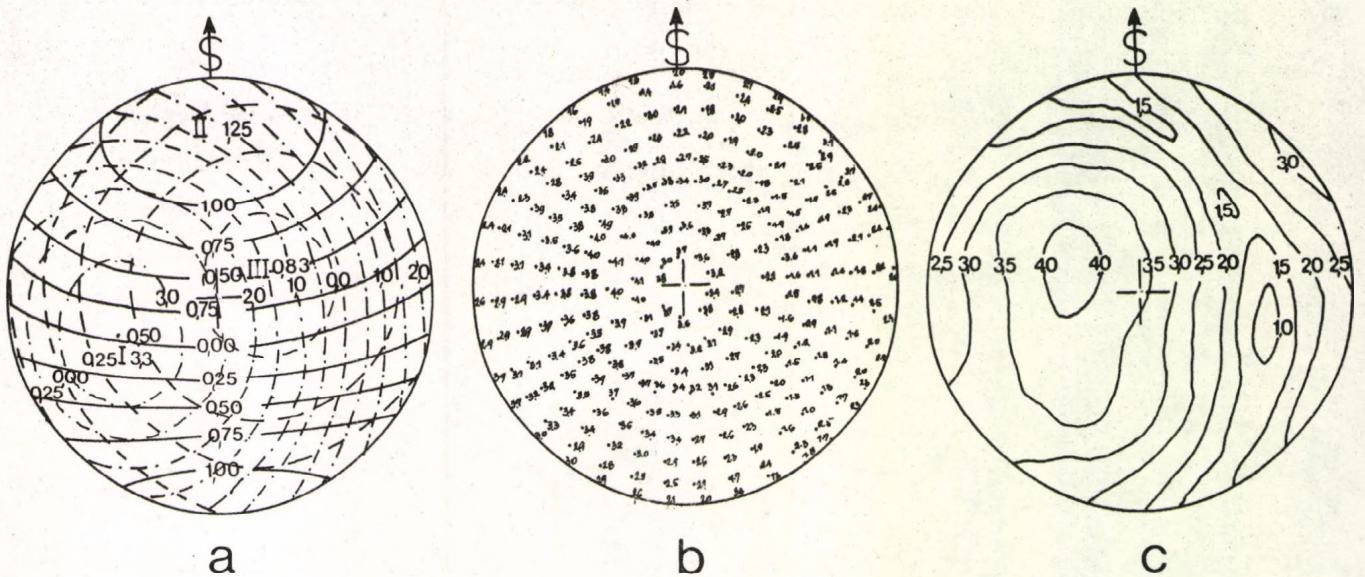


Fig. 7 - Mapping lines of equal frequency of the system of fissures constituted by the preceding three families (in equal-area projection):

a-lines of equal frequency for all three families; b-summation of values given by lines of equal frequency in Fig. 7-a; c - lines of equal frequency of the system of fissures

The resulting graphical representation can be used to determine the frequency of fissures along any desired direction. Hence a plot such as that shown in Fig. 8-c provides a complete representation of the three-dimensional fissures anisotropy of the rock mass.

The chief difficulty in applying this graphical procedure is that of drawing all the lines of equal frequency for each family of fissures, especially if there is rather a large number of families. In order to facilitate its application a set of grids has been constructed with the poles of the normals to families of fissures with different specified angles of dip. With the aid of these grids the lines of equal frequency can be quickly drawn for a family with any dip elements and any distance between fissures.

### Analytical solution

The analytical solution will also be sought by considering one family of fissures, making the same assumptions about it as in the graphical solution.

In Fig. 8 the plane ABC represents a typical member of the family, i. e. a fissure with the dip elements of the family, in a three-dimensional rectangular coordinate system. The distance of this plane from the origin (i. e. distance along the normal OM) is equal to the distance between members of the family.

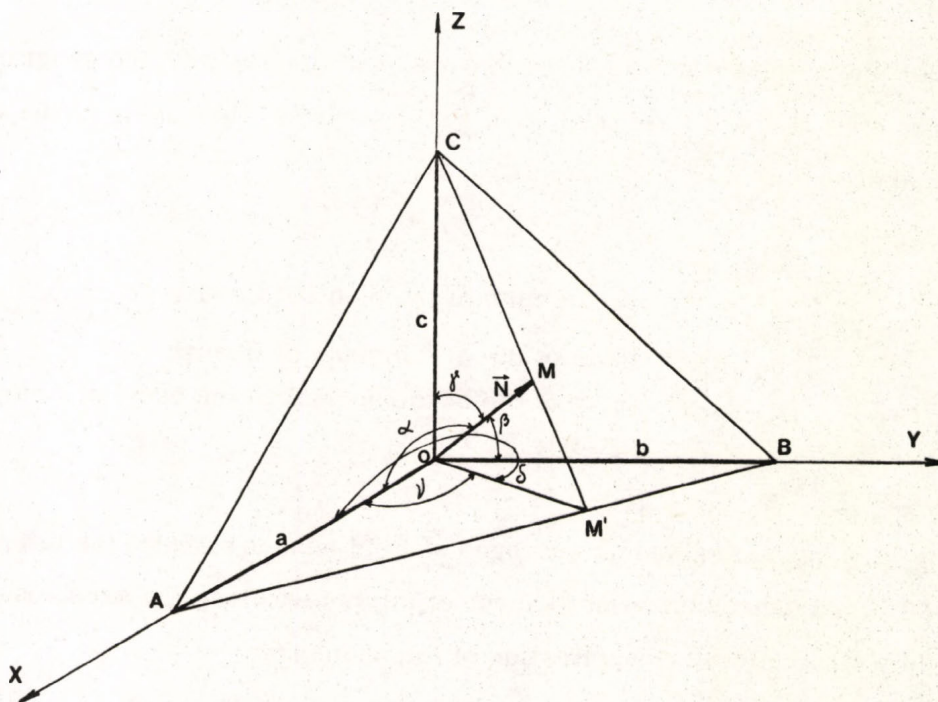


Fig. 8 - Schematic representation of fissure showing the dip elements of the family to which it belongs in the geographical coordinate system.

Notation:

- $\vec{N}$  - vector of the normal to the discontinuity plane, of magnitude proportional to the distance between fissures the family (m)
- $\vec{N}_x, \vec{N}_y, \vec{N}_z$  - vector components of  $\vec{N}$  parallel to the axes
- $\alpha, \beta, \gamma$  - angles which  $\vec{N}$  makes with the axes
- $a, b, c$  - intercepts of the plane of the fissure on the axes
- $\delta$  - angle between the x axis and the projection of  $\vec{N}$  on the xy plane
- $\zeta$  - angle between  $\vec{N}$  and the xy plane

If the coordinate system is so chosen that x and y coincide with the geographical coordinate axes N-S and E-W, and z with the vertical, then some of the above symbols also have the following significance:

- $\delta$  - dip azimuth of the plane of fissure
- $\gamma$  - angle of dip of the plane of fissure
- $\zeta$  - angle of dip of the normal to the plane of fissure  
( $\zeta + \gamma = 90^\circ$ )

Knowing  $m, \gamma, \delta$  (obtained as averages of field measurements) the intercepts  $a, b, c$ , i.e. distances between fissures of the family along the axes, can be obtained by straightforward application of trigonometry:

$$|a| = \frac{m}{\sin \gamma \cos \delta}$$

$$|b| = \frac{m}{\sin \gamma \sin \delta}$$

$$|c| = \frac{m}{\cos \gamma}$$

The number of fissures of the given family ( $n$ ) intersecting the axes in a length  $L$  is given by

$$l_x^n = \frac{L}{a}$$

$$l_y^n = \frac{L}{b}$$

$$l_z^n = \frac{L}{c}$$

The frequency of fissures of the given family, along each axis, i.e. the number of fissures of that family intersecting the axis over a length of one meter, is given by:

$$l_x^G = \frac{l_x^n}{L} = \frac{\sin \gamma \cos \delta}{m}$$

$$l_y^G = \frac{l_y^n}{L} = \frac{\sin \gamma \sin \delta}{m};$$

$$l_z^G = \frac{l_z^n}{L} = \frac{\cos \gamma}{m};$$

The frequency of fissures of all other families making up the system ( ${}_2G, {}_3G, \dots, {}_nG$ ) is determined in the same way. The sum of the frequencies of all the families gives the frequency of the system of fissures (G) for the specified axis:

$$G_x = \sum_{i=1}^{i=n} l_x^{G_i} = l_x^{G_1} + l_x^{G_2} + l_x^{G_3} + \dots + l_x^{G_n}$$

$$G_y = \sum_{i=1}^{i=n} l_y^{G_i} = l_y^{G_1} + l_y^{G_2} + l_y^{G_3} + \dots + l_y^{G_n}$$

$$G_z = \sum_{i=1}^{i=n} l_z^{G_i} = l_z^{G_1} + l_z^{G_2} + l_z^{G_3} + \dots + l_z^{G_n}$$

The fissuration anisotropy for the axes of the geographical coordinate system will be:

$$1 : \frac{F_y}{G_x} : \frac{G_z}{G_x}$$

We have started by determining anisotropy with respect to the three axes of the geographical coordinate system because field measurements yield data about the orientation of discontinuities with respect to this coordinate system.

To obtain a more complete picture of the fissuration anisotropy, and for the solution and practical problems, the frequency of fissures may be calculated for other directions as well. Practical tasks in engineering geology and geotechnique often call for determination of the frequency of fissures in directions or planes fixed by the layout of the field test or the configuration of the artificial structure involved or some part of it. The frequency of fissures in any other direction can be found either by setting up a new coordinate system or determining the angle between the new direction and  $\vec{N}$ .

The frequency of fissures of one family in the new direction ( $\vec{n}$ ) will be:

$$l G_n = \frac{\cos(\gamma - \gamma_n) \cos(\delta - \delta_n) + (1 - \cos(\delta - \delta_n)) \cdot \cos \gamma \cos \gamma_n}{m}$$

where:

$\gamma_n$  - angle between z axis and the new direction ( $\vec{n}$ )

$\delta_n$  - angle between x axis and the new direction ( $\vec{n}$ )

The frequency of fissures of all families making up the system, along direction ( $\vec{n}$ ) will be

$$G_n = \sum_{i=1}^{i=n} G_n^i$$



In calculating fissure frequency in a larger number of directions differently oriented through the rock mass which which may also contain several families of fissures - we are faced with a task involving a lot of work. Extensive work is also involved in the statistical processing, i. e. calculation of average values of dip elements of the given families of fissures. Because of that a computer program for processing the data on fissure frequency was developed at the Faculty of Mining and Geology, Belgrad University.

The input data are:

- Average dip elements of the fissure; and
- Average spacing between fissures in a given family.

The output data are:

Tables showing fissure frequency in various directions through the rock mass (Table 4); and

Table 4.

		GAMA I			DELTA I			MI																				
		45.			180.			25.																				
		20.			90.			33.																				
		70.			290.			50.																				
n	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180										
0	3.5	3.3	3.0	3.3	3.5	3.6	3.5	3.4	3.1	2.8	3.4	3.8	4.2	4.4	4.5	4.4	4.2	3.9	3.5	0								
10	3.5	3.4	3.1	3.1	3.3	3.4	3.4	3.2	3.0	3.6	4.2	4.6	5.0	5.2	5.3	5.2	5.0	4.7	4.3	10								
20	3.5	3.3	3.1	2.9	3.0	3.1	3.1	3.1	3.7	4.3	4.9	5.3	5.6	5.8	5.9	5.8	5.7	5.4	5.0	20								
30	3.4	3.2	3.0	2.6	2.7	2.7	3.1	3.7	4.4	4.9	5.4	5.8	6.1	6.3	6.4	6.3	6.2	5.9	5.5	30								
40	3.1	3.0	2.8	2.5	2.6	3.1	3.7	4.3	4.9	5.4	5.8	6.1	6.4	6.6	6.6	6.6	6.4	6.2	5.9	40								
50	3.5	3.4	3.4	3.4	3.5	3.8	4.3	4.8	5.2	5.6	6.0	6.3	6.5	6.6	6.7	6.7	6.5	6.3	6.3	50								
60	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.5	4.7	5.0	5.4	5.7	6.0	6.2	6.4	6.5	6.6	6.5	6.4	6.5	6.6	60								
70	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.9	6.0	6.1	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.7	70								
80	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	6.0	6.0	6.1	6.1	6.2	6.3	6.3	6.4	6.5	6.5	6.6	6.6	6.6	6.6	80								
90	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	90								
90	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	90								
80	6.6	6.7	6.7	6.7	6.6	6.6	6.6	6.5	6.5	6.4	6.3	6.3	6.2	6.1	6.1	6.0	6.0	5.9	5.9	80								
70	6.7	6.8	6.8	6.7	6.7	6.6	6.6	6.5	6.4	6.2	6.1	6.0	5.8	5.7	5.6	5.5	5.4	5.3	5.2	70								
60	6.6	6.6	6.7	6.6	6.6	6.5	6.4	6.2	6.1	5.9	5.7	5.5	5.3	5.1	4.9	4.7	4.6	4.5	4.4	60								
50	6.3	6.3	6.4	6.3	6.2	6.1	6.0	5.8	5.6	5.3	5.1	4.8	4.6	4.3	4.1	3.9	3.7	3.6	3.5	50								
40	5.9	5.8	5.9	5.8	5.7	5.6	5.4	5.2	4.9	4.6	4.3	4.0	3.7	3.4	3.2	3.0	3.1	3.2	3.1	40								
30	5.5	5.2	5.2	5.1	5.0	4.9	4.7	4.4	4.1	3.8	3.5	3.1	2.8	2.8	3.1	3.3	3.4	3.4	3.4	30								
20	5.0	4.5	4.3	4.3	4.2	4.0	3.8	3.5	3.2	2.9	2.5	2.1	2.5	2.9	3.2	3.4	3.5	3.6	3.5	20								
10	4.3	3.8	3.4	3.4	3.5	3.6	3.6	3.4	3.2	2.9	2.5	2.9	3.2	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.5	10								
0	3.5	3.3	3.0	3.3	3.5	3.6	3.5	3.4	3.1	2.8	3.4	3.8	4.2	4.4	4.5	4.4	4.2	3.9	3.5	0								
180.	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360										

Diagram with lines of equal fissure frequencies, Fig. 9.

GAMA I	DELTA I	M I
45.	180.	25.
20.	90.	33.
70.	290.	50.

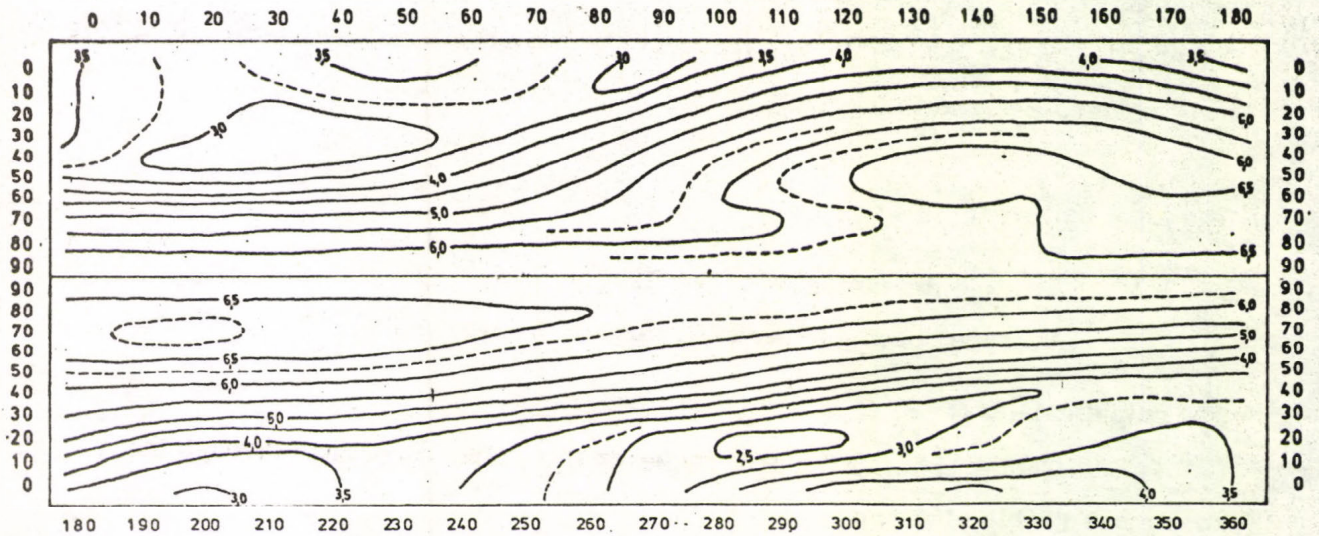


Fig. 9 - Lines of equal frequency of the system of fissures (in perpendicular coordinate system)

To illustrate some possible applications of data about the frequency of fissures, let us consider Fig. 10 which shows the frequency of fissures in a horizontal plane, and two vertical sections.

The figure was drawn using the data from Fig 7-c.

The methods proposed here for calculating the fissuration anisotropy of rock masses make use of data on the orientation and spacing of the fissures. Other properties of the fissures, such as their dimensions, shape, type of fill, etc., are not taken into account. These properties may however have a significant influence on the role of fissures in rock deformation or failure. Therefore, when analyzing the influence of fissures on the physical and mechanical properties of a rock mass, and in particular on the anisotropy of these parameters, one must give due attention to

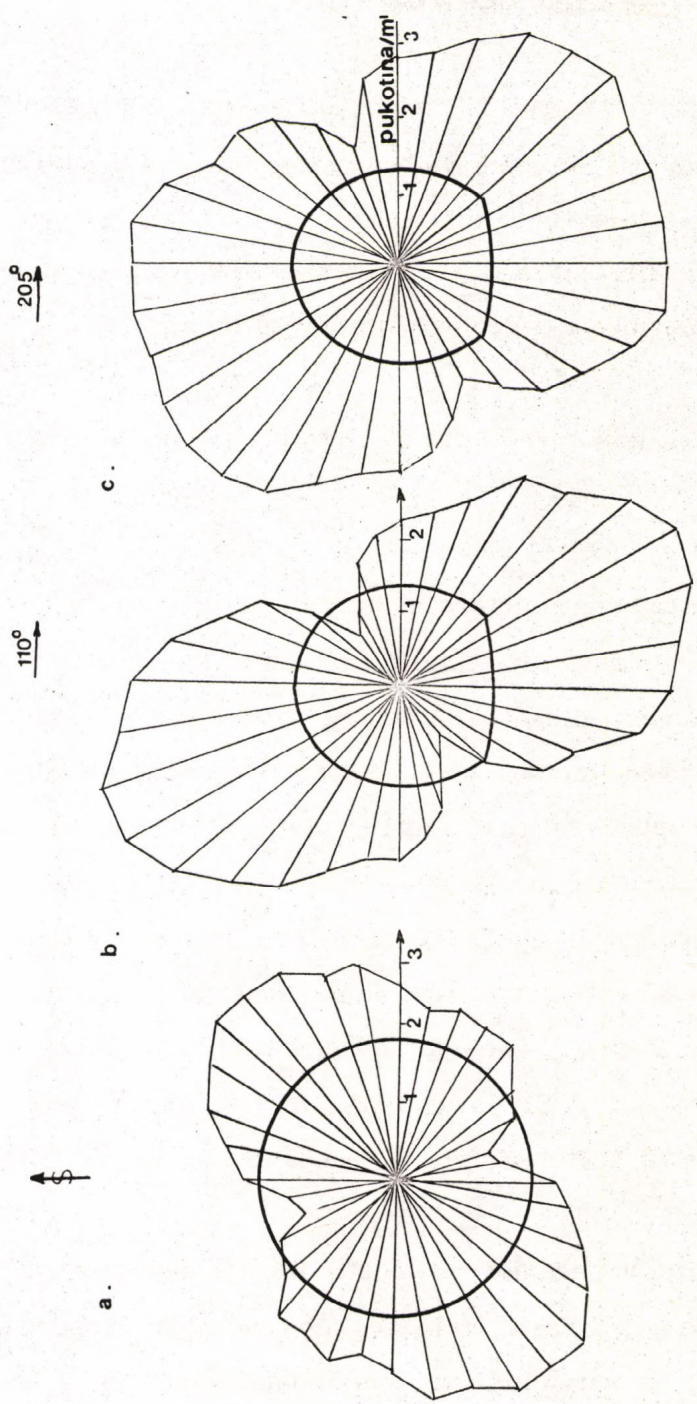


Fig. 10 - Frequency of fissures plotted in a horizontal section (a), in two different vertical sections (b) and (c); data as in Fig. 7-c).

all those properties of individual fissures and families of fissures which are relevant to the problem in hand. If they are characterized by numerical parameters it is possible to take them into account as well when calculating the fissuration anisotropy of the rock.

## 6. CORRELATION BETWEEN FISSURATION PARAMETERS AND OTHER PROPERTIES OF THE ROCK MASS

It was on account of the manifold effect that fissures have on the numerous properties of the rock mass that efforts have been made to correlate fissuration parameters with parameters expressing other properties of rock masses. It may even be stated that the correlation of these parameters has become in our time the basic task of the engineering geological study of fissuration.

All the attempts to carry out this correlation fall into the following three groups:

- (1) Correlation of fissuration parameters (mostly their densities and orientation) with other structural-textural properties of the rock mass (its lithological features, thickness of strata, size, type and orientation of folds, distance between tectonic zones, distance from the contact with intrusives, distance between tectonic zones, distance between contacts with intrusives, terrain configuration, etc). These investigations are mostly aimed at establishing regularity of the occurrence of fissures in rock masses, improvement of investigation methods, and especially a more adequate extrapolation of data on the inaccessible parts of the rock mass (M. V. Rac, 1963; I. V. Kirilova, 1959; A. S. Novikova, 1951; Currie et al., 1962; V. V. Kajakin et al., 1968; S. M. Černišev, 1966).
- (2) Correlation of fissuration parameters (mostly fissure densities) with the data obtained by measuring various physical and technical properties (specific resistance, velocity of elastic longitudinal waves, air permeability, rate of drilling, and the like). The purpose of these investigations is mostly concentrated on a more accurate interpretation of the measurement data, or a more efficient execution of engineering

works within the rock mass. In some cases the efforts are concentrated on a more accurate interpretation of fissuration parameters. (A. Sorokin, 1972; V. V. Reževski, 1973; C. Tourenq et al., 1971; B. Kujundžić, 1966; P. F. Kočetkov et al., 1974; C. D. Da Gama, 1971; D. U. Deere, 1969; G. N. Eremeev, 1966; et al., 1971)

- (3) Correlation between fissuration parameters (fissure density, fissuration module, mean fissuration, coefficient of fracture porosity, parameter of fissure wall configuration, width of openings, fill characteristics, etc) with parameters expressing strength, deformability and permeability of the rock mass (value ( $\rho$ ) of friction resistance along fissures, cohesion, impact strength, static and dynamic module of deformation, water permeability). These investigations are aimed at establishing the influence of fissures on the relevant properties of the rock mass for a more accurate prognostication of its behaviour and its interaction with the man-made structure with a view of improving its properties to the highest possible extent. (E. I. Tkačuk, 1966; A. M. Gurev, 1968; N. H. Vitkina, 1971; S. E. Mogilevskaja, 1971; J. Obradović, C. Louis, 1967, 1974; N. R. Barton, 1971; Rocha M. et al., 1977; J. S. Singhota, 1969),

It is evident that there have been numerous attempts at correlation. In some cases a definite relationship was established between different parameters, but, on the whole, dispersion of data is still great, the value of the correlation coefficient sometimes falling below 0.50. This can, definitely, be attributed to the complexity of the phenomena investigated, and especially to the fact that most fissuration parameters are not suitable as indices of the effect which fissuration has on other rock properties.

The above presented method for the estimate of rock mass fissuration on the basis of core fragmentation analysis and the method for the calculation of

fissuration anisotropy has in last two years been applied to the investigation of sites for high dams and underground structures. Experiments are in progress to correlate the data on core fragmentation with the data afforded by borehole logging, velocity of elastic longitudinal waves, and with permeability coefficients. Work is also being done on the correlation between fissuration anisotropy data obtained by the method proposed and fissuration anisotropy data established by geophysical methods (seismic and electrical exploration), and also with the data obtained by testing rock mass deformability by means of borehole jack, hydraulic jack and jacking test. To our present knowledge, this will be the first attempt of its kind.

In conclusion, I wish to express my belief that the data on fissuration anisotropy could be used with great advantage in experimental grouting and anchoring. Such preliminary experiments would make it possible to select the optimum direction and distance between grout holes and anchors, and thus bring about a definite reduction in the cost of engineering works.

## REFERENCES :

1. Barton N.R.: A relationship between joint roughness and joint shear strength, Symposium ISRM - Rock Fracture, Nancy, 1971.
2. Da Gama C.D.: Studying Rock Fractures by Wave Attenuation, Methods Symposium ISRM Rock Fracture, Nancy, 1971.
3. Deere D.U.: Geological Consideration, Rock Mechanics in Engineering Practice, pp 14-19, John Wiley, London, 1969.
4. Eremeev G.N.: Izučenie karaktera treščinovatosti skalnih porod gidravličeskim oprobovanjem v sočetanii s injekciei cementovo rastvora, Gidrotehničeskove stroiteljstvo, N° 12. Moskva, 1966.
5. Gurev A.M.: Inženerno-geologičeskaja model skalnovo masiva v osnivanii gidrotehničeskovo soruženiea, Trudi koordinacionih soveščanii po gidrotehnikе: Diskretnie sredi v gidrotehničeskom stroiteljstve
6. Hansagi I.: A Method of Determining the Degree of Fissuration of Rock, Int. Journal of Rock Meshanics and Minning Sci, Vol. 11, 1974.
7. International Society for Rock Meshanics - Commission on Standardisation of Laboratory and Field Tests - Suggested Methods for the Quantitative Description of Rock Masses and Discontinuities, 1977.

8. Kočetkov P. F., Sazonov V. A.: Izučenie treščinovatosti skalnih porod po danim elektrokarotaža, Trudi gidroporoetka, Vipusk, 36, Moskva, 1974.
9. Lokin P.: Discontinuity anisotropy of rock masses, III International Congres of The International Society for Rock Meehanics, Denver, 1974.
10. Lokin P., Laban M.: A New Method of Estimating Rock Mass Fissuring from Standard Borehole Cores, III International Congres International Association of Engineering Geology, Madrid, 1978.
11. Louis C.: Reconnaissance des massifs rocheux par sondages et classification geotechniques, Annales de L' institut technique du batiment et des travaux publics, N<sup>o</sup> 319, Paris, 1974.
12. Lykoshin A. G., Yaschenko S. G., Mikhailov A. D., Savitch A. I., Koptev V. J.: Investigation of Rock Jointing by Seismo-acoustic Methods, Symposium ISRM-Rock Fracture, Nancy, 1971.
13. Matula M., Holzer R.: Navrh metodiky inžinierskogeologickej typizacie horninovyh masivov, Acta geologica et geographica, Universitatis Comenianae, Bratislava, 1976.
14. Mogilevskaja E. E.: Proučavanje zakonitosti otpornosti na smicanje stenskih masa po pukotinama s uzimanjem u obzir morfologije njihovih površina, Materijali i konstrukcije br. 5, Beograd, 1971.
15. Neištadt L. I., Pirogov I. A.: Metodi inženerno-geologičeskogo izučenija treščinovatosti gornih porod, Energia, Moskva, 1969.



16. Pirogov I.A., Jarcev N.A.: Kuskovatost kerna kak pokazatel stepeni treščinovatosti gornih porod m masive, Trudi Gidroproekta, Leningradski vipusk 27/14, Leningrad, 1972.
17. Rac M.V.: Strukturnie modeli v inženernoj geologii, "Nedra", Moskva, 1973.
18. Rževskih V.V., Jamščik V.S.: Akustičeskie metodi isledovanja i kontrola gornih porod v masive, Moskva, 1973.
19. Sorokin A.A.: Metod vazdušnovo opredelnija treščinovatosti (metod VOT), Trudi gidroproekta - Leningradski vipusk, N<sup>o</sup> 27/24) "Energija", Leningrad, 1972.
20. Tourenq., Fourmaintraux D., Denis A.: Propagation des ondes et discontinuités des roches, Symposium ISRM-Rock Fracture, Nancy, 1971.
21. VNIIG (Leningrad) i Institut "Jaroslav Černi" (Beograd): Pročnost i deformiruemost skalnih osnovanii i ustoičivost visokih betonih plotin, vozvodimih v gornih usloviah - tehničeski otčeg, Leningrad, 1972.



# KŐZETTÖMB REPEDEZETTSÉG VIZSGÁLATA MÉRNÖKGEOLÓGIAI CÉLOKRA

PETAR LOKIN

Fordította: FRÖHLICH GYULA

## I. Bevezetés

A kőzettömb repedezettség tanulmányozása a mérnökgeológiai vizsgálatok fontos feladatát képezi. Ez csak természetes abból a szempontból, illetve azon tényből kiindulva, hogy a repedések alapvető tényezőként szerepelnek a mesterséges szerkezetre kölcsönhatást gyakorló kőzettömb viselkedésének előremeghatározásánál. A fent elhelyezkedő rétegek által kifejtett nyomás következtében a kőzettömbben majdnem minden törés vagy alakváltozás a repedések mentén keletkezik, amelyek a nyílást lezárják vagy a repedés kitöltését deformálják.

Számos esetben a repedezettség vizsgálata a térszín mérnökgeológiai tanulmányozásának messzemenően legfontosabb részét képezi. Így pl. nagy földalatti bányatérségek telepítésének vizsgálatánál, ahol az építkezés gazdaságossága nem teszi lehetővé a kőzettömb helyrehozatalára szolgáló nagy be-  
ruházásokat vagy a bányatérség kihajtása utáni oldal biztosításokat; az utak vagy vasutak építkezésénél a lejtők stabilitásának vizsgálatánál vagy pedig kőfejtőknél és külszíni fejtéseknél a lejtők stabilitásának vizsgálatánál; a helyrehozó (javító eljárások) biztosítás, a repedések cementálással történő lezárása, stb.) kiválasztásakor.

Azonban, a kőzettömb repedezettség sajátosságait még igen gyakran megközelítő értelemben tárgyalják vagy olyan paramétereket alkalmaznak, ame-

lyek értéke nem egyedülálló és ezért a tényleges állapotot nem jellemzik. Az objektív mennyiségi repedezettségi paraméterek összeállítása és a paraméterek meghatározására szolgáló megfelelő módszertan részletes kidolgozása nagy mértékben hozzájárulhat a mérnökgeológia további fejlesztéséhez. Ez határozottan pozitív hatást gyakorolhat a tervezés (szerkesztés) gazdaságosságára, a biztonságos munkára és a felépült szerkezet még kielégítőbb szolgáltatását biztosíthatja.

A kőzet repedezettség vizsgálat az alábbi legfontosabb feladatokkal rendelkezik:

- a) A kőzettömb repedezettség mennyiségi paramétereinek meghatározása és a paramétereket meghatározó módszer;
- b) A térszin zónákra osztási módszere, vagyis azoknak a zónáknak megismerése, amelyek a repedezettség paramétereit illetően nagyjából homogének;
- c) Azok a módszerek, amelyek segítségével az anizotrópia foka az adott, megközelítően homogén zónákon belül meghatározható a repedezettség paramétereinek szempontjából;
- d) A repedezettség paramétereinek és az adott kőzettömb más tulajdonságai – úgymint nyírószilárdság, alakváltozási képesség, permeabilitás – paramétereinek közötti korreláció a kőzettömb viselkedés megbízhatóbb prognosztizálása céljából.

A kőzettömb repedezettség vizsgálat ezen módszertani problémái határozottan a legfontosabb problémákat jelentik, amelyekkel a mérnökgeológia fejlődésének jelenlegi szintjén szembenéz. Megoldásuk elősegítheti a mérnökgeológiai vizsgálatok elméletének és módszertanának további előrehaladását és széles mértékben alkalmazható a kőzetmechanika, geostatikus számítások fejlesztésénél, valamint a geotechnikai meliorációk tervezésénél.

A jelenlegi munka rövid leírást ad a fent felsorolt feladatokról és részletesen mutatja be a kutató furólyukakból vett magdarabok repedési (zuzódási) elemzésein alapuló kőzet repedezettség fokának mennyiségi becslést végző módszerét. A kőzettömb repedezettség anizotrópiáját kiszámító módszerek prominenciával rendelkeznek.

## 2. Kőzettömb repedezettség vizsgálatára szolgáló módszerek áttekintése.

A kőzettömb repedezettség vizsgálatnál alkalmazott módszereket az 1. táblázat szematikusan szemlélteti. Valamennyi módszer két főcsoportra tagozódik:

- 1) A külszínre kibujt kőzettömbök repedezettség elemzéseire szolgáló módszerek, vagyis a telérkibuvásokon vagy mesterséges kibuvásokon végbemenő jelenség vizsgálatára szolgáló módszer; és
- 2) Felszín alatti kőzettömbök repedezettségét vizsgáló elemzései.

## 3. Kőzettömb repedezettség alapvető paraméterei.

Egy adott kőzettömbön belüli repedés teljesen megállapítható a következő ismertetőjelek meghatározása után:

- a) Elhelyezkedése a térben (magasság és koordináták);
- b) Eredetének módja;
- c) Beirányítás, betájolás (dőlés, csapásirány);
- d) Repedés alakja és a falfelület konfigurációja;
- e) Külső méretek;
- f) Tömedék fajtája és tulajdonságai.

A repedések családjának fősajátosságát (a család kifejezés az azonos vagy legalább hasonló tulajdonságu repedések egy csoportját jelenti) az adott családon belüli repedések sűrűsége képezi. A család többi jellemvonásai a csa-

ládót képező különböző repedések legnagyobb és átlagos vagy közepes értékeit képezik; egy másik tulajdonság pedig – ezen értékek változtathatóságának sorrendje. A repedések betájolására vonatkozó adatok változtathatóságának sorrendje különösen fontos. Így, pl. ha a kőzettömb egy adott család, vagyis repedéscsalád mentén várhatóan leválik, a család dőlés elemeinek átlagos értékeit figyelembe kell venni. Mivel, azonban a nyírás is a repedések mentén lehetséges, amelynek dőlés elemei számított közepes értékekkel rendelkeznek, ezért érdekes kiszámítani az esetleges nyírás valószínűségének nagyságrendjét és az ilyen esetben alkalmazásra kerülő idevágó biztonsági tényezőt.

A repedési rendszer paraméterei (az itteni rendszer egy adott kőzetestben lévő összes repedésre vonatkozik) a következők:

- 1) A kőzetestben jelenlévő adott tulajdonságu repedés család száma;
- 2) Bizonyos nem áthatoló repedések előfordulása, amelyek az adott kőzetesten belüli családok egyikéhez sem tartoznak;
- 3) A különböző repedés családok közötti térbeli elhelyezkedés;
- 4) A rendszerben lévő repedések összes száma (gyakorisága).

A repedés családhoz hasonlóan, egy rendszer teljesen csak akkor definiálható – a fent felsorolt rendszer paraméterein kívül –, ha egy adott rendszert képező repedés család (és az egyes repedések) meghatározott,

Egy adott rendszert képező repedések gyakorisága különböző paraméterekkel kifejezhetők, amelyek attól függően, hogy vajon a kőzettömbben egy adott irányra, vagy a kőzettömb volumenének felületére vonatkoznak-e, lehetnek

lineárisak ("repedezettség modul" – A. I. Silin-Bekchurin, 1939;

N. I. Kriger, 1953; "repedezettség index" – J. Stini, 1950;

planarisak (egy síkban fekvők) ("átlagos repedezettség sűrűség" -  
- E. N. Permjakov, 1949; "hasadási porozitás koefficiense" -  
L. I. Nejsthaadt, 1957);

volumetrikusak ("repedések volumetrikus sűrűsége" - V. K. Gromov, 1963;  
S. E. Batugin és P. V. Egorov, 1964; "hasadási porozitás  
koefficiense" - L. I. Nejsthaadt, 1957; "általános hasadási poro-  
zítás" - M. V. Rac, 1962; "hasadási porozitás fajlagos térfoga-  
ta" - S. E. Batugin és P. V. Egorov, 1964).

Tekintettel arra a tényre, hogy a lineáris és planáris paraméterek értékei  
elsősorban a vonal és a sík - amely mentén mérésre kerülnek - beirányítá-  
sától függnék, a volumetrikus paraméterek mérnökgeológiai szempontból sok-  
kal értékesebbek.

A kőzettömb, mint szétdarabolt közeg a  
repedezettségi fokkal, és a  
repedezettségi móddal jellemezhető.

A kőzettömb repedezettségi foka a repedés sűrűséggel és a szomszédos repe-  
désekkel határolt monolit mérettel kifejezhető ("átlagos repedezettség" -  
- A. M. Gurev, 1964; "monolit átlagos térfogata" - M. V. Rac és S. N. Cernisev,  
1970).

A repedezettségi mód a különböző családok viszonylagos helyzetével és repe-  
dés sűrűségével, vagy a szomszédos repedésekkel határolt monolit forma meg-  
határozásával fejezhető ki.

A fentemlített repedezettség paraméterek legtöbbje szerepel a repedezettségi  
elemek idevágó osztályozásánál vagy a repedezett kőzettömbök osztályozásánál.

#### 4. Kőzettömb repedezettség heterogenitása

A kőzettömb repedezettség heterogenitása a kőzettömb elsődleges összetételének és szerkezetének, azaz a mechanikai tulajdonságokban lévő eredeti különbségeknek és a kőzettömbben a repedések kialakulását előidéző folyamatok számának (vetődés, gyűrődés, kontakt-metamorf-változások, elmállás, technogenikus tényezők) is tulajdonítható.

A repedezettségi paraméterek kiválasztása, a megvizsgálásra kerülő kőzettömb adott testének heterogenitására vonatkozóan, függ elsősorban a vizsgálat céljától és a rendelkezésre álló adatok fajtájától.

A felszínre kibujt kőzettömbök repedezettségi paraméterei szerint történő zónákra osztás nem okoz nagy nehézséget, ha a repedezettségre vonatkozó adatok mind rendelkezésre állnak.

A zóna beosztás is elvégezhető vagy a statisztikai adatok vagy pedig a sajátos, különleges repedésekre vonatkozó adatok megfelelő méretarányú térképre történő felhordásával. Ha több paramétert vesznek figyelembe, akkor osztályozásuk és kódolásuk kívánatos, így a zóna beosztás műszakilag egyszerűsíthető. A kódolásra vonatkozó személtető példát M. Matual és R. Holzer 1976-ban javasolt.

A felszín alatti kőzettömb közvetett repedezettség vizsgálattal történő zóna beosztása is könnyen megvalósítható. Az eredmények megbízhatósága az adatok sűrűségétől függ, valamint attól, hogy lehet-e összeegyeztetni (korrelálni) a repedezettségi paramétereket az adott kőzettömb test mért tulajdonságainak paramétereivel. A személyes tapasztalat szerint, a legmegbízhatóbb eredményeket a geofizikus kutatás szeizmikus-akusztikus és elektromos módszerei nyújtják.



A kutató furólyukak fala mentén vagy a tájolt magokon végzett repedezettség vizsgálat tömegméretben ritkán alkalmazható, ezért a repedezettség paramétereire való tekintettel a kőzettömb térfogatánál nagyobb zóna beosztásra nem használható.

### A kőzettömb zóna beosztása a zavart magtöredezés (szétrepedés) elemzése alapján

Tekintet nélkül a zavart magok vizsgálata útján elérhető repedezettségi adatok relatív értékére, ez a módszer rendkívül nagyjelentőségű a kutató furás tömegalkalmazása szempontjából és lehetőséget biztosít a nagyobb mélységű kőzettömbök repedezettségének becslésére, illetve meghatározására.

A magtöredezés elemzéseinek alapuló kőzet repedezettségi fokozat mennyiségi értékelésére különböző módszereket és paramétereket alkalmaznak. Néhány idetartozó paraméter:

- a) Kőzetminőség meghatározás - ROD, D, Deere, 1963;
- b) A mag különleges töredezése (Pirgov, I.A. és N.A. Yartsev, 1972);
- c) Kiruna tényező - C (Hansági, I., 1974).

A kőzettömb repedezettség heterogenitásának meghatározására, a szerző saját módszerét használta a magtöredezés elemzéseinek alkalmazása mellett. A módszer Lakinban P.M.Laban 1977, 1978 teljesen közzétették.

A magtöredezési vizsgálatnál, két szomszédos repedéssel szétválasztott minden egyes magdarab hosszát megméri. A furástól vagy a mag kivételétől, vagyis kinyeréstől származó magtörést nem veszik figyelembe, azaz az így szét tört darabokat tömör magdarabként kell kezelni. Ha egy adott esetben a mikrotörések és más mechanikai törések gyakoriságát akarjuk kimutatni, vagyis

ha feltételezzük, hogy a rövidebb magdarabokkal rendelkező zónák a térszínben lévő kőzettömbök erősebben repedezett zónáinak felelnek meg, akkor a mag töredezési foka szerinti zóna beosztás mellett, mi is felosztottuk a kőzettömböt repedezettségi foka szerinti zónákra. A magdarabok átlagos hosszúságát (amely a repedések közötti átlagos távolságnak felel meg) a kőzet repedezettség indikátoraként alkalmaztuk egy megközelítően homogén zónán belül.

A magzónák azonosítása olyan elv szerint történik, hogy egy megközelítően homogén zónán belül nincs két darab mag, amely hosszúságban  $\lambda$  értéknél valamivel jobban különbözik. Másrészt, két szomszédos zónának legalább két magdarabot kell tartalmazni, amelyek hosszúság különbsége feltétlenül haladja meg a  $\lambda$  értéket. Így  $\lambda$  értéket, mint indexet az adott zónahatárokon belül a mag töredék homogenitásának meghatározására használják. A  $\lambda$  érték az alkalomnak megfelelően kerül kiválasztásra.

A módszer részletesebb leírása és matematikai bizonyítása P. Lokin és M. Laban (1978) munkáiban megtalálható.

A magtörés számszerűen ábrázolható – a megközelítően homogén zónák és az adott zónákon belüli átlagos maghosszuságok közötti határokon lévő adatokat táblázatba foglalják. Vagy grafikonokon ábrázolható, ahol a furólyuk intervallumok vagy a megközelítően homogén zónák mélységei az abszcissza tengelyre kerülnek, míg a megfelelő zónákban lévő átlagos maghosszuságok pedig az ordináta tengelyre kerülnek. Ha mindenegyik magdarab hosszúság értéke és a furólyuk intervallumok megfelelő mélysége beírásra kerül, a magtörési grafikon  $\lambda = 0$  értéket fog eredményezni. Az ilyen grafikon a magtöredezés legreálisabb képét adja, amelynek objektivitása a vizsgált mag fényképének tárgyi jellegével összehasonlítható (1. ábra). A túlzott részletezés azonban az ilyen diagramot kevésbé teszi gyakorlatiassá a térfelszín mérnökgeológiai szelvényeinek szerkesztése számára. Ebben az esetben a többé vagy kevésbé egyforma repedezettségi zónákat körül kell határolni.

A magtöredezési grafikonok  $\lambda$  0-val történő szerkesztésénél bizonyos integráció érhető el, amelynek foka a  $\lambda$  tényleges értékétől függ. Minél magasabb a  $\lambda$  érték, annél kisebb a megközelítően homogén repedettség zónák száma. Másrészt, a grafikon pontossága is kisebb lesz, mivel az átlagos érték azokra az érték csoportokra vonatkozik, amelyek között nagyobb különbségek vannak (2. ábra).

Az említett értékre való tekintettel a  $\lambda$  a szóban forgó esetnek megfelelően választják ki. Ebben az esetben figyelembe kerül a kőzettömb repedettségi foka és a vizsgált probléma különleges jellege is.

A módszer eredményesebbé tétele céljából, a számítási folyamatot számítógéppel programozták.

A bemenő adatokat a magdarab hosszúságok és a furási intervallumok képezik.

A számítógép kimenete a magdarab hosszúságok mért értékeit tartalmazó táblázatok és grafikonok formájával rendelkezik. Mindenegyik magdarab hosszúságát a  $\frac{Z}{Z_k}$  viszonyal szorozzák meg, ahol

$Z$  - a furási intervallum hosszúsága;

$Z_k$  - az intervallumban lévő összes magdarab (magrészecke) hosszúságainak összege.

A magdarabok hosszúságát ilyen módszerrel kell megmérni, hogy a mag repedettség, vagyis töredezés diagramja egyezzen meg a tényleges furólyuk hosszal. Ezen korrekció nélkül a megtöredezési diagram hosszúság értéke a tényleges furólyuk-hossznál kisebb lehet, a különbség a mag veszteségből adódik. Ily módon a magdarab hosszúságokra vonatkozó adatokat szán-

dékosan megváltoztatják. Mivel a hiányzó maghosszuság egyenletesen oszlik meg a levált magdarabok/szilánkok között, a hiba ugyszólván jelentéktelen, ha a maghosszuság veszteség meglehetősen kicsi. Ebből következik, hogy az ilyen módszer alkalmazása rendkívül magas magvesztés esetén nem tanácsos.

A számítógépes eljárás is szolgáltat grafikai és számszerű adatokat a furási intervallumokban lévő mag százalékaára vonatkozóan.

A zónák közti - amelyeken belül a magtöredezés meglehetősen egyforma - határokra, valamint a zónákban lévő magdarabok átlagos hosszúságaira vonatkozó adatok is a táblázatok és grafikonok formáival rendelkeznek (2. és 3. táblázat).

Mivel ezen grafikonok nagysága kivánság szerint választható, olyan más grafikonokon szerkeszthetők meg, amelyek a kutató furólyukakkal harántolt sztratigráfiai szelvényt ábrázolják. Ilymódon a számítógép kimeneti adatai a kutatás többi módszereinek eredményeivel összhangba hozhatók (korrelálhatók).

A kimeneti adatok a relativ hibagrafikont, mint  $\int$  függvényt tartalmazzák, amely az adott célra a legmegfelelőbb értéket segít kiválasztani.

#### A térszinen keresztül menő geológiai szelvényre vonatkozó mag töredezési adatok extrapolálása

A különböző furólyukakból származó magok töredezési elemzése alapján kapott adatok a vizsgált térszin geológiai szelvényére felhordhatók. Felhasználhatók a megközelítően egyforma kőzetrepedezettségű zónák meghatározásánál, valamint a repedettség paramétert tartalmazó mérnökgeológiai szelvények szerkesztésénél.

Magától értődik, hogy az ilyen típusu szelvény szerkesztésénél a kőzettömb repedezettségre vonatkozó valamennyi rendelkezésre álló anyagot, illetve adatot hasznosítani kell, különösen a kőzet kibuvások térképezésénél kapott adatokat. Azonkívül, az egész repedezettség vizsgálatot, beleértve a repedezettség mértéke szerinti zóna beosztást a kőzettömbök litológiai, genetikai és szerkezeti jellegzetességeinek mélyreható ismeretére kell alapozni.

A magtöredezési elemzésekkel kapott adatokat ott kell alkalmazni, ahol a kőzettömb részeinek minőségi zónabeosztása közvetlenül nem észlelhető. Az említett adatok alapján végzett zónabeosztás megbízhatósága a furólyuk hálózat sűrűségétől, a magvételi munkák eredményességétől függ, valamint attól, hogy a mag töredezési elemzések eredményei korrelálhatók-e a másfajta vizsgálati módszerrel kapott adatokkal.

A 3. ábra magtöredezési grafikonokkal ellátott szelvényt ábrázol, amelynél a zónabeosztást  $\lambda = 30$  érték mellett végezték. A legtöbb adat az andezit masszivumra vonatkozik (B-vel jelzett). A más kutatási módszerekkel összegyűjtött adatokat nem hordták fel, mivel a jelenlegi tanulmány elsődleges célja a magtöredezési elemzések hasznosságának és alkalmazhatóságának bizonyítása. Azonban, a furólyukak száma (7) aránylag kevés volt és nem tette lehetővé a repedezettségi paraméter figyelembevételével a kőzettömb pontos és határozott zónabeosztását.

Még ebből a megközelítő elemzésből is látható volt, hogy a repedezettség intenzívebb az elmállás zónában, a tektonikai kontaktusok közelében és a vetődés főbb zónáiban. Továbbá azt is észlelhatték, hogy a völgy jobb oldalán a repedezettség alacsonyabb fokozatu, vagyis a kőzettömb jobb alapzatot képez és az alapzatot körülvevő andezit és kőzetek a repedezettségi fokban különböznek.

Az andezit masszivum hozzávetőleges zónabeosztása a 4. ábrán látható.

## 5. Kőzettömb repedezettségi anizotrópiája

A kőzettömb repedezettség anizotrópiája azon fontos tényezők egyike, amely a mechanikai szilárdság, alakváltozási képesség és permeabilitás tekintetében az adott kőzettömb test anizotrópiájára hatást gyakorol.

Az ilyen fajta anizotrópia vizsgálatánál, a "repedés gyakoriságot" (amely a "repedés modul" kifejezéssel azonos - A.I. Silin Bekcurin, 1939), vagyis a repedések számát) egy adott irányban mért egységnyi hosszúságot, mint paramétert fogjuk alkalmazni (P. Lokin, 1973). Az anizotrópia "repedezettség anizotrópia foka" paraméterként kerül kifejezésre:

$$1 : \frac{G_y}{G_x} : \frac{G_z}{G_x} : \frac{G_n}{G_x}$$

ahol

$G_x, G_y, G_z, \dots, G_n$  - repedés gyakoriságok az  $x, y, z, \dots, n$  irányok mentén.

A felszín alatti kőzettömbök repedezettség anizotrópiája a mag töredékek adatai, vagy a geofizikai kutatás alapján elemezhető - feltéve ha a furást vagy a kutatást különbözőképpen tájolt irányokban végezték.

A kőzettömb kibuvások térképezésekor kapott adatok alapján végzett repedezettség anizotrópia kiszámításához (kibuvások vagy mesterségesen feltárt felszínnek), a szerző két módszert - egy grafikai és egy analitikai - fejlesztett ki.

### Grafikai megoldás:

A repedések adott rendszerének anizotrópiájára vonatkozó grafikai megoldás eléréséhez, a repedések családját vegyük először figyelembe. Fel kell tételeznünk, hogy a család tagjai a közös merőlegesek irányában egyenlő távolságra lévő párhuzamos repedések. Gyakorlati alkalmazásoknál a családra vonatkozóan a mérések statisztikai feldolgozása folytán kapott átlagos dőlési elemek és térköz, vagyis távolság felhasználható.

A két szomszédos repedés és egy tetszőleges egyenes vonal metszése közötti intervallum ( $m'$ ) attól a szögtől függ, amelyet ez a vonal a repedésekkel merőleges vonallal képez:

$$m' = \frac{m}{\cos \psi}$$

ahol

- $m$  - egymást követő repedések közötti távolság a merőleges irányában;
- $\psi$  - az  $\vec{N}$  és az irány közötti szög, amely alapján a repedések gyakoriságát kiszámítják.

Ebből következik, hogy egy adott  $m$  értékre a szögek kiszámíthatók. A szögek irányai a repedések meghatározott gyakoriságai mellett  $\vec{N}$ -t képeznek. Egyenlő felületű vetülegnél, az  $\vec{N}$ -el ugyanazt a  $\psi$  szöget képező egyenes vonal pólusok a kisebb körön helyezkednek el, amelynek középpontja a merőleges pólusa és amelynek rádiusza egyedülálló módon az  $\psi$ -nak felel meg (5. sz. ábra).

Az  $\gamma$  különböző értékei a koncentrikus körök csoportját eredményezik. Az  $\gamma = 90^\circ$  esetében az egyenes vonalak pólusai a repedés és a szféra metszését ábrázoló körön helyezkednek el. Tehát az  $\vec{N}$ -nel  $\gamma$  szöget képező egyenes vonalak pólusainak helye egy olyan kört képez, amely az adott család, repedés család azonos gyakoriságu irányainak felel meg, vagyis a merőleges közelében lévő koncentrikus körök ennek a repedés családnak egyenlő gyakoriságu vonalait képezik.

A 6. ábra a repedés család egyenlő gyakoriságu vonalait mutatja be 70/45 dőlési elemek és a repedések között  $m = 30$  cm távolság mellett (6-a ábra).

Ebből következik, hogy az egyenlő felületű projekció, vagyis vetület az egy repedés családdal kapcsolatos anizotrópia meglehetősen pontos grafikai ábrázolását biztosítja. Figyelmes vizsgálat mellett ugyanaz az eljárás alkalmazható az egy rendszert képező összes többi családnál.

A 6-b és 6-c ábrák a repedések egyforma gyakoriságu vonalait mutatják be a 180/68 dőlés elemekkel és  $m = 80$  cm-rel rendelkező családra vonatkozóan (II) és a 255/18 dőlés elemekkel és  $m = 120$  cm-rel rendelkező család esetében (III).

A három családot képező rendszer repedéseinek össz-gyakorisága meghatározható, ha a mindhárom családra vonatkozó egyforma gyakoriságu vonalak által eredményezett értékeket összeadjuk. Ez a legkönnyebben úgy érhető el, ha valamennyi család egyforma gyakoriságu vonalait ugyanarra a diagramra visszük fel (7-a. ábra). A vonalak által eredményezett értékek összeadása után (7-b. ábra), a repedések egyforma abszolút gyakoriságának pontjait interpolálással határozzák meg, majd az egyforma abszolút gyakoriság vonalainak szerkesztése összekapcsolással történik (7-c ábra).



Az eredő grafikai ábrázolás bármely kivánt irányban a repedések gyakoriságának meghatározása céljából alkalmazható. Ebből eredően a 8-c. ábrán mutatott grafikon a kőzettömb három-dimenziós repedési anizotrópiájának teljes ábrázolását biztosítja.

Az ilyen grafikai művelet alkalmazásának legnagyobb nehézsége abban rejlik, hogy az egyforma gyakoriság összes vonalát minden egyes repedés családra meg kell szerkeszteni, különösen akkor, ha meglehetősen nagy a családok száma. Az alkalmazás megkönnyítése céljából térképhálózat sort szerkesztettek a különböző dőlésszögű repedés családokra merőleges pólusok segítségével. Az ilyen térképhálókkal az egyforma gyakoriságú vonalak bármely dőlés elemmel és a repedések között bármely távolsággal rendelkező családokra vonatkozóan gyorsan megszerkeszthetők.

#### Analitikai megoldás

Az analitikai megoldás is egy repedés család figyelembe vételére törekszik, ugyanolyan feltételezések mellett, mint a grafikai megoldásnál.

A 8. ábrán lévő ABC sík a család tipikus tagját, vagyis a család tőkés elemeivel rendelkező repedést ábrázolja háromdimenziós derékszögű koordináta rendszerben. A sík távolsága a kezdőponttól (vagyis a merőleges OM menti távolság) a család tagok közötti távolsággal egyenlő.

Jelmagyarázat:

$\vec{N}$  - a diszkontinuitás síkjára merőleges vektor, amelynek nagysága a törés, vagyis repedés család-közötti távolsággal arányos (m);

$\vec{N}_x, \vec{N}_y, \vec{N}_z$  - a tengelyekkel párhuzamos  $\vec{N}$  vektor komponensei;

- $\alpha \beta \gamma$  - szögek, amelyeket az  $\vec{N}$  a tengelyekkel képez;  
 $a, b, c$  - a repedés síkjának ordinátatengelymetszete  
 $\delta$  - az  $x$  tengelyek és az  $xy$  síkon lévő  $\vec{N}$  vetület közötti szög;  
 $\rho$  - az  $\vec{N}$  és az  $xy$  sík közötti szög

Ha a koordináta rendszert úgy választjuk meg, hogy az  $x$  és  $y$  az N-S és E-W geográfiai koordináta tengelyekkel és a  $z$  pedig a függőleges vonallal esik egybe, akkor a fenti jelölés valamelyike is a következő jelentéssel rendelkezik:

- $\delta$  - a törés síkjának dőlés azimutja;  
 $\gamma$  - a repedés síkjának dőlésszöge;  
 $\rho$  - repedés síkjával merőleges dőlésszög ( $\rho + \delta = 90^\circ$ )

Az  $m, \gamma, \delta$  (mint a terepméréseknél kapott átlagok) ismeretében, az  $a, b, c$  ordináta tengelymetszetek (metszékek), vagyis a repedés családok közötti tengelyek menti távolságok a trigonometria közvetlen alkalmazásával megkaphatók:

$$(a) = \frac{m}{\sin \gamma \cos \delta}$$

$$(b) = \frac{m}{\sin \gamma \sin \delta}$$

$$(c) = \frac{m}{\cos \gamma}$$

Az  $L$  hosszúságban a tengelyeket metsző adott repedés családok száma ( $1^n$ ) a következőképpen alakul:

$$1^n_x = \frac{L}{a}$$

$$1^n_y = \frac{L}{b}$$

$$1^n_z = \frac{L}{c}$$

Az adott repedés családok gyakoriságát, valamennyi tengelyen, vagyis az egy méter hosszúság feletti tengelyt metsző repedés családok számát az alábbi adja:

$$1^G_x = \frac{1^n_x}{L} = \frac{\sin \gamma \cdot \cos \delta}{m}$$

$$1^G_y = \frac{1^n_y}{L} = \frac{\sin \delta \cdot \sin \delta}{m}$$

$$1^G_z = \frac{1^n_z}{L} = \frac{\cos \delta}{m}$$

A rendszert alkotó összes többi repedés család ( $2^G, 3^G, \dots, n^G$ ) gyakoriságát hasonló módon határozzuk meg. A családok gyakoriságainak összege a repedések rendszerének gyakoriságát adja ( $G$ ) meghatározott tengelyekre vonatkozóan:

$$G_x = \sum_{i=1}^{i=n} i G_x = 1 G_x + 2 G_x + \dots + n G_x$$

$$G_y = \sum_{i=1}^{i=n} i G_y = 1 G_y + 2 G_y + \dots + n G_y$$

$$G_z = \sum_{i=1}^{i=n} i G_z = 1 G_z + 2 G_z + \dots + n G_z$$

A repedezettség anizotrópiája a geográfiai koordináta rendszer tengelyeinél a következőképpen alakul:

$$1 : \frac{F_y}{G_x} : \frac{G_z}{G_x}$$

A geográfiai koordináta rendszer három tengelyére vonatkozóan az anizotrópiai meghatározásával kezdjük, mivel a terepmérések olyan adatokat eredményeznek, amelyek az ilyen koordináta rendszer diszkontinuitásainak tájolására vonatkoznak.

Ahhoz, hogy a repedezettség anizotrópiáról és a gyakorlati problémák megoldására vonatkozóan átfogóbb képet kapjunk, a repedések gyakoriságát más irányokra is kiszámíthatjuk. A mérnökgeológiai és geotechnika gyakorlati feladatai gyakran olyan irányokban vagy síkokban követelik meg a repedések gyakoriságának meghatározását, amelyeket a terepi vizsgálat kialakításával vagy mesterséges szerkezet konfigurációjával vagy ennek bizonyos részével rögzítenek. A repedések gyakorisága bármely más irányban meghatározható: vagy egy új koordináta rendszer felépítésével vagy pedig az új irány és az  $\vec{N}$  közötti szög meghatározásával.

Egy család repedéseinek gyakorisága az új irányban ( $\vec{N}$ ) a következőképpen alakul:

$$1 G_n = \frac{\cos(\gamma - \gamma_n) \cdot \cos(\delta - \delta_n) + (1 - \cos(\delta - \delta_n)) \cdot \cos \gamma \cdot \cos \gamma_n}{1}$$

ahol:

$\gamma_n$  - a z tengely és az új irány (N) közötti szög

$\delta_n$  - az x tengely és az új irány (N) közötti szög

A rendszert képező összes család repedéseinek gyakorisága az ( $\vec{n}$ ) irányban a következő lesz:

$$G_n = \sum_{i=1}^n \dots$$

Ha a repedés gyakoriságot a kőzettömb által, amely szintén több repedés családot tartalmazhat, tájolt, vagyis különbözően tájolt nagyobb számú irányokban számítjuk ki - rengeteg munkából álló feladattal kell szembenéznünk. A statisztikai feldolgozásnál, vagyis az adott repedés családokra vonatkozó dőlés elemek átlagos értékeinek kiszámításánál is alapos, kiterjedt munkát kell végezni. Ezért a repedés gyakoriságra vonatkozó adatok feldolgozása céljából számítógépes programot dolgoztak ki a belgrádi egyetem bányászati és geológiai tanszékén.

#### Bemenő adatok:

a repedés átlagos dőlés elemei; és  
az adott családban a repedések közötti átlagos térköz, vagyis távolság.

#### Kimenő adatok:

a kőzettömbön keresztül különböző irányokban repedés gyakoriságot mutató táblázatok (4. táblázat); és  
az egyforma repedés gyakoriságok vonalait ábrázoló diagram, (9. ábra).

A repedések gyakoriságáról szóló adatok néhány lehető alkalmazásának szemléltetése céljából, vegyük figyelembe a 10. ábrát, amely a repedések gyakoriságát vízszintes síkban mutatja, valamint vegyük figyelembe a két függőleges szelvényt.

Az ábrát a 7-c. ábrából vett adatok felhasználásával szerkesztettük meg.

A kőzettömbök repedezettség anizotrópiájának számításához javasolt itteni módszerek hasznosítják mindazokat az adatokat, amelyek a repedések tájolására és távolságára vonatkoznak. A repedések többi tulajdonságai, ugymint

külső méretük, alakjuk, kitöltésük stb. nem kerülnek figyelembe. Ezek a tulajdonságok azonban jelentős hatást gyakorolhatnak a kőzet alakváltozásnál vagy törésnél végbemenő repedések szerepére. Ezért amikor a repedéseknek a kőzettömb fizikai és mechanikai tulajdonságaira, és különösen ezen paraméterek anizotrópiájára gyakorolt hatását elemezzük, megfelelő figyelmet kell fordítani a különálló repedések és repedés családok valamennyi tulajdonságaira, amelyek a jelen problémához tartoznak. Ha ezeket számszerű paraméterekkel jellemezzük, akkor lehetővé válik azok figyelembe vétele a kőzet repedezettség anizotrópiájának számításakor is.

#### 6. A kőzettömb repedezettség paraméterei és más tulajdonságai közötti korreláció.

Ez annak a többszörös hatásnak volt a következménye, amelyet a repedések gyakorolnak a kőzettömb számos tulajdonságára. Megpróbálták korrelálni a repedezettségi paraméterek a kőzettömbök többi tulajdonságait kifejező paraméterekkel. Sőt az is kijelenthető, hogy ezen paraméterek korrelációja napjainkban a repedezettség mérnökgeológiai vizsgálatának alapvető feladatává vált.

Az említett korreláció elvégzésére irányuló kísérletek a következő három csoportra oszthatók:

- 1) A repedezettség paraméterek korrelációja (főleg sűrűségük és tájolásuk, vagyis irányuk) a kőzettömb többi szerkezeti-szöveti tulajdonságaival) litológiai tulajdonságok, réteg vastagság, a gyűrődések mérete, típusa és iránya, a tektonikus zónák közötti távolság, távolság az intruzívvel való kontaktustól, tektonikus zónák közötti távolság, az intruzív kontaktusok közötti távolság, térszin alakzat, stb.). A vizsgálatok főleg azt célozzák, hogy a kőzettömbökben lévő repedések előfordulásának szabályszerűségét meghatározzák, a vizsgálati módszereket

javítsák és különösképpen a kőzettömb hozzáférhetetlen részeiről szóló adatokat megfelelőbben extrapolálják (M. V. Rac, 1963; I. V. Kirilova, 1959; A. S. Novikova, 1951; Currie et al., 1962; V. V. Kajakin et al., 1968; S. M. Cernisev, 1966).

- 2) A repedezettség paraméterek (főleg repedés sűrűségek) korrelációja a különböző fizikai és műszaki tulajdonságok mérése folyamán kapott adatokkal (fajlagos ellenállás, az elasztikus hosszanti hullámok sebesség, levegő permeabilitás, furás intenzitása, és még hasonló). Ezen vizsgálatok célja elsősorban arra összpontosul, hogy a mérési adatokat pontosabban interpretálják, vagy a kőzettömbre vonatkozó mérnöki munkákat hatékonyabban végezzék. Bizonyos esetekben az erőfeszítéseket a repedezettség paraméterek pontosabb interpretálására összpontosítják. (A. Sorokin, 1972; V. V. Rezevski, 1973; C. Tourenq et al., 1971; B. Kujundzic, 1966; P. F. Kocetkov et al., 1974; C. D. Da Gama, 1971; D. U. Deere, 1969; G. N. Eremeev, 1966; et al., 1971).
- 3) Repedezettségi paraméterek közötti korreláció (repedés sűrűség, repedezettségi modul, közepes repedezettség, törési porozitás koefficiense, repedés elválási síkjának alakzata, nyílások szélessége, töltődési tulajdonság, stb.) a kőzettömb szilárdságát, alakváltozását és permeabilitását kifejező paraméterekkel (a repedések menti surlódás ellenállás  $\mu$  értéke, kohézió, ütőszilárdság, az alakváltozás sztatikus és dinamikus modulja, viz permeabilitás). Ezen vizsgálatok célja, hogy meghatározza a repedéseknek a kőzettömb idevonatkozó tulajdonságaira gyakorolt hatását a kőzettömb viselkedésének pontosabb prognosztizálása céljából, valamint meghatározza a kőzettömb és a mesterséges szerkezet kölcsönhatását az utóbbi tulajdonságainak lehető legmagasabb fokú javítása érdekében. (E. I. Tkacuk, 1966; A. M. Gurev, 1968; N. H. Vitkina, 1971; S. E. Mogilevskaja, 1971; J. Obradovic, C. Louis, 1967, 1974; N. R. Barton, 1971; Rocha M. et al., 1977; J. S. Singhota, 1969).

Kétségtelen, hogy számos kísérletet tettek a korrelációra vonatkozóan. Bizonyos esetekben határozott összefüggést állapítottak meg a különböző paraméterek között, de egészében véve, az adatok szórása még mindig nagy, a korrelációs koeficiens értéke pedig néha 0,50 alá süllyed. Ez kifejezetten a vizsgált jelenség összetettségének, de különösen annak a ténynek tulajdonítható, hogy a legtöbb repedezettség paraméter mint hatásindex, amelyet a repedezettség a többi kőzet tulajdonságra gyakorol, nem megfelelő.

A magtöredezés alapján végzett kőzettömb repedezettség meghatározására szolgáló fentebb ismertetett módszert és a repedezettségi anizotrópia számitására szolgáló módszert az utóbbi két évben magas töltésekhez és földalatti szerkezetekhez szükséges telepítési helyek vizsgálatánál alkalmazzák. Kísérletek folynak arra vonatkozóan, hogy a magtöredezés alapján kapott adatokat a furólyuk szelvényezéssel, az elasztikus hosszanti hullámok sebességével kapott adatokkal és a permeabilitás koeficienseivel összhangba hozzák, azaz korrelálják. Munka folyik továbbá a javasolt módszer által kapott repedezettség anizotrópia adatok és a geofizikai módszerek (szeizmikus és elektromos kutatás) által kapott repedezettség anizotrópia adatok korrelációjára vonatkozóan. Az előbb említett adatokat a kőzettömb alakváltozási képességének vizsgálata során – amelyeket furólyuk támmal, hidraulikus emelővel és kitámasztási vizsgálattal érnek el – kapott adatokkal is korrelálják. Jelenlegi ismereteink alapján, ez lesz majd az első ilyen kísérlet.

Összefoglalva az elmondottakat, szeretném kifejezni azon meggyőződésemet, hogy a repedezettség anizotrópiáról szóló adatok igen eredményesen használhatók majd fel a kísérleti cementálásnál és biztosításnál. Az ilyen előzetes kísérletek lehetővé tehetik az optimális irány és a cementáló lyukak, valamint a kifeszített biztosítások közötti távolság kiválasztását, és így a mérnöki munkák költségében jelentős, meghatározott csökkenést hozhatnak létre.



## ÁBRÁK JEGYZÉKE:

1. sz. ábra: Magtöredezés grafikonja  $\lambda = 0$  esetében.  
(y - magdarab hossza; x - furási mélység)
2. sz. ábra: Magtöredezés grafikonja:  $1 - \lambda = 15$ ;  $2 - \lambda = 25$ ;  
 $3 - \lambda = 35$ ;  $4 - \lambda = 50$  cm -nél.  
y-magdarabok átlagos hossza; x - furási mélység.
3. sz. ábra: A térszinen keresztül menő mérnökgeológiai szelvény magtöredezési grafikonokkal (1- különböző litológiai jellegű kőzetek; 2-átlagos magdarab hosszúságok).
4. sz. ábra: Térszinen keresztül menő mérnökgeológiai szelvény andezit zónával a töredezettség foka szerint.
5. sz. ábra: Egy család repedezettségeinek egyforma gyakoriságára vonatkozó térkép vonalak egy egyenlő felületű vetületnél
6. sz. ábra: Repedések egyforma gyakoriságának vonalai (egyenlő felületű vetületnél) a 70/45 dőlés elemekkel rendelkező családnál(a); a 180/68 (b) és a 255/18 (c) dőlés elemekkel és a repedések közötti következő távolsággal: m = 30 cm; (a) m = 80 cm (b) és m = 120 cm (c).
7. sz. ábra: Három család által alkotott repedések rendszerének egyenlő gyakoriságát ábrázoló térkép vonalak (egyforma felületű vetületnél):  
a - egyforma gyakoriság vonalai mindhárom családra vonatkozóan;

- b - a 7-a ábrán mutatott egyforma gyakoriság vonalak által adott értékek összegezése;
- c - repedések rendszerének egyforma gyakoriság vonalai.

8. sz. ábra: A család dőlés elemeit mutató sematikus ábrázolás.  
A geográfiai koordináta rendszerben ez ehhez tartozik.

9. sz. ábra: A repedés rendszer egyforma gyakoriságát ábrázoló vonalak (függőleges koordináta rendszerben)

10. sz. ábra: Vízszintes szelvényen ábrázolt törések gyakorisága (a); (b) és (c) kép különböző függőleges szelvényen történő ábrázolás; (az adatok a 7-c. ábra szerint).

#### TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE:

1. sz. táblázat: Kőzettömb repedezettség vizsgálatánál alkalmazott módszerek:

1. Külszinre kibujt kőzettömbökön végzett repedezettség vizsgálat (kibuvások és mesterségesen feltárt külszin)
2. Lelőhelyhez közel történő közvetlen vizsgálat telér kibuvásokon és réteg kibuvásokon
  - a) Térszin felületén végzett vizsgálatok
  - b) Felszin alatti vizsgálatok tárókban, aknákban és vágatokban.
3. Közvetett vizsgálatok - a lelőhelytől távol  
Légi fényképek vizsgálata.
  - a) repülőkről és műholdakról készített scanogrammok és fényképek elemzése
  - b) földi (terresztrikus) fényképek elemzése

4. Földalatti kőzettömbök repedezettség vizsgálata
5. Közvetlen vizsgálatok.
6. Kutató furólyukból származó mag vizsgálatai
  - a) zavart, nem tájolt magon
  - b) folyamatosan tájolt magon
7. Kutató furólyukak falának vizsgálata
  - a) furólyuk falának észlelése furólyuk periszkóppal és TV szondázással
  - b) furólyuk falak normál vagy sztereo fényképeinek elemzése
  - c) furólyuk fal geofizikai kutatása
8. Közvetett vizsgálatok
  - a) viz permeabilitás mérései
  - b) levegő permeabilitás mérései
  - c) cementáló anyag permeabilitásának mérései
  - d) kőzet sűrűség mérései
  - e) elasztikus hosszanti hullámok sebességének mérései

2. sz. táblázat: Magdarab hosszúságok és a megközelítően homogén zóna határai (ferde vonalakkal jelzettek).

3. sz. táblázat: Átlagos magdarab hosszúságok a különböző zónákban.

4. sz. táblázat: A kőzettömbön különböző irányokban a repedés gyakoriságot mutatja

