

Použitie štatistických metód pri výskume puklinovosti

(5 obr. v texte)

RUDOLF ONDRÁŠIK — HELENA HANDZUŠOVÁ*

Применение статистических методов при изучении трещиноватости горных пород

На статистическую обработку трещин и на наши представления о трещиноватости горных пород оказывают влияние уровень полевой документации, отклонения ориентации трещин разной протяженности, искажение реального распределения трещин, наклонных по отношению к простиранию обнажения и неоднородность массива. Со сказанного вытекают и требования к подходящему применению статистических методов, являющиеся содержанием настоящей статьи.

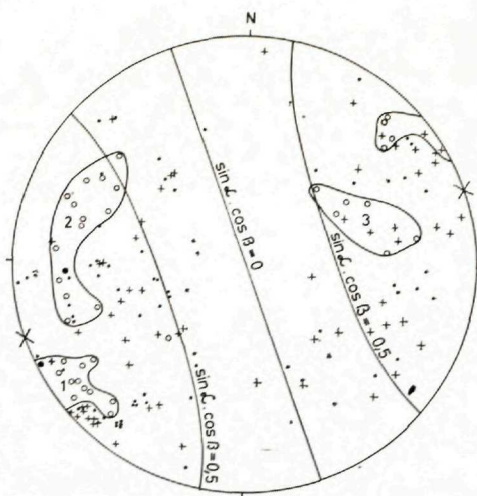
Use of statistical methods in the research of jointing

Statistical evaluation of joints and by it also our conceptions on rock mass jointing can be affected by the level of field documentation, deviations in the strike of joints of varied length, misrepresenting the real representation of joints in systems aslant to the outcrop surface and also by heterogeneity of the mass. Requirements deriving from it for a suitable use of statistical methods are also the subject matter of this paper.

Inžinierskogeologické vlastnosti skalných horninových masívov sú do veľkej miery ovplyvnené puklinami. Preto je štúdium puklín neoddeliteľnou súčasťou inžinierskogeologického výskumu skalných horninových masívov a metódam výskumu puklinovosti sa venuje stále väčšia pozornosť (L. Müller 1963; R. D. Terzaghi 1965; M. V. Rac — S. N. Černyšev 1970, D. R. Piteau 1973). Pretože v našej literatúre doteraz podobné práce, okrem zriedkavých výnimiek (M. Hrašna 1969), nie sú, štatistické metódy zisťovania puklinovosti a terénna dokumentácia sa používajú nekriticky a často aj nevhodne. V príspevku upozorňujeme na niektoré dôležité zásady pri terénnom výskume a pri štatistickom spracúvaní puklinovosti.

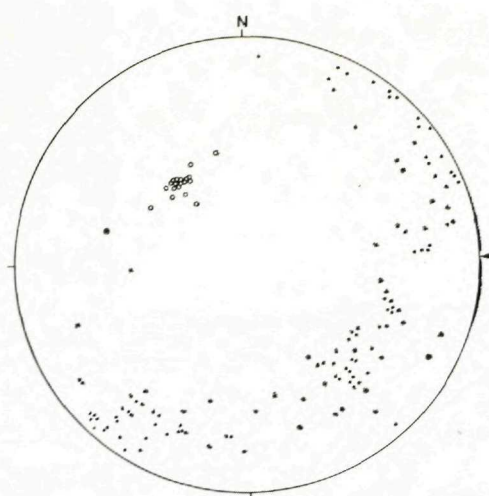
Priestorová sieť zahŕňa všetky pukliny príslušnej časti masívu. Spravidla ju tvorí niekoľko systémov puklín (zvyčajne 3—4), zriedkavo chaoticky orientované pukliny, ktoré nepredstavujú systém. Priesečnice puklín s ľubovoľne orientovanou plochou vytvárajú plošnú sieť puklín a priesečnice puklín s ľubovoľne orientovanou priamkou lineárnu sieť puklín. Systémom puklín nazývame súhrn približne paralelných puklín. Tento termín je čiste geometrický a nemá nijaký genetický význam.

* Doc. RNDr. Rudolf Ondrášik, CSc., Helena Handzušová, Katedra inžinierskej geológie a hydrogeológie PF UK, Zadunajská 15, 811 00 Bratislava.



Obr. 1. Polárny diagram v Lambertovej projekcii puklín granodioritového masívu v záreze štátnej cesty pri Strečne. Krúžkami sú označené pukliny prestupujúce odkryvom, plnými krúžkami tektonické poruchy, krížikmi pukliny končiace sa v odkryve, bodkami pukliny v rámci odkryvu. Kontúrami sú ohraničené systémy puklín prestupujúce odkryvom. Veľké krížiky na kružnici vyznačujú meranú líniu.

Fig. 1. Polar diagram in the Lambert's joint transmission of a granodiorite mass in the cut of the national road near Strečno. Small circles indicate joints overstepping the outcrop (full circles indicate the tectonic dislocations), small crosses indicate joints ending in the outcrop, points indicate joints within the outcrop frame. Contours are limiting the systems of joints overstepping the outcrop.

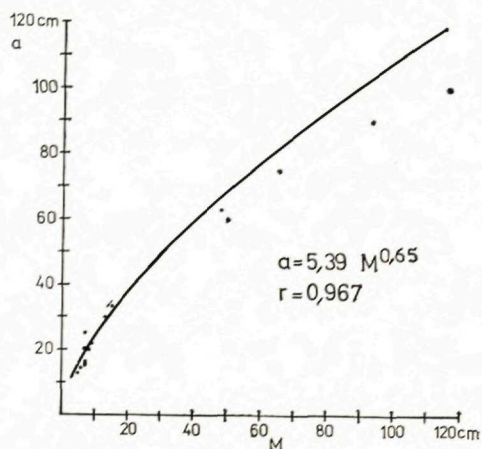


Obr. 2. Polárny diagram v Lambertovej projekcii puklín flyšového masívu v záreze cesty pri Toporci v Popradskej kotline. Krúžkami sú označené póly priebežných puklín (plochy lavicovej odlúčnosti) a bodkami póly nepriebežných puklín.

Fig. 2. Polar diagram in the Lambert's joint transmission of a flysch mass in the road cut near Toporec in the Poprad basin. Small circles indicate continuity poles of joints (planes of bench parting) and points indicate poles of uncontinuous joints.

Obr. 3. Grafické znázornenie vzťahu medzi vzdialenosťou priebežných puklín (M) a vzdialenosťou na ne zhruba kolmých nepriebežných puklín (a) v pieskovcoch flyšového súvrstvia pri Toporci, ktorého polárny diagram je na obr. 2.

Fig. 3. Graphical plotting of relationship between the distance of continuous joints (M) and the distance of uncontinuous joints roughly perpendicular to them (a) in the sandstones of flysch strata-series near Toporec whose polar diagram is in Fig. 2.



Systémy puklín sa určujú pomocou štatistického spracovania výsledkov meraní orientácie puklín, najčastejšie vo forme diagramu. V ostatnom období sa najčastejšie uplatňuje zobrazovanie pólov puklinových plôch v plochojavnej Lambertovej projekcii spodnej orientovanej pologule (polárny diagram obr. 1, 2) a pri dostatočnom počte údajov ich štatistické hodnotenie vo forme kontúrového diagramu (obr. 1). Kontúry (izolínie) ohraničujú sústredenie pólov puklinových plôch. Ťažiská plôch ohraničených izolínami predstavujú priemernú orientáciu normál (pólov) puklinových plôch jednotlivých systémov.

Pri takomto spracúvaní meraní puklinovosti treba brať do úvahy, že na výsledky môžu vplývať: a) odchýlky v orientácii puklín s rozličnou priebežnosťou; b) rozdiely vyplývajúce zo vzťahu medzi plošnou, príp. lineárnou a priestorovou sieťou puklín; c) nerovnorodosť horninového masívu.

Priebežnosť puklín

Priebežnosť puklín sa definuje ako dĺžkový dosah puklín. Na odkryvoch a v štôľňach sa ťažko pridržiavať škály priebežnosti puklín podľa ich absolútnej dĺžky. V každom prípade je však nevyhnutné zostaviť aspoň relatívnu škálu priebežnosti puklín. Podľa nej sa v odkryve dajú rozlíšiť pukliny: 1. prestupujúce odkryvom; 2. končiace sa v odkryve; 3. v rámci odkryvu. Iba pri puklinách v rámci odkryvu možno použiť absolútne škálu priebežnosti. Osobitne treba vyčleňovať poruchové zóny.

Medzi puklinami rozličnej priebežnosti je vzťah. V niektorých prípadoch môžu byť všetky skupiny puklín podľa priebežnosti v rámci rovnakých systémov, ale môžu byť aj isté odchýlky (obr. 1 a 4), ba dokonca môžu byť aj v rozličných systémoch (obr. 2). Pri sedimentárnych horninách je navyše aj vzťah medzi vzdialenosťou priebežných puklín (M), reprezentovaných plochami lavicovej odlučnosti a vzdialenosťou nepriebežných puklín (a) naprieč lavicami (obr. 3), ktorý možno pri danom grafe vyjadriť vo forme $a = 5,39 \cdot M^{0,65}$ alebo vo všeobecnom tvare $a = c M^b$. Pri výskume horninových masívov sú určujúcimi pukliny prestupujúce odkryvom.

Vzťah medzi lineárnou a priestorovou sieťou puklín

V teréne nemožno merať priestorovú sieť puklín priamo. Jej model sa konštruje na základe meraní parametrov lineárnych sietí puklín. Keď je prístupná iba jedna odkrytá plocha, príp. nesúvislé odkryvy s približne rovnakou orientáciou, skutočný pomer počtu puklín rozličných systémov sa skresľuje. Pukliny systémov, ktoré zvierajú s plochou odkryvu ostrý uhol, sú zastúpené slabšie, ako je to v skutočnosti. Dokonca ani pomerne husté pukliny systému zhruba rovnobežného s plochou odkryvu nemusia v odkryve vôbec vystupovať.

Pri štúdiu puklín v štôľňach a v zárezoch, kde prevláda jeden rozmer, o priestorovej sieti puklín usudzujeme prakticky iba z jednej lineárnej siete (obr. 4). V takomto prípade musíme skutočné zastúpenie puklín jednotlivých systémov vyjadriť priemernou vzdialenosťou, príp. hustotou puklín pre každý systém samostatne (obr. 5). Priemernú vzdialenosť puklín v systéme vypočítame podľa vzorca

$$\bar{a} = \frac{x \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta}{p}$$

kde $\bar{a}$ = priemerná vzdialenosť puklín v systéme v smere kolmom na plochu puklín;

x = vzdialenosť medzi krajnými bodmi na meranej línii v okryve;

α = rozdiel medzi priemerným uhlom sklonu puklín v systéme a uhlom sklonu meranej línie;

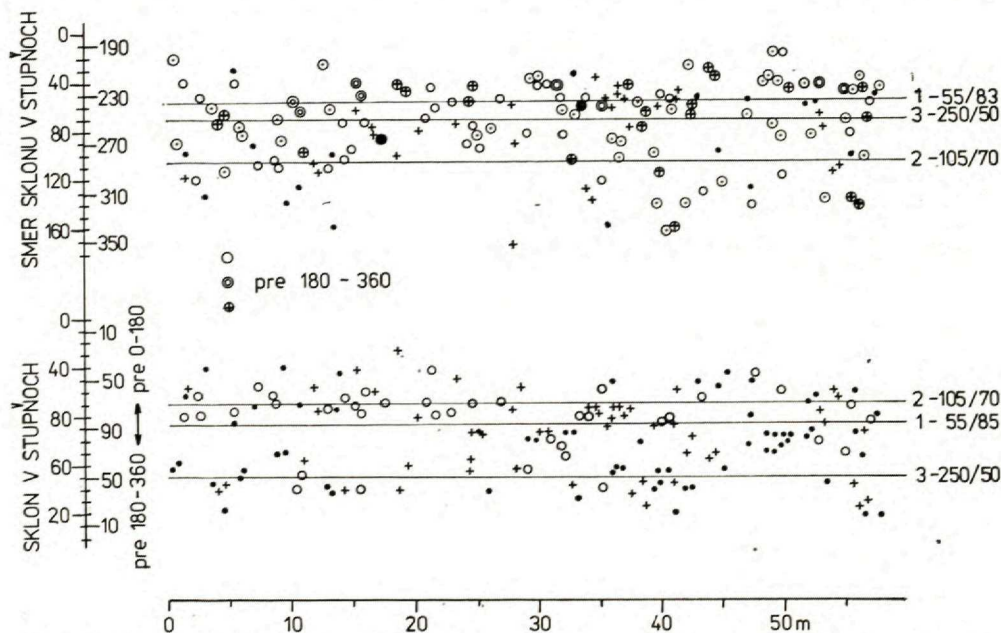
β = rozdiel medzi priemerným smerom sklonu plochy puklín v systéme a smerom meranej línie;

p = počet puklín v systéme pretínajúcich meranú líniu.

Pretože táto okolnosť môže veľmi ovplyvniť výsledky štatistického spracovania meraní puklinovosti v zárezoch a štôlnach, treba ju vyjadriť aj v polárnom diagrame (obr. 1). Pozdĺž slepej línie v diagrame (kolmej na os zárezu, štôlne) nemožno totiž vylúčiť existenciu ďalšieho systému puklín. Merania v širšom okolí zárezu, ktorý je na obr. 1, skutočne preukázali existenciu ďalšieho systému puklín s orientáciou okolo 170/60°.

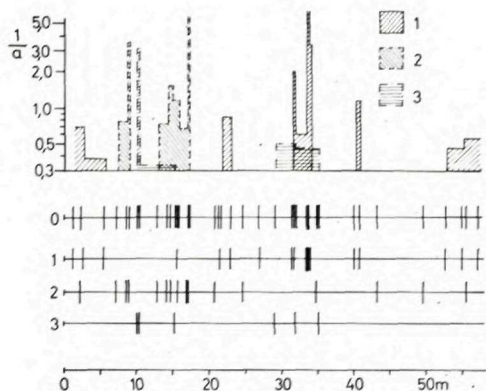
Nerovnorodosť horninového masívu

Rozmiestenie puklín v masíve i v rámci jednotlivých systémov je veľmi nepravidelné, čo vynikne najmä vtedy, ak z lineárnej siete vynesieme osobitne pukliny jednotlivých systémov (obr. 5). Zároveň možno v takto rozložených



Obr. 4. Diagram lineárnej siete puklín granodioritového masívu v záreze štátnej cesty pri Strečne v pravouhlej súradnicovej sieti. Značky puklín, ako aj systémov puklín (linie v grafe s číslom i hodnotami smeru sklonu a sklonu) sú vyznačené podľa polárneho diagramu na obr. 1.

Fig. 4. Diagram of linear pattern of joints of a granodiorite mass in the national road cut near Strečno in a right-angled coordinate pattern. Joints, as well as systems of joints are indicated according to polar diagram in Fig. 1.



Obr. 5. Spektrum lineárnej siete puklín (0) prestupujúcich odkryvom v granodioritovom masíve v záreze štátnej cesty pri Strečno rozložené pre jednotlivé systémy puklín (1, 2, 3) podľa polárneho diagramu na obr. 1 a grafické vyjadrenie hustoty puklín ($\frac{a}{l}$) jednotlivých systémov pozdĺž meranej línie.

Fig. 5. Spectrum of linear pattern of joints (0) overstepping the outcrop in a granodiorite mass in the national road cut near Strečno decomposed for individual systems of joints (1, 2, 3) according to polar diagram in Fig. 1 and graphical expression of joint density ($\frac{a}{l}$) for individual systems along the measured line.

priestorovej siete puklín treba mať dokumentáciu viacerých navzájom rozlične orientovaných plošných alebo lineárnych sietí puklín. Pri dokumentácii odkryvu alebo štólne len v jednej línii treba do polárneho (kontúrového) diagramu vyniesť aj orientáciu meranej línie, príp. aj slepú líniu diagramu. V dokumentácii treba rozlíšiť pukliny podľa priebežnosti, a to absolútnej alebo relatívnej.

Doručené 5. 4. 1977
Odporučil R. Holzer

LITERATÚRA

- Hrašna, M. 1969: Štatistické spracovanie plôch deliteľnosti. Geolog. průzk., 11, 10, s. 298—302.
Müller, L. 1963: Der Felsbau. 1. Auflage, Stuttgart, Enke Verlag, 624 S.
Piteau, D. R. 1973: Characterizing and extrapolating rock joint properties in engineering practice. Rock Mechanics, Springer Verlag (Wien — New York), 5, Suppl. 2, p. 5—31.
Rac, M. V. — Černyšev, S. N. 1970: Treščinovatosť i svojstva treščinovatých gorných porod. Moskva, Izdat. Nedra, 160 s.

puklinách jednotlivých systémov pozorovať istú harmonickosť ich rozmiestenia. Z nepravidelného rozloženia puklín v masíve zreteľne vidieť, že sa pri charakteristike puklinovosti pre konkrétny stavebný zásah do masívu nemožno uspokojiť so súhrnným štatistickým diagramom, ani s údajmi o priemernej vzdialenosti puklín. Priemernú vzdialenosť alebo hustotu puklín možno udávať iba pre jednotlivé vyčlenené časti masívu s približne rovnakou hustotou puklín daného systému. Tú možno najjednoduchšie zistiť pomocou grafu hustoty puklín jednotlivých systémov (obr. 5). Pomocou tohto grafu možno vyčleniť aj rovnorodé úseky s rovnakou kombináciou prevládajúcich systémov puklín.

Aby bolo hodnotenie puklinovosti z hľadiska potrieb inžinierskej geológie správne, musí splniť rad požiadaviek aj terénna dokumentácia: 1. V dokumentácii stien odkryvov a prieskumných diel musí byť zachytená poloha každej pukliny, a to pomocou plošnej alebo lineárnej siete puklín a prvkov orientácie puklín. 2. Musí byť presne situovaná aj poloha dokumentovanej plochy a jej orientácie. 3. Na čo najpresnejšie zobrazenie

Use of statistical methods in the Research of jointing

RUDOL ONDRÁŠIK — HELENA HANDZUŠOVÁ

In the statistical processing of joint measurements it is necessary to take into account that the results may be affected by:

a) deviations in the strike of joints of different continuity; b) differences deriving from the relationship between planar, eventually linear and space network of joints; c) heterogeneity of rock mass.

The continuity of joints is characterized as a length range of joints. According to relative continuity of joints in the outcrop the following joints can be distinguished:

1. overstepping the outcrop; 2. ending in the outcrop; 3. within the outcrop frame. The absolute scale continuity can be used only in joints within the outcrop frame.

There exists a relationship between the individual joints of varied continuity. In some cases all groups of joints, according to continuity, may be within the frame of similar systems. There may, however, exist even certain deviations (Fig. 1 and 4) and moreover they may be also in various systems (Fig. 2). In sedimentary rocks there exists in plus also the relationship between the distance of continuous joints, represented by planes of bench parting and by uncontinuous joints across the benches (Fig. 3) which can be expressed in the form of $a = c M^b$.

When studying joints in galleries and cuts where one dimension predominates, the space pattern of joints is judged practically only from one linear pattern (Fig. 4). In such a case the real representation of joints of individual systems must be expressed by an average distance, eventually density of joints for each system separately. The average distance or density of joints can be given only for individually delineated parts of the mass within approximately similar density of joints of the given systems (Fig. 5). The average distance of joints in the system is calculated according to relationship:

$$\bar{a} = \frac{x \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta}{p}$$

where a is the average distance of joints in the system vertical to the plane of joints, x is the distance between the extreme points on the measured line in the outcrop, α is the difference between the angle of dipping in the system and dipping of the measured line, β is the difference between the average strike of dip of joints plane in the system and the strike of the measured line, γ is the number of joints in the system intersecting the measured line. As the linear pattern related to fissure systems may considerably affect the results of statistical processing of joint measurements in the cuts and galleries, it has to be expressed in a polar diagram (Fig. 1).

Preložil E. Bleho