

Mineralia slov.
17 (1985), 4, 369—376

SÚHRNNÝ REFERÁT

Moderné metódy v inžinierskej geológii

IGOR MODLITBA*, RUDOLF HOLZER**

* Geologický ústav D. Štúra, Mlynská dol. 1, 817 04 Bratislava

** Katedra inžinierskej geológie PFUK, Zadunajská 15, 811 00 Bratislava

(7 obr. v texte)

Doručené 9. 7. 1984

Модерные методы в инженерной геологии

Приведены результаты о современных методах использованных в инженерно-геологическом исследовании и разведке. Прогрессивные методы оптимально аппликованные в природной среде позволяют получить достаточно широкий обзор и его свойств. Наши представления о природной среде уссовершенствуются а подготовленные модели среды всё время приближаются действительности.

Modern methods of engineering geology

In a comprehensive report presented on the Engineering Geological Symposium devoted to the 60th birthday of Prof. Ing. M. Matula DrSc., the knowledge of modern methods used in engineering geological research and exploration are summarized. Progressive methods applied optimally in the natural environment allow to acquire sufficiently broad outlook over its properties. Our ideas on the natural environment become more appropriate and the created models of environment approach the reality better and better.

Prieskumné metódy v inžinierskej geológii sa ustavične vyvíjajú a zdokonaľujú. Modernizuje sa prístrojové vybavenie, najmä aplikačná meracia, registračná a hodnotiacia technika. Zdokonaľujú sa aj základné skúšobné zariadenia, využívajú progresívnejšie konštrukčné prvky, začínajú sa využívať nové technické princípy a skúma sa ich použiteľnosť v rozličných geologických podmienkach. Progresívne prieskumné metódy aplikované

v optimálnych podmienkach umožňujú získavať množstvo údajov o vlastnostiach prírodného prostredia. Tak sa naše predstavy o prírodnom prostredí stávajú podstatne kvalitnejšími a modely prírodného prostredia sa viac približujú skutočnosti. Tým klesá aj pravdepodobnosť nesprávnych záverov o vzťahu inžinierskogeologických pomerov k projektovaným zámerom, zvyšuje sa možnosť efektívnejšie využívať základovú pôdu a prí-

rodné prostredie ako celok a spravidla sa zvyšuje aj efektívnosť časového fondu pracovníkov.

Hlavné smery rozvoja metód

Rozvoj nových a osvojovanie v zahraničí už vyvinutých metód inžinierskogeologického prieskumu a výskumu sa u nás orientuje hlavne na:

1. zisťovanie inžinierskogeologických údajov z prieskumných diel; 2. určovanie napätosti v horninovom masíve; 3. zisťovanie vzťahu medzi vnútornou stavbou zeminy a jej vlastnosťami, ako aj na kontrolu kvality laboratórnych skúšok; 4. využívanie geofyzikálnych metód na špecifické potreby inžinierskej geológie; 5. aplikáciu matematickoštatistických metód; 6. aplikáciu geodetických metód, najmä na sledovanie svahových pohybov.

Inžinierskogeologické údaje z prieskumných diel

Inžinierskogeologické informácie pochádzajú prevažne z vrtov, a to dokumentácie výnosu jadra, drviný atď. Rozsah informácií, ktoré možno takto získať, býva v dôsledku porušenia výnosu, ktoré je často aj dôsledkom nízkej kvality vrtných prác, veľmi obmedzený. Ale množstvo informácií možno značne rozšíriť použitím špeciálnych hodnotiacich metód výnosu jadra alebo priamo vrtu.

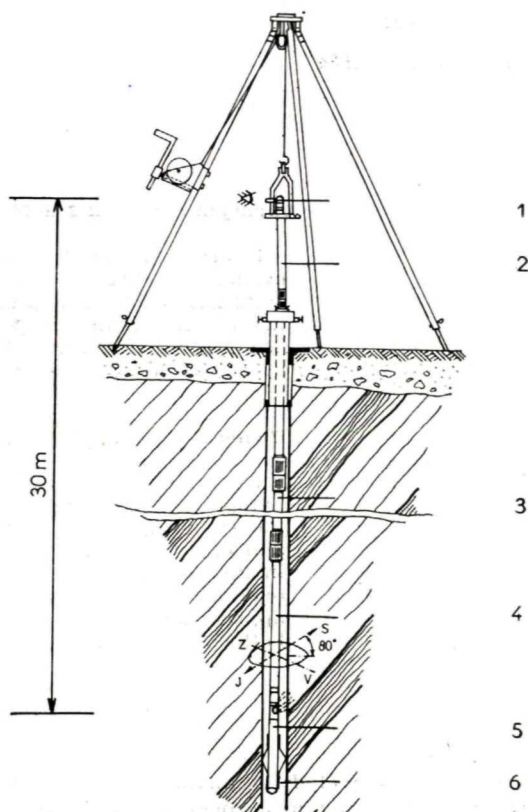
Medzi takéto metódy patrí napr. dokumentovanie vrtu vrtným periskopom, ktorého hlavným kladom je možnosť bezprostredne a zreteľne pozorovať horniny v pôvodnej farebnosti a v pôvodných úložných pomeroch. Pomocou periskopu možno vo vrte zistiť stupeň porušenia horninového masívu, textúru, navedenie, výplň puklín, prítok podzemnej vody, priebeh šmykových plôch a ďalšie vlastnosti horninového prostredia. Pre malý priemer možno vrtný periskop použiť aj vo vrtoch malých profilov, a to od priemeru 80 mm do hĺbky cca 30 m. Schéma optického vrtného periskopu je na obr. 1.

Praktické použitie periskopu v inžinierskogeologickom prieskume opísala M. Prostějovská (in Inžinierskogeologické sympózium... 1984). Na niektorých lokalitách, napr. PVE Čierny Váh, zosuv Horné Srnie, Harvelka atď., sa vo vrtoch periskopom úspešne overo-

vali tektonicky porušené zóny, stupeň zvetrania dolomitových hornín, zisťoval sa petrografický charakter hornín, povaha šmykových zón, stupeň porušenia hornín, určovala sa orientácia puklín a overovala sa hĺbka podzemnej vody.

Výrazne bohatšie informácie sa získavajú aj geofyzikálnymi, hlavne seizmickými metódami. Ich prednosťou je, že sa svojím princípom približujú geotechnickým skúškam a možno z nich získať pomerne tesné korelačné vzťahy k fyzikálnym a mechanickým vlastnostiam horninového masívu (Bláha, ibid.).

Ostravské pracovisko Geotestu rozpraco-



Obr. 1. Vrtný periskop BP-34 (podľa Prostějovskej, 1984). 1 — okulár, 2 — okulárna trubica, 3 — predĺžená trubica, 4 — objektív trubice, batéria; centrálna pružina

Fig. 1. The BP-34 drill-hole periscope (according to Prostějovská, 1984). 1 — eyepiece, 2 — eyepiece tube, 3 — extended tube, 4 — tube objective, battery, centering spring

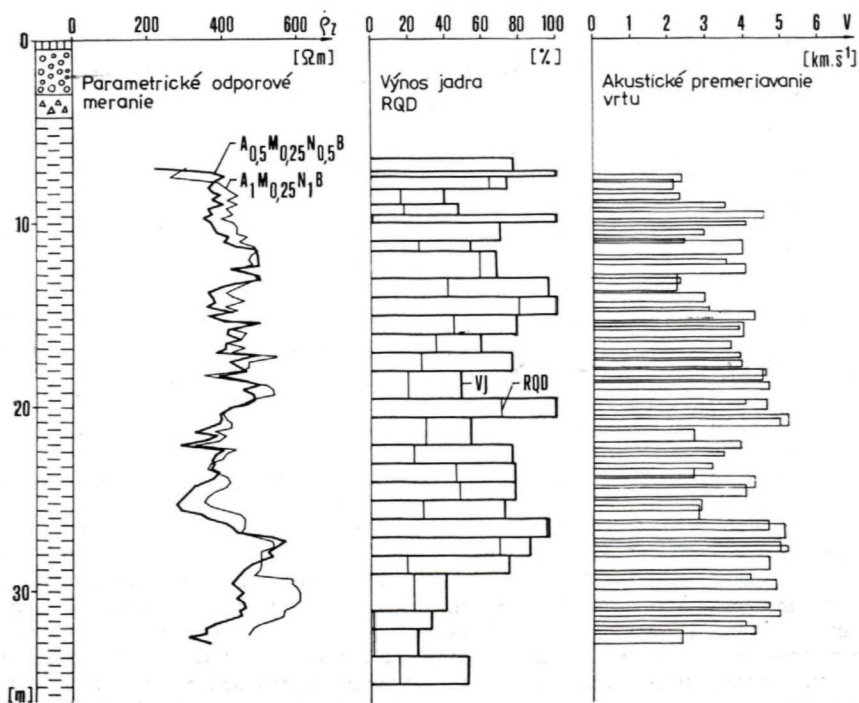
valo ultrazvukovú seizmickú metódu s použitím aparatury ULTRASONIC TESTER BP III fy Steinkamp. Spočíva v určovaní prieskumnej rýchlosti šírenia sa ultrazvukových vln vo vrtných jadrách, ktoré sa merajú v smere osi jadra a kolmo na ňu, príp. pozdĺž plôch vrstovitosti alebo foliácie. Priemerná rýchlosť sa určuje pre každý meter vrtného jadra z meraní na piatich vybraných vzorkách. Z nameraných hodnôt možno určiť anizotropiu horninového materiálu, výskyt diskontinuit, stupeň navetrania, vymedziť mocnosť porušených zón a pod.

Táto metóda bola rozpracovaná aj na meranie priamo vo vrte. Vlastné meranie potom prebieha tak, že sa do vrtnú zapustí ultrazvukový prijímač a vysielač. Merania sa robia v 50 cm intervaloch hĺbky tak, že sa rýchlosť šírenia vln v každej hĺbke meria pri rozličnej zvislej vzdialenosti vysielača a prijímača, pri-

čom sa vysielač od prijímača vzdďľuje v 10 cm krokoch (Bláha, ibid.).

Na obr. 2 je príklad akustického ultrazvukového merania vo vrte na lokalite Budišov, kde sa získala veľmi dobrá korelácia s RQD a parametrickým odporovým meraním.

Ako kritérium na rozčlenenie horninového masívu na kvázihomogénne celky možno použiť metódu stanovovania modifikovaného výnosu jadra — RQD. Hodnota RQD je nepriamo závislá od stupňa oslabenia horninového masívu, t. j. od stupňa zvetrania horniny, tektonického porušenia, intenzity rozpukania a od ďalších faktorov, ovplyvňujúcich homogennosť a izotropiu horninového prostredia. Hodnotu RQD negatívne ovplyvňuje aj kvalita vrtných prác. Ale podľa skúseností, ktoré publikoval O. Horský (ibid.), možno túto metódu použiť aj pri nevhodnej kvalite vrtania, ak sa v rozmedzí lokality



Obr. 2. Výsledok ultrazvukového (akustického) premerania vrtu na lokalite Budišov (vrt J-3) a porovnanie výsledku s RQD a parametrickým odporovým meraním (podľa Bláhu, 1984)

Fig. 2. Results of ultrasonic (acoustic) remeasurement of J-3 drill-hole data on the Budišov locality and comparison of results with RQD and parametric resistance measurement data (according to Bláha, 1984)

nemení. V takom prípade možno hodnotu RQD aplikovať len ako porovnávací parameter, pričom objektívne zhodnotenie vzťahu RQD k iným parametrom je pomerne prácne a má iba lokálnu platnosť. Ako príklad O. Horský (ibid.) uvádza závislosť zdanlivého merného odporu ρ_z , dynamického modulu E_d a modulu deformácie M_0 od RQD granulitového masívu lokality Dalešice.

Napätosť v horninovom masíve

Určovanie napätosti horninového masívu je jedným z hlavných problémov inžinierskej geológie. Jeho aktuálnosť rastie najmä v súčasnosti v súvislosti s rozvíjajúcim sa prieskumom pre prečerpávacie vodné elektrárne, tunelové stavby, hlboké cestné zárezy, odrezy a pod.

Ako uvádza I. Trávníček (ibid.), metódam stanovovania napätosti sa venovali mnohí autori a vytvorili niekoľko skúšobných zariadení a meracích postupov.

Ak sa merania robia na modeli v mierke 1:1, spravidla v rozrážkach banských diel, rozpracované metódy sa označujú ako priame merania. Ak sa merania obmedzujú iba na istú časť horninového telesa, napr. meranie v tzv. uvoľňovacích vrtoch, ryhách a pod., ide o nepriame merania.

Z priamych metód je u nás pomerne známa a často používaná metóda určovania napätosti konvergenciou výrubu. Jej podstatou je meranie deformácie kruhového výrubu rozrážky, pričom sa sleduje premiestňovanie bodov pootočených vzájomne o 45° umiestnených vnútri kruhového výrubu. Je to rýchla a pomerne presná metóda, ale na určenie modulu pružnosti E a Poissonového čísla μ ako pomocných výpočtových hodnôt vyžaduje vykonanie zatažovacích skúšok in situ v porube.

Z nepriamych metód I. Trávníček (ibid.) opisuje:

1. Meranie deformácie kruhového otvoru tenzometrami — metóda čiastočného odľahčenia. Tenzometre kruhovite rozmiestnené po 45° okolo vrtu merajú deformáciu ústia vrtu po jeho odvrtaní.

2. Meranie odľahčenou ryhou pre ploché lisy — ryha sa vyreže diamantovou pilou alebo odvrtaním radu prekrývajúcich sa vrto. Napätosť sa určuje z posunu dvojice bodov umiestnených kolmo na os ryhy.

3. Meranie metódami „odľahčeného jadra“

možno robiť systémom DOORSTOPER, keď sa snímačom na čele vrtu sledujú deformácie v dôsledku postupného obvrtávania, alebo systémom HAST, pri ktorom sa na špeciálnom snímači sledujú deformácie stredového vývrtu po obvrtaní väčším priemerom.

Uvedené metódy sa vcelku úspešne použili v ČSSR pri inžinierskogeologickom prieskume lokality PVE Dlouhé Stráně, Malá Vieska, Hrhov atď.

Vzťah vnútornej stavby zeminy k inžinierskogeologickým vlastnostiam — laboratórne metódy

Štúdium vzťahu vnútornej stavby hornín k inžinierskogeologickým vlastnostiam sa vďaka spontánnemu rozvoju metód a prístrojovej techniky stáva dnes veľmi aktuálnym. Nová metodika a prístrojová technika umožňujú detailne zisťovať vlastnosti hornín a zemín, ich chemizmus a mikroštruktúru hmoty. Jednou z metód umožňujúcich detailné štúdium mikroštruktúry horninového materiálu je elektrónová stereomikroskopia a v kombinácii s elektrónovým mikroanalýzátorom umožňuje overovať aj zastúpenie prvkov vo vzorke. Veľmi výhodne sa používa na dokumentáciu zmien mikroštruktúry spôsobených ílovými rezíduami, ktoré sú pre pevnosť, deformačné a hydraulické vlastnosti hornín rozhodujúce. Ďalej umožňuje dokumentáciu mikropórov, mikrotrhlín, ako aj celkovej mikroštruktúry horninovej hmoty (Šamalíková, 1984). Príklady využitia tejto metódy v inžinierskej geológii uvádza M. Šamalíková (ibid.), a to ako dokumentáciu deformovanej zóny ortoruly (obr. 3), pri posudzovaní serpentinitov ako kameniva do betónu a priŕnavosti injekčnej zmesi k piesčitým kriedovým sedimentom.

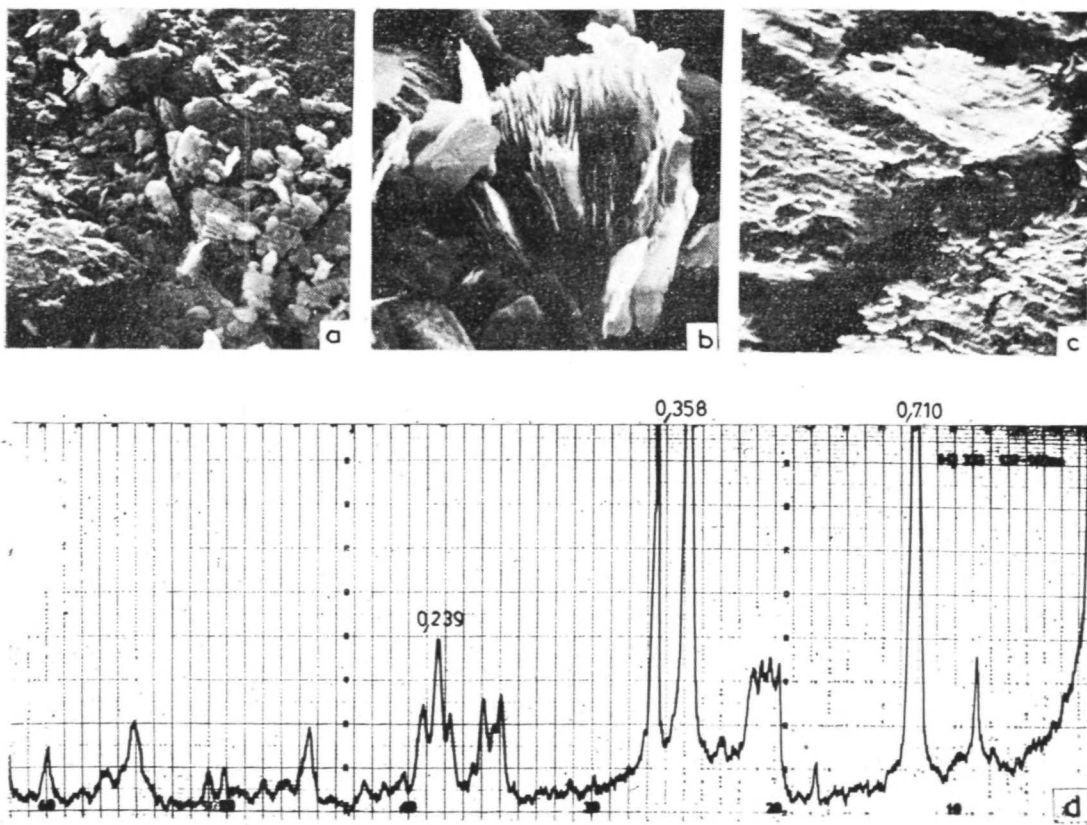
Údaje o mikroštruktúre zemín možno získať aj pomocou geochemických metód. J. Šajgalík (ibid.) opisuje podstatu ich uplatňovania pri určovaní mikroštruktúry spráše. Údaje získané geochemickými metódami umožňujú hlbšie pochopiť osobitosti a podmienky tvorby týchto sedimentov a prostredníctvom ich štúdia možno predstaviť paleogeografiu rozličných rájónov v priestore a v čase. Týmto metódami sa dajú odhaliť osobitosti hypergénnych procesov a ich evolúcia, kyslosť alebo zásaditosť prostredia vzniku, chemické zloženie pórových roztokov atď. Za najcennejší prínos treba pokladať objasnenie štruk-

túry spráše, charakteru síl, ktoré pôsobia medzi jednotlivými štruktúrnymi elementmi, vysvetlenie jej vzniku a rozpadu v dôsledku rozličných procesov, ako aj identifikáciu prostredia vzniku spráše. Poznanie týchto vlastností je základnou podmienkou reálneho vysvetlenia rozmanitých reakcií spráše na zmeny napätia, vlhkosti, dynamické otrasy atď.

Špecifický problém rieši príspevok I. Modlitbu (ibid.). Navrhuje sa v ňom progresívny spôsob kontroly kvality stanovení v laboratóriách mechaniky zemín. Túto kvalitu za-

ťažuje pomerne veľká subjektívnosť a individuálne nezistiteľná odchýlka, ktorá v mnohých prípadoch znemožňuje porovnávať výsledky. Navrhované spôsoby tzv. vnútornej a vonkajšej kontroly laboratórnych prác vychádzajú zo štatistického zhodnotenia skúšobných súborov a umožňujú určiť nielen presnosť stanovenia, ale aj pravdepodobný zdroj odchýlky.

Vnútna kontrola je priebežná a umožňuje identifikovať subjektívne chyby laborantov, príp. prístrojovej techniky. Sledujú sa pri nej



Obr. 3. Příklad dokumentácie deformovanej zóny ortoruly vo vrte JA-17 v Hornom Jířetě pri Mostě (podľa Šamalíkovéj, 1984). a — neusporiadané kaolinitové rezíduum, hĺbka 132 m, zväčš. 240×, b — zóna s vermikulárnymi kryštálmi kaolinitu, hĺbka 139 m, zväčš. 2350×, c — zóna deformovaného kaolinitu s ohľadením, hĺbka 150 m, zväčš. 2400×, d — rtg krivka kaolinitu

Fig. 3. Example of documentation of the deformed zone in orthogneiss, JA-17 drilling in Horný Jířetín near Most (according to Šamalíková, 1984). a — disordered kaolinite residue, 132 m depth, magn. $\times 240$, b — zone with vermicular kaolinite crystals, 139 m depth, magn. $\times 2350$, c — zone of deformed kaolinite with polishment, 150 m depth, magn. $\times 2400$, d — X-ray record of kaolinite

výsledky súbežných laboratórnych stanovení jednotlivých laborantov v rámci laboratória. Nevyžaduje špeciálne kontrolné vzorky a kontrolné hodnoty sa získavajú náhodným výberom z bežných stanovení jedného laboranta. Schéma postupu kontroly je na obr. 4.

Vonkajšou kontrolou možno posúdiť kvalitu práce laboratórií ako celku, identifikovať nedostatky v presnosti metódy, chyby skúšobnej techniky, zistiť nejednotnosť vo výklade použitej metódy, vylúčiť vplyv nehomogenosti kontrolného materiálu a upozorniť na subjektívne chyby laborantov alebo skúšobnej techniky. Pri takejto kontrole sa vo viacerých laboratóriách spracúvajú osobitne odobraté tzv. kontrolné vzorky zeminy a získané výsledky sa štatisticky porovnávajú (Modlitba, *ibid.*). Schéma vonkajšej kontroly je na obr. 5.

Geofyzikálne metódy v inžinierskej geológii

Aplikáciou geofyzikálnych metód pri hodnotení základových pomerov v poddolovaných územiach sa zaoberá príspevok J. Müllerovej — K. Müllera (*ibid.*). V ostatnom čase sa v oblasti Ostravy zvýšil počet havárií budov vyvolaných nerovnomerným sadaním povrchu terénu nad vyťaženými podzemnými priestormi. Úlohou inžinierskej geológie je zistiť priebeh porúch vyvolaných banskou činnosťou, ich dosah na povrchu terénu a prognózovať vývoj denivelácie územia v súvislosti s plánovaním rozvoja mesta.

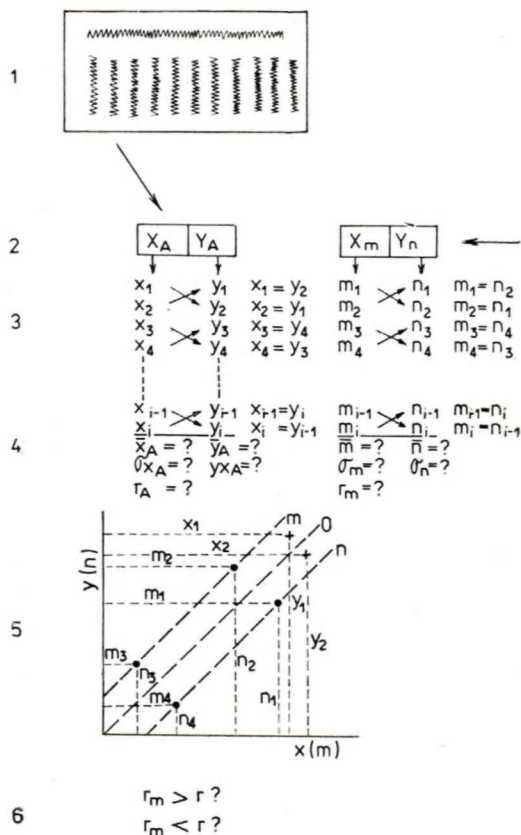
Ako ukazujú výsledky autorov, pri riešení úloh tohto druhu možno efektívne využiť hlavne odporovú metódu v modifikácii odporového profilovania a vertikálneho odporového sondovania. Z výsledkov merania obidvoch metód možno pomocou izoohm vytvoriť kontinuálny vertikálny model zmien v horninovom prostredí, ktoré by mohli byť vyvolané deformáciami vyťažených priestorov.

Matematickoštatistické metódy

Využívanie matematických metód v inžinierskej geológii je už dnes bežné, a to najmä pri určovaní priemerných výpočtových alebo iných charakteristík zemín a hornín, pri určovaní stupňa rovnorodosti inžiniersko-geologických celkov a pod.

Ako ukazujú príspevky L. Iglárovej — P. Wagnera (*ibid.*) a I. Vojtašku (*ibid.*), mož-

nosti matematických metód nie sú vyčerpané. Veľké rezervy sú pri matematickom modelovaní.



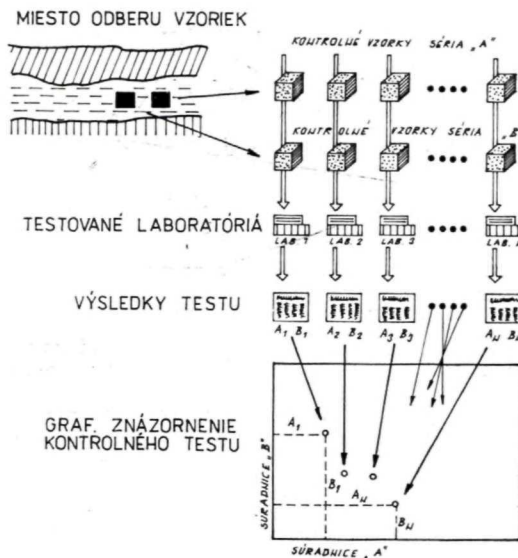
Obr. 4. Schéma vnútorného kontrolného testu laborantov (podľa Modlitbu, 1984). 1 — pracovný záznam laboranta „A“, 2 — výber štat. súborov X_A, Y_A , 3 — zostavenie základného porovnávacieho súboru x_m, y_n so znakmi m a n , 4 — vyčíslenie priemerných hodnôt smerodajných odchýlok a koeficienta korelácie, 5 — zostavenie grafu, vymedzenie pásma povolenej odchýlky priamkami m a n , 6 — vyhodnotenie výsledkov testu

Fig. 4. Scheme of internal control tests of laboratory technicians (according to Modlitba, 1984). 1 — working record of the "A" technician, 2 — selection of statistical sets X_A, Y_A , 3 — layout of the basic comparison set x_m, y_n with operation codes m and n , 4 — calculation of average values of standard deviations and correlation coefficients, 5 — graphical plot assembly, determination of permissible deviation zone by m and n straight lines, 6 — evaluation of test results

vaní geologického prostredia, digitalizácii archívnych údajov a pri využívaní počítačov na zostrovanie mnohoúčelových a špeciálnych máp a profilov.

L. Iglárová — P. Wagner (ibid.) demonštrujú analytický spôsob určovania modulu deformácie hornín v masíve. Ako podklad na analýzu využívajú v teréne zistené parametre puklinovosti a z nich určujú základné štruktúrne charakteristiky masívu, a to blokovitosť a rozvoľnosť. Na základe zohľadnenia vplyvu porušenia horninového masívu a modulov deformácie horninového materiálu určených v laboratóriu odporúčajú metódu na pomerne presné orientačné určenie modulu deformácie vyčleneného masívu.

I. Vojtaško (ibid.) opisuje základné črty multivariačných štatistických metód a možnosti ich využitia v inžinierskej geológii. Na základe vlastných skúseností a poznatkov z literatúry upozorňuje na nevyhnutnosť správne aplikovať štatistické metódy vzhľadom na rozličné geologické podmienky a rozmanité účely. Vhodne aplikované metódy umožňujú zvýšiť spoľahlivosť informácie, znížiť riziko chybných záverov a sú nepostrádateľné pri hodnotení komplexných súborov dát. V inžinierskej geológii sú perspektívne najmä metódy multivariačnej štatistiky s viacerými premennými, pretože dovoľujú skúmať prírodné prostredie ako celok. Patrí medzi ne aj faktorová analýza, diskriminačné analýzy a združovacia analýza. Ale aj napriek ich perspektívnosti treba varovať pred ich rutinným a nekritickým používaním. Autor upozorňuje na to, že multivariačné metódy plnia



Obr. 5. Schéma vonkajšieho kontrolného testu (podľa Joudena, upravená Modlitbom, 1984)

Fig. 5. Scheme of external control test (according to Jouden modified by Modlitba, 1984)

najmä funkciu porovnávania štatistických parametrov apriórnych modelov s implicitným odhadom ich platnosti.

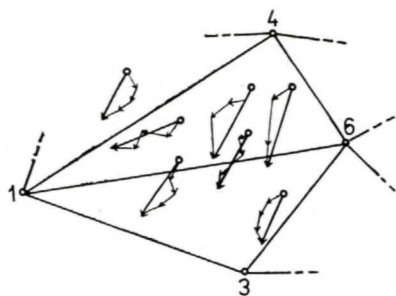
Geodetické metódy

V inžinierskej geológii sa používajú metódy sledovania svahových pohybov registrujúce kvantitatívne zmeny bodu len voči jeho najbližšiemu okoliu. Získané údaje spravidla ne-



Obr. 6. Náčrt pevných bodov — zosuvné územie Hlohovec — Sereď (podľa Abeloviča, 1984)

Fig. 6. Sketch of fixed points in the Hlohovec — Sereď landslide area (according to Abelovič, 1984)



Obr. 7. Znáznornenie pohybu bodov osadených na zosuvnom území pomocou zložených vektorov (podľa Abeloviča, 1984)

Fig. 7. Representation of point movements situated in the landslide area using composite vectors (according to Abelovič, 1984)

poskytujú komplexný pohľad na vývoj svahového pohybu. Úplnejšie výsledky dávajú geodetické metódy, ktoré sledujú priestorové zmeny bodov, a tak umožňujú vytvoriť model pohybu v celej záujmovej oblasti.

J. Abelovič (ibid.) na príklade priestorových zmien 49 bodov na lokalite Hlohovec — Sereď (obr. 63) demonštruje geodetické sledovanie pohybu svahových sedimentov. Pohyb bodov vyjadrujú vektory rozložené do horizontálneho a vertikálneho smeru (obr. 7), ďalej je vyjadrená ich orientácia v priestore a zmena v čase. Táto forma znázorňovania pohybu bodov dáva veľmi dobrý prehľad o dynamike procesu nielen v okamihu merania, ale aj v časovej súvislosti. Pomerne hustá sieť meraných bodov dovoľuje znázorňovať pohyb aj izočiarami vertikálneho alebo horizontálneho pohybu.

Záver

Postupný rozvoj a osvojovanie nových metód v inžinierskej geológii, a to hlavne v smeroch súvisiacich s vlastnosťami skalných hornín a zemín. Osobitne treba hodnotiť úsilie preniknúť do problematiky vnútornej stavby hornín a tam hľadať východisko na

objasňovanie a prognózovanie väčšiny ich inžinierskogeologických charakteristík.

Na druhej strane treba kriticky konštatovať stagnáciu vývoja v metódach súvisiacich s vrtnou technikou plytkých vrtov a s odborm vzoriek zeminy a hornín. Z hľadiska praxe, ale aj výskumu je to prioritná problematika a v niektorých prípadoch dokonca limituje kvalitu, efektívnosť a spoľahlivosť masového inžinierskogeologického výskumu.

Záverom upozorňujeme na to, že kým vo využívaní geofyzikálnych a geotechnických metód je intenzívna inovácia, nemožno to tvrdiť o najbežnejších metódach dokumentácie a zisťovania inžinierskogeologických charakteristík, testovania indexových parametrov v dennej výskumnej a prieskumnej praxi. Práve tu sú stále veľké možnosti zlepšovať efektívnosť prieskumu, lebo súčasná technika umožňuje zhotovovať zariadenia na automatickú registráciu, zhromažďovanie a spracúvanie údajov získaných pri hodnotení vlastností hornín v ťdkryvoch, pri hodnotení vrtných jadier atď. Veľmi užitočná by tu bola najmä kombinácia vhodných registračných zariadení, snímačov so záznamovým zariadením a vreckovým elektrickým počítačom.

Pri všetkých týchto úvahach o využívaní novej techniky a metód neslobodno zabudnúť na to, že predmetom prieskumu zostáva geologické prostredie a nijaká nová technika alebo metóda nemôže nahradiť dobré poznanie zákonitostí geologických procesov a použitie poznatkov pri programovaní, vykonávaní racionálnej interpretácie výsledkov všetkých našich výskumných a prieskumných operácií (Matula, 1982).

Recenzoval R. Ondrášik

LITERATÚRA

- Inžinierskogeologické sympóziu k 60. narodeninám prof. Ing. Milana Matulu, DrSc. 1984. Žilina, IGHP. 297 s.
Matula, M. 1982: Engineering geological studies in mountainous areas. 4th IAEG Congress, Panel report. New Delhi.