

SÚHRNNÝ REFERÁT

Inžinierskogeologické hodnotenie horninového prostredia

MILAN MATULA, RUDOLF ONDRAŠIK

Katedra inžinierskej geológie PFUK, Zadunajská 15, 811 00 Bratislava

(4 obr. a 3 tab. v texte)

Doručené 26. 10. 1981

Инженерно-геологическая оценка горной среды

Формой общего отчета приведены самые важные результаты исследования горной среды в Чехословакии, полученные в инженерно-геологических отделах вузов и Чехословацкой Академии Наук в гг. 1976—1980. Среди них выделяется разработка методологических принципов инженерно-геологической оценки горной среды на основе геолого-генетического и системного подхода, предложения рационализации и унификации методов исследования и разведки и также результаты систематического исследования основных свойств метаморфических пород Словакии и лессов Трнавской возвышенности.

Engineering geological evaluation of the rock environment

This general report presents the most important results of the rock environment research carried out at engineering geological departments of Czechoslovak universities and the Czechoslovak Academy of Sciences in the years 1976—1980. A special comment concerns the methodological principles of the engineering geological evaluation of rock environment according to geological-genetic and systems approaches, proposals for rationalization and unification of research and investigation methods and finally the results of a systemic research of the principal properties of metamorphic rocks from Slovakia and loess from Trnavská pahorkatina (hilland).

Horninové prostredie je objektom bádania mnohých vedných disciplín. Na rozdiel od iných vied sú predmetom inžinierskogeologického výskumu hornín najmä geolo-

gické charakteristiky v ich vzťahu s fyzikálno-technickými vlastnosťami hornín, s ich správaním v spolupôsobení so stavbami, ako aj s technologickými charakte-

istikami ich spracúvania (tab. 1). Ony rozhodujú o spôsobe sadania stavieb, o stabilite svahov, o filtračnom úniku vody z nádrží, o stálosti kvality stavebno-dekoračného kameňa, o raziteľnosti hornín pri tunelovaní, o obrúsiteľnosti kamennej dlažby, ako aj o rade iných otázok, ktoré inžinierska geológia musí objasňovať v záujme úspešnosti ľudských zásahov do horninového prostredia.

Hlavné smery výskumu horninového prostredia

V súlade s potrebami praxe sa výskum zameral na tri hlavné okruhy problémov: 1. rozpracúvanie základných prístupov hodnotenia horninového prostredia; 2. racionalizácia a unifikácia metód zisťovania dôležitých charakteristík horninového prostredia a ich hodnotenia; 3. systematický výskum vlastností horninového prostredia a ich inžinierskogeologické hodnotenie.

1. Pri hodnotení horninového prostredia sa vychádza z predpokladu, že všetky vlastnosti hornín navzájom súvisia a formovali sa v úzkej závislosti od rozličných procesov ich vzniku a postgenetického vývoja. Preto je geologicko-genetický prístup základným princípom inžinierskogeologického hodnotenia horninového prostredia. Z početných geologických atribútov vyberáme len tie, ktoré podstatným spôsobom a najbezprostrednejšie ovplyvňujú sledované fyzikálno-technické charakteristiky, teda v prvom rade mechanické vlastnosti. Informáciu o mnohých aspektoch fyzikálno-technických vlastností obsahuje litologický názov horniny; ďalším dôležitým atribútom je aj minerálne zloženie, charakter a stupeň postgenetických premien hornín, ich štruktúrno-textúrne vlastnosti, ale najmä charakter a pevnosť väzieb medzi štruktúrnymi

prvkami hornín. Aj keď charakteristiky, ako je vek, stratigrafická alebo regionálna príslušnosť horniny, poskytujú mimoriadne cenné informácie na interpretačné operácie, v inžinierskej geológii ich nepokladáme za základné atribúty.

Jednotlivé litologické typy majú charakteristické fyzikálno-technické vlastnosti, ako to dokumentujú napr. moduly deformácie rozličných typov hornín na obr. 1.

Charakteristické sú zmeny zloženia litologických typov hornín a zmeny fyzikálno-technických vlastností pri ich premene v rozličných štádiách petrogenézy. Ako príklad uvádzame zmeny zloženia a modulu deformácie andezitov v rozličných štádiách petrogenézy (obr. 2).

Podobne sa dajú zostaviť vzťahy medzi stupňom premien a fyzikálnymi vlastnosťami hornín, ako to napr. pre stupeň zvetrania stredoslovenských pyroxenických andezitov dokumentuje tab. 2.

Genetický prístup sa netýka iba hornín ako horninového materiálu, ale aj horninových masívov. Napr. profil kôry zvetrania na obr. 3 je charakteristický pre andezity. Podobne existuje závislosť medzi štruktúrou a litologickým zložením hornín, ako to dokumentujú výsledky regionálneho výskumu typov blokovitosti masívov rozličných hornín (obr. 4).

Genetický prístup je najdôležitejší v prvých etapách prieskumu, keď sú poznatky o masíve iba všeobecné, ale nestráca význam ani v ďalších etapách prieskumu, keď sa vyčleňujú rovnorodé celky a zisťujú charakteristiky ich fyzikálno-technických vlastností (Ondrášik — Trávníček — Wagner in Inžinierskogeologické ..., 1980, s. 145—195).

Všade, kde sa moderná veda pri komplexnom štúdiu najrozmanitejších prírodných a sociálnych javov stretáva s ťažkosťami vyplývajúcimi z ich zložitosti, sa veľmi výhodne používa systémový prístup.

V systémovom skúmaní sa analyzovaný

Najdôležitejšie charakteristiky horninového prostredia
Main rock environment characteristics

Tab. 1

Charakteristika + len skalných hornín * len zemín		Metóda zisťovania	
		v teréne	v laboratóriu
1	2	3	4
Látkové	Litologický typ horniny	Opisom	Mikroskopovanie, chemické analýzy a i.
	Minerálne zloženie horniny	Opisom	Mikroskopovanie, chemické analýzy a i.
	Charakter a stupeň premien	Opisom	Mikroskopovanie, chemické analýzy a i.
	Charakter vody (najmä jej agresivity) Charakter plynu		Chemické analýzy Chemické analýzy
Štruktúrne	Tektonické a úložné pomery	Opisom, meraním	Výpočtom /1
	Dutinovitost +Puklinovitost Pórovitosť (aj +mikrotrhlinovitost) Zrnitost	Opisom, meraním Opisom, meraním Opisom, meraním	
	Blokovitost	Opisom	Meraním, *sitami a *hustomerom
	Vzájomné usporiadanie zŕn a blokov +Rozvoľnenosť *Utiahnutosť Charakter väzieb zŕn a blokov	Opisom, meraním fotogrametricky Opisom a meraním Opisom a meraním Penetračné, SPT /2 Opisom	Opisom a meraním, mikroskopovanie
	Nerovnorodosť a anizotropia	Opisom a meraním	Opisom, mikroskopovaním Opisom, meraním výpočtom /1
	Reliéf	Opisom a geodetickým meraním	
	Úroveň hladiny Zvodnenie	Meraním Opisom, meraním, čerpacími skúškami Opisom, meraním	
	Obsah plynov Vlhkosť +Nasiakavosť Stupeň nasýtenia vodou		Meraním /1 Meraním /1 Meraním /1
	Medza tekutosti a plasticity Merná hmotnosť Objemová hmotnosť		Meraním /1 Meraním /1 Meraním /1
		*Kalibrovaným pieskom, balónmi, rádiometricky	
Filtračné	Priepustnosť na vodu	Nalievacie, čerpacie, tlakové skúšky	Priepustomerom, oedometrom (triaxiál)
	Priepustnosť na vzduch Smer a rýchlosť prúdenia vody	Merania, farbiace, izotopové a i. skúšky	+Vzdušným priepustomerom

1. pokračovanie tab. 1

1	2	3	4
Pevnostné	+Pevnosť v prostom tlaku +Pevnosť v tahu Súdržnosť a uhol trenia +Tvrdosť dynamická +Tvrdosť statická	Point load test /2, /3 Šmykové skúšky, zafažovacia skúška /1 Schmidtovým kladivom /1, /2	Skúška v lise /1 Priamy a nepriamy ťah /2 brazílska /1 Triaxiálne šmykové +strihové skúšky /1 Schmidtovým kladivom /1, /2 skleroskopom Kuželová /2, razníková (Šrajner) /2
Deformačné	Statické moduly Dynamické moduly *Stlačitelnosť Napätosť	Zafažovacie dosky, /1 ploché lisy, radiálne zafažovacie skúšky /1, presimetria Geoseizmické merania Obvrtávanie /1, kompenzačná /1 ploché lisy /1,	Skúška v lise Oedometrická
Stálostné	Koeficient zmäkčenia Koeficient namrzavosti Chemická odolnosť Kašovitost, rozpadavosť Napučavosť a zmražiteľnosť Dlhodobé pretváranie, creep		Cykly nasýtenia Cykly vymrazovania Chemické skúšky Skúšky /1 Skúšky /1 Špeciálne lisy
Technologické	Rozpojiteľnosť (vrtateľnosť, plu- hovateľnosť, rýpateľnosť, drvi- teľnosť, rezný odpor) +Obrusnosť +Otlkavosť Zhutniteľnosť Odpor proti penetrácii Injektovateľnosť	Opisom, skúškami Skúšky zhutniteľnosti Penetračné skúšky Injekčné pokusy	Los Angeles /1 Deralov bubon a i. *Proctor
Optic- ké	Farba Polarizácia a i.	Opisom	Opisom, mikroskopovaním
Gravi- metrické	Merná tiaž Objemová tiaž Tiažové zrýchlenie	Gravimetrickou geofyzikou	Výpočtom, meraním
Elektro- magne- tické	Elektrický odpor Koeficient absorpcie Susceptibilita	Odporovou a mag- netometrickou geofyzikou	Meraním
Seizmo- akus- tické	Objemový akustický odpor Rýchlosť šírenia akustických vln	Seizmickou geofyzikou	Seizmoakustické merania ultrazvukom /2, /3

2. pokračovanie tab. 1

1	2	3	4
Ter- mické	Tepelná vodivosť Tepelná kapacita Geotermický stupeň	Termickou geofyzikou	Meraním
Rádio- metrické	Expozičná rýchlosť Expozičná výdatnosť	Rádiometrickou geofyzikou	Meraním

/1 — štandardizované medzinárodné odporúčania (ISRM)

/2 — expresné — rýchle metódy

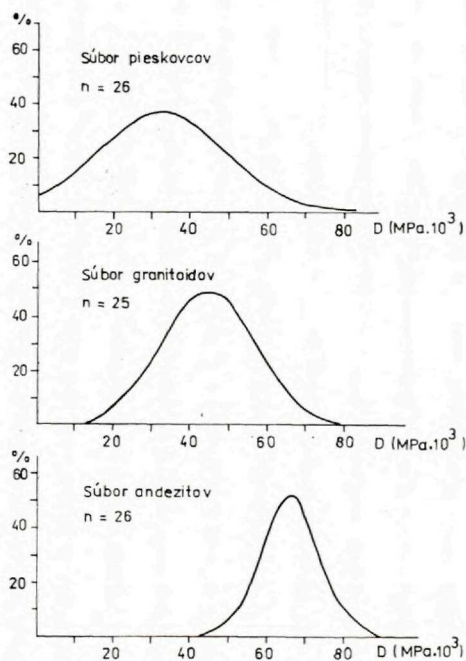
objekt chápe ako istá množina prvkov (subsystémov), ktorých vzájomná súvislosť a interakcia podmieňujú vlastnosti aj celkový charakter tejto množiny. Nie sú teda v prvom rade vnútorné vlastnosti samotných prvkov vytvárajúcich systém, ale predovšetkým sieť ich vzájomných vzťahov a väzieb, ktoré tvoria organizáciu celku — štruktúru systému.

Systémová teória je dnes už dosť dobre rozpracovaná a jej metodologické princípy i metodické postupy majú veľký význam pre rozvoj špeciálnych vied. Systémový prístup, ktorý sa realizuje v systémovej analýze, možno veľmi racionálne využiť aj v štúdiu horninového prostredia.

Na princípoch systémového prístupu rozpracovali na Katedre inžinierskej geológie v Bratislave metodologické základy riešenia výskumu hornín a horninových masívov tak, aby bolo možno pravdivo a výstižne opisovať rôznorodé vlastnosti hornín a podávať ich kvantitatívne vyjadrené zhodnotenie čo najviac použiteľné na exaktné prognózy rozličných prejavov správania hornín. Na rovnakých princípoch v spolupráci s Katedrou inžinierskej geológie Moskovskej štátnej univerzity vypracovali taxonomickú klasifikáciu masívov skalných a poloskalných hornín (Matula in Inžinierskogeologické..., 1981,

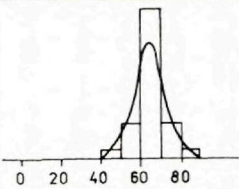
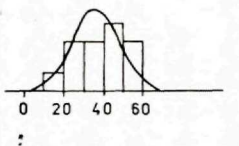
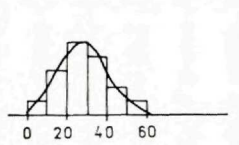
s. 3—22).

2. Podmienkou úspešného inžiniersko-



Obr. 1. Krivky početnosti zostavené z hodnôt modulu deformácie pieskovcov, granitoidov a andezitov (podľa Wagnera — Boroša in Ondrášik et al., 178, príl. 3)

Fig. 1. Histograms of deformation moduli of sandstones, granites and andesites (according to Wágner — Boroš in Ondrášik et al., 1978)

Krivka počtosti hodnôt modulu deformácie D ($\text{Pa} \cdot 10^3$)	Typ horniny	Hlavné minerály	Štruktúra	Štruktúrne vzťahy
	N Pyroxenicko-amfibolický andezit	Plagioklas, pyroxén, amfibol, olivín, biotit, vulkanické sklo	Jemnoporfyrická, hyalopilitická až pilotaxitická základná hmota, výrastlice do 2 mm	Veľmi pevne kryštalizačné
	A Autometamorfovaný andezit	Plagioklas, amfibol, pyroxén, granáty, Rozložené vulkanické sklo	Stredno- až hruboporfyrická hyalopilitická granuloaná základná hmota, výrastlice 10 - 20 mm	Kryštalizačné, oslabené rekryštalizáciou, granuláciou a zvýšenou pórovitosťou
	P Postvulkanický premenený andezit (propylit)	Plagioklas, pyroxén, amfibol, biotit, Silne rozložené vulkanické sklo, Sericit, chlorit, epidot, zeolit	Jemnoporfyrická, pilotaxická a intersertálna základná hmota, výrastlice do 1 - 2 mm	Kryštalizačné, oslabené rekryštalizáciou, zvýšeným obsahom sekundárnych minerálov a pórovitosťou

Obr. 2. Zmeny zloženia a modulu deformácie andezitov v rozličných štádiách petrogenézy (podľa Matulu — Hyánkovej, 1976)

Fig. 2. Changes in composition and values of deformation moduli of andesites in various stages of their petrogenetic development

geologického hodnotenia horninového prostredia je získanie komplexných geologických, fyzikálno-technických a technologických charakteristík. Na to používame kombináciu metód výskumu (tab. 3).

Osobitné problémy vznikajú v súvislosti so spôsobom zisťovania najdôležitejších fyzikálno-technických vlastností, najmä pevnostných, deformačných, filtračných a stálostných. Tzv. klasické laboratórne skúšky deformability alebo pevnosti v tlaku a v tahu na veľmi presne opracovaných vzorkách v lisoch sú nielen veľmi prácne, ale aj zdĺhavé a nákladné. V oveľa väčšej miere to, prirodzene, platí ešte o zložitejších poľných metódach, ako je napr. zafažovacia, šmyková skúška, deformačná skúška v štólňi a pod. Preto sa

otázka racionalizácie skúšobných metód a technik stala jednou z najaktuálnejších v mechanike hornín aj v inžinierskej geológii.

Racionálnosť a technicko-ekonomická efektívnosť prieskumných prác závisí od (Matula in Inžinierskogeologické ..., 1980, s. 7—12):

a) správneho výberu obmedzeného počtu parametrov charakterizujúcich vlastnosti horninového prostredia do takej miery, že možno s úspechom riešiť otázky vyplývajúce z účelu prieskumného stupňa projektovej prípravy;

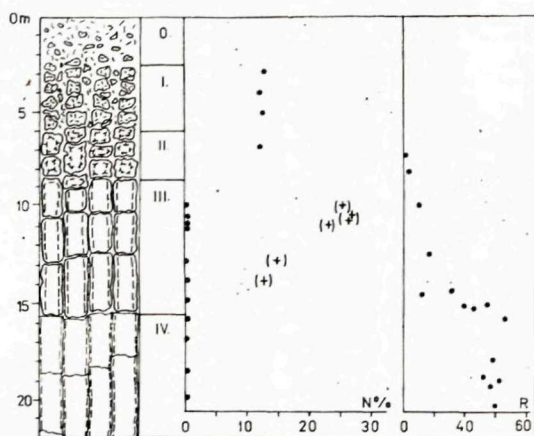
b) správneho využitia jednoduchých, lacných a rýchlych metód zisťovania týchto vlastností hornín;

c) účelného spôsobu operácií so získa-

*Vzťah stupňa zvetrania a vlastností stredoslovenských andezitov
(podľa Ondrášika, 1976, 1979)*
*Relationship of the weathering degree and some physico-technical properties
of Middle Slovakian andesites (according to Ondrášik, 1976, 1979)*

Tab. 2

Stupeň zvetrania	Makroskopický vzhľad a farba	Objemová hmotnosť (g . cm ⁻³)	Pórovitosť n (%)	Váhová nasiakavosť n (%)	Rýchlosť ultrazvuku v (m . s ⁻¹)	Pevnosť v prostom tlaku f (MPa)	Modul pretvárnosti E (GPa)
Nezvetrané	Tmavosivá farba, svetlosivé živce so skleným leskom, čierne pyroxény, lesklé, veľmi ťažko sa rozbíja kladivom	2,65—2,7	0,4—3	0,2—1	4250—5100	150—300	45—90
Čiastočne navetrané	Sivá farba s hrdzavým povlakom po puklinách, špinavobiele živce s matným leskom, čierne pyroxény s matným leskom, ťažko sa rozbíja kladivom	2,5 —2,65	3—6	1—2,5	3750—4250	100—150	30—45
Slabo zvetrané	Hrdzavosivá farba, špinavobiele živce s matným až zemitým leskom, hnedočierne pyroxény zemitého lesku, ľahko sa rozbíja kladivom	2,3 —2,5	6—12	2,5—5	3000—3750	60—100	20—30
Intenzívne zvetrané	Sivohrdzavá alebo sivá farba, špinavobiele alebo hrdzavé zemité živce, hrdzavé zemité pyroxény, láme sa v ruke	2,0 —2,3	12—24	5—10			
Úplne zvetrané	Hnedosivá farba, z pôvodnej horniny zachovaná iba štruktúra, všetky minerály rozložené, láme sa v prstoch	1,5 —2,0	24—45	10—30			



Obr. 3. Grafická dokumentácia časti steny kameňolomu s ukazovateľmi stupňa zvetrania pyroxenického andezitu

N — hmotnostná nasiakavosť, R — odrazová výška Schmidtovho nasiakavého kladiva typu M (v zátvorkách sú hodnoty zvetraného obalu balvanov), O — prachovitá hrdzavohnedá hliňa s úlomkami intenzívne až úplne zvetraného andezitu — horizont reziduálnych hlien, I — úplne zvetrané svetlosivé a hrdzavé úlomky andezitu (3–10 cm) s hlinitou výplňou — horizont úplného zvetrania, II — intenzívne zvetrané hrdzavé úlomky andezitu (5–10 cm) s jadrami iba čiastočne nezvetranými — horizont intenzívneho zvetrania, III — balvany slabo zvetraného tmavosivého andezitu (50–70 cm) s intenzívne až úplne zvetraným obalom mocnosti 1–10 cm — horizont slabého zvetrania, IV — tmavosivý andezit so stĺpcovitou odlučnosťou čiastočne navetraný iba pozdĺž puklín — horizont čiastočného navetrania

Fig. 3. Graphic documentation of a quarry wall showing the degree of weathering of pyroxene andesites

N — absorption (by weight), R — rebound hardness by Schmidt's hammer, type M (in parentheses are stated the values of weathered boulder coatings), O — silty loam of rusty brown colour, with fragments of intensely to completely weathered andesite — horizon of residual soil, I — light grey and rusty fragments of andesite (3–10 cm), completely weathered, with fillings of loam — completely weathered horizon, II — rusty fragments of andesite (5–10 cm), intensely weathered, with slightly weathered cores — intensely weathered horizon, III — boulders of moderately weathered andesite, dark grey colour, 50–70 cm, with intensely to completely weathered coating, 1–10 cm in thickness — moderately weathered horizon, IV — dark

brown andesite, columnar cleavage, slightly weathered along joints — slightly weathered horizon

nými dátami pri ich zhromažďovaní a spracúvaní.

Výber najvhodnejších postupov pri získavaní charakteristík vlastností hornín závisí najmä od toho, aká stránka povahy horninového prostredia sa chce poznať, s akou podrobnosťou a do akej hĺbky sa plánuje a môže skúmať, aký čas a prostriedky sú k dispozícii atď., t. j. od typu technického diela a stupňa jeho projekcie. Rozhodujúci vplyv pritom majú aj miestne geologické pomery (t. j. zložitost systému, ktorého parametre treba analyzovať).

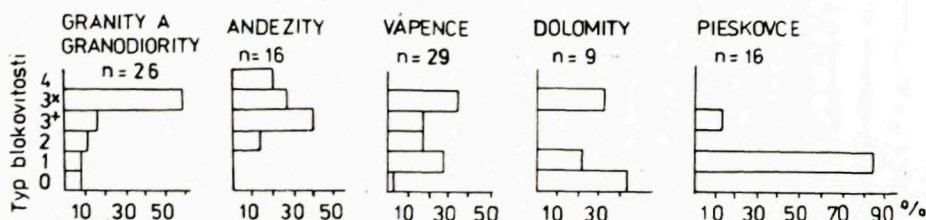
Všeobecne sa uprednostňuje terénny prieskum pred laboratórnymi metódami. Ale je to odôvodnené a správne iba pokiaľ, pokiaľ sa pod terénnym prieskumom nerozumejú len veľmi náročné skúšky, tzv. skúšky in situ klasického typu (zaťažovacie, šmykové, čerpacie a i.). Terénny výskum zahŕňa:

a) Veľmi dôkladné terénne pozorovania, meranie a mapovanie (a to je vôbec najefektívnejšia metóda poznávania prirodzenej povahy horninových masívov, bez ktorej ani tie najdokonalejšie skúšky in situ nemožno správne navrhnúť a interpretovať);

b) dôkladné a komplexné hodnotenie vrstov a iných umelých odkryvov;

c) cieľavedomé použitie expresných a nepriamych metód (vrátane geofyzikálnych) poskytujúcich priestorovo vhodné rozložené množstvo indexových charakteristík, ktoré výstižne (aj keď nepriamo, na základe korelácií) osvetľujú povahu pevnosti, stlačiteľnosti či nepriepustnosti horninových mas.

Aj keď sa uprednostňujú terénne zistenia charakteristík horninových masívov, nemožno podceňovať ani význam zisťova-



Obr. 4. Prehľad typov blokovitosti skalných a poloskalných hornín na Slovensku v zmysle typologickej klasifikácie M. Matulu a R. Holzera (1976). Tvary blokov jednotlivých typov: 0 — nepravidelné, zväčša polyedrické, 1 — lavicovité až doskovité, 2 — kvádrovité až hranolovité — podmienené dvoma dominantnými systémami puklín, 3+ — pravouhlé až hranolovité, podmienené tromi dominantnými systémami puklín, 3* — kosohľé, 4 — stĺpcovité (podľa Holzera — Hyánkovej in Ondrášik — Holzer — Hyánková, 1980)

Fig. 4. Survey of types of blockiness of solid and semi-solid rocks in Slovakia according to the typologic classification by M. Matula and R. Holzer (1976). Forms of blocks of individual types: 0 — irregular, mostly polyhedral, 1 — platy to laminar, 2 — parallelipipedic to prismatic, caused by two dominant sets of discontinuities, 3+ — orthogonal parallelipipedic to prismatic, caused by three dominant sets of discontinuities 3* — oblique, 4 — columnar (according to Holzer — Hyánková in Ondrášik — Holzer — Hyánková, 1980)

nia charakteristík horninového materiálu laboratórnymi metódami vrátane petrografického výskumu.

Pri zostavovaní plánu pozorovaní a meraní, pri projektovaní počtu vrtov a ban-ských diel, geofyzikálnych profilov, skúšok in situ, odberu vzoriek atď. má veľký význam správny výber miest a podmienok vykonania prieskumných úkonov zamera-ných na získanie potrebných charakteris-tík horninového prostredia. Aj táto voľba sa v každom jednotlivom prípade musí na jednej strane podriaďovať cieľu dosiahnuť čo najreprezentatívnejší obraz celkových po-merov a na druhej strane treba dodržať z hľadiska maximálnej úspornosti a cieľave-domosti.

Na základe teoretických úvah a praktic-kých skúseností o tom, ako dosahovať sú-bor charakteristík najvhodnejšími postup-mi, sa nevyhnutne dochádza k pojmu racionálny komplex metód inžinierskoge-ologického prieskumu.

Hlavnou zásadou je efektívnosť tech-nického postupu na dosiahnutie cieľa naj-rýchlejšie, najhospodárnejšie, ale spoľah-

livo a účinne. Preto musí byť voľba racio-nálneho komplexu metód založená hlavne na týchto princípoch (Matula in Inžinier-skogeologické..., 1980, s. 7—72):

a) Využitím erudície a skúseností treba zostaviť vždy čo najobjektívnejšiu pracov-nú hypotézu v podobe predbežného mode-lu štruktúry, hlavných parametrov vlast-ností a základných črt správania skúma-ného geologického objektu. Vysoká efek-tívnosť sa dosahuje zúročením predchá-dzajúcej erudície a empirie, a to dokonca aj bez technických prác.

b) Technické práce treba používať vždy len ako prostriedok na preverenie, po-tvrdenie (alebo vyvrátenie), spresnenie a kvantifikáciu pracovného modelu (tak sa dosahuje efektívnosť čo do rozsahu a umiestnenia prieskumných úkonov).

c) Dobré zvažovať možnosti, prednosti aj nedostatky jednotlivých prieskumných a výskumných metód pri uplatňovaní v rozličných inžinierskogeologických po-meroch z hľadiska rozličných účelov prieskumu. Treba pritom brať do úvahy informatívnu hodnotu a možnosti inter-

Prehľad metód výskumu horninového prostredia
Methods of rock environment research

Tab. 3

Metódy zisťovania			Zistené charakteristiky
Terénny výskum	Mapovanie a dokumentácia	Zakresľovanie geologických pomerov a opis geologických charakteristík	Litologický typ hornín Charakter a stupeň premien (predbežné určenie) Zvodnenie Úroveň hladiny podzemnej vody Tektonické a úložné pomery Puklinovitosť a pórovitosť Charakter väzieb štruktúrnych prvkov Nerovnorodosť Blokovitosť Rozvoľnenosť Reliéf
	Terénne skúšky	Pevnostnodeformačné skúšky Skúšky priepustnosti Technologické skúšky Zisťovanie objemu a hmotnosti	Statické moduly Uhol vnútorného trenia a súdržnosť masívu Smer a rýchlosť prúdenia podzemnej vody Stlačiteľnosť Technologické charakteristiky Objemová hmotnosť
	Geofyzikálne metódy	Elektrické Magnetometrické Gravimetrické Termické Seizmoakustické Rádioaktívne	Elektrický odpor Koeficient absorpcie Susceptibilita Tiažové zrýchlenie Tepelná vodivosť Tepelná kapacita Geotermický stupeň Objemový akustický odpor Rýchlosť šírenia akustických vln Expozičná rýchlosť Expozičná výdatnosť Dynamické moduly Objemová hmotnosť Rovnorodosť
Laboratórny výskum	Mineralogicko-petrografické rozborý vzoriek hornín	Makroopis Mikroopis Identifikačné metódy na stanovenie minerálov	Litologický typ Charakter a stupeň premien (presné určenie) Minerálne zloženie Mikroštruktúrne charakteristiky
	Chemické analýzy	Chemické analýzy hornín Chemické analýzy vzoriek vody	Spresnenie litologického typu a minerálneho zloženia Chemizmus vody
	Skúšky vlastností hornín na vzorkách	Fyzikálno-technické skúšky Technologické skúšky	Kompletné fyzikálno-technické a technologické charakteristiky

pretácie získaných výsledkov na riešenie danej úlohy.

d) Nájst vždy správny spôsob najúčelnejšej kombinácie a racionálneho dopĺňania rozmanitých metód a postupov a rýchle a lacné dosiahnutie optimálnej úrovne informačných dát potrebných na riešenie úlohy.

Úsilie o racionalizáciu metód a postupov pri zisťovaní vlastností hornín stimuluje mnohé fakty, ktoré podmieňujú aj trendy rozvoja moderného inžinierstva, mechaniky hornín a inžinierskej geológie.

Prvý trend predstavujú zvyšujúce sa nároky na rozsah aj kvalitu údajov. Úzko súvisí s úsilím dosiahnuť čo najobjektívnejší opis modelov horninových masívov. Druhý trend predstavuje využívanie možností teoretickej a technickej interdisciplinárnej spolupráce. Značí úsilie operovať čo najobjektívnejšími parametrami rozličných vlastností. Najlepšie sa tieto trendy prejavujú v prechode od kvalitatívneho a často až intuitívneho opisu základových pomerov, ešte nedávno skôr ilustrovaných ako charakterizovaných ojedinelými a len lokálne platnými kvantitatívnymi údajmi o pevnosti, deformabilite či priepustnosti horninového masívu, ku kvantifikovaným metódam fyzikálneho a matematického modelovania, ktoré namiesto jednotlivých dát vyžadujú celé siete alebo priestorové sústavy matíc číselných parametrov vybraných mechanických alebo filtračných vlastností.

Druhý naznačený trend využívania predností interdisciplinárnej spolupráce, adopcie a adaptácie metód a techniky vyvinutých v iných odboroch možno ilustrovať v rámci nášho výskumu na príklade pozemnej fotogrametrie, ktorej aplikáciu na inžinierskogeologické účely rozpracovali kolektívy Ústavu geológie a geotechniky ČSAV v Prahe, Katedra fotogrametrie SVŠT v spolupráci s Katedrou inžinierskej geológie PFUK v Bratislave a

geofyziky. Jej aplikáciou sa zaoberal kolektív Katedry ložiskovej a prieskumnej geológie VŠB v Ostrave-Porube.

Pozemná fotogrametria sa dá výhodne využiť pri dokumentácii prirodzených a umelých odkryvov a skalných svahov. Na základe dvojice fotogrametrických snímok, ktorých vyhotovenie je nenáročné na technické prostriedky, a najmä na čas, možno analyzovať a veľmi presne priestorovo interpretovať povrch odkryvu a sieť významných štruktúrnych a textúrnych prvkov viditeľných na povrchu odkryvu (Adler — Holzer in Inžinierskogeologické..., 1981, s. 77—82). Rýchlosť tejto metódy umožňuje zachytiť situáciu v rozličných časových intervaloch a zhodnotiť aj zmeny, ktoré v masíve v danom časovom intervale nastali. Výhodne sa dá využiť aj pri dokumentácii a hodnotení ťažobných stien povrchových lomov. Séria fotogrametrických snímok vyhotovených počas postupu ťažby v stene lomu umožňuje aj dobrú extrapoláciu štruktúrnych a textúrnych prvkov vnútri masívu (Dudek in Inžinierskogeologické..., 1981, s. 71—76).

Geofyzika ponúka sériu expresných metód na výskum nerovnorodosti oslabených zón horninových masívov. Najširšie použitie z nich majú elektrické a seizmoakustické metódy. Tie, ale aj ďalšie metódy pri citlivej spolupráci geofyzikov a geológov poskytujú veľmi cenné informácie o masíve nielen v blízkosti prieskumných diel, ale aj tam, kde prieskumné diela chýbajú (Müller — Müllerová — Hofrichterová in Inžinierskogeologické..., 1980, s. 196—220, Inžinierskogeologické..., 1981, s. 62—70). To umožňuje výhodne využívať geofyzikálne metódy vo všetkých etapách prieskumu na situovanie prieskumných diel, nákladných terénnych skúšok in situ a ich interpretáciu.

Veľa pozornosti sa venuje ďalšiemu skúmaniu vhodnosti používania tzv. expresných metód v laboratórnom výskume

a ich korelácii s klasickými skúškami pevnosti v tlaku a deformability horninového materiálu. Úsilie o doplnenie (ale nie nahradenie!) klasického súboru skúšok novými, rýchlymi a lacnými metódami vychádza z poznania, že všetky vlastnosti hornín sú istým spôsobom navzájom podmienené a závislé. Pri rýchlych masových skúškach sa zisťujú také charakteristiky, ktoré s pevnostnými a deformačnými najtesnejšie súvisia. Pri použití takýchto charakteristík „ako indexových“ možno znížiť počet nákladných pevnostnodeformačných skúšok, účelnejšie ich situovať aj lepšie interpretovať.

Väčšina horninových masívov sa vyznačuje veľkou priestorovou premenlivosťou fyzikálno-technických vlastností, čo sa prejavuje aj veľkým rozptylom zisťovania hodnôt. S týmto faktom sa ráta v geotechnike aj stavebníctve, v baníctve i tunelárstve a ako kompenzácia tejto „prírodnej nepresnosti“ sa používajú rozličné koeficienty bezpečnosti. Za takejto situácie je využívať korelačné vzťahy a naše výpočty v týchto odboroch nielen oprávnenou, ale prakticky aj jedinou racionálnou cestou výpočtu.

Doteraz sa dostatočne nedoceňuje význam, aký v racionalizácii štúdia horninového prostredia (materiálu hornín i horninových masívov) má systematická inžinierskogeologická pasportizácia a zostavenie inžinierskogeologických atlasov hornín, ktoré sa najmä v dobre preskúmaných územiach môžu stať veľmi vhodným doplnkom regionálnych štandardov a noriem.

Pod pasportizáciou rozumieme sústavné zhromažďovanie, evidovanie a dopĺňanie údajov o skúmaných horninových typoch pre potreby dlhodobého bádania, porovnávania, klasifikácie, typizácie a i. Pasport je dokument, na ktorom sa unifikovaným spôsobom zaznačujú všetky základné údaje získané o hornine pri jej inžiniersko-

geologickom výskume a testovaní. Údaje sa zhromažďujú podľa zvoleného postupu (rozvedeného podrobne v manuáloch) na záznamových listoch, pasportových kartách, perfokartách alebo v podobe pasportizačných katalógov, atlasov a pod.

Veľké výhody, ktoré má systematická pasportizácia hornín a prípadne s ňou spojená unifikácia hodnotenia a vyjadrovania jednotlivých parametrov i súhrnnej charakteristiky hornín, podnietila už mnohých špecialistov zostavovať pasportizačné katalógy alebo pasportizačné systémy. Autori týchto návrhov spravidla narážali na takéto ťažkosti: rozptýlenosť údajov po archívoch a literatúre, nejednotnosť skúšobných postupov a hodnotenia skúšok v rozličných laboratóriách, neúplnosť zoznamu testovaných parametrov, slabá reprodukovateľnosť a porovnateľnosť výsledkov, nedostatok nacionálnych a medzinárodných štandardov unifikácie v testovaní vlastností hornín i v ich klasifikácii atď. Úloha prekonať takéto aj iné prekážky ostáva v programoch odborných spoločností a organizácií inžinierskej geológie, mechaniky hornín a i. jednou zo základných.

Pre naše potreby takýto pasport zostavili na Katedre inžinierskej geológie v Bratislave už pred desiatimi rokmi (Matula — Hyánková, 1972) a odvtedy sa vykonáva systematická pasportizácia hornín. V spolupráci s Katedrou geotechniky VUT Brno sa pôvodný pasport doplnil a prakticky overil i na výsledkoch terénnych skúšok mechaniky hornín (Holzer — Hyánková — Trávníček in Inžinierskogeologické..., 1980, s. 188—190).

Pasportizácia a zostavovanie atlasov hornín úzko súvisia s normalizáciou a unifikáciou skúšok vhodne vybraného súboru charakteristík základných vlastností hornín, ako aj s problémami typizácie (typologickej klasifikácie) hornín neporušeného

materiálu, ako aj horninových materiálov in situ.

Návrh unifikácie terénnych pevnostno-deformačných skúšok vypracovali na VUT Brno (Trávníček in Inžinierskogeologické..., 1981, s. 35—44). Zároveň v nadväznosti na typologickú klasifikáciu horninových masívov (Matula — Holzer, 1976) prehodnotili výsledky predchádzajúcich terénnych pevnostnodeformačných skúšok.

Jedným zo základných praktických cieľov typizačnej klasifikácie hornín v inžinierskej geológii je vyčlenenie homogénnych oblastí v masíve, v ktorých sú základné charakteristiky sledovaných vlastností rovnaké. Takýto postup je základom na zostavovanie rozličných modelov (napr. máp a rezov, matíc a pod.), stanovenie racionálnych systémov vzorkovania, laboratórnych i poľných skúšok, ako aj na priestorovú interpretáciu získaných výsledných hodnôt. Na základe takéhoto prístupu sme na katedre inžinierskej geológie riešili otázku objektivizácie hodnotenia fyzického stavu skalných horninových masívov (Ondrášik — Wagner in Inžinierskogeologické..., 1981, s. 23—34).

Len na základe správne charakterizovaných inžinierskogeologických modelov reálneho horninového prostredia možno spoľahlivo hodnotiť aj správanie jednotlivých častí v súvislosti s technickými zásahmi, ako aj spoľahlivo pritom používať metódy inžinierskogeologickej analógie. Iba na tomto podklade možno projektovať a kalkulovať inžinierske zásahy v súvislosti s racionálnym využívaním aj ochranou horninového prostredia vrátane projektovania technicko-melioratívnych operácií.

3. Systematický výskum vlastností horninového prostredia a ich inžinierskogeologické hodnotenie je dlhodobá úloha a vyžaduje skúsené pracovné kolektívy dobre vybavené technickými prostriedkami. Potrebný je jednak rozsiahly terénny a laboratórny výskum a jednak zber všet-

kých dostupných informácií o študovaných typoch hornín a o skúsenostiach s inžinierskymi zásahmi v ich prostredí, resp. s ich využitím ako stavebných materiálov. Získané výsledky umožňujú vypracovávať korelačné vzťahy medzi charakteristikami a zovšeobecnenie bohatých skúseností z praxe. Sú nevyhnutným podkladom ako pre rozmanité normy, tak aj pre hodnotenie územných celkov a horninových masívov na rozličné účely a na používanie metódy analógie.

Z tohto hľadiska sú veľmi cenné napr. poznatky o vlastnostiach spráše Trnavskej pahorkatiny, najmä v súvislosti s jej preliačivosťou, získané na Katedre geotechniky SVŠT v Bratislave (Šajgalík — Rybárová — Vámoš in Inžinierskogeologické..., 1981, s. 53—61).

Príkladom systematického výskumu skalných hornín sú výsledky získané na Katedre Inžinierskej geológie UK v Bratislave. Na základe pasportizácie metamorfovaných hornín sa získali cenné poznatky o štruktúre horninových masívov a o fyzikálnotechnických vlastnostiach horninového materiálu (Holzer — Hyánková in Inžinierskogeologické..., 1981, s. 45—52). Komplexne spracovali aj dlhoročné výsledky vlastného výskumu neovulkanitov a doplnili ich o skúsenosti praxe. Prezentovali ich aj na Kongrese IAEG v Paríži 1980 (Matula — Hyánková — Ondrášik, 1980).

Záver

Z uvedeného je zjavné, že sa riešiteľské kolektívy zo škály problémov, ktoré treba v súvislosti s hodnotením horninového prostredia na projektovú prípravu investičnej výstavby a jeho racionálneho využívania riešiť, zamerali na najdôležitejšie. Vysoko treba oceniť fakt, že aj keď sa do výskumu horninového prostredia zapojili pre-

važne iba pracovné kolektívy vysokých škôl s minimálnym prístrojovým vybavením a s obmedzenou pracovnou a časovou kapacitou, zachytili moderný trend vývoja. V spolupráci s praxou aplikovali získané poznatky pri riešení praktických úloh rozvoja národného hospodárstva, a tak ovplyvnili aj našu prax.

Recenzoval O. Tavoda

LITERATÚRA

- Inžinierskogeologické hodnotenie hornín a a horninových masívov. 1981. [Záverečná správa.] *Manuskript — Geofond Bratislava*. 240 s.
- Inžinierskogeologické problémy horninového a krajinného prostredia v investičnej výstavbe. 1981. *Zbor. prednášok z celoštátnej konferencie na Štrbskom Plese 21.—23. apríla 1981. Košice, Dom Techniky ČSVTS*, 294 s.
- Matula, M. — Hyánková, A. 1972: Zostavenie inžinierskogeologického atlasu hornín Slovenska. [Ciastková etapová správa za rok 1971.] *Manuskript — Geofond Bratislava*. 63 s.
- Matula, M. — Holzer, R. 1976: Návrh metodiky inžinierskogeologickej typizácie horninových masívov. *Acta geol. geogr. Univ. Comen., Geol.*, 29, s. 29—57.
- Matula, M. — Hyánková, A. 1976: Inžinierskogeologické vlastnosti magmatických hornín a ich petrogenetická podmienenosť. *Acta geol. geogr. Univ. Comen., Geol.*, 31, s. 5—21.
- Matula, M. — Hyánková, A. — Ondrášik, R. 1980: Influence of petrogenetic features on the physical properties of the West Carpathian andesites. *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol. (Krefeld)*, 22, pp. 245—252.
- Ondrášik, R. 1976: The influence of Weathering on the engineering properties of andesites. *Geol. zbor. Geologica carpath. (Bratislava)*, 27, pp. 331—346.
- Ondrášik, R. — Šamaliková, M. 1979: Inžinierskogeologický výskum zvetrávania hornín. In: *Inžinierskogeologické štúdium horninového prostredia a geodynamických procesov*. Bratislava. Veda, vyd. SAV, s. 77—93.
- Ondrášik, R. et al. 1978: Metódy hodnotenia fyzického stavu horninových masívov. [Etapová správa za roky 1976—1977.] *Manuskript — Geofond Bratislava*. 43 s.
- Ondrášik, R. — Holzer, R. — Hyánková, A. 1980: Sledovanie puklinovitosti horninových masívov. In: *Stanovenie a sledovanie inžinierskogeologických vlastností zemín a hornín*. Žilina, IGHP, s. 3—18.