

Porušenosť hornín a jej inžinierskogeologické hodnotenie

MILAN MATULA¹, PAVEL LIŠČÁK²

¹Katedra inžinierskej geológie PF UK, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava

²Geologický ústav D. Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava

(Doručené 27. 9. 1989)

Rock mass deterioration and its engineering geological evaluation

The most difficult problems in construction of dams, tunnels and other pretentious structures are always connected mainly with rock masses deteriorated due to various "defects", such as intense folding, faults, karst cavities, weathered or altered rock. The authors present a methodologically justified approach to engineering geological investigation and evaluation of faulted rock mass. Definition and classification of faults is suggested for a practical use in engineering geology taking into consideration the three-dimensional character and zonal structure of fault rock bodies. They are described as: 1. fault gouge and breccia; 2. zone of cataclasites and mylonites; 3. zone of increased jointing; 4. zone of injected fault dikes and sillas; 5. zone of altered rock within fault bodies.

Úvod

Porušenosťou hornín v inžinierskej geológii a v geotechnike nazývame tie zmeny pôvodného charakteru spevnených sedimentárnych, magmatických a metamorfovaných hornín, ktoré:

1. zhoršujú pevnostné, deformačné, hydraulické a stálostné vlastnosti horninových masívov,
2. zvyšujú ich nerovnorodosť, anizotropiu a zložitosť poľa napätosti,
3. podstatne a spravidla nepriaznivo ovplyvňujú ich správanie pri inžinierskych prácach a v interakcii s technickými dielami.

Idé teda o druhotné postgenetické zmeny, ktoré vznikli v už spevnených horninách vplyvom pôsobenia rôznych endogénnych i exogénnych geologických procesov (tektonických, postvulkanických a i.) porušujúcich (degradujúcich, zhoršujúcich) pôvodne lepšie inžinierskogeologické vlastnosti a fyzický stav hornín. Preto sa takéto poruchy v stavebníctve i v baníctve často označujú ako „defekty“ horninového prostredia, základových pôd alebo podložia stavieb.

Základné typy porušenosť hornín:

- zvrásnenie sedimentárnych súvrství, ale aj metamorfovaných, prípadne magmatických hornín;
- puklinovitosť skalných masívov, ktorá im dáva charakter diskretného látkového prostredia;
- zlomové poruchy rôznych hierarchických úrovní rozčleňujúce horninové masívy zemskej kôry na rôzne bloky a kryhy;
- skrasovanie horninových masívov zložených z rozpustných hornín (vápence, dolomity, sadrovce, halit a iné);
- alterácia (zmena) zloženia hornín zvetrávaním,

hydrotermálnymi a inými procesmi (ale nie metamorfózou).

Porušenosť hornín spôsobuje prvoradé problémy v inžinierskogeologickom výskume i prieskume a ich včasné vyriešenie je základnou podmienkou racionálneho rozhodovania pri projektovaní a pri úspešnej realizácii technických diel. Moderná inžinierska geológia preto musí čoraz väčšiu pozornosť venovať poznávaniu a hodnoteniu predovšetkým týchto degradovaných oblastí horninového prostredia, pričom do popredia vystupujú úlohy správneho inžinierskogeologického definovania a účelného klasifikovania typov porušenosť hornín, ich praktickej identifikácie, opisu a hodnotenia z hľadiska inžinierskogeologického významu pre rozličné technické diela.

V tejto práci sa zaoberáme zlomovými poruchami, ktorým sa doteraz nevenovala dostatočná systematická pozornosť, aj keď práve tieto poruchy majú v horninovom prostredí spravidla kľúčový význam.

Pojem zlomovej poruchy a používanie termínov

V literatúre sa stretávame s množstvom definícií zlomových (disjunktívnych) deformácií hornín i s veľkým počtom termínov, ktoré sa v tejto súvislosti používajú. Nie všetky sú vhodné pre potreby inžinierskej geológie, pretože nevyjadrujú tie štruktúrne osobitosti horninového prostredia, ktoré nás zaujímajú.

Úplný prehľad terminológie a rôznych definícií zlomovej tektoniky podávajú vcelku nekoordinovane rôzne geologické slovníky, učebnice a príručky tektoniky i štruktúrnej geológie. V ďalšom uvádzame aspoň niektoré z nich.

V Náučnom geologickom slovníku (ČSAV 1960) sú

zlomy definované ako dislokácie čiže poruchy pôvodných úložných pomerov geologických telies s prerušením vrstevného sledu; patria k nim poklesy, prešmyky, vrásové a strižné prešmyky a príkrovy. Zlomové systémy sú súbory zlomov (poklesov a prešmykov) približne rovnakého smeru, ktorými sú súvrstvia rozdelené na rad rôzne poklesnutých a vyzdvižnutých krýh (stupňovité zlomy, priekopové prepadliny, hrasty).

V americkej literatúre sa zlom (fault) chápe ako plocha alebo pásmo (zone) porušenia hornín, pozdĺž ktorej sa uskutočnilo premiestnenie od niekoľkých cm až po viac km (Glossary of Geology, American Geological Institute 1972). Podobne definuje zlom (ako poruchovú plochu alebo zónu, pozdĺž ktorej nastalo merateľné posunutie) aj Dennis (1979).

V sovietskej terminológii (Geologičeskij slovar, Nedra 1978) sa zlom (razlom) definuje ako veľká disjunktívna dislokácia zemskej kôry zasahujúca do veľkej hĺbky a dosahujúca značnú dĺžku i šírku. Zlomy obyčajne vznikajú medzi rôznorodými tektonickými štruktúrami a vyvíjajú sa veľmi dlho, pričom pohyby sa striedavo zintenzívňujú alebo zoslabujú. Súčasne sa uvádza širší pojem zlomovej poruchy (razryv, razryvnoje narušenie), ktorá predstavuje tektonické poruchy sprevádzané vzájomným premiestnením od seba odtrhnutých častí geologických telies. Medzi zlomovými poruchami sa podľa polohy zlomovej špáry (šev) a premiestnených krýh rozlišujú horizontálne posuny (sdvig), poklesy (sbroj), prešmyky a násuny (vzbros, nadvig), príkrovy (šarjaž, tektoničeskij pokrov) a ich rôzne kombinácie.

Výstižná definícia zlomových porúch ako trojrozmerných telies je v Encyklopedickom slovníku geologických vied, II (Academia 1983), v zmysle ktorej zlom je špára disjunkcie geologického telesa. Zlomová špára je ohraňovaná dvoma zlomovými plochami, ktoré tvoria k zlomu prilahlé strany krýh. V širšom zmysle je zlomová špára akejkolvek veľkosti, v užšom zmysle a pri bežnom používaní termínu ide o zlomovú špáru s makroskopicky zreteľným pohybom (prípadne s pohybom významným vzhľadom na rozmery porušovaného telesa). Dôležitý pre nás je aj pojem, ktorý sa tu uvádza pod heslom zlomová štruktúra, ktorá sa skladá zo zlomových špár i k nim prilahlých vzájomne premiestnených horninových blokov a krýh. Vonkajšie hranice zlomovej štruktúry sú veľmi konvenčné, neurčité a ťažko sledovateľné a sú dané dosahom ešte zreteľného disjunktívneho porušenia. Zlomová štruktúra sa často vyskytuje spolu s vrásovou. Tie isté alebo podobné definície uvádzajú Jaroš a Vachtl v učebnici štruktúrnej geológie (1980).

Uvedená definícia zlomovej poruchy ako trojrozmerného prvku horninového masívu je veľmi blízka potrebám inžinierskej geológie. Na základe mnohoročného inžinierskogeologického výskumu horninových masívov a hodnotenia ich štruktúrnej povahy ako najvhodnejšiu pre účely inžinierskej geológie odporúčame takúto definíciu:

Zlomová porucha (zlom) je diskontinuita v hornino-

vom masíve, ktorá vznikla porušením celistvosti hornín (t. j. disjunkciou) ťahovými, tlakovými alebo šmykovými silami, pričom vzájomným premiestnením (dislokáciou) zlomom oddelených blokov sa vytvorila dislokačná špára, spravidla vyplnená dislokačne premenenými horninami. Zlomovou poruchou postihnuté časti horninových blokov boli pri vzájomnom premiestňovaní v rôznom stupni porušené mechanickým rozdrvením, rozvalcovaním, zbridičnatím a rekryštalizáciou, plastickým zvrásnením, intenzívnym rozpukaním ap. Tieto tektonicky porušené horniny vytvárajú osobitný druh horninových masívov zlomových porúch (masívov disjunktívov), dosahujúcich šírku (mocnosť) niekoľko metrov až stoviek metrov.

Pod pojmom zlomových porúch v inžinierskej geológii rozumieme tú hierarchickú kategóriu disjunktívnych štruktúr s. s., ktoré majú povahu:

- a) *drobných zlomových dislokácií* bežne sa vyskytujúcich v odkryvoch horninových masívov, niekoľko desiatok až stoviek metrov dlhých, s jednoduchou zlomovou špárou, spravidla bez rozsiahlejšieho rozdrvenia hornín;
- b) *lokálnych zlomov* viac sto metrov až km dlhých, niekoľko metrov širokých, so zložitou zlomovou špárou;
- c) *regionálnych zlomov a zlomových pásiem* dosahujúcich obyčajne šírku mnoho desiatok až stoviek metrov, spravidla s viacerými zlomovými špármi, sledovateľných na dĺžke viac desiatok km.

Nezahŕňame sem hlbinné a planetárne zlomy (lineamenty, oslabené pásma ap.), ktoré majú rádovo väčšie rozmery (stá a tisíce km dĺžky, desiatky až stovky km hĺbky), odlišný charakter porušenia horninových mas (široké zóny intenzívneho prevrásnenia, vyvalcovania, tektonickej melanže, dynamometamorfného zbridičnatia, prieniky magmatických hornín a p.) a vyžadujú aj osobitné prístupy hodnotenia. Od puklín sa zlomové poruchy odlišujú väčšinou rozmermi dĺžky, hĺbky i hrúbky a charakteristickým premiestnením (dislokáciou) oddelených horninových blokov po zlomovej špáre.

Inžinierskogeologický význam zlomových porúch

Zlomové poruchy vytvárajú v horninovom prostredí diskontinuity vyšších poriadkov, zvyšujú jeho diskretnosť, rozčleňujú zemskú kôru na množstvo horninových krýh a blokov najrozličnejších veľkostí a tvarov, oddelených nepravidelnou sieťou zlomových systémov (planetárnych, regionálnych a lokálnych zlomov i drobných zlomových dislokácií). Tým vzniká veľká geologicko-štruktúrna *nerovnorodosť a anizotropia* s ďalekosiahlymi dôsledkami pre inžiniersku geológiu, geotechniku, tunelárstvo a baníctvo. Zlomové poruchy pritom predstavujú skutočné *defektné zóny* s intenzívne degradovanými fyzikálno-mechanickými vlastnosťami hornín, ktoré pri budovaní technických diel spôsobujú veľké ťažkosti. Dislokačnou premenou hornín zlomových porúch, postihnutých navyše druhotnými alteráciami (pre ktoré sú v hlboko porušených masívoch veľmi vhodné pod-

mienky), sa podstatne zhoršujú deformačné, pevnostné i stálostné vlastnosti základových pôd, znižuje sa ich *únosnosť*, zvyšuje *stlačiteľnosť*. Pri zakladaní ťažkých a náročných objektov, napr. betónových priehrad, výškových a vežových stavieb, treba odstraňovať málo pevné a silne stlačiteľné výplne zlomových špár, ktoré majú charakter poloskalných hornín a často až zemín (dislokačný íl a brekcia, hydrotermálne a zvetraním rozložené tektonity ap.). Ostatné typy treba upravovať melioratívno-sanačnými technológiami.

Zlomové poruchy ako významné zóny oslabenia a súčasne i rozhrania medzi spravidla látkovo a štruktúrne odlišnými masívmi nie sú iba faktorom zvýšenia nerovnorodosti inžinierskogeologického charakteru prostredia. Majú veľký vplyv aj na dynamiku a pretváranie horninových masívov pri pôsobení vonkajších síl, čo výrazne ovplyvňuje najmä formovanie napätostno-deformačných režimov a riešenie stabilitných úloh. Zlomové špáry sa uplatňujú v režime poľa napätosti najmä tým, že prednostne umožňujú deformačné pohyby a uvoľňovanie napätí (vo veľkých štruktúrach často i s prenikavými seizmickými efektmi). Ako predisponované polohy oslabenia majú zlomové špáry určujúci vplyv na *stabilitu masívov* v prírodných svahoch i v stenách komunikačných zárezov, stavebných jám, základov pre zaviazanie krídiel priehradových múrov, v stropoch a stenách podzemných diel.

Zlomové poruchy usmerňujú filtračné *prúdenie podzemnej vody*, jej akumuláciu v horninových masívoch, ako aj prednostnú drenáž podzemných nádrží a výstup vody z hlbokých zvodnených štruktúr k povrchu. Prejavuje sa tu odlišná priepustnosť rôznych zón zlomovej štruktúry: najvyššia je spravidla v zónach zvýšenej puklinovitosti na okrajoch porúch, kým intenzívne rozdrvené, rozmelnené a alterované výplne zlomových špár svojou nízkou priepustnosťou spôsobujú v obehú vôd bariérový efekt a vzdúvanie. Nebezpečné býva súfózne rozrušovanie výplní zlomových špár najmä v hydrotechnickom a podzemnom staviteľstve. V karbonátových a iných rozpustných horninách zlomových štruktúr sa prednostne rozvíjajú *krasové procesy* a podzemné formy krasu. Zlomové poruchy sú cestami *výstupu artézskych, minerálnych a termálnych vôd*, vyznačujúcich sa spravidla vysokou agresivitou. Sú aj významnými komunikáciami pre vodné roztoky a plyny súvisiace s postvulkanickými procesmi, pôsobením ktorých došlo k retrográdnej premene hornín nielen v rozsahu disjunktívnych masívov, ale aj za ich hranicami (napr. propylitizácia); bývajú vážnym ohrozením najmä pre náročné stavby priehrad a podzemných diel.

Prítomnosť a charakter zlomových porúch vo veľkej miere ovplyvňuje *technickú a ekonomickú efektívnosť* stavieb. Rozhodujúcu úlohu hrá pri výbere staveniska alebo trasy, pri voľbe optimálnej kompozície objektov, stavebných postupov, konštrukcií a spôsobu zakladania. Spravidla vyžaduje technicko-melioračné a asanačné práce s príslušným dopadom v stavebných nákladoch; tie

bývajú oveľa väčšie, ak zlomové poruchy boli identifikované, zhodnotené a technicky zohľadnené neskoro (niekedy až počas výstavby).

Základné typy a klasifikácie zlomových porúch z hľadiska inžinierskej geológie

Z veľkého počtu klasifikácií zlomových porúch (geometrických a morfologických, genetických, kinematických, dynamických a i.) pre inžiniersku geológiu majú praktický význam najmä tie, v ktorých sú obsiahnuté aspekty hodnotenia rôzneho spôsobu a stupňa porušenia hornín a z toho vyplývajúceho zhoršenia mechanických vlastností horninových masívov zlomových porúch (disjunktívov).

Najviac sa využívajú *kinematické* klasifikácie, ktoré sú založené na analýze dislokačného pohybu (na rozdiel napr. od geometrických, založených iba na konečnej polohe krýh). Kinematická klasifikácia zlomových porúch poskytuje aj značnú genetickú informáciu o podmienkach a dynamike vzniku zlomov. Aj *morfologická* klasifikácia má v sebe genetické údaje, rozdeľujúc zlomy na tie, ktoré vznikli v podmienkach tlakových zón (prešmyky, násuny, horizontálne posuny, príkrovy), a tie, ktoré sa sformovali v ťahových zónach litosféry (ťahové zóny, poklesy). *Dynamické* klasifikácie zlomov, založené na dešifrovaní napätostno-deformačných režimov ich vzniku a vývoja, sú zatiaľ nedostatočne rozpracované.

Na základe analýzy smeru relatívneho pohybu vzájomne premiestnených krýh vzhľadom na dislokačnú špáru rozlišujeme tieto typy *zlomových porúch* (*Encyklopedický slovník geologických vied*, 1983; Jaroš a Vachtl, 1980):

1. *zlomové poruchy ťahové* (zlomy odtrhnutia, trhliny),
2. *zlomové poruchy tlakové*,
3. *zlomové poruchy strižné* (strižné, šmykové zlomy),
- a) poklesové zlomy, poklesy, b) prešmykové zlomy, prešmyky, c) horizontálne posuny,
4. *medziformačné* (medzivrstevné) zlomové poruchy a príkrovy.

Základnú charakteristiku vzniku a pretvorenia horninového prostredia týchto základných typov zlomových porúch uvádzame v prehľadnej tab. 1.

V prírode sa vyskytujú kombinácie rôznych typov zlomových pohybov a nimi generovaných zlomov (napr. prešmykovo-zdvihové zlomy, poklesovo-posunové zlomy a i.). Jeden typ zlomovej poruchy sa často mení na iný, a to tak v jeho laterálnom priebehu, ako aj v zmene hĺbky zlomových porúch a pásim. Významný vplyv na to má sklon a zakrivenie zlomovej špáry (resp. šmykovej plochy zlomu); hrúbka i charakter zlomovej špáry i celej porušenej oblasti masívu bývajú u toho istého zlomu priestorovo veľmi premenlivé.

Pre inžiniersku geológiu má podstatný význam hodnotenie vnútornej zonálnej stavby zlomových štruktúr, najmä zloženia a stavu horninových typov, ktoré sa tam

TAB. 1

Klasifikácia zlomových porúch zostavená s použitím prác Jaroša a Vachtla (1980), Spencera (1981), Belousova (1985)
 Classification of fault dislocations compiled from data by Jaroš and Vachtl (1980), Spencer (1981) and Belousov (1985)

Typ zlomovej poruchy	Dynamické podmienky vzniku a orientácia v poli napätosti	Charakter zlomovej špáry	Poznámky
1. Ťahové zlomové poruchy, zlomy odtrhnutia, trhliny	Vznikajú v podmienkach ťahových zón kolmo na minimálne hlavné napätie σ_3 (ťah).	Oddelené kryhy sa premiestnili od seba v smere kolmom na zlomovú špáru (dosahuje max. šírku až niekoľko km). Vzniknutý prázdny priestor býva vyplnený najčastejšie produktami zvetrávania, hydrotermálnej premeny a vulkanickej činnosti. Bývajú silne zvodené.	Patria k najväčším zlomovým štruktúram zemskej kôry. Stretávame sa s nimi v miestach ťahového režimu zemskej kôry. Spravidla bývajú iniciátorom rozvoja strižných porúch
2. Tlakové zlomové poruchy	Vznikajú v podmienkach prechodnej relaxácie napätí vystriedanej fázami nasledujúceho stlačenia masívu v smere kolmom na σ_1 (tlak).	Zlomovú špáru predstavujú drvené alebo stylolitizované horniny. Často ich sprevádza prízlomová kliváž a žilná výplň puklín.	Vytvárajú niektoré hlbinné zlomové štruktúry. Sú pomerne zriedkavé.
3. Strižné (šmykové) zlomové poruchy	Pohyb kryh nastal posunom po plochách kosých k σ_1 (max) a σ_3 (min) po plochách maximálneho šmykového napätia.		
3 a) Poklesy	Nadložná kryha sa pohybuje po sklone zlomovej plochy; dochádza k rozšíreniu zemskej kôry. Vertikálne pôsobiace σ_1 (max) odtláča susedné bloky od seba, σ_2 a σ_3 (min) sú horizontálne.	Sklony zlomových špár sú obyčajne strmé (spravidla 60° a viac). Zóny podrvenia sú obyčajne úzke, materiál je zriedka mylonitizovaný. Tektonické íly a brekie sa vyskytujú v menšom rozsahu ako v prešmykoch a horizontálnych posunoch. Pomerne časté sú stopy vlečenia a tektonické zrkadlá	Sú rozšírené najmä nad kupovitými štruktúrami, nad miestami výzdvihu zemskej kôry a tiež v pásmach rozširovania zemskej kôry. Systémy protiklonných poklesov vytvárajú blokovú štruktúru prepادلín a hrastov.
3 b) Prešmyky (zdvihy, vlastné prešmyky, násuny až presuny)	Nadložná kryha sa pohybuje nahor proti sklonu zlomovej plochy; dochádza ku skráteniu zemskej kôry. σ_1 (max) je horizontálne, σ_3 (min) je vertikálne.	Sklony zlomových špár sú obyčajne menšie ako 60°. Zóny podrvenia bývajú obyčajne relatívne široké; intenzita porušenia je väčšia ako u poklesov. S postupom do hĺbky možno pozorovať prechod zóny kakiritov až kataklazitov k mylonitom až ultramylonitom.	Systémy prešmykov vytvárajú kryhovo-šupinové alebo vrásovo-šupinové štruktúry, resp. štruktúry prešmykových hrastov a priekop.
3c) Horizontálne posuny	Pohyb prebieha v horizontálnej rovine, σ_1 (max) a σ_3 (min) sú horizontálne, σ_2 je vertikálne.	Sklony zlomových špár sú obyčajne vertikálne, s veľkým hĺbkovým dosahom (aj niekoľko desiatok km). Horniny týchto porúch bývajú silne dynamometamorfne porušené (spravidla mylonitizované). Šírka poruchového pásma môže presiahnuť niekoľko sto až tisíc metrov.	V zemskej kôre vytvárajú výrazné švy lineárneho priebehu, dokonca i v oblastiach s veľkou disekciou reliéfu.

nachádzajú. Tu sa však naráža na veľký nedostatok jednotnej terminológie a absenciu všeobecne uznaných klasifikácií dislokačne metamorfovaných hornín (bližšie pozri kap. Metódy identifikácie a opisu zlomových porúch).

V inžinierskej geológii a geotechnike sa čoraz viac pre-

sadzujú také klasifikácie horninových masívov zlomových porúch, ktoré sú založené na hodnotení litologického zloženia, štruktúry a fyzického stavu dislokačnými premenami postihnutých hornín.

Klasifikácia hornín, ktoré tvoria výplň zlomových porúch, t. j. tektonitov, predložená Markovom (1977), je

napr. založená na granulometrickom triedení produktov drvenia, prehnetenia a zbridičnenia (razvalcevanija) hornín pri dislokačnom pohybe i v dôsledku prípadných nasledujúcich hydrotermálnych a zvetrávacích druhotných zmien (tab. 2).

Jestvujú i ďalšie klasifikácie, v ktorých sa prihliada na osobitosti charakteru masívov zlomových porúch; patria sem v prvom rade rôzne špeciálne a často jednoúčelové geotechnické, tunelárske a banícke zatriedňovacie systémy.

Mnohoúčelovú inžinierskogeologickú klasifikáciu masívov zlomových porúch, založenú na štvorstupňovom taxonomickom systéme vyčleňovania disjunktívnych masívov, vypracoval kolektív Golodkovskaja, Matula a Šaumjan (1980, 1987) a modifikoval Matula a Ondrášik (1988). Podľa nej sa postupne vydeľujú celky štyroch hierarchických úrovní:

- a) regionálne zlomové pásma,
- b) lokálne zlomové poruchy,
- c) zóny rovnakého typu tektonitov,
- d) podzóny rovnakého stupňa porušenia celistvosti hornín.

Popri priestorových rozmeroch zlomových porúch sa tu teda berie do úvahy zloženie hornín (litologický typ tektonitov v zmysle ČSN 72 1001), ako aj stupeň mechanického porušenia ich celistvosti (t. j. diskontinuitas). Uvádza sa rozlišovanie charakteristiky jednotlivých hierarchických jednotiek masívov zlomových porúch i obsah doplnkovej informácie, ktorú pri inžinierskogeologickom opise nemožno zanedbávať.

a) *Regionálne zlomové pásma* – veľké zlomové štruktúry so zložitou zonálnou stavbou zlomových špár s niekoľkými dislokačnými plochami a k nim priliehajúcimi

zónami tektonitov. Rozmery: dĺžka n. 10 km, šírka n. 100 m. Doplnkové charakteristiky: morfokinematický typ (pokles, prešmyk, posun atď.); morfológia poruchy i reliéfu, ktorý sa na nej vytvoril: história vzniku a vývoja poruchy, recentná aktivita, príp. seizmičnosť; zonálnosť, zloženie a celistvosť hornín zlomovej štruktúry; hydrogeologické a inžinierskogeologické pomery.

b) *Lokálne zlomové poruchy* – s jednoduchšou zonálnosťou dislokačnej špáry. Rozmery: šírka n. 10 m až n. 1 m, dĺžka n. 100 m až n. 1 km. Doplnkové charakteristiky: opis horninového zloženia a zonálnej stavby masívu; charakter puklinovitosti a mechanického rozrušenia; naložená alterácia (hypergénna, hydrotermálna); intenzita recentných pohybov, seizmičnosť; priepustnosť a zvodnenosť masívu, fyzický stav masívu.

c) *Zóny rovnakého typu tektonitov* – masívy s rovnakým litologickým charakterom premenených hornín (napr. jednotlivé zóny dislokačných ílov a brekcií, kakeritov, kataklazitov, mylonitov, príp. hydrotermálne alebo zvetraním pretvorených tektonitov s výrazne odlišnými inžinierskogeologickými vlastnosťami).

d) *Podzóny rovnakého porušenia celistvosti* – s horninami vyznačujúcimi sa približne rovnakým stupňom mechanického rozrušenia celistvosti (hustota puklín, resp. tvar a veľkosť elementárnych blokov a úlomkov horniny až stupeň jej rozdrobenia alebo rozdrvenia).

V inžinierskogeologickej charakteristike posledných 2 radov horninových masívov zlomových porúch treba uvádzať také údaje, ktoré umožňujú zaradiť vyčlenené kvázihomogénne jednotky horninového prostredia do bežných kategórií geotechnických klasifikácií (napr. pevnosť horniny, ROD, blokovitost alebo hustotu puklín, ich charakter, zvodnenie masívu ap.).

TAB. 2
Granulometrická klasifikácia tektonitov (Markov, 1977)
Granulometric classification of tectonites (Markov 1977)

Sku- pina	Pod- skupina	Obsah frakcie (%)		Názov horniny
		< 0,005 mm	> 2 mm	
A	A-1	> 50	< 10	íl
	A-2		10–35	íl s úlomkami
	A-3		35–50	úlokovito-ílovitá
B	B-1	30–50	< 10	íl
	B-2		10–35	íl s úlomkami
	B-3		35–50	úlokovito-ílovitá
	B-4		50–70	úločky s ílom
C	C-1	15–30	< 10	hlina
	C-2		10–35	hlina s úlomkami
	C-3		35–65	úlokovito-hlinitá
	C-4		65–85	úločky s hlinou
D	D-1	< 15	< 10	hlinito-piesčitá
	D-2		10–35	hlinito-piesčitá s úlomkami
	D-3		35–65	úlokovito-hlinito-piesčitá
	D-4		65–90	úločky s piesčitou hlinou
	D-5	> 90	> 90	úlokovitá hornina

Metódy identifikácie zlomových porúch

Pri všetkých výskumných i prieskumných inžiniersko-geologických prácach je prvoradou úlohou pozorne zisťovať všetky prejavy prítomnosti zlomových porúch a disjunktívnych masívov. Identifikácia zlomov nebýva ľahká, pretože aj keď jestvujú mnohé metódy nepriamych dôkazov (napr. analýzou reliéfu, výstupu podzemných vôd atď.), priame zistenie, štúdium a opis zlomu umožňujú vskutku len dobré prirodzené a hlavne umelé odkryvy. Využíva sa celý súbor osvedčených geologických, geomorfologických, hydrogeologických, geofyzikálnych a geodetických metód, vrátane DPZ.

Pri terénnom výskume a mapovaní sa sledujú príznaky priestorovej nespojitosti geologických štruktúr a dislokácie geologických telies. V tejto fáze užitočnú informáciu poskytuje diaľkový prieskum Zeme (DPZ) a štúdium geomorfologických foriem reliéfu, ktoré majú priamy alebo sprostredkovaný vzťah k zlomovým poruchám a recentným zlomovým pohybom (zlomové svahy a facetty, náplavové kužele, zlomové údolia, terénne stupne a nápadné depresie, terasové stupne riek, nespojitosti riečnej siete a anomálne posuny tokov). O rozložení zlomových štruktúr môže svedčiť aj mnoho hydrogeologických príznakov a anomálií vo vystupovaní podzemných vôd (báriérové pramene, výstup artézskych minerálnych a termálnych vôd, anomálne výdatnosti prameňov, rozmiestnenie vlhkomilnej vegetácie a i.).

Podrobné štúdium odkryvov umožňuje spoľahlivejšie identifikovanie zlomových porúch, ich orientácie, povahy i dopadu na horninové prostredie. Tu sa dajú zisťovať zlomové špáry a ich výplň, rozsah a stupeň dislokačného porušenia a premeny hornín, charakter vnútornej zonálnosti masívu zlomovej štruktúry, výskyt druhotných hydrotermálnych, zvetrávacích a i. alterácií horninového masívu. Sledujú sa vzťahy zlomov a systémov puklinovitosti, získavajú sa mnohé údaje o ich vzťahu k zvrásneniu a k celkovej geologickej stavbe v danom mieste. Využívajú sa pritom metódy a prostriedky geologickej dokumentácie odkryvu, štúdia diskontinuit masívu, vzorkovania pre laboratórny výskum i rôzne expresné metódy testovania hornín in situ (napr. Schmidtovým kladivom, penetrometrom, skúškami typu „point load test“ a i.).

Dobré údaje o zlomových poruchách umožňuje vrtný prieskum (viac vrtní v rezoch). Najmä starostlivé hodnotenie vrtných jadier (výnos, RQD, petrografický charakter) v spojení s metódami optickej a geofyzikálnej karotáže dáva možnosť pomerne ľahko identifikovať, opísať a zhodnotiť horniny zlomovej poruchy i jednotlivých poruchových zón. Najlepšie sa to však dá urobiť na umelých odkryvoch banských prieskumných diel (štôlna, šachty), pri hĺbení stavebných jám a razení tunelov i podzemných kaverien (keď to však už spravidla býva neskoro!). Okrem všetkých vyššie uvedených metód tu možno v širokom rozsahu aplikovať aj rôzne zložitejšie „in situ“ skúšky s cieľom zistiť deformačné, pevnostné,

filtračné a iné parametre, charakterizujúce inžiniersko-geologicky najdôležitejšie vlastnosti zlomovej poruchy.

Vo všetkých fázach štúdia zlomových štruktúr sa využívajú metódy geofyziky. Vo výskume planetárnych a hlbinných zlomov majú úplne dominantné postavenie. Pri inžinierskogeologickom štúdiu zlomových porúch sa uplatňuje skutočnosť, že súbory fyzikálnych parametrov získaných geoelektrickými, seizmickými, gravimetrickými a inými metódami alebo celým komplexom karotážnych meraní (Mareš, 1983; Müller, 1988) indikujú oblasti zvýšenej puklinovitosti, mechanického rozrušenia a druhotných premien hornín, zvýšeného nasýtenia vodou, roztokmi, plynmi, atď. Toto všetko umožňuje nielen identifikovať prítomnosť, priestorovú polohu a rozsah zlomovej poruchy, ale zhodnotiť aj charakter a stupeň porušenia horninového masívu.

Metódy DPZ (diaľkového prieskumu Zeme) sú veľmi efektívne najmä pri identifikácii planetárnych i regionálnych zlomov a poruchových pásiem. Pomáhajú v hodnotení recentnej aktivity zlomových pohybov na základe zistenia rôznych jej prejavov vo formách reliéfu i v geodynamických javoch (zosuny, zrútenia, erózia a pod.). Značným problémom aplikácie DPZ na našom území je hustý vegetačný kryt, najmä v oblastiach budovaných skalnými masívami, kde by bolo možné v prípade dobrej odkrytosti identifikovať aj zlomy lokálnej úrovne.

Pri identifikácii a exaktnom hodnotení súčasnej aktivity zlomov i režimu zlomových pohybov nezastupiteľné sú moderné geodetické metódy.

V budúcnosti bude aj pre naše účely užitočným pomocníkom automatizovaný register zlomov, ktorý sa v súčasnosti zostavuje v Geofonde.

Opis zlomových porúch

Všetky zistené javy charakterizujúce zlomové štruktúry sa podrobne opisujú a zameriavajú, pričom sa používajú predovšetkým bežné štruktúrno-geologické postupy. Veľká pozornosť sa venuje opisu rozmerových a polohových parametrov, ako aj všetkých takých stránok zlomových porúch, ktoré umožňujú:

- kvantitatívne hodnotiť rozsah porušenia masívu,
- posudzovať minulé a prognózovať budúcu dynamiku zlomových pohybov,
- extrapolovať zistené poznatky na zatiaľ nepreskúmané časti horninového prostredia,
- exaktnejšie hodnotiť inžinierskogeologické vlastnosti hornín a horninových masívov, ako aj ich správanie v interakcii s prípadnými technickými dielami.

Podobne ako v iných horninových masívoch, aj v masívoch disjunktívov (zlomových porúch) treba vyčleniť *kvázivornorodé celky s podobnými inžinierskogeologickými vlastnosťami hornín*. Na rozdiel od normálnych tzv. litologickoštruktúrnych masívov (Golodkovskaja et al., 1980), tu však narážame na nedostatočne rozpracované klasifikácie zlomovým dynamometamorfizmom porušených hornín, na nejednotné používanie termínov

a na veľmi neuspokojivé poznatky o inžinierskogeologických (najmä fyzikálno-mechanických, filtračných a stálostných) vlastnostiach hornín v jednotlivých zónach zlomových porúch rozličných geneticko-kinematických typov. Je priam paradoxné, že hoci zlomové poruchy v inžinierskogeologickej i geotechnickej praxi vždy upútavali ako defekty horninového prostredia hlavnú pozornosť odborníkov, neprejavilo sa to v prednostnom rozpracovaní poznatkov o zlomových poruchách a vo vývoji metód ich racionálneho prieskumu.

Vnútna stavba zlomovej štruktúry je spravidla veľmi zložitá a vyznačuje sa nepravidelnou *zonálnosťou*. Jednotlivé zóny sú tvorené horninami, ktoré vznikli dynamometamorfickým pretvorením pôvodného materiálu; navyše sa tu spravidla uplatnili aj druhotné procesy hydrotermálnej premeny, zvetrania, metalogénnej mineralizácie a pod. Čím sú zlomové poruchy a pásma väčšie, prípadne geologicky staršie, tým je aj zonálnosť ich vnútornej stavby zložitejšia a nepravidelnejšia.

Rozlišovanie zón zlomových porúch pri metalogenetickom výskume uvádzajú Lukin a Černyšev (1963), ktorí vyčleňujú: 1. šmykové plochy, 2. zóny rozdrobenia s horninami rozčlenenými na početné nevelké bloky, premiestnenými a pootočenými z pôvodnej polohy; vytvárajú sa hlavne v podmienkach nevelkých hĺbok, 3. zóny zbridičnenia hornín, ktoré vznikajú v značných hĺbkach, 4. zóny zvýšenej puklinovitosti zviazanej so zlomovou poruchou.

Varga (1988) navrhuje rozlišovať takéto zóny: 1. dislokačná plocha alebo dislokačná špára (šov) s tektonickým ílom, 2. zóna tektonického rozdrobenia hornín, v ktorej spravidla možno rozlišovať podzóny tektonickej brekcie a mylonitizovaných hornín; tieto tektonoklastické horniny sa v ruskej literatúre často nazývajú zónou smestiteľa (dislokačnou resp. šmykovou zónou), 3. zóna plastických deformácií bočných hornín, 4. zóna sperenia, t. j. zvýšenej puklinovitosti bočných hornín, 5. injekčné telesá magmatických a žilných hornín, ako aj zavlečené bloky inorodých hornín.

Z hľadiska inžinierskej geológie je užitočné posudzovať horniny zlomových porúch (podobne ako pri skalných horninách vo všeobecnosti) tak z hľadiska zloženia horninového materiálu, t. j. *litologický typ dynamometamorfovanej horniny*, ako aj z hľadiska stupňa mechanického porušenia ich celistvosti rozdrvením, intenzívnym rozpukávaním, a pod., t. j. stupňa diskretnosti, stupňa *diskontinuitnosti horninového masívu*.

Štúdiom a klasifikáciou hornín tektonických poruchových zón sa zaoberali mnohí autori pracujúci najmä v oblasti štruktúrnej geológie, petrológie, metalogenézy a ložiskovej geológie. Sander (1912, 1930 in Dennis, 1979) uviedol termín *tektonit* pre horniny, ktoré vznikli pôsobením tektonických orientovaných tlakov a rekryštalizácie; takto sú však do tohto pojmu zahrnuté horniny zlomových štruktúr, ako aj regionálne metamorfity sformované rekryštalizáciou pri orientovaných tlakoch a prestupujúcich diferenciálnych pohyboch častíc.

K základným typom hornín zlomových porúch patria produkty dynamometamorfózy (kinetickej čiže dislokačnej metamorfózy); sú to najmä:

- mechanicky dezintegrované dislokačné brekcie a až na ílovitú hmotu rozhnutené dislokačné „íly“,
- mechanickým drvením a granuláciou postihnuté kakirity, kataklazity až rozvalcované kataklastické bridlice (neprekryštalizované),
- mikroštruktúrnym drvením a tlakovou rekryštalizáciou vytvorené mylonity až ultramylonity, uchovávajúce si charakter celistvej horniny, príp. mylonitické bridlice až mylonitické ruly (ako prechod ku kryštalickým bridliciam vytvoreným regionálnou metamorfózou).

Kým prvé dva typy sú typické pre podmienky pripovrchových oblastí kôry, mylonity vznikali (často s hĺbkou zamieňajúc predošlé) hlavne v podmienkach hlbších zón litosféry.

Pre účely inžinierskej geológie navrhujeme *vyčleňovať a opisovať takéto základné zóny* dynamometamorfovaných hornín v masívoch zlomových porúch:

1. *Zóna dislokačných brekcií až dislokačných ílov* v zlomových špárach. Dislokačné brekcie vznikli hrubým drvením, prehnetením až premiesením rozrušených hornín dislokovaných horninových blokov hlavne v najvrchnejších častiach zemskej kôry. Sú to spravidla neopracované ostrohané úlomky rôznej veľkosti, stmelené jemnejšie rozmeleným a prehneteným materiálom toho istého pôvodu. Tento jemne rozmelený materiál – tzv. dislokačný íl – vytvára aj samostatné polohy nepravidelných tvarov s postupnými prechodmi do brekciových typov. Horniny v tejto zóne sú málo súdržné, často hydrotermálne alebo zvetraním premenené na rôzne typy málo pevných hornín až zemín. K stmeleniu dislokačných brekcií niekedy významne prispel aj tzv. infiltrovaný tmel.

2. *Zóna kataklazitov a mylonitov* tiež patrí k výplni zlomových špár. Reprezentuje ju celá škála tektonitov, ktoré vznikli vcelku bez porušenia makroskopickú celistvosti dislokačnou premenou okrajových častí dislokačnej špáry a k nej prilahlých premiestňovaných blokov; sú to najmä kakirity, kataklazity, mylonity až mylonitické ruly, ako aj celý rad prechodných typov, vznik ktorých ovplyvňovali odlišné dynamické, hĺbkové, regionálno-geologické i geologicko-historické faktory.

Kakirity sú litologicky prechodným typom medzi pôvodnou horninou a dislokačnou brekciou, predstavujú vlastne akúsi málo deformovanú zlomovú brekciu. Hrubým drvením vznikli úlomky veľké do 1 cm, ktoré neboli premiestnené a hornina si pritom zachovala makroskopickú celistvosť.

Kataklazity vznikli drvením minerálnych zŕn pevnej horniny, drvená hmota však nerekrystalizovala. Je to vlastne mikrobrekcia, ktorá si zachovala svoje pôvodné minerálne zloženie, čo sa prejavuje aj v názve (kataklastický granit a pod.). Drobné zrná kataklazitov sú pevne stmelené rozmeleným materiálom z tej istej horniny.

Mylonity vznikli v podmienkach vysokých tlakov mik-

robrekciáciou, drvením a vyvalcovaním minerálnych častíc pôvodných hornín na veľmi jemnozrnnú masu, pričom sa len v malej miere narušila súdržnosť a došlo len k čiastočnej rekryštalizácii. Textúra býva všesmerná i paralelná, zväčša sú však mylonity zbridlčené a prechádzajú do mylonitických bridlíc a intenzívnejšie rekryštalizovaných mylonitických rúl.

3. *Zóna zvýšenej puklinovitosti* zasahuje do horninových blokov prilahlých k zlomovej špáre. Jej šírka je veľmi nepravidelná, intenzita puklinovitosti je premenlivá. Puklinovitost geneticky spojená so zlomom je „naložená“ na puklinovú sieť iného pôvodu, čo zapríčiňuje ťažké a len veľmi konvenčné ohraničenie tejto zóny. Významnú úlohu tu hrajú najmä perovité strižné i ťahové pukliny (dôležité najmä z hľadiska zvýšenej možnosti filtrácie).

4. *Zóna injikovaných horninových telies* sa v našich regionálnych pomeroch často vyskytuje najmä v súvislosti s prenikaním magmatických telies (ďajky a pod.) a so vznikom žilných výplní zlomových porúch. To má nesporne veľký a mnohostranný význam pri hodnotení mechanického charakteru disjunktívneho masívu. Súčasne sa indikujú aj rôzne súvislosti s vplyvom vulkanických a postvulkanických procesov na charakter horninového prostredia v širšom rozsahu.

5. *Zóny alterovaných hornín zlomovej poruchy* sa vylčujú najmä preto, že tieto druhotné procesy spravidla veľmi nepriaznivo ovplyvňujú najmä tie horniny, štruktúrna súdržnosť, ktorých bola už predtým oslabená (čo pre tektonity platí v plnej miere!). Rozlišuje sa alterácia zvetraním a hydrotermálna alterácia. Identifikácia sa opiera o normové kritériá stupňa alterácie (ČSN 72 1001) a nie je ľahká, najmä pokiaľ ide o ohraničenie týchto zón.

Výčleňovanie zón vnútornej stavby zlomových porúch a poruchových pásiem je síce veľmi dôležité a potrebné, ale súčasne aj veľmi obtiažne a často konvenčné vzhľadom na veľkú nepravidelnosť a priestorovú premenlivosť rôznych typov dynamometamorfovaných hornín, ako aj

slabú dostupnosť ich priestorového sledovania. Tektonity (v širšom zmysle) majú veľa prechodných typov a často len ťažko nachádzame vo vnútornej štruktúre zlomových porúch nejaký poriadok a logiku – najmä v zlomových špárach starých zlomových pásiem, ktoré prekonal mnoho rozličných tektonických pohybov v rôznych geotektonických etapách.

Literatúra

- Anderson, E. M. 1951: The dynamics of faulting. *London, Oliver and Boyd*, 206 s.
- Belousov, V. V. 1985: Osnovy strukturnoj geologii. *Moskva, Nedra*. ČSN 72 001: Pomenovanie a popis hornín.
- Dennis, J. G. 1979: International Tectonic Lexicon. *Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlag*.
- Encyklopedický slovník geologických věd 1–2, 1983. *Praha, Academia*.
- Geologičeskij slovar 1–2, 1978. *Moskva, Izd. Nedra*.
- Glossary of Geology, 1972. *Washington, D. C., American Geological Institute*.
- Golodkovskaja, G. A., Matula, M. a Šaumjan, L. V. 1980: Classification of Rock Masses. *Proc. IV. Congr. IAEG, New Delhi, Vol. II, Th. 1*.
- Golodkovskaja, G. A., Matula, M. a Šaumjan, L. V. 1987: Inženerno-geologičeskaja tipizacija i izučenie skálnych massivov. *Izd. Moskov. universiteta*, 272 s.
- Jaroš, J. a Vachtl, J. 1980: Strukturní geologie obecná a systematická. *II. Vysokoškolské skriptá UK, Praha*.
- Lukin, L. I. a Černyšev, V. F. 1963: Terminy charakterizujuščije strukturnyje faktory razmeščeniya orudnenija v rudnych rajonach, zonach i uzloch. In: *Obzor geologičeskich poňatij i terminov v primeneniji k metalogeniji*. *Moskva, Izd. Akad. Nauk*.
- Mareš, S. a kol. 1983: Geofyzikální metody v hydrogeologii a inženýrské geologii. *Praha, SNTL – Alfa*.
- Markov, A. B. 1977: Inženerno-geologičeskije osobennosti tektonitov. *Dušanbe, Izd. Doniš*.
- Matula, M. a Ondrášik, R. 1988: Horninové masívy. *Učebné texty pre postgraduálne štúdium Moderné metódy hodnotenia horninového a životného prostredia, diel I. Bratislava, UK*.
- Müller, K. 1988: Metodika inženýrskogeofyzikálního výzkumu horninového masívu. [Doktorská dizertačná práca.] *Ostrava, Vysoká škola báňská*.
- Náučný geologický slovník. 1960. *Praha, Nakl. ČSAV*.
- Spencer, E. W. 1981: Vvedenie v strukturnuju geologii. *Moskva, Nedra*.
- Varga, A. A. 1988: Inženerno-geologičeskij analiz skálnych massivov. *Moskva, Nedra*.