

Inžinierskogeologická klasifikácia a charakteristika poloskalných hornín

MIROSLAV HRAŠNA, ANNA HYÁNKOVÁ, VLADIMÍR LETKO

Katedra inžinierskej geológie PF UK Mlynská dolina, 842 15 Bratislava

Doručené 18. 5. 1987

Инженерногеологическая классификация и характеристика полускальных пород

Предлагается классификационная система полускальных пород основанная на их прочности в одноосевом давлении и стабильности оцениваемой на основании множимости смягчения или-же степени распада пород при их обогащении водой. Предложена инженерно-геологическая и геотехническая характеристика отдельных типов пород выделенных в классификации и также характеристика полускальных пород встречающихся на территории ЧССР.

Engineering geological classification and characteristics of semi-solid rocks

Classification system of semi-solid rocks is proposed setting out from the uniaxial compression strength values and durability evaluated from the coefficient of softening or from the degree of decomposition during rock saturation by water. Engineering geological and geomechanical classification of the single outlined rock types is given together with characteristics of semi-solid rocks in Czechoslovakia.

V inžinierskej geológii sa za poloskalné považujú tie pevné horniny, ktoré majú v dôsledku nízkeho stupňa litifikácie (sedimentárne horniny) alebo v dôsledku porušenia štruktúrnych väzieb (zvetrovaním, tektonickým alebo hydrotermálnym porušením a pod.) nižšie hodnoty charakteristik mechanických vlastností než skalné horniny a sú náchylné vplyvom nepriaznivých podmienok prostredia (najmä zmien vlhkosti, teploty a napätia) ich ďalej znižovať. Základným kritériom pre rozlíšenie skalných a poloskalných hornín

je hodnota pevnosti v jednoosovom tlaku, pričom za hraničnú sa v ostatnom období obvykle považuje jej hodnota 50 MPa.

Poloskalné horniny majú vzhľadom na znížené parametre mechanických vlastností nepriaznivejšie geotechnické vlastnosti ako skalné horniny, a to či už ako základové pôdy alebo ako materiály v zemných konštrukciách. Zvlášť nepriaznivá je najmä skutočnosť, že pomerne nízke hodnoty pevnosti i modulu pružnosti a deformácie týchto hornín sa po otvorení výkopov alebo po ich vyťažení a zabudovaní do

zemných konštrukcií vplyvom atmosférických činiteľov i povrchovej hydrosféry ďalej znižujú, prípadne dochádza až k úplnej dezintegrácii pôvodných pevných hornín na zeminy.

Pre uvedené nepriaznivé vlastnosti sa projektanti donedávna vyhýbali využívať poloskalné horniny ako základové pôdy pre náročné inžinierske stavby (priehrady, mosty a pod.), ale najmä využívať ich ako materiál v zemných konštrukciách. Lenže pri výstavbe zemných konštrukcií sa využívaním menej kvalitného horninového materiálu (získaného často z výkopov pre iné objekty) môžu podstatne znížiť stavebné náklady i spotreba energie (kratšie rozvozové vzdialenosti) a vo väčšine prípadov i nároky na záber pôdneho fondu a následnú rekultiváciu.

Využitie menej kvalitných poloskalných hornín pre rôzne účely vyžaduje stanoviť optimálny postup zisťovania ich vlastností, ako aj správne vstupné údaje pre výpočet stability a pretvorenia základových pôd i zemných konštrukcií, v ktorých sa budú

využívať. V prvom rade je však potrebné vypracovať klasifikáciu poloskalných hornín, ktorá by pre jednotlivé jej skupiny a triedy umožnila stanoviť vhodné testovacie metódy, reprezentatívne intervaly hodnôt charakterizujúcich ich fyzikálno-technické vlastnosti, prípadne i stupeň ich degradácie v dôsledku pôsobenia exogénnych činiteľov.

Klasifikácia poloskalných hornín

Z fenomenologického i praktického hľadiska sa ako najvýznamnejšie javia dve skutočnosti podmieňujúce podstatné, technicky významné vlastnosti poloskalných hornín: 1. ich nižšia pevnosť a vyššia stlačiteľnosť oproti skalným horninám, 2. zhoršovanie ich mechanických i technologických vlastností v dôsledku odľahčenia, pôsobenia vlhkosti a zmien teploty, najmä pri ich priamom styku s vodou, ako aj v dôsledku striedavého zamrzania a rozmrzania.

Vzhľadom na tieto, ako aj na ďalšie

TAB. 1

Klasifikácia poloskalných hornín podľa pevnosti v jednoosovom tlaku
Classification of semi-solid rocks according to the uniaxial compression strength values

Skupina	Pevnosť v jednoosovom tlaku (MPa)	Označenie pevnosti*	Typy hornín (príklady)
1	30—50	stredná a) vyššia	pieskovce — slabo spevnené; ílovce, prachovce (bridlice), slieňovce, tufy, tufity — zdravé
2	15—30	b) nižšia	značne spevnené; slabo metamorfované bridlice a fylity; navetrané skalné horniny
3	5—15	nízka	prevažne stredne spevnené sedimenty navetrané horniny 1. a 2. skupiny; zvetrané skalné horniny
4	1,5—5	veľmi nízka	detto, málo spevnené; zvetrané horniny 1. a 2. skupiny; zvetrané skalné horniny
5	0,5—1,5	extrémne nízka	veľmi slabo spevnené sedimenty; silne zvetrané skalné a poloskalné horniny (1. až 4. skupiny)

* Vysokú a veľmi vysokú pevnosť majú podľa ČSN 73 1001 skalné horniny, t. j. horniny s pevnosťou vyššou než 50 MPa

okolnosti (jednoduchosť a porovnateľnosť skúšobných metód a ich priamy vzťah k najvýznamnejšej vlastnosti pevných hornín, ktorou je charakter a veľkosť ich štruktúrnych väzieb) sme v predkladanej klasifikácii poloskalných hornín za základné klasifikačné kritérium zvolili ich pevnosť v jednoosovom tlaku a za doplnujúce kritérium charakteristiky ich stálosti.

Prihliadajúc na rôzne vlastnosti poloskalných hornín, ich vzájomnú spätosť, ako aj na účel navrhovanej klasifikácie, rozdelili sme poloskalné horniny podľa pevnosti v jednoosovom tlaku do piatich skupín (tab. 1). Táto klasifikácia plne rešpektuje návrh pripravovanej novej ČSN 73 1001 tak pri hraničnej pevnosti voči skalným horninám, ako aj v ďalšom členení na skupiny. Na rozdiel od návrhu normy však zavádza i skupinu hornín s pevnosťou v rozmedzí 15 až 30 MPa (2. skupina). Horniny prvej skupiny sa totiž na rozdiel od hornín ostatných skupín vyznačujú spravidla krehkým porušením a ich deformácia je do značnej miery pružná. V niektorých zahraničných klasifikáciách sa preto hranica medzi skalnými a poloskalnými horninami kladie nižšie: Coates (1964) — 35 MPa, Chengzong et al. (1981) — 30 MPa. Iní autori zohľadňujú uvedené vlastnosti poloskalných hornín s vyššou pevnosťou vyčlenením samostatnej triedy (skupiny) hornín: napr. Deer a Miller (1966) vyčleňujú do samostatnej skupiny horniny s pevnosťou 28—56 MPa.

Pri určovaní pevnosti v jednoosovom tlaku možno popri náročných skúškach na pravidelných alebo nepravidelných skúšobných vzorkách použiť aj skúšku vtlačnej pevnosti (Šrejnerova metóda) alebo skúšku odrazovej tvrdosti (Schmidtovo kladivo), pri ktorých sa preukázal pomerne vysoký stupeň korelácie s pevnosťou v jednoosovom tlaku. Korelačné vzťahy

treba využiť aj pri stanovení pevnosti na nepravidelných skúšobných vzorkách, resp. na akýchkoľvek iných vzorkách než kocky s rozmermi $5 \times 5 \times 5$ cm.

V predloženom klasifikačnom systéme odporúčame stálosť hornín hodnotiť na základe ich rozmokavosti vo vode (tab. 2A). Väčšina poloskalných hornín, najmä 3. až 5. skupiny, sa však pri styku s vodou rozpadá a nemožno ich nasýtiť do ustálenej hmotnosti. V tomto prípade odporúčame nahradiť skúšku rozmokavosti skúškou rozpadavosti, ktorú hodnotíme podľa tab. 2 B.

Treba si uvedomiť, že navrhované dve skúšky stálosti hornín nie sú plne rovnocenné. Skúška rozmokavosti odráža zmenu pevnosti štruktúrnych väzieb v neporušenej hornine, iba v menšej miere sa pri nej uplatňuje vplyv porušenia horniny mikrotrhlinami a inými sekundárnymi defektmi. Skúška rozpadavosti, naopak, indikuje najmä stupeň porušenia hornín drobnými diskontinuitami, do značnej miery sa však pri nej uplatňuje aj zmena štruktúrnej súdržnosti. Preto odporúčame označovať triedy poloskalných hornín vyčlenené na základe rozmokavosti, resp. rozpadavosti odlišným spôsobom (tab. 2). V súlade s tým možno rozmokavosť definovať ako oslabenie štruktúrnych väzieb v hornine v dôsledku jej nasýtenia vodou (vyjadruje sa pomerným zmenšením pevnosti v jednoosovom tlaku) a rozpadavosť ako dezintegráciu horniny v dôsledku straty väzieb pozdĺž diskontinuít pri nasycovaní vodou (vyjadruje sa veľkosťou úlomkov). Metodika skúšok rozmokavosti a rozpadavosti bola zverejnená vo viacerých publikáciách (napr. Hyánková — Letko, 1976; Hyánková et al., 1985 a i.).

Charakteristika poloskalných hornín

Poloskalné horniny so strednou pevnosťou sú dobré základové pôdy a spravidla

TAB. 2

Klasifikácia stálosti poloskalných hornín
Classification of semi-solid rock durability

Stálosť hornín sa v závislosti od reakcie pri nasycovaní vodou hodnotí podľa rozmokavosti (2A); alebo rozpadavosti (2B)

2A. Rozmokavosť poloskalných hornín

Hodnotí sa podľa stupňa oslabenia štruktúrnych väzieb v hornine po jej nasýtení vodou. Charakterizuje sa súčiniteľom zmäkčenia (Kz), ktorý sa číselne stanoví ako pomer pevnosti v prostom tlaku vzorky horniny nasýtenej vodou (σ_{cv}) k pevnosti v prostom tlaku suchej vzorky (σ_c).

Súčiniteľ zmäkčenia

- A > 0,9 veľmi nízky
- B 0,7—0,9 nízky
- C 0,5—0,7 stredný
- D 0,3—0,5 vysoký
- E < 0,3 veľmi vysoký

Hornina

- A nerozmokavá
- B slabo rozmokavá
- C stredne rozmokavá
- D silne rozmokavá
- E extrémne rozmokavá

2B. Rozpadavosť poloskalných hornín

Hodnotí sa podľa charakteru a stupňa rozpadu (Kr) vzorky horniny o objeme asi 150—200 cm vo vode po 72 hodinách nasledujúcim spôsobom:

- a — vzorka zostala nezmenená, alebo sa rozpadla na dve časti
- b — vzorka sa delila po vrstvových plochách vzdialených > 15 mm alebo sa rozpadla na kusy prevažne > 30 mm
- c — vzorka sa delila po vrstvových plochách vzdialených < 15 mm alebo sa rozpadla na kusy prevažne 15—30 mm veľké
- d — vzorka sa rozpadla na kusy prevažne 5—15 mm veľké
- e — vzorka sa rozpadla na kusy prevažne < 5 mm

Stupeň rozpadu

- a — veľmi malý
- b — malý
- c — stredný
- d — veľký
- e — veľmi veľký

Hornina

- a — nerozpadavá
- b — slabo rozpadavá
- c — stredne rozpadavá
- d — silne rozpadavá
- e — extrémne rozpadavá

Horniny možno charakterizovať ako: stále (A, a), pomerne stále (B, b), nestále (C, c), veľmi nestále (D, d), extrémne nestále (E, e)

i dlhodobo stabilné v zárezoch i v násypoch. Výnimku tvoria silne rozmokavé horninové typy so súčiniteľom zmäkčenia < 0,5 alebo silne až extrémne rozpadavé horniny, ktoré môžu v dlhodobo otvorených zárezoch alebo v násypoch zapríčiniť deformačné svahov, prípadne i sadanie povrchu. Horniny oboch skupín patria podľa stálosti spravidla do tried B—D, najčastejšie do triedy C. Niektoré typy hornín (najmä pyroklastiká) patria do tried c—e.

Horniny s nízkou pevnosťou majú v závislosti od stálosti a minerálneho zloženia sledované vlastnosti obdobné ako horniny 2. alebo 4. skupiny. Vlastnosti ako poloskalné horniny 4. skupiny majú často najmä horniny s obsahom ílových minerálov.

Horniny s veľmi nízkou pevnosťou sa pri nasycovaní vodou buď rozpadajú (trieda d, e), alebo ich podľa hodnôt súčiniteľa zmäkčenia možno zaradiť do tried C až E. Pre bežné typy stavieb poskytujú obvykle

vhodné základové pôdy, pri náročnejších inžinierskych dielach sa často vyskytujú problémy so sadaním, s deformáciou svahov výkopov a zárezov alebo so svahovými deformáciami po napustení umelých nádrží. U pelitických hornín okrem zhoršenia mechanických vlastností vznikajú pôsobením exogénnych činiteľov aj objemové zmeny, prípadne sa horniny menia až na ílovitú zeminu. Pri ich zabudovaní do zemných konštrukcií treba počítať so zmenou parametrov fyzikálno-mechanických vlastností a s dodatočným sadaním násypov.

Poloskalné horniny s extrémne nízkou pevnosťou sa pri nasycovaní vodou i pôsobením atmosferických činiteľov spravidla rozpadajú na zeminy. Vo výkopoch ich preto treba chrániť ochrannou vrstvou a zamedziť k nim prístup vody. Svahy zárezov i násypov treba navrhovať pre zmenené parametre fyzikálno-mechanických vlastností, t. j. spravidla pre také parametre, aké má zvetraná eluviálna zóna hornín, prípadne až zeminy deluviálneho pokryvu. Pelitické horniny tejto skupiny sa vyznačujú obvykle veľkými objemovými zmenami.

Výskyt poloskalných hornín na území ČSSR

Na území ČSSR sa poloskalné horniny vyskytujú v oboch základných geologických celkoch: v Západných Karpatoch i v Českom masíve, a to prakticky vo všetkých stratigraficko-litologických jednotkách, resp. litologických formáciách (Matula — Pašek, 1986). Výskyt v starších horninových komplexoch je zriedkavejší a vzrastá smerom k mladším geologickým jednotkám.

Na území Západných Karpát patria k najstarším poloskalným horninám niektoré fylity (najmä navetrané) z formácie prekambriických silne metamorfovaných

hornín a slabo metamorfované piesčito-ílovité a grafitické bridlice a fylity formácie epimetamorfovaných paleozoických hornín. Z formácie variských granitoidov k nim sčasti patria tektonicky narušené granitoidy poruchových a mylonitových zón. Všetky tieto horninové typy sú obvykle poloskalné horniny s vyššou a strednou pevnosťou, sčasti horniny s nižšou strednou pevnosťou. Vo vode sú pomerne stále, sčasti nestále (trieda B a C); niektoré, najmä tektonicky porušené a intenzívne zbridlčenaté horniny, sa vo vode rozpadajú (stredne až silne rozpadavé horniny).

Z mezozoických hornín majú charakter poloskalných hornín ílovcové, prachovcové a slieňovcové bridlice spodnej terigénnej formácie (spodný trias); z vápencovo-dolomitckej formácie (stredný až vrchný trias) tektonicky intenzívne porušené dolomity a ílovcovo-prachovcové bridlice lunzských vrstiev; z pestrej pieskovcovo-slieňovcovo-vápenkovej formácie niektoré slieňovce a ílovcovo-prachovcové bridlice vrchného triasu, jury i spodnej kriedy. Patria do 1. až 3. skupiny poloskalných hornín, najmä k horninám s nižšou strednou pevnosťou. Sú spravidla pomerne stále, bridlice i slieňovce po navetraní často nestále až veľmi nestále.

Najmladšie mezozoické a paleogénne sedimenty vrchnokriedového až oligocénneho veku vytvárajú flyšovú formáciu Západných Karpát, charakteristickú striedanim skalných a poloskalných hornín. K poloskalným horninám patria najmä ílovcovo-prachovcové a slieňovcové bridlice, ale aj niektoré typy pieskovcov, najmä s ílovito-slienitým, prípadne i glaukonitickým tmelom. V závislosti od premenlivého stupňa diagenézy bridličnatých hornín a zloženia i typu tmelu v pieskovcoch patria tieto horniny do 1. až 4. skupiny poloskalných hornín, oligocénne pelitické

horniny často až do 5. skupiny. Rovnako premenlivý je aj ich súčiniteľ zmäkčenia (trieda B až E, najčastejšie D). Menej pevné bridličnaté horniny, najmä slieňovce, sa vo vode intenzívne rozpadávajú (trieda c—e). Silne až extrémne rozpadavé sú tiež pieskovce s ilovito-slienitým tmelom.

Najnižším stupňom spevnenia sa vyznačujú sedimenty neogénnej molasovej formácie. Málo spevnené ilovce, prachovce a slieňovce, ale aj pieskovce a zlepenice tejto formácie patria spravidla k poloskalným horninám s extrémne nízkou pevnosťou a veľmi vysokým stupňom rozpadu. Menej často sa vyskytujú horniny s veľmi nízkou pevnosťou, prípadne silne až extrémne rozmokavé horniny.

Z formácie neovulkanitov patria k poloskalným horninám najmä pyroklastické horniny — tufy a tufity. Po navetraní však môžu charakter poloskalných hornín nadobudnúť aj výlevné horniny, najmä hydrotermálne premenené andezity a rhyolity. Pyroklastické horniny sa v závislosti od zrnitosti a zastúpenia i charakteru tmelu vyznačujú vysokou variabilitou vlastností. V dôsledku toho ich možno zaradiť do 1. až 4. skupiny poloskalných hornín prevažne so stredným až veľmi vysokým súčiniteľom zmäkčenia. Menej často sa vyskytujú rozpadavé pyroklastiká so stredným až veľmi vysokým stupňom rozpadavosti.

Na území Českého masívu patria k najstarším poloskalným horninám chloritické a sericitické fylity a fylitické i zelené bridlice formácie slabo metamorfovaných hornín kryštalinika. Zaraďujeme ich spravidla do prvej skupiny poloskalných hornín s nízkym a stredným súčiniteľom zmäkčenia (trieda B a C).

Obdobný charakter majú aj ilovité a prachovité (sčasti slabo metamorfované) bridlice formácie klastických sedimentov (algonkium — ordovik) vystupujúce na

povrch na území Barrandienu. Ordovické bridlice, najmä ilovité, sa vyznačujú nižším stupňom diagenetického spevnenia a možno ich sčasti zaradiť do 2. až 3. skupiny poloskalných hornín triedy C a D. Niektoré typy bridlíc sa vo vode rozpadávajú — možno ich zaradiť medzi horniny stredne až silne rozpadavé (trieda c, d).

Vo flyšoidnej formácii (kulm) majú charakter prevažne poloskalných hornín (so strednou pevnosťou) prachovito-ilovité bridlice, ktoré sa nepravidelne striedajú s drobami a zlepenkami. Podľa stálosti ich možno zaradiť medzi horniny so stredným a nízkym súčiniteľom zmäkčenia (trieda C a B).

V paralickej i limnickej formácii permu — karbónu sú poloskalné horniny zastúpené ilovcami, prachovcami, tufmi a tufitmi; poloskalný charakter majú miestami i niektoré pieskovce a arkózy. Ilovce, prachovce i pyroklastiká patria prevažne k poloskalným horninám s nízkou až strednou pevnosťou, sú pomerne stále až veľmi nestále, sčasti stredne až silne rozpadavé. Pieskovce a arkózy majú nízkú až vyššiu strednú pevnosť a sú zvyčajne slabo až stredne rozmokavé, niekedy tiež slabo až silne rozpadavé. Zvýšenou rozpadavosťou sa vyznačujú najmä arkózy s prevahou kaolinitového tmelu.

V pieskovcovo-slieňovcovej formácii (krieda) vykazujú najväčšiu pevnosť kremené a vápnité pieskovce a niektoré opuky (prachovito-piesčité slieňovce), ktoré možno zaradiť k poloskalným horninám so strednou pevnosťou, sčasti i ku skalným horninám. Ich súčiniteľ zmäkčenia sa pohybuje spravidla v rozmedzí 0,6—0,9 (trieda B a C). Nízky stupeň spevnenia je charakteristický najmä pre ilovce a ilovité alebo slienité pieskovce, ktoré sa vo vode rozpadávajú (stredne až extrémne rozpadavé horniny), prípadne vykazujú vysoký súčiniteľ zmäkčenia. Ich pevnosť v prostom tlaku sa pohybuje najčastejšie

v rozmedzí 5 až 25 MPa (skupina 2 a 3). Ostatné horninové typy formácie majú prechodné vlastnosti.

Najnižším stupňom diagenetického spevnenia sa vyznačujú neogénne sedimenty uhľonosnej i lagunárnej formácie. Tvoria ich najmä rôzne typy súdržných a nesúdržných zemín, sčasti slabo spevnené ilovce, prachovce a slieňovce, zriedkavejšie rozpadavé pieskovce a zlepenice alebo tufity. Ich inžinierskogeologický charakter je obdobný ako u neogénnych sedimentov Západných Karpát.

Vo formácii neovulkanitov majú charakter poloskalných hornín najmä tufy, ktoré možno zaradiť prevažne do 3. skupiny a do tried C a D (nestále až veľmi nestále horniny). Priaznivejšie pevnostné a deformáčne vlastnosti majú tufové aglomeráty, ktoré možno zaradiť sčasti až medzi skalné horniny. Tufity tejto formácie majú spravidla charakter nespevnených zemín, prípadne majú obdobné vlastnosti ako

slabo spevnené sedimenty predchádzajúcich dvoch formácií.

Literatúra

- Coates, D. F. 1964: Classification of Rocks for Rock Mechanics. *Int. J. Rock Mechanics and Mining Sci.*, 1, 3, 421—429.
- Deere, D. U. — Miller, R. P. 1966: Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock (Technical Report). *New Mexico*, 300 s.
- Hyánková, A. — Letko, V. 1976: Zvláštnosti laboratórneho výskumu poloskalných hornín. *Acta Geol. Univ. Comen.*, 29, 119—135.
- Hyánková, A. — Modlitba, I. — Letko, V. 1985: Laboratórny výskum vlastností hornín. [Vysokoškolské skriptá.] Bratislava, UK, 246 s.
- Chengzong, C. — Schichun, W. — Guangzong, C. 1981: The Stability of Surrounding Rock and its Control of Railway Tunnel in Weak Rocks. *Reprints of Int. Symp. on Weak Rocks, Theme 4 (Tokyo)*, 124—129.
- Matula, M. — Pašek, J. 1986: Regionálna inžinierska geológia ČSSR. Bratislava, Alfa — Praha, SNTL, 295 s.

Engineering geological classification and characteristics of semi-solid rocks

Semi-solid rocks have inappropriate geotechnical properties in comparison with solid rocks due to their lower mechanical properties as foundation soils or materials for earth constructions. Moreover, it is their further inappropriate quality that these parameters further deteriorate after the opening of excavations or after the exploitation of rocks and their use into embankments, under the influence of exogenous factors. Eventually, the originally coherent rock desintegrates into soil.

In view to overcome their insufficient classification and to allow common use of simple and comparable examination methods or to assess relations with the most important property of solid rock (the type

and size of its structural bonds), in a new classification of semi-solid rocks, as the basic criterion their uniaxial compression strength has been used (Tab. 1). Complementary criterion is their stability (Tab. 2).

Basis characteristics of durability is given by the rock softening evaluated by the softening coefficient (relation of strength after softening to the strength in dry state, Tab. 2, A). For the rock decomposing during saturation with water the durability is assessed on the base of decomposition degree (Tab. 2, B).

Engineering geological and geomechanical characteristics of single semi-solid rocks, outlined in Tabs. 1 and 2 are given in the paper together with the description of Czechoslovak occurrences.