

Název projektu

Hodnocení rizika skalního řízení na vybrané lokalitě v intravilánu města Brna

Úvod do problematiky

Skalní řízení je náhlý, velmi rychlý, krátkodobý pohyb horninových hmot na strmých svazích, přičemž se postižené horniny rozvolní a ztrácejí krátkodobě kontakt s podložím. Rychlost skalního řízení se pohybuje obvykle v intervalu 10^1 až 10^2 km/h. V podmínkách ČR se skalní řízení rozděluje podle objemu aktivovaných hmot do následujících kategorií:

- opadávání: méně než $0,1 \text{ m}^3$
- drobné skalní řízení: $0,1$ až 10 m^3
- řízení středního až velkého objemu: $10,1$ až 1000 m^3
- řízení zvláště velkého objemu: více než 1000 m^3

Trvání tohoto jevu je vteřiny až desítky vteřin; přípravná fáze (postupné oslabování skalního masivu) však trvá měsíce (malé objemy), stovky (střední objemy) i tisíce let (velké objemy). Podle mechanismu pohybu můžeme rozlišit následující typy skalního řízení. Odvalové řízení je vyklonění či prosté odpadnutí od mateřského masivu, po němž následuje volný pád. Při planárním řízení dochází ke smykovému pohybu po predisponované ploše, přičemž pohyb po této ploše je kratší než volný pád. Příbuzný proces, který patří do kategorie sesouvání, je skalní sesuv, při kterém dochází k pohybu po predisponované smykové ploše, přičemž dráha uražená po podloží je delší než volný pád.

Vlastnímu procesu řízení předcházejí změny v napjatosti skalního masivu, či zhoršení pevnostních charakteristik. To souvisí se změnami morfologie svahu; zejména se jedná o nárůst výšky svahu, odlehčení úpatí hloubkovou a/nebo boční erozí řeky a tvorbu převisů zvětráváním. Spouštěcím mechanismem v závěrečné fázi přípravy řízení bývá např. nasycení horniny vodou (dynamické i statické účinky vody na puklinách), promrznutí, klínový efekt při růstu kořenů nebo pákový efekt při namáhání větrem.

Rizikovými regiony jsou u nás oblasti erozně-denudačního reliéfu kvádrových pískovců České křídové pánve, hluboká říční údolí ve všech typech hornin (střední Čechy - Vltava, západní Morava - Dyje, Svratka) a horní části toků ve všech neotektonicky zdvižených okrajových pohořích. Za rozvoj skalního řízení může však být zodpovědný i člověk. Výskyt řízení je často vázaný na lomové stěny těžebních prostor, kdy dochází buď ke krátkodobé nestabilitě těžební stěny (havárie provozu lomů), či dlouhodobé nestabilitě stěn ve starých, opuštěných lomech. V takových případech se jedná o zanedbání předpisů Báňského úřadu, kdy stěny nebyly po ukončení těžby vhodně upraveny. Svoji roli může sehrát rovněž hospodaření v lesích. Uvolnění úlomků může způsobit pád stromu na skalní výchoz, negativně se projevují i silové účinky kořenového systému stromů v puklinách. Dále může dojít po holosečích k zesílení vodní eroze, odnosu půdního pokyvu a vystavení skalního podloží přímým účinkům mechanického zvětrávání (např. přímá infiltrace vody do puklin). Ke skalnímu řízení dochází rovněž ve stěnách vyšších zářezů komunikací.

Koordinací mapování a monitoringu skalního řízení se zabývá Česká geologická služba. Monitoring se prováděl např. na Děčínsku (NP České Švýcarsko), na Příhrázské plošině, v Ledči n.S., na Šumavě (lokalita Obří hrad), v údolí Dyje (lokalita Ledové sluje). Dlouhodobější monitoring se realizuje zpravidla pomocí tyčových dilatometrů (případně s dálkovým přenosem dat) či extenzometrickým pásmem.

V poslední dekádě se projevilo na území města Brna, nebo v jeho blízkém okolí, aktivní skalní řízení, které významně ohrozilo obydlí i infrastrukturu. Skalní řízení se zpravidla objevuje v oblastech budovaných krystalinickými jednotkami Českého masivu. Nevhodně situovaná zástavba, která vznikala v průběhu desetiletí i staletí, měla za následek nevhodné zásahy do paty skalních výchozů. Většinou se tak dělo za účelem zvětšení plochy pro uskladnění různého materiálu za obytnými objekty a nezřídka i za účelem zvětšení obytných prostor ve stísněných prostorových podmínkách. Prakticky každý takový zásah

znamenal narušení stabilitních poměrů skalního masivu a zvětšení ohrožení obyvatel. Většina těchto skalních masivů je porušena četnými puklinami, břídlíčnatostí a silným navětráním (Brázdil, Kirchner et al., 2007).

Predispozici skalních výchozů pro aktivní skalní řízení je možné zhodnotit pomocí strukturních měření (porušenost plochami nespojitosti) a také tvrdoměrnými měřeními pomocí Schmidtova kladiva (stupeň navětrání hornin). Strukturní měření se provádějí geologickým kompasem, kterým lze změřit směr, sklon a směr sklonu ploch nespojitosti. Plochami nespojitosti se rozumí zejména pukliny, zlomy, vrstevní spáry a břídlíčnatost (foliace). Geologický kompas byl původně používán horníky k zaměřování důlních chodeb a rudních žil, od běžného kompasu se liší jeho stupnice záměnou západu s východem. Schmidtova kladivo bylo vyvinuto v roce 1948 pro nedestruktivní testy tvrdosti betonu. V geomorfologii se používá pro nejrůznější účely, ke kterým patří relativní datování, studium procesů zvětvávání a vlivy geomorfologické hodnoty hornin na tvary reliéfu. Přístroj měří hodnotu odskoku úderníku (R) od skalního povrchu. Energie úderníku je zčásti spotřebována absorpcí (tj. energie spotřebovaná na plastickou deformaci horniny pod čelem úderníku) a přeměněna na teplo a zvuk. Zbývající energie představuje odpor proti vniknutí úderníku do povrchu horniny. Tato energie umožňuje odraz úderníku od skalního povrchu.

Cíle

1. Dokumentace geologických predispozic a zhodnocení rizika skalního řízení v lokalitě Kamenná kolonie.
2. Návrh způsobu zmírnění rizika vyplývajícího z nestability skalních svahů.

Návod pro vypracování

Kamenná kolonie - komplexní zpracování lokality potenciálního skalního řízení v intravilánu města Brna

1. Vyhotovejte pro řešenou lokalitu přehlednou topografickou skicu a zaznamenejte si následující údaje: geografické souřadnice; lokalizace (ulice, městská čtvrť); hornina budující nestabilní svahy; rozměry rizikových skalních ploch (zaznamenejte souhrnnou délku skalních stěn, jejich výšku zaměřte pomocí laserového dálkoměru); sklon svahu (příkrý, svislý, převýšený; uveďte sklon ve °); popište objekty, které jsou řízením potenciálně ohroženy (typ/využití a počet).
2. Podrobnější průzkum provedte v oblasti skalního pilíře při východním okraji Kamenné kolonie. Každá skupina pracuje pouze na jedné straně skalního pilíře (rozdělení jsme provedli společně při návštěvě místa).
3. Zaměřte terénní profil od temenní plošiny pilíře až k ohroženým objektům (rodinný dům na jedné straně, asfaltová komunikace na druhé straně). Měření profilu v terénu bude zahrnovat zaměření šířky temenní plošiny, výšky skalní stěny a délky a sklonu svahu pod ní.
4. Zjistěte rozsah plochy, na které se nacházejí skalní úlomky opadávající ze skalní stěny (změřte šířku a délku plochy).
5. Změřte velikost osy a , b a c u 30 zřícených úlomků. Úlomky nevybírejte náhodně, ale měřte v uzlech gridu (např. s krokem 0,5 nebo 1 m). Zanedbejte úlomky s délkou osy a (nejdelší osa) pod 10 cm. Vypočítejte tzv. nominální průměr klastů podle vztahu: $D_n = (a \cdot b \cdot c)^{1/3}$. Hodnoty graficky vyjádřete histogramem. Dále vyhledejte 5 největších zřícených klastů a rovněž změřte jejich osy a , b a c . Jejich velikost rovněž vyjádřete indexem D_n .
6. Pomocí geologického kompasu provedte 30 měření směru a sklonu ploch nespojitosti (vrstevních spár, puklin). Kompasem měřte směr sklonu a sklon ploch nespojitosti.
7. Geologickým kompasem změřte generelní směr sklonu skalní stěny.
8. Provedte měření hustoty ploch nespojitosti. V horizontálním směru přiložte ke skalní stěně pásmo a zaznamenejte rozestupy ploch nespojitosti. Obdobné měření provedte

ve vertikálním směru. Vyjádřete jejich hustotu počtem na jednotkovou délku (# / m). Vypočtete vzdálenosti mezi sousedními plochami nespojitosti.

9. Vyhodnocení strukturních měření:

- Vykreslete průsečnicový diagram (tzv. velké oblouky, great circles) znázorňující směry a sklony ploch nespojitosti pomocí programu Georient. Instalační soubor programu najdete v Příloze 9. Pomocí diagramu porovnejte směr sklonu svahové plochy (skalní stěny) se směry sklonu ploch nespojitosti. Písemně shrňte, jak může prostorová orientace ploch nespojitosti přispívat na dané lokalitě k rozvoji svahových pohybů.
- Sestavte krabicové grafy vzdálenosti ploch nespojitosti, zvláště pro měření v horizontálním a vertikálním směru. Porovnejte, zda se liší hustota ploch nespojitosti v horizontálním a vertikálním směru. Vypočítejte průměr, variační rozpětí a směrodatnou odchylku pro oba směry měření.
- Porovnejte hustotu ploch nespojitosti (rozestupy puklin) s velikostí zřícených úlomků. Je velikost úlomků predisponovaná hustotou rozpuštění skalního masivu?

10. Na každé lokalitě proveďte sérii tvrdoměrných měření s použitím Schmidtova kladiva. Proveďte 30 měření v horizontálním (vrstevnicovém) směru.

11. Vyhodnocení tvrdoměrných měření:

- Naměřené hodnoty odrazu R uspořádejte sestupně a odstraňte 50% nejnižších hodnot. Z horní poloviny hodnot vypočtete průměr.
- Vypočtete průměrnou hodnotu. Čím je zjištěná hodnota R nižší, tím větší je stupeň zvětrání skalního masivu.
- Konfrontujte zjištěné R hodnoty s výsledky publikovanými v literatuře (viz např. Goudie, 2006; Přílohy 6 a 7).

12. Odeberte jádra z 5 stromů rostoucích pod skalními stěnami dendrologickým vrtákem (4 vývrty z každého stromu. Zaznamenejte vždy druh stromu, výčetní tloušťku, vzdálenost od skalní stěny a sklon svahu. Projděte porost pod skalními stěnami a zaznamenejte nárazové jizvy (pokud budou nějaké) na kůře stromů. Proveďte fotodokumentaci jizev.

13. Na základě výsledků strukturních a tvrdoměrných měření porovnejte strukturně geologické (stabilitní) předpoklady rozvoje skalního říčení po obou stranách skalního pilíře.

14. Diskutujte, jaké další faktory, mimo strukturní poměry, mohou ovlivnit výsledný stupeň ohrožení obytné zástavby a cesty pod skalním pilířem.

15. Diskutujte, jaká opatření by bylo možné aplikovat pro stabilizaci skalních stěn a ochranu osob a staveb nacházejících se v blízkosti skalního pilíře.

Použité pomůcky

laserový dálkoměr (s vestavěným sklonoměrem), měřické pásmo, geologický kompas, Schmidtovo tvrdoměrné kladivo, software Georient (http://www.holcombe.net.au/software/rodh_software_georient.htm)

Požadované výstupy

1. Topografická skica Kamenné kolonie, ve skice budou zejména vyznačeny objekty potenciálně ohrožené skalním říčením.
2. Histogram velikosti zřícených úlomků pod skalní stěnou.
3. Krabicové grafy s rozstupy puklin (horizontální, vertikální směr).
4. Průsečnicové diagramy (velké oblouky, tektonogramy) znázorňující směr sklonu a sklon ploch nespojitosti ve skalním podloží.
5. Tabulka se zaznamenanými R hodnotami tvrdoměrných měření, průměrná hodnota. Porovnání s tabelovanými hodnotami podle práce Goudie (2006).
6. Textové shrnutí obsahující zhodnocení vlivu geologické struktury na riziko skalního říčení (rozbor vztahů mezi morfologií skalního výchozu a prostorovým uspořádáním ploch nespojitosti, vliv hustoty puklin na rozpad skalního masivu a velikost zřícených úlomků, stupeň oslabení skalního masivu hodnocený tvrdoměrnými měřeními Schmidtovým kladivem). Shrnutí, jakou informaci se podařilo získat z jader odvrtných

ze stromů pod stěnou skalního pilíře. Zhodnocení míry ohrožení majetku a osob na jednotlivých lokalitách a návrh vhodných ochranných opatření.

Seznam příloh

Příloha 1: Fotografie geologického kompasu s popisem jeho částí. (zdroj: http://geologie.vsb.cz/PRAKTIKAGEOLOGIE/KAPITOLY/6_M%C4%9A%C5%98_KOMPASEM/Geologick%C3%BD_kompas.htm; 11. prosince 2009)

Příloha 2: Definice směru a směru sklonu ploch nespojitosti. (zdroj: http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?smer_vrstvy; 11. prosince 2009)

Příloha 3: Způsob měření směru sklonu a sklonu vrstev pomocí geologického kompasu. (zdroj: <http://www.geology.cz/aplikace/fotoarchiv/fotoarchiv.php?foto=16671>; 11. prosince 2009)

Příloha 4: Schmidtovo kladivo, typ DIGI - SCHMIDT 2000 model ND.

Příloha 5: Návod výrobce pro ovládání Schmidtova kladiva.

Příloha 6: Tabulky s *R* hodnotami pro různé druhy hornin. (zdroj: Goudie, 2006, s.705-708)

Příloha 7: Tabulka s klasifikací geomorfologické hodnoty hornin na základě *R* hodnot. (zdroj: Goudie, 2006, s.706)

Příloha 8: Tabulka empirických zjištěných korelačních vztahů mezi tvrdostí horniny zjištěnou Schmidtovým kladivem a vybranými mechanickými vlastnostmi hornin (pevnost v tlaku, Youngův modul pružnosti). (zdroj: Goudie, 2006, s. 709)

Příloha 9: Instalační soubor programu Georient 32 v9

Doporučená literatura / informační materiály

- Monografie
 - Brázdil, R. - Kirchner, K. et al. (2007): Vybrané přírodní extrémní jevy a jejich dopady na Moravě a ve Slezsku. Masarykova univerzita - ČHMÚ - Ústav geoniky AV ČR, Brno - Praha - Ostrava, kap. 4.2 Geomorfologické extrémní jevy (4.2.2.3 Skalní řízení, s. 253-255), kap. 5.2 Dopady geomorfologických extrémů (5.2.2 Skalní řízení, s. 298-303).
- Časopisecké články
 - Goudie, A.S. (2006): The Schmidt Hammer in geomorphological research. Progress in Physical Geography, roč. 30, s. 703-718.
- Webové stránky
 - Stránky České geologické služby věnované geohazardám. Jedná se o katalog zahrnující 45 geohazardů, včetně skalního řízení. Geohazardy jsou katalogizovány podle původu a podmínek vzniku, geografického rozšíření, časového charakteru, společenského vlivu, typu nebezpečí apod.
<http://www.geology.cz/aplikace/geohazardy/>
 - Výukový materiál ČVUT Praha pojednávající o grafickém znázornění strukturních měření (směry a sklony ploch nespojitosti).
<http://departments.fsv.cvut.cz/k135/wwwold/webkurzy/ig/ig-web/diskont.html>
 - Výukový materiál VŠB Ostrava popisující měření s geologickým kompasem.
http://geologie.vsb.cz/PRAKTIKAGEOLOGIE/KAPITOLY/6_M%C4%9A%C5%98_KOMPASEM/Geologick%C3%BD_kompas.htm