

Ing. Jan R y b á ř , CSC., Ústav geologie a geotechniky ČSAV, Praha

Zkušenosti s řešením stability svahů v kanadských lomech

V závěru roku 1987 jsem navštívil v rámci mezinárodní spolupráce mezi Československou akademií věd a Kanadskou národní radou pro výzkum (National Research Council of Canada) kanadská výzkumná a vysokoškolská pracoviště zaměřená na inženýrskou geologii a geotechniku v provinciích Alberta, Britská Kolumbie a Ontario. Jednou ze studovaných otázek byla stabilita svahů při lomovém dobývání nerostných surovin.

Kanada, druhý největší stát světa, s pouhými 24 milióny obyvatel, disponuje ohromnými zásobami nerostných surovin. Vzhledem k tomu, že převážná část území má velmi nepříznivé klimatické podmínky a je téměř neosídlená, soustřeďuje se těžba surovin do jižních, teplejších částí státu, přičemž značnou převahu má lomové dobývání. V západní části Kanady v provincii Britská Kolumbie to jsou především lomy na těžbu rud ve skalních a poloskalních horninách. Na západní část Kanady je vázána také i lomová těžba uhlí, která má největší rozsah v provincii Alberta, ale také v Britské Kolumbii. Převážná část lomů je založena v horninách poloskalního a skalního charakteru, menší část v nezpevněných horninách. Zvláštností Kanady je lomová těžba živičných písků v severní části provincie Alberta. V osídlené části Kanady jsou také časté kamenolomy na nerudné suroviny pro průmyslové i stavební účely.

Díky laskavosti pracovníků katedry geotechnického inženýrství na fakultě inženýrství University Alberta v Edmontonu i pracovníků organizace CANMET (Canada Centre for Mineral and Energy Technology) v Devonu jsem měl možnost přímo navštívit lomy na těžbu živičných písků, i několik uhelných lomů.

Uhelné lomy

V provincii Alberta a Britská Kolumbie probíhá rozsáhlá povrchová těžba uhlí, přičemž převažuje kvalitní černé uhlí s vysokou výhřevností, včetně koksovatelných druhů. Ložiskové údaje o zásobách uhlí v Kanadě uvedl prof. ing. J. Hojdar, dr. h. c., v časopise Uhlí (1), včetně charakteristiky technologických postupů těžby.

Povrchová těžba uhlí v Kanadě má své zvláštnosti, především v závislosti na složitém tektonickém porušení úložných poměrů. Uhlonosné vrstvy jsou většinou intenzívně zvrásněné, často strmě ukloněné, místy obsahující měkké polohy, včetně bentonitických jíílů. Navíc je většina lomů lokalizována v horském terénu ve strmých svazích a hřebenových partiích v nadmořských výškách až přes 2000 m n.m. Základní metodou těžby je kombinace lopatových rýpadel s těžkotonážní automobilovou dopravou. Užívá se vozů o nosnosti až 170 t, zkušebně již také vozy s nosností 350 t. Přemísťování skrývky i uhlí automobily je rozhodně nákladnější než bezdopravní systém pruhového dobývání, využívající velkorýpadel s vlečným korečkem. Tento systém je však vhodný pouze pro velkolomy v rovinnatém území prerie. Tam rýpadlo přímo za sebou vyplňuje skrývkovou zeminou vyuhlený prostor. Tento způsob těžby se uplatňuje např. v uhelných lomech Highvale a Whitewood u jezera Wabamun Lake Z od Edmontonu.

Průzkum pro nový lom se opírá o stanovení geomechanických vlastností hornin, o detailní studium místních i regionálních strukturně geologických poměrů, o zjištění hydrogeologických poměrů, ale i o stanovení podmínek původní napjatosti. Během těžby dochází k postupnému ověřování dat užitých pro plánování lomu. Jsou zjišťovány odlišnosti, přednostně u geologických a strukturně geologických údajů. Ve všech lomech ve Skalistých horách a v jejich předhoří je praktikováno provozní geologické mapování odkrytých důlních partií.

Běžným rysem většiny lomů je porušení lomových stěn. Důležitý je přitom požadavek zabezpečit vždy takový systém varování před hrozícím porušením, aby bylo možno včas provést nápravná opatření a zabezpečit ochranu pracujících i technologických zařízení. Ekonomické tlaky stále nutí provozovatele těžby vytvářet svahy co nejstrmější, což občas vede k přehnání přípustné míry rizika. Za nej nepřijatelnější prostředek ke zmírnění tohoto rizika je považováno geotechnické kontrolní sledování (monitoring). Zpracování všech získaných dat urychlují počítače, což přispívá k optimalizaci důlních postupů. Nejběžněji se používá elektronické dálkoměrné měření (dále "EDM"). Ve většině případů se EDM systém kombinuje s piezometry a s povrchovými lankovými extenzometry, méně často s extenzometry osazenými ve vrtech, s geodetickou nebo s hydraulickou nivelací, příp. s měřením změn v předpětí kotev. V současné době je snaha rozšířit také mikroseizmiku. Využívá se i všech jednoduchých metod pro zabezpečení varování před hrozícím porušením. Patří sem běžná geodetická služba v lomu, provozní geologické mapování, vizuální kontrola trhlin a jiných projevů nestability, sledování poměrů podzemní vody.

V závislosti na hloubce lomu se počítá s několika úrovněmi rizika:

nízké riziko	hloubka do 50 m
středně vysoké riziko	50 - 100 m
hazardní situace	přes 100 m
extrémně hazardní situace	přes 140 m.

Za součást kontrolního sledování jsou považovány vyrovnané stavy. Při dosažení jednotlivých varovných stavů se postupuje podle zásad havarijních plánů lomů, stanovených pro všechny lomy s vyšším stupněm ohrožení. Obsahují praktické pokyny ke zmírnění anebo odvrácení hrozícího rizika.

Pro "varovná kritéria" jsou uvažovány poměrně vysoké hodnoty. Odpovídají spíše našim "mezným varovným stavům", tj. nástupu závěrečné fáze porušení svahu, než "varovným stavům", kterými u nás rozumíme nástup stavu zvýšeného rizika, vyžadujícího rozhodnutí o dalším postupu.

S konkrétními přístupy k řešení stability svahů lomů jsem se seznámil při návštěvě jednotlivých oblastí. Poučný je příklad sesuvu, který zavalil lom UEL v areálu společnosti Smoky River Coal Ltd. v Grand Cache, v provincii Alberta. Geometrie případu má některé obdobné rysy jako profil pod zámkem Jezeří v předpolí Lomu Čs. armády. Těžila se zde 6,5 m mocná uhelná sloj ve strmém rameni asymetrické synklinály. Svah dosáhl výšky až 170 m. Těžba skrývky i uhlí postupovala po etážích. V podložních pískovcích vznikal svah s jednotným sklonem 65 až 70°. Po vyuhlení každé etáže byl svah zabezpečen krátkými předpjatými kotvami (celkem 1 750 kusů) a svorníky (600 kusů). Kotvy dlouhé 6 až 10 m upadaly proti svahu 10° a byly osazovány v síti cca 3 x 5 m (2). Byla také uvažována alternativa budovat svah v podložních horninách s lavičkami v celkově mírnějším sklonu. Z důvodů nárůstu objemu skrývkových prací byla tato alternativa zamítnuta a byla dána přednost kotvení.

Když těžba dosáhla úrovně asi 20 m nad plánovaným dnem lomu, začalo se projevovat porušení svahu. Do té doby nepatrné pohyby se začaly zrychlovat. Průběh deformací byl nerovnoměrný. Při dosažení rychlosti 10 mm/den byla těžba pro jistotu zastavena. Několik dnů poté se dne 20. června 1987 svah zhroutil. Zbytek uhelných zásob zůstal nevytěžen.

Z diskuse s pracovníky, kteří se podíleli na návrzích kotvení i interpretaci monitoringu vyplynulo poučení o příčinách havárie v Lomu UEL:

- a) Prognóza možného mechanismu porušení byla chybná. Na základě předchozích zkušeností se stabilitou svahů ve strmě ukloněných sedimentárních horninách byly uvažovány 4 možné

alternativy porušení stability. Nastal však zcela jiný neočekávaný případ. V dolní části svahu se uplatnila průběžná tektonická zlomová plocha, ukloněná proti svahu. Podél ní omezený horninový klín se pootočil do lomu, v nadloží se vytvořila hluboká smyková plocha. Zóna vyztužená kotvami a svorníky zůstala na povrchu pohybující se části masívu.

- b) Systém kontrolního sledování byl nevyhovující. Byly užity povrchové lankové extenzometry, 2 vícenásobné extenzometry ve vrtech, 2 vrty vybavené piezometry, 24 snímačů napětí kotev a systém EDM. Povrchové extenzometry byly osazeny v okolí horní hrany svahu na povrchu horninového bloku, který se pohyboval jako celek. Nebyly proto naměřeny žádné deformace. Vrty pro extenzometry byly prakticky kolmé ke smykové ploše, což znemožnilo zachytit menší deformace. Navíc nefungovalo elektronické odečítací zařízení a tak při větších deformacích nebyl možný ani ruční odečet pro příliš riskantní přístup ke zhlaví vrtů do stěny. Žádné výsledky neposkytly rovněž snímače napětí kotev, neboť kotvy ležely v části masívu, který se posouval jako celek. Neselhala vlastně jen metoda EDM. Měřilo se z protisvahu geodimetrem AGA, v posledních týdnech až 3 x za den. Výsledky měření vyhodnocoval ihned počítač. Lze shrnout, že monitorovací systém, tak jak byl proveden, nebyl schopen odhalit porušení masívu v hloubce a neumožnil zachytit vrcholnou fázi přetvoření svahu před jeho zhroucením.
- c) Byl zpochybněn význam krátkých kotev a svorníků ke zlepšení stability vysokého svahu.

V lomové oblasti společnosti Smoky River Coal Ltd. vznikají také značné problémy s nedostatkem úložných prostorů pro skryvku. V členitém horském terénu jsou výsypky sypány na strmé svahy, přičemž dochází k devastaci značně rozlehlého území v předhůří Skalistých hor.

Řada metodických poznatků o chování svahů při povrchovém dobývání intenzívně zvrásněné sloje pochází od pracovníků společnosti Cardinal River Coals Ltd. (Luscar, Alberta). Opírají se o vlastní zkušenosti (3) z lomové oblasti, kde vznikla řada velkých sesuvů, včetně porušení 300 m vysokého svahu. V době mé návštěvy byly již sesuté hmoty na tomto svahu překryty vnitřní výsypkou.

V obdobných poměrech probíhá těžba v nedalekých lomech Greeg River Resources Ltd. Nejvyšší lomová stěna tam dosahuje výšky asi 200 m, ve střední části byla při mém pobytu porušena trhlinami. Kontrolní sledování se opírá o metodu EDM. V době dešťů probíhá měření každodenně, jinak každé 3 dny.

S nejvyšší lomovou stěnou jsem byl seznámen v oblasti Line Creek Mine ve Sparwoodu v Britské Kolumbii. Šlo o pracovní stěnu, tvořenou převážně regidními pískovci, vysokou 300 m, s generelním sklonem 49° . Zatímco těžba v tomto extrémně vysokém svahu probíhá bez problémů, musí být o 50 až 100 m nižší a přitom mírnější svah zabezpečován horizontálními odvodňovacími vrty a svorníky. Boční i čelní svah jsou sledovány metodou EDM, přičemž interval měření je překvapivě dlouhý, neboť se měří pouze 1 x měsíčně. Tento přístup se jeví jako velmi riskantní; opírá se však o dosavadní místní příznivé zkušenosti, neboť na této lokalitě, na rozdíl od většiny ostatních, zatím nedošlo k žádné větší havárii svahu.

V Britské Kolumbii jsem také navštívil v Corbinu lomy společnosti Byron Creek Collieries Coal Mountain. V lomové oblasti, kde nejvyšší stěna dosahuje výšky asi 150 m při generelním sklonu 39° , vznikají především problémy s ukládáním skrývkového materiálu, z převážné části tvořeném méně odolnými jílovitými břidlicemi a prachovci.

Lomy na živičné písky.

V zóně s ojedinělým výskytem permafrostu u města Fort McMurray bylo před 10 lety otevřeno ložisko Athabasca s obrovskými geologickými zásobami živců, vázanými na souvrství písků křídového stáří. Ložisko má plošnou rozlohu odpovídající jedné třetině území Československa.

V úseku s ideálními úložnými poměry byla zahájena povrchová těžba živičných písků nejdříve ve velkolomu společnosti Suncor, později i společností Syncrude. V závodě Suncor byla nasazena kolesová rýpadla v kombinaci s pásovou dopravou. Nevznikají tady žádné problémy se stabilitou svahů velkolomu.

Odlišné jsou poměry ve 2 křídlech velkolomu společnosti Syncrude, kde jsou základem technologie velkorýpadla se zavěšeným korečkem. Stěny v olejových píscích dosahují dnes až 40 m výšky a mají sklon 45 - 50°. Vznikají v nich časté deformace několika typů (4). Mezi nejnebezpečnější patří náhlé skluzy části stěn podle predisponovaných ploch nespojitosti glaci-tektonického původu. Jde o velmi rychlé procesy, které lze jen těžko podchytit monitoringem. Věnuje se proto zvýšená pozornost průzkumu, který využívá především speciální karotáže na vyhledávání predisponovaných ploch a zón nespojitosti. S cílem zabezpečit bezhavarijní provoz velkorýpadel je věnována enormní pozornost kontrolnímu sledování. Stěny v živičných píscích jsou sledovány vizuálně, geodeticky a fotogrammetricky, ale především se využívá přesné inklinometrie. Horní hrana řezu v živičných píscích je lemována inklinometrickými vrty, od sebe vzdálenými 20 až 50 m. Vrty v okolí velkorýpadla jsou odečítány každé 2 hodiny. V oddělení geotechnického inženýrství mají proto vždy 3 pracovníci nepřetržitou službu.

Pro zlepšení stabilitních poměrů se v některých případech preventivně provádějí trhací práce. Užívají se např. v místech, kde hrozí vliv uvolňování abnormální zbytkové horizontální napjatosti koncentrované (koeficient K_0 = až 3) v čočkách jílu uvnitř souvrství písků. Rozrušují se jimi také predisponované

plochy porušení. Ke zlepšování stabilitních poměrů slouží také linie čerpacích studní v předpolí lomu, kterými se snižují napjaté horizonty ve zvodněných píscích v podloží ložiska.

Souhrnné hodnocení

Za hlavní faktor, který ovlivňuje přístup k bezpečnosti svahů lomů v Kanadě považují způsob těžby. V lomech s technologií malolomů (i když se stěnami vysokými přes 300 m), přistupuje provozovatel těžby obvykle na vysoké riziko. Vzniká někdy dojem, že jsou svahy tvarovány vědomě do sklonů se stupněm bezpečnosti blížícím se 1. Je přirozené, že poměrně často dochází k porušení svahů lomů. Někdy dochází k zavalení lomu a k ukončení těžby; stává se to zpravidla v době, kdy je již podstatná část ložiska vytěžena. Zatím se daří, že sesuvy probíhají i ve skalních horninách bez ztrát na životech a že ani nedochází k ničení technologie. Ta je vždy včas přemístěna - díky vysoké mobilitě, dobře organizovanému kontrolnímu sledování a havarijním plánům. Kombinace lopatových rýpadel a velkotonážních nákladních automobilů umožňuje, aby všichni pracující (jsou trvale v bezdrátovém spojení) i stroje během několika minut po vyhlášení poplachu vyklidili ohrožený prostor.

Přesto i v lomech s technologií malolomu jsou značné rozdíly v přístupu ke stabilitě svahů. Odvaha provozovatelů lomů riskovat narůstá dokud nedojde k žádné větší havárii. Prostředky na monitoring jsou zpravidla oklešťovány. Příkladem lomu, kde byl význam monitoringu zjevně podceněn, je zavalený lom UEL v Grand Cache v provincii Alberta nebo 300 m vysoká stěna lomu v oblasti Line Creek Mine ve Sparwoodu v Britské Kolumbii.

Jiná situace je ve velkolomech s těžkými, pomalu se přemísťujícími velkorýpadly se zavěšeným korečkem. Tam je úzkostlivě dbáno, aby v nejmenším nebyla ohrožena stabilita svahu v okolí velkorýpadla. Provozuje se neobvykle rozsáhlé kontrolní sledování. Např. v lomech Syncrude ve Fort McMurray jsou

geotechnické problémy trvale zajišťovány 19 vysokoškoláky a dalšími 30 vysokoškoláky ve smluvním pracovním poměru. Navíc je otázka stability svahů řešena radou geotechnických specialistů, která je poradenským orgánem společnosti Syncrude.

Význam kontrolního sledování a porovnání s Lomem Čs. armády

Pokusím se porovnat přístupy k řešení stability svahů v kanadských lomech s československými lomy, včetně Lomu Čs. armády. Kanadské uhelné i rudné lomy v horských oblastech jsou srovnatelné s lomy na rudné a nerudné suroviny zejména na Slovensku, kde se těží malolomovou technologií. Bohužel u nás většinou není zavedeno kontrolní sledování a deformace svahu je často zjištěna až při nástupu zrychlující se poslední fáze porušení.

Kontrolní sledování není u nás zatím samozřejmostí ani v hnědouhelných lomech s velkolomovou technologií. Výjimkou je Lom Čs. armády v SHR, který dnes těží při úpatí strmého okrajového zlomového svahu Krušných hor. Podle původního projektového záměru měly být vytěženy velkorýpadly uhelné zásoby beze zbytku až k výchozu. Z průzkumných prací vyplynulo, že v takovém případě hrozí nebezpečí porušení stability svahů krystalinika v předpolí lomu. Bylo nutno provést taková opatření, aby se tato eventualita vyloučila. Především byl při úpatí skalního svahu ponechán zbytkový pilíř z pánevních sedimentů ve funkci zatěžovací lavice a byl vybudován poměrně rozsáhlý systém kontrolního sledování. Tento systém by měl včas upozornit na případný nebezpečný vývoj porušení v krystaliniku, neboť zásadně v předpolí Lomu Čs. armády nelze připustit, aby došlo k celkovému porušení zlomového svahu Krušných hor. Při značném výškovém převýšení (až 700 m) by taková ztráta stability ve skalních horninách mohla vést k dlouhodobému přerušení

lomové těžby a tím k ohrožení celkové energetické situace. Navíc z ekologických důvodů nemůže být připuštěna enormní devastace přilehlých přirozených svahů hor, což je aspekt, který zatím v řídce osídlených oblastech Kanady není uvažován. Z toho vyplývá, že varovné stavy v rámci kontrolního sledování předpolí Lomu čs. armády jsou zčásti odlišně koncipovány než je obvyklé v Kanadě. V našem případě užívá kontrolní sledování také některé vysoce citlivé metody se záměrem zachytit jakékoliv náznaky porušení krystalinika již v počátečním stádiu vývoje. Jsou tomu přizpůsobena i přísná varovná kritéria.

Odlišná je situace v Lomu čs. armády při posuzování sesuvných deformací pánevní výplně. Vznikají deformace, které provozovatel těžby uhlí umí zvládnout, varovné stavy jsou zde formulovány zejména podle schopností úniku rýpadel, podle možností demontáže kolejí nebo dopravníkových pasů ap. Tak byly koncipovány i varovné stavy pro sesouvání kvartérních sedimentů v Lomu čs. armády. S ohledem na krajní schopnost důlního provozu udržet těžební práce v chodu platí "mezny varovny stav" odpovídající rychlosti 200 mm/den a "varovny stav" rychlosti 50 mm/den. Jde o kritéria srovnatelná s kanadskými.

Kanadské zkušenosti potvrzují, že systematické kontrolní sledování stabilitního chování svahů příznivě ovlivňuje rentabilitu lomové těžby a zvyšuje bezpečnost pracujících. V československých podmínkách může kontrolní sledování významně přispět i ke zmírnění negativních dopadů povrchového dobývání surovin na přírodní prostředí.