

Problematika těžby závěrných svahů na Dolech Nástup Tušimice

Martin Vrubeľ¹ a kolektiv a Dana Sládková²

Problems of definitive slopes mining at Doly Nástup Tušimice

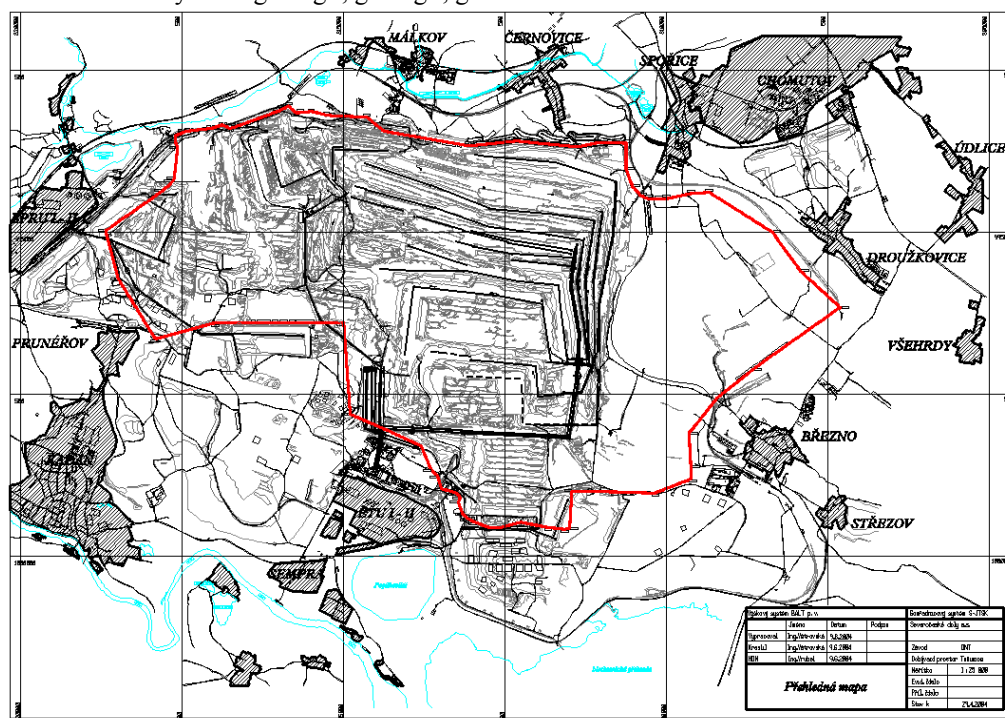
The instability of slopes influences mining business in many aspects at opencast mining. The temporary decrease of intended mined volumes due to landslips is common and sometimes there is necessary to change origin-mining plans. It has impact to economy and other essential costs for rehabilitation are required. In case of definitive slopes formation in contact to traffic and communication networks, watercourses and infrastructures of seats stability of slope security there is even more important. Monitoring of rock massive stability plays an important role.

Everything which stability of slopes is concerned belongs to essential tasks for mining technicians at opencast mining. The article explains what ways for definitive slope formation near mining boundary were selected at Severočeské doly j.s.c., Doly Nástup Tušimice mining site. The precautions refer to mining technology, preventive and reconstruction precautions for stabilization of slopes must to solve, are to described. Tasks, which mining engineers, surveyors, geologists and geotechnics have to solve are described.

Key words: Stability of slopes, mining technology, geology, geotechnics, calculation of slopes stability, monitoring, surveying work, stabilization precautions, act. The Czech Mining Authority No.26/1989

Úvod

Lomové dobývání hnědého uhlí Severočeské hnědohelné pánvi (dále jen SHP) bylo za uplynulé období doprovázeno celou řadou složitých inženýrsko-geologických problémů. Jedná se především o nestabilitu svahu. Ta u lomového dobývání negativně ovlivňuje báňské podnikání v mnoha aspektech. Často dochází z důvodů sesuvu k dočasnému poklesu plánovaných těžeb, někdy je dokonce nutné přehodnotit původní báňské záměry. To má dopad do ekonomiky těžby a jsou požadovány další nutné náklady na sanaci sesuvu. V neposlední řadě může nestabilita ohrozit lidské životy a poškodit těžební zařízení. Zkušenosti s řešením stabilitních problémů přinesly poznatek, že je nutné zajistit dobrou koordinaci několika oborů a to především báňské činnosti s inženýrskou geologií, geologií, geotechnikou a důlním měřictvím.



Obr. 1. Oblast závěrných svahů lomu Libouš v DP Tušimice.

Fig. 1. Region of definitive slopes of the open-cut mine Libouš in DP Tušimice.

¹ Ing. Martin Vrubeľ, Severočeské doly a.s., Doly Nástup Tušimice 43201 Kadaň, tel.: 420 474 602064, vrubel@mail.SDAS.cz

² Ing. Dana Sládková, Ph.D., Vysoká škola báňská-TU Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Institut geodézie a důlního měřictví, Česká Republika

(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 21. 5. 2007)

V článku je vysvětleno jaké přístupy byly pro zajištění stability zvoleny na Severočeských dolech a. s., Dolech Nástup v Tušimicích v lomu Libouš při vytváření závěrných svahů u hranice dobývacího prostoru Tušimice. Jsou popsána opatření týkající se báňské technologie, způsoby preventivních i sanačních opatření za účelem stabilizace svahu i úlohy, které musí báňští technici, měřiči, geologové a geotechnici řešit.

Báňsko technické podmínky dobývání v oblasti závěrných svahů

Zájemové území se nachází uvnitř dobývacího prostoru Tušimice. Území je situováno na Z až JZ od Chomutova v Ústeckém kraji na katastrech obcí Ahníkov, Březno, Černovice, Droužkovice, Kralupy u Chomutova, Krbice, Místo, Prunéřov, Spořice a Tušimice. Z geografického hlediska náleží lokalita do Mostecké pánve (západní části geomorfologického podcelku Chomutovsko-teplické pánve). Jedná se o plochou pahorkatinu, mírně ukloněnou od severozápadu k jihovýchodu. Na severu je pánev ohraničena prudce se zvedajícími svahy Krušných hor.

Zjednodušená geologická a hydrogeologická charakteristika oblasti závěrných svahů lomu Libouš

Charakteristika litostratigrafických a litofaciálních celků

Nejstarší regionálně geologickou jednotkou na lokalitě je krušnohorské **krystalinikum**. To buduje za severním výchozem uhelné sloje vlastní masív Krušných hor a spolu s terciárními vulkanickými horninami tvoří podloží terciární sedimentární výplně pánve. Převládajícím petrografickým typem jsou dvojslídne až biotitické pararuly s vložkami svorových, drobových rul, svorů a ortorul. Povrch krystalinika pod pánevními sedimenty je členitý, s četnými elevacemi a depresiemi, jeho stavba je kerná. Do hloubky až několika desítek metrů jsou horniny krystalinika pod pánevními sedimenty intenzivně kaolinizované.

Terciární výplň pánve začíná v zájemovém území oligocénním střezovským souvrstvím (Shrbený et al., 1994), označovaném podle neformálního litostratigrafického členění (Elznic et al., 1986) jako podpánevní vulkanický komplex. Ten je tvořen tělesy neovulkanitů a vulkanoklastiky, jednak pestrá směsí splachů z hornin vulkanogenních, křídly i krystalinika a je členěn do několika facií. Charakter hornin a jejich rozšíření jsou dány tehdejší členitostí území a vzdáleností od zdroje vulkanického materiálu (zájemové území se nachází na periférii Doupovského stratovulkánu). Vlastní vulkanity (bazanity v různém stadiu zjílovění) se vyskytují v několika izolovaných centrech pod pánevními sedimenty i za výchozem sloje. Na krušnohorském svahu někdy vyplňují fosilní koryta v horninách krystalinika. Zjílovělá vulkanoklastika a splachy obklopují vulkanická centra a jsou tvořena pestrobarevnými tufy, tufity a šedo zelenými tufitickými jílovci.

Nejstarším členem uhlonosného spodně miocénního mosteckého souvrství jsou podložní vrstvy. Jsou tvořeny splachovým materiálem, kterým postupně docházelo k zaplňování a zarovnávání sedimentačního prostoru (převážně šedé písčité tufitické jílovce). Uhlotvornou sedimentaci zásadně ovlivnil vodní tok přinášející do pánve od jihu klastický materiál (tzv. žatecká delta). Ten umožnil vznik rašelínotvorných močálů a pralesů. V počátečním období došlo k petrograficky a faciálně pestré sedimentaci spodních písčito jílovitých vrstev (jíly, písky, uhelné vrstvy, splachy), při nichž vznikla v části zájemového území v depresi ohraničené elevacemi krystalinika tzv. spodní uhelná sloj proměnlivé mocnosti a kvality. Vlastní ložisko hnědého uhlí tvoří hlavní uhelná sloj mocnosti 20 – 35 m, rozšířená v celém území severočeské hnědouhelné pánve. Člení se na tři uhelné polohy, označované jako sloje, a dvě polohy neuhelné, tvořící mezilži. Na severozápadě zájemového území se na ní neprojevil vliv žatecké delty a sloj je zde v jednotném vývoji.

Po náhlém přerušení odtoku z prostoru pánve, zániku uhlotvorného močálu a vzniku stálého jezera pokračovala sedimentace ukládáním vrstev monotónních jílu řazených do svrchních písčito jílovitých vrstev. Jejich maximální mocnost (po pozdější denudaci) dosahuje 130 m. Zánikem jezera někdy před 15 miliony lety sedimentace v pánvi končí a nastupuje proces denudace a ke konci terciéru vyklenování Krušných hor.

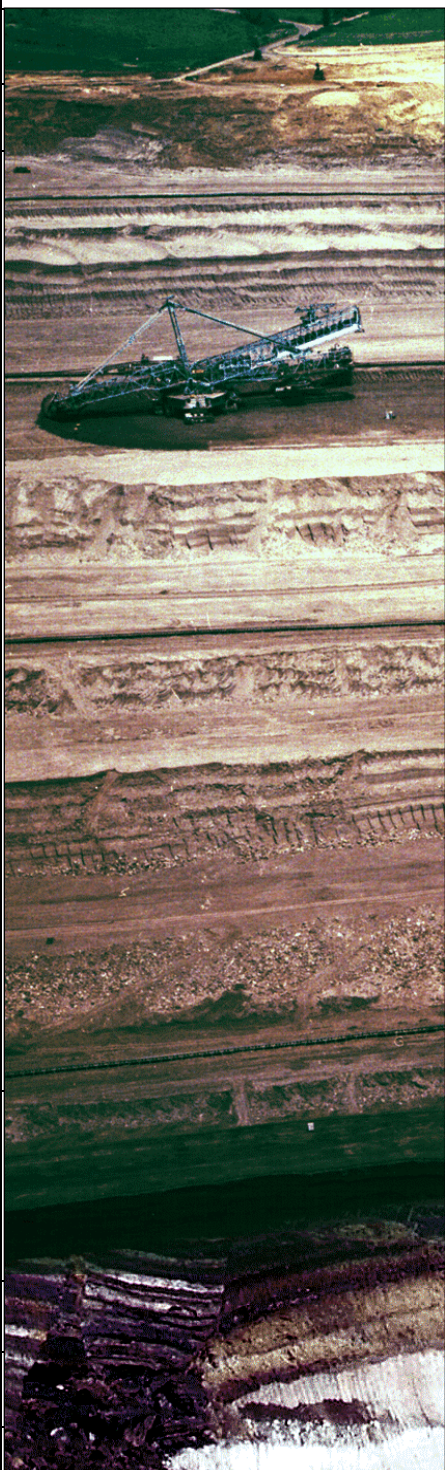
Charakter kvartérního pokryvu je silně ovlivněn morfologií území a liší se na úpatí Krušných hor a v ploché části lokality. Na úpatí krušnohorského svahu převládají svahové sutě a hlíny, které dosahují mocnosti až několika desítek metrů. Zvláštní pozornost zasluhuje fosilní sesuv mezi obcemi Málkov a Černovice obsahující velké bloky křemenců. V ploché části lokality je kvartér reprezentován sprašovými hlínami a hlinitými terasovými štěrkopísky mocnosti 1 – 3 m. Recentní povrch je tvořen převážně ornici.

Mrazovým zvětráváním v kvartéru se v nadložních jílovcích vytvořil při povrchu (až do hloubky 25 m) horizont oxidovaných „degradovaných“ rezavě zbarvených rozbrídavých jílu. Uhlenná sloj zároveň zvětrala v tzv. oxyhumolit.

Strukturní a tektonické poměry

Dnešní morfologie ložiska vznikla kombinací primárních struktur sedimentů a druhotných deformací - diferenciální diagenetickou kompakcí sedimentů a tektonickými pohyby spojenými s výzdvihem Krušných hor a zaklesáváním pánevního dna. Tektonická stavba území je kerná. Byly zjištěny čtyři zlomové systémy

V-Z, S-J, SZ-JV, JZ-SV, kterým dominuje regionální krušnohorský směr JZ-SV. Terciérní sedimenty jsou porušeny četnou drobnou tektonikou poklesového charakteru, která má ale jen lokální význam (s výškou skoku max. 1-3 m).

PROFIL	POPIS	STÁŘÍ
	ornice, sprašové a svahové hlíny, sutě, štěrkopisky (mocnost 1 – 20 m)	Kvartér do 1,9 mil.let
	svrchní písčito-jílovité vrstvy zvětralé jíly regelační zóny (mocnost až 25 m)	Terciér spodní miocén mostecké souvrství
	svrchní písčito-jílovité vrstvy jílovce v nadloží uhelné sloje (mocnost až 130 m)	(17 – 20 mil.let)
	hlavní a spodní hnědouhelná sloj (mocnost až 50 m) spodní písčito-jílovité vrstvy	(20 – 22 mil.let)
	písčité a tufitické jílovce podložních vrstev	(do 23 mil.let)
	vulkanity, tufy, tufitické jílovce	Terciér – oligocén střezovské souvrství (23 – 38 mil.let)
	kaolinizované ruly	krušnohorské krystalinikum

Obr. 2. Zjednodušené schéma geologických poměrů na Dolech Nástup Tušimice.
Fig. 2. Simplified design of geological structures in mines Nástup Tušimice.

Nejvýraznější tektonickou linií na ložisku je tzv. Kralupská (Ludmilská) porucha, predisponovaná stavbou hlubšího podloží, která se projevuje jako komplikovaná soustava několika přibližně paralelních zlomů směru SZ – JV, délky téměř 2 km a šířky několika desítek metrů. Sloj je při výšce skoku téměř 20 m

shozena k severu. Překonání této tektonické poruchy je spojeno s řešením celé řady problémů a rizik (smíšené řezy, zhoršená stabilita, hydrogeologické poměry, zahlubování báňské technologie do pokleslé kry sloje atd.). Na severním krušnohorském svahu je sloj poměrně strmě „vrásovitě“ vyvlečena a porušena širokým pásmem směrných zlomů (poklesů i protisměrných krušnohorskému svahu). Nejvýraznější porucha (zjištěná v délce několika set metrů) má výšku skoku cca 15 m při sklonu 40-70° k JJV, výška skoku ostatních nepřesahuje první metry.

Hydrogeologická charakteristika

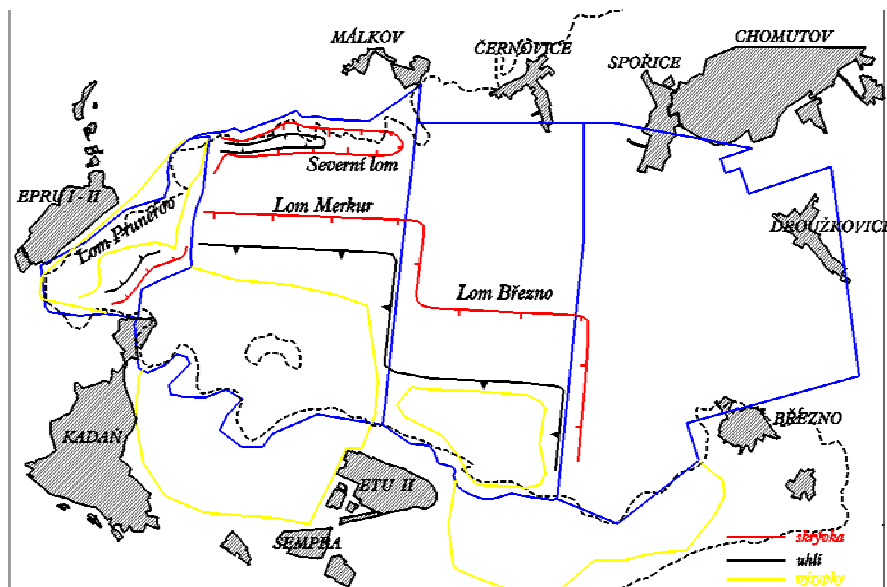
Je třeba konstatovat, že přirozené hydrogeologické poměry lokality i jejího okolí jsou dlouhodobě transformovány těžební činností (nejdříve hlubinnou, později povrchovou). Krystalinikum lze charakterizovat jako málo zvodnělý kolektor slabě puklinově propustný, který je stíněn kaolinickými zvětralínami, a to i v prostoru kralupské poruchy. Zvodnělý systém uhelné sloje je dostatečně znám. Uhlenná sloj má charakter puklinového kolektoru, který se však vzhledem k rozměrům a frekvenci puklin projevuje jako průlinový. Jednotný zvodnělý systém v důsledku štěpení slojí k JV přechází v systém tří samostatných zvodněnců, který je komplikován výskyty meziložních písků. Z hydrogeologického hlediska je hlubinně přerubaná uhelná sloj (tzv. stařiny) anomální umělou strukturou. Tento zvodnělý systém prochází neustále intenzivními změnami, např. vzestup hladiny ve stařinách dolu Václav (čerpání ukončeno v 60. letech) až na kótu 319 m.n.m., tedy cca. 50-60 m nad úroveň hlavy sloje. Regionálně však pokračuje rozsáhlé snižování hladin v těžené sloji. Jíly a jílovce v nadloží sloje tvoří díky svému mineralogickému složení izolant zvodnělého pásma uhelné sloje a lze je považovat za nepropustné. V místech poddolování je však nepropustnost narušena a napjatá hladina stařinové zvodně způsobuje podmáčení nadložních zemin. Kvartérní sedimenty jsou zvodnělé jen lokálně. V souvislosti s postupem lomů byly veškeré toky, směřující z Krušných hor do zájmového území, přeloženy a odvedeny mimo něj. Významnější zvodnění bylo potvrzeno v heterogenních akumulacích kvartérních sedimentů u Málkova a pod Černovicemi.

Zjednodušeně lze říci, že **závěrné svahy lomu Libouš** jsou vytvářeny téměř ve všech litostratigrafických a litofaciálních celcích, které jsou v této části hnědouhelné pánve zastíženy. Část svahů (západ) se nachází v oblasti výchozu uhelné sloje. Snaha využít ložisko uhlí co možná nejhospodárněji, tak jak ukládá zákon č.44/1988 Sb. (Horní zákon) ve svém § 30, nás vede k vytváření svahů postupně v krystaliniku, podložních jílech, vulkanitech, tufech a tufitech, v uhelné sloji a poddolovaném i nepoddolovaném nadloží. Tedy v materiálech s různými pevnostními charakteristikami, v pestrých podmínkách hydrogeologických i tektonických. Lom Libouš se tak stal geotechnickou laboratoří v měřítku 1:1, kde je nutno se zabývat širokou škálou geomechanických, geologických, báňských, hydrogeologických a dalších problémů.

Soubor opatření souvisejících s vytvářením závěrných svahů lomu Libouš

Historická zkušenost – douhlení lomu Merkur

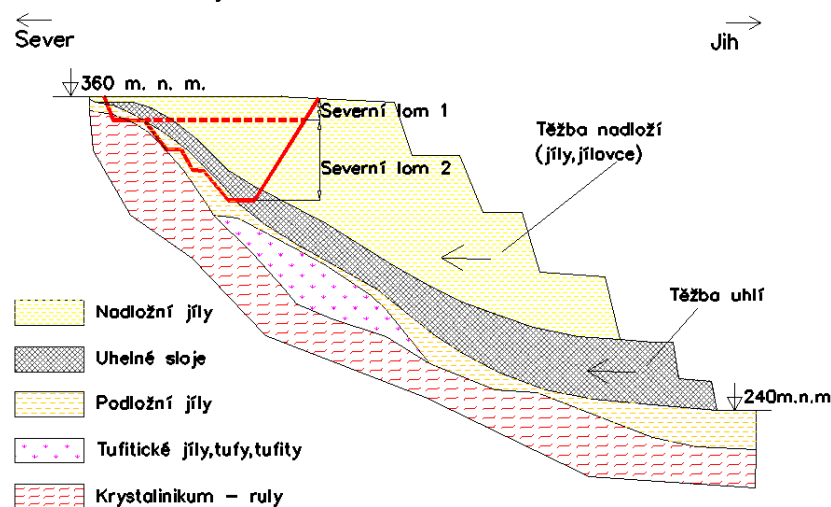
Problém báňských postupů na úpatí Krušných hor není nikterak nový. Generální směr postupu skrývkových a uhelných řezů tehdejšího státního podniku Doly Nástup Tušimice byl v této části lomu projektován severním směrem. V západní části těžil lom Merkur a s určitým odstupem lom Březno na východě (obr. 3).



Obr. 3. Schéma postupů bývalých lomů Merkur a Březno a princip SL.
Fig. 3. Design of techniques in the former open-cut mines Merkur a Březno and SL principle.

Konečná fáze těžby na **lomu Merkur** probíhala v ukloněných partiích sloje v blízkosti výchozu sloje (typický řez je na obr. 4). Sklony vrstevních struktur produktivního souvrství převyšují 10 – 15°, místy ale i 20° byly dosahovány právě u výchozových partií. Tyto sklony ale převyšují reziduální pevnost jílovité terciární sedimentace i kontaktů uhelné sloje s podložními vrstvami.

Schematický řez lomem Merkur



Obr. 4. Schematický řez lomem Merkur a princip předstihového Severního lomu.

Fig. 4. Diagrammatic cut by the open-cut mine Merkur and principle of the leading open-cut mine Severní.

Geotechnici i bányští specialisté si i v minulosti byli vědomi složitosti těžby při výchozu uhelné sloje a měli oprávněné obavy z vlivu stabilitních poměrů na ekonomiku i bezpečnost těžby. Proto se od konce sedmdesátých let realizoval projekt předstihového lomu (**Severní lom**), který měl odtěžit část nadloží, podloží i uhelné sloje ve výchozových partiích sloje postupem ze západu k východu a „vylepšit“ stabilitní poměry před postupem lomu Merkur. Bylo zcela evidentní, že v tomto geologicky, hydrogeologicky i báňsky komplikovaném území není vhodné těžit kolesovými rýpadly řady TC2.

Těžba byla realizována:

Lopatovými rýpadly a automobilovou dopravou na vyšších horizontech (Severní lom 1).
Kolesovými rýpadly řady TC1 - KU300, K800 a pásovou dopravou na nižších horizontech (Severní lom 2).

Úkolem Severního lomu bylo systémem shora - dolů odtěžit v předstihu část výchozových partií, snížit tak celkovou výšku svahu 140 m o cca. 60 m (z úrovně terénu cca. 360 m.n.m. až na kótu 300 m.n.m.) a odlehčit tak hlavní těžební frontě lomu Merkur. Ne vždy však bylo odtěžení výchozů uhelné sloje a podložních sedimentů provedeno důsledně a to jak z krátkodobých ekonomických důvodů, tak i z technologických důvodů. Výsledkem bylo, že na severních svazích zůstaly nedotčeny výchozové ukloněné sedimentární partie, a to především v geologických anomáliích. Byla to jen otázka času, kdy dojde k sesuvným tendencím. Hornická činnost na lomu Merkur byla tehdy komplikovaná a dá se říct i poměrně nebezpečná. Vznikala riziková území, která značně komplikovala těžbu velkostrojů, které se přiblížily k hranici výchozu sloje a dobývacího prostoru. Mnohokrát byly měněny postupy rýpadel a to právě s ohledem na stabilitní poměry.

Původní **lomy Merkur a Březno** se v průběhu devadesátých let dvacátého století propojily v jediný lom **lom Libouš** (Obr. 1). Tak, jak se těžební fronty blížily k hranici dobývacího prostoru, tak se i upřesňovaly názory na způsob těžby v této komplikované oblasti. Přibývaly výsledky z inženýrsko-geologického průzkumu i praktické zkušenosti s předchozí těžbou lomu Merkur ve výchozových partiích sloje. Svahové části Severního lomu, na které se mělo po příchodu porubní fronty lomu Libouš navázat a začít se zahlubovat níž, byly posety menšími i většími sesuvy a hrozilo, že prostým pokračováním bez dalších opatření nebude možné bezpečně vytěžit uhelné zásoby mezi závěrným svahem a „Kralupskou poruchou“. Tím by Severočeské doly a.s. ztratily na Dolech Nástup Tušimice více než 35 mil. t. kvalitního energetického uhlí! Navíc by byla podstatně komplikována následná rekultivace. Začalo být stále víc a víc patrné, že dosavadní přístupy a opatření nejsou dostatečná a začaly se hledat cesty, jak stabilitní situaci vylepšit a uhlí bezpečně vytěžit.

Koncepční opatření

Severočeské doly a.s. si nechaly vypracovat u firmy GeoTec a.s. materiál „**Riziková analýza svahů**“ (říjen 1999). Předmětem tohoto materiálu je analýza, která stanovuje geotechnické rizikové faktory

eventuálních svahových pohybů závěrných svahů hlavní, tj. severní porubní fronty lomu Libouš, rámcově hodnotí předpokládané negativní dopady na provoz lomu a předkládá návrhy opatření.

Mezi hlavní rizikové faktory v západní části závěrných svahů patří tyto skutečnosti:

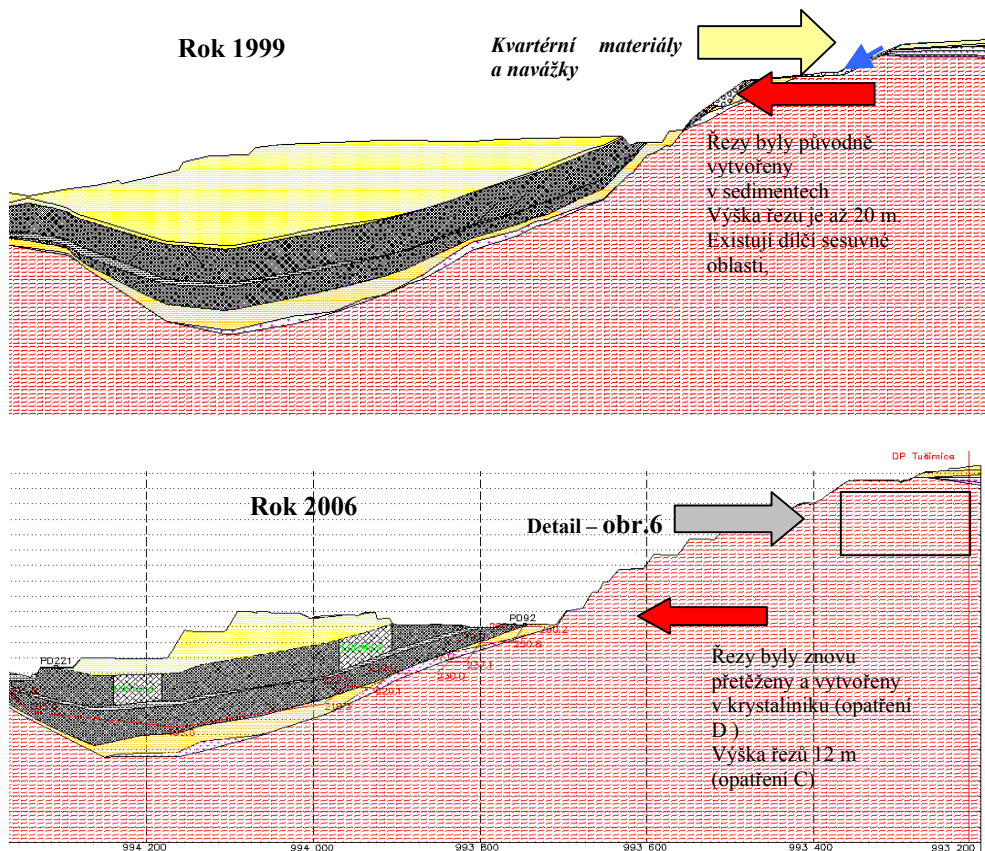
- Výsledná stabilita svahu je často závislá na geomechanických vlastnostech tektonických linií, poruchových pásem, kontaktních ploch mezi jednotlivými horninami a jejich úklon (Oblast A).
- V některých částech svahu se nelze vyhnout vytváření závěrného svahu přes všechny geologické struktury zastížené v této oblasti včetně šikmo uložené uhelné sloje. Stabilitu dále snižuje existence predisponovaných skluzných ploch na hlavě a patě sloje (Oblast B).

Mezi doporučení pro snížení rizik především patří:

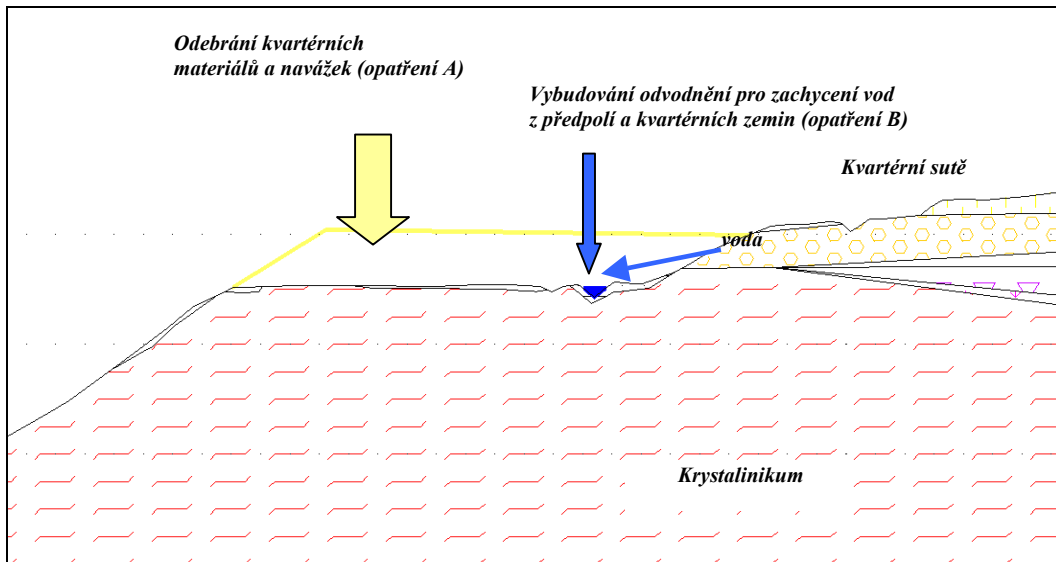
1. Na horní hraně svahu odstranit všechny navážky, zbytky kvartéru a nejvíce navětralé horniny.
2. Přerušit komunikaci povrchových vod z kvartérních sedimentů v předpolí směrem do svahu a vytvořit prostor pro páteří odvodňovací prvek ve svahu (stavebně provedený těsněný vypádovaný příkop).
3. Snížit výšky řezů – v části závěrných svahů z 30 m až na 12 m.
4. Horní část svahu, v místech kde je úklon podložních vrstev nejstrmější, vytvořit v krystaliniku (západní část) a v tufitických jílovcích (východní část).
5. Postupně vytvářený svah chránit před erozními účinky vod (např. zatravněním) přesto, že se nebude jednat o finální sanaci a rekultivaci.

Realizace opatření

Na začátku realizace opatření došlo k dalšímu důležitému koncepčnímu rozhodnutí. Závěrné svahy budou po ukončení těžby **co možná nejdříve předávány k realizaci sanace a rekultivace**. V rámci těchto činností budou prováděny i dílčí stabilizační opatření, odvodnění, zatravnění a další důležitá opatření vedoucí k zajištění stability. Čas je důležitý faktor a bylo evidentní, že velká prodleva mezi ukončením hornické činnosti a zahájením rekultivací by měla negativní vliv na stabilitu svahu i na náklady sanací a rekultivací. Na obr. 5 a 6 je vidět plnění některých opatření na svazích tvořených krystalinikem. Rýpadlo KU 300 se vrátilo na nejvyšší horizont a začalo těžit sedimentární horniny až na krystalinikum. V rámci sanace a rekultivace byly odtěženy kvartérní sutě a navážky a vybudováno odvodnění. Výsledek je zřejmý z obr. 5 dole a obr. 6 a hlavně z fotografií svahů v původním stavu a po realizaci opatření viz obr. 7.



Obr. 5. Charakteristický řez v oblasti „A“, nahoře před úpravami a dole po úpravách.
Fig. 5. Characteristic cut in a field „A“, before modifications (Upward) and after modifications (downwards).



Obr. 6. Detail realizovaných opatření na koruně svahu.
Fig. 6. Detail of the realized measures on a slope top.



Obr. 7. Oblast „A“ před (nahore) a po realizaci části opatření (dole).
Fig. 7. Field „A“ before (upward) and after realization of measure parts (downwards).

Úloha měřičko geologické služby lomu

Odbor měřictví a geologie na SD a.s., Dolech Nástup Tušimice sdružuje oddělení měřictví, geologie, geotechniky a GIS. Disponuje tedy specialisty, kteří byli od začátku řešení problematiky závěrných svahů aktivním činitelem. Jednotliví specialisté spolupracovali na tvorbě rizikové analýzy a navrhovali geotechnická a báňská opatření. Odbor je plně zapojen i do průběhu jejich realizace.

Průběžné upřesňování geologických poměrů – úloha geologů

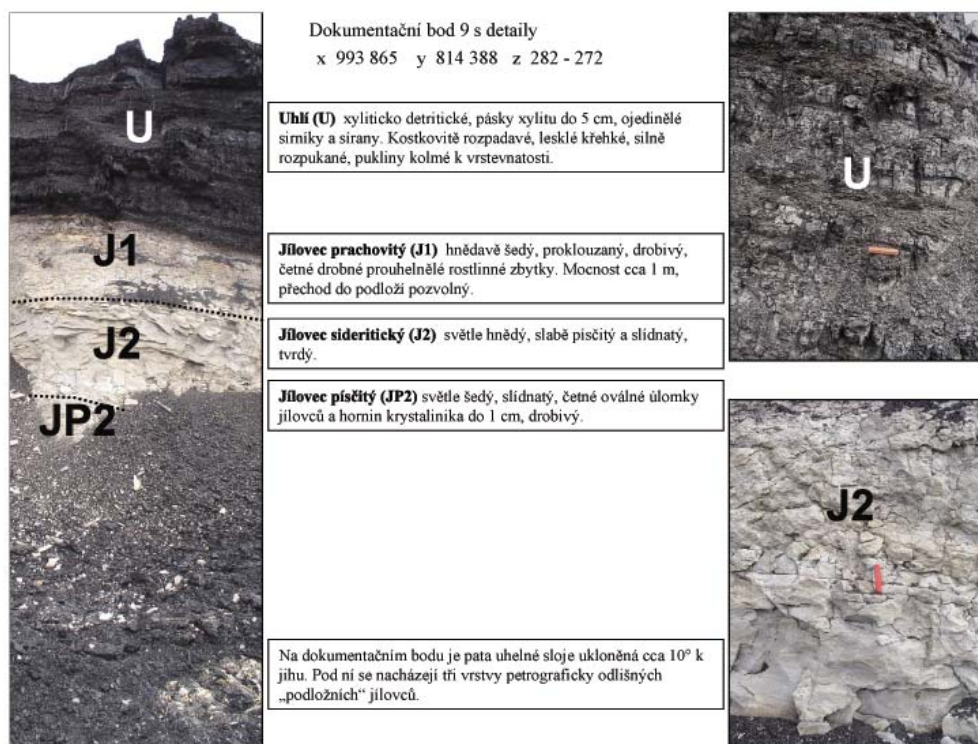
Geologové nikdy nebudou mít tolik peněz, aby zrealizovali takový vrtný geologický průzkum, který by jim v potřebných detailech odpověděl na všechny otázky týkající se stavby ložiska a kvalitativních parametrů jak nadloží tak samotné uhelné slaje. Vrtným průzkumem bylo území závěrných svahů ověřeno tak, že byly zjištěny hlavní zákonitosti uložení jednotlivých vrstev sedimentačního bazénu a poloha krystalinika jako podloží pánve i dílčí podrobnosti.

Až po postupném odtěžování jednotlivých částí horninového prostředí a vytvoření lomových stěn, či jiných odkryvů, jsou geologové schopni zaznamenat jednotlivé detaily a zvláštnosti a upřesňovat si představu o geologické stavbě. Na Dolech Nástup Tušimice provádí geologické oddělení systematické popisování všech skryvkových i uhelných lomových stěn. Geologové si i zaměřují jednotlivé geologické fenomény (poloha vrstev, pukliny, tektonické poruchy). Z obr. 8 je vidět, jak je na závěrných svazích lomů komplikovaná geologická stavba.



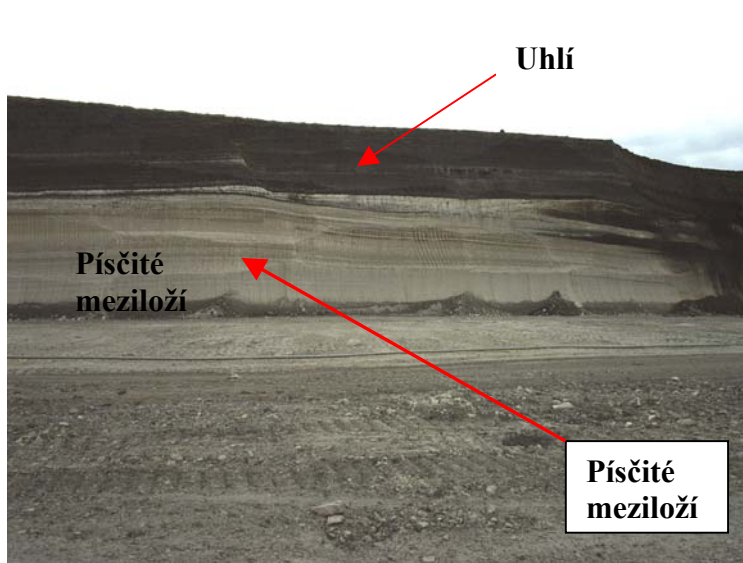
Obr. 8. Složitá a místy až „nelogická“ geologická stavba v oblasti závěrných svahů.

Fig. 8. Composite and by spoil till “irrational” geological structure in a field of definitive slopes.



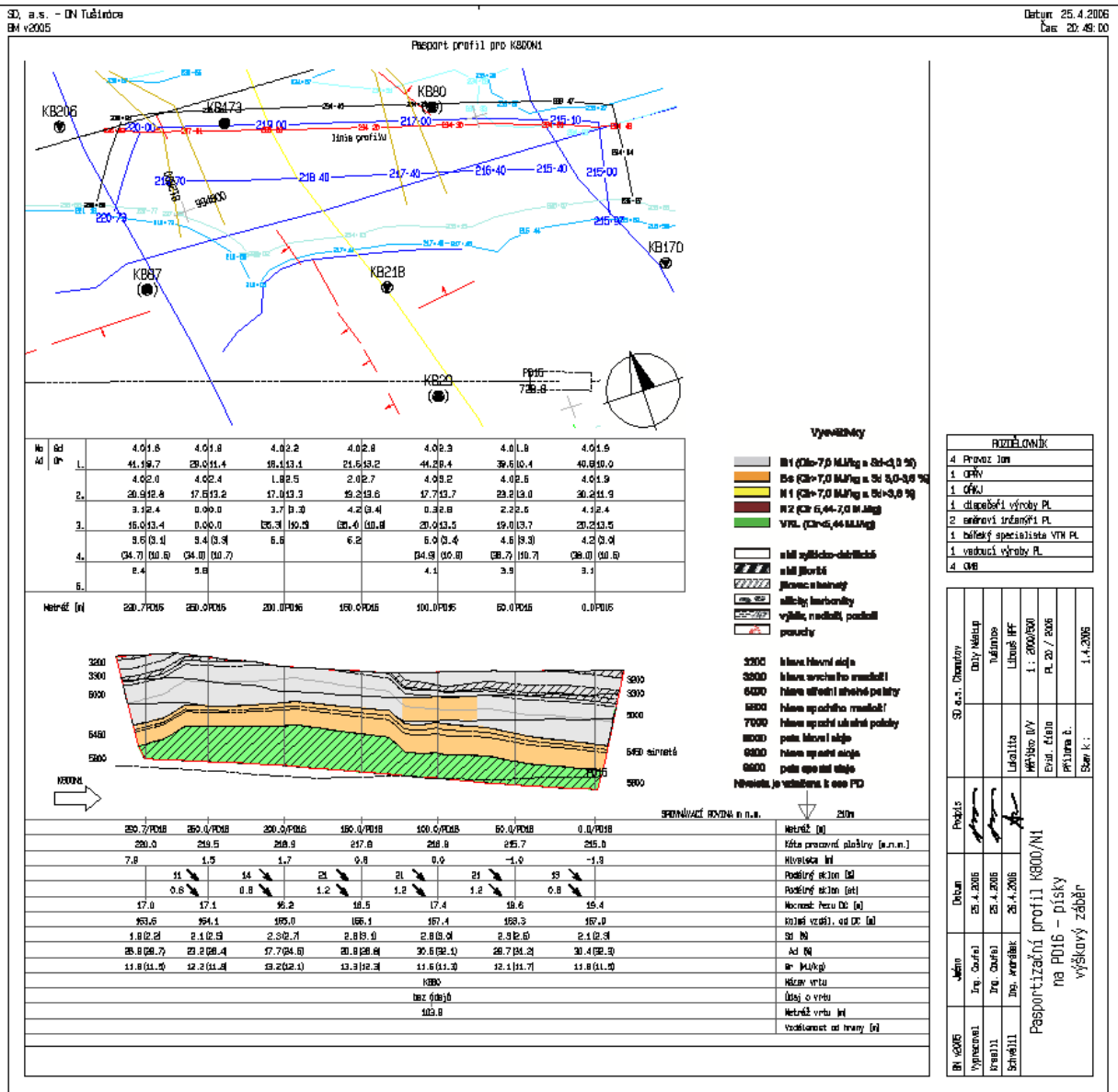
Obr. 9. Způsob detailní dokumentace smíšeného řezu.

Fig. 9. Technique of the detail documentation of a mixed cut.



Po zdokumentování těžební skrývkové, či uhelné lomové stěny geologové zpracovávají tzv. **pasportizační profily**. Při těžbě závěrných svahů lomu se často jedná o řezu smíšené. O to důležitější je pečlivé zachycení všech skutečností, které mohou mít vliv na stabilitu např. pukliny a geologické poruchy, kontakty jednotlivých vrstev.

Obr. 10. Dokumentovaná těžební stěna smíšeného řezu.
Fig. 10. Documented mining slope of a mixed cut.

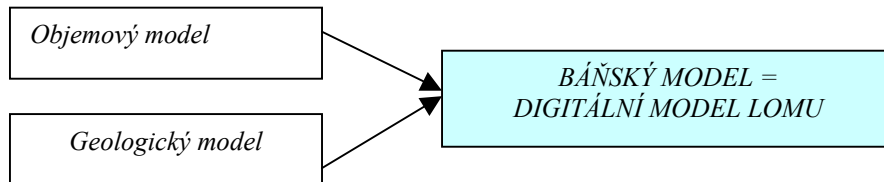


Obr. 11. Výsledný pasportizační profil těžební stěny smíšeného řezu.
Fig. 11. Resultant passport profile of the mining wall of a mixed cut

(foto uhelného řezu je na obr. 10).
(the photograph of coal cut is in Fig. 10).

Následně geologové doplňují **digitální model lomu**, který je základem pro řešení celé řady úloh. V Severočeských dolech – Dolech Nástup Tušimice používáme digitální modely firmy KVASoftware. Od začátku 90. let začala firma KVASoftware vyvíjet programy vhodné k využití na hnědouhelných lomech. Byla vytvořena trojice programů, které dohromady vytvářejí komplexní „digitální model lomu“. Jedná se o tyto programy:

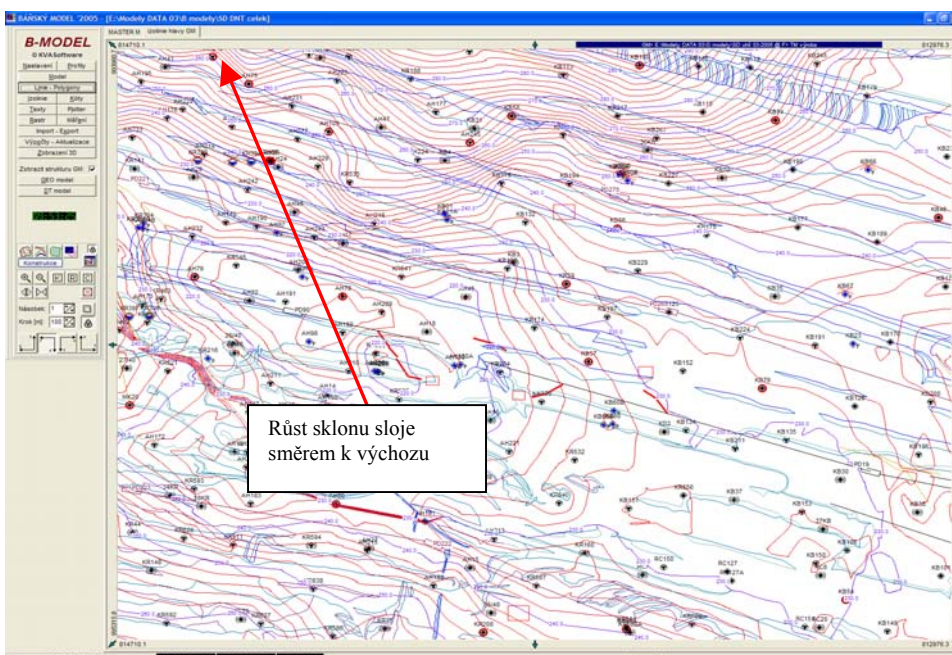
- **OBJEMOVÝ MODEL** – vytváří základní digitální model terénu a umožňuje výpočty objemů. Vstupní data pocházejí především z výsledků vyhodnocení leteckého snímkování.
- **GEOLOGICKÝ MODEL** – slouží pro modelování geologické stavby ložiska. Model ložiska se tvoří především pomocí údajů (prostorové, kvalitativní) z geologického průzkumu.
- **BÁŇSKÝ MODEL** – je matematickým průnikem obou předchozích modelů a má nástroje pro báňské projektování. Soustřeďují se v něm rovněž veškeré prostorové informace o důležitých objektech a správních hranicích. Považujeme jej za digitální model lomu.



Systémy firmy KVASoftware tedy neřeší jen modelování terénu, nýbrž i **geologických vrstev a kvalitativních parametrů uhlí** v prostoru (pomocí průzkumných vrtů) a polohu hlubinných důlních děl. Formou tzv. doplňkových linií lze definovat i polohu a tvar technologií, sítí, komunikací apod.

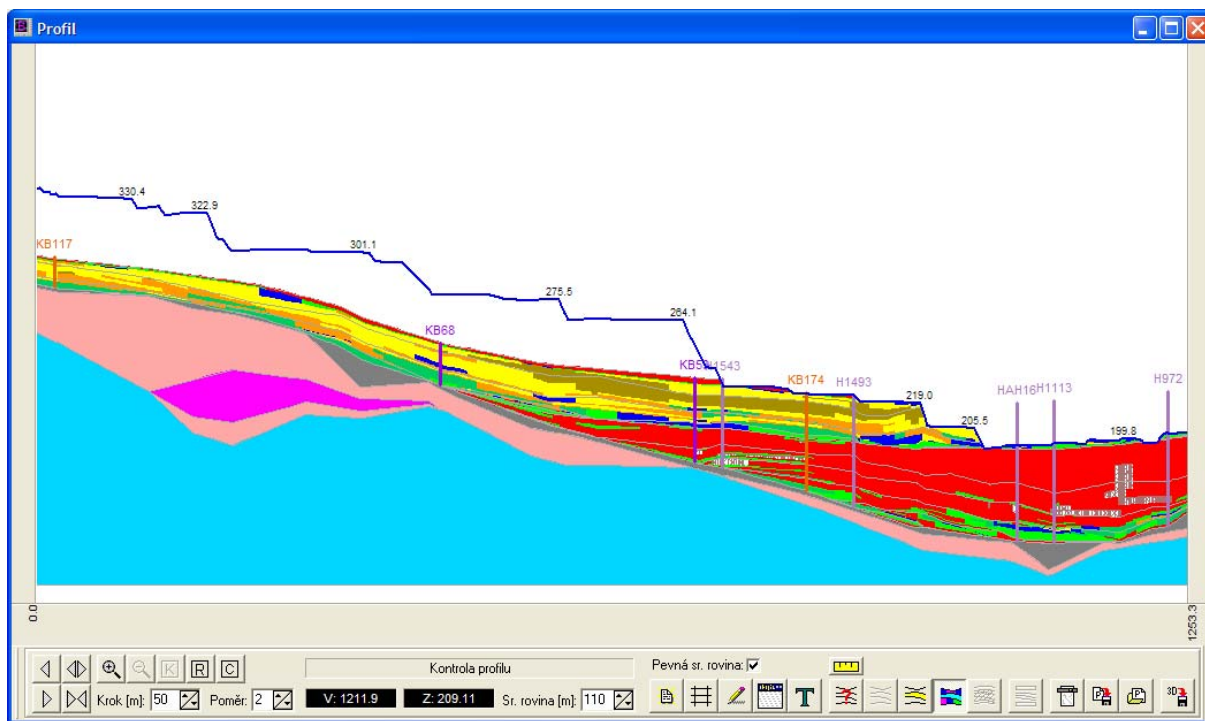
Hlavní výstupy a úkoly řešené „Digitálním modelem lomu“:

- Prostorové umístění důlních děl (skrývkové a uhelné těžební řezy, výsypkové etáže).
- Prostorové umístění všech ostatních objektů (pásová doprava, budovy, sítě, komunikace apod.).
- Poloha správních hranic a hranic daných projekty.
- Veškeré výpočty těžených objemů hmot a výpočty zásob nerostů.
- Podklad pro tvorbu mapové dokumentace, především důlních map ve smyslu vyhlášky ČBÚ č.435/1992 Sb. o důlně měřické dokumentaci při hornické činnosti a činnosti prováděné hornickým způsobem.
- Zdroj dat pro Geografický informační systém.
- Výpočty tzv. uvolněných a dobyvatelných zásob uhlí.
- Výpočty předstihové skrývky a příkryvných poměrů.
- Tvorba geologických profilů a řezů.
- Výpočty kvalitativních parametrů surovin.
- Báňské projektování.
- Nejrůznější účelové výpočty např. podklady pro výpočet rozdělení úhrad dle zákona č.44/1988 Sb., podklady pro výpočet výrubnosti a evidenci zásob dle státního výkaznictví (např. roční výkaz o pohybu a stavu zásob výhradních ložisek nerostných surovin Geo(MŽP)V 3-01 apod.



Obr. 12. Hlava uhelné sloje v oblasti závěrných svahů – báňský model KVAS.
Fig. 12. Head of a coal layer in definitive slopes field.

Digitální model KVAS pomáhá geologům účinně řešit mnoho úkolu v souvislosti s těžbou závěrných svahů. Na obr. 12 je vidět výsledek automatického generování izolinií hlavy sloje. Patrný je růst sklonu směrem k výchozu sloje. Na obr. 13 je profil v oblasti strmě uložených struktur sedimentačního bazénu v oblasti závěrných svahů (Oblast „B“). Práce geologů je hodně důležitá a leží na nich velká odpovědnost, neboť složité geologické podmínky občas vyvolávají nutnost změny technologie těžby a to již má vliv na vynakládání finančních prostředků.



Obr. 13. Geologický profil lomem Libouš v oblasti závěrných svahů.

Fig. 13. Geological profile by the open-cut mine Libouš in definitive slopes field.

Měřické práce při realizaci báňských opatření

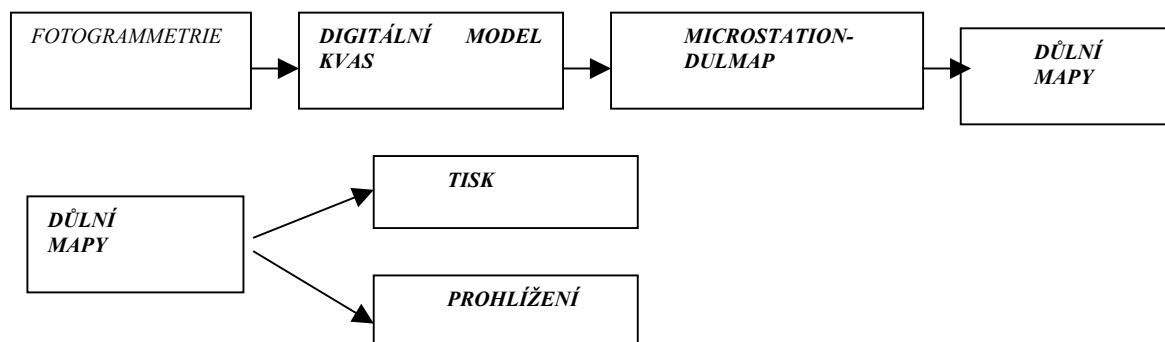
Hlavním úkolem oddělení měřictví je zabezpečovat plynulý provoz lomu, z legislativního hlediska pak zajištění veškerých měřických činností vyplývajících z horního práva, především pak řádné vedení důlně měřické dokumentace podle §2 vyhlášky ČBÚ č.435/1992 Sb. "O důlně měřické dokumentaci při hornické činnosti a činnosti prováděné hornickým způsobem", ve znění pozdějších předpisů (dále jen Vyhláška) a výkon funkce hlavního důlního měřiče (HDM) ve smyslu Vyhlášky. **Úloha důlních měřičů je při těžbě závěrných svahů zcela nepostradatelná.** Báňská činnost v citlivé oblasti těsného kontaktu těžby s hranicí dobývacího prostoru Tušimice je nemožná bez kvalitní mapové důlně-měřické a důlně-plánovací dokumentace. Na Dolech Nástup Tušimice (součást Severočeských dolů a.s.) se vede tato mapová důlně-měřická dokumentace:

Tab. 1. Druhy map vedených na Dolech Nástup Tušimice.

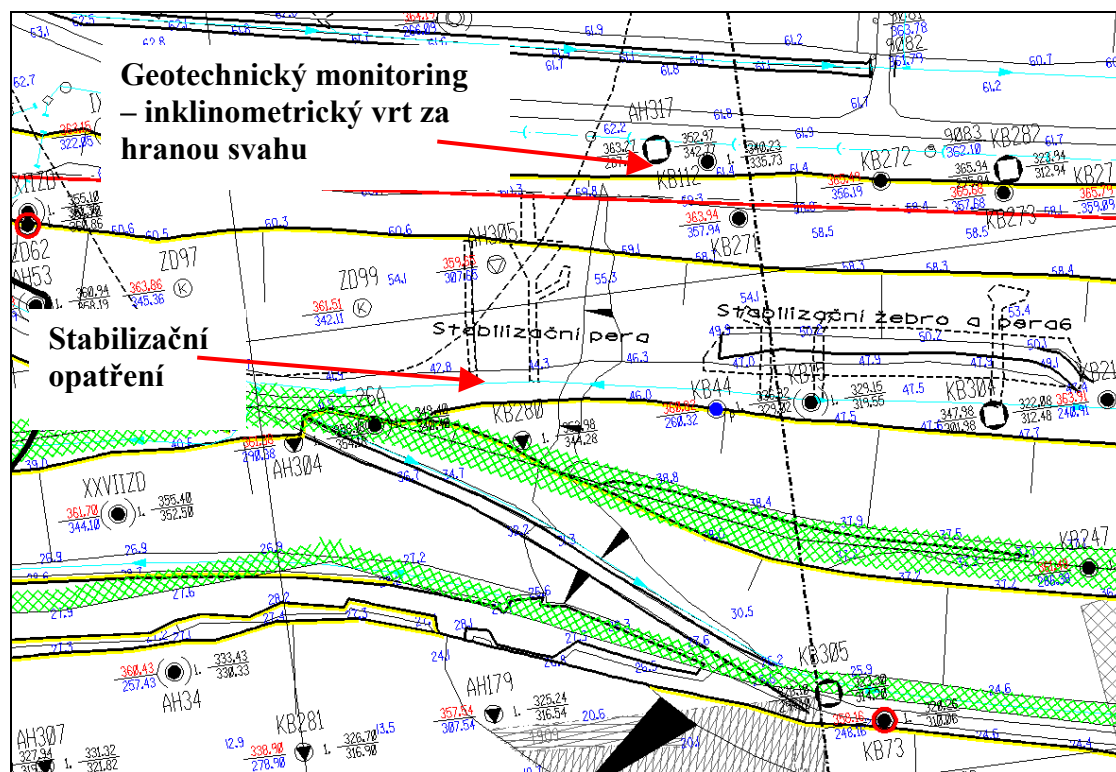
Tab. 1. Types of the maps in the Mines Nástup Tušimice.

Druh mapy	Měřítko	Aktualizace
Základní důlní mapy	1 : 2 000	1 x ročně
Profily a řezy	1 : 2 000	1 x ročně až 1 x měsíčně
Mapy povrchu	1 : 2 000	1 x ročně
Účelové mapy - Provozní důlní mapy	1 : 2 000	4x až 12 x ročně
Účelové mapy - Základní mapy závodu	1 : 1 000	2 x ročně
Účelové mapy- Přehledné mapy	1 : 5 000, 1 : 10 000	2 x ročně
Účelové mapy- Přehledné mapy	1 : 25 000	1 x ročně
Účelové mapy- Mapa zdolávání havárií	1 : 10 000	1 x ročně
Účelové mapy- Přehledná mapa komunikací	1 : 10 000	1 x ročně
Účelové mapy- Přehledná mapa odvodňování	1 : 10 000	1 x ročně
Účelové mapy- Přehledná mapa elektrického vedení	1 : 10 000	1 x ročně
Účelové mapy- Přehledná mapa využití ploch	1 : 10 000	1 x ročně
Účelové mapy- Kubaturní mapa	1 : 500	12 x ročně
Účelové mapy- ortofotomapy	1 : 1 000 - 1 : 10 000	1 x ročně

Základem pro tvorbu map, tvořícím jakousi informační databázi o zaměřených prvcích, je **Digitální model KVAS**. Z něj se exportují data do aplikace DULMAP, pracující jako nadstavba nad programem MicroStation®. V tomto programu tvoříme a aktualizujeme digitální důlní mapy různých měřítek. Hlavním přínosem tohoto programu jsou nástroje pro vytváření různých forem důlně měřické dokumentace (základních důlních map, základních map povrchu atd.) a hlavně již vytvořená knihovna důlních značek dle přílohy č.1 Vyhlášky. To velice usnadňuje práci měřiče, především při vytváření mimorámových údajů, legend a tabulek. Výsledné soubory – digitální mapy jsou ve formátu *.dgn. Program DULMAP umožňuje kromě vedení dokumentace v digitální formě také vytváření kvalitních grafických výstupů, které mají veškeré náležitosti Vyhlášky. Pro těžbu závěrných svahů mají největší význam **provozní důlní mapy**.



Důlní mapy se tisknou na velkoformátových tiskárnách - plotrech (např. HP DJ 5500) standardním způsobem. Na závěr jsou mapy většinou skládány na formát A4 a distribuovány příslušným útvarům dolu i vedení společnosti dle požadavků. Druhou možností, jak se seznámit s obsahem map, je prohlédnout si je na obrazovce počítače. K dispozici je „prohlížeč“ formátů *.dgn a *.dwg - SW Bentley® Redline™.



Obr. 14. Výřez z provozní mapy v oblasti závěrných svahů.
 Fig. 14. Section from the working map in definitive slopes field.

Kromě tvorby mapových podkladů je další zásadní úlohou důlních měřičů v oblasti závěrných svahů vytyčování. **Vytyčovací práce** při tvarování závěrných svahů absorbují velkou část kapacity oddělení měřictví. Prakticky každý den je v této oblasti měřič s figurantkou. Vytyčují nejen horní a dolní hrany těžebních řezů závěrných svahů, ale občas i hrany jednotlivých těžebních lávek záběrů Důležitá

je i nadmořská výška pojezdové roviny kolesového rýpadla a poloha paty upraveného svahu. Na obr. 15 je patrná pestrá geologická stavba závěrných svahů na kontaktu s hranicí dobývacího prostoru a činnost buldozerů při úpravě svahů do sklonu 1:3.



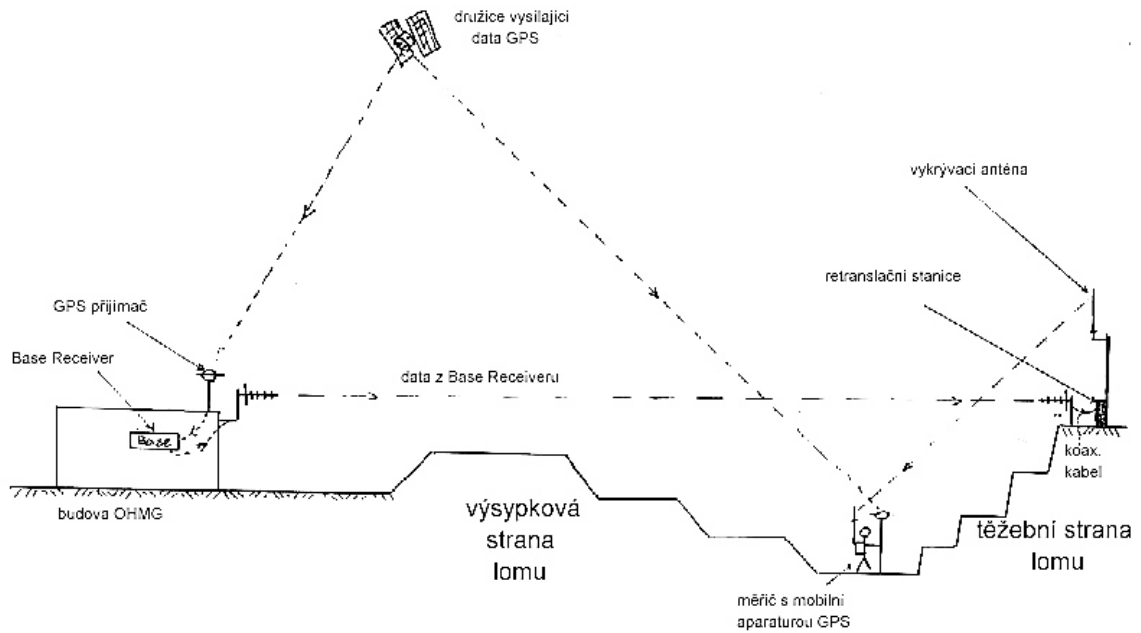
Obr. 15. Tvarování závěrných svahů – rýpadlo SchRs 1550 ve smíšeném řezu.
Fig. 15. Formation of definitive slopes – the navy SchRs 1550 in a mixed cut.

Tyto vytyčovací práce jsou prováděny především pomocí systému **GPS** (Global Positioning System) a to většinou metodou RTK (Real -Time Kinematic). Na Dolech Nástup Tušimice se začala používat technologie GPS již v roce 1996, kdy byly zakoupeny první aparatury GPS Trimble 4 400. Měření se provádělo pouze v režimu „Fast Static“ a to až do roku 1997, kdy jsme stávající systém doplnili sestavou na přenos dat pomocí radiomodemů. To nám umožnilo začít používat měření v reálném čase (**RTK - real time kinematic**)

Kinematická metoda v reálném čase je nejnovější metodou měření. Využívá rádiového přenosu korekcí fázových měření od referenčního (Base Receiver) k pohybujícímu se (mobilnímu) přijímači. Metoda nachází uplatnění při určování souřadnic bodů podrobných bodových polí a podrobných bodů, především však při vytyčování. Korekční data jsou přenášena do retranslačních stanic a odsud je přijímají mobilní GPS stanice prostřednictvím krátkých antén upevněných na batohu.

Aparatury Trimble 4400 pořízené v letech 1996 a 1997 byly v roce 2004 nahrazeny novými GPS totálními stanicemi Trimble R7. Dvě staré, ale funkční aparatury jsou dále používány specialisty oddělení geologie a geotechniky. Na Dolech Nástup v Tušimicích je totiž tradice, že geologové a geotechnici si většinu měření provádějí sami. Jsou samozřejmě vybaveni příslušným oprávněním „důlní měřič“.

PRINCIP MĚŘENÍ V REÁLNÉM ČASE - RTK



Obr. 16. Princip metody GPS – RTK. Důlní měřič vytyčuje pomocí mobilní aparatury GPS terénní úpravy na závěrných svazích.
Fig. 16. Principle of the method GPS – RTK. Mine surveyor is settling out by means of using of mobile equipment GPS for terrain arrangements on definitive slopes.

Úloha oddělení geotechniky

Oddělení geotechniky má problematiku stability závěrných svahů přímo v popisu práce. Vedoucí oddělení má oprávnění projektovat, provádět a vyhodnocovat geologické práce v oboru „Inženýrská geologie“ vydané MŽP ČR. Provádí stabilitní výpočty, podílí se na odborných posudcích v oblasti geomechaniky a stability svahu, zajišťuje a vyhodnocuje monitoring stability svahu a realizuje množství dalších činností v souvislosti s tvorbou závěrných svahů. **Monitoring stability svahů** je velmi důležitý, neboť ani sebelepší inženýrsko geologický průzkum nemůže odhalit všechny detaily stavby horninového prostředí svahu. Stabilita je rovněž výrazně ovlivněna tektonikou a hydrogeologickými poměry i rozsahem srážkové činnosti. Proto stabilitní posouzení a návrh sklonu generelních i dílčích svahů je nutno brát „jen“ jako prvotní i když velmi důležité vodítko pro návrh a realizaci báňské činnosti. Monitoring pak zajišťuje jakousi „zpětnou vazbu“ a kontrolu návrhu. Na Dolech Nástup v Tušimicích se ze všech metod sledování svahů nejlépe osvědčily tyto:

- měřický monitoring,
- geotechnický monitoring – přesná inklinometrie.

Měřický monitoring

Měřický monitoring stability svahů je zabezpečován totální stanicí LEICA TCA 1800. Jedná se o motorizovanou totální stanicí s automatickým cílením. Měřická stanoviště jsou budována jako stabilní s nucenou centrací. Byla vyrobena z ocelových pažnic o průměru 156 mm a stabilizována ve stabilní části horninového masívu. Sledované body jsou rovněž provedeny jako pevné, stabilizované cca. 2 m vysokými trubkami o průměru 50 mm. V horní části trubky jsou přichyceny odrazné hranoly (obr.17). Periodické sledování posunů bylo prováděno jedenkrát týdně, v případě neklidu svahu i několikrát týdně. Na začátku budování závěrných svahů do roku 1997, tehdy ještě na lomu Merkur, se měřilo „ručně“ tj. nevyužívalo se možností automatického měření.



Obr. 17. Sledovaný kontrolní bod.
Fig. 17. Monitored check point.

Geotechnický monitoring – přesná inklinometrie

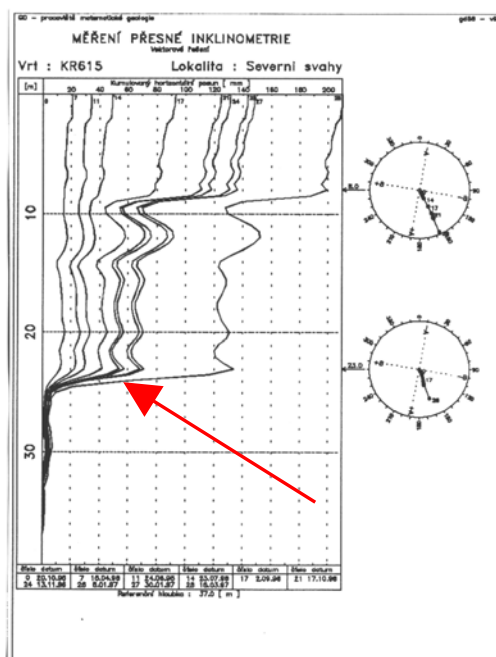
Pro sledování posunů v určité hloubce pod terémem je využívána metoda přesné inklinometrie. Měření probíhá ve vrtu, který je vystrojen speciální drážkovanou pažnicí o průměru 76 mm. Dno vrtu by mělo být ukotveno v pevné hornině (referenční hloubka). Do takto vystrojeného vrtu se spustí tyčovitá sonda až na dno vrtu a potom se po určitých intervalech (0,5 m, 1 m) vytahuje nahoru. Je registrována odchylka od svislice. Při prvním měření dojde k zaměření průběh vrtu v klidovém stavu. Pokud vzniká kluzná plocha tak způsobuje prohnutí pažnice a sonda může zjistit jak její hloubku, tak i velikost deformace. Na Dolech Nástup Tušimice je již několik let používána vertikální inklinometrická souprava firmy GLÖTZL - typ NMG 30/2. Rozlišovací schopnost aparatury je 0,0001 sinu úhlu odklonu od svislice. Při délce úseku 0,5 m je minimální aparaturou registrovaná odchylka od svislice $0,0001 \times 500 \text{ mm} = 0,05 \text{ mm}$ na jeden krok měření.



Obr. 18. Měření v inklinometrických vrtech.
Fig. 18. Measurement in inclinometric drill holes.

Jak se obě metody osvědčily a vzájemně doplňovaly dokladuje konkrétní případ monitoringu bývalého lomu Merkur [5]:

Cílem měřičů a geotechniků tehdy bylo sledovat stabilitu svahu při vyuhlování lomu v blízkosti závěrných svahů a poskytovat informace báňským inženýrům tak, aby sled postupů těžby na jednotlivých horizontech nezpůsobil **náhlý a nečekaný sesuv**, který by mohl ohrozit zdraví zaměstnanců a způsobit větší materiální škody. To bylo komplikované hlavně v období nadprůměrných srážek, kdy docházelo k aktivizaci sesuvných tendencí. Například v západní části lomu Merkur byl dokumentován průběh smykové plochy nejdříve za pomoci inklinometrických vrtů. Grafické znázornění výsledků měření přesné inklinometrie je na obr.19. Nakonec bylo možné pozorovat i výchoz kluzné plochy i u paty svahu (obr.20). Rychlost posunu měřená na kluzné ploše se pohybovala od října 1996 do ledna 1997 cca. 6 - 7 mm za měsíc. Poté se rychlost zvýšila až 40 mm za měsíc. Inklinometrický vrt se v období od 18.03.1997 do 25.03.1997 po deformaci až 180 mm postupně zcela uzavřel a následující monitorování převzalo geodetické sledování. Měřená ustálená rychlost deformování svahu před sesuvem činila 1– 4 cm za týden (geodetické body č.45 a č.45a viz obr.21). Tento vývoj rychlosti probíhal od ledna 1997 až do 13. června 1997, kdy došlo nárůstu rychlosti na cca 3 cm za den. **Hrozilo evidentní nebezpečí sesuvu a proto bylo uhelné rýpadlo cíleně transportováno mimo toto ohrožené území.**

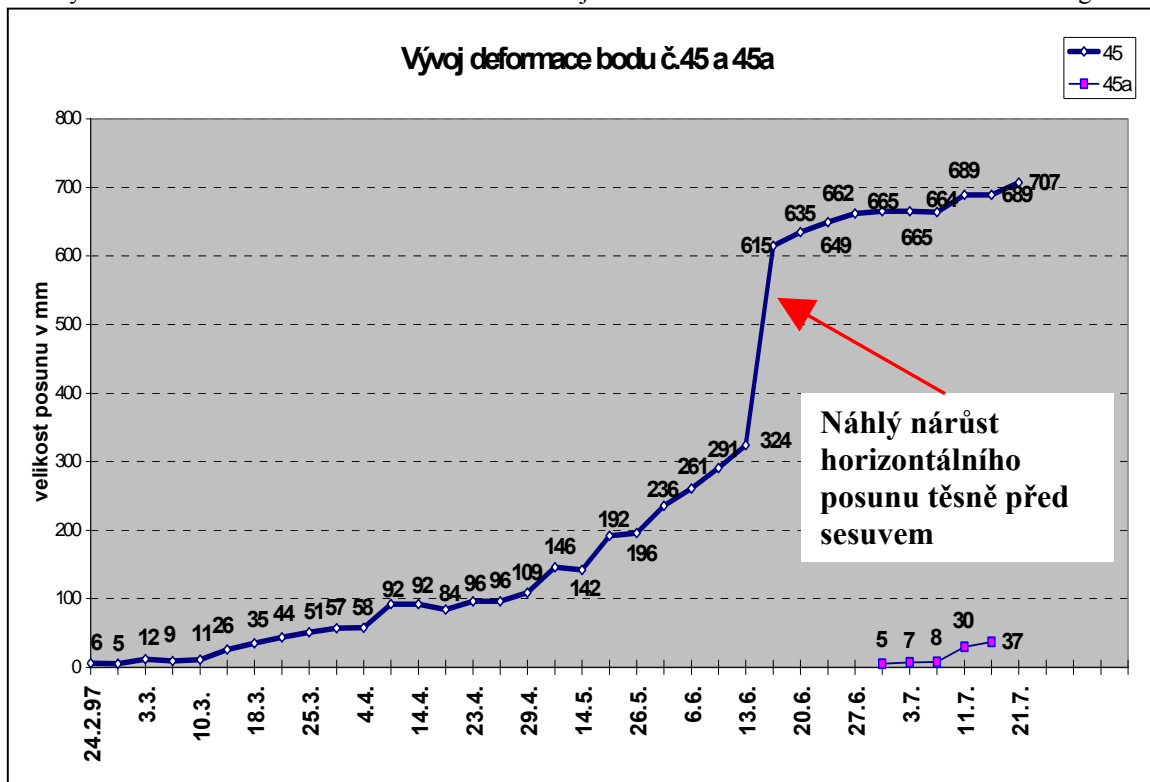


Obr. 19. Výsledek inklinometrického měření - v hloubce 24 m je znatelná kluzná plocha.
Fig. 19. Result inclinometric measurement – a notable slide plane is in the depth 24 m.



Obr. 20. Výchoz kluzné plochy u paty uhelného řezu.
Fig. 20. Output of a slide plane at the coal cut foot.

V neděli dne 15.června 1997 ve 21.45 hod. došlo k sesuvu části svahu. I když při odtěžování zbytkových zásob v blízkosti závěrných svahů na lomu Merkur docházelo k dílčím projevům nestability, nakonec se pomocí měřického a geotechnického monitoringu (ale i díky báňskému „citu“ některých vedoucích zaměstnanců řídících těžbu) podařilo průběžně usměrňovat těžební proces a vytěžit odkryté zásoby s minimálními těžebními ztrátami a bez vážnějšího ohrožení zaměstnanců a těžební technologie.



Obr. 21. Vývoj horizontálního posunu monitorovaných geodetických bodů.

Fig. 21. Development of a horizontal displacement of the monitoring geodetic point.

Tyto dobré zkušenosti nás přesvědčily o vhodnosti obou metod i pro sledování stability závěrných svahů lomu Libouš, které budujeme v současné době. Na obr. 14 vidíme inklinometrické vrty, které obvykle rozmísťujeme u horní hrany či paty svahu a to často v blízkosti tektonických poruch, či důležitých objektů. Perioda proměřování je závislá na stabilitních poměrech.

V případě vzniku kluzné plochy a aktivizace sesuvného stavu jsme v druhé polovině devadesátých let byli schopni měřit deformace ve vybraných vrtech a posuny měřických bodů téměř denně. Ale ani tato frekvence nebyla v případě bezprostředně hrozící nestability svahu dostatečná. Geotechnici a měřiči pracují v ranních směnách pět dní v týdnu. „Zákony schválnosti“ fungují a havarijní situace vznikají překvapivě často ve dnech pracovního klidu a v noci. Například i sesuv na lomu Merkur se uskutečnil v neděli večer. Proto odbor měřictví a geologie navrhnul radikální řešení. Vybudovat stanici pro nepřetržité a automatizované monitorování posunů svahů.

Nasazení automatizovaného monitorovacího informačního systému pro měření a vyhodnocování posuvů.

Cílem nasazení automatizovaného monitorovacího informačního systému pro měření a vyhodnocování posuvů bylo především zajistit „nepřetržitost“ sledování nestabilních či potenciálně nestabilních oblastí včetně vyhodnocení posuvů a jejich vizualizaci. Na základě těchto informací je pak možné upozornit obsluhu příslušné technologie na nebezpečí a realizovat příslušná opatření.

Celé technické řešení lze rozdělit do tří logických celků:

- Monitorovací stanoviště** - měření a prvotní zpracování dat (totální stanice, PC).
- Přenos dat** - z místa měření do místa dalšího zpracování (radiomodemy).
- Základna** - zpracování dat a vyhodnocení - výpočet souřadnic sledovaných kontrolních bodů, výpočet posunů a přiřazení určitého stupně varovných stavů každému bodu (PC).

Monitorovací stanoviště je tvořeno upraveným proskleným objektem, bývalým stanovištěm obsluhy pásové dopravy – obr. 22. Stanoviště je elektricky vytápěno, aby bylo možné měřit i v zimě. Je umístěna za hranou svahu v stabilní části svahu tak, aby byly vidět všechny sledované kontrolní body. Uvnitř je instalovaná (přípevněná k pažnici nucenou centrací) motorizovaná automatická **totální stanice Leica TCA1800** – obr. 23.



Obr. 22. Automatická monitorovací stanice.
Fig. 22. Automatic monitoring station.



Obr. 23. Totální stanice TCA 1800.
Fig. 23. Total station TCA 1800.

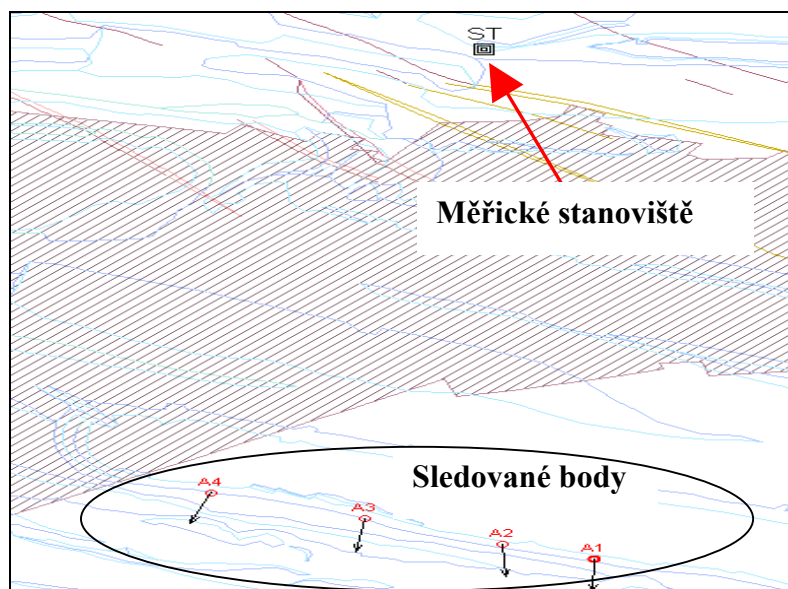
Totální stanice TCA1800, ovládaná programem, měří automaticky v zadaném časovém intervalu úhly a délky k jednotlivým sledovaným kontrolním bodům v terénu, na které byly instalovány odrazné hranoly. Po změření úhlu a délky každého bodu jsou přes sériový port vyslána data s naměřenými hodnotami do počítače. Data jsou uložena do archivního a zároveň do vysílacího souboru. Archivní soubor má jméno podle aktuálního data a každý den po půlnoci se uzavře a otevře se nový. Tím je zaručena archivace všech naměřených dat a zároveň jejich jednoduchá správa. Po ukončení měření kontrolních bodů je přes radiomodem Dcom MC12F, který je připojen na druhý sériový port počítače, přenesen soubor s naměřenými daty na základnovou stanici, která je rovněž vybavena radiomodemem. Zde jsou přijatá data automaticky zpracována a uložena do textových souborů DATA.TXT (aktuální data posledního měření) a v souboru s názvem ve formátu „AR-datum.TXT“ (veškerá data v příslušném dni).

Zpracování dat, vyhodnocení stabilitní situace a vizualizace je prováděno v prostředí programu „Báňský model“ firmy KVA Software (obr. 24). Báňský model přebírá data aktuálního měření ze souboru DATA.TXT. a z hodnot úhlů a vzdáleností vypočítá souřadnice kontrolních bodů. Ty jsou porovnány s předchozími měřeními a SW vypočte:

- **Celkový posun** – horizontální vektor (od prvního měření po aktuální měření).
- **Dílčí posun** – horizontální vektor (posun od posledního, nebo jiného měření v minulosti po aktuální měření).
- **Celková rychlost** – mm/den (rychlost posunu od prvního měření po aktuální měření).
- **Dílčí rychlost** – mm/den (rychlost posunu od posledního, nebo jiného měření v minulosti po aktuální měření).
- Tyto hodnoty se porovnávají s hodnotami varovných stavů. Pro každou skupinu parametrů lze u každého bodu předem zadat limitní hodnoty (posuny a rychlosti) pro **čtyři stupně varovných stavů**:
 - o Klidový stav
 - o Stav přípustných změn
 - o Stav neklidu
 - o Kritický stav

Program porovná naměřené posuny s hodnotami varovných stavů a podle konkrétních hodnot zařadí každý bod do určitého stupně. Tato procedura probíhá pravidelně po každém měření. Každou hodinu tak máme informaci o stabilitě svahu. Je možné nastavit přenos informací o posunech prostřednictvím SMS do mobilního telefonu odpovědného zaměstnance. Systém je v rutinním provozu od 16. 12. 1997.

Nejsložitější ze všeho (a velmi důležité pro chod tohoto informačního varovného systému) je stanovit správné hodnoty kritérií varovných stavů tj. jakési limity hodnot posunů a rychlostí sesuvu svahu při jejímž dosažení jsou body zařazovány do určitého stavu, kterému odpovídají i určitá opatření např. pravidelné kontroly okolí bodů při stavu neklidu, nebo přerušeni těžby při dosažení kritického stavu. Zatím jsou tato kritéria stanovena na základě zkušeností. Naším cílem je najít poněkud exaktnější metodiku pro stanovení kritérií varovných stavů a tak lépe vyhodnocovat problémy se stabilitou závěrných svahů, které nás v nejbližších letech čekají.



Obr. 24. Poloha automatizované stanice (ST) a kontrolních bodů $A_1 - A_4$ na obrazovce PC v základnové stanici.
Obr. 24. Position of the automated station (ST) and the check points $A_1 - A_4$ in PC screen.

Otázka přesnosti monitoringu

Při posuzování stabilitních poměrů vyhodnocují geotechnici naměřené hodnoty posunů zjištěných především pomocí těchto metod:

- měřický monitoring – automatizovaná monitorovací stanice,
- geotechnický monitoring – přesná inklinometrie.

Je potřebné, aby věděli jaká je přesnost měření. Jakou výslednou hodnotu je ještě možné považovat za chybu měření a jaká hodnota už znamená posun svahu. Přesností měření u těchto dvou metod se zabývá Ing. Dana Sládková, Ph.D.

Přesnost měřického monitoringu

Měřické sledování stability závěrných svahu na Dolech Nástup v Tušimicích je realizováno především pomocí automatizované monitorovací stanice. Výpočet polohy kontrolních sledovaných bodů je vlastně aplikací polární metody - výpočtem „rajónu vpřed“. I když se poloha kontrolních bodů počítá v souřadnicích JTSK je nutno konstatovat, že pro vyhodnocení posunů nás zajímá především relativní přesnost, tj. změny souřadnic mezi jednotlivými měřeními. Přesnost určení stanoviště tedy není až tak důležitá. Výchozími hodnotami jsou naměřený úhel mezi orientačním bodem a kontrolním bodem α a délka od stanoviště (S) k bodu (A) d_{SA} . Výchozí rovnice pro výpočet souřadnic určovaného bodu jsou [7]:

$$Y_A = Y_S + d_{SA} \cdot \sin(\sigma_{SO} + \alpha) \quad (1)$$

$$X_A = X_S + d_{SA} \cdot \cos(\sigma_{SO} + \alpha) \quad (2)$$

Přesnost měření totální stanice uváděná výrobcem je $m_a = 1^{cc}$ při měření úhlů a $m_d = \pm 2mm + 2ppm$. Z těchto hodnot vypočteme předpokládané střední souřadnicové chyby.

Střední souřadnicová chyba je:

$$m_{XY_A} = \sqrt{\frac{1}{2} \left(m_d^2 + d^2_{SA} \cdot \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} \right)} \quad (3)$$

- kde: S stanoviště
 A kontrolní bod monitoringu
 O orientace
 σ_{SA} směrnik na kontrolní bod
 σ_{SO} směrnik na orientační bod
 d_{SA} vzdálenost ke kontrolnímu bodu
 α úhel mezi orientačním a kontrolním bodem
 m_d střední chyba měřené délky d
 m_α střední chyba měřeného úhlu α

Pro úvahy o reálné přesnosti jsme zvolili následující postup. Do osnovy sledovaných kontrolních bodů byly zařazeny i dva body situované v pevném stabilním prostředí. Bod BC5 ve vzdálenosti 641m a BC7 ve vzdálenosti 588m od stanoviště. Protože i stanoviště považujeme za stabilní mělo by při určitém zjednodušení a vyloučení systematických chyb platit, že při měření rájónu na tyto body pro určení jejich souřadnic vzniká pouze náhodná chyba. Potom jsme schopni určit střední souřadnicovou chybu jednoho měření. Nyní lze obě hodnoty středních souřadnicových chyb porovnat (zaokrouhлено na mm).

Tab. 2. Porovnání středních chyb měření automatizované totální stanice.
 Tab. 2. Comparison of middle errors of measurement by an automatized total station.

	Střední souřadnicová chyba dle přesnosti udané výrobcem	Střední souřadnicová chyba jednoho měření	Celková souřadnicová chyba
Bod	$m_{XY_A} = \sqrt{\frac{1}{2} \left(m_d^2 + d^2_{SA} \cdot \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} \right)}$	$m_y = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}, m_x = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}$	$m_{xy} = \pm \sqrt{m_x^2 + m_y^2}$
[mm]			
BC 5	5	14 10	17
BC 7	4	16 2	16

Souřadnicová chyba reálně dosažená v podmínkách těžkého báňského provozu je vyšší než by vyšlo z hodnot udávaných výrobcem. To je pochopitelné vzhledem k náročným podmínkám, navíc je totální stanice již 9let v provozu. I tak lze chybu na úrovni 16-17mm pro vzdálenost kontrolních bodů kolem 600m považovat za uspokojivou. Za zvážení stojí provést podrobnější výzkum přesností.

Přesnost geotechnického monitoringu

„K posouzení přesnosti inklinometrického měření byly použity naměřené hodnoty z vrtu MI 207 (viz přílohy). Vrt je hluboký 53,5 m a krok měření je po 0,5 m. Vrt MI 207 je charakteristický tím, že byl vybudován ve velmi stabilní oblasti. V průběhu deseti let nedošlo k posunům. Průběh vrtu se neměnil a proto jsou výsledky měření vhodné pro posouzení přesnosti metody [6].“

V tab. 8 [6] jsou vypočtené střední chyby jednoho měření podle vzorce

$$m_i = \pm \sqrt{\frac{[dd]}{2n}} \quad (mm)$$

a střední chyby aritmetického průměru dvojice

$$M_{xi} = \pm \frac{m}{\sqrt{2}} \quad (mm)$$

kde i je pořadí měření a n je počet měření. V případě vrtu MIS 207 bylo měřeno 107 hodnot.

Výpočet přesností v určení posuvu (M_{p_i} , M_{xp_i}) jsou uvedeny v tabulce č. 3.

Tab. 3. Výpočet přesností inklinometrického měření ve vrtu MI 207.
Tab. 3. Calculation of the inclinometric measurement accuraciz in the drill holes MI 207.

Měření i	M_p [mm]	M_{xp} [mm]	M ["]	M_k ["]	Měřicí rovina	Měření i	M_p [mm]	M_{xp} [mm]	M ["]	M_k ["]	Měřicí rovina
1	0,09	0,06	37	26	A - A'	6	0,05	0,03	20	14	A - A'
	0,02	0,02	24	17	B - B'		0,13	0,09	52	37	B - B'
2	0,06	0,04	26	18	A - A'	7	0,12	0,09	50	35	A - A'
	0,02	0,02	24	17	B - B'		0,24	0,17	99	70	B - B'
3	0,04	0,03	16	12	A - A'	8	0,05	0,03	19	13	A - A'
	0,04	0,03	16	12	B - B'		0,02	0,02	9	7	B - B'
4	0,06	0,04	26	19	A - A'	9	0,03	0,02	13	9	A - A'
	0,01	0,01	4	3	B - B'		0,03	0,02	13	9	B - B'
5	0,05	0,04	21	15	A - A'	10	0,01	0,01	3	2	A - A'
	0,08	0,06	15	24	B - B'		0,05	0,03	20	14	B - B'

Z tabulky č. 3 je vidět, že se jedná o přístroj s velmi přesným měřením a proto je tento přístroj vhodný pro sledování stability svahů, kde je vyžadována maximální přesnost měřených hodno, neboť i minimální posun může znamenat začátek nestability.“

Zjištěné hodnoty středních chyb měření v řádu setin až desetin mm jsou pro posuzování stability svahů vynikající. Geotechnici ví, že např. naměřená hodnota posuvu 1mm již není chyba měření a na deformaci se při každém vyhodnocení zaměřují.

Závěr

Hranice dobývacího prostoru Tušimice na úpatí Krušných hor bylo těžebními postupy dosaženo na přelomu dvacátého a jednadvacátého století. V bezprostředním okolí leží obce Černovice, Spořice, Droužkovice a Březno. Problematika stability závěrných svahů lomu Libouš svahu bude doprovázet odborné pracovníky Dolů Nástup Tušimice až do vyčerpání veškerých zásob v dobývacím prostoru Tušimice. Zajištění stability svahu v komplikovaných báňsko-geologických podmínkách těsně pod Krušnými horami je náročná báňská úloha, kterou je možné s úspěchem řešit jen při koordinovaném úsilí všech dotčených specialistů – měřičů, geologů, geotechniků, báňských projektantů i řídicích pracovníků provozu.

Na závěr bych chtěl poděkovat kolektivu odboru měřičtví a geologie Severočeských dolů a.s., Dolů Nástup Tušimice za přípravu některých podkladů a obrázků pro tento článek.

Literatura - References

1. Libus, J.: Sesuv uhelného pilíře na severních svazích lomu Merkur, *Parametrická stabilitní studie*, 1998.
2. Vrabel, M.: Monitorování nestabilních oblastí na lomech a.s. Severočeské doly Chomutov - nasazení automatizovaného monitorovacího informačního systému pro měření a vyhodnocování posuvů, *Zpravodaj VÚHU 1998*.
3. Zmítka, J.: Lom Merkur sever – Vývoj problematiky závěrného podkrušnohorského svahu od roku 1980, *Inženýrsko geologické zhodnocení 1999*.
4. Větrovský, M.: Problematika stability výchozů uhelné slaje při úpatí krušných hor na dolech nástup v Tušimicích, *Zpravodaj VÚHU 2000*.
5. Vrabel, M., Vetrovsky, M.: Monitoring of unstable areas of North Bohemian Mines j.s.c. – Putting on of the automated monitoring information system for measurement and evaluation of shifts, *Oxford & IBH Publishing Co.PVT.LTD (ISBN 81-204-1502-7), 2001*.
6. Sládková, D.: Využití měřických prací ve vrtné praxi, *DDP TU VŠB Ostrava, 2005*.
7. Novák., Z., Procházka, J.: Inženýrská geodézie I., *Skripta ČVÚT 1996*.