

Ing. Stanislav Štábl - SG-Geoprojekt, spol. s r.o.; Ing. Zdeněk Sekyra, Mgr. Lucie Boháčková - Stavební geologie – Geotechnika, a.s.

## Silnice I/35, Hřebeč - sanace sesuvu 2006

Přijato: 17. 10. 2007, recenzováno: 22. 11. 2007

Tento článek se zabývá jedinečným řešením sesuvu půdy. Sesuv půdy nastal 1. dubna minulého roku nedaleko města Hřebeč v oblasti východního vjezdu do tunelu na levé straně nad silnicí I/35. Místo, na kterém k sesuvu půdy došlo, se nachází v relativně složitých geologických podmínkách. Při sesuvu padaly v horních částech kameny a v dolních partiích se sesouvala půda. K této události došlo po jarním tání a rostoucích dešťových srážkách. Celkový objem sesutého materiálu činil 10 000 m<sup>3</sup> půdy a kamenů.

V tomto článku byla zveřejněna matematická analýza, která byla s podporou softwaru Geo – slope provedena v několika fázích. K asanaci sesuvu půdy byly navrženy nové materiály (netkaná geotextilní síť, prvky Green Terramesh, panely HEA atd.) a na pomoc byla přizvána i moderní technologie. Vlastní sanační řešení bylo zvoleno s ohledem na funkčnost, ekologii, ekonomiku a v neposlední řadě estetickou stránku konečné stavby.

### I/35 road, Hřebeč slide 2006 redevelopment

This paper deals with the unique landslide solution. Landslide happened on the 1<sup>st</sup> April last year near the city of Hřebeč and was situated at the eastern tunnel portal on the left side above the highway I/35. Location, on which the landslide set in, is situated in relatively complicated geological conditions. The action was combination of rock fall in the upper locations and landslide in the lower ones. The landslide happened immediately after the spring thaw and increased rainfall. Total volume of slid material was 10 000 m<sup>3</sup> of the soil and rocks.

There is a mathematical analysis, which was in several phases with the support of the Geo – slope software realised, presented in the article. The landslide rehabilitation was designed from new materials (geogrids, Green Terramesh elements, HEA panels, etc.) and with the help of modern technologies. The own rehabilitation solution was chosen in view of the fact of functionality, ecology, economics and last but not least aesthetics of the final structure.

### Straße Nr. I/35, Hřebeč – Sanierung einer Rutschung 2006

Dieser Vortrag beschäftigt sich mit einer einzigartigen Lösung einer Bodenrutschung. Diese Bodenrutschung erfolgte am 1. April vorigen Jahres unweit der Stadt Hřebeč im Bereich der östlichen Tunneleinfahrt auf der linken Seite oberhalb der Straße I/35. Die Stelle, wo die Bodenrutschung eintrat, befindet sich in relativ komplizierten geologischen Bedingungen. Bei der Rutschung stürzten im oberen Bereich Steine und in unteren Bereichen hat sich der Boden gerutscht. Dieses Ereignis erfolgte nach dem Frühlingsschmelzen und den wachsenden Regenniederschlägen. Das Gesamtvolumen des gerutschten Materials betrug 10 000 m<sup>3</sup> von Boden und Steinen.

In diesem Artikel ist mathematische Analyse publiziert, die mit Unterstützung des Software Geo – slope in mehreren Phasen durchgeführt wurde. Zur Sanierung der Bodenrutschung wurden neue Materialien (ungewebtes Geotextilnetz, Elemente Green Terramesh, Panelle HEA usw.) vorgeschlagen und zur Hilfe auch moderne Technologie eingeschaltet. Die eigene Sanierungslösung wurde unter Berücksichtigung auf Funktionalität, Umwelt, Wirtschaftlichkeit und nicht in der letzten Reihe auch auf die ästhetische Seite des Baues ausgewählt.

### Úvod

K sesuvu na silnici I/35 (Hradec Králové – Litomyšl - Moravská Třebová) došlo v ranních hodinách dne 1. 4. 2006 u východního portálu tunelu Hřebeč na levé straně v km 5,330 – 5,375. Čelo sesuvu se nacházelo v ose silnice, tzn. na hranici mezi dvěma stoupacími pruhy a

pruhem klesajícím a odlučnou oblast tvořila strmá, až 15 m vysoká skalní stěna. Rozměry sesuvu byly následující: délka v horizontálním průmětu 52 m, šířka 45 m a objem sesutých hmot činil řádově 10 000 m<sup>3</sup> zeminy a skalní horniny.

Sanační práce byly rozděleny do dvou etap. V první etapě od 1. 4. 2007 do 23. 4. 2007 proběhlo odtěžení hmoty sesuvu, očištění skalní stěny, budování monitorovacího systému a

příprava projektu. V druhé etapě od 24. 4. 2007 do 27. 11. 2007 proběhla definitivní sanace sesuvného území a doplnění monitorovacího systému do konečné podoby.



Obr.1 - Pohled na zasypanou část východního portálu tunelu Hřebeč - 15.00 hod. (1.den)

### Geologické a geomorfologické poměry oblasti

Území sesuvu leží ve strmém terénním stupni omezujícím na východě Hřebečský hřbet severojižního směru. Podle geomorfologického regionálního členění reliéfu leží na východním okraji Českořebovské vrchoviny, která je součástí vyššího celku Svitavské pahorkatiny.

Geologicky je Hřebečský hřbet tvořen kuestou křídových sedimentů. Čela jejich vrstev tvoří v území sesuvu skalní stěnu, vrstvy mají subhorizontální uložení, místy s malým úklonem k západu.

Ve stěně vystupují svrchu tuonské písčité slínovce (opuky) a cenomanské glaukonitické pískovce. Hluběji jsou cenomanské jílovce a pískovce peruckého souvrství. V podloží křídý jsou permské pískovce a prachovce, v okolí sesuvu oddělené od křídý zlomem směru SSV-JJZ.

Ve svrchní části odlučné stěny jsou odkryty tuonské písčité slínovce až pískovce (opuky) bělohorského souvrství. Jsou bělošedé, jemnozrné o mocnosti 13 - 15 m, lavičovitě až

deskovitě odlučné, subhorizontálně uložené, převážně středně rozpukané (vzdálenost diskontinuit 200 – 600 mm) podle minimálně 2 systémů vertikálních diskontinuit, při povrchu stěny rozevřených až na vzdálenost 100 mm. Slínovce jsou vápnité, navětralé v přípovrchové zóně až zvětralé, pevnosti R2-R3, rozpadavé na úlomky a bloky o kubatuře až 2 m<sup>3</sup>. Hlavní směry puklin jsou SSV-JJZ (paralelní se stěnou) a V-Z. Na jejich bázi jsou ve stěně trvalé vývěry podzemní vody.

Níže ve stěně byly odkryty cenomanské glaukonitické pískovce korycanského souvrství. Tyto pískovce byly odkryty na celou svojí mocnost, která činila 8 – 10 m. Jsou žlutošedé, nazelenalé, jílovité, slabě zpevněné, při povrchu silně zvětralé – pevnost R5, hlouběji až R3. Jsou středně zrnité, s nevýraznými vertikálními puklinami, uložení je opět subhorizontální, odlučnost deskovitá až lavičovitá.

Podložní tmavě šedé jílovce a jíly peruckého souvrství tvoří zemní pláň přítěžovacích lavic. Mocnost těchto jílovců a jílu byla ověřena

inklinometrickými vrty a činí 12 až 19 m, místy s obsahem malých slojek uhlí. Na kontaktu těchto jílovců a glaukonitických pískovců dochází opět k vývěrům podzemní vody. Jedná se patrně o sezónní vývěry, ale nelze vyloučit, že v malé míře jde i o vývěry trvalé. V podloží jílovců se nacházejí jemně zrnité pískovce s polohami jílovce peruckého souvrství.

### Popis sesuvu a příčiny jeho vzniku

Sesuv vznikl na svahu s jihovýchodní expozicí. Čelo sesuvu se zastavilo na vozovce v nadmořské výšce cca 540 m, horní hrana odlučné stěny byla ve výši cca 573 m n. m., rozdíl výšek byl 33 m. Sklon sesutého svahu se měnil od převisů v horní části odlučné stěny až po plochý povrch akumulace na silnici.

Celkový tvar deformace byl plošný s výraznou odlučnou stěnou. Povrch sesuvu byl nepravidelně zvlněný, místy stupňovitý, s rozevřenými trhlinami. V odlučné stěně, vcelku lineární, se nacházely dva výraznější kuloáry vzniklé skalním zřícením, v nichž stěna dosahovala maximální výšky. Čelo sesuvu tvořila vyboulená akumulace převážně rozbředlé zeminy o mocnosti až 3 m, která se horizontálně nasunula na šířku dvou stoupacích pásů vozovky. Vlastní sesuvné hmoty byly tvořeny ve spodní části akumulace převážně červenohnědými písčitými hlínami měkké až kašovité konzistence, dovezené v minulosti z okolí na dosypání deprese v odlučné oblasti staršího sesuvu z roku 1997. Horní část sesuvu pod stěnou byla tvořena posunutými a zřícenými křídovými horninami, převážně charakteru písčité hlíny a jílovitého písku s četnými horninovými bloky.

Sesuv je možné klasifikovat jako plošný, kombinovaný s blokovým pohybem, doprovázený skalním řícením v odlučné stěně. Předpokládaná smyková plocha byla složená, a to rovinná ve spodní a střední části, kde pod odlučnou stěnou přešla do rotační, podél níž došlo k blokovým deformacím křídového podloží.

Pro vývoj současného sesuvu byl nejpodstatnější starší sesuv z roku 1997, který vznikl na stejném místě a byl nevhodně sanován. Při jeho sanaci byl do vzniklé deprese v odlučné oblasti na úpatí svahu znovu naveden zčásti sesutý materiál a hlavně málo propustný písčitohlinitý výkopek z okolí stavby (červenohnědý, původem z permu). Terén byl

vysvahován do původního sklonu a na bázi zásypu byla provedena drenážní vrstva šterku v úrovni staré smykové plochy. Pod skalní stěnu byla umístěna gabionová zeď a dřevěná palisáda na betonovém základu.

K obnovení sesuvu tentokrát došlo bezprostředně po extrémním jarním tání a zvýšených dešťových srážkách. Došlo k plné saturaci puklinových systémů ve slínovcích se silnými vývěry na jejich bázi a k nasycení polohy glaukonitického pískovce, opět s vývěry na jejich kontaktu s jílovcí. Tyto vývěry nasýtily styčnou vrstvu mezi podložními jílovcí a permskou málo propustnou navážkou a tím podmínily vznik smykové plochy na tomto kontaktu. Tato plocha ústila na povrch nad úrovní vozovky, která proto nebyla porušena. V další fázi sesuvu, po porušení stability paty skalního svahu, včetně gabionové zdi, došlo k její deformaci blokovými pohyby a následně i ke skalním řícením v odlučné stěně.

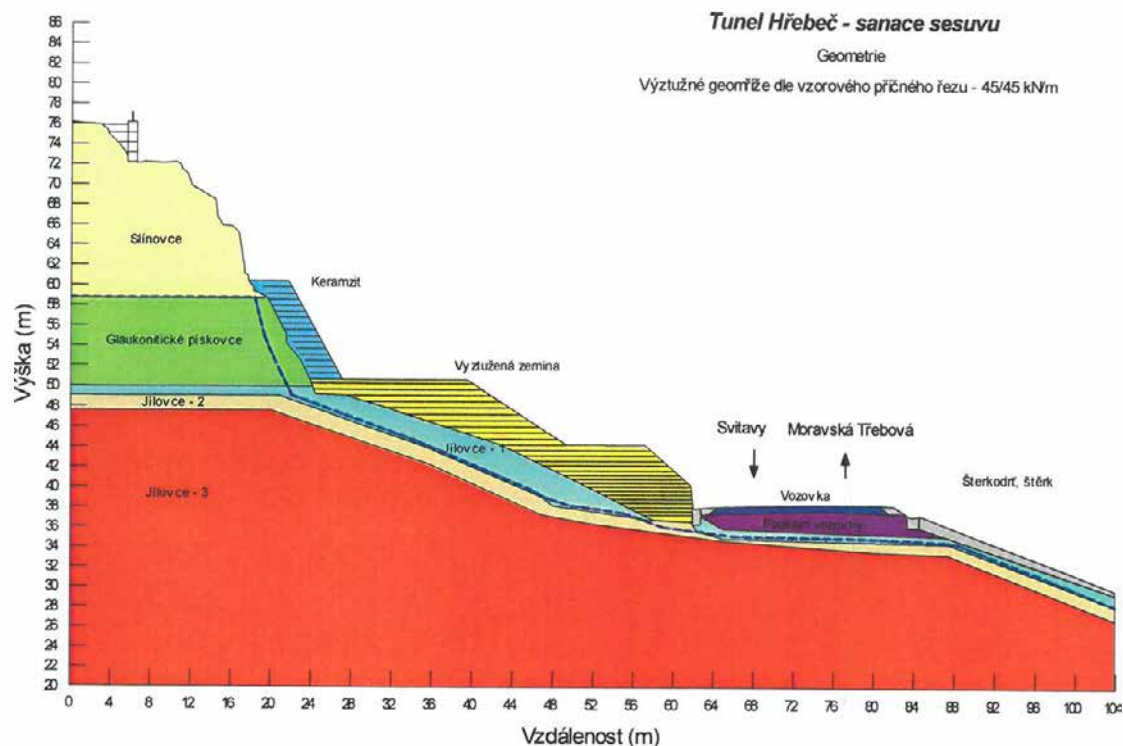
### Matematická analýza a ideový návrh sanace

Matematická analýza lokality byla prováděna ve dvou charakteristických profilech. Pro výpočty bylo použito programového vybavení Geo-Slope od firmy GEOSLOPE International, Calgary, Canada. Posouzení stability bylo provedeno modulem Slope/W (efektivní parametry, matematicky přesná metoda General limit equilibrium, kruhové a obecné smykové plochy).

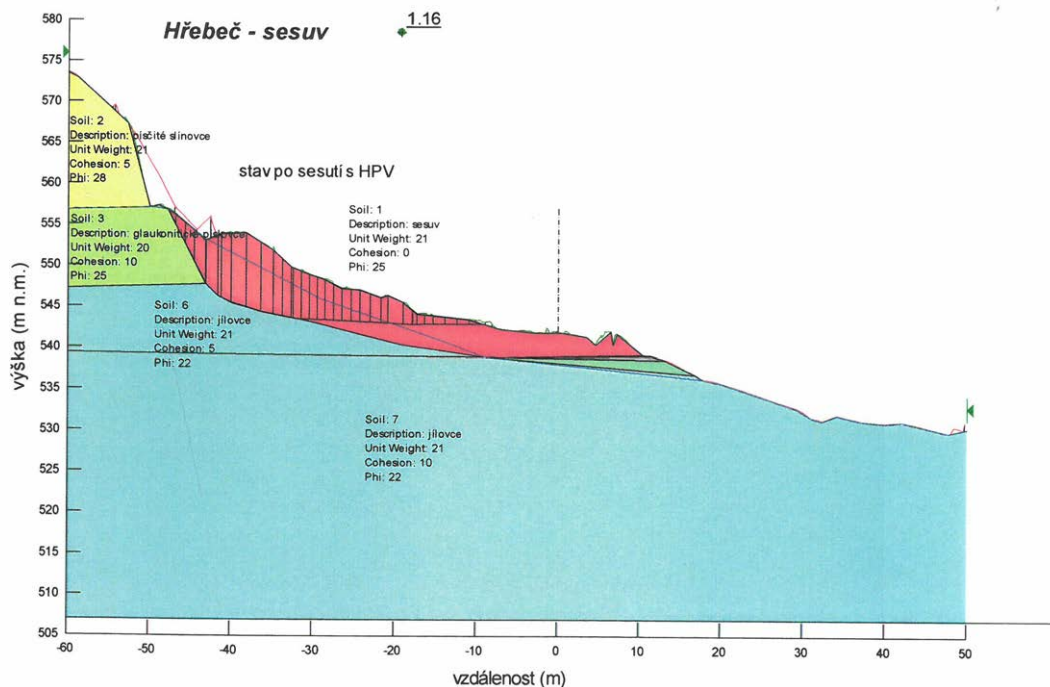
Optimální návrh finální varianty sanace byl podmíněn posouzením několika časových fází sesuvu a jeho sanace. Nejprve byla provedena zpětná analýza sesuvu. Touto analýzou byly ověřeny okrajové podmínky, které vedly k sesuvu, tj. smykové parametry zemin, úroveň nasycení jednotlivých vrstev nebo úroveň hladiny podzemní vody. Výpočet byl proveden pro geometrii původního zajištění svahu. Následně byla provedena stabilitní analýza stavu po sesutí. Pro zpětnou analýzu a analýzu stavu po sesutí byly použity obecné smykové plochy odpovídající průběhu a tvaru sesuvu. Další stabilitní analýzy se zabývaly již samotným ideovým návrhem sanace sesuvu ve dvou fázích výstavby opatření. Hodnocena byla stabilita výkopu po odstranění sesutých hmot, což je podstatná, nicméně často opomíjená fáze. Tvar výkopu byl výpočtem optimalizován tak, aby při jeho realizaci nedošlo k obnovení svahových pohybů nebo dokonce k jejich rozšíření. Po analýze několika variantních řešení byla

v poslední fázi posouzena stabilita konečného

návrhu sanace.



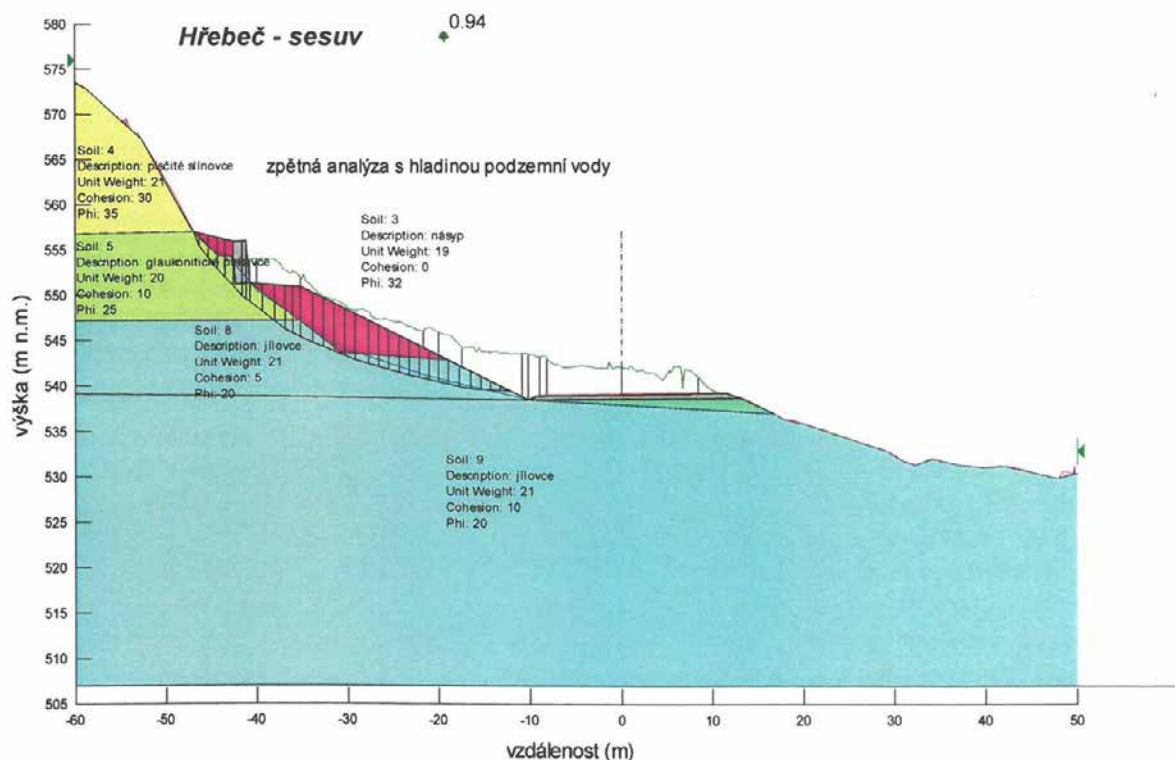
Obr. 2 - Geometrie konstrukce sanace sesuvu – vstupní model



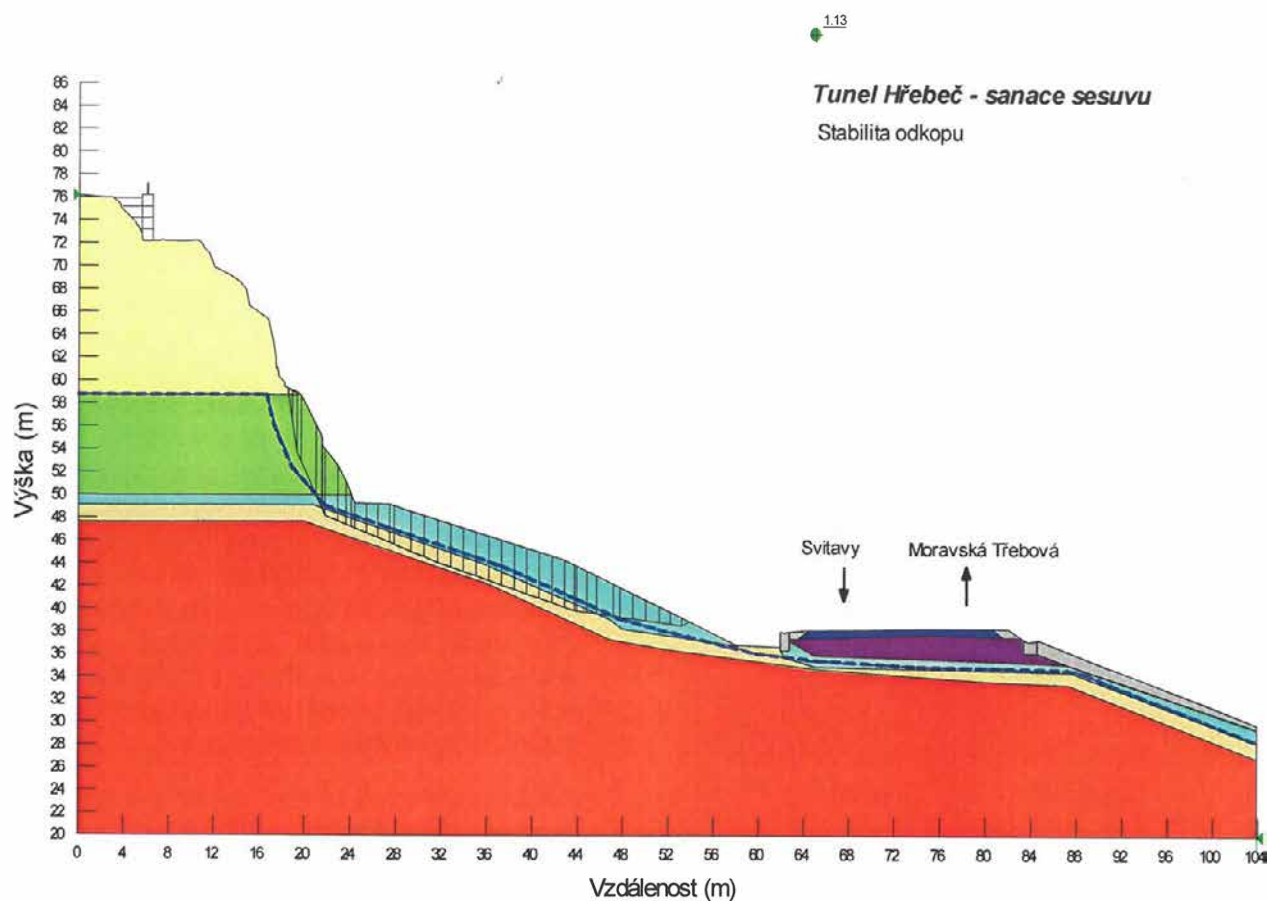
Obr. 3 - Výstup ze zpětné analýzy – stav po sesuvu svahu

Návrh řešení byl limitován zejména nedostatkem prostoru pro vybudování pasivní části lavice a požadavkem na ochranu kritické vrstvy pískovců. Z „estetického“ hlediska bylo zamítnuto řešení pomocí silových prvků (piloty apod.). V konečné fázi byla navržena přítěžovací vyztužená lavice se dvěma etážemi doplněná v horní části přísypem z liaporu vyztuženým systémem Green Terramesh. Přísyp z liaporu je navržen kvůli zamezení zvětrávání glaukonitických pískovců, odvedení vody vyvěrající z kontaktu rozpukaných světlých pískovců a vytvoření bezpečnostního systému pro zachytávání případných opadávajících úlomků hornin ze skalní stěny. Liapor byl použit z důvodu nízké objemové hmotnosti. Klasické materiály výrazně přítěžují aktivní zónu a tudíž byly ze stabilitního hlediska nevyhovující.

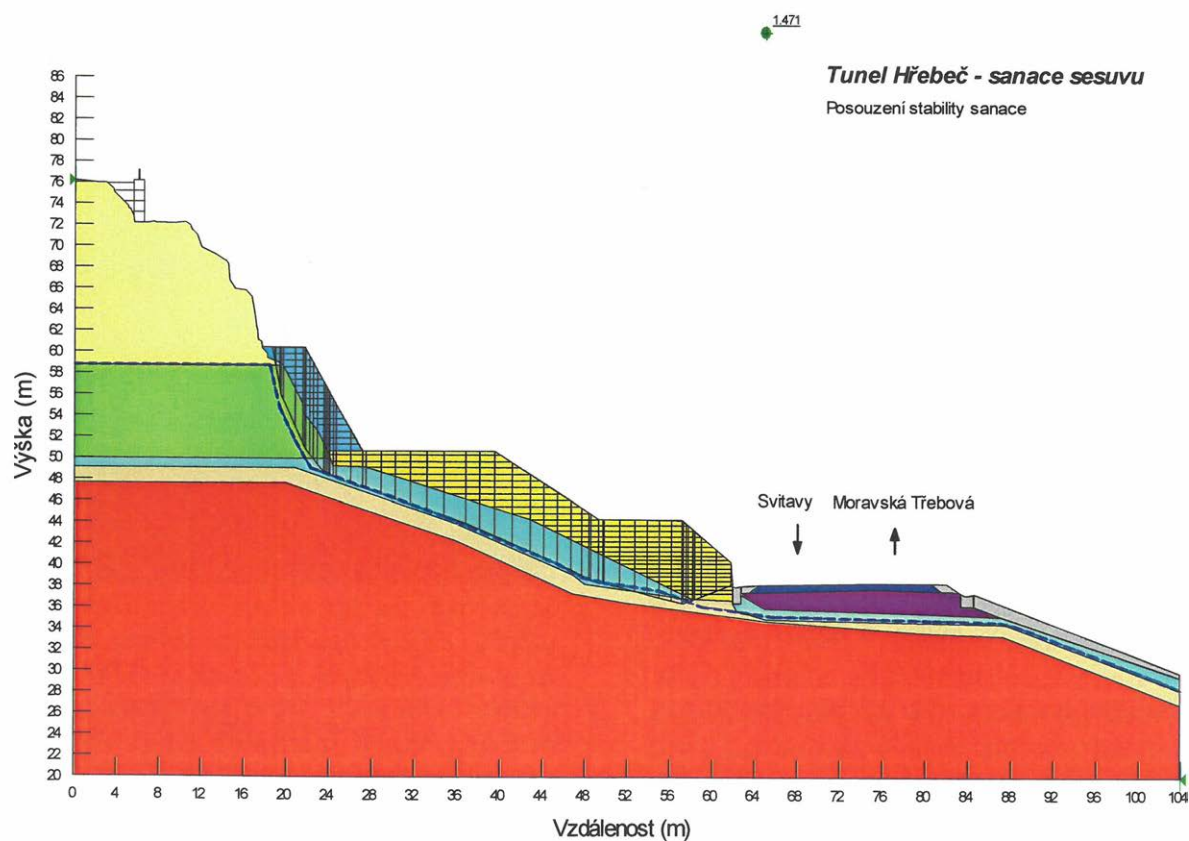
Z výsledků stabilitních analýz vyplynulo, že kritickým stavem pro sanaci je fáze odebrání sesutých hmot a vyhloubení výkopu pro výstavbu přítěžovací lavice, kdy  $F_s = 1,13$ . Stupeň stability konečného provedení konstrukce je  $F_s = 1,47$  podél kritické smykové plochy. Stupně stability podél smykových ploch procházejících pod silnicí mají stupeň stability vyšší. Pro kontrolu byl proveden výpočet s mimořádným zatížením, které bylo reprezentováno zvýšenou hladinou podzemní vody a koeficientem  $ru = 0,3$  (cca 60% nasycení) ve svrchní vrstvě oslabených jílovců. Toto mimořádné zatížení charakterizuje možnost přerušení funkce drenážních opatření a nasycení vrstev. Stupeň stability  $F_s = 1,16$  je pokládán z hlediska extrémního zatížení a jeho možného časového horizontu trvání za dostatečný.



Obr. 4 - Výstup ze zpětné analýzy – stav před sesuvem svahu



Obr. 5 - Výstup ze stabilitního posouzení odtěžení sesuvu svahu



Obr. 6 - Výstup celkového posouzení stability sanace svahu

## Sanace sesuvu a monitoring stavby

V první etapě sanačních prací bylo současně s odtěšováním hmoty sesuvu přistoupeno k sanaci skalní stěny. Nejprve byla odstraněna vegetace na horní hraně skalní stěny a ve vlastní stěně. Po jejím odstranění byla skalní stěna očištěna od volných kamenů a bloků za pomoci páčidel a tlakových podušek. V průběhu čištění byly zjištěny svislé rozevřené diskontinuity paralelní s lícem skalní stěny, průběžné přes celou její výšku a rozevřené až na 100 mm s výplní jílovité zeminy.

Proto bylo v druhé etapě prací přikročeno k technickým opatřením na zajištění stability skalní stěny. Horní část skalní stěny byla pro potřeby sanace odtěžena v mocnosti 2,9 – 4,3 m, čímž byla vytvořena skalní plošina pro instalaci hlavních sanačních prvků skalní stěny. Na očištěnou skalní stěnu bylo nejprve instalováno ocelové pozinkované dvojjákrutové pletivo Galmac, které slouží pro zachycení pádu kamenů a skalních bloků. Přes toto pletivo byly položeny HEA panely o rozměrech 6x3 m, sestávající z ocelových lan  $\varnothing$  10 mm. HEA panely tvoří hlavní prvek zajištění a slouží k zabránění posunu líce celé stěny. Z tohoto důvodu tvoří hlavní kotvící prvek těchto panelů nepřepínané lanové kotvy s očnicí, kotevní délky 5 m s nastavitelnou volnou délkou

Tento kombinovaný systém zajištění skalní stěny poskytuje maximální možnou bezpečnost a garanci trvalé a takřka bezúdržbové sanace.

Součástí prací na sanaci skalního svahu bylo rovněž zbudování opěrné gabionové zdi v délce 27 m a výšce 3 m u vyhlídky, sanace kamenné zidky (volně skládané při realizaci tunelu Hřebeč) pomocí ocelového pletiva Galmac.

Při I. fázi záchranných prací byly modelovány a řešeny možné varianty vlastní sanace svahu. Na základě výsledků zpětné stabilitní analýzy, geologického vývoje lokality, technologických, ekonomických a časových nároků stavby, byl navržen způsob sanace svahu pomocí přítěžovací lavice a horní ochranné lavice.

Přítěžovací lavice má za úkol stabilizovat spodní část zemního svahu a zároveň zajišťovat bezvadnou funkci plynulého odvodnění celé předmětné oblasti mezi skalním svahem, portálem tunelu a silnicí I/35. Pro zajištění

stability klíčového prvku svahu – poloh glaukonitických pískovců, byla navržena ojedinělá konstrukce ochranné lavice pomocí prvků green terramesh a lehkého keramického kameniva Liaporu 8 – 16 mm.

Pro realizaci přítěžovací lavice byl zvolen materiál šterku frakce 32 – 63 mm. Volba materiálu vycházela z požadavku vyšší objemové tíhy, vysokého úhlu vnitřního tření použitého materiálu a nutnosti stále vysoké propustnosti realizovaného zemního tělesa přítěžovací lavice. Přítěžovací lavice byla realizována ve dvou úrovních, jako vyztužená zemní konstrukce s měkkým lícem tvořeným obalenou zeminou tl. 0,9 – 1,2 m. Jako výztužné geosyntetikum byla použita geomříž ARMATEX G 55/55 kN/m. Zemní těleso lavic bylo vyztuženo po celé šířce, tzn. od líce až po zemní pláň (ve vodorovném směru).



Obr. 7 -

Detail líce a boční hrany  
přítěžovací lavice

Celková délka šterkové přítěžovací lavice byla u spodní úrovně 55 m a u horní úrovně 75 m. Celková výška byla realizována v rozsahu

8,5 – 14,7 m, kdy spodní úroveň byla výšky 2,1 – 8,3 m a horní úroveň byla výšky 6,4 m. Celkový objem štěrkové lavice byl 15 400 m<sup>3</sup>, pro vyztužení této zemní konstrukce bylo použito celkově 31 200 m<sup>2</sup> výztužné geomříže ARMATEX G 55/55. Drenážní a separační geotextilie KORTEX GT 400/50 byla použita v rozsahu 4 200 m<sup>2</sup>.

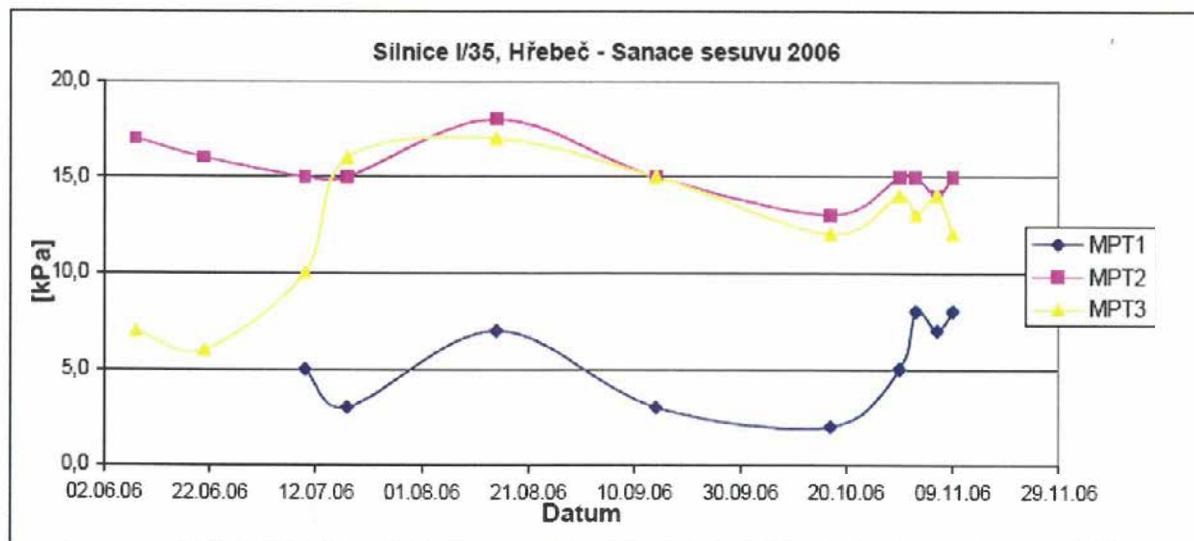
Po odkrytí jsou rychle degradující polohy glaukonitických pískovců sanovány a dlouhodobě chráněny ochrannou lavicí. Jelikož další přetížení spodní štěrkové lavice nebylo možné, bylo navrženo použití lehkého keramického kameniva Liaporu frakce 8 – 16 mm s objemovou hmotností 275 kg/m<sup>3</sup> (po zhutnění cca 350 kg/m<sup>3</sup>). Ochranná lavice byla realizována rovněž jako vyztužená zemní konstrukce, ale s využitím prvků green terramesh šířky 3 m. Ochranná lavice byla navržena jako stupňovitá, s prokopírováním průběhu skalní stěny. Líc prvků green terramesh a tím i jednotlivých stupňů byl 70° a 60°.

Ochranná lavice byla realizována použitím 3 300 m<sup>3</sup> Liaporu, 311 ks prvků green terramesh, 4 000 m<sup>2</sup> výztužné geomříže ARMATEX G

55/55 a 2 500 m<sup>2</sup> geotextilie KORTEX GT 200/200.

Odvodnění lokality sesuvu bylo realizováno plošným drénem – geotextilií a přítěžovací lavicí, podélným podpovrchovým drenážním systémem DN 300 mm a rovněž dvěma příčnými drenážními žebry. Jedno bylo zřízeno z náhodně objeveného starého důlního díla a druhé bylo realizováno příčně přes silnici pro jímání vod z tunelu a části svahu pod přítěžovací lavicí. Realizace drenážního odvodňovacího systému se ukázala jako klíčová pro stabilizaci sesuvného území a ustálení pohybu svahu a pórových tlaků.

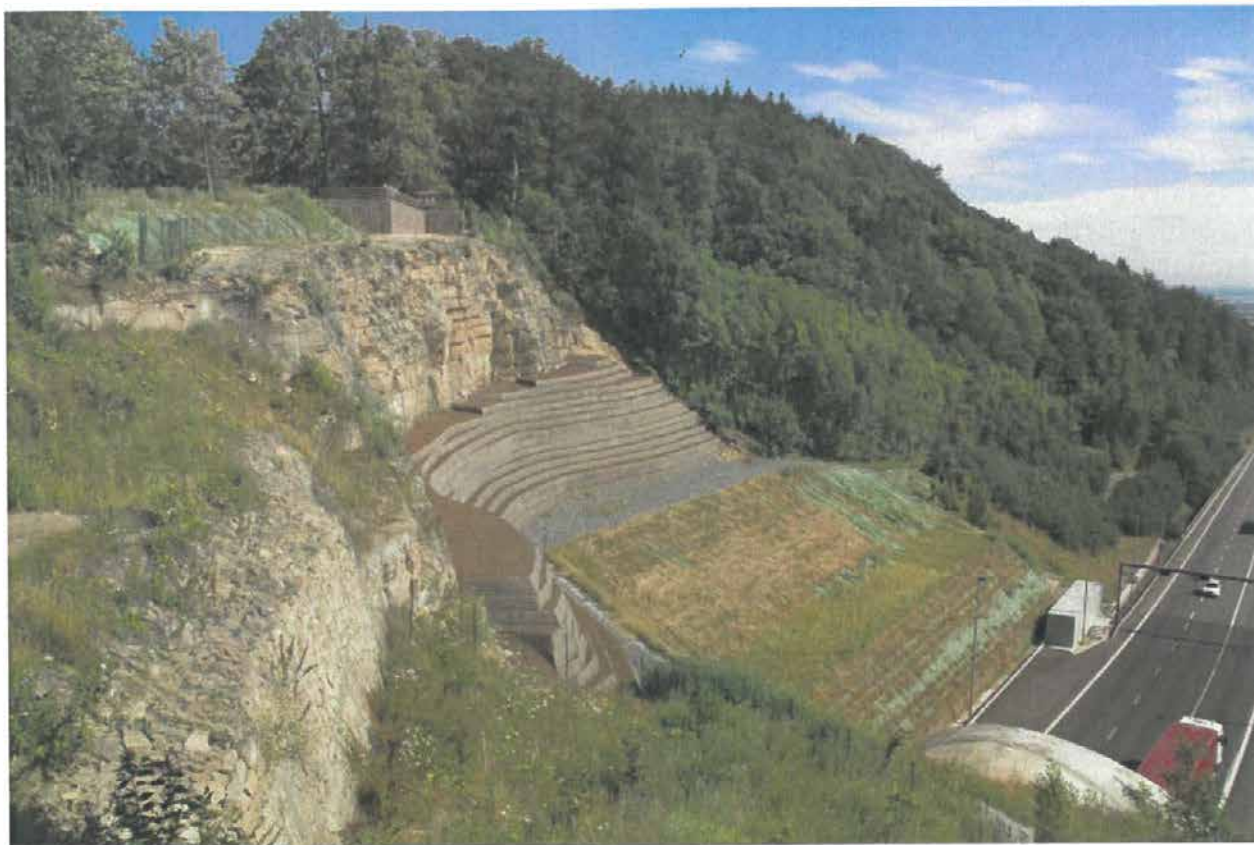
Monitorovací systém stavby sanace sesuvu byl realizován dle postupu prací a podával aktuální informace o chování stavby a zemního prostředí v reakci na prováděné práce a hydrogeologické podmínky. Hlavními prvky pro sledování stavu konstrukce jsou měření pórových tlaků, měření kontaktního napětí, extenzometrická měření a inklinometrická měření.



Obr. 8 - Vývoj pórových tlaků během stavby

Z realizovaných měření lze konstatovat, že provedená sanační opatření zabezpečila stabilitu sesuvné oblasti a umožnila bezpečný provoz na pozemní komunikaci u JV tunelového portálu. Pro ověření trvalé funkčnosti díla je prováděn

záruční monitoring stavby v čtvrtletním režimu. Sledování stavby monitorovacím systémem je však plánováno po celou dobu životnosti stavby a skončením záruční doby sledování nekončí.



Obr. 8 - Pohled na dokončenou stavbu – 8 měsíců po dokončení

### Závěrečné shrnutí

Stavba „Sil I/35, Hřebeč – sanace sesuvu 2006“ se svým řešením vymyká stávající geotechnické praxi. Pro sanaci sesuvného území byly použity ojedinělé technologické postupy a poznatky chování zemních konstrukcí. Některé sanační postupy byly v ČR a v Evropě použity vůbec poprvé. Svým pojetím se jedná o velmi náročnou stavbu sanace sesuvu u dopravní stavby, jenž si při řešení sanace a vlastních realizačních pracích vyžádala intenzivní přístup širokého týmu odborníků a specialistů ze společností Stavební geologie – Geotechnika, a.s., SG-Geoprojekt, spol. s r.o. a SKANSKA DS, a.s. Příkladný byl i přístup investora akce, který se nebál realizovat nevyzkoušené řešení a technologické postupy.

Stavba byla realizována od vzniku sesuvu (tj. 1. 4. 2006) ve velmi krátkém termínu a byla slavnostně předána dne 27. 11. 2006. V těchto osmi měsících se provedla I. i II. fáze záchranných prací, zpracování realizační dokumentace stavby a vlastní realizace stavby. Stavba nám připravila nemnohá překvapení.

Úspěšnost stavby prokáže čas a příroda sama. Výsledkem použití nových technologií,

neobvyklého řešení, komplexního monitorovacího systému a odpovědného přístupu širokého realizačního týmu je pohledově zdařile zakomponovaná geotechnická konstrukce a úspěšně sanovaná problematická lokalita.

### Literatura:

- Bohátka, Bohátková (2006): *Prohlídka skalní stěny sesuvu na lokalitě Hřebeč*  
 Pospíšil, Rout (2006): *Zpráva o inženýrskogeologickém mapování sesuvu Hřebeč a jeho okolí*  
 Bohátková, Mitrenga, Pospíšil (2006): *Silnice I/35 – sesuv před tunelem Hřebeč, technické řešení – Průvodní zpráva*  
 Havlan, Kučera, Štábl (2006): *Silnice I/35, Hřebeč – sanace sesuvu 2006 - Realizační dokumentace stavby – B. Souhrnná technická zpráva*  
 Bohátková, Mitrenga (2006): *Silnice I/35, Hřebeč – sanace sesuvu 2006 – Souhrnná zpráva monitoringu*  
 Bohátková (2006): *Silnice I/35, Hřebeč – sanace sesuvu 2006 – Laboratorní a kontrolní zkoušky*