

## OPONENTNÍ POSUDEK

### díplomové práce posluchače UK PŘF ÚHIGUG Jakuba Urbana „Analýza stability výsypkového svahu na výsypce Prunéřov“

#### 1 Úvod

Oponentní posudek je vypracován na základě dopisu ředitele Ústavu hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy (UK PŘF ÚHIGUG) ze dne 14.5.2008 se žádostí o posouzení výše uvedené diplomové práce. Požaduje se posouzení, zda diplomant splnil zadání, citoval všechny potřebné podklady, uvedl odkazy na převzaté materiály a zřetelně označil vlastní výsledky, dále jestli jeho práce splňuje svým obsahem a formou požadavky na diplomovou práci a má vědecký či praktický přínos.

V posudku se nejprve rekapituluje obsah práce a pak se uvádí vlastní posouzení.

Předložená práce pozůstává ze sedmi kapitol a obsahuje 73 stran textu, 7 příloh, 50 obrázků, 9 tabulek a fotodokumentaci (32 snímků).

#### 2 Obsah diplomové práce

**První kapitola** obsahuje úvod, cíl a členění práce. Cílem diplomové práce je zhodnocení stabilitních problémů rekultivační stavby Severní lom pomocí numerického modelování. Severní lom je úložiště popílků a energosádrovce, které se nachází na vnitřní výsypce Merkur založené ve vyuhlené části Dolu Nástup Tušimice. Posuzuje se stabilita jižního konečného výsypkového svahu úložiště, který již nebude překrytý skladovaným materiálem, a je zde proto nutno stabilitní poměry ověřit.

**Druhá kapitola** je věnována popisu regionálních geologických a geomorfologických poměrů zájmové oblasti, která se nachází na jihozápadním okraji mostecké pánve. Uvádí se podrobná charakteristika geologických a hydrogeologických poměrů lokality Severní lom a je přiložena přehledná mapa oblastí včetně mapy s umístěním příčných profilů a měrných bodů.

Zvláštní pozornost je v diplomové práci věnována hydrogeologickým poměrům, které jsou ovlivněny rozsáhlou těžbou uhlí, čerpáním důlních vod, přeložkami vodních toků, a jsou proto značně komplikované. Popisují se hydrologické poměry území, historie povrchových toků, oběhy a kolektory podzemní vody a orientační hodnoty hydrodynamických parametrů. Jsou vyhodnoceny výsledky sledování hladiny podzemní vody (HPV) pomocí průzkumných vrtů a je popsán i model proudění z roku 1999, který respektuje samotěsnicí efekt výsypky a účinek drenáže. Konstatuje se, že může dojít k omezení drenážní funkce uhelného pilíře, který dosud tvořil hlavní drenážní prvek lokality, a lze proto v budoucnosti předpokládat nastoupení hladiny v této oblasti.

**Třetí kapitola** se zabývá vyhodnocením vývoje hladiny podzemní vody podle posledních dat režimního sledování v prostoru Severní lom prováděného firmou AGE od roku 1998. Je analyzován dosavadní vývoj HPV podle vrtů registrujících mělký oběh, dále vývoj hladin ve výsypce. Jsou porovnány stavy hladin v letech 1998 a 2005 a výsledky jsou přehledně prezentovány pomocí barevného vrstevnicového zobrazení v 3D. Je prognózován pozvolný vzestup HPV rychlostí cca 0,5 m/rok.

V podloží výsypky je bazální kolektor s napjatou hladinou, který může nepříznivě ovlivnit stabilitu území.

**Čtvrtá kapitola** shrnuje dosavadní poznatky o stabilitě oblasti. Úložiště Severní lom vzniklo v důsledku rozsáhlého sesuvu v roce 1986, jehož následkem bylo ukončení těžby uhlí

v této oblasti. V roce 1991 při ukládání výškové etáže výsypky na kótu 371 m n.m. došlo ke vzniku dalšího rozsáhlého sesuvu, který postupně zasáhl celé území Severního lomu. Přestože byl sesuv sanován přítěžovací lavicí, byl pomocí měrných bodů registrován pokračující pohyb a další geodynamické jevy. Tyto projevy nestability by měly být rekultivační stavbou vyřešeny, ale přitížení oblasti a případný nástup HPV by mohly způsobit další stabilitní problémy v jižním předpolí úložiště.

Firmou AGE byla v roce 1999 provedena zpětná analýza sesuvu proběhlého v roce 1991, byly zjištěny velmi nízké smykové parametry výsypky v oblasti sesuvu ( $\varphi = 5^\circ$  a  $c = 0$ ) a za použití těchto parametrů byla metodami mezní rovnováhy sil posouzena stabilita jižního svahu před přitížením ( $FS = 1,81$ ) a po přitížení ( $FS = 0,74$ ).

Stabilita jižního svahu byla v letech 2005 a 2006 firmou AGE přepočtena. Byla použita metoda konečných prvků (a zřejmě metoda  $\varphi$ -c redukce), program Plaxis a Mohr-Coulombův konstitutivní model. HPV byla určena odborným odhadem. V diplomové práci jsou uvedeny tabulky s parametry materiálů, porovnány výsledky výpočtů a analyzovány možné příčiny rozdílných výsledků. Z uvedených údajů je patrné, že v přepočtech byly použity odlišné výpočetní modely a byly zvýšeny smykové parametry nejslabšího materiálu ( $\varphi = 9^\circ$  a  $c = 3$  kPa). Byly proto získány příznivější výsledky pro současný, resp. konečný stav jižního svahu, a to  $FS = 1,074$  a  $1,228$  v roce 2005 a  $FS = 1,163$  a  $1,505$  v roce 2006.

**Pátá kapitola** obsahuje zpětnou analýzu sesuvu z roku 1991 realizovanou diplomantem. Byla použita metoda konečných prvků (MKP), metoda  $\varphi$ -c redukce, program Plaxis a Mohr-Coulombův (M-C) konstitutivní model. Výpočet byl proveden ve dvou krocích, nejprve výpočet stavu napjatosti svahu od gravitačního zatížení a pak  $\varphi$ -c redukce. Pro simulaci smykové plochy zjištěné in situ byla podél kontaktu výsypky s podložím zavedena tzv. „horší vrstva“, která vzniká rozbředáním hrdů výsypky z diageneticky málo zpevněného jílovce při kontaktu s vodou. Nejprve byla zjištěna délka této vrstvy, pak upřesněny její parametry. Ostatní vstupní parametry včetně HPV byly převzaty z diplomantem citovaných podkladů.

Byly vyzkoušeny tři modely, přičemž výsledný model sesuvu z roku 1991 má výsypku rozdělenou na tři vrstvy (neconsolidovaná, konsolidovaná a „horší vrstva“), „horší vrstva“ má totální smykové parametry  $\varphi = 0^\circ$  a  $c = 25$  kPa a  $FS = 1,125$ . Výsledky řešení MKP jsou v diplomové práci prezentovány jen pro druhý krok výpočtu s plně vyvinutou smykovou plochou. Ta je dokumentována deformovanou sítí, celkovými posuny a plastifikovanými zónami. Výsledky musí odpovídat velmi vysokému počtu iteračních cyklů, protože vypočtené hodnoty posunů dosahují řádově vyšší hodnoty než je celková délka posuzované oblasti.

**Šestá kapitola** obsahuje posouzení stability jižního výsypkového svahu úložiště realizované diplomantem. Řeší se profily A a B, které vznikly interpolací mezi profily již posuzovanými v podkladech. Aplikují se poznatky a postup předchozí kapitoly. Zavádí se „horší vrstva“ s parametry podle zpětné analýzy, HPV podle režimního měření, napjatá hladina bazálního kolektoru a parametry ostatních materiálů podle podkladů.

Jsou modelovány tři zatěžovací fáze: současný stav s gravitačním zatížením, přitížení deponátem a zvýšení hladiny podzemní vody podle prognózy diplomanta. V každé fázi je posouzena stabilita svahu metodou  $\varphi$ -c redukce.

V *profilu A* je HPV blízko k povrchu a jedná se o území, které je podle pozorování náchylné k sesuvným jevům. Na modelu byla na bázi výsypky zavedena „horší vrstva“ s uvážením přítokových a odtokových poměrů území. Při totální pevnosti „horší vrstvy“ ( $\varphi = 0^\circ$  a  $c = 26$  kPa) byl pro současný stav vypočten stupeň stability  $FS = 1,215$ . Pro další zatěžovací fáze byly při zadaných vlastnostech materiálů zjištěny  $FS < 1$  a výpočty se nedaly dále realizovat.

Tento problém byl v diplomové práci řešen vynásobením pevnostních parametrů všech materiálů koeficientem 2 a použitím takto upraveného modelu pro další řešení. Vypočtené

stupně stability byly pak tímto koeficientem vyděleny. Tímto způsobem byly pro fáze přetížení svahu a zvýšení HPV vypočteny  $FS = 0,782 < 1$  a  $FS = 0,689 < 1$ .

V *profilu B* jsou příznivější podmínky s výskytem uhelné sloje s drenážním účinkem a pevné pokryvné vrstvy na bázi výsyvky. Podmínky pro vrstvu horších parametrů platí pro kratší úsek výsyvky. Za těchto podmínek byl pro současný stav vypočten stupeň stability  $FS = 1,287$ . Dále byla pevnost všech materiálů - stejně jako v *profilu A* - zvýšena na dvojnásobek a výsledky vyděleny stejným koeficientem. Pro fáze přetížení svahu a zvýšení HPV dospěl diplomant ke stupňům stability:  $FS = 1,243$  a  $FS = 1,089$ .

V závěru kapitoly se konstatuje nízká stabilita území podle modelu a analyzuje se vliv zavedených předpokladů a zjednodušení. Zdůrazňuje se rozhodující vliv „horší vrstvy“, který je vyšetřen také pomocí parametrické studie. Potvrzuje se výrazný vliv smykových parametrů vrstvy a nepatrný vliv její tloušťky.

**V sedmé kapitole** jsou shrnuty závěry a doporučení. Autor diplomové práce dochází k závěru, že zanedbání vlivu času a konsolidace výsyvky v modelu mohly být příčinou nízké stability modelovaného území a že respektování těchto faktorů by vedlo ke zvýšení vypočteného stupně stability svahu. Provedené řešení je tedy na bezpečné straně.

### 3 Posouzení diplomové práce

Již výše popsaný obsah diplomové práce svědčí o tom, že diplomant splnil zadání formulované v úvodu práce na velmi dobré odborné úrovni co do obsahu a rozsahu provedené práce. Bylo prostudováno potřebné množství podkladů, popsány geologické a hydrogeologické poměry širší oblasti a dané lokality a byl podrobně analyzován a také prognózován vývoj hladin podzemních vod, který má značný vliv na posuzovaný stabilitní problém.

Rešerše dosavadních stabilitních posouzení je výstižná, obsahuje vše podstatné včetně vyhodnocení výsledků. K práci je přiložen plný seznam podkladů a v textu jsou tyto podklady pečlivě citovány. Způsobem rozdělení práce na kapitoly jsou vlastní výsledky diplomanta zřetelně odlišeny od převzatých podkladů a poznatků.

Lze plně souhlasit i s aplikovanou strategií řešení, tj. s koncepcí modelových prací. Je správné, že po vyhodnocení podkladů byla nejprve provedena zpětná analýza skutečné události, kde byly k dispozici výsledky pozorování a doplňkového průzkumu. Lze souhlasit i se zavedením vrstvy nižší smykové pevnosti, i když délka, poloha a vlastnosti takové vrstvy předurčují průběh smykové plochy a výsledky řešení. U materiálu tak komplexních a časově závislých vlastností jako je výsyvka jsou pro zavedení této vrstvy fyzikální předpoklady a ty jsou v diplomové práci popsány.

Aplikace poznatků ze zpětné analýzy na posouzení stability jižního předpolí úložiště je správný a dobře zdůvodněný postup. Diplomant provedl rekognoskaci terénu a nové profily A a B určené pro posouzení stability jižního svahu jsou vybrány s uplatněním všech dosud získaných poznatků. Zavedení „horší vrstvy“ a zejména poloha, tloušťka a hlavně délka této vrstvy uvažované v jednotlivých profilech jsou v diplomové práci podrobně zdůvodněny.

S úvahami autora diplomové práce o vlivu času na výsledky řešení lze rovněž souhlasit, i když jsou tyto vlivy podle pohledu oponenta ještě komplikovanější, než je v práci uvedeno. Nelze však zanedbání vlivu času v diplomové práci považovat za její nedostatek, protože řešení časově závislých úloh – konsolidačních a reologických – je až dalším krokem, který navazuje na základní krok s mechanickým řešením, jež je v diplomové práci realizováno.

Přes celkově velmi kladné hodnocení diplomové práce mám řadu **připomínek**, které by měly být při obhajobě diplomové práce zodpovězeny.

1. Z podkladů, které jsou potřebné pro řešení zadání v diplomové práci, by měly být popsány výsledky všech měření, včetně měření deformací, která byla na lokalitě Severní lom prováděna. Případná námitka, že jde o stabilitní řešení a ne o výpočet deformací,

neobstojí, protože analýza prostorového a časového průběhu naměřených posunů je potřeba pro pochopení charakteru a příčin geodynamických jevů, které jsou na posuzované lokalitě pozorovány. Tak například nelze vyloučit, že projevy nestability, které jsou zde stále zjišťovány, mají vazkoplastickou povahu a proto i některé sesuvní jevy mohou být produktem vazkoplastického tečení materiálů. Mimo jiné i smykové parametry vypočtené pro „horší vrstvu“ připomínají spíše práh vazkoplasticity než pevnost výsypkového materiálu.

2. V diplomové práci není pro žádný z posuzovaných profilů dokumentován výchozí stav, tj. první krok řešení, na nějž navazuje  $\phi$ -c redukce. Je zde zmínka o tom, že jde o gravitační zatížení, ale vypočtený stav napjatosti není dokumentován. A jde přitom o významný výchozí stav, který může celé stabilní řešení ovlivnit.
3. Navíc jsou v diplomové práci vstupní data zvolena téměř ve všech případech tak, že výchozí stav od gravitačního zatížení může vyžadovat korekci. Poissonovy součinitele jsou u všech materiálů (až na podloží) tak nízké, že napjatost vypočtená od gravitačního zatížení může překročit pevnost materiálů. Nejmarkantnější je to u „horší vrstvy“, kde je  $K_0 = 0,3/(1-0,3) = 0,42$ , zatímco podle Jákyho vzorce, který pevnost respektuje, je  $K_0 = 1,0$ . Program Plaxis zřejmě chybně zadanou napjatost koriguje a respektuje pevnost materiálů. Takto korigovaná napjatost však bude blízko k meznímu stavu a může stabilní řešení nepříznivě ovlivnit. Nelze vyloučit, že i tato okolnost mohla přispět k nízké stabilitě území vypočtené modelem. Při obhajobě diplomové práce bude nutno výchozí napjatost ve všech posuzovaných profilech dokumentovat, včetně dosaženého mezního stavu.
4. Další připomínka se týká postupu při řešení stability jižního svahu v případech, kdy pro nějakou zatěžovací fázi bylo území již před  $\phi$ -c redukcí nestabilní. Vynásobení pevnosti všech materiálů koeficientem 2,0 před  $\phi$ -c redukcí a pak dělení vypočteného stupně stability tímto koeficientem je podle mého názoru nepřijatelné, protože nejde o lineární úlohu. Modelem, který má dvakrát vyšší pevnost materiálů, řešíme jinou úlohu, jejíž výsledky nemusí o první úloze nic říkat. Když je  $FS < 1$  již pro výchozí stav, jde většinou o špatně zadaná vstupní data. V daném případě může jít jednak o výše zmíněné Poissonovy součinitele a jednak o vlastnosti „horší vrstvy“, které jsou pro jižní svah nereálné. V každém případě by řešení mělo jít ve směru upřesnění vlastností materiálů tak, aby byl  $FS = 1,0$ . Výsledek s  $FS < 1$  není pro modelovací metodu přijatelný.
5. V diplomové práci není výraz „regresní analýza“ ve smyslu zpětné analýzy správně používán (str. 9, 71). Regresní analýza se zabývá vztahem náhodných veličin v matematické statistice, zatímco zpětná analýza se zabývá určením neznámých vstupních hodnot identifikační úlohy na základě známých výstupních hodnot téže úlohy.

#### 4 Závěr

V závěru poznamenáváme, že stabilita úložiště založeného na výsypce je příliš komplexní a rozsáhlý problém na to, aby mohlo být v rozsahu jedné diplomové práce dosaženo výstižného a definitivního řešení. Z těchto důvodů a nehledě na výše uvedené připomínky konstatujeme, že

- předložená diplomová práce jak po obsahové a formální stránce, tak svým předmětem a rozsahem plně odpovídá a místy i přesahuje běžné požadavky na diplomovou práci;
- diplomant splnil zadání, předložená práce má praktický přínos, a proto ji doporučujeme k obhajobě.

V Praze dne 20.5.2008

  
Ing. Marta Doležalová, CSc.  
h. profesor