

Marian MARSCHALKO*

**ZHDNOCENÍ VLIVU ZVODNĚNÍ NA STABILITU SVAHŮ V TYPOVÝCH
MODELECH RŮZNĚ MOCNÝCH DELUVIÁLNĚ-ELUVIÁLNÍCH KOMPLEXŮ
VNĚKARPATSKÉHO FLYŠE**

**EVALUATION OF THE INFLUENCE OF SATURATION ON SLOPE STABILITY IN TYPE
MODELS OF DELUVIAL-ELUVIAL COMPLEXES OF VARIOUS THICKNESSES IN THE
OUTER CARPATHIAN FLYSCH**

Abstrakt

Publikace uvádí výsledky dílčí studie (celková studie – 8 typových modelů) zabývající se vlivem různého stupně zvodnění ve čtyřech modelových profilech svahových deformací v různě mocných (4 mocnosti odpovídající modelům) deluviálně-eluviálních komplexech tvořených třemi rozdílnými materiálovými charakteristikami (každý z modelů studuje 3 materiálové varianty). Na ní budou navazovat další dílčí studie zabývající se vlivem mocnosti, sklonu, úhlu vnitřního tření a soudržnosti na stabilitu svahových deformací ve výše specifikovaných podmínkách geologické stavby svahu typických pro flyšové pásmo. Současné možnosti ve výpočetní technice umožňují v daleko širším rozsahu zohlednit proměnné faktory porušující rovnovážný stav svahů. V práci jsou z důvodu snazšího zpracování rozsáhlých datových souborů a možnosti variantních výpočtů použity metody mezní rovnováhy.

Abstract

The publication presents results of the partial study (overall study – 8 type models) dealing with the influence of various degrees of saturation in four model sections through slope deformations in the deluvial-eluvial complexes of various thicknesses (4 thicknesses corresponding to the models) that are composed of three different materials (each of the models deals with 3 material variants). It will be followed with another partial study concerned with the influence of thickness, gradient, angle of internal friction and cohesion on the stability of slopes under the above-mentioned conditions of the geological structure of slopes that are typical of the flysch zone. Existing capabilities of computing technologies make it possible, in a far greater extent, to take into account variable factors disturbing the equilibrium state of slopes. In the work, limit equilibrium methods are used to make the processing of extensive data sets and variant calculations easier.

Key words: modeling, slope stability, engineering geology, flysch zone

Úvod

Pro tuto dílčí studii byly sestaveny 4 základní typové modely svahů deluviálně-eluviálních komplexů s různou mocností a vhodnou geologickou stavbou pro vznik, eventuálně reaktivaci svahových pohybů. Tyto představují jeden z nejčastějších typů svahových deformací v karpatském flyši. Základní typové modely byly rozpracovány do 12 variant podle charakteru horninového materiálu. U všech typových modelů a jejich variant byl proveden v této dílčí studii výpočet stupně stability v závislosti na nasycení svahu vodou. Modely č.1, č.2, č.3 a č.4 (v celkové studii mají pořadové číslo 4,5,6,7) představují sesuv deluviálně-eluviálních zvětralín o mocnosti v generelu 1,5m (model č.1), 3m (model č.2), 5m (model č.3), 8m (model č.4) se smykovou plochou na jejich bázi. Neporušené podloží má soudržnost $c_{ef} = 30$ kPa, úhel vnitřního tření $\varphi_{ef} = 24^\circ$ a objemovou tíhu $\gamma = 21,8$ kN/m³. Variantní řešení se týká charakteru zeminového materiálu sesuvu, který je uvažován jako:

* doc. Ing., Ph.D., Institut geologického inženýrství, VŠB-TU Ostrava, E-mail: marian.marschalko@vsb.cz

- 1) hlinito-kamenitý - $c_{ef} = 20$ kPa, $\varphi_{ef} = 16^\circ$ a objemová tíha $\gamma = 21,3$ kN/m³ (model s mocností 1,5 m - model č. 1a, model s mocností 3 m - model č. 2a, model s mocností 5 m - model č. 3a, model s mocností 8 m - model č. 4a),
- 2) jílovitý - $c_{ef} = 14$ kPa, $\varphi_{ef} = 19^\circ$ a $\gamma = 20,7$ kN/m³ (model s mocností 1,5 m - model č. 1b, model s mocností 3 m - model č. 2b, model s mocností 5 m - model č. 3b, model s mocností 8 m - model č. 4b),
- 3) kamenito-hlinitý - $c_{ef} = 17$ kPa, $\varphi_{ef} = 23^\circ$ a $\gamma = 21$ kN/m³ (model s mocností 1,5 m - model č. 1c, model s mocností 3 m - model č. 2c, model s mocností 5 m - model č. 3c, model s mocností 8 m - model č. 4c).

U každého z těchto 12 modelů (4 různé mocnosti x 3 materiálové varianty), bylo provedeno cca 90 výpočtů stupně stability čtyřmi metodami mezní rovnováhy, což představuje cca 4320 provedených výpočtů.

Použité metody

Současné možnosti ve výpočetní technice umožňují v daleko širším rozsahu zohlednit proměnné faktory porušující rovnovážný stav svahů. V práci jsou z důvodu snazšího zpracování rozsáhlých datových souborů a možnosti variantních výpočtů použity metody mezní rovnováhy.

Základním principem použitých metod mezní rovnováhy je řešení silové resp. momentové rovnováhy svahového tělesa nad zvolenou smykovou plochou. Jsou odvozeny za předpokladu existence takového stavu napjatosti prostředí, při němž je v celé zasažené oblasti mobilizována využitelná smyková pevnost zeminy a hledá se taková plocha, po níž by nejnáze mohlo dojít k usmýknutí (kritická smyková plocha). Metody mezní rovnováhy nezohledňují přetvárné parametry horninového prostředí. Výsledkem řešení je stupeň stability, udávající podíl mezi pasivními silami (síly přispívající ke stabilitě svahu) a silami aktivními (síly přispívající k nestabilitě svahu), metody neumožňují získat informaci o průběhu napětí a deformací ve svahovém tělese (Hrubešová, 2003).

Pro výpočty změn stupně stability při zavedení odlišných hodnot jednotlivých parametrů byly použity metody mezní rovnováhy v programu GeoStar 3.4 (Bartůněk, 2001), který umožňuje výpočty jak podle klasických metod, tak podle jejich modifikovaných variant.

Jednotlivé výpočty byly provedeny vždy 4 metodami a jejich výsledky byly vzájemně konfrontovány. Pro obecnou smykovou plochu - byly použity metody EOJ, SPENCER O, JANBU, EOP. Názvy jednotlivých metod jsou v programu použity v podobě, v jaké byly publikovány (tab. 1).

Tabulka 1: Význam značek a symbolů v názvech metod (Bartůněk, 2001)

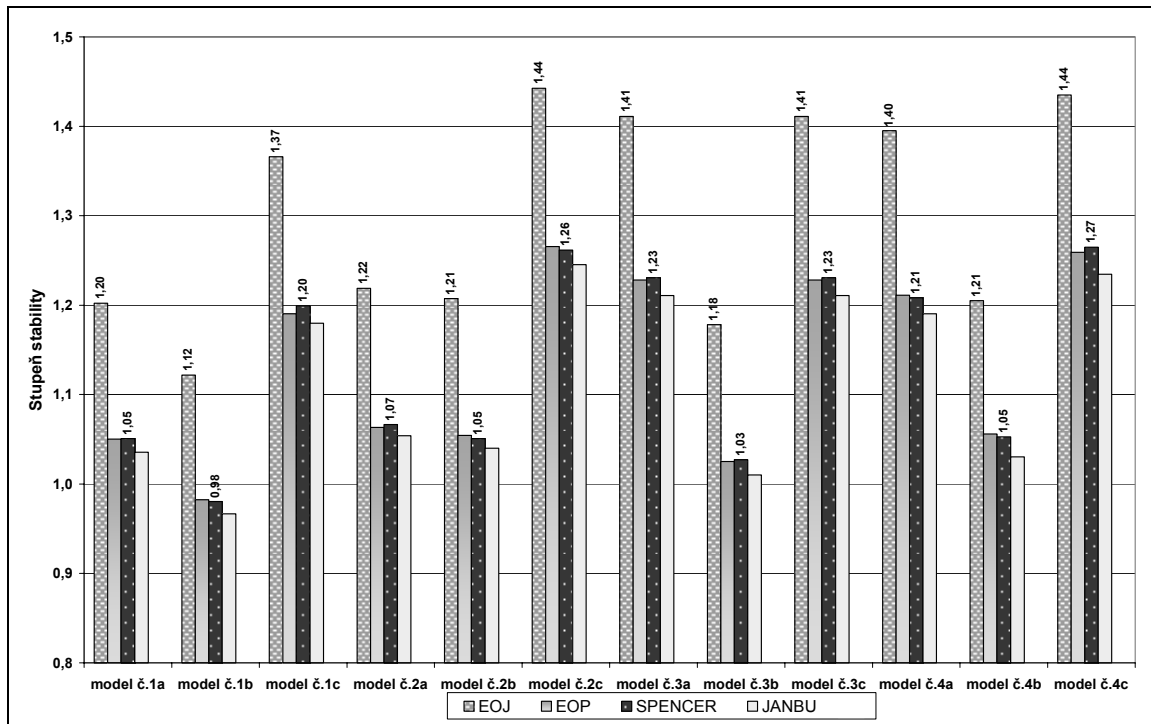
E-Efektivní napjatost	K – Kruhová smyková plocha	J – Jednoduchá metoda	N – Nerozlišené smykové par.
nebo	nebo	nebo	nebo
T – Totální napjatost	O – Obecná smyková plocha	P – Přesná metoda	R – Rozlišené smykové par.

Zhodnocení vlivu zvodnění

Saturace vodou představuje nejvýznamnější faktor ovlivňující stabilitu svahu. Na obrázku 1 jsou výchozí hodnoty stupně stability typových modelů, u kterých bylo předpokládáno úplné zvodnění svahů (symbol - 111). Symbol 111 znamená situaci plně vodou saturovaného svahu, přičemž první číslice znamená saturaci 1. vrstvy od povrchu, druhý znamená saturaci 2. vrstvy od povrchu atd. Výchozí hodnoty stupně stability plně saturovaného svahu se v závislosti na zvolené výpočetní metodě pohybují v intervalu cca 1,0 až 1,4. U jednotlivých modelů se hodnota stupně stability výchozího profilu pohybovala okolo 1, maxima dosahovaly modely 1c, 2c, 3c, 4c, 3a a 4a. Za předpokladu stejného sklonu svahu u všech modelů (1,2,3,4) by měl být u modelu č.3 a č.4 (deluviálně - eluviální komplex o mocnosti 5 a 8 m) nejnižší stupeň stability. Nebylo tomu tak z tohoto důvodu, že u modelu č.3 a 4 byl sklon svahu nižší o 1° v porovnání s modelem č.2.

Při srovnávání typů deluvií se jako nejhorší jeví jílovitý materiál s nejméně vhodnými geotechnickými parametry.

Všechny modely tvořené deluviálně-eluviálním komplexem vykazují přibližně stejný rozdíl mezi výslednými hodnotami stupně stability u metody EOJ a metodami EOP, SPENCER, JANBU. Stejně hodnoty byly dosaženy při použití metod EOP a SPENCER, výsledná hodnota stupně stability je nižší o 0,01 – 0,02 u metody JANBU.



Obr. 1: Porovnání hodnot stupňů stability výchozích profilů typových modelů při saturaci vrstev 111

Symbol 011 označuje stav svahu s nejsvrchnější vrstvou bez vody. Ostatní vrstvy jsou saturovány. Stupně stability nabývají v tomto případě hodnot 1,3 až 1,9 (obr. 2). Minima lze nalézt u modelu 4a (1,25), maxima u modelu 1c (EOJ – 2,23). To je způsobeno malou mocností deluviálně-eluviálního komplexu a příznivými geotechnickými parametry kamenito-hlinitého materiálu.

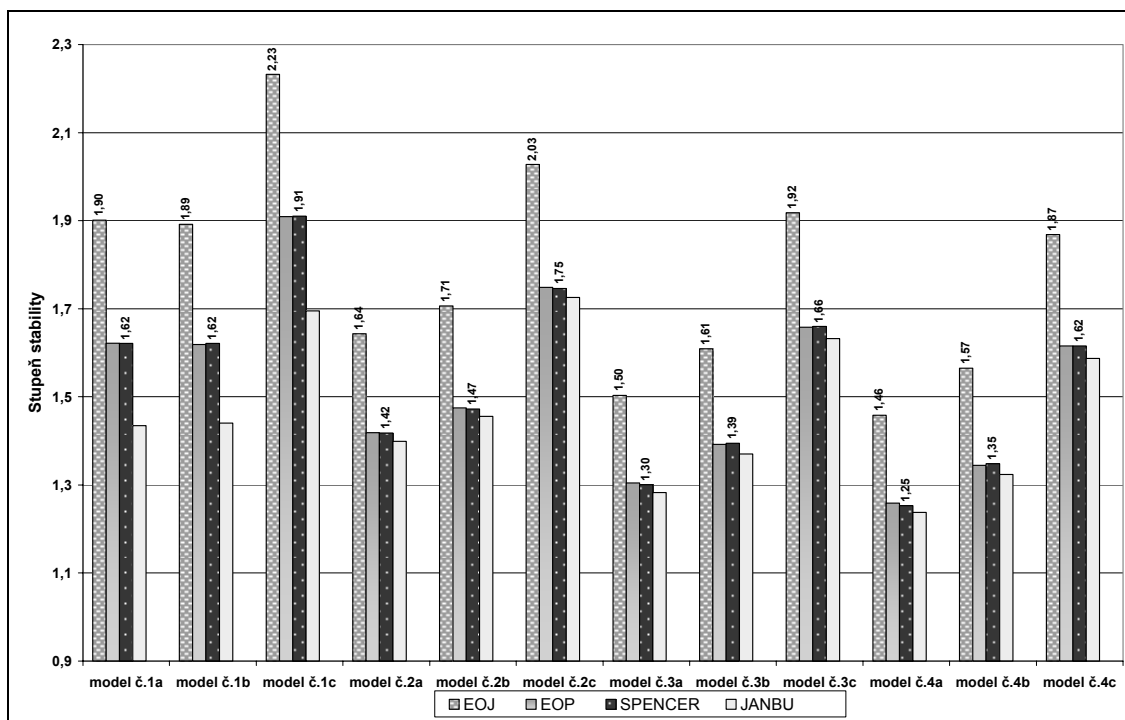
Při srovnávání výpočetních metod je pozorovatelný obdobný trend jako v případě plně saturovaného svahu. Došlo pouze ke snížení rozdílu mezi metodou EOJ a metodami EOP, SPENCER a JANBU. Nově se projevuje vyšší rozdíl mezi metodou JANBU a metodami EOP a SPENCER, a to u modelů 1a, 1b, 1c. Rozdíl vzrostl až na hodnotu 0,2. Stejný trend jako u saturace svahu 111 lze vysledovat u modelů č. 2, 3 a 4.

Obr. 3 reprezentuje svah se zvodněnou nejspodnější vrstvou (symbol 001). Hodnoty stupně stability se pohybují v intervalu 1,6 – 2,4. Extrémní hodnoty představují pouze dvě hodnoty. U modelu 1c hodnota stupně stability dosáhla 2,84 při výpočtu metodou EOJ. Druhým extrémem je hodnota 2,59 získaná metodou EOJ u modelu 2c.

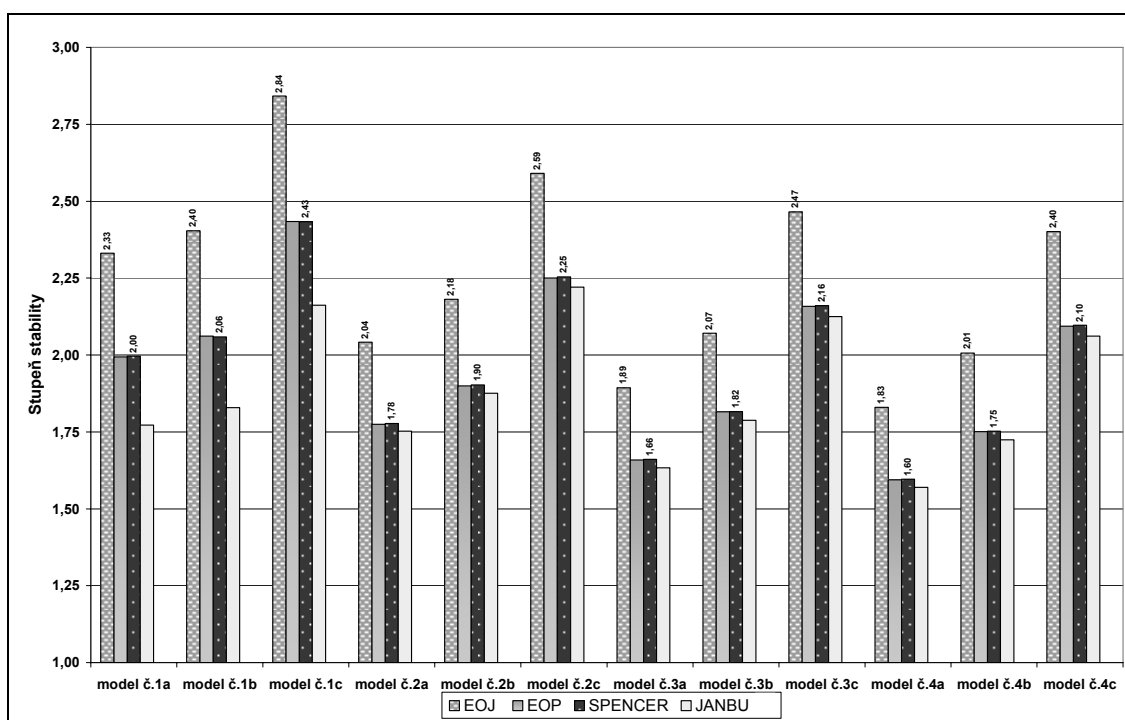
Vyšší hodnoty stupně stability lze pozorovat u méně mocných deluvií. U takto odvodněných svahů je to vyhovující stabilita, což se projevuje hodnotami výrazně vyššími než je 1,3. Při srovnávání výpočetních metod jsou obdobné trendy jako v předchozím případě (011).

Bezvodá varianta (symbol - 000, viz. obr. 4) představuje v podstatě totožnou situaci jak u hodnot stupně stability, tak rozdílů mezi výpočetními metodami. Podobnost je způsobena skutečností, že poslední bezvodá vrstva u všech typových modelů svahů leží pod smykovými plochami. Tato vrstva tak nemá na stupeň stability vliv.

Samotnou kvantifikaci vlivu odvodnění (změna hladiny podzemní vody) znázorňuje obr. 5. Rozdíl stupňů stability mezi variantou plně vodou saturovaného svahu (111) a variantou, kdy byla nejsvrchnější vrstva bez vody, se pohybuje v rozmezí od 0,35 do 0,8. Výjimkou jsou pouze modely 3a a 4a, kde tato pozitivní změna stupně stability má hodnotu nižší než 0,1. Co se týče výpočetních metod, u všech typů deluvií dosahovala metoda EOJ vyšších hodnot stupňů stability než u ostatních metod, a to o hodnotu cca 0,1. U modelů 1a, 1b, 1c dosahovala metoda JANBU výrazně nižších hodnot (kolem 0,15) vzhledem k metodám EOP a SPENCER.



Obr. 2: Porovnání hodnot stupňů stability při saturaci vrstev 011 v jednotlivých modelech

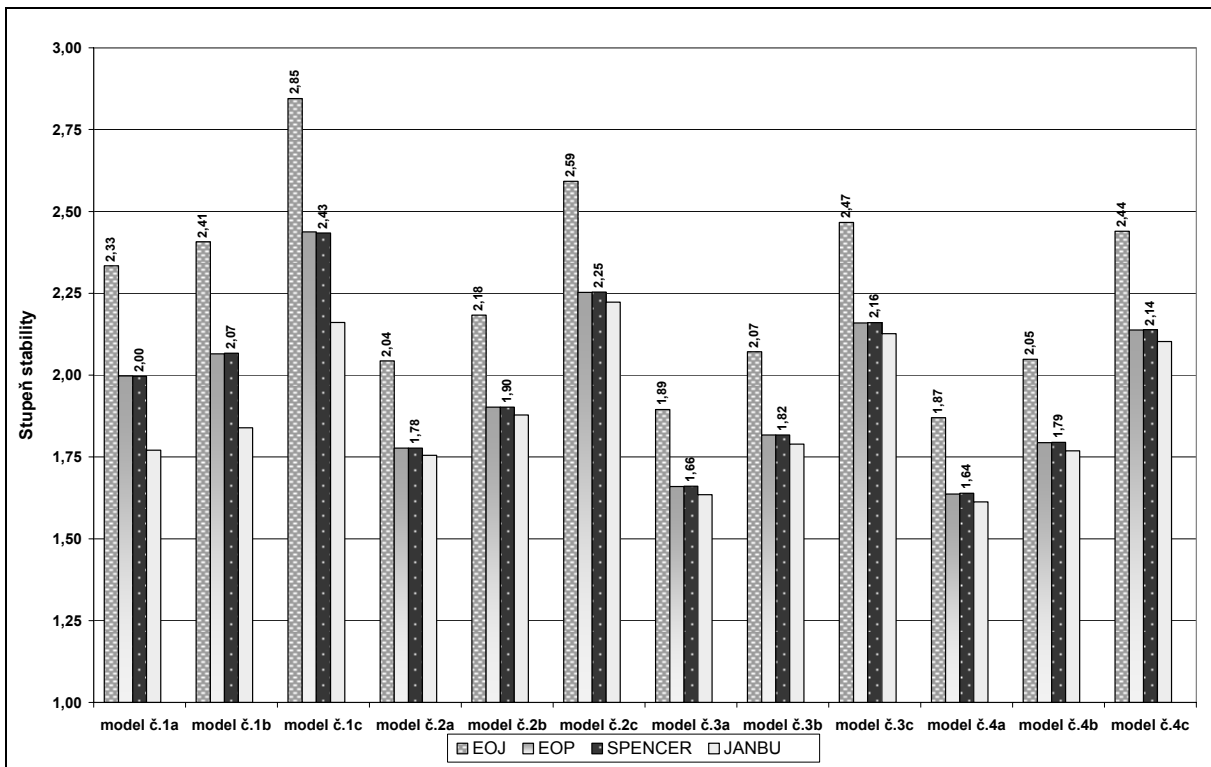


Obr. 3: Porovnání hodnot stupňů stability při saturaci vrstev 001 v jednotlivých modelech

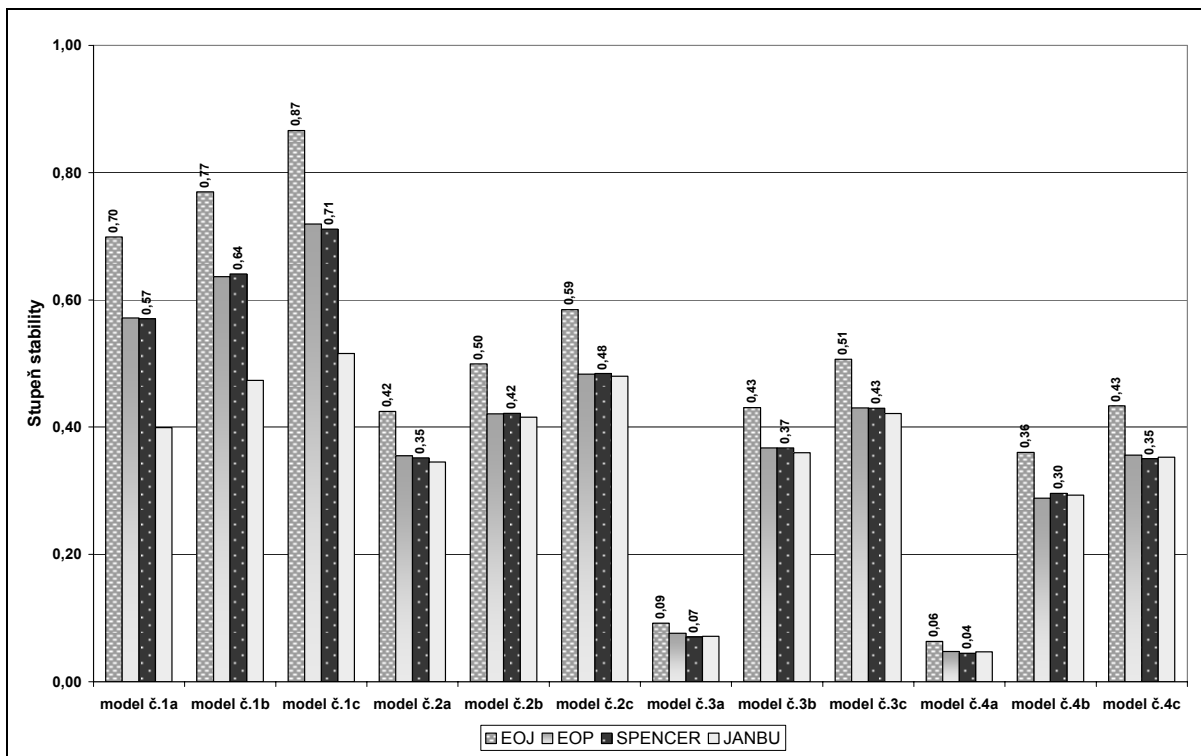
Dalším odvodněním bývá dosaženo velmi výrazné zlepšení stupně stability, jak znázorňuje obr. 6. Při srovnávání stupně stability mezi svahem s nejsvrchnější vrstvou bezvodou (011) a svahem saturovaným vodou jen ve své nejspodnější vrstvě (001) došlo u všech modelů k navýšení hodnot v intervalu 0,35 – 0,6.

Při výpočtu stupně stability svahu 001 (poslední vrstva je saturována vodou) a 000 (bezdodý svah) nebyly zaznamenány žádné změny. Odvodnění nejspodnější vrstvy, která leží pod smykovou plochou, nepředstavovalo žádný vliv na stupeň stability, a proto se rozdíly v hodnotách blíží nule (obr. 7). Výjimku tvoří pouze model č. 4, a to díky své mocnosti (8 m).

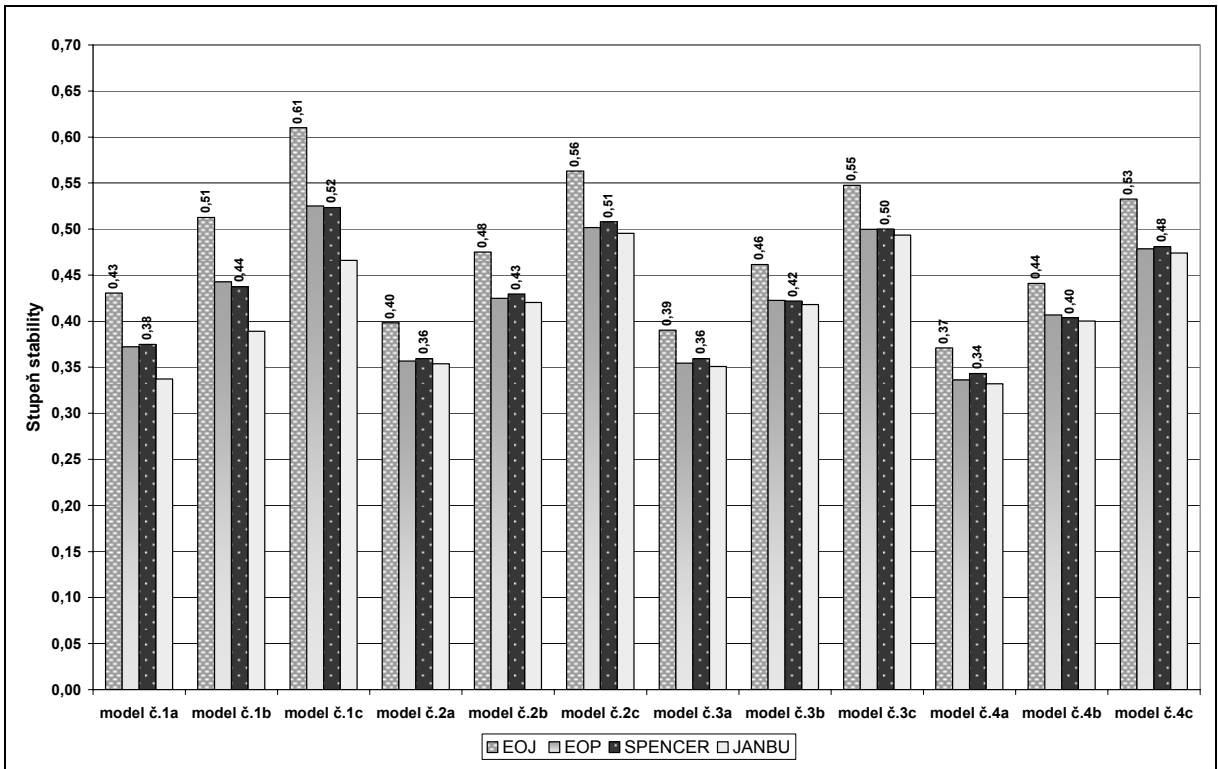
Obrázky 8, 9, 10, 11 reprezentují hodnoty stupně stability při postupném odvodňování svahu (postupná změna z 111, 011, 001 až na 000) podle výsledků jednotlivých metod. Nejvýraznější vliv na stabilitu lze pozorovat u méně mocných deluvií, obzvlášť u kamenito-hlinitého typu, při postupném snižování hladiny podzemní vody. Při srovnávání jednotlivých výpočetních metod jsou patrné obdobné trendy.



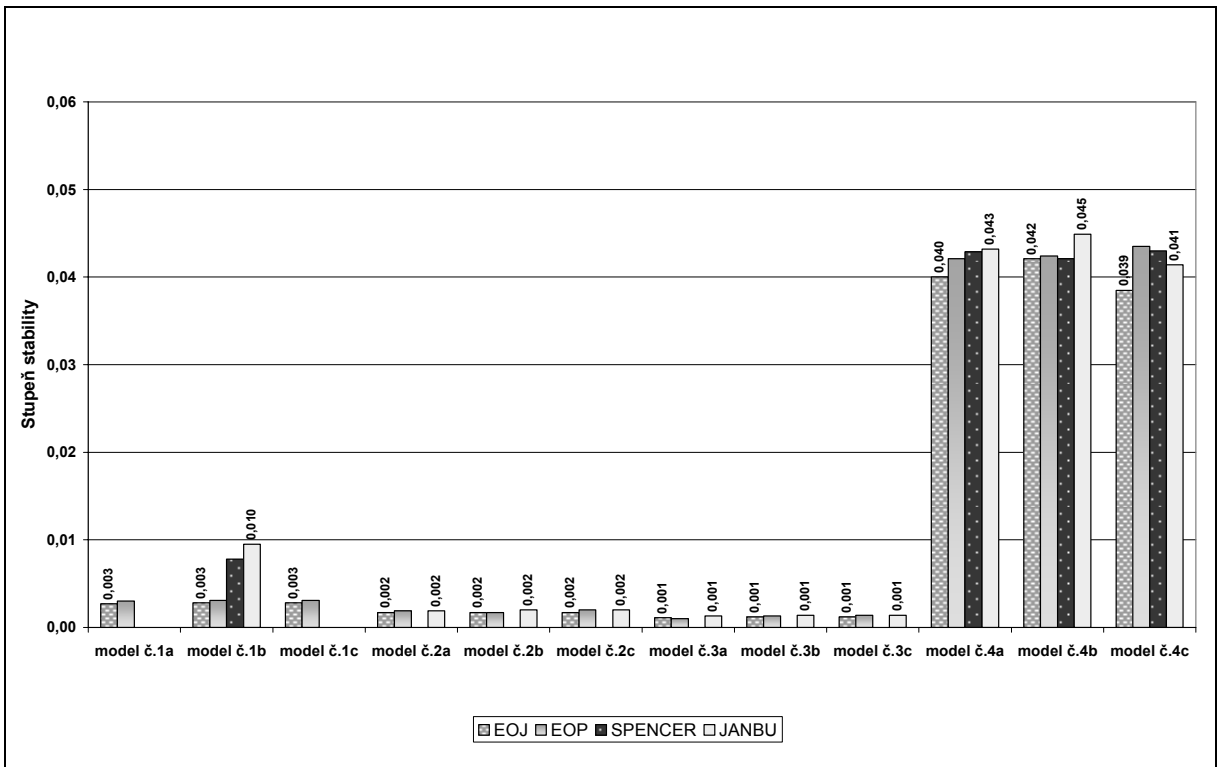
Obr. 4: Porovnání hodnot stupňů stability při saturaci vrstev 000 v jednotlivých modelech



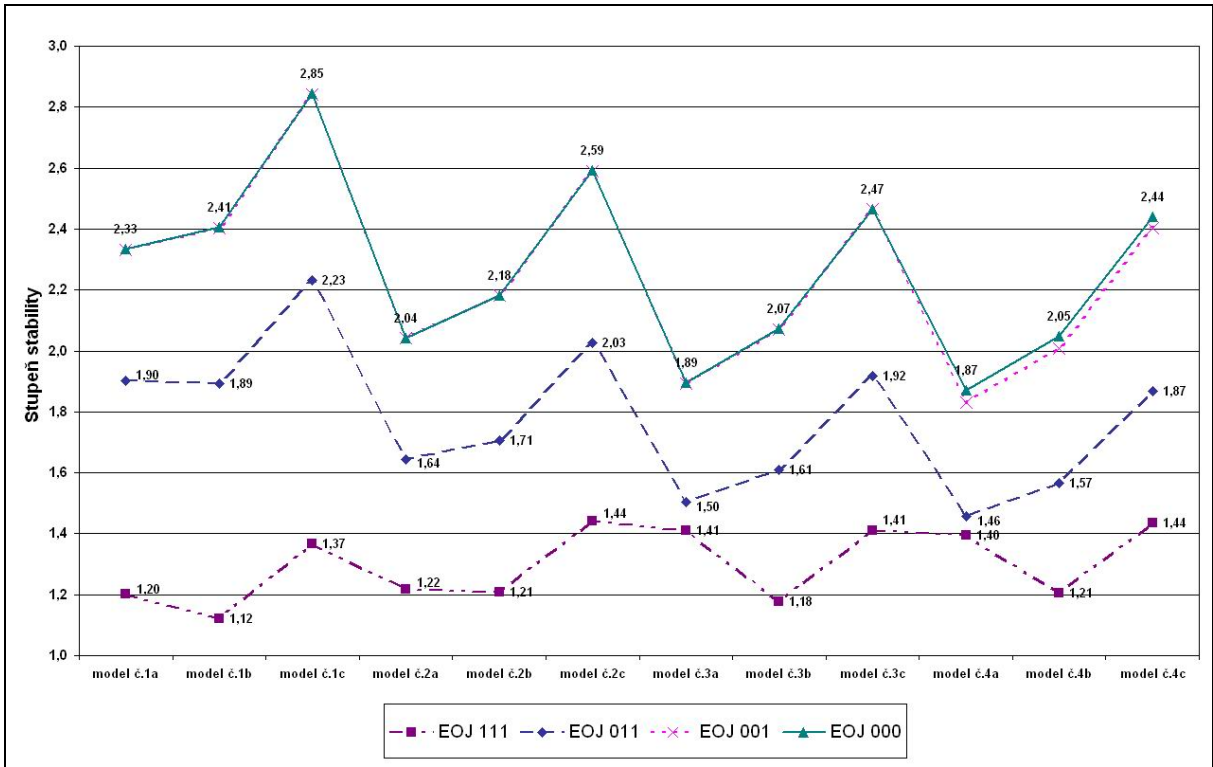
Obr. 5: Rozdíl stupňů stability při saturaci vrstev 011 a 111 v jednotlivých modelech



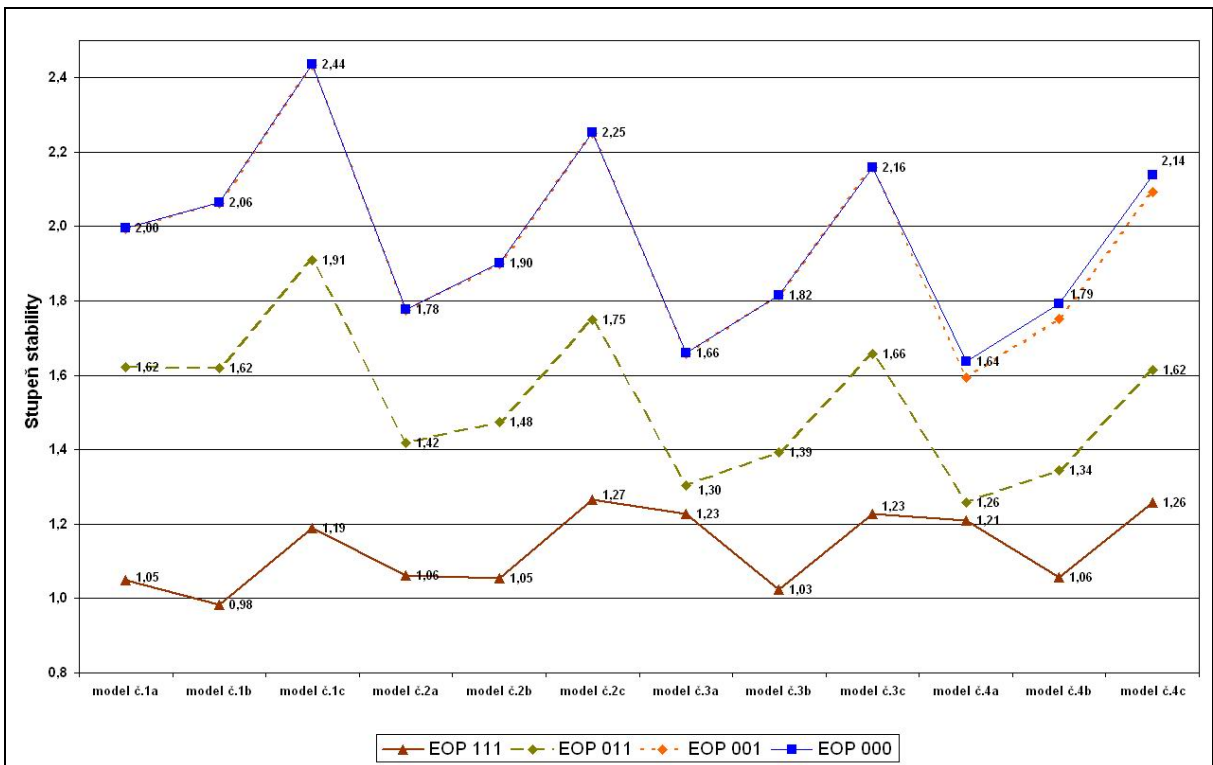
Obr. 6: Rozdíl stupňů stability při saturaci vrstev 001 a 011 v jednotlivých modelech



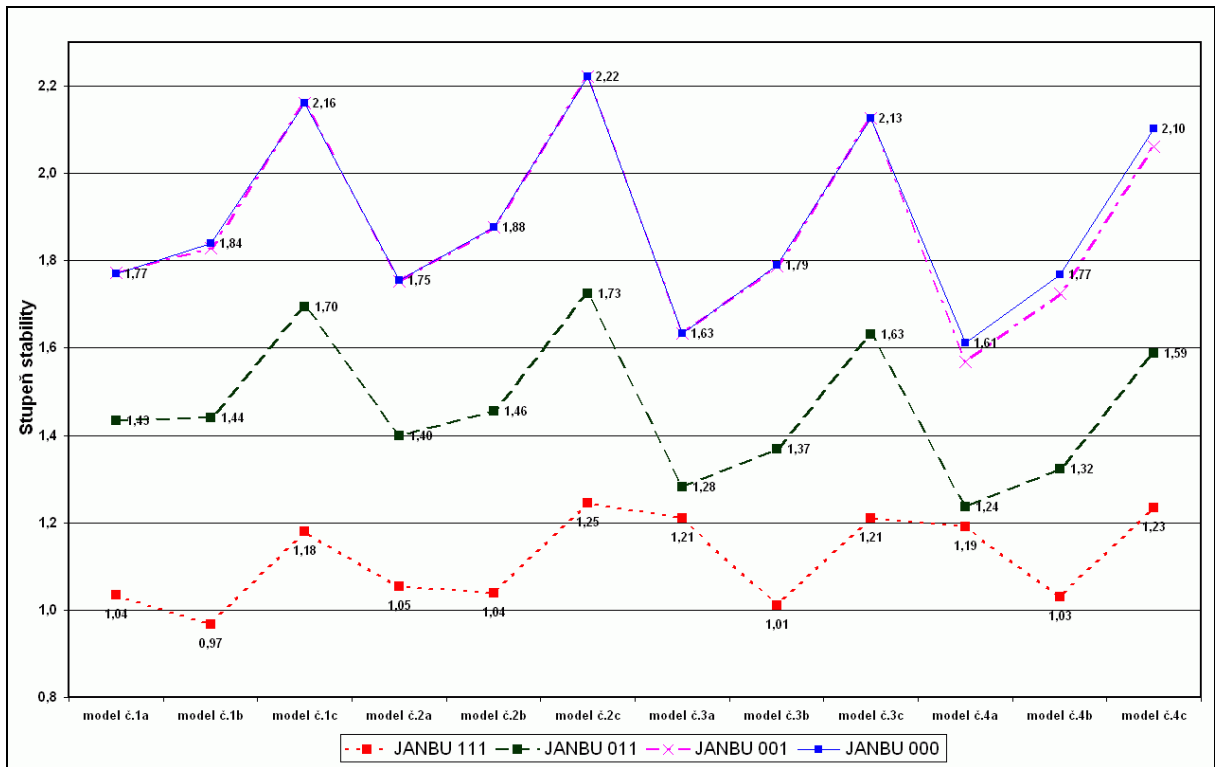
Obr. 7: Rozdíl stupňů stability při saturaci vrstev 001 a 000 v jednotlivých modelech



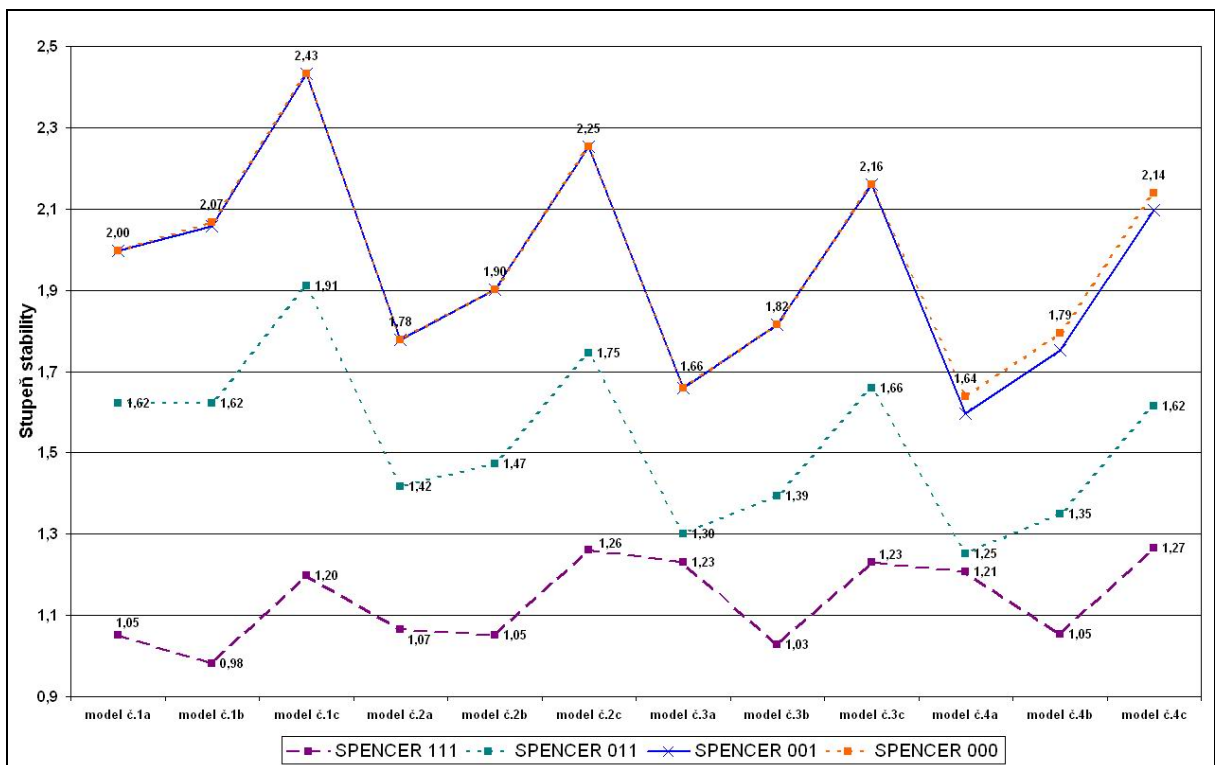
Obr. 8: Porovnání změn stupňů stability při saturaci vrstev 111, 011, 001 a 000 v jednotlivých modelech metodou EOJ



Obr. 9: Porovnání změn stupňů stability při saturaci vrstev 111, 011, 001 a 000 v jednotlivých modelech metodou EOP



Obr. 10: Porovnání změn stupňů stability při saturaci vrstev 111, 011, 001 a 000 v jednotlivých modelech metodou Janbu



Obr. 11: Porovnání změn stupňů stability při saturaci vrstev 111, 011, 001 a 000 v jednotlivých modelech metodou Spencer

Závěr

Svahové deformace jsou významným fenoménem, ovlivňujícím využití krajiny člověkem a jejich vliv se bude postupem času ještě zvyšovat díky úbytku vhodných stavebních míst.

Deluviálně-eluviálními komplexy představují jeden z nejčastějších typu svahových deformací v karpatském flyši. Při analýze výsledků vychází najevo, že stabilitu svahů tvořených deluviálně-eluviálními komplexy největší mírou ovlivňuje zvodnění svahu, mocnost deluviálního pokryvu a sklon svahu. Méně výrazný vliv má úhel vnitřního tření a soudržnost horninových materiálů v těchto deluviálně-eluviálních komplexech.

Studii lze z praktického hlediska využít v analogických geotechnických a geometrických poměrech. Např. pro posuzování vlivu odvodnění porušeného svahu na jeho stabilitu je rozdíl stupňů stability mezi variantou plně vodou saturovaného svahu a variantou, kdy byla nejsvrchnější vrstva bez vody, u všech použitých metod v rozmezí hodnot od 0,1 do 0,8. U svahů, kde se pozitivní dopad odvodnění projevuje menší mírou na stupni stability, dochází k výraznějšímu vlivu tohoto sanačního opatření až v následném snížení hladiny podzemní vody.

Publikace byla podpořena z grantového projektu GAČR - 205/02/D144 .

Literatura

- [1] Adamcová, R.: Orientačné posúdenie adsorpčných vlastností vybraných zemín. In *Zborník - Výsledky, problémy a perspektívy inžinierskej geológie v Slovenskej republike, Bratislava, SAIG, 1994, s. 121-126.*
- [2] Abuzbeda, M., Marschalko, M.: Modelling of the Slope Stability on Mosty u Jablunkova. Transactions of the VŠB – Technical University Ostrava. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské-Technické univerzity Ostrava, Řada hornicko-geologická, VŠB – Technical University Ostrava, 1998, s. 83 – 92.*
- [3] Baliak, F., Mahr, T., Malgot, J., Nemčok, A.: Výskum svahových deformácií v karpatskom flyši. *MS, Bratislava, Katedra geotechniky, Stavebná fakulta Slovenská vysoká škola technická, 1979. 67 s.*
- [4] Bartůněk, J.: GeoStar 4.0 - Příručka uživatele. Praha, *Jiří Bartůněk Software, 2001.*
- [5] Fussgänger, E. et al.: D18 Kysucké Nové Mesto – Skalité, orientačný inžinierskogeologický prieskum. *Záverečná zpráva, Žilina, GEOFOS s.r.o. Žilina, GEOstatik s.r.o. Žilina, 1998, 198 s.*
- [6] Hrubešová, E.: Modelování v geotechnice. *Interní učební materiály Katedry geotechniky a podzemního stavitelství FAST, VŠB – TU Ostrava, 2003.*
- [7] Kopecký, M., Baliak, F., Malgot, J.: Geotechnické problémy výstavby komunikácie cez Kurovské sedlo do Polskej republiky. *Inžinierské stavby – Geotechnické problémy 4-5., ročník 45, Bratislava, Vydavateľstvo inžinierské stavby, 1997, s. 134-136.*
- [8] Malgot, J., Kopecký, M., Baliak, F.: Zhodnotenie monitoringu Veľkomarského zosuvu. *Inžinierské stavby – Geotechnické problémy 4-5, ročník 45, Bratislava, Vydavateľstvo inžinierské stavby, 1997, s. 137-140.*
- [9] Müllerová, J., Marschalko, M., Mikunda, S.: Inženýrskogeologické mapování sesuvů – Stránice, Dušná, Bystřička – SmE Přerov, Bystřička – Za potokem. *Ostrava, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, MS, 1997, 90 s.*

Resumé

Partial study presents the influences of geological and other natural conditions on slope deformations. Carpathian Flysch represents a unit very favourable for the origin of slope movements. For the purpose of study, 4 basic type models of slopes of the deluvial-eluvial complexes of various thicknesses and suitable geological structures for the origin, or reactivation of slope movements were created. Those represent one of the most common types of slope deformations in the Carpathian Flysch. Then, 12 variants of the basic models were elaborated according to the character of rock material. With all the type models and their variants, what was performed was the calculation of the degree of stability depending upon changes in the parameters affecting the water saturation (this partial study). Next partial study will research influence of the slope movement, i.e. the gradient of the slope, the thickness of the landslide, the angle of internal friction, cohesiveness. Values of these parameters are based on the analysis of data given for real landslides in literature and reports.

The models were subject to the stability study at using computational methods of limit equilibrium - EOJ, EOP, SPENCER and JANBU. The methods of limit equilibrium were employed owing to the easier

processing of extensive data sets and a possibility of multivariant calculations. Each calculation was executed by four methods and results were subsequently compared. Altogether, about 4320 calculations were performed.

From the practical point of view, the study may be used in analogical geotechnical and geometrical conditions. For example, for the assessment of the impact of drainage of the disturbed slope on its stability, the difference in the degree of stability between the variant of a fully-saturated slope and the variant, when the uppermost layer was not saturated with all methods employed, moves in the range from 0.1 to 0.8. With slopes, when the positive effect of drainage manifests itself in the degree of stability to a lesser extent, a more marked influence of this improvement measure shows itself only in the following drop in the water level.

Recenzenti: Prof. RNDr. František Baliak, PhD., Katedra geotechniky Stavebnej fakulty, Slovenská Technická Univerzita v Bratislave,

Ing. Luděk Kovář, Ph.D, K-GEO s.r.o Ostrava.