

NUMERICKÉ MODELOVÁNÍ JÍLOVÉHO MASIVU

ČÁST 2: PŘÍKLADY APLIKACÍ

V první části tohoto článku, publikovaného v minulém čísle časopisu *Zakládání*, jsou shrnuty základní charakteristiky hypoplastického modelu pro jíly, jeho výhody oproti jiným pružnoplastickým modelům a způsob kalibrace parametrů, který v principu není složitější než kalibrace Mohr-Coulombova modelu. Tato navazující část demonstruje využití při řešení praktických problémů. Model je možno využít v kombinaci s řadou programů metody konečných prvků (MKP). V článku detailněji popisujeme jeho aplikaci v kombinaci s MKP programem PLAXIS, jež nevyžaduje programátorské znalosti, a příslušnou implementaci je možno stáhnout bezplatně z adresy www.soilmodels.info. Uvádíme čtyři příklady řešení praktických úloh, na nichž jsou ukázány přednosti využití hypoplastického modelu ve srovnání s méně pokročilými konstitučními vztahy.

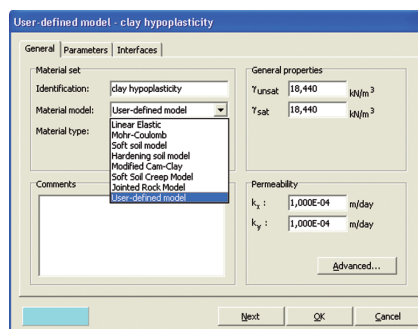
V „Části 1“ tohoto článku jsme popsali výhody pokročilého nelineárního modelu pro zeminy – hypoplastického modelu pro jíly – oproti jednodušším a nejčastěji využívaným modelům, jakým je např. pružnoplastický Mohr-Coulombův model. Parametry pokročilého modelu jsou nezávislé na stavu zeminy, jejich kalibrace tedy klade menší nároky na laboratorní vzorky; většina parametrů může být dokonce kalibrována na základě zkoušek na rekonstituovaných vzorcích a pro kalibraci vystačíme se základními laboratorními experimenty. Pokročilý model předpovídá nelineární chování zemin, které je zásadní pro správné předpovědi chování geotechnických konstrukcí.

Využití hypoplastického modelu v MKP programu PLAXIS

Implementace hypoplastického modelu pro jíly je dostupná pro řadu programů metody konečných prvků, které umožňují jeho využití v praktických aplikacích. Model je buď implementován přímo v základní verzi programu (jako například u programu *Tochnog Professional*), nebo jej lze použít v rámci tzv. uživatelských subrutin, které umožňují uživatelskou implementaci libovolného materiálového modelu. Většina pokročilých MKP programů, využívaných v geotechnických analýzách, implementaci umožňuje. Problémem je pouze to, že různé programy pro ni využívají různé formy. Model naprogramovaný pro jeden MKP program tedy není možno využít přímo v jiném programu, je nutné programovat „interface“ mezi různými standardy. Soubor konstitučních modelů, implementovaných jako uživatelské subrutiny, je zdarma dostupný na webové adrese www.soilmodels.info (Gudehus et al., 2008). Hypoplastický model pro jíly je v současnosti dostupný pro programy PLAXIS a ABAQUS. Protože program PLAXIS je dnes patrně nejpoužívanějším MKP programem v naší i evropské geotechnické praxi, budeme se podrobněji věnovat popisu využití hypoplastického modelu právě v tomto programu.

Uživatelské konstituční modely jsou do programu PLAXIS včleněny pomocí funkce `User_Mod`, programované v jazyku Fortran. Implementace je následně zkompileována do podoby dynamické knihovny `usrmod.dll`. Aspekty programování se uživatel nemusí zabývat, na uvedené webové adrese lze zdarma stáhnout přímo zkompileovanou knihovnu `usrmod.dll`. Dále je třeba učinit následující kroky:

1. Zkopírovat soubor `usrmod.dll` přímo do hlavního adresáře programu PLAXIS. Typicky se jedná o adresář `c:\Program Files\Plaxis8x` (či `Plaxis9x` pro verzi 9), ale program může být i v jiném adresáři, pokud byl cílový adresář změněn při instalaci programu.
2. V okně definujícím materiálové modely zvolíme ve volbě „General“ pod záložkou „Material model“ možnost „User-defined model“ (viz obr. 1a). Ve volbě „Parameters“ pak zvolíme `usrmod.dll` jako knihovnu, kterou budeme využívat při výpočtech, a zvolíme číslo modelu „ID 2“ (model číslo 1 odpovídá hypoplastickému modelu pro hrubozrnné materiály dle von Wolffersdorffa, 1996; viz obr. 1b).
3. Dále následuje zadání materiálových parametrů. V tomto okně zadáme parametry modelu, jejichž stanovení jsme popsali v „Části 1“, a dále musíme zadat informace, sloužící k inicializaci stavových proměnných. Pořadí parametrů je následující:
 - Parametr 1: Úhel vnitřního tření v kritickém stavu φ_c .
 - Parametr 2: Změna středního napětí v důsledku soudržnosti. Tato hodnota je pro základní hypoplastický model rovna 0.



- Parametry 3–6: Parametry základního hypoplastického modelu λ^* , κ^* , N a r .
 - Parametry 7–9: Nejsou využívány.
 - Parametry 10–14: Parametry koncepce intergranulárních přetvoření v pořadí m_R , m_T , R , β_f a χ . V případě, že je zadáno $m_R = 0$, je využita základní verze hypoplastického modelu bez koncepce intergranulárních přetvoření.
 - Parametr 15: Objemový modul vody pro nedrénovanou analýzu K_w . Tuto možnost využijeme pouze pokud provádíme pokročilou analýzu s uživatelem definovanou hodnotou K_w . V případě drénované analýzy, konsolidační analýzy a nedrénované analýzy s PLAXIS volbou „undrained“ jako „Material type“ zadáme hodnotu parametru 15 rovnou 0.
 - Parametr 16: Počáteční číslo pórovitosti nebo stupeň překonsolidace. Pokud zadáme Parametr 16 < 10, je využit pro inicializaci čísla pórovitosti. Pokud zadáme jeho hodnotu větší než 10, je využit k inicializaci stupně překonsolidace OCR, který je pak počítán jako OCR = (Parametr 16) – 10.
 - Parametry 17–22: Počáteční hodnoty tenzorů intergranulárních přetvoření. Pro většinu aplikací zadáváme hodnotu 0.
4. Dále postupujeme standardním způsobem použití programu PLAXIS. Pokud nás zajímá průběh čísla pórovitosti pro postprocessing, je uložen jako stavová proměnná číslo 7. Seznam ostatních stavových proměnných a dalších veličin pro postprocessing je uveden na www.soilmodels.info.

Tab. 1 a 2 uvádějí parametry hypoplastického modelu pro různé zeminy spolu s literaturou, kde je možno nalézt detaily kalibrace.

Návrh tunelů železničního koridoru Brno–Přerov (SUDOP Praha, a. s.)

V roce 2009 probíhají projektové práce na přípravné dokumentaci ke stavbě „Modernizace trati Brno–Přerov, 1. etapa Blažovice–Nezamyslice“ (středisko 203/SUDOP Praha, a. s.). Na tomto úseku je v této fázi projektu navrženo celkem 5 významnějších geotechnických staveb. Tři tunely,

Parameter	Name	Unit	ID 1	ID 2	ID 3
1	-	[-]	22,560		
2	-	[-]	0,000		
3	-	[-]	0,128		
4	-	[-]	0,010		
5	-	[-]	1,506		
6	-	[-]	0,450		
7	-	[-]	0,000		

Obr. 1a, 1b: Použití hypoplastického modelu pomocí uživatelské subrutiny v programu PLAXIS

Tabulka 1: Typické parametry základní verze hypoplastického modelu pro různé jemnozrné zeminy

Zemina	Reference	$\varphi_c [^\circ]$	λ^*	κ^*	N	r
Londýnský jíl	Mašín (2005)	22,6	0,11	0,016	1,375	0,4
Brněnský jíl	Svoboda a Mašín (2008)	19,9	0,128	0,01	1,506	0,45
Jíl Fujinomori	Mašín a Herle (2007)	34	0,045	0,011	0,887	1,3
Jíl Bothkennar	Mašín (2007)	35	0,119	0,006	1,344	0,07
Jíl Pisa	Mašín (2007)	21,9	0,14	0,008	1,56	0,3
Jíl Beaucaire	Mašín et al. (2006)	33	0,057	0,007	0,85	0,4
Kaolín	Trhlíková et al. (2009)	27,5	0,105	0,014	1,32	0,45
Londýnský jíl	Mašín (2009)	21,9	0,095	0,015	1,257	0,5
Kaolín	Hájek et al. (2009)	27,5	0,065	0,01	0,918	0,67
Jíl Trmice	Hájek et al. (2009)	18,7	0,091	0,01	1,09	0,18

Tabulka 2: Typické parametry koncepce intergranulárních přetvoření

Zemina	Reference	m_R	m_T	R	β_r	χ
Londýnský jíl (rekonst.)	Mašín (2005)	4,5	4,5	1e-4	0,2	6
Londýnský jíl (nat.)	Mašín (2009)	9	9	5e-5	0,1	1
Brněnský jíl (nat.)	Svoboda a Mašín (2008)	16,75	16,75	1e-4	0,2	0,8

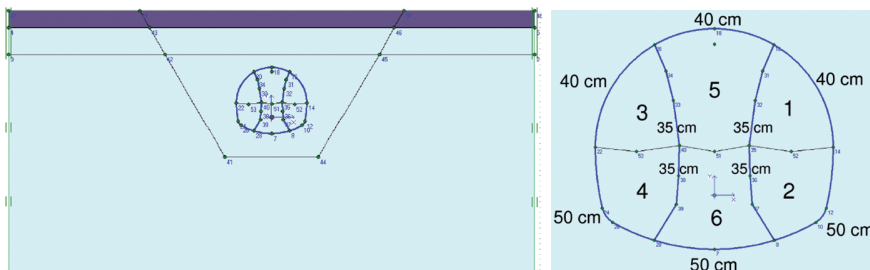
ražené metodou NRTM ve třídě 5b a 5c, kde se uvažuje jak vertikální, tak i horizontální členění výrubu. Dále hloubený tunel a zářez, pro jehož výstavbu je v projektu zvolena technologie podzemních stěn a postupného odtěžování zeminy uvnitř konstrukce s následnou betonáží železobetonového rozpěrného dna. Obdobnou konstrukcí je např. zářez v Třebovicích, v nedávné minulosti hodně diskutovaná stavba. Po vyhodnocení prvních vrtů inženýrsko-geologického průzkumu (ARCADIS-Geotechnika, a. s., a SUDOP Praha, a. s.) bylo rozhodnuto provést statické výpočty za pomoci hypoplastického konstitučního modelu.

V území mezi Brnem a Přerovem se vyskytují především terciární a kvartérní sedimenty jílovitoprachovitě až jílovitého charakteru s vápnitou příměsí (F8/CH,CV,CE). Pro popis jejich mechanického chování je hypoplastický model vhodným nástrojem. Trojosé, krabicové a oedometrické zkoušky na rekonstituovaných i neporušených vzorcích, potřebné pro určení základních vstupních parametrů hypoplastického modelu, v současné době provádí ARCADIS-Geotechnika, a. s. Laboratorní experimenty pro určení parametrů koncepce intergranulárních přetvoření a určení poklesu smykové tuhosti zeminy v závislosti na přetvoření jsou prováděny v laboratoři mechaniky zemín PŘF UK. Výsledky zkoušek a kalibrace hypoplastického modelu jsou očekávány v nejbližší době (Ježek a Mašín, 2009). Numerický model pro první fázi projektové dokumentace, provedený ve spolupráci PŘF UK a SUDOP

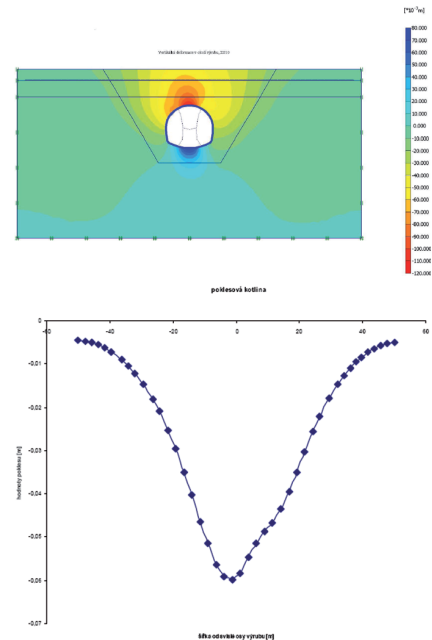
Praha, a. s., proto využil parametry hypoplastického modelu, získané pro brněnský jíl Svobodou et al. (2009). Pro finální podobu návrhu budou simulace provedeny znovu s nově kalibrovanými parametry.

Pro výpočet se využil MKP program PLAXIS ve 2D způsobem popsaným výše. K zohlednění 3D efektů se využila β -metoda s hodnotou faktoru $\beta = 0,5$. Tenká svrchní vrstva spraší (F6/CL,C1) byla popsána Mohr-Coulombovým modelem. Analýza ražených konstrukcí byla provedena jako nedrénovaná, vzhledem k malé propustnosti jílu, ale s využitím redukováné hodnoty objemového modulu vody K_w (postup popisuje Mašín, 2009). Otevřený zářez byl počítán s využitím konsolidační analýzy. Zkoušeny byly různé možnosti členění výrubu. Na základě modelu byla vybrána nejvhodnější varianta, přičemž posuzovanými faktory byly deformace povrchu, vnitřní síly v ostění, rychlost výstavby, cena. Nejvhodnější se zdá být členění výrubu na 6 částí, které je kombinací vertikálního a horizontálního členění bez uzavírání spodních kleneb v kapličkách a kalotě. Klenba je uzavřena až po odtěžení celé plochy výrubu. Výpočet byl rozdělen do 10 fází u výrubů, resp. 13 fází u zářezu. Vše je patrné z obr. 2.

Vypočtené hodnoty deformací (obr. 3) odpovídají očekávání projektanta i dřívějším zkušenostem s chováním podobných konstrukcí, pro které jsou k dispozici hodnoty deformací, získané z monitoringu.



Obr. 2: Geometrie 2D modelu ražených tunelů na trati Brno–Přerov spolu s detailem členění výrubu a proměnnými hodnotami tlouštěk primárního ostění (Ježek a Mašín, 2009)



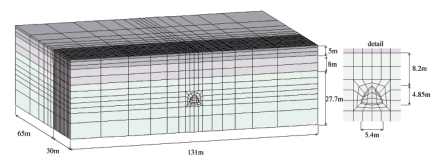
Obr. 3: Hodnoty svislých deformací v okolí výrubu a hodnoty deformací poklesové kotlinky (Ježek a Mašín, 2009)

Simulace Královopolských tunelů

Hypoplastický model je na PŘF UK využíván pro výzkumné účely pro simulaci Královopolských tunelů v rámci doktorské práce T. Svobody. Předpovědi byly porovnávány s výsledky získanými pomocí základního Mohr-Coulombova modelu. Ten byl kalibrován výhradně pro účely této práce a prezentované předpovědi nemají souvislost s analýzami prováděnými projektanty tunelů, kteří využívali pokročilejší verze Mohr-Coulombova modelu, jež částečně odstraňují jeho základní nedostatky. Detaily provedených simulací uvádějí Svoboda et al. (2008, 2009) a Svoboda a Mašín (2008, 2009).

Hypoplastický a Mohr-Coulombov model byly kalibrovány na základě laboratorních zkoušek na brněnském jílu. Zkoušky odpovídají těm, jež byly popsány v „Části 1“. Realizovaly se i pokročilé laboratorní experimenty, studující chování v oboru velmi malých přetvoření, jež posloužily ke kalibraci parametrů koncepce intergranulárních přetvoření.

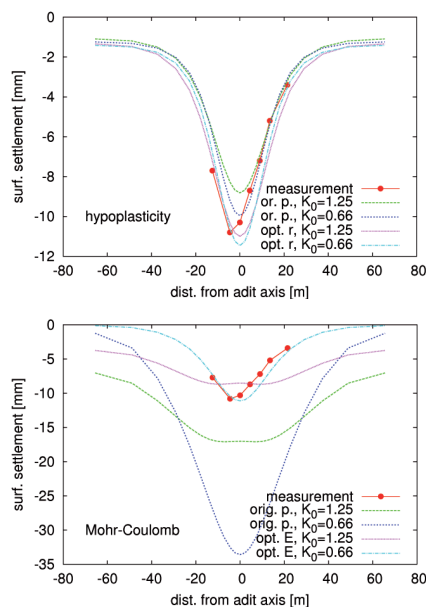
Postup analýz, pro něž se použil MKP program Tochnog Professional, byl následující. Nejprve byl vytvořen 3D model průzkumných štol (obr. 4). Paralelně byl vytvořen 2D model štol s využitím metody redukce uzlových sil podél tunelu před instalací samotného ostění (tzv. β -metoda) a β faktor



Obr. 4: Geometrie a MKP síť 3D modelu průzkumných štol tunelu Dobrovského (Svoboda a Mašín, 2009)

byl kalibrován tak, aby 2D a 3D modely předpověděly shodné výsledky. Ve výpočtech se uvažovaly dvě hodnoty součinitele zemního tlaku v klidu K_0 , a to proto, že jeho přesná hodnota in situ není známa. Následně se porovnály výsledky výpočtu s daty monitoringu a pomocí programu pro optimalizaci parametrů UCODE se na základě 2D analýz hledaly takové hodnoty parametrů, které poskytují výsledky shodné s hodnotami naměřenými monitoringem. Výsledky výpočtů ukazuje obr. 5, „orig. p.“ či „or. p.“ značí původní sadu parametrů, kalibrovanou na základě výsledků laboratorních zkoušek. Je zřejmé, že hypoplastický model poskytuje pro obě hodnoty K_0 výsledky, jež se blíží měřeným, již pro původní sadu parametrů. Ještě lepší shoda je získána po drobné modifikaci parametru r , jenž kontroluje smykovou tuhost zeminy („opt. r“ v obr. 5a). Na rozdíl od hypoplastického, Mohr-Coulombův model s původní sadou parametrů výrazně nadhodnocuje deformace (obr. 5b). V případě vysoké hodnoty K_0 dokonce nelze výpočet optimalizovat. Shody je dosaženo jen pro nízkou hodnotu K_0 , ale za využití nereálných hodnot parametru E . V další fázi výzkumu byly optimalizované sady parametrů využity k 2D a 3D simulacím celého tunelu. Poté, co proběhne ražba, budou výsledky výpočtů porovnány s měřeními.

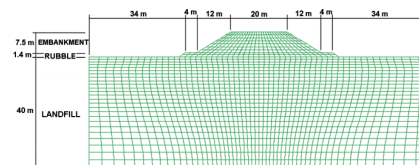
Simulace Královopolských tunelů ukazuje jednu z výhod hypoplastického modelu – na rozdíl od Mohr-Coulombova modelu je možné jej použít k přímé předpovědi chování geotechnické konstrukce s parametry kalibrovanými pouze na základě kvalitních laboratorních zkoušek.



Obr. 5: Předpovědi deformací povrchu způsobených ražbou průzkumné štoly pomocí hypoplastického (vlevo) a Mohr-Coulombova (vpravo) modelu (Svoboda a Mašín, 2009)

Simulace dálničních násypů na výsypkách hnědouhelných dolů

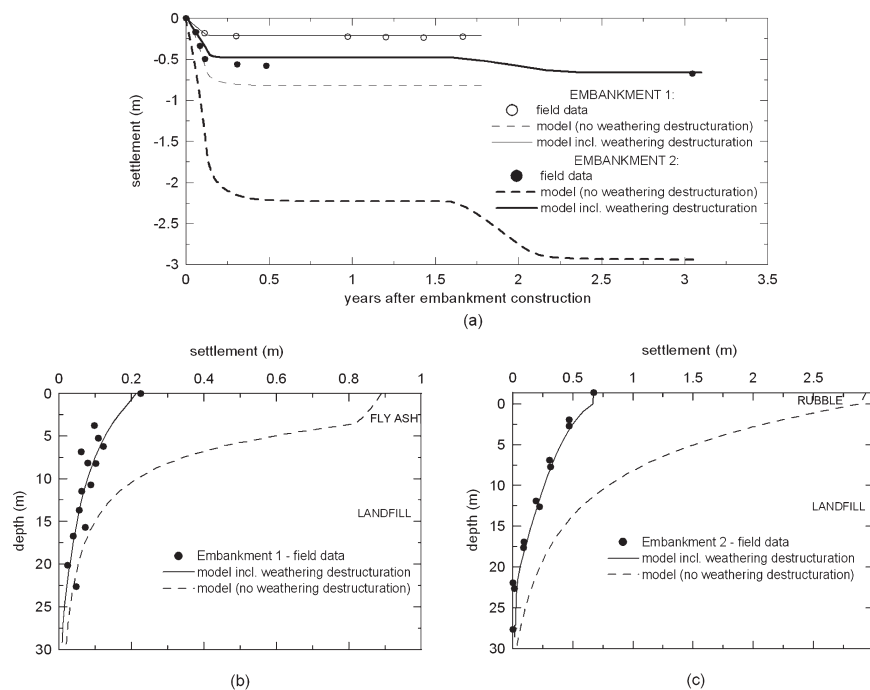
Hypoplastický model použil Najser (2009) k simulaci chování dvou zkušebních násypů, postavených a podrobně geotechnicky monitorovaných v rámci výstavby úseku dálnice D8 v okolí Ústí nad Labem. Výsypky jsou tvořeny až 0,5 m velkými „hroudami“ třetíhořných jílovců, které se vyskytují v nadloží uhelné sloje a které byly sypány na výsypku bez jakéhokoli hutnění. Při numerickém modelování bylo nutno zohlednit dvojitou pórovitost materiálu hrud sypaniny – přibývá intergranulární pórovitost mezi jednotlivými hroudami (mezepórovitost). K simulaci takového materiálu nelze použít hypoplastický model v jeho základní podobě, je třeba využít jeho modifikaci, zohledňující vlivy nestabilní struktury (Mašín, 2007). Detailní popis využití takto modifikovaného modelu je nad rámec tohoto příspěvku, zájemci jsou odkázáni na práci Najsera et al. (2009 a). Model byl pro účely tohoto projektu kalibrován pomocí laboratorních experimentů na materiálu hrud sypaniny (kalibrace základního modelu) a na základě běžných oedometrických zkoušek, při nichž se ale zkoušela „sypanina“ připravená v laboratoři z materiálu hrud tak, aby její křivka zrnitosti odpovídala křivce zrnitosti sypaniny in situ, redukované s ohledem na rozměry laboratorního vzorku. Přesnost předpovědi modelu pak byla posouzena na základě numerických simulací zmenšeného modelu dálničního násypu, provedeného na materiálu s redukovanou křivkou zrnitosti v geotechnické centrifuzě na ETH v Curychu (Najser et al., 2009 b). Výpočty byly opět provedeny softwarem *Tochnog Professional*.



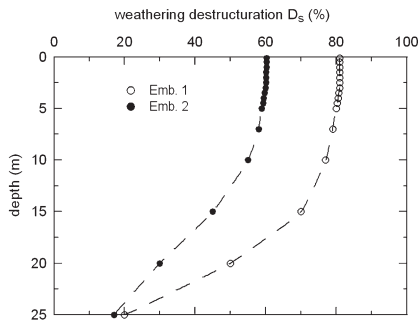
Obr. 6: Geometrie a MKP síť použitá k simulaci jednoho ze dvou zkušebních násypů (Najser et al., 2009 a)

Geometrie a MKP síť použitá k simulaci jednoho ze dvou zkušebních násypů (skutečný násyp v měřítku 1 : 1) je zobrazena na obr. 6. Od nasypání výsypky po konstrukci násypů uběhlo přes 20 let. Během této doby docházelo k degradaci hrud sypaniny, a tedy k degradaci intergranulární pórovitosti. První sada simulací byla provedena bez uvažování této degradace. Obr. 7 ukazuje (křivky pro „no weathering destructuration“), že model v tomto případě výrazně nadhodnocuje sedání násypu.

Pomocí upraveného modelu pak byl zpětnou analýzou zjištěn stupeň degradace intergranulární pórovitosti v důsledku zvětvávání během doby od nasypání výsypky do výstavby násypu. Obr. 7 ukazuje, že sedání je potom modelem velmi dobře reprodukováno. Průběh degradace intergranulární pórovitosti s hloubkou je znázorněn na obr. 8. $D_s = 100\%$ značí plnou degradaci (chování materiálu pak odpovídá chování jednotlivých hrud), $D_s = 0\%$ značí stav po nasypání. Úroveň degradace je pro oba násypy mírně odlišná vzhledem k lokálním vlivům (podrobnosti uvádí Najser, 2009). Z výpočtů je ale velmi dobře patrné, že degradace výsypky během 20 let je v úrovni svrchních cca 10 metrů výrazná a s hloubkou se výrazně nemění, ale ve



Obr. 7: Předpověď závislosti sedání násypu na čase (a) a konečného sednutí na hloubce (b, c) (Najser et al., 2009 a).



Obr. 8: Průběh degradace intergranulární pórovitosti s hloubkou, způsobené větrávacími procesy, probíhajícími v období mezi nasypáním výsypky a výstavbou náspu (Najser et al., 2009 a)

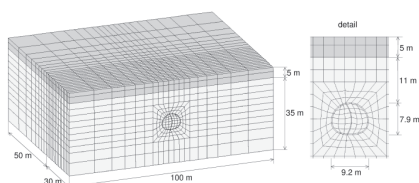
větší hloubce se snižuje. Hypoplastický model v tomto případě pomáhá pochopit zákonitosti mechanického chování výsypkového materiálu, jejichž znalost může být využita při projektování staveb v obdobném prostředí.

Simulace zkušební tunelu pro Heathrow expres

Hypoplastický model byl také využit k simulaci zkušební tunelu pro Heathrow expres v Londýně. Jedná se o NRTM tunel v londýnském jílu, jehož chování bylo detailně monitorováno. Dostupnost dat z monitoringu (Deane a Basset, 1995) a detailní znalost mechanického chování londýnského jílu činí ze zkušební tunelu pro Heathrow expres vhodný objekt pro studium různých konstitučních modelů.

Stejně jako v případě tunelů Dobrovského byl problém řešen ve 3D pomocí MKP programu Tochnog Professional. Detaily výpočtů udává Mašín (2009) a Mašín (2008). Geometrie a MKP síť jsou zobrazeny na obr. 9. Ve výpočtech se uvažovala změna tuhosti stříkaného betonu s časem a závislost hodnoty součinitele zemního tlaku v klidu K_0 na hloubce, tak jak ji měřili Hight et al. (2007). K_0 dosahovalo relativně vysokých hodnot, v hloubce tunelu bylo přibližně $K_0 = 1,5$.

Ve výpočtu se uvažovaly dva konstituční modely, kalibrované na základě shodných laboratorních dat: jednalo se o hypoplastický model pro jílu s koncepcí intergranulárního přetvoření a základní model Cam jílu (Roscoe a Burland, 1968). Oba modely jsou založeny na koncepci kritických stavů a uvažují pórovitost jako



Obr. 9: Geometrie a MKP síť 3D modelu zkušební tunelu pro Heathrow Express (Mašín, 2009)

stavovou proměnnou, model Cam jílu však pro překonsolidované zeminy neuvažuje nelinearit tuhosti.

Průběh vertikálních deformací předpovídaných oběma modely je z kvalitativního hlediska porovnán na obr. 10. Je zřejmé, že průběh deformací podle modelu Cam jílu (MCC) je zcela nerealistický. Kvůli vysoké hodnotě K_0 model předpovídá zdvih klínu zeminy nad osou tunelu. Oproti tomu hypoplastický model (hypo., istr.) předpovídá realistické rozložení deformací s maximálním sedáním nad osou tunelu.

Předpovědi jsou porovnány s výsledky monitoringu z kvantitativního hlediska na obr. 11. Obr. 11a představuje poklesovou kotlinu, obr. 11b pak průběh horizontálních deformací s hloubkou, jak byly měřeny pomocí inklinometrů. Je zřejmé, že v tomto případě i hypoplastický model nadhodnocuje šířku poklesové kotliny a vertikální deformace. Jeho předpovědi jsou ovšem o poznání blíže měřeným datům než předpovědi modelu Cam jílu.

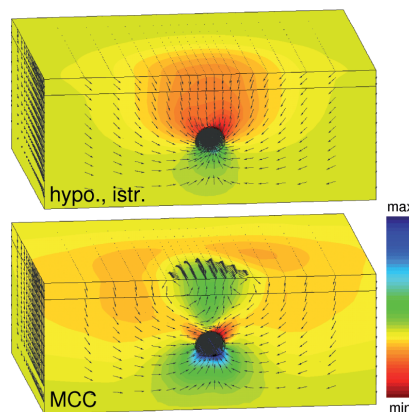
Závěr

Na čtyřech příkladech jsme ukázali použití hypoplastického modelu při řešení praktický úloh. I přes to, že model v principu nevyžaduje složitější kalibraci než nejpoužívanější Mohr-Coulombův model, vede k výrazně přesnějším výsledkům. Je zřejmé, že hypoplastický model pro jemnozrnné zeminy má v inženýrské praxi své opodstatnění. Je vhodnou alternativou k pracnému kalibrování a úpravám Mohr-Coulombova modelu s často nereálnými parametry, což je, bohužel, všeobecně rozšířený postup.

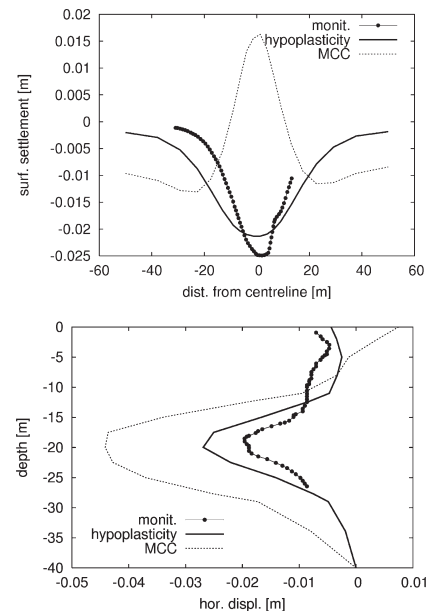
David Mašín¹, Jan Ježek², Jan Najser¹, Tomáš Svoboda¹ a Jan Boháč¹

¹ Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta;

² SUDOP Praha, a. s.



Obr. 10: Deformace způsobené rážbou zkušební tunelu pro Heathrow expres. Kvalitativní porovnání předpovědi hypoplastického modelu (hypo., istr.) a modelu cam jílu (MCC) (Mašín, 2009).



Obr. 11: Deformace způsobené rážbou zkušební tunelu pro Heathrow expres. Porovnání předpovědi poklesové kotliny (a) a horizontálních deformací (b) s monitoringem (Mašín, 2009).

Poděkování

Autoři děkují za finanční podporu grantům GAAV IAA201110802, GAČR 205/08/0732, GAČR 103/07/0678 a VZ MSM0021620855.

Literatura

<http://labmz1.natur.cuni.cz/~bhc/s/zakladani>

Clay massif numerical modelling Part 2: Application examples

The first part of this article published in the last issue of the *Zakládání* magazine summarizes the characteristics of a hypoplastic model for clays, its advantages compared to other elastic plastic models and the way parameters are calibrated: as a matter of fact, this type of calibration is in no way more difficult than the Mohr-Coulomb's model calibration. In its second part the article demonstrates its use for solving practical problems. The model can be used in combination with a line of the finite element method programmes. The article deals in more detail with its application in combination with the PLAXIS finite element method programme that requires no programming skills and its respective implementation can be downloaded for free on the www.soilmodels.info page. Four examples of a practical problem solution are presented in the article, showing the advantages of the hypoplastic model usage compared to less advanced constitutive relations.