

NUMERICKÝ MODEL PRO PARAMETRICKÉ STUDIE VOZOVEK LESNÍCH ODVOZNÍCH CEST

L. Ševelová, A. Kozumplíková

Došlo: 16. prosince 2009

Abstract

ŠEVELOVÁ, L., KOZUMPLÍKOVÁ, A.: *The numerical model for parametric studies of forest haul roads pavements*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2010, LVIII, No. 5, pp. 361–368

Forest roads pavement structures are considered to be low volume roads. These roads serve as a mean of transport of wood and people. Besides they are currently often used for recreational purpose. The construction of the pavements should be suitable for forest transportation irrespective of their low bearing capacity. These pavement structures are very specific for special unbound materials that are used in their construction. To meet the requirements of the pavement designs and simulation analysis the FEM model in the software ANSYS was created.

This paper compares two material models used for the description of the behaviour of unbound materials. The first is linear elastic according to Hook theory (H model) and the second one is nonlinear plastic model Drucker-Prager (D–P model). ANSYS software has been used to create flexible model based on the parameters of variable principle. The flexible model is parametric to realize repeated calculations useful for optimization analysis.

parametric study, optimization analysis, FEM, finite element method, finite element model of pavement, forest pavement roads, construction of pavement roads

Specifika lesních odvozních cest a jejich význam v lesním hospodářství a zpřístupňování krajiny kladou stále větší důraz na optimalizaci návrhu těchto multifunkčních komunikací. Vozovka, jako vícevrstvá konstrukce spolupůsobící s podloží, musí zajišťovat bezpečný a hospodárný provoz motorových vozidel po dobu požadované životnosti při dané intenzitě dopravního zatížení. Stávající klasické návrhové metody pro dimenzování účelových komunikací jsou založeny na znalosti kalifornského poměru únosnosti podloží, označovaného jako CBR (kalifornský index únosnosti podloží (EN 13286-47)), empirii a experimentu. Experimentální měření a zkoušky dodávají sice velmi důležité podklady a informace o vlivu zatížení a klimatických jevů na vozovky, ale jsou podmíněny realizací na skutečných modelech s vysokou finanční náročností. Přitom např. neumožňují analyzovat stav napjatosti konstrukčního systému vozovka – podloží, zachytit efekty přetížení únosnosti, predikovat chování nových materiálů apod.

Vhodným a progresivním nástrojem pro analýzu těchto problémů jsou parametrické studie a spolehlivostní analýzy (Florian, 2005), které umožňují

vyšetřovat vzájemné spolupůsobení jednotlivých částí systému vozovka – podloží, vyčíslit míru vlivu faktorů způsobujících proměnlivost jeho chování nebo zahrnout do výpočtu náhodnou proměnlivost vlastností vstupních charakteristik. Současná geotechnická praxe však nedisponuje vhodným numerickým modelem, který je nedílnou součástí těchto analýz, přestože návrhy konstrukcí jsou při využití numerických metod ekonomičtější (Ravaska, 2002; Gaba a kol., 2002) a poskytují reálnější představu o chování konstrukce.

Cílem probíhajících prací je vytvořit vhodný numerický model, jenž by byl schopen generovat data potřebná pro vlastní spolehlivostní analýzu chování konstrukce a pro následné statistické vyhodnocení. Hlavním kritériem je výběr adekvátního materiálového modelu zeminy podloží a nestmelených přírodních materiálů vozovky, který dostatečně výstižně zachycuje fyzikální jevy probíhající v tomto partikulárním nehomogenním prostředí. Do úvah o výběru materiálového modelu se promítá i náročnost a reálná možnost získávání reprezentativních vstupních materiálových charakteristik.

Numerické modely konstrukcí jsou v současné době v převážné míře založeny na metodě konečných prvků (MKP) vzhledem k její univerzalitě pro řešení různých fyzikálních jevů z mnoha vědních oborů. Příspěvek prezentuje dílčí výstupy srovnávací studie provedené v rámci ověření vytvořeného modelu. Je srovnán lineární materiálový model (Documentation for ANSYS 11.0) dle Hookovy teorie (dále H model) a nelineárně plastický Drucker-Pragerův model (dále D-P model). Dále je vyšetřen vliv tuhosti materiálu roznášecí podložky, která je modelována v místě působení soustředěného zatížení návrhovou nápravou.

POPIS KONSTRUKCE VOZOVEK LESNÍCH ODVOZNÍ CEST

Účel a kritéria lesních a polních cest jsou vymezeny normami ČSN 73 6108 a ČSN 73 6109. Mimo primárního využití těchto komunikací pro lesní provoz, zahrnující zpřístupnění lesních oblastí, dopravu osob, dřeva a jiných produktů, patří k dalším možnostem využití také účely rekreační a sportovní. Vozovky lesních odvozních cest, tj. zpevněné části cestní komunikace, klasifikujeme dle ČSN 73 6126 dle deformačních vlastností krytu jako vozovky netuhé. Dle dopravního vytížení daného počtem přejezdů návrhové nápravy N za návrhové období v závislosti na množství svážené hmoty spadají lesní a polní cesty do účelových a místních komunikací, které ustanovuje norma ČSN 73 6114. Návrh vlastní konstrukce vozovky se řídí kritérii dle platných technických podmínek TP 170 definující přípustnou plochu výskytu konstrukčních poruch na konci návrhového období jako návrhovou úroveň porušení.

Souvrství vozovky je tvořeno konstrukčními vrstvami se specifickými funkcemi, od nichž odvisí i volba materiálu. Do krytové (obrusné) vrstvy, dle výše zmíněné normy ČSN 73 6126, lze využít materiálů stmelovaných, např. penetrační makadam, cementovou stabilizaci, ale u méně exponovaných komunikací i materiálů nestmelovaných, např. mechanicky zpevněné kamenivo MZK, známé jako minerální beton nebo vibrovaný štěrk VŠ. Pro podkladní a ochrannou vrstvu je využíváno materiálů nestmelovaných, např. vibrovaný štěrk VŠ, štěrkodrt ŠD a štěrkopísek ŠP.

Podloží svojí únosností ovlivňuje přímo vlastní návrh konstrukce vozovky. Při nízké hodnotě CBR musí být vylepšeno mechanickým nebo chemickým způsobem, případně musí být provedena jeho výměna.

V předkládané úvodní studii je analyzován vzorový systém vozovka – podloží, tvořený dvěma konstrukčními vrstvami netuhé vozovky, mechanicky zlepšenou zeminou aktivní zóny a zeminou původního podloží. Do konstrukčních vrstev vozovky jsou vybrány materiály standardně používané na lesních odvozních cestách. Krytovou vrstvu tvoří MZK (mechanicky zpevněné kamenivo), ochrannou ŠD (štěrkodrt). V aktivní zóně je původní zemina mecha-

nicky vylepšena přidáním kameniva potřebných frakcí (mechanicky upravená zemina MZ). Rozměrové a materiálové parametry této vzorové skladby netuhé vozovky jsou stanoveny na základě platných norem ČSN 73 1001, ČSN 73 6114 a odborného odhadu.

NUMERICKÝ MODEL KONSTRUKCE

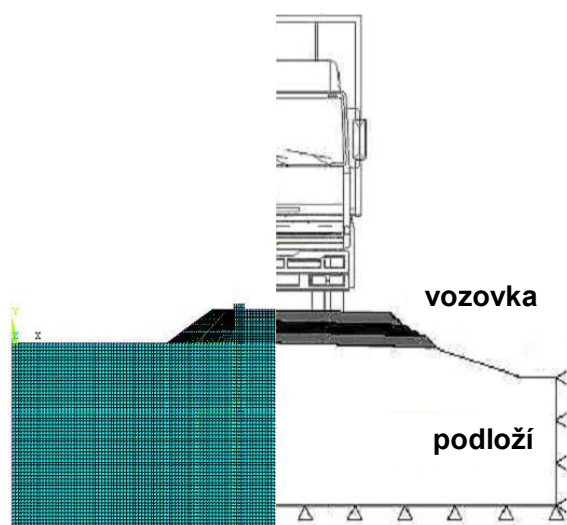
Pro tvorbu numerického modelu je použit software ANSYS v.11, který k řešení nejširšího spektra technických problémů používá metodu konečných prvků (MKP). Jde o program velmi univerzální, používaný pro modelování nejrozličnějších fyzikálních jevů od mechaniky deformovatelných těles až po biomechanické úlohy v lékařství. Jeho nespornou předností a výhodou je možnost komplexního řešení až do nejmenších detailů konstrukce. Současně disponuje optimalizačním a pravděpodobnostním modulem pro možnost spolehlivostních a parametrických studií. V těchto případech je ale nutné výpočtový model vytvořit jako parametrický a pomocí interního jazyka APDL připravit tzv. macro soubor, ve kterém jsou definovány jednotlivé kroky tvorby a řešení modelu od vstupních, geometrických a materiálových charakteristik až po nastavení výpočtu a výstupů pomocí vhodně volených parametrů (Florian, Pěničák, Ševelová; 2006). Tyto parametry umožňují snadno měnit rozměrové i materiálové uspořádání modelu vozovky nutné pro provádění parametrických studií a spolehlivostních výpočtů.

Pro definování modelu vozovky jsou použity následující tři skupiny vstupních parametrů:

1. parametry geometrické – 34 parametrů definujících geometrické a rozměrové uspořádání konstrukce vozovky a vrstev podloží pro simulování konsolidace a dále velikost prvků sítě,
2. parametry materiálové – 39 parametrů definujících moduly pružnosti E , deformační moduly $E_{def,i}$, Poissonovy součinitele μ_i , objemové hmotnosti γ_i jednotlivých konstrukčních vrstev a u nestmelovaných materiálů a u zeminy také úhel vnitřního tření ϕ_i , kohezi c_i a dilatantní úhel δ_i ,
3. okrajové podmínky – 3 parametry definujících podepření modelu, polohu a intenzitu zatížení konstrukce návrhovou nápravou (q_y). Poloha osy dvojkola nápravy je současně i reprezentativním řezem pro vyhodnocení a výstupy sledovaných veličin – normálových napětí vodorovných SX, svislých SY a hodnoty svislých posunů UY.

Vlastní numerický model (obr. 1) je vytvořen jako variabilní, rovinný 2D model, pokrytý sítí čtyřuzlových prvků PLANE 42 (Documentation for ANSYS 11.0), které mají v každém uzlu dva stupně volnosti, a to posuny UX a UY. Vazby mezi jednotlivými konstrukčními vrstvami jsou uvažovány jako pevné.

Výpočet je proveden dle teorie rovinné deformace a je geometricky lineární (Servít a kol; 1984). Materiálový model je uvažován ve dvou variantách jako lineárně-pružný (H model) a jako lineárně-plastický (D-P model).



1: Schéma geometrie numerického modelu 2D se sítí prvků PLANE 42
1: 2D model geometry of the pavement, PLANE 42 elements

Při modelování je využita geometrická symetrie konstrukce podle svislé osy vozovky a je modelována pouze polovina konstrukce s vhodně volenými okrajovými podmínkami na ose symetrie. Na vodorovném okraji je vazba bránící svislému posunu, na svislých okrajích je naopak bráněno posunům ve směru vodorovném. Při modelování zatížení se vychází ze standardní návrhové nápravy pro návrhovou úroveň porušení D2 dle TP 170. Z hodnoty zatížení dvojkola nápravy $F = 50 \text{ kN}$ je stanovena velikost dotykového tlaku hodnotou $p = 0,65 \text{ MPa}$, která působí rovnoměrně na ideální kruhové ploše o poloměru $r = 165,5 \text{ mm}$. Rychlost odvozních souprav je v rozmezí $30\text{--}50 \text{ km.h}^{-1}$.

Pro potřeby 2D modelu je uvažován statický účinek tohoto zatížení p a jeho hodnota je dále přepočítána na zatížení liniové o intenzitě q_y a rozložena do uzlů sítě. V místě jeho působení, kde vzniká extrémní lokální stav napjatosti, je modelována roznášecí podložka, kterou dle Saint-Venantova principu lokálnosti (Šmirák, 1995) zajistíme reálnější modelování přenosu zatížení do konstrukce. Stanovení materiálových charakteristik roznášecí podložky svými limitními hodnotami $E_{\min} = 1 \text{ GPa}$, $E_{\max} = 5 \text{ GPa}$ je provedeno na základě odborného odhadu

a podrobeno srovnávací studii. Smyslem studie je posoudit, jaký vliv má tuhost uměle vložené podložky na získané výsledky.

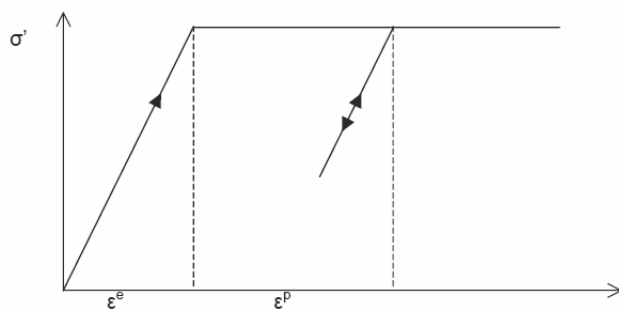
Aby bylo možné sledovat změny napjatosti v průběhu realizace konstrukce vozovky a uvažovat se zlepšením únosnosti podloží vlivem konsolidace od vlastní tíhy, je modelováno postupné přitěžování dílčími vrstvami podloží a vozovky v samostatných zatěžovacích krocích a výpočet je tak rozdělen do osmi dílčích přírůstků zatížení. Tímto postupným přitěžováním vnášíme do modelu konstrukce počáteční napjatost od vlastní tíhy, tzv. geostatické napětí σ_{or} .

Pro modelování chování nestmelených přírodních materiálů a zeminy podloží nabízí ANSYS jak lineárně-pružný (H model), tak lineárně-plastický (D-P model), přičemž dle současných trendů je první z nich pro popis složitého partikulárního prostředí zeminy nedostačující (Miča a kol., 2009).

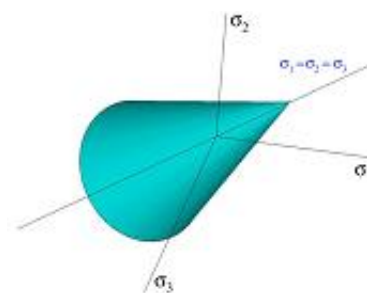
D-P model je popsán charakteristikami, kterými jsou (tak jako u obecněji známějšího modelu Mohr-Coulomb) koheze c , úhel vnitřního tření ϕ a dilatance, tzv. dilatantní úhel δ (obr. 2, 3). Tento model je s výhodou používán pro modelování reálného chování nestmelených materiálů a zemin až do jejich mezního stavu porušení, tzv. meze kluzu (těčení), kdy zemina přechází z lineárně-plastického do elasto-plastického stavu (Jachnický, 2004).

Výstižnost výstupů numerického modelu je závislá nejen na vytvořeném modelu geometrie konstrukce a zavedených zjednodušeních, ale zvláště na vstupních materiálových charakteristikách zjišťovaných při laboratorních zkouškách. Pro účely této studie jsou použity směrné normové hodnoty pevnostních charakteristik a modulů dle ČSN 73 1001.

Pro popis deformačního chování nestmelených přírodních materiálů a zeminy je definován deformační modul přetvárnosti E_{def} (MPa), jako základní geotechnická veličina pro návrhy plošných základů dle mezních stavů uplatňovaná při řešení stavu napjatosti pod plošnými základy v Bussinesquově pružném poloprostoru. Tento modul je stanoven přepočtem z oedometrického modulu E_{odc} (MPa) zjištěným z oedometrické laboratorní zkoušky za jednoosé napjatosti při klidovém tlaku. Modul E_{def} je závislý na rozsahu napětí v zemině. Mezi mo-



2: Mohr-Coulombův materiálový model
2: Mohr-Coulomb material model



3: Drucker-Pragerův model
3: Drucker-Prager material model

dulcem edometrickým E_{ed} a modulem přetvárnosti E_{def} platí následující závislost, kde ν je Poissonovo číslo.

$$E_{\text{ed}} = \frac{E_{\text{def}}}{\beta} \quad \beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu}$$

S ohledem na budoucí využití modelu jsou pro srovnávací studii vybrány zeminy jemnozrnné třídy F s limitními hodnotami deformačního modulu $E_{\text{def},\text{min}} = 1 \text{ MPa}$, $E_{\text{def},\text{max}} = 30 \text{ MPa}$.

VÝSLEDKY

V rámci ověření numerického modelu jsou provedeny dvě srovnávací studie. První studie se zabývá porovnáním materiálových modelů H a D-P používaných pro modelování chování nestmelených materiálů a podloží. Druhá sleduje vliv modelované roznášecí podložky a její tuhosti na získávané výsledky při přenosu zatížení do modelu konstrukce. Výstupními porovnávanými veličinami jsou hodnoty normálových napětí ve směru horizontálním SX a vertikálním SY a průhyby konstrukce UY. Tyto hodnoty jsou pro potřeby řešených analýz zjišťovány v ose dvojkola, tj. na svislé ose zatížení, a to ve středu každé konstrukční vrstvy a těsně nad, resp. těsně pod kontaktem dvou sousedních vrstev. V podloží jsou sledované veličiny zjišťovány ve čtyřech definovaných hloubkových úrovních.

Ověření materiálových modelů je provedeno na základě dvaceti studií pro různé hodnoty mo-

dulu přetvárnosti podloží E_{def} z intervalu $E_{\text{def},\text{min}} = 1 \text{ MPa}$, $E_{\text{def},\text{max}} = 30 \text{ MPa}$. Ilustrativní výsledky (obr. 4 až obr. 8) jsou pro tři reprezentativní hodnoty modulu přetvárnosti podloží $E_{\text{def}} = 9 \text{ MPa}$, $E_{\text{def}} = 1,3 \text{ MPa}$ a limitní $E_{\text{def}} = 1,2 \text{ MPa}$ na mezi únosnosti.

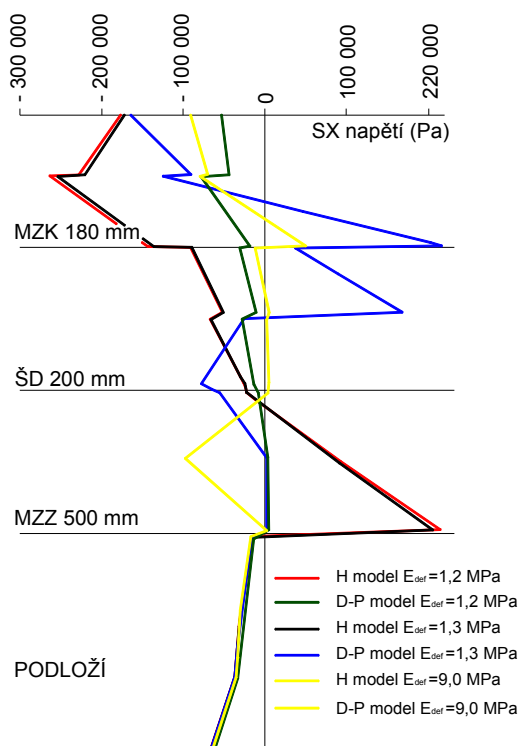
Na obr. 4 a 5 je vynesena průběh napětí horizontálního SX, resp. vertikálního SY pro H model a D-P model. Na rozdíl od znaménkové konvence používané v geotechnice jsou zde napětí v tlaku označována jako záporná a napětí v tahu jako kladná.

Na obr. 4 a 5 je možno sledovat chování H modelu a D-P modelu při snižování hodnoty modulu přetvárnosti E_{def} a také skokové změny napětí na kontaktu vrstev.

Pro napětí SX vykazují modely výraznější odlišnosti v charakteru chování v závislosti na hodnotě modulu přetvárnosti E_{def} . Extrémní tlakové napětí SX vzniká v obou modelech a pro všechny hodnoty modulů v místě zatížení kolem nápravy.

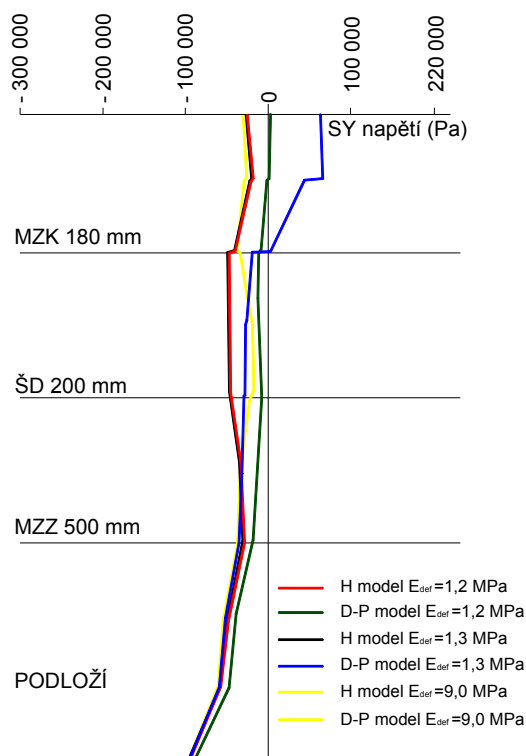
Pro vyšší hodnoty modulu přetvárnosti E_{def} nad 9 MPa pak tato tlaková hodnota SX v obou modelech přechází do hodnot tahových na kontaktu první a druhé konstrukční vrstvy. Na obr. 4. lze tento charakteristický průběh sledovat pro H model i D-P model průběhem SX pro $E_{\text{def}} = 9 \text{ MPa}$.

S dalším poklesem hodnoty modulu E_{def} reprezentovaným průběhem SX pro $E_{\text{def}} = 1,3 \text{ MPa}$ na obr. 4., dochází k výrazným změnám průběhu napětí SX mezi oběma modely. V H modelu vznikají v první konstrukční vrstvě tlaková napětí a ke změně na tahová napětí dochází až na kontaktu třetí konstrukční vrstvy a podloží. V D-P mo-



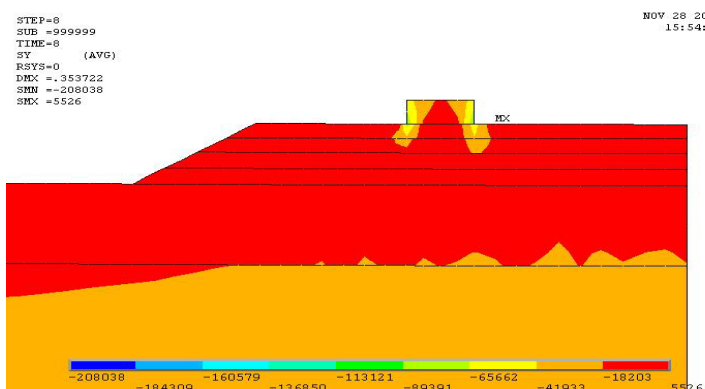
4: Průběh napětí SX po tloušťce vozovky

4: Distribution of horizontal SX stress in the pavement



5: Průběh napětí SY po tloušťce vozovky

5: Distribution of vertical SY stress in the pavement



6: Grafické vyjádření vertikálních napětí SY na mezi porušení v programu ANSYS
6: Distribution of vertical SY stress on the failure limit

delu prudce klesá tlaková hodnota SX v horní konstrukční vrstvě a přechází do kladných tahových hodnot na kontaktu první a druhé vrstvy.

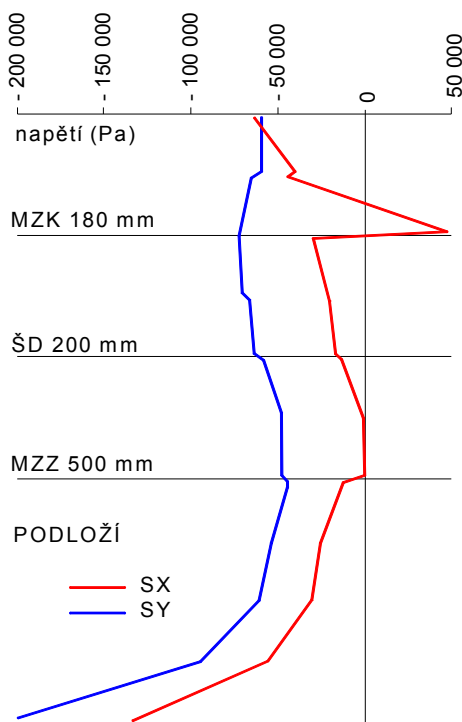
Při hodnotě modulu přetvárnosti podloží $E_{\text{def,min}} = 1,2 \text{ MPa}$ na mezi únosnosti podloží H model nevykazuje změnu v charakteru chování napětí a přes klesající hodnotu modulu přetvárnosti E_{def} napětí SX v tlaku rostou. Naopak v D-P modelu výpočet nekonverguje, jak dokumentuje obr. 4.

Oba modely vykazují poměrně shodný charakter chování napětí SY pro vyšší hodnoty modulu přetvárnosti E_{def} nad 9 MPa. Napětí SY v H modelu dosahují na celém testovaném intervalu modulu přetvárnosti jen tlakových hodnot. V D-P modelu vy-

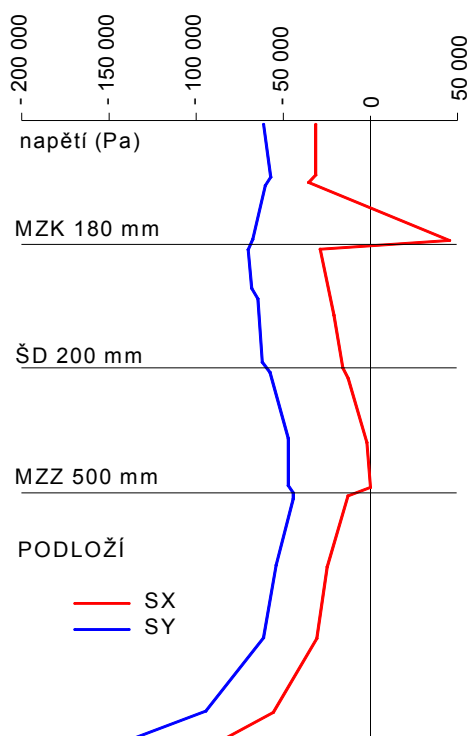
kazuje SY s poklesem modulu E_{def} odlišný charakter v horních konstrukčních vrstvách a napětí tlaková přechází do tahových hodnot.

Při hodnotě modulu přetvárnosti podloží $E_{\text{def}} = 1,2 \text{ MPa}$ výpočet v D-P modelu nekonverguje (obr. 6), v H modelu nelze zaznamenat žádnou změnu stavu a výpočet nevykazuje překročení únosnosti materiálu.

Výsledky druhé studie (viz obr. 7 a 8) ukazují vliv modelované roznášecí podložky a její tuhosti na stav napjatosti v horních vrstvách konstrukce. Je porovnávána podložka o tuhosti $E_{\text{min}} = 1 \text{ GPa}$ a $E_{\text{max}} = 5 \text{ GPa}$. Průběhy napětí dokumentují významný pokles hodnot vodorovných napětí SX v krytové



7: Průběhy napětí SX a SY s roznášecí podložkou o tuhosti $E_{\text{min}} = 1 \text{ GPa}$
7: Distribution of SX and SY stresses, spread footing stiffness $E = 1 \text{ GPa}$



8: Průběhy napětí SX a SY s roznášecí podložkou o tuhosti $E_{\text{max}} = 5 \text{ GPa}$
8: Distribution of SX and SY stresses, spread footing stiffness $E = 5 \text{ GPa}$

vrstvě vozovky při zvyšování tuhosti podložky E. Při použití podložky o tuhosti $E_{\max}$ dochází k 50% poklesu hodnot těchto napětí. Srovnáním stavů napjatosti pro $E_{\min}$ a $E_{\max}$, byla pro vlastní studii použita

podložka o tuhosti $E_{\min} = 1$ GPa, kterou dosáhneme přiměřené snížení koncentrace napětí v místě působení osamělého břemene.

SOUHRN

Předkládaná práce se věnuje přípravě numerického modelu konstrukce vozovky nízkokapacitních cest. Zabývá se problematikou, kde se prolínají zájmy geotechniky a silničního stavitelství. Oba tyto obory využívají náročné experimenty a empirické návrhové metody, které však neumožňují dostatečně popsat stav napjatosti v konstrukci, predikovat chování nových materiálů apod. Vhodným a progresivním nástrojem pro analýzu těchto problémů jsou parametrické studie a spolehlivostní analýzy. Nedílnou součástí těchto analýz je vhodný numerický model na bázi konečných prvků. Hlavním kritériem je výběr adekvátního materiálového modelu zeminy podloží a nestmelených přírodních materiálů vozovky. Příspěvek prezentuje dílčí výstupy srovnávací studie provedené v rámci ověření vytvořeného modelu. Je srovnán lineární materiálový model dle Hookovy teorie (H model) a nelineárně plastický Drucker-Pragerův model (D–P model). Dále je vyšetřen vliv tuhosti materiálu roznášecí podložky, která je modelována v místě působení soustředěného zatížení návrhovou nápravou.

Vyhodnocení je provedeno porovnáním hodnot normálových napětí ve směru horizontálním SX a vertikálním SY v ose dvojkola, kde v obou modelech vzniká extrémní tlakové napětí SX. V H modelu toto napětí přechází do tahových hodnot na kontaktu třetí konstrukční vrstvy a podloží, v D–P modelu na kontaktu první a druhé vrstvy. S klesající hodnotou modulu přetvárnosti podloží E_{def} k mezi únosnosti podloží H model nevykazuje změnu a napětí SX rostou. Naopak v D–P modelu pro $E_{\text{def}} = 1,2$ MPa výpočet nekonverguje.

Napětí SY v H modelu dosahují na celém testovaném intervalu modulu přetvárnosti E_{def} jen tlakových hodnot, v D–P modelu přechází napětí SY v horních konstrukčních vrstvách s poklesem modulu E_{def} do tahových hodnot. Při hodnotě modulu přetvárnosti podloží $E_{\text{def}} = 1,2$ MPa výpočet v D–P modelu nekonverguje, v H modelu nelze zaznamenat žádnou změnu stavu a výpočet nevykazuje překročení únosnosti materiálu.

Vlivem zvyšování tuhosti modelované roznášecí podložky dochází ke snížení koncentrace hodnot vodorovných napětí SX v krytové vrstvě vozovky. Přiměřeného poklesu napětí SX v místě působení osamělého břemene je dosaženo použitím podložky o tuhosti $E_{\min} = 1$ GPa.

parametrická studie, numerický model, metoda konečných prvků, MKP, spolehlivostní analýza, citlivostní analýza, lesní cesty, konstrukce vozovky

SUMMARY

This paper deals with the preparation of the numerical model of pavements construction of low volume roads based on FEM. The paper compares two material models used for the description of the behaviour of unbound materials. The first is linear elastic according to Hook theory (H model) and the second one is nonlinear plastic model Drucker-Prager (D–P model). Thereinafter is examined the influence of stiffness of the spread footing material which is modelled in a site of action of concentrated design axle load.

The evaluation is done by comparing values of normal stress in horizontal direction SX and vertical SY in axis of wheelset. In both models rises an extreme compressive stress SX. In the H model passes this stress in tensile values at the contact of third structure layer and subgrade; in the D–P model at the contact of first and second structure layer. When the value of deformation modulus of subgrade E_{def} declines to the subgrade ultimate strength H model does not change in the character of stress behavior and stresses SX increase. On the contrary in the D–P model if $E_{\text{def}} = 1.2$ MPa then calculation does not converge.

The stresses SY in H model reach around the tested interval of deformation modulus E_{def} pressure values only. In the D–P model stresses SY pass the upper design structure levels with decrease of modulus E_{def} in tensile values. If the value of deformation modulus of subgrade $E_{\text{def}} = 1.2$ MPa then the calculation in the D–P model does not converge. In the H model can not be recorded any change of the status and the calculation does not record the excess of bearing capacity of material.

Due to the spread footing modelling the decrease of values concentration of horizontal stress SX occurs in a cover layer of the road pavement.

Poděkování

Příspěvek vznikl s pomocí výzkumného záměru MSM 0021630511 "Progresivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životnost konstrukcí" na Fakultě stavební VUT v Brně.

LITERATURA

- FLORIAN, A., 2005: Optimization of parametric studies using Updated Latin Hypercube Sampling. *ICOSSAR '05 International Conference On Structural Safety And Reliability*. June 19–22, Rome, Italy, pp. 2319–2323, ISBN 90–5966–040–4.
- RAVASKA, O., 2002: A sheet pile wall design according to Eurocode 7 and Plaxis. In: *P. Mestat (ed), Numerical methods in geotechnical engineering*, pp. 649–654. Paris: Presses de l'ENPC/LCPC.
- GABA, A. R., SIMPSON, B., POWRIE, W., BEADMAN, D. R., 2002: Embedded retaining walls: guidance for economic design, RP 629. London: Geotechnical Engineering, 156 (1), pp. 13–15. ISSN: 1353–2618.
- Release 11.0 Documentation for ANSYS: Guide to the ANSYS Documentation [online]. c2007 [cit. 2009-06-14]. Dostupné z [www: <http://www.kxcad.net/ansys/index.htm>](http://www.kxcad.net/ansys/index.htm).
- FLORIAN, A., PĚNČÍK, J., ŠEVELOVÁ, L., 2006: Využití výpočetních metod při simulaci experimentálních zkoušek konstrukcí po sanaci poškozených částí. *Stavební obzor*, 2006, 9, str. 268–274, ISSN 1210–4027.
- SERVÍT, R., DRAHOŇOVSKÝ, Z., ŠEJNOHA, J., KUFNER, V. 1984: Teorie pružnosti a plasticity II, STNL/ALFA Praha, 424 s.
- ŠMIŘÁK, S. 1995: Pružnost a plasticita I, PC-DIR spol. s r. o., Brno, 1995.
- MIČA, L., RAČANSKÝ, V., KLIŠ, L., MASOPUST, J., 2009: Constitutive Models for Modelling of flexible Retaining Wall. In: *Proceedings of XII. International scientific conference*, Brno University of Technology, ISBN 978–80-7204–629-4.
- JACHNICKÝ, P., 2004: Stabilita svahu. [on-line] citováno 12. 2. 2008. Dostupné na: http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/02_Konstrukce%20a%20pozemni%20stavby/2_06_Geotechnika/Jachnický_Petr.pdf.
- ČSN EN 13286–47 *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 47: Zkušební metoda pro stanovení kalifornského poměru únosnosti, okamžitého indexu únosnosti a lineárního bobtnání*. Český normalizační institut, 2005.
- ČSN 73 1001 *Zakládání staveb. Základová půda pod plošnými základy*. Český normalizační institut, 1988.
- ČSN 73 6108 *Lesní dopravní síť*. Český normalizační institut, 1996.
- ČSN 73 6109 *Projektování polních cest*, Český normalizační institut, 2004.
- ČSN 73 6126 *Stavba vozovek – Nestmelené vrstvy – Část 1: Provádění a kontrola shody*. Český normalizační institut, 2006.
- ČSN 73 6114 *Vozovky pozemních komunikací. Základní ustanovení pro navrhování*. Český normalizační institut, 1995.
- TP 170 *Navrhování vozovek pozemních komunikací*. Ministerstvo dopravy ČR, 2004.

Adresa

Ing. Lenka Ševelová, Ing. Alice Kozumplíková, Ústav tvorby a ochrany krajiny, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: lenka.sevelova@mendelu.cz, alice.kozumplikova@mendelu.cz

