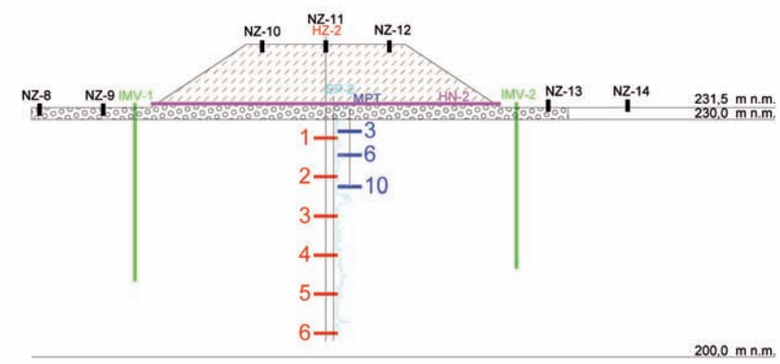
Založení násypů dálnice D8 na málo únosném podloží v prostoru plaviště Úžín

Autor ve svém článku představuje monitorovací systém při stavbě násypu dálnice D8 v km 83.780–84.100 vedeného přes málo únosné podloží v prostoru plaviště Úžín. Podrobněji se zabývá se zabývá predikcí chování tělesa dálničního násypu pomocí numerických modelů s využitím dat získaných při realizaci a měření pokusného násypu na téže lokalitě. Hodnoty předpovězené numerickým modelem průběžně aktualizovaným podle skutečného postupu prací jsou srovnány s výsledky měření monitorovacího systému.

Část trasy dálnice D8 v úseku mezi obcemi Trmice a Knínice u Ústí nad Labem přechází přes vnitřní výsypku lomu Antonín Zápotocký, jejíž mocnost dosahuje až 30 m. V části prostoru jsou výsypkové zeminy překryty vrstvou popílku, který byl do prostoru dopravován hydraulicky. V podloží se nacházejí jíly a jílovce uhelné serie Podkrušnohorské pánve.

Nepříznivé vlastnosti výsypek a relativně obtížná definovatelnost jejich pevnostních a deformačních parametrů vedly k tomu, že v místě dálničního tělesa byly nejprve realizovány dva pokusné zatěžovací násypy. Výsledky měření pokusných násypů byly zapracovány do projektové dokumentace dálničního násypu a byly sestaveny numerické modely kalibrované výsledky měření, které predikovaly vývoj deformací při vlastní realizaci dálničního násypu. Zároveň byl definován rozsah monitorovacího systému pro výstavbu dálničního násypu a stanoveny limity varovných stavů pro jednotlivé prvky monitorovacího systému pro zajištění bezpečné výstavby.



Obr. 1 – Schema instrumentace násypu (NZ – nivelační značky, HZ – hloubkové značky, IMV – inklinometrické orty, HN – hydrostatická nivelace, MPT – měřidlo pórového tlaku)

POKUSNÉ NÁSYPY

První zkušební násyp s výškou 6 m byl realizován ve staničení km 83.880 úseku dálnice v roce 1998. V podloží tohoto násypu vrstva plavených popílků mocnosti cca 2 m překrývá výsypkové zeminy. Druhý pokusný násyp ve staničení km 84.020 s výškou 8 m byl realizován v roce 2001. Podloží obou zkušebních násypu bylo sanováno v prvním případě stavební sutí v tloušťce 0,45 m, v druhém případě vrstvou lomového kamene 1–1,5 m. V okolí pokusných násypů se hladina podzemní vody nacházela 1,7–2,2 m pod povrchem území. V roce 2002 došlo vlivem neustálého vzestupu hladiny vody v odkališti k zatopení nejtěsnějšího okolí zkušebních násypů.

Zkušební násypy byly instrumentovány monitorovacím systémem s cílem zjištění míry přetváření podloží a určení doby konsoli-

Tabulka 1 – Souhrn výsledků měření pokusných násypů

Násyp	Výška [m]	Max. sedání [cm]	Max. přírůstek pór. tlaku [kPa]	Doba rozptýlení	Hloubka deformační zóny [m]	Max. vodorovné def. [cm]
km 83.880	6	31	56	1,5 měsíce	20	–
km 84.020	8	67	118	2 měsíce	25	3.8

Tabulka 2 – Parametry Cam-clay vrstev výsypky

Parametry Cam-clay	M	λ	κ	ν (Poisson)	OCR	Γ
svrchní vrstva výsypky 0–6 m	0.8	0.125	0.04	0.4	1	4
spodní vrstva výsypky 6–26 m		0.04	0.01			

dace násypů. Oba byly osazeny měřidly pórového tlaku v různých úrovních podloží až do hloubky 10 m, hydrostatickou nivelací v úrovni základové spáry pro sledování vývoje sedání, magnetickými hloubkovými značkami do hloubky 30 m pro zjištění rozsahu deformační zóny od přitížení a referenčními nivelačními body na povrchu území a násypu ke geodetickému sledování.

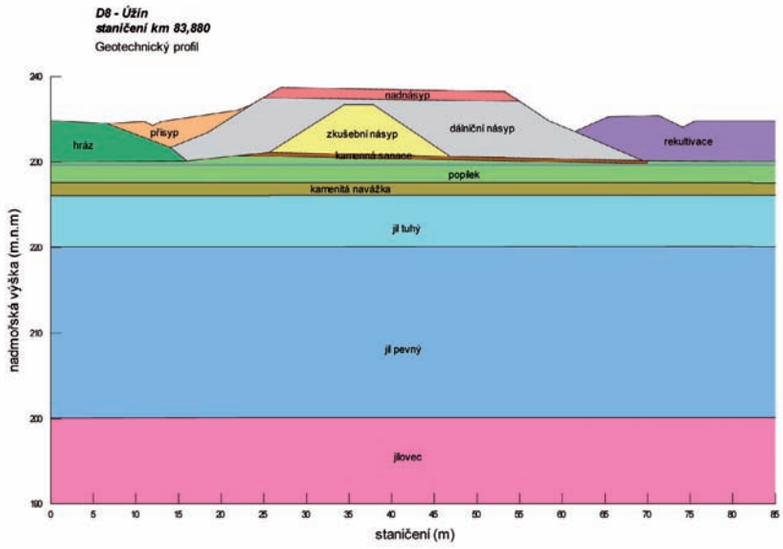
V tabulce 1 jsou souhrnně uvedeny výsledky měření zkušebních násypů. Z výsledků sedání hloubkových značek byly definovány oedometrické moduly zemin v podloží. Ze srovnání s výsledky laboratorních zkoušek vyplývá, že oedometrické moduly stanovené ze změřených deformací násypu jsou až o 50 % vyšší než moduly stanovené v laboratoři na neporušených vzorcích zemin. Oedometrické moduly výsypkových zemin se pohybují v rozmezí 4–6 MPa.

NÁSYP DÁLNICE D8

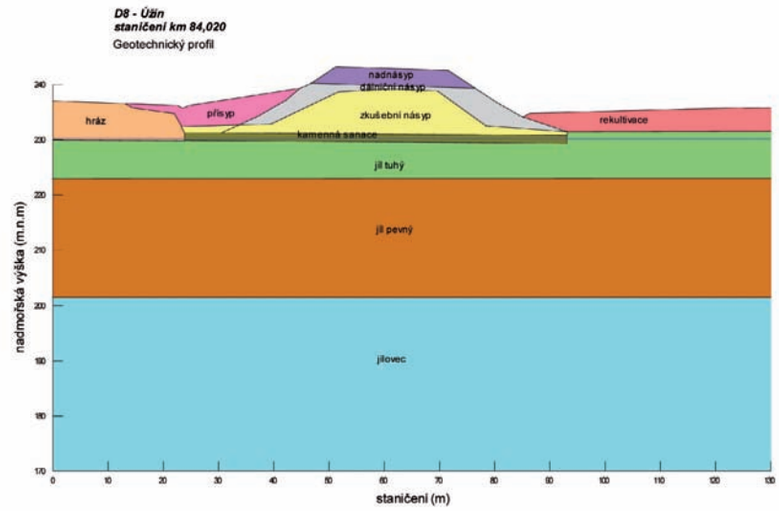
Před zahájením výstavby dálničního násypu byly pokusné násypy rozebrány. Vlastní násyp dálnice je ve výše zmiňovaných profilech km 83.880 a km 84.020 zhruba o 1 m vyšší než pokusné násypy a půdorysně rozsáhlejší. V přípravné fázi bylo uvažováno se zřízením nadvýšení násypu pro urychlení konsolidace, které nakonec nebylo realizováno.

V počátečním numerickém modelu, sestaveného pro predikci chování tělesa násypu a který byl využit při definici varovných stavů, byl použit zjednodušený elasto-plastický konstituční vztah definovaný Mohr-Coulombovou obálkou smykové pevnosti. Ve většině případů jsou k dispozici z geologického průzkumu pouze informace, ze kterých lze určit parametry tohoto konstitučního vztahu.

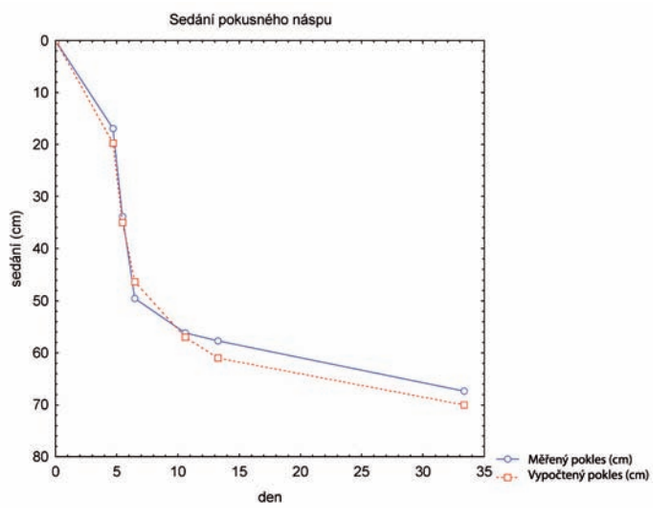
Výsledky výpočtů definovaly sedání v obou profilech 28–30 cm a maximální přírůstky pórového tlaku 119–154 kPa. Na základě tohoto výpočtu byly definovány limity varovných stavů pro jednotlivé měřené veličiny prvků monitorovacího systému (sedání, rychlost sedání, vodorovná deformace, rychlost vodorovné deformace, přírůstek pórového tlaku). Monitorovací systém násypu zahrnoval stejné metody sledování jako pokusné násypy, tj. měření pórového tlaku, měření sedání hydrostatickou nivelací, hloubkové magnetické značky a inklinometrické vrty na bocích násypu pro sledování vodorovných deformací. Opatřením při překročení 1. limitu pro varovný stav bylo zahuštění měření. Při překročení limitu 2. varovného stavu bylo nutné na základě výpočtu stanovit provozní opatření ke snížení rizik (přerušení výstavby, zpomalení výstavby násypu, příp. stavebně technické řešení jako zatěžovací lavice, přesun hmot, dodatečné odvodnění). Během výstav-



Obr. 2 – Geotechnický profil v km 83.880



Obr. 3 – Geotechnický profil v km 84.020

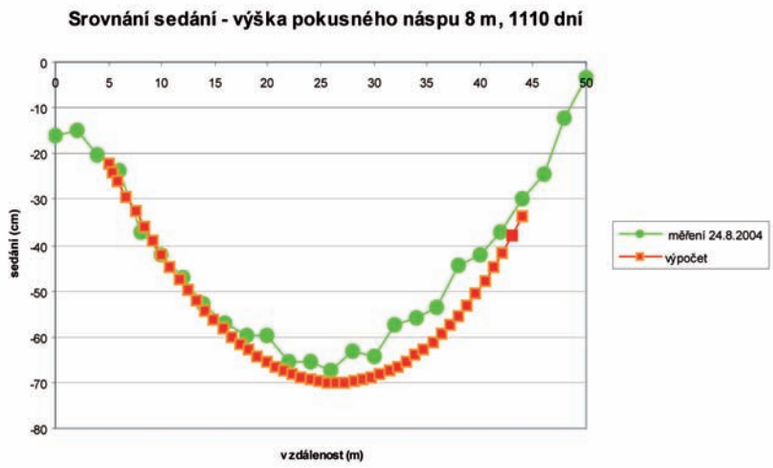


Obr. 4 – Srovnání měřeného a vypočteného (Cam-clay) sedání zkušebního násypu

by násypu v uvedeném úseku k překročení varovného stavu, který by vyžadoval provozní opatření nedošlo.

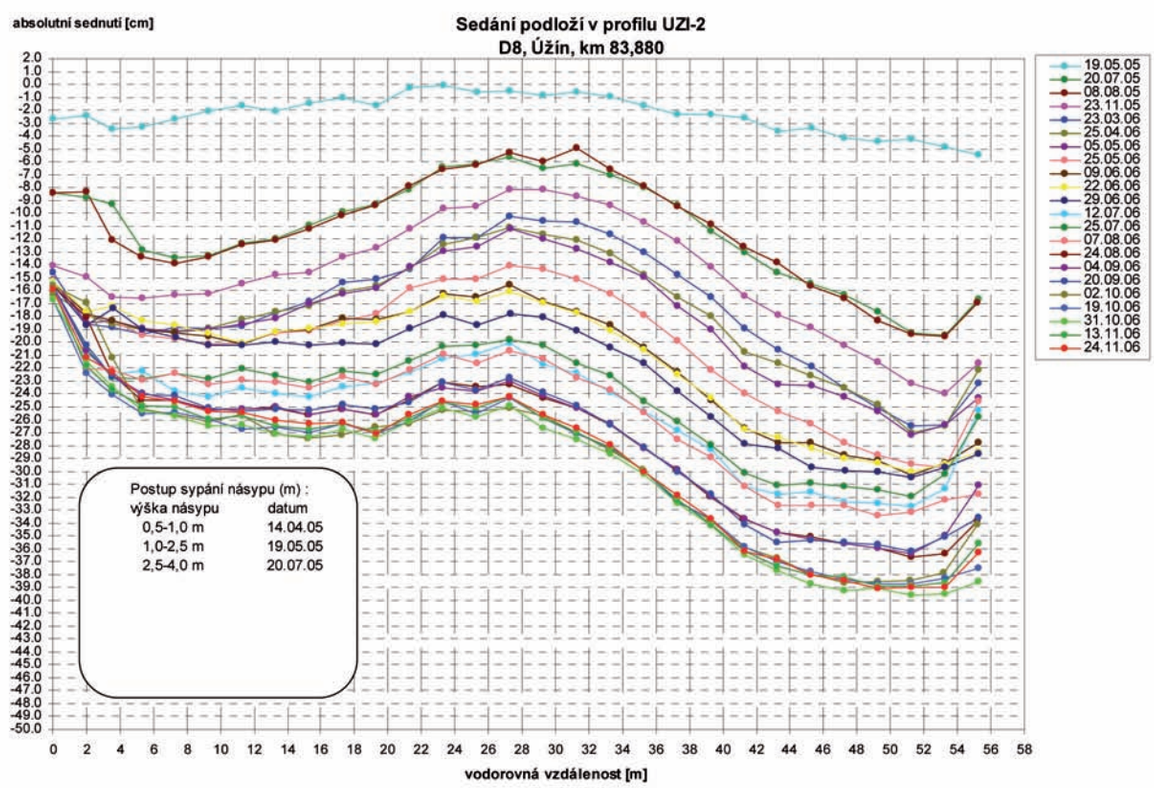
Kalibrace numerického modelu výsledky pokusných násypů

Při výstavbě násypu dálnice a průběžném sledování deformací bylo evidentní, že v počátečních fázích výstavby měřený tvar poklesové kotliny pod násypem neodpovídá výpočtu. Maxima sedání byla zaznamenávána na okrajích násypu. Uprostřed násypu, kde bylo podloží předkonsolidováno pokusným násypem, který byl poté rozebrán, byly deformace nižší. Mohr-Coulombův model nezohledňuje při výpočtu historii zatížení (předtížení pokusným násypem) a vypočtená poklesová kotlina má klasický tvar s maximem uprostřed. Ve finálních fázích výstavby se tato disproporce snížila, nicméně přesto byl numerický model již v počátečních fázích upraven tak, aby lépe odpovídal skutečnému chování násypu. Elasto-plastický model výsypkových zemin byl nahrazem modelem Cam-clay. Parametry modelu Cam-clay byly odhadnuty na základě měření pokusných násypů (obr. 2 a 3)

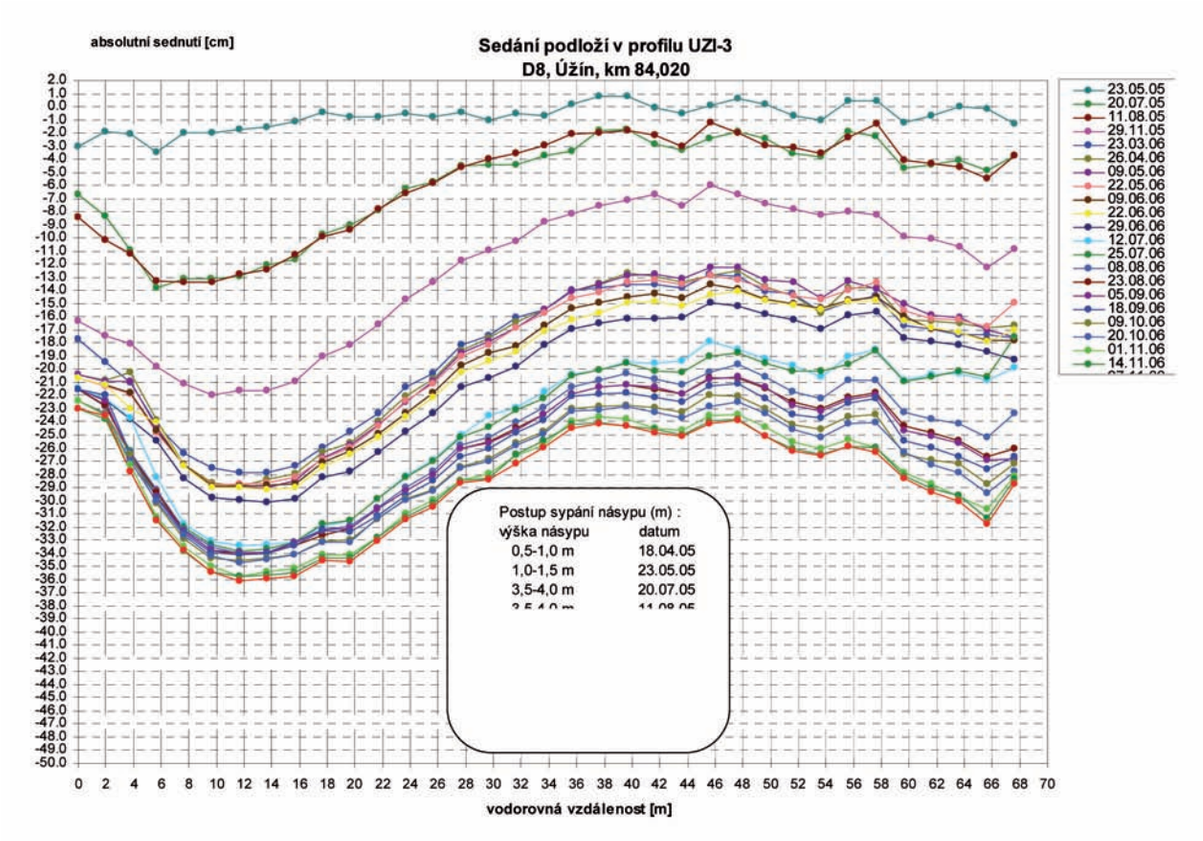


Obr. 5 – Srovnání měřené a vypočtené (Cam-clay) poklesové kotliny pod zkušebním násypem

Parametr M představuje směrnici čáry kritických stavů a lze jej vypočítat z kritického úhlu vnitřního tření. V tomto případě odpovídá parametr přibližně ϕ_c = 200. Parametry λ, κ je možné definovat ze zkoušky izotropního přitížení a odlehčení. Parametr Γ je specifický objem při p' = 1 (p' = 1/3{σ_1 + 2 σ_3}). Parametr OCR je stupeň překonsolidace, kterou nelze u recentní výsypky očekávat, proto byl stanoven roven 1.



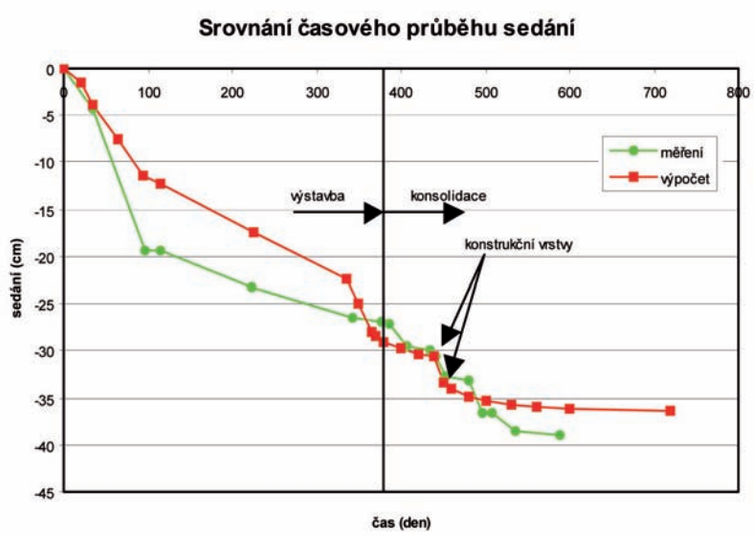
Obr. 6 – Měření sedání hydrostatickou nivelací v profilu km 83.880



Obr. 7 – Měření sedání hydrostatickou nivelací v profilu km 84.020

Numerický model dálničního násypu

Parametry Cam-clay odvozené na základě měření zkušebního násypu byly použity v rozšířeném numerickém modelu, který zahrnoval výstavbu, dobu trvání a likvidaci zkušebního násypu a výstavbu dálničního násypu. V průběhu výstavby byly v numerickém modelu upravovány již jen výpočetní kroky tak, aby časově odpovídaly skutečně provedeným pracím na stavbě.



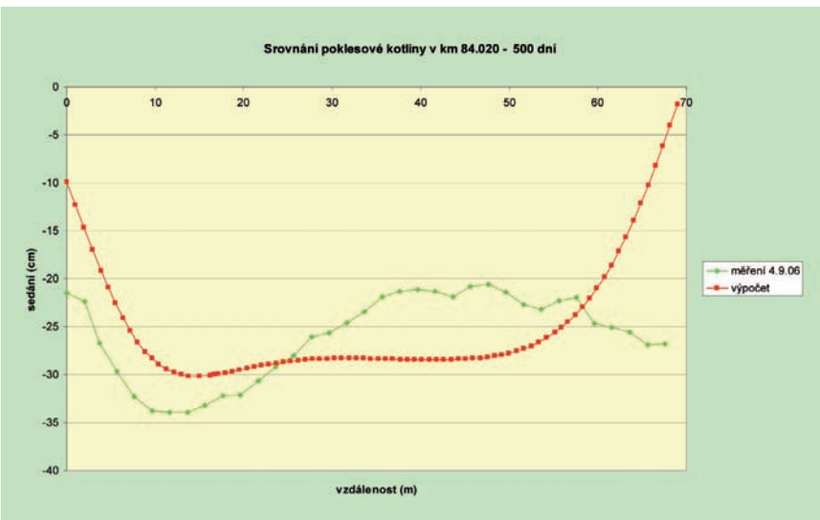
Obr. 8 – Srovnání měřeného a vypočteného (Cam-clay) průběhu sedání dálničního násypu

Numerický model s použitým konstitučním vztahem Cam-clay pro vrstvy výsypkových jílů velmi dobře modeluje časový průběh sedání. Tvar poklesové kotliny zohledňuje předchozí přitížení násypem a shoda s měřenými hodnotami je vyšší než v případě Mohr-Coulombova modelu. Maximální konečná hodnota sedání byla pro Cam-clay model opravena na hodnotu cca 35 cm.

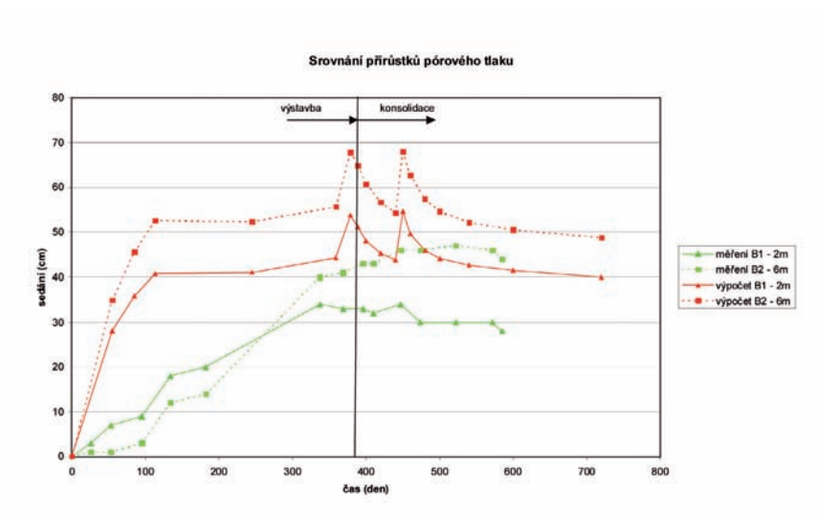
ZÁVĚR

Pomocí numerických modelů využívajících model Cam-clay, bylo možné poměrně výstižně předvídat chování dálničního násypu, určit dobu jeho konsolidace, posoudit nutnost konsolidačního nadnásypu a v konečném důsledku urychlit kladení konstrukčních vrstev a uvedení do provozu. Přestože v praxi většinou převažuje nedostatek informací z inženýrsko-geologických průzkumů pro spolehlivé stanovení parametrů pokročilejších modelů (Cam-clay, modifikovaný Cam-clay, hypoplastické modely) a ve výpočtech převažuje jednoduchý Mohr-Coulombův model, je vhodné i v případech neznalosti vstupních parametrů použít, třeba i jako alternativu k Mohr-Coulombovu modelu, pokročilejší model a jeho parametry odhadnout, příp. stanovit ze

Obr. 9 – Srovnání měřené a vypočtené (Cam-clay) poklesové kotliny pod dálničním násypem v km 83.880



Obr. 10 – Srovnání měřené a vypočtené (Cam-clay) poklesové kotliny pod dálničním násypem v km 84.020



Obr. 11 – Srovnání měřených a vypočtených (Cam-clay) přírůstků pórového tlaku pod násypem

zkušeností, zvláště pak v prostředí jílovitých výsypek v uhelných pánvích. V ideálním případě by s podobnou problematikou počítal již projekt IG průzkumu, protože zkoušky ze kterých lze stanovit parametry Cam-clay nebo hypoplastických modelů jsou ve standardních sortimentech laboratoří (izotropní stlačitelnost, triaxiální zkouška), bohužel nejsou standardním předmětem IG průzkumů, ať už z jakýchkoliv důvodů.

Petr Kučera,
Stavební geologie – Geotechnika, a. s.

LITERATURA:

[1] Pokusný zatěžovací násyp u Úžína – závěrečná zpráva, J. Škopek, 12/2001
[2] Zprávy o geotechnickém monitoringu zkušebního zatěžovacího násypu – AZ Consult, spol. s r. o. 1998–2001
[3] Zprávy o geotechnickém monitoringu zkušebního zatěžovacího násypu – Stavební geologie – Geotechnika, a. s. 2001–2004
[4] D8 – koordinační projekt monitoringu – Stavební geologie – Geotechnika, a. s. 2003

A part of the highway D8 route in the section between the municipalities of Trmice and Knínice by Ústí nad Labem passes through the inside dump of the query Antonín Zápotocký, its thickness reaching up to 30 m. In part of the area there are dump soils covered with a layer of fly ash which was hydraulically transported to the place. In the subgrade there are clays and claystones of the coal series of the Podkrušnohorská basin. Unfavourable characteristics of the dump and relatively difficult defining of their strength and deformation parameters have led to the fact that in the place of highway object the two trial load embankments were implemented at first. The results of measuring the trial embankments were incorporated into the project documentation of the highway embankment and numerical models have been elaborated, calibrated measuring results which predicted deformation development during the implementation itself of the highway embankment. Also the extent of monitoring system was defined for the highway embankment construction and the limits were determined for alarm states for individual elements of the monitoring system in order to ensure safe construction.