

MODELOVÁNÍ JÍLOVITÝCH VÝSYPEK

Jan Najser

Abstrakt

Od 40. let minulého století probíhá v severních Čechách rozsáhlá povrchová těžba hnědého uhlí. Odtěžený nadložní jíl se ukládá na výsyvky ve formě hrud o průměru do 500 mm. Průměrná výška výsypek dosahuje 20 až 50 m. Charakteristickou vlastností výsypek je jejich dvojitá pórovitost, která je dána vnitřní pórovitostí jílových hrud (intragranulární pórovitost) a mezerovitostí (intergranulární pórovitost). Celková pórovitost čerstvé výsyvky může dosáhnout až 70%. Vysoká a nerovnoměrná stlačitelnost výsypek komplikuje jejich budoucí využití pro zakládání staveb. Dalším problematickým faktorem je změna struktury výsypek v čase, při které dochází k jejich homogenizaci a přeměně původně sypkého materiálu na zeminu s mechanickým chováním odpovídajícím jílu. V důsledku těchto faktorů jsou mechanické vlastnosti starých výsypek obtížně předpověditelné.

Cílem práce je popis mechanického chování výsypek a změn jejich vnitřní struktury na základě analýzy terénních měření, fyzikálního modelování v geotechnické centrifuze a numerického modelování.

V souvislosti se stavbou dálnice D8 byly v letech 1998 a 2001 v plánované trase dálnice vybudovány dva pokusné násypy. Násypy, postavené na 20-30 let staré vodou nasycené výsypce, byly monitorovány po dobu 3 a 6 let. Podloží násypů bylo instrumentováno profily hydrostatické nivelace, hloubkovými referenčními značkami pro měření vertikálních posunů a měřidly pórového tlaku. Výsledky monitoringu ukázaly rychlou disipaci pórových tlaků po zatížení násypem. Část naměřeného sednutí byla způsobena také poklesem hladiny podzemní vody během měření a creepem. Srovnání jednotlivých profilů hydrostatické nivelace prokázalo značně nerovnoměrné sedání výsypek.

Modelování v minicentrifuze a oedometrické zkoušky na materiálu modelu demonstrovaly základní mechanické chování zemin s dvojitou pórovitostí: při nízkých vertikálních napětích převažuje nevratná deformace způsobená přeskupováním jílových hrud, zatímco při vyšších vertikálních napětích se výrazněji projevuje elastická složka deformace a sklon čáry odlehčení je podobný jako u rekonstituované zeminy. Posouzení dvou odlišných metod sypání výsypek ukázalo, že sypáním jílových hrud do vody vzniká výsypka z větší prvotní mezerovitostí a tedy vyšší stlačitelností. Z hlediska pozdějšího využití výsypek se nejvhodnější metodou sypání výsypek ukázalo sypání jílových hrud „na sucho“, následované rychlým přirozeným nasycením.

Modelování pokusného násypu v geotechnické centrifuze probíhalo při 150 g. Byly provedeny dvě zkoušky s různými technikami konstrukce násypu. Výsledky modelování potvrdily, že hydraulická vodivost výrazně klesá v závislosti na míře degradace struktury výsypek. Při konsolidaci modelu výsypek v centrifuze bylo zaznamenáno výrazné sednutí na začátku konsolidace, způsobené uzavíráním mezer mezi hroudami a rychlou disipací pórových tlaků. Po uzavření většiny mezer je propustnost výsypek závislá na nízké propustnosti materiálu hrud a disipace a sedání výsypek je výrazně pomalejší.

Výrazné počáteční sednutí v důsledku uzavírání mezer v horní části modelu výsypek bylo pozorováno i po přetížení násypem. V porovnání s výsledky polního měření bylo u modelu v centrifuze naměřeno vyšší sednutí v horních 10 metrech výsypek. Rozdíl je pravděpodobně způsoben nižší intergranulární pórovitostí horní vrstvy výsypek *in situ* v důsledku degradace původní struktury vlivem zvětrávání.

Pro numerické modelování pokusných násypů byl zvolen hypoplastický model pro jíly s metastabilní strukturou. Základní hypoplastický model byl kalibrován na základě trojosých zkoušek (izotropní stlačitelnosti a smykových) na rekonstituovaném jílu. Parametry charakterizující dvojitou pórovitost a rychlost její degradace byly kalibrovány na základě oedometrických zkoušek na granulovaném jílu (výsypkový materiál se zmenšenými rozměry jílových hrud). Kvalita předpovědi modelu byla ověřena numerickou simulací konsolidace výsypek v centrifuze a vzájemným porovnáním výsledků numerického modelu a konsolidace modelu v centrifuze. Hypoplastický model se použil pro simulaci obou pokusných násypů a výsledky byly porovnány s výsledky monitoringu.

Numerický model poskytl výrazně větší sednutí než monitoring. Podobně jako při modelování v centrifuze byl rozdíl vysvětlen zvětráváním vrchní části výsypek v terénu. Degradace struktury výsypek v důsledku zvětrávání byla zohledněna v numerickém modelu snížením čísla pórovitosti výsypek, senzitivity a parametru κ^* v závislosti na hloubce. Zpětná analýza degradace struktury výsypek ukázala, že změna struktury se výrazně projevuje v horních 10 metrech, a že vliv zvětrávání výsypek v terénu postupně klesá s hloubkou.