



## STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI POPÍLKOVÉHO STABILIZÁTU V KONSTRUKCI ŽELEZNIČNÍHO SPODKU

Zpracoval: Ing. Vít Lojda (Fakulta stavební VUT v Praze)

### Souhrn

Vrstva popílkového stabilizátu chrání zemní plán před úniky srážkové vody, ochraňuje ji před jejím promrzáním a zvyšuje únosnost zemního plánu reprezentovanou modulem pevnosti. Aplikace vrstvy popílkového stabilizátu je oproti konvenčním konstrukcím vrstev obvykle na bázi štěrku významně subtilnější a umožňuje spotřebu vedlejších energetických produktů tepelných elektráren. Popílkový stabilizát byl položen ve zkušební úseku jako sanace, kde bylo pražcové podloží tvořené z problematického jílovitého vápence, tj. slínovce. Vzorky z vrstvy popílkového stabilizátu byly odebrány metodou jádrového vrtání. Následně byly na zkušebních tlesech v rámci zkoušky cyklickým zatížením v prostém tlaku experimentálně stanoveny modul pružnosti a mechanické napětí, při kterém se materiál přestává deformovat lineárně.

### Oblast použití

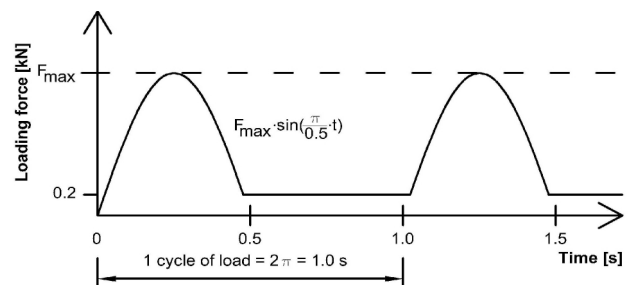
V roce 2000 byla Katedrou železničních staveb Fakulty stavební VUT v Praze zahájen výzkum využití elektrárenského popílku z elektrárny Chvaletice v konstrukci pražcového podloží. V rámci výzkumu byl v dubnu roku 2005 zřízen v ŽST Smíchov zkušební úsek, na němž byla použita vrstva popílkového stabilizátu ze snadno roztrhávajících hornin (slínovec) za účelem ochrany zemního plánu před prosakováním vody a nepříznivými úniky zmrazovacích cyklů materiálu zemního plánu. V letech 2005 až 2011 byla v rámci monitoringu zkušební úseku sledována únosnost konstrukce pražcového podloží. Za účelem provádění sady laboratorních zkoušek, zejména stanovení pevnosti v prostém tlaku, byla z konstrukce metodou jádrového vrtání odebrána zkušební tlesa z popílkového stabilizátu. Takový odběr zkušebních tles je komplikován uložením vrstvy popílkového stabilizátu v hloubce cca 700 až 900 mm pod povrchem kolejového lože. Z praktických důvodů lze získat pouze omezený počet zkušebních tles. Zkušební tlesa odebraná v letech 2005 až 2011 vykazovala postupně se zvyšující průměrné hodnoty pevnosti v prostém tlaku. Po obnovení monitoringu

zkušební úseku v rámci projektu CESTI v roce 2014 byla mírně upravena metodika sledování zkušební úseku. Úprava metodiky spočívala v rozšíření o vložený měřicí profil určený k odběru zkušebních tles z popílkového stabilizátu. Více zkušebních tles umožnilo sledování dalších materiálových charakteristik popílkového stabilizátu, a to sledování:

- modulu pružnosti,
- rozsahu mechanického napětí, ve kterém se materiál deformuje lineárně.

### Metodika a postup řešení

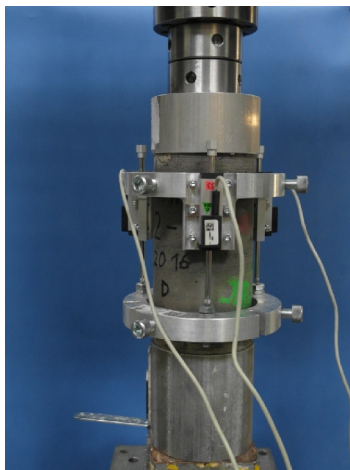
Zkušební tlesa z popílkového stabilizátu byla získána metodou jádrového vrtání, při kterém vznikly válce o délce obvykle 150 mm (tloušťka vrstvy) a o průměru 100 mm. Podrobný popis odběru vzorku je popsán [1]. Odběr, příprava vzorku a přípravky pro provádění laboratorních zkoušek v prostém tlaku probíhaly podle technických norem SN EN 13286-41 [2] a SN EN 13286-43 [3]. Frekvence při dynamickém zatížení a tvar průběhu zatížení byly odvozeny z AASHTO T307 [4] a jsou znázorněny v Obr. 1.



Obr. 1 Sekvence cyklického zatížení při experimentálním stanovení modulu pružnosti popílkového stabilizátu.

Podle předchozích studií bylo odhadnuto maximální zatížení 15 kN (2 MPa), ve kterém byl předpokládán lineární průběh deformace. Zatížení nastalo v 5-ti zatížovacích stupních, po čemž následovalo zatížením 3 kN zvyšovaném v každém stupni o 3 kN. Zatížovací stupně byly tedy 3, 6, 9, 12 a 15 kN, kdy v každém stupni proběhlo 100 zatížovacích cyklů. Stlačení vzorku bylo měřeno ve vertikálním směru podél

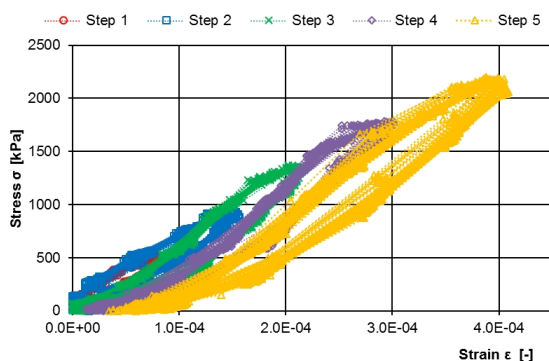
zkušebního tělesa pomocí tří LVDT snímačů posunu Ahlborn typu FWA025T (viz Obr. 2).



Obr. 2 Zkušební těleso osazené kovovými prstenci dle [3] s montáží pro snímání svislého posunu.

## Výsledky

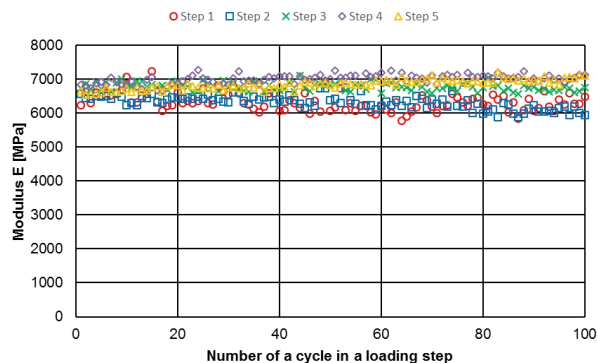
Při nejvyšším zatížení, tj. 15 kN, došlo k průměrnému stlačení tělesa 0,065 mm. Normálové napětí zkušebního tělesa bylo vypočítáno z jeho geometrie a zatížení. Relativní deformace tělesa byla vypočítána z průměrných hodnot stlačení a z povodní výšky. Hodnoty napětí a relativní deformace byly vyneseny v jednotlivých zatíženích stupňů za účelem zobrazení hysterese (Obr. 3). Při zatížení 3 a 6 kN (Stupeň 1 a 2) hysterese má tvar téměř přímé, je stabilní, a proto lze usoudit na elastické chování tělesa. Při zatížení 9, 12 a 15 kN se hysterese stává konvexní, což je charakteristické pro nelineární deformaci. V oblasti zatížení 9 kN navíc nastala trvalá deformace, která narostla se zvyšujícím se zatížením. Z dat v Obr. 3 vyplývá, že mez kluzu popílkového stabilizátu je přibližně 1000 kPa.



Obr. 3 Hysterezní křivky cyklického zatížení pro jednotlivé zatížení stupně o zatížení 3, 6, 9, 12 a 15 kN.

Seřazený modul pružnosti byl vypočítán pro každý zatížení stupeň z posledního cyklu příslušného zatížení stupně (Obr. 4). Výsledný modul pružnosti v prvních dvou zatíženích stupních se

pohybuje v rozmezí 6000 až 6500 MPa a u zbylých tří zatíženích stupňů se blíží 7000 MPa.



Obr. 4 Vývoj modulu pružnosti při cyklickém zatížení při zatíženích stupňů o zatížení 3, 6, 9, 12 a 15 kN.

## Závěr

Materiály se chovají nelineárně, pokud při zatížení překročí mez kluzu, a v této nelineární oblasti vykazují trvalou deformaci, která se zvyšuje se zvyšujícím se zatížením. Hodnota napětí, při které měřené zkušební těleso z popílkového stabilizátu přestalo vykazovat lineární deformaci, byla přibližně 1000 kPa. Modul pružnosti se pohybuje mezi 6000 až 6500 MPa pro zatížení v elastické oblasti a blíží se 7000 MPa pro zatížení v nelineární oblasti. Z výsledku vyplývá, že při evzaté maximální zatížení popílkového stabilizátu 15 kN je vyšší než mez kluzu, což je vhodné pro studium jeho chování za tímto bodem a je doporučeno pokračovat ve zvyšování zatížení až do porušení vzorku, aby byla stanovena mez pevnosti při cyklickém zatížení.

## Literatura

- [1] M. Lidmila and V. Lojda, "Fly Ash-Based Stabilizer Sampling in Railway Track Bed and Determination of Young's Modulus," J. Polish Miner. Eng. Soc., vol. 16, no. 2, pp. 11–16, 2015.
- [2] SN EN 13286-41, Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 41: Test method for determination of the compressive strength of hydraulically bound mixtures. Prague: Czech Office for Standards, Methodology and Testing, 2004.
- [3] SN EN 13286-43, Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 43: Test method for determination of the modulus of elasticity of hydraulically bound mixtures. Prague: Czech Office for Standards, Methodology and Testing, 2004.
- [4] AASHTO T307, Standard Method of Test for Determining the Resilient Modulus of Soils and Aggregate Materials. Washington, DC: AASHTO, 1999.