



## VYUŽITÍ NEDESTRUKTIVNÍCH METOD STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI POPÍLKOVÉHO STABILIZÁTU KE ZJIŠTĚNÍ PORUŠENOSTI ZKUŠEBNÍCH TĚLES

Zpracovali: Ing. Martin Lidmila, Ph.D., Ing. Petr Kučera (Fakulta stavební ČVUT v Praze)

### Souhrn

Jedním ze sledovaných parametrů konstrukční vrstvy z popílkového stabilizátu, zřízené v roce 2005 v ŽST Smiřice, je pevnost v prostém tlaku. U jednotlivých zkušebních těles se však vyskytují významné rozdíly v pevnosti, které mohou být způsobeny trhlinami vzniklými v důsledku odběru a dopravy zkušebních těles. Použití nedestruktivních metod stanovení dynamického modulu pružnosti má za cíl odhalit porušená tělesa před samotnou destruktivní zkouškou pevnosti v prostém tlaku a přispět tak k získání spolehlivějších a lépe vypovídajících výsledků zkoušky. V rámci výzkumu byly použity dvě odlišné metody pro nedestruktivní stanovení dynamického modulu pružnosti a jejich výsledky byly porovnány se statickými moduly pružnosti zjištěnými destruktivní zkouškou v tlaku. Současně byl sledován vliv vlhkosti zkušebních těles na dosažené hodnoty modulu pružnosti.

### Oblast použití

V roce 2000 byl Katedrou železničních staveb Fakulty stavební ČVUT v Praze zahájen výzkum využití popílkového stabilizátu z elektrárny Chvaletice v konstrukci pražcového podloží. V rámci výzkumu byl v dubnu roku 2005 v ŽST Smiřice zřízen zkušební úsek, na němž byla použita vrstva popílkového stabilizátu za účelem ochrany zemní pláně ze snadno zvětrávajících hornin (slínovců) před účinky mrazu a vody. V letech 2005 až 2011 byla v rámci monitoringu zkušebního úseku sledována únosnost konstrukce pražcového podloží a jádrovými vrty byla z konstrukce odebírána zkušební tělesa z popílkového stabilizátu za účelem stanovení pevnosti v prostém tlaku. Odběr zkušebních těles je komplikován uložením vrstvy popílkového stabilizátu v hloubce cca 700 až 900 mm pod povrchem kolejového lože. Z tohoto důvodu lze získat pouze omezený počet zkušebních těles. Zkušební tělesa z popílkového stabilizátu vykazovala v letech 2005 až 2011 postupně se zvyšující průměrné hodnoty pevnosti v prostém

tlaku. Současně byl však zaznamenán značný rozptyl hodnot pevnosti v prostém tlaku u jednotlivých zkušebních těles. Pevnost u jednotlivých zkušebních těles dosahovala hodnot 2,5 až 7,8 MPa [1]. Za možnou příčinu rozptylu výsledků byla označena přítomnost předdefinovaných ploch porušení v některých zkušebních tělesech. Předdefinované plochy porušení mohly vzniknout již v samotné vrstvě popílkového stabilizátu během hutnění či v průběhu vrtání a přepravy zkušebních těles. Po obnovení monitoringu zkušebního úseku v rámci projektu CESTI v roce 2014 byla učiněna opatření vedoucí k získání lépe vypovídajících hodnot pevnosti v prostém tlaku popílkového stabilizátu:

- zvýšení množství odebíraných zkušebních těles,
- pro výběr zkušebních těles pro destruktivní zkoušky pevnosti v prostém tlaku byly využity nedestruktivní metody stanovení modulu pružnosti.

### Metodika a postup řešení

Pro predikci vrstevnatosti zkušebních těles byly použity dvě odlišné nedestruktivní metody stanovení dynamického modulu pružnosti. Jednalo se o rezonanční metodu (IEM) dle ČSN EN 73 2011 a ultrazvukovou metodu dle ČSN EN 12504-4. Obě metody jsou primárně určeny pro stanovení dynamického modulu pružnosti betonu. Výsledky získané nedestruktivními metodami byly porovnány se statickým modulem pružnosti vyhodnoceným ze zkoušky v tlaku dle ČSN EN 13286-43.

### Stanovení modulu pružnosti rezonanční metodou

Dynamický modul pružnosti je vyhodnocen na základě měření rezonančních frekvencí podélných, ohybových a torzních vibrací a rozměrů zkušebního tělesa. Vibrace je vyvolána úderem rázového kladívka do středu jedné z podstav zkušebního tělesa. Na druhé podstavě je umístěn snímač zrychlení, který zaznamenává odezvu zkušebního tělesa (viz obr. 1). Průběh budící síly a zrychlení je zaznamenáván a pomocí rychlé Fourierovy transformace převeden do frekvenční oblasti.

Následně je vyhodnocena frekvenční přenosová funkce (FRF) jako poměr zrychlení a budící síly [2].



Obr.1 Stanovení dynamického modulu pružnosti rezonanční metodou.

### Stanovení modulu pružnosti pomocí ultrazvuku

Pro stanovení dynamického modulu pružnosti pomocí ultrazvuku bylo použito zařízení Starmans Dio 562 NLF, které sestává z řídicí a výpočetní jednotky, budiče ultrazvukových vln a sondy pro jejich příjem (viz obr. 2). Zdrojem ultrazvukových vln je budič pracující na principu piezoelektrické konverze elektrické energie na energii mechanickou. Frekvence ultrazvukových vln použitých při zkoušení těles z popílkového stabilizátu byla 50 Hz. Zaznamenáván je čas průchodu ultrazvukových vln zkušebním tělesem. Následně je na základě času průchodu zvukových vln zkušebním tělesem, rozměrů zkušebního tělesa a jeho hmotnosti provedeno vyhodnocení dynamického modulu pružnosti.



Obr. 2 Stanovení dynamického modulu pružnosti pomocí ultrazvuku.

### Stanovení modulu pružnosti zkouškou v tlaku

Za účelem porovnání s výsledky nedestruktivních metod bylo dále provedeno stanovení modulu pružnosti destruktivní metodou – zkouškou v tlaku. Zkouška byla provedena v souladu s normou ČSN EN 13286-43, primárně určenou pro zkoušení směsí smíšených hydraulickými pojivy. Při zkoušce je zkušební těleso umístěné v zatěžovacím rámu zatěžováno statickou tlakovou silou a je sledována deformace v jeho podélné ose. Uspořádání zkoušky je patrné z obr. 3.

### Výsledky

Výsledné moduly pružnosti stanovené popsány metodami jsou uvedeny v tab. 1.



Obr. 3 Uspořádání zkoušky v tlaku.

Z výsledků je patrné, že dynamický modul pružnosti zjištěný pomocí ultrazvuku je o cca 10 až 50 % vyšší než modul zjištěný rezonanční metodou IEM. Hodnoty dynamického modulu pružnosti, zjištěné rezonanční metodou jsou až o 100% vyšší než hodnoty statického modulu pružnosti. S rostoucí vlhkostí dynamický modul pružnosti klesá. Při zkouškách zkušebních těles je tak nezbytné zvážit reálné podmínky v místě uložení stabilizátu a laboratorní zkoušky provádět při vlhkosti, která těmto podmínkám odpovídá.

Tab. 1 Výsledné moduly pružnosti stanovené různými metodami.

Zkušební těleso	IEM		Ultrazvuk		Zkouška v tlaku
	suchá	w = 30 %	suchá	w = 30 %	
P1/7	5,1	4,3	6,1	2,0	
P2/2	5,8	5,0	8,5	3,2	
VP9	4,2	3,4	3,8	2,3	

### Závěr

Nedestruktivní metody stanovení dynamického modulu pružnosti umožňují odhalit nehomogenity v materiálu zkušebních těles, které by mohly vést k ovlivnění výsledků destruktivních zkoušek, např. pevnosti v prostém tlaku. Použitím nedestruktivních metod je možné vybrat pro zkoušky pevnosti v prostém tlaku tělesa, která nebyla porušena trhlinami během odběru a přepravy a bude tak možné získat výsledky s vyšší vypovídací hodnotou.

### Literatura

- [1] LIDMILA, M. Popílkový stabilizát - nový materiál v pražcovém podloží. Nová železniční technika, 2011, vol. 19, no. 4, p. 21–26. ISSN 1210-3942.
- [2] PLACHÝ, Tomáš et al. Non-destructive Determination of Young's Modulus of Gypsum Specimens Using Impulse Excitation Method. In: PLACHÝ, Tomáš. PROCEEDINGS OF THE 48TH INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ON EXPERIMENTAL STRESS ANALYSIS. Velké Losiny: Palacký university, 2010, s. 339-344. ISBN 978-80-244-2533-7.