

Ing. Karel Pospíšil, Ph.D.\*)

## Modul přetvárnosti podloží pozemních komunikací

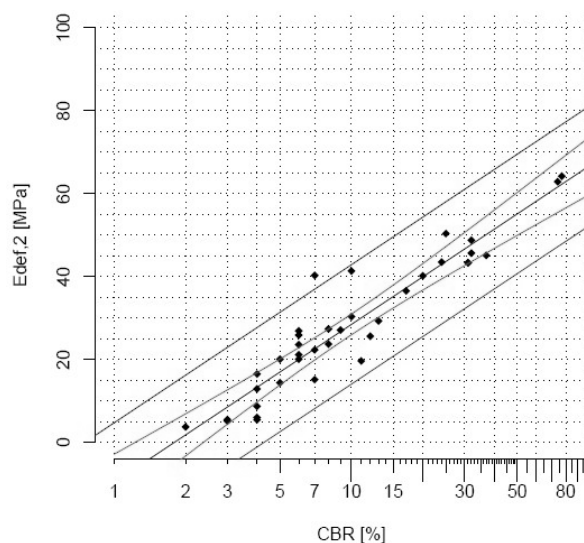
Modul přetvárnosti, zejména jeho hodnota zjišťovaná statickou zatěžovací zkouškou ve druhém zatěžovacím cyklu, je vedle míry zhutnění a vlhkosti jedním z nejdůležitějších geotechnických parametrů zjišťovaných na hotové zemní pláni. Tento článek navazuje na publikované výsledky výzkumu, který byl proveden v Centru dopravního výzkumu (CDV) v letech 2000 – 2002, [1, 2] a zaměřen na oblast korelování modulu přetvárnosti  $E_{\text{def},2}$  s poměrem únosnosti CBR. Po ukončení výzkumu CDV byly publikovány výsledky do značné míry obdobného výzkumu uskutečněného na Technické univerzitě v Mnichově (TUM). Tato skutečnost byla vítanou příležitostí k navrácení se k již zveřejněným výsledkům vlastního výzkumu a k jejich porovnání s výsledky jiného aktuálního výzkumu.

### Výzkum v Centru dopravního výzkumu

Podmínky, metody a výsledky výzkumu CDV byly zevrubně popsány v citovaných publikacích [1, 2], a proto zde uvedme jen základní parametry tohoto výzkumu a jeho nejdůležitější výsledky. Cílem výzkumu bylo přispět k objasnění závislosti modulu přetvárnosti  $E_{\text{def},2}$  na poměru únosnosti CBR. Výzkum byl realizován na soudržných i nesoudržných zeminách a měření modulu přetvárnosti bylo prováděno na stavbách i v laboratorním geotechnickém zkušebním poli (LGZP).

Výsledkem výzkumu CDV bylo nalezení korelační závislosti mezi oběma geotechnickými veličinami. Na obrázku 1 je zobrazen graf této závislosti s vyznačením intervalů spolehlivosti, jak regresní křivky, tak

i naměřených hodnot. Jako nejvhodnější regresní funkce pro zjištěnou závislost byla určena funkce logaritmická (na obr. 1 je pro poměr únosnosti CBR zvoleno logaritmické měřítko, proto se regresní závislost jeví jako lineární).



Obr. 1

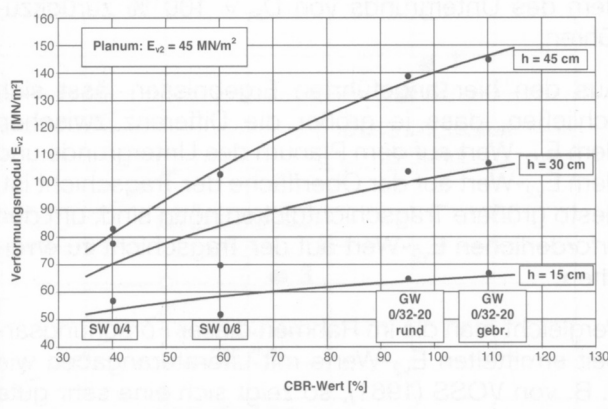
Závislost modulu přetvárnosti  $E_{\text{def},2}$  na poměru únosnosti CBR – výsledky CDV; přímka uprostřed grafu je pravděpodobná regresní funkce vyjadřující uvedenou závislost, křivky blíže této přímky omezují interval spolehlivosti regresní přímky a rovnoběžky dále od regresní přímky vyznačují interval spolehlivosti naměřených hodnot, oba intervaly spolehlivosti byly určeny na hladině významnosti  $\alpha = 0,01$

\*) Centrum dopravního výzkumu

## Výzkum na Technické univerzitě v Mnichově

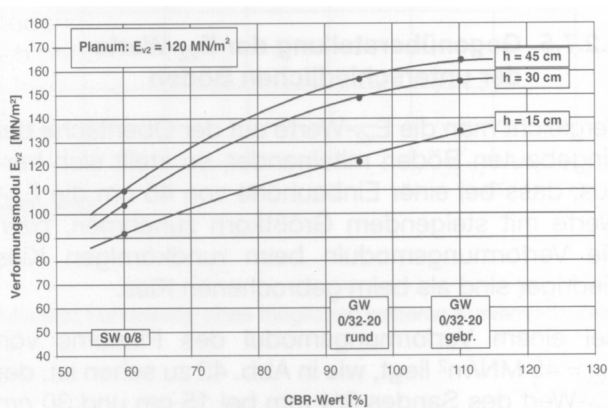
V závěru roku 2002 (CDV se k této zprávě dostalo teprve nedávno) byla publikována výzkumná zpráva týmu Technické univerzity v Mnichově (TUM) [3], ve které byly zveřejněny výsledky několikaletého výzkumu v obdobné oblasti. Výzkum TUM byl zaměřen na predikci modulu přetvárnosti  $E_{\text{def},2}$  ( $E_{v,2}$ ) nestmelených vrstev ukládaných na zemní pláň s modulem přetvárnosti 45 MPa a 120 MPa. Obrázky 2 a 3 převzaté ze zprávy [3] dokumentují, jak se mění hodnota modulu přetvárnosti  $E_{\text{def},2}$  ( $E_{v,2}$ ) v závislosti na tloušťce vrstvy z nestmeleného materiálu a na hodnotě poměru únosnosti CBR.

V citované zprávě [3] je, mj., komentována „plochost“



Obr. 2

Modul přetvárnosti  $E_{\text{def},2}$  ( $E_{v,2}$ ) na nestmelených vrstvách o mocnosti 15, 30 a 45 cm ukládaných na zemní pláň s modulem přetvárnosti  $E_{v,2} = 45$  MPa v závislosti na hodnotách poměru únosnosti CBR materiálu nestmelených vrstev – výzkum TUM [3]



Obr. 3

Modul přetvárnosti  $E_{\text{def},2}$  ( $E_{v,2}$ ) na nestmelených vrstvách o mocnosti 15, 30 a 45 cm ukládaných na zemní pláň s modulem přetvárnosti  $E_{v,2} = 120$  MPa v závislosti na hodnotách poměru únosnosti CBR materiálu nestmelených vrstev – výzkum TUM [3]

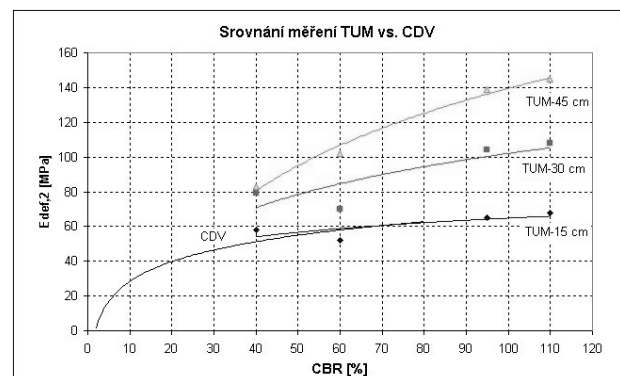
křivky pro nestmelenou vrstvu o mocnosti 15 cm, která je uložena na zemní pláni s modulem přetvárnosti  $E_{\text{def},2}$  ( $E_{v,2}$ ) = 45 MPa, viz obr. 2. Autoři zprávy vysvětlují tento jev tím, že měření na této vrstvě je z podstatné části ovlivněno deformačními charakteristikami zemin pod touto

vrstvou. S tím lze souhlasit, neboť se předpokládá měřitelný vliv podloží do hloubky asi 1,5násobku průměru zatěžovací desky, což je v tomto případě 45 cm.

## Srovnání výsledků výzkumu TUM a CDV

Srovnáme nyní výsledky výzkumu TUM s výsledky CDV při respektování rozdílných východisek obou výzkumů. Výzkum CDV byl prováděn jak na reálných stavbách, tak v geotechnickém poli (LGZP). Německý výzkum byl prováděn výhradně v geotechnickém poli. Výzkum CDV se zaměřil na soudržné i nesoudržné zeminy, které se mohou vyskytovat v podloží vozovek, kdežto německý výzkum byl zaměřen na studium nesoudržných materiálů, které se používají v podkladních vrstvách vozovek. V CDV nebyl studován vliv tloušťky vrstev na vztah poměru únosnosti CBR s modulem přetvárnosti  $E_{\text{def},2}$ , neboť zaměření experimentu bylo jiné – cílem bylo nalezení korelace mezi oběma geotechnickými veličinami. Měření CDV bylo prováděno na pláni na stavbě, kde byla dostatečná mocnost zeminy, nebo v LGZP, kde byly tloušťky zkoušených vrstev voleny tak, aby měření na dané vrstvě nebylo výrazně ovlivňováno parametry vrstev ležících pod zkoumanou vrstvou.

Srovnáme nyní graficky výsledky výzkumu. Do obrázku 4 jsou převzaty výsledky TUM [3] z obrázku 2 současně s regresní závislostí z obrázku 1 získanou CDV. V obrázku 4 je použito lineární měřítko osy CBR ve shodě s obr. 2, což způsobuje, že se regresní závislost v obr. 4 jeví u výsledků CDV jinak než v obr. 1.



Obr. 4

Srovnání výsledků TUM [3] z obr. 2 a CDV z obr. 1

Z obrázku 4 je zřejmé, že se regresní závislost získaná v CDV velmi přibližuje ke grafu TUM, který se týká měření na vrstvě o mocnosti 15 cm. O tomto měření bylo již dříve uvedeno, že je výrazně ovlivněno deformačními charakteristikami zemin nacházejících se pod touto vrstvou. Tím se podmínky tohoto měření nejvíce přibližují k podmínkám měření v CDV. Lze tedy konstatovat, že výzkumy provedené v CDV a TUM se vhodně doplňují a že si neodporují.

## Význam výsledků výzkumů

Oba výzkumy, TUM a CDV, mají poměrně značný dopad do praxe. Z výzkumu CDV lze se stanovenou mírou spolehlivosti určit, jaký je dosažitelný modul přetvárnosti pro danou zeminu a z výzkumu TUM lze odvodit, jak mocná vrstva nesoudržného materiálu je s to tento modul zvýšit na určitou požadovanou hodnotu.

Jako příklad lze uvést následující situaci. U zeminy F4 – písčité jíly nechtěl byla zkouškou zjištěna hodnota poměru únosnosti CBR = 10 %. Pohledem do grafu na obr. 1 nebo 4 lze odečíst pravděpodobnou hodnotu modulu přetvárnosti přibližně 28 MPa. Z obrázku 1 lze dále učinit závěr, že hodnota modulu přetvárnosti bude v tomto případě ležet s pravděpodobností 99 % mezi 14 a 42 MPa. Z tohoto je zřejmé, že je vysoce nepravděpodobné (avšak jistě ne nemožné), aby zemina s CBR = 10 % dosáhla na kritérium pro zemní pláň, které je 45 MPa.

V případě, že u těžké zeminy (nebo i jiné) bude naměřeno CBR = 15 %, bude pravděpodobná hodnota modulu přetvárnosti  $E_{\text{def},2}$  rovna 35 MPa, přičemž opět s 99% pravděpodobností bude ležet v rozmezí 21 a 49 MPa, srov. s obr. 1. K tomuto výsledku jen poznámka: Hodnotu CBR = 15 % považuje ČSN 73 6133 za dostatečnou pro zeminu, kterou se má provádět zlepšení, tzn., při použití této zeminy by mělo být s jistotou dosaženo na pláni min.  $E_{\text{def},2} = 45$  MPa. Tento předpoklad lze ve světle zde uvedených poznatků považovat za nepřiměřeně optimistický.

Z výzkumu TUM vyplývá, že bude-li třeba zvýšit modul přetvárnosti zemní pláň z  $E_{\text{def},2} = 45$  MPa na  $E_{\text{def},2} = 60$  MPa, bude nutno přisypat pravděpodobně 25 cm materiálu s CBR = 40 % nebo také 15 cm materiálu s CBR = 70 %, srov. obr. 2. Přitom je třeba vzít v úvahu i míru nejistoty, kterou však grafy TUM neuvádějí. Při stejných podmínkách bude zvýšení modulu přetvárnosti na  $E_{\text{def},2} = 90$  MPa pravděpodobně znamenat přisypání 45 cm vrstvy materiálu s hodnotou CBR = 48 % nebo 30 cm vrstvy s hodnotou CBR = 71 %. V tomto případě se zřejmě ukáže být výhodnější zvolit jiný způsob zlepšení.

Přehnané nároky na deformační charakteristiky zemní pláň vyjádřené hodnotou modulu přetvárnosti např.  $E_{\text{def},2} = 60$  MPa nebo 90 MPa mohou v některých případech vést k poddimenzování vozovky. Bude-li totiž projekt neodůvodněně počítat s vysokou hodnotou modulu přetvárnosti na zemní pláni a ta nebude ve skutečnosti dosažena, má prováděcí firma v zásadě dvě možnosti řešení tohoto problému. Buď se k nedosažení příslušného modulu přetvárnosti přizná (nedosažení modulu nemusí být vinou prováděcí firmy) nebo nepřizná. V prvním případě vznikne požadavek na vícepráce a z toho plynoucí zvýšení ceny, což nemusí být investorem akceptováno (pak to zaplatí prováděcí firma). Ve druhém případě bude prováděcí firma stavět vozovku na málo únosné pláni, čímž vybuduje celkově poddimenzované dílo.

Obava z druhého způsobu řešení je odůvodněná zejména u tzv. menších staveb a staveb místních komuni-

kací, kde není zajištěn odpovídající dozor. U staveb velkých zase hrozí, že rozpočet stavby bude neúměrně navyšován z důvodu dodatečného zajištění požadované únosnosti zemní pláň, což je známo např. z výstavby železničních koridorů.

## Závěr

Jakékoli korelování veličin, které jsou svojí podstatou různé, je vždy velmi ošidné. Výzkumy nezávisle provedené v CDV a na Technické univerzitě v Mnichově jsou jen příspěvkem k celkovému stavu poznání. Vždy je možné zvolit metodiku výzkumu, která bude odlišná od té, která byla použita předešlými výzkumnými skupinami. Rozsah tohoto článku neumožňuje rozvést všechny souvztažnosti do podrobných detailů. Zájemcům o podrobnější informace o popisované problematice je k dispozici výzkumná zpráva o projektu provedeném v CDV (publikovaná letos) a výzkumná zpráva Technické univerzity v Mnichově [3].

## Literatura

- [1] Pospíšil, K. – Návrh a kontrola zemních prací, In: Silniční obzor 3/2002, pp. 63 – 67
- [2] Pospíšil, K. – Předvídatelnost modulu přetvárnosti, In: Geotechnika 1/2003, pp. 3 – 6
- [3] Schwabbaur, T., Fillibeck, J., Floss, R – Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 852/2002, Ermittlung von Zusammenhängen zwischen dem CBR-Wert des Tragschichtmaterials und der Tragfähigkeit Ev2 von Tragschichten ohne Bindemittel, Herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen