

Martin Lidmila, Leoš Horníček, Hana Krejčířiková, Petr Tyc*

Srovnávací měření modulů přetvárnosti podle metodiky ČD a DB – informace o výsledcích grantu MD ČR

Klíčová slova: *modul přetvárnosti, železniční spodek*

1. Úvod

Při zřízení úseku s pevnou jízdní dráhou Třebovice v Č. - Rudoltice v Č. v roce 2005 byl železniční spodek projektován podle předpisu platného u DB (Německé spolkové dráhy). Požadavek na únosnost pláň tělesa železničního spodku činil 120 MPa, tedy hodnota vysoce překračující požadavky SŽDC (ČD) na koridorové trati. Proto byla v rámci výzkumného projektu Ministerstva dopravy ČR 1F52H/052/130 [1] řešena problematika korelačních vztahů mezi statickým modulem přetvárnosti stanoveným podle předpisu ČD a DB. Srovnávací měření byla provedena v laboratorních podmínkách ve zkušebním boxu (na šterku a na šterkodrti) a v terénu (na písku a zemině).

2. Měření modulů přetvárnosti u SŽDC (ČD)

Požadavky na měřící zařízení, podrobný popis zkoušky a její vyhodnocení je uvedeno v předpisu ČD S4 Železniční spodek [2] a v ČSN 72 1006 Kontrola zhutnění zemin a sypanin [3]. Na počátku měření se provede pro plné dosednutí jednotlivých částí zatěžovacího zařízení krátkodobé zatížení nepřesahující dobu 10 sekund, které nesmí vyvodit na zatěžovanou vrstvu tlak větší než je 20 % maximálního zatížení desky. Po odlehčení a ustálení snímačů dráhy se provede základní čtení. Deska se zatěžuje postupně ve čtyřech stejně velkých stupních. U každého zatěžovacího stupně se sleduje deformace podloží pod deskou. Pokud je změna deformace během 1 minuty menší než 0,02 mm, považuje se za ustálenou a přejde se na následující zatěžovací stupeň. Stejným způsobem se pokračuje až do dosažení maximálního požadovaného zatížení pro zatěžovanou vrstvu. Následně se zatěžovací deska ve stejných stupních odlehčuje až na nulové zatížení. Cyklus se provede podruhé.

* Ing. Martin Lidmila, Ph.D., nar. 1973, absolvent ČVUT, FSv, Obor inženýrství životního prostředí, odborný asistent Katedry železničních staveb, Fakulta stavební ČVUT v Praze.
Ing. Leoš Horníček, Ph.D., nar. 1975, absolvent ČVUT, FSv, Obor konstrukce a dopravní stavby, odborný asistent Katedry železničních staveb, Fakulta stavební ČVUT v Praze.
Doc. Ing. Hana Krejčířiková, CSc., nar. 1950, absolventka ČVUT, FSv, Obor konstrukce a dopravní stavby, vedoucí Katedry železničních staveb, Fakulta stavební ČVUT v Praze.
Prof. Ing. Petr Tyc, DrSc., nar. 1926, absolvent Vysoké školy inženýrského stavitelství ČVUT v Praze, Obor konstrukce a dopravní stavby, profesor Katedry železničních staveb, Fakulta stavební ČVUT v Praze.
tel: +420 224 354 756
e-mail: krejcirikova@fsv.cvut.cz, lidmila@fsv.cvut.cz

Během zkoušky se zaznamenávají hodnoty zatížení desky ze siloměru a zatlačení desky ze snímačů dráhy. Průměrné zatlačení zatěžovací desky z každého zatěžovacího i odlehčovacího stupně se vynese do grafu vyjadřujícího závislost mezi měrným tlakem na zatěžovací desku a zatlačení zatěžovací desky. Do grafu se vyznačí hodnota průměrného celkového zatlačení desky ze zatěžovací větve druhého cyklu a současně se uvede výpočet modulu přetvárnosti podle vztahu:

$$E = 1,5 \cdot \frac{p \cdot r}{y},$$

kde E je statický modul přetvárnosti [MPa],
 p – měrný tlak na zatěžovací desku [MPa],
 r – poloměr zatěžovací desky, tj. 0,15 [m],
 y – celkové průměrné zatlačení zatěžovací desky zjištěné v zatěžovací větvi druhého cyklu [m].

Měrný tlak na zatěžovací desku se volí: na zemní pláni $p = 0,20$ MPa se zatěžovacím stupněm 0,05 MPa, u méně únosných zemín $p = 0,10$ MPa se zatěžovacím stupněm 0,025 MPa; na konstrukční vrstvě tělesa železničního spodku $p = 0,20$ MPa se zatěžovacím stupněm 0,05 a na kolejovém loži v úrovni ložné plochy pražce $p = 0,40$ MPa se zatěžovacím stupněm 0,10 MPa (pozn.: od 1.1.2003 se únosnost v této úrovni neposuzuje). Vypočtený modul přetvárnosti je sečný modul pro obor zatížení 0 – max. měrného tlaku p na zatěžovací desku.

3. Měření modulů přetvárnosti u DB

Požadavky na měřící zařízení, podrobný popis zkoušky a její vyhodnocení je uvedeno v německé normě DIN 18 134 Plattendruckversuch [4]. Na počátku měření se provede předtížení cca 0,01 MPa, po cca 30 sekundách působení se odtíží a na snímačích dráhy se nastaví čtení 0,00 mm. Průběh zkoušky se skládá ze dvou zatěžovacích a jedné odlehčovací větve. Deska o průměru 300 mm se zatěžuje tak dlouho, dokud zatlačení desky nedosáhne hodnoty cca 5 mm nebo měrného tlaku 0,50 MPa. Zatížení se vnáší stupňovitě v nejméně 6 přibližně stejných stupních. V každém zatěžovacím stupni se snímače dráhy odečítají po 120 sekundách, v případě únosných vrstev lze tuto dobu zkrátit na 60 sekund. Při měření se třemi snímači dráhy se odečet prvního snímače provádí 10 sekund před dosažením čekací doby. Snímače dráhy se odečítají stále ve stejném pořadí a ve stejných časových odstupech. Odlehčování se provádí ve třech stupních: 50 %, 25 % a 0% maximálního zatížení desky. Druhá zatěžovací větev končí v předposledním stupni první zatěžovací větve.

Modul přetvárnosti (Verformungsmodul) se počítá z první i druhé zatěžovací větve. Určuje se ze zatěžovacího grafu ze sklonu sečny mezi dvěma body, které jsou dány hodnotou 0,3- a 0,7-násobku maximálního zatížení, podle obecného vzorce:

$$E_v = 1,5 \cdot r \cdot \frac{\Delta\sigma}{\Delta s},$$

kde E_v je statický modul přetvárnosti [MPa],
 r – poloměr zatěžovací desky, tj. 0,15 [m],
 y – celkové průměrné zatlačení zatěžovací desky zjištěné v zatěžovací větvi druhého cyklu [m],
 $\Delta\sigma$ – rozdíl mezi hodnotou 0,3- a 0,7-násobku maximálního zatížení [MPa],
 Δs – rozdíl zatlačení zatěžovací desky mezi hodnotou 0,3- a 0,7-násobku maximálního zatížení [MPa].

Vypočtený modul přetvárnosti je sečný modul pro obor zatížení 0,3 – 0,7 max. měrného zatěžovacího tlaku na desku.

4. Měření modulů přetvárnosti na modelech pražcového podloží

K určení korelace mezi moduly přetvárnosti konstrukce pražcového podloží stanovených podle české a německé metodiky v laboratorních podmínkách byl využit zkušební box Katedry železničních staveb, Fakulty stavební ČVUT v Praze. Zkušební box se skládá ze svařovaných ocelových profilů a odnímatelných stěn z dřevěných hranolů. K minimalizaci tření modelu o stěny boxu byly stěny obloženy tenkým pozinkovaným plechem. Základní rozměry vnitřního prostoru zkušební boxu jsou: délka 2095 mm, šířka 990 mm, výška 800 mm. Součástí zkušební boxu je posuvný rám, který umožňuje opření zatěžovacího lisu při měření modulů přetvárnosti na modelech ve zkušebním boxu.

Ve zkušebním boxu byly experimentálně sledovány čtyři modely pražcového podloží v měřítku 1:1 složené z pryžových desek simulující pláň o různé únosnosti zjištěné podle metodiky ČD ($E_{pryž} = 10,9$ MPa resp. $E_{pryž} = 25,0$ MPa), konstrukční vrstvy ze štěrkodrtě frakce 0/32 mm o různé tloušťce (15 cm, 30 cm) a kolejového lože ze štěrku frakce 32/63 mm o konstantní tloušťce 35 cm. Zkoušky zrnitosti štěrku i štěrkodrtě prokázaly, že tyto materiály jsou svým zrnitostním složením vhodné pro použití do kolejového lože, resp. do konstrukčních vrstev tělesa železničního spodku.

Moduly přetvárnosti byly zjišťovány ve třech výškových úrovních: na simulované zemní pláni ($E_{pryž}$), na vrstvě štěrkodrtě (E_{pl}) a na vrstvě štěrku (E_{pp}). Jednotlivé modely byly označeny kódem s informací o tloušťce konstrukční vrstvy v cm, zkratce materiálu konstrukční vrstvy a únosnosti simulované zemní pláně v MPa (např. 15SD E10). Charakteristické údaje jednotlivých modelů jsou uvedeny v tab. 1. Model konstrukce 15SD E10 ve zkušebním boxu s vyznačením míst měření modulů přetvárnosti je na obr. 1.

Tab. 1 Označení modelů pražcového podloží a jejich charakteristiky

Označení modelu	Únosnost simulované zemní pláně v MPa	Tloušťka konstrukční vrstvy v mm	Tloušťka kolejového lože v mm
15SD E10	10,9	150	350
30SD E10	10,9	300	350
15SD E25	25,0	150	350
30SD E25	25,0	300	350

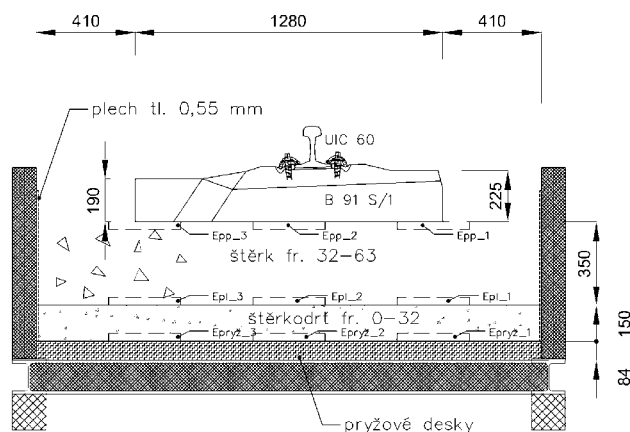
Konstrukční vrstva byla zřizována buď v jedné nebo ve dvou vrstvách o tloušťce 150 mm a kolejové lože ve dvou vrstvách o tloušťce 175 mm. Pro hutnění jednotlivých vrstev bylo použito speciálního ručního vibračního hutnicího zařízení s hutnicí plochou 174x174 mm, přičemž každá vrstva byla hutněna po dobu 30 minut rovnoměrně po celé ploše zkušební boxu. Po uložení pražce B 91 S/1 na vrstvu štěrku byla kolejnice zatížena 30x silou $P = 50$ kN.

5. Měření modulů přetvárnosti na vrstvě štěrku

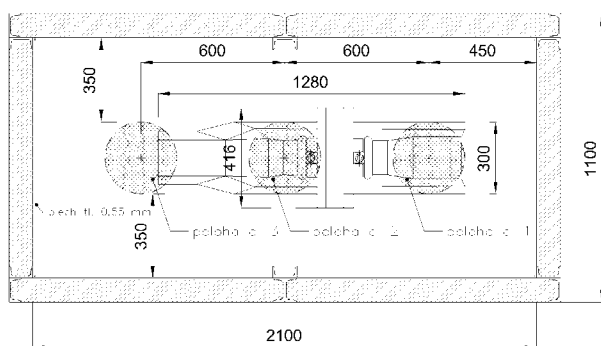
Po vybudování každého modelu byly po sejmutí betonového pražce nejprve provedeny tři statické zatěžovací zkoušky na vrstvě štěrku podle metodiky ČD a následně ve stejných polohách tři statické zatěžovací zkoušky podle metodiky DB. Důvodem pro zvolenou metodu měření byl omezený půdorys modelu. Nepřesnost ve stanovení modulu přetvárnosti podle metodiky DB však nebyla významná. Skladba modelu 15SD E10 s vyznačením jednotlivých poloh umístění kruhové zatěžovací desky je uvedena na obr. 1. Zjištěné hodnoty modulů

přetvárnosti jsou v tab. 2. Pohled na měření modulu přetvárnosti na povrchu šterku v poloze č. 1 je na obr. 2. Průběh a vyhodnocení statické zkoušky na povrchu šterku dle ČD v poloze č. 1 a dle DB v poloze č. 1 je na obr. 3 a 4.

a) Podélný řez



b) Půdorys



Obr. 1 Model konstrukce pražcového podloží 15SD E10 ve zkušebním boxu:

a) podélný řez, b) půdorys

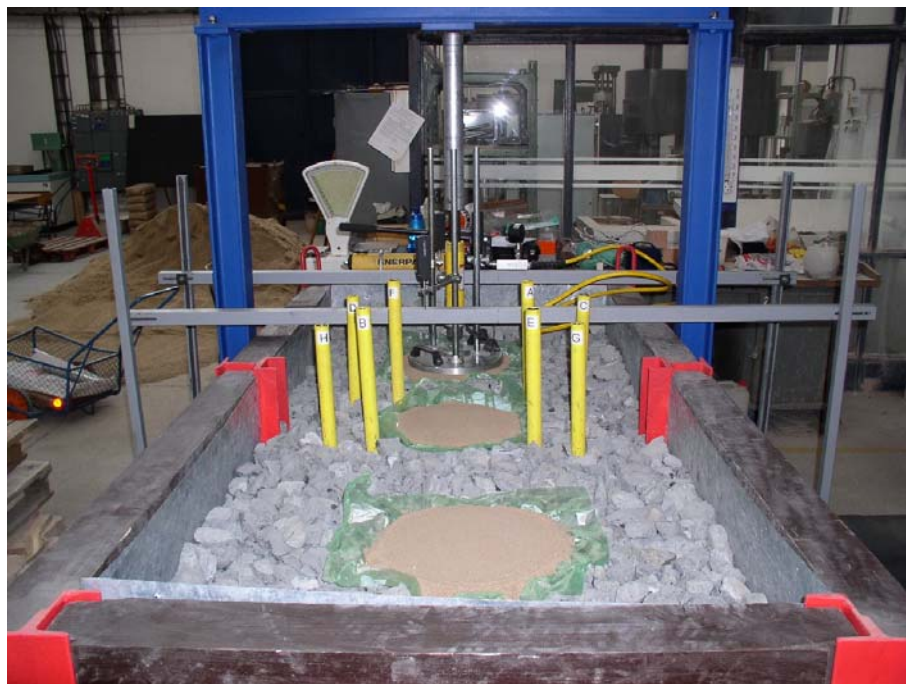
Tab. 2 Moduly přetvárnosti na povrchu šterku a vypočtené korelační součinitelé

Označení modelu	Průměrný modul přetvárnosti v MPa		Průměrný korelační součinitel „k“	Celkový průměrný korelační součinitel „k“
	Metodika ČD	Metodika DB		
15SD E10	63,8	71,3	1,12	1,17
30SD E10	79,4	98,3	1,24	
15SD E25	90,0	104,5	1,16	
30SD E25	103,9	117,5	1,13	

Pro vyjádření vztahu zjištěných modulů přetvárnosti podle metodiky ČD a metodiky DB byly vypočteny korelační součinitelé podle vzorce:

$$k = \frac{E_{DB}}{E_{\check{C}D}}$$

kde k je korelační součinitel [-],
 E_{DB} – modul přetvárnosti stanovený podle německé metodiky z druhé zatěžovací větve [MPa],
 $E_{\check{C}D}$ – modul přetvárnosti stanovený podle české metodiky [MPa],
 Korelační součinitelé modulů přetvárnosti na vrstvě štěrku jsou uvedeny v tab. 2.



Obr. 2 Pohled na měření modulu přetvárnosti na povrchu štěrku v poloze č. 1

6. Měření modulů přetvárnosti na vrstvě štěrku

Po provedení statických zatěžovacích zkoušek na vrstvě štěrku byl u každého modelu štěrk odebrán a provedeny tři statické zatěžovací zkoušky na vrstvě štěrku podle metodiky ČD a následně ve stejných polohách tři statické zatěžovací zkoušky podle metodiky DB. Zjištěné hodnoty modulů přetvárnosti a korelační součinitelé jsou v tab. 3. Pohled na měření modulu přetvárnosti na vrstvě štěrku je na obr. 5.

Tab. 3 Moduly přetvárnosti na povrchu štěrku a vypočtené korelační součinitelé

Označení modelu	Průměrný modul přetvárnosti v MPa		Průměrný korelační součinitel „k“	Celkový průměrný korelační součinitel „k“
	Metodika ČD	Metodika DB		
15SD E10	26,1	23,0	0,88	0,94
30SD E10	53,3	48,9	0,92	
15SD E25	50,1	44,1	0,88	

30SD E25	82,9	86,4	1,04	
----------	------	------	------	--

Měření statického modulu přetvárnosti na povrchu šterku podle české metodiky

Datum: 6.4.2006
Teplota: 20°C

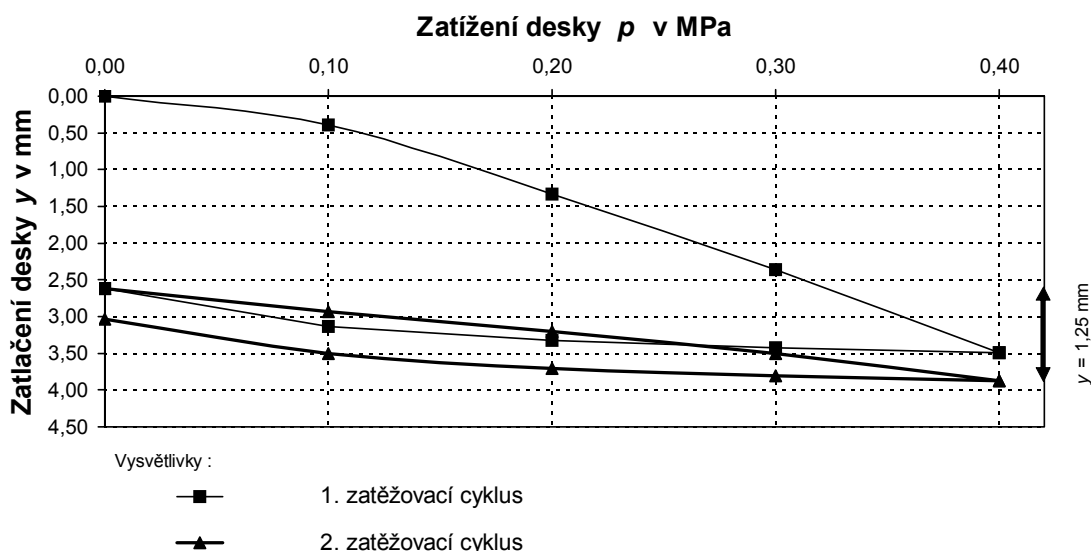
Průměr zatěžovací desky: $d = 0,30$ m
Zatížení desky: $p = 0,40$ MPa
poloha desky: 1

Složení měřené konstrukce : GZ20+PRE+GZ10+GZ30+ŠD 30 cm+šterk 35 cm

Měrný tlak v barech	Měrný tlak v MPa	Zatlačení zatěžovací desky v mm					Střední hodnota v mm	Zatlačení v mm
		1	2	3	A	B		
0,00	0,00	15,99	18,39	10,90	7,67	4,76	15,09	0,00
51,48	0,10	15,39	18,24	10,44	7,69	4,77	14,71	0,39
100,32	0,20	13,54	18,14	9,54	7,70	4,78	13,77	1,33
151,10	0,30	11,87	17,73	8,52	7,71	4,78	12,74	2,36
200,40	0,40	10,07	17,39	7,24	7,72	4,78	11,60	3,49
151,10	0,30	10,11	17,48	7,31	7,71	4,78	11,66	3,43
100,32	0,20	10,22	17,60	7,42	7,69	4,78	11,77	3,33
51,48	0,10	10,42	17,82	7,61	7,68	4,77	11,96	3,13
0,00	0,00	11,04	18,27	8,12	7,67	4,76	12,48	2,62
51,48	0,10	10,63	18,03	7,82	7,67	4,77	12,17	2,93
100,32	0,20	10,30	17,79	7,55	7,68	4,77	11,89	3,20
151,10	0,30	9,91	17,55	7,25	7,70	4,78	11,60	3,50
200,40	0,40	9,40	17,28	6,89	7,72	4,78	11,23	3,87
151,10	0,30	9,47	17,37	6,96	7,70	4,77	11,29	3,81
100,32	0,20	9,55	17,49	7,07	7,69	4,77	11,39	3,71
51,48	0,10	9,76	17,70	7,28	7,67	4,77	11,59	3,51
0,00	0,00	10,28	18,16	7,75	7,66	4,76	12,06	3,04

$y = 1,25$ mm

$$E_{pp} = \frac{1,5 \cdot p \cdot r}{y} = 71,90 \text{ MPa}$$



Obr.3 Průběh a vyhodnocení statické zatěžovací zkoušky na povrchu šterku dle ČD v poloze č. 1

Měření statického modulu přetvárnosti na povrchu šterku podle německé metodiky

Datum: 7.4.2006

Teplota: 19°C

Průměr zatěžovací desky:

Zatížení desky:

Poloha desky:

$d = 0,30$ m

$\sigma_{1max} = 0,50$ MPa

1

Složení měřené konstrukce :

GZ20+PRE+GZ10+GZ30+ŠD 30 cm+šterk 35 cm

Měrný tlak v barech	Měrný tlak v MPa	Zatlačení zatěžovací desky y v mm					Střední hodnota v mm	Zatlačení v mm
		1	2	3	A	B		
0,00	0,00	17,53	16,65	18,09	5,79	3,42	17,42	0,00
41,60	0,08	17,20	16,41	17,88	5,80	3,43	17,17	0,25
80,90	0,16	16,77	16,18	17,65	5,84	3,45	16,91	0,52
120,60	0,24	16,36	15,94	17,42	5,85	3,45	16,62	0,81
161,00	0,32	15,96	15,60	17,20	5,86	3,45	16,30	1,12
200,40	0,40	15,53	15,26	16,96	5,87	3,46	15,98	1,45
225,00	0,45	15,13	15,03	16,76	5,88	3,46	15,71	1,72
249,60	0,50	14,59	14,87	16,41	5,89	3,46	15,36	2,06
125,70	0,25	14,75	15,14	16,61	5,86	3,45	15,55	1,87
61,30	0,12	15,00	15,34	16,85	5,82	3,44	15,76	1,67
0,00	0,00	15,67	15,91	17,48	5,79	3,42	16,35	1,07
41,60	0,08	15,39	15,66	17,25	5,80	3,43	16,11	1,31
80,90	0,16	15,19	15,53	17,08	5,84	3,45	15,97	1,45
120,60	0,24	14,97	15,35	16,89	5,84	3,45	15,78	1,65
161,00	0,32	14,74	15,17	16,71	5,85	3,45	15,59	1,84
200,40	0,40	14,48	14,98	16,52	5,86	3,45	15,38	2,05
225,00	0,45	14,28	14,85	16,35	5,88	3,46	15,23	2,20

1. cyklus

$a_0 = 0,0835$

$a_1 = 2,0102$

$a_2 = 3,7461$

2. cyklus

$a_0 = 1,0924$

$a_1 = 2,2095$

$a_2 = 0,489$

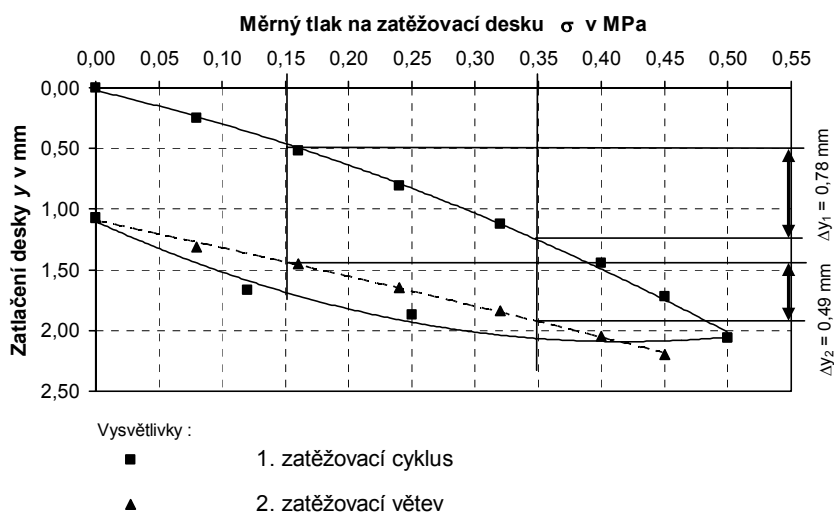
1. cyklus

$\Delta y_1 = 0,78$ mm

$$E_{v1} = \frac{1,5 \cdot r}{a_1 + a_2 \cdot \sigma_{1max}} = 57,94 \text{ MPa}, \quad E_{v2} = 91,69 \text{ MPa}$$

2. cyklus

$\Delta y_2 = 0,49$ mm



Obr.4 Průběh a vyhodnocení statické zatěžovací zkoušky na povrchu šterku dle DB v poloze č. 1



Obr.5 Pohled na měření modulu přetvárnosti na povrchu šterkodrtě v poloze č. 3

7. Měření modulů přetvárnosti na písku

Pro měření modulů přetvárnosti v terénu byla vybrána pískovna Klíčany, ve které se těží písek s příměsí jemnozrné zeminy. Vlastní měření probíhala na dvou místech (pole č. 1. a č. 2) s přirozeným uložením písku bez výrazného porušení těžící technikou. Jako protizátěž při měření statických modulů přetvárnosti bylo použito naložené nákladní auto. Celkem bylo provedeno šest statických zatěžovacích zkoušek podle metodiky ČD a šest statických zatěžovacích zkoušek podle metodiky DB. Po provedení statických zatěžovacích zkoušek byly v místě měření provedeny kopané sondy do hloubky 1,0 m. Z těchto sond byly odebrány porušené vzorky pro geotechnické laboratorní rozборы, které prokázaly, že zkoušenou vrstvu písku lze zatřídít dle ČSN 72 1002 [5] jako písek s příměsí jemnozrné zeminy (S3 S-F) s průměrnou přirozenou vlhkostí 8,7 % v poli č. 1 a 5,5 % v poli č. 2. Zjištěné hodnoty modulů přetvárnosti a korelační součinitelé jsou v tab. 4. Schéma měřicích míst na zkušebním poli č. 1 je znázorněno na obr. 6.

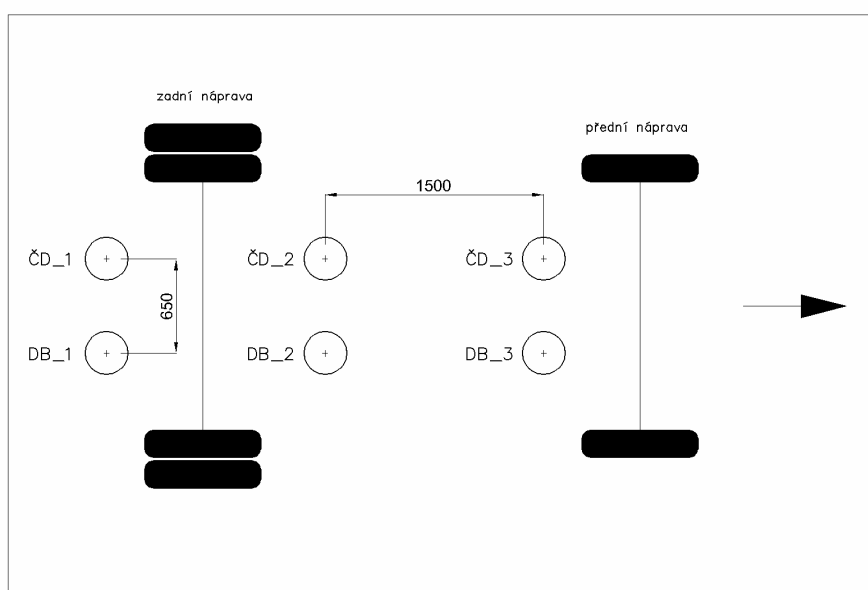
8. Měření modulů přetvárnosti na zemině

Pro měření modulů přetvárnosti v terénu byla vybrána stavba násypu ve Svojšovicích na IV. železničním koridoru v úseku Říčany – Strančice. Měření probíhalo na ztuhlé vrstvě značně nehomogenního materiálu ztuhlého na dvou místech (pole č. 1. a č. 2). Jako

protizátěž byl použit hladký vibrační válec nebo naložené nákladní auto. Celkem bylo provedeno šest statických zatěžovacích zkoušek podle metodiky ČD a šest statických zatěžovacích zkoušek podle metodiky DB.

Tab. 4 Moduly přetvárnosti na písku a vypočtené korelační součinitelé

Označení pole	Přirozená vlhkost v %	Průměrný modul přetvárnosti v MPa		Průměrný korelační součinitel „ k^c “	Celkový průměrný korelační součinitel „ k^c “
		Metodika ČD	Metodika DB		
Pole č. 1	8,7	82,2	136,8	1,66	1,70
Pole č. 2	5,5	38,7	67,6	1,74	



Obr.6 Schéma měřících míst na zkušebním poli č. 1

Po provedení statických zatěžovacích zkoušek byly v místě měření provedeny kopané sondy do hloubky 0,5 m. Z těchto sond byly odebrány porušené vzorky pro geotechnické laboratorní rozборы, které prokázaly že vrstvu zeminy dle ČSN 72 1002 [5] na poli č. 1 tvoří štěrk jílovitý (G5 GC) až štěrk s příměsí jemnozrné zeminy (G3 GF) s průměrnou přirozenou vlhkostí 12,7 % a v poli č. 2 tvoří vrstvu zeminy jíl štěrkovitý (F2 CG) až hlína štěrkovitá (F1 MG) s průměrnou vlhkostí 15,8 %. Zjištěné hodnoty modulů přetvárnosti a korelační součinitelé jsou v tab. 5. Pohled na měření modulu přetvárnosti na zemině na zkušebním poli č. 2 je na obr. 7.

Tab. 5 Moduly přetvárnosti na zemině a vypočtené korelační součinitelé

Označení pole	Přirozená vlhkost v %	Průměrný modul přetvárnosti v MPa		Průměrný korelační součinitel „ k^c “	Celkový průměrný korelační součinitel „ k^c “
		Metodika ČD	Metodika DB		
Pole č. 1	12,7	92,1	66,3	0,72	0,76
Pole č. 2	15,8	56,0	45,6	0,81	



Obr.7 Pohled na měření modulu přetvárnosti na zemině na zkušební poli č. 2

9. Závěr

Ze zjištěných korelačních součinitelů vyplývají tyto závěry:

1. Metodika ČD a DB pro měření statických modulů přetvárnosti sice **užívá stejné zkušební zařízení** (kruhová zatěžovací deska o průměru 30 cm), avšak **předepsané zatížení zatěžovací desky je odlišné a odlišný je i způsob výpočtu statického modulu přetvárnosti**.
2. Ze srovnávacích měření statických modulů přetvárnosti vyplývá, že korelační závislost ze zjištěných modulů přetvárnosti $k = E_{DB} / E_{ČD}$ je pro různé materiály nebo vícevrstvé systémy různých materiálů velmi rozdílná. Např. z provedených měření vyplynulo, že korelační součinitel „k“ kolísá od 0,76 do 1,70. Při projektování železničního tělesa **nelze navzájem zaměňovat hodnoty statických modulů přetvárnosti zjištěné podle metodiky ČD a metodiky DB**.
3. Při navrhování pražcového podloží na tratích v ČR je třeba respektovat požadavky na únosnost jednotlivých vrstev podle předpisu ČD S4 Železniční spodek. **Požadavky předpisu ČD S4 Železniční spodek nelze zaměňovat s požadavky předpisu DS 836 Vorschrift für Erdbauwerke užívaného u DB [6]**.
4. Při případné změně metodiky ČD pro měření statického modulu přetvárnosti (např. přijetím jednotné evropské normy) by bylo nutné výrazně přepracovat předpis ČD S4 Železniční spodek, ČSN 72 1006 Kontrola zhutnění zemin a sypanin a další navazující předpisy.

Příspěvek byl vypracován v rámci výzkumného projektu Ministerstva dopravy ČR 1F52H/052/130.

Literatura

- [1] Krejčířiková, H. – Tyc, P. – Lidmila, M. – Horníček, L. – Voříšek, P. – et al.: Metodika přechodnostních parametrů pro konstrukci železničního spodku a tratí konvenčního transevropského systému. Výzkumné zprávy projektu 1 F52H/052/130, Fakulta stavební ČVUT v Praze, Katedra železničních staveb, 2005 a 2006.
- [2] Předpis ČD S4 Železniční spodek. 1997 (účinnost od 1.7.1998).
- [3] ČSN 72 1006 Kontrola zhutnění zemin a sypanin. Český normalizační institut, 1998.
- [4] DIN 18 134 Plattendruckversuch. Deutsches Institut für Normung e. V., 1993.
- [5] ČSN 72 1002 Klasifikace zemin pro dopravní stavby. ČNI 1993.
- [6] DB DS 836 Vorschrift für Erdbauwerke

V Praze, květen 2007

Lektoroval: Ing. Danuše Marusičová
KGŘ ČD