

# Posouzení únosnosti železničního spodku z pohledu evropských norem

Hana KREJČÍŘÍKOVÁ, Leoš HORNÍČEK, Martin LIDMILA

Doc. Ing. Hana KREJČÍŘÍKOVÁ, CSc., ČVUT, Stavební fakulta, Katedra železničních staveb, 166 29 Praha 6

Ing. Leoš HORNÍČEK, ČVUT, Stavební fakulta, Katedra železničních staveb, 166 29 Praha 6

Ing. Martin LIDMILA, ČVUT, Stavební fakulta, Katedra železničních staveb, 166 29 Praha 6

## Abstrakt

Výhledově lze předpokládat unifikaci předpisů jednotlivých železničních správ v rámci koncepce Jednotné evropské železnice. V příspěvku autoři popisují metodiky měření modulu přetvárnosti u ČD, PKP, ÖBB a DB a jejich vzájemné vazby. Cílem článku je upozornit na rozdíly v metodikách měření a vyhodnocení modulu přetvárnosti pražcového podloží.

## 1 Úvod

K vyjádření vlastností nebo kvality materiálu zemní pláně, případně vrstev konstrukce pražcového podloží se běžně používá výrazu modul přetvárnosti, případně součinitel ložnosti. Ne vždy ale tyto výrazy vyjadřují při stejné číselné hodnotě stejné vlastnosti materiálu. K ověření deformačních charakteristik vrstev pražcového podloží se používá modul přetvárnosti vypočtený ze statické zatěžovací zkoušky. Jeho stanovení vychází z obecné teorie pružného poloprostoru, kterou odvodil Boussinesque. U jednotlivých železničních správ, z nichž byly vybrány ČD, PKP, ÖBB a DB, se provádějí a vyhodnocují statické zatěžovací zkoušky kruhovou deskou o stejném průměru 300 mm, ale zcela odlišným způsobem, a tím se stávají moduly přetvárnosti nekompatibilními a tedy vzájemně neporovnatelné. Tato skutečnost vede k problémům při zavádění moderních zahraničních technologií do zemních konstrukcí dopravních staveb.

## 2 Postup měření a výpočet statického modulu přetvárnosti

Každá z vybraných železničních správ stanovila ve svých normách podrobný postup pro měření a výpočet statického modulu přetvárnosti. Dále jsou stručně popsány pouze hlavní parametry důležité pro jejich vzájemné porovnání při stanovení statického modulu přetvárnosti zemní pláně.

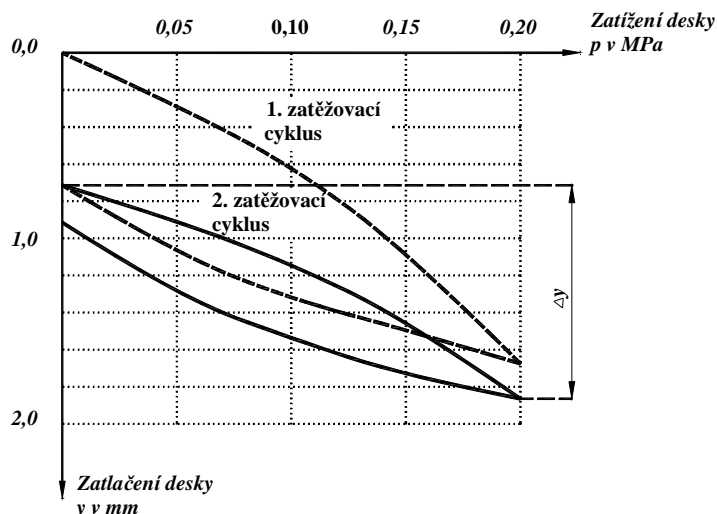
### 2.1 České dráhy (ČD)

ČD jako jediná z uvedených železničních správ rozlišuje modul přetvárnosti zemní pláně, konstrukčních vrstev pražcového podloží a modul přetvárnosti v úrovni ložné plochy pražce. Požadavky na měřicí zařízení a podrobný postup zkoušky jsou uvedeny v [1]. Průběh zkoušky se skládá ze dvou zatěžovacích a dvou odlehčovacích větví. Maximální napětí 0,20 MPa se vnáší stupňovitě po 0,05 MPa. Na další zatěžovací stupně lze přejít, je-li deformace menší než 0,02 mm za 1 min. Odlehčování probíhá obráceným postupem. Výpočet modulu přetvárnosti:

$$E_0 = 1,5 \cdot \frac{Dp \cdot r}{Dy}$$

kde:

- $E$  modul přetvárnosti (MPa),
- $\Delta p$  maximální napětí pod zatěžovací deskou (MPa),  $\Delta p = p_{0,20}$ ,
- $r$  poloměr zatěžovací desky (m),
- $\Delta y$  celkové zatlačení desky v druhé zatěžovací větvi (m),  $\Delta y = y_{0,20} - y_{0,00}$ .



Obr. 1. Schéma zatěžovací zkoušky u ČD

## 2.2 Polské dráhy (PKP)

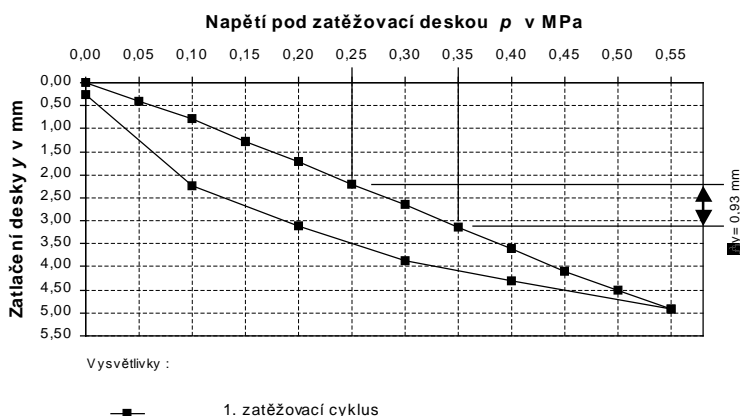
Požadavky na měřicí zařízení a podrobný postup zkoušky jsou uvedeny v [2]. Průběh zkoušky se skládá z jedné zatěžovací a jedné odlehčovací větve. Maximální napětí dosahuje hodnoty 0,55 MPa a vnáší se stupňovitě po 0,05 MPa. U každého zatěžovacího stupně se hodinky odečítají po 2 min., je-li rozdíl čtení hodinek po 2 min. menší než 0,05 mm, může se přejít na další stupeň. Odlehčování je po násobcích 0,1 MPa do 0,0 MPa – opět s 2 minutovým čekáním a po celkovém odtížení s 5 minutovým čekáním. Výpočet modulu přetvárnosti:

$$E_E = Dp \cdot \frac{d}{Dy}$$

kde:

- $E_E$  modul přetvárnosti (MPa),
- $\Delta p$  obor napětí pro výpočet v zatěžovací větvi (MPa),  $\Delta p = p_{0,35} - p_{0,25}$ ,
- $d$  průměr zatěžovací desky (m),
- $\Delta y$  odpovídající zatlačení desky (m),  $\Delta y = y_{0,35} - y_{0,25}$ .

Přibližný přepočtení pro součinitel ložnosti je uváděn pro  $E$  v rozsahu 10-200MPa pro konstrukce s dřevěnými prachy -  $C = 4 \cdot E_E^{0,70}$ , pro konstrukci s betonovými prachy -  $C = 8,85 \cdot E_E^{0,67}$  v MPa/m.



Obr. 2 Schéma zatěžovací zkoušky metodikou PKP

## 2.3 Rakouské dráhy (ÖBB)

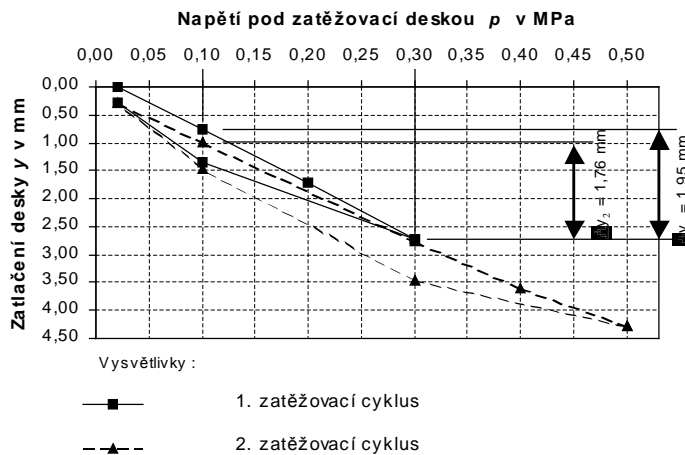
Požadavky na měřicí zařízení a podrobný postup zkoušky jsou uvedeny v [3]. Průběh zkoušky se skládá ze dvou zatěžovacích a dvou odlehčovacích větví s různým maximálním

napětím pod zatěžovací deskou 0,30 MPa, resp. 0,50 MPa (viz Obr. 3). U každého zatěžovacího stupně se hodinky odečítají po 2 minutách. Zatěžování i odlehčování má specifický průběh (viz Obr. 3). Modul přetvárnosti se počítá z první i druhé zatěžovací větve a jejich vzájemný poměr vypovídá o míře ztuhnutí. Výpočet modulu přetvárnosti:

$$E_v = 1,5 \cdot \frac{Dp \cdot r}{Dy}$$

kde:

$E_v$  modul přetvárnosti (MPa),  
 $d$  průměr zatěžovací desky (m),  
 $\Delta p$  obor napětí pro výpočet v zatěžovací větvi (MPa),  $\Delta p = p_{0,30} - p_{0,10}$ ,  
 $\Delta y$  odpovídající zatlačení desky (m),  $\Delta y = y_{0,30} - y_{0,10}$ .



Obr. 3 Schéma zatěžovací zkoušky metodikou ÖBB

## 2.4 Německé dráhy (DB)

Způsob určení modulu přetvárnosti se liší u různých železničních správ. U DB AG (německé dráhy) se provádí zatěžovací zkouška podle DIN 18 134.

Plán železničního tělesa je zatěžována kruhovou deskou o průměru  $2 \cdot r = 300$  mm. Zatížení je realizováno stupňovitě do maximálního napětí  $s_{max} = 0,5$  MPa. Zkouška probíhá ve dvou zatěžovacích cyklech (Obr. 2.2). Při prvním zatěžovacím cyklu je směrodatný rozsah pracovní křivky pláně pro zatížení 0,3 a  $0,7 \cdot s_{max}$ , tedy pro  $Ds = 0,2$  MPa. Z těchto hodnot se určí  $Ds_1$  a tedy první hodnota označená  $E_{n1}$ :

$$E_{v1} = 1,5 \cdot \frac{Ds \cdot r}{Ds_1}$$

Druhý zatěžovací cyklus je pouze do zatěžovacího napětí  $0,9 \cdot s_{max}$ . Směrodatný rozsah křivky je opět 0,3 a  $0,7 \cdot s_{max}$  pracovní křivky pláně při druhém zatěžovacím cyklu, tedy pro  $Ds = 0,2$  MPa. Z těchto hodnot se určí  $Ds_2$  a tedy druhá hodnota označená  $E_{n2}$ :

$$E_{v2} = 1,5 \cdot \frac{Ds \cdot r}{Ds_2}$$

kde:

$E_{vi}$  modul přetvárnosti (MPa),  
 $r$  poloměr zatěžovací desky (m),  
 $\Delta s$  obor napětí pro výpočet (MPa),  $\Delta s = s_{0,35} - s_{0,15}$ ,  
 $\Delta s$  odpovídající zatlačení desky (m),  $\Delta s = s_{0,35} - s_{0,15}$ .

Z poměru  $E_{n2} / E_{n1}$  se určí stupeň ztuhnutí zeminy. Součinitel ložnosti stanovený ze zatěžovací zkoušky s kruhovou deskou o průměru 300 mm se vypočte ze vztahu:

$$C_{300} = \frac{E_v}{0,5 \cdot 1,5 \cdot r}$$

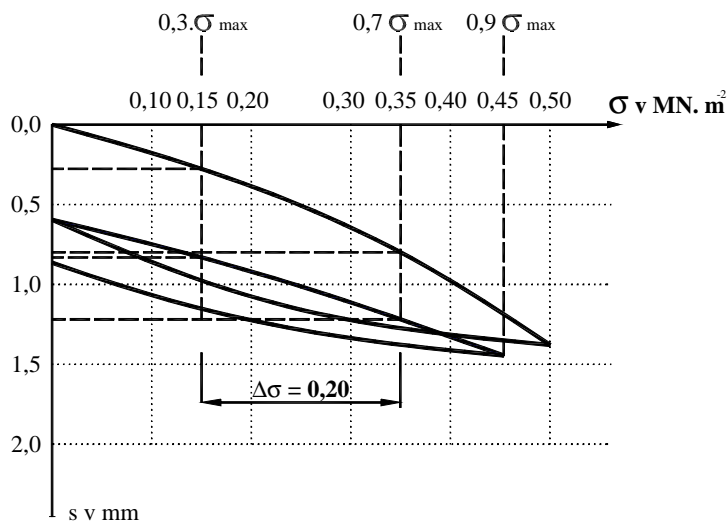
### 3 Popis laboratorních měření statických modulů přetvárnosti

Pro srovnání byla použita každá z uvedených metodik (viz kap. 2) pro měření statického modulu přetvárnosti pryžových desek ve zkušebním boxu o rozměrech 2×1 m. Měření bylo provedeno v rámci řešení grantového projektu GA103/00/0200. Modelování vrstvy pražcového podloží pomocí dvou na sobě uložených pryžových desek o celkové tloušťce 24 mm bylo zvoleno z důvodu zajištění stejných vstupních podmínek pro měření každé z metodik. Vrstvou pryže se eliminoval vliv vlhkosti při užití zeminy, a proto je možné jednotlivé moduly vzájemně porovnat. Výsledky modulů přetvárnosti jsou shrnuty v Tab. 1.

### 4 Závěr

Z výsledku laboratorních zkoušek (viz tab. 1) vyplývá, že modul přetvárnosti, stanovený na základě statické zatěžovací zkoušky kruhovou deskou o průměru 300 mm, vyšel podle metodiky PKP v porovnání s modulem přetvárnosti  $E_0$  podle metodiky ČD větší o 40,3 %, modul přetvárnosti stanovený z druhé zatěžovací větve podle metodiky DB vyšel větší o 18,6 % a podle metodiky ÖBB větší o 10,8 %. Ze srovnávacích měření statických modulů přetvárnosti vyplývá, že jeho hodnota je závislá na tvaru zatěžovací křivky. Při zatěžování pryžových desek byl zjištěn zhruba lineární vztah mezi zatížením a zatlačením, který např. u jemnozrnných zemín s různou vlhkostí a různou objemovou hmotností nebývá a rozdíl ve výsledcích by byl mnohem patrnější.

Z výše uvedených výsledků je možno konstatovat, že nelze u ČD při navrhování pražcového podloží používat zahraničních modulů přetvárnosti bez předchozího stanovení vzájemných vztahů pro konkrétní druh a stav zeminy nebo materiálu konstrukční vrstvy.



Obr. 4. Schéma zatěžovací zkoušky u DB

Tab. 1: Základní parametry a výsledky zkoušek podle sledovaných metodik měření

Základní parametry zkoušky	Metodika podle			
	ČD <sup>1)</sup>	PKP	ÖBB	DB
označení modulu přetvárnosti	$E_0$	$E_E$	$E_v$	$E_v$
průměr zatěžovací desky v mm	300	300	300	300
maximální napětí pod zatěžovací deskou v MPa	0,20	0,55	0,50	0,50
obor napětí pro výpočet v MPa	0 - 0,20	0,25 0,35	-0,10 0,30	-0,15 0,35
počet zatěžovacích větví	2	1	2	2
počet odlehčovacích větví	2	1	2	1
modul přetvárnosti 1. zatěžovací větve v MPa	-	32,4	23,1	25,4
modul přetvárnosti 2. zatěžovací větve v MPa	23,1	-	25,6	27,4
poměr modulu přetvárnosti 1. zatěžovací větve k $E_0$ v %	-	140,3	100,0	110,0
poměr modulu přetvárnosti 2. zatěžovací větve k $E_0$ v %	100,0	-	110,8	118,6

1) Statická zatěžovací zkouška na zemní pláni a konstrukčních vrstvách pražcového podloží.

#### Literatura

- [1] ČD S4 Železniční spodek, 1998.
- [2] BN-64/8931-02 Oznaczenie modułu odształcenia nawierzchni podatnych i podłoża przez obciążenie płytą, 1984.
- [3] ÖNORM B 4417 Lastplattenversuch, 2000.
- [4] DIN 18 134 Plattendruckversuch, 1993.
- [5] ČSN 72 1006 Kontrola zhutnění zemin a sypanin, 1998.
- [6] TYC, P. Posouzení požadavků ČD a DB AG na únosnost pražcového podloží, NŽT, 1996, roč. 4, č. 2, s. 48-51.
- [7] GÖBEL, C., LIEBERENZ, K., RICHTER, F. Der Eisenbahnunterbau, Eisenbahn-Fachverlag Mainz, 1996.