

Posouzení požadavků ČD a DB AG na únosnost pražcového podloží

Úvod

Stálost geometrické plohy koleje s klasickou konstrukcí železničního svršku vyžaduje trvale únosnou konstrukci pražcového podloží. U ČD se únosnost konstrukčních vrstev pražcového podloží od roku 1971 vyjadřuje hodnotou modulu přetvoření zjištěného statickou zatěžovací zkouškou tuhé kruhové desky o průměru 0,3 m [1]. Protože únosnost konstrukčních vrstev pražcového podloží u DB AG je rovněž vyjadřována modulem přetvoření (deformace), který se také

zjišťuje statickou zatěžovací zkouškou tuhé kruhové desky o průměru 0,3 m, bývají často požadavky obou železničních správ porovnávány a požadavky na únosnost pražcového podloží u ČD označovány za nízké.

Požadavky na únosnost pražcového podloží

Požadavky na únosnost pražcového podloží u ČD jsou uvedeny v literatuře [2] a [3], požadavky na únosnost pražcového podloží u DB AG v lit. [4]. Souhrn požadavků je uveden v tab. 1 a obr. 1. Na obr. 1a jsou znázorněny požadavky

| Železniční správa | Druh kolejí (trati) | Únosnost v MPa | | | |
|-------------------|--|------------------------------|----------------------------|-----------------------|------------------------------|
| | | na pláni železničního spodku | na povrchu ochranné vrstvy | na zemní pláni | v úrovni ložné plochy pražce |
| ČD | koleje 1. až 3. řádu | 40 ²⁾ | — | 15 ³⁾ | 70 - 80 ³⁾ |
| DBAG | stávající tratě pro $V > 160 \text{ km.h}^{-1}$ | 80 | — | 45 | — |
| | stávající tratě pro $V \leq 160 \text{ km.h}^{-1}$ | 50 | — | 20 | — |
| | průběžné hlavní koleje na novostavbách hl. tratí | 120 | 80 | 45 - 60 ¹⁾ | — |
| | průběžné hlavní koleje na novostavbách vedl. tratí | 100 | 60 | 45 - 60 ¹⁾ | — |
| | ostatní koleje na novostavbách | 80 | 45 | 45 | — |

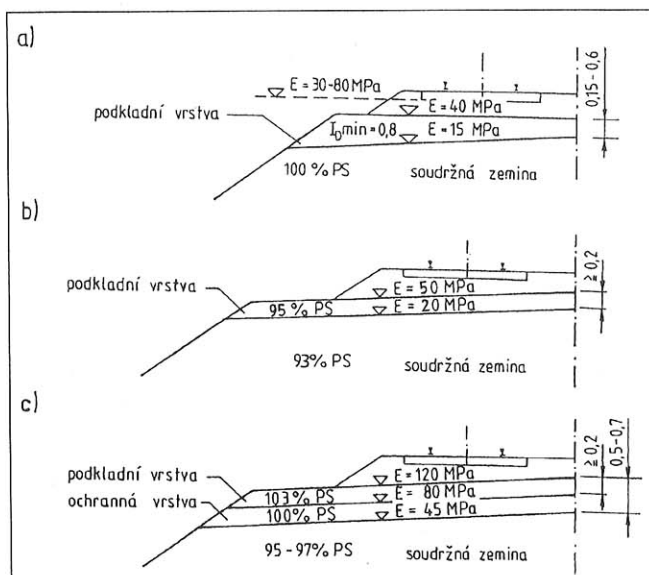
Tab. 1

Poznámka: 1) pro nesoudržné materiály

2) podle přílohy 6 předpisu ČSD S4 Železniční spodek [2]

3) podle Pokynů pro navrhování pražcového podloží podle modulu přetvoření [3]

na únosnost konstrukce pražcového podloží - typ 2 s podkladní vrstvou u ČD, na obr. 1b požadavky na únosnost konstrukce pražcového podloží s podkladní vrstvou na stávajících tratích DB AG a na obr. 1c požadavky na únosnost konstrukce pražcového podloží na novostavbách u DB AG, kdy se pod podkladní vrstvou zřizuje ještě ochranná vrstva proti promrzání. Pro posouzení požadavků na únosnost pražcového podloží je možné požadavky ČD porovnat s požadavky DB AG na stávajících tratích pojížděných rychlostí $V \leq 160 \text{ km.h}^{-1}$. Protože u DB AG není definována únosnost pražcového podloží jako vícevrstvého systému v úrovni ložné plochy pražce, lze porovnávat pouze únosnost pláň železničního spodku (u ČD 40 MPa, u DB AG 50 MPa) a únosnost zemní pláň (u ČD min. 15 MPa, u DB AG min. 20 MPa). V obou případech jsou požadované hodnoty u ČD nižší než hodnoty požadované u DB AG.



Obr. 1 Požadavky na únosnost konstrukce pražcového podloží a) u ČD, b) u DB AG na stávajících tratích pro $V \leq 160 \text{ km.h}^{-1}$, c) u DB AG na hlavních kolejích na novostavbách

Problematika měření a vyhodnocení statické zatěžovací zkoušky

Pro stanovení modulu přetvoření vycházejí obě železniční správy z obecné rovnice zatlačení zatížené tuhé kruhové desky uložené na pružném poloprostoru, kterou odvodil Boussinesque [5]. Velikost zatlačení je dána vztahem

$$y = \frac{2 \cdot r \cdot p}{E} (1 - n^2) \quad (\text{m}) \quad (1)$$

kde r je poloměr zatěžovací desky v m

p - rovnoměrné zatížení desky v MPa

n - Poissonova konstanta

E - modul přetvoření (přetvárnosti, deformace) v MPa.

Pro $n = 0,5$ nabývá rovnice (1) tvar

$$E = \frac{1,5 \cdot p \cdot r}{y} \quad (\text{MPa}) \quad (2)$$

Podle metodiky užívané u ČD, která je popsána v příloze 20 v lit. [2], se do rovnice (2) dosazuje za y hodnota celkového zatlačení z druhého zatěžovacího pokusu (obr. 2). Zatížení zatěžovací desky se volí v úrovni ložné plochy pražce $p = 0,4 \text{ MPa}$ a pro konstrukční vrstvy pražcového podloží a zemní pláň $p = 0,2 \text{ MPa}$ (pro méně únosné zeminy $p = 0,1 \text{ MPa}$). Příklad grafického záznamu průběhu zatěžovací zkoušky je na obr. 2.

U DB AG je rovnice (2) podle lit. [6] upravena na tvar

$$E_{V2} = 0,75 \cdot D \frac{\Delta \sigma_0}{\Delta s} \quad (\text{MPa}) \quad (3)$$

kde D je průměr zatěžovací desky v m

$$\Delta\sigma_0 = \sigma_{02} - \sigma_{01} \text{ v MPa}$$

$$\sigma_{02} = 0,7 p \text{ v MPa}$$

$$\sigma_{01} = 0,3 p \text{ v MPa}$$

p = měrné zatížení desky v MPa

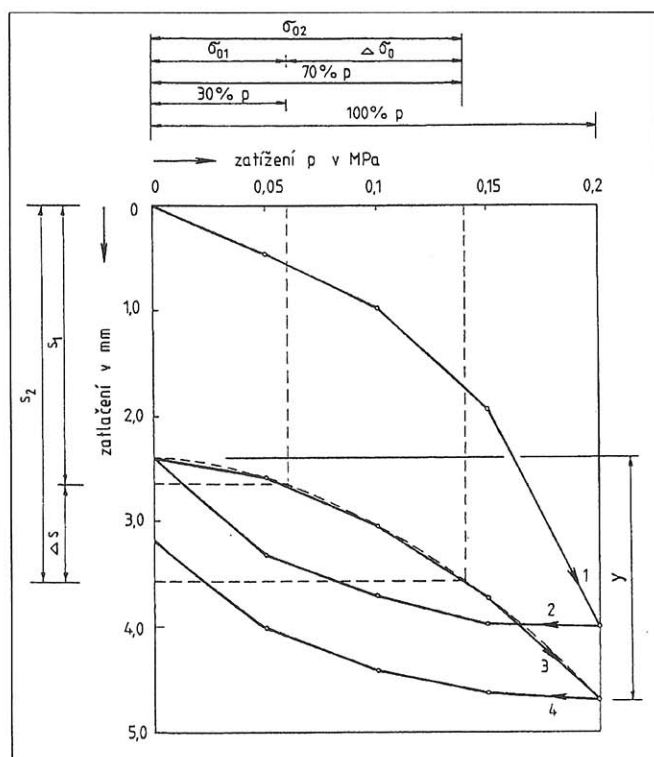
$$\Delta s = s_2 - s_1 \text{ v m}$$

s_2 = zatlačení desky v m při druhém zatěžovacím pokusu při zatížení $0,7p$

s_1 = zatlačení desky v m při druhém zatěžovacím pokusu při zatížení $0,3p$

E_{v2} je označován jako modul deformace z druhého zatěžovacího pokusu.

U DB AG se měrné zatížení desky volí $p = 0,5$ MPa. Statická zatěžovací zkouška se ukončuje, je-li zatlačení desky větší jak 5 mm. Příklad grafického záznamu průběhu zatěžovací zkoušky je na obr. 3. Hlavní parametry statické zatěžovací zkoušky užívané k vyčíslení modulu přetvoření u ČD a DB AG jsou uvedeny v tab. 2.



Obr. 2 Příklad grafického průběhu statické zatěžovací zkoušky k určení modulu přetvoření u ČD

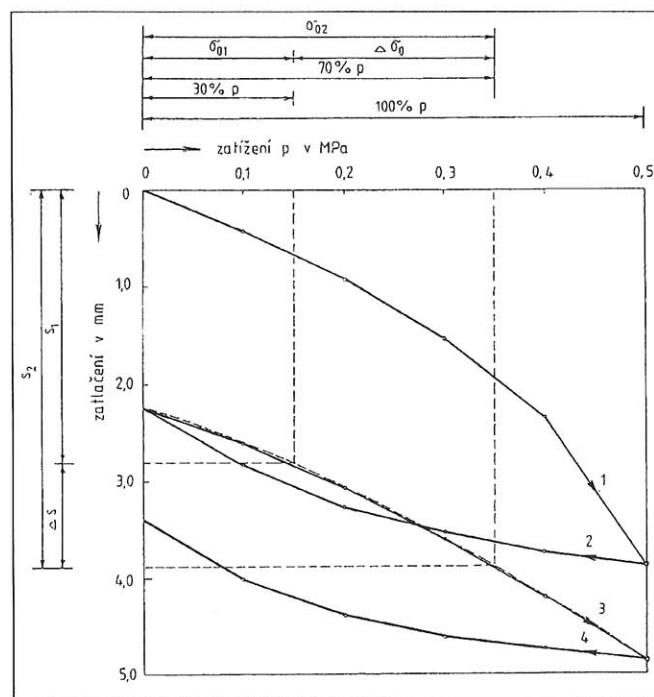
Z porovnání způsobu provedení a vyhodnocení statické zatěžovací zkoušky u ČD a DB AG vyplývá, že způsob provedení a výpočet modulu přetvoření je odlišný. Pro porovnání způsobu vyčíslení podle metodiky ČD a DB AG byl proveden výpočet modulů přetvoření z náhodně vybraných patnácti zatěžovacích zkoušek provedených při geotechnickém průzkumu pražcového podloží v koleji č. 1 a 2 v traťovém úseku Modřice - Horní Heršpice, kde zemní pláň tvořily hlíny, písčité hlíny a šterky s příměsí hlinitého písku. Z provedeného srovnání vyplývá, že moduly přetvoření vyčíslené podle metodiky DB jsou vesměs větší (min. o +8,9 %, max. o +43,6 %, aritmetický průměr rozdílů je 18,8 %, střední kvadratická odchylka 11,42 %).

Z porovnání vyčíslených modulů přetvoření dále vyplynulo, že není přímá závislost velikosti rozdílů vypočtených modulů na absolutní hodnotě modulů. Velikost rozdílů vypočtených modulů přetvoření podle metodiky užívané u ČD a DB AG je dána způsobem vyhodnocení deformační křivky. Zatímco u ČD se modul přetvoření vyjadřuje jako sečnový modul pro nulové a maximální zatížení, u DB AG se modul přetvoření vyjadřuje jako sečnový pro určitý interval zatížení. Vypočtený modul přetvoření je tedy závislý na průběhu strmosti deformační křivky.

Další rozdíl v určení modulu přetvoření podle metodiky užívané u ČD a DB AG vyplývá z toho, že u DB AG se užívá měrné zatížení desky 1,5x větší jak u ČD a tedy zatěžovací křivka ve stejných podmínkách by měla odlišný průběh.

Návrh tloušťky podkladní vrstvy

U ČD se užívá návrhová metoda pro určení konstrukce pražcového podloží podle modulu přetvoření vycházející z teorie náhradní únosnosti vícevrstvého systému zatíženého tuhou kruhovou deskou. Tato návrhová metoda byla vypracována v roce 1969 a vydána v předběžných směrnících pro navrhování konstrukce pražcového podloží podle modulu přetvoření v roce 1971 [1]. Uvedená metoda byla na základě zkušeností z praktického používání zahrnuta do prvního vydání předpisu ČSD S4 Železniční spodek, schváleného v roce 1976 [7]. V tomto vydání byla požadována minimální únosnost zemní pláň 10 MPa. V novelizovaném vydání předpisu ČSD S4



Obr. 3 Příklad grafického průběhu statické zatěžovací zkoušky k určení modulu přetvoření u DB AG

Železniční spodek, schváleném v roce 1985, byl požadavek minimální únosnosti zvýšen na 15 MPa [2].

Metodika navrhování podkladní vrstvy u DB AG užívá návrhový graf, u kterého nejsou známy teoretické základy, podle kterých byl zkonstruován [4]. K určení tloušťky podkladní vrstvy se vychází z modulu přetvoření zemní pláň a požadované únosnosti na povrchu podkladní vrstvy (obr. 4). Nevýhodou využití návrhového grafu je, že není zohledněna redukce

naměřeného modulu přetvoření s ohledem na stav zeminy zemní pláně při statické zatěžovací zkoušce.

Pro porovnání vlivu únosnosti zemní pláně na tloušťku podkladní vrstvy ze štěrkopísku byl proveden podle lit. [3] výpočet tloušťky podkladní vrstvy ze štěrkopísku pro min. hodnotu modulu přetvoření zemní pláně $E_0 = 15$ MPa, resp.

| Parametr | Zkouška u DB | Zkouška u ČD |
|-----------------------------------|--|--|
| Průměr kruhové zatěžové desky | 0,3 m | 0,3 m |
| maximální zatížení zatěžové desky | 0,5 MPa | 0,2 MPa |
| výpočet modulu | $E_0 = \frac{1,5 \cdot \Delta\sigma_0 \cdot 0,15}{\Delta s}$ | $E_0 = \frac{1,5 \cdot 0,2 \cdot 0,15}{y}$ |

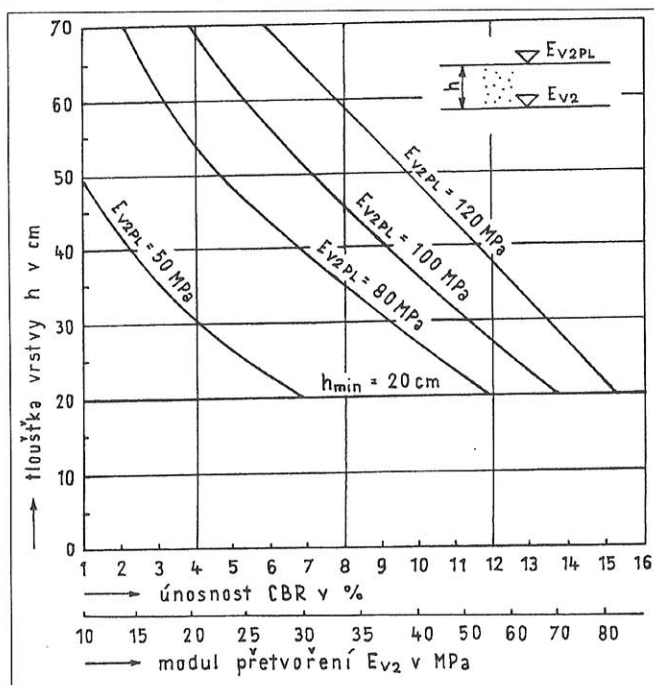
Tab. 2 Parametry statické zatěžovací zkoušky ke zjištění modulu deformace E_{v2} a modulu přetvoření E_0

20 MPa při požadované hodnotě modulu přetvoření pláně železničního spodku $E_{v2PL} = 40$ MPa.

Z provedeného výpočtu podle metodiky užívané u ČD vyplývá, že tloušťka podkladní vrstvy ze štěrkopísku pro $E_0 = 15$ MPa je $h = 50$ cm a pro $E_0 = 20$ MPa je $h = 40$ cm.

Podle metodiky užívané u DB AG je pro požadovaný modul přetvoření pláně železničního spodku $E_{v2PL} = 50$ MPa a pro $E_{v2} = 15$ MPa z obr. 4 $h = 40$ cm a pro $E_{v2} = 20$ MPa je $h = 30$ cm.

Z porovnání obou metodik navrhování vyplývá, že pro stejné hodnoty modulu přetvoření zemní pláně vycházejí u ČD větší tloušťky podkladní vrstvy, při nižším požadavku na únosnost pláně železničního spodku.



Obr. 4 Návrhový graf k určení podkladní vrstvy užívaný u DB AG (E_{v2} = modul přetvoření zemní pláně, E_{v2PL} = modul přetvoření pláně železničního spodku, h = tloušťka podkladní vrstvy)

Závěr

Z provedeného posouzení požadavků na únosnost pražcového podloží a metodik navrhování konstrukčních vrstev pražcového podloží u ČD a DB AG vyplývá, že:

1) vyjádření únosnosti modulem přetvoření podle metodiky užívané u ČD a DB AG je odlišné (moduly přetvoření vypočtené podle metodiky DB AG jsou vyšší než moduly přetvoření vypočtené podle metodiky ČD),

2) s ohledem na odlišnost vypočtených modulů přetvoření z výsledků statické zatěžovací zkoušky nelze požadavky na únosnost konstrukčních vrstev pražcového podloží mechanicky převést na podmínky ČD,

3) tloušťky konstrukčních vrstev stanovené podle návrhové metody ČD jsou větší, než tloušťky určené z návrhového grafu užívaného u DB AG i při nižším požadavku na únosnost pláně železničního spodku,

4) u ČD je třeba nově definovat požadavky na únosnost zemní pláně a pláně železničního spodku podle kategorie trati, provozního zatížení kolejí, rychlosti jízdy, případně i typu zeminy v zemní pláni.

Při případném zvyšování požadavku na hodnotu minimálního modulu přetvoření u ČD je třeba uvážit, že v traťových úsecích, kde je zemní pláň tvořena soudržnými zeminami, by bylo třeba buď nevhodné zeminy ze zemní pláně odstranit nebo jejich únosnost zvýšit stabilizací. Jako další možnost se jeví použití výztužných geotextilií, geomřížek a geomembrán v konstrukci pražcového podloží i při nižší únosnosti zemní pláně, než je únosnost minimální. Pro široké užití geosyntetických materiálů v konstrukci pražcového podloží by bylo třeba vypracovat technické podklady pro jejich aplikaci v podmínkách ČD.

Lektoroval: Ing. Josef Mynář

Literatura:

- [1] Předběžné směrnice pro navrhování konstrukce pražcového podloží podle modulu přetvoření, FMD č.j. 34 638/71, účinnost od 1. 6. 1971
- [2] ČSD S4 Železniční spodek, 1988
- [3] Pokyny pro navrhování konstrukce pražcového podloží podle modulu přetvoření, ÚŘ ČSD, č.j. 60.918/92-0520 z 22. 12. 1992
- [4] DB DS 836 Vorschrift für Erdbauwerke (VE), DB 1985
- [5] Kézdi, A.: Bodenmechanik, 2. díl, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1964
- [6] DIN 18 134 Plattendruckversuch, 1993
- [7] ČSD S4 Železniční spodek, 1979

Posouzení požadavků ČD a DB AG na únosnost pražcového podloží

S cílem posoudit požadavky na únosnost pražcového podloží u ČD a DB AG jsou porovnány způsoby měření a vyhodnocování statické zatěžovací zkoušky k určení modulu přetvoření a porovnána metodika navrhování konstrukčních vrstev pražcového podloží u ČD a DB AG.

Anforderungen der ČD und DB AG an Tragfähigkeit der Schwellenunterlage

Mit dem Ziel die Anforderungen an Tragfähigkeit des