

Konstrukční vrstvy tělesa železničního spodku modernizovaných tratí

Klíčová slova: *modernizace železničních tratí, železniční spodek, pražcové podloží, těleso železničního spodku, konstrukční vrstvy tělesa železničního spodku, únosnost, modul přetvárnosti.*

1. Úvod

Konstrukční vrstvy tělesa železničního spodku (dále konstrukční vrstvy) jsou významnou součástí pražcového podloží, které s kolejovým roštem tvoří železniční těleso, představující jízdní dráhu pro železniční vozidla.

Potřeba zvyšování výkonnosti železniční dopravy a konkurence s dopravou silniční vede k nárůstu rychlosti železničních vozidel a klade nové kvalitativní požadavky na jízdní dráhu.

Jednu z největších investičních akcí České republiky v dopravní infrastruktuře a nejrozsáhlejší investiční akci ČD představuje modernizace vybraných železničních tratí, tzv. koridorů, zahájená v roce 1994. Mezinárodními dohodami byly stanoveny základní tranzitní železniční tahy celoevropského významu, z nichž čtyři procházejí Českou republikou v celkové délce cca 1400 km.

Modernizace vybraných železničních tratí pro kvalitativně vyšší požadavky na rychlost, zatížení, intenzitu provozu a cestovní pohodlí zahrnuje kromě výměny trakčního vedení, modernizaci zabezpečovacího zařízení, výměnu železničního svršku, aj., zejména zásadní a stavebně rozsáhlou úpravu železničního spodku, včetně zřizování konstrukčních vrstev s použitím nových materiálů a technologií.

Ing. Mojmír Nejezchleb, CSc., nar. 1935, absolvent Stavební fakulty VUT Brno. Vědecká hodnost získána v r. 1975. V odborné činnosti zaměřen především na geotechnické a konstrukční otázky pozemních komunikací, letišť a železnic. Od roku 1991 zaměstnán ve VÚŽ jako vědecký pracovník, specialista na problematiku železničního spodku.

V současné době je ve výstavbě I. koridor (st. hranice s Německem – Děčín – Praha - Česká Třebová – Brno – Břeclav, st. hranice s Rakouskem a Břeclav, st. hranice se Slovenskem) a II. koridor (Břeclav – Přerov - Petrovice u Karviné, st. hranice s Polskem a spojovací trať Česká Třebová – Olomouc - Přerov).

Ve stavbě I. a II. koridoru dochází v porovnání s původním časovým plánem ke zpoždění, vzniklému především z problémů včasného získání finančních prostředků. Je možno předpokládat, že I. koridor bude dokončen do roku 2002 (původně 2000) a II. koridor do roku 2005 (původně 2003).

2. Kolejové lože a pevná jízdní dráha

Konstrukční vrstvy modernizovaných tratí ČD jsou součástí klasické skladby pražcového podloží s kolejovým ložem. Tato osvědčená konstrukce pražcového podloží je využívána u zahraničních železničních správ běžně pro rychlosti do 160 až 200 km.h⁻¹, případně i vyšší, a je základním konstrukčním řešením i pro vybrané tratě ČD - koridory.

Při rychlostech nad 200 km.h⁻¹ dávají některé železnice (např. DB AG) přednost pevné (bezšterkové) jízdní dráze, která díky rovnoměrné tuhosti vytváří předpoklady pro zachování stálých deformačních charakteristik potřebných pro stabilitu koleje při vysokých rychlostech. I pevná jízdní dráha má své konstrukční vrstvy, které vzhledem k překrytí tuhounepropustnou deskou jsou v porovnání s konstrukčními vrstvami pod kolejovým ložem vystaveny odlišným účinkům zatížení a povětrnosti.

3. Úloha konstrukčních vrstev

Konstrukční vrstvy představují vrstvy materiálů mezi zemní plání (povrchem zemního tělesa) a plání tělesa železničního spodku (bázi kolejového lože). Jejich úlohou je zvýšení únosnosti tělesa železničního spodku (přenáší a snižují účinky zatížení na zemní pláň) a zlepšení vodního a teplotního režimu železničního spodku (zajišťují odtok vody do odvodňovacích zařízení a chrání zemní pláň před nepříznivými účinky mrazu).

Statické a dynamické účinky zatížení železničními vozidly vyvolávají v pražcovém podloží napětí spolu s deformacemi, jejichž druh a velikost závisí především na únosnosti konstrukce pražcového podloží. Konstrukce pražcového podloží, navržená pro konkrétní podmínky, musí mimo jiné zajistit, aby vyvolané deformace působily v pružné oblasti závislosti zatížení - zatlačení, s vyloučením vzniku deformací trvalého charakteru, přímo ovlivňujících jízdní dráhu.

Trvale dobrý stav železničního spodku a pražcového podloží, zejména dostatečná únosnost a funkční odvodnění, je základním předpokladem pro zajištění stálosti geometrických parametrů koleje (GPK), jako hlavního kritéria posuzování kvality jízdní dráhy, především na modernizovaných tratích.

Na stavu a chování železničního spodku se rozhodujícím způsobem podílí konstrukční vrstvy, které jsou zejména pro splnění požadavků únosnosti v konstrukci pražcového podloží modernizovaných tratí nezbytné.

4. Únosnost tělesa železničního spodku

Požadavky na únosnost tělesa železničního spodku modernizovaných tratí ČD, navrhovaných převážně na rychlost do 160 km.h^{-1} , byly stanoveny předpisem ČD S4 [1] na základě dlouholetých zkušeností a výsledků četných zkoušek a měření na stávajících tratích ČD, s orientačním využitím parametrů únosnosti srovnatelných tratí zahraničních železnic, např. DB AG [2] a SBB [3].

Požadované minimální únosnosti jsou vyjádřeny statickým modulem přetvárnosti na zemní pláni E_0 a na pláni tělesa železničního spodku E_{p1} , zjišťovaným metodikou podle předpisu ČD S4.

Zemní pláň je výchozí úroveň pro návrh konstrukce pražcového podloží a její dostatečná únosnost vytváří předpoklad pro dosažení požadované únosnosti na pláni tělesa železničního spodku, která je pro posouzení únosnosti konstrukce pražcového podloží rozhodující.

Modul přetvárnosti na pláni tělesa železničního spodku vyjadřuje únosnost vícevrstvého systému a je závislý na modulu přetvárnosti zemní pláň, modulech přetvárnosti materiálů konstrukčních vrstev a jejich tloušťkách, případně může být příznivě ovlivněn vloženými výztužnými geosyntetiky.

Pro hlavní koleje modernizovaných tratí ČD jsou požadovány minimální hodnoty modulu přetvárnosti, uvedené v tabulce 1.

Tabulka 1 - Požadované minimální hodnoty modulu přetvárnosti zemní pláně E_o a pláně tělesa železničního spodku E_{pl} pro modernizované tratě ČD

Hlavní koleje na trati	Zemní pláň E_o [MPa]	Pláň tělesa železničního spodku E_{pl} [MPa]
Celostátní, pro rychlost 120 až 160 km.h ⁻¹	30	50
Celostátní koridorové, pro rychlost < 120 km.h ⁻¹	20	50

Pro porovnání únosností požadovaných na modernizovaných tratích ČD jsou v tabulce 2 uvedeny požadavky na únosnost vybraných zahraničními tratí, které jsou svými parametry modernizovaným tratím ČD podobné.

Tabulka 2 - Požadované minimální hodnoty modulu přetvárnosti zemní pláně a pláně (železničního spodku) pro vybrané tratě DB AG [2] a SBB [3]

Druh tratě	Modul přetvárnosti (MPa) na	
	zemní pláni	pláni (železničního spodku)
DB AG [2], Stávající tratě: - rychlost $v > 160$ km.h ⁻¹ - rychlost $v \leq 160$ km.h ⁻¹	45 20	80 45
SBB [3], 1. skupina (hlavní koleje) 2. skupina (vedlejší koleje)	15 15	70 50

Moduly přetvárnosti používané u DB AG a SBB se určují z druhé větve statické zatěžovací zkoušky deskou o průměru 0,30 m, stejně jako moduly přetvárnosti používané u ČD (tabulka 1). Odlišnost spočívá ve velikosti aplikovaného měrného tlaku na desku při provádění zkoušky a zejména v rozdílné metodice vyhodnocení zkoušky. Vzájemné porovnání uvedených hodnot modulů přetvárnosti, vyjadřujících požadavky na únosnost, může být proto pouze orientační [4].

5. Zemní pláň

5.1 Stav zemní pláň

Modernizace tratí ČD (koridorů) se provádí v trasách stávajících vybraných tratí, vedoucích často územím s nepříznivými geologickými podmínkami, charakteristickými málo únosnými zeminami a vysokou hladinou podzemní vody.

Nedostatečná údržba těchto tratí, způsobená trvalým nedostatkem finančních prostředků, nepříznivě ovlivnila celkový stav pražcového podloží. Např. snížená a nedostatečná funkce odvodňovacích zařízení zvyšuje vlhkost zemin zemní pláň a působením mrazu a dynamiky provozu výrazně zhoršuje jejich fyzikální a mechanické vlastnosti, zejména únosnost.

Provedené geotechnické průzkumy a vlastní realizace staveb I. a II. koridoru prokázaly, že místa s nedostatečnou únosností zemní pláň převládají a požadované hodnoty modulu přetvárnosti na zemní pláni podle tabulky 1 jsou na odkryté přirozené zemní pláni dosahovány spíše výjimečně.

Prvořadým úkolem je proto úprava zemní pláň pro zvýšení její únosnosti a dále zřízení konstrukčních vrstev, zajišťujících dosažení požadované únosnosti na pláni tělesa železničního spodku, která je pro celkovou únosnost tělesa železničního spodku rozhodující.

5.2 Úpravy zemní pláň

Nejčastější a nejběžnější úpravy zemní pláň prováděné v rámci modernizace jsou hutnění, mechanická stabilizace a stabilizace pojivy.

Zhutnění zemní pláň vhodnými hutnícími prostředky na požadovanou míru zhutnění, danou předpisem ČD S4 pro jednotlivé druhy zemin, představuje nejjednodušší způsob úpravy zemní pláň.

Mechanická stabilizace spočívá ve zlepšení jemnozrnné zeminy zemní pláň doplněním a smísením se zeminou nesoudržnou (např. ekologicky nezávadným výziskem z kolejového lože), s následným zhutněním.

Stabilizací se rozumí vmísení pojiva (např. vápna, cementu apod.) do vhodné zeminy, která tak získá požadovanou pevnost. Při stabilizaci se využívají místní materiály, šetří se kvalitní štěrkopísek a štěrkodeř a minimalizují se dopravní náklady. Stabilizace zemin, zejména vápnem, má u nás dlouholetou tradici a bohaté zkušenosti silničního stavitelství s touto technologií jsou přímo využitelné při modernizaci tratí.

Vhodně navržené a správně technologicky provedené stabilizace zemin vápnem dosahují na zemní pláni modernizovaných tratí únosnost běžně přes 50 MPa, s dlouhodobou životností, potvrzenou laboratorními zkouškami a stavem dříve provedených stabilizací.

Základním předpokladem uplatnění technologie stabilizace je vhodnost zeminy pro stabilizaci navrženým pojivem, která musí být jednoznačně stanovena geotechnickým průzkumem a příslušnými laboratorními zkouškami podle ČSN 73 6125. Geotechnický průzkum musí dále vymezit úsek pro stabilizaci (kvazihomogenní blok), který by měl být dostatečně dlouhý (alespoň několik stovek m), aby stabilizace byla nejen technicky správná, ale i ekonomicky efektivní.

Provádění stabilizací je vázáno na speciální výkonné strojní vybavení - zemní frézy, schopné promísit pojivo se zeminou do hloubky 0,20 až 0,50 m, které nejsou v železničním stavitelství běžné.

Na některých úsecích staveb I. a II. koridoru se projevil nedostatečný rozsah provedeného geotechnického průzkumu, na jehož základě byla projektem navržena stabilizace zemní pláně. Při vlastní realizaci stavby se však ukázalo, že doporučení geotechnického průzkumu neodpovídají skutečnosti a navržené konstrukční uspořádání bylo nutno během stavby měnit.

Uvedené skutečnosti, spolu s citlivostí stabilizace na počasí v době provádění, odrazují některé zhotovitele od technologie stabilizací, kteří potom usilují o jiná technická řešení pro zvýšení únosnosti.

V této souvislosti je vhodné připomenout, že např. u DB AG jsou pro zvyšování únosnosti zemní pláně používány vápenné stabilizace ve velkém rozsahu a zejména při modernizaci železničních tratí na území bývalé NDR jsou díky vhodným geologickým podmínkám převládající technologií.

Časově i ekonomicky náročným způsobem zvýšení únosnosti zemní pláně je **odtěžení** málo vhodné neúnosné zeminy pod zemní pláni a její **náhrada** zeminou vhodnou. Uvedené řešení bylo při modernizaci několikrát použito, zejména v případech, kdy nízká únosnost zemní pláně neumožnila provedení stabilizace. V průběhu další přestavby tratí by mělo být toto řešení použito spíše výjimečně.

Pro dosažení požadované únosnosti na pláni tělesa železničního spodku modernizovaných tratí jsou ve značném rozsahu používána **výztužná geosyntetika**

(geotextilie, geomřížky, výztužné geokompozity, příp. geomembrány), ukládaná na málo únosnou zemní pláň nebo vkládaná do konstrukčních vrstev.

Samotná výztužná geosyntetika, uložená na zemní pláni, únosnost zemní pláně nezvýší. Jejich účinnost se projeví až v součinnosti s materiálem konstrukční vrstvy zvýšením únosnosti na povrchu této vrstvy.

Z hlediska umístění v tělese železničního spodku jsou uvedena geosyntetika zahrnována do konstrukčních vrstev jako konstrukční prvky.

6. Složení a materiál konstrukčních vrstev

6.1 Složení konstrukčních vrstev

Konstrukční vrstvy v pražcovém podloží tratí ČD jsou tvořeny vrstvami nestmelenými, stmelenými a konstrukčními prvky.

Nestmelené vrstvy jsou zřizovány z přírodního kameniva (písek, šterkopísek, šterkodrt', výsivky), umělého kameniva (vysokopeční struska) a dříve použitých materiálů (upravený výzisk z kolejového lože).

Stmelené vrstvy zahrnují stabilizované zeminy a živičné úpravy.

Konstrukční prvky představují především geosyntetika (geotextilie, geomřížky, geokompozity, geomembrány), betonové desky, antivibrační rohože a tepelně izolační prvky.

6.2 Nestmelené konstrukční vrstvy

Pro **nestmelené konstrukční vrstvy** modernizovaných tratí jsou převážně používány materiály drcené, zejména šterkodrt' a recyklovaný výzisk z kolejového lože. Vzhledem ke tvaru a ostrohrannosti zrn vytváří drcené kamenivo vrstvu podstatně vyšší únosnosti (s vyšším modulem přetvárnosti E) než např. tradičně používaný těžký šterkopísek se zaoblenými zrny.

Požadavky na vlastnosti materiálu nestmelených konstrukčních vrstev jsou stanoveny v OTP ČD [5] a předpisu ČD S4. Základním požadavkem je zrnitostní složení, zajišťující nenamrzavost, propustnost a nestejnzrnnost, která spolu s často opomíjenou vlhkostí je předpokladem pro dobrou zhutnitelnost a dosažení požadované míry zhutnění.

Novým materiálem do nestmelených konstrukčních vrstev, použitým při modernizaci, je **upravený recyklát**, svými parametry blízký tzv. **minerální směsi**. Je vytvářen v souvislosti s činností soupravy AHM 800R, která zřizuje konstrukční vrstvu technologií bez snášení kolejového roštu [13].

Upravený recyklát (minerální směs) vzniká předrcením vyzískaného materiálu starého kolejového lože, s doplněním drobným přírodním kamenivem v množství potřebném k dosažení požadované zrnitosti. Materiál z kolejového lože musí být ekologicky nezávadný. V průběhu mísení je současně přidávána voda, udržující vlhkost směsi v mezích 5 až 8 %, která je pro hutnění směsi optimální.

Konstrukční vrstvy z upraveného recyklátu (minerální směsi) jsou nenamrzavé, podle množství přidaného doplňkového materiálu propustné nebo málo propustné, s modulem přetvárnosti po zhutnění až $E = 95 \text{ MPa}$.

V tabulce 3 jsou uvedeny orientační hodnoty modulu přetvárnosti materiálů používaných v nestmelených konstrukčních vrstvách modernizovaných tratí, pro porovnání jejich přínosu k dosažení požadované únosnosti na pláni tělesa železničního spodku.

Tabulka 3 - Orientační hodnoty modulu přetvárnosti materiálů používaných v nestmelených konstrukčních vrstvách

Druh materiálu	Modul přetvárnosti E (MPa)
Štěrkopísek	40 až 60
Výsivky	50 až 70
Výzisk z kolejového lože	60 až 80
Štěrkodrt'	60 až 80
Upravený recyklát (minerální směs)	90 až 95

6.3 *Stmelené konstrukční vrstvy*

Stabilizované konstrukční vrstvy se provádí podle ustanovení předpisu ČD S4 a ČSN 73 6125. Na rozdíl od stabilizace zemní pláně, která je prováděna mísením na místě, se stabilizované konstrukční vrstvy provádí převážně mísením v centru. Zejména vzhledem k technologické náročnosti není použití stabilizací v konstrukčních vrstvách modernizovaných tratí běžnou a rozšířenou technologií.

Živičné úpravy z asfaltového betonu nebo živici obalovaného kameniva se zřizují v případě, že zemní pláň je tvořena skalními horninami, náchylnými ke zvětrávání a ztrátě pevnosti působením vody a mrazu. Navrhují a provádí se podle zásad daných předpisem ČD S4 a vzorovým listem železničního spodku Ž4 [6].

6.4 *Konstrukční prvky*

Velké rozšíření na stavbách modernizovaných tratí doznaly v poslední době konstrukční prvky tvořené **geosyntetickými materiály - geosyntetiky**.

Nejčastěji jsou používány netkané geotextilie k separaci vrstev odlišných zrnitostí, např. jemnozrnných zemin zemní pláň od materiálu konstrukční vrstvy. Stále více se používají výztužná geosyntetika (výztužné geotextilie, geomřížky, výztužné geokompozity) pro zvýšení únosnosti konstrukčních vrstev, případně snížení jejich tloušťky.

Příznivý vliv výztužných geosyntetik na deformační vlastnosti zemin byl již dříve znám z publikovaných zahraničních výsledků a zkušeností. V podmínkách ČD byla výztužná geosyntetika ověřována na několika zkušebních úsecích [7, 8]. Dosažené výsledky potvrdily přínos a vhodnost použití výztužných geotextilií a geomřížek pro zvýšení únosnosti konstrukčních vrstev a staly se podkladem pro zpracování požadavků a podmínek jejich uplatnění v tělese železničního spodku tratí ČD [1, 9, 10].

Podle některých zahraničních experimentů se použitím geomřížek dosáhne větší zvýšení únosnosti konstrukčních vrstev než při použití výztužných geotextilií [11]. Příznivější účinek geomřížek je vysvětlován lepším spolupůsobením geomřížek s okolním materiálem vlivem zaklíněním zrn v otvorech a tím větším využitím výztužných vlastností geomřížky. Zkoušky prováděné na zkušebních úsecích a na stavbách ČD tyto poznatky zatím nepotvrdily.

Požadavky na výztužné geotextilie jsou obsaženy v OTP ČD Geotextilie pro užití v pražcovém podloží [9] a na geomřížky v návrhu OTP ČD Geomřížky a geomembrány v tělese železničního spodku [10].

V tabulce 4 jsou porovnány požadavky na geomřížku v konstrukčních vrstvách tratí ČD [10] a DB AG [12].

Tabulka 4 - Požadované vlastnosti geomřížek pro použití v konstrukčních vrstvách

Vlastnost - parametr	Jednotka	Hodnota	
		ČD	DB AG
Pevnost v tahu při porušení: podélná a příčná	kN.m ⁻¹	≥ 30	≥ 40
Protažení při porušení (tažnost): podélné a příčné	%	≤ 20	-
Pevnost v tahu při protažení 3%: podélná a příčná	kN.m ⁻¹	≥ 10	≥ 10
Délka strany otvoru (oka) ¹⁾	mm	15 až 40 ²⁾	≥ d ₈₀ .1,67 ³⁾ ≤ 40 ³⁾

¹⁾ optimální velikost otvorů (ok) závisí na zrnitosti použitého materiálu
²⁾ pro nestmelený materiál konstrukčních vrstev podle OTP ČD [5],
³⁾ pro směs kameniva 2 podle DB AG-TL 918 062 [12].

Největší účinek výztužného geosyntetika se projevuje při únosnosti zemní pláně v mezích cca 10 až 30 MPa, kdy přetvoření zeminy vzniklé zatížením vyvolá v geosyntetiku potřebná tahová napětí.

Podle výsledků zkoušek ČD je možno při použití výztužné geotextilie nebo geomřížky snížit tloušťku konstrukční vrstvy, navržené na základě únosnosti zemní pláně, až o 30 % u drceného materiálu a až o 25 % u materiálu se zaoblenými zrny.

Betonové desky byly v konstrukčních vrstvách neúspěšně použity na jednom mezistaničním úseku I. koridoru. S jejich uplatněním v širším rozsahu se při modernizaci dále nepočítá.

Antivibrační rohože se vkládají do konstrukčních vrstev v případě, kdy je nutno omezit hluk a vibrace vyvolané železničním provozem. Na tratích ČD jsou novým prvkem. Experimentálně byly použity na několika úsecích I. koridoru. V současné době je sledován jejich přínos a chování pro stanovení podmínek použití.

Tepelně izolační prvky zajišťují ochranu zemní pláně před nepříznivými účinky mrazu. Prověření vhodnosti jejich použití na tratích ČD se připravuje.

7. *Provádění konstrukčních vrstev*

Konstrukční vrstvy na modernizovaných tratích jsou zřizovány **technologíí se snesením kolejového roštu a technologií bez snesení kolejového roštu**. Technologie se snesením kolejového roštu je běžná, zhotovitelé s ní mají dostatek zkušeností a vlastní pro ni i potřebnou mechanizaci.

Technologie bez snesení kolejového roštu je poměrně nová, její použití na modernizovaných tratích je závislé na dostupnosti výkonných zahraničních mechanismů, např. KSEM, AHM 800R a RPM 2002. Základní princip činnosti uvedených mechanismů (strojních sestav) je stejný - strojní sestava pojíždí po sanované koleji a do odtěženého prostoru pod kolejovým roštem vkládá a hutní materiál konstrukční vrstvy. Konstrukce strojů umožňuje i uložení geosyntetik na zemní pláň.

Technologie zřizování konstrukčních vrstev bez snesení kolejového roštu má v porovnání s klasickou technologií se snesením kolejového roštu řadu dále uvedených předností a výhod:

- zemní pláň není pojížděna a narušována provozem;
- konstrukční vrstvy je možno zřizovat i za nepříznivého počasí;
- zajišťuje rovnoměrnou kvalitu materiálu a hutnění konstrukční vrstvy;
- vytváří rovnoměrnou tloušťku konstrukční vrstvy;
- dosahuje vysoké výkony a zkracuje výlukové časy (např. při použití soupravy AHM 800R až 800 m za denní směnu [13]);
- není omezen provoz na sousední koleji;
- není nutno zřizovat cesty pro přísun materiálu.

Za nevýhody technologie zřizování konstrukčních vrstev bez snesení kolejového roštu je možno považovat:

- nevyužití materiálu stávajícího kolejového lože pro kolejové lože nové koleje (stroje AHM 800 R a RPM 2002 využívají štěrk starého kolejového lože k výrobě upraveného recyklátu pro konstrukční vrstvu);
- kolejový rošt je ukládán na konstrukční vrstvu - pláň tělesa železničního spodku (s výjimkou stroje RPM 2002);
- kolejové lože je nutno zřídít samostatným technologickým postupem (s výjimkou stroje RPM 2002);
- vysokou cenu za pronájem a provoz zahraničních mechanismů.

Technologie zřizování konstrukčních vrstev bez snášení kolejového roštu se osvědčila na stavbách I. i II. koridoru, zejména v místech s nízkou únosností zemní pláně, vysokou hladinou podzemní vody a při nepříznivých povětrnostních podmínkách.

V zájmu zajištění kvality a rychlosti provádění prací je s uplatněním této technologie ve vhodných podmínkách při modernizaci tratí ČD nutno dále počítat.

8. Závěr

Konstrukční vrstvy jsou součástí pražcového podloží. Zvyšují jeho únosnost a přispívají k zajištění stálosti geometrických parametrů koleje.

Na modernizovaných tratích se při zřizování konstrukčních vrstev uplatňují nové materiály a výkonné technologie, které zaručují dlouhodobou funkci vytvořené konstrukční vrstvy při zvýšeném namáhání provozem.

Literatura:

- [1] *Předpis ČD S4 Železniční spodek. Účinnost od 1.7.1998*
- [2] Göbel C., Lieberenz K.: Prüf- und Untersuchungsmethoden für Bettung und Unterbau/Untergrund
- [3] Železniční spodek a štěrk. Předpisy pro novostavby a obnovy. SBB CFF FFS, R 211.1, 1992. Pracovní překlad.
- [4] Tyc P., Nejezchleb M.: Návrh nové metody výpočtu únosnosti konstrukce pražcového podloží. Závěrečná zpráva úkolu technického rozvoje ČD-DDC, červen 1996
- [5] Obecné technické podmínky (OTP) ČD „Štěrkopísek, štěrkodrt' a výzisk z kolejového lože pro konstrukční vrstvy tělesa železničního spodku“. Účinnost od 1.6.1999
- [6] Vzorový list železničního spodku Ž4-Pražcové podloží. Návrh, květen 2000.
- [7] Nejezchleb M., Tyc P.: Použití nových materiálů v konstrukci pražcového podloží. Závěrečná zpráva úkolu technického rozvoje ČD-DDC, červen 1996
- [8] Tyc P., Nejezchleb M.: Zvýšení únosnosti konstrukce pražcového podloží pomocí výztužných geosyntetických materiálů. Nová železniční technika 4/96.
- [9] Obecné technické podmínky (OTP) ČD „Geotextilie pro užití v pražcovém podloží“. Účinnost od 15.4.1996

- [10] Obecné technické podmínky (OTP) ČD „Geomřížky a geomembrány v tělese železničního spodku“. Návrh, květen 2000
- [11] Lieberenz, K.: Tragschichten mit Geokunststoffen in Eisenbahnbau. Hochschule für Technik und Wirtschaft (FH) Dresden, 1997
- [12] DB AG-TL 918 039, Anlage 4 - Technische Lieferbedingungen „Geokunststoffe“ 1997.
- [13] Pokyny pro používání soupravy AHM 800R pro zřízení konstrukční vrstvy tělesa železničního spodku. ČD DDC, účinnost od 1.1.1999

V Brně, květen 2000

Lektoroval: Prof. Ing. Petr Tyc, DrSc.
ČVUT – Fakulta stavební