

Nové poznatky o chování vozovek s vrstvou stmelenou hydraulickými pojivy

Zatěžování vozovek na zkušebních dráhách spolu s laboratorními zkouškami, provedenými v zahraničí, poskytlo řadu poznatků o skutečném chování asfaltových vozovek. Informací o obdobných experimentech na vozovkách s vrstvou stmelenou hydraulickými pojivy je méně. Proto jsou zajímavé dosavadní výsledky podrobného monitorování takové vozovky na americké zkušební dráze NCAT. Toto sledování probíhá od roku 2018 a má dále pokračovat.

Úvod

Chování vozovek s vrstvou stmelenou hydraulickými pojivy se liší od chování vozovek, ve kterých jsou vrstvy stmelené asfaltem, zejména pokud má taková vrstva větší tuhost. Tyto vozovky se dříve označovaly jako vozovky polotuhé. V TP 170 Navrhování vozovek PK z roku 2004 bylo v článku 4.5.2 uvedeno, že tyto vozovky lze posuzovat obdobně jako vozovky netuhé. V článku 2.2.3 zmíněného předpisu se konstatovalo, že je možné použít i jiný model výpočtu. Respektovalo se tím to, že v některých zahraničních předpisech se tyto vozovky posuzují zásadně jiným způsobem než v ČR. Porovnání postupu dle TP 170 s některými zahraničními metodami a dopad různých předpokladů na návrh vozovky byl popsán v literatuře [1]. V ČR se v praxi používal jen postup uvedený v TP 170 v části B Návrhová metoda. Při něm se uvažují návrhové moduly pružnosti stabilizovaných vrstev a vrstev stmelených hydraulickými pojivy, které jsou několikanásobně menší než moduly, které by vyšly z laboratorních zkoušek neporušených vzorků. Odolnost vrstev stmelených hydraulickými pojivy proti porušení únavou se neposuzuje. Návrh vozovky je tím jednodušší a je na straně bezpečnosti.

Při novelizaci TP 170, dokončené v roce 2023, byly opraveny některé příliš optimistické předpoklady v české návrhové metodě. Byly sníženy návrhové moduly nestmelených vrstev a zvýšen dílčí součinitel spolehlivosti rozptylu únavových zkoušek asfaltových směsí. Tyto úpravy byly provedeny proto, aby nově zavedené návrhové hodnoty lépe odpovídaly výsledkům laboratorních zkoušek a parametrům užívaným v zahraničních návrhových metodách. Způsob výpočtu vozovek s vrstvami stmelenými hydraulickými pojivy byl ponechán beze změny. Jeho případná úprava by si vyžádala podrobné zhodnocení této problematiky a výzkumné práce či realizaci experimentálních úseků, protože jde o složitou záležitost a názory odborníků se různí.

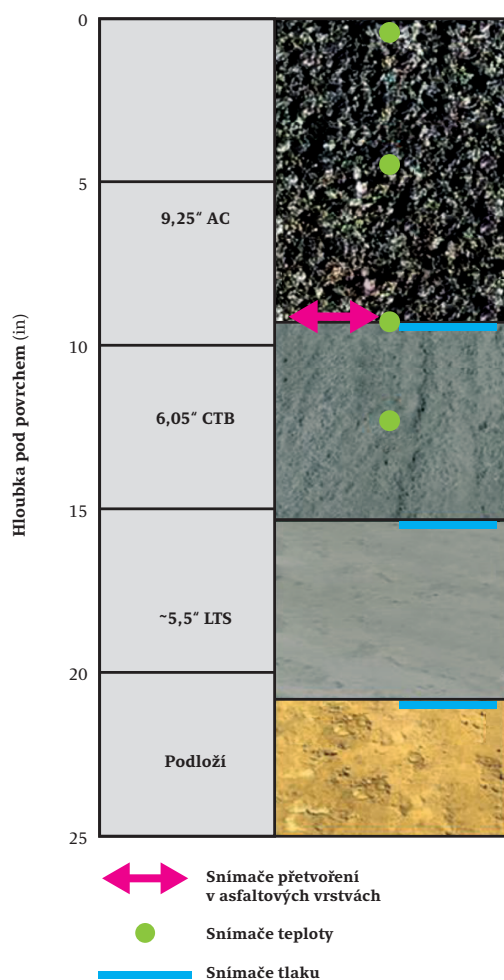
Experimenty provedené nedávno v zahraničí umožňují získat lepší představu o skutečném chování vozovek s vrstvou stmelenou cementovým pojivem. Může to pomoci také při objasňování chování těchto vozovek provedených v minulosti v ČR. V tomto článku je proto popsán rozsáhlý experiment [2], zahájený před několika lety v USA, který stále probíhá. Obdobný rozsáhlý ex-

periment byl nedávno realizován u tohoto typu vozovek v Číně (zmínka o tomto experimentu je v závěru článku).

Poznatky z experimentu na dráze NCAT v USA

Experiment s vozovkou s SC v podkladní vrstvě byl realizovaný na zkušební dráze amerického výzkumného centra NCAT (<https://eng.auburn.edu/research/centers/ncat/>). Dráha má oválný tvar a celkovou délku 2,7 km. Je na ní celkem 46 úseků, na kterých se chování vozovek kontinuálně sleduje. Experiment s vozovkou s SC je popsán v kapitole 11 souhrnné zprávy [2] o aktivitách NCAT během 7. fáze zatěžování v letech 2018–2021. Úsek s vozovkou s SC v podkladní vrstvě má označení S2. Podrobněji je experiment zhodnocen v doktorské práci [3]. V [3] byly také vyhodnoceny rozdíly mezi chováním vozovky v úseku S2 a S9, kde byla vozovka s nestmelenou podkladní vrstvou. Délka úseku S2 byla 60 m. Složení vozovky je znázorněno na obrázku 1 (tloušťky vrstev jsou uvedeny v palcích 1 in = 25,4 mm). Pod asfaltovými vrstvami byla vrstva SC (označená CTB – Cement Treated Base) a vrstva zeminy zlepšené vápnem (LTS – Lime Treated Soil). Tři snímače teploty byly v asfaltových vrstvách a jeden ve vrstvě CTB. Na spodním líci asfaltových vrstev byly snímače přetvoření. Tři měřidla svislého tlaku byla na povrchu SC, zeminy zlepšené vápnem a na podloží.

Podloží bylo tvořeno zeminou CL dle klasifikace USCS s mezí tekutosti $w_L = 39\%$ a indexem plasticity $IP = 21\%$. Přirozená vlhkost byla 16 % až 17,5 % při optimální vlhkosti dle Proctor standard 17 %. Podloží bylo v tloušťce 150 mm zlepšeno 4 % vápnem. Počítalo se s dosažením hodnoty CBR = 20 % vzorku syceného vodou po 7 dnech zrání. Podrobnější informace o vlastnostech zlepšené zeminy včetně výsledků na vzorcích odebraných při stavbě jsou v [4]. Modul pružnosti zlepšené zeminy po 28 dnech zrání kolísá. (Byl stanovený dle ASTM C469 zkouškou v tlaku pro napětí do 40 % pevnosti). Modul byl většinou v intervalu přibližně 30 ksi až 180 ksi (tj. cca 200 až 1 200 MPa). Podkladní vrstva byla tvořena pískem SM s 16 % zrn $\leq 0,075$ mm stmeleného 5,1 % cementu. Průměrná pevnost v tlaku směsi SC, po 14 dnech zrání, byla 2,1 MPa. Podrobnosti o zkouškách a vlastnostech SC jsou rovněž uvedeny v literatuře [4].



Obrázek 1: Skladba vozovky a umístění snímačů [2]

Asfaltové vrstvy byly čtyři. V obrusné vrstvě byl obsah pojiva 5,1 %, v ložní 4,9 a ve spodních dvou byl obsah pojiva 4,5 %. Obrusná vrstva měla zrna menší než 12 mm a ostatní menší než 16 mm. Byly provedeny zkoušky modulů tuhosti a vyhodnoceny hlavní křivky. Zkouška odolnosti AC proti únavě byla provedena ve čtyřbodovém ohybu.

Během zatěžování, od listopadu 2018 do února 2021, byla vozovka pojížděna současně 5 kamiony s návěsy a přívěsy rychlostí cca 70 km/hod. Na přední nápravě kamionu byla samostatná kola se širokými pneumatikami. Vzadu na kamionu byla dvojnáprava s dvojmontáží. Na návěsu a dvou připojených přívěsech byly samostatné nápravy s dvojmontáží. Podrobnosti o těchto kamionech a zatížení na jejich nápravy jsou uvedeny v [2] a [3].

Celkové dopravní zatížení do roku 2021 odpovídalo cca 10 milionům návrhových náprav 80 kN. Vzhledem k celkové tloušťce stmelených vrstev vozovky to bylo poměrně málo. Proto nedošlo během tohoto zatěžovacího období na vozovce k žádným poruchám. Vozovka je dále monitorována v dalším zatěžovacím cyklu, který v současné době na dráze NCAT probíhá. Jeho výsledky by měly být známy v roce 2024. Měření provedená v letech 2018 až 2021 však umožnila získat dobrou představu o změnách napětí a přetvoření ve vrstvách vozovky v závislosti na změnách teploty jak během dne, tak během celého sledovaného období.

Měření snímači ve vozovce se v úseku S2 prováděla jednou týdně. Při nich se vždy vyhodnotilo minimálně 15 přejezdů vozidel přes 4 příčné profily s měřidly, vzdálené od sebe 60 cm. V každém profilu byly 3 snímače vzdálené od sebe také 60 cm. Vozidla na dráze NCAT se pohybují jako na normální vozovce, tj. s laterálním rozptylem jízdních stop. Čím blíže jede vozidlo vůči poloze snímače, tím vyšší hodnoty deformací a napětí se naměří. Z měření při 15 přejezdech se pro další vyhodnocení použila vždy hodnota, která odpovídala horní mezi naměřených hodnot s pravděpodobností 95 %. Tento způsob vyhodnocení byl zvolen na základě měření při prvních experimentech na dráze NCAT, zejména v roce 2005, při kterých se podrobně analyzoval vliv laterálního rozptylu pojezdové stopy a jeho dopad na naměřené hodnoty přetvoření snímači ve vozovce.

Rázové zkoušky FWD na vozovce se v úseku S2 prováděly třemi údery při 3 úrovních působící síly, na 12 místech 3x měsíčně. Měření se realizovalo vždy ráno a odpoledne, aby se zohlednil také vliv změny teploty během dne na zpětně vypočtené moduly vrstev vozovky. V jednom dnu měření bylo v úseku S2 získáno 81 průhybových křivek. Jedenkrát měsíčně se měřilo i uprostřed jízdního pruhu. Pak bylo měřených průhybových křivek v úseku celkem 108.

Navíc byla provedena 5x měření FWD (v různých ročních obdobích) silou 53,4 kN přímo nad každým snímačem. To přispělo k upřesnění závislosti svislého napětí ve vrstvách vozovky a přetvoření asfaltových vrstev na teplotě. Při středních teplotách bylo při zkoušce FWD na bázi AC vodorovné protažení, ale při vyšších teplotách bylo na bázi AC naměřeno vodorovné stlačení. Ve zprávě [2] jsou na straně 197 a 198 dva příklady záznamu přetvoření na bázi AC při zkoušce FWD provedené přímo nad snímači. Při teplotě 12,4 °C bylo protažení 22 $\mu\text{m/m}$, ale při teplotě 32,6 °C bylo naměřeno na bázi AC vodorovné stlačení 48 $\mu\text{m/m}$.

Podobné chování jako při rázových zkouškách FWD bylo pozorováno při přejezdech kamionů po celou dobu experimentu. Příklad záznamu z měření podélného přetvoření při přejezdech kamionů je na obrázku 2. Kamion měl vzadu dvounápravu. To se projevilo na záznamu přetvoření dvěma vrcholy krátce po sobě. Na přívěsech byly jen samostatné nápravy. Příčná přetvoření měřená nebyla. Při předchozích experimentech na dráze NCAT se prokázalo, že podélná přetvoření byla větší než přetvoření příčná. To je dáno tím, že zatížení od zatěžovacích vozidel na dráze NCAT vyvolují hlavně samostatné nápravy s dvojmontáží. Rozdíly mezi záznamy snímačů přetvoření při přejezdu samostatných náprav a trojnáprav byly pozorovány při experimentech na únavové dráze v Nantes ve Francii. U trojnáprav bylo příčné přetvoření na spodním líci asfaltových vrstev větší než podélné. U ostatních druhů náprav tomu bylo naopak. Stručná informace o těchto francouzských měřeních je uvedena v [5].

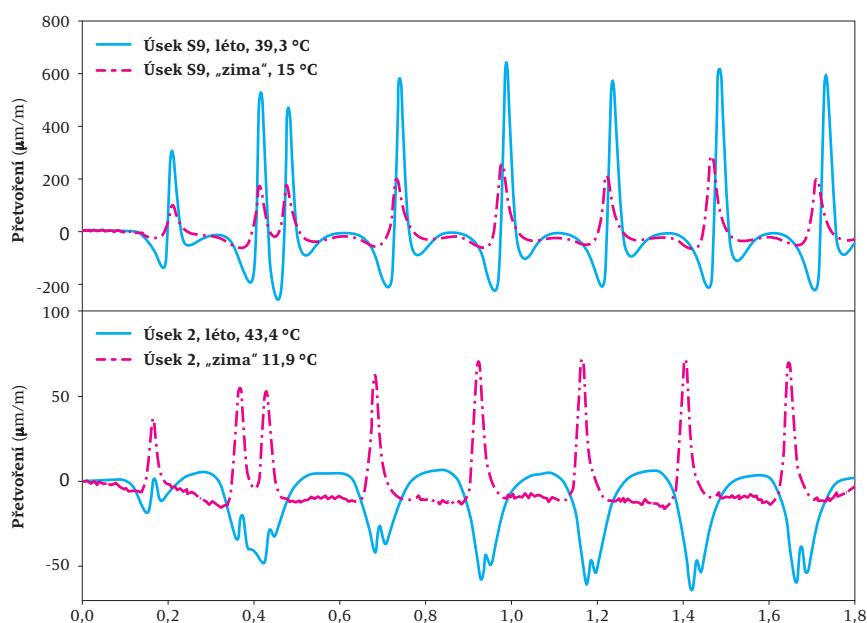
Naměřené hodnoty přetvoření na dráze NCAT v sekci S2 byly porovnány s hodnotami získanými stejným způsobem na vozovce v sekci S9. Ta měla tloušťku asfaltové vrstvy 200 mm a 150 mm nestmelené vrstvy na podloží. To bylo z jiné zeminy, ale obdobných vlastností jako v sekci S2. Teploty vzduchu se během 16 měsíců experimentu pohybovaly intervalu od 10 °C do 50 °C. (NCAT se nachází ve státě Alabama v jižní části USA.)

Z obrázku 2 je vidět, že při střední teplotě bylo chování obou vozovek obdobné, ale při vysokých teplotách bylo chování zásadně odlišné.

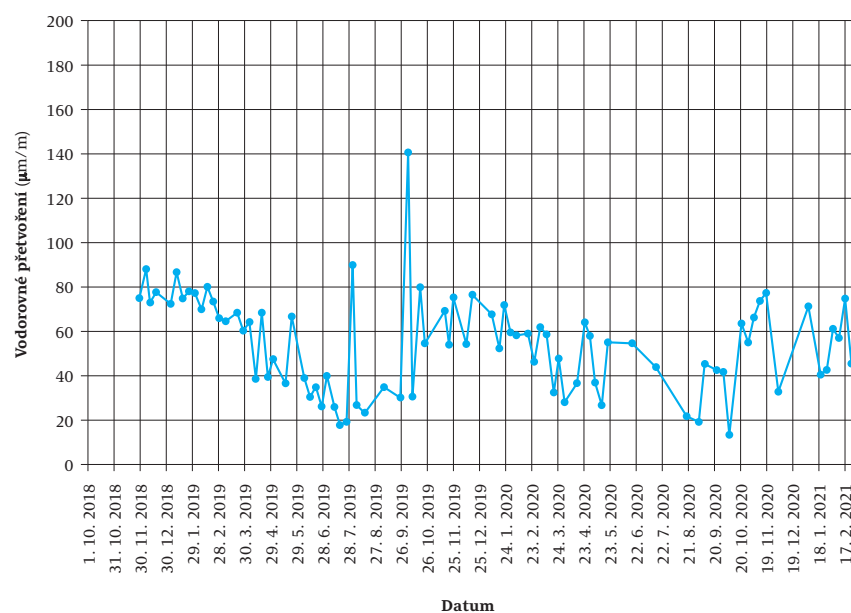
Při vysoké teplotě je modul asfaltových vrstev výrazně nižší než při střední teplotě. Proto byla v sekci 9 s nestmelenou podkladní vrstvou protažení na spodním líci asfaltových vrstev při vysoké teplotě zřetelně větší než při střední teplotě. Když se zatížená náprava blížila k místu snímače, roznášení zatížení v asfaltové vrstvě tam způsobilo nejprve napětí v tlaku. Proto na spodním líci asfaltové vrstvy došlo k vodorovnému stlačení. To pak přešlo v protažení, které bylo větší než předchozí stlačení. Největší vodorovné protažení bylo v okamžiku, kdy kolo kamionu přejíždělo přímo nad snímačem. V sekci S2 bylo obdobné

chování jen při střední teplotě. Při vyšší teplotě docházelo při přejezdu zatížené nápravy na spodním líci asfaltových vrstev hlavně k vodorovnému stlačení.

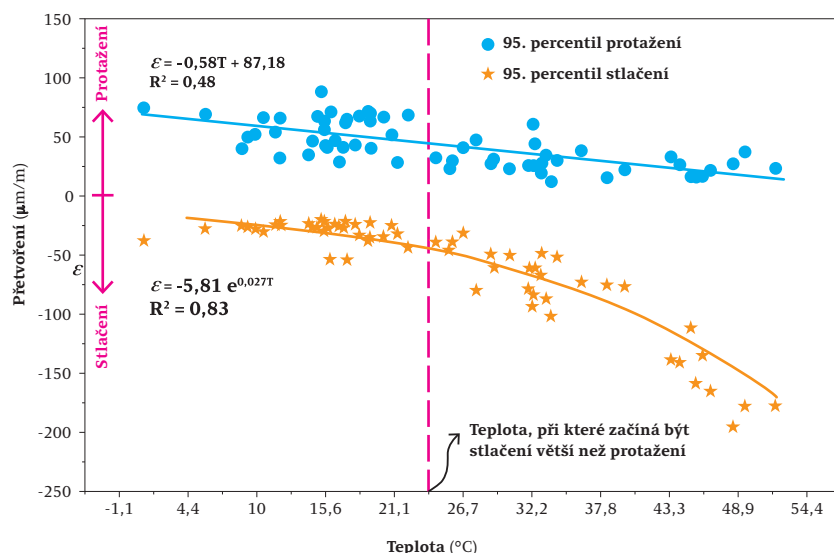
Toto chování asfaltové vrstvy bylo způsobeno tím, že při vysokých teplotách byl modul tuhosti vrstvy SC podstatně vyšší než modul vrstvy asfaltové. Proto se do vrstvy SC koncentroval odpor proti přetvoření vozovky od zatížení vozidlem. To vyvolalo tahová napětí ve spodní části vrstvy SC. V horní části vrstvy SC působilo vodorovné napětí v tlaku. Za předpokladu dokonalého spojení mezi vrstvou AC a SC pak musí na spodu asfaltové vrstvy působit rovněž tlaková napětí a tím zde dojde k vodorovnému stlačení. Lze si to představit tak, že tuhá vrstva SC brání průhybu poddajnější asfaltové vrstvy. Spodní část asfaltových



Obrázek 2: Příklad záznamu vodorovného přetvoření na spodní asfaltových vrstev při přejezdu kamionu s přívěsy při střední a vysoké teplotě v sekcích S2 a S9 [2]



Obrázek 3: Maximální protažení na spodním líci AC v úseku 2 při každém dnu měření [2]



Obrázek 4: Závislost přetvoření na spodním líci AC na teplotě ve vrstvě AC při přejezdu vozidla [3]

Tabulka 1: Parametry použité při srovnávacích výpočtech v [2]

Sekce	Vrstva	Modul E (ksi)		Součinitel příčného roztažení	Tloušťka vrstvy (in) (1 in = 25,4 mm)
		15 °C	40 °C		
S2	AC	2 000	300	0,35	9,2
	SC	2 000		0,20	6,1
	SH	100		0,40	5,5
	podloží	30		0,45	neomezená
S9	AC	2 000	100	0,35	8,1
	SP	10		0,40	5,5
	podloží	30		0,45	neomezená

Pozn.: 1 ksi = 6,9 MPa

vrstev se nemůže prohnut a vodorovně protáhnout, tak jako na stlačitelnějším podkladu. Roztažení spodního líce AC brání působící vodorovné tlakové napětí. V případě, že spojení vrstev není dokonalé, dojde mezi oběma vrstvami k vzájemnému posunu. Tím se změní působící vodorovná napětí při styku obou vrstev a jejich přetvoření.

Maximální naměřená protažení na bázi AC v úseku S2 v každém dnu, ve kterém bylo provedeno měření v období od listopadu 2018 do února 2021, jsou na obrázku 3. I přes rozptýl výsledků jednotlivých měření je celkový trend patrný. V letním období byla v prvním roce maximální protažení při přejezdech kamionů jen cca 20 μm/m až 40 μm/m. v druhém létě byla cca 30 μm/m až 60 μm/m. Za středních teplot („zima“) byla maximální protažení většinou 60 μm/m až 90 μm/m.

Na obrázku 4 jsou měřená vodorovná stlačení a následná protažení v úseku S2 při přejezdu vozidla vynesena v závislosti na teplotě uprostřed asfaltových vrstev. Stejná velikost protažení a stlačení (cca 45 μm/m) byla při teplotě uprostřed asfal-

tové vrstvy cca 24 °C. Při vyšších teplotách začíná vodorovné stlačení rychle narůstat, zatímco následné protažení dále klesá přibližně lineárně. Při vysokých teplotách je již vodorovné stlačení vždy několikanásobně vyšší než následné protažení. To je ostatně vidět z průběhu záznamu snímače při přejezdu kamionu s přívěsy při letní teplotě na obrázku 2.

Obrázky 2 a 4 dokládají, že vrstva AC byla ve sledovaném období s SC dobře spojena a že vrstva SC si zachovávala svoji velkou tuhost. Při nespojení vrstev a malém modulu vrstvy SC by muselo na spodním líci AC při přejezdu kola přímo nad snímačem dojít při vyšších teplotách k velkému vodorovnému protažení. K tomu však nedocházelo.

V literatuře [3] bylo naměřené chování ověřeno výpočty napětí a přetvoření vozovky nově vytvořeným programem MASTIC. Ten je založen na teorii lineární pružného vrstevnatého poloprostoru (LPVP). Porovnávací výpočty, provedené v [3], daly pro dokonalé spojení a úplný prokluz mezi vrstvami prakticky stejné výsledky jako jiné v USA používané programy LPVP

(Julea nebo Evercalc). Program MASTIC navíc umožňuje zohlednit nedokonalé spojení vrstev, podobně jako české programy Laymed nebo Elas.

Vliv vyšší tuhosti vrstvy SC byl ilustrován v [2] výpočtem napětí a přetvoření vrstev pro dvě obdobné vozovky jako v sekcích S2 a S9 pro teploty 15 °C a 40 °C za předpokladů uvedených v tabulce 1. Zvolené hodnoty modulů pružnosti neodpovídají přesně měřeným hodnotám, protože jde jen o ilustrativní příklady, které mají doložit kvalitativně rozdílné chování vozovky s podkladní vrstvou stmelenu a nestmelenu za vysokých teplot. Proto byl pro zjednodušení pro asfaltové vrstvy uvažován konstantní modul, přestože jeho hodnota ve skutečnosti závisí na druhu AC a na teplotě, která se s hloubkou pod povrchem vozovky mění.

Průběh vodorovného přetvoření pro simulovanou vozovku S9 za střední a vysoké teploty je na obrázku 5 a pro vozovku S2 s vrstvou stmelenu cementem na obrázku 6. Průběh přetvoření za střední teploty představuje čárkovaná křivka.

Ve vozovce s vrstvou stmelenu cementem dochází při teplotě 40 °C na spodním lici asfaltových vrstev jen k malému vodorovnému stlačení (cca 10 µm/m). Uprostřed asfaltové vrstvy dochází však k poměrně velkému protažení okolo 40 µm/m. To je větší než protažení na spodním lici vrstvy SC. Pokud by při opakovaném zatěžování dopravou zůstalo zachováno dokonalé spojení vrstev, mohly by únavové trhliny vznikat v letním období nejprve uprostřed asfaltových vrstev a pak se snáze šířit k povrchu vozovky. Ve skutečnosti bude při opakovaném zatěžování docházet postupně k degradaci spojení vrstev. Pak by na spodním lici asfaltových vrstev začalo docházet k jejich protažení. To je znázorněno na obrázku 7.

Při následné analýze vlivu spojení vrstvy AC a SC bylo nedokonalé spojení v [3] charakterizováno pomocí koeficientu k_i . Pro tento koeficient byl použit vzorec 6.30 na straně 118 disertační práce [3]:

$$(\tau_{iz}^*) = k_i (u_i^* - u_{i+1}^*)$$

kde je

(τ_{iz}^*) ...radiální smykové napětí v hloubce z na styku vrstev i a $i+1$,

u^* ...vodorovný posun vrstev i a $i+1$ na jejich styku.

Průběh vodorovných přetvoření pro různé předpoklady o spojení mezi vrstvou AC a SC je na obrázku 7. Pro malou hodnotu koeficientu k_i , tj. malý vzájemný posun těchto dvou vrstev (téměř dokonalé spolupůsobení) je vypočtené vodorovné protažení na spodním lici asfaltových vrstev za vyšších teplot malé. Při úplném prokluzu by bylo protažení na bázi AC několikanásobně větší. Ovšem bylo by stále několikrát menší než u vozovky na nestmelenu spodní vrstvě (protože se uvažovalo s návrhovým modulem pružnosti vrstvy stmelenu cementem 200x větším než s uvažovaným modulem nestmelenu vrstvy).

Z měření provedených na dráze NCAT a jejich vyhodnocení v [2] a [3] je možné usuzovat, že během prvních 10 milionů přejezdů návrhových náprav bylo spojení vrstev AC a SC stále velmi dobré. To je také ve zprávě [3] konstatováno. Je možné očekávat, že během současného zatěžovacího cyklu dojde do roku 2024 ke zvýšení protažení nejen za středních, ale i za vy-

sokých teplot. To by signalizovalo postupné zhoršování dobrého spojení vrstev nebo snižování tuhosti obou vrstev vlivem mikrotrhlin, vyvolaných účinky dopravního zatížení a působením klimatických poměrů. Proti tomu může ovšem působit zvětšování tuhosti asfaltových vrstev v obrusné a ložní vrstvě vlivem stárnutí pojiva, které by mělo přetvoření asfaltových vrstev zmenšovat.

Je škoda, že při tak nákladném experimentu nebyl ve vozovce instalován i snímač přetvoření ve vrstvě SC. To by umožnilo spolehlivěji interpretovat chování konstrukce. Ve zprávě [3] bylo doporučeno realizovat to při dalších experimentech na vozovkách tohoto typu.

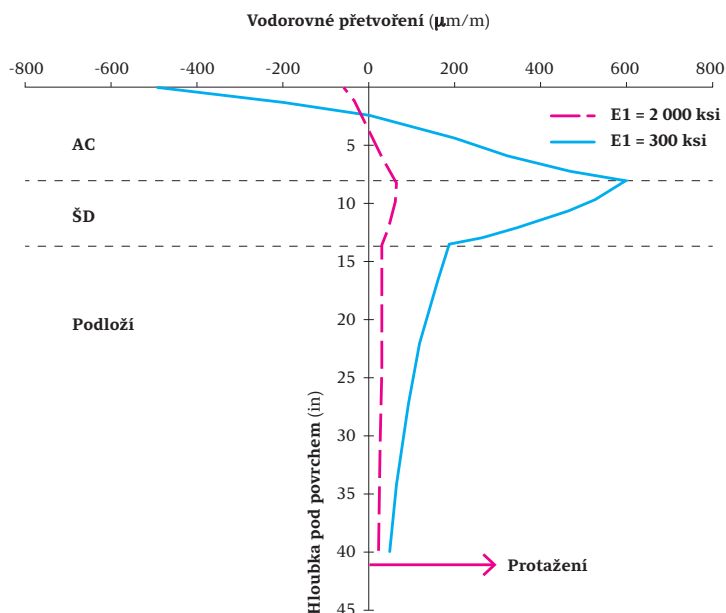
Stav na styku vrstev vozovky na dráze NCAT bude možné zjistit po skončení experimentu rýhou ve vozovce a odběrem těles pro laboratorní zkoušky spojení vrstev. U vozovek podobné konstrukce by v budoucnu stálo za úvahu ověření stavu styku vrstev již během experimentu ovalizační zkouškou, vyvinutou ve Francii [6]. Stručná informace o ovalizační zkoušce je uvedena v [7].

Vliv různých předpokladů pro navrhování vozovek s vrstvou stmelenu hydraulickými pojivy

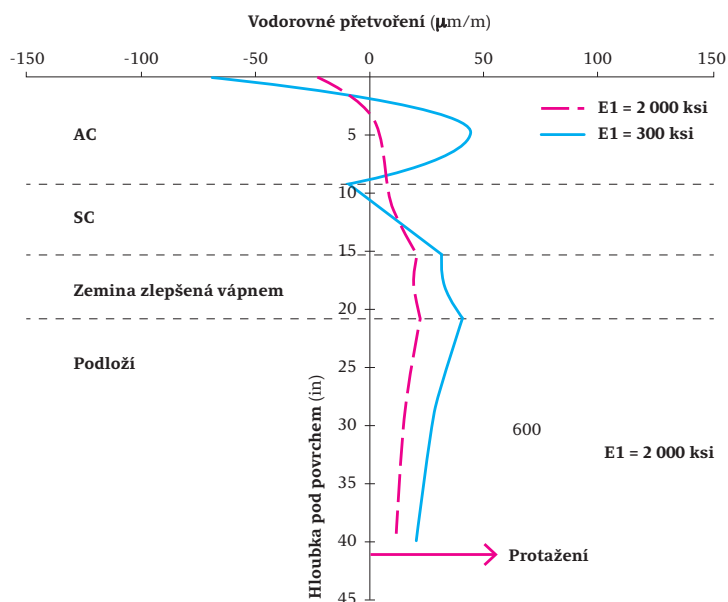
Dosavadní chování vozovky v úseku S2 na dráze NCAT ukazuje, že v prvních letech po uvedení vozovky do provozu může být zachováno jak dobré spojení vrstvy AC a SC, tak tuhost vrstvy SC. To potvrzuje oprávněnost francouzského a polského přístupu pro navrhování vozovek s podkladní vrstvou SC, při kterém se uvažuje s postupným poklesem tuhosti vrstvy SC. Polský přístup byl uveden například v prezentaci na konferenci PVPV v Brně v roce 2018 [8].

Ve Francii se návrh vozovky provádí zjednodušeným postupem ve dvou fázích. Blíže to bylo popsáno v [1] s odkazem na kapitoly tehdy platné normy NF P98-086 „Dimensionnement structurel des chaussées routières – Application aux chaussées neuves“. Tato norma byla v roce 2019 novelizována. Postup výpočtu však zůstal zachován, zde je shrnutý jen stručně. Používá se ekvivalentní návrhová teplota 15 °C, stejně jako v TP 170. V první fázi se předpokládá dokonalé spolupůsobení mezi AC a SC. K porušení únavou proto dojde nejprve v tužší vrstvě SC, ve které se koncentrují napětí od zatížení. (Pro vrstvu písku stmelenu cementem „sable-ciment“ se v tabulce D4 normy NF P 98-086 z roku 2019 uvažuje návrhový modul pružnosti 17 200 MPa, tj. cca 2x větší než návrhový modul asfaltových vrstev.) V druhé fázi výpočtu se předpokládá dokonalý prokluz na styku mezi oběma vrstvami a snížení modulu vrstvy SC na 20 % počáteční hodnoty, tj. na 3 440 MPa.

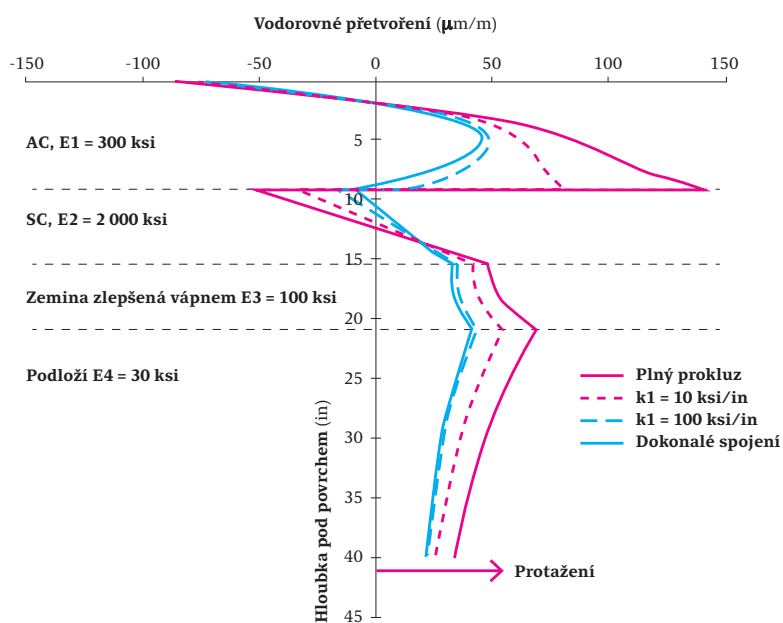
V návrhové metodě dle TP 170 se předpokládá, že vrstva SC je od počátku prostoupěna trhlinami a má jen malou tuhost. (Dle tabulky 11 novelizovaného TP 170 má i vrstva SC $C_{8/10}$ návrhový modul pružnosti jen 2 500 MPa.) S odolností vrstvy SC proti únavě se nepočítá. Na styku vrstev AC a SC se předpokládá nedokonalé spolupůsobení koeficientem $g = 0,99$, což je blízké dokonalému prokluzu. Výpočet je tedy na straně bezpečnosti. Výhodou českého postupu je jeho jednoduchost. Dále to, že projektant nebo technik dodavatelské firmy provádějící návrh směsi SC se nemusí zabývat únavovými vlastnostmi vrstvy SC. Zkoušení únavových



Obrázek 5: Průběh vodorovného přetvoření pro simulovanou vozovku S9 pro střední a vysokou teplotu [2]



Obrázek 6: Průběh vodorovného přetvoření pro simulovanou vozovku S2 [2]



Obrázek 7: Vliv nedokonalého spojení mezi AC a SC za vysoké teploty [3]

vlastností stmelových materiálů je nákladnou záležitostí. Zjednodušený postup českou metodou však obvykle nezohledňuje skutečné chování vozovky. Proto může vést k nesprávným závěrům při porovnávání několika variant návrhu vozovky nebo k problémům při interpretaci rázových zkoušek FWD, provedených po několika letech provozu na vozovkách s vrstvou stmelovou cementem, nevykazujících známky porušení.

Důsledky rozdílných předpokladů při výpočtu vozovek s vrstvou SC v české, francouzské a slovenské návrhové metodě byly ukázány na příkladech v [1]. Zvýšení tloušťky SC má ve francouzské metodě výrazný vliv na vypočtený počet návrhových náprav do porušení. Na bázi silnější vrstvy SC vyjde menší vypočtené protažení. To způsobí velké zvýšení její odolnosti proti únavě. V české metodě se zvýšení tloušťky vrstvy SC s malým uvažovaným návrhovým modulem pružnosti a bez uvažování odolnosti vrstvy SC proti únavě projeví na počtu návrhových náprav do porušení vozovky jen málo.

V Číně byl nedávno realizován rozsáhlý experiment, popsáný například v [9], při kterém byla měřena přetvoření snímači jak v asfaltových vrstvách vozovky, tak v podkladních vrstvách stmelových cementem. Stabilní zatěžovací zařízení, postavené na vozovce, mělo 2 nápravy, obě s dvojmontáží. Rychlost jezdů nápravy byla 22 km/hod. Zatěžovací zařízení, označené MLS66, bylo během experimentů systematicky přemísťováno v příčném směru tak, aby byl modelován rozptyl v jízdní stopě ve skutečném provozu. Tím byly získány velmi zajímavé výsledky. Byla provedena analýza vlivu polohy snímačů vůči zatěžovací stopě porovnáním záznamů přetvoření při přejezdu nápravy přes profil se snímači pro 5 různých poloh. Obdobná analýza byla provedena při experimentech na asfaltové vozovce na únavové dráze v Nantes ve Francii. Tyto výsledky byly stručně zmíněny v [5].

Vyhodnocení výsledků několika experimentů na různých vozovkách, při kterých se sledoval vliv polohy snímače přetvoření vůči jízdní stopě vozidla, by umožnilo v budoucnu snížit hodnotu součinitele C_2 v TP 170, vyjadřujícího vliv koncentrace stop vozidel v jízdním pruhu u vozovek s velkým dopravním zatížením. Tento koeficient je u těchto vozovek v původním i v novelizovaném předpisu TP 170 uvažován opatrnou hodnotou $C_2 = 1,0$ (tj. předpokládá se, že všechna vozidla jedou ve zcela stejné stopě).

Některé výsledky při čínských experimentech, popsáných v [9] byly obdobné jako při experimentu na NCAT, jiné se vý-

razně lišily. Mohlo to souviset i s tím, že nápravy zatěžovacího zařízení se pohybovaly jen malou rychlostí. Bude to popsáno a okomentováno v článku, který je pisatelem připravován k publikaci v tomto časopise.

Ing. Jiří Fiedler

Literatura

- [1] Fiedler J., Bureš P. Vliv předpokladů na návrh polotuhých vozovek v české, slovenské a francouzské návrhové metodě. *Konference podkladní vrstvy a podloží vozovek, Brno, 2016.* <https://pvpv.sdruzeni-silnice.cz/wp-content/uploads/2022/02/05-fiedler.pdf>
- [2] West R., Timm D., Powell B., et al. Phase VII (2018-2021) NCAT Test Track Findings. In: NCAT Report 21-03, September 2021, p. 176–210.
- [3] Nakhaei, M. Full-Scale Mechanistic and Performance Investigation of a Flexible Pavement with a Stabilized Foundation. *Doctoral Dissertation, Auburn University, 2021.*
- [4] Sullivan W.G. Field application of the PM Device and assessment of early age behaviors of cement stabilized pavement layers (2021). *Theses and Dissertations. 5149.* <https://scholarsjunction.msstate.edu/td/5149/>
- [5] Fiedler J. Napětí a přetvoření ve vozovce při přejezdech vozidel. *Silnice mosty 2021, č. 2, str. 35–38.*
- [6] Roussel J.M., Broutin M., Bouteiller R., et al. Caracterisation d'une interface entre couches de chaussées – application de l'essai d'ovalisation. *RGRA 2022, No. 993, p. 30–35.*
- [7] Fiedler J. Nové poznatky o vlastnostech a chování vozovek na letištích. *Silnice mosty 2023, č. 2, str. 16–23.*
- [8] Pelczynska K. Praxe při navrhování a realizaci hydraulicky stmelových podkladních vrstev vozovek provedených v Polsku. *Konference podkladní vrstvy a podloží vozovek, Brno, 2018.* https://pvpv.sdruzeni-silnice.cz/wp-content/uploads/2022/02/t2-2_pelczynska.pdf
- [9] Liu Z., Gu X., Ren H., et al. Analysis of the dynamic responses of asphalt pavement based on full-scale accelerated testing and finite element simulation. *Construction and Building Materials 2022, v. 325.* Available in DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.126429

Webové stránky zpravodaje SILNICE MOSTY

Na webu naleznete odborné příspěvky z oblasti silničního stavitelství a dále:

- řazení článků podle rubrik a oborů
- snadné vyhledávání příspěvků
- podrobnější informace o činnostech týmů Sdružení
- legislativu
- normy a technické předpisy
- BOZP

www.silnice-mosty.cz

