

Rekonstrukce vozovky na mostě u Millau ve Francii

Asfaltové vozovky na ocelových mostech jsou vystaveny většímu namáhání než na pozemních komunikacích. Jejich správný návrh a realizace jsou obtížným úkolem. Most u Millau je mimořádným inženýrským dílem, proto jsou informace o návrhu vozovky na tomto mostě, chování vozovky během provozu a její rekonstrukce po 18 letech pro investory, projektanty i zhotovitele důležité.

Úvod

Zavěšený ocelový most přes řeku Tarn u města Millau je mimořádné inženýrské dílo, často zmiňované v odborné literatuře a obdivované návštěvníky. Nachází se v jižní Francii na dálnici A75 v úseku Clermont Ferrand – Beziers. Tento úsek má délku 340 km. Je celý bez dálničních poplatků, ale za přejezd mostu s 8 poli, s celkovou délkou 2 460 m, se platí. Od roku 2023 je výlučným vlastníkem mostu firma Compagnie Eiffage du viaduc de Millau, patřící firmě Eiffage, která most postavila. (Předtím byl podíl Eiffage 51 % akcií a 49 % měla francouzská banka La Banque des Territoires.) Koncesní smlouva byla podepsána v roce 2001. Platí do konce roku 2079.

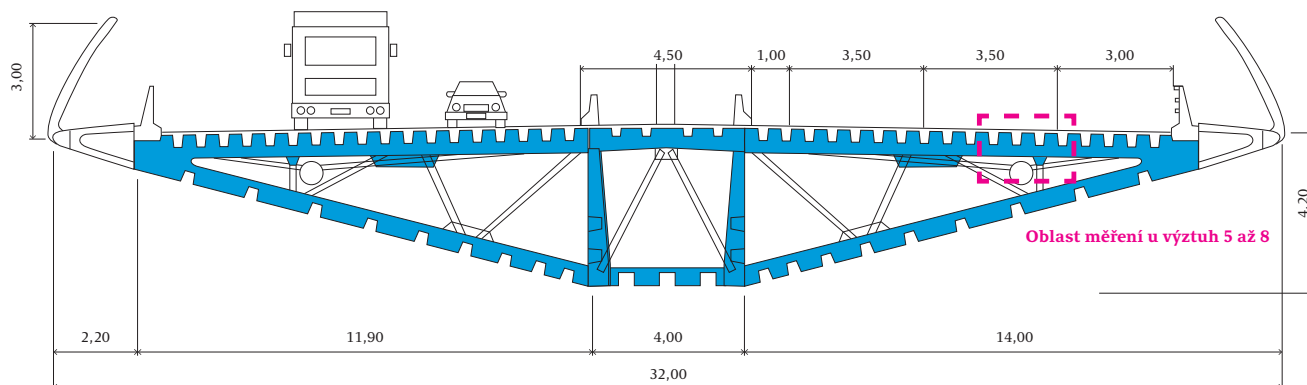
Most a postup jeho výstavby byly popsány v řadě článků v odborné literatuře, například [1]. Informace o návrhu mostu a postupu výstavby jsou například na stránkách www.afgc.asso.fr. Základní informace jsou uvedeny také na francouzské wikipedii, kde jsou i některé údaje o dopravním zatížení v letech 2006–2012 to bylo ročně okolo 350 000 těžkých nákladních vozidel, v roce 2018 cca 400 000, během epidemie covid 19 bylo nižší). V průběhu stavby a po uvedení do provozu byla provedena četná měření pro ověření chování konstrukce. To je popsáno například ve zprávě o zkouškách a jejich vyhodnocení *Les essais de chargements statiques et dynamiques du viaduc de Millau* (Buonomo M. et al., <https://www.collegesidekick.com/study-docs/7746990>).

Pro základní představu o konstrukci je na obrázku 1 zobrazen vzorový příčný řez. Červený obdélník představuje zónu, ve které byla, v rámci francouzského výzkumného projektu Orthoplus, provedena v říjnu 2010 měření podélných a příčných deformací mostovky. Snímače byly umístěny na spodní části podélných ocelových výtuh tloušťky 7 mm (vzdálených od sebe 600 mm) a na spodním povrchu ocelové desky mostovky. Podrobný popis měření a jejich výsledků je v literatuře [4].

Návrh a realizace asfaltové vozovky na mostě byly složitou záležitostí. Deformace vozovky na ocelovém mostě jsou podstatně větší než na pozemních komunikacích. Bylo proto nutné použít asfaltovou směs s velmi vysokou odolností proti únavě. Dále bylo třeba vzít do úvahy nepříznivé klimatické podmínky. Zájmové území se nachází poblíž pohoří Massif Central v zóně H3 dle francouzské klasifikace drsnosti zimy. (Maximální zimy jsou v zóně H4.) Most je v nadmořské výšce 650 metrů.

Most byl dokončen v prosinci 2004. V roce 2015 bylo provedeno první ošetření trhlin v asfaltové vozovce jejich zalitím. V dalších letech se ve svrchní části asfaltové vrstvy postupně objevovaly nové trhliny. Proto byla v září 2022 provedena částečná rekonstrukce vozovky.

Tento text se zabývá pouze problematikou návrhu asfaltové vozovky a její rekonstrukcí. Jsou v něm uvedeny informace z odborné literatury, publikované v prvních letech po uvedení mostu do provozu a v roce 2014, kdy byly v publikaci *Bulletin Ouvrages*



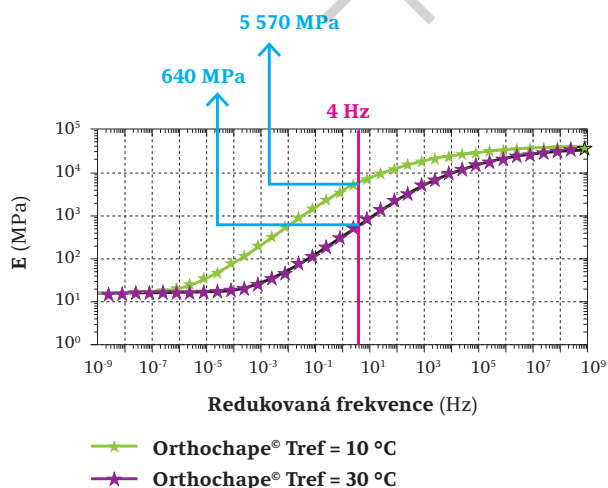
Obrázek 1: Vzorový příčný řez s vyznačenou oblastí, kde byly umístěny snímače [4]

d'Art (BoA N° 69/70) články o výsledcích výzkumného projektu Orthoplus. V nich byl popsán návrh vozovky, její skladba a laboratorní zkoušky použitých materiálů. Poté jsou uvedeny údaje z několika článků v časopise RGRA z března 2024 zabývajících se diagnostikou poruch a rekonstrukcí vozovky v roce 2022. Stručně jsou zmíněny i další informace týkající se asfaltových vozovek na ocelových mostech v odborné literatuře.

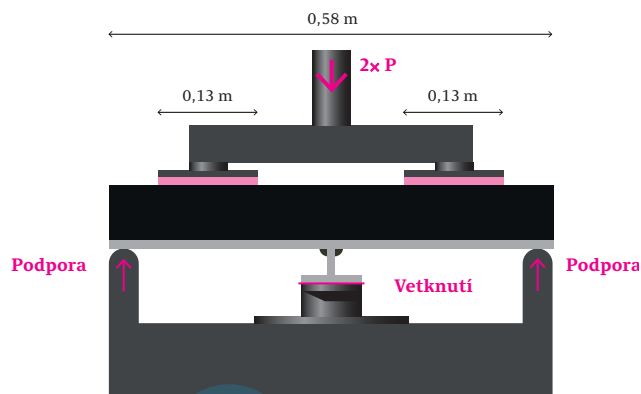
Skladba a vlastnosti asfaltové vozovky

Ocelová mostovka se skládá z desky tloušťky 14 mm v pomalém pruhu a 12 mm v rychlém pruhu s podélným a příčným vyztužením. Na desce je spojovací postřík, asfaltová izolace a pouze jedna asfaltová vrstva tloušťky 70 mm o zrnitosti 0/10 mm. Pro tento systém používá firma Eiffage obchodní označení Orthochape®. Vlastnosti všech materiálů tohoto systému jsou podrobně popsány v stavebním technickém osvědčení (Avis technique) F AT ET 14-04, které bylo vydáno francouzskou státní organizací CEREMA v roce 2014. To nahradilo předchozí osvědčení F AT ET 07-02 z roku 2007, které vydala bývalá státní organizace SETRA.

Pojivo pro asfaltovou směs systému Orthochape® má komerční název Orthoprène®. Podle [2] jde o měkký silniční asfalt s penetrací 160/220, silně modifikovaný polymerem SBS a zesíťovaný. Podle [3] je obsah SBS více než 7 %, takže základem mikrostruktury pojiva je polymerová fáze. Podobný polymerem SBS silně modifikovaný asfalt, který měl obdobné technické vlastnosti jako pojivo Orthoprène®, byl úspěšně použit na několika ocelových mostech ve Švédsku [12]. Obsah pojiva v asfaltové směsi pro most Millau byl 5,8 ppc. Laboratorní zkoušky komplexního modulu tuhosti asfaltové směsi, stanovené na válcových tělesech zkouškou tlak-tah byly provedeny pro teploty -30 °C až 50 °C a pro frekvence od 0,01 Hz do 10 Hz. Na obrázku 2, převzatém z [3] je závislost modulu na frekvenci zatěžování pro dvě referenční teploty Tref 10 °C a 30 °C, vypočtená z naměřených hodnot. Číselně jsou na obrázku 2 uvedeny hodnoty modulů pro frekvenci 4 Hz, která byla považována za reprezentativní pro rychlosti vozidel na mostě. Minimální uvažovaná hodnota modulu pro extrémně malé frekvence (modelující stání vozidel) byla 18 MPa.



Obrázek 2: Závislost komplexního modulu na frekvenci pro směs Orthochape® [3]



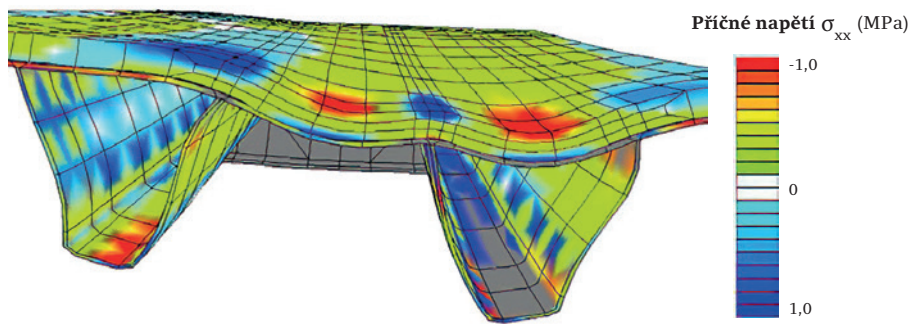
Obrázek 3: Schéma přístroje pro pětibodový ohyb [3]

Odolnost systému Orthochape® vůči únavě byla zkoušena ve speciálním přístroji pro zatěžování v pětibodovém ohybu podle francouzské normy NF P98-286 „Détermination de la résistance à la fatigue d'une étanchéité/roulement sur tôle métallique – Méthode d'essai sur banc de fatigue en flexion sous moment négatif“ z roku 2006.

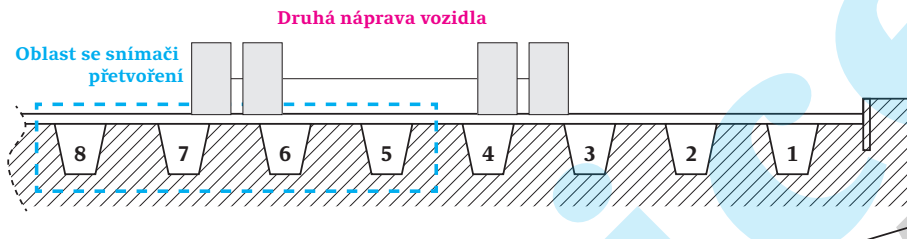
Přístroj pro pětibodový ohyb umožňuje modelovat zatížení na ocelovou ortotropní mostovku. Schéma přístroje je zobrazeno na obrázku 3. Snímače přetvoření jsou umístěny v místech předpokládaných největších protažení. Čtyři snímače jsou na povrchu asfaltové vrstvy a další čtyři na spodním líci ocelové desky. V literatuře [2] je uvedeno, že při únavové zkoušce v pětibodovém ohybu asfaltové směsi s pojivem použitým na mostě Millau nedošlo ani po 2 milionech cyklů k oddělení vrstev vozovky. Po skončení únavové zkoušky byly trhliny v horní části asfaltové vrstvy do hloubky maximálně 40 mm. To bylo považováno za vyhovující.

Pro představu o průběhu napětí a deformací v asfaltové vozovce a v ocelových výztuhách, u konstrukcí tohoto typu, je na obrázku 4 uveden výsledek výpočtu metodou konečných prvků převzatý z [9]. Je pro případ dvou zatěžovacích ploch umístěných symetricky ke styku pravé podélné ocelové výztuhy s deskou. Napětí v tahu jsou modrou barvou. Největší tahová napětí v asfaltové vrstvě jsou nahoře nad stykem podélné výztuhy s deskou. Dále uprostřed mezi výztuhami na spodní asfaltové vrstvě. Největší napětí v tlaku jsou na povrchu asfaltové vrstvy pod zatěžovacími plochami.

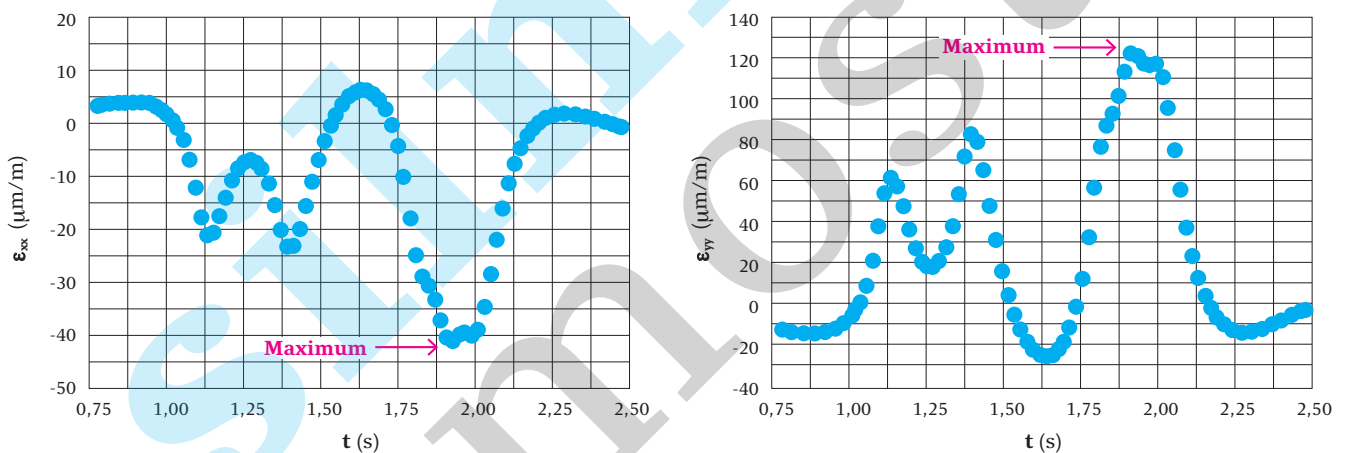
Porovnání výsledků měření na mostě Millau v rámci projektu Orthoplus, popsané v [4], s modelováním metodou konečných prvků programem Comsol, provedené v rámci doktorské práce, bylo prezentováno v literatuře [6]. Pro ocelovou desku se uvažoval modul pružnosti. Pro asfaltovou směs se uvažovalo s viskoelastickými vlastnostmi na základě výsledků laboratorních zkoušek. Zatěžovací vozidlo při měřeních na mostě Millau mělo na návěsu trojnápravu se zatížením 3 x 70 kN. Na zadní nápravě tahače byla dvojmontáž. Vzdálenost mezi první a pátou nápravou byla 12 m. Schéma konstrukce s podélným a příčným vyztužením je na obrázku 5. Průhyby a přetvoření konstrukce závisely na poloze vozidla od okrajů modelu ve směru osy Y (souřadnice d_y) a ve směru osy X (souřadnice d_x). Na obrázku 5 je poloha nápravy s dvojmontáží vůči podélným výztuhám 1 až 8. Měření a výpočty pro stojící vozidlo byly provedeny pro



Obrázek 4: Příklad deformace ortotropní ocelové mostovky dle výpočtu MKP v [9]



Obrázek 5: Poloha druhé nápravy vozidla vůči podélným výtuhám 1 až 8 dle [4]



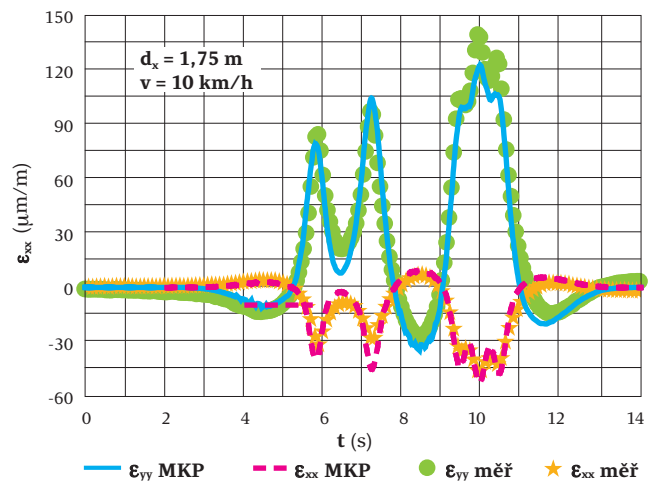
Obrázek 6: Příčné a podélné přetvoření naměřené při rychlosti 50 km/hod na spodu výtuhy číslo 7 dle [4]

9 poloh vozidla v příčném směru a 2 polohy ve směru podélném ($d_y = 14,6 \text{ m}$ a $16,7 \text{ m}$). Příčná přetvoření (ϵ_{xx}) byla menší než přetvoření v podélném směru (ϵ_{yy}).

Na obrázku 6 je průběh přetvoření v podélném a příčném směru, zjištěný snímačem G3 umístěným na spodním líci podélné výtuhy číslo 7, při pohybu vozidla rychlostí 50 km/hod. Maximální podélné a příčné přetvoření bylo při přejezdu trojnápravy. V podélném směru bylo protažení cca $120 \mu\text{m/m}$ a v příčném směru stlačení cca $40 \mu\text{m/m}$.

Na obrázku 7 je uvedeno je měřené a vypočtené podélné a příčné přetvoření pro vozidlo jedoucí rychlostí 10 km/hod (pro $d_x = 1,75 \text{ m}$). Maximální podélné přetvoření cca $140 \mu\text{m/m}$ bylo při přejezdu trojnápravy.

Vliv skladby a vlastností vozovky na ocelových mostech na její chování byl analyzován v několika výzkumných pracích srovnávacími výpočty metodou konečných prvků pro různé předpoklady. Z nich je vidět vliv tloušťky asfaltové vrstvy, její tu-



Obrázek 7: Měřená a vypočtená přetvoření při rychlosti 10 km/hod dle [6]

hosti, vlastností izolační vrstvy. Dále vliv nedokonalého spojení mezi vrstvami vozovky nebo na styku s ocelovou deskou [13], [14]. Informace o poruchách asfaltových vozovek na dvou ocelových mostech v Číně jsou popsány v [15].

Chování vozovky během koncese a návrhy rekonstrukce

Během provozu bylo chování mostní konstrukce monitorováno. Po několikaletém provozu se začaly ve vozovce vyskytovat trhliny.

Za zmínku stojí, že v publikaci o výsledcích projektu Orthoprus z roku 2014 byl i příspěvek o srovnání analýzy životního cyklu (LCA) zavěšeného mostu s asfaltovou vozovkou a s vozovkou betonovou [7]. Bylo provedeno pracovníky francouzské státní výzkumné organizace IFSTTAR podle norem ISO 14040 a ISO 14044 z roku 2006. Při tomto srovnání se po dobu životnosti asfaltové vozovky předpokládal následující scénář údržby:

- 15 let po uvedení konstrukce do provozu, poté periodicky každých 30 let se odfrézuje vrchní vrstva vozovky do hloubky 20 mm a provede se nová vrstva asfaltového betonu tloušťky 25 mm.
- 30 let po uvedení do provozu, pak pravidelně každých 30 let se asfaltová vrstva tloušťky 75 mm odfrézuje, provede se nová izolační vrstva. Poté se provede asfaltová vrstva tloušťky 70 mm.

Trhliny na mostě Millau byly zejména v pomalém pruhu. V odstavném pruhu byly lokální poruchy na povrchu vozovky minimální. Trhliny byly většinou jednoduché, s několika oblastmi, kde byly trhliny zdvojené, nebo dokonce rozvětvené. Tyto trhliny se nacházely hlavně vedle podélných výztuh kovové konstrukce, kde je horní povrch asfaltové vozovky nejvíce namáhán v tahu za ohybu. Na fotografii vozovky v [8] je vidět, že podélné trhliny jsou koncentrovány ve čtvrtině šířky pomalého jízdního pruhu od obou jeho okrajů. Kromě toho došlo ve všech jízdních pružích na několika místech k ztrátě tmelu a vylamování hrubého kameniva.

Počátkem roku 2022 byla koncesionářem zadána diagnostika a návrh rekonstrukce vozovky. Aby bylo možné posoudit hloubku trhlin ve vozovce, bylo provedeno mikrofrézování. Na vybraných místech vozovky byly realizovány vývrty. Na vývrtech byla provedena tomografická měření, kterými se zjišťovaly trhliny uvnitř vývrťů. Ukázalo se, že hloubka trhlin je všude menší než 30 mm. Byly stanoveny vlastnosti pojiva po extrakci. Laboratorními zkouškami byl zjištěn bod měknutí zestárlého pojiva 83,4 °C. V literatuře [8] se konstatovalo, že bod měknutí zjištěný na vývrtech „ukazuje relativně mírné stárnutí pojiva, zejména s ohledem na drsné klimatické podmínky v místě, v kombinaci s vysokým mechanickým namáháním (dálniční provoz)“. Toto hodnocení odpovídá dostupným informacím v literatuře.

Čerstvé pojivo Orthoprène® má mít, dle tabulky IV v technickém osvědčení F AT ET 14-04, výrobcem deklarovaný bod měknutí (VNAP: Valeur Nominale Annoncée par le Producteur) 95 °C. Hodnota zaručená s pravděpodobností 95 % (PRV 95 Plage Relative de Variation) má být 80 % deklarované hodnoty, tj. 76 °C. V literatuře [8] je ale v tabulce s vlastnostmi pojiva z odebraných vzorků uvedeno jako referenční pojivo „Biprène83, Reference gamme Eiffage“ s bodem měknutí ≥ 72 °C. Je to pro-

to, že firma Eiffage vyvinula a používala do asfaltových směsí dvě vysoce modifikovaná pojiva. Je to popsáno v článku [9] na kongresu E&E 2012. V něm bylo uvedeno, že pojivo Biprène®, s měkčím základním asfaltem s více než 7 % SBS, bylo použité na mostě Millau v roce 2004. Pojivo Orthoprène® s tvrdším základním asfaltem a více než 5 % SBS bylo použité na stavbě v Lyonu v roce 2011. V článku [9] se konstatuje, že u obou zmíněných silně modifikovaných pojiv je základem mikrostruktury polymerová fáze. Ale pojivo Orthoprène® je lacinější, díky menšímu obsahu polymeru a tvrdšímu asfaltu.

Pro rekonstrukci vozovky na mostě Millau byla zvažována dvě řešení. Buď částečné odfrézování vozovky do hloubky 35 mm a položení nové asfaltové vrstvy, nebo odstranění celé vozovky i s izolační vrstvou a provedení nové vozovky. Na základě analýz a zkoušek, popsanych dále v textu, bylo rozhodnuto provést jen částečné odfrézování.

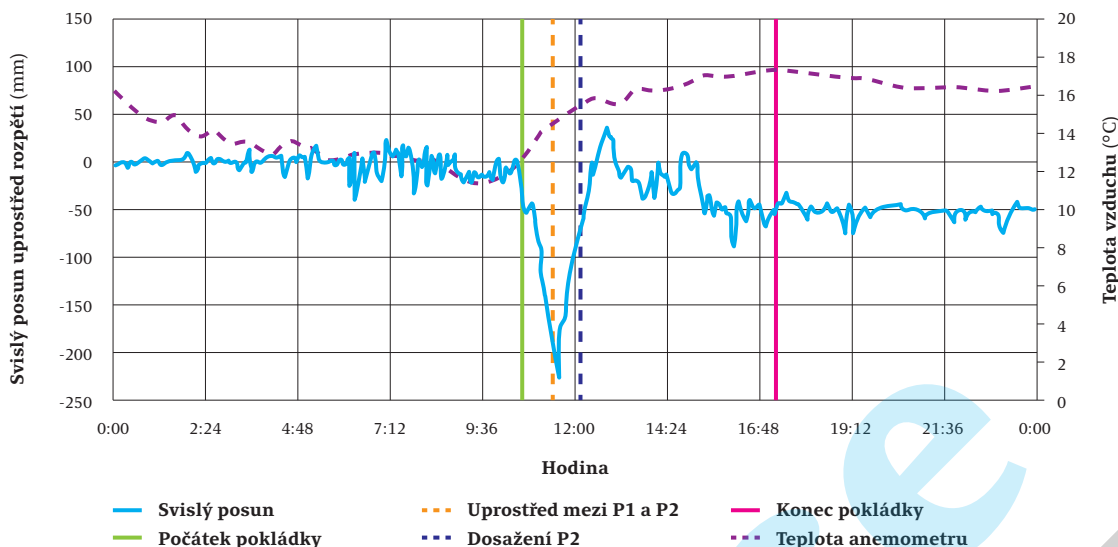
Zkoušky provedené pro rozhodnutí o způsobu rekonstrukce

Nová směs do svrchní vrstvy vozovky je SMA 0/10 s 6,3 % modifikovaného pojiva Orthoprène®. Pojivo Orthoprène® má mít bod měknutí ≥ 85 °C, bod lámavosti Fraass ≤ -25 °C, a vratnou duktilitu (dle ČSN EN 13398) ≥ 95 %. Modul tuhosti směsi při 15 °C a 10 Hz byl 4 000 MPa. Při zkoušce odolnosti vůči únavě dle EN 12697-24 v dvojbodovém ohybu na komolém klínu při teplotě 10 °C a frekvenci 25 Hz vyšlo $\epsilon_6 = 322$ $\mu\text{m/m}$ a $B = 8,14$. To dokládá mimořádnou odolnost silně modifikovaného pojiva vůči únavě. (Maximální návrhová hodnota ϵ_6 v příloze D francouzské normy pro navrhování vozovek NF P98-086 je $\epsilon_6 = 130$ $\mu\text{m/m}$ a $B = 5,0$.) Vlastnosti směsi SMA byly podobné jako vlastnosti asfaltové směsi použité na stavbě v roce 2004. Stejně jako při zkouškách před stavbou mostu byla i před rekonstrukcí vozovky provedena laboratorní zkouška únavy v pětibodovém ohybu na celém systému dle NF EN 98-286. Spodní ocelová deska tloušťky 14 mm byla ze stejného druhu oceli jako v roce 2004 a od stejného výrobce. Stejně jako na stavbě byla provedena i izolační vrstva.

Pro asfaltovou směs dolní vrstvy tloušťky 35 mm bylo použito pojivo Orthoprène® obdobných vlastností jako zestárlé pojivo po 16 letech ve vozovce získané ze zkoušek v roce 2020. V [8] není uvedeno, jak bylo toto pojivo pro zkoušku únavy připraveno. Pouze bylo konstatováno, že mělo obdobné vlastnosti, nejen při standardních zkouškách jako penetrace a bod měknutí, ale i zbytkový obsah polymeru a míru oxidace pojiva. Aby bylo co nejlépe modelováno spojení dolní a horní asfaltové vrstvy, bylo na spodní vrstvě provedeno mikrofrézování, poté spojovací postřík emulzí z modifikovaného pojiva Emulprene R20 (klasifikované jako C72 BP 2). Bod měknutí pojiva z emulze po extrakci byl 62,2 °C. Horní vrstva SMA měla tloušťku 35 mm.

Vertikální cyklické sinusoidální zatížení při frekvenci 4 Hz bylo v souladu s normou NF P 98-286. Aplikovaná síla byla mezi 10 % (předpětí) a 100 % síly určené během kalibrační fáze (pro poměrné přetvoření 450 $\mu\text{m/m}$ pro ocelovou desku 14 mm). Zkouška se provedla při dvou teplotách: -10 °C a +10 °C.

Odolnost systému při únavové zkoušce se považuje za vzhovující, nedojde-li ke vzniku trhlin nebo oddělení vrstev po 660 000 cyklech při 10 °C a 330 000 cyklech při -10 °C. Protože



Obrázek 8: Průběh svislého posunu uprostřed mostního pole mezi pilíři P1 a P2 a teplota vzduchu dne 4. 10. 2022 dle [11]

zkoušené těleso vydrželo bez porušení 2 miliony cyklů, je možné předpokládat, že rezerva proti porušení asfaltové vozovky na mostě bude dostatečná.

Na základě provedených zkoušek a analýz bylo rozhodnuto, že není nutné odstranit celou stávající vozovku, ale jen její horní část.

Realizace rekonstrukce vozovky

Informace o průběhu rekonstrukce jsou v [10]. Práce byly realizovány firmou Eiffage v období od 30. 8. do 10. 10. 2022. Práce probíhaly ve dvou fázích. Nejprve byl proveden kratší zkušební úsek, na kterém se ověřily všechny navržené postupy při rekonstrukci. Těmi byly frézování 35 mm stávající vozovky, odstranění zbývajících částí vozovky a izolace tlakovou vodou, realizace nové asfaltové vozovky.

V první fázi bylo ověřeno, že frézováním lze docílit povrchu s nerovnostmi menšími než 5 mm. Bylo zkoušeno několik rychlostí postupu frézy. Z toho byla zvolena jako optimální rychlost 8 m/min. Odstranění spodní vrstvy vozovky tlakovou vodou bylo provedeno robotem. Použitý tlak byl 300 MPa. Voda byla zachycována a odčerpávána. Po realizaci nové izolace byla položena směs SMA ve dvou vrstvách po 35 mm. Dobré spojení vrstev bylo ověřeno zkouškami na vývrtech.

Protože bylo poté rozhodnuto, že postačí jen částečná rekonstrukce vozovky, bylo ve druhé fázi prací provedeno odfrézování 35 mm vozovky, spojovací postřik a pokládka vrstvy SMA na celém mostě. Práce vždy probíhaly na celou šířku vozovky v jednom směru, přičemž v druhém směru byl normální provoz. Rekonstrukce proběhla postupně ve čtyřech úsecích mostu se dvěma přestávkami. Jedna přestávka byla kvůli posouzení stability konstrukce, druhá z organizačních důvodů. Po odfrézování do hloubky 35 mm bylo provedeno očištění podkladu. Po něm následovalo jeho převzetí. Při něm se kontrolovalo, zda v podkladu nejsou trhliny. Převzetí podkladu se provádělo po vizuální kontrole týmem specialistů. Tato kontrola trvala vždy půl dne a byla realizována v 6 případech. V podkladu nebyla při kontrole zjištěna žádná trhlina. Po převzetí podkladu a realizaci spojovacího postřiku byla položena vrstva SMA 0/10. Průměrná

mezerovitost nové vrstvy po zhutnění byla 6,5 %.

Měřeními během provádění rekonstrukce vozovky se zabývá článek [11]. Měřily se posuny konstrukce a rozdělení teplot v mostní konstrukci 17 snímači teplot. Při pokládce asfaltové vrstvy SMA začala stoupat teplota v ocelové desce pod vozovkou. V době od 10 do 30 minut po pokládce stoupala teplota lineárně rychlostí cca 1 °C/min. Pak již rostla pomaleji. Po hodině začala postupně klesat až se vyrovnala s teplotou okolí. Maximální ohřev desky vlivem pokládky byl 35 °C. Nejvyšší teplota zjištěná v ocelové desce během rekonstrukce byla 59,1 °C, přičemž teplota okolí byla během stavby byla 16 °C až 24 °C. Ponechaná původní spodní vrstva vozovky výrazně snížila ohřev ocelové desky, protože při stavbě v roce 2004 byly po pokládce vrstvy 70 mm naměřeny teploty v ocelové desce mírně vyšší než 100 °C.

Průhyby mostní konstrukce během rekonstrukce byly větší než při normálním provozu. Na obrázku 8 je modrou čarou svislý posun uprostřed mostního pole mezi pilíři P1 a P2 a teplota vzduchu během celého dne 4. 10. 2022. Ta se pohybovala od 12 °C do 18 °C. Na vodorovné ose je vyznačen čas začátku pokládky, postupu uprostřed mezi pilíři P1–P2 a po dosažení pilíře P2. Maximální svislý posun byl dosažen krátce poté, co byla pokládka uprostřed rozpětí, přičemž teplota v ocelové desce ještě pomalu stoupala.

Závěr

Informace z literatury o vlastnostech asfaltové vozovky na mostě Millau, jejím sledování během provozu, o návrhu rekonstrukce po 18 letech od dokončení stavby a jeho provedení umožňují získat velmi dobrou představu o složitých problémech spojených s návrhem a realizací asfaltových vozovek na ocelových mostech.

Ing. Jiří Fiedler

Literatura

- [1] Buonomo M., Martin J.P., Servant C. *Le viaduc de Millau, Ouvrages d'art 2004, No 47.*
https://www.cerema.fr/system/files/documents/2021/07/boa_47.pdf

- [2] Héritier B., Olard F., Saubot M., et al. Design of a specific bituminous surfacing for orthotropic steel bridge decks : application to the Millau Viaduct. <https://www.ntnu.no/ojs/index.php/BCRRA/article/view/2750>
- [3] Pouget S., Sauzeat C., Di Benedetto H., et al. Olard F., Propriétés mécaniques des revêtements bitumineux, 2014, p. 24–37. https://www.cerema.fr/system/files/documents/2021/07/boa_69_et_70.pdf
- [4] Pouget S., et al. Essais sur ouvrage: le viaduc de Millau, 2014, p. 38–48. https://www.cerema.fr/system/files/documents/2021/07/boa_69_et_70.pdf
- [5] Huurman, M., et al. The development of a 3D-FEM for the Design of Bridge Surfacing. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A0363d3ad-859f-4750-b9ed-aeab4ec3db07>
- [6] Pouget S., et al. Millau Viaduct Response under Static and Moving Loads Considering Viscous Bituminous Wearing Course Materials, 2012. <https://www.researchgate.net/publication/286858522>
- [7] Gomes F., et al. Influence du revêtement en béton bitumineux ou en BFUP sur l'analyse de cycle de vie d'une dalle orthotrope, 2014, p. 98–105. https://www.cerema.fr/system/files/documents/2021/07/boa_69_et_70.pdf
- [8] Olard, F., et al., Conception étude d'un nouveau complexe étanchéité/roulement à hautes performances, RGRA mars 2024, <https://www.editions-rgra.com/revue/1002>
- [9] Simard D., et al, Long lasting overlays by use of highly modified bituminous mixtures, E&E 2012 <https://www.h-a-d.hr/pubfile.php?id=581>
- [10] L'Huillier J.M., Rodriguez J. Chantier de renouvellement du complexe étanchéité/roulement du viaduc de Millau, RGRA mars 2024, <https://www.editions-rgra.com/revue/1002>
- [11] Toupin G., Attia T. Vérification de la stabilité de l'ouvrage. <https://www.editions-rgra.com/revue/1002>
- [12] Lu X., et al, Long-term durability of polymer modified bitumen in bridge deck pavements, 2016. <https://www.h-a-d.hr/pubfile.php?id=907>
- [13] Kimab T.W., et al, Effect of pavement design parameters on the behaviour of orthotropic steel bridge deck pavements under traffic loading, 2013. <https://www.researchgate.net/>
- [14] Tzimiris, G., et al. Experimental investigation of multilayer surfacing system on orthotropic steel bridge with the five-point bending test, 2013. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Aa4da6b47-e27d-4584-86d9-0ca329de0785>
- [15] Jia X., et al. Comparative Investigation Into Field Performance of Steel Bridge Deck Asphalt Overlay Systems, 2016. <https://www.researchgate.net/>

Inzerce



31. SILNIČNÍ KONFERENCE

KVALITA INOVACE VZDĚLÁNÍ

ZE SVĚTA DO REGIONŮ
ČESKÉ BUDĚJOVICE 2024

23.–24. října 2024
Výstaviště České Budějovice



www.silnicnikonference.eu

Kontakt, bližší informace:

E-mail: info@silnicnikonference.eu | Tel.: +420 604 271 835