

Použití asfaltové směsi s vysoce modifikovaným asfaltem, rozptyl výsledků zkoušek a vliv únavových vlastností na návrh vozovky

Použití asfaltové směsi s vysoce modifikovaným asfaltem umožnilo navrhnout vozovku pro velký PPP projekt v Kanadě. Jsou uvedeny zásady návrhu vozovky při individuálním vyhodnocení únavové zkoušky speciálního asfaltu s větším rozptylem výsledků zkoušek. Je popsán vliv rozptylu při únavové zkoušce na návrh vozovky podle francouzské a české návrhové metody.

Úvod

V Kanadě byl v říjnu 2019 otevřen dálniční obchvat města Regina ležícího v jižní části provincie Saskatchewan. Projekt zahrnoval výstavbu nových vozovek o šířce 2 x 2 pruhy (úseky „Greenfield“), rekonstrukci stávajícího 18 km dlouhého úseku dálnice (úsek „Brownfield“) a zpevnění nového 5 km dlouhého úseku. Celkový rozpočet projektu byl cca 900 milionů eur. Projekt byl realizován v režimu Návrh – Výstavba – Financování – Provoz – Údržba na období přibližně 34 let mezi rokem 2015 (návrh a zahájení prací) a rokem 2049 (konec koncesního období). Základní informace o projektu a o jeho provozování lze najít na jeho webové stránce <https://reginabypass.ca/>.

Kromě velkého rozsahu prací patřily mezi hlavní technické výzvy: teploty od -40 °C do +35 °C; silný vítr a sníh; hloubka promrzáni až 2,5 m (index mrazu > 1 400 °C.)

Specifické klimatické podmínky lokality a délka trvání koncesního období si vyžádaly několik inovativních přístupů při návrhu, realizaci a sledování chování vozovky. V odborné literatuře bylo publikováno několik článků se zajímavými technickými údaji o tomto velkém projektu. Informace o použitých materiálech, návrhu vozovky a monitorování vozovky jsou uvedeny v literatuře [1].

Vlastnosti pojiva, odolnost asfaltové směsi proti únavě a vliv rozptylu

Asfalt byl silně modifikovaný polymerem SBS tak, aby se dosáhlo zařazení podle klasifikace PG 64-37. (V americké klasifikaci PG dle „AASHTO M 320 Tabulka 1“, používané i v Kanadě, jsou standardní třídy PG 64-34 a PG 64-40.) Jedná se tedy o nestandardní pojivo.

V některých regionech západní Kanady se ale pojivo PG 64-37 přímo předepisuje. Zkouškou BBR (ČSN EN 14771 Stanovení modulu tuhosti za ohybu pomocí průhybového trámečkového reometru) se doloží, že požadovaný maximální modul tuhosti je splněn při teplotě -27 °C (viz např. požadavky na pojiva v regionu Britská Kolumbie <https://www.asphaltinstitute.org/wp-content/>

[uploads/Binder-Spec_BC_2025.pdf](#)). Za kritickou dolní teplotu se totiž uvažuje teplota o 10 °C nižší než zjištěná při laboratorní zkoušce BBR, neboť ochlazování probíhá v laboratoři rychleji než ve skutečnosti. (Bližší informace o hodnocení a modelování nízkoteplotních vlastností asfaltových pojiv zkouškou BBR jsou popsány například v literatuře [2].)

Článek [1] neobsahuje výsledky zkoušek používaných pro klasifikaci asfaltových pojiv v Evropě. Představu o vztahu mezi oběma klasifikačními systémy je možné získat například z dokumentu [3] o silničních a modifikovaných asfaltech používaných pro asfaltové směsi v Kanadě. V něm je i tabulka s výsledky zkoušek asfaltů podle EN a dle klasifikace PG (tabulka 1). (V článku [4] o vlastnostech polských silně modifikovaných pojiv HiMA jsou rovněž uvedeny hodnoty ze zkoušek dle EN a dle klasifikace PG.)

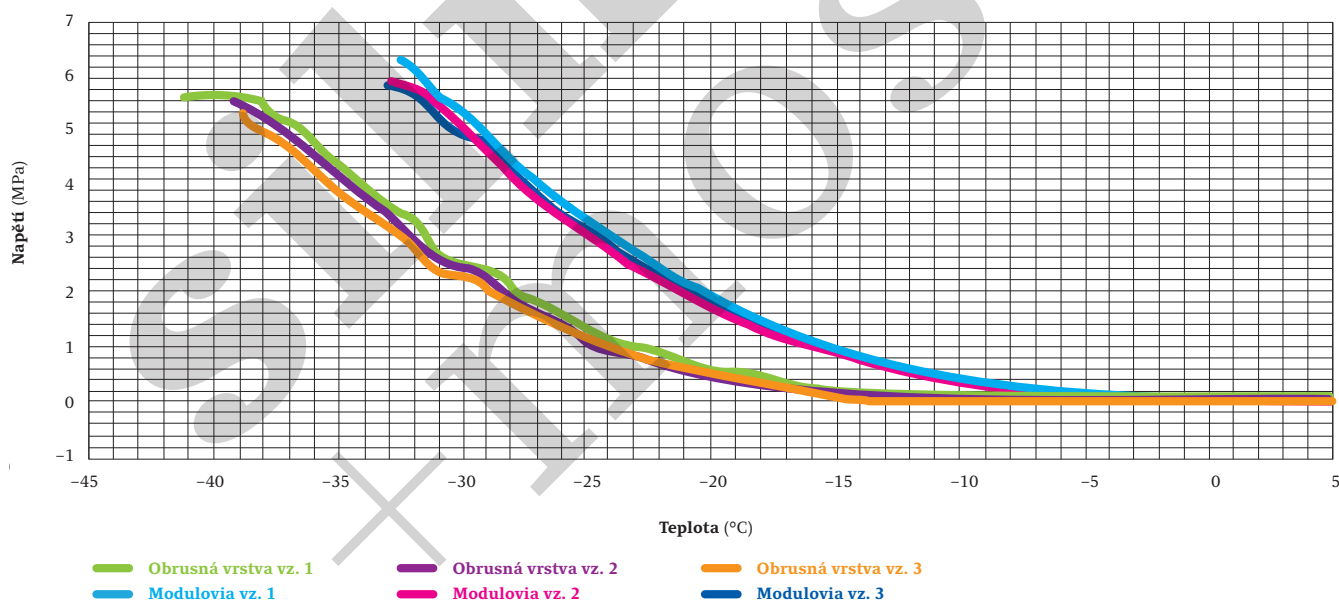
Z tabulky je patrné, jak použití modifikovaného asfaltu zvyšuje kritickou teplotu za nízkých teplot. Ilustruje rovněž mimořádné vlastnosti speciálního silně modifikovaného pojiva PG 64-37.

Při zkoušce asfaltové směsi s rovnoměrným řízeným poklesem teploty TSRST (Thermal Stress Restrained Specimen Test) dle ČSN EN 12697-46 Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin pomocí jednoosé zkoušky tahem se zjišťuje kritická teplota při porušení společně s maximálním tahovým napětím, při kterém došlo k porušení. Směs pro obrusnou vrstvu na obchvatu Regina odolávala až do teploty -39,7 °C a směs pro ložní a podkladní vrstvu, s komerčním názvem Modulovia®, odolávala až do teploty -32,8 °C (obrázek 1).

Pro představu o tom, jak mimořádná je odolnost směsi Modulovia® za nízkých teplot, je možné tyto výsledky porovnat s údaji uvedenými v literatuře [5]. V ní byly popsány provedené zkoušky na v Česku běžně používané směsi ACO 11+. Výsledky jsou znázorněny na obrázku 2. I pro směs s pojivem 70/100 byla kritická teplota vyšší než -20 °C. Teprve směs s pojivem 160/220 měla obdobnou kritickou teplotu jako poměrně tuhá směs Modulovia® v kanadském projektu.

Tabulka 1: Výsledky zkoušek asfaltů podle EN a dle klasifikace PG [3]

		Evropská klasifikace asfaltů (penetrace 1/10 mm)				Systém PG
Zkouška		10/20	20/30	35/50	50/70	88-28
Hustota při 25 °C (g/cm ³)		1,041	1,033	1,033	1,026	1,013
Penetrace (1/10 mm)		16	28	47	50	57
Bod měknutí KK (°C)		73	66	63	60	92
Vratná duktilita při 10 °C (%)		< 5	< 5	< 5	< 7,5	71
Rotační viskozita (cP)	135 °C	1875	980	595	439	1928
	165 °C	390	234	156	124	424
PG	T _{high} (°C)	88,2	80,6	71,7	69,3	90,7
	T _{low} (°C)	-14,6	-18,8	-21,2	-22,7	-29,2
	Klasifikace PG	88-10	76-16	70-16	64-22	88-28
MSCR při 64 °C	J _{nr} při 3,2 kPa	0,1	0,38	1,5	2,17	0,013
Nevratná poddajnost (%)		29,3	12,5	2,3	1,3	95,6
PG		64E-10	64E-16	64H-16	64S-22	64E-28



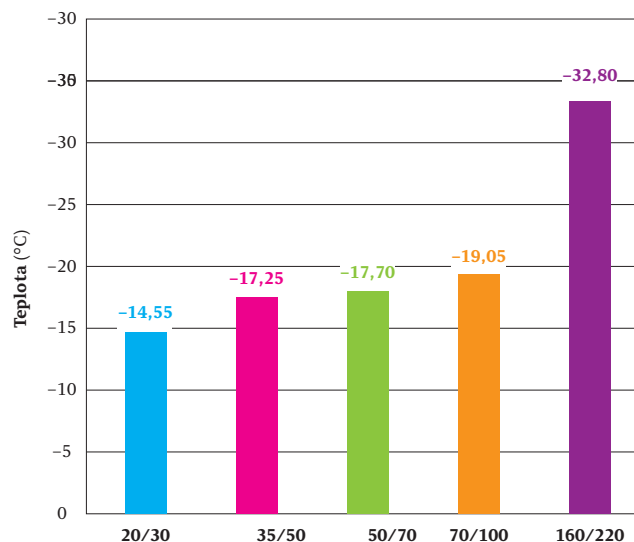
Obrázek 1: Výsledky zkoušek TSRST [1]

Pro asfaltovou směs 0/14 s obsahem R-materiálu 10 % až 15 % do podkladní a ložní vrstvy byly dle [1] zadavatelem pro projekt obchvatu Regina požadovány tyto parametry:

- *Komplexní modul tuhosti při 10 °C pro f 10 Hz $E^* > 8\,000$ MPa.* Zkouškami vyšlo při 10 °C $E^* = 11\,849$ MPa a při teplotě 3 °C $E^* = 17\,100$ MPa.
- *Únavový parametr při zkoušce na komolém klínu (2PB) dle EN 12697-24 (metoda A) při 10 °C a f 25 Hz $\epsilon_\delta > 160$ $\mu\text{m/m}$.* To je vyšší požadovaná hodnota než horní mez pro standardní asfaltové směsi dle tabulky D.8. s návrhovými hodnotami materiálů v příloze D francouzské normy pro navrhování vozovek

NF P98-086. Maximální hodnota, kterou lze dle normy použít pro návrh vozovky pro směs typu EB-EME na základě laboratorní zkoušky únavy při 10 °C je $\epsilon_\delta = 145$ $\mu\text{m/m}$. Pro směsi uvedené v tabulce D.9 normy je to $\epsilon_\delta = 130$ $\mu\text{m/m}$. Při laboratorní zkoušce únavy vyšlo (z rovnice uvedené na obrázku 3) $\epsilon_\delta = 208$ $\mu\text{m/m}$.

Kromě zkoušky na komolém klínu byly na směsi Modulovia® provedeny i únavové zkoušky tah-tlak při frekvenci 10 Hz, která se v Kanadě používá. (Je to obdoba metody D dle EN 12697-24, ale postupuje se dle amerických předpisů). Výsledky obou únavových zkoušek jsou na obrázku 3. Další porovnání obou



Obrazek 2: Zkoušky TSRST směsi ACO 11+ se silničními asfalty zkoušky na VUT v Brně [5]

typů únavových zkoušek bylo provedeno v rámci společného francouzsko-kanadského výzkumného úkolu zabývajícího se směsí s vysokým modulem tuhosti pro kanadské klimatické podmínky. Také u zkoušek v rámci tohoto výzkumného úkolu byl rozptýl větší u zkoušky tah-tlak.

Poměrně velký rozptýl počtu cyklů do porušení na jednotlivých tělesech i při zkoušce na komolém klínu dle EN spolu s velkým sklonem únavové přímky ($B = 7,1$) si vyžádal pro návrh vozovky pro PPP projekt obchvatu Regina individuální vyhodnocení únavových zkoušek.

Ve Francii se dle normy pro navrhování vozovek NF P98-086 požaduje uvažovat pro bezpečnost při návrhu vozovky výpočetem s hodnotou $B = -1/b = 5,0$, i když při laboratorní zkoušce vyjde sklon únavové přímky větší. Je to proto, že sklon únavové přímky má velký vliv na výsledky výpočtů vozovek. (Při standardním hodnocení únavové zkoušky by nevyhověla ve Francii

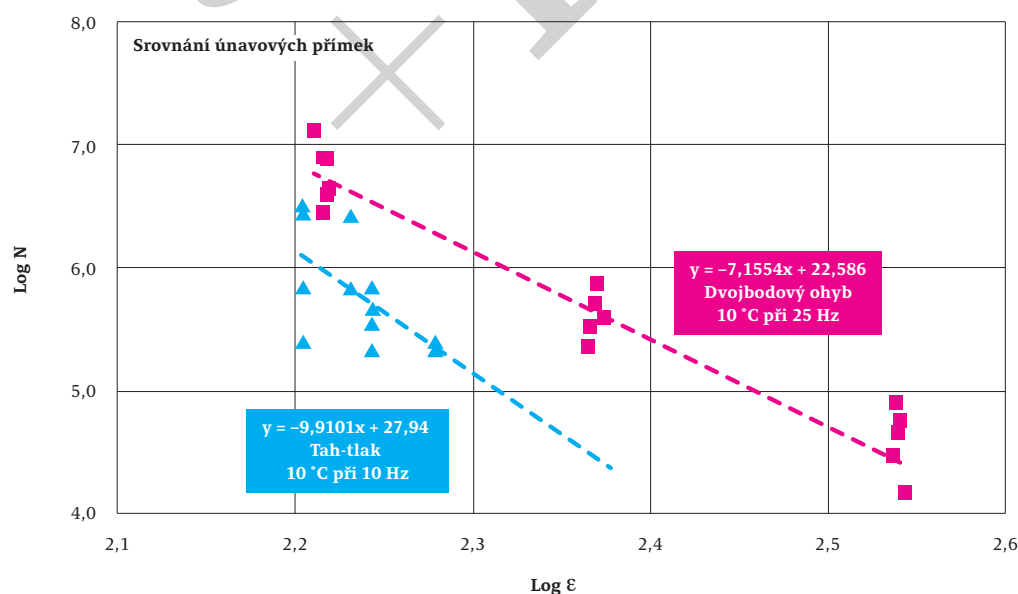
směs, která by měla při zkoušce nižší hodnotu ε_b , než je pro danou směs hodnota ε_b předepsaná v normě, i kdyby sklon únavové přímky byl vyšší.)

V předchozí verzi českého předpisu pro navrhování vozovek TP 170 z roku 2004 bylo také požadováno, aby se uvažovalo vždy s $B = 5,0$. V novelizované verzi TP 170 z roku 2024 se v kap. 5.2 „Návrhové parametry konstrukčních vrstev“ způsob zohlednění výsledků únavové zkoušky pro návrh vozovky nepředepisuje. Pouze se konstatuje:

„Návrhové hodnoty, uvedené v tabulkách, nelze přímo porovnávat s výsledky laboratorních zkoušek. Pokud má být u významných staveb, nebo na základě požadavků projektanta či investora, proveden návrh vozovky na základě výsledků laboratorních zkoušek, je třeba individuálního posouzení, jak z naměřených, laboratorně stanovených hodnot zvolit návrhovou hodnotu pro výpočet.“

Ve Francii se standardně požaduje při laboratorní zkoušce únavy vyhodnotit, a na protokolu o zkoušce uvést, nejen sklon únavové přímky a charakteristiku ε_b , ale i hodnotu SN (směrodatná odchylka rozptylu únavových zkoušek dle ČSN EN 12697-24). Dle tabulek v příloze D normy NF P98-086 může být maximální hodnota $SN = 0,3$. Toto omezení je potřebné, protože velká hodnota SN by znamenala, že interval spolehlivosti okolo regresní přímky je poměrně široký. Vypočtené celkové přípustné dopravní zatížení vozovky by pak bylo výrazně menší. Tabulková hodnota $SN = 0,3$ v NF P98-086 byla zvolena přiměřeně opatrně. To je vysvětleno v [11] na straně 17 vpravo. Proto to zde není opakováno. V některých případech ovšem může vyjít ze zkoušek hodnota SN vyšší.

Při výpočtu dle francouzské návrhové metody se vyšší hodnota parametru SN projeví snížením koeficientu rizika kr , vypočteného dle rovnice (11) v NF P98-086. Ve francouzské normě se kromě rozptylu SN z laboratorní zkoušky ještě zohledňuje i možné kolísání tloušťky vrstvy vozovky. To je blíže vysvětleno v literatuře [11]. Proto se tento text výpočtem k , dle NF nezabý-

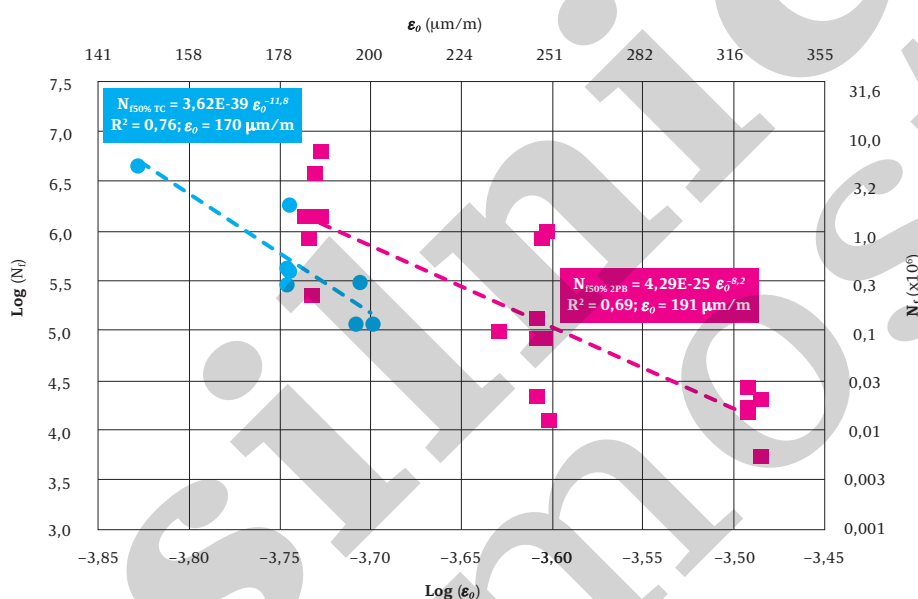


Obrazek 3: Výsledky únavových zkoušek směsi Modulovia do ložní a podkladní vrstvy [1]

Tabulka 2: Výsledky únavových zkoušek 4PB směsi s pojivem PG 88-28 při různých frekvencích dle [7]

Parametr	f_{test}		
	5 Hz	10 Hz	25 Hz
Počet testovaných vzorků (n)	8	8	9
a_2	Průměrná hodnota (X_i)	11,4	11,8
	Směrodatná odchylka (S_i)	4,1	3,1
$\varepsilon_6(\theta_{\text{test}}, f_{\text{test}}) \cdot 10^6$	Průměrná hodnota (X_i)	157	162
	Směrodatná odchylka (S_i)	1,2	1,2
R^2	0,57	0,70	0,79
$SN_f^{(1)}$	0,43	0,50	0,35

$$^{(1)} SN_f = S_{\log(N_f)} \times \sqrt{[(1 - R^2) \times (n - 1)] / (n - 2)}.$$



Obrázek 4: Únavové zkoušky na směsi s modifikovaným pojivem PG 88-28 [6]

vá. Snížení hodnoty k , vede ke snížení přípustné hodnoty protažení na spodním lici asfaltových vrstev ε_{adm} , vypočítané v normě NF P98-086 dle vzorce (7) a nutnosti zesílit vozovku.

Velký rozptyl výsledků při únavové zkoušce směsi pro projekt obchvatu Regina pravděpodobně není náhodné povahy. Může souviset s tím, že u směsí s vysokým modulem tuhosti se silně modifikovaným asfaltem není snadné docílit při výrobě a pokládce homogenity ztuhnuté asfaltové směsi. K tomu lze nalézt v literatuře několik odkazů. Není to však předmětem tohoto textu.

Také u únavových zkoušek v rámci zmíněného francouzsko-kanadského výzkumného úkolu zahájeného v roce 2017 [6] byl u dalších zkoušek s vysoce modifikovanými pojivy rozptyl při laboratorní zkoušce únavy vyšší než u běžných směsí. V článku [6] je uveden výsledek zkoušky na směsi s modifikovaným pojivem PG 88-28 při zkoušce 2PB a zkoušce tah-tlak (obrázek 4).

Sklon únavové přímky byl dokonce $B = 8,2$ a $\varepsilon_6 = 191 \mu\text{m/m}$, ale R^2 byl jen 0,69. Velký rozptyl výsledků je vidět z již z pohledu na graf.

Podobně tomu bylo u únavových zkoušek v [7], kde se porovnávaly zkoušky tah-tlak se zkouškami na trámku (4PB). Zkoumal se také vliv jiné frekvence u zkoušky 4PB na směsi s pojivem PG 88-28. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 2. Zde byl ovšem menší počet zkoušek. Obvykle vychází při statistickém hodnocení při větším počtu zkušebních těles menší rozptyl.

Za zmínku stojí, že asfaltová směs se silně modifikovaným pojivem, označovaná komerčním názvem HiMA, byla zkoušena na únavové dráze Amerického institutu NCAT a v laboratoři. Ve zprávě [8] byly výsledky zkoušek únavy 4PB na směsi HiMA a na referenční směsi. Počet cyklů do porušení při únavové zkoušce u směsi HiMA byl řádově větší. Ovšem rozptyl výsledků byl větší u směsi HiMA. Ve zprávě jsou v grafu výsledky únavových zkoušek. V textu jsou uvedeny jen hodnoty R^2 . Ty byly 0,969 u referenční směsi a 0,913 u směsi HiMA. Pisatelem byly z hodnot počtu cyklů do porušení na všech tělesech, uvedených ve zprávě, dopočteny hodnoty SN . Ty byly 0,228 pro referenční směs a 0,317 pro směs HiMA. Bylo ovšem zkoušeno

jen 9 těles pro každou směs, což může mít vliv na vypočtený rozptyl výsledků.

Návrh vozovky v projektu obchvatu Regina se zohledněním rozptylu zkoušek

Individuální vyhodnocení únavové zkoušky pro PPP projekt obchvatu Regina, dokládající, že odolnost proti únavě je vyhovující i při $SN = 0,43$ z laboratorní zkoušky, je v [1] stručně popsáno. Pro návrh vozovky dle francouzské normy pro navrhování vozovek NF P 98-086 byly použity tyto další předpoklady: Standardní francouzská návrhová náprava 80 kN (kontaktní napětí 0,57 MPa; poloměr zatěžovací plochy 0,106 m, vzdálenost mezi středy zatěžovacích ploch 0,138 m). Ekvivalentní teplota 3,1 °C. (Ekvivalentní teplota pro návrh vozovky se v normě NF P98-086 počítá podle přílohy G. Jde ovšem o přibližnou metodu. Bližší informace k této problematice lze nalézt například v [9].)

S přihlédnutím k postupnému zesilování vozovky bylo v [1] zvoleno riziko výpočtu 10 %. V textu [1] to nebylo zdůvodněno. V NF P98-086 doporučení k etapové výstavbě nejsou. Informace k etapové výstavbě francouzskou metodou výpočtu lze vyhledat pomocí AI Gemini. Postup výpočtu je složitější než dle TP 170 v kapitole 5.1 Etapová výstavba.

(Obecně jsou doporučena rizika výpočtu v normě NF P98-086 uvedena pro jednotlivé třídy dopravního zatížení v tabulce B.7 v informativní příloze B „Volby zadavatele“. Například pro nej-

vyšší třídu dopravního zatížení T_{ex} s více než 5 000 těžkými nákladními vozidly za den v jednom směru je riziko výpočtu 1 % a pro třídu T2 s 150 až 300 těžkými vozidly v jednom směru je riziko výpočtu 12 %.)

Návrhové únavové parametry směsi Modulovia® 0/14 v ložní a podkladní vrstvě byly:

$$\varepsilon_0 = 200 \mu\text{m/m} \quad B = -1/b = 5,0 \quad SN = 0,43$$

Skladba vozovky a návrhové moduly pružnosti E jednotlivých vrstev, uvažované při výpočtu programem Alize pro ekvivalentní teplotu 3,1 °C a frekvenci 10 Hz, jsou uvedeny v tabulce 3. Pro všechny vrstvy se uvažoval součinitel příčného přetvoření $\mu = 0,35$.

Uvažovala se velká tloušťka nestmelených vrstev, související s velkými mrazy v regionu. Dále velmi malá návrhová únosnost podloží $E_{v2} = 15$ MPa nebo CBR = 2,5 %. Článek [1] se geotechnickými problémy při tomto projektu nezabýval. Z různých informací na internetu vyplývá, že v rovinatém území okolo města Reginy jsou geotechnické poměry složité. Horní vrstva podloží je tvořena cca 10metrovou vrstvou objemově nestálých jílu s podílem montmorillonitu. Pod nimi jsou různé sedimenty glaciálního původu. Ty mají v regionu mocnost 50 až 300 m. Malá únosnost jílu a blízkost hladiny podzemní vody způsobuje sedání silničních násypů v regionu a nutnost zakládat mostní objekty na pilotách.

Uvažované dopravní zatížení a počáteční skladba vozovky a po zesílení v průběhu koncese je v tabulce 4. Vrstvy jsou

Tabulka 3: Skladba vozovky a návrhové moduly pružnosti pro program Alize [1]

Vrstva	Towar–Rotary	Rotary–Hwy 1	E (MPa)
Obrusná	50 mm		7 000
Ložní a podkladní	135	115	14 000
Horní nestmelená	200		300
Dolní nestmelená	625		45 a 150*
Podloží	$E_{v2} > 15$ MPa		15

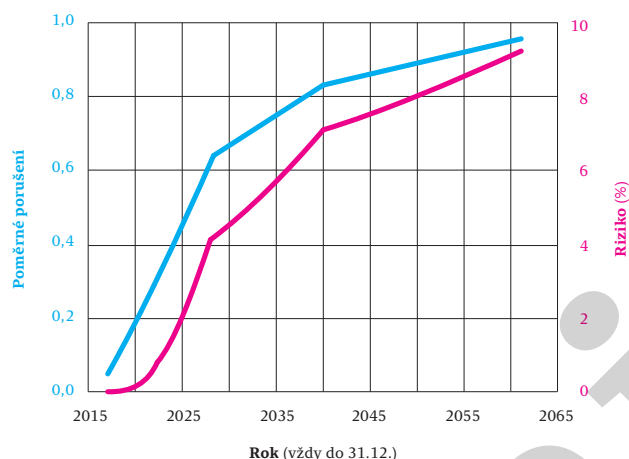
*Ve výpočtu rozděleno na dvě vrstvy.

Tabulka 4: Skladba vozovky v průběhu koncese [1]

Skladba vozovky	Nová	Po zesílení	Po zesílení
	Fáze 1	Fáze 2	Fáze 3
Období	2017–2029	2029–2041	2041–2061
N_{cd} , 80 kN (milion)	10,3	12,5	27,3
N_{cd} , 100 kN (milion)	4,2	5,1	11,2
Zesílení 2041			50
Zesílení 2025		50	50
Obrusná vrstva	50	50	50
Modulovia®	50	50	50
Modulovia®	85	85	85
Nestmelená podkladní	200	200	200

v mm. Počet návrhových náprav 100 kN byl vypočten dle P.2.1.1. Přepočet na návrhovou nápravu je s $B = 4,0$. Celkový počet návrhových náprav 100 kN je 20,5 milionů.

Pro první fázi provozu se uvažovalo při návrhu riziko $k_r = 4 \%$. To poroste v průběhu koncese tak, že na konci koncesní doby se uvažovalo s rizikem 9 % při poměrném porušení cca 0,95 (obrázek 5).



Obrázek 5: Růst rizika výpočtu a návrhového porušení během koncese [1]

Monitorování vozovky na obchvatu Regina po uvedení do provozu

Po třech letech provozu byly provedeny rázové zkoušky FWD. Z jejich vyhodnocení vyplynulo, že modul pružnosti podloží je cca 30 MPa, tedy větší než opatrná hodnota uvažovaná při návrhu vozovky. Dále byly provedeny různé zkoušky na 17 vývrtech průměru 150 mm. Průměrný modul tuhosti ze zkoušky v příčném tahu se sinusoidálním zatěžováním při 15 °C a 10 Hz byl 9 200 MPa. Při ekvivalentní návrhové teplotě 3,1 °C byl průměrný modul 18 400 MPa. Nejnižší naměřený modul byl cca 15 000 MPa, tj. vyšší než návrhová hodnota 14 000 MPa.

Ve vozovce byly instalovány snímače teploty, podélných a příčných deformací a svislých tlaků. Systém je označován

obchodním názvem SMARTVIA®. Jeho popis a výsledky měření jsou ve starším příspěvku z roku 2016 [10]. Měření systémem SMARTVIA® na stavbě obchvatu Regina ukázala, že při letních teplotách byla protažení okolo 75 $\mu\text{m/m}$ a při teplotě 5 °C 25 $\mu\text{m/m}$. Při návrhové teplotě 3,1 °C byly deformace menší, než vyšlo s výpočtem z programu Alize.

Možnosti zohlednění rozptylu únavových zkoušek dle TP 170

Vliv rozptylu únavových zkoušek je v české návrhové metodě zohledněn obdobně jako ve francouzské metodě, i když v konkrétním postupu jsou rozdíly. Podrobněji byla problematika statistického hodnocení únavových zkoušek asfaltových směsí a jejich aplikace při navrhování vozovek v několika návrhových metodách popsána v sérii čtyř článků v časopise Silnice mosty v roce 2013 a 2014. Zde je přímo citována jen třetí část [11]. V TP 170 se rozptyl výsledků vyjadřuje dílčím součinitelem rozptylu únavové zkoušky γ_{up} . V poznámce 22 uvedené v TP 170 se konstatuje:

„Charakteristiku γ_{up} je možné stanovit buď z konkrétní únavové zkoušky, ze vzorce (P.2.8), nebo použít doporučenou návrhovou hodnotu, stanovenou na základě vyhodnocení velkého počtu únavových zkoušek.“

Z výsledků zkoušky se součinitel rozptylu únavové zkoušky stanoví v TP 170 ze vzorce (P.2.8):

$$\gamma_{up} = 10^{ubSN},$$

kde je

- u** charakteristika normálního rozdělení, pro pravděpodobnost výskytu 95 % je $u = -1,65$;
- b** parametr z rovnice (P.2.4) vyjadřující sklon únavové přímky;
- SN** směrodatná odchylka dekadických logaritmu počtu cyklů do porušení.

Ze vzorce (P.2.8) v TP 170 pro $SN = 0,3$, $b = -1/B = -1/5 = -0,2$ vychází $\gamma_{up} = 1,26$. Tato hodnota je v TP 170 uvedena. V programu ELaS je γ_{up} pevně nastavená a není mezi vstupy. Pokud by se při návrhu vozovky uvažovala z nějakého důvodu jiná hodnota γ_{up} , bylo by možné mezní počet opakování zatížení N_{lim} vypočítat ze vzorce (P.2.12) a hodnotu D_{ed} pro vozovku vypočtenou programem ELaS korigovat dle vzorce (P.2.9).

Tabulka 5: Parametry z únavové zkoušky v roce 2015 [12]

	ACP 50/70	RBL 50/70
Obsah pojiva (%)	4,1	4,6
Sklon $B = -1/b$	4,7	5,0
ϵ_6 ($\mu\text{m/m}$)	81,5	107,9
$\gamma_{up} = \epsilon_{6,50} / \epsilon_{6,5}$ (dle TP 170)	1,47	1,22
$D\epsilon_6$ (dle ČSN EN) ($\mu\text{m/m}$)	14,3	8,5
$\epsilon_{6min} = \epsilon_6 - D\epsilon_6$ ($\mu\text{m/m}$)	67,2	99,4
Rozptyl SN	0,481	0,267
Koeficient determinace R^2	0,796	0,918
Počet vzorků	16	17

Pro ilustraci možného rozptylu výsledků únavových zkoušek je uvedeno několik konkrétních příkladů zkoušek provedených v ČR. Porovnání únavové zkoušky směsi ACP a směsi RBL (Rich bottom layer) se silničním asfaltem v článku [12] z roku 2017 je v tabulce 5. Směs ACP měla ε_6 odpovídající tabulkové hodnotě pro směs GB 2 do podkladní vrstvy dle NF P98-086. Po přepočtu na návrhovou teplotu 15 °C podle přibližného vzorce ve francouzské metodě by směs ACP měla hodnotu ε_6 mírně vyšší, než je návrhová hodnota v tabulce v TP 170. Dle tabulky D.11 v normě NF P98-086 je koeficient přepočtu z 10 °C na 15 °C pro směsi do podkladní vrstvy typu GB 1,32 ale pro směsi s vysokým modulem tuhosti jen 1,21. Ovšem rozptyl únavové zkoušky byl vysoký $SN = 0,48$. (Vysoká byla i hodnota parametru $\Delta\varepsilon_6$, který je rovněž užitečným ukazatelem rozptylu výsledků.). Koeficient determinace R^2 byl jen 0,8. Směs RBL s vyšším obsahem pojiva měla vyšší hodnotu ε_6 a menší hodnotu SN i $\Delta\varepsilon_6$. Koeficient $R^2 = 0,92$ byl vysoký.

Na obrázku 4, převzatého rovněž z [12], jsou sloučeny výsledky dvou zkoušek směsi RBL s PMB. Sklon únavové přímky je zřetelně vyšší než u směsi se silničním pojivem. Koeficient rozptylu únavové zkoušky je malý $SN = 0,25$. Pro $B = 6,1$, $b = -0,163$ pak vyšlo jen $\gamma_{up} = 1,17$.

Pro zjištěnou hodnotu pro kanadskou směs $SN = 0,43$ by ze vzorce (P.2.8) v TP 170 vyšlo pro $b = -0,2$ $\gamma_{up} = 1,39$. To by vedlo na cca poloviční mezní počet zatížení dle vzorce (P.2.12). Pro zachování stejného počtu zatížení do porušení (respektive stejného poměrného porušení D_{cd}) by proto bylo nutné při větším rozptylu únavových zkoušek vozovku zesílit.

Lze tedy shrnout, že jak ve francouzské, tak v české návrhové metodě vede větší rozptyl výsledků laboratorní únavové zkoušky ke zvýšení tloušťky vozovky.

Za zmínku stojí, že pokud by se použily hodnoty ze zkoušky kanadské směsi, $B = 7,1$, tj. $b = -0,14$ a $SN = 0,43$, vyšlo by českou metodou $\gamma_{up} = 1,26$, tedy stejně jako hodnota pevně nastavená v programu ELAS. Větší sklon únavové přímky $B = 7,1$ by v tomto

případě vykompenzoval větší rozptyl počtů cyklů do porušení na jednotlivých tělesech. To ukazuje, jak mohou použité předpoklady, či omezení uvedená v předpisech, ovlivňovat výsledek hodnocení.

Závěr

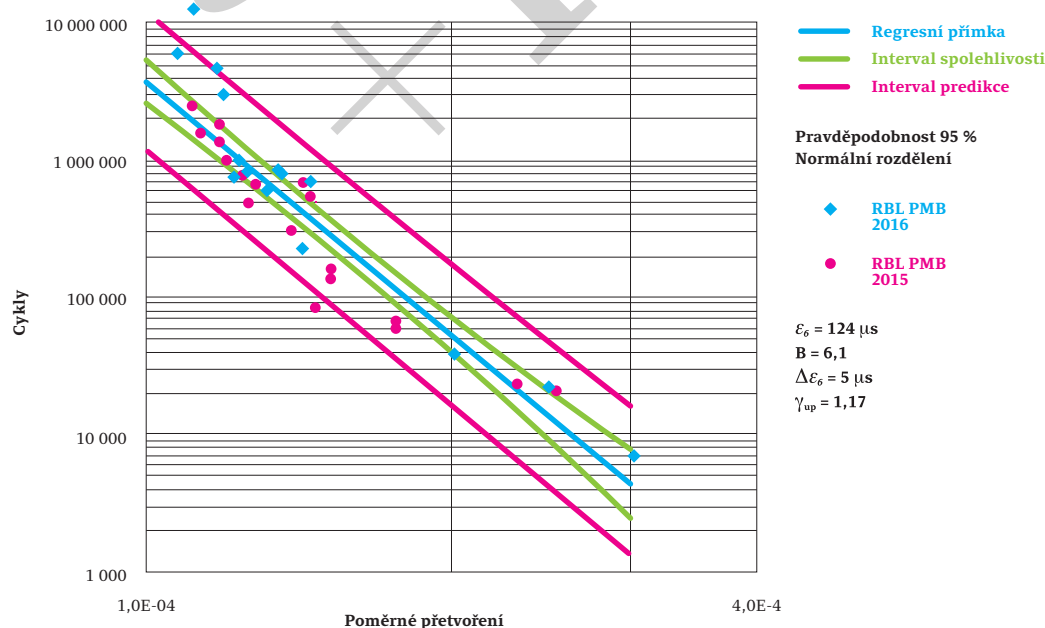
Asfaltové směsi s vysoce modifikovaným asfaltem je možné použít i v klimaticky nepříznivých regionech. Jejich odolnost proti únavě je podstatně vyšší než u standardních směsí s PMB, což je doloženo řadou článků v literatuře. Nepříznivou okolností je to, že rozptyl výsledků při únavové zkoušce bývá u těchto směsí vyšší než u standardních směsí. To je třeba respektovat při návrhování vozovek s využitím laboratorně stanovených parametrů únavy. Je zmíněno, jak je možné v souladu s TP 170, upravit výsledek výpočtu programem ELAS, kde je pevně nastavená hodnota koeficientu γ_{up} .

Při návrhu vozovky pro projekt obchvatu Regina byl větší rozptyl výsledků zkoušek únavy zohledněn. První část stavby byla předána do užívání v roce 2017 a druhá v roce 2019. K prvnímu zesílení vozovky by mělo podle projektu dojít již za 3 roky. Za pár let tedy bude známo, jak byla předpověď chování vozovky v klimaticky náročných podmínkách výstižná. Etapová výstavba v projektech PPP umožňuje načasovat zesilování vozovky podle jejího skutečného chování. Ovšem zesilování vozovky v průběhu koncese je spojeno s řadou problémů pro zhotovitele i pro investora. Informace k tomu je možné nalézt na internetu. Proto se etapová výstavba v poslední době příliš nepoužívá.

Ing. Jiří Fiedler

Literatura:

- [1] Proteau M., Griggio A., Masdan M., et al. *Projet Regina bypass – suivi des performances, RGRA, juillet 2024, <https://www.editions-rgra.com/revue/1004>*.



Obrázek 6: Statistické vyhodnocení dvou únavových zkoušek směsí RBL s PMB [12]

- [2] Fiedler J., Bureš P., Koudelka T., et al. Hodnocení a modelování nízkoteplotních vlastností asfaltových pojiv (zkouška BBR), *Konference Asfaltové vozovky 2021. Sborník AV2021*, str. 20.
- [3] Les enrobés a module élevé (EME) adaptés au climat nordique, In: *Techno-bitume, Bulletin technique*, No. 9, 2014. Available at: <https://archive.bitumequebec.ca/wpcontent/uploads/2015/03/594ccf2a184885dfile.pdf>
- [4] Blazejowski K., Zlotowska M., Nagorski R. The influence of highly modified asphalt binder on pavement fatigue life prediction – selected problems. January 2022. *Archives of Civil Engineering*, vol. 67(4), pp. 605–624. DOI: 10.24425/ace.2021.138521
- [5] Veselý P. Závislost nízkoteplotních vlastností asfaltových směsí na vlastnostech pojiva. *Stavebnictví 2022*. Dostupné z: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-zavislost-nizkoteplotnich-vlastnosti-asfaltovych-smesi-na-vlastnostech-pojiva.html>
- [6] Lamothe S., Gervais, S. P., Neyret C., et al. Highlights on Interesting Findings of High Modulus Asphalt Concrete (HMAC/EME) for Cold Regions in Cooperative Research Project. December 2020. In book: *Advances in Materials and Pavement Performance Prediction II* (pp.193–196). DOI:10.1201/9781003027362-46
- [7] Boussabnia M., Perraton D., Lamonthe S., et al. Evaluation of the Effect of the Loading Frequency on the Wöhler's Curve Parameters of a High Modulus Asphalt Concrete (HMAC). August 2021, *Road Materials and Pavement Design* 23(3):1–16. DOI:10.1080/14680629.2021.1957000
- [8] Timm D. H., Robbins M. M., Willis J. R., et al. Field and laboratory study of high-polymer mixtures at the NCAT test track – interim report. NCAT Report 12-08, august 2012, <https://eng.auburn.edu/research/centers/ncat/files/technical-reports/rep12-08.pdf>
- [9] Horny P. Effects de la temperature sur le dimensionnement des chaussées, février 2015. <https://mit.univ-gustave-eiffel.fr/fileadmin/redaction/MIT/evenements/S%C3%A9minaires/12-Horny-Od%C3%A9on-InfluenceTemperature.pdf>
- [10] Pouteau B., Berrada K., Drouadaine I. Smartvia concept: a 5 years feedback on standalone pavement structure monitoring, In: *E&E Congress 2016*, Prague. <https://www.h-a-d.hr/pubfile.php?id=1021>
- [11] Fiedler J., Mondschein P., Jarušková D. Statistické hodnocení únavových zkoušek asfaltových směsí a jejich aplikace při navrhování vozovek, *Část 3, Silnice mosty 2014*, č. 1, str. 15–21.
- [12] Fiedler J., Bureš P., Kašpar J. Performance properties of asphalt mixes for rich bottom layers (RBL). September 2017. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering* 236(1):012004. DOI:10.1088/1757-899X/236/1/012004

Inzerce

Digitalizace v dopravním stavitelství

Konference | Prezenčně/on-line

Termín: **10. 11. 2026**

Místo: OX Club, Praha 2

SDRUŽENÍ
PRO VÝSTAVBU
SILNIC



WWW.SDRUZENI-SILNICE.CZ