

Nízkoteplotní vlastnosti stanovené tříbodovým ohybem – zkouška pevnosti v tahu za ohybu

Pevnost v tahu za ohybu je stanovena dle metodiky definované v technických podmínkách Ministerstva dopravy ČR TP 151, které upravují podmínky návrhu a použití asfaltových směsí s vysokým modulem tuhosti VMT. Pevnost v tahu za ohybu je stanovena tříbodovým ohybem na trámkových zkušebních tělesech při teplotě 0 °C. Metodika je dále rozšířena o další zkušební parametry jako např. lomovou práci. Tato zkouška má v České republice poměrně dlouhou historii, je však požadována pouze pro směsi typu VMT. V příspěvku jsou prezentována data pevností v tahu za ohybu stanovených při 0 °C pro různé typy asfaltových směsí (asfaltové betony ACO, ACL, ACP, asfaltové koberce, VMT apod.). V příspěvku jsou také stanoveny doporučené hodnoty v závislosti na dlouhodobém měření probíhající na Fakultě stavební ČVUT v Praze.

Klíčová slova: pevnost v tahu za ohybu, lomová práce, nízkoteplotní vlastnosti, asfaltové směsi

The flexural strength is determined according to the test method defined in the technical specifications of the Czech Ministry of Transport - TP 151, which define the conditions of design and use of asphalt concrete with high stiffness modulus (HMAC). The flexural strength is determined by three-point bending test on beam test specimens usually at 0 °C. The test protocol presented in this study was further extended by other test parameters, e.g. fracture work. The test has relatively long history in the Czech Republic, but is only required for HMAC mixes. In this paper, data of flexural strength determined at 0 °C for different types of asphalt mixtures (asphalt concretes ACsurface, ACbinder, ACbase, SMA, HMAC, etc.) are presented. The paper also provides proposal for recommended values which are based on long-term research done by the Faculty of Civil Engineering, CTU in Prague.

Keywords: flexural strength, fracture work, low-temperature properties, asphalt mixtures

Pevnost v tahu za ohybu stanovená na trámkových tělesech je jednou z relativně jednoduchých metodik, jak kvalifikovat nízkoteplotní vlastnosti asfaltových směsí. V České republice průměrné denní teploty ovzduší v zimních měsících na řadě míst klesají hluboko pod 0 °C, a to například i v některých větších městech. Situace v horských oblastech je samozřejmě mnohem horší. Nízké teploty zapříčiňují smršťování asfaltových vrstev a tím dochází k nárůstu tahových napětí. Tahové napětí roste se snižující se teplotou nebo při rychlém poklesu teploty povrchu. Když napětí dosáhne mezní pevnosti asfaltové směsi v tahu, dojde k porušení vrstvy – na povrchu obrusné vrstvy vznikne mrazová trhlinka. Opakovanými poklesy teploty a působením vody se trhlinka zvětšuje a prokopírovává se do zbytku konstrukce (vzniká tzv. „top-down“ trhlinka). Tento typ porušení není z hlediska návrhových metodik vnímán, např. na rozdíl od trvalé deformace, jako kritický, ačkoli pro životnost vozovky může mít obdobně negativní dopady a následky, a to především v okamžiku, kdy se včas nepodchytí. Vzhledem k nedostatečným finančním prostředkům na pravidelnou údržbu vozovek dochází často velmi rychle k rozšiřování trhlin a k urychlování degradace vozovky. Trhliny – ať již mrazové nebo únavové – znamenají ve vozovce slabé místo, kudy může do konstrukce vnikat voda a může způsobovat velmi rychlý vývoj porušení.

Zkušební metodika

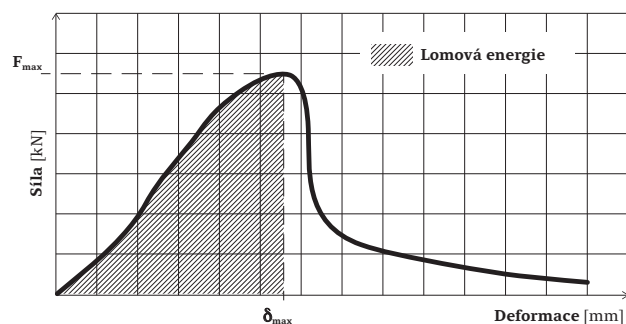
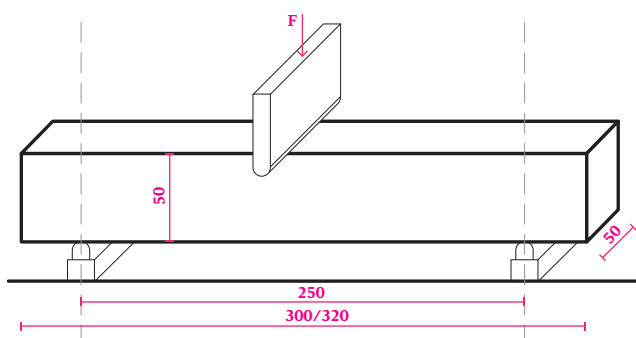
Pevnost v tahu za ohybu je stanovena dle metodiky definované v technických podmínkách Ministerstva dopravy TP 151, které upravují podmínky návrhu a použití asfaltových směsí s vysokým modulem tuhosti VMT. Nově bude zkouška definována

v připravované normě ČSN 73 6120, která je již v poslední fázi schvalování.

Pevnost v tahu za ohybu je stanovena tříbodovým ohybem na trámkových zkušebních tělesech. Trámková tělesa jsou pro zkoušku nařezána ze stejných desek, jaké se používají pro stanovení odolnosti vůči trvalé deformaci (zkouška vyjetí kolem). Pro násobné zvětšení souboru testovaných směsí (z hlediska statistické významnosti) v této studii byla zkušební tělesa nařezána z desek po zkoušce stanovení odolnosti vůči trvalým deformacím. Desky po provedení této zkoušky lze použít pouze v případě, že nejsou zdeformovány a hloubka kolejí není natolik velká, aby negativně ovlivňovala zbytek desky. V ideálním případě je vždy lepší použít desky vyrobené pouze pro danou zkoušku pevnosti v tahu za ohybu. Během zkoušky odolnosti vůči trvalým deformacím dochází k ohřevu zkušební desky na teplotu 50 °C (případně jinou, pokud to vyžaduje zadavatel zkoušky) a tato teplota je udržována po celou dobu zkoušky (cca 10 hodin). Asfaltové pojivo v desce je tedy vystaveno určitému stupni stárnutí vlivem zvýšené teploty a cirkulace vzduchu.

Trámky jsou z deskových těles řezány v šířce 5 cm od okrajů desky. Středová část desky, která při použití desek po zkoušce odolnosti proti trvalé deformaci odpovídá oblasti s vyjetou kolejí, je ze zkoušení pevnosti v tahu za ohybu vyloučena. Neprokázal se rozdíl v parametrech krajních a „středových“ trámků a tím pádem by nebylo nutné seřezávat okraj deskového tělesa, ale normový postup to vyžaduje.

Technické podmínky TP 151 specifikují zkušební teplotu mezi -20 °C a 0 °C. Na Fakultě stavební ČVUT v Praze se dlouhodobě využívá teplota 0 °C. Tato teplota byla zvolena pro možné porov-



Obrázek 1: Tříbodový ohyb stanovený na trámcích (a), stanovení lomové energie (b)

nání zkušebních parametrů s výsledky dalších zkoušek stanovených při této teplotě. Zatěžovací rychlost stanovená v TP 151, resp. ČSN 73 6120, je 1,25 mm/min.

Přestože má tato zkouška v České republice poměrně dlouhou historii, je v současné době požadována pouze pro směsi typu VMT, pro které je v TP 151 stanovena minimální pevnost 6 MPa. V nově připravené ČSN 73 6120 bude zkouška vyžadována pouze pro asfaltové betony uplatněné v konstrukci železničního spodku. Pro tento typ speciálních asfaltových betonů je stanoven také minimální parametr pevnosti 6 MPa. Takové omezení použití této jednoduché a rychlé zkoušky sice není zcela logické, odpovídá ale momentálním preferencím široké praxe silničního stavitelství a přetrvávajícímu podcenění problematiky chování asfaltových směsí v oboru nízkých teplot.

Oproti běžnému postupu byl v této studii nárůst síly a deformace v průběhu celé zkoušky zaznamenáván a data byla použita k vykreslení zatěžovacího diagramu a stanovení lomové práce. Lomová práce byla spočítána jako plocha pod křivkou od zahájení zkoušky po dosažení maximální síly.

Výslednými parametry této zkoušky jsou maximální relativní přetvoření, pevnost v tahu za ohybu, modul tuhosti v tahu za ohybu a navíc lomová práce.

Průměrné hodnoty měřených parametrů

Tabulky níže uvádějí souhrny měření pevnosti v tahu za ohybu. Výsledky zahrnují asfaltové směsi napříč celou konstrukcí vo-

zovky, směsi obsahující R-materiál, nízkoteplotní přísady, modifikační přísady, polymerem či pryží modifikovaná asfaltová pojiva a další. Pokud zkušební parametr pro daný typ asfaltové směsi obsahuje méně stanovení než 5, nejsou hodnoty uváděny z důvodu nedostatečně reprezentativního vzorku. Tabulky shrnují průměrné hodnoty stanovení, včetně směrodatných odchylek a minimální a maximální stanovené hodnoty.

Lomové parametry, stejně jako většina vlastností asfaltových směsí, jsou ovlivněny zrnitostí, obsahem, typem a kvalitou asfaltového pojiva, mezerovitostí, přítomností R-materiálu apod. Lomové charakteristiky není tak snadné predikovat jako např. modul tuhosti. Modul tuhosti zpravidla roste se snižujícím se obsahem asfaltového pojiva ve směsi a se snižujícím se penetrací. U pevnosti v tahu za ohybu takového predikce obecně neplatí. Zpravidla má vyšší obsah asfaltového pojiva pozitivní vliv na lomové charakteristiky, což lze obecně očekávat. Zvýšená penetrace může do jisté míry zlepšit lomovou práci, kdy asfaltová směs vykazuje méně křehké vlastnosti, ale zpravidla snižuje hodnotu pevnosti.

Výsledky jsou rozděleny do dílčích skupin dle typů asfaltových směsí. Všechny typy jsou hodnoceny dohromady bez dalšího kvalitativního rozdělení na „bez označení“, „+“ a „S“, jakoli soubor obsahuje zástupce všech jednotlivých kvalitativních tříd. Asfaltové směsi pro obrusné vrstvy se sníženou hlučností SMA 8 NH a BBTM 8 NH jsou hodnoceny souhrnně. Ke spojení obou typů směsí došlo z důvodu jejich podobnosti jak u zrnitosti,

Tabulka 1: Souhrn výsledků měření pevnosti v tahu za ohybu – asfaltové směsi pro obrusné vrstvy

	ACO 11			SMA 11			SMA/BBTM 8 NH			SAL 8		
	R	E _s	W	R	E _s	W	R	E _s	W	R	E _s	W
Průměr	8,1	2 039	1,3	7,4	1 377	1,5	4,5	811	1,1	7,6	1 424	1,7
Směr. odchylka	1,7	969	0,4	1,5	510	0,5	1,5	465	0,4	1,5	711	0,5
Min.	10,2	4 294	1,8	5,9	2 602	1,9	6,5	1 876	1,5	4,6	2 370	1,7
Max.	14,3	4 822	2,2	10,1	3 125	2,5	8,4	2 147	1,8	9,4	2 842	2,6
Rozdíl max.–min.	4,2	529	0,4	4,1	522	0,7	2,0	271	0,4	4,8	472	0,9
Počet měření	70	67	67	43	43	43	18	18	18	10	10	10

R = pevnost v tahu za ohybu [MPa]; E_s = modul tuhosti v tahu za ohybu [MPa]; W = lomová práce do max. síly [J]

mezerovitosti i obsahu asfaltového pojiva. Stejně jako asfaltové betony ACL a ACP jsou hodnoceny společně. Také tyto směsi mají velmi podobnou zrnitost, mezerovitost a obsah asfaltového pojiva. Asfaltové směsi typu ACP mají sice širší obor zrnitosti i mezerovitosti než asfaltové směsi typu ACL, avšak řada obaloven navrhuje pro zjednodušení výroby i následné kontroly kvality obě tyto směsi shodně. Asfaltové směsi byly sloučeny i z důvodu zvětšení souboru porovnávaných hodnot.

V asfaltových směsích byla použita různá nemodifikovaná asfaltová pojiva, polymerem modifikovaná pojiva a pojiva modifikovaná drčenou pryží. Jednotlivé asfaltové směsi jsou hodnoceny jako celek bez dalšího rozlišení, tak i dle použitého druhu asfaltového pojiva. V téměř třetině hodnocených variant byl použit R-materiál v množství až do 50 %. Vliv přítomnosti R-materiálu na lomové charakteristiky není v tomto článku dále řešen, protože by vystačil na další samostatný článek.

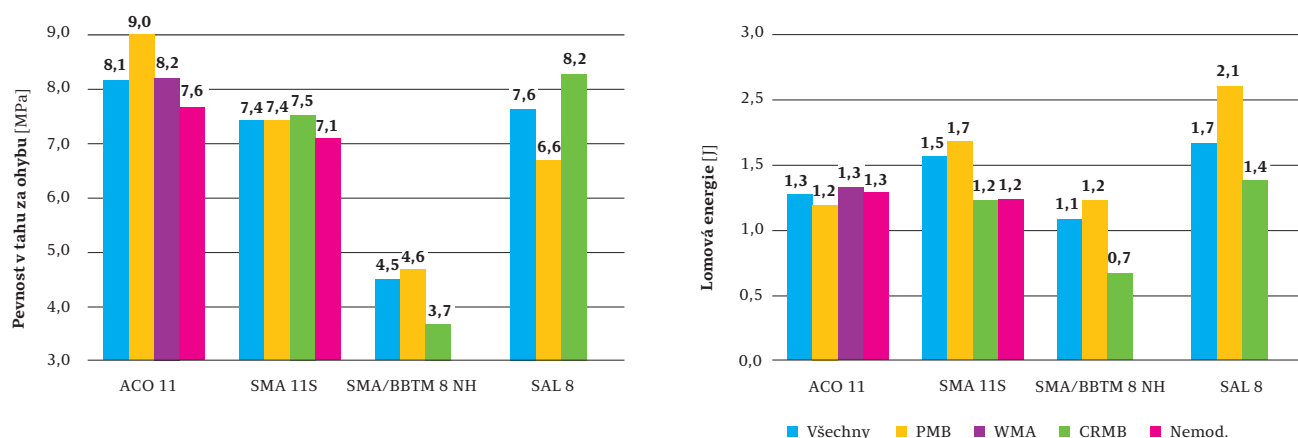
Ve skupině asfaltových směsí pro obrusné vrstvy dosáhla nejvyšších hodnot asfaltová směs ACO 11, u které byly charakteristiky stanoveny u 70 variantních řešení. Pouze 7 variant dosáhlo pevnosti v tahu za ohybu nižší než 6 MPa. Jak bylo uvedeno výše, hodnota 6 MPa je rozhodující pro asfaltové směsi VMT (dle TP 151) a bude rozhodující pro AC Z (dle nově připravované ČSN 73 6120) a je v současné době jedinou stanovenou minimální hodnotou pevnosti v tahu za ohybu. U tohoto typu asfaltové směsi bylo do hodnocení zahrnuto i 22 variant nízko-

teplotních směsí (ve výsledcích označeny jako „WMA“), které byly hutněny při snížené teplotě (až 110 °C). U hodnoty pevnosti v tahu za ohybu je zřejmý pozitivní vliv polymerem modifikovaného pojiva, kdy v průměru směsi dosáhly pevnosti o 0,9 MPa více. Naopak u lomové práce jsou rozdíly kvůli typu asfaltového pojiva prakticky zanedbatelné.

Asfaltové směsi typu SMA 11 dosáhly sice nižší pevnosti v tahu za ohybu, ale naopak vyšší lomových prací. V tomto případě může mít pozitivní vliv vyšší obsah (zpravidla modifikovaného) asfaltového pojiva. U tohoto typu směsi pak může sledovat opačný jev, než tomu bylo u asfaltových směsí typu ACO 11, tedy že pevnost není téměř ovlivněna typem pojiva, ale lomová práce je v tomto případě velmi rozdílná.

Asfaltové směsi se sníženou hlučností SMA/BBTM 8 NH dosáhly dle očekávání velmi nízkých pevností. Tyto směsi mají velkou mezerovitost oproti ostatním hodnoceným směsím (cca dvojnásobnou až třínásobnou) a mají velmi jemnou strukturu. Přestože pevnost v tahu za ohybu byla přibližně poloviční v porovnání s ostatními asfaltovými směsí pro obrusné vrstvy, hodnota lomové práce byla téměř srovnatelná s ostatními směsí.

Výsledky asfaltových směsí SAL 8 je nutné brát s rezervou vzhledem k tomu, že v tomto případě se jedná o průměr hodnot ze shodného zdroje kameniva. Ve všech ostatních případech byly asfaltové směsi vyrobeny dle receptur různých výrobců z různých typů kameniva. V případě asfaltové směsi SAL 8 byl

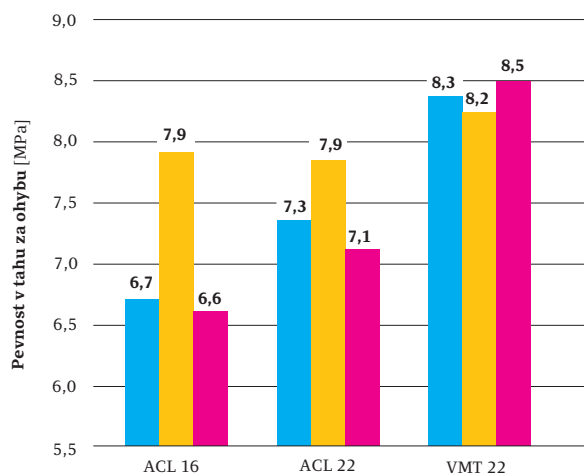


Obrázek 2: Lomové parametry ze zkoušky pevnosti v tahu za ohybu u asfaltových směsí pro obrusné vrstvy

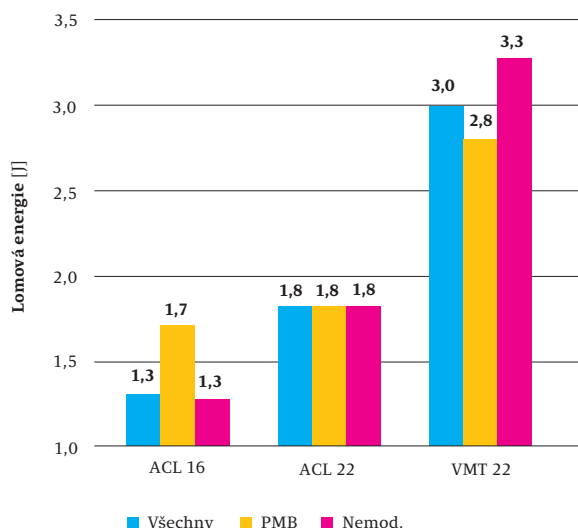
Tabulka 2: Souhrn výsledků měření pevnosti v tahu za ohybu – asfaltové směsi pro ložní a podkladní vrstvy

	ACL/ACP 16			ACL/ACP 22			VMT 22		
	R	E_s	W	R	E_s	W	R	E_s	W
Průměr	6,7	1 624	1,3	7,3	1 439	1,8	8,3	1 148	3,0
Směr. odchylka	1,6	544	0,5	1,3	436	0,8	1,8	283	1,0
Min.	7,9	2 142	2,2	4,6	1 548	2,4	5,8	910	2,6
Max.	11,6	2 757	2,7	9,7	2 231	3,0	12,5	1 647	4,5
Rozdíl max.–min.	3,7	614	0,5	5,2	683	0,6	6,7	738	1,9
Počet měření	42	42	42	13	13	12	11	11	10

R = pevnost v tahu za ohybu [MPa]; E_s = modul tuhosti v tahu za ohybu [MPa]; W = lomová práce do max. síly [J]



Obrázek 3: Lomové parametry ze zkoušky pevnosti v tahu za ohybu u asfaltových směsí pro ložní a podkladní vrstvy



Tabulka 3: Počet variant nevyhovujících limitu 6 MPa pro pevnost v tahu za ohybu

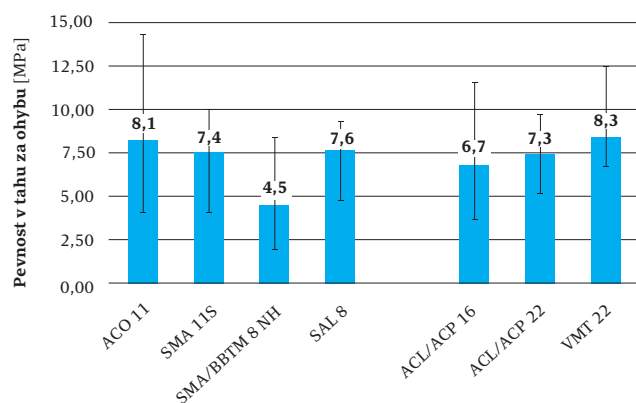
Pevnost v tahu za ohybu	Celkový počet směsí	Počet směsí s výsledkem < 6 MPa (podíl z celku)
ACO 11	70	7 (10 %)
SMA 11S	43	11 (26 %)
SMA/BBTM 8 NH	18	16 (89 %)
SAL 8	10	2 (20 %)
ACL/ACP 16	42	14 (33 %)
ACL/ACP 22	13	2 (15 %)
VMT 22	11	0 (0 %)
Celkem	207	52 (25 %)

použit pouze jeden zdroj kameniva, což může vést k zavádějícím průměrným hodnotám, proto je nutné výsledky brát s rezervou. U asfaltových směsí typu SAL (asfaltové směsi se zvýšenou odolností proti šíření trhlin) by lomové vlastnosti měly být klíčové, ať už stanovené metodou SCB, TSRST nebo právě tříbodo-

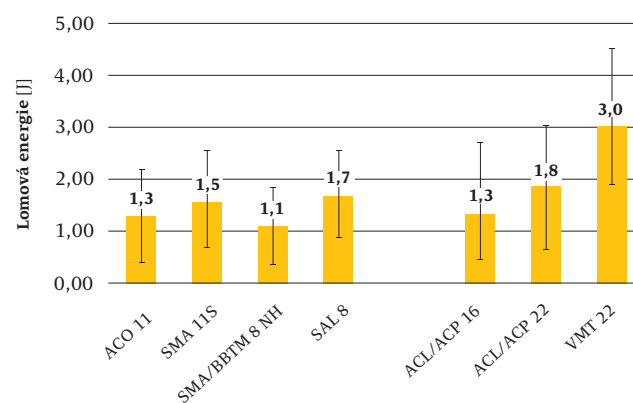
vým ohybem. U těchto variant byla dosažená pevnost srovnatelná se SMA 11 a současně nejvyšší lomová práce ve skupině asfaltových směsí, které se používají pro obrusné vrstvy.

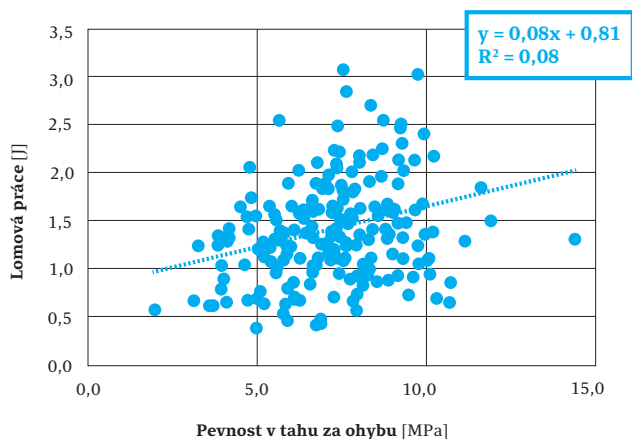
Při zhodnocení vlivu použitého asfaltového pojiva na vlastnosti asfaltových směsí pro obrusné vrstvy byl nalezen zajímavý jev. Ačkoli se u asfaltových pojiv modifikovaných pryží obecně předpokládá pozitivní vliv na odolnost vůči vzniku a šíření trhlin, v případě této zkoušky má pryž spíše negativní výsledek z pohledu na nízkoteplotní vlastnosti. Téměř u všech výsledků (s výjimkou pevnosti v tahu za ohybu u asfaltových směsí SAL) dosáhly varianty s pojivem typu CRMB nižších výsledků než varianty s PMB.

U asfaltových směsí pro ložní a podkladní vrstvy dosáhly dle očekávání nejvyšších parametrů asfaltové betony s vysokým modulem tuhosti (VMT). Pevnosti i lomové práce byly pro tuto skupinu směsí nejvyšší v porovnání s ostatními asfaltovými směsí. Směsi VMT dosáhly výrazně vyšších hodnot lomové práce než jakékoliv jiné typy asfaltových směsí. Obecně při této zkoušce všechny asfaltové směsi pro ložní a podkladní vrstvy u lomové práce dosáhly srovnatelných hodnot s asfaltovými směsí pro obrusné vrstvy – jakkoli se očekávalo, že dosáhnou nižších hodnot z důvodu nižšího množství asfaltového pojiva. V tomto případě má pravděpodobně pozitivní vliv vyšší maximální velikost zrna na lomové parametry.

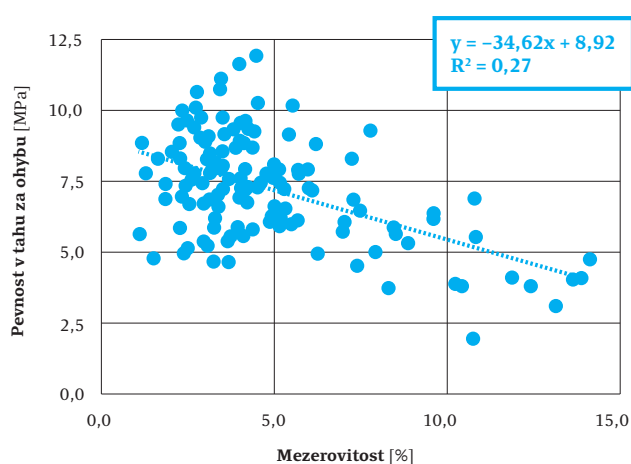


Obrázek 4: Průměrné hodnoty (vyznačeny min. a max. hodnoty)





Obrázek 5: Korelace mezi pevností v tahu za ohybu a lomovou prací



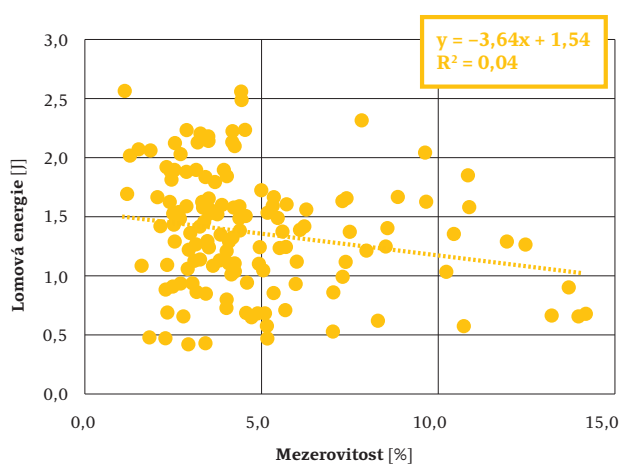
Obrázek 6: Korelace mezi mezerovitostí a lomovými parametry

U směsí typu VMT dosáhly jako u jediné skupiny nemodifikované směsi vyšších hodnot, jak z hlediska pevnosti, tak i lomové práce. V případě těchto směsí byly jako nemodifikovaná pojiva zpravidla použity asfalty nižší penetrace (15/25, 20/30, 30/45 apod.), což způsobilo vyšší hodnoty parametrů – potvrdila se tedy obava z vyšší křehkosti z důvodu vyšší tuhosti asfaltové směsi.

U asfaltových betonů pro ložní a podkladní vrstvy ACL/ACP jsou viditelné značné rozdíly pevností při použití modifikovaného a nemodifikovaného asfaltového pojiva. Toto platí pro oba typy zrnitostí. U menšího maximálního zrna 16 mm je tento rozdíl patrný i u lomové práce (rozdíl cca 25 %). U maximální velikosti zrna 22 mm jsou lomové práce srovnatelné i při použití nemodifikovaného pojiva.

Zhodnocení

Pokud by pro hodnocení asfaltových směsí byla použita dnes jediná existující minimální normová hranice 6 MPa, vyhovely by této hranici ¼ testovaných variant asfaltových směsí z celkového počtu 207 posuzovaných směsí. Při vyloučení asfaltových směsí se sníženou hlučností (SMA/BBTM 8 NH) této minimální hranici vyhoví přes 80 % testovaných variant.



Vzhledem k rozličnosti variant asfaltových směsí jsou viditelné značné rozptýly výsledků. Jak bylo uvedeno výše, zkoušené varianty obsahovaly kameniva z různých zdrojů, různé typy asfaltových přísad, R-materiál v množství až do 50 % apod. Na obrázku 4 jsou vyznačené průměrné hodnoty lomových parametrů a jsou vyznačena minimální a maximální stanovení v dané sku-

Tabulka 4: Doporučené hodnoty charakteristik asfaltových směsí

	Doporučené minimální hodnoty		Doporučené hodnoty	
	R	W	R	W
ACO 11	6	0,8	6,75	0,9
SMA 11S	5,5	1,0	6	1,2
SMA 8 NH, BBMT 8 NH	3	0,6	3,5	0,7
ACL/ACP 16	5	0,7	6	1
ACL/ACP 22	5	0,7	6	1
VMT 22	6,5	2	7	2,2

R = pevnost v tahu za ohybu [MPa]; W = lomová práce do max. síly [J]

pině. Největší rozptyly jsou patrné u ACO 11 a ACL/ACP 16, kdy ale skupiny také obsahují nejvyšší množství testovaných variant. Nepotvrdila se obava z vyššího rozptylu výsledků u asfaltových směsí s maximální velikostí zrna 22 mm.

Jednotlivé parametry byly také porovnávány mezi sebou, jestli mezi nimi bude objevena korelace. Přestože jsou pevnosti v tahu za ohybu a lomové práce stanoveny při stejné zkoušce, mezi parametry není žádná korelace (obrázek 5). Pevnost je stanovena z hodnoty maximální síly a průřezu tělesa. Lomová práce je více ovlivněna deformací v momentě maximální síly.

Oba zkušební parametry také byly porovnány s mezerovitostí asfaltových směsí. V tomto případě existoval na počátku měření předpoklad, že oba parametry budou narůstat se snižující se mezerovitostí směsí, jako je tomu například u pevnosti v příčném tahu nebo modulu tuhosti. Tento předpoklad byl částečně potvrzen sklonem směrnice trendu korelace, avšak koeficient determinace byl spíše nižší v případě porovnání pevnosti v tahu za ohybu a téměř nulový při porovnání lomové práce.

Doporučené hodnoty lomových parametrů

Doporučené hodnoty byly stanoveny na základě provedených měření na zde prezentovaných 207 variantách. Doporučené minimální hodnoty byly určeny na základě středních hodnot, směrodatných odchylek a percentilů, kdy doporučené hranici nevyhoví cca 10 % variant v dané skupině. Doporučené hodnoty byly stanoveny na základě 25% percentilu.

Nejvyšší hodnoty nízkoteplotních charakteristik byly naměřeny u asfaltových směsí typu SMA 11S a VMT 22 a mají také stanoveny nejvyšší doporučené hodnoty nízkoteplotních parametrů. Obě typy asfaltových směsí jsou používány na vozovkách s vysokým dopravním zatížením a vysokým dopravním významem (silnice I. třídy a dálnice), proto je důležité, aby právě tyto asfaltové směsi vykazovaly zvýšené, nejen nízkoteplotní, vlastnosti.

Asfaltové betony jsou využívány ve vozovkách se středním a nižším dopravním zatížením a dopravním významem, proto jsou jejich doporučené hodnoty parametrů nižší, avšak to neznamená, že by zaměření na tyto typy asfaltových směsí mělo být nižší nebo by měly být vnímány jako kvalitativně podřadné varianty asfaltové směsi. Dálnice a silnice I. třídy tvoří dle dat ŘSD ČR pouze cca 13 % silniční sítě v České republice. Je tedy nutné nezapomínat na zbývajících 87 % „méně“ významných pozemních komunikací a snažit se o co nejdelší životnost i u těchto vozovek. Ve výsledku by totiž prioritou všech subjektů, které nějakou měrou participují na rozvoji, výstavbě, údržbě či obnově silniční infrastruktury, mělo být efektivní vynakládání veřejných prostředků, které jsou tvořeny daňovými příjmy od daňových poplatníků – tedy i od každého čtenáře tohoto příspěvku.

Pokud zkoušená varianta nevyhovuje doporučené hranici, je možné upravit návrh asfaltové směsi, a to např. s uplatněním některého z dále uvedených doporučení:

- ▶ **navrhovat vyšší množství dávkovaného asfaltového pojiva** – vyšší množství asfaltového pojiva má pozitivní vliv na nízkoteplotní vlastnosti a celkovou trvanlivost směsi;
- ▶ **používat polymerem modifikovaného asfaltového pojiva (kde to je opodstatněné)** – modifikované asfaltové pojivo má vždy pozitivní vliv na nízkoteplotní vlastnosti, avšak jeho vysoká

cena nedovoluje jeho častější použití především na vozovkách s nižší důležitostí;

- ▶ **snížit mezerovitost asfaltové směsi/zjemnění čáry zrnitosti v oboru drobného kameniva a jemných částic** – i přestože nebyla nalezena jednoznačná korelace mezi mezerovitostí a pevností v tahu za ohybu, snížení mezerovitosti má zpravidla pozitivní vliv na nárůst nízkoteplotních vlastností;
- ▶ **používat asfaltová pojiva s jinou gradací** – použití asfaltového pojiva s nižší penetrací se zpravidla zvýší pevnostní charakteristiky (pevnost a modul), ale může mít částečně negativní vliv na lomovou práci – tedy k porušení dojde sice při větší síle, ale za menšího přetvoření. Na druhou stranu při použití asfaltového pojiva s vyšší gradací dojde sice ke snížení dílčích pevnostních charakteristik (pevnost a modul), ale zpravidla dojde k nárůstu lomové práce (ke zvýšení pružnosti asfaltové směsi a zvýšení přetvoření);
- ▶ **použitím vhodných přísad** – především u asfaltových směsí s vyšším procentuálním zastoupením R-materiálu je použití přísad, tzv. rejuvenátorů klíčové pro dosažení požadovaných nízkoteplotních vlastností.

Závěr

Životnost a trvanlivost asfaltových směsí je klíčová pro udržitelnost silniční sítě a maximalizaci přínosu pro její uživatele. Životnost a kvalitu asfaltových vrstev ovlivňuje celá řada aspektů a přirozeně působících vlivů, přičemž mrazové a únavové trhliny jsou, kromě trvalých deformací, jedním ze zásadních poškození asfaltových vozovek v České republice. Tento fenomén je odborné společnosti v oboru silničního stavitelství a materiálového inženýrství dlouhodobě znám, bohužel si zatím nenašel cestu do praktického ověřování výkonnosti asfaltových směsí. Stanovení pevnosti v tahu za ohybu patří bezesporu mezi jeden z jednoduchých a rychlých postupů, jak kontrolovat nízkoteplotní vlastnosti asfaltových směsí a alespoň částečně předejít předčasnou degradaci asfaltové vrstvy z důvodu vzniku mrazových trhlin. Jedná se samozřejmě o kvalitativní charakteristiku, která nekvantifikuje skutečnou odolnost proti vzniku mrazových trhlin nebo obecně zhoršené výkonnosti asfaltové směsi v oboru nízkých teplot. Přesto je z našeho pohledu potřebné, aby základní informace a představa o takovém chování existovala a abychom mu při sledování kvality asfaltových směsí pozornost věnovali.

Tento příspěvek vznikl v rámci aktivit řešených centrem kompetence CESTI, projekt č. TE01020168 TA ČR.

**Ing. Pavla Vacková, Ph.D.; Ing. Jan Valentin, Ph.D.
ČVUT v Praze, Fakulta stavební**

Literatura:

- [1] TP 151. *Asfaltové směsi s vysokým modulem tuhosti (VMT). Ministerstvo dopravy, Odbor silniční infrastruktury, 2010.*
- [2] ČSN 73 6121. *Stavba vozovek – Hutněné asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody, 2019.*
- [3] Vacková P. *Výzkum a zhodnocení vybraných vlastností ovlivňujících životnost asfaltových vozovek. Disertační práce, Fakulta stavební, ČVUT v Praze 2020.*