

Obrázek 5a: Rychlost přetvoření v závislosti na trvalé deformaci po zatěžovacím cyklu

těmito dvěma koncentracemi roste bod měknutí pojiva KK velmi výrazně. I když je obtížné to doložit fotografiemi mikrostruktury, je obecně uznáváno, že mezi dvěma fázemi je přechod, což vysvětluje poměrně plynulou změnu vlastností. Sklon směrem křivky závisí výrazně na druhu a složení základního asfaltu a druhu použitého SBS.

Dalším krokem je zjistit, co se stane s objemem fáze a s jejích vlastnostmi, případně s vlastnostmi výsledného pojiva. Po přidání k asfaltu polymer do sebe vstřebá lehké složky z asfaltu a objem fáze bohaté na polymery se zvětší. Zvyšování dávkování polymeru vede k dalšímu zvětšení fáze bohaté na polymer PRP a poklesu fáze bohaté na asfalt ARP (obrázek 4).

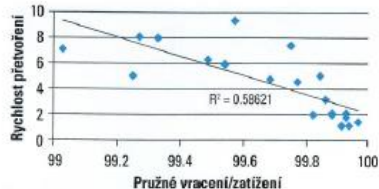
Při rostoucím obsahu polymeru bude objem fáze PRP stále růst, ale její vlastnosti zůstávají víceméně na stejné úrovni (přinejmenším mezi 5 % a 8 %). Naproti tomu v ARP bude stále růst obsah asfaltů, což bude její vlastnosti ovlivňovat. To má na vlastnosti pojiva následující dopady:

- ▶ Bod měknutí neroste významně, dokud se PRP nezačne propojoval, což potvrzují údaje ze zkoušek na obrázku 3. Malá intenzita smykání při výrobě, existující morfologie a tudíž kontinuita fáze určují výsledek zkoušky.
- ▶ Hodnoty penetrace vykazují samilogaritmickou závislost na obsahu polymeru. Jehle při zatlačování do pojiva prochází oběma fázemi bez ohledu na morfologii nebo spojitost fáze.
- ▶ Pružné vrácení je další zkouška, při které je pojivo nuceno deformace. Při tomto procesu jsou obě fáze deformovány, ale ARP bude mít jen malou tendenci vracet se do původního tvaru, zatímco PRP (kde je velká koncentrace polymeru) bude mít silnou tendenci se do původního tvaru vrátit. Bude-li dobrá adheze/interakce mezi oběma fázemi, postačí i malý obsah polymeru k vytvoření velkého pružného vrácení, protože ARP bude mít poměrně malý odpor proti této síle. Tento mechanismus objasňuje, že tvrdší základní asfalt vykazuje menší pružné vrácení než PMB s měkčím základním asfaltem, neboť vyvíjí větší vnitřní odpor proti deformaci.

Jak polymery ovlivňují vlastnosti asfaltových směsí

Pro posouzení vlivu SBS na vlastnosti asfaltových směsí ve vozovce nejsou standardní empirické zkoušky příliš vhodné. Trvalá deformace je výsledkem deformace od zatížení dopravou a pružné reakce asfaltové směsi. Po každém zatěžovacím cyklu dojde k velmi malému přírůstku trvalé deformace, který závisí na počátečním průhybu a pružném vrácení. Na základě výše popsaného mechanismu je možné předpokládat menší počáteční deformaci a větší pružné vrácení s každým dalším procentem přidaného SBS (podobně jako u zkoušky pružného vrácení). *Práto i při poměrně malém obsahu polymeru vykáže pojivo větší odolnost proti trvalým deformacím.* Zkoušky dynamického tečení ukázaly, že první se dvou předpokládaných přínosů je mnohem méně významný než pružné vrácení po deformaci. Tyto zkoušky byly provedeny při 40 °C a při jednoosém zatěžování, takže tendence je silně zvýrazněna, ale vliv je zjevný (obrázky 5a, 5b).

Dalším mechanismem, který může vést k porušení asfaltových směsí, je vznik trhlin, buď vlivem únavy nebo poklesu teploty. Obecně je porušení trhlinami proces o dvou fázích: vznik trhliny a její šíření. Trhliny mohou



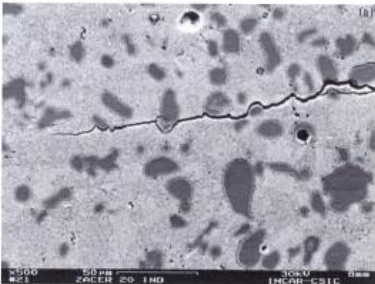
Obrázek 5b: Rychlost přetvoření v závislosti na pružné deformaci po zatěžovacím cyklu

být vyvolány napětím (od teploty) nebo přetvořením (zatížením od dopravy) nebo jejich kombinací. Uvažíme-li povahu dvou fází pojiva, je zřejmé, že trhliny vznikají spíše v tužší, asfaltem bohaté fázi (ARP), než v měkčí a pružné fázi bohaté na polymer (PRP). Důležitější je ovšem šíření trhliny: vznik trhliny může působit jako mechanismus uvolnění napětí, ale šíření trhliny může vést k vzniku makrotrhlin, které ovlivní integritu a únosnost vozovky. Obrázek 6 ilustruje lépe než slovní popis to, co se odehrává při šíření trhliny v dvoufázovém pojivu.

Obrázek ukazuje růst trhliny ve vytvořeném keramickém systému: světle šedá fáze je pevná fáze a rozptýlená tmavěšedá fáze je tužidlo s velkou odolností proti vzniku trhlin. Když se trhlinka dostane k tužidlu, nezastaví se, ale objede ho. To šíření trhliny zpomalí, ale nezastaví ho. Představme si, co by se stalo, kdyby tužidlo bylo spojitou fází. Trhlinka by vznikla ve světlejší, křehké fázi. Rychle by se šířila, až by narazila na okraj této fáze. V nejlépeším případě by se šíření trhliny úplně zastavilo a v nehorším případě by se jen výrazně zpomalilo. I při malém obsahu SBS by se tedy určitý efekt projevil. Ale stejně jako v příkladu s bodem měknutí (obrázek 3), by mělo obrácení fáze velký vliv (viz mechanismus vysvětlený výše) na všechny aspekty odolnosti proti trhlinám, ať již vyvolaným poklesem teploty nebo únavou.

Závěrečné poznámky

Vezmeme-li v úvahu komplexní povahu dvojfázové struktury, existují překvapivě jednoduché příklady toho, jak jsou vlastnosti pojiv modifikovaných polymerů ovlivňovány změnami v morfologii fáze. I když některé vlastnosti asfaltu nemusí na morfologii přímo záviset, jiné vlastnosti jsou na ni závislé do velké míry. Odolnost proti trvalé deformaci vykazuje semilogaritmickou závislost na obsahu polymeru, ale odolnost proti šíření trhlin (v důsledku únavy) bude velmi příznivě ovlivněna spojitostí fáze bohaté na polymer. To lze využít k vyvinutí pojiv, která budou mít velmi dobrou odolnost proti únavě, což by mělo mít klíčový vliv na návrh vozovky. Je možné uvažovat například vozovku s velmi dlouhou životností



Obrázek 6: Šíření trhlin ve dvoufázovém systému, ve kterém je křehká fáze kontinuitní a ztužující fáze nespojitá [2]

(„velčná vozovka“), aniž by bylo nutné navrhovat silnější konstrukce. Teoreticky by bylo též možné snížit celkovou tloušťku vozovky, při zachování jejích vlastností. Tím by bylo možné dokonce snížit i celkové náklady na vozovku pod náklady na standardní silniční asfalt. Vývoj takových systémů bude popsán v navazujícím článku.

Literatura:

- [1] W. C. Vonk and A. L. Bull: „Phase phenomena and concentration effects in blends of Kraton D and bitumen“ („Fázové jevy a koncentrační efekty v asfaltech modifikovaných přísadou Kraton D“). *VIP International Roofing Congress, Munich, 30th May – 1st June 1998.*
- [2] S. López-Esteban – J. F. Bartolomé – C. Percharromán – S. R. H. Mello Castanho – J. S. Moya: *Wet Processing and Characterization of ZrO/Stainless Steel Composites: Electrical and Mechanical Performance* („Zpracování za mokra a charakterizace kompozit ZrO/nerozové ocel, elektrické a mechanické vlastnosti“), *Materials Research, Vol. 4, São Carlos, July 2001.* (Použito se souhlasem autorů).

EAPA

5. KONGRES E & E – TRENDY V OBLASTI NÍZKOTEPLNÍCH A TEPLÝCH ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

Ing. Jan Valentin, Ph.D., Ing. Josef Žák, ČVUT v Praze, Fakulta stavební

Posledním tématem, které shrnuje poznatky prezentované v rámci 5. kongresu EURASPHALT & EUROBITUME v Istanbulu, je oblast nízkoteplotních a teplých asfaltových směsí (NTAS), která představují již několik let podporovaný a rozvíjený trend. Tato celou skupinu technologií je správně nejen vyvízet, ale současně poukazovat i na některé kritické stránky a případné nedostatky. V této souvislosti bylo na kongresu prezentováno 34 příspěvků z různých evropských zemí, USA, ale třeba i z Brazílie. Je zapotřebí zdůraznit, že současné technologie rozvinuté v Evropě a v USA umožňují snižovat energetickou náročnost až o 35 % a emise CO₂ až o 40 %. V rámci odborných příspěvků byly uvedeny jak pozitivní zkušenosti, tak i rezervovaný přístup, typický například pro Nizozemsko. Až jednotlivé příspěvky byly zaměřeny především na následující oblasti:

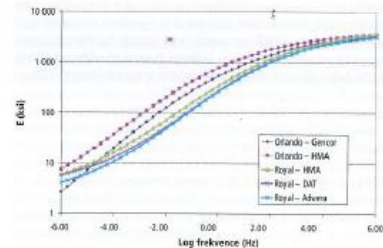
- ▶ porovnání experimentálních poznatků a zkušebních úseků s NTAS;
- ▶ nové technologie (nová nízkoviskózní pojiva, NTAS s CRMb, kombinace NTAS a TQ);
- ▶ laboratorní studie (vliv NTAS na stárnutí polymeru, sledování stárnutí pojiv pro NTAS, vliv NTAS na funkční charakteristiky);
- ▶ tepalé a pěnoasfaltové směsi;
- ▶ studené asfaltové směsi.

Prosazování NTAS pro konkrétní stavební zakázky v současnosti podporuje zavádění technických předpisů, jakož i snaha v některých zemích prosazovat požadavky na tyto technologie od zadávacích podmínek jako předepsanou (doporučenou) technologii. Tato skutečnost je v některých případech obtížnější tím, že důvodem je závažek municipalities od roku 2015 zajišťovat 100 % nákup střeš a výrobků jen v případě, že u nich lze prokázat udržitelnost. Uvedené skutečnosti sice celkově zvyšují šance na lepší prosazení NTAS, přesto však z pohledu environmentálního přínosu bude i v budoucnu přínášet vyšší efekt lepší využití technologií recyklace materiálů konstrukci vozovek.

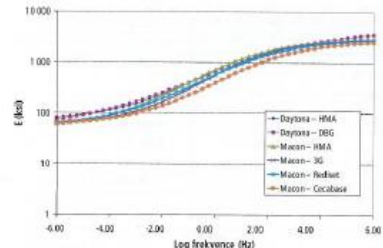
Z hlediska přínosu či naopak rizik lze jistě vymezit celou řadu aspektů a oblastí, které mohou být vnitřně rozdílné. Jelikož environmentální hlediska jsou sice celospolečensky důležitá, nemají však klíčovou roli z hlediska komercializace této skupiny technologií, je vhodné začít ekonomickými pohledy. Na prvním místě je zapotřebí uvést, že cena používaných přísad

zatím nebyla schopná kompenzovat cenu energetických úspor, zejména pokud snížení pracovních teplot bude na úrovni 20 °C až 30 °C. Proto by nízkoteplotní asfaltové směsi tohoto typu měly mít další přídavnou hodnotu. Tuto situaci může výrazně změnit další zpevnění systému zpevněním emisí CO₂. Dnes lze konstatovat, že z hlediska efektivity produkce 25 % v podobě NTAS povede i přes potenciální snížení energetické náročnosti o 30 % k ekonomickým úsporám do výše 2 %. S ohledem k výše uvedeným faktům je proto nadále mnohem zásadnější míra využití asfaltového R-materiálu ve směsi, což může přinést ekonomicky významnější efekt. Samozřejmě pokud v budoucnu budeme oba směry kombinovat, lze docílit potřebných synergetických efektů. V tomto ohledu je zajímavou technologií uváděnou na kongresu Finfalt, který používá asfaltovou emulzi, ohřev minerálních složek na 80 °C a umožňuje využití až 100 % R-materiálu.

V USA jsou nízkoteplotní asfaltové směsi obvykle označovány jako WMA (*Warm Mix Asphalt*) a jejich zavedení docházelo postupně – přibližně od roku 2003, kdy se uskutečnilo rozsáhlé průzkumy a analýzy přiležitosti. Na rozdíl od řady jiných technologií se v případě WMA postupovalo od potřeb praxe zpět k postupné identifikaci fyzikálních a reologických závislostí a specifickému typu konstrukční vrstvy. Poměrně zajímavý je vývoj, který od té doby směsi typu WMA zaznamenaly. Zatímco v Evropě nadále zaujímají směsi WMA cca 2,5 % z celkového objemu ročně vyprodukovaných a zpracovaných asfaltových směsí, v Severní Americe můžeme zaznamenat vývoj s výrazným růstovým trendem. Při roční produkci cca 360 mil. tun asfaltových směsí se v letech 2005/2006 realizovalo méně než 2 % formou nízkoteplotní asfaltové směsi. V roce 2009 již celková produkce WMA dosahovala 19,2 mil. tun a v roce 2010 s dalším skokovým nárůstem 47,6 mil. tun (13,2 %) [2]. Předpokládá se, že nejpozději v roce 2013 bude dosaženo podílu 20 % až 25 % WMA na celkové produkci. V USA jsou dnes postupně rozvíjené a zavedené technologie pro nízkoteplotní či teplé asfaltové směsi poměrně dobře shrnutu například v [1].



Obrázek 1: Řídící křivky posuzovaných směsí, vyjádřeno v samilogaritmickém měřítku – vztáhná teplota 21,1 °C [3]



Obrázek 2: Řídící křivky posuzovaných směsí, vyjádřeno v log-log měřítku (logistická funkce) – vztáhná teplota 21,1 °C [3]

Z hlediska provádění zkoušky dynamického modulu tuhosti jsou nejčastěji voleny frekvence 25, 10, 5, 1, 0,5 a 0,1 Hz s měřením provedeným vždy alespoň na třech zkušebních tělesech při 3 až 4 teplotách. U amerických výzkumů se velmi často lze setkat s teplotami 4,4 °C, 21,1 °C, 37,8 °C a 54,4 °C, přičemž za vztáznou teplotu pro následné vykreslení řídicí křivky je obvykle zvolena teplota 21,1 °C, s vlnou maximální deformace 75 až 125 microstrain.

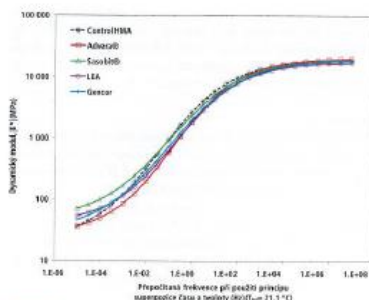
Z toho byly vypočteny tzv. řídicí křivky neboli „master curves“. Srovnání řídicích křivek je znázorněno na obrázku 3. Rozdíl mezi křivkami existuje hlavně pro nízké frekvence zatěžování, což je klíčové z hlediska účinků pomalu jedoucích těžkých nákladních vozidel. Největší tuhost měla nízkoteplotní asfaltová směs s Fischer-Tropschovým parafinem, což znovu potvrzuje i jiné výsledky experimentů provedených v zahraničí, i poznatky vlastních experimentů provedených v ČR.

V neposlední řadě byly zejména v USA provedeny soubory únavových zkoušek na trámečkových tělesech v souladu s americkou technickou normou AASHTO T321, kdy se stanoví počet opakovaných cyklů zatížení do vzniku porušení v podobě trhliny. V případě výzkumu realizovaného J. Williams [3] bylo například celkově ovládnuto sedm směsí, a to na zkušebních tělesech 380 mm × 63 mm × 50 mm s vyznačením směru hutnění jako vedlejšího ukazatele pro interpretaci únavového chování. Aplikováno je sinusové zatížení s frekvencí 10 Hz, přičemž těleso je při každém cyklu zatíženo konstantním napětím. Zkouška probíhala při teplotě 20 °C a zaznamenával se vývoj průhybu zkušebního tělesa. Obecně se porušení dle platné americké metodiky charakterizuje obdobně jako v případě evropské normy ČSN EN 12897-24 poklesem počáteční pevnosti na úroveň nižší než 50 %. Poněkud nelogicky zvolil Willis pro různé lokality různé úrovně napětí, resp. maximální deformace. Díky tomu jsou v zásadě technologiemi mezi sebou výjimečně neporovnatelné. Navíc je zřejmé, že deformační úroveň vyšší než 200 microstrain v podstatě nemůže v dostatečně míře popsat únavové chování směsí, jelikož není dosaženo alespoň jednoho milionu zatěžovacích cyklů. Na druhé straně zvolený postup poměrně dobře charakterizuje přínos vyššího podílu R-materiálu ve směsích WMA (více než 30 % hmotnosti), a to zejména při vyšší úrovni napětí. Při 600 microstrain se tak ukazuje, že směs s R-materiálem má v podstatě dvojnásobnou životnost. Naopak při nižším napětí byla patrná delší životnost u tradičních asfaltových směsí provedených v ČR.

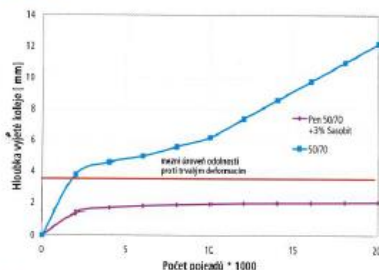
Výzkumný úkol NCHRP 09-49 „Úžitné chování WMA“ řešený A. Epsem a jeho týmem byl v dílčí podobě prezentován např. v [4]. Aktivita tohoto výzkumu se rovněž věnuje zejména problematice citlivosti nízkoteplotních asfaltových směsí vůči vodě. Vlastní výzkumný projekt byl zahájen v roce 2010 a má probíhat do roku 2013. Zatím byla dokončena první fáze – rešerše literatury a zhodnocení realizovaných stavů s WMA. Druhá fáze probíhající v současné době se zaměřuje na provedení rozsáhlých laboratorních zkoušek, jejichž cílem je mnohem lepší vymezení fenoménu citlivosti vůči vodě u tohoto typu směsí.

Tabulka 1: Příklady výsledků únavových zkoušek provedených metodou 4PB-PR [3]

Stavba	Směs	Maximální deformace – 600 microstrain					
		trámeček 1	trámeček 2	trámeček 3	trámeček 4	trámeček 5	trámeček 6
Daytona	tradiční směs	71 470	73 340	74 440	14 650	51 980	38 100
	Evotherm DAT	1 230	148 840	59 490	122 270	66 130	246 280
Orlando	Maximální deformace – 200 microstrain	trámeček 1	trámeček 2	trámeček 3	Maximální deformace – 400 microstrain		
		trámeček 1	trámeček 2	trámeček 3	trámeček 1	trámeček 2	trámeček 3
		tradiční směs	9 308 690	9 380 300	5 089 400	41 580	102 230
	Gencor	2 811 180	8 844 390	4 042 650	56 510	95 010	106 740
		Maximální deformace – 800 microstrain					
		trámeček 1	trámeček 2	trámeček 3			
Macon	tradiční směs	8 740	9 850	10 150			
	Evotherm 3G	7 700	7 120	7 370			
	Rediset	17 020	12 490	12 020			
	Cecabase	27 400	17 110	12 650			



Obrázek 3: Řídicí křivky zkoušených směsí [12]



Obrázek 4: Porovnání vzniku vyjeté koleje v asfaltové směsi s přísadou a bez přísady Fischer-Tropschova parafinu [6]

V neposlední řadě lze uvést některé aktuální poznatky s aplikací Fischer-Tropschových parafinů v Německu, a to i s ohledem na skutečnost, že tato přísada v minulosti byla právě v Německu poprvé aplikována a do jisté míry odstartovala zvýšené zaměření na oblast nízkoteplotních asfaltových směsí. V této souvislosti lze poukázat na aktuální poznatky K. W. Damma [6], který se věnoval kombinaci polymerem modifikovaných asfaltů a nízkoviskózních přísad typu Fischer-Tropschova parafinu nebo amidů mastných kyselin u asfaltových vrstev, kde byl zvýšený požadavek na odolnost proti vzniku trvalých deformací. V této souvislosti bylo zjištěno, že z hlediska zlepšení tuhosti je především Fischer-

Tabulka 2: Porovnání charakteristik asfaltových povjv s různou modifikací [6]

	Fischer-Tropschův parafin		Amidy mastných kyselin		PMB 45	
Mazerovitost asfaltové směsi (% objemu)	4,2		4,7		6,2	
Rok analýzy	2004	2008	2004	2008	2004	2008
Bod měknutí (°C)	84,4	78,0	104,3	97,1	62,2	63,6
Penetrace (0,1 mm)	30	16	33	24	35	29
G* _{100°C} (Pa)	18 300	22 810	25 400	47 600	15 800	12 905
δ _{100°C}	73,8	73,3	68,5	65,0	37,1	37,4
Ohybová tuhost S @ -16°C (MPa)	212	252	182	175	133	165
m-hodnota	0,38	0,29	0,32	0,30	0,39	0,37

Tabulka 3: Vybrané výsledky směsí BBSG 0/10

Sledovaný parametr	Metoda	Tradiční AC směsí (165°C)	směs NTAS (120°C)	Požadavky dle normy NF EN 13108-1
Hutnění gyrátorem	NF EN 12697-31	7,8		5 ≤ V ₆₀ ≤ 10
Mazerovitost (60 otáček)				
Duriezova zkouška	NF P 98-251-1			
t _{100°C}		10,31	9,90	
R _{100°C}		10,99	12,27	
t/R		0,94	0,81	≥ 0,75
Poměrná hloubka koleje při 60 °C po 30 000 cyklech (%)	NF EN 12697-22	5,1	4,8	≤ 7,5

-Tropschův parafin efektivně při dávkování 2 % až 4 % hmotnosti povjva. Do 2 % funguje přísada čistě jako ztekutovací činidlo. Obrázek 4 znázorňuje uvedenou problematiku poměrně významného vlivu asfaltové směsi s využitím přísady Fischer-Tropschova parafinu na vývoj trvalé deformace. Znárodněná skutečnost poměrně dobře koresponduje se sníženou teplotní citivostí, která byla ověřena v rámci řešení výzkumného projektu GA 103/09/0335. Současně lze efekt tuhosti komplexního smykavého modulu asfaltového povjva (G*), tak i hodnotu ohybové tuhosti charakterizující chování povjva při nízkých teplotách. Z první charakteristiky je zřejmé, že aplikaci některé z přísad na bázi syntetických vosků či amidů jsou již výchozí hodnoty vyšší než u tradičního polymerem modifikovaného asfaltu (PMB). Vlivem provozního období u přísad pro snížení viskozity dochází v povjvu k dalšímu zvýšení hodnoty (G*). U PMB je tento jev opačný. Z hlediska ohybové tuhosti a m-hodnoty sice nejlepší hodnot dosahuje PMB, nicméně požadavky zcela splňují i další dvě porovnávané povjvy. Zajímavé je v tomto ohledu velmi dobrá stabilita, hlavně v případě povjva s amidem mastných kyselin.

Závěrem k uvedenému shrnutí nejnovějších zahraničních poznatků lze uvést, že provedené studie a realizované výzkumné projekty se zaměřují z velké části na posouzení chování nízkoteplotních směsí ve vazbě na jejich praktickou aplikaci. V řadě případů se potvrzuje, že hlavním problémem u směsí NTAS je zajištění dostatečné odolnosti proti působení vody. Hodnocení zkouškou v příčném tahu a pojižděním kolem pod vodou dávají často rozporné výsledky. Použití přísad pro zvýšení přilnavosti může problém zabezpečení dostatečné odolnosti proti vodě vyřešit, na druhou stranu bude při jakékoli praktické aplikaci nezbytné vodě technické analýzy dřívě nebo později provést i ekonomické porovnání s prokázáním ekonomické realizovatelnosti tohoto řešení. Bude zajímavé, k jakým výsledkům a závěrům dospěje probíhající rozsáhlý americký výzkumný projekt NCHRP 09-49 se zaměřením právě na oblast citlivosti vůči vodě směsí NTAS, který má být ukončen v roce 2013.

Z hlediska praktických aplikací a provádění zkušebních úseků bylo prezentováno několik příspěvků. Poměrně rozsáhlé měření byla prováděna ve Francii s průmyslově vyráběnými povjvy umožňujícími výrobu NTAS s pracovní teplotou 120 °C. Jedná se o povjvo označované ECO³, které primárně nesnižuje viskozitu směsí, nýbrž snižuje povrchové napětí mezi povjvem

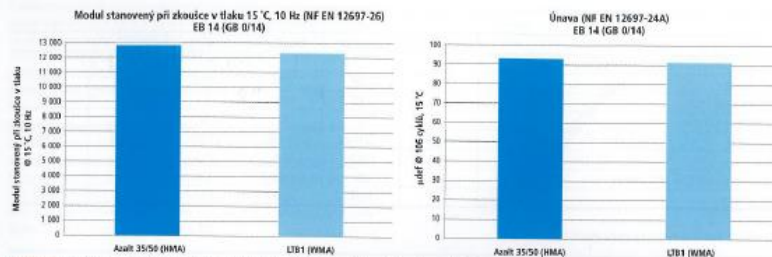
a kamenivem, čímž se zlepšuje zpracovatelnost. Byly popsány výsledky tří zkušebních úseků realizovaných v koordinaci IFSTTAR ve Francii a ve Španělsku. Tento trend sledovaný v posledních letech ve Francii vychází z dobrovolného závazku snížit emise skleníkových plynů do roku 2020 o 33 % [zejména nižším ohřevem kameniva].

Ovládanou úpravou byla ohrnuhá vrstva ze směsí BBSG 0/10 a GB 14 (Francie) a AC 16 S (Španělsko). Směsí byly vyráběny v mobilní „dřum mix“ obalově vytvářené zemním plynem. Při výrobě asfaltové směsi byla sledována energetická náročnost a bylo zjištěno snížení spotřeby topného média o 20 % až 25 %. Porovnání byla přitom spotřeba plynu i elektrické energie. Dále byla prováděna měření emisí a koncentrací jednotlivých frakcí částic O₃, CO₂, NO_x, CO, plynné organické sloučeniny bez obsahu metanu (NMGOC) a CH₄. Při pokládce a hutnění byla odhadována energetická spotřeba strojů a produkce emisí, která umožnila provedení zjednodušené analýzy životního cyklu se stanovením ukazatelů: potenciál globálního oteplování (GWP), potenciál kyselosti (AP), potenciál vzniku fotochemického ozonu (POCP), index eutrofizace (EI). V případě dvou zkušebních úseků byl navíc ověřován potenciál kombinace NTAS s R-materiálem (bylo přidáváno 10 % a 20 %, přičemž vlnkost R-materiálu byla 5 % hmotnosti). Pokládka směsí BBSG 0/10 byla prováděna v tloušťce 60 mm s použitím jednoho těžkého a dvou lehkých malých válců.

V rámci laboratorního ověřování byla zkušební tělesa připravena gyrátorem nebo hutněna rázovým zhuťovačem 2 × 75 úderů. Referenční směs byla vyrobena s povjvem 3G/50 při teplotě 170 °C s teplotou výparů 105 °C až 140 °C. Nízkoteplotní směs s ECO³ byla vyráběna při teplotě cca 123 °C a teplotou výparů 100 °C. Byla stanovena odolnost proti trvalým deformacím, odolnost proti účinkům vody, modul tuhosti na válečkových tělesech při 15 °C s 10 Hz (Francie) a 20 °C s 10 Hz (Španělsko), jakož i v neposlední řadě únavová zkouška provedená metodou 2PB-TR.

Z dosažených poznatků vyplývá:

- asfaltové povjvo ECO³ má srovnatelné parametry (penetrace a bod měknutí) jako povjvo 3G/50;
- u nízkoteplotní asfaltové směsi byl pozorován velmi malý vznik výparů uvolňovaných obalovnou;
- ITSR směsí NTAS dle Durieze byl mírně nižší v důsledku nižší odolnosti proti tlaku;
- zpracování NTAS bylo pro pracovní náročnější z hlediska ruční pokládky;



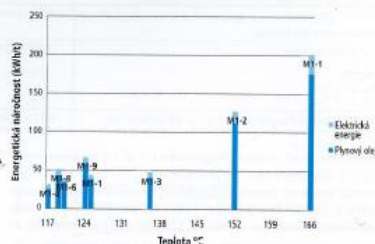
Obrázek 5: Příklad dosahovaných modulů tuhosti a únavových charakteristik směsí s pojivem ECCF

- výkon heřáka na obalovně musí být u směsi NTAS redukován na minimum (56 % až 60 % maxima), což zhoršuje ovládní výrobní teploty;
- výpary a vratný filer mají nižší teplotu, což zvyšuje riziko zanášení filtrů (obzvláště v případě použití vlhkého kamenu);
- pokládka v různých časových obdobích během dne neměla na směs vliv;
- celkově bylo dosaženo snížení emisí CO₂ -24 %, CO -7 % a jemných částic -71 %.

Jiným příkladem ověření přínosu nízkoteplotních asfaltových směsí při použití v obrusných či ložních vrstvách jsou provedené zkušební pokusy a laboratorní posouzení, jež probíhala v uplynulých letech ve Velké Británii. V tomto případě se provádělo ověření funkčnosti přísady Advera®WMA (0,3 % hmotnosti směsi), která je jednou z alternativ pražkových přísad s podobnou aluminosilikátovou strukturou jako přírodní zeolity. Přísada při výrobě asfaltové směsi působí dočasně naplnění asfaltového pojiva. Shodně jako zeolity se přidává teprve do procesu výroby směsi. Advera® obsahuje zpravidla 20 % vlhkosti, která je chemicky vázaná. Navíc pokud v asfaltové směsi zůstane nějaká zbytková vlhkost, přísada má potenciál opětovně tuto vlhkost pohltit a ve své struktuře znovu vázat, což by částečně mělo přispět ke zlepšování charakteristik trvanlivosti. Výroba asfaltové směsi je umožněna při teplotě 120 °C, což dle britských poznatků může vést ke zkrácení doby pro opětovné zprovoznění pozemní komunikace o 20 až 40 minut.

Při vlastním posuzování a sledování využitelnosti přísady byla kromě zpracovatelnosti a technických charakteristik směsi (mezerovitost, tuhost, odolnost proti účinkům vody, odolnost proti vzniku trvalých deformací) věnována pozornost monitoringu výroby s různými nastavenými podmínkami, jakož i měření vlastností hotové úpravy. Snahou bylo stanovit křivku závislosti teploty a času při výrobě a pokládkě s volbou různých postupů pokládky. Současně bylo provedeno stanovení emisí CO₂ s následným výpočtem ekvivalentu CO₂, tedy provedení analýzy LCA pro uhlíkové emise (celková uhlíková stopa pro AC byla snížena o 50 %, pro SMA potom o 40 %). V obrázku 6 jsou uvedeny spotřeby vybraných typů energie různých variant směsí AC 20 při teplotách výroby v rozmezí 117 °C až 166 °C.

V neposlední řadě lze poukázat na provedené turecké porovnání tří typů různých NTAS, kdy bylo použito jak naplnění asfaltového pojiva dvěma typy zeolitu (včetně jemné mletěhoji při dávkování 0,25% až 0,40 % hmotnosti směsi, tak i chemická přísada CECA Base (0,4 % hmotnosti pojiva) a syntetický Fischer-Tropschův parafin (3 % hmotnosti pojiva). Východím pojivem byl asfalt 50/70. V případě asfaltových pojiv byla provedena sada standardních zkoušek, včetně charakteristik stanovených na BBR a DSR, ověření stárnutí pojiva, zjištění kinetické viskozity a ověření přilnavosti. U asfaltové směsi byla kromě mezerovitosti sledována především odolnost proti trvalým deformacím. Jako směs byl zvolen asfaltový beton AC 20, který byl vyráběn při teplotě 130 °C až 135 °C.

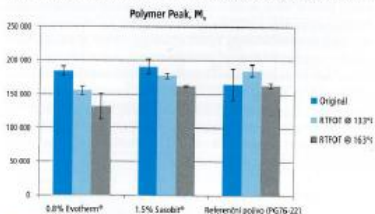


Obrázek 6: Energetická náročnost směsi AC 20 při různých podmínkách výroby

Z výsledků experimentálních analýz uvedených v původní tabulce autorů vyplývá:

- stabilita NTAS poklesla porovnání s referenční směsí o 15 % až 35 %;
- nebyly zjištěny žádné významné změny z hlediska zkoušek prováděných na DSR a BBR;
- obecně se NTAS hutnily snadněji než referenční směs;
- NTAS s vosky měla vyšší odolnost proti vzniku trvalých deformací (měřeno při 60 °C s uplatněním 20 000 pojedůů);
- zaměření na další přísady a typy směsí, jakož i aplikaci R-materiálu ve směsích.

V dalším příspěvku, který lze v souvislosti s NTAS zmínit, byla pozornost věnována degradaci polymerů v tomto typu směsí, a to především z pohledu vlivu nižší pracovní teploty na snížení rizika degradace. Byla provedena kvantitativní degradace polymeru pomocí plynové chromatografie, kdy se zjišťovaly změny molární hmotnosti (ukazatele M_n a M_w jako průmě-



Obrázek 7: Porovnání ukazatele molární hmotnosti M_n pro polymer při aplikaci vybraných přísad pro směsi NTAS (původní pojiva a krádkodobé zesíťlé pojiva o teplotě 133 °C a 163 °C)

Tabulka 4: Příklad výsledků vlastností porovnávaných variant směsí AC 20

Vlastnost	Jednotka	Zkušební norma	Směs				
			HMA – referenční	WMA chem.	WMA vosk	WMA zeolit	WMA zeolit 2
Stabilita podle Marshalla	kg	TS EN 12697-34	1.430	914	1.229	1.111	921
Přetvoření podle Marshalla	Mm	TS EN 12697-34	3,01	4,89	4,35	5,60	3,70
ITS suchá	kPa	TS EN 12697-12	698	647	891	598	591
ITS saturovaná	kPa	TS EN 12697-12	434	400	464	397	432
Trvalé deformace (PRD ₁)	%	TS EN 12697-22	4,83	7,45	4,56	8,61	5,79

Tabulka 5: Experimentálně ověřené výsledky redukce koncentrace NO_x

Vzorek	Snížení koncentrace NO _x (%)	Snížení koncentrace NO (%)
3 % TiO ₂ v pojivu PG 70-22	3,8	5,4
5 % TiO ₂ v pojivu PG 70-22	4,9	5,5
7 % TiO ₂ v pojivu PG 70-22	2,9	4,5

ry molárních hmotností pro vybrané sledované oblasti. Z prezentovaných výsledků vyplývá, že u nízkoteplotních asfaltových směsí skutečně lze nižší degradaci prokázat, současně však bylo zjištěno, že k vyšší degradaci naopak dochází, pokud se asfaltové pojivo určené pro NTAS použije v tradiční asfaltové směsi. Příklad dosažených výsledků je uveden na obrázku 7. Z grafických výsledků lze dle autorů určit, že vrchol stanovený při analýze na GPC pro pojivo s vlivem stárnutí vykázal zvýšení hodnoty při aplikaci nízkoviskózních pojiv, což je kvalifikováno jako kladný efekt. Obecně proto jejich závěrem je tvrzení, že nízkoteplotní asfaltové směsi jsou možným řešením pro zpomalení degradace polymerů v asfaltovém pojivu. Dále je patrné, že pojivo s Fischer-Tropschovým parafinem je odolnější proti degradaci polymeru než pojivo s přísadou Evotherm.

Dalším zajímavým trendem, který byl prezentován v rámci kongresu, je možnost využití kombinace nízkoteplotní asfaltové směsi s fotokatalytickou sloučeninou TiO₂ pro snížení koncentrací NO_x v ovzduší. Princip sloučeniny TiO₂ spočívá v heterogenní fotokatalytické oxidační reakci, kdy je NO_x oxidován na dusičnan rozpustné ve vodě, které se vyplavují deštěm. Tato reakce a možnosti jejího využití v oblasti silničního stavitelství jsou již několik let známé, dosud však nebyla ověřována kombinace se směsí NTAS, včetně případného snížení i některých dalších skleníkových plynů. To bylo provedeno s využitím asfaltové směsi 0/19 dle amerických standardů. Pro výrobu NTAS byla využita chemická přísada povrchově aktivní látky WMX. Současně byla aplikována prašková přísada z krystalického anatasu (TiO₂) v množství 0 %, 3 %, 5 % a 7 %. Vedle toho se provádějí i postřik hotové úpravy vodním roztokem TiO₂ (0,026; 0,05 a 0,074 l/m²).

U vyrobených směsí byly sledovány charakteristiky odolnosti proti trvalým deformacím a šíření trhlin, současně byla laboratorně zjišťována schopnost směsi pohltit NO_x před zkouškami a po provedených zkouškách trvanlivosti, přičemž potenciál je odhadován na 39 % až 52 %. Současně byly získány následující poznatky:

- prísada TiO₂ nemění reologické vlastnosti pojiva;
- aplikace však vedla ke zvýšení odolnosti proti trvalým deformacím;
- při aplikaci přímo ve směsi jako modifikační přísada pojiva nepřinášela z hlediska snížení NO_x žádný efekt (na povrchu je přítomno jen velmi malé množství účinné látky);
- při aplikaci jako postřik na vrstvu NTAS lze dosáhnout až 77 % snížení NO_x.

Posledním zde uvedeným příkladem možného využití směsí NTAS je provedení laboratorního a in-situ vyhodnocení možnosti kombinace energeticky náročnější aplikace pryzového granuluátu v asfaltové směsi a přístupu nízkoteplotní asfaltové směsi. Pro tento účel byla zvolena směs s přirušovanou částicí zmlotistí (max. velikost zrna 9,5 mm) a mezerovitostí 5 % objemu. Množství přidávaného pryzového granuluátu bylo 20 % hmotnosti, přičemž bylo

zvolena mokrá metoda, tedy přidávání granuluátu do asfaltového pojiva. Pro NTAS byla zvolena přísada povrchově aktivní látky Gemul XT4 (tenzokvinní látka na bázi syntetického amoniaku), u které se předpokládalo snížení pracovní teploty při pokládce alespoň o 25 °C. Z dosažených měření pro takto provedené aplikace vyplývá:

- koncentrace FAU byly sníženy o 30 % až 50 %, v případě CO₂ bylo zjištěno snížení emisí o 40 %, u távkových uhlíkovdů o 50 % a u NO_x o 60 % až 70 %;
- bylo dosaženo identických hodnot mezerovitosti;
- míra zhutnění u NTAS byla mírně lepší (99,2 %);
- shodné moduly tuhosti při 25 °C;
- směs NTAS vykazovala nižší hodnoty ITS, avšak ukazatel ITSR byl shodný jako pro referenční směs (90 %, brazilský kritérium 70 %);
- celková směs NTAS s CRMB dosáhla v podstatě stejných vlastností jako referenční směs, a to při uvažovaném snížení pracovní teploty.

Tento článek vznikl za podpory programu Centra kompetence Technologické agentury České republiky (TACR), číslo projektu TD1020168 (CESTI).

Literatura:

- Proveil, B. D. – Hurle, G. C.: Warm-Mix Asphalt: Best Practices. Quality Improvement Series 125, NAPA, Lanham, United States, 2007.
- Beaving, E.: The use of Warm Mix Asphalt in Europe and the USA. Conference Asfaltové vozovky 2011, České Budějovice 2011, vyzvaná přednáška.
- Wills, J., et al.: Combining Warm Mix Asphalt Technologies with Mutually Containing Recycled Asphalt Pavement. Proceedings 2nd International Warm-mix Conference (prezentace), St. Louis, 2011.
- Epps, A., et al.: Moisture Sensitivity of WMA – A review and look to the future. Proceedings 2nd International Warm-mix Conference (prezentace), St. Louis, 2011.
- Diard, F., et al.: Laboratory assessment of mechanical performance and fume emissions of LEA® HWMA (90°C) vs. traditional HMA (180°C). Proceedings 2nd International Warm-mix Conference (prezentace), St. Louis, 2011.
- Damm, K. W.: Warm Mix Asphalt in Germany, a technology beyond reduced mixing and paving temperatures. Proceedings 2nd International Warm-mix Conference (prezentace), St. Louis, 2011.
- Hanzik, V., et al.: Příspevek k výrobě litých asfaltů se sníženými teplotami. Sborník mezinárodní konference Asfaltové vozovky 2008, České Budějovice.
- Dvořák, M.: Zkušenosti s výrobou a pokládkou asfaltových směsí s použitím nízkoteplotních přísad. Sborník mezinárodní konference Asfaltové vozovky 2008, České Budějovice.
- FGSV: Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt. Pflasterarbeiten, Köln nad Rýnem, 2010.