



VÍCENÁSOBNÁ RECYKLACE U SM SÍ RECYKLOVANÝCH ZA STUDENA

Zpracovali: Bc. Adriana Kotoušová, Ing. Jan Valentin, Ph.D. (Fakulta stavební VUT v Praze)

Souhrn

Aktivity v tomto díl ím úkolu se v roce 2016 zam íly na problematiku vícenásobné recyklace u asfaltových sm sí recyklovaných za studena. První ást ešení je zam ena na problematiku stárnutí, kde jsou shrnuty n které metody pro simulaci stárnutí asfaltových sm sí a kde je popsána zvolená metoda stárnutí pro daný výzkum. Dále se specifikuje složení sm sí a jednotlivé etapy procesu výroby zkušebních t les. Prakticky se experimentální práce zam uje p evážn na deforma ní charakteristiky a vodní citlivost u sm sí recyklace za studena zkoušených p i aplikaci simulovaného stárnutí a experimentálního využití vícenásobné recyklace. V záv ru a u provedeného vyhodnocení jsou shrnuty a porovnány výsledky získané z deforma ní charakteristik, které byly provád ny.

Oblast použití

Simulace stárnutí asfaltových pojiv je v dnešní dob velmi rozší ená oblast ov ování charakteristik tohoto materiálu. Oproti tomu simulace stárnutí asfaltových sm sí se nadále jeví jako pomalu se rozvíjející oblast, jakkoli je pro dobré vymezení užitného chování asfaltových vrstev pot ebná. O to v tší novum je tato problematika u sm sí recyklovaných za studena. V poslední dob jsou zkoumány r zné metody stárnutí pro asfaltové sm sí, obzvlášt pro horké asfaltové sm sí a je zde snaha vyvinout co nejvhodn jší metodu stárnutí, aby bylo docíleno vhodné simulace sm sí ve vozovce b hem její životnosti. B hem životnosti vozovky je její trvanlivost zna nou m rou závislá na použitých materiálech a jejich dlouhodobých mechanických vlastnostech. Je pot eba brát v úvahu životnost asfaltového krytu, který b hem 15 – 30 let bude pot eba obm nit, jelikož se asem za ne snižovat jeho pružnost/odolnost proti trvalým deformacím a bude docházet k tvorb únavových trhlin.

Opomíjeným tématem je p itom vícenásobná recyklovatelnost, kterou bude v sou asné dob pot eba ešit. Existují vozovky, kde byl už jednou aplikován recyklovaný materiál do asfaltových sm sí. Tyto vozovky b hem blízkých n kolika let dosáhnou svého konce životnosti. Po skon ení životnosti již jednou recyklované vrstvy ve vozovce

bude pot eba se rozhodnout, jak se s tímto materiálem naloží dále a jestli se bude moci znovu využít v plném rozsahu pro výrobu asfaltových sm sí.

Jedním z limit í (i po praktické stránce) je aplikace asfaltového pojiva do již dvakrát stmelného materiálu asfaltovým, pop . hydraulickým pojivem. Postupné navyšování množství recyklátu m že vést k negativním vliv m na vlastnosti provedené vozovky. Z tohoto dvodu byly laboratorn navrženy a vyrobeny ty i sm sí studené recyklace, které byly p edrceny a tento materiál znovu použit pro výrobu studené recyklace.

Metodika a postup ešení

Jedním z klí ových aspekt , kterému byla z koncep ního hlediska v nována pozornost, je stárnutí asfaltového pojiva. B hem stárnutí dochází u asfaltových pojiv i sm sí ke zvýšení tuhosti a k ehkosti, a proto se vozovky stávají náchyln jší k selhání p i p sobení nízkých teplot nebo v d sledku postupné únavy materiálu a vzniku únavových trhlin. Stárnutí tak má vliv na trvanlivost a na recyklovatelnost. Úrove recyklace je závislá na pvodu R-materiálu, druhu zásob a jeho po áte níh charakteristikách, jako je nap íklad obsah pojiva, které je pro nás z hlediska vícenásobné recyklovatelnosti velmi podstatné. Dále proces stárnutí ovliv uje obsah vzduchových mezer, vlastnosti pojiva a kameniva, ale také as, dopravní zatížení, p ístup kyslíku a vlhkosti.

Tab. 1 Vybrané existující metody pro simulaci krátkodobého a dlouhodobého stárnutí asfaltových sm sí.

| Volná asfaltová sm s | | | slisovaná asfaltová sm s | | |
|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|----------------------------------|
| Metody | Krátkodobé stárnutí | Dlouhodobé stárnutí | Metody | Krátkodobé stárnutí | Dlouhodobé stárnutí |
| Vain Gooswillingen | / | 160 °C / 16 h | Mugler | / | 163 °C / 5 h |
| LCPC | 135 °C / 4 h | 100 °C / 24 h | EMPA | 135 °C / 3 h | 110-120°C / 16 h |
| ISBS | / | 80 °C / 4 dny | SATS | / | 85 °C / 65 h (nasyčeno, 2,1 Mpa) |
| RILLEM | 135 °C / 4 h | 85 °C / 7-9 dní | AASHTO R30-02 | 135 °C / 2-4 h | 85 °C / 5 dní |
| | | | Tia | / | 60 °C / 90 dní |

*kombinace s UV zá ením

V dnešní dob existuje ada metod pro simulaci stárnutí asfaltových sm sí. N které z metod jsou uvedeny v norm prEN 12697-52 a další metody lze odvodit z ady výzkumných projekt , které se

stárnutím zabývaly. Tyto metody se provádějí na horkých asfaltových směsích. V rámci řešení aktivity se prováděla jen jedna metoda.

Pro stárnutí studených recyklovaných asfaltových směsí byla zvolena metoda stárnutí zkušebních těles po dobu 9 dní při 85 °C. Metodu je možné zařadit mezi metody AASHTO a RILEM podle normy prEN 12697-52. Zvolili jsme metodu blízkou AASHTO, ale s tím rozdílem, že místo 5 dní jsme zvolili 9 dní stárnutí jako u metody RILEM. Tento postup odpovídá i metodě zvolené v rámci řešení evropského projektu CoRePaSol.

V první etapě byly vyrobeny tyto směsi (tabulka 2) lišící se procentuálním obsahem použitých pojiv. Ve vyhodnocení je směs SD rozdělena na dvě části (SD1 a SD2) kvůli nízkému R-materiálu. Dvoděvodem použití R-materiálu u SD byl momentální nedostatek R-materiálu. Středokluky frakce 0/22 a jeho substituce R-materiálem Brant frakce 0/16, při němž bylo potřeba vyrobit tělesa na proces stárnutí.

Tab. 2 Složení směsí recyklace za studena.

| Směs | R-materiál* | Voda | Emulze | Zpětný asfalt | Cement |
|------|-------------|------|--------|---------------|--------|
| | [%] | [%] | [%] | [%] | [%] |
| SA | 91,0 | 2,5 | 3,5 | - | 3,0 |
| SB | 90,5 | 2,0 | - | 4,5 | 3,0 |
| SC | 94,0 | 2,5 | 3,5 | - | - |
| SD | 93,5 | 2,0 | - | 4,5 | - |

Poznámka: *R-materiál frakce 0/22 Středokluky byl použit u všech vyrobených těles. U některých těles směs SD byl použit R-materiál z lokality Brant 0/16 kvůli nedostatku R-materiálu 0/22 Středokluky.

Druhá etapa studených recyklovaných asfaltových směsí byla navržena pro laboratorně zestárlý a předcmený materiál, ke kterému byla přidána buď asfaltová emulze, nebo zpětný asfalt, viz tabulka 3.

Tab. 3 Složení směsí pro vícenásobnou recyklaci.

| Směs | Předcmený REC | Voda | Emulze | Zpětný asfalt |
|--------|---------------|------|--------|---------------|
| | [%] | [%] | [%] | [%] |
| Rec SA | 95,5 | 2,5 | 2,0 | - |
| Rec SB | 96,0 | 2,0 | - | 2,0 |
| Rec SC | 95,5 | 2,5 | 2,0 | - |
| Rec SD | 96,0 | 2,0 | - | 2,0 |

Poznámka: Pro směs Rec SA se použila předcmená směs SA. Pro směs Rec SB se použila předcmená směs SB apod.

Tab. 4 Jednotlivé cykly s vyrobenými zkušebními tělesy.

| Směs - Etapa 1 | První cyklus | Druhý cyklus |
|------------------|--|----------------------------------|
| | Laboratorní zrání (vytvrzení) zkušebních těles | Vliv stárnutí na zkušební tělesa |
| Směs A Směs B | 24 hodin ponechány při vlhkosti 90-100 % a teplotě 20±3 °C. Poté zrání 14 dní na suchu | 9 dní při teplotě 85 °C |
| Směs C Směs D | 24 hodin ponechány při vlhkosti 90-100 % a teplotě 20±3 °C. Poté dány na 72 h do ohřevací komory na 50 °C při vlhkosti 40-70 % | 9 dní při teplotě 85 °C |

Poznámka: Relativní vlhkost 90-100 % je zajištěna pomocí neprodyšného obalu, ve kterém je těleso uzavřeno 24 h. Vlhkost 40-70 % představuje vlhkost zkušebních těles při jejich volném uložení v laboratoriu nebo v ohřevací komoře.

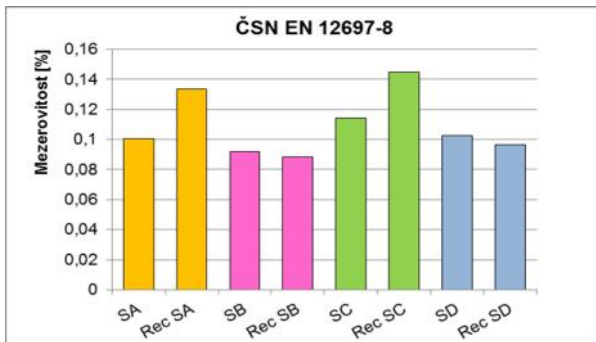
Výsledky

Z hlediska základních vlastností dosáhly směsi mezerovitosti 9 – 14 %-obj., při němž zhutňovací objemová hmotnost byla vyhodnocena pro 10 těles. Směsi obsahující hydraulické pojivo mají spíše mezerovitost 9 – 10,5 %-obj. a směsi bez hydraulického pojiva mají mezerovitost 10 – 14 %-obj. Rozdíly, které bylo možno vypočítat pro jednotlivé směsi, opět potvrzují nejistotu způsobenou nestejnorodostí použitého R-materiálu. Z hlediska dosažených pevností v příčném tahu po laboratorním stárnutí (9 dní na 85 °C) při teplotě 15 °C byly dosaženy hodnoty shrnuté v tabulce 5. V porovnání s hodnotami naměřenými v silniční laboratoriu na VUT v Praze, kdy zkušební tělesa nebyla vystavena procesu stárnutí, ale jen zrychlenému zrání (50 °C na tři dny u směsí SC, SD) a zrání na suchu (14 dní u směsí SA, SB) vycházely hodnoty menší než po zestárnutí zkušebních těles. Směs SA z 0,76→1,12 MPa, směs SB z 0,76→1,29 MPa, směs SC z 0,67→0,99 MPa a směs SD z 0,60→1,09 MPa.

Tab. 5 Základní vlastnosti a ITS pro etapu 1.

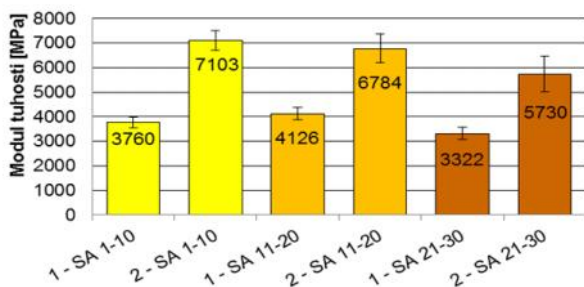
| Tělesa | Max. obj. hmotnost | Objemová hmotnost | Mezerovitost | ITS |
|--------|----------------------|----------------------|--------------|-------|
| | [g/cm ³] | [g/cm ³] | [%] | [MPa] |
| SA | 2,403 | 2,162 | 10,04 | 1,12 |
| SB | 2,345 | 2,130 | 9,20 | 1,29 |
| SC | 2,416 | 2,140 | 11,42 | 0,99 |
| SD 1 | 2,358 | 2,116 | 10,27 | 1,09 |
| SD 2 | 2,436 | 2,112 | 13,40 | 1,15 |

Porovnáním z hlediska mezerovitosti mezi sm si SA (SC) a Rec SA (Rec SC) dochází k mírnému nárstu mezerovitosti pibližně o 3 %, oproti tomu u sm si Rec SB (SD) a sm si Rec SB (Rec SD) lze považovat mezerovitost za neměnnou a lze usuzovat, že charakteristické stmelení zrn recyklátu asfaltovou p noutou vede pravděpodobně k lepšímu zaklínění jednotlivých zrn.

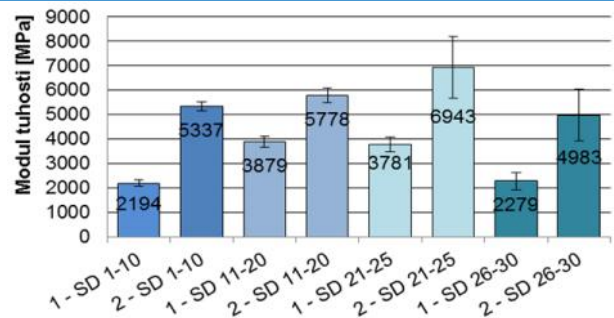


Obr. 1 Porovnání mezerovitosti sm si 1 a 2 etapy.

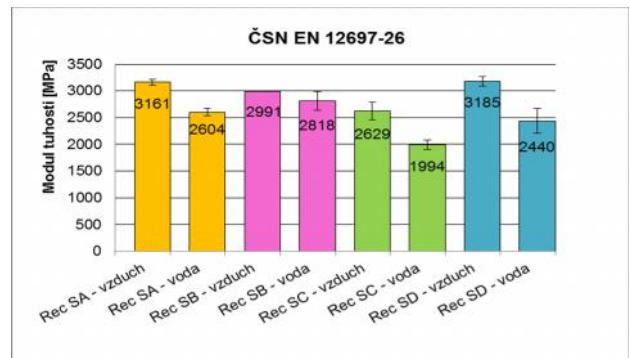
Z hlediska modulu tuhosti je na první pohled patrné, že R-materiál ovlivnil tuhost u sm si SD 1, kdy je dosaženo téměř 50% zvýšení tuhosti sm si SD2. Nejmenší nárst modul vlivem stárnutí byl u sm si SA (sm s s emulzí a cementem) pibližně o 70 – 90 %. Nejvyšší nárst byl u sm si SC a SD1, a to u n kterých tles až o 150 %. Vliv hydraulického pojiva byl spíše zpozorován p ed procesem stárnutí nežli po procesu simulovaného stárnutí, ale jednoznačně se vliv cementu takto odděleně urit nedá. Je však logické, že vlivem simulovaného stárnutí, kdy jsou zkušební tlesa skladována p i teplotě 85 °C, je odstraněna velká část vlhkosti, která je potřebná pro proces hydratace a tudíž i zvýšení pevnostních charakteristik cementu. To vysvětluje do jisté míry pozorovaný vývoj. Dalo by se také říci, že zpronežněný asfalt díky svému typu obalení jemných a hrubých částic materiálu má do jisté míry lepší výsledky než sm si s asfaltovou emulzí. Vše závisí především na použitém R-materiálu a jeho nestejnorodosti.



Obr. 2 Porovnání modulu tuhosti p ed a po stárnutí tlesa sm si SA (první etapa).

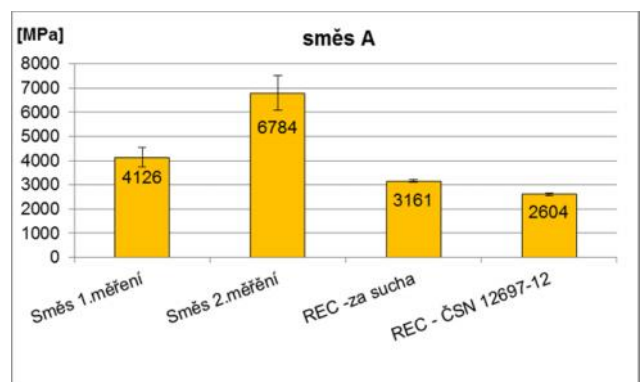


Obr. 3 Porovnání modulu tuhosti p ed a po stárnutí tlesa sm si SD (první etapa).



Obr. 4 Moduly tuhosti pro druhou etapu sm si.

Z hlediska druhé etapy, kdy se sm s recyklací za studena vyráběla s již jednou recyklovaným materiálem, se zkušební tlesa každé varianty rozdělila na dvě skupiny. První skupina tlesa byla zkoušena po odležení na vzduchu, oproti tomu druhá skupina tlesa byla zkoušena po nasycení a odležení ve vodní lázni (3 dny na 40 °C). Moduly byly zkoušeny p i teplotě 15 °C. Z grafu 10 je patrný vliv odolnosti sm si v úniku vody. Menší pokles tuhosti v důsledku úniku vody se projevil u sm si Rec SA (Rec SB), to mohlo být zapříčineno zbytkovým p sobením cementu v R-materiálu (SA, SB) a použitím zpronežněného asfaltu, který velmi dobře obalil jednotlivá zrna.



Obr. 5 Porovnání modulu tuhosti obou etap pro sm si A.

Porovnání modul tuhosti p i 15 °C ty p vodních sm sí recyklace za studena a op tovné recyklace dochází u sm si A, B ke snížení o 30 % a u sm si C, D k navýšení o 15 – 45 %. Ke snížení dochází u sm sí, kde byl použit cement, jelikož v 1. etap byly úinky hydraulického pojiva znát, ale p i op tovné recyklaci tyto úinky postupn vymizely. Oproti tomu u sm sí C, D došlo k navýšení tuhosti po op tovné recyklaci, což by bylo možné p isoudit aktivit pojiva v R-materiálu, jelikož jeho množství se postupn recyklacemi navýšilo.

Záv r

Vícenásobná recyklace asfaltových vrstev je závislá na procesu stárnutí b hem životnosti tohoto kompozitního materiálu, který je uložen ve vozovce a vystaven klimatickým podmínkám a ú ink m silni ní dopravy. Vícenásobné použití asfaltového R-matriálu je vhodný zp sob pro snížení spot eby neobnovitelných zdroj (kamenivo, asfaltové pojivo). Sou asn je to zp sob ochrany životního prost edí a docílení úspor ve ejných finan ních prost edk . Cílem bylo zhodnotit úinky vlivu stárnutí na sm si vyrobené technologií recyklace za studena a jejich op tovné použití do sm sí recyklovaných tímto zp sobem.

Proces simulovaného stárnutí na zhutn ých zkušebních t lesech byl p evážn bezproblémový. P i pr b hu stárnutí se pouze u n kterých zkušebních t les objevily mikrotrhliny, p i emž dv zkušební t lesa se rozpadla. P i tomto procesu by bylo dobré zkušební t lesa zabezpe it proti vzniku trhlin a jejich následnému rozevírání provizorními formami z perforovaného materiálu. Z výsledk je patrné, že dvakrát recyklovaný asfaltový materiál nejevil žádné negativní úinky u zkušebních t les z hlediska vyššího obsahu asfaltového pojiva. Vícenásobná recyklace vedla k uspokojivým výsledk m, ale samoz ejm existuje hranice, kdy obsah asfaltového pojiva v R-materiálu bude p íliš vysoký na to, aby se mohl znovu v tak velkém podílu použít.

Literatura

- [1] SHRP-A-383. Selection of laboratory aging procedures for asphalt-aggregate mixtures. Oregon state University Corvallis: C. A. Bell, Y. AbWahab, M. E. Cristi and D. Sosnovske, March 1994.
<http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/shrp/SHRP-A-383.pdf>
- [2] Simnofske, D., Mollenhauer, K. : CoRePaSol: Report on Durability of cold-recycled mixes: Test procedures for simulating long-term aging, moisture damage and fatigue. Deliverable D2.1, 2014.
- [3] PrEN 12697-52:2013: Bituminous mixtures – test methods – Part 52: Conditioning address oxidative ageing.