MATERIÁLOVÉ ALTERNATIVY SMĚSÍ RECYKLOVANÝCH ZA STUDENA S APLIKACÍ MECHANICKY AKTIVOVANÉHO BETONOVÉHO RECYKLÁTU

Zpracovali: Ing. Jan Valentin, Ph.D., Ing. Zuzana Čížková, Ph.D., Ing. Jan Suda, Ing. Jakub Šedina (Fakulta stavební ČVUT v Praze)

Souhrn

Problematika mechano-chemické aktivace zrnitých materiálů se zaměřením na některé typy vedlejších produktů nebo stavebních odpadů je v rámci Fakulty stavební ČVUT v Praze sledována dlouhodobě. V roce 2017 činnosti v dané aktivitě navázaly jednak na předešlé cíle využití některých jemně mletých aktivovaných materiálů ve stmelených podkladních vrstvách vozovek řešené v rámci CESTI, jednak na poznatky získané řešením projektu MACRec. Byl tak doplněn soubor dat a materiálových variant směsí recyklace asfaltových vozovek za studena s využitím vybraných typů betonových recyklátů, které byly nejprve rozsítovány na různé frakce a následně vybrané frakce byly dále podrobeny procesu mletí v desintegrátoru. Následně byly zvoleny různé kombinace s cementem a asfaltovými pojivy typu emulze nebo zpěněný asfalt v kompozitních směsích recyklace za studena. Cílem přitom byla snaha v co největší míře substituovat cement novými typy pojiv na bázi aktivovaných jemně mletých materiálů. Pro jednotlivé varianty recyklovaných směsí byl zvolen standardní soubor zkoušek (ověření mezerovitosti a stanovení pevnosti v příčném tahu pro různé úrovně zrání společně s určením odolnosti proti účinkům vody), který byl doplněn o dlouhodobě sledovanou charakteristiku tuhosti prováděnou nedestruktivní zkušební metodou. Výsledky byly analyzovány z hlediska vlivu proměnného množství přidávaného mikromletého betonového recyklátu, jakož i z hlediska posouzení minimální nezbytné míry přítomnosti cementu v recyklované směsi.

Oblast použití

Cement je velice důležitou materiálovou složkou jak do směsí recyklovaných za studena tak do hydraulicky stmelených směsí. Důvodem jeho přidávání je především zlepšení odolnosti směsi proti vodě a zvýšení pevnosti směsi v rámci počáteční fáze zrání, jakož i dosažení vyšší únosnosti nově zbudované konstrukční vrstvy. Přidávání vyššího množství cementu může být finančně nákladné a v případě zohlednění aspektu uhlíkové stopy je vždy spojeno s environmentálními dopady souvisejícími s jeho výrobou. Tyto negativní aspekty by mohly být zmírněny, pokud by byl cement částečně nebo zcela nahrazen vhodným mechanicky aktivovaným materiálem na bázi recyklovaného betonu nebo jeho jemných frakcí. Současně s tím je nicméně vždy důležité posoudit i spoluúčinek v případě kombinovaných pojiv, kdy v oblasti směsí recyklace za studena takovými pojivy jsou asfaltová emulze nebo zpěněný asfalt.

Experimentální ověření uvedených variant je první krok k tomu, aby bylo možné zvolit vhodné varianty využívající mechano-chemicky aktivovaný jemně mletý betonový recyklát pro ověření formou zkušebních úseků. Teprve na základě takového ověření bude možné technologii implementovat do běžné praxe silničních staveb.

Metodika a postup řešení

Jak již bylo uvedeno, výzkum byl zaměřen především na směsi recyklované za studena. To představuje dlouhodobý trend sledovaný na Fakultě stavební ČVUT v Praze. Naprostá většina v rámci řešeného tématu posuzovaných variant směsí měla stejný typ tříděného R-materiálu frakce 0/22, který byl odebíraný ze stejného zdroje (obalovna Středokluky). Ačkoliv byl R-materiál odebírán ze stejného zdroje, byla homogenita R-materiálu nízká. To je bohužel v ČR časté, resp. je to obvyklý problém, pokud není prováděno selektivní frézování jednotlivých asfaltových vrstev a následné pečlivé skladování jednotlivých vyfrézovaných materiálů odděleně dle staveb, ze kterých materiál pochází a podle vrstvy, ve které byl použit.

Použitý cement byl klasifikován jako standardní portlandský struskovitý cement třídy CEM II / B 32.5 R podle [6]. Optimální vlhkost směsí recyklovaných za studena byla stanovena podle [9]. Pro výrobu směsí byly použity dva druhy asfaltového pojiva – menší část směsí obsahovala v ČR běžně používanou kationaktivní pomaluštěpnou asfaltovou emulzi C60B8 (dle specifikace v [8]). U většiny recyklovaných směsí byla asfaltová emulze

Tento výsledek byl vytvořen s finanční podporou programu Centra kompetence TA ČR, projekt č.TE01020168

nahrazena zpěněným asfaltem, který byl vyroben s využitím laboratorního zařízení Wirtgen WLB10S z běžného silničního asfaltu 70/100. Při přípravě zpěněného asfaltu bylo do pěny přidáváno 3,8 % vody (množství stanovené v souladu s postupem, který pro technologii recyklace za studena doporučuje Wirtgen Manual [9]).

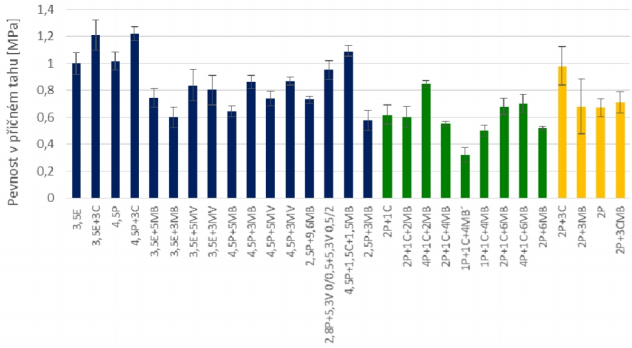
Prováděný výzkum byl zaměřen na aplikaci dvou druhů mechanicky aktivovaných materiálů - mikromletého recyklovaného betonu (MB) a mikromletého vápence či dolomitického vápence (MV). Výsledky s mikromletým vápencem byly získány dříve v rámci jiného projektu a jsou zde uvedeny čistě z důvodu porovnání dat a dvou různých typů jemně mletých recyklátů či vedlejších produktů. Dříve dovezené kusy starého betonu vybourané z CB krytu české páteřní dálnice D1 (úsek 14) byly nadrceny v laboratoři katedry silničních staveb na ČVUT v Praze na frakci 0/32. Takto upravený beton byl následně předrcen v odrazovém drtiči a dezintegrován ve vysokorychlostním mlýnu. Posuzovány přitom byly i účinky různých frakcí, kdy mezní velikostí bylo normové síto 4 mm.

Tab. 1 Přehled posuzovaných variant směsí recyklace za studena využívajících mikromletý betonový recyklát

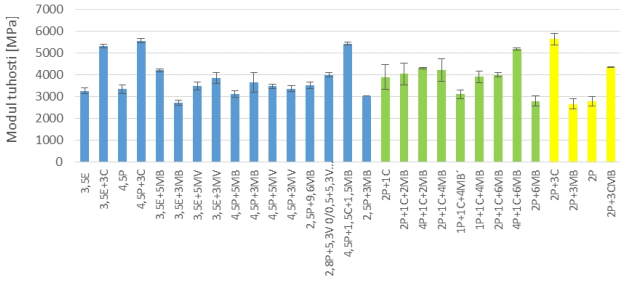
	3,5E+3C	4,5P+3C	3,5E	4,5P	3,5E+ 5MB	3,5E+ 3MB	3,5E+ 5MV	3,5E 3M
R-materiál 0/22	91,5	90,5	94,5	93,4	89,0	91,5	89,0	91,
Voda	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	2,0	2,5	2,(
Asfaltová emulze	3,5	-	3,5	-	3,5	3,5	3,5	3,5
Zpěněný asfalt	-	4,5	-	4,5	-	-	-	-
Cement	3,0	3,0	-	-	-	-	-	-
MB	-	-	-	-	5,0	3,0	-	-
MV	-	-	-	-	-	-	5,0	3,(
	4,5P+ 1,5C+ 1,5MB	4,5P+ 5MB	4,5P+ 3MB	4,5P+ 5MV	4,5P+ 3MV	2,5P+ 9,6MB	2,8P+ 10,6V 0/2	2,5P 3M
R-materiál 0/22	90,5	88,0	90,5	88,0	90,5	-	-	92,5
R-materiál 0/11	-	-	-	-	86,0	81,1	-	-
Voda	2,0	2,5	2,0	2,5	2,0	2,0	5,5	2,0
Zpěněný asfalt	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	2,5	2,8	2,5
MB	1,5	5,0	3,0	-	-	9,6	-	3,0
MV	-	-	-	5,0	3,0	-	-	-
Drcený vápenec 0/2	-	-	-	-	-	-	10,6	-
Cement	1,5	-	-	-	-	-	-	-
	2P+ 1C	2P+1C+ 2MB	4P+1C+ 2MB	2P+1C+ 4MB	1P+1C+ 4MB	2P+1C+ 6MB	4P+1C+ 6MB	2P+ 6MB
R-materiál 0/22	94,0	91,5	89,5	88,5	89,0	85,5	83,5	86,5
Voda	3,0	3,5	3,5	4,5	5,0	5,5	5,5	5,5
Zpěněný asfalt	2,0	2,0	4,0	2,0	1,0	2,0	4,0	2,0
Cement	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-
MB	-	2,0	2,0	4,0	4,0	6,0	6,0	6,0

Výsledky

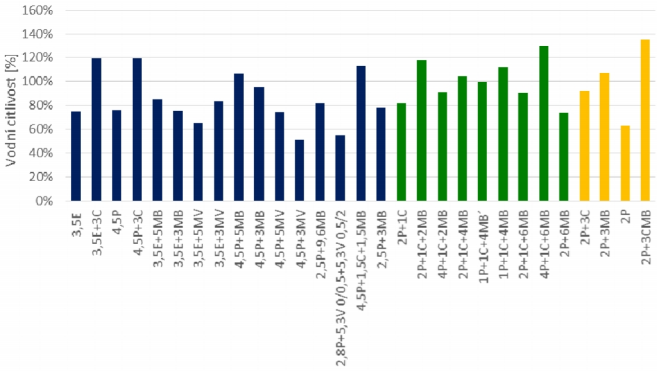
Celkové výsledky pevnosti v příčném tahu, modulu tuhosti a odolnosti proti vodě jsou uvedeny na obrázcích 1 až 3. Směsi jsou rozděleny do tří skupin odlišených barvami, přičemž směsi z jednotlivých skupin byly vždy připraveny ze stejné šarže R-materiálu. V důsledku nestejnorodosti R-materiálu popsané dříve je srovnávání směsí vyrobených z různých šarží R-materiálu diskutabilní. Hodnoty odolnosti proti vodě jsou uvedeny ve srovnání s mezními hodnotami definovanými v [5] - 70% u směsí s asfaltovým a hydraulickým pojivem a 60% u směsí obsahujících pouze asfaltové pojivo. Uvedené množství naměřených dat je značné a je obtížné se v něm zorientovat, proto jsou v následujících podkapitolách demonstrovány některé důležité poznatky pouze na vybraných směsích.



Obr. 1 ITS směsí s mikromletým betonem a mikromletým vápencem



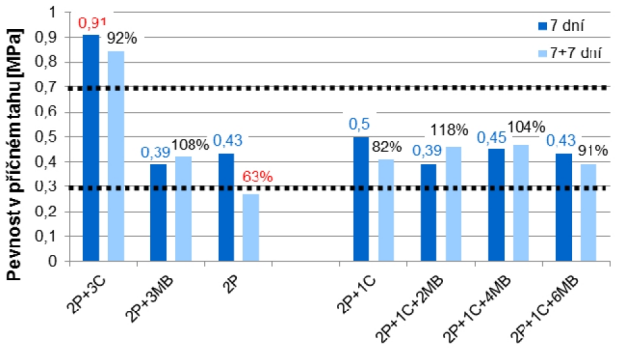
Obr. 2 Modul tuhosti směsí s mikromletým betonem a mikromletým vápencem



Obr. 3 Vodní citlivost směsí s mikromletým betonem a vápencem

Kvalita směsí recyklovaných za studena se v ČR posuzuje podle TP 208 [5], a to ověřením hodnoty pevnosti v příčném tahu (ITS) po 7 dnech a odolnosti proti vodě (ITSR). Ta se spočítá z poměru hodnoty ITS těles zrajících 7 dní na vzduchu a následně ponořených na 7 dní do vody a hodnoty ITS po 7 dnech. Hodnota ITS po 7 dnech se musí pohybovat v rozmezí 0,3 – 0,7 MPa pro směsi s obsahem kombinace asfaltového a hydraulického pojiva a směsi obsahující pouze hydraulické pojivo. Pro směsi recyklované za studena, které obsahují výhradně asfaltové pojivo je předepsána spodní hranice 0,3 MPa a horní hranice není stanovena. Maximální hodnota ITS po 7 dnech zrání je

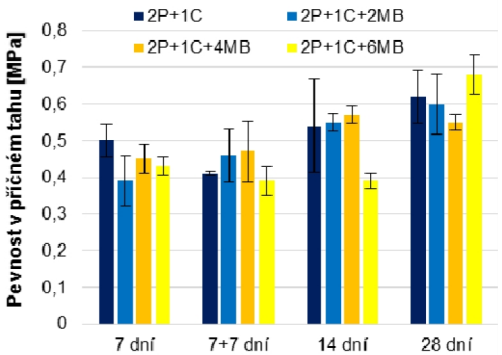
definována kvůli nebezpečí vzniku hydratačních trhlin v důsledku příliš rychlého nárůstu počáteční pevnosti, který hrozí obzvlášť u směsí recyklace za studena s vyšším obsahem hydraulického pojiva. Tyto hranice jsou znázorněny na obrázku 7, který shrnuje výsledné hodnoty ITS a ITSR vybraných směsí.



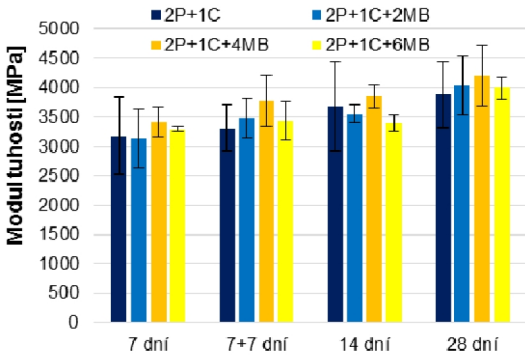
Obr. 4 Hodnoty ITS a ITSR vybraných směsí recyklace za studena s FGRC

Vliv obsahu mikromletého betonu

Sledování vlivu přidávaného mechanicky aktivovaného/mikromletého betonu (MB) na vlastnosti směsi recyklace za studena jsou věnovány obrázky 5 a 6. Ačkoliv není vliv přidávaného MB z grafů vůbec jednoznačný, je možné stanovit, že celkově nejlepších vlastností dosahuje směs 2P+1C+4MB. Na základě této skutečnosti a poznatků shrnutých výše lze tedy usuzovat, že i přes pozitivní vliv přidávaného MB na některé vlastnosti směsi recyklované za studena, má tento pozitivní vliv své limity a přidávání 6 %-hm. MB ve směsi recyklace za studena už nepřináší očekávaný užitek. V souvislosti s výsledky dřívějších měření a experimentálních studií, kdy směs recyklace za studena s 5 %-hm. MB dosahovala opakovaně lepších vlastností než směs se 3 %-hm. MB, lze konstatovat, že optimální množství přidávaného MB je s největší pravděpodobností v intervalu 4-5 %-hm.



Obr. 5 Pevnost v příčném tahu vybraných testovaných směsí



Obr. 6 Modul tuhosti vybraných testovaných směsí

Závěr

Komplexní výsledky přinesly poznatek k další praktické využitelnosti mikromletého betonového recyklátu u směsí recyklace za studena. Ukazuje se přitom, že vyšší potenciál – pravděpodobně i díky specifické reaktivitě mikromletého betonového recyklátu – se nabízí v případě kombinace se zpěněným asfaltem. Současně se jako efektivní jeví zachování vždy určitého poměru cementu ve směsi recyklace za studena. Toto je prakticky řešitelné způsobem, kdy stavba bude zásobována směsným pojivem, které ve zvoleném poměru cementu ku mikromletý betonový recyklát bude připraveno předem a dávkovačem sypkých pojiv či filerů bude rozprostřeno před recyklérem již pouze v jednom technologickém kroku. Cílem pro další řešení je ověřit na vhodně zvolené variantě (případně 2-3 variantách) využití daného technického řešení v praxi s realizací konkrétního úseku recyklace za studena na místě (pravděpodobně silnice III. případně II. třídy).

Tento výsledek byl vytvořen s finanční podporou programu Centra kompetence TA ČR, projekt č.TE01020168

Literatura

[1] Čížková, Z., Valentin, J., 2016. Substitution of Cement by Micro-Milled Recycled Concrete in Cold Recycled Asphalt Mixes. Konference TOP 2016, ISBN 978-80-227-4568-0

[2] Suda, J., Čížková, Z., Topič, J., Valentin, J., Tesárek, P., 2016. Potentials for Using Pulverized (Micro-Milled) Mineral Waste Materials as Stabilizing Agents or Fillers in Cold Recycled Mixes. Konference Geo-China 2016 Conference, ISSN 0895-0563, ISBN 978-0-7844-8005-2, Scopus 2-s2.0-84983044039

[3] Faltus, M., 2009. Nové typy hydraulických pojiv na bázi odpadních materialů, Ecology and new building materials and products, Praha, ISBN 978-80-254-4447-4

[4] Valentin, J., Čížková, Z., Suda, J., Mollenhauer, K., Engels, M., 2014. Introduction to European COREPASOL Project on Harmonizing Cold Recycling Pavement Techniques. In Transportation Research Arena 2014. Marne-la-Vallée: Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR), vol. TS56, art. no. 19135, p. 1-10

[5] TP 208: Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena, 2009. Technické podmínky, Ministerstvo dopravy ČR

[6] ČSN EN 197-1 ed. 2: Cement - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití, 2012.

[7] ČSN EN 13286-2: Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 2: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti - Proctorova zkouška, 2011.

[8] ČSN EN 13808: Asfalty a asfaltová pojiva - Systém specifikace kationaktivních asfaltových emulzí, 2006.

[9] Wirtgen GmbH, Wirtgen Cold Recycling Manual, 2010. 3. vydání, ISBN 3-936215-05-7, Windhagen, Německo.

Tento výsledek byl vytvořen s finanční podporou programu Centra kompetence TA ČR, projekt č.TE01020168