



OV ENÍ VYUŽITELNOSTI AKTIVOVANÝCH FLUIDNÍCH POPÍLK VE SM SI RECYKLACE ZA STUDENA – ZKUŠEBNÍ ÚSEK

Zpracovali: Ing. Jan Valentin, Ph.D., Ing. Petr Mondschein, Ph.D., Ing. Zuzana Šípková, Ph.D. (Fakulta stavební VUT v Praze)

Souhrn

V rámci p edešlé n kolikaleté aktivity byly opakovan experimentáln posuzovány varianty fluidních popílk , upravených fluidních popílk a mechano-chemicky aktivovaných fluidních popílk z hlediska jejich aplikace ve sm sích recyklace za studena, v stmelených sm sích typu KSC nebo p i zlepšování zemin pro zemní t lesu silni ní stavby i do podkladních vrstev konstrukcí vozovek. Na základ této d ív jší aktivity byly vybrány vhodné varianty pro praktické in-situ ov ení.

Ve spolupráci se St edo eským krajem a za významné podpory Státního fondu dopravní infrastruktury byl v roce 2017 navržen a následn i realizován zkušební úsek v délce necelého kilometru se t emi variantami sm sí recyklace za studena. Návrh jednotlivých variant byl proveden v rámci experimentálních aktivit FSv VUT v Praze stejn jako následné kontrolní zkoušky z vlastní realizace. Pozornost byla v nována charakteristikám požadovaným technickými podmínkami TP 208. Dále se provedla vizuální kontrola b hem vlastní realizace a ve spolupráci se zhotovitelem stavby se uskute nily statické zat žovací zkoušky.

Oblast použití

Obecn existuje nutnost, kdy stmelené sm si resp. jakékoliv výrobky použité v silni ním stavitelství a vyrobené z recyklovatelných materiál musí prokázat shodné vlastnosti jako nov vyráb né výrobky/sm si. Realizované technologie tak musí splnit shodná kvalitativní kritéria a kvalita ov ovaných sm sí bude odpovídat b žn používaným materiál m. Nedojde ke zhoršení kvality i pes op tovné použití materiál . Technologii recyklace za studena na míst je možné porovnat s technologií hydraulicky stmelého kameniva s pevnostními charakteristikami SC C_{3/4}. Použitím technologie recyklace za studena na míst dochází k úspo e kameniva, p i použití alternativních pojiv dochází k úspo e cementu, jehož výroba je energeticky náro ná. P i teoretické délce komunikace 1 000 m, ší ky 7 m a tlouš ky

recyklované konstruk ní vrstvy 0,2 m lze potenciáln docílit úsporu 3 500 t kameniva a p i celkové substituci cementu se jeho úspora rovná p ibližn 140 t.

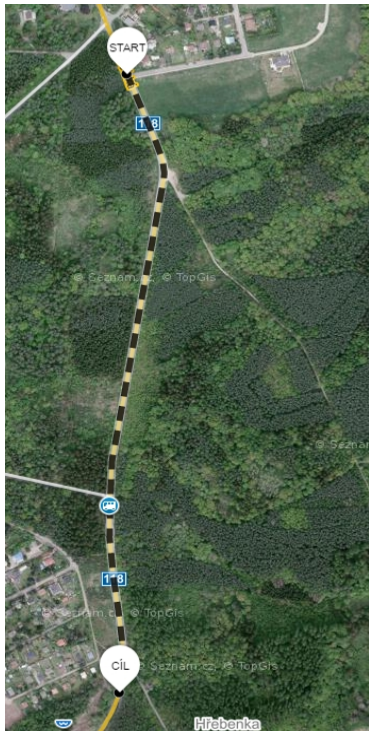
Ekonomická efektivita recykla ních technologií vychází z obecného principu znovu použití materiál . Konstrukce vozovky je z 95 % tvo ena neobnovitelným zrnitým materiálem, zbytek tvo í pojiva, která za azujeme též mezi neobnovitelné zdroje. Zhotovitel snižuje své náklady možností znovupoužití kameniva a pojiva v nových konstruk ních vrstvách. Technologie navrhovaná pro podkladní vrstvu minimalizuje také p epravu materiál , šet í dopravní náklady, snižuje emise, snižuje zat ížení p ístupových komunikací t žkou nákladní dopravou.

P i využití n kterého z typ VEP se navíc uplat ují potenciály t chto vedlejších produkt . Vedle zna né dostupnosti t chto materiál se jedná zejména o jejich hydraulickou aktivitu (reaktivitu), kterou lze vhodnými procesy dále zvýšit a sou asn s tím i eliminovat p ípadná rizika objemových zm n, které jsou s použitím popílk velmi ásto spojované.

Metodika a postup ešení

Realizace nové technologie byla provedena na silnici II/118 o délce 960 m v úseku Nouzov – H ebenka ve St edo eském kraji. Tato pozemní komunikace byla zat ížena v roce 2010 celkem 313 p ejetdy TNV za 24 hodin v obou sm rech (s ítačí úsek 1-3699, Celostátní s ítání dopravy 2010), intenzita dopravy v úseku byla 3 212 vozidel za den. Jedná se o extravilánovou komunikaci. Tato pozemní komunikace p ed rekonstrukcí byla poškozena celou adou trhlin, výtluky, ztrátou hmoty z krytu vozovky a lokálními poklesy, v etn poruchami krajnic – diagnostický pr zkum provedlo odborné pracovišt FSv VUT v Praze. Návrh opravy p edpokládal vým nu krytových vrstev a provedení opravy technologií znovuzpracování materiálu na míst se zvýšením únosnosti podkladní konstruk ní vrstvy. Navrhovaná technologie opravy byla identifikována jako vhodná pro ov ení

technologického řešení s aktivovaným fluidním popílkem, kde byl nakonec oproti p vodnímu zám ru využít fluidní popílek z lokality Kladno aplikováno lépe experimentálně ov éné aktivované pojivo na bázi fluidního popílku DASTIT.



Obr. 1 Vymezení zkušebního úseku s aplikací aktivovaného fluidního popílku

Celková délka zkušebního úseku je 960 m. Zkušební úsek byl rozd len na 3 ásti o délkách 330 m, 310 m a 320 m. Pro provedení pokládky ve standardní kvalit a homogenit , tak aby mohla být sledována kvalita a chování nové technologie, je zvolená délka i s ohledem k dalšímu monitoringu dosta ující.

Navrhované inovativní řešení resp. nová technologie srovnává klasické hydraulické pojivo (cement) v technologii recyklace za studena se dvěma alternativami, kdy byl cement áste n nahrazen pojivem na bázi mechano-chemicky aktivovaným fluidním popílkem (MCHAFF) a kdy byl cement nahrazen kombinací pojiva na bázi mechano-chemicky aktivovaného fluidního popílku s asfaltovou p nou. V podkladní vrstv jsou realizovány t i sekce, které se vzájemn liší typem použitého pojiva: (1) 4 % cement; (2) 1 % cement + 4 % MCHAFF; (3) 2 % asfaltová p na 70/100 + 3 % MCHAFF. Navržené dávkování bylo ov éné pr kazní zkouškou a dle pot eby bylo na stavb b hem realizace mírn korigováno se zm nou do 1% dávkování pojiv.

Fluidní popílek má více i mén výrazné pucolánové vlastnosti, a proto je možné dále využít potenciál tohoto druhotného produktu ve vývoji a produkci stavebních pojiv a zv tšit tak surovinovou základnu

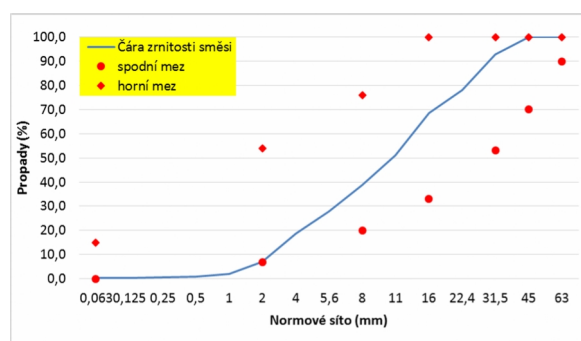
pro stavební výrobu. K získání um lého pojiva je vhodné využít v rámci zkušebního úseku ov ovanou fyzikální aktivaci vedlejšího produktu s obsahem $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ v tší než 50 % hmotnosti popílku. Vedlejší produkt se rozemele na velikost maximálního zrna 100 μm ve vysokorychlostním mlýnu s použitím soustavy n kolika rotor pohybujících se v opa ném sm ru p i obvodové rychlosti v tší než 160 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Takto rozemletý materiál je sám o sob reaktivní a není nutné p idávat další p ísady k povzbuzení hydrata ních proces . Výhodou fyzikální aktivace je, že m že podstatn snížit úspory ve form snížené energie spot ebované p i výrob pojiv.

Výsledky

V rámci p ípravy zkušebního úseku byl nejprve proveden podrobný diagnostický pr zkum stavu pozemní komunikace. V rámci tohoto pr zkumu byl analyzován materiál ur ený pozd ji pro technologii recyklace za studena. Materiál byl kvalifikovaný jako sm ný recyklát RS 0/63 mm. Z tohoto materiálu byla odd lena frakce 0/32 mm, pro níž byla stanovena optimální vlhkost na základ modifikované zkoušky Proctor Standard. Sou asn s tím byla zrnitost této zúžené p vodní frakce posouzena z hlediska mezí požadovaných technickými podmínkami TP 208.

Tab. 1 Výsledky modifikované zkoušky Proctor Standard

Podíl vody	m_1 (g)	Prázdná váženka (g)	Váženka plus odebraný vzorek (g)	Váženka plus vysušený vzorek (g)	w (%)	Objemová hm. vlhké zeminy ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
150	14624,3	582,5	4018,5	3926	2,8	2080,2
350	14737,2	582,6	1843	1760	7,0	2133,5
300	14904,5	442,1	1315,6	1262	6,5	2212,4
200	14955	580,1	3012,3	2912	4,3	2236,2
Maximální objemová hmotnost suché sm si (RS 0/32) v $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$						2 165
Vlhkost w v %						5,2



Obr. 2 Čára zrnitosti sm si použité pro recyklaci za studena

Následn byl proveden návrh t í variant sm si recyklace za studena, p i emž v jednom p ípad se variantn použil vedle pojiva na bázi aktivovaného fluidního popílku DASTIT i variantní pojivo umleté s popílkem z elektrárny Kladno. Na jednotlivých variantách sm sí byly provedeny zkoušky v souladu s TP 208.

Tab. 2 P ehled navrhovaných variant sm sí recyklace za studena

SLOŽKA	VAR I	VAR IIa	VAR IIb	VAR III
Cement (CEM II 32,5 R)	4,00	1,00	1,00	0,00
Zp n ný asfalt (70/100)	0,00	0,00	0,00	2,00
Mechano-chemický aktiv. popílek (DASTIT [®])	0,00	0,00	4,00	3,00
Mechano-chemický aktiv. popílek (ALPIQ)	0,00	4,00	0,00	0,00
Sm ný asfaltový recyklát p vodní vozovky	91,00	89,00	88,00	91,50
Voda	5,00	6,00	7,00	3,50

Tab. 3 Charakteristiky navrhovaných variant sm sí recyklace za studena z hlediska zkoušky typu

Vlastnost	VAR I	VAR IIa	Požadavek pro ITT zkoušku
Min. pevnost v p í ném tahu R_{it} po 7 dnech v MPa	0,48	0,34	0,30 – 0,70 MPa
Pevnost v p í ném tahu R_{it} (7 dní na vzduchu + 7 ve vod) v MPa	0,50	0,26	---
Odolnost proti vod v %	103,5 %	76,0 %	min. 75 %
Vlastnost	VAR IIb	VAR III	Požadavek pro ITT zkoušku
Min. pevnost v p í ném tahu R_{it} po 7 dnech v MPa	0,54	0,32	0,30 – 0,70 MPa
Pevnost v p í ném tahu R_{it} (7 dní na vzduchu + 7 ve vod) v MPa	0,54	0,24	---
Odolnost proti vod v %	100,4 %	74,0 %	min. 75 %

Z návrh sm sí recyklace za studena je patrné, že varianty spl ují požadavek na pevnost v p í ném tahu po sedmidenním zrání. V p ípad varianty kombinující pouze zm n ný asfalt a pojivo na bázi aktivovaného fluidního popílku nebyla zcela spln na mezní hodnota pro odolnost proti ú ink m vody. V rámci realizace zkušební úseku byly provedeny kontrolní odb ry navržených a zejména v rámci in-situ technologie provedených sm sí U t chto kontrolních odb r byly v souladu s TP 208 provedeny kontrolní zkoušky, které jsou shrnuté v tabulce 4. Z výsledk je patrné, že varianta kombinující aktivovaný fluidní popílek se zp n ným asfaltem a stabiliza ním množstvím cementu dosahuje velmi dobrých hodnot, p i emž z hlediska vodní citlivosti sm s nevykazuje žádné problémy. Naopak je patrné, že p ítomnost vody byla spot ebována pro hydrataci hydraulických pojiv. Referen ní varianta sm sí recyklace za studena (varianta I) vykazuje tradi n velmi vysoké hodnoty pevností, které mohou vést k výskytu n kterých rizikových jev jako je vznik smrš ovacích trhlin. Z tohoto hlediska je zjevné, že množství cementu v této variant je zbyte n vysoké.

Tab. 4 Výsledky kontrolních zkoušek sm sí recyklace za studena

Vlastnost	VAR I	VAR IIb	VAR III	Požadavek pro kontrolní zkoušku
Min. pevnost v p í ném tahu R_{it} po 7 dnech v MPa	1,00	0,39	0,25	0,25 MPa
Pevnost v p í ném tahu R_{it} (7 dní na vzduchu + 7 ve vod) v MPa	1,25	0,42	0,18	---
Odolnost proti vod v %	125,7 %	108,8 %	74,0 %	min. 75 %



Obr. 1-3 Provedené nové podkladní vrstvy recyklací za studena s aplikací aktivovaného fluidního popílku

Záv r

Dosažené výsledky potvrdily možnost díl í substituce standardního cementu alternativním pojivem na bázi aktivovaného fluidního popílku. Ukazuje se p ítom, že prostá substituce, a to i formou kombinovaného hydraulického a asfaltového pojiva, možná není. Je nezbytné bu aktivované popílkové pojivo obohatit o ur ité množství cementu, nebo je dávkovat ve v tším množství. Druhá varianta nicmén naráží na limity p í vlastním provád ní, kdy s ohledem k objemové hmotnosti popílku je nezbytné nadávkovat pom rn silnou vrstvu, kde následn hrozí její roznesení v trem (tato zkušenost se získala i b hem vlastní realizace). Navíc díky menší objemové hmotnosti rozprostírá hydraulického pojiva na jedno naložení dokáže pojivo rozprost ít na menší ploše, což m že též negativn ovlivnit ekonomickou výhodnost používání alternativních pojiv na bázi aktivovaných fluidních popílk .