

Teplárenská struska a její využití jako náhrada drobného kameniva

Ing. Ivana Chromková ¹, Ing. René Čechmánek ¹, Lubomír Zavřel ¹

Ing. Jindřich Sedlák ², Ing. Michal Ševčík ²

¹ Výzkumný ústav stavebních hmot, a.s., ² Prefa Brno a.s.

e-mail: chromkova@vustah.cz, cechmanek@vustah.cz, zavrel@vustah.cz,
sedlak@prefa.cz, sevcikm@prefa.cz

Souhrn

Teplárenská struska je materiál ze skupiny vedlejších energetických produktů (VEP), který má potenciál využitelnosti při výrobě stavebních hmot. Nejvhodnější je využití tohoto materiálu jako částečná náhrada kameniva frakce 0-4 při výrobě betonu. Cílem výrobce betonového prefabrikovaného zboží je využít teplárenskou strusku (uloženou na haldě v blízkosti výrobního závodu) do několika typů výrobků z jeho běžného výrobního sortimentu. Příspěvek obsahuje shrnutí dílčích výsledků testování uskutečněných při řešení výzkumného projektu v roce 2017. Příspěvek tak navazuje na článek "Využití teplárenské strusky pro výrobu betonového zboží" uveřejněný ve sborníku konference Odpadové fórum 2017.

Klíčová slova: teplárenská struska, škvára, zbytek po spalování uhlí, odpad, kamenivo

Shrnutí vstupních informací

Cílem projektu je najít optimální uplatnění odpadní teplárenské strusky, která vznikla jako vedlejší energetický produkt v tepelné elektrárně Oslavany. Po celou dobu fungování elektrárny (1913-1993) byla teplárenská struska ukládána na haldu. V současné době je halda majetkem firmy Prefa Brno a.s., která vyvíjí snahu o ověření technologické vhodnosti strusky a zavedení jejího materiálového využití do receptur svého výrobního sortimentu. Použití teplárenské strusky jako kameniva při výrobě různých typů betonových výrobků by mohlo přinést dvě zásadní výhody:

- ✓ částečnou náhradu přírodního kameniva, které by se tak nemuselo odtěžit a nadále by zůstalo uchováno jako přírodní zdroj,
- ✓ současně by tímto způsobem došlo k postupné likvidaci staré ekologické zátěže.

V loňském roce byla na 10 vzorcích teplárenské strusky, odebraných z různých míst i různé hloubky haldy, provedena řada analýz a testů za účelem chemického, technologického i ekologického posouzení vhodnosti pro její plánované využití. Z výsledků těchto testů vyplynulo, že se jedná o materiál, který svými chemickými i ekologickými parametry splňuje všechny požadavky a je vhodný pro použití jako kamenivo do betonu. Z technologického hlediska lze teplárenskou strusku hodnotit jako velmi jemný materiál. Což je patrné i z Obr. 1. U většiny odebraných vzorků z haldy Oslavany se jedná o materiál obsahující zrna od 0 - 10 mm. Množství zrn zachycených na sítu s okem 8 mm se pohybuje okolo 3 % hmotnostních (u jednoho vzorku 11 % hm.). Proto bude nutné strusku před jejím použitím do betonu upravovat – tj. oddělit jemné podíly, které by mohly značnou měrou nepříznivě ovlivňovat kvalitu betonu.

Dále je nutno pro využití teplárenské strusky počítat s vyšší nasákavostí tohoto materiálu. U přírodního drobného kameniva je nasákavost téměř nulová. Teplárenská struska odebraná z různých míst haldy vykazovala hodnotu nasákavosti v rozmezí 10,75 až 13,61 %. Nasákavost kameniva a její výše je ukazatelem dvou důležitých skutečností, a to vyšší spotřeby záměsové vody pro přípravu betonu a následně také predikuje vyšší nasákavost výsledného betonu ve srovnání s betonem obsahujícím pouze přírodní kamenivo.



Obr. 1: Teplárenská struska

V současné době je teplárenská struska přidávána do betonové směsi pro výrobu ztraceného bednění. Toto množství činí max. 30 % z hmotnosti suché směsi. Přítomnost strusky v receptuře byla ověřována v rámci již dříve řešeného projektu. Mnoha technologickými zkouškami bylo potvrzeno, že struska (v této dávce) neovlivňuje nežádoucím způsobem výsledné vlastnosti tohoto typu betonového výrobku.

V současné době spolupracuje Výzkumný ústav stavebních hmot, a.s. (VUSTAH) s firmou Prefa Brno a.s. na projektu, jehož výstupem je ověření vhodnosti teplárenské strusky pro použití při výrobě betonového zboží, a to:

- ŽB překladů
- ŽB plotových desek a plotových systémů
- jádrového betonu pro dlažební desky

Ověřování vhodného dávkování teplárenské strusky do receptur vybraných výrobků

Receptury betonových směsí pro laboratorní i poloprovozní ověření využitelnosti teplárenské strusky jako náhrady drobného kameniva byly navrženy s ohledem na technické požadavky kladené na výsledný výrobek. Proto byly u jednotlivých typů betonových směsí navrženy rozdílné dávky náhrady jemného kameniva teplárenskou struskou.

Zavlhle betony

Za účelem ověření maximálního možného množství teplárenské strusky použitelného do zavlhklých betonů byla modifikována receptura pro výrobu betonových překladů. Navrženo bylo dávkování 5, 10, 20 a 35 % teplárenské strusky, která v receptuře nahradila písek (kamenivo frakce 0-4 mm).

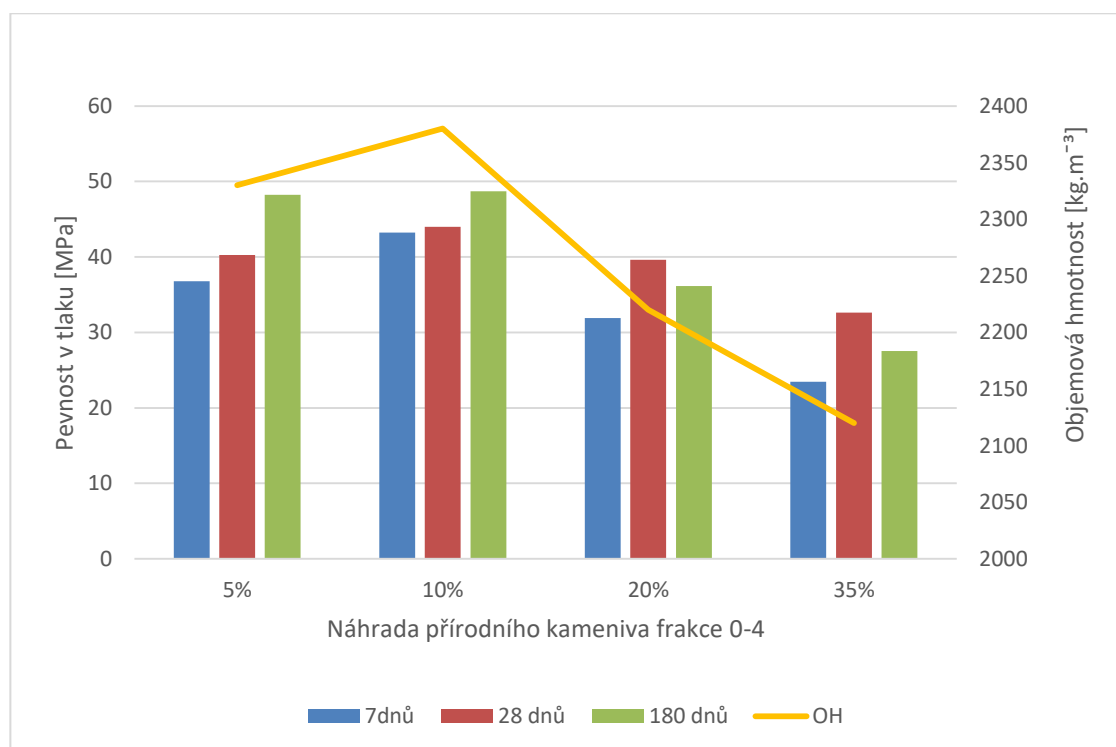
Při přípravě betonových směsí bylo zachováno nízké dávkování vody (dle navržených receptur). S výší náhrady přírodního kameniva v ověřované receptuře byla patrná vyšší nasákavost teplárenské strusky, což bylo patrné vizuálně mírou suchosti připravené betonové směsi. Použitý plastifikátor však napomáhal dobré zpracovatelnosti směsi.

Z navržených receptur byla vyrobena zkušební tělesa o rozměrech 100×100×100 mm a na nich byla stanovena pevnost v tlaku v různých dobách zrání, dále byla stanovena objemová hmotnost, vlhkost a nasákavost na vzorcích ve stáří 28 dnů zrání. Výsledky zkoušek jsou uvedeny v Tabulce č. 1.

Tabulka 1: Základní fyzikálně-mechanické vlastnosti betonů pro výrobu překladů

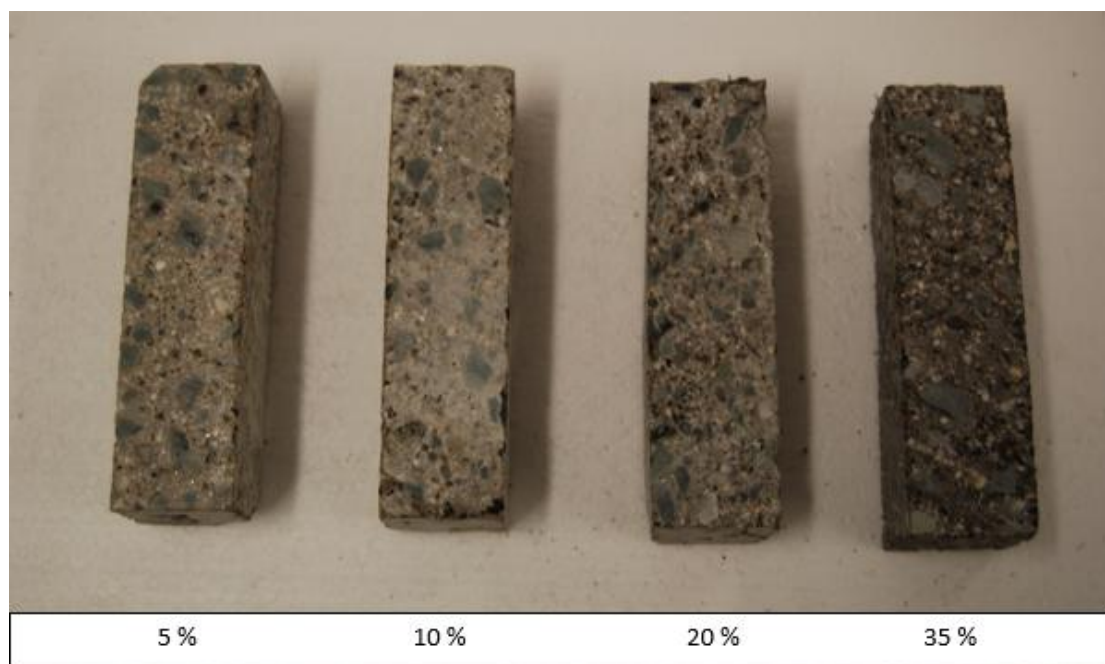
| | | Receptura | | | |
|---|---------|---------------------------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | | Náhrada drobného kameniva | | | |
| | | 5 % | 10 % | 20 % | 35 % |
| Pevnost v tlaku [MPa] | 7 dnů | 36,79 | 43,22 | 31,90 | 23,48 |
| | 28 dnů | 40,27 | 44,00 | 39,61 | 32,62 |
| | 180 dnů | 48,24 | 48,69 | 36,14 | 27,55 |
| Objemová hmotnost [kg·m ⁻³] | 28 dnů | 2330 | 2380 | 2220 | 2120 |
| Vlhkost [%] | 28 dnů | 3,08 | 2,82 | 3,40 | 3,19 |
| Nasákavost [%] | 28 dnů | 4,70 | 4,24 | 6,20 | 6,52 |

Pro názornost je vývoj pevností v tlaku a objemové hmotnosti v závislosti na výši náhrady přírodního drobného kameniva frakce 0-4 mm teplárenskou struskou zpracován v následujícím grafu (Obr. 2).



Obr. 2: Vývoj pevností a objemové hmotnosti betonu v závislosti na obsahu strusky

Z naměřených hodnot fyzikálně-mechanických vlastností betonů s obsahem teplárenské strusky (viz Tabulka 1 i Obr. 2) je patrné, že výše náhrady přírodního drobného kameniva teplárenskou struskou má vliv na výsledné vlastnosti betonu. Obrázek č. 3 dokládá, jak se projeví zvyšující se obsah teplárenské strusky na zbarvení a struktuře betonu.



Obr. 3: Porovnání vzhledu vzorků zavhlého betonu v závislosti na obsahu strusky

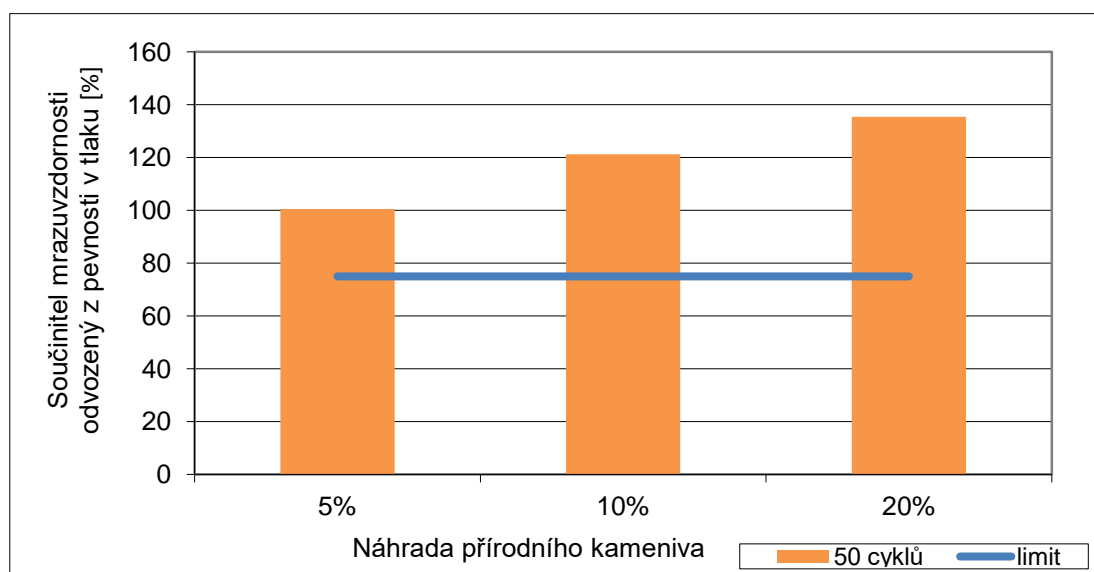
Dále byly provedeny doplňkové zkoušky na zkušebních tělesech – trámcích o rozměrech 100×100×400 mm. Jednalo se o zkoušky pevnosti v tahu za ohybu, hranolné pevnosti v tlaku a následně byly stanovovány moduly pružnosti. Výsledky těchto zkoušek jsou uvedeny v Tabulce č. 2.

Tabulka 2: Vliv náhrady drobného kameniva tep. struskou na moduly pružnosti betonu

| | Receptura | | | |
|--|---------------------------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | Náhrada drobného kameniva | | | |
| | 5 % | 10 % | 20 % | 35 % |
| Pevnost v tahu ohybem [MPa] | 5,27 | 4,73 | 4,57 | 3,61 |
| Pevnost v tlaku hranolná [MPa] | 38,34 | 27,89 | 25,08 | 17,81 |
| Statický modul pružnosti v tlaku E_c [GPa] | 36,3 | 28,2 | 30,4 | 19,9 |
| Modul pružnosti v tahu ohybem E [GPa] | 34,0 | 34,1 | 30,9 | 21,0 |
| Modul přetvárnosti v tahu ohybem E_0 [GPa] | 32,3 | 30,9 | 29,9 | 15,1 |

Ve výrobním závodě Prefa Oslavany byly z ověřovaných receptur (s náhradou písku 5, 10 a 20 % teplárenskou struskou) vyrobeny překlady. Z nich byla nařezána zkušební tělesa o rozměrech cca 200×140×140 mm. Na těchto tělesech byla provedena zkouška mrazuvzdornosti na 50 cyklů zmrazování a rozmrazování. Z výsledků zkoušky pevností v tlaku zjištěných na výřezech z překladů po provedení zkoušky mrazuvzdornosti a výsledků pevností v tlaku stanovených na srovnávacích vzorcích,

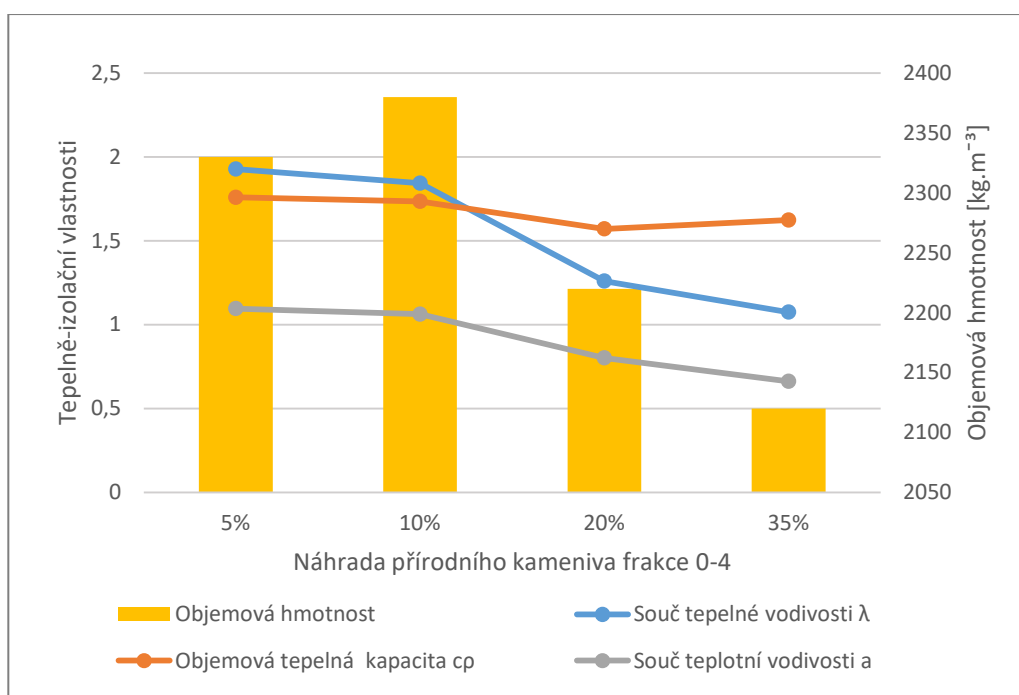
tj. výřezech z překladů, uložených ve vodní lázni o teplotě $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$, byl vypočten součinitel mrazuvzdornosti jednotlivých receptur. Výsledky jsou uvedeny v následujícím grafu (Obr. 4).



Obr. 4: Součinitel mrazuvzdornosti odvozený z pevností v tlaku

Z tohoto grafu je patrné, že náhrada drobného kameniva v betonech určených pro výrobu překladů je vhodná, a to až do výše 20 % hmotnostních. Ve hmotě pro výrobu betonových překladů se náhrada kameniva teplárenskou struskou projevila pozitivně. S vyšší náhradou rostla i hodnota součinitele mrazuvzdornosti. Stejný trend vykazovaly i zkušební vzorky vyrobené v laboratořích VUSTAH, kdy byl zjištěn zvyšující se součinitel mrazuvzdornosti po 50 i 100 cyklech zmrazování a rozmrazování až do výše 35% náhrady drobného kameniva teplárenskou struskou.

Ve VUSTAH byly provedeny na vyzrálých betonech i další zkoušky. Zajímavé výsledky byly zjištěny při stanovení tepelně-izolačních vlastností. Ty jsou uvedeny v následujícím grafu.



Obr. 5: Závislost tepelně-izolačních vlastností na objemové hmotnosti

Z grafu (Obr. 5) je zřetelná závislost výše přídatku teplárenské strusky do hmoty betonu a výsledné objemové hmotnosti materiálu. S výší přídatku strusky ve hmotě betonu také souvisí pokles naměřených hodnot součinitele tepelné i teplotní vodivosti – což znamená, že se přidávkem teplárenské strusky do hmoty betonu zlepšují tepelně-izolační vlastnosti daného betonu. Tento efekt by se mohl s úspěchem využít právě při výrobě ŽB překladů a mohl přispět ke snížení tepelných mostů ve stavební konstrukci.

Lité betony

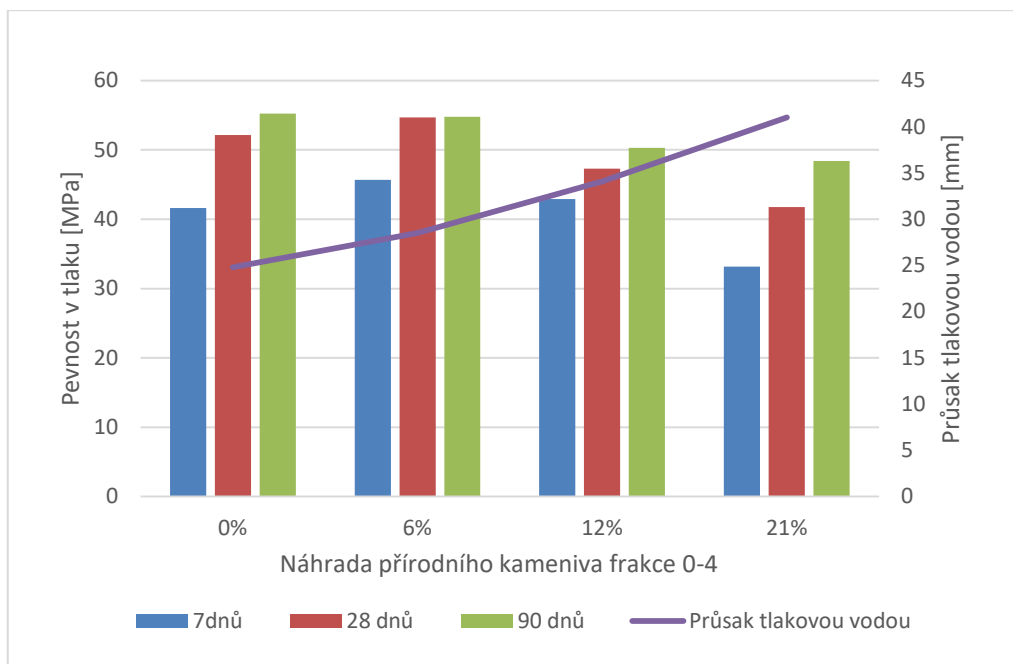
Ověřována byla náhrada jemného kameniva teplárenskou struskou ve výši 6, 12 a 21 %. Pro možnost porovnání všech zjišťovaných vlastností byla připravena také standardní receptura bez obsahu teplárenské strusky.

Z betonových směsí byla vyrobena zkušební tělesa – zkušební krychle o rozměru 100×100×100 mm pro stanovení pevností v tlaku po 7, 28 a po 90 dnech zrání. Dále byla na zkušebních krychlích o rozměrech 150×150×150 mm zjišťována vodotěsnost betonu a pevnost v příčném tahu. Výsledky zkoušek litých betonů s obsahem teplárenské strusky jsou uvedeny v tabulce č. 3 a na Obr. 4 graficky znázorněn průběh pevností v tlaku.

Tabulka 3: Vybrané fyzikálně-mechanické vlastnosti litých betonů s obsahem strusky

| | | Receptura | | | |
|---|--------|---------------------------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | | Náhrada drobného kameniva | | | |
| | | 0 % | 6 % | 12 % | 21 % |
| Pevnost v příčném tahu [MPa] | 28 dnů | 3,19 | 3,03 | 2,67 | 2,40 |
| | 7 dnů | 41,64 | 45,70 | 42,89 | 33,16 |
| Pevnost v tlaku [MPa] | 28 dnů | 52,13 | 54,68 | 47,30 | 41,74 |
| | 90 dnů | 55,24 | 54,77 | 50,31 | 48,42 |
| Objemová hmotnost [kg·m ⁻³] | 28 dnů | 2359 | 2366 | 2319 | 2227 |
| Vlhkost [%] | 28 dnů | 3,85 | 3,90 | 3,63 | 3,95 |
| Nasákavost [%] | 28 dnů | 5,62 | 5,44 | 6,06 | 7,13 |
| Průsak tlakovou vodou [mm] | 28 dnů | 24,8 | 28,5 | 34,1 | 41,0 |

Poznámka: Hodnota průsaku tlakovou vodou jednotlivých receptur stanovená na zkušebních tělesech vyrobených v laboratořích je vyšší, než byly hodnoty průsaku zjištěné na tělesech vyrobených ze záměsí zkušebních receptur připravených přímo ve výrobním závodě Prefa Oslavany, přesto splňují laboratorně vyrobené lité betony požadavky na plotové systémy deklarované výrobcem (tj. hodnota průsaku nesmí překročit 50 mm).



Obr. 6: Vývoj pevnosti litých betonů s obsahem tep. strusky ve vztahu k průsaku vodou

Jádrové betony pro výrobu zámkové dlažby

V tomto směru výzkumu byla ověřována zkušební receptura, která obsahovala teplárenskou strusku v množství cca 6, 12 a 21 % jako náhradu jemného kameniva. Pro porovnání byly vyrobeny i zkušební vzorky standardní receptury, tj. bez náhrady jemného kameniva (písku frakce 0-4) teplárenskou struskou.

Na zkušebních tělesech o rozměru 100×100×100 mm vyrobených v laboratořích VUSTAH byla provedena stanovení pevností v tlaku po 7, 28 a po 90 dnech zrání, stanovena objemová hmotnost, vlhkost a nasákavost betonu. Výsledky těchto zkoušek jsou uvedeny v tabulce č. 4.

Tabulka 4: Vybrané vlastnosti jádrových betonů pro výrobu zámkové dlažby

| | | Receptura | | | |
|---|--------|---------------------------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | | Náhrada drobného kameniva | | | |
| | | 0 % | 6 % | 12 % | 21 % |
| Pevnost v tlaku [MPa] | 7 dnů | 17,31 | 18,82 | 20,20 | 16,60 |
| | 28 dnů | 19,93 | 25,97 | 23,01 | 22,04 |
| | 90 dnů | 19,49 | 25,29 | 22,11 | 20,98 |
| Objemová hmotnost [kg·m ⁻³] | 28 dnů | 2130 | 2153 | 2106 | 2077 |
| Nasákavost [%] | 28 dnů | 7,30 | 7,59 | 7,98 | 8,29 |
| Vlhkost [%] | 28 dnů | 1,69 | 2,05 | 2,61 | 3,09 |

Následně byly navrženy receptury betonových směsí pro jádrovou vrstvu zámkové dlažby testovány přímo ve výrobním závodě Prefa Oslavany. Testována byla výroba dlažby typu GRA 20/10/8 a GRA 20/10/6 na vibrolisu TECHMATIK. Výsledky základních fyzikálně-mechanických vlastností výrobků jsou uvedeny v tabulce č. 5.

Tabulka 5: Základní fyzikálně-mechanické vlastnosti vibrolisované dlažby GRA 20/10/6

| | | Receptura | | | |
|---|--------|---------------------------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | | Náhrada drobného kameniva | | | |
| | | 0 % | 6 % | 12 % | 21 % |
| Pevnost v příčném tahu [MPa] | 7 dnů | 3,38 | 3,97 | 3,57 | 3,60 |
| | 28 dnů | 5,42 | 5,02 | 5,27 | 4,23 |
| Objemová hmotnost [kg·m ⁻³] | 28 dnů | 2278 | 2288 | 2290 | 2193 |

Závěr

Z dosavadního průběhu řešení projektu vyplývá, že použití teplotě odolné strusky z haldy Oslavany do vybraného sortimentu betonového zboží je vhodné. Dokonce ověřované typy betonu s obsahem teplotě odolné strusky vykazovaly (při určitých procentuálních zastoupeních strusky) lepší fyzikálně-mechanické vlastnosti než beton standardní.

V případě receptur pro výrobu překladů se jeví jako nejlepší receptura 2 s náhradou písku 10 %, resp. náhrada písku teplotě odolnou struskou v rozmezí 10 až 20 %. Optimální náhrada jemného kameniva struskou bude dále předmětem ověřování. Z hlediska vybraných vlastností (např. tepelně-izolačních vlastností) bude vhodné dále sledovat receptury i s vyšším obsahem teplotě odolné strusky.

U litých betonů byly zaznamenány nejpříznivější vlastnosti u receptury 2 s náhradou písku 6 %. V rámci optimalizace bude vhodné se dále zaměřit na nastavení receptury v rozmezí 6 až 12% náhrady jemného kameniva teplotě odolnou struskou.

Laboratorně ověřované receptury jádrových betonů pro výrobu zámkové dlažby vykazovaly výborné vlastnosti až do výše 12% náhrady drobného kameniva struskou. Tyto výsledky byly potvrzeny i při zkušební výrobě v závodě Prefa Oslavany.

Poděkování

Tento článek byl vytvořen za finanční podpory MPO v rámci řešení projektu TRIO – FV 10304 Využití teplotě odolné strusky při výrobě betonového zboží.