

Využití teplárenské strusky pro výrobu betonového zboží – výstupy končícího projektu

Ing. Ivana Chromková¹, Ing. René Čechmánek¹, Lubomír Zavřel¹

Ing. Jindřich Sedlák², Ing. Michal Ševčík²

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

Příspěvek přináší dosažené výstupy projektu zaměřeného na ověřování možností využití teplárenské strusky při výrobě vybraných typů betonového zboží. Laboratorními a poloprodučními zkouškami bylo v průběhu řešení projektu stanoveno optimální množství teplárenské strusky využitelné jako náhrady přírodního drobného kameniva v konkrétních recepturách betonových směsí. Důraz byl kladen na výsledné parametry čerstvého i zatvrdlého betonu. Výsledky testů byly ověřeny a potvrzeny při provozních zkouškách přímo ve výrobním závodě.

Využití teplárenské strusky pro výrobu betonového zboží je přínosem z hlediska ekologického, tj. z pohledu udržitelného rozvoje v oblasti spotřeby přírodních zdrojů, a též z hlediska ekonomického, neboť náhrada přírodního kameniva přináší i zlepšení výrobních ukazatelů pro daného výrobce betonového zboží.

***Klíčová slova:** teplárenská struska, zbytek po spalování uhlí, odpad, využitelnost odpadu, kamenivo*

Základní informace o projektu

Všechny výzkumné práce proběhly v rámci projektu podpořeného z dotačního titulu MPO programu TRIO. Tento program je založen na spolupráci výrobní firmy a výzkumné organizace. Cílem projektu je ověřit využitelnost teplárenské strusky do různých produktů výrobního sortimentu firmy Prefa Brno a.s., konkrétně výrobního závodu Oslavany, v jehož blízkosti se nachází halda, na níž byla v minulém století ukládána teplárenská struska (tj. odpadní materiál – zbytek po spalování uhlí) z elektrárny Oslavany.

Projekt je řešen od roku 2016. Informace o teplárenské strusce a vhodnosti jejího využití do betonu, jakož i některé průběžné výsledky ověřování strusky do jednotlivých betonových výrobků byly předloženy v minulých ročnících konference TVIP – Odpadové fórum.

Cíl projektu a metodika jeho řešení

Snahou a cílem projektu je materiálové využití strusky do betonového zboží pro různé stavební aplikace, jakými jsou železobetonové překlady, železobetonové plotové desky a betonové dlažební desky. Každý typ výrobku s sebou nese jiné požadavky na pevnost, trvanlivost i vhodnost z pohledu obsahu nebezpečných látek (konkrétně v případě využití odpadů vzniklých při spalování uhlí jako suroviny pro výrobu stavebních hmot je nutno kontrolovat obsah přírodních radionuklidů). Tyto specifické požadavky bylo nutno v průběhu řešení projektu akceptovat a usměrňovat tak i postup ověřovacích prací.

S ohledem na technické požadavky kladené na výsledný výrobek byly u jednotlivých typů betonových směsí navrženy rozdílné dávky náhrady jemného kameniva teplárenskou struskou. V první fázi prací byl kladen důraz na laboratorní a poloprovozní ověřování maximální možné náhrady přírodního kameniva frakce 0/4 mm. Optimální množství teplárenské strusky v receptuře betonových směsí bylo následně ověřováno i při provozních zkouškách. Pozornost pak byla přenesena na zkušební výrobky. Hodnoceny byly jejich výsledné vlastnosti v souladu s požadavky kladenými na výrobek dle dokumentu „Prohlášení o vlastnostech“ jednotlivých typů výrobku.

Výsledky laboratorních i provozních zkoušek

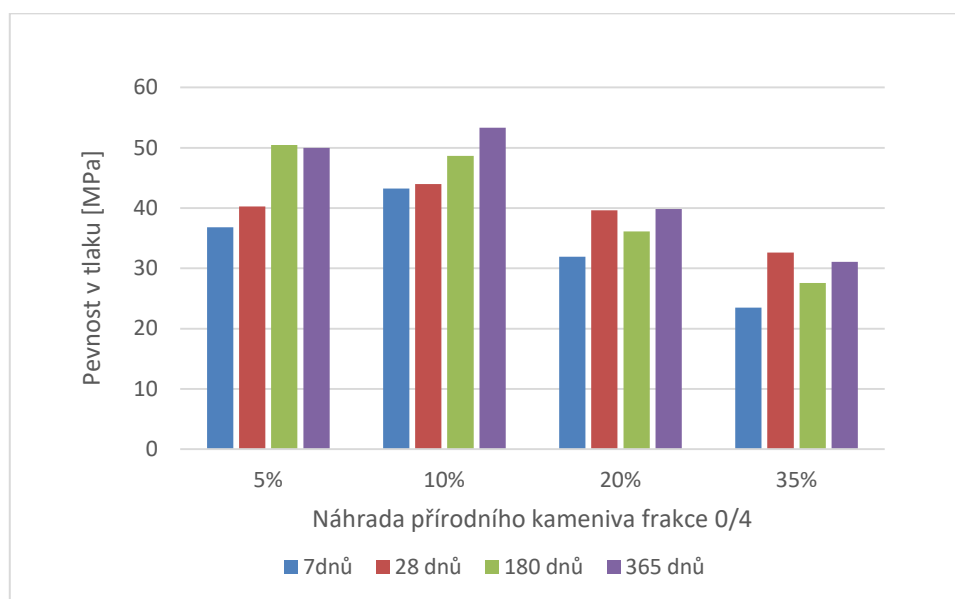
Zavlhlé betony

Za účelem ověřování maximálního možného množství teplárenské strusky použitelného do zavlhých 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).

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. Důležité byly pro posouzení maximální výše náhrady přírodního kameniva teplárenskou struskou též výsledky zkoušky mrazuvzdornosti.

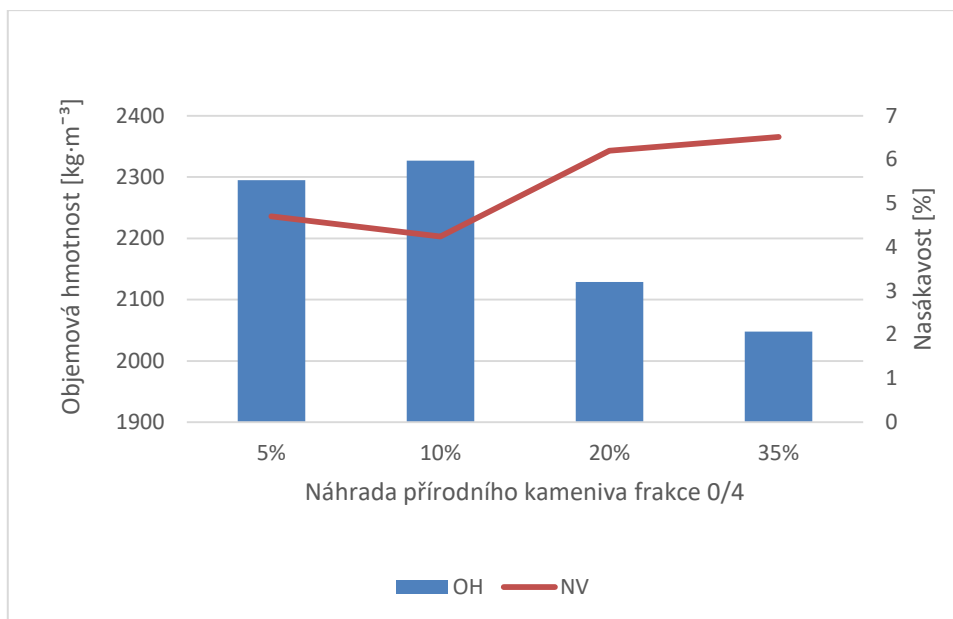
Z naměřených hodnot fyzikálně-mechanických vlastností betonů s obsahem teplárenské strusky (Obr. 1 a 2) je patrné, že výše náhrady přírodního drobného kameniva teplárenskou struskou má vliv na výsledné vlastnosti betonu.

Vývoj pevností v tlaku v čase v závislosti na výši náhrady přírodního drobného kameniva frakce 0/4 mm teplárenskou struskou je patrný v následujícím grafu (Obr. 1).



Obr. 1: Vývoj pevností betonu v závislosti na obsahu strusky

Z obr. 2 je patrná závislost změny objemové hmotnosti a nasákavosti betonu v závislosti na výši náhrady přírodního kameniva teplárenskou struskou.



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

Z testů mrazuvzdornosti (provedených v předešlém roce) vyplynulo, že náhrada drobného kameniva v betonech určených pro výrobu překladů je vhodná. Ani 35% náhrada písku teplárenskou struskou nezpůsobila pokles Indexu mrazuvzdornosti.

Ve výrobním závodě Prefa Oslavany byly vyrobeny překlady (jednodutinové – vylehčené). Na základě výsledků laboratorního a poloprovozního ověřování byly k jejich výrobě vybrány receptury betonové směsi s náhradou písku 5 a 10 % teplárenskou struskou. Z překladů byla nařezána zkušební tělesa o rozměrech cca 140×140×140 mm.

Na takto připravených vzorcích bylo provedeno:

- stanovení obsahu přírodních radionuklidů a indexu hmotnostní aktivity. Betonová hmota s obsahem 5 i 10 % teplárenské strusky vykazovala hodnotu $I = 0,39$. Na základě tohoto stanovení je možno konstatovat, že index hmotnostní aktivity nepřevyšuje hodnotu $I = 1$, kterou stanoví Vyhláška 422/2016 Sb., ve znění pozdějších předpisů pro stavební materiály užívané pro stavby s obytnými nebo pobytovými místnostmi.
- zkouška pevnosti v tlaku, stanovena objemová hmotnost a nasákavost. V tabulce 1 jsou uvedeny výsledky těchto zkoušek.

Tabulka 1: Sledované vlastnosti vzorků z překladů s obsahem teplárenské strusky

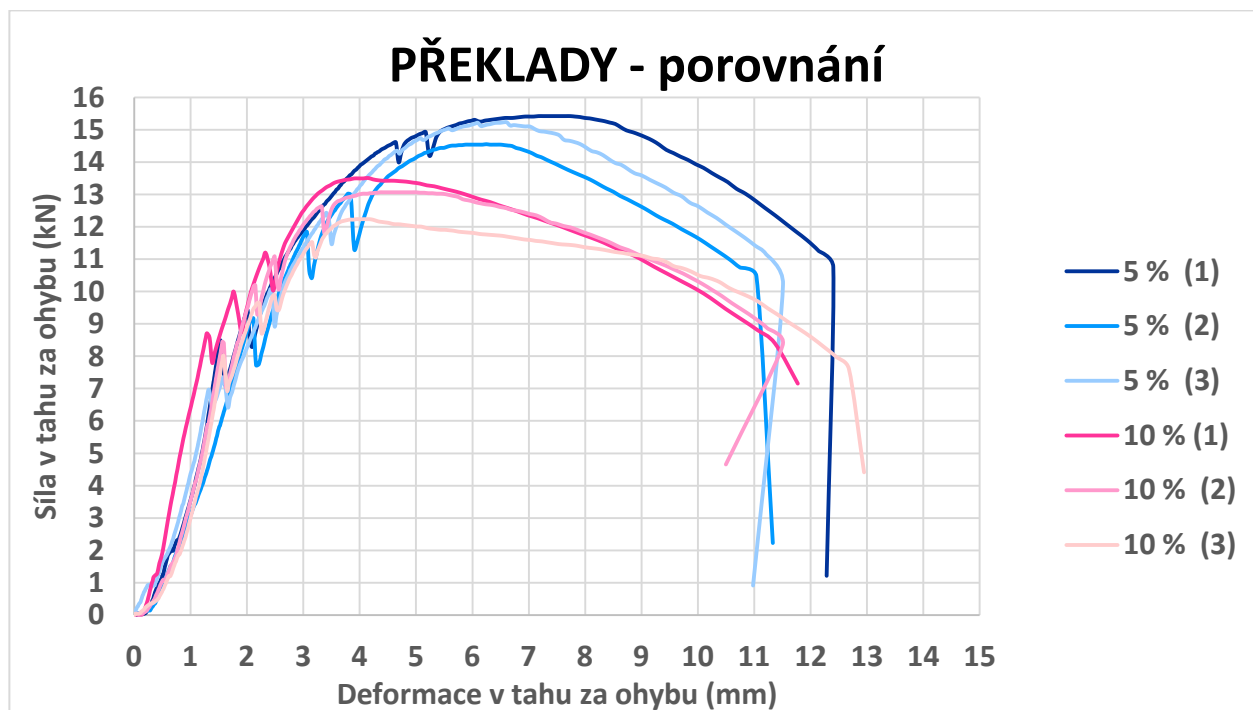
Receptura / označení	Náhrada drobného kameniva	
	5 %	10 %
Pevnost v tlaku výřezů [MPa]	4,58	6,95
Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	2200	2210
Nasákavost [%]	5,78	6,55

Dále byly podrobeny zkouškám celé překlady o rozměrech 140×140×1190 mm. Ty byly testovány na míru únosnosti, což bylo provedeno formou stanovení pevnosti v tahu za ohybu překladů (3 bodovým ohybem). Rychlost zatěžování byla 0,20 kN/s. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2: Míra únosnosti překladů s obsahem teplárenské strusky

Receptura / označení	Náhrada drobného kameniva	
	5 %	10 %
Síla při porušení materiálu [kN]	8,21	8,40
Maximální dosažená síla [kN]	15,07	12,94

Průběh této zkoušky je patrný z obrázku 3.



Obr. 3: Průběh deformace v tahu za ohybu překladů (5% a 10% náhrada)

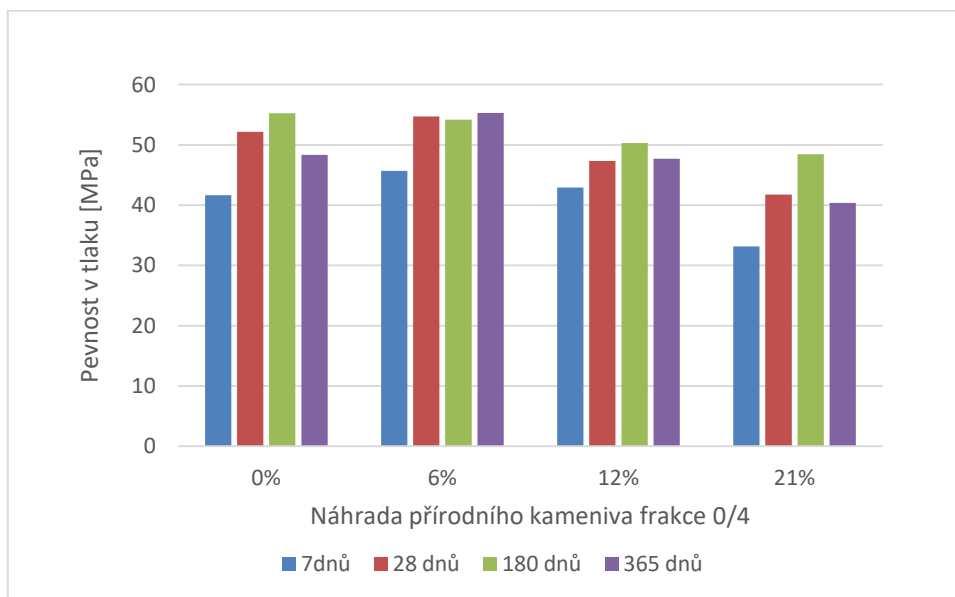
Výsledky zkoušek provedených na reálných překladech (resp. výřezech z překladů) korespondují s výsledky laboratorních zkoušek, kdy byla testována zkušební tělesa normových rozměrů. Byl ověřen trend nárůstu pevnosti v tlaku v souvislosti se zvyšující se náhradou přírodního kameniva teplárenskou struskou, současně i mírný nárůst objemové hmotnosti vzorků s obsahem 10 % strusky. Zkouškou míry únosnosti na překladech byly opět potvrzeny výsledky laboratorních zkoušek, tj. ověřen trend poklesu pevnosti v tahu za ohybu materiálu v důsledku zvyšujícího se množství strusky ve hmotě.

U železobetonových překladů se použití teplárenské strusky jako náhrada za přírodní kamenivo osvědčilo. Provozním ověřováním byla potvrzena vhodnost náhrady 5 a 10 % přírodního kameniva. Je možno tedy konstatovat, že použití strusky s sebou přináší finanční úsporu.

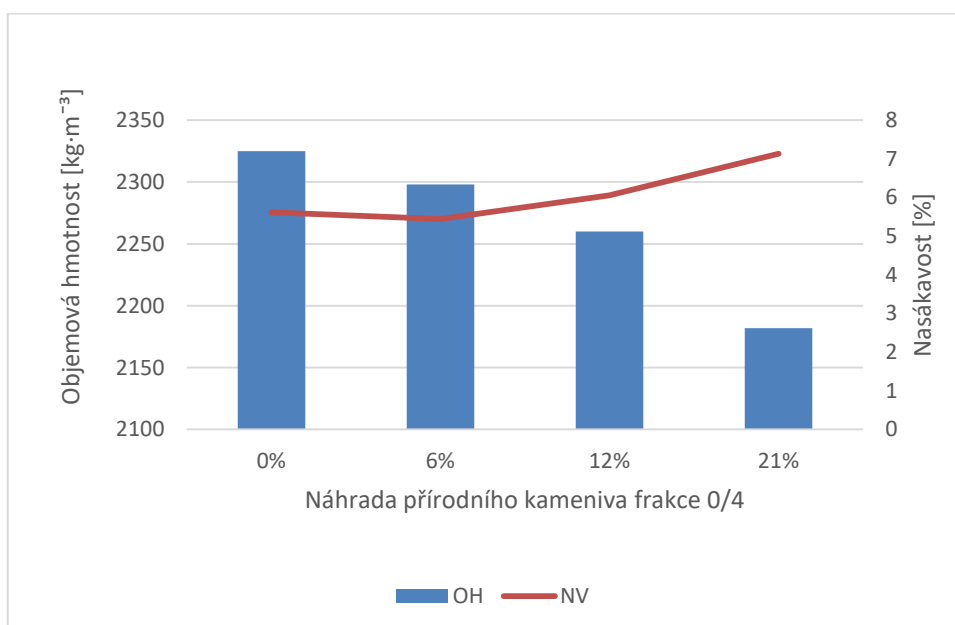
Lité betony

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

V rámci laboratorního ověřování byla z betonových směsí vyrobena zkušební tělesa – zkušební krychle o rozměru 100×100×100 mm pro stanovení pevností v tlaku po 7, 28, 180 a 365 dnech zrání, stanovení objemové hmotnosti a nasákavosti. Výsledky těchto zkoušek jsou graficky znázorněny na Obr. 4 a 5.



Obr. 4: Vývoj pevnosti litých betonů s obsahem teplárenské strusky v čase



Obr. 5: Vývoj objemové hmotnosti a nasákavosti v závislosti na obsahu teplárenské strusky

Poznámka: V souladu s požadavky kladenými na výrobek byla u litých betonů (zkušební tělesa o rozměrech 150×150×150 mm) zjišťována také vodotěsnost betonu. Hodnoty průsaku tlakovou vodou stanovené u všech receptur splňují požadavky na plotové systémy deklarované výrobcem (tj. hodnota průsaku nesmí překročit 50 mm).

Ve výrobním závodě Prefa Oslavany byly na základě výsledků laboratorních a poloprovozních ověřování vyrobeny lité betony s náhradou drobného kameniva teplárenskou struskou 6 a 12 %. Na standardní lince byla provedena betonáž plotových desek PLT 196/5/30. Současně byly vyrobeny vzorky v podobě krychlí 150x150x150 mm. Na normových tělesech byla stanovena pevnost v tlaku, objemová hmotnost a nasákavost (viz tabulka 3).

Tabulka 3: Základní fyzikálně-mechanické vlastnosti litých betonů vyrobených v závodě Oslavany

		Náhrada drobného kameniva		
		0 %	6 %	12 %
Pevnost v tlaku [MPa]	28 dnů	53,54	54,09	54,81
Objemová hmotnost hydrostaticky [kg·m ⁻³]	28 dnů	2215	2231	2153
Nasákavost [%]	28 dnů	7,16	7,57	8,03

Na plotových deskách byla zjišťována míra únosnosti formou stanovení síly potřebné pro prvotní porušení materiálu a dále byla sledována maximální dosažená síla při porušení plotové desky, která se projevila její deformací – rozevřením trhliny a trvalým průhybem. Výsledky této zkoušky jsou uvedeny v tabulce 4.

Tabulka 4: Síla potřebná k porušení plotové desky

	Náhrada drobného kameniva		
	0 %	6 %	12 %
Síla při porušení materiálu [kN]	2,985	2,310	1,999
Maximální dosažená síla [kN]	4,364	4,556	4,114

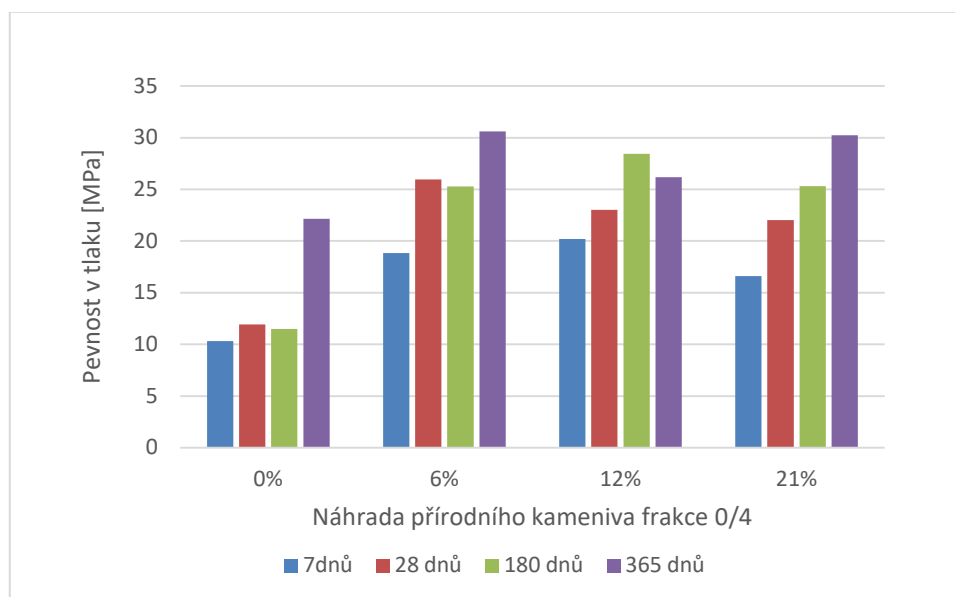
Výsledky fyzikálně-mechanických vlastností litých betonů s obsahem teplárenské strusky (viz tabulka 3 a 4) vyrobených v závodě Prefa Oslavany jsou příznivé. Vyplývá z nich, že optimální náhrada přírodního kameniva je cca 6 %.

I přes tyto pozitivní výsledky je nutno konstatovat, že se u tohoto typu výrobku využití teplárenské strusky neosvědčilo. Při provozních testech byla potvrzena zjištění z laboratorních testů. Zvyšující se přídavek strusky v betonu se projevuje „vyplouváním“ zrn strusky na povrch čerstvého betonu. Tento efekt nelze v provozních podmínkách eliminovat. Z estetického hlediska je tedy přítomnost teplárenské strusky v betonové hmotě pro lité betony nevhodná.

Jádrové betony pro výrobu zámkové dlažby

V tomto směru výzkumu byly laboratorně ověřovány receptury, které obsahovaly 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 takto vyrobených hmotách byly stanoveny základní fyzikálně-mechanické vlastnosti, a to pevnost v tlaku, pevnost v tahu za ohybu, objemová hmotnost, nasákavost, mrazuvzdornost.

Výsledky pevnosti v tlaku betonů zjišťované na tělesech o rozměrech 100×100×100 mm po 7, 28, 180 a 365 dnech zrání jsou uvedeny v následujícím grafu (Obr. 6)



Obr. 6: Vývoj pevnosti vibrolisovaných betonů s obsahem teplárenské strusky v čase

Na základě výsledků průběžných zkoušek byly již v minulém roce všechny navržené receptury betonových směsí pro jádrovou vrstvu zámkové dlažby testovány přímo ve výrobním závodě Prefa Oslavany. Z výsledků provedených zkoušek fyzikálně-mechanických vlastností těchto výrobků byly vybrány k dalšímu ověřování dvě receptury, a to s 6 a 12% náhradou drobného přírodního kameniva. Zámková dlažba z těchto receptur byla vyrobena ve dvou různých rozměrových variantách. Jednalo se o typ výrobku GRANIT s rozměry 200×100 mm a výškou 60 nebo 80 mm. Průměrné hodnoty základních fyzikálně-mechanických vlastností zkušebních výrobků GRA 20/10/8 vyrobených v průběhu 2. pololetí roku 2018 jsou uvedeny v tabulce č. 5.

Tabulka 5: Sledované vlastnosti vibrolisované dlažby GRA 20/10/6

		Náhrada drobného kameniva		
		0 %	6 %	12 %
Pevnost v příčném tahu [MPa]	28 dnů	4,80	4,49	4,25
	90 dnů	4,94	4,95	5,13
Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	28 dnů zrání	2200	2177	2119
Odolnost proti CHRL	min. 28 dnů	splňuje třídu D		

Pozn.: Dle ČSN EN 1338: Třída D – výrobek splňuje podmínku odolnosti proti zmrazovacím cyklům při použití rozmrazovacích solí, tj. ztráta hmotnosti po zkoušce (po 28 cyklech zmrazování) nepřevyšuje hodnotu 1 kg/m²

Při posuzování betonových dlažebních bloků je důležitou informací odolnost tohoto výrobku vůči působení mrazu a vůči působení chemických rozmrazovacích látek. Stav vzorků po zkoušce mrazuvzdornosti (50 cyklů) je zaznamenán na následujícím obrázku (Obr. 7).



Obr. 7: Stav vzorků dlažby GRA 20/10/6 obsahující strusku po 50 cyklech zmrazování a rozmrazování

Z výsledků všech provedených zkoušek vyplývá, že optimální dávka teplárenské strusky použité do betonové směsi jako náhrady drobného kameniva frakce 0/4 mm je 6 %. Z hlediska posouzení výsledků provozního ověřování na základě informací o vlastnostech výrobku uvedených v dokumentu „Prohlášení o vlastnostech výrobku“ lze konstatovat, že je do výroby možno zavést i recepturu s obsahem 12 % teplárenské strusky jako náhrady drobného přírodního kameniva, protože všechny námi zjištěné výsledky pevností v příčném tahu betonových dlažebních bloků byly vyšší než 3,6 MPa, což je limitní hodnota vycházející z normy ČSN EN 1338.

Závěr

Jednoznačným výstupem z řešení projektu je zjištění, že použití teplárenské strusky z haldy Oslavany do betonového zboží je vhodné. Při laboratorních zkouškách některé ověřované typy betonu s obsahem teplárenské strusky vykazovaly (při určitých procentuálních zastoupeních strusky) lepší fyzikálně-mechanické vlastnosti než beton standardní.

V případě receptur pro výrobu překladů byla při provozním ověřování potvrzena vhodnost náhrady až 10 % přírodního kameniva teplárenskou struskou.

U receptur pro výrobu plotových systémů z litých betonů byly ověřeny nejpříznivější vlastnosti u receptury s náhradou písku 6 %. I přes tyto pozitivní výsledky je nutno konstatovat, že se u tohoto typu výrobku využití teplárenské strusky neosvědčilo z estetického hlediska.

Záhlaví vyhrazeno pro redakci • Záhlaví vyhrazeno pro redakci • Záhlaví vyhrazeno pro redakci • Záhlaví vyhrazeno pro redakci • Záhlaví vyhrazeno pro redakci • Záhlaví vyhrazeno pro redakci •

Provozními zkouškami v závodě Prefa Oslavany byly potvrzeny výsledky laboratorního ověřování receptur jádrových betonů pro výrobu zámkové dlažby. Betonové dlažební bloky vykazovaly výborné vlastnosti až do výše 12% náhrady drobného kameniva struskou.

Poděkování

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

Zápatí vyhrazeno pro redakci • Zápatí vyhrazeno pro redakci • Zápatí vyhrazeno pro redakci • Zápatí vyhrazeno pro redakci • Zápatí vyhrazeno pro redakci • Zápatí vyhrazeno pro redakci •
Zde může být upoutávka na vaši firmu, stane-li se PATRONEM ČÍSLA, a její jméno bude na každé stránce!