

RECYCLING 2019

**„Recyklace a využití stavebních odpadů
jako druhotných surovin“**

sborník přednášek 24. ročníku konference



záštitu nad konferencí převzali:



Brno 4. – 5. dubna 2019



RECYCLING 2019

**„Recyklace a využití stavebních odpadů
jako druhotných surovin“**

sborník přednášek 24. ročníku konference



záštitu nad konferencí převzali:



MINISTERSTVO
PRŮMYSLU A OBCHODU



Ministerstvo životního prostředí
České republiky



Brno 4. - 5. dubna 2019

Sborník je určen účastníkům konference

RECYCLING 2019

**" Recyklace a využití stavebních odpadů
jako druhotných surovin "**

Za obsahovou a jazykovou správnost odpovídají autoři jednotlivých příspěvků.
Odborné příspěvky ve sborníku byly recenzovány.

Sestavil : doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

Název : **RECYCLING 2019** - Recyklace a využití stavebních odpadů jako
druhotných surovin

Datum : duben 2019

Počet stran: 159

Vydal : Vysoké učení technické v Brně
Fakulta strojního inženýrství
ve spolupráci s Asociací pro rozvoj recyklace stavebních materiálů v ČR

Tisk: Tribun EU s.r.o., Brno

OBSAH

	str.
Seznam a adresář členů ARSM – právnických osob	3
<i>Jan Čermák, František Polák</i>	4
Modelový příklad mezinárodní spolupráce ve využití stavebních a demoličních odpadů	
<i>Miroslav Škopán</i>	9
Recyklace SDO v ČR – úspěchy i bariéry	
<i>Radomír Rucki</i>	15
Betony z umělého struskového kameniva v konstrukcích s vysokými nároky na užité vlastnosti	
<i>Ladislav Bukovský</i>	22
Navrhování úprav a demolic staveb včetně jejich dekonstrukce	
<i>Jan Pešta, Tereza Pavlů</i>	26
Katalog výrobků a materiálů z druhotných surovin pro použití ve stavebnictví	
<i>Dušan Stehlík</i>	33
Recyklované stavební materiály pro stavby dopravní infrastruktury	
<i>Jan Valentin, Pavla Vacková, Majda Belhadj</i>	37
Zkušební úsek s asfaltovými vrstvami s vysokým podílem R-materiálu a prodlouženou dovozní vzdáleností	
<i>David Kotrba</i>	46
Recyklace stavebních a demoličních odpadů - analytické služby s ohledem na životní prostředí a legislativu	
<i>Jiří Hroch</i>	54
KEESTRACK made in Czech Republic	
<i>Petr Jurča</i>	58
Váhy a vážící systémy v recyklačních linkách	
<i>Michal Stehlík, Jana Knapová, Vojtěch Kostka</i>	61
Možnost užití skelného recyklátu z fotovoltaických panelů pro betonové zdicí prvky	
<i>Diana Mariaková, Tereza Pavlů</i>	68
Možnosti využití odpadního skla a keramiky do betonu	
<i>Luboš Musil, Jan Vodička, Tereza Cibulka</i>	77
Využití odpadního kalu při zpracování přírodního kamene	

<i>Miriám Ledererová</i>	83
The use of recycled materials based on cement and polymer composites with respect to their physical parameters	
<i>Kristína Fořtová, Jan Otýs, Tereza Pavlů</i>	88
Vlastnosti betonů s recyklovaným cihelným kamenivem	
<i>Pavel Martauz, Branislav Cvopa, Ferdinand Gach, Ivan Tiso, Katarína Martauzová, Helena Habánková, Silvia Šrámeková</i>	96
Revolučná ekotechnológia pre recyklovaný betón	
<i>Lukáš Procházka, Jana Boháčová</i>	101
Ověření vlastností alkalicky aktivovaných materiálů na bázi vysokopecní granulované strusky s příměsí popílku	
<i>Zdeněk Prošek, Jan Trejbal, Hana Sekavová, George Karra'a, Pavel Tesárek</i>	109
Alternativní možnosti využití recyklované sádry ve stavebnictví	
<i>Jan Trejbal, Zdeněk Prošek, Hana Sekavová, George Karra'a, Pavel Tesárek</i>	113
Recyklace sádrových výrobků pomocí vysokorychlostního mikromletí	
<i>Jakub Šedina</i>	117
Využití aktivovaných strusek pro technologie podkladních vrstev	
<i>Miroslav Sedláček</i>	125
Lesk a bída propagace recyklace stavebních materiálů	
<i>Petr Dobrovolný</i>	128
Návrh experimentálního objektu z betonu s recyklovaným kamenivem	
<i>Jan Valentin, Radovan Sovják, Peter Gallo, Petr Konrád</i>	134
První poznatky s využitím odpadních zemín nebo betonového recyklátu s aktivními jemnozrnnými plnivy pro návrh dlažebních tvarovek	
Reklamy v závěru sborníku	144

Adresář členů ARSM - právnické osoby

stav k 1.4.2019

Firma	Pověřený zástupce	Ulice, čis	Město	PSČ	Telefon	Mobil	E-mail
AWT - REKULTIVACE, a. s.	Ing. Lubomír Schellong	Dělnická 41/884	HAVÍŘOV - Prostřední Suchá	735 64	596 580 250	603 488 608	lubomir.schellong@awt-rekultivace.cz
AZS 98, s.r.o.	Petra Kaldová	Koterovská 2208/158	PLZEŇ	326 00	377 924 517	603 582 350	kaldova@azs98.cz
DESTRO, spol. s r.o.	Radek Karas	P. O. BOX 4	SÝKORICE 216	270 24	312 243 041	602 335 614	radek.karas@destro.cz, miroslav.karas@destro.cz
DOLEŽAL - NB s.r.o.	Ing. Dana Daňková	Lipová 756	NOVÝ BOR	473 01	487 722 290	602 132 929	dana.dolezal@volny.cz
DUFONEV R.C. a.s.	Ing. Martin Vajdík	Lidická 2030 / 20	BRNO	602 00	543 244 145	775 621 506	martin.vajdik@dufonev.cz
HARTL DRTIČE + TRÍDIČE s.r.o.	Mgr. Jiří Hroch	Městský park 274	CHRUĐIM	537 01	469 622 987	469 655 259	hartl@hartl.cz
JANKOSTAV s.r.o.	Martin Krejčíček	Štěpaňkova 714/31	Ostrava - Kuntice	719 00	596 237 018	731446774	m.krejciček@jankostav.cz
KARE, Praha, s.r.o.	Ing. Pavel Šnajdr	Chodovská 228/3	Praha 4 Michle	141 00	602 205 963	602 205 963	snajdr@karepraha.cz
KENVI CZ s.r.o.	Stanislav Krejčí	Tuřleky č. 90	Kostelec nad Orlicí	517 41	603 531 521	603 531 521	krejci@kenvi.net
LUMOS, spol. s r.o.	Lumír Dvořák	Rudolfovská 88	Č. BUDEJOVICE	370 01	387 713 218	602 139 515	lumos@lumos.cz
ERC-TECH a.s.	František Polák	Čelakovského sady 15Praha 1		110 00	602 734 376	602 734 376	polakfrantisek@email.cz
RECYKLÁČ s.r.o.	Robert Beneš	Řepná 375/27	Pižeň - Litice	321 00	602 151 041	602 568 157	strychovarenata@seznam.cz
REMEX CZ, a.s.	David Cozl	K váže 1111/66	Praha 5 - Slivenec	154 00	388 311 304	602 470 589	david.cozl@remex.cz
RESTA s.r.o.	Ing. Lubomír Šmida	Kojetínská 3120/75	PŘEROV I - Město	750 02	581 741 811	602 551 732	lubomir.smida@resta.cz
MORAVOSTAV Brno, a.s. stavební společnost	Ing. Jiří Podolský	Maříkova 1899/1	BRNO	621 00	544 230 805	602 344 662	podolsky.j@moravostav.cz, peterkova@mo-ravostav.cz
ŠUMBOR, spol. s r.o.	Ing. Václav Schuster	Roudnice 76	Lhota pod Libčany	503 27	495 275 087	602 475 644	vaseksch@volny.cz
KEESTRACK - CZ, s. r. o.	Pavína Porčová, Dis.	Pískoviště 1663/3	ŠTERNBERK	785 01	587 571 923	724 734 081	logistics@keestrack-cz.com
Vrbík s.r.o.	Ing. Ondřej Vrbík	Karla Engliše 3201/6	Praha 5	150 00	734 758 501	734 758 501	ondrej@vrbik.eu
ŽSD, a.s.	Ing. Eva Štípová	Břměnská 1050	Modřice	664 42	547 101 331	725 514 609	evastipova@zsd.as

MODELOVÝ PŘÍKLAD MEZINÁRODNÍ SPOLUPRÁCE VE VYUŽITÍ STAVEBNÍCH A DEMOLIČNÍCH ODPADŮ

A MODEL EXAMPLE OF INTERNATIONAL COOPERATION IN THE UTILIZATION OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE

Ing. Jan Čermák, Ph.D., František Polák

ERC-TECH a.s., Praha, ČR; cermak@erc-tech.eu, polak@erc-tech.eu

Abstract

The paper deals with practical experience in the production of building components and materials from construction and demolition waste with world patented technology. The paper shows international cooperation in the field of processing and recycling of construction and demolition waste.

1. Úvod

Společnost ERC-TECH a.s. přináší řešení pro problematiku využití stavebních a demoličních odpadů. Know-how společnosti zahrnuje přípravu recyklovaného kameniva ze stavebních a demoličních odpadů a dále navázanou výrobu betonu nebo betonových prefabrikátů s využitím pouze recyklovaného kameniva.

Využití řešení společnosti ERC-TECH a.s. přináší ekonomické úspory ve výši 15 až 35 % pro výrobu betonu nebo betonových prefabrikátů. Principy výroby betonu naplňují požadavky oběhového hospodářství ve stavebnictví, jelikož využití recyklovaného kameniva nepředstavuje následnou environmentální a ekonomickou zátěž, ale jedná se o příležitost a zdroj, který svým využíváním přináší profit společnosti a naplňuje podmínky trvale udržitelného rozvoje ve stavebnictví.

Tento příspěvek se zabývá ukázkou praktického příkladu mezinárodní spolupráce s partnery z Finské republiky ve využití stavebního a demoličního odpadu pomocí řešení ERC-TECH a.s.

2. Současný stav poznání

Podle aktuálně dostupných informací ve Finské republice každý rok vzniká průměrně 1,8 mil. t inertního stavebního a demoličního odpadu. Drtivá většina produkovaného odpadu končí na skládkách, případně v zásypech, minoritní podíl je využíván zpět pro výrobu stavebních hmot a dílců. V případě využití řešení ERC-TECH a.s. je možné aktuálně vyprodukovat ze stavebního a demoličního odpadu 1,0 mil. m³ čerstvého betonu ročně, což představuje zhruba 30 % roční produkce betonu ve Finské republice (roční produkce dle (1) byla v roce 2018 3 mil. m³ transportbetonu). Vzhledem k podnebí a klimatickým vlivům je u betonů ve Finské republice nutné dodržet přísné podmínky pro jejich specifikace, především mrazuvzdornost a odolnost vůči chemickým a rozmrazovacím látkám.

Aktuální typy vyráběných betonů ve Finské republice:

Produkce dle třídy pevnosti:

C16/20 – C20/2515 %

C25/30 – C30/37.....70 %

C35/45 –15 %

Produkce dle konzistence:

S1 2 %

S2 - S3 55 %

S4 – S541 %

SCC 2 %

3. Využití know-how ERC-TECH a.s. v mezinárodním měřítku

V rámci pilotní spolupráce byl do firmy ERC-TECH a.s. zaslán recyklát, který byl následně podrcen a použit pro výrobu čerstvého betonu. Recyklát byl dopraven ve frakci cca 0 – 200 mm (viz obrázek 1) a podrcen na frakci 0 – 16 mm (viz obrázek 2). Pro pohodlnější návrh křivky zrnitosti byla část recyklátu rozdělena na tři frakce (0 – 4 mm, 4 – 8 mm, 8 – 16 mm) a část recyklátu rozdělena na dvě frakce (0 – 8 mm, 8 – 16 mm).



Obr. 1: Vzhled recyklovaného kameniva z Finské republiky frakce 0 – 200 mm.



Obr. 2: Vzhled kameniva po drcení a rozdělení na jednotlivé frakce.

V rámci úvodního testování bylo navrženo 5 receptur o parametrech uvedených v tabulce 1. V prvním kroku bylo stanoveno maximální zrno kameniva a křivky zrnitosti jednotlivých receptur, dále bylo navrženo množství cementu, případně příměsi a plastifikační přísady. Vzhledem k požadavku zákazníka byly navrženy pevnostní třídy C 20/25, C 25/30, C 30/37 a C 35/45 a konzistence jednotlivých receptur S1 – S4. Pro prvotní ověření byly vyrobeny vzorky pro zkoušku pevnosti v tlaku. Receptura CB 1/111T byla navržena, aby splňovala specifikaci XF1, proto byly vyrobeny vzorky pro zkoušku mrazuvzdornosti.

Tabulka 1: Navržené prvotní receptury

Receptura		CB 1/111T	CB 1/112T	CB 1/113T	CB 1/114T	CB 1/114T-2
Číslo		I4	I5	I6	I7	I8
Datum výroby		16.10.2018	16.10.2018	16.10.2018	16.10.2018	16.10.2018
Cement	kg	230	230	300	180	230
GGBS	kg	-	-	-	120	-
Recyklované kamenivo	kg	1580	1580	1580	1650	1650
Použité frakce	mm	0/8; 8/16	0/8; 8/16	0/4; 4/8; 8/16	0/8; 8/16	0/8
D _{FC}	kg/m ³	2100	1940	2170	2040	2130
Konzistence	-	S3	S4	S4	S4	S1
Plastifikační přísada	%	2	2	3,5	2	2
v/c	-	0,48	0,51	0,37	0,47	0,43

Na vyrobené betonové směsi byla stanovena objemová hmotnost čerstvého betonu, konzistence, objemová hmotnost ztvrdlého betonu a pevnost v tlaku na krychlich o hraně 150 mm. Výsledky pevnosti v tlaku jsou zobrazeny v tabulce 2.



Obr. 3: Stanovení konzistence sednutím u receptury CB 1/111T.

Tabulka 2: Výsledky zkoušky pevnosti v tlaku

Receptura		CB 1/111T	CB 1/112T	CB 1/113T	CB 1/114T	CB 1/114T-2
Číslo		14	15	16	17	18
Datum výroby		16.10.2018	16.10.2018	16.10.2018	16.10.2018	16.10.2018
Pevnost v tlaku		MPa				
7	den	28	18,4	40,5	20,4	35,1
14	den	40,7	24,7	52,1	28,5	43,7
28	den	42,3	28	60,8	36,2	47,7

Z výsledků zkoušky pevnosti v tlaku po 28 dnech vyplývá, že jednotlivé receptury je možné zařadit do pevnostních tříd postupně C 30/37, C 20/25, C 35/45, C25/30 a C 30/37. U receptury CB 1/111T byla provedena zkouška mrazuvzdornosti T100 bez působení chemických a rozmrazovacích látek. Výsledky zkoušky po 100 cyklech jsou zobrazeny v tabulce 3. Z výsledků vyplývá, že recepturu CB 1/111T je možné zařadit jako C 30/37 XF1 Dmax 16 S3.

Tabulka 3: Výsledky zkoušky mrazuvzdornosti T100

Mrazuvzdornost	100 cycles (T100) – recipe no. CB1/111T	
Pevnost v tahu za ohybu	4,7	MPa
Pevnost v tahu za ohybu po 100 cyklech	5	MPa

V dalším kroku byly navrženy receptury na betony se specifikací XF3 a XF4, které splňují dané požadavky ČSN EN 206 + A1 (kromě maximálního přípustného množství recyklovaného kameniva v betonové směsi). (2) Receptury a výsledky jsou zobrazeny v tabulce 4. Z výsledků vyplývá, že požadavky na jednotlivé receptury byly splněny a betony je možné zařadit jako C30/37 XF3 Dmax 16 S4 a C30/37 XF4 Dmax 16 S4.

Tabulka 4: Receptury a výsledky betonů se specifikací XF3, XF4.

Receptura		B23	B24
Číslo		23	24
Datum výroby		21.01.2019	21.01.2019
Požadovaná třída		C30/37 XF3 S4	C30/37 XF4 S4
Cement	kg	320	360
Recyklované kamenivo	kg	1518	1456
Použité frakce	mm	0/4; 4/8; 8/16	0/4; 4/8; 8/16
Obsah vzduchu	%	6,5	5,8
D _{FC}	kg/m ³	2090	2130
Konzistence	-	S4	S4
Plastifikační přísada	%	1,9	1,4
Provzdušňovací přísada	%	0,15	0,13
v/c	-	0,5	0,45
Pevnost v tlaku	MPa		
28	den	53,6	57,2
D _{ZB}	kg/m ³	2160	2140
CHRL 100 cyklů - odpad	g/m ²	597,55	369,75
Hloubka průsaku tlakovou vodou	mm	7	24

4. Závěr

Předloženými výsledky došlo k ověření know-how ze strany partnera a splnění podmínek pro realizaci uvedení výrobku na finský trh. Pilotní testy ve Finské republice budou probíhat na počátku 2Q 2019.

Z předložených výsledků vyplývá, že při využití řešení ERC-TECH a.s. pro recyklaci stavebních a demoličních odpadů lze vyrábět více jak 85 % druhů betonů ve Finské republice včetně betonů s požadavky na odolnost vůči mrazuvzdornosti a chemickým rozmrazovacím látkám.

V návaznosti na testování transportbetonu budou provedeny testy receptur ERC-TECH pro výrobu prefabrikovaných stavebních dílců, které budou realizovány již v samotných výrobních závodech ve Finské republice. Prefabrikované výrobky budou testovány dle platné Evropské legislativy a národních dodatků Finské republiky.

5. Literatura

1. <https://ec.europa.eu/eurostat/>. Eurostat. [Online] EC, 2018.
2. ČSN EN 206+A1. *Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha : ÚNMZ, 01. 05 2018.

RECYKLACE SDO V ČR - ÚSPĚCHY I BARIÉRY

RECYCLING C&DW IN CZECH REPUBLIC - SUCCESSES AND BARRIERS

Doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

ARSM a VUT v Brně, FSI, e-mail: arsm@arism.cz

Abstract

The recycling of C&DW has been paid considerable attention in the Czech Republic in recent years. The reason for this is the fact that it is the largest material flow in waste management, as well as the fact that secondary raw materials made from C&DW are very well applied in a wide range of applications in the construction industry. Although statistical data describing this activity over the last few years is quite optimistic, it is also necessary to see number of unresolved issues that have so far attributed a significant increase in true-cycle recycling.

Stavební a demoliční odpady jsou jednoznačně největším materiálovým odpadovým proudem. Celková produkce odpadů v ČR v letech 2014 až 2017 dosahovala průměrně 34,5 milionu tun ročně, z toho bylo stavebních a demoličních odpadů v uvedených letech průměrně 18,7 mil. tun, což představuje ca 54 % (dle databáze CENIA).

Je tedy zcela přirozené, že u tak zásadního materiálového proudu jako jsou stavební a demoliční odpady, je jim s ohledem na jejich specifika věnována značná pozornost, zejména s cílem jejich maximálního opětovného využití v procesu stavební výroby. Podpora recyklace SDO je zřejmá jak z řady aktivit řady orgánů státní správy v ČR (např. MPO, MŽP a další), tak také z dokumentů, vydaných Evropskou komisí, jejichž využívání je v ČR bohužel dosud velmi opomíjeno. Konkrétně se jedná např. o:

1. Protokol EU o nakládání se stavebními a demoličními odpady (2016) [1],
2. Směrnice pro audit odpadů před demolicí a renovací budov (2018) [2].

S ohledem na mnohdy rozpačitý a nedůvěřivý přístup některých projektantů a investorů k používání recyklovaného kameniva je důvěru ve kvalitu recyklovaných stavebních materiálů nutno budovat zejména na o důsledném využívání platné legislativy, která recyklaci SDO jednoznačně podporuje a také na důslednějším zavedení výrobků z těchto materiálů do příslušných materiálových norem. I když je možnost využívání recyklovaných stavebních materiálů ve stavebnictví v současnosti zakotvena v řadě norem, technických podmínek a dalších předpisů, je velmi žádoucí je doplnit o jednoznačný a nekomplikovaný systém řízení jejich jakosti.

Produkce stavebních a demoličních odpadů a recyklovaného kameniva

Produkce stavebních a demoličních odpadů i jejich recyklace je úzce spjata s produkcí stavební výroby. Protože u ní dochází v posledních letech k nárůstu, nepřekvapí ani nárůst produkce SDO (viz tab. 1, obr. 1 a 2)

Recyklace stavebních a demoličních odpadů (SDO) se v ČR objevila v širší míře již před ca 25 roky. Období posledních několika let lze v tomto odvětví charakterizovat relativně optimisticky. Statisticky doložený rok 2017 i minulý rok 2018 byly v rozvoji recyklace SDO relativně příznivé. Z hlediska produkce recyklátů sice nejsou za rok 2018 ještě dostupná žádná data, ale na základě předběžných informací jejich producentů lze předpokládat udržení mírně růstového trendu posledních let (viz obr. 1 a 2). Rovněž v legislativní oblasti týkající se vymezení definice konce odpadů se podařilo takřka dokončit veškeré činnosti související s vydáním vyhlášky „*kteřá stanoví kritéria, při jejichž splnění je znovuzískaná asfaltová směs vedlejším produktem nebo přestává být odpadem, a kritéria, při jejichž splnění přestává být asfaltová směs vyrobená z odpadní znovuzískané asfaltové směsi odpadem*“. V současnosti je legislativní proces takřka u konce a její vydání je předpokládáno v první polovině roku 2019.

Na druhé straně však nelze zastírat značně nepříjemnou realitu, že velké množství recyklovaných stavebních a demoličních odpadů zůstává v recyklačních centrech a je velmi obtížně uplatnitelné na stavebním trhu. Jedná se zejména o recykláty z cihelného zdiva a jejich směsí. V některých případech neprodané zásoby již dosahují takových objemů, že někteří provozovatelé recyklačních linek museli omezit z prostorových důvodů příjem nových stavebních odpadů k recyklaci.

Jednou z příčin tohoto nežádoucího stavu je i skutečnost, že situace ve způsobu využívání recyklátů ze SDO zůstává v ČR stále značně neuspokojivá. Dominantní způsob trvale představuje využívání formou zásypů různých inženýrských sítí apod., a také využívání formou zpevněného provizorního podkladu na různých stavbách – tedy formy down-cyclingu místo right-cyclingu. Přitom bylo i v uplynulém roce opětovně několikrát prokázáno, že kvalitně zrecyklované stavební a demoliční odpady mohou zcela bezproblémově sloužit k výrobě řady prefabrikovaných stavebních dílců a stavebních směsí zcela srovnatelné kvality, jaká je dosahována u produktů vyrobených z přírodních nerostných surovin. Podmínkou pro tento způsob využívání je však recyklace SDO na vysoké technické úrovni, která zajistí produkty bez nežádoucích příměsí a s garantovanými stavebně technickými vlastnostmi (zejména granulometrií a tvarem zrn). K tomu je však nevyhnutelně zabezpečit, aby vstupní produkt recyklace (stavební a demoliční odpad) byl kvalitní – tedy jako výsledek tzv. selektivní demolice stavebního objektu. Jednou z nezbytných podmínek pro dosažení tohoto stavu lze považovat mimo jiné i vydání obecně závazného předpisu k postupu demoličních prací, při kterých SDO vznikají. Jako východisko zde mohou posloužit např. „*Pokyny EU k odpadovým auditům před demoličními a renovačními pracemi v budovách*“ [2]. Současné znění Stavebního zákona ve věci demoličních prací je z tohoto pohledu zcela vágní a nevyhovující.

Další slabinu lze pozorovat také v tom, že nebylo dosud dosaženo výraznějšího posunu v naplnění některých z cílů Nařízení vlády 352/2014 Sb. o Plánu odpadového hospodářství pro období 2015 až 2024. Jedním z velmi důležitých, ale zcela nenaplněných cílů je opatření uvedené v kapitole 1.3.1.4 Závazné části: „*Zajistit povinné používání recyklátů splňujících požadované stavební normy, jako náhrady za přírodní zdroje, v rámci stavební činnosti financované z veřejných zdrojů, pokud je to technicky a ekonomicky možné*“. Přitom se jedná o zcela standardní podmínky pro investory v řadě evropských zemí, kde je dle regionů povinností využívat ve stavbách ca 10 až 40 % recyklovaných materiálů.

Za pozitivum lze považovat, že dle dostupných dat za rok 2017, publikovaných na podzim roku 2018 se podařilo udržet několikaletou vzestupnou tendenci nárůstu produkce recyklátů ze SDO, a to nejen absolutně, ale také relativně vůči celkovému objemu inertních přírodních minerálních materiálů užívaných ve stavebnictví (konkrétně stavebního kamene a štěrkopísků) – viz obr.3., 4).

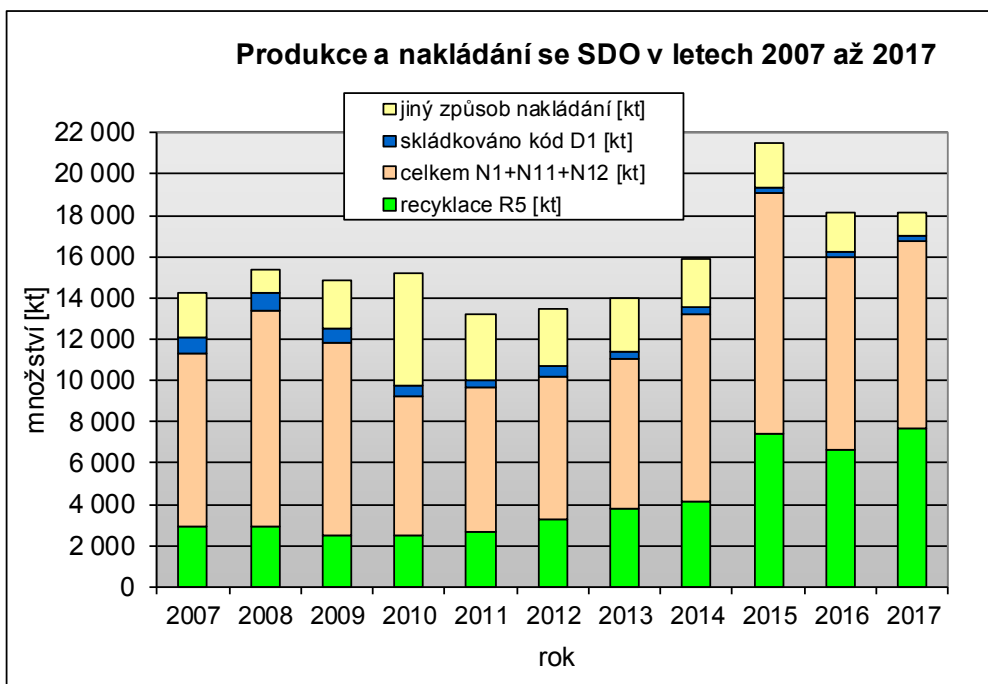
Produkce stavebních a demoličních odpadů, recyklovaného a přírodního kameniva v letech 2007 až 2017

Níže uvedené údaje o produkci nakládání se SDO vycházejí z oficiální databáze Ministerstva životního prostředí, kterou spravuje Česká informační agentura životního prostředí (CENIA), údaje o produkci stavebního kamene a štěrkopísků vycházejí z údajů České geologické služby.

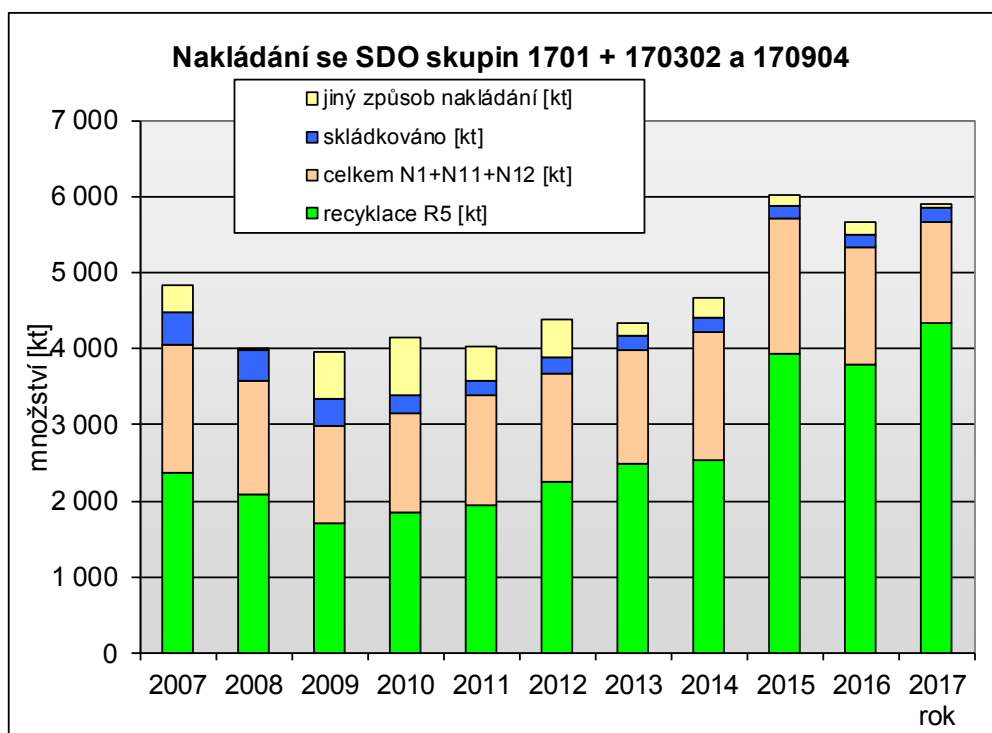
Produkce a materiálové složení hlavních proudů stavebních a demoličních odpadů dle Katalogu odpadů (vyhláška č. 93/2016 Sb.) je uvedeno v tabulce 1.

Tabulka 1: Materiálové složení SDO v letech 2012 až 2017

skupina	odpad	2012	2013	2014	2015	2016	2017
		[kt]	[kt]	[kt]	[kt]	[kt]	[kt]
17 01	Beton, cihly, tašky a keramika	3 445	3 249	3 688	4 419	4 375	4 502
17 01 01	Beton	1 385	1 292	1 422	1 985	1 755	1 845
17 01 02	Cihly	735	757	745	840	889	905
17 01 03	Tašky a keramické výrobky	14	12	16	14	15	15
17 01 07	Směsi neuvedené pod č. 17 01 06	1 250	1 172	1 473	1 580	1 716	1 651
17 03	Asfaltové směsi, dehet a výr. z dehtu	531	510	573	896	757	783
17 03 02	Asfalt. směsi neuvedené pod č. 17 03 01	526	508	568	891	752	777
17 05	Zemina (včetně vytěžené zeminy z kont. míst), kamení a vytěžená hlšina	8 908	9 966	11 128	15 650	12 320	12 150
17 05 04	Zem. a kam. neuvedené pod č. 17 05 03	7 832	9 442	10 619	13 916	11 006	10 802
17 05 06	Vyt. hlšina neuvedená pod č. 17 05 05	622	130	102	850	527	667
17 05 08	Štěrka ze železničního svršku neuvedený pod číslem 17 05 07	64	80	112	578	399	305
17 06	Izol. a staveb. materiály s azbestem	59	61	66	62	54	58
17 06 04	Izol. mat. nev. pod č. 170601 a 03	36	35	40	42	36	40
17 08	Stavební materiál na bázi sádry	7	9	11	14	17	13
17 08 02	Materiály neuvedené pod č. 17 08 01	7	9	11	14	17	13
17 09	Jiné stavební a demoliční odpady	496	609	451	722	547	605
17 09 04	Sm. SDO nev. pod č. 170901, 02, 03	473	590	441	709	535	605
CELKEM		13 447	14 404	15 916	21 891	18 004	18 111
z toho 1701 + 170302 + 170904		4 383	4 330	4 665	6 019	5 662	5 890
což z celkového SDO činí v %		33%	30%	29%	27%	31%	33%
podíl skupiny 1705 na celkové produkci SDO		66%	69%	70%	71%	68%	67%



Obr. 1 Celková produkce a nakládání se SDO v letech 2007 až 2017

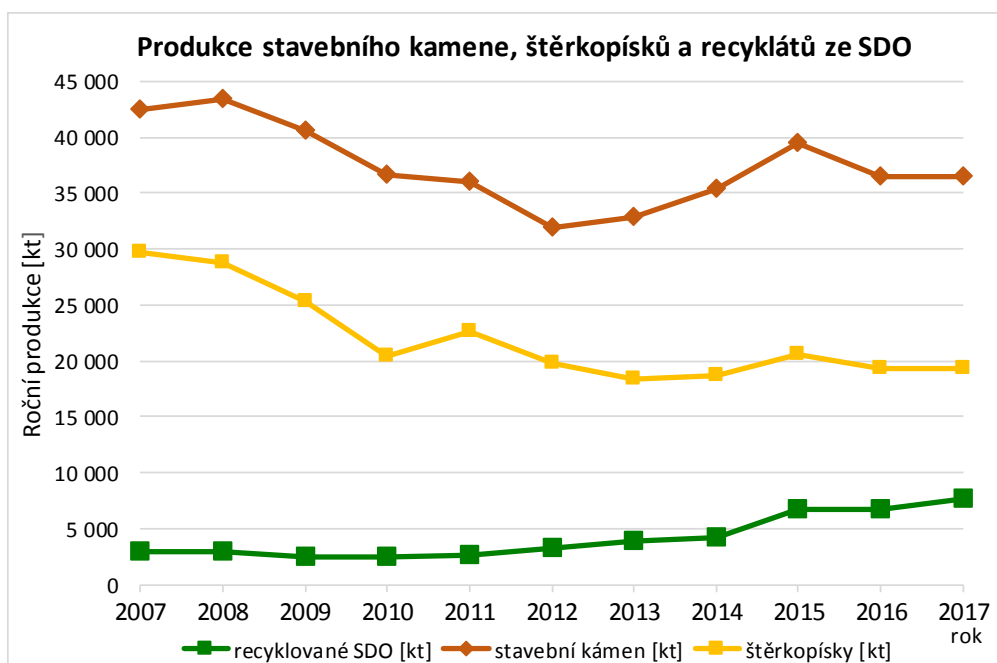


Obr. 2 Produkce a nakládání se SDO vhodnými k recyklaci

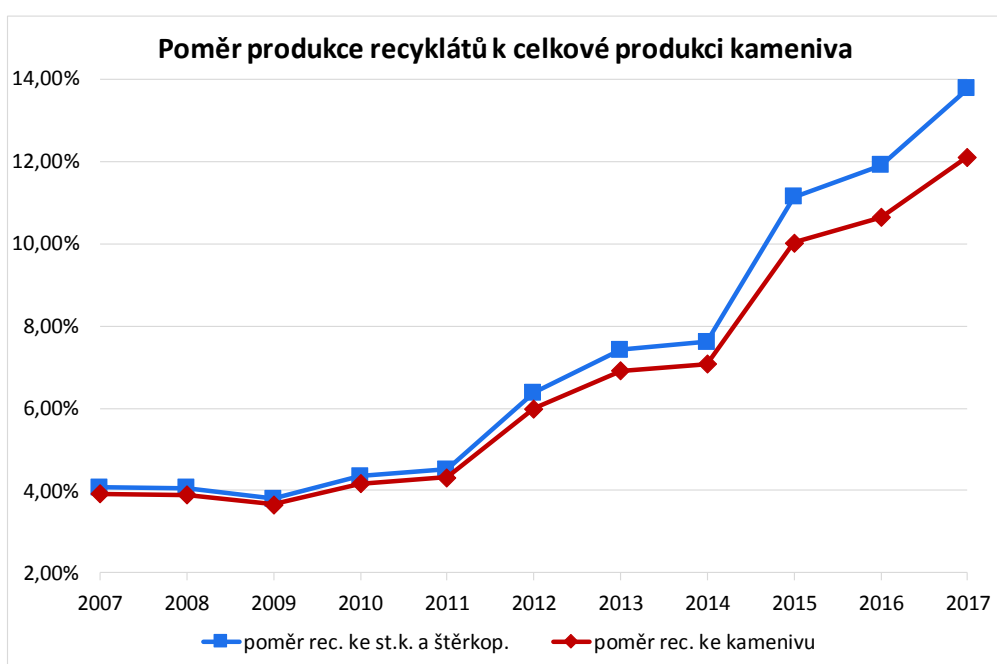
Způsoby nakládání se SDO jsou uvedeny na obr. 1. Z něj je zřejmé, že obrovské množství vytěžené zeminy a kamení (dokumentované v tab. 1), kterou není třeba ve většině případů recyklovat, vytváří dojem, že skutečná recyklace SDO je v ČR relativně nízká. Pro korektnější posouzení jsou však rozhodující složkou inertní minerální odpady, které vznikly z již jednou zpracované suroviny – tedy zejména betony, cihelné zdivo a keramika a jejich směsi. Dále jsou to odpady z rekonstrukcí

komunikací – zejména skupina 170302 – asfaltové směsi bez nebezpečných vlastností. K tomu je pro svoji velikost započtena i skupina 170904, obsahující zpravidla směsi výše uvedených složek a kameniva a zemin.

Podíl těchto odpadů na celkové produkci SDO v jednotlivých letech činí ca 27 až 33 % (viz. tab. 1, předposlední řádek). Produkce a způsoby nakládání s touto částí SDO je zřejmá z grafu na obr. 2.



Obr. 3 Produkce stavebního kamene, štěrkopísků a recyklovaných minerálních materiálů v letech 2007 až 2017



Obr. 4 Relativní produkce recyklovaných minerálních materiálů v letech 2007 až 2017

Pro vyjádření úspěšnosti využívání recyklovaných materiálů je rozhodující kritérium stanovení velikosti jejich podílu na celkové produkci nerostných surovin – zde stavebního kamene a štěrkopísků. Vytěžená množství z výhradních i nevýhradních ložisek a množství vyrobených recyklátů v letech 2007 až 2017 je na obr. 3. (Údaje o těžbě stavebního kamene a štěrkopísků jsou z databáze ČGS).

Z grafů na obr. 3 a 4 je zřejmý nárůst produkce recyklátů a také trvalý mírný pokles těžby přírodních nerostných surovin, zejména štěrkopísků. V období let 2007 až 2011 dosahoval poměr produkce recyklátů k produkci přírodního kameniva a štěrkopísků hodnoty ca 4 %, v roce 2017 to bylo již 14% - tedy nárůst na tříapůlnásobek.

Závěr

Z faktů uvedených v tomto článku je prokazatelné, že se recyklace SDO z kvantitativního pohledu v ČR v posledních letech intenzivně rozvíjí, i když v oblasti způsobu využívání recyklátů ne tak zcela uspokojivě. Problémy jsou často zejména v kvalitě produkovaných recyklátů, které omezují jejich využívání často jen na down-cycling místo na skutečnou stavební výrobu či výrobu stavebních prvků a hmot. Tuto situaci patrně pomůže částečně řešit v současnosti vydávaný „Katalog výrobků a materiálů z druhotných surovin ze SDO“. Další zkvalitnění by zcela určitě pomohla řešit nová či upravená legislativa, která by stanovovala v oblasti demoličních prací, na která jsou vydávána stavební povolení, povinné provádění selektivních demolicí.

Recyklace jako taková má obecně ochraňovat zejména přírodní zdroje a také výrazně omezovat vznik odpadů. U recyklace SDO se to v posledních letech vcelku daří. Tento trend je s ohledem na další rozvoj stavebnictví zcela nezbytný, protože ve stavební výrobě existuje také celá řada produktů, kde lze použít výhradně přírodní a velmi kvalitní kamenivo (např. do předpjatých betonů, pro svršek kolejového lože, velmi zatížené dopravní komunikace apod.). Zdroje tohoto kameniva v ČR však nejsou nevyčerpatelné a částečné problémy s jejich produkcí již pocítily některé stavební firmy již v roce 2018. S ohledem na zajištění cirkulární ekonomiky ve stavebnictví je tedy velmi žádoucí využívat recyklované kamenivo všude tam, kde je to technicky možné a toto kamenivo je k dispozici.

Literatura

- [1] EU Construction & Demolition Waste Management Protocol. European Commission. September 2016
- [2] Guidelines for the waste audits before demolition and renovation works of buildings. European Commission. May 2018
- [3] Nařízení vlády 352/2014 Sb. o Plánu odpadového hospodářství pro období 2015 až 2024. Sbírka zákonů, částka 141/2014.
- [4] ÖNORM B 3151: 2014 Rückbau von Bauwerken als Standardabbruchmethode
- [5] ÖNORM B 2251: 2006 Abbrucharbeiten - Werkvertragsnorm

BETONY Z UMĚLÉHO STRUSKOVÉHO KAMENIVA V KONSTRUKCÍCH S VYSOKÝMI NÁROKY NA UŽITNÉ VLASTNOSTI

CONCRETE MADE OF ARTIFICIAL SLAG-AGGREGATE DELIVERED FOR CONSTRUCTIONS WITH HIGH PERFORMANCE DEMANDS

ING. RADOMÍR RUCKI

Miroslav Karas-Destro, Sýkořice 216, 270 74 Zbečno, Česká Republika,
radomir.rucki@email.cz

The paper describes production of two concrete types made by artificial slag-aggregate - a severe frost and freeze-thaw resistant concrete for road constructions and steel-fibre reinforced concrete for industrial floor. The concrete performance is demonstrated with the test results from regular production. The quality management of slag-aggregate production as an essential prerequisite for quality concrete is discussed.

1. Výrobce

Firma Miroslav Karas – Destro již více než 25 let na Kladně vyrábí a na trh dodává struskové kamenivo získávané recyklací z místní skládky vysokopecní vzduchem chlazené strusky. Umělé kamenivo Destro je určeno pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a stavby pozemních komunikací podle ČSN EN 13242+A [1] a ČSN EN 13285 [2]. Od roku 2016 byl sortiment výrobků rozšířen o umělé kamenivo do betonu podle ČSN EN 12620 a zahájena výroba transportbetonu a betonových prefabrikátů na vlastní betonárně [3]. V roce 2019 byl dokončena další etapa vývoje a sortiment vyráběných betonů byl rozšířen o skupinu betonů s vyššími požadavky na vlastnosti, ke kterým patří mj. betony odolné mrazu a chemickým rozmrazovacím látkám (CH. R. L.) a betony pro průmyslové podlahy s rozptýlenou ocelovou výztuží.

2. Betony odolné mrazu a chemickým rozmrazovacím látkám

Betony určené do stupně vlivu prostředí (SVP) XF 1-4 [7, 8, 9], tj. do vlhkého prostředí s účinky mrazu (XF1 a XF3) a účinky rozmrazovacích solí (XF2 a XF4) patří k nejnáročnějším betonům nejen z pohledu předepsaných parametrů hotového betonu na odolnost prostředí, ale i s tím spojenými nároky na kvalitu výchozích surovin a způsob výroby. Nezbytným předpokladem mrazuvzdornosti a odolnosti betonů je v první řadě odolnost kameniva, tedy i použitého umělého struskového kameniva Destro, které se jen v některých betonech doplňuje přírodním těžným kamenivem 0/4 mm v poměru 35 nebo až 52 % obj. z celkové dávky kameniva [4, 5]. Betony jsou dodávány ve velmi tekuté konzistenci (stupeň sednutí kužele S4/S5) pro ukládání čerpadlem. Výsledkem vývoje je optimální kombinace umělého struskového kameniva, přírodního kameniva, cementu plastifikační a provzdušňovací přísady zaručujících vysokou a reprodukovatelnou kvalitu čerstvého provzdušněného betonu i betonu po ztvrdnutí.

2.1. Výsledky zkoušek

V tabulce 1 a v grafu 1 jsou uvedeny výsledky průkazných zkoušek betonů odolných mrazu a rozmrazovacím chemickým látkám tř. C 25/30 XF2 a C 30/37 XF2, XF4 podle požadavků ČSN EN 206+A1 [7], ČSN P 73 2404, tab. F.1.2. [8] a požadavků TKP MD kap. 18 [9] a betonu tř. C 30/37 a C 25/30 (pro prefabrikaci)

odolného mrazu podle zvláštních požadavků ČSN P 73 2404, tab F.1.2 [8] na SVP XF1 a XF3. Vzorky betonů pro zkoušky byly odebrány z běžné výroby na betonárně DESTRObeton. Z výsledků je patrné, že všechny čtyři betony splnily zvýšené požadavky kladené na betony při průkazných zkouškách na vodonepropustnost, mrazuvzdornost i odolnost povrchu betonu při použití chemických rozmrazovacích prostředků včetně požadavků na rozložení vzduchu ve ztvrdlém betonu a to i podle technických kvalitativních podmínek (TKP) MD [9].

Tab. 1 Betony odolné mrazu a chemickým rozmrazovacím látkám (CH. R. L.)

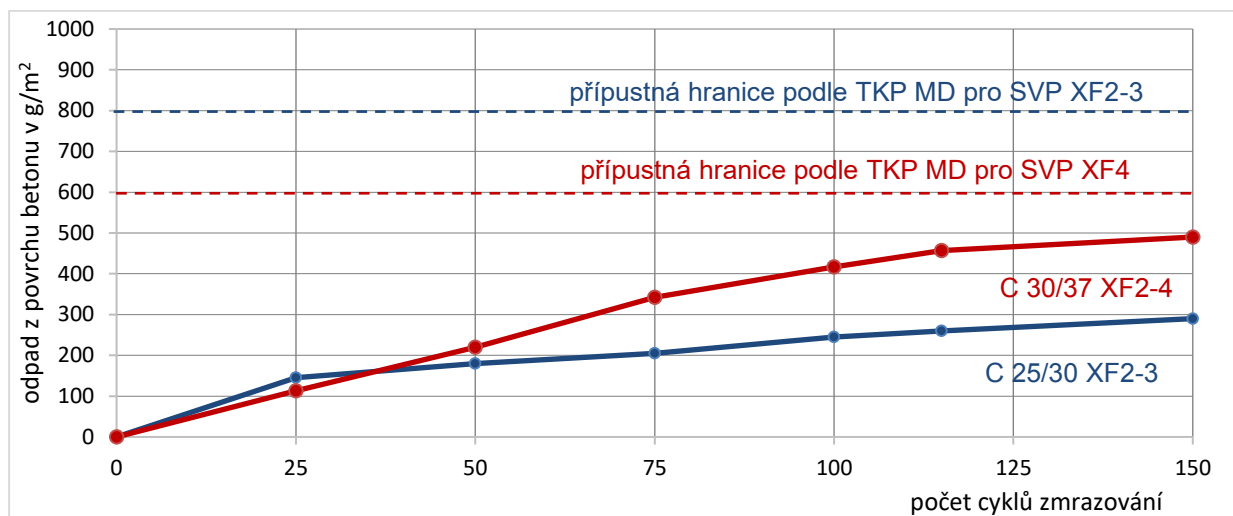
druh betonu		odolný CH. R. L.		mrazuvzdorný		
Třída betonu ČSN EN 206+A1 a ČSN P 73 2404		C 25/30	C 30/37	C 30/37	C 25/30 prefa	
SVP ČSN P 73 2404 tab F.1.2 (životnost 100 let)		X0, XC1-3, XD1-2, XF2 , XA1-2*	X0, XC1-4, XD1-3, XF2 , XF4 , XA1-3*	X0, XC1-4, XD1-3, XF1, XF3 , XA1-3*	X0, XC1-4, XD1-3, XF1, XF3 , XA1-2*	
CEM I 42,5 R	kg	370	420	390	265	
popílek Mělník	kg	-	-	-	90	
0/4 Destro	kg	-	-	-	1002	
0/4 přírodní těžené	kg	915	890	890	-	
8/16 Destro	kg	770	748	748	724	
Dynamon RC 730 - superplastifikátor	kg	2,59	2,80	2,80	2,31	
Mapeair LP 100 - provzdušňovač	kg	0,70	1,20	0,80	0	
dávka vody na záměs	l	125	120	126	130	
efektivní dávka vody**	l	170	164	170	138	
vodní součinitel účinný**	-	0,46	0,39	0,44	0,46	
konzistence s. kužele	mm	210	170	170	100	
obsah vzduchu v č. betonu	% obj.	6,9	6,5	5,0	-	
objemová hmotnost č. betonu	kg/m ³	2239	2265	2289	2302	
pevnost v tlaku	2 dny	MPa	28,7	37,6	32,4	14,8
	7 dní	MPa	39,2	48,4	43,1	27,3
	28 dní	MPa	42,9	51,6	50,0	39,1
objemová hmotnost	28 dní	kg/m ³	2243	2272	2294	2270
vodonepropustnost - max. průsak	mm	14 (≤28)	-	15 (≤16)	8 (≤28)	
mrazuvzdornost T150, 125 c., koefic.	%	-	-	87 (≥75)	90 (≥75)	
odolnost CH.R.L. 100 c. ČSN odpad	g/m ²	245 (≤1000)	417 (≤1000)	-	-	
150 c. TKP MD odpad	g/m ²	290 (≤800)	490 (≤600)	-	-	
obsah mikroskopického vzduchu A ₃₀₀	% obj.	2,65 (≥1,20)	2,67 (≥2,06)	-	-	
rozložení vzduchu Spacing-factor L	mm	0,14 (≤ 0,19)	0,16 (≤ 0,16)	-	-	

* SVP XA2-3 platí pro prostředí s obsahem síranových iontů SO₄²⁻ ≤ 600 mg/l spodní vody a s koncentrací agr. CO₂ ≤ 15 mg/l spodní vody

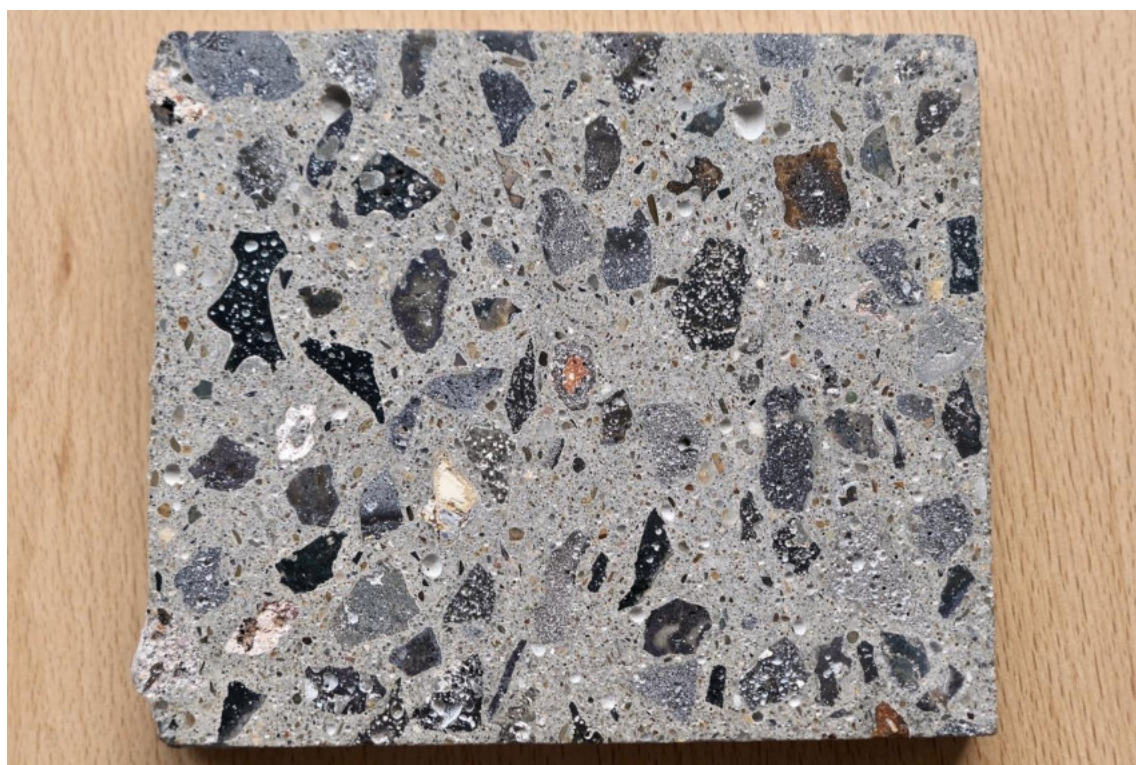
** bez nasákavosti kameniva

Údaje v závorkách uvádějí požadované hodnoty parametrů betonu při průkazných zkouškách podle ČSN EN P 73 2404 (ČSN) nebo TKP MD, kap. 18[8]

Graf 1 Nárůst odpadu v průběhu zkoušky odolnosti mrazu a CH. R. L. 25-150 cyklů podle ČSN 73 1326



Obr. 1 Řez betonem C 25/30 XF2, XF4 - zkušební těleso pro zkoušku rozložení vzduchu v betonu



3. Betony pro průmyslové podlahy

Betony určené pro konstrukce průmyslových podlah patří mezi běžné betony pevnostních tříd obvykle C 20/25 až C 30/37, ovšem specifický způsob zpracování betonu vysoce specializovanými firmami a zpravidla ve větších výrobních celcích, klade na výrobce a dodavatele betonu zvýšené nároky. Technicky odůvodněné požadavky zpracovatelů na parametry a vlastnosti čerstvého betonu (průběhu tuhnutí

a tvrdnutí apod.) i ztvrdlého betonu jsou na u českých realizačních firem často doplněny ještě nekoncepčními požadavky na samotné složení betonu. Tyto požadavky zpravidla vycházejí z jejich dávné či nedávné negativní zkušenosti se špatně zpracovatelným betonem jiného dodavatele betonu. Mylnou interpretací takových zkušeností je přenesení skutečné příčiny problémů, kterým je nevhodné složení problémového betonu, na samotné použití určitých materiálů v betonu, jako je popílek do betonu, polykarboxylátová báze plastifikačních přísad, případně drobné drcené kamenivo frakce 0/4 mm. Velmi konzervativní přístup realizátorů k přijímání novinek či změn složení betonu oproti jimi používaným materiálům je částečně pochopitelný s ohledem na vyšší riziko spojené se samotným způsobem realizace průmyslových podlah. Zpravidla se jedná o nepřetržitou betonáž větších objemů s následným několikahodinovým zpracováním a konečnou úpravou betonové konstrukce průmyslové podlahy, navíc často se zpracováním cementového vsypu do povrchové vrstvy betonu.

Při rekonstrukci skladových prostor byl pro průmyslové podlahy použit beton tř. C 25/30 z umělého struskového kameniva Destro (60 % z celkové dávky kameniva [5]), s popílkem do betonu a ztekucující přísadou Mapei Dynamon RC 730 na bázi polykarboxylátů. Beton s ocelovými drátky délky 50 mm byl dodáván z vlastní betonárny DESTRObeton Kladno, na stavbě byl dopravován čerpadlem, případně speciálními vanovými dopravníky. Betonáž podlahy proběhla v letním období roku 2018 při venkovních teplotách blížících se 30 °C a za komplikovaných dopravních podmínek bez přerušení provozu v objektu. Zpracovatel betonu byl spokojen s chováním čerstvého betonu během dopravy a ukládání i s průběhem tuhnutí betonu ve fázi strojního hlazení povrchu betonu.

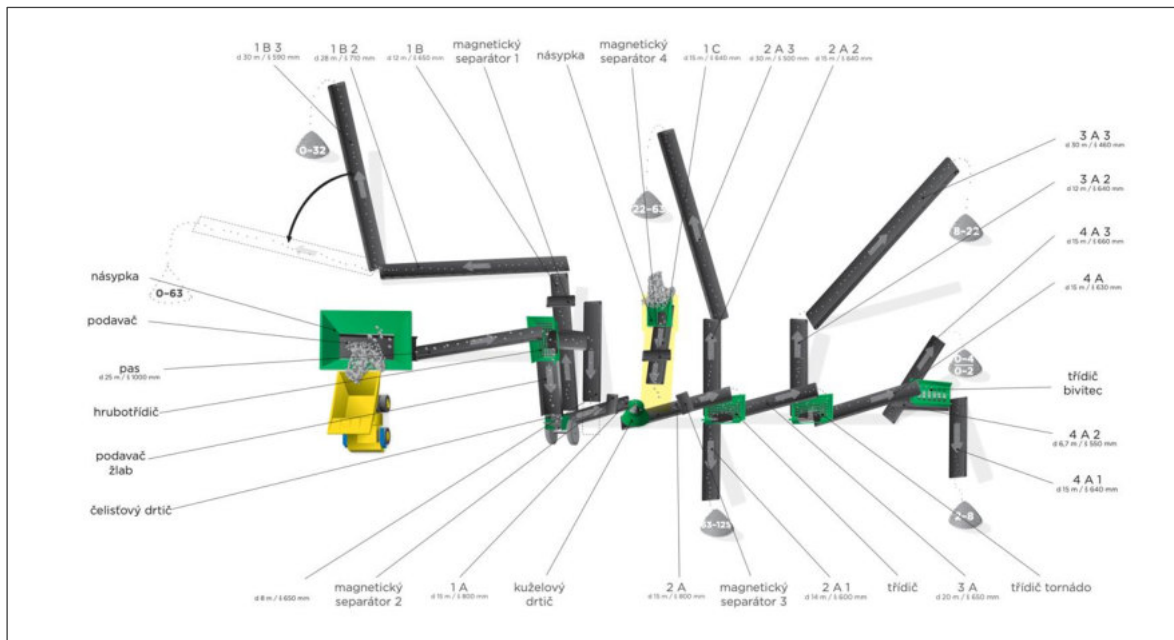
Obr. 3 Průmyslová podlaha po vyleštění a ošetření, 2018



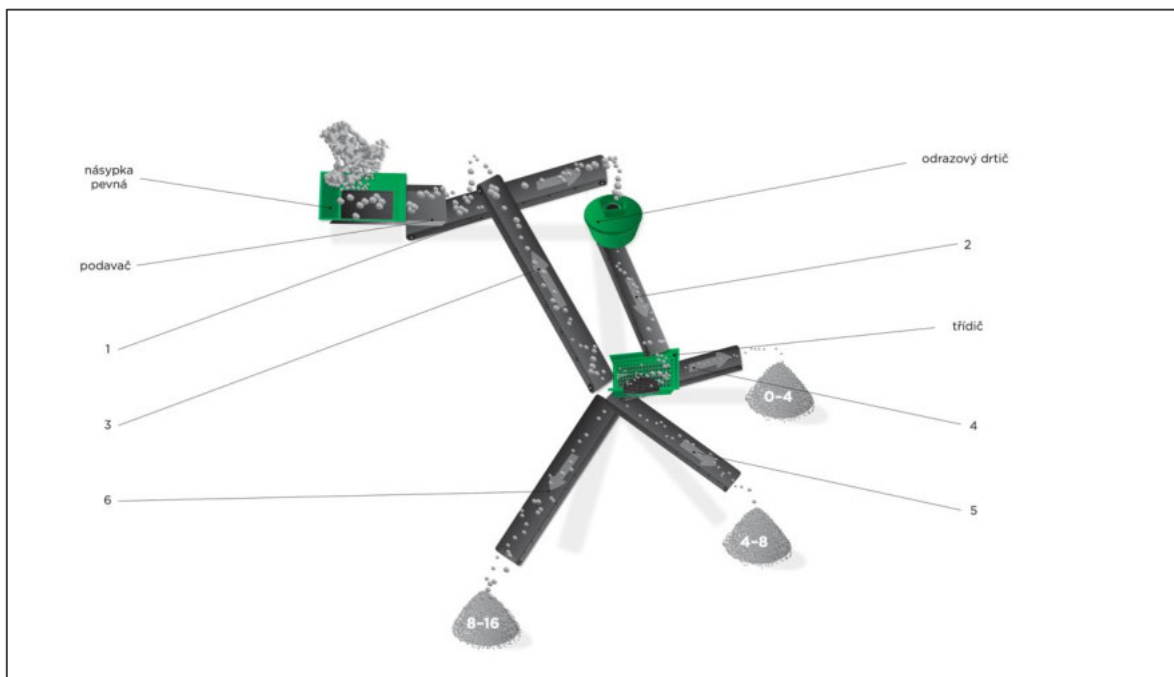
4. Podmínky výroby náročných betonů z druhotných surovin

Jednou z nejdůležitějších podmínek reprodukovatelné výroby betonů vysoké kvality je propracovaný systém recyklace vysokopecní vzduchem chlazené strusky a její přeměnu na kvalitní umělé kamenivo vhodné výrobu betonu. V provozu Destro probíhá tento proces na dvou na sebe navazujících výrobních linkách osazených třemi různými typy drtičů, magnetickými separátory a několika třídíči.

Obr. 3 Schéma výrobní linky na výrobu struskového kameniva pro pozemní komunikace



Obr. 4 Schéma navazující výrobní linky na kamenivo do betonu



7. Závěr

Podrobné poznání recyklovaných materiálů a druhotných surovin je základním předpokladem pro úspěšné využití všech jejich vlastností a možných interakcí s ostatními složkami v betonu. Některé vlastnosti umělého kameniva pocházejícího z recyklace, kterými se liší od kameniva přírodního, se při prvním pohledu mohou jevit jako diskriminační. Vhodnou celkovou skladbou betonu je možno tyto vlastnosti využít a přeměnit ve výhodu, která ve výsledku zvyšuje kvalitu vyráběného betonu. Příkladem je vysoká nasákavost umělého kameniva, která na druhé straně působí jako tzv. vnitřní ošetřování betonu, kdy je voda vysychající z cementového tmelu na povrchu betonu nahrazována vodou nasáklou v kamenivu a pozitivně ovlivňuje náklonnost betonu ke tvorbě trhlin [10]. Podobně velmi ostré hrany zrn kameniva zvyšují tixotropní chování betonu, podporují rychlejší stabilizaci a tuhnutí tekutého betonu po uložení do konstrukce, čímž přispívají k výraznému zkrácení doby, za kterou je povrch betonu pochůzný nebo je možno odstranit bednění.

V betonech prezentovaných v tomto příspěvku dosahuje podíl recyklovaných materiálů a druhotných surovin hodnot od 34 % hm. (C 30/37 XF4) [4] až 78 % hm. (C 25/30 XF3 pro prefabrikaci)[5] a zároveň tyto betony splňují nejvyšší nároky na odolnost prostředí vyžadované českými technickými normami i zvláštními předpisy pro použití v konstrukcích pozemních komunikací.

Betony vyráběné a dodávané betonárnou DESTRObeton od roku 2017 jsou dobrým příkladem výrobků s vysokým pozitivním příspěvkem k udržitelnému rozvoji, které na našem stavebním trhu plně konkurují klasickým výrobkům z primárních surovin. Neustále stoupající výroba betonu dohánějící zvyšující se poptávku po betonech z naší betonárny potvrzuje, že cesta vysoké profesionality výroby se sortimentem kvalitních výrobků zaměřených na skutečné potřeby odběratelů je jediná správná.

Důraz kladený na environmentální benefity výrobků z druhotných surovin, který je pozitivně přijímán subjekty převážně z nevýrobní sféry, se podle našich dosavadních zkušeností jeví v konkurenčním prostředí našeho stavebního trhu stále jako nevýhoda a při prezentaci našich výrobků tuto skutečnost neuvádíme.

8. Literatura

- [1] ČSN EN 13242+A1 Kamenivo pro nestmelené a stmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace, ČNI, 2008
- [2] ČSN EN 13285 Nestmelené směsi – Specifikace, ÚNMZ, 2014
- [3] Rucki R, „Výroba betonu z recyklovaného struskového kameniva Destro „ Sborník konference Recycling 2017, ARSM, 2017
- [4] Průkazní zkoušky typového betonu, Beton ČSN EN 206+A1, ČSN P 73 2404, ÚSZ Pardubice 12/2018
- [5] Průkazní zkoušky typového betonu, Beton ČSN EN 206, ČSN P 73 2404:2016, ÚSZ Pardubice 4/2017
- [6] ČSN EN 12620+A1 Kamenivo do betonu, ČNI 2008
- [7] ČSN EN 206+A1:2018 Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda, ČAS 2018

[8] ČSN P 73 2404 Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda - Doplňující informace, ÚTNMSZ 2016

[9] Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací, Kapitola 18 Betonové konstrukce a mosty, Ministerstvo dopravy ČR, Odbor pozemních komunikací, 2016

[10] Dayalan J, Buellah. M, „Internal Curing of Concrete Using Prewetted Light Weight Aggregates“, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 3, Issue 3, March 2014

NAVRHOVÁNÍ ÚPRAV A DEMOLIC STAVEB VČETNĚ JEJICH DEKONSTRUKCE

PROJECT DESIGN AND DEMOLIC CONSTRUCTION INCLUDING THEIR DEVICES

Ing. Ladislav Bukovský

Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě
lbukovsky@ckait.cz

Abstract

Utilization of building waste at present. Regulation of construction products limits reuse possibilities disassembled materials. Possibilities of reuse of dismantled parts of buildings. Utilization of wastes in transport and engineering structures. Waste utilization in masonry buildings. The need to create legislative conditions for reuse of dismantled parts of buildings.

1. Úvod

Při výstavbě, údržbě staveb a úpravách staveb vznikají odpady – odpady velmi různého druhu. Snažíme se odpady omezovat a pokud možno ekonomicky využít. Dlouhodobě se využívají následující odpady:

- Kovy
- Beton a železobeton
- asfaltobetony
- zdivo

Vzniká mnoho různých druhů odpadů, některé jsou kontaminované a velmi obtížně vytříditelné či existují obvykle pouze v malém množství a jejich využití je neekonomické.

Cílem je co největší využití všech odpadů.

2. Právní regulace související s využitím odpadů a druhotným využitím výrobků

Právní regulace staveb vychází zejména z požadavků zákona č. 183/2006 Sb. Stavební zákon a prováděcích vyhlášek. Dále platí i další zákony, ale z hlediska naplnění je trochu problém, že neexistuje úplná kompatibilita, zejména však z hlediska terminologie.

Stavby jsou regulovány základními požadavky na stavby, které jsou uvedeny v příloze 1 nařízení EP a Rady (EU) č.305/2011, kde v příloze 1 jsou uvedeny základní požadavky. Poslední, sedmý požadavek zní:

„7. Udržitelné využívání přírodních zdrojů

Stavba musí být navržena, provedena a zbourána takovým způsobem, aby bylo zajištěno udržitelné využití přírodních zdrojů a zejména:

- a) *opětovné využití nebo recyklovatelnost staveb, použitých materiálů a částí po zbourání;*
- b) *životnost staveb;*

c) použití surovin a druhotných materiálů šetrných k životnímu prostředí při stavbě.“

Odpady, vznikající při uskutečňování, údržbě, rekonstrukcích a odstraňování staveb, nazývané v souladu s názvem podskupiny odpadů v Katalogu odpadů jako „stavební a demoliční odpady“, mohou být při vhodném řízení jejich vzniku a stanoveném nakládání s nimi významným zdrojem úspor primárních surovin.

Ministerstvo životního prostředí v srpnu 2018 vydalo Metodický návod odboru odpadů pro řízení vzniku stavebních a demoličních odpadů a pro nakládání s nimi. Návod je určen Pro přípravu dokumentace, hodnocení vlastností odpadů atd. Tento návod však z části nekoresponduje z běžným postupem přípravy staveb, resp. projektové dokumentace a ani s právními požadavky na dokumentaci staveb, jedná se o doporučení, s jehož praktickým užitím jsem se ještě nesešel ani u veřejných zakázek.

Požadavek „udržitelné využívání přírodních zdrojů“, který řeší opětovné využití demontovaných výrobků nebyl dosud jako požadavek na stavby zaveden do právního řádu ČR, ale předpokládáme, že v rámci rekonstrukce stavebního práva dojde k jeho začlenění do právních požadavků na stavby.

3. Možnosti přímého využití odpadů a druhotného využití výrobků ve stavbách

Z hlediska možnosti přímého využití stavebních odpadů či druhotného využití výrobků ve stavbách je významným omezujícím požadavkem § 156 stavebního zákona, který reguluje použití výrobků. Výrobky pro stavbu, které mají rozhodující význam pro výslednou kvalitu stavby a představují zvýšenou míru ohrožení oprávněných zájmů, jsou stanoveny a posuzovány podle zvláštních právních předpisů. Z toho vyplývá, že nelze opakovaně použít některé starší výrobky, pokud nebyla ověřena stálost jejich vlastností.

4. Jaká je praxe s využitím odpadů ve stavebnictví

Praxe s využitím odpadů je různá podle typů staveb. U staveb dopravních a inženýrských, které jsou z hlediska objemu velké, je využití odpadů pro další využití běžné a obvyklé.

V pozemních stavbách je nutno rozlišovat mezi stavbami velkými a malými:

- Velké stavební firmy v případě velkých zakázek obvykle zajišťují třídění a zpracování odpadů specializovanými subdodavateli.
- V případě malých staveb je obvykle problém v ploše zařízení staveniště a proto je přímé třídění odpadů na stavbě problematické a využití značně omezené až nemožné.

Vyhláška 499/2006 Sb. o dokumentaci staveb neuvádí v obsahu dokumentací staveb podmínky pro demontáže staveb či konstrukcí ani požadavky pro průzkumy staveb pro tuto činnost.

Zájem stavebníků a stavebních podnikatelů o využití odpadů závisí na ekonomičnosti výsledku.

5. Navrhování úprav a demolic staveb

V současné době jsou bourací práce regulovány z hlediska zákona č. 183/2006 Sb. pouze částečně. Stavebník nemusí ohlásit bourací práce na stavby uvedené v § 103, to neplatí pro stavby, ve kterých je obsažen azbest.

Stavební úřad může též nařídit odstranění stavby dle § 129 zákona, pokud tato svým závadným stavem ohrožuje život nebo zdraví osob nebo zvířat, bezpečnost, životní prostředí anebo majetek třetích osob, a její vlastník přes rozhodnutí stavebního úřadu ve stanovené lhůtě neodstranil závadný stav stavby. V takovém případě je možnost demontáže velmi omezena, neboť se jedná obvykle o havarijní stavby.

Bourání může být součástí výstavby úpravy stavby nebo přístavby a pak je návrh bourání součástí projektové dokumentace, kterou musí zpracovávat osoba autorizovaná dle zákona č. 360/1992 Sb.

Pokud je bourání řešeno samostatně, pak dokumentace bouracích prací není projektovou dokumentací a takovou dokumentaci nemusí zpracovat autorizovaná a kvalifikovaná osoba.

6. Jaké jaká je budoucnost využití demontovaných částí staveb?

Přímé využití demontovaných výrobků ve stavebách považuji za problematické z následujících důvodů:

- a) U staršího již použitého výrobku nelze deklarovat trvanlivost vlastností po dobu obvyklé návrhové životnosti
- b) Zjištění, jaké vlastnosti demontované výrobky splňují je velmi ekonomicky náročné a při omezeném množství materiálů i neefektivní
- c) Z nařízení EP a Rady (EU) č.305/2011 i z požadavku § 156 zákona č. 183/2006 vyplývá, že do stavby lze zabudovat pouze takové výrobky, jejichž vlastnosti z hlediska způsobilosti stavby pro navržený účel zaručují, že stavba při správném provedení a běžné údržbě po dobu předpokládané existence splní základní požadavky na stavby

Použití demontovaných materiálů či surovin k dalšímu zpracování a výrobě považuji za perspektivní s tím, že budou vyrobeny nové výrobky, kde výrobce zaručí jejich trvanlivost a stálost deklarovaných vlastností. Pokud stát takové postupy doporučuje měl by je též podpořit skutečně, tedy zajistit nejméně v blízkosti velkých měst možnost třídění demontovaných částí staveb.

7. Závěr

Pro zvětšení využitelnosti materiálu z bouraných staveb je nutno vytvořit podmínky a to od návrhu bourání – demontáže staveb a úprav staveb až po vlastní realizaci a následné využití odpadů.

Pro zvýšení možnosti lepšího využití demontovaných částí staveb je nutno připravit legislativní podmínky, zejména návrh zákona o stavebních výrobcích i budoucí stavební zákon.

8. Literatura

- [1] Zákon č. 360/1992 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)
- [2] Zákon 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)
- [3] NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) č. 305/2011 ze dne 9. března 2011, kterým se stanoví harmonizované podmínky pro uvádění stavebních výrobků na trh a kterým se zrušuje směrnice Rady 89/106/EHS
- [4] Protokol EU o nakládání se stavebními a demoličními odpady září 2016 Č. Ares (2016) 5840668 - 101016
- [5] Metodický návod odboru odpadů pro řízení vzniku stavebních a demoličních odpadů a pro nakládání s nimi MŽP Praha 2018

KATALOG VÝROBKŮ A MATERIÁLŮ S OBSAHEM DRUHOTNÝCH SUROVIN PRO POUŽITÍ VE STAVEBNICTVÍ

THE CATALOGUE OF CONSTRUCTION PRODUCTS AND SECONDARY RAW MATERIALS FROM CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE

Jméno autora: Ing. Jan Pešta, Ing. Tereza Pavlů, Ph.D.

Organizace: Univerzitní centrum energeticky efektivních budov ČVUT v Praze,
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze (jan.pesta@cvut.cz,
tereza.pavlu@cvut.cz)

Abstract

The main object of this contribution is to describe the Catalogue of construction products and materials. The purpose of this handbook is to give information about the utilization of secondary raw materials to contracting authorities, architects, civil engineers and construction companies. The Catalogue is published in two versions: printed and online (available from recyklujmestavby.cz).

1. Úvod

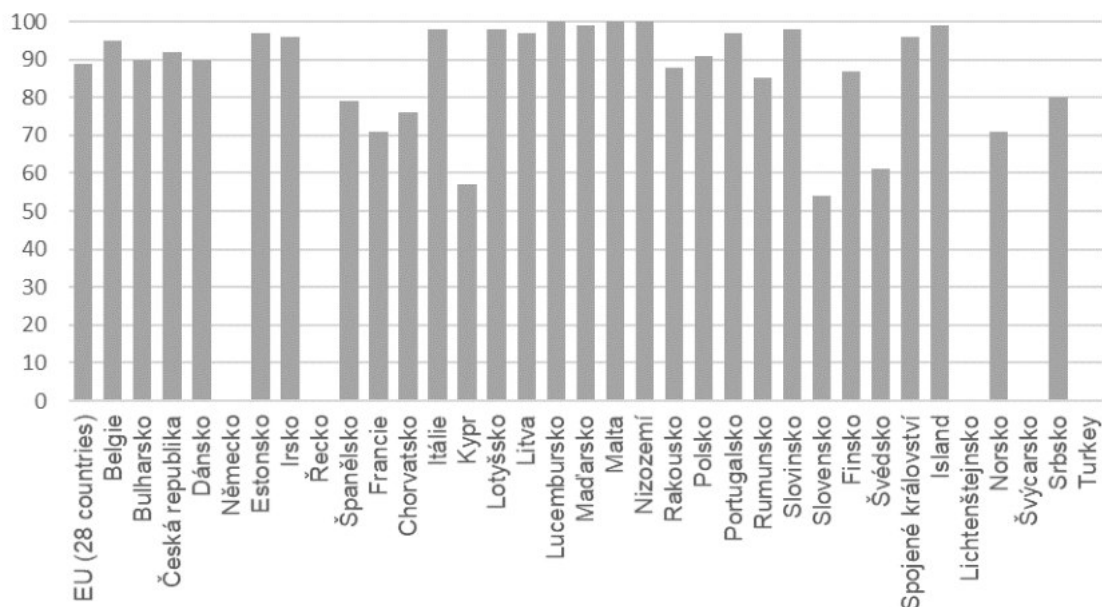
Každoročně stavební a demoliční odpad (SDO) tvoří třetinu všeho vyprodukovaného odpadu v České republice. Jedná se o materiálový tok o velikosti přibližně 8 mil. tun. A zároveň je ročně v Čechách vytěženo přibližně 60 mil. tun stavebních surovin [1]. Meziročně se vývoj těchto toků odvíjí od vývoje stavební výroby. A proto právě oblast stavebnictví nabízí vhodnou příležitost, jak snížit dopady na životní prostředí vzniklé těžbou surovin a produkcí SDO. Ta příležitost spočívá ve zvýšení využití druhotných surovin ve stavebnictví.

Na tuto výzvu každá členská země Evropské Unie reaguje jinak. To dokládá i odlišná míra recyklace SDO, jak ukazuje Obrázek 1. Dosažená míra recyklace souvisí totiž předně s dostupností, a tedy i cenou primární suroviny. Je-li primární surovina těžko dostupná a její cena vysoká, pak existuje motivace vytvořit efektivní systém třídění a recyklace.

V reakci na snahu přeměnit nakládání s odpady na udržitelné nakládání s materiály byla vydána směrnice Evropského Parlamentu a Rady (EU) 2018/851 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 2008/98/ES o odpadech. V té je mimo jiné uvedena povinnost členských zemí přijmout opatření, jež zajistí zavedení systémů třídění stavebního demoličního odpadu přinejmenším pro dřevo, minerální složky (beton, cihly, dlaždice a keramiku, kameny), kov, sklo, plasty a sádku.

Samotné třídění ale nestačí. Pro snížení environmentálních dopadů je nutné tyto materiály a výrobky s obsahem druhotných surovin začít znovu využívat ve stavebnictví.

S cílem podpořit využívání druhotných surovin vznikl Katalog materiálů a výrobků s obsahem druhotných surovin pro použití ve stavebnictví. Katalog poskytuje přehled materiálů, které lze získat při správné dekonstrukci budovy. Dále podává informaci o výrobcích s obsahem druhotných surovin, které lze ve stavebnictví využít a popisuje i postup certifikace, která je nutná pro uvedení těchto výrobků na trh. Popisuje legislativní rámec celé oblasti nakládání s odpady ve stavebnictví a jsou v něm uvedeny příklady dobré praxe úspěšného využití druhotných surovin.



Obrázek 1 Míra recyklace stavebního a demoličního odpadu v zemích EU [%] [2]

2. Metoda

Katalog vznikl za podpory Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky a ve spolupráci s Českou agenturou pro standardizaci. Nejprve byly na kulatých stolech se zástupci odborné veřejnosti diskutovány překážky ve využívání recyklovaných materiálů a výrobků ve stavebnictví. Z diskuzí vyplynulo několik hlavních výzev spojených s využíváním druhotných surovin ve stavebnictví. Katalog reaguje na následující diskutované výzvy:

- nízká důležitost tématu ve veřejném prostoru,
- malé povědomí o tom, jaké materiály lze ze stavebního a demoličního odpadu získat,
- nedůvěra veřejnosti ke kvalitě výrobků s obsahem druhotných surovin,
- nepřehlednost postupu certifikace výrobků
- často nevyhovující postup demolice budov,
- nízká informovanost mezi zadavateli veřejných zakázek,

Mezi další diskutované překážky při přechodu na cirkulární stavebnictví patří například nízký poplatek za skládkování odpadu a nízké poplatky z těžby primárních surovin. Výsledkem těchto nízkých poplatků je, že cena přírodních surovin – drceného kamene, písků a šterkopísků – je v mnoha případech nižší než u recyklátů, jak je například zmiňováno v Surovinové politice ČR [3].

Katalog by měl být manuálem pro ty, kteří se v praxi potýkají se zmíněnými překážkami. Tištěná verze Katalogu obsahuje informace potřebné pro všechny zadavatele veřejných zakázek, architekty, projektanty i stavební firmy, kteří ve svých projektech chtějí využít materiálový potenciál svých staveb tím, že budou efektivně nakládat s druhotnými surovinami. Tato verze Katalogu je členěna na pět hlavních částí a to: přehled základních pojmů; přehled materiálů ze stavebního a demoličního odpadu s potenciálem využití ve

stavebnictví; přehled stavebních výrobků obsahujících druhotné suroviny; přehled evropských a národních předpisů o nakládání s odpady doplněný o odpovědi na otázky často řešené v praxi; postupy certifikace, zkušební postupy a normy obsahující informaci o zavádění těchto výrobků na trh.

Jako doplněk k tištěné verzi vznikla také online verze dostupná na webu recyklujmestavby.cz. Ta na rozdíl od tištěné verze obsahuje aktuální databázi konkrétních výrobků s obsahem druhotných surovin. Tato databáze je zcela otevřená, jak pro nahlížení, tak i pro vkládání nových výrobků a předpokládá se její postupné doplňování na základě rozšiřování trhu s těmito výrobky a materiály. Na webu je také uveden přehled organizací a firem, které se zabývají recyklací ve stavebnictví.

Připravuje se také vydání technické normalizační informace (TNI 72 0201), která poskytne podrobný popis postupů souvisejících s využíváním recyklovaných materiálů ve stavebnictví. Součástí tohoto TNI je přehled předpisů a norem souvisejících s certifikací výrobků s obsahem recyklovaných materiálů.

3. Řešené otázky

Katalog, jako manuál pro širokou veřejnost, shrnuje odpovědi na v praxi řešené otázky. Odpovědi na ně poskytují návod, jak se vypořádat s výzvami, které jsou spojené s využíváním druhotných surovin ve stavebnictví.

Proč využívat stavební a demoliční odpad?

Nerostné suroviny pro stavebnictví jsou neobnovitelným zdrojem. Takovou surovinou, u které se začíná diskutovat riziko nedostatku, je například písek. Zatím v České republice není problém s jeho dostupností. Nicméně do budoucna může nastat problém s jeho úrovní kvality. Přesto je písek a další primární suroviny nadále využíván v místech, kde by bylo možné využít stavební recyklát.

Využití stavebního recyklátu není limitováno technologickým postupem jako spíše poptávkou veřejnosti po něm. V současné době vzniká recyklovaný stavební materiál jen v množství, které odpovídá 15% podílu těžby přírodního stavebního kamene [3].

Podobně, jako je tomu i u jiných zdrojů primárních surovin, by měla být šířena osvěta o tom, že využívání stavebního a demoličního odpadu má řadu výhod. Předchází se tím nutnosti skládkování, plně se využívá materiálový potenciál výrobků, šetří se zdroje nerostných surovin a šetří se i energie na získávání těchto primárních surovin.

Budova totiž nemusí být jen zdrojem odpadu, ale můžeme si ji představit jako banku druhotných surovin. Tyto suroviny můžeme využít, a to ještě i s tím benefitem, že snižujeme zátěž životního prostředí. Například se ukazuje, že těžba přírodního kameniva má větší dopad na Změnu klimatu než produkce srovnatelného množství recyklátu ze stavebního a demoličního odpadu [4].

Které suroviny lze získat při demolici a co lze recyklovat?

Představíme-li si budovu jako banku druhotných surovin, vyvstává otázka, jaké suroviny lze z demolované stavby získat. V Katalogu je uveden přehled těchto znovu použitelných materiálů, které je možné při selektivní demontáži stavby a následné kvalitní recyklaci, použít jako vstupní suroviny pro nové stavební výrobky a materiály.

Pro potřeby Katalogu jsou tyto materiály tříděny podle potenciálu jejich využití v pozemních, dopravních a vodohospodářských a nebo dalších stavbách a dále podle jejich využití v konstrukci. U každého z popsaných materiálů jsou uvedena rizika

spojená s recyklací, která jsou závislá na kvalitě demoličního procesu a zároveň na původu odpadního materiálu. Dále jsou pro jednotlivé materiály uvedeny hodnotící systémy, technické normy a právní dokumenty popisující podmínky, za kterých je možné výrobky uvádět na trh.

Tabulka 1 Přehled popsaných materiálů

S potenciálem využití v pozemních stavbách	
Cihly, zdící prvky, keramické obklady a sanitární keramika	Betony a betonové konstrukce
Sádkartonové desky	Dřevo a výrobky ze dřeva
Výplně stavebních otvorů	Tepelné a akustické izolace
S potenciálem využití v dopravních a vodohospodářských stavbách	
Betony z dopravních staveb	Zemina z dopravních staveb
Asfaltové směsi	Kamenivo z konstrukčních vrstev a dopravních staveb
S potenciálem využití v dalších odvětvích stavebnictví a ostatních odvětvích	
Konstrukční kovové stavební díly	Plastové stavební výrobky

Na webu recyklujmestavby.cz jsou uvedeny také konkrétní příklady takových materiálů.

Jak se ověřují vlastnosti recyklátu?

Pro výrobky s obsahem druhotných surovin platí stejné postupy ověření jejich vlastností jako pro výrobky z primárních surovin. Nicméně může být u nich stanoveno omezené využití druhotných surovin. Bez ohledu na to, jaké suroviny byly pro výrobek spotřebovány, ve stavbě mohou být použity jen takové stavební výrobky a materiály jejichž vlastnosti byly ověřeny a výrobci zaručují kvalitu výrobků prohlášením o shodě nebo prohlášením o vlastnostech. Zároveň s tím platí, že budovy při použití těchto výrobků, správném provedení a běžné údržbě splní základní požadavky na stavby.

Katalog shrnuje zkušební postupy, podle kterých se specifikují vlastnosti těchto výrobků a materiálů. Dále informuje o tom, jaká metodika se využije při certifikaci takových výrobků. Součástí toho je i přehled norem a technických předpisů, ve kterých jsou stanoveny požadavky na využití recyklovaných materiálů ve stavebnictví.

Postupy certifikace stavebních výrobků byly převzaty z podkladů uveřejněných na stránkách ÚNMZ a byly pro účel Katalogu upraveny ve spolupráci s Ing. Jozefem Pôbišem z úseku certifikace a osvědčování výrobků TZÚS Praha.

Které recyklované výrobky lze použít ve výstavbě?

Recyklovanými výrobky se rozumí výrobek s částečným obsahem recyklátu anebo výrobek, při jehož výrobě byly použity pouze druhotné suroviny. V katalogu jsou výrobky rozděleny podle uplatnění na stavební výrobky použitelné v pozemních stavbách a na stavební výrobky použitelné v dopravních a vodohospodářských stavbách.

U jednotlivých výrobků je popsáno, jak se dá při jejich výrobě využít druhotná surovina. Dále jsou uvedeny odkazy na legislativní předpisy a normové požadavky pro toto využití druhotných surovin. Přehled výrobků uvedených v tištěné verzi je v tabulce 2.

Tabulka 2 Přehled popsaných výrobků

Výrobky použitelné v pozemních stavbách	
Recyklované kamenivo	Kamenivo pro násypy a obsypy inženýrských sítí, do betonu, pro malty
Zdíci prvky s recyklovaným kamenivem	Betonové tvárnice s hutným nebo pórovitým kamenivem
Betony a betonové výrobky s recyklovaným kamenivem	Beton s recyklovaným kamenivem, betonové prefabrikáty s recyklovaným kamenivem
Povrch sportovišť	Antuka
Sádra a výrobky ze sádry	Sádrokartonové desky
Dřevo a výrobky ze dřeva	Desky na bázi dřeva
Tepelné a akustické izolace	Expandovaný polystyrén, skelná vata, kamenná vlna, minerální podhledy
Výplně stavebních otvorů	Okna s profily z PVC-U
Výrobky použitelné v dopravních a vodohospodářských stavbách	
Recyklované kamenivo	Kamenivo pro násypy a obsypy inženýrských sítí, pro vodní stavby, pro kolejové lože, pro nezpevněné a hydraulicky zpevněné směsi, pro asfaltové směsi a povrchové úpravy,
Betony a betonové výrobky s recyklovaným kamenivem	Beton s recyklovaným kamenivem, betonové prefabrikáty s recyklovaným kamenivem,
Asfaltové směsi	Recyklovaný materiál pro asfaltové směsi
Recyklovaná zemina	Zemina

V databázi na webu jsou ještě uvedeny konkrétní výrobky s obsahem recyklovaných materiálů použitelných v pozemních, dopravních i vodohospodářských stavbách. Výrobky uvedené na stránkách katalogu pocházejí od firem, které byly osloveny na základě dlouholeté spolupráce založené na vzájemné důvěře.

Jak zrecyklovat stavbu?

Odstranění staveb se řídí stavebním zákonem č. 183/2006 Sb. Nicméně chceme-li maximálně využít potenciál stavby jako banky druhotných surovin, měli bychom vědět jak postupovat. Proto v Katalogu uvádíme doporučený postup takzvané dekonstrukce.

Správný postup demolice objektů má následující fáze:

- Zmapování objektu – vytvoření postupu vyklízení, odstrojení a demolice objektu
- Vyklízení objektů od zařizovacích předmětů a komunálního odpadu

- Odstrojení objektu – roztřídění materiálů
- Předání objektu, který je připraven k demolici
- Strojní demolice– průběžné třídění materiálů

Během první fáze je potřeba pečlivě popsat situaci. Je vhodné provést rešerši a získat informace o místě. Informovat se o možném výskytu látek s nepříznivým dopadem na lidské zdraví a životní prostředí. Popsat materiály na stavbě a navrhnout způsoby jejich třídění a dalšího využití. Naplánovat jednotlivé kroky odstrojení a demolice objektu.

Součástí druhé a třetí fáze je vyklizení objektu od všech rušivých a škodlivých látek. Na konci třetí fáze zůstane jen hrubá stavba, bez složek a vybavení, které by mohly znečistit materiály získané po demolici.

Fáze předání objektu slouží ke kontrole vyklizení stavby. Je možné upřesnit jednotlivé kroky strojní demolice.

Poslední fází je strojní demolice, při které postupujeme od vnějších konstrukcí k těm vnitřním tak, aby nedocházelo k míšení jednotlivých materiálů. Materiály mohou být během bouracích pracích na místě dotříděny.

Výhodou tohoto postupu je, že nedochází k míšení rušivých a škodlivých látek s ostatními materiály. Místo nepoužitelného odpadu vznikají druhotné suroviny, které mohou být za určitých podmínek dále upotřebeny.

Na webu jsou zpracovány i rady, jak si vybírat firmu, která je schopna provést takovou dekonstrukci kvalitně a podle popsaného postupu. Principy dekonstrukce byty převzaty z rakouské normy ÖNORM B 3151 Demontáž staveb jako standardní metoda demolice.

Jak podpořit využití recyklátů ve veřejných zakázkách?

Použití materiálů a výrobků s obsahem druhotných surovin ve veřejných stavebních zakázkách je důležitým motivačním nástrojem, jak podpořit využívání stavebních recyklátů. Už ve fázi přípravy projektu mohou zadavatelé veřejných zakázek předepsat, jaké materiály a výrobky mají být pro výstavbu použity. Ale aby bylo možné zaručit, že se recyklované materiály do stavby dostanou, je žádoucí, aby byl tento požadavek vysloven co nejdříve. V takovém případě, kdy se tyto požadavky dostanou do obecných tendrových specifikací, lze veřejnou zakázku soutěžit na nejnižší cenu.

Takovým požadavkem při zadávání stavebních a demoličních projektů může být doplnění projektu:

- odhadem množství vytěžených materiálů,
- odhadem množství skládkovaného materiálu a identifikací potenciálně nebezpečných látek,
- odhadem hmotnostního podílu znovupoužitých anebo recyklovaných materiálů v místě stavby,
- odhadem hmotnostního podílu znovupoužitých anebo recyklovaných materiálů v mimo místo stavby,
- odhadem množství vytěžené ornice a strategie pro ochranu její kvality.

Na webu Katalogu je možné nalézt informace, jak specifikovat požadavky a přispět tak k využití druhotných surovin. Vedle toho jsou uvedeny i příklady dobré praxe, které mohou sloužit jako zdroj inspirace, jak se dá využít stavební a demoliční odpad a jak se dají uplatnit druhotné suroviny. I tyto příklady dobré praxe budou postupně doplňovány.

4. Závěr

Katalog materiálů a výrobků s obsahem druhotných surovin pro použití ve stavebnictví vznikl s cílem podpořit efektivní využívání druhotných surovin a zároveň snížit množství stavebního a demoličního odpadu.

V rámci diskuzí s odbornou veřejností byly definovány překážky při využívání stavebních recyklátů a Katalog by měl být návodem pro všechny architekty, projektanty, zadavatele veřejných zakázek i stavební firmy, jak tyto překážky v praxi překonat.

Kromě tištěné verze, vznikla i webová verze dostupná na doméně recyklujmestavby.cz. Informace v Katalogu se tak mohou udržovat i nadále aktuální a i databáze výrobků s obsahem druhotných surovin může být doplňována. Spolu s udržováním aktuálního webu se dále připravuje vydání Katalogu jako TNI 72 0201.

Poděkování

Na závěr bychom rádi poděkovali všem, bez jejichž podpory a spolupráce by tento Katalog nevznikl. Lidem, kteří s námi sdíleli své zkušenosti během kulatých stolů nebo v rámci připomínkového řízení. Děkujeme i Ministerstvu průmyslu a obchodu České republiky, které vytvoření této publikace iniciovalo a financovalo její přípravu skrze Českou agenturu pro standardizaci.

Tato práce vznikla za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I č. LO1605 a MPO TRIO FV10397 Recyklovaný environmentální beton pro stavební konstrukce.

5. Literatura

- [1] Zpráva o životním prostředí České republiky 2017 [online]. Praha: CENIA, česká informační agentura životního prostředí [cit. 2019-02-21]. ISBN 978-80-87770-67-2. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zpravy_o_stavu_zivotniho_prostredi_publikace/\\$FILE/OPZPUR-Zprava_ZP_CR_2017-20190116.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zpravy_o_stavu_zivotniho_prostredi_publikace/$FILE/OPZPUR-Zprava_ZP_CR_2017-20190116.pdf)
- [2] Recovery rate of construction and demolition waste. Eurostat [online]. [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=cei_wm040
- [3] Surovinová politika České republiky v oblasti nerostných surovin a jejich zdrojů [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, 2017 [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/stavebnictvi-a-suroviny/surovinova-politika/statni-surovinova-politika-nerostne-suroviny-v-cr/nova-surovinova-politika-v-oblasti-nerostnych-surovin-a-jejich-zdroju---mpo-2017--229820/>
- [4] PEŠTA, Jan. Posouzení životního cyklu. Praha, 2018. Diplomová práce. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Vedoucí práce Vladimír Kočí.

RECYKLOVANÉ STAVEBNÍ MATERIÁLY PRO STAVBY DOPRAVNÍ INFRASTRUKTURY

RECYCLED BUILDING MATERIALS FOR ROAD CONSTRUCTION INFRASTRUCTURE

doc. Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací,
Veveří 331/95, 60200 Brno, stehlik.d@fce.vutbr.cz

Abstract

In connection with the research projects with the use of concrete recycled materials to the base and subbase construction layers of roadways, the use of mixed recycled building materials in the subgrade of roads with lower transport load capacity is currently focused on special modifications concerning the drainage of the pavement of the roads and the strengthening of the locally unbearable subsoil of roads with fine soils replaced by composite waste building recycled materials in 0/32 and 0/63 mm sizes.

1. Úvod

Od začátku roku 2019 je řešen výzkumný projekt technologické agentury TAČR pod stejným názvem jako je název příspěvku s označením TH04030342. Tento tříletý výzkumný projekt se zaměřuje na rozšíření použitelnosti recyklovaných stavebních materiálů (RSM) v dopravních a inženýrských stavbách. Jedná se především o využití směsného stavebního recyklátu, používaného k úpravě a sanacím podloží vozovek pozemních komunikací. Uplatněním tohoto materiálu na základě výsledků výše zmíněného výzkumného projektu bude podpořen prodej kvalitních stavebních recyklátů a snížení ceny výkupu stavebně demoličních odpadů (SDO).

2. Metodika řešení výzkumného projektu

Vrstevnatý násyp ze směsného stavebního recyklátu

Využití RSM – směsných recyklátů do zemního tělesa bude cíleno na aplikaci vhodných recyklovaných směsí do ztužujících vrstev vrstevnatých násypů, do kterých se zpracovává objemově významné množství drceného nebo těžného kameniva, které je možné ušetřit technologií střídání ztužujících a poddajných technologických vrstev násypu z méně vhodných jemnozrnných zemin nebo vedlejších energetických produktů. Do ztužujících technologických vrstev násypu lze použít nestmelené směsi ze směsných recyklátů klasifikované podle geotechnických požadavků jako štěrk s příměsí jemnozrnné zeminy (G-F). Výstupem projektu je provedení zkušebního úseku s návrhem vrstevnatého násypu navrženého z výše uvedených technologických vrstev. Do ztužujících vrstev vrstevnatého násypu bude použit směsný stavební recyklát ve frakci 0/63 mm.

Ztužující a drenážní žebra ze směsných recyklátů a vhodného pojiva

V tomto případě bude využití směsných recyklátů zaměřeno na návrh a posouzení úpravy lokálně nevhodného podloží vozovky pomocí ztužujících žeber vedoucích šikmo přes aktivní zónu vozovky. Tyto žebra (rýhy), které mohou mít proměnlivé parametry, budou vyplněny směsným stavebním recyklátem frakce 0/32 nebo 0/63, alternativně 32/63 mm. Uvažuje se o dvou typech vyplněných ztužujících žeber: první typ – drenážní s nezhutněnou výplní frakce 32/63 mm; druhý typ – ztužující se

zhutněnou výplní na maximální objemovou hmotnost s příměsí hydraulického pojiva. Druhý typ je alternativou k běžně prováděnému zlepšení pojivem v aktivní zóně s nevhodnou zemínou, který bude používán v lokálních místech úprav a intravilánových (místních) komunikací.

Těsnicí vrstva zásypů stavebních rýh

Velkým problémem při opravách a sanacích inženýrských sítí v místních komunikacích je zpětné nekvalitní dohutnění zásypových materiálů stavebních rýh a následné sedání zásypového materiálu s vytvořením trhlin a plošných deformací obrusné vrstvy vozovky. Tyto poruchy jsou zapříčiněny především nevhodným hutněním zásypových materiálů. Dalším cílem výzkumného projektu je návrh a posouzení směsi z RSM vhodné pro aplikaci na uzavření stavebních rýh a výkopů na úrovni zemní pláň a spodní podkladní vrstvy vozovky. Vytvoření této těsnicí recyklované vrstvy frakce 0/32 bude chránit spodní část zásypu rýhy s vedením před nadměrnou saturací povrchovou vodou.

Systém hospodaření s recyklovanými materiály – katalog výrobce

Předmětem tohoto výstupu výzkumného projektu je optimalizace systému hospodaření s recyklovaným stavebním materiálem používaným do technologických a konstrukčních vrstev vozovek pozemních komunikací. V době řešení výzkumného projektu bude sledován typ RSM podle kvality a použití do vozovky pozemní komunikace. Na základě logistiky běžně fungující recyklační linky bude navržen optimální stav obsazenosti a vytížení recyklační výroby s hlavním výstupem – katalogem nejčastěji se vyskytujících RSM pro použití v dopravní infrastruktuře.

Závěr výzkumného projektu bude podpořen aktivitou optimalizace a aktualizace stávajících předpisů používaných při návrhu, posouzení a kontrole recyklovaných stavebních materiálů, recyklovaných směsí a stavebních konstrukcí v ČR. Návrh aktualizací se bude týkat především technických podmínek Ministerstva dopravy ČR – TP 210, TP 146, TP 170 a dále některých dotčených technických kvalitativních podmínek, např. TKP 30.

3. Technické provedení

Výše uvedené navrhované ověřené technologie budou aplikovány především na průzkumném zkušebním polygonu – jednoruhová účelová pozemní komunikace s výhybnami napojená ze stávající účelové komunikace č. 4822 v Brně Černovicích. Nově budovaná komunikace je vnitropodnikovou účelovou komunikací firmy DUFONEV R.C., a.s. sloužící dopravě SDO na recyklační deponii z východní strany. Celková délka průzkumného zkušebního polygonu je 0,490 km. Většina trasy vede po stávajícím terénu s podložím nevhodným pro provedení vozovky bez zlepšení. Tato primární část bude využita na ověření různých typů drenážních a ztužujících žeber (viz. předchozí kapitoly). Sekundární část – výjezdní rampa k recyklační deponii je situována na násypu výšky 2 m v délce přibližně 50 m. Zde bude proveden vrstvevnatý násyp se střídáním ztužující a poddajné vrstvy z recyklovaných stavebních materiálů.

Konstrukce vozovky jednoruhové komunikace bude ve dvou variantách v závislosti na úpravách podloží vozovky směsným recyklátem:

První varianta – vozovka s nestmeleným krytem:

Štěrkodrt' ŠD 0/32 mm, tl. 200 mm, ČSN 73 6126-1

Vibrovaný štěrk VŠ 32/63 mm, tl. 200 mm (vyrovnávací vrstva) ČSN 73 6126-2

Podloží PIII – F6 CI (jíl se střední plasticitou) – mechanicky upravené ztužujícími žebry

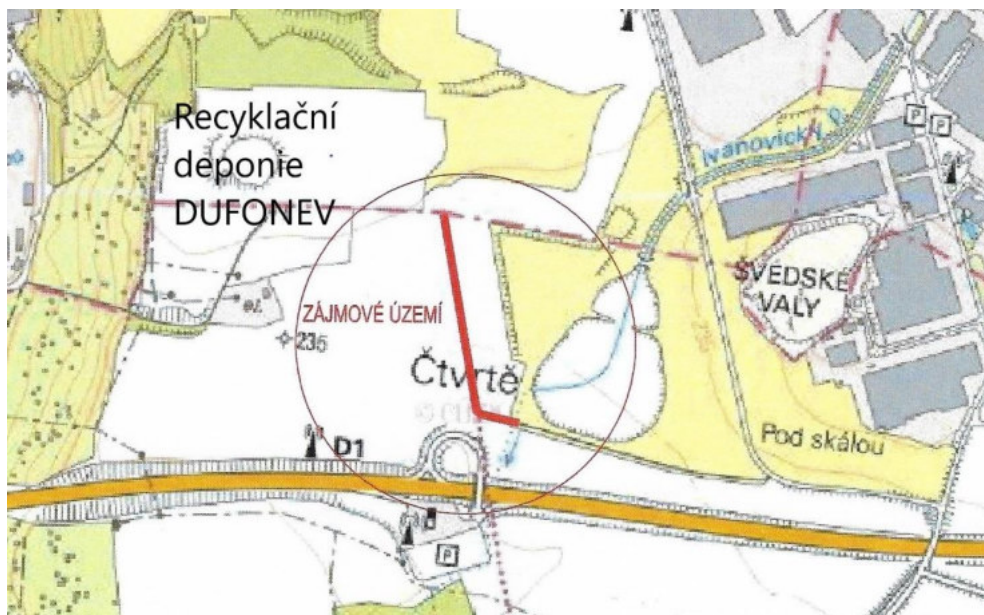
Druhá varianta – vozovka s asfaltovým recyklátem:

Asfaltový recyklát (Ra) Ra 0/11 mm, tl. 50 mm, TP 210

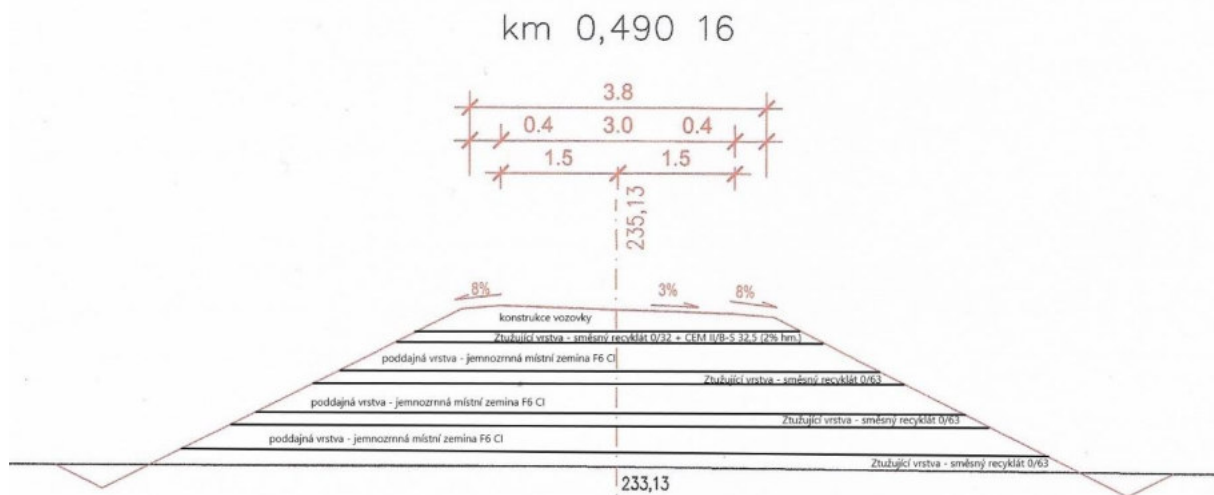
Štěrkodrt' ŠD 0/32 mm, tl. 200 mm, ČSN 73 6126-1

Vibrovaný štěrč VŠ 32/63 mm, tl. 200 mm (vyrovnávací vrstva) ČSN 73 6126-2

Podloží PIII – F6 CI (jíl se střední plasticitou) – mechanicky upravené ztužujícími žebry



Obrázek 1 Širší situace napojení průzkumného zkušební polygonu DUFONEV



Obrázek 2 Charakteristický příčný řez navrhovaným vrstevnatým násypem se směsným recyklátem 0/63 a 0/32 mm

4. Závěr

Řešený projekt využití směsných recyklátů ve frakcích 0/32 a 0/63 mm směřuje k širšímu využití tohoto recyklovaného stavebního materiálu do podloží vozovek pozemních komunikací. Uplatněním dosaženého cíle výzkumného projektu bude podpořen především odbyt, prodej kvalitních stavebních recyklátů s vyšší přidanou hodnotou a snížení výkupní ceny stavebně demoličního odpadu (SDO). Tím, že navržené technologie využití RSM v projektu jsou přímo aplikovány ve zkušebním polygonu a průběžně sledovány kontrolními zkouškami použitých materiálů a směsí, je možné na základě výsledků měření navrhnout bezprostředně po otevření zkušebního polygonu případné změny platných předpisů při očekávaných revizích zejména TP 210 a TP 170. Očekávané je zejména trvalé zakotvení použití RSM jako stavebního materiálu směsí pro spodní podkaldní vrstvy vozovek a podloží vozovek pozemních komunikací.

5. Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory výzkumného projektu Technologické agentury ČR s názvem TH04030342 Recyklované stavební materiály pro stavby dopravní infrastruktury.

6. Literatura

- [1] TP 210 Užití recyklovaných stavebních demoličních materiálů do PK, technické podmínky Ministerstva dopravy ČR, 1.1.2011, VUT, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací, Brno
- [2] TP 146 Povolování a provádění výkopů a zásypů rýh pro inženýrské sítě ve vozovkách PK, technické podmínky Ministerstva dopravy ČR, 1.12.2011, ČVUT, Fakulta stavební, Katedra silničních staveb, Praha
- [3] TP 170 dodatek č.1 Navrhování vozovek pozemních komunikací – všeobecná část, katalog, návrhová metoda, technické podmínky Ministerstva dopravy ČR, 1.9.2010, VUT, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací, Brno
- [4] TKP 30 Speciální zemní konstrukce, technické kvalitativní podmínky Ministerstva dopravy ČR, 1.1.2010, Arcadis Praha
- [5] ČSN 73 6126-1 Stavba vozovek – Nestmelené vrstvy – Část 1: Provádění a kontrola shody
- [6] ČSN 73 6126-2 Stavba vozovek – Nestmelené vrstvy – Část 2: Vrstva z vibrovaného štěrku

ZKUŠEBNÍ ÚSEK S ASFALTOVÝMI VRSTVAMI S VYSOKÝM PODÍLEM R-MATERIÁLU A PRODLOUŽENOU DOVOZNÍ VZDÁLENOSTÍ

TRIAL SECTION WITH ASPHALT LAYERS CONTAINING ELEVATED CONTENT OF RECLAIMED ASPHALT AND ALLOWING PROLONGED TRANSPORT DISTANCE

Ing. Jan Valentin, Ph.D., Ing. Pavla Vacková, Ing. Majda Belhadj

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, pavla.vackova.1@fsv.cvut.cz

Abstract

One of the biggest current socioeconomic topics is sustainable development which directly impacts all activities in civil engineering as well. The mankind on one hand consumes large quantities of non-renewable resources and on the other hand produces enormous amount of waste and greenhouse gas emissions. This applies to road structures in same extent as to any other built structure. On top of that it is important to stress that transport structures because of their size and spread are one of the largest heaps of natural aggregates. This includes asphalt pavements as well which forms minimum 80 % of all paved roads and motorways worldwide. Combining effects of elevated content of reclaimed asphalt (RA) and warm mix technologies seems as an interesting option which can be utilized in asphalt pavements. The paper covers the results of selected mechanical and performance characteristics of 6 different variants of warm mix asphalt of AC_{surf} type containing 50 % RA. Additives based on organo-silanes and different types of synthetic waxes (FT paraffin, amide wax, PE wax) have been used. Additionally foamed bitumen technology was applied as well. The performance of the asphalt mixtures was assessed by term of volumetric properties, stiffness, resistance to crack propagation and others. The key findings will be presented by the paper.

1. Úvod

V posledních letech je trvale udržitelný rozvoj tématem, které je skloňováno napříč všemi ekonomickými odvětvími, stavitelství nevyjímaje. V stavitelství, podobně jako i v dalších odvětvích, je jedním z největších hrozeb množství produkovaného odpadu a zvyšování produkce emisí. Jedním z důležitých trendů vyspělých zemí je oba tyto negativní dopady snížit na co nejpříjemnější minimum. Evropská Unie si dala za cíl omezit do roku 2050 emise o 80–95 % z úrovně roku 1990. Analýza Evropské komise ukazuje, že zatímco výraznější snížení může být dosaženo v dalších sektorech ekonomiky, snížení o alespoň 60 % skleníkových plynů do roku 2050 s ohledem na rok 1990 je požadováno od sektoru dopravy, který je významným a stále rostoucím zdrojem skleníkových plynů. Do roku 2030 je cílem pro dopravu redukovat emise skleníkových plynů o přibližně 20 % oproti roku 2008. [1]

Současně s tím je v důsledku nárůstu objemu dopravy a často extrémních klimatických podmínek zapotřebí rozvoje nových technologií a materiálů, aby se zajistila trvale udržitelná, ekologická a finančně efektivní silniční síť. Technologie nízkoteplotních směsí se jeví jako slibné řešení z hlediska trvalé udržitelnosti. Tradiční asfaltové směsi, které tvoří v ČR i v řadě dalších evropských zemí cca 80-90 % všech

konstrukcí krytů vozovek pozemních komunikací, se vyrábějí a zpracovávají v závislosti na použitém asfaltovém pojivu při teplotách v rozmezí 150-180 °C. Právě vyšší teploty při zpracování a pokládce asfaltových směsí mají negativní vliv na životní prostředí a na pracovníky, kteří s těmito materiály přichází téměř denně do styku. Z těchto a dalších důvodů se řada výzkumných expertů a stavebních firem zabývá návrhem a testováním alternativních technologií/postupů, které cílí na snížení produkce skleníkových plynů, při snaze současně zachovat vlastnosti produkovaných asfaltových směsí, případně v ideálním stavu je dokonce vylepšit.

Dalším krokem trvalého rozvoje je snížení množství produkce odpadu ze silničního stavitelství. Alespoň částečné využití R-materiálu se v České republice již před několika lety stalo standardem, avšak množství znovu použitého R-materiálu do nových asfaltových směsí nadále v průměru nedosahuje ani 20 % hmotnosti celkové asfaltové směsi. Dle [2] bylo v roce 2017 vyfrézováno téměř 1,1 mil. tun asfaltových vrstev, ale pouze 222 tisíc tun takto získaného materiálu bylo znovu použito při výrobě asfaltových směsí na obalovně. To znamená, že 80 % vyfrézovaného materiálu bylo uloženo na skládky nebo v lepším případě alespoň použito do podkladních vrstev vozovek nebo pro různé formy zásypů a obsypů či jako materiál pro nezpevněné krajnice. Znovuvyužití recyklovaného materiálu a tím snížení využití neobnovitelných zdrojů je tedy v České republice využíváno v omezené míře. Nelze si přitom nic namlouvat, že by se tímto stavem tato země významně odlišovala od řady dalších regionů v Evropě. Minimálně ve střední a východní Evropě tomu, bohužel, určitě takto není.

Tento příspěvek shrnuje výsledky aplikačně orientovaného výzkumu zahrnujícího kombinaci výše uvedených technologií, tedy snížení teploty výroby a pokládky asfaltové směsi v kombinaci se zvýšením množství R-materiálu. Příspěvek shrnuje data z provedených kontrolních zkoušek asfaltových směsí do obrusné vrstvy z provedené opravy krytové souvrství (výměny ložní a obrusné vrstvy) na pokusném úseku pozemní komunikace II/212 Horní Pochlovice – Kacéřov. Pokusný úsek byl realizovaný v září 2017.

Účelem zkušebního úseku bylo aplikovat asfaltové směsi s vysokým podílem R-materiálu (50 % pro obrusnou vrstvu a 60 % pro ložní vrstvu) a to v kombinaci se čtyřmi přísadami na bázi syntetických vosků využívaných pro snižování pracovních teplot a s použitím technologie zpěněného asfaltu. Varianty nízkoteplotní asfaltové směsi byly porovnávány s referenční směsí, která obsahovala silniční asfalt 50/70. U všech variant asfaltových směsí byl přidáván rejuvenátor na bázi recyklovaných minerálních olejů a to s ohledem k tomu, aby výsledné pojivo v asfaltové směsi odpovídalo předepsané bázi, kterou tvořil silniční asfalt 50/70.

V rámci pokusného úseku bylo před jeho realizací optimalizováno, složení asfaltové směsi a to především s ohledem k použití variantních syntetických vosků. Pro tento účel byly zvoleny přísady:

- **Deurex E11B** (polyetylenový vosk německé provenience, který byl v ČR zaváděn v nedávné minulosti ve spolupráci FSv ČVUT v Praze, společnost Froněk spol. s r.o. a společnost ECT, s. r.o., kdy druhý z uvedených subjektů prováděl i vlastní realizaci pokusného úseku);

- **Sasobit Redux** (druhá generace FT parafínu, která má oproti známější základní variantě Sasobit optimalizován vliv přísady na základní charakteristiky asfaltového pojiva, tzn. v minimální míře snižuje penetraci a zvyšuje bod měknutí);
- **Storbit** (přísada německé provenience, která kombinuje rejuvenátor na bázi recyklovaných minerálních olejů s FT parafínem);
- **Prephalt SK** (holandská přísada na bázi FT parafínů).

Vedle těchto variant byla zvolena varianta směsi se **zpěněným asfaltem** prováděné za tepla, kdy došlo k napěnění pojiva 50/70, jež bylo přidáváno do směsi kameniva a R-materiálu za účelem výroby finální asfaltové směsi.

Na každém dílčím podúseku, které měřily přibližně 400-500 m, byly vždy dané přísady použity v obou konstrukčních vrstvách (ložní i obrusná). V tomto příspěvku jsou z důvodu omezení jeho rozsahu prezentována pouze data pro obrusnou vrstvu.

2. Výroba asfaltové směsi

Asfaltová směs byla vyrobena na obalovně společnosti Froněk spol. s r.o. situované u obce Lubná v okrese Rakovník, která je ve vzdálenosti cca 115 km od pokusného úseku (Horní Pochlovice u Kynšperku nad Ohří). Logisticky zde byla proto největší výzvou vlastní vzdálenost a dodržení nezbytné minimální teploty pro pokládku asfaltové směsi, která se v případě použitých syntetických vosků nebo technologie zpěněného asfaltu při kombinaci se silničním asfaltem pohybuje na úrovni 130 °C. To byl ostatně další z aspektů vlastního ověření zkušebními úsekem, tedy logistické limity při přepravě asfaltových směsí s vyšším obsahem R-materiálu. Pro tento účel byly zvoleny a v rámci přípravy projektu na straně veřejného správce a investora stavby požadovány variantní technologie pro nízkoteplotní asfaltovou směs.

V případě obalovny asfaltových směsí se jedná o zařízení Benninghoven 160, které je vybaveno jednak paralelním bubnem umožňujícím dávkování až 80 % předehřátého asfaltového R-materiálu a jednak pěnogenerátorovou jednotkou, která umožňuje výrobu teplé pěnoasfaltové směsi. Vlastní obalovna má bohaté zkušenosti s výrobou asfaltových směsí s vyšším až vysokým podílem R-materiálu, přičemž má dobře zvládnutou i kontrolu výroby a průběžného sledování a adjustování dávkování složek s ohledem k charakteristické nestejnorodosti složení asfaltového R-materiálu. Stejně tak byl zhotovitel plně kvalifikovaný pro pokládku asfaltových směsí, které obsahují vysoký podíl R-materiálu, a k tomu se jedná o nízkoteplotní asfaltovou směs.

V rámci pokládky byl pro jednotlivé dílčí podúseky proveden odběr min. 50 kg asfaltové směsi, která byla dále určena pro provedení kontrolních zkoušek. Asfaltové směsi byly vyrobeny a z hlediska pokládky uplatněny v klimaticky vhodných podmínkách, čímž se redukoval případný další vnější faktor, který by mohl jinak ovlivnit chování asfaltových směsí, resp. zhutněných asfaltových vrstev.

3. Zkoušky variant asfaltových směsí

Pro zhodnocení vlivu variant asfaltových směsí byly stanoveny následující charakteristiky:

- **rozbor asfaltové směsi** (obsah asfaltového pojiva dle ČSN EN 12697-1 a zrnitosti dle ČSN EN 12697-2);
- **volumetrické vlastnosti** (maximální objemová hmotnost stanovená dle ČSN EN 12697-5, objemová hmotnost zhutněného zkušebního tělesa stanovená dle ČSN EN 12697-6, mezerovitost asfaltové směsi stanovená podle ČSN EN 12697-8);
- **modul tuhosti** v souladu s ČSN EN 12697-26 na válcových zkušebních tělesech nedestruktivní metodou IT-CY, metoda dle přílohy C při teplotách 0, 15 a 27 °C;
- **odolnost vůči trvalým deformacím** (vyjetí kolem) dle normy ČSN EN 12697-22+A1 na malém zkušebním zařízení ve vzduchové lázni;
- **pevnost v tahu za ohybu** na trámcích v souladu s platnou přílohou k TP 151, která se dosud v ČR požaduje výhradně pro směsi typu VMT;
- **odolnost proti šíření trhliny** dle normy ČSN EN 12697-44 na půlválcových zkušebních tělesech.

4. Volumetrické vlastnosti

Mezerovitost asfaltových směsí byla stanovena na Marshallových tělesech zhutněných dle normy ČSN EN 12697-33 při teplotě 120-150 °C, resp. základní teplota hutnění pro směsi klasifikované jako nízkoteplotní byla 130 °C a pro referenční směs vždy 150 °C. Vedle toho byla vyrobena zkušební tělesa i při dalších teplotách a to z důvodu stanovení náchylnosti asfaltové směsi na teplotu zpracování.

Tab. 1 Mezerovitost asfaltových směsí ACO 11+ 50% RA

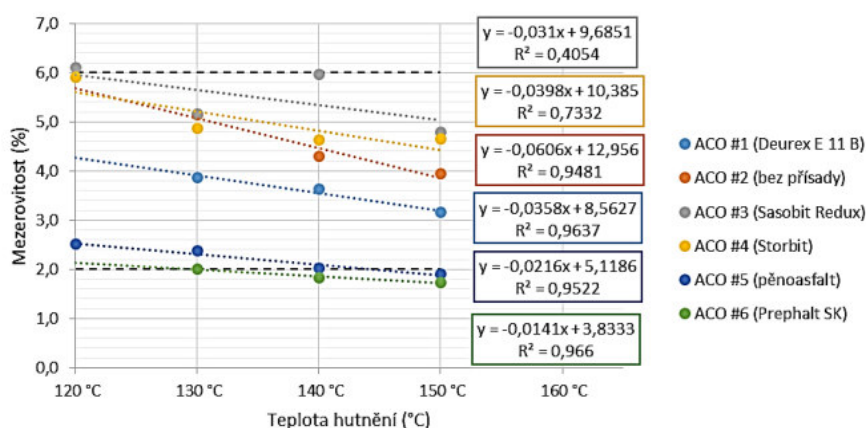
ACO 11+ 50 % RA		Mezerovitost (%) @ T=			
		120°C	130°C	140°C	150°C
#1	Deurex E11B	-	3,9	3,6	3,2
#2	bez přísady	-	5,2	4,3	3,9
#3	Sasobit Redux	6,1	5,2	6,0	4,8
#4	Storbit	5,9	4,9	4,6	4,7
#5	pěnoasfalt	2,5	2,4	2,0	1,9
#6	Prephalt SK	-	2,0	1,8	1,7

Výsledky asfaltových směsí mají až na výjimky logický trend, kdy s narůstající teplotou hutnění dochází ke zvyšování objemové hmotnosti/snižování mezerovitosti. Nepravidelnosti tohoto trendu mohou být způsobeny například nevhodným vzorkováním asfaltových směsí s vysokým obsahem R-materiálu, kdy může být zvýšená heterogenita směsi, nedostatečnou temperací na požadovanou teplotu hutnění apod.

Všechny varianty asfaltové směsi vyhověly horní hranici mezerovitosti, s výjimkou asfaltové směsi ACO #3 se syntetickým voskem Sasobit Redux, která při teplotě hutnění 120 °C o jednu desetinu překročila tuto hranici. Spodní hranici (2,0 %-obj.) překročily všechny varianty s nízkoteplotní přísadou Prephalt SK a varianta směsi ACO 11+ se zpěněným asfaltem, které byly hutněné při teplotě 140 °C a více. U přísady Prephalt SK pravděpodobně dochází k výraznějšímu snížení viskozity a tím většímu uzavření mezer asfaltové směsi.

U variant asfaltových směsí s přísadami Sasobit Redux (#3) a Storbit (#4) nedošlo vlivem použití přísady téměř k žádnému snížení mezerovitosti v porovnání s referenční variantou (#2) při výchozí teplotě hutnění 130 °C. Obě nízkoteplotní varianty dokonce vykazují vyšší mezerovitosti než referenční asfaltové směsi při vyšších teplotách hutnění. To znamená, že je buď syntetický vosk nefunkční, nebo je objemová hmotnost výrazně ovlivněna použitím zvýšeného množství R-materiálu.

Z pohledu zvolené lineární regrese vykazuje nejméně sourodé výsledky varianta ACO #3 s přísadou Sasobit. Při teplotě hutnění 140 °C došlo k nárůstu o téměř 1,0 % v porovnání s oběma okolními teplotami. U ostatní variant došlo k očekávatelnému poklesu mezerovitosti s nárůstem teploty hutnění. Samozřejmě použití lineární regrese zde ze statistického hlediska je zcela diskutabilní s ohledem k velmi malému souboru dat, který je takto hodnocen.



Obr. 1. Mezerovitost asfaltových směsí ACO 11+ 50 % RA

5. Charakteritika modulu tuhosti

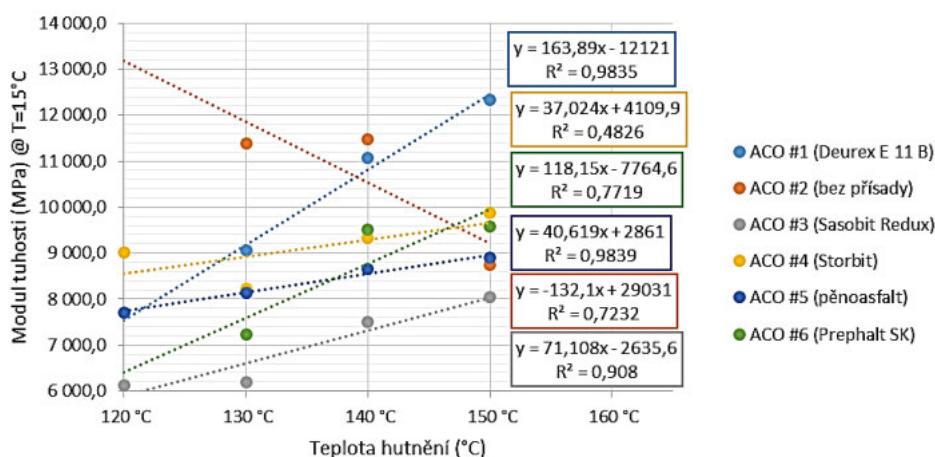
Modul tuhosti byl stanoven na Marshallových zkušebních tělesech nedestruktivní metodou IT-CY (zkouška opakovaného namáhání v příčném tahu na válcových zkušebních tělesech). Všechna tělesa, která dle dříve uvedeného byla hutněna při různých teplotách, byla zkoušena při teplotě 15 °C.

Tab. 2 Modul tuhosti asfaltových směsí ACO 11+ 50% RA

ACO 11+ 50 % RA		Modul tuhosti (MPa) @ T=15°C			
		120°C	130°C	140°C	150°C
#1	Deurex E11B	-	9 062	11 069	12 340
#2	bez přísady	-	11 386	11 480	8 743
#3	Sasobit Redux	6 119	6 189	7 494	8 054
#4	Storbit	9 006	8 227	9 325	9 874
#5	pěnoasfalt	7 711	8 130	8 644	8 894
#6	Prephalt SK	-	7 224	9 518	9 587

Všechny výsledky asfaltových směsí s výjimkou referenční asfaltové směsi bez přísady (#2) mají logický trend, kdy modul tuhosti roste se zvyšující se teplotou

hutnění. To koresponduje s výsledky mezerovitostí – čím je asfaltová směs kompaktnější (má nižší mezerovitost), tím zpravidla dosáhne vyšších modulů tuhosti. Trend referenční varianty směsi bez jakékoli přísady (#2) je velmi neočekávaný a nezvyklý. Tělesa hutněná při nižší teplotě dosáhla sice vyšších mezerovitostí, ale zároveň nižších modulů tuhosti. Tento trend je zřejmý i u asfaltové směsi ACL 16+ a je velmi zvláštní. Pro tento jev nebylo nalezeno smysluplné vysvětlení.



Obr. 2. Modul tuhosti asfaltových směsí ACO 11+ 50% RA

Zvolená lineární regrese výsledků modulů tuhosti (pro identifikaci možného trendu závislosti teploty a modulové charakteristiky) nemá tak silné determinace jako v případě mezerovitostí. Modul tuhosti ovlivňuje řada faktorů. Vzhledem k tomu, že asfaltové pojivo je náchylné na termooxidativní účinky, dochází k jeho většímu stárnutí vlivem zvýšené teploty hutnění. Ve výsledcích jsou zřejmé odchylky od očekávaných trendů. Např. tělesa hutněná při 120 °C u varianty asfaltové směsi #4 (s přísadou Storbit) dosáhla vyšší hodnoty než tělesa hutněná při 130 °C, čímž byl výrazně snížen koeficient determinace lineární regrese křivky. Dále u referenční varianty (#2) byla při nejvyšší teplotě hutnění naměřena výrazně nižší hodnota, toto sice odpovídá výsledkům mezerovitostí, ale obecně tento výsledek chápeme jako značně nelogický trend.

Zkušební tělesa hutněná v případě použití přísad pro zlepšení zpracovatelnosti při teplotě 130 °C nebo zkušební tělesa referenční asfaltové směsi hutněná při 150 °C byla testována i při dalších teplotách (0 °C a 27 °C). Výsledky jsou shrnuty v Tab. 3, kde je navíc uveden i poměrový ukazatel teplotní citlivosti, který vyjadřuje hodnotu vzájemného poměru mezi tuhostí při nejnižší a nejvyšší teplotě měření. Zjednodušeně lze tento parametr interpretovat tak, že čím více se blíží jeho hodnota 1,0, tím méně je asfaltová směs z hlediska sledovaného deformačního chování citlivá na změny teploty okolí.

Tab. 3 Modul tuhosti referenčních variant asfaltových směsí ACO 11+ 50% RA

ACO 11+ 50 % RA	Modul tuhosti (MPa) @ T=
-----------------	--------------------------

		0°C	15°C	27°C	Teplotní citlivost
#1	Deurex E11B	17 493	9 062	4 107	4,26
#2	bez přísady	17 833	8 743	3 268	5,46
#3	Sasobit Redux	15 655	6 189	2 227	7,03
#4	Storbit	17 935	8 227	3 349	5,36
#5	pěnoasfalt	18 372	8 130	2 918	6,30
#6	Prephalt SK	19 420	7 224	3 403	5,71

Asfaltové směsi dosáhly na obrusnou vrstvu poměrně vysokých modulů tuhosti. Nejvyšších hodnot dosáhly první dvě testované varianty (s voskem Deurex E11B a bez přísady). U ostatních směsí došlo použitím přísady ke snížení modulů tuhosti. V případně obrusné vrstvy není snížení modulu tuhosti z takto vysoké referenční hodnoty (#2) na škodu. Obrusná vrstva je v kontaktu s klimatickými podmínkami a pokud je vrstva příliš tuhá, může v zimě docházet k jejímu porušování mrazovými trhlinami. Z pohledu teplotní citlivosti nejlepších (nejnižších) výsledků dosáhla opět varianta #1. Nejhorších výsledků jak z pohledu teplotní citlivosti, tak z pohledu dílčích modulů tuhosti, dosáhla varianta #3 s voskem Sasobit Redux.

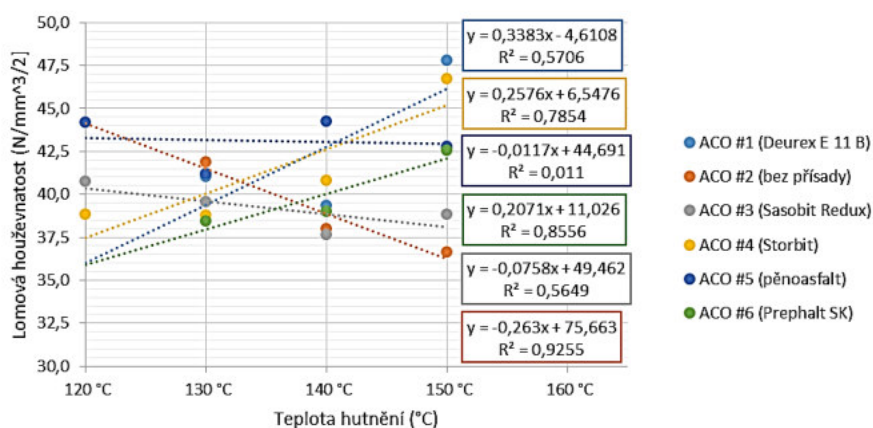
6. Zkouška odolnosti vůči šíření mrazové trhliny

Zkouška odolnosti vůči šíření mrazové trhliny byla provedena dle normy ČSN EN 12697-44:2011. Oproti normovému postupu byla jako zkušební tělesa použita Marshallova tělesa o průměru 100 mm, která byla hutněna Marshallovým pěchem (nikoli gyrátorem) a která byla seříznuta na požadovanou výšku 50 mm. Dále byla oproti normovému postupu snížena zatěžovací rychlost na 2,5 mm/min. Toto představuje dlouhodobě sledovanou změnu v rámci výzkumných aktivit ČVUT v Praze a to z důvodu získání mnohem přesnějších dat průběhu závislosti síly a deformace u zkušebního tělesa. Jako zkušební teplota byla použita 0 °C.

Tab. 4 Odolnost proti šíření mrazové trhliny při teplotě 0 °C

ACO 11+ 50 % RA		Lomová houževnatost (N/mm ^{3/2})			
		120°C	130°C	140°C	150°C
#1	Deurex E11B	-	41,1	39,4	47,8
#2	bez přísady	-	41,9	38,0	36,6
#3	Sasobit Redux	40,8	39,6	37,7	38,9
#4	Storbit	38,9	38,8	40,8	46,8
#5	pěnoasfalt	44,2	41,2	44,3	42,8
#6	Prephalt SK	-	38,4	39,0	42,6

Z pohledu uplatnění regresní analýzy u výsledků uvedených na obrázku 3 nelze jednoznačně určit vliv přidávaných přísad na nízkoteplotní vlastnosti variant. U některých variant došlo vlivem zvýšení teploty hutnění (snížení mezerovitosti) k nárůstu lomové houževnatosti, ale u některých směsí došlo přesně k opačnému trendu. U varianty #5 s použitím zpěněného asfaltového pojiva došlo dokonce k rozkolísaným výsledkům v rámci velmi širokého spektra.



Obr. 3. Lomová houževnatost asphaltových směsí ACO 11+ 50% RA

Nejlepších výsledků (viz tab. 5) při referenční teplotě hutnění (130 °C) dosáhla asphaltová směs varianty #1 s použitím syntetického vosku Deurex E11B a směs varianty #5 s použitím pěnoasfaltu (došlo k nárůstu lomové houževnatosti o cca 12 % v porovnání s referenční variantou #2). Takto dobré výsledky především u varianty #1 jsou mírně překvapivé. Běžně bývá lomová houževnatost reverzně závislá na modulu tuhosti, tedy čím vyšší modulu tuhosti, tím nižší hodnota lomové houževnatosti – tím horší chování asphaltové směsi za nízkých teplot. V případě použití tohoto vosku, ale směs dosáhla velmi vysokých modulů tuhosti a zároveň velmi dobrých hodnot nízkoteplotních vlastností.

Tab. 5 Odolnost proti šíření mrazové trhliny při teplotě 0 °C – výsledky referenčních variant asphaltových směsí ACO 11+ 50% RA

ACO 11+ 50 % RA		Lomová houževnatost (N/mm ^{3/2})	Lomová energie do max. síly (J)	Celková lomová energie (J)
#1	Deurex E11B	41,1	1,5	2,3
#2	bez přísady	36,6	1,3	2,3
#3	Sasobit Redux	39,6	2,1	2,9
#4	Storbit	38,8	1,8	2,4
#5	pěnoasfalt	41,2	1,7	2,5
#6	Prephalt SK	38,4	2,0	2,6

7. Závěr

Na základě provedených rozšířených kontrolních zkoušek asphaltových směsí uplatněných při pokládce krytového souvrství na pozemní komunikaci silnice II/212 Horní Pochlovice – Kaceřov a jejich vyhodnocení vyplývá, že zvolený postup – zejména delší dojezdová vzdálenost – neměly negativní vliv na předpokládanou kvalitu a užitné chování asphaltových směsí. Použité přísady, včetně postupu zpěněného asfaltu se jeví jako prakticky využitelné, přičemž výsledky prokazují velmi dobrou úroveň chování jednotlivých variant, pokud se jejich laboratorní hutnění snížilo na úroveň 130 °C.

Deformační chování posuzovaných variant je z hlediska tuhosti i odolnosti asfaltové směsi proti trvalým deformacím zcela vyhovující. Obdobně se i přes vysoký podíl R-materiálu ukazuje, že jednotlivé varianty dosahují velmi dobrých hodnot posuzovaných charakteristik chování asfaltové směsi v oboru nízkých teplot.

Obecně nelze z výsledků vypožorovat žádný jednoznačný trend, který by z pohledu nízkoteplotní asfaltové směsi preferoval pouze jedno technologické řešení s využitím jedné přísady. U některých zkoušek se ta či ona přísada chová s mírně zhoršenými výsledky od průměru, nicméně v souhrnu směsi dosahují velmi dobrých hodnot.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl s přispěním projektu TAČR - Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI), č. TE01020168, jakož i v rámci podpory programu Nových technologií SFDI.

Použitá literatura

- [1] Evropská komise. Plán přechodu na konkurenceschopné nízkouhlíkové hospodářství do roku 2050. V Bruselu dne 8.3.2011.
- [2] Sdružení pro výstavbu silnic: Přehledy výroby a zpracování materiálů pro stavbu vozovek v roce 2017, Sdružení pro výstavbu silnic, 2018.
- [3] ČSN EN 13108-1 - Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - Část 1: Asfaltový beton.
- [4] ČSN EN 12697-5 - Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti (2010).
- [5] ČSN EN 12697-6 - Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa (2012)
- [6] ČSN EN 12697-8 - Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí (2004).
- [7] ČSN EN 12697-26 - Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 26: Tuhost (2012).
- [8] ČSN EN 12697-44 - Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 44: Šíření trhliny zkouškou ohybem na půlválcovém zkušebním tělese (2011).

RECYKLACE STAVEBNÍCH A DEMOLIČNÍCH ODPADŮ - ANALYTICKÉ SLUŽBY S OHLEDEM NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ A LEGISLATIVU

RECYCLING OF BUILDING AND DEMOLITION WASTE - ANALYTICAL SERVICES WITH RESPECT TO THE ENVIRONMENT AND LEGISLATION

Ing. David Kotrba

ALS Czech Republic, s.r.o., david.kotrba@alsglobal.com

Abstract

Process of recycling of building and demolition waste is governed by national legislations. From environmental point of view reliable analytical data are necessary to manage possible environmental risks and enable maximal recycling of materials. This text provides overview of a process which should lead to economical and environmental way of building and demolition materials recycling.

1. Úvod

Spolu se stálou snahou o maximalizaci recyklace a opětovného využívání odpadů se pojí také ověřování vlastností jak vstupních odpadů / surovin, tak i výstupů z recyklačních technologií z pohledu případného vlivu na životní prostředí. Existující, vznikající a měnící se legislativa klade a bude klást požadavky na prokazování obsahu rizikových látek v materiálech a výrobcích získaných s použitím recyklovaných odpadů a v této oblasti je třeba zajistit kvalitní a spolehlivá data.

Následující text se soustředí na ta místa v procesu recyklace v rámci provádění respektive odstraňování staveb, která je z pohledu životního prostředí třeba mít na paměti a zahrnout je do celkového projektu a plánování prací. Vychází zejména z Protokolu EU o nakládání se stavebními a demoličními odpady z roku 2016 (dále Protokol), který se věnuje komplexnímu popisu procesu odstraňování staveb. Dále je shrnuta legislativa týkající se nakládání s azbestem při jeho odstraňování ze staveb a dotčena je také problematika nařízení REACH v souvislosti s faktem, že registrace založená na povinnostech podle tohoto nařízení se na odpad nevztahuje, nicméně může být povinná, jestliže odpad přestane být odpadem.

2. Rámec Protokolu EU o nakládání s SDO

Dle objemu jsou stavební a demoliční odpady (SDO) největším tokem odpadů v EU – představují asi jednu třetinu veškerého vyprodukovaného odpadu. Správné nakládání s SDO a recyklovanými materiály může přinést významný přínos pro odvětví stavebnictví a recyklace v EU, neboť zvyšuje poptávku po recyklovaných stavebních a demoličních materiálech.

Překážkou recyklace a opětovného použití SDO jsou mimo jiné nedůvěra v kvalitu recyklovaných SDO, nejistota ohledně možného zdravotního rizika při využití recyklovaných materiálů, tato nedůvěra následně snižuje a omezuje poptávku po recyklovaných SDO/materiálech a brání rozvoji infrastruktury pro nakládání s SDO

Protokolem navrhovaná opatření mohou sloužit jako příspěvek k dosažení cíle rámcové směrnice o odpadech, čili recyklace 70% SDO do roku 2020, uzavření

životního cyklu výrobků díky větší míře recyklace a přínos jak pro životní prostředí (efektivní využívání zdrojů), tak pro hospodářství.

Strategie dosažení cílů zejména obsahuje lepší identifikaci, třídění a sběr odpadů, lepší logistiku odpadů, lepší zpracování odpadů, řízení kvality, vhodné politiky a rámcové podmínky pro recyklaci SDO. Tento text se v dalším zaměřuje zejména na ty části procesu, které mají souvislost s plněním environmentálních požadavků v souvislosti s opětovným využitím a recyklací SDO.

Mezi zásady použité při zavádění všech složek Protokolu z celého řetězce nakládání s SDO stavebními a demoličními odpady patří zásada č. 7: Dodržování pravidel a norem v oblasti ochrany životního prostředí, zdraví a bezpečnosti. Nemá totiž valný smysl podporovat recyklaci a opětovné použití v oblasti SDO, pokud by měly ohrožovat životní prostředí, zdraví nebo bezpečnost. Protokol také podporuje zavádění systému EU pro environmentální řízení podniků a audit (EMAS) jako nástroje pro hodnocení, podávání zpráv a zlepšování vlivu činnosti organizací na životní prostředí.

3. Struktura Protokolu

První tři součásti protokolu se týkají řetězce nakládání s SDO, zatímco součásti týkající se řízení kvality a vytvoření politik a rámcových podmínek jsou platné v rámci celého řetězce zpracování SDO. Proces nakládání s SDO je tak rozčleněn na identifikaci, třídění a sběr odpadů, logistiku odpadů a zpracování odpadů, přičemž v každé z těchto součástí je třeba dbát na řízení kvality procesů a vytvářet vhodné politiky a rámcové podmínky pomocí legislativních a jiných pravidel.

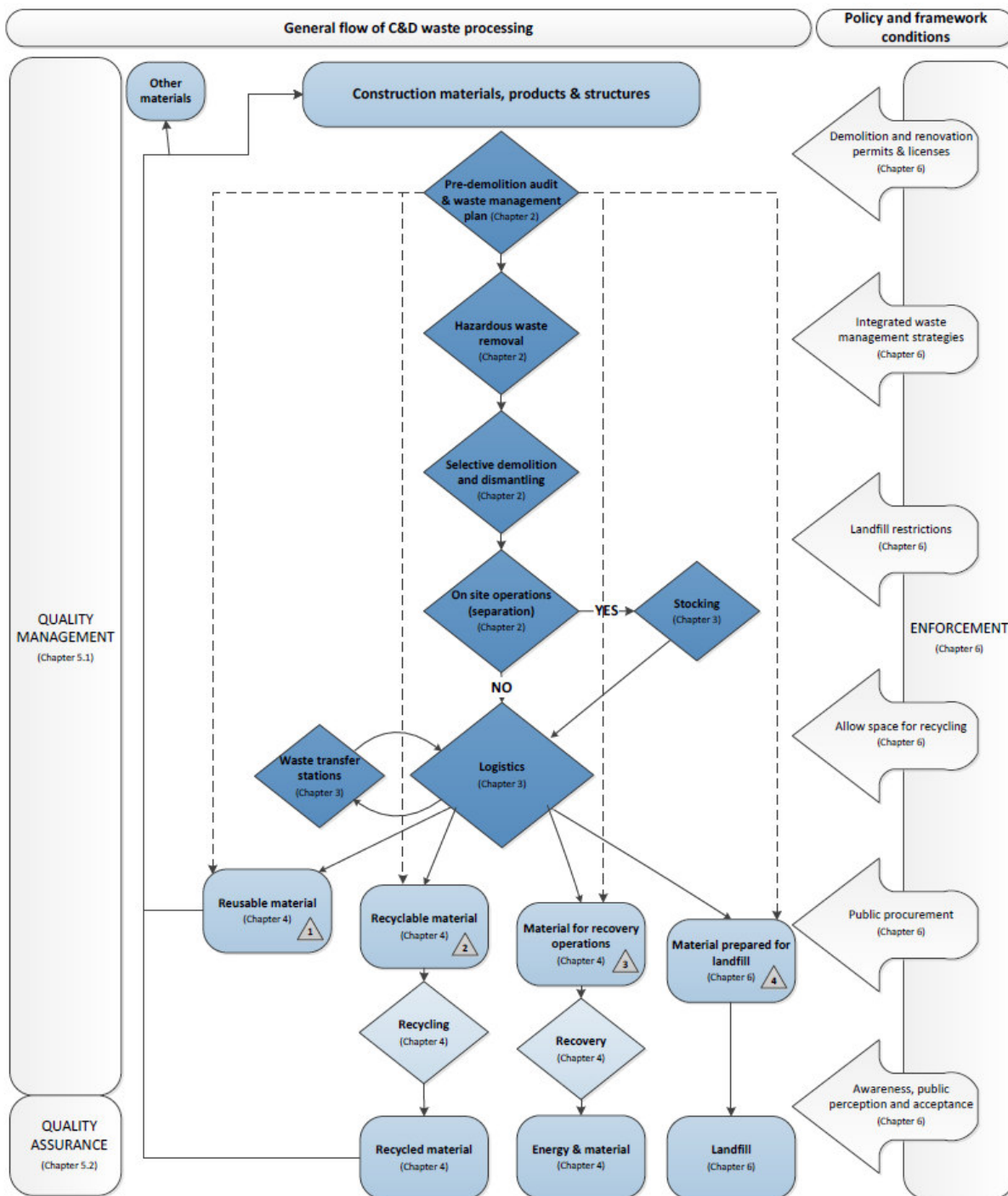
4. Řízení a zajištění kvality

V průběhu jednotlivých kroků procesu řízení projektu demolice, rekonstrukce nebo výstavby je třeba dbát na plánování prací. Na obrázku č. 1 je znázorněn obecný tok zpracování stavebních a demoličních odpadů a jeho vztah k řízení kvality, které se prolíná celým průběhem od přípravných prací po znovuvyužití materiálů. Jednotlivými kroky procesu jsou zejména:

- Předdemoliční audit
- Odstranění nebezpečného odpadu
- Selektivní demontáž a demolice
- Třídění odpadu v místě demolice
- Hierarchie nakládání s SDO:
 - Opětovné použití materiálu pro původní účel
 - Recyklace na místě nebo v recyklačním závodě
 - Využití materiálu (např. zásypy) a energetické využití
 - Skládkování

Komplexní řízení kvality je klíčovým krokem při zvyšování důvěry v postupy nakládání se stavebními a demoličními odpady a v kvalitu recyklovaných materiálů. Kvalitativní

hodnota recyklovaných stavebních materiálů je založena na jejich environmentálních vlastnostech a technických parametrech. V této souvislosti je třeba zajistit poskytování spolehlivých a přesných informací o vlastnostech recyklovaných nebo znovu použitých produktů. S tím souvisí i nutnost zajistit sledovatelnost a sledování toků odpadu, aby bylo možné dále rozvíjet trh s recyklovanými stavebními materiály. Dokládání vlastností a environmentální nezávadnosti mohou přispět ke zvyšování důvěryhodnosti druhotných stavebních materiálů a lze je považovat za nezbytnou součást řízení kvality.



Obrázek č. 1 Celkový tok zpracování stavebních a demoličních odpadů (trojúhelníky představují hierarchii odpadů, přičemž 1 je nejvíce žádoucí)

5. Kroky řízení kvality v různých fázích procesu recyklace

Identifikace, třídění a sběr odpadů	Přeprava odpadu	Zpracování a úprava odpadů
<ul style="list-style-type: none">• Předdemoliční audit a detekce azbestu• Selektivní demolice;• Identifikace a třídění nebezpečného odpadu.	<ul style="list-style-type: none">• Bezpečná doprava;• Zvláštní ustanovení/prohlášení o nebezpečných odpadech• Identifikační formulář• Registrovaný nebo schválený dopravce/přepravce	<ul style="list-style-type: none">• Přijímání odpadu (na místě recyklace / skládce);• Kontrola na vstupu (například protokol o azbestu)• Kontrola tovární výroby (zaměřená na základní vlastnosti výrobků)• Kritéria pro přijímání na skládku (např. pro suroviny používané při výrobě produktů z odpadů)• Četnost odběru vzorků• Identifikace recyklovaného kameniva používaného v konkrétním produktu/infrastruktuře (dodací list)• Závěrečné zkoušky výrobků z odpadů jsou jasně dokumentovány

Kontrola kvality před demolicí a během demolice by měla probíhat jak z hlediska bezpečnosti práce, tak i recyklovatelnosti stavebních a demoličních odpadních materiálů. Klíčovými kroky řízení kvality ve fázi demolice jsou zejména předdemoliční audit, podávání zpráv na místě a závěrečná zpráva pro recyklační závod. Aby se snížilo množství nebezpečného odpadu, je třeba již při volbě výrobků umístovaných do staveb dbát na nízké množství materiálů obsahujících nebezpečné látky. Pokud nejsou nebezpečné látky, jako je azbest a těžké kovy, řádně odstraněny a stavební materiály nejsou v místě demolice správně vytříděny, existuje riziko kontaminace celých toků odpadu.

a. Řízení a zajištění kvality – během recyklace / zpracování SDO.

Je třeba bezpodmínečně zajistit striktní pravidla pro přijímání odpadů ve formě kontroly zásilek a doprovodných materiálových osvědčení pro veškerý inertní odpad určený k recyklaci. Recyklační společnost musí pomocí kontroly a monitorování složení zajistit kvalitní vstupní materiály a odstranění nebezpečných látek a nečistot během procesu úpravy. Takto dojde ke snížení rizika kontaminace konečných výrobků nebezpečnými látkami.

Z tohoto pohledu je nezbytné jasné stanovení frekvence a typů odběru vzorků a zkoušek materiálů z hlediska zajištění bezpečnosti pro životní prostředí. Prvky řízení kvality se v tomto bodě mají skládat z vlastní kontroly a externí kontroly akreditovanou certifikační organizací a po vlastní recyklaci závěrečného testování.

b. Kvalita výrobků a normy pro výrobky

Harmonizované evropské normy, které se vztahují na primární materiály, platí také pro recyklované materiály. Recyklované stavební a demoliční materiály je tedy třeba posuzovat v souladu s požadavky evropských norem pro výrobky, pokud se na ně vztahují. Nařízení o stavebních výrobcích (305/2011/EU) stanoví harmonizované podmínky pro uvádění stavebních výrobků na trh a poskytuje nástroje k posuzování vlastností stavebních výrobků. V případě, že se tyto evropské normy na výrobky nevztahují, lze využít evropské technické posouzení na základě evropských technických posouzení (ETA - European Technical Assessment). Existují již příklady použití těchto nástrojů pro zpracovaný demoliční odpad, zejména pro recyklované

kamenivo. Součástí posouzení materiálů by v případě recyklovaných materiálů mělo být také prokázání jeho nezávadnosti pro životní prostředí.

6. Politiky a rámcové podmínky

Pro celý systém využívání recyklovaného SDO je nutné zajistit vhodné podmínky umožňující maximální využití SDO při zachování vysoké úrovně ochrany životního prostředí a bezpečnosti vznikajících materiálů. Součástí těchto podmínek mají být ekonomická opatření zvyhodňující recyklaci (skládkovací poplatky, daňové úlevy...), vytvoření prostoru pro recyklaci (dostatečná kapacita recyklace SDO) či vyhrazený prostor a povolení k výstavbě takových zařízení na vhodných místech v blízkosti městských oblastí, kde vzniká nejvíce SDO.

Klíčovým úkolem je zajistit vymáhání nastavených pravidel tak, aby byly plněny všemi zpracovateli SDO a nedocházelo tak k znevýhodňování společností plně respektujících veškerá nařízení oproti některým, které by využívaly nedostatečné kontroly ze strany příslušných institucí. Veřejné orgány by měly k vymáhání právních předpisů přijmout konkrétní opatření, zejména v oblasti nebezpečných odpadů. Při identifikaci, sběru a třídění odpadů musí být v regulačních opatřeních zohledněna nutnost zjišťování znečišťujících látek formou předdemoličního auditu nebo plánu pro nakládání s odpady před zahájením demolice, a podpora oddělení toků odpadů. Tak je tomu například v Rakousku, Lucembursku, Švédsku a Finsku. Nezastupitelná je v tomto případě role místní a/nebo regionální samosprávy.

7. REACH ano či ne?

Zatímco registrace založená na povinnostech podle nařízení REACH se na odpad nevztahuje, může být povinná, jestliže odpad přestane být odpadem. Nařízení REACH se proto začíná platit pouze tehdy, pokud se materiály jako recyklované SDO již nepovažují za odpad. Například ve specifickém případě recyklovaného kameniva je důležité poznamenat, že i když přestane být odpadem, nevztahuje se na něj povinnost registrace podle nařízení REACH. Důvodem je to, že recyklované kamenivo je považováno za předmět ve smyslu nařízení REACH. Předměty jsou vyjmuty z povinnosti registrace. Vzhledem k čl. 7 odst. 2 a článku 33 nařízení REACH musí být ovšem látky, které vzbuzují mimořádné obavy (SVHC), obsažené v předmětech oznámeny, pokud jsou přítomny v koncentraci vyšší než 0,1% hmotnostních. Tyto látky se v recyklovaném kamenivu zpravidla nenacházejí.

Pokyny k nařízení REACH obsahují důležité informace k odpadům a zpětně získaným látkám. Kandidátský seznam látek vzbuzujících mimořádné obavy obsahuje 197 látek (zveřejněno ECHA 15. 1. 2019) z nichž 43 látek již bylo zařazeno do přílohy XIV nařízení REACH tj. na seznam látek podléhajících povolení). Mezi látky uvedené ve výše zmíněných seznamech patří i relativně rozšířené polyaromáty (benzo[k]fluoranthren, fluoranthren, fenanthren, pyren, chrysen, benz[a]anthracen) či bisfenol A.

8. Azbest, rizika a legislativa

Azbest je komerční název pro skupinu 6 vláknitých forem silikátů (krokydolit, chryzotil, antofylit, aktinolit, amozit, tremolit). Díky svým vynikajícím chemickým a fyzikálním vlastnostem (žáruvzdorný, nehořlavý, odolný vůči chemikáliím, pevný, pružný, ohebný, dobré elektroizolační vlastnosti) byl široce využíván zejména ve stavebnictví jako konstrukční, těsnící a izolační materiál.

Azbestová vlákna, pokud dojde k jejich vdechnutí, představují zdravotní rizika (benigní a maligní nádorová onemocnění), přičemž onemocnění často vznikají po mnohaleté latenci od začátku expozice. Riziko onemocnění i jeho rozvinutí trvá i po ukončení expozice a často se tak onemocnění diagnostikuje až v důchodovém věku. Celosvětově je zhruba 125 milionů lidí exponováno azbestem na pracovišti a více než 100 tisíc lidí ročně zemře na následky pracovní expozice azbestem.

a. Legislativa v České republice

Celkem se azbestem zabývá cca 30 různých zákonů, vyhlášek a nařízení vlády. Jedná se o obecné předpisy, povinnosti před započítím prací spojených s rizikem vzniku prachu s obsahem azbestu, požadavky na pracoviště a na pracovní postupy v přítomnosti azbestu či zacházení s odpadem s obsahem azbestu. Dále jsou zmíněny zejména relevantní legislativní předpisy z hlediska stavebních prací.

Zákon č. 309/2006 Sb., o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v § 8, odst. 2 zákonu stanovuje: „Zakázány jsou práce s azbestem. Zákaz těchto prací neplatí, jde-li o výzkumné laboratorní práce, analytické práce, práce na likvidaci zásob, odpadů a zařízení, která obsahují azbest, a práce při odstraňování staveb a částí staveb obsahujících azbest, nebo opravy a udržovací práce na stavbách nebo práce s ojedinělou krátkodobou expozicí.“

Vyhláška č. 394/2006 stanovuje, kdy se jedná o krátkodobou ojedinělou expozici – takto jsou vyjmenovány práce související s údržbou na sebe nenavazující a krátkodobé, při nichž se pracuje pouze s nedrolivými materiály, práce spojené s odstraňováním nerozrušených a nedrolivých materiálů, v nichž je azbest pevně zakotven v pojivu, nebo při zapouzdřování materiálů obsahujících azbest nebo jejich potahování ochrannými prostředky proti uvolňování azbestu. Za práci s ojedinělou a krátkodobou expozicí se považuje i měření koncentrací azbestu v ovzduší a odběr vzorků materiálů ke stanovení přítomnosti a koncentrace azbestu.

Zákon č. 183/2006 Sb., stavební zákon v § 128 stanoví, že v případě, kdy se ohlášený záměr odstranit stavbu týká nemovitosti, v níž je obsažen azbest, vede se řízení o povolení odstranění a závazné stanovisko orgánu ochrany veřejného zdraví stanoví podmínky pro provedení tohoto záměru. Mezi přílohy patří mimo jiné i dokumentace bouracích prací. U všech druhů staveb, na které se vztahuje povinnost zpracovat dokumentaci bouracích prací k jejich odstranění, se doporučuje provést důkladnou prohlídku všech prostor dotčeného objektu a jeho okolí. Doporučuje se, aby prohlídku stavby provedla skupina osob tvořená stavebníkem, projektantem a osobou pověřenou k hodnocení nebezpečných vlastností odpadů. V případě pochybností se doporučuje odebrat při prohlídce nebo následně před zahájením stavebních prací vzorky stavebních materiálů, které by mohly obsahovat azbest (budoucích odpadů), z vymezených částí stavby. Odběr vzorků stavebních materiálů metodou vzorkování s úsudkem z vymezených částí stavby, u nichž se předpokládá, že se stanou odpady, musí být dokumentován a proveden v souladu s požadavky vyhlášky č. 94/2016 Sb. Výsledky zkoušek odebraných vzorků z vymezených částí stavby jsou jedním z podkladů pro zpracování dokumentace odstranění stavby a podkladem pro zařazení vzniklých odpadů do příslušné kategorie odpadu („N“ nebezpečný odpad). U staveb, v nichž je obsažen azbest, zajistí provádění dozoru osobou, která má oprávnění pro odborné vedení provádění stavby podle zvláštního právního předpisu. Příloha č. 15 vyhlášky o dokumentaci staveb (Vyhl. č. 499/2006 Sb.) podrobně stanovuje obsah

dokumentace bouracích prací, včetně položky výsledků stavebního průzkumu a přítomnost azbestu ve stavbě.

Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví stanoví v § 41 povinnost hlásit plánované práce s azbestem a projednat pracovní a ochranné postupy na příslušné Krajské hygienické stanici (KHS), a to minimálně 30 dnů před začátkem prací. Prováděcí vyhláška č. 432/2003 Sb. kterou se stanoví podmínky pro zařazování prací do kategorií a také náležitosti hlášení prací s azbestem upřesňuje náležitosti tohoto hlášení – zejména kdo bude azbestové materiály odstraňovat, kde, jakými postupy, jak bude nakládat s odpady, atd. V rámci preventivního hygienického dozoru, pokud KHS obdrží projektovou dokumentaci na akci, v rámci které je nakládáno s materiálem obsahujícím azbest, vydá KHS stanovisko, ve kterém může stanovit požadavek na měření koncentrací azbestu ve vnitřním prostředí obytných místností některých staveb dle vyhlášky č. 6/2003 Sb., nebo v pracovním prostředí dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb.

Dle § 5 písm. k) vyhlášky má zaměstnavatel současně povinnost zajistit kontrolu koncentrace azbestu v pracovním ovzduší, obdobně po ukončení prací spojených s odstraňováním azbestu nebo materiálu obsahujícího azbest musí být provedeno kontrolní měření úrovně azbestu v pracovním ovzduší ve smyslu § 21 odst. 4 nařízení vlády č. 361/2007 Sb., nejde-li o práce s ojedinělou a krátkodobou expozicí azbestu; v práci pak lze pokračovat, je-li zjištěná hodnota azbestu v pracovním ovzduší nižší než přípustný expoziční limit, uvedený v příloze č. 3 tohoto nařízení vlády. Měření v pracovním prostředí je realizováno v průběhu prací s azbestem pro účely hodnocení rizik a po skončení prací s azbestem před započítáním dalších prací – dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb.

Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, uvádí limit pro práci s azbestem při jeho odstraňování na 100.000 azbestových vláken/m³. Následně Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity pro vnitřní prostředí obytných místností, určuje limit pro azbestová a minerální vlákna maximálně 1000 vl./m³.

V souvislosti s následnou likvidací odpadu obsahujícího azbest zákon o odpadech č. 185/2001 Sb. v § 35 uvádí, že původce a oprávněná osoba, musí zabránit uvolňování azbestových vláken do ovzduší a odpady s azbestem je možné ukládat na skládky S-NO a některé S-OO.

9. Analýza azbestu pro účely provádění staveb a jejich odstraňování

Pro prokázání přítomnosti azbestu ve stavebních materiálech a v pracovním prostředí či okolí ochranných pásem je třeba zvolit vhodné techniky dle renomovaných norem. Při zjišťování informace, zda je či není azbest obsažen v některém stavebním materiálu, se nejčastěji používá kvalitativní stanovení azbestu pomocí optické polarizační mikroskopie, kde se nalezená vlákna identifikují. Jedná se o velmi rychlou metodu, vhodnou pro většinu vzorků stavebních materiálů. Výstupem je informace, zda je či není azbest přítomen, nikoliv jeho množství. Jejím omezením je menší zvětšení a rozlišení, proto pro vzorky s mikromletým azbestem nebo s velmi nízkým obsahem azbestu je třeba použít jiné techniky.

Kvalitativní stanovení azbestu pomocí SEM přináší vyšší zvětšení a rozlišení a tedy i možnost detekovat azbest v materiálech nevhodných pro optickou mikroskopii (tmely,

asfalty, lepidla, PVC), či takové případy, kde rozlišení optické mikroskopie nepostačuje k potvrzení nepřítomnosti azbestu.

Velmi důležitou součástí určení, zda je či není azbest obsažen v daném materiálu, je odběr vzorků stavebních materiálů pro stanovení azbestu, ideálně pomocí akreditované laboratoře. Vlastní odběr vzorku pro analýzu ovšem nemůže nahradit kvalitní stavebně technický průzkum, který by měl určit, které materiály by měly být vzorkovány.

Pro kontrolu pracovního prostředí při odstraňování azbestu, kontrolu ochranných pásem či prokázání splnění limitů pro pobytové místnosti se využívá stanovení početní koncentrace azbestových a minerálních vláken pomocí skenovacího elektronového mikroskopu (SEM/EDS). Analýza se provádí k ověření limitu 1000 vláken/m³ (azbestová a minerální) - Vyhláška č. 6/2003 Sb. pro pobytové místnosti a limitu 100.000 vláken/m³ (azbestová vlákna) - NV č. 361/2007 Sb. pro pracovní prostředí. Uznávanými normami pro provedení stanovení jsou německá VDI 3492 a ISO 14966.

Odběr je možno provádět jak stacionární (umístění filtru na stojan), tak personální (vzorkovací zařízení je přímo na pracovníkovi). V případě kontroly vláken v ovzduší je extrémně důležité dodržet požadavky normy na počet vzorků (dle velikosti objektu), dobu vzorkování, respektive objem vzduchu prosátého filtrem, rychlost průtoku vzduchu filtrem a zohlednit také místní podmínky (prašnost, povětrnostní podmínky atp.). Z uvedeného plyne, že odběry mají být prováděny pracovišti akreditovanými příslušnými certifikačními institucemi.

4. Závěr

Problematika zpracování SDO je stále více v centru pozornosti evropských i národních institucí a ve stavebním oboru působících firem. Vytvoření podmínek pro opětovné využívání a recyklaci SDO spolu s robustní kontrolou dodržování nastavených pravidel všemi zainteresovanými stranami je nezbytným předpokladem k naplnění recyklačních cílů EU. Současně přispěje k ušetření přírodních zdrojů a zvýšení bezpečnosti z hlediska životního prostředí. Příklady správné praxe se již vyskytují v některých státech Evropy, kde mají ekonomický i ekologický přínos.

Taktéž problematika likvidace a nakládání s azbestem se v poslední době vyvinula, zejména vnímání reálné nebezpečnosti azbestu a řízené kvalitní nakládání s azbestovými materiály ve spojení s nezávislou supervizí prací s azbestem přinese výrazné snížení zdravotních rizik.

5. Literatura a použité zdroje

- [1] Protokol EU o nakládání se stavebními a demoličními odpady 09/2016 Č. Ares (2016) 5840668 – 101016, http://ec.europa.eu/growth/content/eu-construction-and-demolition-waste-protocol-0_en
- [2] www.zakonyprolidi.cz
- [3] Protokol Metodický návod odboru odpadů MŽP pro řízení vzniku stavebních a demoličních odpadů a pro nakládání s nimi, [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodika_stavebni_odpady/\\$FILE/O-ODP-metodicky_navod_SDO-20180904.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodika_stavebni_odpady/$FILE/O-ODP-metodicky_navod_SDO-20180904.pdf)

KEESTRACK made in Czech Republic

Mgr. Jiří Hroch

KEESTRACK drtiče + třídíče s.r.o. Chrudim

KEESTRACK recycling plants have already been MADE IN CZECH REPUBLIC from 2001.

Brief presentation of latest KEESTRACK development since 2001. Come to see how we are reaching new frontiers at BAUMA 2019.



Mobilní pásové drtiče a třídíče KEESTRACK se od roku 2001 vyrábějí ve Šternberku. Firma KEESTRACK zde začínala s pěti zaměstnanci, včetně výrobního a logistického specialisty pana Waltera Kaisera - dnešní ředitel Keestrack – CZ, s.r.o. i pana RONALDA OMACHELA nyní specialisty na AFTER SALE. Krátce po založení výrobního závodu ve Šternberku se výroba rychle rozrůstá. V roce 2003 je zde zaměstnáno 100 pracovníků a v roce 2005 již 250. V roce 2009 Keestrack zavádí ve Šternberku do výroby antikorozivní zinkofosfátovou práškovou nano lakovnu, poskytující vysoce kvalitní a trvalé povrchy na všech komponentech.

Zvyšující se poptávka po českých drtičích a třídíčích si vyžádala masivní investice do infrastruktury.

První část expanze výrobních prostor byla otevřena počátkem roku 2016. Na 5-ti hektarovém pozemku vyrostla v barvách Keestrack moderní hala o rozloze 5.000 m². Druhá část expanze, z plánovaných tří fází, přidává v roce 2018 k celkové výrobní kapacitě dalších 8.740 m² těch nejmodernějších výrobních prostor.

Oba nové komplexy s celkovou investicí 6,0 miliónů Euro (154 miliónů CZK) nabízejí nejmodernější pracovní prostředí pro současných 480 zaměstnanců. Optimalizovaný výrobní proces zásadně zlepšuje pracovní postup a významně snižuje časovou náročnost výroby strojů Keestrack. Odhadovaný obrat skupiny KEESTRACK za rok 2018 činí 2,5 miliardy korun hovoří za vše.

Reaching new Frontiers – Dosahování nových hranic

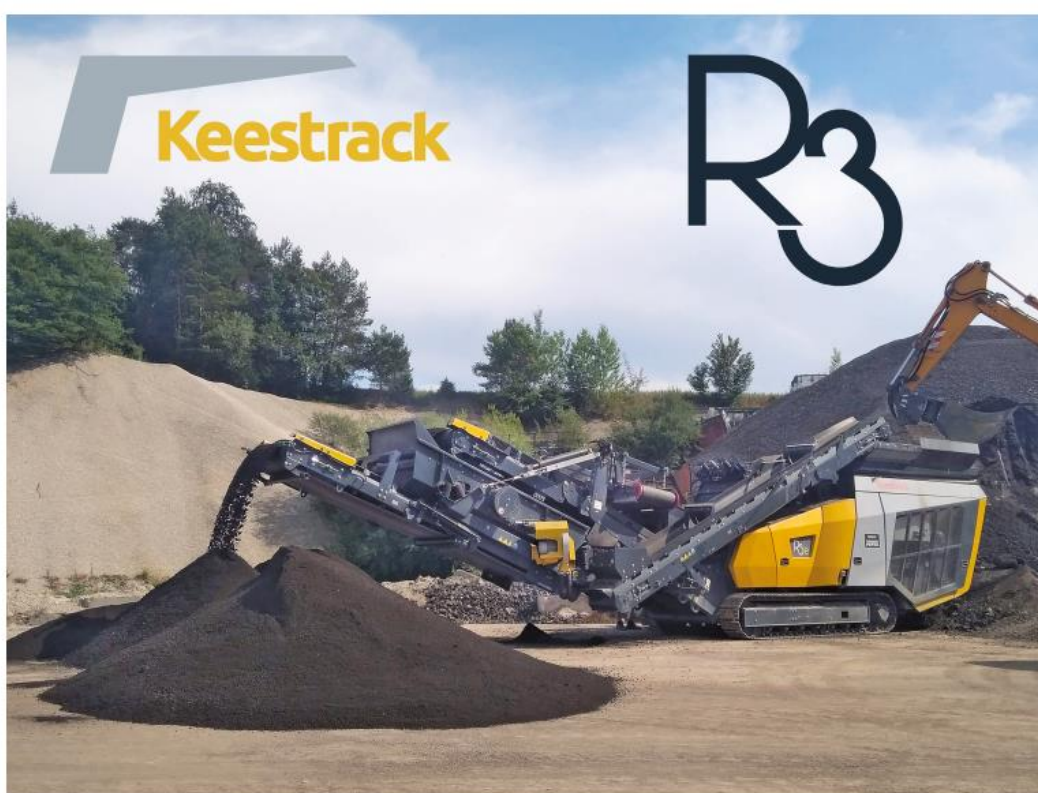
Na veletrhu BAUMA, který se koná 8. až 14. dubna 2019 v Mnichově představíme:



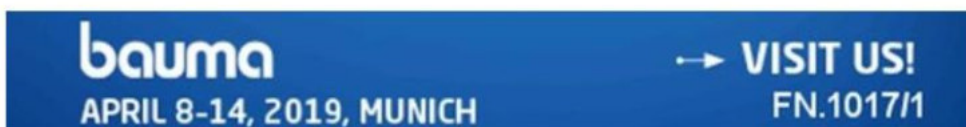
1. KEESTRACK čelistový drtič B7e nová vlajková loď s úctyhodnými parametry. Vstupní otvor 1200 x 830mm, CSS od 75 do 250 mm a hmotnost cca 60t. Tento drtič je v provedení PLUG-IN elektro a umožňuje DROP-OFF, což znamená jednoduché demontování diesel-elektrického agregátu mimo prašné prostředí. Tento drtič je vhodný pro velké demolice, kde díky velkému vstupnímu otvoru stačí

zpracovat betonové kusy cca 700 x 700 mm. Vysoký výkon až 700t/h přináší neporazitelnou ekonomiku drcení.

2. Další novinkou bude čerstvý držitel ceny RED DOT, mobilní odrazový drtič KEESTRACK R3e, který má vstupní otvor 960 x 770 mm, variabilně zavěsitelný třídič (snadno demontovatelný) o sítové ploše 3100 x 1400mm a vratným dopravníkem nadsítné frakce. Tento drtič je vhodný mimo jiné na recyklaci asfaltů a podobných materiálů, kde je vyžadován velký podíl jemných frakcí. Hmotnost drtiče i se zavěšeným třídičem je do 30t.



3. Přesun materiálu je nákladná, nicméně nezbytná činnost při recyklaci stavebního odpadu. Náš další příspěvek pro zvyšování efektivity je představení prvního solárního mobilního pásového dopravníku S5e "Solar", který je 23m dlouhý, široký 1000mm a je poháněn z 23kWh baterií instalovaných v pohonné jednotce. Veškeré funkce dopravníku, jako je sklápění nebo pojezd jsou řešeny přímo elektrickými zařízeními bez nutnosti méně efektivního elektrohydraulického systému.



Namiřte chytrým telefonem na QR kód a navigace Vás k nám dovede.

Těšíme se

Mgr. Jiří Hroch a Bc. Dan Bureš
jiri.hroch@kees.cz
dan.bures@kees.cz



VÁHY A VÁŽÍCÍ SYSTÉMY V RECYKLAČNÍCH LINKÁCH

Petr Jurča

RVS Chodov, s.r.o., e-mail: rvs@rvs.cz

Kontinuální vážení – pásové váhy

Systém pásových vah je tvořen jednopražcovou nebo dvojpražcovou vážicí stolicí se snímačem zatížení, měřičem rychlosti posuvu pásu a elektronickou vyhodnocovací jednotkou. Vážní mechaniku lze dodatečně vestavět do nového i do již provozovaného dopravníku - prakticky jakéhokoliv. Dosahovaná přesnost vážení je závislá na technickém stavu dopravníku a na způsobu napínání pásu. V závislosti na stavu pásových dopravníků lze dosáhnout přesnosti vážení od 0.5 % do 2% z rozsahu vážení. Vážní systém lze použít jako technologické měření ke spojitému či nespojitému dávkování materiálu.

Pásové váhy je možné instalovat na pásové dopravníky stacionárních třídících a recyklačních linek a také na mobilní drtiče a třídíče různých výrobců a dodavatelů.

Diskontinuální vážení

Mezi diskontinuální vážící systémy patří váhové zásobníky, váhy pod skipovými zásobníky, váhy pro navažování přísad. Jsou určeny pro šaržovité navažování sypkých materiálů v betonárnách, kaolínkách, výrobnách krmných směsí apod.. V sestavě automatického vážního systému jsou řídicí jednotky připojeny k řídicímu počítači PC, který zobrazuje průběh pracovních cyklů a stav technologie.

Váživost je od 0,5 kg do 30 t.

Stacionární vážení sil a zásobníků

Vážení sil a zásobníků je možné pomocí tenzometrických snímačů umístěných pod podpěry sil a zásobníku nebo instalace tenzometrického snímače na bok podpěry, kde tenzometrický snímač reaguje na deformaci podpěry v závislosti na zatížení.



Obr. 1 Instalovaný tenzometrický snímač pod podpěrou

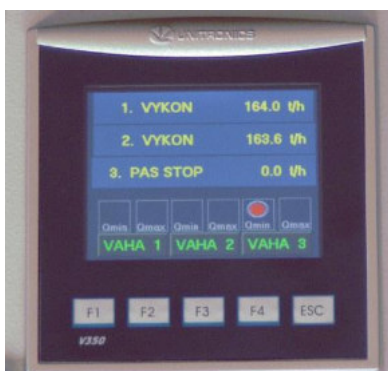


Obr. 2 Instalace tenzometrických snímačů pod podpěry zásobníku

Elektronická vyhodnocovací a řídicí jednotka

Řídicí jednotka vah je vybavena barevným dotykovým displejem. Jednotka umožňuje zpracování výstupů snímačů zatížení až ze tří vážních systémů. Zpracovávat lze i některé další parametry technologie s vážením související - např. snímače naplnění zásobníků váženého materiálu, stavy uzávěrů, výstupy průtokoměrů apod. Lze generovat řídicí signály - analogové výstupy (proudové smyčky) jsou použitelné např. k ovládání dávkovačů příměsí k základnímu váženému materiálu v závislosti na okamžitém výkonu a pod. Až šestnáct lokálních řídicích jednotek vah lze pomocí průmyslové sběrnice připojit k řídicímu počítači. K řídicí jednotce váhy lze připojit PC kompatibilní tiskárnu. Je-li k řídicí jednotce připojen GSM terminál, lze z libovolného místa pomocí mobilního telefonu a SMS zpráv monitorovat stav vzdáleného vážního systému.

Dvacet pět let existence firmy RVS Chodov, s.r.o., představuje tisíce spolehlivě fungujících vážních systémů v kamenolomech, pískovnách, ve stavebnictví, chemickém, automobilovém a potravinářském průmyslu. Zkušenosti získané při jejich instalaci, provozu a servisu umožňují uspokojit stále náročnější požadavky zákazníků v oblasti průmyslového vážení a automatického řízení technologických procesů.



Obr. 3 Vyhodnocovací jednotka RVS350U



Obr. 4 Vážicí mechanika TS102

NAŠE FIRMA VYRÁBÍ A DODÁVÁ

- Pásové váhy
- Zásobníkové váhy
- Váhy na síla
- Mostové váhy,
- Pytlovací váhy
- Váhy na BIG-BAG
- Váhy pro betonárny
- Linky pro MZK – míchání mineralbetonů
- Dávkovací linky
- Váhy pro recyklační a třídící linky



RVS Chodov, s.r.o.

Vančurova 504

357 35 Chodov

Tel.: 602 278 444 , fax : 352 667 749

www.rvs.cz e-mail : rvs@rvs.cz

MOŽNOSTI UŽITÍ SKELNÉHO RECYKLÁTU Z FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ PRO BETONOVÉ ZDICÍ PRVKY

OPTIONS FOR USE OF GLASS RECYCLATE FROM PHOTOVOLTAIC PANELS FOR CONCRETE MASONRY UNITS

doc. Ing. Michal Stehlík, Ph.D.; Mgr. Jana Knapová; Ing. Vojtěch Kostka

Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno, ČR;
stehlik.m@fce.vutbr.cz; jana.knapova@vutbr.cz; Vojtech.Kostka@vutbr.cz

Abstract

The paper deals with the possibilities for use of glass recyclate from photovoltaic panels for concrete masonry units. It compares particular recipes and its physical and mechanical properties with the main focus on the compressive strength. It then compares the values of these recipes with the values of commonly used composite materials for masonry units without recyclates.

1. Úvod

Češi patří k jedněm z nejlepších v Evropě v třídění odpadu. A je skvělé, že tento trend neustává [10]. Co se ale týče recyklace průmyslového odpadu a jeho možného následného využití, zde máme rezervy. Tento článek se věnuje recyklaci skla, konkrétně skla z fotovoltaických panelů, a zkoumá jeho možnosti využití pro betonové zdicí prvky.

Fotovoltaické panely instalované v Evropě a v ČR začnou v blízké budoucnosti dosahovat hranic své životnosti, proto se čím dál více hovoří o možnostech a limitech jejich recyklace. Odpadní materiál z fotovoltaických panelů sestává z velké části ze skla, které může najít širší druhotné využití. Mimo jiné ve stavebnictví, a to například jako náhrada kameniva v betonu. V článku se zabýváme mechanickými vlastnostmi betonových vzorků vyrobených ze skelného recyklátu, který doplnil či zcela nahradil složku kameniva v receptuře betonu.

2. Recyklace a receptury

Recyklace

Recyklace solárních panelů je v posledních letech velkým tématem a přináší řadu zatím nevyřešených otázek.

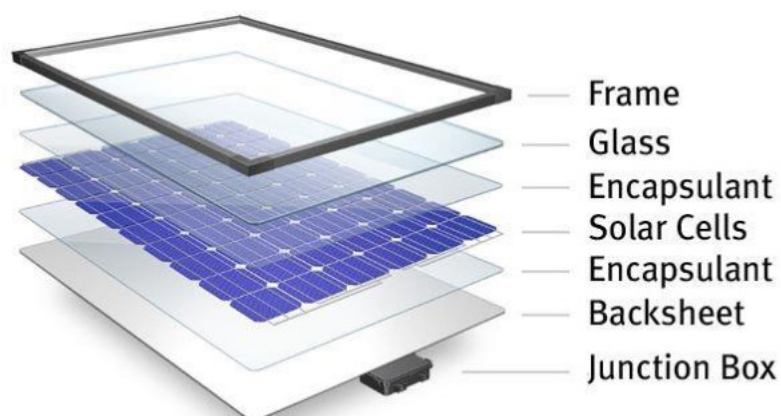
Od roku 2018 vyžaduje směrnice EU zajistit při likvidaci solárních panelů jejich recyklaci v rozsahu min. 80 % a využití odpadu 85 %. Přičemž *recyklací* se rozumí druhotné pouze materiálové využití. *Využitím odpadu* se rozumí, kromě materiálového, i energetické využití [11]. Vývoj kvót v čase ukazuje Tab. 1.

Tab. 1 Kvóty EU pro recyklaci solárních panelů

	2012–2015	2015–2018	Od 2018
Využití odpadu ze solárních panelů	75 %	80 %	85 %
Recyklace solárních panelů	65 %	70 %	80 %

zdroj: <https://www.resolar.cz/cs/co-nabizime>

Existuje mnoho typů fotovoltaických panelů – monokrystalické (Mono-SI), polykrystalické (Poly-SI), tenkovrstvé (TFSC, CdTe, CIS, CIGS, a-Si), či koncentrátorové (CVP, HCVP). V ČR jsou instalovány různé typy od různých výrobců. Na klasických solárních panelech I. a II. generace tvoří největší podíl právě sklo (běžně 70 %, u tenkovrstvých až 95 %) [12]. Pro splnění kvót je tedy nutné zajistit primárně recyklaci skla.



Obr. 1 Schéma konstrukce solárního panelu

zdroj: <http://www.dupont.com/>

Pro předkládaný výzkum bylo k výrobě vzorků betonu se skelným recyklátem použito rozdrčené sklo z fotovoltaických panelů. Nejedná se o 100% čisté sklo, chemické složení 2 typů skel používaných v ČR uvádí tabulka Tab. 2.

Tab. 2 Chemické složení skel fotovoltaických panelů

SKLO LDK SOLAR

Ztráta sušením (105°C)	Ztráta žháním 1100°C	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Mno	CaO
0,23	1,08	69,5	1,23	0,172	0,023	0,005	10,2
MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Li ₂ O	Cr ₂ O ₃	BaO	ZrO ₂	SrO
1,44	0,032	12,9	<0,002	0,005	0,005	0,008	0,0083

SKLO QS SOLAR

Chemické složení:							
Ztráta sušením (105°C)	Ztráta žháním 1100°C	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Mno	CaO
0,22	0,5	71,0	0,499	0,110	0,023	0,006	8,45
MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Li ₂ O	Cr ₂ O ₃	BaO	ZrO ₂	SrO
4,04	0,171	12,4	<0,002	0,005	0,009	0,009	0,005



QS



LDK

Receptury

Skelný recyklát z fotovoltaických panelů jsme získali od firmy BAMBAS Elektroodpady s.r.o. Dodán byl ve dvou frakcích, a to ve frakci 1-2 mm a 4-8 mm.

Sítovým rozbořem (ČSN EN 933-1) bylo potvrzeno, že v obou vzorcích spadá více než 90 % do udávané frakce 1-2 mm, resp. 4-8 mm.

Pro výzkum byly použity dvě receptury k výrobě vzorků betonu se skelným recyklátem. První *receptura (A)* obsahovala skelný recyklát obou výše zmíněných frakcí a též kamenivo frakce 4-8 mm. Druhá *receptura (B)* obsahovala pouze skelný recyklát, tedy bez přídavku kameniva. Detailní popis obou receptur uvádí Tab. 3.

Tab. 3 Receptury betonů se skelným recyklátem

Označení receptury	Množství cementu CEM II 32,5 R [kg/m ³]	sklo		kamenivo	voda [kg/m ³]
		1-2 mm	4-8 mm	4-8 mm	
		[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	
A	350	700	300	1000	150
B	350	950	1150	-	150

3. Prováděné zkoušky

Samotný skelný recyklát i vzorky vyrobené z betonu ze skelným recyklátem (receptura A a B) jsme podrobili následujícím zkouškám:

- Stanovení sypné hmotnosti a mezerovitosti skelného recyklátu (dle ČSN EN 1097-6)
- Stanovení objemové hmotnosti čerstvého betonu – 48 hodin (dle ČSN EN 206+A1, ČSN EN 12350)
- Stanovení objemové hmotnosti betonu po 28 dnech zrání (dle ČSN EN 206+A1, ČSN EN 12390)
- Stanovení pevnosti betonu v tlaku (dle ČSN EN 206+A1, ČSN EN 12390-3)

4. Naměřené výsledky a diskuze

V souladu s normou ČSN EN 1097-3 jsme určili sypnou hmotnost a mezerovitost skelného recyklátu z fotovoltaických panelů. Mezerovitost udává podíl objemu mezer mezi zrny v celkovém objemu. Naměřené výsledky sypné hmotnosti a mezerovitosti udává Tab. 4.

Tab. 4 Naměřené výsledky sypné hmotnosti a mezerovitosti skelného recyklátu

Sypná hmotnost	frakce 1-2 mm	frakce 4-8 mm
	[kg/m ³]	[kg/m ³]
volně sypaného recyklátu	1086	1265
zhuťněného recyklátu	1261	1413
Mezerovitost	frakce 1-2 mm	frakce 4-8 mm
	[%]	[%]
volně sypaného recyklátu	60	53
zhuťněného recyklátu	53	48



Obr. 2 Stanovení sypné hmotnosti skelného recyklátu frakce 4-8 mm a 1-2 mm

Hodnoty *objemové hmotnosti čerstvého betonu*, tedy vzorků ve stáří 48 hodin, dosáhly pro recepturu A v průměru 2160 kg.m⁻³. Pro recepturu B, jenž obsahuje pouze skelný recyklát, byla naměřená průměrná hodnota 1880 kg.m⁻³.

Daší výsledky prováděných zkoušek, včetně průměrných hodnot pro *recepturu A* a *recepturu B* přehledně uvádí následující tabulka Tab. 5. Pevnost v tlaku byla stanovena po 28 dnech stáří betonu.

Tab. 5 Naměřené hodnoty

Vzorek	Hmotnost [g]	Objemová hmotnost [kg.m ⁻³]	Rozměry vzorku [mm]	Pevnost [MPa]
A1	7213,2	2137,2	150x150x150	20,9
A2	7227,0	-	150x150x150	22,6
A3	7243,6	-	150x150x150	22,0
A - průměr	7227,9	2140	150x150x150	21,8
B1	6220,4	1843,1	150x150x150	11,5
B2	6286,4	1862,6	150x150x150	11,9
B3	6198,6	1836,6	150x150x150	11,9
B4	6229,8	1845,9	150x150x150	11,3
B - průměr	6233,8	1850	150x150x150	11,7

Měřením získané pevnosti dosahují přívětivých hodnot. Pro recepturu A, která obsahuje i jednu frakci kameniva je průměrná naměřená pevnost **21,8 MPa**, což opovídá středním hodnotám pevnosti obyčejného betonu. Receptura B osahující pouze skelný recyklát má průměrnou pevnost nižší, a to **11,7 MPa**. Nicméně má celkově i nižší objemovou hmotnost a je tedy lehčí. Beton se skelným recyklátem (receptura B) je i s touto nižší pevností vhodný pro nosné zdicí prvky.

Vlastnosti můžeme porovnat s hojně užívaným lehkým pórobetonem značky YTONG. Data předkládá následující Tab. 6. Vidíme, že pevnosti pórobetonu dosahují poloviční až více než čtvrtinových hodnot pevnosti betonu se skelným recyklátem (v závislosti na zvolené třídě).

Tab. 6 Hodnoty pro pórobetonové tvárnice YTONG pro obvodové a nosné stěny

Typ	Objemová hmotnost [kg.m ⁻³]	Pevnost [MPa]
Standard P2-400	400	2,7
Univerzal P3-450	450	3,5
Statik P4-550	550	5,0
Statik Plus P6-650	650	6,5

zdroj dat: informační materiál výrobce, www.ytong.cz

5. Závěr

Získané výsledky pevností betonových tvárnic ze skelného recyklátu prokázaly možnost použití pro základy budov i nosné konstrukce nízkopodlažních objektů.

Příměs polymerních vláken by jistě přinesla další zlepšení mechanických vlastností, nabízí se i kombinace hrubého betonového recyklátu s jemnějším skelným recyklátem při přípravě nové receptury betonu.

Jedno omezení bude vždy hladkost povrchu skla v kontaktu s cementovým tmelem a možná chemická reakce sklo – hydroxid vápenatý. Touto problematikou se již úspěšně zabývá řada vědeckých studií [1], [3], [13], [14].

Poděkování

Příspěvek byl vytvořen v rámci řešení projektu č. LO1408 "AdMaS UP -Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie" podporovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu „Národní program udržitelnosti I“.

6. Literatura

- [1] AFSHINNIA, K.; RANGARAJU, P. R. Impact of combined use of ground glass powder and crushed glass aggregate on selected properties of Portland cement concrete. *Construction and Building Materials*. 2016, 117, 263-272. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.072>
- [2] BECHNÍK, B.: Recyklace fotovoltaických panelů na konci životnosti. *TZB-info*. 2011. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/7868-recyklace-fotovoltaickych-panelu-na-konci-zivotnosti>
- [3] CORINALDESI, V.; NARDINOCCHI, A.; DONNINI, J. Reuse of recycled glass in mortar manufacturing. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. 2016, 20, 140-151. <https://doi.org/10.1080/19648189.2016.1246695>
- [4] ČSN EN 933-1. Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor
- [5] ČSN EN 1097-3. Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 3: Stanovení sypané hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného kameniva.
- [6] ČSN EN 1097-6. Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti
- [7] ČSN EN 206+A1. Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
- [8] ČSN EN 12350. Zkoušení čerstvého betonu
- [9] ČSN EN 12390. Zkoušení ztvrdlého betonu

- [10] DENÍK.CZ. Češi jsou hned po Belgičanech nejlepší ve třídění odpadu. 11. 5. 2017. [online]. Dostupné z: <https://www.denik.cz/ekonomika/cesi-jsou-hned-po-belgicanech-nejlepsi-ve-trideni-odpadu-20170511.html>
- [11] THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL: Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE) Text with EEA relevance. Dostupné z: <http://data.europa.eu/eli/dir/2012/19/oj>
- [12] IQ ENERGY: Technologický vývoj fotovoltaických panelů. [online]. Dostupné z: <http://www.igenergy.cz/produkty-a-reseni/fotovoltaika/technologicky-vyvoj/#.XHLXV-hKhPY>
- [13] ISMAIL, Z. Z.; AL-HASHMI, E. A. Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete. *Waste Management*. 2009, 29(2), 655-659. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.08.012>
- [14] DE CASTRO, S.; DE BRITO, J. Evaluation of the durability of concrete made with crushed glass aggregates. *Journal of Cleaner Production*. 2013, 41, 7-14. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.09.021>

VYUŽITÍ ODPADNÍHO SKLA A KERAMIKY DO BETONU

THE UTILIZATION OF WASTE GLASS AND CERAMIC IN CONCRETE

Ing. Diana Mariaková, Ing. Tereza Pavlů, PhD.

České vysoké učení technické v Praze, stavební fakulta, katedra K124 konstrukcí pozemních staveb, Thákurova 7/2077, 166 29, Praha 6, diana.mariakova@fsv.cvut.cz

České vysoké učení technické v Praze, Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, Třínecká 1024, 273 43, Buštěhrad

Abstract

Nowadays, decrease of natural resources used in concrete is a common phenomenon. Therefore, people are searching for suitable materials as an alternative for typical components of concrete. This paper deals with the possibilities of use waste glass and ceramic as a partial replacement for aggregate or cement in concrete. There is a summary of the available research results and my research work.

1. Úvod

Během posledních let, snižující se množství neobnovitelných zdrojů a surovin patří k zásadním problémům, kterým lidstvo čelí. Nicméně, získávání těchto materiálů je úzce spjato s negativními vlivy na životní prostředí – vysokou spotřebou primární energie či produkcí emisí CO₂ [1].

Se zvyšováním počtu obyvatel se zvyšuje i produkce lidské činnosti a vzniká velké množství odpadu různého složení. Celosvětový nárůst odpadu patří k dalším z hlavních problémů, se kterými je potřeba se vypořádat [2]. Podle posledních údajů Českého statistického úřadu (z roku 2017), až 36 % tohoto odpadu vzniká při stavebních činnostech (výstavba, demolice, rekonstrukce aj.) [3].

I přes tyto faktory, využívání neobnovitelných materiálů a zdrojů pokračuje; k tomu navíc neodmyslitelně patří následná produkce odpadu (který vzniká už během získávání a zpracovávání materiálů). Jakmile je odpad jednou vyprodukován, je potřeba ho někam uložit – nebo lépe, dobře s ním naložit [4]. Závažným problémem jsou právě odpady stavební, především kvůli jejich dopadu na životní prostředí a potřebě prostor pro skládkování těchto odpadů.

Jednou z možností, jak nakládat s odpadem, je využívání procesu recyklace. Recyklace, v původním slova smyslu, znamená návrat materiálu do procesu, ve kterém vznikl (ať už jako celek, nebo jeho část) [2]. V širším slova smyslu může být recyklace považována za jakékoliv opětovné použití materiálu; využití nemusí být nutně ve stejném systému, jako předtím. Nicméně jakýkoliv návrat odpadu do procesu je považován za úspěch, přinejmenším pro životní prostředí [5].

Druhým nejpoužívanějším materiálem na světě je beton (na 1. místě je voda). Zhruba 7-8 % celosvětové produkce CO₂ pochází z výroby cementu, proto se v posledních letech objevila snaha snížit množství betonu nebo lépe jeho dopad na životní prostředí. Toho lze dosáhnout optimalizací betonové směsi či nahrazením některých složek právě recykláty. [6]

Mezi nahraditelné složky v betonových směsích patří např. cement či kamenivo. V dnešní době už je možné (a vhodné) ověřovat chemické složení recyklátů či zkoumat velikost částic a určit tak vhodnost náhrady některé složky betonu.

Tento příspěvek se zabývá právě možnostmi využitím recyklátů (konkrétně odpadního skla či keramiky) do betonu. Odpadní sklo může pocházet z různých zdrojů (v dnešní době to je především sklo z komunálního odpadu či fotovoltaických panelů), stejně tak keramika. Využití těchto odpadů se objevuje ve stavebnictví čím dál častěji.

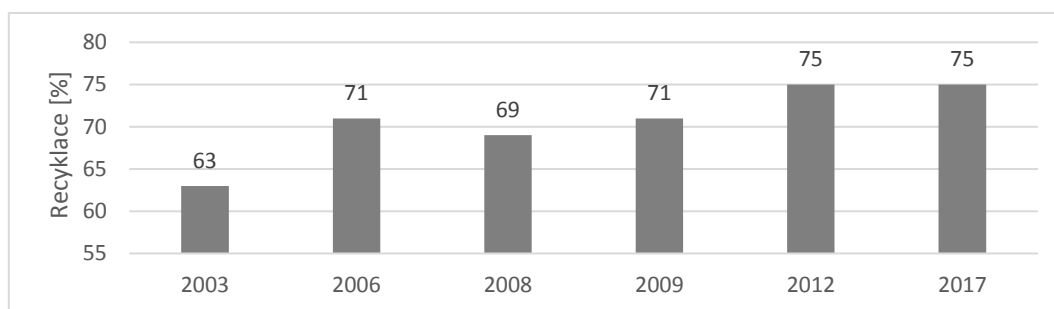
2. Sklo

Sklo je jeden z nejstarších materiálů využívaný v nejrůznějších odvětvích; hojně používaný ve stavebnictví a architektuře, závislý na primárních surovinách. Vyrábí se v různých barvách, liší se chemickým složením. Sklo je nerozložitelný materiál, který je téměř ze 100% recyklovatelný [7].

Obecně lze rozlišovat v produkci skla tři základní kategorie:

- skleněné obaly,
- sklo používané ve stavebnictví,
- ostatní sklo.

Obalové sklo je nejčastěji recyklovaným skleněným materiálem. Celosvětově se míra recyklace skleněných obalů pohybuje kolem 70 %, průměr v Evropě je 71 %.



Graf 1 Míra recyklace skleněných obalů v České republice v letech 2003-2012 [7]

Sklo lze kategorizovat i podle chemického složení, nicméně k výrobě je využíván v zásadě především křemenný písek. Celosvětově je produkce skla velmi vysoká, v dnešní době je již zaveden trend přidávat asi 60 % recyklovaného skla do každé další výroby skla. Roztavení starého skla je snadnější, než tavení skla úplně nového; teplota taveniny může být nižší, což vede k nižší spotřebě energie a menším emisím [8]. Mezi další výhody recyklace skla patří redukce skládek [8] [9], snížení emisí CO₂ a také úspora primárních surovin – to vše je také spjato s úsporou finanční [10]. V následujících letech bude recyklace nezbytná. Spolu s recyklačním přístupem je žádoucí i minimalizace odpadu [11].

U skleněných obalů jasně převažují klady recyklace. Hlavním problémem recyklace u skla ze stavebnictví je nutnost jeho třídění; nečistoty a nežádoucí příměsi, které se ve skle objevují, jsou způsobeny především neřízenými demolicemi.

Pokud chceme sklo znovu použít, musí být zbaveno nečistot – to ovšem nemusí nutně platit u použití do betonu.

2.1. Využití skla do betonu

Odpadní sklo ze stavebnictví vzniká především při rekonstrukcích a demolicích. Jeho opětovné využití ve stavebnictví je v posledních letech na vzestupu. Často už se používá čisté odpadní sklo k produkci tepelné izolace (skelná vata či pěnové sklo) [12]. Vzhledem k neřízeným demolicím, které jsou v České republice standardním postupem, je s čistotou a kvalitou skelného odpadu problém.

Je to ovšem řešitelné; vysoké čistoty a kvality skelného střetu lze dosáhnout tzv. řízenou demolicí, která se běžně využívá např. v Belgii. Po demontáži stavby se nejprve odeberou materiály jako sklo, kovy, PVC a dřevo. Zvyšuje to možnost recyklace těchto materiálů a také riziko, které neřízenou demolicí provází [13].

Vzhledem k nynějším podmínkám se ovšem možnost řízených demolic nejeví jako nejjednodušší řešení. Reálnější je hledání možností, jak využít odpadní sklo i s příměsemi, které se můžou v odpadu objevit.

Během posledních let bylo prověřováno využití odpadního skla do betonu. Výzkumní pracovníci z různých zemí [13] [14] [15] [16] testovali možnost nahrazování různých složek betonu a jeho následné mechanické vlastnosti.

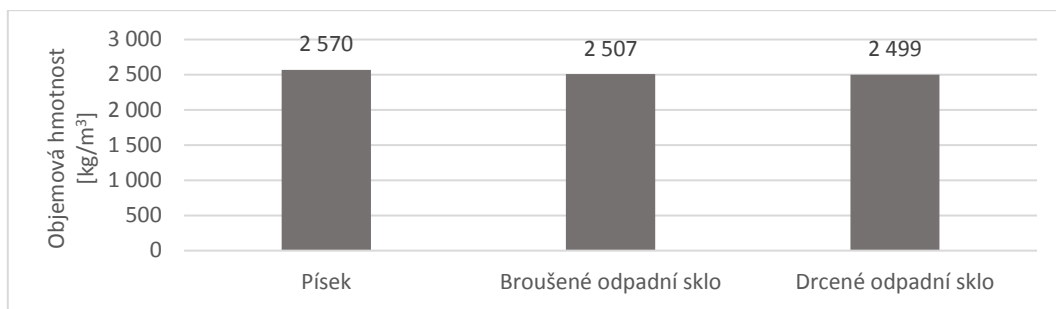
Obecně jsou prozatím dvě cesty, jak využít odpadní sklo do betonu – náhrada kameniva (hrubého, jemného) nebo náhrada cementu. Jsou rovněž známy výzkumy, kde se zkoumalo částečného nahrazení cementu a kameniva recyklátem zároveň [17].

2.1.1. Náhrada kameniva

Existuje několik studií [16] [18] [19] [20], které zkoumají možnosti využití odpadního skla jako částečné náhrady kameniva v betonu. Je možné nahradit hrubou či jemnou frakci; na základě výzkumů [17] [21] je možné říct, že jemná frakce se jeví jako vhodnější možnost. Důvodem je zejména riziko alkalicko-křemičité reakce.

Objevila se i práce, která se zabývala zejména otázkou, jak velké množství kameniva lze nahradit skelným recyklátem. Tato otázka vyvstává zejména z důvodu rizika alkalicko-křemičité reakce. Byla zkoumána částečná náhrada kameniva 15 %, 30 %, 45 % a 60 %. Velikost částic se pohybovala v rozmezí 4-16 mm. Prvně byla zkoumána právě alkalicko-křemičítá reakce; se zvětšující se velikostí částic roste i riziko ASR. Zbytek testů se pak zaměřil na zpracovatelnost betonu a jeho pevnost [16]. Dále byly provedeny např. testy rozlití, testy pucolánové aktivity, zkoumána byla i ideální velikost použitých částic aj. [20]

Všechny studie došly k podobným závěrům – beton s obsahem odpadního drceného skla vykazoval stále vlastnosti, se kterými se dá dále pracovat. Množství kameniva, které je možné nahradit odpadním sklem (za předpokladu zachování vlastností betonu), se pohybuje okolo 10–20 %. Při tomto množství zůstaly pevnosti betonové směsi s recyklátem v porovnání s referencí s přírodním kamenivem podobné [16] [18] [20].



Graf 2 Objemové hmotnosti

Pro využití materiálu do betonu jako náhradu kameniva je nutno splnit požadavek na objemovou hmotnost, který určuje minimální hodnotu objemové hmotnosti 2 000 kg/m³. Tento požadavek odpadní sklo splňuje, ačkoliv je z Grafu 2 vidět, že je objemová hmotnost odpadního skla zhruba o 4 % nižší než objemová hmotnost písku.

2.1.2. Náhrada cementu

Odpadní sklo je možné použít jako náhradu v betonu v různých formách. Trend uplatnění odpadu v betonu místo cementu se už delší dobu objevuje; využívá se např. vysokopeční struska [22], popílek [23], jíly [24] či recyklovaný cement [25].

Ačkoliv je použití odpadního skla jako náhrada hrubého kameniva proveditelná varianta, vhodnější je zřejmě nahrazení cementu. Bylo provedeno několik studií [15] [16] [26], které porovnávají vlastnosti založené především na velikosti částic odpadního skla, chemickém složení, dále byly srovnávány vlastnosti odpadního skla a popílku (který se také využívá jako náhrada některých surovin do betonu). Bylo zjištěno, že velikost částic skla usnadňuje průběh alkalicko-křemičité reakce v betonu, což je nežádoucí [27].

I přes pár studií a výzkumů, není téma využití odpadního skelného prachu do betonu zcela prozkoumáno. Je nutno provést další průzkum a experimenty k ověření vlastností betonu s recepturou, obsahující odpadní skelný prach. Využití skelného prachu je vhodné především ve vysokohodnotném betonu, protože v receptuře je méně vody (nižší vodní koeficient). Voda je dalším rizikovým faktorem v materiálech, kde hrozí potenciální nebezpečí alkalicko-křemičité reakce.

Mimo jiné, je vhodné použít odpadní skelný prach jako pucolánový materiál; zvyšuje se tak tvorba CSH gelu, což vede ke snížení velikosti pórů. Výsledkem tohoto procesu je zvýšená pevnost a snížená propustnost. Zlepšena byla kvalita a trvanlivost betonu [28]. Byly publikovány závěry o měrném povrchu [29], barvě [15], pucolánových aktivitách, pevnosti v tlaku a potenciální expanzi [30].

Výsledky prokázaly uspokojivé technické vlastnosti odpadního skelného prachu jako pucolánového materiálu v betonu; odpadní skelný prach má totiž větší měrný povrch než Portlandský cement při podobných velikostech částic. Princip fungování pucolánové vlastnosti skla zatím nebyl v žádné studii prokázán [31]. Mimo jiné má na výsledky dopad i barva skla; z důvodu různého chemického složení (především rozdílné množství křemíku a vápníku), můžeme docházet i k mírně jiným výsledkům [29]. Částečná či úplná náhrada cementu odpadním sklem má podle dosavadních studií větší potenciál než náhrada kameniva.

3. Keramika

Keramický průmysl má několik fází výroby a vzniká během nich množství odpadu – přesněji je to 3-7 % z celkového množství odpadu v Evropě, což v roční produkci kalcinovaných jílu představuje řádově miliony tun [32]. S ohledem na tepelné zpracování a chemické složení keramického odpadu lze mluvit o potenciálu, který tento materiál má jako částečná náhrada cementu v betonu; kalcinace surové keramické hlíny má vliv na pucolánovou reaktivitu [33].

Využití keramického odpadu v praxi existuje, nicméně je to stále pouze zlomek z celkového množství, které by bylo možné využít; mezitím se tento odpad skládá i přes rostoucí omezování skládek. Cihelný recyklát je využíván jako vstupní materiál do různých prefabrikátů, moučku je pak možné využít do antuky, dalším využitím pak může být modifikace na zásyp (v dnešní době nejčastější využití). Pro další využití je nezbytné odpadní keramika nějakým způsobem upravit [2].

Do budoucna to tedy bude znamenat další problém k řešení, a proto bude nutné hledat způsoby, jak keramický odpad využít.

3.1. Využití keramiky do betonu

Diskutovaným tématem posledních let je trvale udržitelný rozvoj (tj. současná generace se snaží zachovat životní prostředí pro generaci budoucí s co nejmenší změnou). Na konstrukce a stavební materiály jsou kladeny stále vyšší požadavky, které se liší v závislosti na lokalitě [2]

Použití keramiky při výrobě betonu je výhodné z několika hledisek – především se jedná o snížení enviromentálních dopadů, které při výrobě cementu nejsou zanedbatelné. Konkrétně se jedná o úsporu energie, zachování přírodních zdrojů a celkové snížení nákladů [34]. Keramické materiály se tak mohou stát levnější variantou doplňkového pojiva do malt a betonů – s vlastnostmi téměř rovnocennými [35]. Problematika je ovšem dost specifická a složitá, vzhledem k náročným výrobním technologiím a procesům vypalování jílu; nezbytný je výzkum možnosti využití odpadní keramiky.

Stejně jako u skla, je možné využít keramický odpad do betonu v různých formách. Vše je podloženo studii, kde je zkoumáno chemické složení, morfologie vzorků nebo množství keramického odpadu, které je možné přidat do betonu [36] [37].

3.1.1. Náhrada kameniva

Znovuvyužití keramického odpadu v betonu může být prospěšné z několika důvodů; na jedné straně se vyřeší problém upotřebení odpadu z keramického průmyslu a současně se přiblíží vize trvale udržitelnějšího betonářského průmyslu snížením potřeby využívání neobnovitelných zdrojů jako je cement nebo kamenivo. Zabrání se rovněž i problémům životního prostředí, které souvisí se získáváním těchto surovin [38].

Výzkumy, které testují náhradu kameniva keramickým odpadem, se v posledních letech objevují na vědeckém poli. Náhrada kameniva se dostává až na 100 % s minimálním poklesem mechanických vlastností. Keramika se prokázala jako praktická náhrada přírodního kameniva v betonu [36].

Chemické složení keramiky z různých provozů se může lišit. Proto můžou některé výsledky vykazovat poklesy v pevnostech. Nicméně, výsledky také ukazují, že betonové směsi s keramickým odpadem jako náhrada kameniva, mají v určitých testech lepší výsledky, než referenční směsi bez keramického odpadu; konkrétně se jedná třeba o pevnost v tlaku, kapilární absorpci vody, propustnost kyslíku a chloridů [38]. Všechny tyto faktory vedou k lepší trvanlivosti betonových konstrukcí.

3.1.2. Náhrada cementu

Nahrazení cementu bylo zkoumáno především ve vysokohodnotném betonu, kde je uplatněn velký podíl tohoto materiálu. Ve studiích je nahrazováno zhruba 10 % - 40 % portlandského cementu keramickým odpadem. Následně jsou testovány mechanické vlastnosti těchto směsí, trvanlivost vzorků a jejich mikrostruktura. Výsledky prokazují, že vysokohodnotný beton s obsahem keramického odpadu má vysokou pevnost a trvanlivost. Výzkum mikrostruktury prokázal, že přidání odpadní keramiky do betonu nemá výrazný vliv na hydrataci cementu [37].

Odpadní keramiky navíc vykazuje pucolánové vlastnosti. Chemické a fyzikální vlastnosti prvků s obsahem keramického odpadu vycházejí v přijatelných hodnotách (i když je přidáno až 35 % keramického recyklátu [39]).

Zkoušeny byly i jiné receptury, kde bylo zohledněno různé chemické složení. Nahrazováno bylo hlavní pojivo (portlandský cement CEM I 42,5 R) postupně zvyšujícím se množstvím keramického prachu (hodnoty 8–40 %). Vodní součinitel u všech receptur zůstal stejný (tj. $v/c = 0,5$). Všechny výsledky byly následně srovnávány s referenčním vzorkem, který byl vytvořen spolu se sadami s obsahem recyklátů. Zkoumáno bylo i chemické složení vzorků a velikost jejich částic (která nebyla nijak upravována, jemnost byla považována za dostačující) [40].

4. Dosavadní výzkum

Během posledních dvou let, byl proveden výzkum ohledně využití odpadního skelného prachu ve vysokohodnotném betonu. Nahrazována byla celá složka křemenné moučky a cílem tohoto výzkumu bylo experimentálně ověřit vlastnosti betonu s obsahem odpadního skla z různých zdrojů (sklo broušené a sklo z komunálního odpadu).

Zkoumáno bylo chemické složení odpadních prachů a velikost částic, dále pak objemová hmotnost. Provedeny byly zkoušky v tahu za ohybu a v tlaku.

Výsledky dosahovaly uspokojivých hodnot (zhruba 68-85 %) vzhledem k prvnímu testování této teorie.

Práce je nyní rozšiřována v rámci doktorského studia a výzkum těchto materiálů pokračuje. Momentálně je do programu zkoušení zařazen další druh odpadního skla – z fotovoltaických panelů. Nově je také zkoušen beton s obsahem keramického odpadu.

Zkoumána je podrobněji také objemová hmotnost odpadního skla, která díky svým nižším hodnotám poukazuje na využití do lehčeného zdiva. Prozatím se pracuje na fázi optimalizace receptury a zkoušení pevnosti již optimalizovaných vzorků.

5. Závěr

V příspěvku byly shrnuty možnosti využití recyklovaného odpadního skla a keramiky jako materiálů, kterými je možné nahradit některé složky betonu. Oba tyto materiály mají velký potenciál pro využití v betonu, ať už jako náhrada kameniva nebo cementu. Na základě výzkumů a výsledků vlastní práce bylo prokázáno, že vlastnosti betonových směsí s obsahem těchto recyklátů se výrazně nezhoršují; u mechanických vlastností betonu dochází k mírnému snížení pevností, nicméně dochází zároveň k šetření primární energie a emisí CO₂. Využití odpadního skla a keramiky do betonu je tedy možné a skládkování těchto materiálů se jeví jako nadbytečné, stejně jako využívání přírodních neobnovitelných materiálů.

Poděkování

Tato práce vznikla za finanční podpory MPO TRIO FV10397 Recyklovaný environmentální beton pro stavební konstrukce, MŠMT v rámci programu NPU I č. LO1605 a SGS19/093/OHK1/2T/11 Využití odpadních surovin v designových prvcích z vysokohodnotných betonů.

Reference

- [1] V. Mlčochová, "New findings about recycled concrete," in Recycling 2006 - Možnosti a perspektivy recyklace stavebních odpadů jako zdroje plnohodnotných surovin, Brno, 2006.
- [2] L. Brožová a K. Kuntová, „Recyklace stavebního demoličního odpadu a jeho využití u pozemních staveb,“ Journal Business & IT, 2016.
- [3] Český statistický úřad, „Výstupní objekt VDB,“ [Online]. Available: <https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/index.jsf?page=vystup-objekt&pvo=ZPR05&z=T&f=TABULKA&katalog=30842&str=v86>.
- [4] GREEN Solution s.r.o. , „Ministerstvo životního prostředí,“ 2017. [Online]. Available: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/program_predchazeni_vzniku_odpadu/\\$FILE/OODP-pruvodce_stavebni-20170201.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/program_predchazeni_vzniku_odpadu/$FILE/OODP-pruvodce_stavebni-20170201.pdf). [Přístup získán 27 2 2019].
- [5] J. Vacková, Problematika třídění odpadu u různých věkových kategorií obyvatel, České Budějovice, 2013.
- [6] P. Hájek, „Life cycle assessments of concrete structures - A step towards environmental savings,“ v Structural concrete, 2011.
- [7] E. Zeiler, Výroba skla a recyklace skleněného odpadu, Ostrava, 2011.
- [8] A. Schmitz, J. Kaminski, S. B. Maria a A. Soria, Energy consumption and CO2 emissions of the European glass industry, Energy Policy 39 , 2011.
- [9] A. H. Bhatt, R. V. Karanjekar, S. Altouqi, M. L. Sattler, M. D. S. Hossain a V. P. Chen, Estimating landfill leachate BOD and COD based on rainfall, ambient temperature, and waste composition: Exploration of a MARS statistical approach, 2017.
- [10] V. Kreníková, Odpady a druhotné suroviny II, Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně v Ústí n. Labem, Fakulta životního prostředí , 2014.

- [11] D. Vávrová, Recyklace skla, Ostrava, 2011.
- [12] T. Pavlů, „Možnosti využití odpadního skla ve stavebnictví,“ Buštěhrad, 2017.
- [13] D. Mariaková, Glass powder waste utilization in high-performance concrete, Prague: Czech Technical University in Prague, 2018.
- [14] C. Meyer a S. Baxter, Use of recycled glass for concrete masonry blocks, NYSERDA, November 1997.
- [15] A. Shayan, „Value-added utilisation of waste glass in concrete,“ January 2004. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884603002515>.
- [16] I. B. Topcu, Properties of concrete containing waste glass, February 2004.
- [17] N. A. Soliman a A. Tagniz-Hamou, „Development of ultra-high-performance concrete using glass powder - Towards ecofriendly concrete,“ v Construction and building materials, Elsevier, October 2016.
- [18] J. Khatib, E.M.Negim, H. Sohl a N. Chileshe, Glass powder Utilization in Concrete Production, 2012.
- [19] A. Mohajerani, J. Vajna, T. H. Homan Cheung, S. Horpibulsuk, H. Kurmus a A. Arulrajah, Practical recycling applications of crushed waste glass in construction materials: A review.
- [20] Z. Z. Ismail a E. A. AL-Hashmi, Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete.
- [21] M. C. Tang, L. Wang a R. K. Dhir, „Engineering and durability properties of concrete containing waste glass,“ v Achieving sustainability in construction, Cornwall, MPG Books, 2005, pp. 219-228.
- [22] K. Lee, K. Lee, S. Lee a G. Kim, „Autogeneous shrinkage of concrete containing granulated blast furnace slag,“ v Cement and Concrete Research 7, 2006, pp. 1279-1285.
- [23] C. P. S. Kou, „A novel polymer concrete made with recycled glass aggregates, fly ash and metakaolin,“ v Construction and Building Materials 41, 2013, pp. 146-151.
- [24] N. Farzadnia, A. A. Abang, R. Demirboga a A. M.P., „Effect of halloysite nanoclay on mechanical properties, thermal behavior and microstructure of cement mortars,“ v Cement and Concrete Research 48, 2013, pp. 97-104.
- [25] T. Pavlů, M. Šefflová a Hujer, „Vlastnosti jemnozrnného betonu s částečnou náhradou cementu recyklovaným cementovým prachem,“ v Praha, 2015.
- [26] M. Pattengil a T. Shutt, Use of ground glass as pozzolan, Albuquerque, New Mexico, USA, 1973.
- [27] N. Schwarz a N. N. Hieu Cam, Influence of a fine glass powder on the durability characteristics of concrete and its comparison to fly ash, July 2008.
- [28] P. Matulová, T. Melichar a J. Příklad, Substituce pojiva v cementových kompozitech jemně mletou recyklovanou sklovinou s ohledem na životní prostředí, BETON TKS, 3/2009.

- [29] P. Dobrovolný, Možnosti redukce emisí CO₂ produkovaných při výrobě portlandských cementů, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, 2013. 49s, Bakalářská práce.
- [30] Y. Shao, T. Lefort, S. Moras a D. Rodriguez, Studies on concrete containing ground waste glass, January 2000.
- [31] Y. Jani a W. Hogland, „Waste glass in the production of cement and concrete – A review,“ Journal of Environmental Chemical Engineering, pp. 1767-1775, 2014.
- [32] C. Meyer, „The greening of concrete industry,“ v Cement and concrete composites, 2009, pp. 601-605.
- [33] A. NACERI a H. M.CH., „Use of waste brick as a partial replacement of cement in mortar..,“ v Waste Management , 2009, pp. 2378-2384.
- [34] R. KAMINSKAS, M. J. a A. KAMINSKAS, „The effect of pozzolana on the properties of the finest fraction of separated Portland cement,“ Ceramics, pp. 15-21, 2005.
- [35] E. Vejmelková, M. Ondráček, S. M. a Č. R., „Fineground ceramics as an alternative binder in high performance concrete,“ v High Performance Structures and Materials, 2010, pp. 91-98.
- [36] D. J. Anderson, S. S.T. a A. F.T.K., „Mechanical properties of concrete utilising waste ceramic as coarse aggregate,“ Construction and Building Materials, pp. 20-28, 1 August 2016.
- [37] D. Kannan, S. Aboubakr, A. El-Dieb a M. Reda Taha, „High performance concrete incorporating ceramic waste powder as large partial replacement of Portland cement,“ Construction and Building Materials, pp. 35-41, 30 July 2017.
- [38] F. Pacheco-Torgala a S. Jalalib, „Reusing ceramic wastes in concrete,“ Construction and Building Materials, pp. 832-838, May 2010.
- [39] A. Nuran a M. Ünal, „The use of waste ceramic tile in cement production,“ Cement and Concrete Research, pp. 497-499, March 2000.
- [40] T. Kulovaná, Vliv jemně mleté keramiky na vlastnosti cementových kompozitů, Praha, 2018.

VYUŽITÍ ODPADNÍHO KALU PŘI ZPRACOVÁNÍ PŘÍRODNÍHO KAMENE

USE OF THE WASTE SLUDGE FROM NATURAL STONE TREATMENT

Ing. Luboš Musil*, Doc., Ing. Jan Vodička, Ing. arch. Tereza Cibulka

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra betonových a zděných konstrukcí,

*lubos.musil@fsv.cvut.cz

Abstract

The article deals with the use of fine particles, which are a part of the waste sludge created by natural stone (granite) cutting and polishing process. The properties of the microfiller obtained from sludge were researched with regard to the use of secondary raw material in concrete mixtures. Designed concrete composites after hardening show auspicious mechanical characteristics. The demonstrated characteristics mentioned in the article lead to the use of this waste in building practice.

1. Úvod

V dnešní době je kladen důraz na ekologii, nízké cenové náklady a úsporu nerostných surovin. Z těchto důvodů je snaha přidávat do betonu alternativní suroviny. Velká pozornost se v současné době věnuje popílkům, strusce, mikrosilikátům, mramorové (vápencové) mikromleté moučce. K dalším možným náhradám patří jemný prach vzniklý při zpracování kamene (filler). Článek řeší možnost využití tohoto materiálu, který je odpadní složkou při řezání a leštění přírodního kamene (žuly). Této druhotné surovině nebyl dosud věnován žádný podrobný výzkum. Jedná se tak o druhotnou surovinu, která dosud není zcela používanou náhradou pojiva. Velkým rozdílem oproti stejně vzniklým odpadům například z mramoru (který byl důkladně zkoumán) je chemické složení. Z těchto důvodů byly v článku podrobněji řešeny charakteristiky odpadní suroviny ze žuly a její možné využití v betonových konstrukcích. Výhodou tohoto materiálu, například oproti mletým moučkám, je minimální úprava - sušení, přesátí.

2. Vznik a úprava kalu

Odpadní materiál vzniká při opracování kemenných bloků a kvádrů ze žuly. Probíhá ve výrobní hale, kde se jednotlivé kusy řezou a leští. Nejvíce používané jsou diamantové kotouče, brousky, vrtáky, kartáče atd. Veškeré tyto práce probíhají pod vodou, aby nedocházelo k přehřívání nástrojů

a zároveň tzv. spálení kamene. Z ekologických a provozních důvodů je voda filtrována a znovu používána při opracování. Zbylý zachycený kal je sbírán do pytlů. Největší podíl zrn je z řezání bloků. V závislosti na velikosti průměru řezného kotouče a jeho segmentu je rychlost řezání přibližně od 1,8 do 3,5 m/s. Touto rychlostí je výška zářezu do bloku 20 - 30 mm a šířka prořezu pro běžné kotouče 3 - 5 mm. Z těchto údajů je zřejmé, že podíl odpadu není zanedbatelný.

Obr. 1 - filtrace

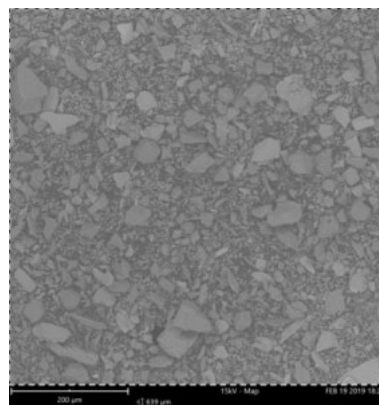


Celkový objem vyprodukovaného odpadu je cca 1 žok (necelý 1 m³) za den (viz Obr. 1).

Vzorky byly odebrány přímo z pytlů u filtrace i navezených hromad skládky odpadu. V prvním případě byl nabrán kal, který měl kašovitou konzistenci. V druhém případě byl kal na skládce již proschnutý. Vlhkost při odběru je závislá na počasí a době, kdy byl materiál vyvezen na skládku. Kal byl následně vysušen. Výsledným produktem byl jemný prach s hrudkami. Narozdíl od mramorového odpadu ze suchých východních zemí, který byl už podrobně zkoumán, jsou tyto hrudky jednoduše rozmělnitelné a nemusí probíhat žádné další náročné mletí. Vysušená odpadní surovina byla prosáta přes síto s velikostí ok 0,125 mm. Zbylé hrudky na sítu byly ještě jednou rozmělněny a znovu prosáty. Následně na sítu zůstaly pouze větší zrna kamene, která vznikají odšípnutím materiálu například při posledním dořezu. Dále zbyly malé chomáčky dřevěných vláken, jelikož jsou bloky položeny na dřevěném stole nebo trámčích.

3. Chemické složení odpadní suroviny

Jak již bylo zmíněno v úvodu, chemické složení má velký vliv na výsledné vlastnosti betonového kompozita. V tomto případě byl zkoumán odpad ze žuly (granitu). Obecně tyto horniny obsahují nezanedbatelné množství křemene (SiO₂). To potvrdila i analýza rentgenovým spektrometrem, kde byly naměřeny hodnoty oxidu křemíku okolo 60 %. U veškerých měřených vzorků byly jednotlivé hodnoty oxidů (prvků) přibližně stejné. Názorné rozdělení všech prvků je vidět v Tab. 1, která udává hodnoty naměřené z oblasti na Obr. 2. Snímané pole má rozměry 639 x 639 μm. Pro odhad přiblížení a velikosti zrn je v dolním levém rohu obrázku měřítko (200 μm).



Obr. 2 - přiblížení zrn spektrometrem

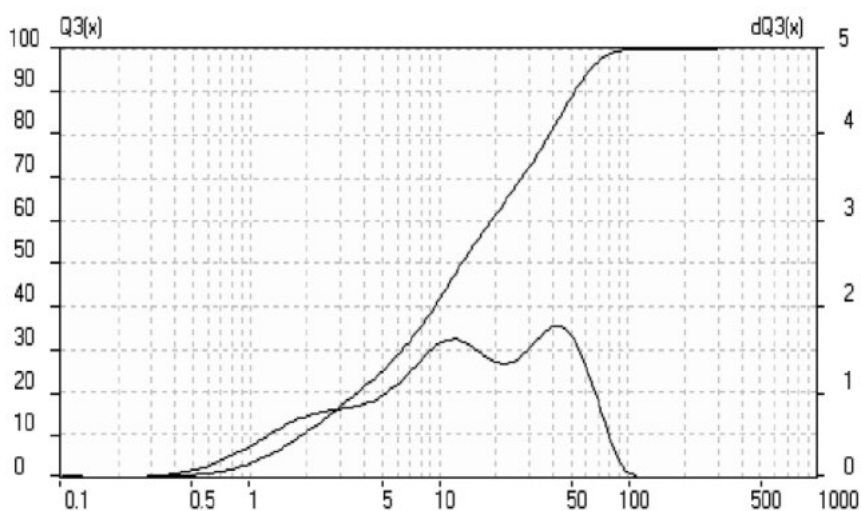
Element Symbol	Atomic Conc.	Weight Conc.	Oxide Symbol	Stoich. wt Conc.
O	69.92	56.22		
Si	19.50	27.53	Si	62.88
Al	4.55	6.17	Al	14.09
K	2.18	4.27	K	9.76
Na	1.53	1.76	Na	4.03
Mg	1.27	1.55	Mg	3.54
Ca	0.98	1.97	Ca	4.49

Tab. 1 - chemická analýza

4. Granulometrie

Po vysušení kalu a následném prosetí byla změřena objemová hmotnost pomocí pyknometru. Průměrná hodnota odebraných vzorků byla 2554,8 kg/m³. Po zjištění objemové hmotnosti proběhla zkouška měrného povrchu. U odebraných vzorků vyšel měrný povrch 437 m²/kg, což je vyšší hodnota než u použitého cementu. Přesnějším řešením velikosti a rozložení částic byla křivka zrnitosti pomocí laserové difrakce. Výsledným výstupem je křivka zrnitosti (distribuční), která udává procentualní

zastoupení částic ve vzorku o velikosti menší než je velikost zvolená. Naopak frekvenční křivka charakterizuje distribuci velikosti částic vztahenou na objem částic (viz. graf 1). Základní statistické hodnoty byly porovnány v Tab. 2. Zajímavý je např. medián 13,2 μm nebo aritmetický průměr zrna 20,9 μm . Pro porovnání průměrná velikost cementu CEM 42,5 R - Mokrý je 34 μm [6]. Další důležitou vlastností je index tvaru zrna, jelikož má podstatný vliv nejen na charakteristiky zatvrdlého betonu, ale i čerstvou směs. Mimo pevnosti betonu v tlaku mají dopad například na mezotovitost, zpracovatelnost, atd. Materiály s jemnějšími zrny, které se přibližují kulovitému tvaru (popílký) mají lepší reologické chování. Měření proběhlo na několika vzorcích různé velikosti zrna. Ve všech měření byl poměr stran (Aspect ratio) přibližně 0,6. Z naměřených výsledků vyplývá, že tvar zrn je nepravidelný a protáhlý.



Graf 1 - křivka zrnitosti, frekvenční křivka odpadu ze žuly

Statistický údaj	hodnota	Statistický údaj	hodnota
Aritmetický průměr	20,945 μm	Rozptyl	411,88 μm^2
Geometrický průměr	11,576 μm	Směrodatná odchylka	20,295 μm
Harmonický průměr	4,897 μm	Průměrná odchylka	16,419 μm
Modus	36,038 μm	Medián	13,2 μm

Tab. 2 - základní statistické údaje velikosti zrn odpadu

5. Pevnostní charakteristiky

Byly porovnány 3 směsi s různým obsahem náhrady cementu. Složení maltové směsi vycházelo z normové zkoušky pro stanovení indexu účinnosti popílků a křemičitého úletu. V první směsi byl použit normový křemičitý písek pro zkoušky pevnosti cementů a samostatný cement bez jakékoliv náhrady. Druhá směs byla navržena dle normy ČSN EN 13263-1+A1: Křemičitý úlet do betonu - část 1. Hmotnostní náhrada cementu byla v tomto případě 10%. Poslední směs byla navržena dle ČSN EN 450-1+A1 (722064): Popílek do betonu - Část 1. Cement byl nahrazen 25% hmotností mikroplniva. Vzorky byly zkoušeny na trámečcích o rozměru 40 x 40 x 160 mm. Pevnostní charakteristiky byly zkoušeny po 3 a 28 dnech od betonáže.

Ve zkoušce čtyřbodovým ohybem po 3 dnech vycházely nejlépe trámečky bez mikroplniva. Pevnosti v tahu za ohybu byly se zvyšující náhradou cementu menší. Pevnost v tlaku proběhla na zlomených trámečkách se zatěžovací plochou 40 x 40 mm. Při této zkoušce byla naměřena nejvyšší tlaková pevnost směsi s 25% náhradou cementu, ačkoliv má nejnižší objemovou hmotnost. Snížená hmotnost byla zřejmě zapříčiněna větším množstvím pórů po obvodě zkušebního trámečku (viz. Obr. 3 - 5). Vyšší pevnost byla pravděpodobně způsobena vyšším obsahem tmelu mezi zrny křemičitého kameniva. Hmotnost tmelu byla stejná, ale objem byl větší, protože mikroplnivo má nižší objemovou hmotnost než cement.

Vzorek	Rozměry tělesa			Hmotnost tělesa g	Objem. hmotnost kg/m ³	Průměrná pevnost v tahu za ohybu		Průměrná pevnost v tlaku	
	Šířka	Výška	Délka			MPa	%	MPa	%
	mm	mm	mm						
0 % náhrady	40,12	40,03	159,21	569,97	2229,08	5,46	100,0	27,37	100,0
10 % náhrady	40,50	40,06	159,96	589,05	2269,33	4,96	90,9	20,86	76,2
25 % náhrady	40,45	40,11	161,46	548,63	2094,23	4,70	86,1	29,54	107,9

Tab. 3 - zkouška vzorků ve stáří 3 dny



Obr. 3 - trámečky (100% cementu)

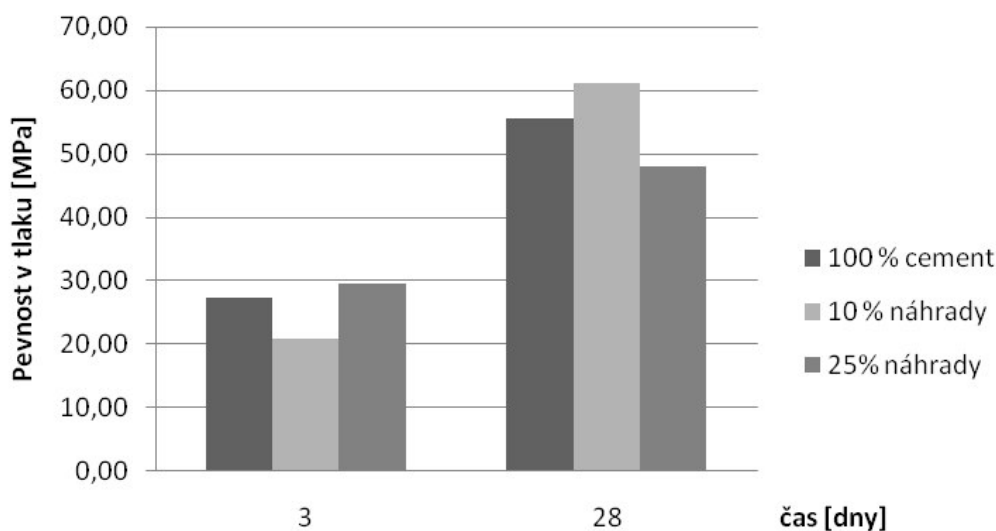
Obr. 4 - trámečky (90% cementu)

Obr. 5 - trámečky (75% cementu)

Ve zkoušce po 28 dnech byly nejvyšší průměrné pevnosti v tahu za ohybu i tlaku naměřeny u směsi s 10% náhradou cementu. Vyšší pevnost byla způsobena lepším vyplněním a vznikem hutnější struktury. Druhou možností nárůstu pevnosti je pucolánová aktivita křemičitého prachu. Dle některých studií nelze tento prach považovat za inertní. Reaktivita není závislá pouze na struktuře křemičitých zrn, ale i na velikosti a měrném povrchu [5].

Vzorek	Rozměry tělesa			Hmotnost tělesa g	Objem. hmotnost kg/m ³	Průměrná pevnost v tahu za ohybu		Průměrná pevnost v tlaku	
	Šířka	Výška	Délka			MPa	%	MPa	%
	mm	mm	mm						
0 % náhrady	40,39	40,13	160,68	580,22	2227,49	5,09	100,0	55,50	100,0
10 % náhrady	40,20	39,98	162,99	588,92	2247,79	5,53	108,7	61,19	110,3
25 % náhrady	41,06	40,26	158,70	554,87	2114,88	4,71	92,4	47,96	86,4

Tab. 4 - zkouška vzorků ve stáří 28 dní



Graf 2 - porovnání pevnosti v tlaku

6. Závěr

Článek řeší využití druhotné suroviny vznikající při opracování žuly. Tento kal nevyžaduje žádné další úpravy, jako je například speciální mikromletí. Stačí pouze vysušit a přesát. Dle chemického rozboru rentgenovým spektrometrem bylo zjištěno, že přibližně 60 % odpadu tvoří oxidy křemíku. Ten je v amorfni podobě přidáván do betonů a vykazuje pucolánové vlastnosti. Dle tohoto výzkumu má vliv na vlastnosti betonu (sledované pevnosti) i jemně mletý krystalický křemík. Jelikož má příměs z odpadního materiálu menší zrna a větší měrný povrch než cement dochází k lepšímu vyplnění struktury a zlepšení vlastností betonu.

Dle zkoušky pro křemičité úlety s 10% náhradou cementu vyhovuje index účinnosti s hodnotou vyšší než 100% (110,26 %) po 28 dnech v pevnosti v tlaku. Rovněž vyhovuje i zkouška indexu účinnosti pro popílky (86,43 %). Minimální pevnost v tlaku po 28 dnech při náhradě 25% hmotnosti cementu nesmí být nižší než 75 % pevnosti bez náhrady cementu. Zkoušky pevnosti v tlaku nepřímou metodou ukázaly možnou pucolánovou reaktivitu jemného odpadního prachu. Z těchto důvodů je tato druhotná surovina vhodnou alternativní náhradou cementu.

7. Poděkování

Příspěvek vznikl za finanční podpory studentské grantové soutěže ČVUT v Praze v rámci projektu SGS18/115/OHK1/2T/11 "Beton a vláknobeton specifických vlastností - analýza a aplikace" a technologické agentury ČR v rámci projektu TH02010375 "Vývoj prefabrikovaných dílců určených pro výstavbu montovaných letištních drah".

8. Literatura

[1] ČSN EN 13263-1+A1 (722095) A Křemičitý úlet do betonu. Část 1, Definice, požadavky a kritéria shody = Silica fume for concrete. Part 1, Definition, requirements and conformity criteria. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

[2] ČSN EN 450-1 (722064) A Popílek do betonu. Část 1, Definice, specifikace a kritéria shody = Fly ash for concrete. Part 1, Definition, specifications and conformity criteria. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

[3] Chylík, R., Šeps, K. Influence of cement replacement by admixture on mechanical properties of concrete (2018) Proceedings of the 12th fib International PhD Symposium in Civil Engineering, pp. 1267-1274.

[4] Plachý, T., Tesárek, P., Hlubocký, L., Hruza, J., Fládr, J., Trejbal, J., Prošek, Z. Effect of Microfillers on selected destructive and nondestructive mechanical properties of cement mortars: Different types of recycled materials (2017) Key Engineering Materials, 722 KEM, pp. 195-200.

[5] J.C Benezet, A Benhassaine, Grinding and pozzolanic reactivity of quartz powders, Powder Technology, Volume 105, Issues 1–3, 1 November 1999, Pages 167–171.

[6] Hrbek, V., Prošek, Z., Chylík, R., Vráblík, L., Vliv mikrosiliky a popílku z pohledu mikrostruktury a mikromechanických vlastností hpc, BETON-technologie, konstrukce, sanace. 2018, 2018(5), 50-55. ISSN 1213-3116.

THE USE OF RECYCLED MATERIALS BASED ON CEMENT AND POLYMER COMPOSITES WITH RESPECT TO THEIR PHYSICAL PARAMETERS

VYUŽÍVANIE RECYKLOVANÝCH MATERIÁLOV NA BÁZE CEMENTOVÝCH A POLYMEROVÝCH KOMPOZITOV S OHĽADOM NA ICH FYZIKÁLNE PARAMETRE

Ing. Miriam Ledererová, PhD.

STU Stavebná fakulta, Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Abstract

The aim of the paper is to find possibilities of using environmentally-friendly materials (based on plastics, wood chips) as lightweight concrete materials. Materials are classified as medium-sized recyclable plastics, including wood chips, depending on the degree of recycling. The experimental part is aimed at monitoring the influence of dosing of the filler in various combinations and their influence especially on physical parameters.

Introduction

Currently recycling in Slovakia is only about 1.2 % of municipal waste. [1] Great attention is paid to waste on the use of recycled plastic [2,3,4,5], for example, Recycling polystyrene, polyurethane foam, PET bottles, waste from electrical and electronic devices, PVC pipes and etc. One of the ways to use recycled materials from plastics is to include them in light concrete, the selection of the appropriate combination of filler and binder will form building material not only for the next construction but also for (remodeling, rehabilitation, new materials and etc.).



Plastics, with their weight, form less than 8% of the waste, but the volume is much bigger, this is particularly important in landfills, where volume is more important than weight. Plastics are mostly non-reproducible oil, whose stocks are estimated at 40 years. Only by their transportation is annually 3.5 million tons released into the surface-water. The biological decomposition of plastics in the nature or in landfills is long-term,

it takes several decades. In case of combustion of certain kinds of plastics, harmful substances escape into the air. SR recycles 16% of the plastics. [1]

Materials and methods.

For experimental testing at the research of the recycled waste were as filler materials used polypropylene (Tab. 1,a) ethylene vinyl acetate (EVA) (Tab. 1, b), and recycled material from cables (Tab. 1, c) .

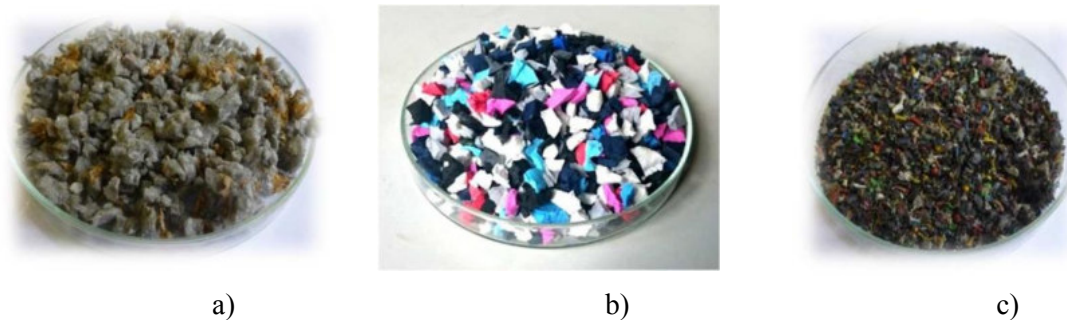


Fig. 1 Waste plastic Group Size:

Ethylene-vinyl acetate (EVA) is the elastomeric polymer with high elasticity, known as the ethylene-vinyl acetate (EVA) [3]. The recycled material of the cables is a pulp recycled cable PVC where the cable core is formed, in particular polyvinyl chloride (PVC) [8].

The polypropylene and EVA were crushed to the fraction 4/8 mm screened cable for the fraction 0/4 mm, wherein the bulk density of polypropylene was 17,52 kg/m³, was EVA 104,41 kg/m³ and cable was 359,33 kg/m³. LB were produced with the use of one filler, or as a combination of two materials according to the percentage share: 100%, 50:50 %.

As a connecting material was used undiluted one-component polyurethane adhesive Conipur 360. This adhesive is used in the implementation of the polyurethane surfaces. It has a firming effect, it is resistant to abrasion and very easily workable. Dose of glue in all mixtures was also a constant of 0.8 l per one mixture. Considering different surface and material the was mixture moistened by 2% of water content, which regulates the surface tension.

From the homogenous mixture were made samples in the shape of a cube with edge of 100 mm, which were treated 48 hours in the laboratory environment. Subsequently, they were removed from the mold and stored in laboratory environment (20 °C, φ= 50%). In these samples were subsequently monitored physical properties (bulk density, heat-technical parameters and the modified samples of the sound absorption).

Knowledge of the sound absorption of building materials, opens up the possibility of their applications also in terms of dampening the sound as in the interior (generally in diffusion audio field), as well as in the outdoors (free sound field) [6,7]. The experiment was focused on measuring techniques of determining the factor of sound absorption. For this purpose, was prepared a modified measurement set of impedance tube, the preparation of samples of plastic waste EVA. Subsequently, the first results measured and compared with the reference measurements in a laboratory of acoustics. There have been large differences in the results of two different measurements methods.

For the verification of sound absorption was used ethyl-vinyl acetate (EVA), in combination with the binder Conipur 360 (polyurethane glue). Since the purpose of this work was to compile the measurement set, that has not yet been verified and compared with stable assemblies from other laboratories, it was necessary to perform a reference measurement of the stable measuring report. In the measured samples was also material with the mark of EVA. It was a sample with thickness of 6.5 cm. Diameter of cylinder of the sample was 4 cm. The measurement and the used measuring assembly operates on the principle described in the standard ISO 10534-2 [8,9].



Figure 1 The measurement of the reference sample EVA

RESULTS

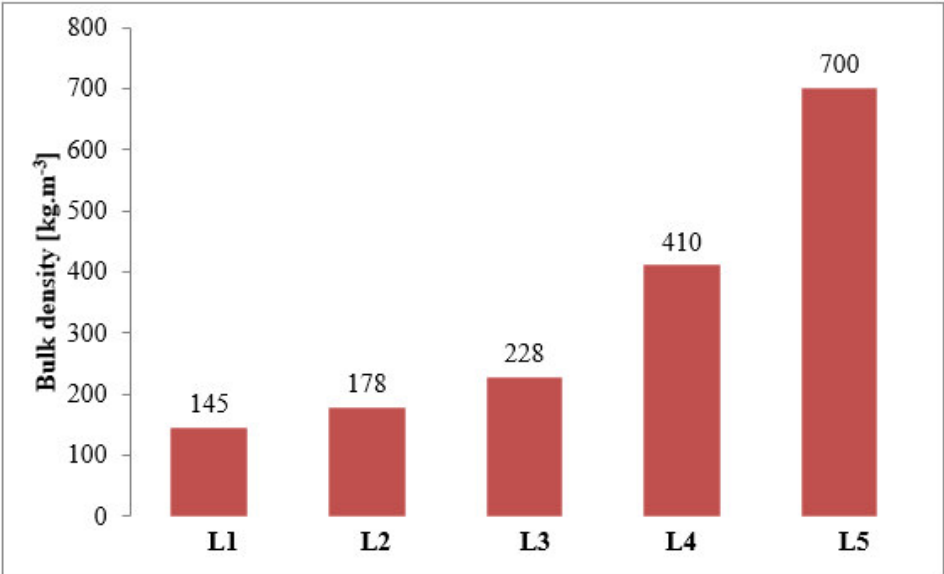


Figure 2. Is A comparison of the specific weight of the type of binder

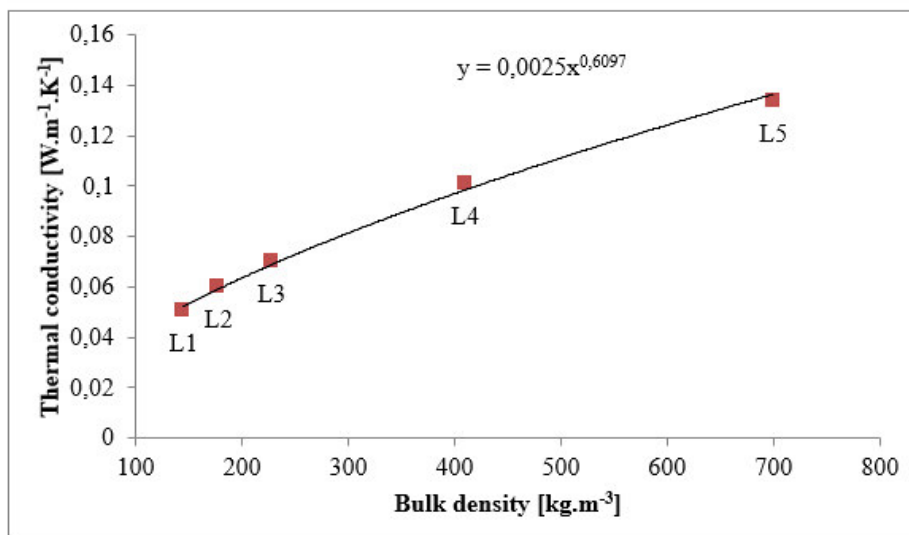


Figure 3. Relationship between thermal conductivity and bulk density of lightweight concrete with a binder based on polyurethane adhesive

Conclusion

On the basis of the achieved results, we can conclude that the sample pattern LB has, with the given filler, effective thermal-technical properties. The best heat-transfer properties were achieved, by the samples provided with 100 % polypropylene, which also had the lowest bulk density. Its density is increased by the addition of EVA, which caused also an increase in heat conduction ability of lightweight concrete. Most of the differences were evident in the combination of materials of EVA and polypropylene. The samples that contained cable waste had the highest bulk density but its thermal conductivity was the lowest.

In an experiment determining the factor of sound absorption were considered standardized methods. From them was selected a method for perpendicular impact of plane sound waves, where the factor of sound absorption is determined on the basis of the analysis still wave in the impedance tube. This method does not require large samples and the preparation of this measuring set is inexpensive.

REFERENCES

- [1] <https://sk.wikipedia.org/wiki/Recyklácia>
- [2] CHANDRA, S. a L. BERNTSSON, 2002. Lightweight aggregate concrete. Science, Technology, and Applications. Noyes Publications, ISBN 0-8155-1486-7
- [3] BOUVARD, D., CHAIX, J.M., DENDIEVEL, R., FAZEKAS, A., LÉTANG, J.M., PEIX, G. a D.QUENARD, 2007. Characterization and simulation of microstructure and properties of EPS lightweight concrete, In: *Cement and Concrete Research*. Vol. 37. No.12, pp. 1666–1673.
- [4] CHEN, B. a J. LIU, 2007. Mechanical properties of polymer-modified Concretes containing expanded polystyrene beads, In: *Construction and Building Materials*. Vol. 21 No. 1, pp. 7–11.

- [5] PACHECO-TORGAL, F., DING, Y. a S. JALALI, 2012. Properties and durability of concrete containing POLYMERIC wastes (tyre rubber and polyethylene terephthalate bottles): an overview, In: Construction and Building Materials. Vol. 30, pp. 714–724.
- [6] L.L. Beranek, Tichý, J., Břeský, M., Kaplan, J., & Wanke, J. , Snižování hluku, SNTL1965.
- [7] C. Hopkins, Sound insulation. , Routledge.2012.
- [8] ISO 10534-2:1998 Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes - Part 2: Transfer-function method, 1998.
- [9] ISO 10534-2:1998 Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes - Part 2: Transfer-function method, 1998.

VLASTNOSTI BETONŮ S RECYKLOVANÝM CIHELNÝM KALEMIVEM

THE PROPERTIES OF CONCRETE WITH RECYCLED BRICK AGGREGATE

Jméno autora: Ing. Kristina Fořtová, Ph.D., Jan Otýs, Ing. Tereza Pavlů, Ph.D.

Organizace: České vysoké učení technické v Praze, Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, Třinecká 1024, 273 43 Buštěhrad, kristina.fortova@cvut.cz; AZS 98, s.r.o., Koterovská 158, 326 00 Plzeň, otysjan@azs98.cz

Abstract

This contribution deals with properties of recycled aggregate concrete containing recycled brick aggregate and recycled expanded polystyrene. The mechanical, physical and thermal properties of concrete mixtures were tested and optimized. The optimized concrete mixture was used for masonry concrete element for further utilization in building structures.

1. Úvod

S neustále se rozvíjející výstavbou roste množství stavebního a demoličního odpadu (SDO). Avšak zároveň roste i míra využití těchto odpadů, a to zejména asfaltů, betonů a železobetonů, u kterých byl zjištěn potenciál znovuvyužití především v dopravním stavitelství. Kromě vysokého potenciálu využití těchto materiálů, za předpokladu kvalitní dekonstrukce a recyklace, je zároveň velkou motivací množství těchto surovin, jelikož tvoří více než polovinu všech SDO [1], [2]. Problematičtější je pak využití cihelného recyklátu, který z hlediska normových předpisů není možné na rozdíl od betonového recyklátu použít jako kamenivo do betonu dle [3], [4]. Tento materiál je ve SDO zastoupen přibližně 7 %. Často se tak používá pro technické zabezpečení skládek, přestože má při kvalitním třídění vyšší potenciál, jak dokazují i studie tohoto materiálu ze zahraničí. Navíc nejde o žádnou novou myšlenku, protože první zmínky o použití odpadních cihel do betonu jsou již z období po druhé světové válce [5].

Chen a kol. [6] se zaměřil na možnosti využití směsného recyklovaného kameniva do betonu. Recyklované kamenivo se skládalo z různých poměrů betonu, cihel a keramiky. Navržené betonové směsi obsahovaly různé poměry hrubého recyklovaného a přírodního kameniva a různé poměry drobného recyklovaného kameniva a písku, měnil se i vodní součinitel. Výsledky mechanických zkoušek ukázaly závislost na poměru cihel a keramiky v recyklovaném kamenivu. Pokles mechanických vlastností betonů s recyklovaným hrubým kamenivem se pro různé náhrady pohyboval mezi 10 a 30 % v porovnání s běžným betonem. Podobnému výzkumu se následně věnovala i studie publikovaná Debieb a Kenai [7], kde byly využity pouze drcené cihly a to jak jemné tak i hrubé frakce, náhrada byla až 100%. Pokles pevnosti v tlaku se v porovnání s běžným betonem pohyboval mezi 10 a 35 % a pokles modulu pružnosti byl mezi 30-50 %, v závislosti na náhradovém poměru. Recyklované kamenivo z keramických tvárnic, pocházející z recyklačních středisek, pak zkoumal Cachim [8], když došel k závěru, že 15% náhrada hrubé frakce nemá žádný negativní dopad na mechanické vlastnosti betonu. K poklesu mechanických vlastností došlo až při náhradě 30 % a vyšší. Naopak Yang a kol. [9] při ověření vlastností betonu s RK z pálených cihel zjistil, že již při náhradě 20 % dochází k poklesu vlastností, a to o 11 %, pro náhradu 50 % pak dosahovaly mechanické vlastnosti 50% hodnot.

Z výzkumu tepelně-technických vlastností betonů s recyklovaným cihelným kamenivem vyplývá, že při 40% náhradě přírodního kameniva dojde ke snížení součinitele tepelné vodivosti na zhruba poloviční hodnotu uváděnou pro běžný beton. Při 100% náhradě je to pak více než 60% [10].

2. Zdicí prvky s recyklovaným cihelným kamenivem

Při využití recyklovaného cihelného kameniva do betonů tedy dochází ke zpracování odpadního materiálu, pro který často není jiné využití, než je jeho uložení na skládku, a dále pak k šetření primárních zdrojů. Tím, že se toto kamenivo použije do betonu, dochází ke zhoršení jeho mechanických vlastností, avšak zároveň dochází ke zlepšení respektive snížení součinitele tepelné vodivosti při zachování shodné tepelné kapacity v porovnání s běžnými betony. Což vede k možnosti využití recyklovaného cihelného kameniva do betonových zdicích prvků. Tyto zdicí prvky je pak možné použít pro vybrané aplikace, které jsou dle zjištěných vlastností uvedeny v prohlášení o vlastnostech dle ČSN EN 771-3 +A1, který vydává výrobce. V těchto požadavcích není stanoveno, jaké kamenivo se může pro zdicí prvky používat.

Příkladem takových zdicích prvků můžou být například betonové zdicí bloky ze směsného recyklovaného kameniva, které vznikly během výzkumu ve Flandrách. V tomto případě šlo o směsné recyklované kamenivo, které obsahovalo pouze 20-25% recyklovaného cihelného kameniva, zbytek byl tvořen recyklovaným betonovým kamenivem. Při výrobě byl používán přírodní písek (frakce 0-2 mm) a recyklované kamenivo (frakce 0-7 mm). Vlastnosti byly zkoušeny pro plné tvarovky s 95 % recyklovaného kameniva a dutinové tvarovky se 75 % recyklovaného kameniva. Plná tvarovka měla objemovou hmotnost 1680 kg/m^3 , pevnost v tlaku 14,5 MPa a kapilární nasákavost 13 %. Dutinová tvarovka měla objemovou hmotnost 1270 kg/m^3 , pevnost v tlaku 8,9 MPa a kapilární nasákavost 11 %. Vzhledem ke zjištěným trvanlivostním vlastnostem a to především vysoké nasákavosti materiálu, která přímo souvisí s jeho mrazuvzdorností, bylo doporučeno tyto zdicí prvky používat pouze pro konstrukce v interiéru [11].

3. Možnosti použití EPS jako kameniva do betonu

Vzhledem ke zpřísňujícím se požadavkům na tepelně-technické vlastnosti zdicích prvků, jsou ve vývoji zdicí tvarovky s příměsí materiálů, které tyto vlastnosti zlepšují. Jedním z možných materiálů, které je možné přidat do betonové směsi, je pěnový polystyrén, další možností je například kamenivo Liapor. Přidání EPS či lehkého umělého kameniva do betonové směsi je věnováno již mnoho studií po celém světě a výrobky z těchto lehkých betonů se stávají běžným stavebním materiálem. V následujících tabulkách (Tabulka 1 a Tabulka 2) jsou pro přehled uvedeny vlastnosti vybraných lehkých betonů, které jsou používány pro výrobu zdicích prvků.

Tabulka 1 Vybrané směsi polystyrenbetonů [12]

Označení směsi	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5
Drcený polystyren (litry/m ³)	1285	1285	1200	1100	950
Cement (kg/m ³)	130	220	280	280	270
Písek 0-4 (kg/m ³)	30	40	100	330	510
Vodní součinitel (-)	0,58	0,40	0,43	0,40	0,52
Objemová hmotnost (kg/m ³)	200	350	500	700	900
Pevnost v tlaku (MPa)	0,2	0,3	0,5	0,9	1,8
Souč. tepelné vodivosti (W/mK)	0,057	0,086	0,140	0,177	0,235

Tabulka 2 Vybrané směsi Liaporbetonů [13]

Označení směsi	LB 1	LB 2	LB 3	LB 4
Liapor 4-8 / 350 (kg/m ³)	315	230	175	175
Liapor 0-4(50) / 525 (kg/m ³)	158	235	210	158
CEM II 42,5 (kg/m ³)	220	350	335	345
Vodní součinitel (-)	0,6	0,6	0,6	0,7
Obj.hm.vysuš.betonu (kg/m ³)	750	850	1080	1200
Předpokládaná pevnost v tlaku (MPa)	2 až 4	6 až 9	9 až 13	9 až 13
Souč. tepelné vodivosti (W/mK)	0,26	0,30	0,43	0,50

4. Optimalizace směsi pro výrobu tvarovky

Pro ověření vlastností betonů s recyklovanými materiály bylo v laboratoři UCEEB ve spolupráci s AZS98, s.r.o. vyrobeno celkem 10 směsí betonu (viz Tabulka 4), z nichž jedna byla referenční a obsahovala tak pouze přírodní kamenivo. Vyrobené směsi betonu obsahovaly různé náhradové poměry recyklovaných materiálů, a to jak hrubé, tak jemné frakce. Recyklované kamenivo obsahovalo více než 50 % cihelného recyklátu, pro některé směsi byl navíc použit i recyklovaný drcený EPS.

Ve všech směsích bylo použito stejné množství cementu CEM I 42,5 R a stejný efektivní vodní součinitel. Složení kameniva bylo navrženo podle Bolomeyovy optimální čáry zrnitosti. Při výpočtu vodního součinitele byla zohledněna nasákovost kameniva, která byla předem ověřena (Tabulka 3).

Tabulka 3 Vlastnosti recyklovaného cihelného kameniva

Typ RCK	Frakce [mm]	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Nasákovost [%]	Obsah jemných částic [%]
RCK A	0-8	1974	13,8	1,5
	8-16	1953	11,9	0,3
RCK B	0-8	1862	14,7	4,0
	8-16	2162	12,1	1,2
Recycled EPS	0-4	30	-	-

Objemová hmotnost recyklovaného kameniva byla přibližně 1900 kg/m³ pro frakci 0-8 mm, 1800 až 2100 kg/m³ pro frakci 8-16 mm, nasákovost se pohybovala mezi 12 a 15 % v závislosti na typu kameniva a velikosti částic. Obsah jemných částic byl maximálně 4,0 %.

Tabulka 4 Složení jednotlivých směsí v [kg/m³].

Směs	REFC	RECC 66 ^A	RECC 75 ^A	RECC 98 ^A	RECC C100 F100 ^B	RECC 100 0/8 ^B	RECC 46 EPS 30 ^A	RECC 58 EPS 18 ^A	RECC 70 EPS 18 ^A	RECC OPT 0/8 EPS 30 ^B
Podíl recyklovaných materiálů [%]	0	66	75	98	100	93	76	76	78	70
Voda	160	256	215	240	184	285	181	195	208	230
Cement	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320
Písek PK 0/4	681	685	455	35	0	0	440	446	217	220
PK 4/8	541	0	0	0	0	96	0	0	0	88
PK 8/16	616	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RCK 0/4	0	0	0	459	529	0	0	0	250	0
RCK 0/8	0	0	0	0	0	1267	0	0	0	712
RCK 4/8	0	455	569	398	188	0	86	281	187	0
RCK 8/16	0	719	493	534	772	0	562	535	557	0
EPS 0/4	0	0	0	0	0	0	6	4	4	6
Efektivní vodní součinitel	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Vodní součinitel	0,50	0,81	0,68	0,75	0,58	0,89	0,56	0,60	0,65	0,72
^{A,B} Ve směsi bylo použito recyklované kamenivo typu A, respektive B (označená betonová směs byla použita při výrobě tvarovky pro suché zdění)										

Objemová hmotnost jednotlivých směsí se pohybovala mezi hodnotami 1550 až 2000 kg/m³ a pevnost v tlaku v rozmezí od 12,0 až 34,0 MPa v závislosti na náhradových poměrech recyklovaných materiálů (**Chyba! Chybný odkaz na záložku.**). Při využití recyklovaného EPS docházelo k výraznému snížení mechanických vlastností, avšak nedocházelo ke zlepšení tepelně-technických vlastností v porovnání s betony s recyklovaným cihelným kamenivem. Zároveň byla při využití EPS negativně ovlivněna zpracovatelnost čerstvého betonu.

Tabulka 5 Souhrnná tabulka vlastností pro všechny zkoušené materiály

Směs	REFC	RECC 66	RECC 75	RECC 98	RECC C100 F100	RECC 100 0/8	RECC 46 EPS 30	RECC 58 EPS 18	RECC 70 EPS 18	RECC OPT 0/8 EPS 30
Objemová hmotnost [kg/m ³]	2297	1999	1968	1895	1896	1847	1550	1751	1684	1650
Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	6,4	4,9	5,8	4,6	6,5	7,3	3,23	4,0	3,2	4,2
Pevnost v tlaku [MPa]										
krychle hrana 150 mm	48,0	29,4	33,8	29,0	33,3	30,1	12,7	20,3	18,3	19,5
Modul pružnosti v tlaku [GPa]										
statický	34,7	19,9	20,0	15,7	14,0	14,9	11,0	14,4	12,4	12,5
dynamický	45,6	17,5	17,8	14,5	21,5	21,5	11,1	13,8	12,3	17,7
dyn. ze stat.	39,2	13,3	14,5	11,0	17,4	16,3	-	8,6	7,6	11,0
Nasákavost										
Nasákavost ponořením [%]	6,4	10,3	13,1	13,9	14,4	15,0	12,1	11,6	12,9	14,6
Kapilární nasákavost [kg/m ²]	4,9	4,8	3,3	6,3	10,4	12,7	2,2	3,8	4,5	9,5
Tepelně-technické vlastnosti										
Součinitel tepelné vodivosti [W/(m.K)]	2,8	1,2	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8
Měrná tepelná kapacita [*10 ⁶ J/(m ³ .K)]	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,6	1,7	1,8	1,7	1,6

5. Zdicí prvek pro suché zdění s recyklovanými materiály

Zdicí prvek z recyklovaného betonu je určen pro suché zdění například opěrných stěn, kójí na suché materiály nebo nízkopodlažních objektů jako jsou rodinné domy. Základní prvek je o rozměrech 1600x800x800 pro opěrné stěny a 1600x400x800 nebo 1600x400x400 pro rodinné domy. Suché zdění je umožněno jednoduchým systémem zámků ve tvaru čtyřbokého komolého jehlanu na horní straně a spodní straně zdicího prvku. Tento způsob suchého zdění je v rámci České republiky a Evropy běžně používán a bude v budoucnu velmi výhodný z důvodu snadné rozebíratelnosti, čímž bude umožněno znovupoužití těchto zdicích prvků neboli tzv. reuse. Obvykle jsou pro prvky suchého zdění využívány primární suroviny, čímž ale dochází k čerpání přírodních zdrojů.

Pro mnoho aplikací je možné přírodní materiály nahradit například recyklovaným cihelným kamenivem a tím ušetřit primární zdroje a zároveň vylepšit některé z vlastností, které jsou vzhledem k potenciálu využití některých rozměrů zdicích prvků (například rozměr 1600×400×400 mm) pro konstrukce rodinných domů podstatné. Měla by být vybrána směs s dostatečnou pevností v tlaku a zároveň velmi nízkým součinitelem tepelné vodivosti. A to za předpokladu zachované tepelné kapacity, která je pro zdicí prvky rodinných domů velmi důležitá, především z důvodu zajištění tepelné stability budovy. Další výhodou je nižší objemová hmotnost a tedy i nižší hmotnost tvarovek v porovnání s běžnými betonovými tvarovkami těchto rozměrů. Z ekonomického hlediska je cena zdicích prvků s recyklovaným cihelným kamenivem až o 30 % levnější.

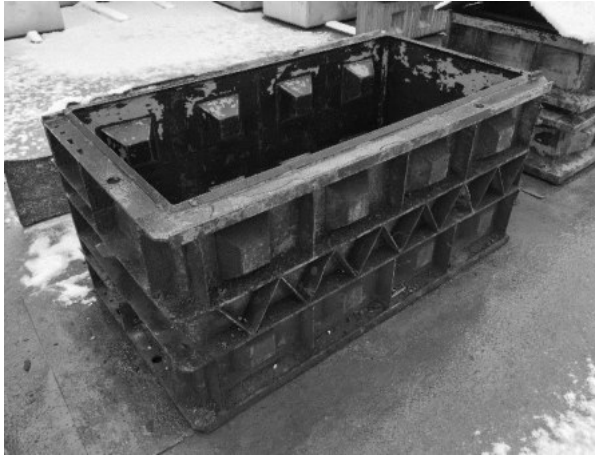
Na základě ověřených mechanických a tepelně-technických vlastností betonových směsí byla vybrána směs RECC C100 F100 se 100% náhradou přírodního kameniva recyklovaným cihelným kamenivem, ze které byl zdicí prvek s recyklovanými materiály vyroben v betonárce AZS 98 (Obr. 1). Tato směs měla objemovou hmotnost 1900 kg/m³, což je o 400 kg/m³ nižší než u referenčního betonu (téměř 20 %). Pevnost v tlaku byla 33 MPa, což je o 30 % nižší než má referenční beton. Tepelnou kapacitu má srovnatelnou s referenčním betonem, ale součinitel tepelné vodivosti je téměř o 70 % nižší. Na následujících fotografiích (na Obr. 1) je postup betonáže zdicí tvarovky.



a) *Navážení recyklovaného cihelného kameniva*



b) *Pohled na betonárku- plnění mixu betonovou směsí*



c) Forma zdicího prvku



d) Plnění formy betonovou směsí s recyklovanými materiály



e) Plnění formy a vibrování betonové směsi ponorným vibrátorem



f) Zdicí prvek s recyklovanými materiály – funkční vzorek

Obr. 1 Postup betonáže zdicí tvarovky pro suché zdění z recyklovaných materiálů

6. Závěr

Příspěvek se zabývá možnostmi využití recyklovaného cihelného kameniva, které vzniká při správném postupu demolice a recyklace. V případě, že je přistoupeno k demolici tak, že jsou jednotlivé části budov demontovány, dochází ke zvýšení potenciálu znovuvyužití cihelného recyklátu tím, že například nedojde k jeho kontaminaci zeminou. Tento materiál je pak v recyklačním středisku dále upravován pomocí proudění vzduchu, kdy jsou odseparovány nežádoucí materiály jako například plasty, dřevo, papír, textilie a další. Z tohoto recyklátu pak vzniká recyklované cihelné kamenivo – vstupní surovina pro výrobu zdicích tvarovek, které mají dostatečnou pevnost, srovnatelnou s běžnými zdicími prvky, a zároveň mají lepší tepelně technické vlastnosti než běžné betonové zdicí prvky. Zároveň jsou tyto prvky tvořeny převážně z recyklovaných materiálů, čímž jsou šetrnější k životnímu prostředí.

Poděkování

Tato práce vznikla za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I č. LO1605 a MPO TRIO FV10397 Recyklovaný environmentální beton pro stavební konstrukce.

Literatura

- [1] „Statistické ročenky | VISOH". [Online]. Dostupné z: <https://isoh.mzp.cz/VISOH/Main/Rocenka>.
- [2] „Produkce, využití a odstranění odpadů - 2017", *Produkce, využití a odstranění odpadů - 2017*. [Online]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/produkce-vyuziti-a-odstraneni-odpadu-2017>.
- [3] „ČSN EN 206+A1 Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda". CEN, 2018.
- [4] „ČSN EN 12620+A1 Kamenivo do betonu". CEN, 2008.
- [5] Khalaf Fouad M. a DeVenny Alan S., „Recycling of Demolished Masonry Rubble as Coarse Aggregate in Concrete: Review", *Journal of Materials in Civil Engineering*, roč. 16, č. 4, s. 331–340, srp. 2004.
- [6] H.-J. Chen, T. Yen, a K.-H. Chen, „Use of building rubbles as recycled aggregates", *Cement and Concrete Research*, roč. 33, č. 1, s. 125–132, led. 2003.
- [7] F. Debieb a S. Kenai, „The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete", *Construction and Building Materials*, roč. 22, č. 5, s. 886–893, kvě. 2008.
- [8] P. B. Cachim, „Mechanical properties of brick aggregate concrete", *Construction and Building Materials*, roč. 23, č. 3, s. 1292–1297, bře. 2009.
- [9] J. Yang, Q. Du, a Y. Bao, „Concrete with recycled concrete aggregate and crushed clay bricks", *Construction and Building Materials*, roč. 25, č. 4, s. 1935–1945, dub. 2011.
- [10] L. Zhu, J. Dai, G. Bai, a F. Zhang, „Study on thermal properties of recycled aggregate concrete and recycled concrete blocks", *Construction and Building Materials*, roč. 94, č. Supplement C, s. 620–628, zář. 2015.
- [11] L. Boehme, „RecyMblock-application of recycled mixed aggregates in the manufacture of concrete construction blocks", in *SB11 HELSINKI World Sustainable Building Conference*, 2011, s. 2038–2047.
- [12] „DRCENÝ POLYSTYREN:: Polystyrenbeton". [Online]. Dostupné z: <https://www.drcenypolystyren.com/index.php?site=polystyrenbeton..>
- [13] S. F. N. www.freshnet.cz s r o, „Úvodní stránka | Liapor.cz". [Online]. Dostupné z: <https://www.liapor.cz/>.

REVOLUČNÁ EKOTECHNOLÓGIA PRE RECYKLOVANÝ BETÓN

REVOLUTIONARY ECOTECHNOLOGY FOR RECYCLED CONCRETE

Ing. Pavel Martauz, Branislav Cvopa, Ing. Ferdinand Gach, Ing. Ivan Tiso, Ing. Katarína Martauzová, Helena Habánková a Silvia Šrámeková všetci Považská cementáreň, a.s., Ladce

Abstract

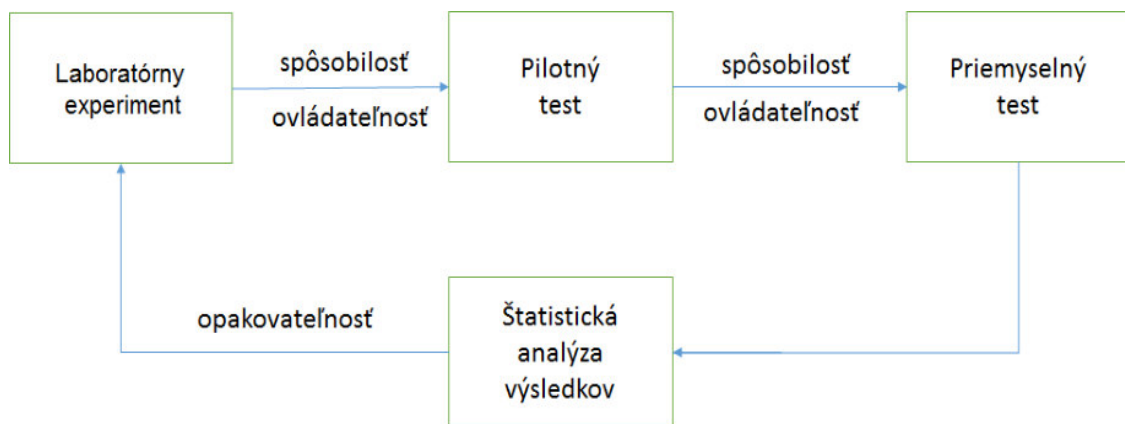
In 2016 and 2017 there was a new breakthrough ecotechnology TRITECH developed for an Austrian customer who recycles structural and demolition waste (C&DW) and manufactures the transport concrete in Považská cementáreň, a.s., Ladce (PCLA). Patented ecotechnology was widely verified in concrete institute in Germany, by special ecotoxicological analyses in VSB Ostrava and certified and the results definitely verified by TSUS Bratislava.

1. Cieľ

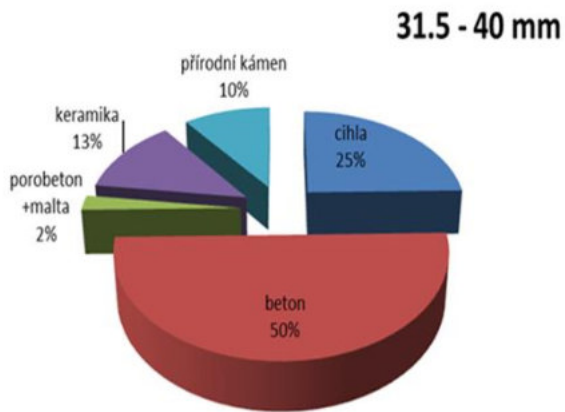
Využiť C&DW v betóne, a vyvinúť betón, ktorý je svojimi vlastnosťami porovnateľný referenčným transportbetónom triedy C25/30 XC2 F45 GK32.

2. Metodika aplikovaného vývoja PCLA a. s.

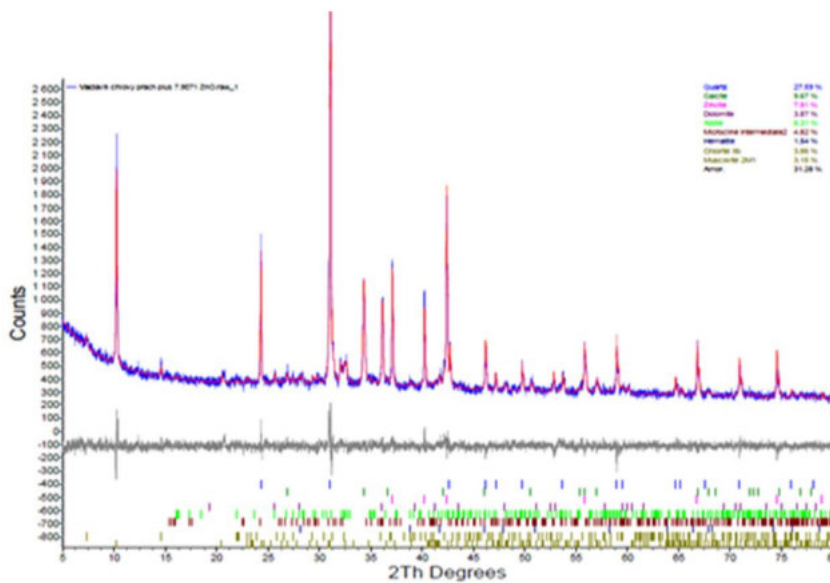
Od r. 1996 je certifikovaná podľa ISO 9001, s budovaním knowledge based management a prístrojovým vybavením s radou patentovaných riešení realizovaných v praxi.



3. Materiálové zloženie C&DW



Percentuálne zastúpenie materiálového zloženia fr.31,5-40,0mm



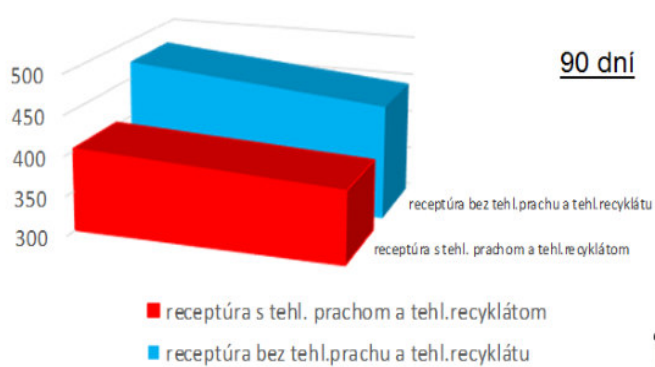
Difrakcia

	HASENÖHRL suchý proces	mokrý proces (A)
objem. hmotnosť [kg/m ³]	2153,0	2270,0
nasiakavosť [%]	7,593	6,740

Objem. hmotnosť a nasiakavosť podľa STN EN 1097-6

4. Výsledky

4.1 Zmrštenie betónu



	Zmrštenie betónu v [µm]	
	MAX	AVG
Receptúra s tehl.prachom a tehl.recyklátom	403,2	----
Receptúra bez tehl.prachu a tehl.recyklátu	----	442,8

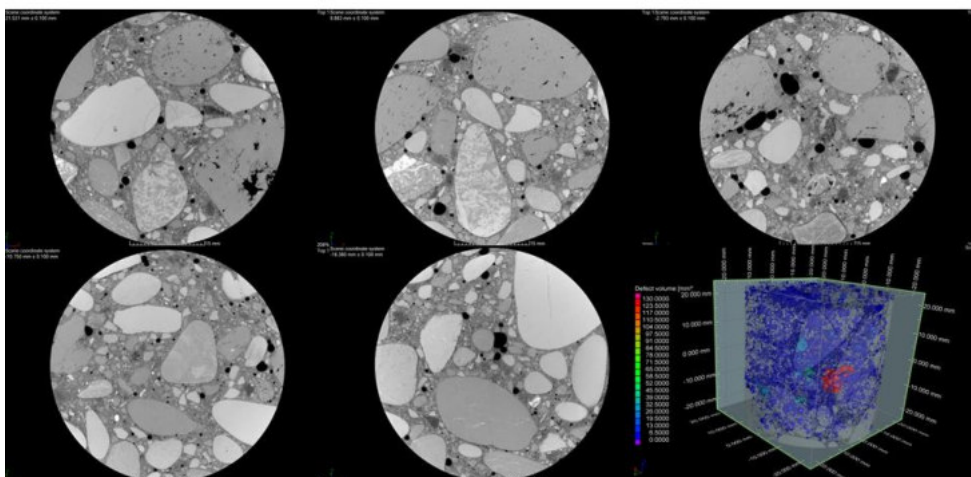


Shrinkage-Cone
Prístroj na meranie zmrštenia betónu

4.2. Tomografická analýza betónu VŠB Ostrava

Vo vzorkách betónu nie sú na kontakte jednotlivých zŕn kameniva a cementového spojiva viditeľné separačné trhliny. Len v niektorých ojedinelých prípadoch môžu zhluky malých bublinových pórov vytvárať, viac alebo menej, okolo zŕn kameniva pórový priestor, ktorý má charakter separačných trhlín.

S porovnaním vnútornej stavby analyzovaného betónu pred a po tlakovom zaťažovaní na hodnotu napätia cca 12 MPa neboli zistené žiadne nové nehomogenity, či zjavné porušenie vzniknuté vo vzťahu k jeho zaťažovaniu.



Bola použitá metóda 3D röntgenovej počítačovej tomografie

Tomografické rezy znázorňujú charakteristickú stavbu analyzovaného betónu

4.3. Namerané hodnoty referenčného betónu a betónu s tehlovým recyklátom

	REFERENČNÝ BETÓN	
	<i>PCLA a.s.</i>	<i>TSÚS BA</i>
STN EN 12350-5 skúška rozliatím	457mm ± 32,0mm F48	540mm F52
STN EN 12350-7 obsah vzduchu	2,38% ± 0,19%	1,50%
STN EN 12350-6 objemová hmotnosť	2421,3kg/m ³ ± 14,2kg/m ³	2430kg/m ³

STN EN 12390-3 Pevnosť v tlaku skúšobných telies 150x150x150mm	2 dni	10,5±2,0 Mpa	-----
	7 dni	21,5±1,8 Mpa	-----
	28 dni	33,6±2,0 Mpa	34,9 Mpa
	90 dni	42,7±0,1 Mpa	43,5 Mpa

	EXPERIMENTÁLNY BETÓN	
	<i>PCLA a.s.</i>	<i>TSÚS BA</i>
STN EN 12350-5 skúška rozliatím	554mm ± 51,3mm F52	560mm F52
STN EN 12350-7 obsah vzduchu	2,28% ± 0,6%	2,60%
STN EN 12350-6 objemová hmotnosť	2427,8kg/m ³ ± 20,6kg/m ³	2383kg/m ³

STN EN 12390-3 Pevnosť v tlaku skúšobných telies 150x150x150mm	2 dni	14,4±2,3 Mpa	13,3 Mpa
	7 dni	25,3±1,2 Mpa	23,9 Mpa
	28 dni	37,7±2,3 Mpa	36,6 Mpa
	90 dni	46,5±3,0 Mpa	43,6 Mpa

5. Zaver

Výsledky využitia C&DW vo forme kameniva a minerálnej prímеси za viac ako 2 roky prevádzky potvrdzujú, že TRITECH betón má porovnateľné a lepšie výsledky ako referenčný betón a prináša nové pridané hodnoty

- dlhodobá pevnosť
- zvýšená odolnosť voči karbonatácii
- zvýšená odolnosť voči alkalicko-kremičitej reakcii

Ekotechnológia TRITECH významne prispeje k šetreniu primárnych zdrojov v súlade s politikou EÚ v oblasti cirkulačnej ekonomiky.



OVĚŘENÍ VLASTNOSTÍ ALKALICKY AKTIVOVANÝCH MATERIÁLŮ NA BÁZI VYSOKOPECNÍ GRANULOVANÉ STRUSKY S PŘÍMĚSÍ POPÍLKU

VERIFICATION OF PROPERTIES OF ALKALI - ACTIVATED MATERIALS BASED ON BLAST FURNACE SLAG WITH FLY ASH

Ing. Lukáš Procházka, Ing. Jana Boháčová Ph.D.

VŠB-TU OSTRAVA, Fakulta Stavební, lukas.prochazka@vsb.cz

Abstract

This paper deals with the possibility using of fly ashes, including fly ash after denitrification by the method of SNCR from the power plant Třebovice as an admixture for alkali-activated blast furnace slag in order to improve selected physical and mechanical properties.

1. Úvod

Vzhledem k aktuálním trendům ve stavebnictví, v nichž je jedním ze základních požadavků na stavby udržitelný rozvoj (rozvoj, který zabezpečuje uspokojení současných potřeb, aniž by ohrozil uspokojení potřeb generací budoucích), je nutné hledat možnosti náhrady primárních, těžných surovin jejich alternativami, tedy surovinami druhotnými, odpadními.

Při spalování uhlí dochází k emisím oxidů dusíku do ovzduší. Požadavky na snížení obsahu dusíku vedou k zavádění metod denitrifikace. Využívají se dvě metody a to selektivní katalytická redukce a selektivní nekatalytická redukce. Po denitrifikaci metodou SNCR se dusíkaté sloučeniny koncentrují v produktech spalování, (popílcích). Takto ošetřené popílků mohou v sobě obsahovat určité množství amonných solí, které se při využívání ve stavebnictví můžou uvolňovat a tím zhoršit hygienu pracovního prostředí.

2. Vysokoteplotní (křemičité) popílků

Teplota spalování u těchto popílků se pohybuje 1200 – 1700°C. Spalování probíhá v práškových ohništích. Při tomto spalování se musí spaliny odsířovat, to se provádí pomocí vápna nebo vápence za vzniku energosádrovce. Jsou-li v uhlí obsaženy karbonáty, tak dochází k tvorbě oxidu vápenatého, který reaguje s oxidem siřičitým za vzniku síranu vápenatého. Ten se následně rozkládá na oxid vápenatý, oxid siřičitý a kyslík. Vlivem vysoké teploty spalování je oxid vápenatý v popílcích přítomen ve formě mrtvě páleného vápna. V této formě je oxid vápenatý málo reaktivní a je nežádoucí, aby byl v popílcích obsažen. [1]

Zrnka popílků vznikají tuhnutím taveniny, která obsahují amorfní oxid křemičitý a také krystalickou fází, která je tvořena mullitem, křemenem minerály železa. Vzniklé zrnka popílků se vyznačují převážně kulovitým tvarem s velikostí zrn 0,001 – 0,1 mm a s měrným povrchem kolem 300 m²/kg. [1]

2.1 Sekundární opatření na snížení obsahu dusíku

Sekundární opatření na snížení obsahu dusíku tvoří soustava chemických procesů, kdy dochází k reakcím ve spalinách a navázání oxidu dusíku do nově vzniklých chemických sloučenin. Nejrozšířenější procesy denitrifikace jsou selektivní redukce. Tato metoda je rozložena do dvou typů, selektivní katalytická redukce (SCR), která probíhá při nižších teplotách (80-500 °C) s katalyzátory a selektivní nekatalytická redukce (SNCR), která probíhá při vysokých teplotách (800-900 °C) bez katalyzátoru.

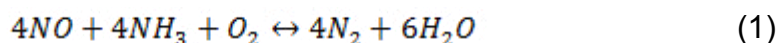
Tyto metody jsou zatíženy nedokonalou přeměnou amoniaku, která vede k emisím amoniaku a krystalizaci amonných solí na povrch popílků. U metody SCR se nejčastěji vyskytuje NH_4HSO_4 a u metody SNCR jde o $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. [2,3]

2.2 Selektivní nekatalytická redukce

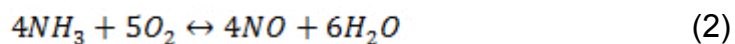
Jedná se o další opatření na snížení obsahu dusíku ve spalinách. U této metody není použit katalyzátor a reakce probíhají v rozmezí teplot 850-1100 °C. Teplotní interval je závislý na použitém reakčním činidle (čpavek, močovina, hydroxid amonný).

Když je použit čpavek jako reakční činidlo, je umožněn průběh několika reakcí zároveň. Při nižší teplotě reakce probíhají pomalu, na druhou stranu při vyšší teplotě dominuje reakce, která zvyšuje emise oxidu dusíku ve spalinách. [3]

Hlavní reakce: Redukce



Nežádoucí reakce: Oxidace



Správné teplotní rozmezí je velmi důležité, protože při vyšší teplotě se čpavek oxiduje a vytváří se více emisí oxidu dusíku, a když je teplota nízká, tak je přeměna příliš malá a může se tvořit čpavek. Pro správné teplotní rozmezí je potřeba čpavek vstříkovat v několika úrovních. Aby bylo dosaženo vysokého podílu redukce oxidů dusíku a minimálního úniku čpavku, je potřeba, aby došlo k dokonalému promíchání spalin a reakčního činidla. Nutné je rovněž dosáhnout optimální velikosti kapek reakčního činidla tak, aby k reakci docházelo ve správném teplotním rozmezí. Při velkých kapkách by docházelo k pomalému odpařování a k reakcím by docházelo při nízkých teplotách. Na druhou stranu u příliš malých kapek by došlo k rychlému odpaření a reakce by probíhaly při příliš vysokých teplotách. [3]

Aby docházelo k reakcím oxidu dusíku s činidlem za vzniku vody a dusíku, závisí především na teplotě a době prodlevy v teplotním rozmezí. Důležité je rovněž zvolit správný poměr mezi reakčním činidlem a oxidy dusíku. Optimálním teplotním rozmezím pro čpavek a hydroxid amonný je 850-1000 °C a optimální teplota je 870 °C. U močoviny se teplotní rozhraní pohybuje v rozmezí 800-1100 °C s optimální teplotou 1000 °C. [3]

3. Zkušební postupy

3.1 Příprava a zkoušení vzorků

V rámci experimentu probíhala příprava vzorků (trámečky 40x40x160 mm) dle cementářských norem, rovněž uložení a následné zkoušení probíhalo dle cementářských norem. [4, 5, 6]

3.2 Kalorimetrie

Principem kalorimetrie je měření tepla, které se uvolňuje nebo pohlcuje ve sledovaném systému při fyzikálním, chemickém nebo biologickém pochodu. Vyhodnocením jsou hodnoty termofyzikálních vlastností zkoumaného vzorku (tepelná kapacita, tepelný obsah). [7]

3.3 Stanovení obsahu amorfni fáze v popílcích

Při zkoušce byl stanoven amorfni podíl rozpustný hydroxidu draselném. Zkušební navážka popílku se po dobu 3 minut vařila v 4M roztoku hydroxidu draselného, následně byl roztok přefiltrován přes filtrační papír. Přefiltrovaný roztok se neutralizoval pomocí kyseliny chlorovodíkové, kdy se vlivem reakcí vysrážel amorfni podíl v popílcích. Tento roztok se opět přefiltroval přes filtrační papír. Vysrážený podíl zachycený na filtračním papíru se nechal vyžít při teplotě 1000 °C. Na vyžítaném podílu bylo zjištěno chemické složení pomocí spektrometru. [8]

4. Experimentální část

V rámci experimentu byly sledovány základní fyzikálně mechanické vlastnosti alkalicky aktivovaných materiálů na bázi vysokopeční granulované strusky s nahrazením části strusky popílkem v podílu 10, 20 a 30%. Tento podíl byl zvolen dle [9], kdy při náhradě 20% strusky popílkem bylo dosaženo lepších výsledků.

4.1 Křemičité popílky

V experimentu byly použity popílky z elektrárny v Ostravě – Třebovicích. Byly použity křemičité popílky před a po denitrifikaci metodou SNCR. Pro účely experimentu byly použity přemleté popílky s měrným povrchem 500 m²/kg. Obsah uvolněného amoniaku z vodného výluhu je 22,8 mg/kg. Chemické složení je uvedeno v tabulce Tab. 1.

Tab. 1 Procentuální zastoupení chemických prvků v popílcích

	Po denitrifikaci PPD [%]	Čisté popílky ČP [%]
SiO ₂	58,12	54,56
Al ₂ O ₃	32,74	31,93
Fe ₂ O ₃	7,89	7,85
CaO	4,18	4,02
SO ₃	0,67	0,77
K ₂ O	2,51	2,59
MgO	0,92	0,84

4.2 Vysokopecní granulovaná struska

Pro účely experimentu byla použita jemně mletá granulovaná vysokopecní struska (VGS). Tato struska se vyznačuje latentně hydraulickými vlastnostmi. Použita byla struska společnosti Kotouč Štramberk, spol. s.r.o. SMŠ 400, s měrným povrchem 400 m²/kg. Procentuální zastoupení jednotlivých prvků získaná měřením na fluorescenčním spektrometru jsou uvedena v tabulce Tab. 2. [10]

Tab. 2 Procentuální zastoupení chemických prvků ve strusce

VGS	
Oxid	Obsah [%]
CaO	40,0
SiO ₂	39,9
Al ₂ O ₃	6,9
MgO	8,9
SO ₃	0,6
Fe ₂ O ₃	0,4

4.3 Aktivátor – sodné vodní sklo

Jedná se o látky zásaditého charakteru, které do systému vnášejí alkalické prostředí, nutné pro nastartování hydratačních procesů vysokopecní granulované strusky. V experimentu bylo jako alkalický aktivátor použito upravené sodné vodní sklo. Jedná se o roztok křemičitanu sodného. Bylo použito vodní sklo od firmy EURO-Šarm spol. s r.o. U tohoto vodního skla byl upraven silikátový modul pomocí 50 % roztoku hydroxidu sodného na hodnotu 2. [11]

4.4 Normalizovaný písek

Normalizovaný písek CEN, ČSN EN 196-1 byl použit jako plnivo při experimentu. Jedná se o přírodní křemenný písek, který je tvořen zaoblenými částicemi a obsah oxidu křemičitého je min. 98 %, frakce 0/2 mm a obsah vlhkosti menší než 0,2 %. [5]

4.5 Receptura

Jako referenční směsi v experimentální části byly použity již dříve ověřené receptury, které byly odzkoušeny v Laboratoři stavebních hmot FAST, VŠB-TUO v předchozích pracích [12,13]. U této receptury byla nahrazena část strusky popílkem v podílu 10, 20 a 30%.

Referenční receptura	450 g	VGS
	1350 g	normového písku
	100 g	H ₂ O
	127 ml	aktivátoru – NaVS

4.6 Základní fyzikálně mechanické vlastnosti

Zjištěné hodnoty objemové hmotnosti, pevnosti v tlaku, pevnosti v tahu za ohybu jsou uvedeny v tabulce Tab. 3.

Tab. 3 Základní fyzikálně mechanické vlastnosti jednotlivých směsí

NaVS				
OZN.	Stáří	Objemová hmotnost	Pevnost v tlaku	Pevnost v tahu za ohybu
Jednotky	Dny	[kg/m ³]	[MPa]	[MPa]
VGS	2	2320	37,5	3,7
	7	2300	60,9	6,5
	28	2310	89,9	9,1
10%ČP	2	2290	34,4	3,9
	7	2310	59,4	6,3
	28	2290	86,6	9,4
20%ČP	2	2290	29,4	3,2
	7	2290	58,9	5,8
	28	2290	84,8	8,4
30%ČP	2	2270	22,3	2,8
	7	2240	52,1	5,0
	28	2240	80,1	7,8
10%PPD	2	2260	32,9	3,2
	7	2290	60,0	6,0
	28	2270	87,0	9,5
20%PPD	2	2280	27,8	3,1
	7	2280	59,3	5,9
	28	2290	85,9	8,9
30%PPD	2	2260	15,5	2,6
	7	2240	51,4	4,9
	28	2270	82,1	8,2

4.7 Rozlití

Stanovené hodnoty rozlití jsou uvedeny v tabulce Tab. 4.

Tab. 4 Hodnoty rozlití

OZN.	Rozlití [mm]
VGS	210
10%ČP	230
20%ČP	220
30%ČP	220
10%PPD	240
20%PPD	220
30%PPD	220

4.8 Stanovení obsahu amorfni fáze v popílcích

Procentuální obsah amorfni fáze v popílcích a chemické složení je uvedeno v tabulce Tab. 5 a Tab. 6.

Tab. 5 Obsah amorfni fáze u křemičitých popílků

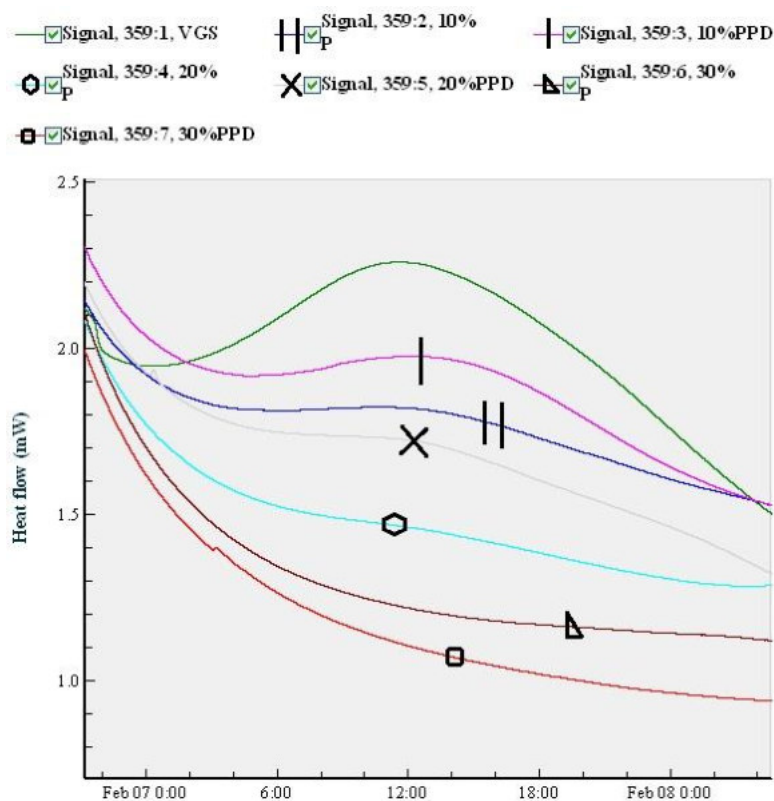
Obsah amorfni fáze					
OZN.	Prvky	[%]	Oxidy	[%]	Procentuální obsah amorfni fáze [%]
ČP	Al	10,81	Al ₂ O ₃	20,43	4,58
	Si	18,68	Si ₂ O	39,97	
	K	17,15	K ₂ O	20,71	
	Cl	0,55	Si ₂ O+Al ₂ O ₃	60,4	

Tab. 6 Obsah amorfni fáze u křemičitých popílků po denitrifikaci

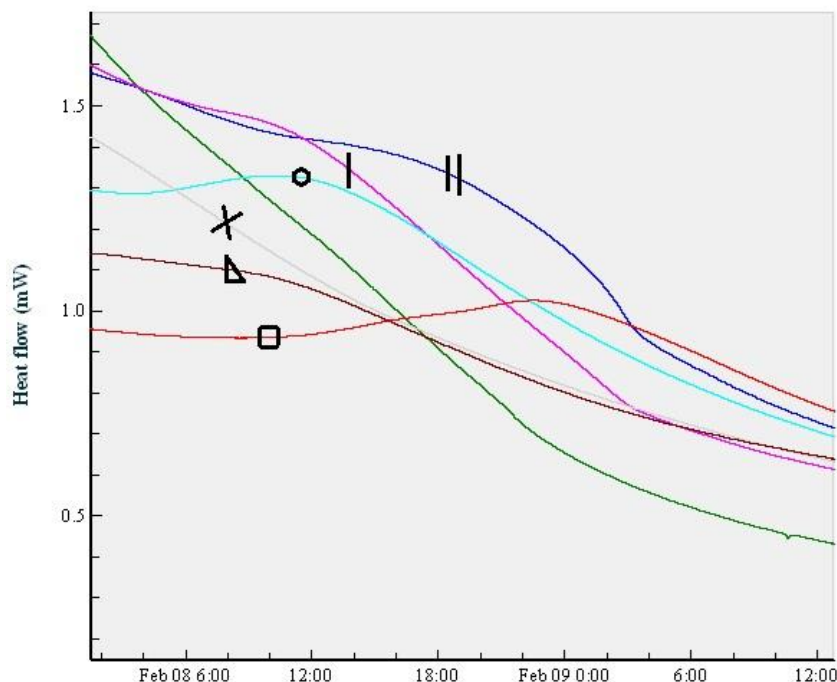
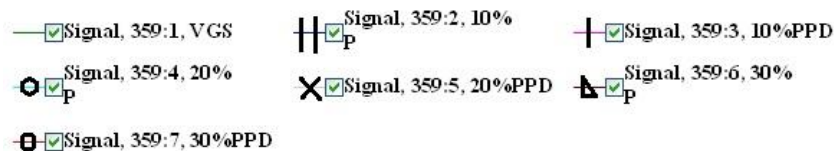
Obsah amorfni fáze					
OZN.	Prvky	[%]	Oxidy	[%]	Procentuální obsah amorfni fáze [%]
PPD	Al	8,42	Al ₂ O ₃	15,91	4,17
	Si	16,99	Si ₂ O	36,38	
	K	16,32	K ₂ O	19,735	
	Cl	0,38	Si ₂ O+Al ₂ O ₃	52,29	

4.9 Průběh reakce v kalorimetru

Průběh reakcí v kalorimetru je zobrazen na obrázcích Obr. 1 a Obr. 2.



Obr. 1 Maximální vývoj teploty u hydratačních reakcí



Obr. 2 Vývoj teploty v průběhu hydratace

5. Závěr

Objemové hmotnosti u všech směsí se pohybují v rozmezí od 2240 do 2320 kg/m³. Z hlediska jednotlivých směsí bylo dosaženo vyšších hodnot objemových hmotností u směsi bez použití popílku. Naopak při 30% náhradě strusky popílkem bylo dosaženo nejnižších objemových hmotností jak u popílků před, tak i po denitrifikaci.

Z hlediska tekutosti se projevil příznivý vliv na směsi, u kterých došlo k nahrazení části strusky popílkem. Nejvyššího efektu ztekucení bylo dosaženo u 10 % náhrady strusky popílkem po denitrifikaci. Nejnižší tekutosti bylo dosaženo u 100 % strusky.

U pevností v tlaku nebylo dosaženo předpokládaného navýšení pevností u částečné náhrady strusky popílkem. Pevnost všech směsí se po 28 dnech pohybují 80 do 90 MPa. Přičemž bylo nejvyšších pevností dosaženo u strusky bez náhrady popílkem. Naopak nejnižších hodnot pevností bylo dosaženo u 30 % náhrady strusky křemičitým popílkem. Z hlediska pevnosti v tlaku bylo dosaženo největších rozdílů po dvou dnech zrání, kdy rozdíl mezi 100 % strusky a 30 % náhradou křemičitým popílkem po denitrifikaci se pohyboval kolem 22 MPa.

Pevnosti v tahu za ohybu se pohybují v rozmezí od 7,8 do 9,5 MPa. U pevností v tahu za ohybu bylo dosaženo mírně vyšších pevností u 10% náhrady strusky popílkem, jak u čistých křemičitých popílků, tak i u popílků po denitrifikaci. Se zvyšující se náhradou strusky popílkem klesá pevnost.

Při stanovení obsahu amorfni fáze v popílku zkouškou rozpouštěním v hydroxidu draselném byl zjištěn obsah amorfni fáze v popílcích u křemičitých popílků 4,58% a u křemičitých popílků po denitrifikaci 4,17%. Nízký obsah rozpustné amorfni fáze může mít za následek snížení pevností.

Z průběhů reakcí v kalorimetru je zřejmé, že nejvyšší a nejrychlejší nárůst je u 100 % strusky. S 10 % náhradou strusky popílkem nedochází k tak vysokému nárůstu teploty jako u samostatné strusky. U směsí s popílkem dochází ke dvěma vrcholů oproti jednomu vrcholu strusky. U 30 % náhrady strusky popílkem po denitrifikaci dochází pouze k jednorázovému uvolnění tepla o cca 36 hodin později než u 100 % strusky.

Z hlediska porovnání mezi křemičitými popílkem před a po denitrifikaci nebyl zatím zjištěn žádný negativní vliv způsobený denitrifikací metodou SNCR.

V dalším výzkumu budou sledovány dlouhodobé pevnosti, a jak budou ovlivněny trvanlivostní vlastnosti v závislosti na náhradě strusky popílkem.

5. Poděkování

Práce je podporována z prostředků projektu Výzkum použití křemičitých popílků po denitrifikaci jako pojiva, příměsí do cementu a alkalicky aktivovaných systémů, číslo V-TJ01000174-2.

6. Použitá literatura

- [1] Bayer P. Vliv popílku na vlastnosti cementových malt, Brno 2012
- [2] Haniskova, D. *Možnosti využívání klasických popílků po zavedení SNCR*, Brno 2015
- [3] Integrovaná prevence a omezování znečištění, Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách pro velká spalovací zařízení, Dostupné: www.mpo.cz
- [4] ČSN EN 1008 – *Záměsová voda do betonu – Specifikace pro odběr vzorků, zkoušení a posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané při recyklaci v betonárně, jako záměsové vody do betonu*, Český normalizační institut, 2003
- [5] ČSN EN 196-1. *Metody zkoušení cementu: Část 1: Stanovení pevnosti*. Český normalizační institut, 2005
- [6] ČSN EN 196-3 - *Metody zkoušení cementu - Část 3: Stanovení dob tuhnutí a objemové stálosti*, Český normalizační institut, 2005
- [7] www.vscht.cz [cit. 15. 10. 2017]
- [8] Krajčová, L. *Štúdium puzolanity a amorfneho podielu metakaolínu v závislosti na teplote výpalu*, VŠB – TUO, 2017
- [9] Vlček, J. *Materiálové využití strusek z metalurgie železa a oceli metodou alkalické aktivace*. Habilitační práce MS FMMI VŠB-TUO, 101 s. (2008)
- [10] www.kotouc.cz [cit. 14. 3. 2016]
- [11] <http://www.eurosarm.cz> [cit. 12. 2. 2016]
- [12] Boháčová, J. *Štúdium vlivu různých typů plniv na vlastnosti geopolymerních systémů na bázi alkalicky aktivovaných strusek*, VŠB – TUO, 2008
- [13] Koňářík, J. *Vliv aktivátoru na základní vlastnosti alkalicky aktivovaných systémů*, VŠB – TUO, 2014

ALTERNATIVNÍ MOŽNOSTI VYUŽITÍ RECYKLOVANÉ SÁDRY VE STAVEBNICTVÍ

ALTERNATIVE POSSIBILITIES FOR USE OF RECYCLED GYPSUM IN CIVIL ENGINEERING

Ing. Zdeněk Prošek, Fakulta stavební ČVUT v Praze, zdenek.prosek@fsv.cvut.cz

Ing. Jan Trejbal, Fakulta stavební ČVUT v Praze, jan.trejbal@fsv.cvut.cz

Ing. Hana Sekavová, Fakulta stavební ČVUT v Praze / KNAUF Praha, Sekavova.Hana@knauf.cz

Ing. George Karráa, LAVARIS s.r.o, info@lavaris.cz

doc. Ing. Pavel Tesárek, Ph.D., Fakulta stavební ČVUT v Praze, tesarek@fsv.cvut.cz

Abstract

This paper deals with possibilities of an alternative use of waste gypsum and gypsum-based products in the field of civil engineering. The main attention was paid to application of the material for production of light weight blocks to be used for building envelope constructions. Test specimens were made from virgin and recycled gypsum and their basic mechanical as well as thermal-technical properties were examined. Results were compared with those received from scientific literature.

1. Úvod

Hledání alternativních materiálů pro výrobu kusového staviva je v současné době velmi žádané. V mnoha případech je patrný návrat ke starým, někdy i zapomenutým technologiím, které byly dříve v relativně velkém množství využívány, zatímco dnes mohou působit téměř „exoticky“. Mezi takovéto materiály patří i sádra, která byla využívána již ve starověkém Egyptě. Hlubokou historii má i na našem území. Použita byla např. při výzdobě fasády na zámku Lednice. S novými technologiemi se nabízí i nová řešení, která mohou být v souladu s udržitelným rozvojem. Do souboru takovýchto opatření patří i recyklace výrobků na bázi sádry, které jsou jinak skládkovány a představují určitou formu ekologické zátěže. Na druhé straně jsou již dnes dostupná taková řešení, která v laboratorních či poloprovozních podmínkách nabízejí možnosti, jak využít recyklát z výrobků ze zatvrdlé sádry [1-3].

Pro nové materiály s využitím sádrového recyklátu je možno nalézt různá uplatnění. Recyklát lze například přidávat při výrobě sádrokartonových (SDK) desek nebo bloků a příček pro interiérové a exteriérové aplikace. Výhodou je možnost modifikace sádrové kaše a tím i výsledných materiálových vlastností výrobků na bázi zatvrdlé sádry [4, 5].

2. Aplikace sádry v obvodových pláštích budov

Při návrhu materiálů pro obvodové pláště budov je nutné zohlednit současně hned několik faktorů a najít optimální poměr mezi cenou (výrobními náklady) a materiálovými vlastnostmi. Z materiálových parametrů mají význam především objemová hmotnost, pevnost v tlaku a součinitel tepelné vodivosti, přičemž je zřejmé, že se tyto vlastnosti vzájemně ovlivňují. Lze zobecnit, že zlepšení mechanických parametrů zhorší vlastnosti tepelně technické a naopak [6-8].

V Tabulce 1 jsou představeny materiálové parametry modifikovaného sádrového zdicího bloku, který byl vyvinut ve spolupráci Fakulty stavební ČVUT v Praze, Fakulty stavební VUT v Brně a společnosti Gypstrend s. r. o. (Kobeřice). Za účelem modifikace sádrového pojiva byla použita plastifikační přísada, provzdušňovací a hydrofobizační přísada a expandovaný perlit. Bloky byly experimentálně vyrobeny v počtu několika desítek kusů a byly experimentálně otestovány při Požárním experimentu Mokrsko 2008 [2].

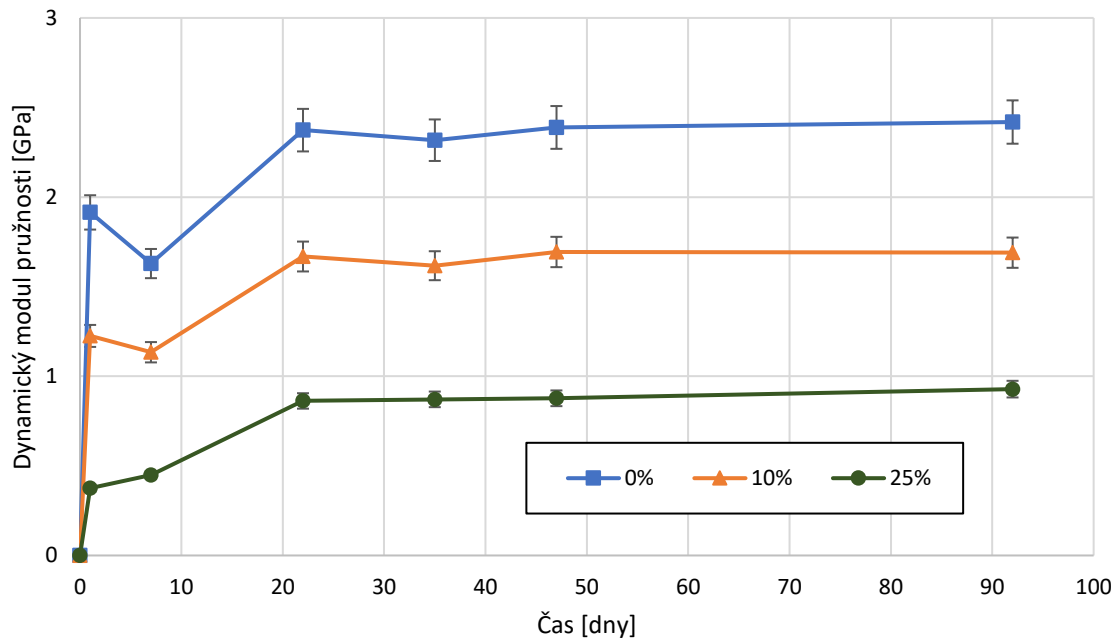
Tabulka 1: Přehled materiálových vlastností pro sádrový blok (patent CZ 303 440 B6 2012) [4].

Vlastnost	Jednotka	Průměrná hodnota
Objemová hmotnost	kg/m ³	680
Pevnost v tlaku po 2 hodinách	MPa	1,9
Pevnost v tlaku po 28 dnech	MPa	3,8
Modul pružnosti	GPa	1,74
Mrazuvzdornost	počet cyklů	25
Součinitel tepelné vodivosti	W/mK	0,156
Faktor difúzního odporu vodní páry materiálu	-	16

3. Materiály, vzorky a experimentální výsledky

Základní sada materiálových vlastností byla stanovena na vzorcích zatvrdlé sádry ze závodu Počerady (společnost KNAUF Praha) s přidavkem recyklátu ze SDK desek, který byl dodán firmou LAVARIS, s. r. o. (Libčice). SDK desky byly nejdříve ručně rozdrceny, poté byly vloženy do primárního drtiče a následně rozemlety pomocí vysokorychlostního mlýna vlastní konstrukce. Náhrada sádrového pojiva SDK recyklátem byla 0, 10 a 25 hm. %, vodní součinitel byl pro všechny vzorky stejný, konkrétně 0,71 (vztaženo k suché směsi).

Vyrobena byly vzorky o velikosti 40×40×160 mm. Po vyjmutí z forem byly uloženy volně v laboratorním prostředí. Vývoj mechanických vlastností zatvrdlých vzorků sádry byl sledován nedestruktivně pomocí rezonanční metody, která určuje materiálové vlastnosti na základě vlastních frekvencí podélného, ohybového i torzního kmitání zkušebních vzorků. Na základě této metody je možné sledovat změny materiálových vlastností porézních stavebních materiálů v čase, v závislostech na vlhkosti, teplotě, stáří vzorku, místě a způsobu uložení a dalších okolních vlivech. Na Obr. 1 jsou uvedeny průměrné hodnoty dynamického modulu pružnosti v závislosti na čase (pod dobu 3 měsíců) a na množství použitého recyklátu.



Obr. 2.: Časová závislost dynamického modulu pružnosti v závislosti na obsahu SDK recyklátu (s uvedenými směrodatnými odchylkami).

Pro obvodové pláště budov jsou klíčovými materiálovými vlastnostmi tepelně-technické parametry, které souvisí s tloušťkou obvodového pláště, resp. tloušťkou tepelně-izolačního materiálu. Tepelně-technické parametry vzorků zatvrdlé sádry s procentuální náhradou SDK recyklátu byly stanoveny pomocí přístroje Isomet 104, který je vybaven mobilní kontaktní sondou. Měření bylo zaměřeno na stanovení součinitele tepelné vodivosti, měrnou objemovou tepelnou kapacitu a součinitel teplotní vodivosti. Zjištěné výsledky by měly svými trendy kopírovat dříve stanovené objemové hmotnosti. Toto tvrzení se potvrdilo; čím je objemová hmotnost nižší, tím je hodnota součinitele tepelné vodivosti vyšší. Průměrné naměřené hodnoty pro vzorky staré 28 dní jsou uvedeny v Tab. 2.

Tabulka 2: Závislost tepelně-technických parametrů testovaných vzorků na obsahu recyklátu (s uvedenými směrodatnými odchylkami).

Obsah recyklátu	Součinitel tepelné vodivosti [W/mK]	Měrná objemová tepelná kapacita [J/m ³ K] 10 ⁶	Součinitel teplotní vodivosti [J/m ³ K] 10 ⁻⁶
0 hm. %	0,214 ± 0,05	1,03 ± 0,12	0,209 ± 0,03
10 hm %	0,179 ± 0,06	1,00 ± 0,09	0,179 ± 0,04
25 hm. %	0,145 ± 0,06	0,78 ± 0,11	0,186 ± 0,03

Z pohledu získaných experimentálních výsledků je patrné, že při náhradě testovaného sádrového pojiva je možné nahradit až 25 hm. % pomocí sádrového recyklátu. Podle předpokladů se zhoršují mechanické vlastnosti, ale tepelně-technické se zlepšují.

4. Závěr

Alternativní využití sádrového odpadu jako částečné náhrady sádrového pojiva se jeví jako optimální z pohledu oběhového hospodářství. Sádrový opad je možné přidávat v různém množství. Při 25 % hmotn. náhrady za sádrové pojivo dochází ke snížení hodnot smykového modulu pružnosti (stanoveného nedestruktivní metodou) oproti vzorku bez náhrady recyklátem. Naopak sledované tepelně-technické vlastnosti se zlepšily asi o 40 %.

Při provedeném výzkumu nebyly prozatím použity žádné přísady (stavební chemie), které by sledované materiálové vlastnosti sádrového pojiva ještě upravily (podle specifikace). Proto se jeví přidání sádrového recyklátu do sádrových bloků jako efektivní varianta na jeho využití.

5. Poděkování

Příspěvek vznikl díky podpoře projektu MPO Trio č. FV30359 „Recyklace sádrokartonových desek a nová materiálová využití s přidanou hodnotou – GIPSRec“.

6. Literatura

- [1] TESÁREK, P. a kol. (2007): Flue Gas Desulfurization Gypsum: Study of Basic Mechanical, Hydric and Thermal Properties, CBM 21, 1500-1509.
- [2] ČERNÝ R. a kol. (2009): Vlastnosti modifikované sádry. Brno: CERM, 134 s. ISBN 978-80-214-3988-7.
- [3] SEKAVOVÁ, H. (2010): Aplikace upravené sádry v obvodových pláštích budov. Diplomová práce, Fakulta stavební ČVUT v Praze, 80 s.
- [4] Patent národní CZ 303 440 B6 (2012): Materiál na bázi hemihydrátu síranu vápenatého, zejména k výrobě tvárnic pro obvodové zdi budov. Původci: Wagner, P., Peringer, P., Rovnanikova, P., Černý, R., Tesárek, P. Vlastník Gypstrend, s.r.o. Kobeřice.
- [5] PLACHÝ, T. (2012): Monitoring of Mechanical Properties Evolution of the Cast Gypsum, Procedia Engineering, 48 562-567.
- [6] WU, Y. F. (2009): The structural behavior and design methodology for a new building systém consisting of glass fiber reinforced gypsum panels. CBM 23, 2905-2913.
- [7] ZDRAVKOV, B. (2006): Extruded building materials from FGD gypsum. Journal of Enviromental Protection and Ecology. 2006, 1, stránky 129-136.
- [8] WU, QS a kol.: Effect of silane modified styrene-acrylic emulsion on the waterproof properties of flue gas desulfurization gypsum, Construction and Building Materials 197, 506-512.

RECYKLACE SÁDROVÝCH VÝROBKŮ POMOCÍ VYSOKORYCHLOSTNÍHO MIKROMLETÍ

RECYCLING OF GYPSUM PRODUCTS USING HIGH-SPEED GRINDING

Ing. Jan Trejbal, Fakulta stavební ČVUT v Praze, jan.trejbal@fsv.cvut.cz

Ing. Zdeněk Prošek, Fakulta stavební ČVUT v Praze, zdenek.prosek@fsv.cvut.cz

Ing. Hana Sekavová, Fakulta stavební ČVUT v Praze/KNAUF Praha,
Sekavova.Hana@knauf.cz

Ing. George Karráa, LAVARIS s.r.o, info@lavaris.cz

doc. Ing. Pavel Tesárek, Ph.D., Fakulta stavební ČVUT v Praze, tesarek@fsv.cvut.cz

Abstract

This paper describes a special recycling process of construction and demolition waste based on gypsum. Such a technology uses high-speed micro-milling developed by Lavaris Ltd. company. Thus obtained powder can be used during production of new gypsum-based materials at the form of plain or even active micro-filler. To provide a potential of such an approach, test specimens from the powder were made and their basic physical properties were examined. It was shown that this technology exhibited promising results with regard to applicability.

1. Úvod

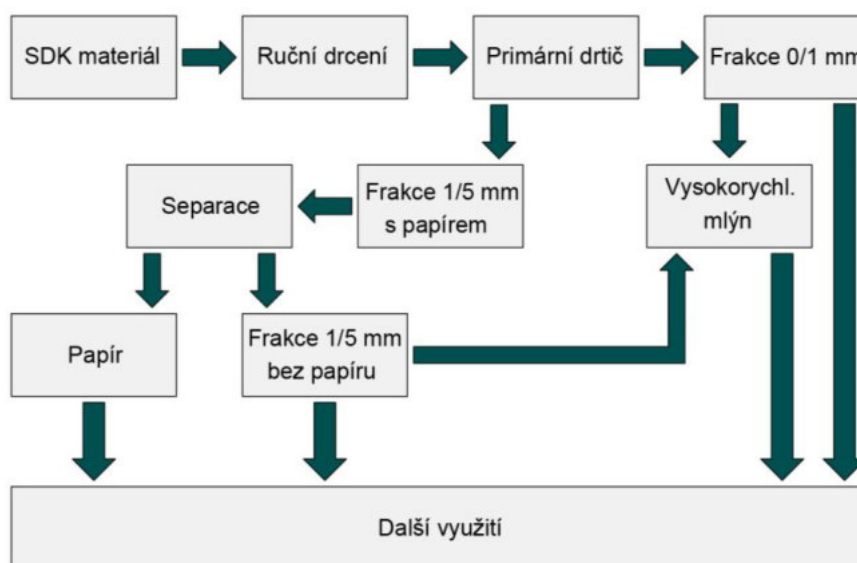
Snahy o zvýšení podílu recyklace stavebních a demoličních odpadů (SDO) jsou všeobecně známy. Dotýkají se i odpadu ze sádrokartonových (SDK) desek, který může mít dvojí původ; (i) z demolic stavebních konstrukcí či (ii) z vadných výrobků vznikajících již při samotné výrobě. Ačkoliv jsou stavební materiály na bázi sádry označovány za vhodné k recyklaci, jejich skutečné zpětné využití naráží na technické překážky. SDK desky díky svému důmyslnému kompozitnímu systému zdatně vzdorují pokusům o separaci jednotlivých materiálů, především papíru. Každá materiálová složka tak zůstává kontaminována dalšími složkami. Z toho důvodu jsou vyvíjeny sofistikované recyklační linky, které umožňují zpracování celých desek či jejich fragmentů. Princip těchto linek je založen na mletí odpadu a následném odsátí papíru. Díky tomuto postupu tak lze získat relativně homogenní odpadní sádrovec a následně jej recyklovat, tj., opakovaně využít při výrobě nových SDK desek. Buď ve formě inertního materiálu, nebo pro výrobu nové sádry pomocí kalcinace. Známé jsou i další aplikace ve stavebnictví, například výroba zdicích bloků na bázi sádry pro obvodové pláště budov. Uplatňují se jak v České republice [1, 2], tak v zahraničí [3, 4]. Předkládaný příspěvek se věnuje recyklaci vadných SDK desek vzniklých při jejich výrobě ve firmě Knauf. Popisuje recyklační linku, která byla navržena přímo na míru daným podmínkám (parametrům vstupní suroviny – odpadu, původu sádrovce a jeho dalším zpracování, atd.).

2. Recyklační linka na SDK desky

V rámci projektu MPO Trio č. FV30359 „Recyklace sádrokartonových desek a nová materiálová využití s přidanou hodnotou – GIPSRéC“ je pro závod na výrobu SDK desek v Počeradech (KNAUF Praha) řešen návrh a ověření technologie

recyklace SDK. V průběhu výzkumu budou optimalizovány procesy spojené s úpravou SDK odpadu, separací jednotlivých složek a jejich následným využitím. Cíleno bude především na maximalizaci zpětného využití odpadu při výrobě nových SDK desek. Dále budou hledány aplikace nevyhovujících částí recyklátu tak, aby nemusel být ukládán na skládky. Lze očekávat, že největší problémy nastanou s uplatněním separovaného papíru nebo s recyklátem s vyšším obsahem papíru.

Koncepce recyklační linky (SDK01) na SDK odpad, je zachycena na Obrázku 1. Z linky je možno odebírat suroviny na čtyřech výstupech: (i) recyklovaný papír, (ii) frakce 1/5 mm „bez“ papíru, (iii) frakce 0/1 mm z primárního drtiče (hrubší) a (iv) frakce 0/1 mm upravená pomocí vysokorychlostního mletí. V poslední zmíněné poloze se maximální velikost zrna liší v závislosti na nastavení mlýna. Pohybuje se v rozmezích 0,1 až 0,5 mm. Jednotlivé fáze zpracování ukazuje Obrázek 2.



Obr. 1: Orientační schéma recyklační linky SDK01 na SDK desky.

Obrázek 3 ukazuje 3D vizualizaci navrhované recyklační linky (SDK01) se všemi moduly – primární drtič, separátor, vysokorychlostní mlyn a hospodářství pro separovaný materiál (sádrovou / sádrovcovou drť různé frakce a separovaný papír).

3. Materiály, vzorky a experimentální výsledky

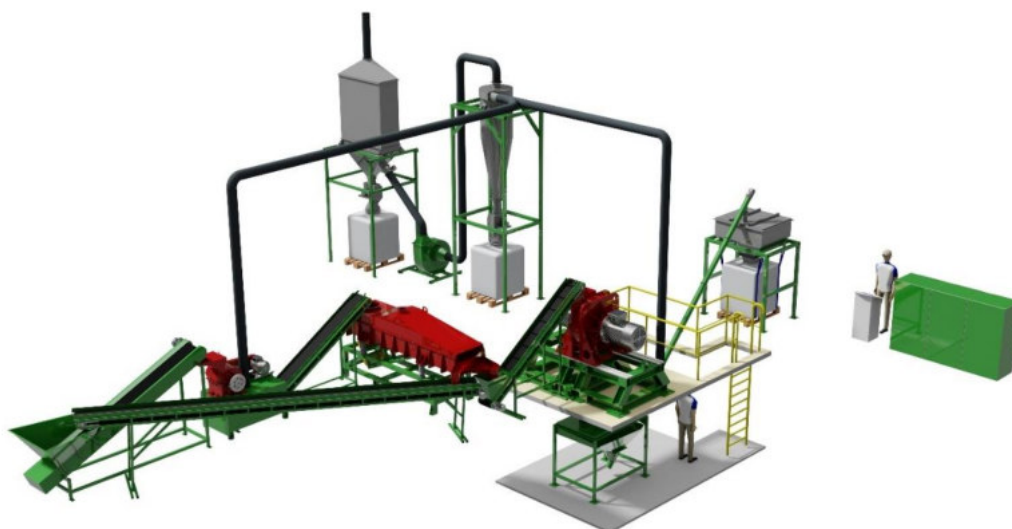
Pro výrobu zkušebních těles o rozměrech 40×40×160 mm bylo navrženo 6 směsí. Použity byly dva typy pojiv: Gypstrend (značeno jako SK) a KNAUF (SG). Tato pojiva byla ve třech úrovních, 0, 10 a 25 hm. %, nahrazována inertním mikromletým recyklátem ze SDK. Vodní součinitel (voda / suchá směs) byl ve všech případech 0,7.

Na vyrobených zkušebních tělesech byly testovány vybrané mechanické vlastnosti – pevnost v tlaku a pevnost v tahu za ohybu. Zkoušky byly provedeny po 2 hodinách od mísení směsí, resp. po 28 dnech. Jejich účelem bylo stanovit, jak se podílí aplikace inertního recyklátu na změně mechanických vlastností. Znalost této změny přispěje k určení optimálního či maximálního přípustného zastoupení recyklátu ve směsích [5, 6]. U vzorků starých 28 dnů byla navíc stanovena objemová hmotnost. Průměrné hodnoty sledovaných mechanických vlastností se směrodatnými

odchylkami jsou uvedeny v Tabulce 1. Z výsledků je patrné, že vyšších hodnot pevnosti v tlaku dosáhly vzorky se sádrovým pojivem Gypstrend (SK). U obou pojiv došlo k výraznému poklesu sledované veličiny se zvětšujícím se podílem recyklátu. Oproti tomu pevnost v tahu vzorků s pojivem Knauf (SG) výrazně převýšila vzorky SK. I v tomto případě ovšem docházelo k podstatnému snížení pevnosti se zvětšujícím se zastoupením recyklátu.



Obr. 2: Jednotlivé fáze zpracování SDK, postupně: prvotní surovina pro primární drtič, odseparovaný papír, recyklát frakce 1/5 mm a recyklát frakce 0/1 mm.



Obr. 3: Schematická 3D vizualizace recyklační linky SDK01 na SDK desky.

Tabulka 1: Vliv přídavku recyklovaného mikromletého odpadu ze SDK desek na pevnost v tlaku, pevnost v tahu za ohybu a objemovou hmotnost.

Označení	Pevnost v tlaku [MPa]		Pevnost v tahu za ohybu [MPa]		Objemová hmotnost [kg/m ³]
	2 hodinová	28 denní	2 hodinová	28 denní	
SK-0	3,5 ± 0,2	9,5 ± 0,3	0,22 ± 0,01	0,66 ± 0,03	750 ± 35
SK-10	2,5 ± 0,1	7,5 ± 0,2	0,17 ± 0,02	0,53 ± 0,02	723 ± 18
SK-25	2,0 ± 0,1	5,5 ± 0,1	0,10 ± 0,02	0,47 ± 0,01	700 ± 15
SG-0	3,1 ± 0,3	8,3 ± 0,3	0,65 ± 0,04	0,92 ± 0,04	788 ± 35
SG-10	2,4 ± 0,1	6,5 ± 0,2	0,24 ± 0,02	0,65 ± 0,02	736 ± 21
SG-25	1,3 ± 0,2	4,1 ± 0,2	0,17 ± 0,02	0,53 ± 0,02	710 ± 19

4. Závěr

Článek prezentuje výsledky první etapy řešení projektu MPO Trio. Představen je koncept recyklační linky na sádrokartonové desky, který využívá technologii mikromletí. Linka bude využita pro výrobu SDK desek v Počeradech (Knauf Praha). Dále jsou ukázány výsledky zatěžovacích testů zkušebních těles vyrobených ze sádrového pojiva s různým zastoupením jemné frakce inertního recyklátu ze SDK. Bylo zjištěno, že aplikace tohoto recyklátu způsobuje podstatnou ztrátu pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu.

5. Poděkování

Příspěvek byl vytvořen díky podpoře projektů MPO Trio č. FV30359 „Recyklace sádrokartonových desek a nová materiálová využití s přidanou hodnotou – GIPSRec“ a SGS19/148/OHK1/3T/11.

6. Literatura

- [1] ČERNÝ R. a kol. (2009): Vlastnosti modifikované sádry. Brno: CERM, 134 s. ISBN 978-80-214-3988-7.
- [2] SEKAVOVÁ, H. (2010): Aplikace upravené sádry v obvodových pláštích budov. Diplomová práce, Fakulta stavební ČVUT v Praze, 80 s.
- [3] WU, Y. F. (2009): The structural behavior and design methodology for a new building systém consisting of glass fiber reinforced gypsum panels. CBM 23, 2905-2913.
- [4] ZDRAVKOV, B. (2006): Extruded building materials from FGD gypsum. Journal of Enviromental Protection and Ecology. 2006, 1, stránky 129-136.
- [5] PLACHÝ, T. (2012): Monitoring of Mechanical Properties Evolution of the Část Gypsum, Procedia Engineering, 48 562-567.
- [6] TESÁREK, P. a kol. (2007): Flue Gas Desulfurization Gypsum: Study of Basic Mechanical, Hydric and Thermal Properties, CBM 21, 1500-1509.

VYUŽITÍ AKTIVOVANÝCH STRUSEK PRO TECHNOLOGIE PODKLADNÍCH VRSTEV UTILIZATION OF ACTIVATED SLAGS FOR BASE LAYER TECHNOLOGIES

Jméno autora: Ing. J. Šedina, Ing. J. Valentin, Ph.D., Ing. P. Mondschein, Ph.D.

Fakulta stavební ČVUT v Praze, sedinjak@fsv.cvut.cz

Abstract

The paper reflects current topic of pavement construction and deals with the possibilities of applying alternative binders for road treatment technologies. Actual research projects focuses on utilization of slags from metallurgical industry for road construction, especially for treatment of pavement subgrade. The paper deals with possible processing of these slags by high-speed milling technology and alkaline activation and their potential use as hydraulic binders for cold recycling technologies. The paper shows laboratory tests according to Czech technical specifications: indirect tensile strength ITS and moisture susceptibility, or compressive strength after 28 days curing as well as cyclic test of resistance to water and frost.

1. Úvod

Dnešní moderní technologie v silničním stavitelství reflektují požadavky na minimalizaci odpadů. Současné snahy tak cílí na využívání odpadů vzniklých nejen z rekonstrukce stávajících komunikací, ale zabývají se i odpady z průmyslové výroby a jejich možným uplatněním v technologiích silničního stavitelství.

Příspěvek je zaměřen na zpracování odpadních produktů metalurgického průmyslu, kdy je snahou využít latentně hydraulického charakteru těchto materiálů, zejména vysokopecních a ocelářenských strusek. Tyto materiály jsou v současné době využívány jako náhrada přírodního kameniva nebo zeminy, například pro aplikace v protipovodňových hrázích, jako zásyp starých důlních děl a lomů, nebo pro tvorbu prefabrikovaných stavebních prvků.

Pomocí procesu mechano-chemické aktivace dochází k přeměně těchto materiálů na alternativní hydraulická pojiva, která jsou zajímavou variantou k dnes běžně využívaným hydraulickým pojivům, zejména cementu. Výše uvedené materiály jsou aplikovány v technologiích studené recyklace ve formě alternativních hydraulických pojiv. Jejich posouzení vychází z požadavků současných norem a technologických předpisů pevnost v tlaku a odolnost proti mrazu a vodě, v případě nižších pevností, umožňují technologické podmínky směs klasifikovat i pomocí pevnosti v příčném tahu a odolnosti proti vodě.

2. Vysokorychlostní mletí

Vysokorychlostní mletí je jedním z typů vysokoenergetického mletí, které se vyznačuje velkým množstvím předané energie na jednotku upravovaného materiálu. Pojem vysokoenergetického ani vysokorychlostního mletí není nikde v literatuře přesně definován. S mletím v klasickém pojetí má společné všechny základní vlastnosti, tedy zjemnění zrnitosti, zvětšení měrného povrchu, otevření zrn atd. Na rozdíl od klasického mletí dochází však při vysokorychlostním mletí k určitým jevům (efektům), které nebyly pozorovány u klasického procesu mletí. Určitá část vynaložené energie, která se u běžného mletí bez užitku přemění na teplo, je tak díky těmto jevům uchována ve zpracovaném materiálu [Faltus 2014, Valentin 2016].

Pozorovanými jevy u anorganických materiálů jsou například:

- mechano-chemická (mechanická) aktivace
- tvorba vyšších podílů mikronových částic a nanočástic
- v některých případech vyšší efektivita využití spotřebované energie na tvorbu nových povrchů.

Efekt mechano-chemické aktivace využívaný vysokorychlostním mletím umožňuje významně lepší využití energie vynaložené na mletí látky. To je dáno díky akumulaci její části v podobě zvýšené entalpie upravované látky. Efekt mechano-chemické aktivace umožňuje ve vysokorychlostních mlecích zařízeních:

- vyvolat chemické reakce v pevném stavu materiálu při mletí (např. oxidace či výměnné reakce)
- iniciovat fázové změny (nejen amorfizaci) v různých látkách
- vytvořit mechanické slitiny kovových materiálů v procesu mletí
- iniciovat katalytické reakce v organických i anorganických systémech v procesu mletí

Na obrázku 1 je znázorněn impaktovaný vysokorychlostní mlýn (desintegrátor), který byl použit při zpracování materiálů, které jsou prezentovány v rámci této práce.



Obrázek 1: Vysokorychlostní mlýn (vpravo); rozevřené mezikruží rotorů pro osazení mlecích elementů (vlevo) [Valentin 2016]

Výzkumem uplatnění produktů vysokorychlostního mletí v praxi se laboratoře ČVUT zabývají mnoho let, kdy se snažíme za pomoci této technologie zpracovat celou řadu odpadních produktů a najít pro ně nové využití. Technologie se tak používá pro zpracování odpadními produkty řady průmyslových odvětví. V minulosti tak proběhlo posouzení využitelnosti elektrárenských popílků z klasického a fluidního spalování, metalurgické strusky, vápencových odprašků a kalů, zpracování betonového recyklátu, případně zpracování pryže ze starých pneumatik. Pozitivní efekty procesu vysokorychlostního mletí se podařilo prokázat zejména při zpracování fluidních popílků a strusek, kdy jsou během procesu mletí narušeny stávající vazby a dochází k homogenizaci výsledného materiálu, což přispívá k ovlivnění nežádoucích procesů, spojených s objemovými změnami materiálu při styku s vodou. Vysokorychlostní mletí je tak účinným nástrojem prevence vzniku například etringitů, thaumasitů a dalších látek, které v minulosti ovlivňovaly efektivní využívání těchto materiálů v praxi.

3. Alkalická aktivace

Alkalická aktivace materiálů za účelem nastartování latentně hydraulického chování je známá již řadu let, kdy jsou takto zpracovávány zejména odpadní produkty energetického a metalurgického průmyslu. První zmínky o alkalické aktivaci ve smyslu dnešního využití se objevují v 30. letech minulého století v publikaci profesora Kuhla, následuje řada výzkumných projektů zaměřených na aktivaci materiálů s potenciálem jejich dalšího využití. Základní rozdělení alkalických aktivátorů bylo stanoveno v roce 1980 profesorem Gluchovským, který stanovil 6 skupin dle chemického složení [Gluchovsky1980],

- silné zásady: MOH
- nesilikátové soli slabých kyselin: M_2CO_3 , M_2SO_3 , M_3PO_4 , MF
- silikáty: $M_2O \cdot nSiO_2$,
- hlinitany: $M_2O \cdot nAl_2O_3$
- hlinitokřemičitany: $M_2O \cdot Al_2O_3 \cdot (2-6) SiO_2$
- nesilikátové soli silných kyselin: M_2SO_4

Správná volba aktivátoru je závislá na chemickém složení aktivovaného materiálu. Pro aktivaci strusek se nejčastěji používají alkalické křemičitany (vodní sklo), hydroxidy, nebo uhličitany. Z ekonomického hlediska se nejčastěji volí sloučeniny sodíku, které jsou běžně dostupné. Mezi méně používané potom patří hydroxid vápenatý, kombinace hydroxidu vápenatého a sádrovce, případně kombinace hydroxidu sodného a sádrovce vápníku. Aktivátor je nejčastěji smíchán v suché podobě s aktivovaným materiálem s důrazem na optimální dávkování aktivátoru. Příliš vysoké dávkování může způsobit degradaci pojiva

a pokles výsledných pevností. Z hlediska použití alkalických aktivátorů v případě strusek popisují současné publikace vhodnost použití Na_2CO_3 pro strusky bohaté na C_2MS , NaOH pro strusky s vysokým podílem C_2AS . Jedním z neúčinnějších aktivátorů je vodní sklo, u něž záleží na koncentraci roztoku a na tzv. silikátovém modulu, což je molární poměr SiO_2/Me_2O ($Me = Na, K$) [Malolepszy 1986, Frýbortová 2010]. V rámci prezentovaných dat byl pro potřeby aktivace mikromleté ocelářské strusky AP-SK zvolen, jakožto jedna z uváděných možností aktivace strusek, vápenný hydrát. Vápenného hydrátu jako alkalického aktivátoru bylo již v minulosti použito v případě mikromletých materiálů na bázi betonového recyklátu, nebo vápencových odprašků.

4. Alternativní pojiva na bázi strusky (AP-SO, AP-SK)

Alternativní pojivo AP-SK na bázi strusek je z hlavní části tvořeno ocelářskou struskou z lokality Kladno. Tato struska byla pomocí vysokorychlostního mletí upravena do podoby jemně mletého pojiva s vysokým podílem oxidů vápna (CaO), křemíku (SiO_2) a hliníku (Al_2O_3) [Hanzálek 2017]. Zvýšený obsah oxidů hliníku je typický pro technologie licích pánví, což odpovídá dříve používaným technologiím v místě odběru.

Ref. Code	Compound Name	Score	Total Lines	Scale Factor	SemiQuant [%]
01-087-0968	Gehlenite, syn	57	23	1	64
01-085-1369	Grossular ferrian	27	18	0,137	29
01-082-0511	Quartz	20	7	0,041	2
00-003-0044	Gypsum	8	16	0,024	2
01-075-1688	Thaumasite	12	51	0,034	3

Tabulka 1: XRD analýza AP-SK [Hanzálek 2017]

Výsledky provedené XRD analýzy vzorku mikromleté ocelářské strusky AP-SK (tabulka 1) prokázaly přítomnost gehlenitu ($Ca_2Al(AlSi)O_7$) jako hlavní krystalické

struktury, dále byla pozorována přítomnost železitého grosuláru ($\text{Ca}_3\text{AlFe}(\text{SiO}_4)_3$) a skelné fáze (spodní část grafu). Mezi méně zastoupené patří krystaly křemene, sádry a thaumasitu, výskyt těchto struktur je ovšem zanedbatelný. Výskyt gehlenit lze ve strusce očekávat, společně s akremanitem tvoří melilit, který u strusek běžně představuje až 90 % jejich složení. Železitý grosulár je minerál, který se ve strusce obvykle nachází pouze ve stopovém množství, jeho chemické složení však jeho výskyt nevyklučuje [Hanzálek 2017].

Alternativní pojivo AP-SO na bázi strusek je z hlavní části tvořeno vysokopevní struskou z lokality Ostrava. Tato struska byla pomocí vysokorychlostního mletí upravena do podoby jemně mletého pojiva s vysokým podílem oxidů vápna (CaO) a křemíku (SiO_2), poměrně velké zastoupení mají i oxidy hliníku (Al_2O_3), železa (FeO , Fe_2O_3), případně manganu (MgO) a draslíku (Na_2O) [Hanzálek 2017]

Ref. Code	Compound Name	Score	Total Lines	Scale Factor	SemiQuant [%]
01-079-2423	Akermanite-gehlenite, syn	54	24	0,96	89
01-071-2108	Srebrodolskite, syn	21	35	0,067	6
01-082-0588	Hercynite, syn	33	6	0,075	6

Tabulka 2: XRD analýza AP-SO [Hanzálek 2017]

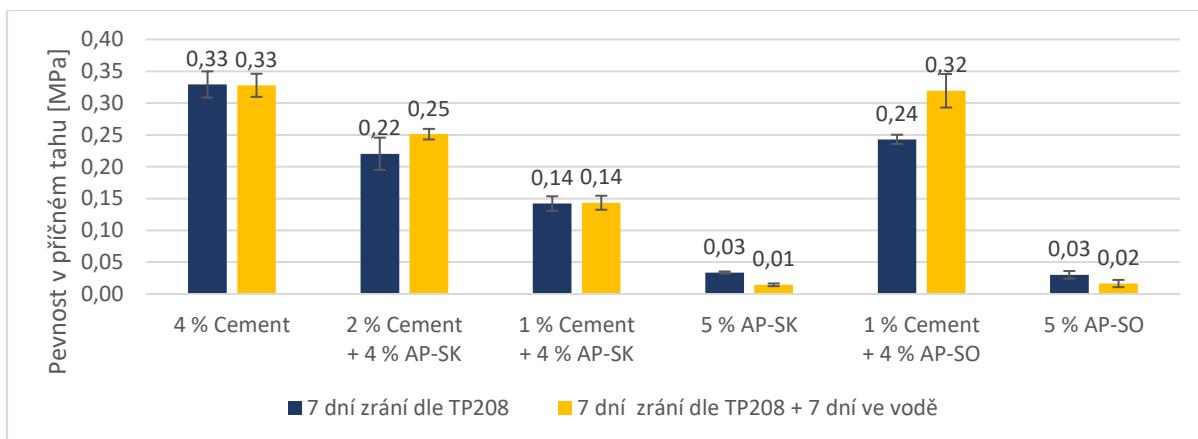
Výsledky provedené XRD analýzy vzorku mikromleté ocelářské strusky AP-SO (tabulka 2) prokázaly přítomnost ackermanit-ghelitu, kdy se jedná s největší pravděpodobností o melilit, který bývá ve struskách běžně přítomen. Dále je zde v malém množství zastoupen srebrodolskit ($\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_2\text{O}_5$), jehož přítomnost ve struskách je známa, v minimálním množství je přítomen také hercynit (FeAl_2O_4). Jeho přítomnost ve struskách není známa, nicméně chemickým složením odpovídá složení běžné strusky. V analyzované strusce je rovněž zastoupena skelná fáze [Hanzálek 2017].

5. Laboratorní posouzení alternativních pojiv na bázi strusky (AP-SO, AP-SK)

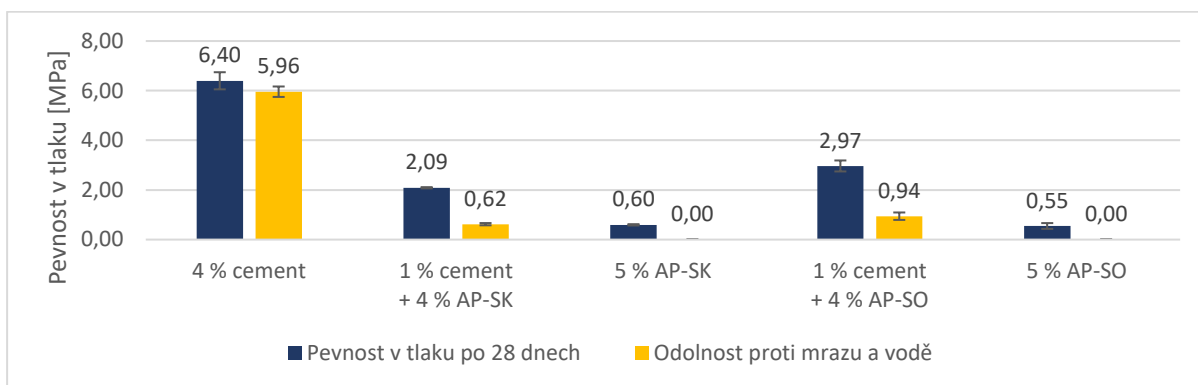
	4 % cement	2 % cement + 4 % AP-SK	1 % cement + 4 % AP-SK	5 % AP-SK	1 % cement + 4 % AP-SO	5 % AP-SO
R-materiál Středokluky 0/22	75,0%	75,0%	75,0%	75,0%	75,0%	75,0%
ŠD Litice 0/32	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%
Cement	4,0%	2,0%	1,0%	--	1,0%	--
AP-SK	--	4,0%	4,0%	5,0%	4,0%	--
AP-SO	--	--	--	--	0,0%	5,0%
Voda	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%

Tabulka 1: Složení směsí- AP-SO, AP-SK (studená recyklace)

V rámci projektu byly posouzeny dva typy strusek AP-SO a AP-SK. Tyto strusky byly upraveny pomocí vysokorychlostního mletí za účelem mechanické aktivace materiálu s potenciálem plně nebo částečně nahradit klasická hydraulická pojiva.



Obrázek 2: Pevnost v příčném tahu: AP-SO, AP-SK (studená recyklace)



Obrázek 1: Pevnost v tlaku: AP-SO, AP-SK (studená recyklace)

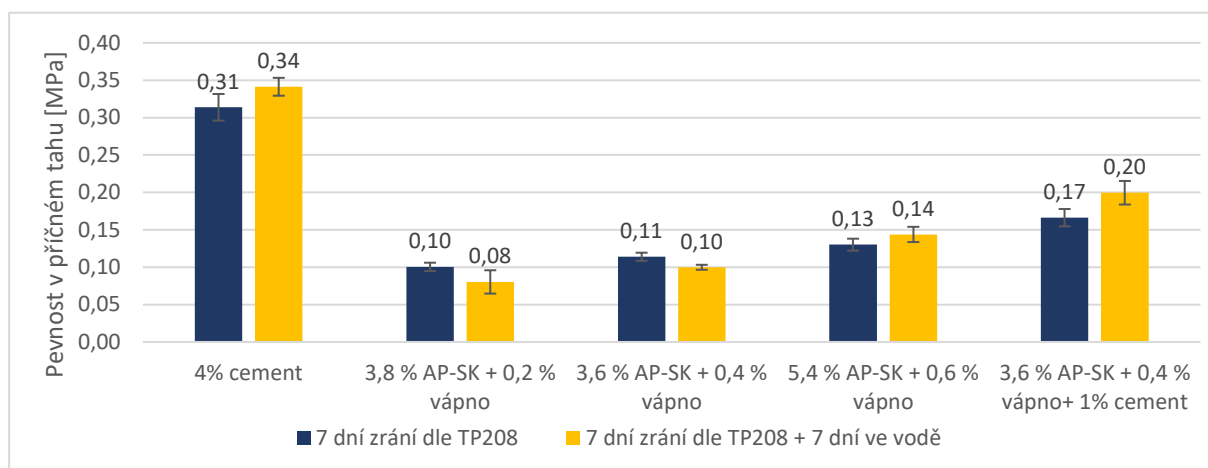
Oproti předpokladům vykazovalo použití alternativních pojiv na bázi strusky jen minimální efekt na sledované parametry pevnosti v příčném tau a pevnosti v tlaku. Přínos pojiv byl prakticky zanedbatelný a i v případě použití alternativních pojiv v kombinaci s cementem (4% alternativního pojiva na bázi strusky (AP-SO, AP-SK) a 1-2 % cementu), bylo dosaženo výrazně nižších pevností, než u referenční směsi stmelené pouze cementem. I přes tento fakt byly u kombinace AP a cementu pozorovány určité jevy predikující latentně hydraulické chování alternativního pojiva. Tento předpoklad vedl k návrhu alkalické aktivace mikromleté strusky AP-SK, kdy bylo nahrazeno 5 a 10 % hmotnosti mikromleté strusky vápenným hydrátem, který sloužil jako alkalický aktivátor a měl nastartovat samotnou hydrataci strusky.

	4% cement	3,8 % AP-SK + 0,2 % vápno	3,6 % AP-SK + 0,4 % vápno	5,4 % AP-SK + 0,6 % vápno	3,6 % AP-SK + 0,4 % vápno + 1% cement
R-materiál Středokluky 0/11	75,0%	75,0%	75,0%	75,0%	75,0%
ŠD Litice 0/32	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%
Cement	4,0%	--	--	--	1,0%
Vápenný hydrát	--	0,2%	0,4%	0,6%	0,4%
AP-SK	--	3,8%	3,6%	5,4%	3,6%
Voda	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%

Tabulka 2: Složení směsí- alkalická aktivace AP-SK (studená recyklace)

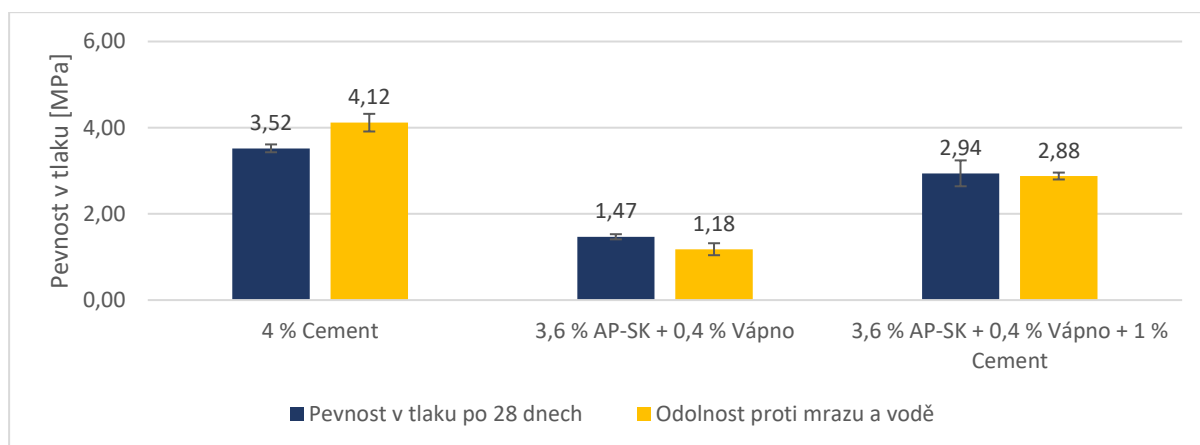
Pro další posouzení a alkalickou aktivaci, bylo zvoleno pojivo AP-SK, tedy horší z výše uvedených pojiv. O nově vzniklém pojivu mluvíme jako o mechano-chemicky aktivovaném struskovém pojivu. Nové alternativy AP-SK byly opět posouzeny v rámci

technologie studené recyklace, kde byla aplikována pojiva v dávkování 4 a 6 % a ve vybraném případě i v kombinaci s 1 % cementu.



Obrázek 4: Pevnost v příčném tahu: alkalická aktivace AP-SK (studená recyklace)

Data prezentovaná na obrázku 4 prokázala smysluplnost alkalické aktivace alternativních pojiv na bázi strusky, kdy pojiva s minimálním přídavkem vápna dosahovala výrazně vyšších pevností než v případě pojiv bez chemické aktivace. V porovnání s referenční směsí bohužel AP-SK v případě posouzení pomocí pevnosti v příčném tahu vykazovala nižší hodnoty a to i v případě, kdy byl nárůst pevnosti dodatečně podpořen přídavkem cementu.



Obrázek 5: Pevnost v tlaku: alkalická aktivace AP-SK (studená recyklace)

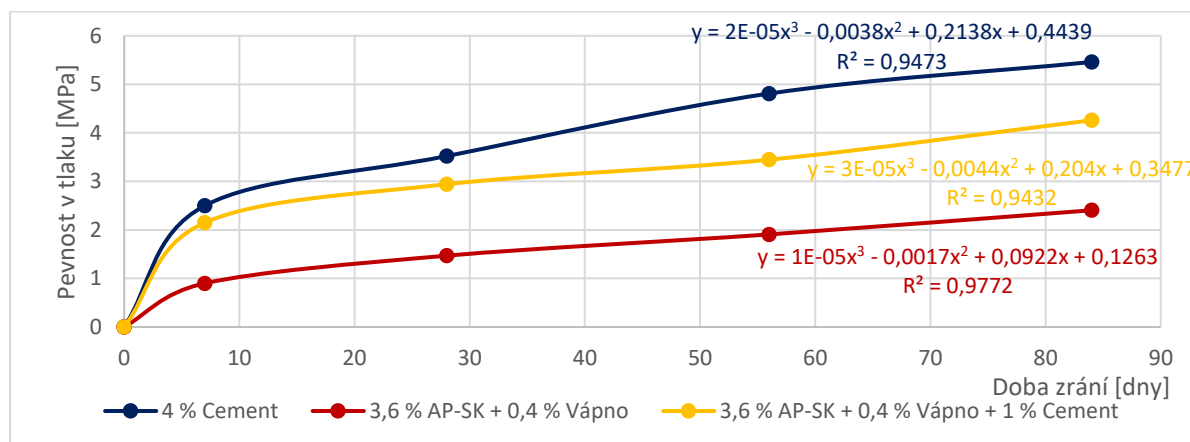
K posouzení pevnostních parametrů směsi určené pro směsi s vyšší třídou pevnosti byly vybrány varianty AP-SK, kdy bylo nahrazeno 10 % pojiva vápnem, a to bez a v kombinaci s cementem. V tomto případě byl pozorován vcelku očekávaný výsledek pojiva bez cementu, které vykazovalo výrazně nižší pevnostní parametry, na druhou stranu byl s přídavkem vápna do jisté míry eliminován pokles pevnosti po zmrazovacích cyklech, tedy u struskového pojiva byly vyvolány určité hydratační schopnosti. Z hlediska praktického využití se jako zajímavější variantou jeví použití pojiva AP-SK v kombinaci s cementem. Navržená směs dosahovala cca 85% pevnosti referenční směsi a vyhověla podmínkám technických předpisů na pokles pevnosti po zmrazovacích cyklech. Pro použití kombinace AP-SK a cementu hovoří i výrazné snížení nasákavosti směsi a to při minimálním dávkování. Dopad tohoto jevu je patrný

na obrázku 6, kde jsou prezentovány směsi stejného složení, vlevo je použito pojivo AP-SK aktivované vápenným hydrátem, vpravo je navíc k tomuto pojivu přidáno ještě 1 % cementu. Tělesa jsou zachycena bezprostředně po sundání z nasávkové podložky před zkoušením pevnostních parametrů po zmrazovacích cyklech.



Obrázek 62: Tělesa po zmrazovacích cyklech (vlevo AP-SK, vpravo AP-SK+cement)

Z hlediska posouzení AP-SK a jeho vlivu na pevnost směsi v čase (obrázek 7) byl prokázán pomalejší náběh pevnostních parametrů, nicméně po počátečním nárůstu pevnosti vykazoval konstantní růst po celou dobu sledování jak u varianty AP-SK s přídavkem cementu, tak bez něj. Pevnost měřená na směsi stmelené AP-SK s přídavkem cementu navíc vykazovala pevnost pohybující se v rozmezí 75 – 85 % pevnosti referenční směsi. Tento fakt bude základem pro další modifikaci pojiva, tak aby bylo možné jeho širší využití jako částečné nebo úplné náhrady současných hydraulických pojiv.



Obrázek 73: Vývoj pevnosti v tlaku v čase: AP-SK (studená recyklace)

6. Závěr

Posouzení pojiv na bázi strusek vycházelo z předchozích poznatků získaných při zpracování fluidních popílků pomocí procesů mechano-chemické aktivace. Strusky jako takové byly svou povahou i chováním velmi podobné dříve zpracovávaným materiálům a byly poměrně dobře popsány v technologiích pro betonářský průmysl.

Naším úkolem bylo najít cestu k využití mikromleté strusky v oblasti silničního stavitelství, zejména v aplikacích studené recyklace.

Na základě prvotních výsledků bylo přistoupeno k chemické aktivaci pomocí alkalického aktivátoru, v našem případě vápenným hydrátem. Pro aktivaci bylo vybráno pojivo AP-SK, které vykazovalo horší výsledky v první fázi posouzení. Bylo dávkováno 5 a 10 % náhrady struskového pojiva, kdy na základě lepších výsledků byla pro další zpracování vybrána varianta s náhradou 10 % struskového pojiva. Pojivo AP-SK s přídatkem vápna bylo dále kombinováno s cementem, kdy cement iniciuje dostatečnou odolnost proti mrazu a vodě. Rovněž bylo prověřeno i vyšší dávkování pojiva, které u aplikací tohoto typu bývá nutné. Z hlediska posouzení pevností v příčném tahu vykazovaly směsi stmelené alternativními pojivy i po úpravách nižší pevnosti než v případě klasických hydraulických pojiv. V tomto případě je nutné hledat vhodnější poměr cementu a AP-SK. Pro posouzení pevnosti v tlaku a dlouhodobého chování směsí byla vybrána varianta pojiva s 10 % alkalického aktivátoru, v jednom případě plně nahrazující cement, v druhém případě s 1% příměsí cementu. Varianta bez cementu dle předpokladů nevyhověla na odolnost vůči mrazu a vodě. Směs dosahovala 80 % 28 denní pevnosti, nevyhovující současným předpisům, které požadují minimálně 85 % pevnost. Rovněž varianty bez cementu i přes konstantní nárůst pevnosti v čase nedosahovala kvalit referenční směsi. Z aktuálních dat tak lze doporučit pro využití v praxi variantu AP-SK aktivovanou vápnem, s přídatkem cementu (3,6 % AP-SK + 0,4 % vápno + 1 % cement), která oproti variantě bez cementu vyhověla na odolnost vůči mrazu a vodě a vykazovala konstantní nárůst pevnosti v čase při dlouhodobém sledování. Pevnost směsi stmelená AP-SK se pohybovala v rozhraní 75 - 85 % pevnosti referenční směsi a lze tedy konstatovat, že posuzovaná varianta pojiva může částečně nahradit klasická hydraulická pojiva, zejména cement. Prezentovaná data tak potvrzují potenciál technologie mechano-chemické aktivace strusek a jejich efektivní využití v silničním stavitelství. Pro širší využití v praxi bude potřeba upřesnit optimální poměr AP-SK a cementu a prověřit aplikaci pojiva pro širší škálu stavebních materiálů a technologií.

7. Literatura

- [1] FALTUS M., VALENTIN J.: Souhrn technických poznatků k problematice desintegrace zrnitostních materiálů a vysokorychlostního mletí. Příloha A k průběžné výzkumné zprávě 2014, Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2014.
- [2] FRÝBORTOVÁ I.: Možnosti alkalické aktivace ocelářské strusky (bakalářská práce), VUT Brno, 2010.
- [3] GLUKHOVSKY V. D., ROSTOVKAYA G. S., RUMYNA G. V.: High strength slag-alkali cement. 7th International Congress on the Chemistry of Cements. Paris, p. 164 – 168, 1980.
- [4] HANZÁLEK, M., Mechanické vlastnosti cementových malt s příměsí mikromleté strusky. Diplomová práce, ČVUT Praha, 2017.
- [5] MALOLEPSZY J.: Activation of synthetic melilite slags by alkalis. 8th International Congress on the Chemistry of Cement, 4, 104-107, Rio de Janeiro, Brazil, 1986.
- [6] VALENTIN J., PROŠEK Z., TESÁREK P., KARRA´A G.: Jaký je potenciál mechano-chemické aktivace u vybraných vedlejších produktů či recyklátů?, In: Podkladní vrstvy a podloží vozovek, Praha 4: Pragoprojekt a.s., 53-65, 2016.

LESK A BÍDA PROPAGACE RECYKLACE STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

SHINE AND MISERY OF POPULARIZATION OF THE OUR FIELD

RNDr. Miroslav Sedláček, SOLITON-team, z. s., Orlí 5, 602 00 Brno
soliton@soliton.cz, www.soliton.cz

Abstract

Slightly nonconforming balance about opportunities for popularization of the our field. Media and/or our activities, unused ways.

Nejprve stanovme rámec: cílovou skupinou zde myslíme širokou veřejnost. Odborná veřejnost si informace umí hledat sama. Chceme oslovovat a zaujmout jednotlivce resp. skupiny s neutrálními postoji tak, aby se z nich stali sympatizanti RSM. V tomto směru se zatím mnoho neděje.

Propagace RSM není ve veřejném prostoru mnoho, ba skoro úplně chybí. Kde ji lze spatřit? Kromě ARSM je zde velmi dobrý web odpadářského časopisu, také Enviweb, snad ještě několik málo dalších.

"Lesk" v názvu příspěvku se týká faktu, že tato existující popularizace a propagace má velmi slušnou úroveň, je seriózní a prosta bulvárních tendencí. Bohužel je jí velice málo. Rozsah osvěty, propagace a vzdělávání v oboru RSM je o několik řádů níže než u témat třídění odpadů, sběr papíru, sběr monočládků, o klimatickém alarmismu ani nemluvě.

Bylo by nepochybně žádoucí, a to z mnoha důvodů, aby se potřeba RSM stala součástí obecného společenského povědomí. Co tomu brání?

* Vytíženost vedoucích podnikových pracovníků řízením, provozními záležitostmi a dialogem s veřejnou správou. Jejich nezvyk, případně neochota pracovat s massmédii – při průměrné vzdělanostní a profesní úrovni dnešních redakcí se nelze divit (toto se samozřejmě netýká odborných médií). Nicméně je třeba přemýšlet o řešení. Občasný nákup inzertní plochy to jistě nevyléčí.

* Nedostatečné propojení se školstvím všech stupňů. Zde jsou přitom téměř neomezené možnosti: exkurze, besedy, přednášky, videoprojekce, možnost zapojit žáky do mapování černých skládek SM, výstavy všeho druhu od existující výstavy na panelech po stálé recyklační parky, tedy expozice výrobků z recyklátů (analogie geologických parků v areálech mnoha ZŠ). Ve spolupráci se školami obvykle nehrozí časová tíseň, přípravné dialogy jsou osobní, mají více stupňů volnosti.

V našich kruzích panuje všeobecná nespokojenost se stavem popularizace a propagace RSM. Při výzvách ke konkrétním krokům však zaznívá v odpověď,

otevřeně nebo diplomaticky, že "tento rok na to nebude čas... peníze... lidi...". Přitom je všem jasné, že nikdo kromě lidí a podniků z oboru v té věci mnoho neudělá. Ministerstva mohou občas vydat koncepce, metodiku, směrnice, ale nemohou dělat drobnou systematickou všední práci, například desítky článků do lokálních tištěných zpravodajů, které jsou ve středně a dlouhodobém horizontu mnohem účinnější, než celostátní deníky.

Jednorázové kampaně jsou už z definice pro náš účel téměř irelevantní.

Poznámka ke spoléhání se na média: v inzerátech hledajících redaktory najdete běžně větu "Vzdělání nehraje roli, zkušenosti nejsou potřeba, zaučíme v praxi." Komentáře jistě netřeba.

Návrhy k úvahám o řešení

* Koncepce, vytrvalost, plánování, mnohaúrovňové působení současně – od lokálního tisku po barevné luxusní magazíny.

* Reklamní agentury nejsou nezbytné. Tíhnou k nim někteří odborní ředitelé, kteří mají pochopitelně sklony k řešení typu "jedna smlouva za pět miliónů a mám tři roky pokoj". V tomto případě je výchozí situace podstatně jiná, protože nejde o výrobu standardizovaných odlítků, ale o trvalý dialog se zpětnou vazbou na veřejnost.

Odborník nebo i laik s osobním vztahem k oboru se může za nedlouhou dobu naučit lépe, tj. výstižněji a srozumitelněji vyjadřovat a psát, zatímco očekávat seriózní dlouhodobou oddanost od profesionální poletuchy, která má vysoké náklady na provoz, je naivita. Angažujme studenty VŠ, pro některé věci i SŠ. Udělejme pro ně kurzy, soustředění apod. Ti nejspokornější budou za pouhých 5–10 let něco řídit a pak už budou partnery pro vaši firmu. Kromě toho si budou pamatovat, že jste něčím přispěli k jejich vzdělání. Zejména v lokálním a regionálním měřítku to mívá potěšující následky.

* Při propagaci každého oboru je nejen vhodné, ale ve vlastním zájmu do značné míry nutné spolupracovat s konkurencí. (Příkladem budiž fotbal, hokej atd.) Všichni to vědí, ale mnohým se do toho nechce. ARSM má naštěstí dlouhou tradici a funguje, takže základní kámen máme.

* Massmédiá jsou pro náš účel k něčemu jen málokdy. Víte jistě z vlastní zkušenosti, že jsou schopna zdeformovat a poplést i to, co jim dáte černé na bílém. Vynořme se z jejich bubliny a podstupme o hodný kus dál. Položme si na stůl inzertní a vzdělávací přílohy českých a vídeňských novin z let dejme tomu 1870–1890, kdy se naplno rozhoříval boom průmyslu, vědy a techniky. Případně inzertní přílohy profesních a popularizačních časopisů západní Evropy a USA z let 1970–1980, třeba zemědělských nebo technických. Najdete, až na výjimky, výbornou

stylistiku, jasné, stručné, srozumitelné vyjadřování. Trocha sebechvály tam bude vždycky, ale žádné plané sliby a pseudomarketingové plácání o prádle čistoskvoucím a bělejších než bílém. Že je jiná doba? V mnohém ano. Ovšem ty texty svým stylem působí dodnes. Můžeme se inspirovat.

* Především však stanovme své aktuální a konkrétní cíle v popularizaci a propagaci oboru. Je to všechno na nás.

Autor 40 let působí v popularizaci vědy, techniky a matematiky. Výběr z bibliografie a filmografie je zde https://cs.wikipedia.org/wiki/Miroslav_Sedláček

NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍHO OBJEKTU Z BETONU S RECYKLOVANÝM KAMENIVEM

DESIGN OF AN EXPERIMENTAL OBJECT WITH USE OF CONCRETE WITH RECYCLED AGGREGATES

Jméno autora: Ing. arch. Petr Dobrovolný

petr@dobrovolny-architekt.cz

Abstract

This article focuses on the specifics of use of concrete with recycled aggregates. The declared characteristics of selected building material have been examined on different constructions of a small experimental object. The subject is being dealt from the viewpoint of an architect.

1. Popis záměru

Záměrem je prozkoumat pomocí návrhu experimentální stavby možnosti použití betonu s recyklovaným kamenivem a provést srovnání s běžně používanými betony. Budou sledovány parametry důležité z pohledu projektanta/architekta: použitelnost v jednotlivých typech konstrukcí, dimenze konstrukcí, vzhled, tepelně technické vlastnosti.



Obr. 1. Realizované stavby z materiálů firmy Watershed materials [1]

Během realizace stavby následně popsat specifika práce se sledovaným materiálem a ověřit soulad předpokládaných a skutečných vlastností konstrukcí na realizované stavbě.

Jako inspirace posloužily experimentální objekty postavené z betonových bloků s recyklovaným kamenivem americké firmy Watershed Materials.

2. Popis navrženého objektu

Byl navržen drobný výstavní objekt o vnitřních rozměrech 4,5 x 4,5 x 4,5m. Objekt by měl sloužit k prezentaci sledovaných stavebních materiálů. Dispozičně je členěn do dvou podlaží s hlavním výstavním prostorem a toaletou v přízemí a galerií v 2.NP. Prosvětlení je řešeno prosklenou stěnou s posuvným dveřním křídlem v přízemí a střešním světlíkem nad schodištěm. Základ je řešen jako plošný - plovoucí základová deska tl. 250mm uložená na podsyp z Liaporu. Obvodové stěny jsou monolitické tl. 200mm, vnitřní dělicí stěna je ze ztraceného bednění tl. 150mm. Stropy nad 1.NP i 2.NP jsou monolitické tl. 180mm, střecha je plochá, krytá PVC povlakovou krytinou. Výplně otvorů jsou dřevěné s trithermální výplní.

3. Řešené stavební konstrukce

Byly řešeny následující konstrukce:

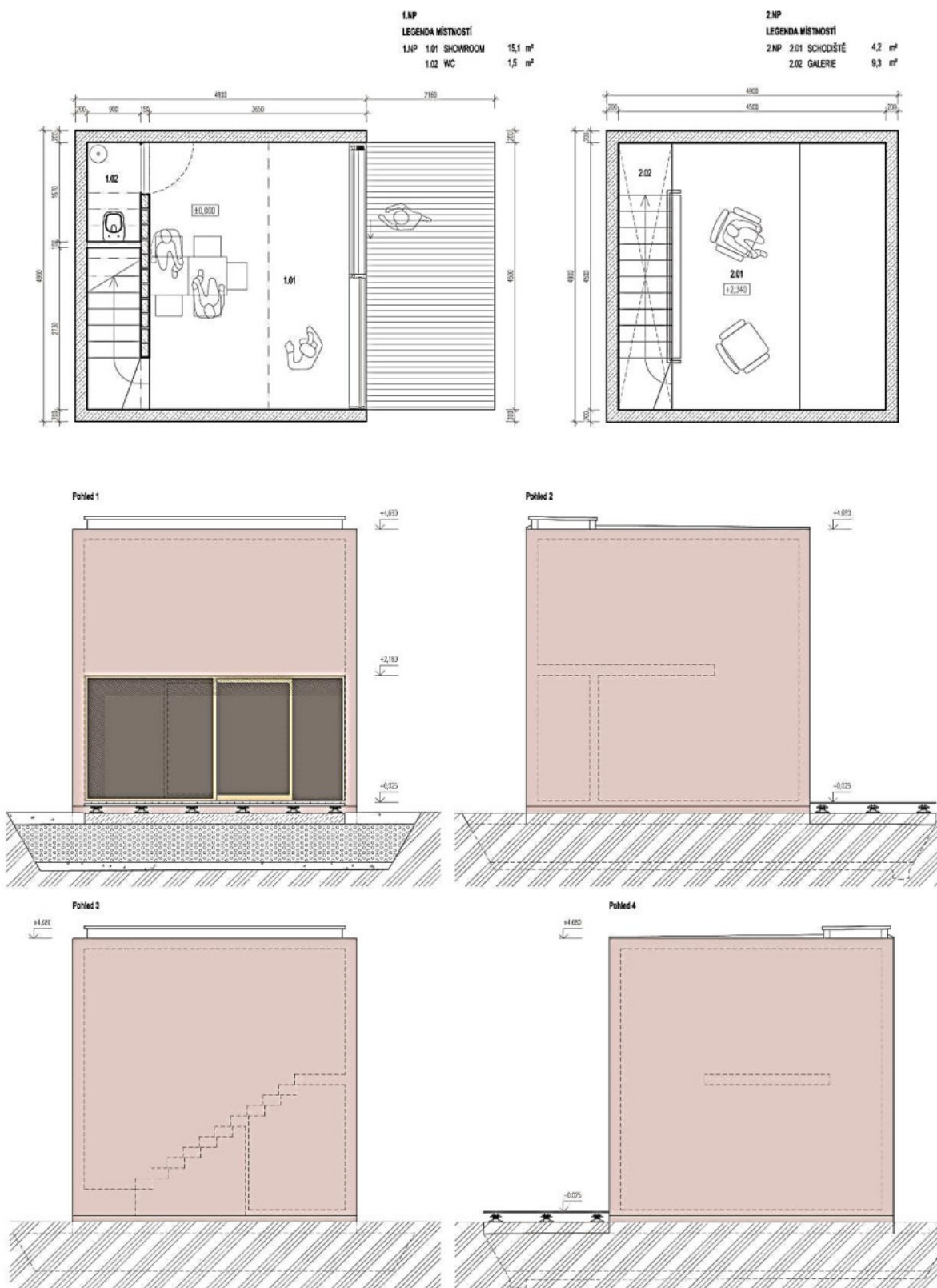
- a) Monolitická plovoucí základová deska
- b) Obvodová nosná stěna
- c) Překlad nad okenním otvorem
- d) Vnitřní nosná stěna
- e) Strop nad 1.NP / galerie
- f) Strop nad 2.NP / střecha
- g) Montované schodiště
- h) Podlaha v 1.NP (m.č. 1.01 – showroom)
- i) Podlaha v 1.NP (m.č. 1.02. – WC)

4. Materiálové řešení

Základním hlediskem pro výběr stavebního materiálu byla použitelnost v jednotlivých druzích stavebních konstrukcí.

Dalšími hledisky byly obsah recyklátu, možnost vícenásobné recyklace, tepelně technické vlastnosti, barva a textura povrchů.

Ve spolupráci s firmou ERC Tech byly nosné konstrukce navrženy z betonu pevnostní třídy C30/37 (alternativně C20/25) s příměsí betonového recyklátu. Pro návrh konstrukcí byly použity údaje ze stavebního technického osvědčení č. 060-044584 TZÚS Praha.



Obr. 2. Půdorysy a pohledy

Č.	Sledovaná vlastnost	Zkušební postup	Počet vzorků		Deklarovaná / požadovaná úroveň
			C	D	
1	Konzistence čerstvého betonu [mm s.k.]	ČSN EN 12350-2	1	1	D: S 1 10 – 40 S 2 50 – 90 S 3 100 – 150 S 4 180 – 210
2	Pevnost v tlaku Třída betonu: C12/15 • jednotlivé • průměr Třída betonu: C16/20 • jednotlivé • průměr Třída betonu: C20/25 • jednotlivé • průměr Třída betonu: C25/30 • jednotlivé • průměr Třída betonu: C30/37 • jednotlivé • průměr	ČSN EN 12390-3	3	3	P: • min. 11,0 MPa • min. 19,0 MPa
			3	3	P: • min. 16,0 MPa • min. 24,0 MPa
			3	3	P: • min. 21,0 MPa • min. 29,0 MPa
			3	3	P: • min. 26,0 MPa • min. 34,0 MPa
			3	3	P: • min. 33,0 MPa • min. 41,0 MPa
3	Pevnost v tahu ohybem Třída betonu: C12/15, C16/20 • jednotlivé • průměr Třída betonu: C20/25 • jednotlivé • průměr	ČSN EN 12390-5	3	3	P: • min. 1,0 MPa • min. 1,5 MPa
			3	3	P: • min. 1,5 MPa • min. 2,0 MPa

Č.	Sledovaná vlastnost	Zkušební postup	Počet vzorků		Deklarovaná / požadovaná úroveň
			C	D	
	Třída betonu: C25/30, C30/37 • jednotlivé • průměr		3	3	P: • min. 2,0 MPa • min. 2,5 MPa
4	Obsah vzduchu v čerstvém betonu beton XF2 – XF4	ČSN EN 12350-7	1	1	P: • min. 4,0 %
5	Hloubka průsaku tlakovou vodou XC4, XD2, XF1 XD3, XF3, XF4 XF2	ČSN EN 12390-8	3	3	P: • max. 50 mm
			3	3	P: • max. 20 mm
			3	3	P: • max. 35 mm
6	Mrazuvzdornost betonu XC4, XD2, XD3, XD4, XF1, XF3	ČSN 73 1322	3+3	3+3	P: • zůstatková pevnost po zmrazovacích cyklech min. 75 %
7	Odolnost povrchu betonu proti působení vody a CHRL po 100 cyklech XF2 XF4	ČSN 73 1326, Metoda „A“	3	3	P: • max. 1250 g.m ⁻²
			3	3	P: • max. 1000 g.m ⁻²
8	Objemová hmotnost ztvrdlého betonu	ČSN EN 12390-7	1	1	D: 2000 ± 300 kg.m ⁻³
9	Nasákavost betonu XC3, XC4, XD2, XD3, XF1, XF2, XF3, XF4	IP 0600T019	3	3	D: max. 15,0 %
10	Modul pružnosti • C20/25 XC1-XC3 • C25/30 XC1-XC4, XD1-XD2, XF1 • C30/37 XC1-XC4, XD1-XD3	ČSN ISO 1920-10	3+3	3+3	D: min. 10 GPa min. 10 GPa min. 15 GPa
11	Objemové změny	ČSN 73 1320	3+3	3+3	D: max. 3,0 %
12	Obsah chloridů	Matematický výpočet ze vstupních surovin nebo ČSN EN 480-10	-	-	D: PN GB 206 Kategorie obsahu chloridů Cl 0,2; 0,4; 1,0 dle specifikace jednotlivých tříd
13	Tepelná vodivost	ČSN EN 12667	1	1	D: max. 0,9 W/(m.K)
14	Obsah přírodních radionuklidů	Doporučení SÚJB	1	1	P: 1,0

: C – certifikace výrobku; D – dohled nad certifikovaným výrobkem

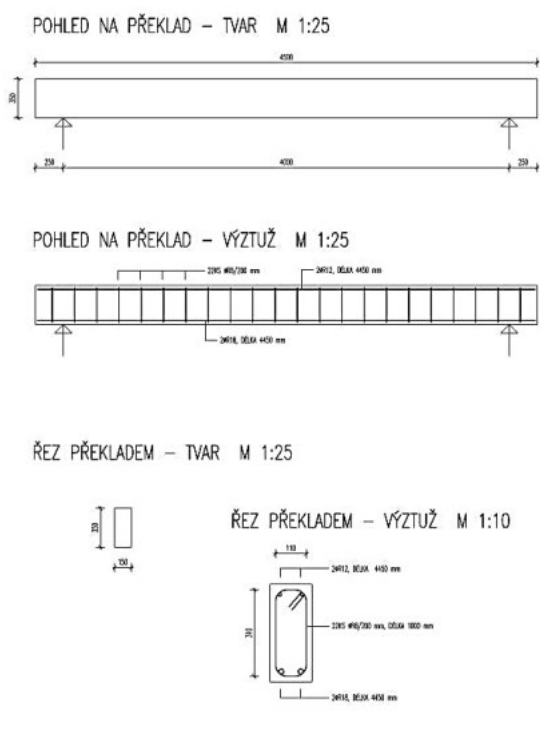
Výrobce nedeklaruje pevnost betonu v příčném tahu, objemovou hmotnost betonu v čerstvém stavu a vlastnosti označené jako „ostatní“ podle TN 01.05.03.

Obr. 3. Stavební technické osvědčení č. 060-045845 na beton s použitím stavebních recyklátů jako kameniva pevnostních tříd C12/15 a vyšší dle PN GB 206 - Vymezení sledovaných vlastností

Vzhledem k odlišnostem od betonů s přírodním kamenivem v některých sledovaných vlastnostech, zejména v modulu pružnosti, byl v prvním kroku proveden detailní návrh lineárního překladu o různých rozpnech. Statickým výpočtem byla prokázána použitelnost sledovaného materiálu do vodorovných nosných konstrukcí v řešeném objektu.

Obvodové nosné stěny jsou navrženy jako monolitické z betonu s použitím betonového recyklátu. Vhodnou alternativou k použitému materiálu je beton s použitím stavebních recyklátů s příměsí Liaporu.

Vnitřní nosná stěna je navržena z prolévaných tvárníc ztraceného bednění, schody z prefabrikovaných stupňů kotvených do nosných stěn přes ocelové úhelníky. Nášlapnou vrstvu podlahy 2.NP bude tvořit broušený líc monolitické stropní desky. Podlahy v 1.NP budou stěrkové s příměsí recyklátu.



ZATĚŽOVACÍ ÚDAJE



HMOTNOST DÍLCE 591 KG

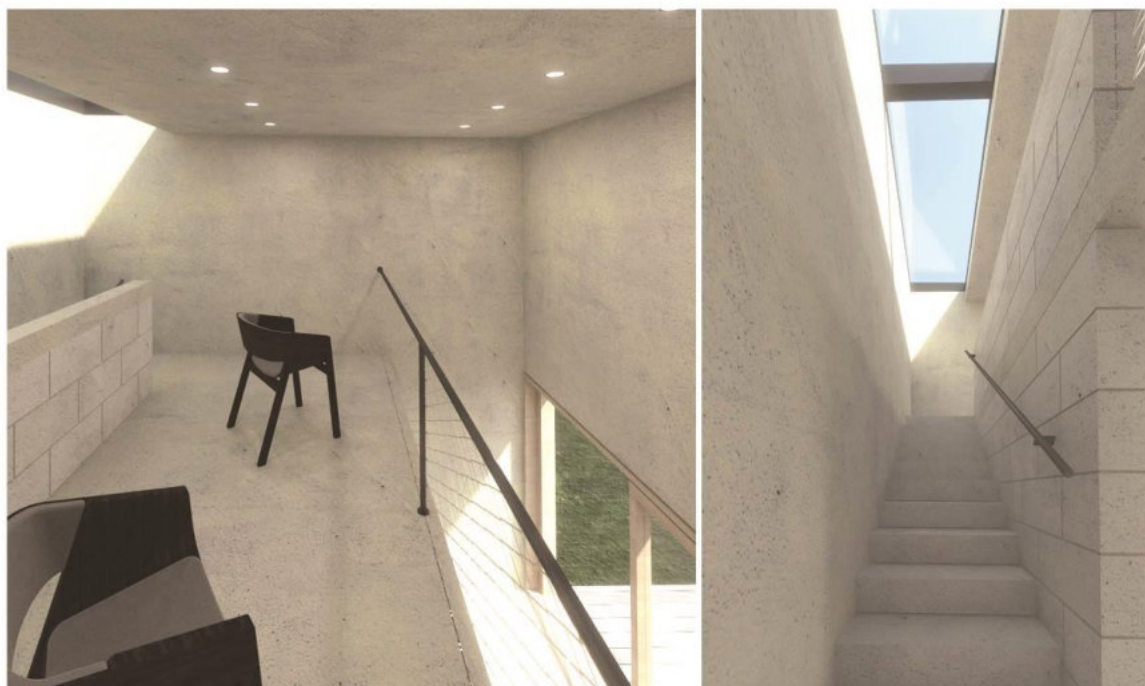
MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

BETON S PŘÍMĚSÍ BETONOVÉHO RECYKLÁTU
C30/37 – XC1 (CZ, F.1) – CI 0,4 – Dmax8 – S2
Ec=15 Gpa
VÝZTUŽ OCEL B 500B
KRYTÍ TŘÍMINKU 20 mm

Tento dokument je duševním vlastnictvím Ing. Romana Kozumplíka. Jeho použití je výhradně smluvním vztahem spojené pro tuto konkrétní zakázku. Kopírování či šíření tohoto dokumentu bez dovolení Ing. Romana Kozumplíka je přísně zakázáno.

ZODPOVĚDNÝ STAVK ING. KOZUMPLÍK	VYPRACOVAL ING. KOZUMPLÍK		ING. KOZUMPLÍK ROMAN ELŠŤSKÝ MACHOVĚ 21, BRNO TEL. +420 604 926 363 kozumplik@seznam.cz www.stitko-slabky.cz
OBJEDNATEL ERC-TECH o.s. ČELÁKOVSKÉHO ŠADY 1580/4 110 00 PRAHA	INVESTOR ERC-TECH o.s. ČELÁKOVSKÉHO ŠADY 1580/4 110 00 PRAHA		
NÁZEV AKCE PŘEKLAD NA ROZPĚTÍ 4 000 mm PRŮŘEZ 150/350 mm	FORMÁT 241	DATA 15/2018	STUPEŇ 10
VÝKRES TVARU A VÝZTUŽE	MĚŘÍTKO 1:25	ČÍSLO VÝKR. 06	D1.2 STAVEBNÍ KONSTRUKČNÍ ČÁST

Obr. 4. Návrh překlady délky 4,5m. Výkres tvaru a výztuže



Obr. 5. Vizualizace interiéru

5. Barva a textura povrchů

Zajímavým specifickým prvkem použitých materiálů je jejich barevná variabilita, ovlivněná použitým recyklátem. Při použití betonového recyklátu je barevnost jednolitá šedá, po přebroušení povrchu vynikne struktura tvořená recyklovaným kamenivem. Cihelný

recyklát dodává povrchu okrový odstín s výraznou barevnou strukturou připomínající terrazzo. S porcelánovým recyklátem je možné dosáhnout vzhledu bílého betonu. Vzhledem k homogenní struktuře materiálu se nabízí jeho použití pro vysoce dekorativní hrubé betony.

6. Závěr

Návrh budovy prokázal některé odlišnosti použitých materiálů oproti běžným betonům shodných pevnostních tříd. Ty se projeví například v množství použité výztuže, v případě některých konstrukcí i v tvaru. Při návrhu obvodových konstrukcí bude hrát určitou roli odlišný součinitel tepelné vodivosti. Sledovaný materiál nabízí i zajímavé výtvarné možnosti díky rozmanité barevnosti použitých recyklátů.

Následná realizace objektu umožní ověření deklarovaných mechanických vlastností a prozkoumání dalších specifik materiálu, zejména dobu zrání betonu, spolupůsobení s výztuží, chování při odbedňování apod.

7. Literatura

[1] www.watershedmaterials.com

PRVNÍ POZNATKY S VYUŽITÍM ODPADNÍCH ZEMIN NEBO BETONOVÉHO RECYKLÁTU S AKTIVNÍMI JEMNOZRNÝMI PLNIVY PRO NÁVRH DLAŽEBNÍCH TVAROVEK

FIRST EXPERIENCE WITH THE UTILIZATION OF WASTE SOILS OR RECYCLED CONCRETE COMBINED WITH FINE-GRADED ADMIXTURES FOR PAVING BRICKS DESIGN

Ing. Jan Valentin, Ph.D., doc. Ing. Radovan Sovják, Ph.D., Ing. Peter Gallo, Ing. Petr Konrád

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, jan.valentin@fsv.cvut.cz

Abstract

This paper summarizes fundamental experience from ongoing research project which is focused on the utilization of waste soil materials and recycled concrete for the production of paving bricks (eventually for paneled bricks in building structures). These materials from different sources are mixed with either cement or alternative binders which shall have a certain level of pozzolanic properties to be able to replace cement. One of the project objectives is to reach the highest possible substitution of cement by these alternatives. The used alternative hydraulic binders or fine-grained active fillers originate from fly ash, blast furnace slag or recycled gypsum boards. The paper in this respect presents some data about the used filling materials (soils and recycled concrete) and mainly then the results of compressive strength values of selected variants of designed and experimentally tested composite mixtures.

1. Úvod

Společnost EXPOS zahájila v roce 2018 řešení výzkumného projektu „Recyklované eko-tvarovky na bázi minerálních materiálů a plniv z vedlejších produktů“. Tento projekt se primárně zaměřuje na využití odpadních zemin a betonového recyklátu jako jediných plniv v materiálově nově rozvíjených stavebních tvarovkách, které mají být využitelné buď jako dlažební prvek (alternativa ke klasické zámkové dlažbě) nebo jako zdící prvek primárně určený pro výplňové zdivo. V prvním případě se přitom předpokládá vyšší zastoupení betonového recyklátu a menší zastoupení zeminy, ve druhém případě je naopak důraz kladen na maximální možné využití zemin – primárně bude cílem využívat více plastické zeminy s vyšším podílem jílovitých částic. Uvedené prvky mají být vyráběny buď pouze lisováním nebo vibrolisováním, jak je v průmyslové praxi již mnoho let zavedeno. V tomto ohledu nejsou rozvíjeny žádné nové technologické postupy výroby. Důraz je naopak kladen na využití zavedených způsobů výroby, které povedou k ekonomicky co nejefektivnější výrobě, a navíc bude možné nové alternativy kompozitních směsí implementovat u již zavedených výrobců, kteří na českém trhu působí.

Dalším aspektem řešeného projektu je identifikace vhodného alternativního pojiva nebo kombinace tradičních hydraulických pojiv s aktivními filery. I v případě této skutečnosti se nejedná o zásadně převratnou myšlenku, nýbrž o snahu efektivně v daných lisovaných / vibrolisovaných tvarovkách využít i jiné inertní odpady nebo minerální vedlejší produkty, které po vhodné úpravě mohou zajistit částečnou substituci cementu tak, aby v kompozitní směsi bylo umožněno minimalizovat jeho nezbytnost. Jako sledované alternativy se ověřují alternativní popílková pojiva známá

pod označením DASTIT® či SORFIX®, která jsou založená buď na jednom, nebo více typech popílku v kombinaci s dalšími přísadami a vhodným postupem aktivace. Dále je značná pozornost věnována různým typům strusek, které jsou upraveny z hlediska rozměrů částic na velikosti $<0,063$ mm. Voleny dosud byly primárně vysokopecní strusky, které díky obsahu sklovité fáze nejsou dle platných technických norem a předpisů uplatnitelné při výrobě cementu, vhodným procesem aktivace však mohou získat pojivové vlastnosti a současně je v některých alternativách lze účinně alkalicky aktivovat, což obecně představuje známou skutečnost [1]. Třetí oblast představuje využití aktivovaného mikrofileru betonového recyklátu, jak byl coby potenciálně využitelné alternativní pojivo rozvíjen v rámci již ukončeného výzkumného projektu TA04031256 „Rozvoj mechanicky aktivovaných materiálů na bázi recyklovaného betonu pro progresivní stabilizované a za studena recyklované konstrukční vrstvy“.

Samozřejmě nejedna čtenář může namítnout, že v oblasti recyklace betonu se řada věcí již v minulosti vyvinula a byla do běžné praxe zavedena nebo je využívána. Tuto skutečnost nijak nepopíráme a plně se s ní ztotožňujeme. Proto řešení projektu není založeno na snaze nalézt nová uplatnění pro betonový recyklát. Ten představuje pouze jednu z vhodných složek, kterým se při návrhu možných kompozitů věnujeme. Klíč řešeného záměru dle výše uvedeného tkví ve využití odpadní zeminy, která není nijak kontaminovaná těžkými kovy, ropnými látkami apod., jež se vhodně může s betonovým recyklátem mísit pro docílení co nejlepší zrnitostní kostry. Tato matrice je následně vyplněna pojivem, u kterých v cílovém stavu nemá podíl cementu překročit 15 %-hm. Naopak je snahou přiblížit se co nejvíce hranici 5 %-hm. a naopak v maximální možné míře podpořit užití alternativních pojiv či aktivovaných filerů.

2. Obecné podmínky pro výrobu alternativních tvarovek

Před zahájením širokého experimentálního ověřování vzorků byla provedena odborná a detailní analýza stavu v oblasti aktuální výroby nepálených cihel konkurenčních společností, aby výsledky mohly obstát z hlediska kvality a ceny na trhu. Současně bylo identifikováno, že ruční výroba, tzv. tradičních vepřovic se ekonomicky nevyplácí a o takové úvaze nemá minimálně v podmínkách České republiky smysl uvažovat, resp. pro takovou aplikaci hledat řešení. Výroba ekotvarovek by vždy měla být automatizovaná, čímž se potvrzují předpoklady formulované již v samotném návrhu projektu. Je tím i obhájen důvod, proč se řešitelský tým této problematice (vlastnímu způsobu výroby) má věnovat.

Z hlediska dlažebních tvarovek, které se nejčastěji v ČR používají, jako zámková dlažba materiál prvku tvoří zpravidla beton. Nejčastěji se dnes jedná o dvouvrstvý materiál, kdy podstatnou část tvoří méně kvalitní beton využívající v některých případech i zrnitý recyklát typu recyklovaný beton a svrchní vrstvu 0,5-2 cm tvoří kvalitní beton, který zajišťuje dobré vlastnosti odolnosti proti otěru a trvanlivosti. Současně zpravidla tato vrstva má zajistit o dostatečnou stálobarevnost v případě probarvovaných dlažebních prvků. Na českém trhu působí velké množství výrobců těchto prvků, např. BEST, Presbeton, Diton, CS-Beton, Semmelrock Stein + Design a další, přičemž v zásadě žádný z nich se neorientuje na možnost využívání odpadní zeminy jako částečného substituentu zrnitého materiálu. Využívání alternativních pojiv je také omezené.

Základní kvalitativní požadavky na dlažební prvky dlážděných krytů uvádí TP 192 Ministerstva dopravy ČR (vyhovující a stálá rovinnost povrchu, pevnost v tlaku,

odolnost proti zmrazování/rozmrazování, dostatečná trvalá drsnost a s tím souvisící odolnost proti smyku/skluzu, nasákavost a další). Další požadavky, včetně způsobu provedení zkoušek a kritérií pro tyto zkoušky stanoví ČSN EN 1338. Tato norma je základní a určující. Technické podmínky MD ČR, TP 92 toliko zpřesňují některé z požadavků nebo je dále rozšiřují.

3. Identifikace potenciálně vhodných materiálů výplně tvarovek

V rámci identifikace vhodných vstupních surovin z hlediska zeminy a betonového recyklátu bylo postupně posuzováno přibližně 15-20 lokalit s různým typem zeminy, přičemž podrobněji byly zpracovány poznatky pro 10 těchto lokalit, z nichž některé výsledky jsou prezentovány dále. S ohledem k aktuálně dostupným kubaturám se pro další směřování poloproduční výroby jeví jako nejperspektivnější jíla identifikovaný v severních Čechách a to v rámci spolupráce, kterou společnost EXPOS navázala s tamním vlastníkem materiálu s kubaturou přesahující 1 mil. m³. V rámci této spolupráce byly odbírány opakované vzorky pro posouzení odlišnosti složení a kvality specifické jílovité zeminy z Mostecka a Bílinska, které zde jsou deponovány. V rámci pražské deponie bylo možné posoudit, resp. podrobněji analyzovat odpadní zeminy (zaříděné dle katalogu zemin pod čísly 17 05 03, příp. 17 05 04), které jsou z hlediska geotechnické klasifikace rozmanitější a lze je shrnout buď jako písčito-jílovité zeminy nebo jílovité přecházející v kamenité. Obecně platí, že přítomnost jílovitých složek je z hlediska zamýšlené pozdější výroby eko-tvarovek poměrně důležitá. Z hlediska zrnitosti jsou tyto zeminy v rozmezí 0-300 mm, což samozřejmě při použití pro výrobu tvarovek vždy bude znamenat potřebné přetřídění s eventuální předcucením velkých částic. Zeminy v tomto případě pocházejí z různých pražských lokalit (stavenišť). Pro představu doplňujeme, že množství z jednotlivých lokalit se pohybuje v průměru v rozmezí 2.000 t až 20.000 t, což samo o sobě tvoří velkou zásobu přírodního materiálu – paradoxně dnes klasifikovaného jako odpad.

V souvislosti s výše uvedeným byly provedeny počáteční materiálové zkoušky (experimentální testy) s využitím tohoto materiálu pro výrobu lisovaných tvarovek. Pro jednotlivé zeminy byly prováděny zkoušky nezbytné pro jejich zařídění. V některých případech byly následně provedeny i Proctorova zkoušky pro stanovení optimální vlhkosti hutnění materiálu, jakož i zkouška poměru únosnosti CBR, která se využívá především v dopravním stavitelství. S ohledem k možnostem rozsahu prezentace, zde nejsou výsledky uvedeny.

Z hlediska využití zemin dále při experimentální výrobě kompozitních směsí pro lisované / vibrolisované tvarovky byla pozornost věnována jen některým zeminám (zejména lokalita Koloděje, deponie Motol, dálnice D1 v km 72 či dálnice D3 v lokalitě Borek). V tomto ohledu se u některých případů potvrzuje, že tento materiál díky velkému podílu velmi jemných částic není sám o sobě pro takové tvarovky vždy vhodný a bude nezbytné přistoupit k vzájemnému mísení s dalšími zrnitými materiály pro dosažení vyváženého poměru jednotlivých složek.

Současně byl testován jeden zástupce betonového recyklátu. Jednalo se o materiál, kde není znám přesný původ betonu (různé typy konstrukcí), a tudíž není možné usuzovat na vlastnosti betonu. Tento materiál byl pro účely projektu předcucen a přetříděn v množství cca 2 t v recyklačním centru společnosti DESTRO (Kladno) a to v areálu haldy Koněv. Původní frakce recyklátu byla 0-22 mm s obsahem jemných částic na úrovni 2,7-3 %. Pro tento materiál byla s využitím Proctorovy zkoušky

stanovena optimální vlhkost vhodná pro hutnění a zpracování tohoto materiálu. Taková hodnota je výchozí informativní údaj pro stanovení vhodné vlhkosti pro lisované či vibrolisované tvarovky. Optimální vlhkost zpracovávaného materiálu byla 11,6 % a to při maximální objemové hmotnosti 1.950 kg/m³. V dalším kroku byla laboratorně odsítována frakce 0/8 mm, která se použila pro návrhy kompozitních směsí vlastních tvarovek vyvíjených zde prezentovaným výzkumem.

4. První série experimentálních testů

Pro výrobu první série zkušebních těles se použila výhradně zemina Koloděje v kombinaci s cementem (ověřován vliv množství přidávaného cementu a vliv způsobu zrání zkušebních těles). Pro výrobu dalších sérií byly zvoleny dva typy odpadní zeminy (D1 – úsek 9, km 72 a deponie Motol) společně s materiálem betonového recyklátu RC 0/22 mm. V případě betonového recyklátu došlo vždy k odsítování zrn ≤ 8 mm, která byla použita pro další návrhy kompozitních směsí. V případě těchto sérií navržených směsí byl použit cement CEM II 32,5 a to s dávkováním 5 %, 10 % a 15 %. Vedle toho se uplatnily i další jemnozrné příměsi, u nichž je předpoklad potenciálu substituce cementu. Mezi tyto příměsi patří: (i) odprach vysokopeční strusky z lokality Kladno s velikostí max. částice $<0,063$ mm, (ii) stejný typ vysokopeční strusky, která byla mechanicky aktivována využitím vysokorychlostního mlýnu, (iii) aktivované popílkové pojivo Dastit® ve dvou variantách, (iv) mleté sádkartonové desky.

4.1 Příprava zkušebních těles

Na základě dřívějších laboratorních poznatků doplněných o praktické a literární zdroje bylo rozhodnuto o výrobě zkušebních těles lisováním (s možností pozdějšího vibrolisování pro zlepšení účinku hutnění). Vyrobeny byly speciální ocelové formy pro výrobu zkušebních kostek s půdorysem 80 mm x 80 mm. Příklad použité formy je na obrázku 5, včetně ocelového (později plastového) bloku, který se vkládá při lisování mezi hlavu lisu a vlastní vzorek. Forma je záměrně výrazně vyšší než vyráběný vzorek, aby horní část stěn přesně vedla lisovací blok. S použitím ručně vedené vrtačky s vřetenovým míchadlem se důkladně smíchala zemina s cementem a vodou (automatické míchačky na beton nebyly vhodné). Z očekávané objemové hmotnosti zhutněného materiálu plyne, že kostka o hraně 80 mm by měla vážit přibližně 1 kg. Připravený sypký materiál byl tedy takto navážen a nasypán do vymazané formy. Forma se vložila spolu s lisovacím blokem do lisu (obrázek 2), přičemž byly používány dva typy hydraulických lisů, a došlo k pomalému zatížení tak, aby byl na ploše 80 mm x 80 mm vyvozen tlak 1-2 MPa (v případě prvních sad navrhovaných variant kompozitních směsí eko-tvarovek). Souběžně byly posuzovány i varianty s vyšším tlakovým účinkem. Pro další sady experimentálních kompozitních směsí se využíval lisovací tlak 2 MPa nebo 4 MPa, který vedl ke kompaktnějším zkušebním tělesům s potenciálně vyššími pevnostmi. Tlak byl v roce 2019 dále rozšířen i o hodnotu 8 MPa.

V rámci prvních sad kompozitních směsí eko-tvarovek se dále ověřoval vliv prostředí na jejich následné zrání. Zde se použila výhradně zemina Koloděje a pracovalo se pouze s cementem. Pro tento účel byly připraveny dvě série kostek pro uložení v různých prostředích. První série byla uložena do uzavřené nádoby s vyšší než 95% vlhkostí po dobu 28 dní. Kostky z druhé série byly ponechány v normálním vnitřním prostředí (50 % vlhkost, 21±1 °C). Je třeba zdůraznit, že se vždy pracovalo se stejnými recepturami kompozitních směsí (stejná zemina a stejný typ cementu).



Obr. 1: Forma v lisu



Obr. 2: Čerstvě vyrobená kostka

U dalších skupin kompozitních směsí pro potenciálně dlažební tvarovky již byly použity další varianty odpadních zemin a především pak i betonový recyklát. U těchto skupiny se navíc sledoval též vliv variant substituce cementu v podobně alternativních jemnozrnných plniv nebo aktivovaných pojiv, jak jsou uvedeny výše. Souhrn uvedený v tabulkách 1 a 2 není kompletní a zahrnuje pouze varianty, pro které již byly získané též pevnostní charakteristiky (pevnost v prostém tlaku) po 28 dnech zrání. Jednotlivé varianty dosud nebyly nijak optimalizované z hlediska zvýšené odolnosti proti účinkům vody (hydrofobizace). Zahrnuto je i dílčí porovnání vlivu mletí strusky.

Tab. 1 Navržené varianty směsí s vybranými typy odpadních zemin nebo betonového recyklátu

Označení směsi	Plnivo	Voda	Cement	Mletý SDK	Struska - nemletá	Struska - mletá	DASTIT
SM1	zemina D1, úsek 9, km 72	12,5	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SM2	zemina D1, úsek 9, km 72	15,0	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SM3	zemina D1, úsek 9, km 72	13,0	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SM4	zemina D1, úsek 9, km 72	13,5	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Z1	zemina, deponie Motol	14,0	5,0	15,0	0,0	0,0	0,0
Z2	zemina, deponie Motol	15,0	5,0	0,0	20,0	0,0	0,0
Z3	zemina, deponie Motol	15,0	10,0	0,0	0,0	15,0	0,0
Z4	zemina, deponie Motol	15,0	10,0	0,0	0,0	15,0	0,0
B1a	betonový recyklát RC 0/8 mm	13,5	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B1b	betonový recyklát RC 0/8 mm	13,5	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B2	betonový recyklát RC 0/8 mm	21,5	8,5	0,0	0,0	0,0	0,0
B3a	betonový recyklát RC 0/8 mm	14,0	5,0	0,0	10,0	0,0	0,0
B3b	betonový recyklát RC 0/8 mm	14,0	5,0	0,0	10,0	0,0	0,0
B4	betonový recyklát RC 0/8 mm	13,5	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B5	betonový recyklát RC 0/8 mm	14,0	5,0	0,0	0,0	10,0	0,0
B6	betonový recyklát RC 0/8 mm	14,0	5,0	0,0	0,0	0,0	10,0
B7	betonový recyklát RC 0/8 mm	14,0	5,0	0,0	0,0	0,0	10,0
B8	betonový recyklát RC 0/8 mm	14,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B9	zemina Motol + bet. rec. 0/8	13,5	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B10	zemina Motol + bet. rec. 0/8	13,5	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B11	betonový recyklát RC 0/8 mm	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B12	betonový recyklát RC 0/8 mm	14,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0

V případě tabulky 1 dále doplňujeme:

- Směsi označené Z3 a Z4 obsahovali betonový recyklát frakce 1-2 mm, který vznikl jako zbytkový produkt při odsítování materiálu pro mletí betonového recyklátu. Byl dávkován v poměru 50:50 u varianty Z3 a v poměru 75:25 (zemina : betonový recyklát) u varianty Z4.
- Směs označená B2 je z hlediska minerální výplně (vlastního plniva) tvořena betonovým recyklátem, který byl smísen s fluidním popílkem z lokality Alpiq Kladno v poměru 70:30. Tato varianta potenciálně může být využita pro budoucí dlažební eko-tvarovky. Použití pro zdící tvarovky se nám jeví jako problematické a to s ohledem k přísným hygienickým limitům pro vnitřní prostředí.
- Varianty označené B8, B11 a B12 obsahovaly mletý mechanicky aktivovaný betonový recyklát s částicemi velikosti 0-50 µm a to v množství 10 %-hm. u B8 a 15 %-hm. u variant B11 a B12.
- Varianta B4 je kombinací betonového recyklátu a zeminy v poměru 50:50.
- U směsí B9 a B10 činil poměr zeminy : betonovému recyklátu 25:75 a 75:25.
- Dále je třeba uvést, že varianta B4 je tvořena betonovým recyklátem, který je smísen se zeminou z dálnice D1, úsek 9 a to v poměru 50:50. Tato varianta, resp. tento zvolený přístup se dosud jeví jako velmi zajímavý, jelikož betonový recyklát kompozitní směsí dává potřebnou kamennou kostru, která je vyplněna jemnozrnnými částicemi zemin (v případě dosud použitých zemin se zpravidla jedná o jílovité s vyšším obsah jemných a velmi jemných částic).

Je třeba doplnit, že u varianty SM1, B1 a B3 byla zkušební tělesa lisována při 2 a 4 MPa. Zkušební tělesa varianty SM2 byla lisována při 2 MPa. Zbývající tělesa byla hutněna výhradně tlakem 4 MPa. V případě variant kompozitních směsí uvedených v tabulce 5 byla všechna zkušební tělesa hutněna tlakem 4 MPa. V tomto případě doplňujeme, že u směsi S3 byl poměr odpadní zeminy a betonového recyklátu 50:50.

Tab. 2 Přehled navržených variant směsí s betonovým recyklátem a zeminou

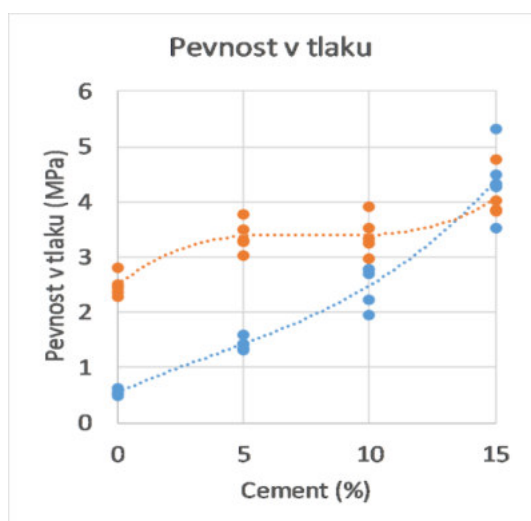
Označení směsi	Plnivo	Voda	Cement	Mletý SDK	Struska - nemletá	Struska - mletá	DASTIT
BB1	betonový recyklát RC 0/8 mm	14,0	5,0	15,0	0,0	0,0	0,0
BB2	betonový recyklát RC 0/8 mm	14,0	10,0	15,0	0,0	0,0	0,0
D1	zemina D1, úsek 9, km 72	13,5	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0
D2	zemina D1, úsek 9, km 72	13,5	5,0	0,0	0,0	0,0	10,0
S1	zemina D1, úsek 9, km 72	13,5	10,0	0,0	5,0	0,0	0,0
S2	zemina D1, úsek 9, km 72	13,5	5,0	0,0	10,0	0,0	0,0
S3	zemina D1 + bet. rec. 0/8 mm	13,5	5,0	0,0	10,0	0,0	0,0
S5	zemina D1, úsek 9, km 72	14,0	5,0	15,0	0,0	0,0	0,0
S6	zemina D1, úsek 9, km 72	14,0	10,0	15,0	0,0	0,0	0,0
S7	zemina D1, úsek 9, km 72	14,0	5,0	0,0	0,0	15,0	0,0
S8	zemina D1, úsek 9, km 72	15,0	10,0	0,0	0,0	15,0	0,0

4.2 Souhrn výsledků pevnostních charakteristik kompozitních směsí

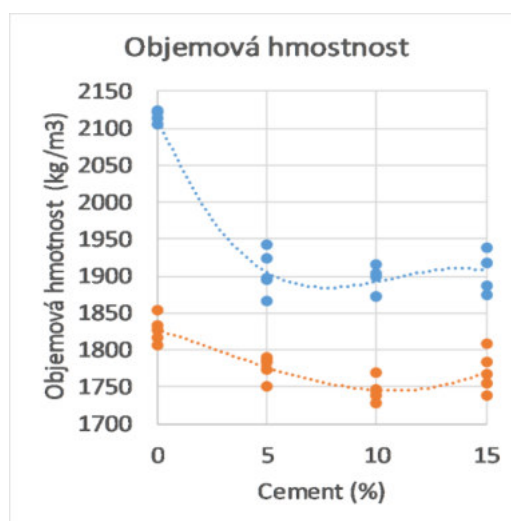
Na obrázku 3 jsou v grafu výsledky tlakových zkoušek kostek s různým zastoupením cementu pro obě první hlavní série vzorků s využitím zeminy z lokality Koloděje. Modrá barva značí vzorky umístěné 28 dní po výrobě v uzavřené nádobě

s velmi vysokou vlhkostí, oranžová značí vzorky ponechané 28 dní v běžném vnitřním prostředí. V dalším textu budou označovány jako série A, respektive B. Pro každou směs bylo vyzkoušeno 5 kostek. Na obrázku 4 jsou objemové hmotnosti kostek změřeny před tlakovou zkouškou. Tyto kostky byly vyrobeny lisováním na tlak 1 MPa.

U série A je, v porovnání s literaturou, dosaženo relativně vysokých pevností u směsi bez cementu. Nárůst pevností pro zvyšující se obsah cementu je pak téměř lineární. Série B pak vykazuje pro směs bez cementu přibližně trojnásobné pevnosti, které pak s dávkami cementu příliš nerostou. Nejvyšší rozdíly pevností jsou právě u směsi bez cementu a naopak téměř žádný rozdíl vykazuje směs s 15 % cementu. Je zde jasně patrný výrazný vliv vlhkosti na pevnost materiálu. Pro další výzkum zůstává otázkou, jestli zde hraje výraznější roli způsob ošetřování po dobu 28 dní od výroby, nebo aktuální vlhkost vzorků v okamžiku zkoušení.

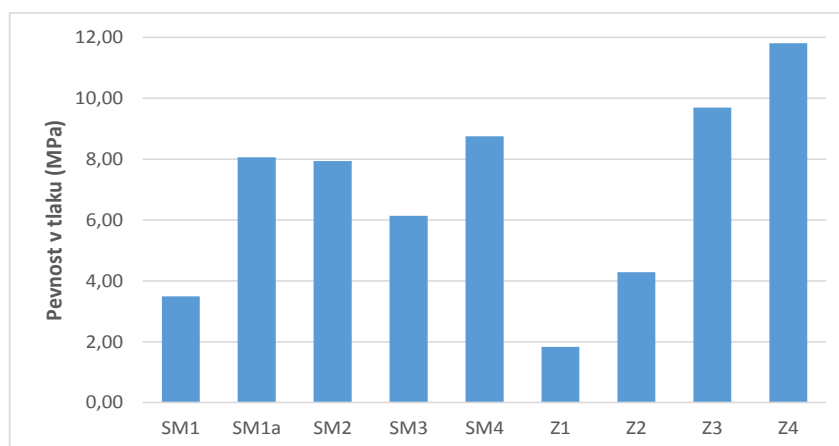


Obr. 3: Pevnost v prostém tlaku



Obr. 4: Objemová hmotnost

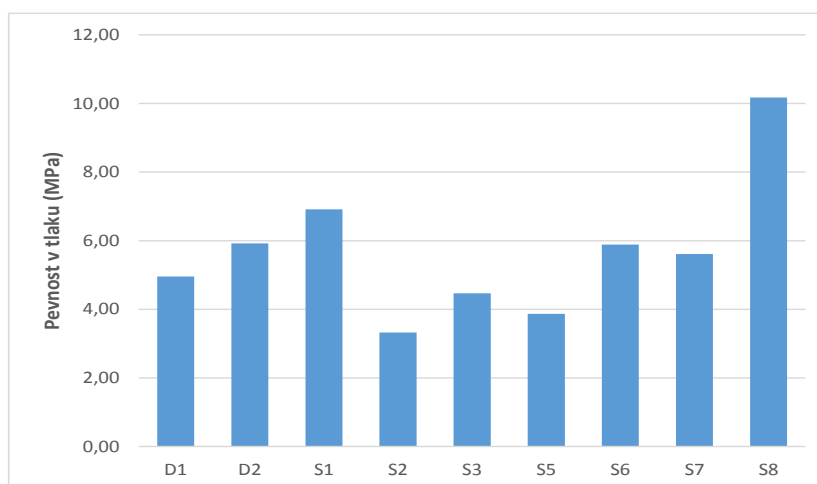
Pro soubor směsí, jejichž složení je uvedeno v tabulkách 1 a 2, jsou zjištěné pevnosti v tlaku po 28 dnech zrání uvedeny dále. Tyto série kompozitních směsí pro eko-tvarovky se od předešlých lišily nejen ve sledování využitelnosti některých náhrad za cement, ale i v použitém tlaku lisování, kdy se standardně volil vyšší tlak (viz informace výše). Výsledky jsou dále přehledně zobrazeny na obrázcích 5-7 a to pro příbuzné varianty směsí umožňující porovnání variant použitých pojiv.



Obr. 5: Pevnost v prostém tlaku variant kompozitních směsí s odpadními zeminami

Dosažené výsledky pevnosti v prostém tlaku uvedené pro dva různé typy odpadní zeminy a různé kombinace použitého pojiva uvedené na obrázku 8 ukazují:

- Je patrný vliv zvoleného tlaku lisování zkušebních těles (varianta SM1 s lisováním při tlaku 2 MPa a varianta SMA1a s lisováním při tlaku 4 MPa).
- Varianty SM2-SM4 pak ukazují nejen vliv lisovacího tlaku – zde menší – ale i vliv množství přidávané vody do směsi (zejména porovnání variant SM3 a SM4).
- Vliv množství cementu dokládá porovnání Z1 a Z2 na jedné straně a Z3 a Z4 na straně druhé. V případě prvních dvou variant je navíc patrné, že efektivnější je použití i nemleté vysokopecní strusky namísto mletého odpadního sádrokartonu. Varianta Z2 (5 % cementu) dosahuje mírně lepších pevností než varianta SM1 obsahující 15 % cement. Varianty byly lisované při různých tlacích.
- Úprava jemnozrnné zeminy jejím smísením s další minerální složkou v kombinaci se zvýšením obsahu cementu (z 5 % na 10 %) vede k výraznému nárůstu pevnosti v prostém tlaku. V kombinaci s aktivní mechanicky mletou vysokopecní struskou vede k výsledkům lepším než varianta, kde je pouze 15 % cementu.
- Uvedené pevnosti v prostém tlaku jsou více než dostatečné, pokud by se takové tvarovky použili pro výplňové zdivo. Z hlediska dlažebních tvarovek, kde se primárně posuzuje pevnost v příčném tahu, budou uvedené hodnoty pravděpodobně pořád nedostačující a to i v případě varianty Z4.

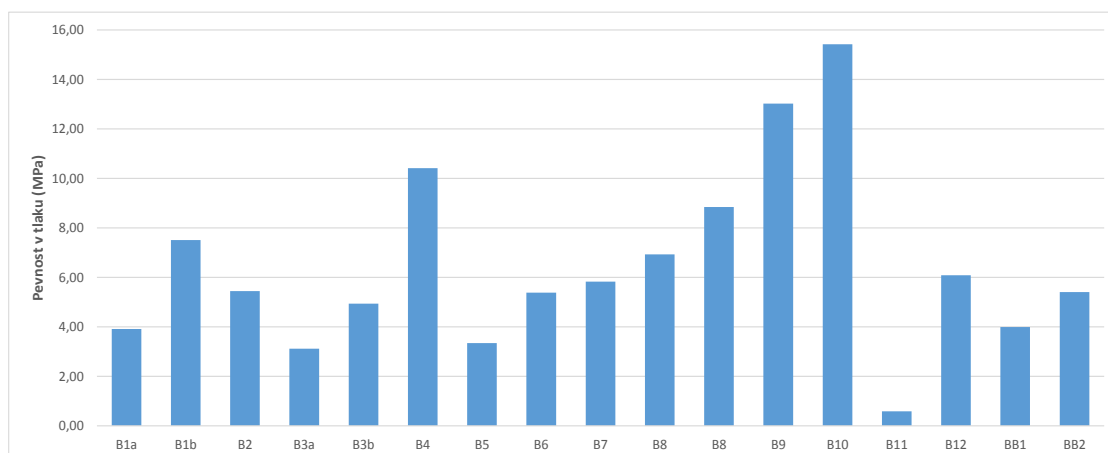


Obr. 6: Pevnost v prostém tlaku variant kompozitních směsí s odpadními zeminami

V případě výsledků pevnosti v prostém tlaku na obrázku 11, kde oproti variantám z obrázku 10 byla použita jiná zemina, jsou patrné následující poznatky:

- Použití popílkového pojiva Dastit® bez cementu vede v porovnání např. s variantami SM1a a SM4 k přibližně poloviční pevnosti v prostém tlaku (množství pojiva je identické, tedy 15 %-hm.).
- Pokud se substituují jen 2/3 použitého cementu pojivem Dastit®, vzroste oproti variantě D1 pevnost o 20 %.
- Z hlediska využití nemleté jemnozrnné vysokopecní strusky se jako efektivnější jeví nižší míra substituce (pouze 5 %-hm.). To platí i při porovnání s mletým sádrokartonem při zachování stejných poměrů mezi cementem a substituentem (porovnej S1 a S6).
- Pozitivní přínos mleté (mechanicky aktivované) vysokopecní strusky je doložen variantou S8, kdy je sice množství cementu 10 %-hm. a množství přidávané

strusky je na úrovni 15 %-hm., přesto taková kombinace umožňuje dosáhnout pevnosti přesahující 10 MPa.



Obr. 7: Pevnost v prostém tlaku variant kompozitních směsí s betonovým recyklátem 0-8 mm

Poslední soubor výsledků zkoušky pevnosti v prostém tlaku shrnuje obrázek 12. Z dosažených poznatků je v současnosti patrné, že:

- Za referenční směs lze považovat variantu B1b, kde se uplatnilo 15 %-hm. cementu a zkušební tělesa byla lisována tlakem 4 MPa. V tomto ohledu je zjevný přínos použitého tlaku lisování, kdy zdvojnásobení jeho hodnoty vede k dvojnásobné hodnotě pevnosti v prostém tlaku. Podobný výsledek dokládá i varianta B3, kde nicméně 10 % cementu bylo nahrazeno nemletou struskou.
- Z hlediska substituce cementu alternativními pojivy či aktivními jemnozrnnými filery jsou porovnatelné varianty B3, B5, B6, B7 a B8. V tomto ohledu nejlepší výsledek byl dosažitelný s mikromletým betonovým recyklátem. Zjevný je i přínos dále optimalizované varianty Dastit® v provedení „4:1“ (varianta B7). Naopak překvapující je výsledek porovnání nemleté a mleté vysokopeční strusky, kdy varianta B5 vykázala horší výsledek pevnosti v prostém tlaku.
- Ze série B1-B8 do jisté míry vyčnívá varianta B4, kde se aplikovalo 15 %-hm. cementu a navíc se betonový recyklát mísil v poměru 50:50 se zvolenou jílovitou zemínou. Tento výsledek do jisté míry potvrzuje pozitivní přínos těchto substitucí, jak byl prezentován i na obrázcích 10 a 11.
- S odstupem nejlepších výsledků dosahují varianty B9 a B10. V tomto případě se zvolila též kombinace betonového recyklátu a odpadní zeminy společně s cementem v množství 15 %-hm, přičemž jako výhodnější, poměrně logicky, vychází substituce 75:25 betonového recyklátu : odpadní zemíně. Oproti variantě B4 byl zvolen druhý typ zeminy, která zjevně má též vliv na výslednou pevnost posuzované směsi.
- Varianty B11 a B12 doplňují variantu B8, kdy se zvolil jako alternativní pojivo mikromletý mechanicky aktivovaný betonový recyklát. Je překvapující – při porovnání variant B12 a B8, že při stejném množství dávkovaného cementu má menší podíl mikromletého betonu lepší vliv na výslednou pevnost v prostém tlaku. To do jisté míry může vést k otázce, jak vhodným způsobem vzájemně mísit cement a mikromletý beton. Je totiž možné, že velmi jemné částice mikromletého betonu obalily částice cementu a tím zhoršily vlastní proces hydratace. Použití samotného mikromletého betonu se ukazuje jako nefunkční.

- Varianty označené jako BB1 a BB2 potom posuzují využitelnost mletého recyklovatelného sádkartonu. Zde lze pravděpodobně docílit dílčího snížení objemové hmotnosti v důsledku lehčí sádky, nicméně řešení vede ke kompozitu s pevností v prostém tlaku po 28 dnech na úrovni 5 MPa, což může být dostačující pro výplňové zdivo, je ale nedostatečné pro tvarovky dlažební.

Závěr

Prezentované výsledky ukazují některé y dosud získaných ucelenějších výsledků řešeného projektu. Naznačují možnosti, jak využívat odpadní zeminy pro výroby, které mohou být poměrně jednoduše a rychle využity ve stavebnictví – samozřejmě při splnění všech environmentálních a hygienických aspektů. Ty druhé jsou potom důležité, pokud by se tyto materiály měly využívat ve vnitřním prostředí. Vlastní řešení má poměrně snadné a obecně bezesporu známé řešení při kombinování těchto odpadních zrnitých materiálů s cemente. Složitější je tento přístup skloubit v případech, kdy cílem bude environmentální kompatibilitu nových výrobků sledovat i z hlediska vlastní substituce cementu. Pokud má být inovativní produkt ekonomicky zajímavý a tržně konkurenceschopný, je žádoucí hledat potenciály i u alternativních pojiv. Samozřejmě bude vždy důležité, aby tato pojiva splnila potřebná technická kritéria a bylo možné je certifikovat. V některých testovaných případech se již o takové výroby jedná, i když se zatím používají pro jiné účely. U jiných typů se testovaný aktivní jemnozrný materiál neklasifikuje jako pojivo, ale jako příměs, kterou vzniká například „umělý kámen“. Děje se tak z důvodu, že není vždy ekonomický zájem, aby zavedené trhy atakovaly nové produkty, které mohou mít srovnatelnou kvalitu i potenciál (včetně trvanlivosti výsledných kompozitů), avšak díky ekonomické nenáročnosti vstupů – například protože vznikají přeměnou vedlejších produktů či inertních odpadů – mohou být na trhu umístěny s nižší cenou. To samozřejmě vytváří konkurenci zavedeným pořádkům, které se tomu v rámci tržních možností brání. Proto ne všechny materiálové varianty, které se momentálně jeví dle získaných poznatků jako technicky velmi zajímavé, budou mít snadnou komercializaci. Z tohoto důvodu jim je v dostatečném předstihu věnována pozornost, aby se identifikovala a přesně ověřila jejich využitelnost a byl následně časový prostor pro zajištění jejich prosazení na trhu, resp. v technických předpisech.

Tento článek vznikl v rámci řešení projektu č. FV30407 „Recyklované eko-tvarovky na bázi minerálních materiálů a plniv z vedlejších produktů“ v programu MPO TRIO.

Literatura

- [1] Hanzálek, M.: Mechanické vlastnosti cementových malt s příměsí mikromleté strusky, diplomová práce, FSv ČVUT v Praze, 2017.
- [2] Lynch, A.J., Rowland, C.A.: The History of grinding, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME), 2005, 8307 Shaffer Parkway, Littleton, Colorado, USA 80127, ISBN 0–87335–238-6
- [3] Faltus, M.: Nové typy hydraulických pojiv na bázi odpadních materiálů, VUSTA, XIII. Konference - Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky, Telč, ISBN 978-80-254-4447-4, 2009
- [4] Prošek, Z., Trejbal, J.: Výzkum a ověření stavebních aplikací s vyšší přidanou hodnotou při využití vysokopecní a ocelárenské strusky, průběžná zpráva k projektu ConSlag, FSv ČVUT v Praze, 2018.

REKLAMY

SEZNAM INZERENTŮ :

výrobky, služby:

AUSTRO Baumaschinen s.r.o. , Brno
BETONSERVER, AUREA INVEST a.s., Praha
IFE Aufbereitungstechnik GmbH
KEESTRACK
MB CRUSHER
Weir Minerals Czech & Slovak, organizační složka, Brno

časopisy:

Odpadové fórum - CEMC, Praha
Odpady - Profi Press, s.r.o., Praha
Průmyslová ekologie - Průmyslová ekologie s.r.o. Praha
Lomy a těžba - V. Štěpánková, Pyšely
Magazín stavebné stroje a mechanizácia - M.I.A s.r.o. , Bratislava
Stavební technika - Vega, s.r.o., Hradec Králové
Těžební unie, Brno

PŘEKLÁDKOVÁ RÝPADLA 11 MODELŮ 18-57 tun



SILNÁ • SPOLEHLIVÁ • MULTIFUNKČNÍ

NOVINKA 2019

PŮJČOVNA
příslušenství pro
dvoucestná rýpadla



AB rent CZ s.r.o.

OFICIÁLNÍ DEALER STROJŮ PRO ČESKOU REPUBLIKU

AUSTRO Baumaschinen, s.r.o. Vídeňská 264/120b, 619 00 Brno
www.austrobaumaschinen.cz

RECYKLAČNÍ CENTRA ON-LINE

VYHLEDÁVAČ PRO LIBOVOLNÉ MÍSTO STAVBY V ČR

WWW.BETONSERVER.CZ

Nejbližší recyklační centra, dodavatele písků, štěrků, betonu, nebo dodavatele souvisejících materiálů a technologií v libovolném místě České republiky najdete na geovyhledávači WWW.BETONSERVER.CZ. Již 20 let nabízí prvotřídní služby jak pro dodavatele tak i odběratele. Pro stavební firmy představuje Betonservr nejjednodušší způsob vyhledání dodavatelů recyklátů nebo firem, u kterých lze v dané lokalitě zrecyklovat stavební odpady. Pro recyklační centra je Betonservr efektivním a levným nástrojem vlastní prezentace svých provozoven včetně mobilních linek.

Geovyhledávač je provozován jako nástroj pro zásobování staveb a další služby v konkrétním místě a je založen na principu mapového podkladu České republiky a fixaci provozoven dle geografické polohy. Zároveň přináší i obsahově velmi kvalitní provedení databázového katalogu s kompletním výčtem výrobního sortimentu, prováděných prací a služeb a možnosti způsobu dopravy.

FUNKCE SERVERU






1. **Geovyhledávač pro „průzkum nabídky“** v místě. Po zadání místa stavby nabízí kompletní seznam provozoven recyklačních center, skládek sutí, lomů a štěrkoven.
2. **Porovnání možností.** Každá prezentovaná provozovna může kontrolně zadat libovolný dotaz na vyhledání dle místa a porovnat svoji pozici s ostatními v oboru
3. **Oborový server.** Server sdružuje firmy, které si mají navzájem co nabídnout. Výrobci finálních výrobků (čerstvý beton, kamenivo, prefabrikáty) zde naleznou řadu svých potenciálních dodavatelů (suroviny, náhradní díly, technologické linky)

NEJSTE-LI NA BETONSERVERU – KONTAKTUJTE NÁS !

Na Betonservru se prezentuje **90%** aktivních firem z oboru. Aktualizace a úpravy se provádí nepřetržitě on-line, což zaručuje vždy aktuální „živé“ výstupy. S vlastními webovými prezentacemi jednotlivých firem je server přímo propojen. Není nutné znát stovky www adres či surfovat po vyhledávačích.

WWW.BETONSERVER.CZ

BETONSERVER, AUREA INVEST a.s.,
Darwinova 19, 143 00 Praha 4, info@betonservr.cz
244 403 386, 774 733 576, 602 975 202

<p>Conveyor Technology</p>  <ul style="list-style-type: none"> ▶ Pan feeders ▶ Tubular feeders ▶ Spiral elevators ▶ Vibrating cones ▶ Dosing units ▶ Heavy duty units ▶ Bin dischargers ▶ Life bin bottoms 	<p>Screening Technology</p>  <ul style="list-style-type: none"> ▶ Linear & circular vibrating screens ▶ Scalpers & Bar grizzlies ▶ Sizers ▶ Shake outs ▶ Flip-flop screens ▶ Dewatering screens ▶ Underwater screens ▶ Banana screens 	<p>Magnetic Technology</p>  <ul style="list-style-type: none"> ▶ Overband separators ▶ Magnetic drums ▶ Wet drums ▶ High intensity separators ▶ Eddy currents ▶ Magnetic pulleys ▶ Magnetic plates ▶ CSMP 	<p>Environmental Technology</p>  <ul style="list-style-type: none"> ▶ Waste screens ▶ Heavy duty waste screens ▶ Variomats ▶ Destoners ▶ Hard particle separators ▶ IFE-Sorts 	<p>System Technology</p>  <ul style="list-style-type: none"> ▶ Fe-Nf recovery systems ▶ Compost handling systems ▶ Oil sludge treatment systems
--	---	--	---	--

▶ ▶ ▶ Mining & Ore	▶ ▶ ▶ Scrap	▶ ▶ ▶ Sand & Gravel	▶ ▶ ▶ Cement & Building Material	▶ ▶ ▶ Food & Feed
▶ ▶ ▶ Recycling & Waste	▶ ▶ ▶ Foundry	▶ ▶ ▶ Iron & Steel	▶ ▶ ▶ Ash & Slag	▶ ▶ ▶ Chemicals & Plastics
▶ ▶ ▶	▶ ▶ ▶	▶ ▶ ▶	▶ ▶ ▶	▶ ▶ ▶ Coal

www.ife-bulk.com

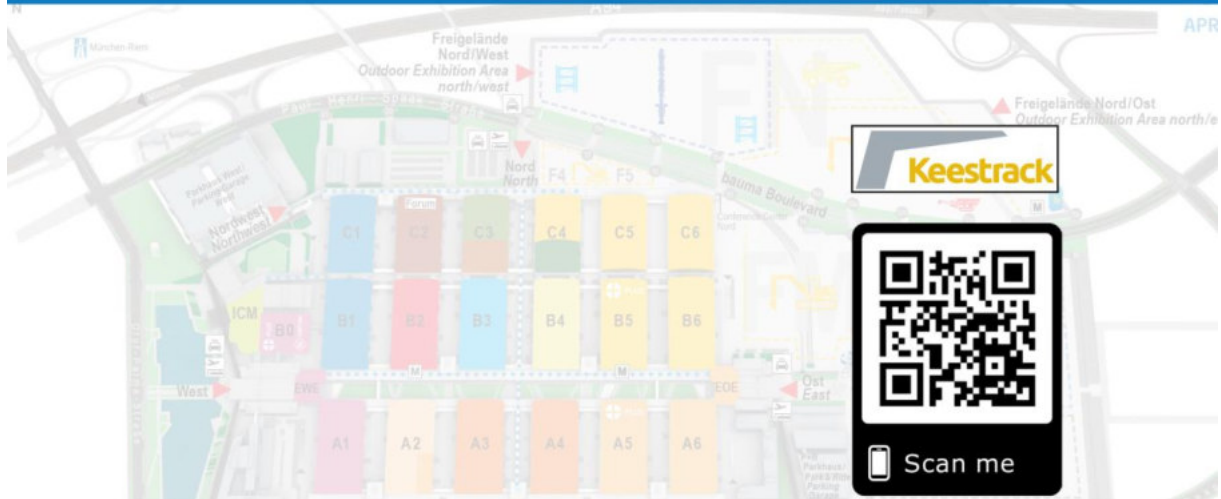
Tel.: +420 733 298 202

radek.kristinik@ife-bulk.com

bauma

FN.1017/1

DUBEN 8 - 14, 2019, Mnichov



REDUCE > REUSE > RECYCLE



JEDNO ŘEŠENÍ, MNOHO OBLASTÍ POUŽITÍ

- | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|--|---|---|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| RECYKLACE | SILNIČNÍ PRÁCE | POKLÁDKA POTRUBÍ | VÝKOPY | ÚDRŽBA ZELENÉ OBLASTI A ZEMĚLSTVÍ | PRÁCE V ZÁSTAVBĚ | DOLY A LOMY | DEMOLICE | TUNELY A UZAVŘENÁ PROSTŘEDÍ |



SLEDUJ MB PŘI PRÁCI
< NASKENUJ QR KÓD
info@mcrusher.com
WWW.MBCRUSHER.COM

MB[®]
THE CRUSHING EVOLUTION

SIZE AND SHAPE DOES MATTER.



Kuželový drtič Trio® řady TP je špičkovým zařízením, které dokáže zpracovat jakýkoliv tvar i velikost drceného materiálu. Jedinečná konstrukce zařízení umožňující měnit směr a sílu pohybu drtící hlavy umožňuje všestranné využití a vysokou produktivitu. Drtiče mohou být osazeny motorem o výkonu 200kw až 2.200 kw s možností přímého pohonu a variabilním ovládním rychlosti. Kuželový drtič Trio® řady TP je skvělou volbou zařízení poskytující maximální účinnost drcení v optimálním čase.

Více informací o drtičích a jiných zařízeních Trio® získáte na adrese www.trio.weir.

WEIR

TRIO®

Minerals
www.minerals.weir

ODPADOVÉ FÓRUM

W A S T E M A N A G E M E N T F O R U M
Odborný měsíčník pro průmyslovou a komunální ekologii

Ovzduší

Emise, kvalita, zdravotní rizika, skleníkové plyny, čištění odpadních plynů a spalin. □



Voda

Úprava a čištění, recyklace, kapalné odpady, získávání cenných látek, nakládání s kaly, inovativní postupy a technologie. □



Odpady

Oběhové hospodářství, bezpečné ekologické zatěžení, sanace ekologických zátěží, materiálové využití. □



Energie

Energetické úspory, alternativní zdroje, ukládání, technost, energetické technologie. □

ODPADOVÉ FÓRUM: měsíčník o průmyslových odpadech, ovzduší, vodě, hluku
VYDAVATEL: CEMC – České ekologické manažerské centrum | IČO: 45249741 | www.odpadoveforum.cz
REDAKCE: 28. pluku 25, 101 00 Praha 10 | tel.: (+420) 274 784 067 | e-mail: forum@cemc.cz



odborné časopisy pro města a obce

ODPADY

odborný časopis pro nakládání s odpady a životní prostředí



SPECIÁL:
PŘEDCHÁZENÍ
VZNIKU ODPADŮ

Časopisu Odpady
je čtvrt století

Monitorování
nebezpečných
zásilek



www.odpady-online.cz | www.profiress.cz

PRŮMYSLOVÁ EKOLOGIE

<http://www.prumyslovaekologie.cz/>

Časopis zabývající se působením průmyslu na životní prostředí.

- * Odpady
- * Voda
- * Ovzduší
- * Chemie
- * Energie
- * Ohlašovací povinnosti

**Aktuální témata, novinky, rady, návody, kauzy, příběhy, dopisy, diskuze a mnoho dalších
zajímavých článků!**

Kdo jsou naši čtenáři?

Recyklační průmysl, firemní environmentalisté, průmysloví ekologové, společnosti vodovodů a kanalizací, podniky povodí, původci odpadů (průmyslové a obchodní podniky, samosprávy), odběratelé energií, dodavatelé zboží a služeb pro nakládání s odpady a energetikou, investoři, vláda, ministerstva, legislativní rada vlády a v neposlední řadě i obce a jejich starostové.

PŘEDPLATNÉ ČASOPISU PRŮMYSLOVÁ EKOLOGIE

Cena: 2.490,- ročně bez DPH

(jako bonus obdržíte službu denního monitoringu průmyslové ekologie)



Máte nějaké dotazy? Kontaktujte nás!

redakce@prumyslovaekologie.cz
+420 728 786 298, +420 773 423 324

LOMY a TĚŽBA

STROJE A ZAŘÍZENÍ PRO TĚŽEBNÍ A STAVEBNÍ PRŮMYSL

DŮLNÍ A STAVEBNÍ
STROJE

NOVÉ TECHNOLOGIE

TĚŽBA KAMENE

DŮLNÍ A BEZPEČNOSTNÍ
PŘEDPISY

VELETRHY, KONFERENCE
A SEMINÁŘE

AKTUALITY ZE SVĚTA

NOVINKY A HISTORIE



Vydavatel Vladimíra Štěpánková, Pyšely
Tel.: +420 777645516
e-mail: vstep@seznam.cz

www.lomyatezba.cz



Vážení čitatelia, milí priatelia,

v tomto roku vychádza už 14. ročník dvojmesačného magazínu, ktorý opäť bude dávať širokú ponuku pre odborné články všetkých spoločností pôsobiacich v oblasti predaja techniky, mechanizácie, stavebných, cestných, dopravných a iných strojov a nových technológií.

Počas roka 2019 dochádza k niekoľkým významným zmenám v hospodárskej politike EÚ, ktorá kladie dôraz na inovácie a na zohľadňovanie energetických a environmentálnych kritérií. Priemyselná politika bude kladť osobitný dôraz na odvetvie dopravy, ktorá je na prahu novej revolúcie, keďže prudkými zmenami prechádzajú mnohé súčasne technológie: elektrifikácia, digitalizácia výrobných procesov, automatizované vozidlá, integrácia súkromnej a hromadnej dopravy.

Stavebníctvo patrí medzi oblasti s náročnou projektovou dokumentáciou komplikovanou administratívnou záťažou a obrovskými nárokmi na aktuálne a presné informácie. Integrované projektovanie pomocou počítačového modelu stavieb, známe ako BIM (Building Information Modelling), je súčasťou digitalizácie stavebného sektora na Slovensku tak, aby stavebný priemysel bol naďalej konkurencieschopný v porovnaní s vyspelým svetom.

Nové a náročnejšie potreby a nové trendy ma privedli k rozhodnutiu rozšíriť spektrum uverejňovaných informácií a ponúk. Podniknúť nové aktivity v nových oblastiach s cieľom získania ďalších spolupracovníkov a čitateľov. Naším cieľom je prepojiť informácie, ktoré požadujú zamestnávateľia a zároveň poskytnúť priestor odborovým zväzom. Cieľom je byť v užšom v kontakte s akademickou obcou, ktorá pripravuje ďalších odborníkov do pracovného procesu, dať príležitosť mladým šikovným odborníkom na prezentáciu prvých projektov.

Doba, vývoj idú rýchlo dopredu, a preto treba aktívne prepájať a združovať aktuálne témy v dotknutých oblastiach. Nevyhnutné je celoživotné vzdelávanie, aj tejto téme sa venujeme v rubrike Personálny rozvoj.

Nové rubriky a ich širšie spektrum venujú priestor na prezentáciu environmentálnych technológií vo všetkých odvetviach priemyselnej výroby aj novým trendom v doprave, v logistike a elektromobilite – ekologické palivá pre ochranu životného prostredia.

Prezentujeme zariadenia na ťažbu surovín a ich spracovanie, stroje a mechanizáciu na zakladanie stavieb a samotnú realizáciu stavieb určenú pre všetky stavebné profesie.

Chceli by sme upriamiť pozornosť na nové tematické zameranie nášho periodika a podporu v oblasti ekológie, zhodnocovania, recyklácie priemyselných a stavebných odpadov, opätovného použitia stavebných materiálov a obnoviteľných zdrojov energie.

Počas týchto rokov sme nadviazali mnohé významné spolupráce so zväzmi, s asociáciami a so spoločnosťami, ktoré sú pre nás veľmi dôležité, aby sme mohli komplexne informovať o nových trendoch a odporúčaniach či smerniciach.

Ďakujem dlhoročným obchodným partnerom, akademikom, našim autorom odborných článkov, ktorí sú spolutvorcovia, zhotovitelia magazínu STROJE – TECHNOLOGIE – EKOLÓGIA.

Miroslava Kremnická
šéfredaktorka
kremnicka@ekomagazin.sk



PREDPLATNÉ MAGAZÍNU online <https://www.ekomagazin.sk/predplatne> alebo email redakcia@ekomagazin.sk

stavební technika

Dvuměsíčník STAVEBNÍ TECHNIKA vychází od roku 2002. Jeho hlavní náplní jsou nejnovější informace z oboru strojů pro zemní práce, dopravy, manipulační techniky, strojů a zařízení pro těžbu, zpracování a recyklaci surovin.

Roční předplatné zdarma pro účastníky konference RECYCLING 2019
na e-mailu předplatne@vega.cz či telefonu +420 777 844 401.

*) Počet předplatných zdarma si redakce vyhrazuje omezit.



Časopis Stavební technika
vychází také kompletně na internetu:

www.stavebni-technika.cz

více než 2 000 článků

kalendář akcí

videoukázky strojů při práci

fotogalerie z akcí

EXPO Lesní lom 2.- 4. 6. 2020

13. Mezinárodní
demonstrační veletrh
strojů a zařízení pro
těžební průmysl,
úpravnický průmysl
a stavebnictví

Patří do Vašeho ? portfólia

- technika a prostředky pro přípravu rubaniny,
- těžební, nakládací a přepravní technika,
- stroje a zařízení pro zpracování nerostných surovin,
- stroje a zařízení pro recyklaci stavebních materiálů,
- zařízení pro ekologický provoz těžebních závodů,
- náhradní díly a doplňky,
- servisní a doprovodná činnost,
- nákladní vozy, vozy pro speciální účely,
- terénní vozy,
- projekční práce

Pak je veletrh EXPO Lesní lom, absolutně unikátní veletrh svého druhu v České republice umístěný přímo v lomu, který navštíví každé dva roky více než 10 000 návštěvníků, určen **právě Vám!**

Více informací na
www.expolesnilom.cz

