

# RECYCLING 2020

**Cirkulární ekonomika ve stavebnictví,  
recyklace a využívání  
druhotných stavebních materiálů**

**sborník přednášek 25. ročníku konference**



**záštitu nad konferencí převzali:**



Ministerstvo životního prostředí  
České republiky



**Brno 2020**



Sborník je určen účastníkům konference

## **RECYCLING 2020**

**" Cirkulární ekonomika ve stavebnictví, recyklace a využívání  
druhotných stavebních materiálů "**

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

**Sestavil :** doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

**Název :** **RECYCLING 2020** - Cirkulární ekonomika ve stavebnictví, recyklace a  
využívání druhotných stavebních materiálů

**Datum :** říjen 2020

**Počet stran:** 146

**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, Jiří Fiala</i>	4
Porovnání užitných vlastností betonu při využití různých typů recyklovaného kameniva	
<i>Miroslav Škopán</i>	9
Recyklované stavební a demoliční odpady jako jeden z pilířů cirkulární ekonomiky ve stavebnictví	
<i>David Kotrba</i>	17
Nakládání se znovuzískanými asfaltovými směsmi dle vyhlášky 130/2019 - legislativa a praxe z pohledu analytické laboratoře	
<i>Petr Kohout</i>	25
Ověřování shody laboratoří při testování klasifikace znovuzískaných asfaltových směsí dle Vyhlášky č. 130/2019 Sb.	
<i>Dan Bureš</i>	33
Hybridní pohony recyklačních strojů KEESTRACK	
<i>Jan Pešta, Tereza Pavlů</i>	37
Environmentální dopady stavebních výrobků s obsahem druhotných surovin	
<i>Tereza Pavlů, Kristina Fořtová, Jakub Řepka, Jan Otýs</i>	45
Možnosti využití recyklovaného cihelného kameniva do základových konstrukcí	
<i>Dušan Stehlík</i>	52
Užití směsných stavebních recyklátů do násypů pozemních komunikací	
<i>Vladimír Hůda</i>	56
Využití dat z dronů při řízení skládek odpadů a recyklovaných hmot	
<i>Petr Jurča</i>	62
Váhy a vážicí systémy v recyklačních linkách	
<i>Jan Vodička, Jan Valentin, Luboš Musil, František Valentin</i>	65
Alternativní chodníková konstrukce ze stmelovaných recyklovaných materiálů	
<i>Diana Mariaková, Klára Anna Mocová, Tereza Pavlů</i>	72
Vysokohodnotný beton s náhradou jemné frakce odpadní dlažbou	
<i>Karolína Keprtová, Jan Kolář</i>	77
Nejlepší dostupné techniky pro úpravu a recyklaci stavebního a demoličního odpadu	

<i>David Průša, Stanislav Šťastník, Karel Šuhajda, Josef Polášek</i> Recyklace tepelně izolačních materiálů ve stavebním odvětví	82
<i>Miriam Ledererová</i> Ovplyvňovanie fyzikálnych a mechanických vlastností cementových kompozitov na báze drevnej štiepky plnivom z odpadových materiálov	89
<i>Ing. Jan Valentin, Martin Živný, Nadia Tarifa</i> Směsi recyklace za studena v dopravním stavitelství s využitím alternativních pojiv na bázi strusky	94
<i>Jan Valentin, Radomír Rucki, Miroslav Karas, Pavla Vacková</i> Hydraulicky stmelené směsi s umělým hutným kamenivem – poznatky z reálného zkušebního úseku	105
<i>Jana Knapová, Vojtěch Kostka, Michal Stehlík</i> Spojování betonů z betonového recyklátu epoxidovými a epoxi-disperzními lepidly	114
<i>Peter Gallo, Petr Konrád, Radoslav Sovják, Šárka Pešková, Jan Valentin</i> Směsi pro vibrolisované prvky s využitím odpadní zeminy a betonového recyklátu	120
<i>Zdeněk Prošek, Václav Nežerka, Hana Sekavová, George Karra´a, Pavel Tesárek</i> Možnosti využití recyklovaného stavebního sádrokartonového odpadu - problematika hydrofobizace	125
<i>Cyril Klepek</i> Odpad zdrojem díky platformě cyrkl.com	129
Reklamy v závěru sborníku	132



## Adresář členů ARSM - právnické osoby

stav k 1.10.2020

Firma	Pověřený zástupce	Ulice, čís	VÍŘOV - Prostřední Su	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 HOLDING s. r. o.	Petra Kaldová	Koterovská 158	PLZEŇ	326 00	377 924 517	603 582 350	kaldova@azs98.cz
DESTRO, spol. s r.o.	Radek Karas	P. O. BOX 4	SYKORŮVICE 216	270 24	312 243 041	602 335 614	radek.karas@destro.cz, miroslav.karas@destro.cz
DOLEŽAL - NB s.r.o.	Ing. Dana Danišková	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
ERC-TECH a.s.	František Polák	Vinohradská 74	Praha	618 00	602 734 376	602 734 376	polak@erc-tech.eu
JANKOSTAV s.r.o.	Martin Krejčíček	Štěpaňkova 714/31	Ostrava - Kunčice	719 00	596 237 018	731 446 774	m.krejciček@jankostav.cz
KEESTRACK - CZ, s. r. o.	Walter Keiser	Pískoviště 1663/3	Šternberk	785 01	587 571 923	724 734 081	logistics@keestrack-cz.com
KEESTRACK DRTIČE+TRÍDIČE s.r.o.	Mgr. Jiří Hroch	Městský park 274	CHRUDIM IV	537 01	469 622 987	469 655 259	hartl@hartl.cz
KENVI CZ s.r.o.	Stanislav Krejčí	Jámy 12	Hradec Králové	516 00	603 531 521	603 531 521	krejci@kenvi.net
LUMOS, spol. s r.o.	Lumír Dvořák	Rudolfovská 202/88	České Budějovice	370 01	387 713 218	602 139 515	lumos@lumos.cz
MORAVOSTAV Brno, a.s. stavební společnost	Ing. Jiří Podolský	Matřkova 1899/1	BRNO	621 00	544 230 805	602 344 662	podolsky.j@moravostav.cz, peterkova@mo-ravostav.cz
RECYKLÁČ s.r.o.	Robert Beneš	Jindřická 1759/8	Plzeň - Litice	110 00	602 151 041	602 568 157	stychovatenata@seznam.cz
REMEX CZ, a.s.	David Cozl	K váze 1111/66	Praha 5 - Slivenec	154 00	388 311 304	602 470 589	david.cozl@remex.cz
RESTA s.r.o.	Ing. Lubomír Šmída	Kojetínská 3120/75	PŘEROV I - Město	750 02	581 741 811	602 551 732	lubomir.smida@resta.cz
ŠUMBOR, spol. s r.o.	Luděk Ština	Škroupova 957/4	Hradec Králové	500 02	495 275 087	602 475 644	vaseksch@volny.cz
ŽSD, a.s.	Ing. Eva Šípová	Brměnská 1050	Modřice	664 42	547 101 331	725 514 609	evastipova@zsd.as

# POROVNÁNÍ UŽITNÝCH VLASTNOSTÍ BETONU PŘI VYUŽITÍ RŮZNÝCH TYPŮ RECYKLOVANÉHO KAMENIVA

## COMPARISON OF UTILITY PROPERTIES OF CONCRETE WITH DIFFERENT TYPES OF RECYCLED AGGREGATES

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

ERC-TECH a.s., Praha, ČR; [cermak@erc-tech.eu](mailto:cermak@erc-tech.eu), [polak@erc-tech.eu](mailto:polak@erc-tech.eu), [fiala@erc-tech.eu](mailto:fiala@erc-tech.eu)

### **Abstract**

*The paper deals with the influence of the type of recycled aggregate on the useful properties of concrete with 100 % replacement of natural aggregates by recycled aggregates.*

### **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.

### **2. Současný stav poznání**

V současné době dochází k rozvoji průmyslové výroby a aplikace betonu se 100% náhradou přírodního kameniva recyklovaným. Na obrázcích níže je možné vidět aplikace betonu s recyklovaným kamenivem, které doposud proběhly reálných projektech.

Stavební a demoliční suť tvoří až 50 % všeho odpadu, který v České republice vzniká. Technologie výroby betonu s recyklovaným kamenivem nabízí využití inertních stavebních a demoličních sutí, proto je není nutné dále skládkovat.

V České republice vzniká nová technická legislativa, která rozšíří možnosti použití betonu s recyklovaným kamenivem, jelikož beton bude moci být vyroben dle platné normy, což bude s výhodou využito u veřejných zakázek, u kterých není možné použít beton vyrobený dle stavebně-technického osvědčení.

### **Případová studie Envelopa Office Center Olomouc**

- Typ betonu: transport beton
- Třída betonu: C16/20 XC1 a C25/30 XC2
- Kamenivo: směsný recyklát

- Aplikace: podkladní betony



Obr. 1: Případová studie Envelopa Office center, zdroj: SKANSKA a.s.

### Případová studie Čertův vršek

- Typ betonu: transport beton
- Třída betonu: C25/30 XC2
- Kamenivo: směsný recyklát
- Aplikace: podkladní betony, přičky



Obr. 2: Případová studie Čertův vršek, zdroj: SKANSKA a.s.

### 3. Druhy recyklovaného kameniva

Dle interních norem společnosti ERC-TECH a.s. se recyklované kamenivo dělí na recyklát cihelný, betonový a směsný. Cihelný recyklát obsahuje více jako 90 % cihel, betonový recyklát více jak 90 % betonu a směsný recyklát je směsí cihelného a betonového recyklátu, případně dalších příměsí. Příměsemi mohou být např. keramika, sanita, omítky, malta, vlákna. Na obrázku 3 je zobrazen cihelný recyklát frakcí 0/4, 4/8 a 8/16 mm, na obrázku 4 je zobrazen betonový recyklát frakcí 0/4, 4/8, 8/16 mm. V České republice existuje největší zastoupení recyklátů směsných.



Obr. 3: Cihelný recyklát, zdroj: ERC-TECH a.s.



Obr. 3: Betonový recyklát, zdroj: ERC-TECH a.s.

#### 4. Vliv druhu recyklovaného kameniva na užité vlastnosti betonu

V rámci testování užité vlastnosti betonových směsí byly navrženy 3 receptury s parametry uvedenými v tabulce 1. V prvním kroku návrhu bylo stanoveno maximální zrna kameniva a křivky zrnitosti jednotlivých receptur, dále bylo navrženo množství cementu, příměsí, vodní součinitel a množství přísady. Cílem experimentu bylo zhodnocení vlivu druhu recyklovaného kameniva, vzhledem k jejich rozdílným vlastnostem, na vlastnosti čerstvého i ztvrdlého betonu při použití technologie výroby společnosti ERC-TECH a.s. a stejné receptury.

Na vzorcích betonu bylo dále testováno:

- Obsah vzduchu v čerstvém betonu dle ČSN EN 12350-7:2009,
- objemová hmotnost čerstvého betonu dle ČSN EN 12350-6:2009,
- konzistence sednutím kužele dle ČSN EN 12350-2:2009,
- objemová hmotnost ztvrdlého betonu dle ČSN EN 12390-7:2009,
- pevnost betonu v tlaku dle ČSN EN 12390-3:2009,
- hloubka průsaku tlakovou vodou dle ČSN EN 12390-8:2009,
- stanovení mrazuvzdornosti betonu dle ČSN 73 1322:1968+Z1:2003,
- objemové změny betonu dle ČSN 73 1320:1988+Z1:2003,
- statický modul pružnosti v tlaku dle ČSN ISO 1920-10:2010.

Výsledky stanovených užité vlastností jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1: Navržené receptury a výsledky.

Receptura					
Třída betonu			C25/30 XC1	C25/30 XC1	C25/30 XC1
Označení			Betonový recyklát	Cihelný recyklát	Směsný recyklát
Číslo			1	2	3
Datum výroby			26.02.2019	28.02.2019	05.03.2019
Cement	<i>CEM I 42,5 R Mokrá</i>	<i>kg</i>	210	210	210
Příměs	<i>Popílek</i>	<i>kg</i>	100	100	100
Kamenivo		<i>kg</i>	1590	1460	1480
Obsah vzduchu ČB	<i>ČSN EN 12350-7:2009</i>	<i>%</i>	2,1	3,5	2,9
Objemová hmotnost ČB	<i>ČSN EN 12350-6:2009</i>	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	2110	1960	2080
Konzistence	<i>ČSN EN 12350-2:2009</i>	-	S4	S4	S4
W/C		-	0,5	0,5	0,5
Objemová hmotnost ZB	<i>ČSN EN 12390-7:2009</i>	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	2120	1950	2010
Pevnost v tlaku	<i>ČSN EN 12390-3:2009</i>	<i>MPa</i>			
7 dnů		<i>MPa</i>	18,8	19,8	22,5
14 dnů		<i>MPa</i>	28,4	27,8	31
28 dnů		<i>MPa</i>	35	35,3	38
56 dnů		<i>MPa</i>	37,4	37,4	38,8
Hloubka průsaku tlakovou vodou	<i>ČSN EN 12390-8:2009</i>	<i>mm</i>	22	16	18
Koeficient mrazuvzdornosti po 100 cyklech	<i>CSN 73 1322:1968+Z1:2003</i>	-	0,95	0,96	0,9
Objemové změny betonu po 56 dnech	<i>CSN 73 1320:1988+Z1:2003</i>	<i>%</i>	1,077	1,28	1,29
Statický modul pružnosti	<i>ISO 1920-10:2010</i>	<i>GPa</i>	18,6	12,9	14,8

## 5. Diskuse výsledků

Výsledky předmětného testování ukazují vliv druhu recyklovaného kameniva pouze na některé vlastnosti výsledného betonu. Ze zjištěných poznatků lze konstatovat, že druh recyklátu má vliv na obsah vzduchu v čerstvém betonu a to tak, že při použití cihelného recyklátu je obsah vzduchu vyšší než u betonového recyklátu, u směsného recyklátu se obsah vzduchu pohybuje mezi hodnotou cihelného a betonového recyklátu, což potvrzuje vliv druhu recyklátu na obsah vzduchu v čerstvém betonu. Vyšší obsah vzduchu u cihelného recyklátu je způsoben jeho vyšší pórovitostí, kdy v pórech dochází k uvíznutí většího množství vzduchu než u recyklátu betonového. Další vlastností, na kterou má vliv druh recyklovaného kameniva je objemová hmotnost čerstvého i ztvrdlého betonu. Cihelný recyklát má nižší objemovou hmotnost než recyklát betonový, dále má beton z cihelného recyklátu vyšší obsah vzduchu, proto jsou hodnoty objemové hmotnosti tohoto betonu nižší než betonu vyrobeného z betonového recyklátu. Objemová hmotnost betonu ze směsného recyklátu se nachází mezi hodnotami betonu z cihelného a betonového recyklátu, což potvrzuje správnost měření. Dále byl pozorován mírný vliv na hloubku průsaku tlakovou vodou a objemové změny, avšak tyto hodnoty nejsou výrazně odlišné. Dalším rozdílným parametrem je modul pružnosti, který je dán převážně použitým hrubým kamenivem, proto je u betonu z cihelného recyklátu nejnižší, beton ze směsného recyklátu dosahuje opět středních hodnot a beton z betonového recyklátu dosahuje hodnot nejvyšších. K výrazné změně nedošlo u pevnosti v tlaku a mrazuvzdornosti, mírné rozdíly lze považovat za chybu laboratorního měření, proto lze tyto výsledky prohlásit za totožné.

## 6. Závěr

Předmětným experimentem byl prokázán vliv druhu recyklovaného kameniva na některé užité vlastnosti betonu, zejména na objemovou hmotnost čerstvého i ztvrdlého betonu, obsah vzduchu v čerstvém betonu a statický modul pružnosti v tlaku. Naopak nebyl pozorován vliv druhu recyklovaného kameniva na pevnost v tlaku, mrazuvzdornost a zpracovatelnost čerstvého betonu.

Z předložených výsledků vyplývá, že využitím vhodné technologie výroby betonu se 100% náhradou přírodního kameniva recyklátem a dále také vhodných surovin lze dosáhnout podobných užitečných vlastností výsledného betonu bez výrazného vlivu druhu recyklovaného kameniva.

## 5. Literatura

1. ČSN EN 206+A1. *Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha : ÚNMZ, 2018.
2. ČSN EN 12350-2. *Zkoušení čerstvého betonu - část 2: Zkouška sednutím*. Praha : ÚNMZ, 2009.
3. ČSN EN 12350-7. *Zkoušení čerstvého betonu - část 7: Obsah vzduchu - tlaková metoda*. Praha : ÚNMZ, 2009.
4. ČSN EN 12350-6. *Zkoušení čerstvého betonu - část 6: Objemová hmotnost*. Praha : ÚNMZ, 2009.
5. ČSN EN 12390-7. *Zkoušení ztvrdlého betonu - část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu*. Praha : ÚNMZ, 2009.
6. ČSN EN 12390-3. *Zkoušení ztvrdlého betonu - část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*. Praha : ÚNMZ, 2009.
7. ČSN EN 12390-5. *Zkoušení ztvrdlého betonu - část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles*. Praha : ÚNMZ, 2009.
8. ČSN EN 12390-8. *Zkoušení ztvrdlého betonu - část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou*. Praha : ÚNMZ, 2009.
9. ČSN 73 1322+Z1. *Stanovení mrazuvzdornosti betonu*. Praha : ÚNMZ, 2003.
10. ČSN ISO 1920-10. *Zkoušení betonu - část 10: Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku*. Praha : ÚNMZ, 2016.
11. ČSN 73 1320+Z1. *Stanovení objemových změn betonu*. Praha : ÚNMZ, 2003.
12. FOTO: Archiv firmy SKANSKA a.s., archiv firmy ERC-TECH a.s., Praha, 2020.

# RECYKLOVANÉ STAVEBNÍ A DEMOLIČNÍ ODPADY JAKO JEDEN Z PILÍŘŮ CIRKULÁRNÍ EKONOMIKY VE STAVEBNICTVÍ

## RECYCLED CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE AS ONE OF THE HOLDERS OF THE CIRCULAR ECONOMY IN CONSTRUCTION INDUSTRY

Doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.,

Asociace recyklace stavebních materiálů v ČR (ARSM), E-mail: [arsm@arsm.cz](mailto:arsm@arsm.cz)

### Abstract

*The circular economy in construction is currently absolutely essential in the context of limited primary resources. This applies in particular to the use of inert mineral materials created during the demolition of buildings. It is proven that in the period from 2011 to 2018, the share of recyclates from C&DW in the total production of inert mineral materials more than tripled. One of the barriers to higher production of recycled aggregates is the low level of demolition of buildings, which often makes it impossible to carry out quality recycling.*

### 1. Úvod

Cirkulární ekonomika je v současné době stále častějším tématem napříč celého spektra výrobních aktivit společnosti. Je dobře známé, že mezi nejdůležitější součástí ekonomiky patří stavebnictví. Cirkulární ekonomika ve stavebnictví tak v současné době hraje přirozeně zcela nezastupitelnou roli v dalším rozvoji tohoto odvětví.

V posledních letech jsme svědky dramaticky se snižujících zásob dříve běžných surovin nezbytných pro rozvoj stavebnictví, jako jsou stavební kámen a štěrkopísky. Důvodem není ani tak nedostupnost těchto materiálů v geologických vrstvách na řadě lokalit v ČR (např. u kamene je v ČR 141 státních a 176 soukromých rezervních ložisek), ale zejména skutečnost, že v celé ČR (ale i v ostatních evropských státech) existuje velmi silný odpor obyvatelstva vůči rozvoji stávajících dobývacích prostor (tedy dotěžení stávajících zásob) a otevírání nových. Z údajů poskytovaných Českou geologickou službou lze prokázat, že v ČR nebyl např. v posledních třiceti letech otevřený žádný kamenolom [1].

Stavebnictví je přitom velmi náročné na zdroje - uvádí se, že stavební průmysl využívá asi 50% všech nerostných zdrojů v dané oblasti. Z hlediska cirkulární ekonomiky je tento stav v současnosti neudržitelný a v důsledku toho vzniká naléhavá potřeba vícenásobného opětovného použití materiálů používaných ve stavebních činnostech. To s sebou přináší přirozeně i nutnost projektovat takové stavby, které budou po skončení své životnosti takřka stoprocentně recyklovatelné.

Recyklace stavebních materiálů je jedním z pilířů cirkulární ekonomiky ve stavebnictví. Zásadně snižuje spotřebu primárních nerostných surovin. Ve stavebním průmyslu existuje samozřejmě řada oblastí, ve kterých jsou primární nerostné suroviny s ohledem na své vlastnosti zatím nenahraditelné - například v mostních konstrukcích z vysokopevnostního betonu, pojezdových vrstvách dálnic a silnic vyšší třídy apod. Ale ve většině stavebních oblastí lze přírodní suroviny úspěšně nahradit recyklovanými materiály – zejména v oblasti používání inertních minerálních materiálů jako jsou stavební kámen a štěrkopísky.



Jednou z omezujících podmínek pro širší využití recyklovaných materiálů ve stavebnictví - a zejména ve výrobě betonu - je závazná povaha a rigidita příslušných technických norem, které většinou vznikly již před řadou let, kdy nebylo zvykem a ani potřebou využívat recyklované kamenivo ze SDO. Ačkoli v normách oproti výchozímu popisovanému stavu proběhla celá řada průběžných změn orientovaných na podporu využívání recyklovaných materiálů, stále je nejen v ČR, ale i celé Evropě patrná určitá nedůvěra vůči jejich využívání v betonových směsích.

Výsledky současného výzkumu a dlouhodobých zkoušek však prokazatelně ukazují, že při výrobě betonu, který používá jako plniva 60% nebo více recyklovaných stavebních materiálů, je dosahováno stálé a relativně vysoké kvality. Při dodržení technologických výrobních postupů dosahuje tento beton často pevnosti vyšší než 45 MPa.

Proto v zájmu dalšího rozvoje cirkulární ekonomiky ve stavebnictví a tím i rozšiřování využívání recyklovaného kameniva je nezbytné považovat postupnou revizi a aktualizaci předpisů spojených s produkcí stavebních výrobků za zcela nevyhnutelnou – zejména s ohledem na prokazatelně dosahované pozitivní výsledky vědy a výzkumu.

K podpoře recyklace stavebních materiálů v evropském rámci přispívá mimo jiné sdružení několika národních asociací recyklace stavebních materiálů - EQAR (Evropské sdružení pro jakost pro recyklaci e.V.), již je ARSM také členem. Jako evropská zastřešující organizace pro recyklaci stavebních materiálů představuje EQAR národní sdružení orientované zejména na kvalitu a udržení jakosti recyklovaného kameniva ze SDO. Jedním z jeho hlavních zaměření je trvalá snaha harmonizovat požadavky na recyklované stavební materiály, které jsou produkovány z celé řady stavebních a demoličních odpadů včetně průmyslových vedlejších produktů (recyklované stavební materiály, zeminy, popeloviny atd.). EQAR sleduje evropský legislativní i ekonomický vývoj, který přímo nebo nepřímo ovlivňuje průmysl recyklace stavebních materiálů. Svůj vliv realizuje zejména tím, že uplatňuje podněty, námítky a připomínky v rané fázi a kdykoli je to možné a zajišťuje tím ochranu zájmů výrobního odvětví recyklace SDO a to zvláště z hlediska řízení kvality produktů i celého procesu.

## **2. Kvantitativní přehled nakládání se SDO v České republice**

Tato kapitola se zabývá podrobněji produkcí stavebních a demoličních odpadů a jejich recyklací v období do konce roku 2018, protože v době jeho vzniku nebyla dostupná aktuálnější data z roku 2019.

### **2.1 Produkce stavebních a demoličních odpadů**

V druhé dekádě tohoto století docházelo v ČR k relativně plynulému nárůstu produkce stavební výroby, což mělo za následek i růst množství vyprodukovaných stavebních a demoličních odpadů. Přehledně je tato situace znázorněná v tab. 1. Nárůst není v jednotlivých letech rovnoměrný a je prokazatelné, že k částečně skokovému nárůstu došlo v roce 2015. Hlavním materiálovým proudem stavebních a demoličních odpadů skupiny 17 (dle Katalogu odpadů) je výkopová zemina (skupina 1705). Je patrné, že její podíl v celkovém množství produkováných stavebních a demoličních odpadech je vcelku stabilní a činí cca 2/3 (přesněji 65 až 71%).

**Tabulka 1: Materiálové složení SDO v letech 2013 až 2018**

skupina	odpad	2013	2014	2015	2016	2017	2018
		[kt]	[kt]	[kt]	[kt]	[kt]	[kt]
<b>17 01</b>	<b>Beton, cihly, tašky a keramika</b>	<b>3 249</b>	<b>3 688</b>	<b>4 419</b>	<b>4 375</b>	<b>4 416</b>	<b>5 144</b>
17 01 01	Beton	1 292	1 422	1 985	1 755	1 845	2 121
17 01 02	Cihly	757	745	840	889	905	774
17 01 03	Tašky a keramické výrobky	12	16	14	15	15	17
17 01 07	Směsi neuvedené pod č. 17 01 06	1 172	1 473	1 580	1 716	1 651	2 232
<b>17 03</b>	<b>Asfaltové směsi, dehet a výr. z dehtu</b>	<b>510</b>	<b>573</b>	<b>896</b>	<b>778</b>	<b>757</b>	<b>907</b>
17 03 02	Asfalt. směsi neuvedené pod č. 17 03 01	508	568	891	752	752	907
<b>17 05</b>	<b>Zemina (včetně vytěžených zeminy z kont. míst), kamení a vytěžená hlušina</b>	<b>9 966</b>	<b>11 128</b>	<b>15 650</b>	<b>12 320</b>	<b>11 774</b>	<b>13 495</b>
17 05 04	Zem. a kam. neuvedené pod č. 17 05 03	9 442	10 619	13 916	11 006	10 802	13 147
17 05 06	Vyt. hlušina neuvedená pod č. 17 05 05	130	102	850	527	667	40
17 05 08	Štěrka ze železničního svršku neuvedený pod číslem 17 05 07	80	112	578	399	305	309
<b>17 06</b>	<b>Izol. a staveb. materiály s azbestem</b>	<b>61</b>	<b>66</b>	<b>62</b>	<b>54</b>	<b>40</b>	<b>43</b>
17 06 04	Izol. mat. neuv. pod č. 170601 a 03	35	40	42	36	40	43
<b>17 08</b>	<b>Stavební materiál na bázi sádry</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
17 08 02	Materiály neuvedené pod č. 17 08 01	9	11	14	17	13	14
<b>17 09</b>	<b>Jiné stavební a demoliční odpady</b>	<b>609</b>	<b>451</b>	<b>722</b>	<b>547</b>	<b>605</b>	<b>713</b>
17 09 04	Sm. SDO neuv. pod č. 170901, 02, 03	590	441	709	535	605	713
<b>C E L K E M</b>		<b>14 404</b>	<b>15 916</b>	<b>21 891</b>	<b>18 004</b>	<b>17 954</b>	<b>20 844</b>
z toho 1701 + 170302 + 170904		4 330	4 665	6 019	5 662	5 773	6 764
což z celkového SDO činí v %		30%	29%	27%	31%	32%	32%
podíl skupiny 1705 na celkové produkci SDO		69%	70%	71%	68%	66%	65%

## 2.2 Recyklace stavebních a demoličních odpadů

Období posledních několika let lze v oblasti recyklace SDO charakterizovat spíše pozitivně – alespoň co do množství vyrobeného recyklátů. Problematictější je to ale s jejich odbytem a využíváním ve stavebnictví, zejména u recyklátů z cihelného zdiva.

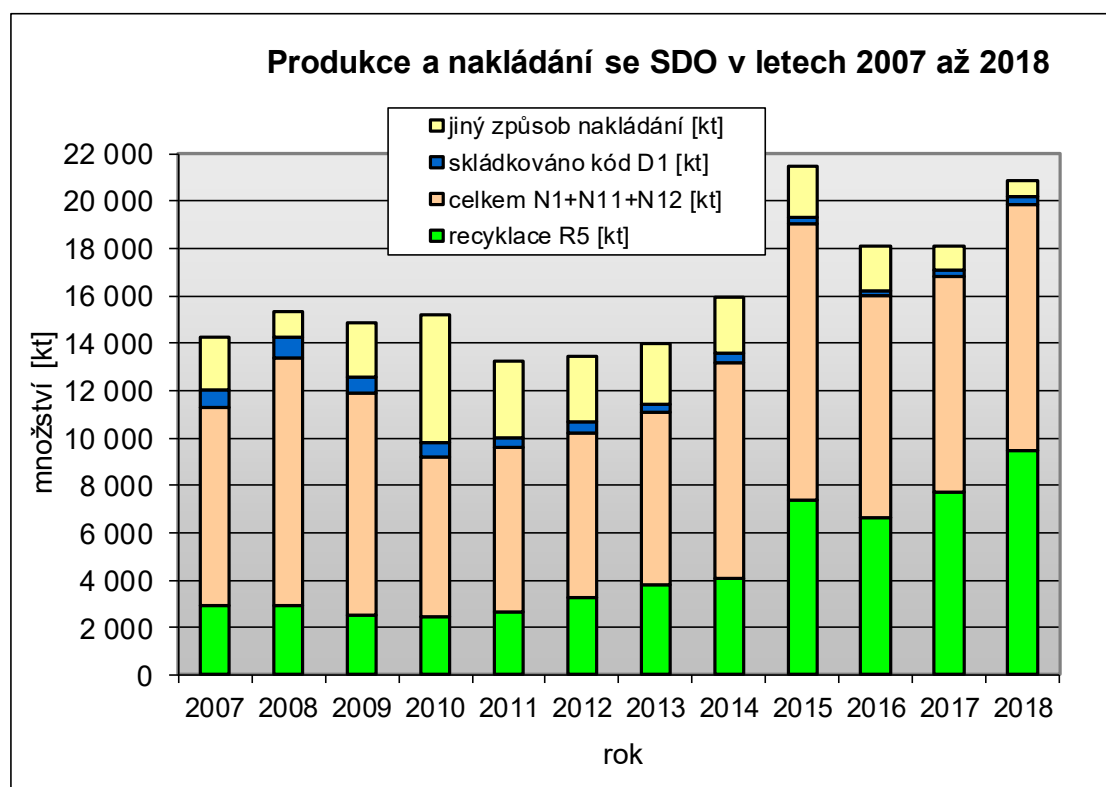
Statisticky poslední doložený rok 2018 i následný, zatím nedoložený, rok 2019 byly v rozvoji recyklace SDO relativně příznivé. Z hlediska produkce recyklátů sice nejsou za rok 2019 ještě dostupná žádná data, ale na základě předběžných informací jejich producentů lze předpokládat udržení mírně růstového trendu posledních let (viz obr. 1 a 2). Rovněž v legislativní oblasti týkající se vymezení definice konce odpadů se podařilo prosadit vydání Vyhlášky 130/2019 Sb. o kritériích, při jejichž splnění je asfaltová směs vedlejším produktem nebo přestává být odpadem, která vstoupila v platnost v polovině roku 2019. V současnosti vzniká na Ministerstvu průmyslu a obchodu ve spolupráci s Ministerstvem životního prostředí pracovní skupina, která bude mít za úkol připravit obdobnou vyhlášku pro betony a cihelné zdivo.

Na druhé straně má však řada producentů recyklovaného kameniva problém s jeho uplatněním na trhu. Jedná se zejména o recykláty z cihelného zdiva a jejich směsí.

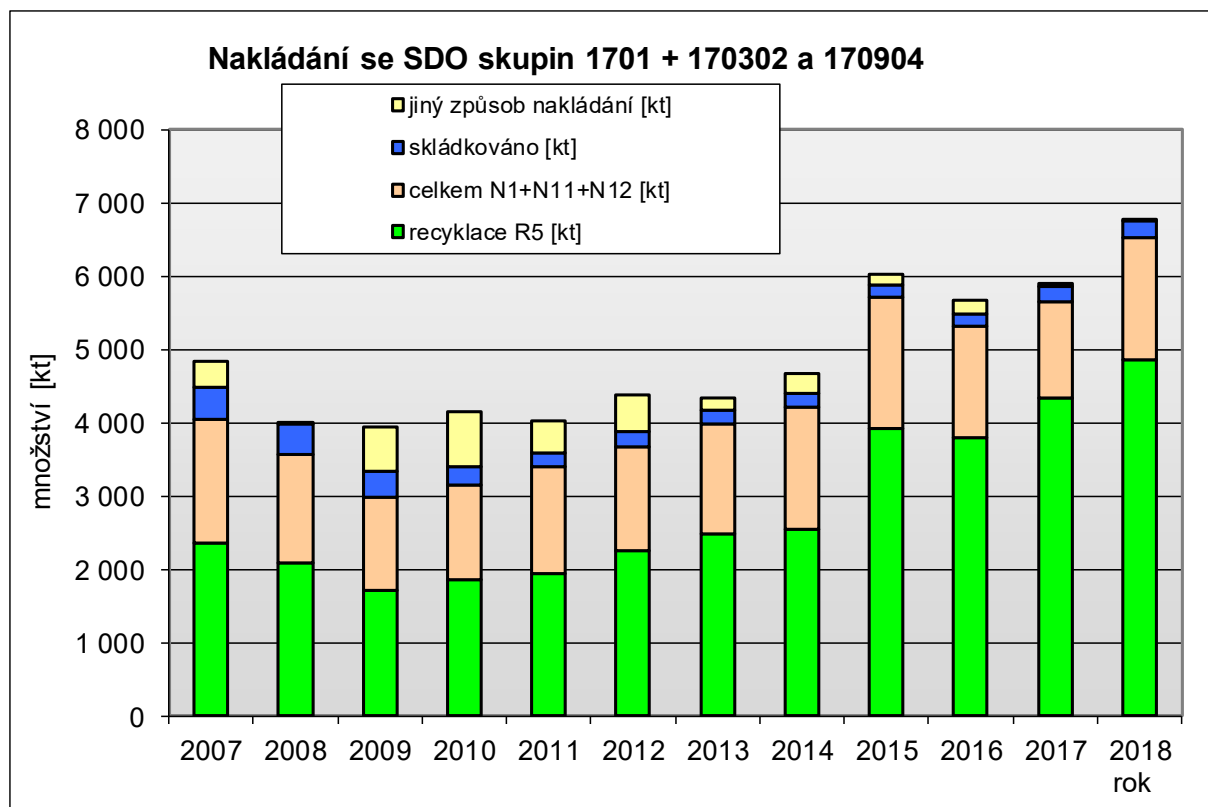
Produkce i způsoby nakládání s inertními minerálními stavebními a demoličními odpady za roky 2007 až 2018 jsou přehledně uvedeny ve sloupcových grafech na obr. 1. Toto období zahrnuje 12 let, ve kterých docházelo k postupně rostoucí podpoře využívání druhotných surovin ve všech odvětvích a tedy přirozeně i ve stavebnictví. Celkové množství produkováných stavebních a demoličních odpadů bylo v letech 2007 až 2013 ca 13,5 až 15 milionů tun ročně, v letech 2015 až 2018 se tato hodnota zvýšila o ca 30% na hodnotu 18 až 21 milionů tun ročně. Pokud se však porovná množství recyklovaných stavebních odpadů, je zřejmé, že produkce recyklátů se mezi výše definovanými dvěma časovými intervaly zvýšila cca na dvojnásobek.

Pro korektnější posouzení jsou však rozhodující složkou inertní minerální odpady, které vznikly z již jednou zpracované a využité suroviny – tedy zejména betony, cihelné zdivo a keramika vzniklé při demolicích budov. 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 32 % (viz. tab. 1, předposlední řádek). Produkce a způsoby nakládání s touto částí SDO je zřejmá z grafu na obr. 2.



**Obr. 1 Celková produkce a nakládání se SDO v letech 2007 až 2018**



**Obr. 2** *Produkce a nakládání se SDO vhodnými k recyklaci v letech 2007 až 2018*

### 3. Produkce stavebního kamene a štěrkopísků

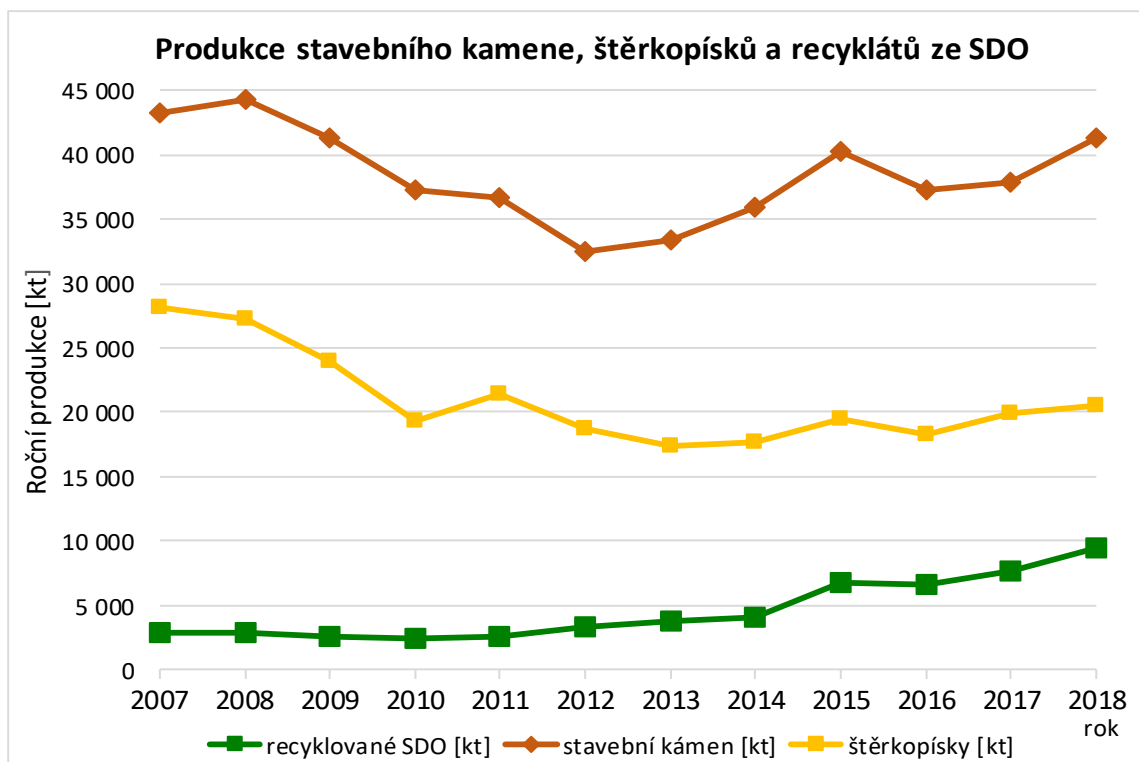
Tuto produkci sleduje Česká geologická služba a její data jsou veřejně dostupná. Produkce přírodního kameniva a štěrkopísků v období let 2007 až 2018 je přehledně znázorněna v grafu na obr. 3. Křivky produkce stavebního kamene i štěrkopísků zahrnují jak výhradní, tak i nevýhradní ložiska. Jako poslední je v grafu uvedena pro porovnání i evidovaná produkce recyklátů (recyklovaného kameniva).

Z grafů je zřejmé, že minimální hodnota produkce přírodního stavebního kamene a štěrkopísků byla v roce 2012, od té doby v souvislosti se zotavováním stavební výroby produkce stavebního kamene výrazněji rostla, produkce štěrkopísků se měnila pouze nevýznamně. V produkci recyklátů je však patrný jednoznačný nárůst.

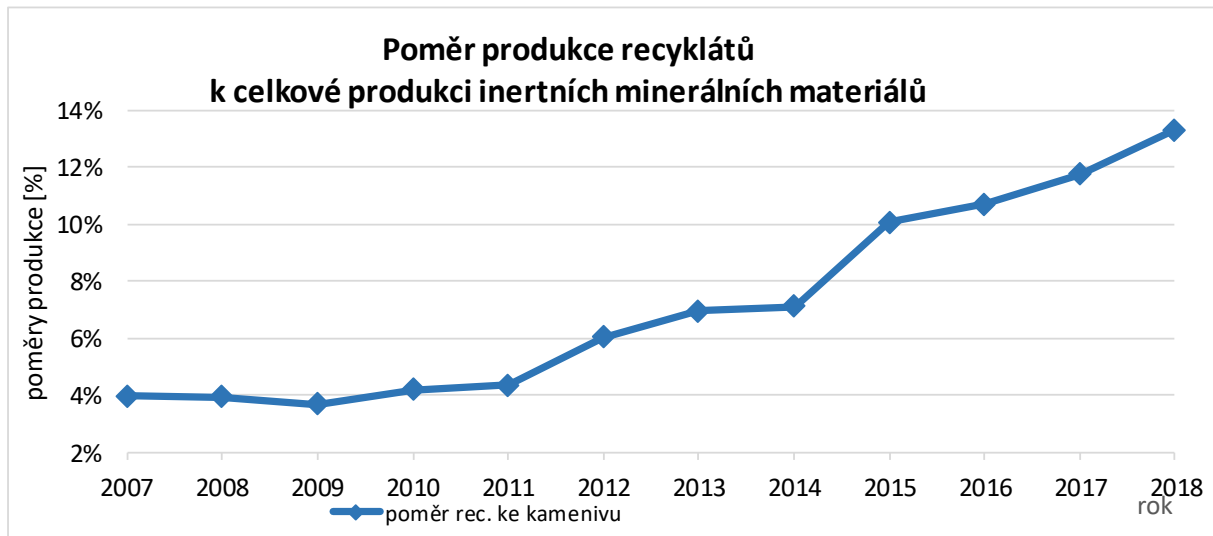
Význam recyklace stavebních a demoličních materiálů ve stavebnictví je však nejlépe patrný z poměru recyklovaného kameniva k celkovému množství produkovaného kameniva a štěrkopísků (nerostných surovin + recyklátů).

Z grafu na obr. 4 je zřejmé, že v letech 2007 až 2011 byl podíl recyklátů na trhu s inertními minerálními materiály ve stavebnictví ca 4%, od roku 2012 do roku 2018 došlo k jeho výraznému nárůstu až na ca 13,5% - což znamená nárůst o takřka 240%!

Jak bylo výše uvedeno, je použití přírodního kameniva v řadě aplikací ve stavebnictví nezastupitelné, takže také nelze očekávat, že podíl recyklovaných materiálů bude narůstat trvale a takřka neomezeně. Za velmi pozitivní by v této oblasti bylo možno označit situaci, pokud by se podíl recyklátů na trhu s inertními minerálními materiály ve stavebnictví dostal až k hodnotě ca 25 až 30%.



**Obr. 3 Produkce stavebního kamene, štěrkopísků a recyklovaných minerálních materiálů v letech 2007 až 2018**



**Obr. 4 Podíl recyklátů ze SDO k celkové produkci inertních minerálních materiálů**

#### 4. Cesty ke zvyšování podílu recyklovaných SDO na trhu minerálních materiálů ve stavebnictví

Možnosti vedoucí ke zvyšování podílu recyklovaných SDO na trhu minerálních materiálů ve stavebnictví vyplývají zejména z potřeby naplnění níže uvedených požadavků, které se jeví pro podporu trhu s recyklovanými stavebními materiály jako nezbytné.

1. Produkce kvalitních recyklátů (recyklovaného kameniva) se zaručenou jakostí.
2. Cenová konkurenceschopnost vůči přírodním nerostným surovinám.
3. Zajištění dostatečného množství recyklátů (stabilních dodávek) i pro rozsáhlejší stavební akce.
4. Opora využívání recyklovaného kameniva v normativních předpisech pro stavební materiály a hmoty

ad 1)

Výroba kvalitního recyklovaného kameniva vyžaduje splnění minimálně tří níže uvedených podmínek, z nichž první dvě se týkají vstupní suroviny do procesu recyklace.

- a) kvalitní jednodruhový inertní minerální odpad s minimálním znečištěním cizorodými materiály. Splnění tohoto požadavku je možné pouze při získání SDO v rámci **selektivní demolice**,
- b) povinnost provádění selektivních demolic by měla mít oporu v zákoně (např. Stavební zákon) nebo obdobném závazném právním předpisu (vyhláška, nařízení vlády), obdobně, jako je tomu např. v Rakousku [2], [3]
- c) kvalitní recyklační linka s předtříděním, drcením a tříděním, separací cizorodých materiálů i prachových částic. U recyklační firmy, která bude recyklované kamenivo vyrábět by měl být pečlivě propracovaný systém řízení kvality.

ad 2)

Produkce recyklovaného kameniva je zatížena řadou nákladů, které při dobývání přírodního stavebního kamene a štěrkopísků nevznikají. Jedná se zejména o nutnost pravidelného prokazování obsahu škodlivin dle vyhlášky 294/2005 Sb. o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu v platném znění.

Další způsob podpory využívání recyklovaného kameniva může vycházet i z nastavených podmínek pro jeho povinné využívání u staveb financovaných z veřejných prostředků. Např. dle informací z ARV Baustoffrecycling Schweiz (švýcarská Asociace recyklace stavebních materiálů) je ve Švýcarsku u staveb hrazených z veřejných rozpočtů nutno používat minimálně 40% betonů, vyrobených s přísadou recyklovaného kameniva.

ad 3)

Aby bylo možno recyklované kamenivo běžně využívat i při rozsáhlejších stavbách, je nutno zajistit i dostatečné množství SDO, které vstoupí do recyklačního procesu. Se stavebními a demoličními odpady skupiny (dle Katalogu odpadů) 1701 (beton, cihly, tašky a keramika) a 170302 (asfaltové směsi *bez obsahu dehtu*) je nezbytné zacházet

jako se surovinou, kterou by nebylo možné využít způsobem jiným, než opětovně ve stavebnictví (nikoliv např. na technologické zabezpečení skládek apod.).

ad 4)

Tato podmínka vychází ze zodpovědnosti projektantů staveb. Produkty s použitím recyklovaného kameniva jsou v současnosti uvedeny v Katalogu výrobků a materiálů s obsahem druhotných surovin pro použití ve stavebnictví, který v roce 2018 vydala Česká agentura standardizace (ČAS) ve spolupráci s Ministerstvem průmyslu a obchodu a Úřadem pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ). Tento katalog je k dispozici volně na webových stránkách České agentury pro standardizaci [4]. Jedná se o kvalitní a propracovaný materiál, který obsahuje celou řadu odkazů na možnost využívání recyklovaného kameniva dle různých předpisů. Není to však potřebný, jasný a platný technický předpis, o který by se mohl každý projektant snadno opřít.

## 5. Závěr

Z faktů uvedených v tomto článku je prokazatelné, že se recyklace SDO v ČR stále rozvíjí, ale má i řadu nedostatků, které ji často znevýhodňují vůči přírodnímu kamenivu a štěrkopískům.

Na přelomu let 2019 a 2020 vyvstal navíc problém, který vychází z očekávaného výrazného nedostatku přírodního kameniva v současných dobývacích prostorech. Tuto kritickou situaci lze z pohledu cirkulární ekonomiky řešit jediným způsobem – a to masivním využíváním recyklovaného kameniva a realizacemi takových staveb, které umožní po ukončení jejich životnosti plné opětovné materiálové využití v nových stavbách.

## Literatura

- [1] Chceme-li rychlodráhy, jsou potřeba lomy. Není materiál, varují geologové. Zdroj [https://www.idnes.cz/ekonomika/domaci/sterk-pisek-rozhovor-stavebni-materialy-kamen.A190626\\_143722\\_ekonomika\\_rts](https://www.idnes.cz/ekonomika/domaci/sterk-pisek-rozhovor-stavebni-materialy-kamen.A190626_143722_ekonomika_rts). [cit. 10.09.2020].
- [2] ÖNORM B 3151: 2014 Rückbau von Bauwerken als Standardabbruchmethode
- [3] Leitfaden für Bau-, Abbruch-, Erdbauunternehmen - Abfallwirtschaft und Ressourcenwirtschaft für Steiermark. Abfallwirtschaft Steiermark - Abfallwirtschaft und Ressourcenwirtschaft für Steiermark [online]. Copyright © A14 [cit. 18.09.2020]. Dostupné z: <https://www.abfallwirtschaft.steiermark.at/cms/beitrag/11607218/125393097/>
- [4] Katalog výrobků a materiálů s obsahem druhotných surovin pro použití ve stavebnictví | Česká agentura pro standardizaci. Česká agentura pro standardizaci [online]. Dostupné z: <http://www.agentura-cas.cz/recyklujeme-stavby>



# NAKLÁDÁNÍ SE ZNOVUZÍSKANÝMI ASFALTOVÝMI SMĚSMI DLE VYHLÁŠKY 130/2019 – LEGISLATIVA A PRAXE Z POHLEDU ANALYTICKÉ LABORATOŘE

## TREATMENT OF RECOVERED ASPHALT MIXTURES IN ACCORDANCE WITH REGULATION 130/2019 - LEGISLATION AND PRACTICE IN ANALYTICAL LABORATORY

Ing. David Kotrba

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

### **Abstract**

*The new Decree 130/2019 incorporates the relevant EU legislation and defines the criteria under which the recovered asphalt mixture can be considered as a by-product or ceases to be waste. The purpose of this regulation is to provide a legal framework to increase level of recycling. The paper also introduces a comprehensive solution in the field of testing of polyaromatic hydrocarbons required by this Decree and real experience with sample processing along with the results of real sample testing.*

### **Úvod**

Od 1.6.2019 vstoupila v účinnost Vyhláška č. 130/2019 Sb. o kritériích, při jejichž splnění je asfaltová směs vedlejším produktem nebo přestává být odpadem. Jedná se o předpis, jež vznikl ve spolupráci Ministerstva životního prostředí (MŽP) a Ministerstva průmyslu a obchodu (MPO). Provádí zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění zákona č. 154/2010 Sb. a zákona č. 169/2013 Sb., (dále jen „Zákon“). Současně zapracovává Směrnici Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 2008/98 ze dne 19. listopadu 2008 o odpadech a o zrušení některých směrnic a Směrnici Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/851 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 2008/98/ES o odpadech.

### **Cíle vyhlášky 130/2019**

Předmětný legislativní předpis má za cíl řešení nakládání s asfaltem mimo režim odpadů, pravidla recyklace a použití znovuzískané asfaltové směsi. Inspiraci pro záměr a znění vyhlášky lze hledat například v legislativě Rakouska, kde se podobným způsobem, řeší nakládání s materiály (odpady) vzniklými při demoličních činnostech. Do vydání vyhlášky 130/2019 spadal asfalt mezi běžné odpady dle Zákona a nakládání s ním se řídilo vyhláškou 294/2005 o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady. Případně se využití asfaltu podřizovalo Technickým podmínkám Ministerstva dopravy 150 (TP 150) ze dne 10.01.2011 s účinností od 01.02.2011 určující technologie zásady přípravy a provádění prací údržby a oprav vozovek PK, jež v některé z konstrukčních vrstev obsahují dehtová nebo asfaltodehtová pojiva. Záměrem TP 150 bylo omezení negativních dopadů na životní prostředí. Upřednostněny již v tomto předpisu byly přitom takové postupy, při kterých se materiál obsahující dehet nestává odpadem. Nicméně se ve stavební praxi vyskytují případy, kdy není možno materiál s obsahem dehtu použít přímo na místě dříve provedených konstrukčních vrstev vozovky PK (což předpis TP 150 upřednostňoval a popisoval možné technologie). Pak lze postupovat buď vytvořením podmínek pro jeho využití

vhodnou technologií recyklace na téže stavební akci, nebo je nezbytné zajistit jeho likvidaci jako nebezpečného odpadu v souladu se zákonem č. 185/2001 Sb. a souvisejícími vyhláškami MŽP.

Nová vyhláška 130/2019 komplexněji a specificky řeší nakládání s asfaltem tak, aby asfaltová směs byla vedlejším produktem nebo přestala být odpadem. Využívá přitom ustanovení § 3 odst. 9 zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech, kdy MŽP ve spolupráci s MPO může stanovit vyhláškou kritéria upřesňující, kdy movitá věc může být považována za vedlejší produkt a nikoli odpad a kdy odpad přestává být odpadem.

### **Základní ustanovení vyhlášky 130/2019**

Znovuzískaná asfaltová směs kvalitativní třídy ZAS-T1, ZAS-T2, ZAS-T3 a ZAS-T4 je vedlejším produktem nebo přestává být odpadem, pokud splňuje následující upřesňující kritéria:

- a) není znečištěna jinými látkami než těmi, které se používají k její výrobě, pokládce, nebo při běžném provozu; toto znečištění je přípustné, pokud neohrožuje možnost využití znovuzískané asfaltové směsi způsobem, který je v souladu s touto vyhláškou,
- b) použije se výhradně způsobem stanoveným pro příslušnou kvalitativní třídu,
- c) pro konkrétní způsob použití celkové množství polyaromatických uhlovodíků ve znovuzískané asfaltové směsi nepřesáhne celkové množství stanovené pro příslušnou kvalitativní třídu znovuzískané asfaltové směsi v tabulce č. 1 přílohy č. 1 k této vyhlášce,
- d) splnění požadavků na celkový obsah polyaromatických uhlovodíků je prokázáno vzorkováním a zkoušením, která byla provedena v souladu s § 7, pokud tato vyhláška nestanoví jinak, a
- e) znovuzískaná asfaltová směs s výjimkou znovuzískané asfaltové směsi využívané technologií recyklace na místě je identifikována a doprovázena údaji stanovenými v příloze č. 2.

K výše uvedenému bodu d) stanoví vyhláška možnost využít odstavce 2 v § 3, kdy v případě znovuzískané asfaltové směsi z konstrukční vrstvy, která byla prokazatelně vybudována po 1. lednu 2000, nemusí být provedeno vzorkování a zkoušení. Nicméně v takovém případě je tato znovuzískaná asfaltová směs pro účely této vyhlášky považována za znovuzískanou asfaltovou směs kvalitativní třídy ZAS-T3, což do určité míry může znesnadnit její využití. Záleží tedy vždy na konkrétních podmínkách a možnostech pro další nakládání se znovuzískanou asfaltovou směsí.

Pokud se nejedná o konstrukční vrstvy, které byly prokazatelně vybudovány po 1. lednu 2000 a neproběhne zkoušení dle požadavků vyhlášky, nastává situace, kdy je takováto asfaltová směs pro účely této vyhlášky považována za znovuzískanou asfaltovou směs kvalitativní třídy ZAS-T4, čili nejhorší možnou z pohledu obsahu polyaromatických uhlovodíků. Tento fakt následně již významněji omezuje následné využití asfaltové směsi například v obalovnách.

Pokud jednotlivé konstrukční vrstvy nejsou vybourány odděleně, zařazuje se znovuzískaná asfaltová směs do kvalitativní třídy podle vrstvy s nejvyšším obsahem polyaromatických uhlovodíků ze společně odstraňovaných vrstev. I z tohoto důvodu je

vhodné zvážit před vlastním projektováním a plánováním prací ekonomický dopad případného vybourávání více vrstev společně. Nemělo by to však být příliš složité, jelikož další ustanovení jasně definuje, že aby bylo možné považovat znovuzískanou asfaltovou směs za vedlejší produkt, musí být vzorkování a zkoušení provedeno před zahájením stavebních prací. Odběr vzorků před zahájením stavebních prací se provádí formou zkušebních vývrtů tak, aby bylo možné posoudit samostatně každou asfaltovou vrstvu, která má být v rámci stavebních prací odstraněna. Je tedy již před vlastním zahájením bouracích prací známo které vrstvy lze případně odstraňovat společně bez možného zhoršení třídy zařazení.

### **Další nakládání se znovuzískanou asfaltovou směsí**

Vyhláška konkrétně definuje, jaká jsou technologická kritéria pro použití znovuzískané asfaltové směsi jednotlivých kvalitativních tříd. Taxativně vyjmenovává povolené nakládání s asfaltovými směsmi pro jednotlivé třídy a případná omezení použití. Mezi ně patří z hlediska životního prostředí

- a) zákaz používání znovuzískané asfaltové směsi kvalitativní třídy ZAS-T2 v nestmelených aplikacích při realizaci stavebních prací v ochranném pásmu vodního zdroje
- b) zákaz zpracovávat v obalovně asfaltových směsí vstupní znovuzískané asfaltové směsi třídy ZAS-T4.

Kromě definovaných technologií využití asfaltových směsí na místě stavby je další možností předat tento materiál (pokud se jedná o znovuzískané asfaltové směsi tříd ZAS-T1 až ZAS-T3) obalovně asfaltových směsí, která je zařízením provozovaným na základě souhlasu podle § 14 odst. 1 Zákona. Povinností obalovny je následně zajistit, aby celkový obsah polyaromatických uhlovodíků ve vyrobené asfaltové směsi nepřekročil hodnotu 25 mg/kg v sušině.

### **Vzorkování**

Vzorkování se provádí v souladu s českou technickou normou ČSN EN 14899 Charakterizace odpadů - Vzorkování odpadů - Zásady přípravy programu vzorkování a jeho použití ze dne 1. července 2006. V textu vyhlášky samotné není explicitní požadavek na akreditaci vlastního vzorkování, nicméně norma ČSN EN 14899 sama předepisuje náležitosti a potřebnou dokumentaci pro provedení odběru vzorků.

Vyhláška přitom stanoví minimální počet odebraných vzorků, a to:

- a) v příloze č. 3, tabulce č. 1 ve vztahu k diagnostickým průzkumem posuzované, opravované či obnovované ploše stavby
- b) v příloze č. 3, tabulce č. 2 minimální počet odebraných vzorků z již vybourané znovuzískané asfaltové směsi

Naše dosavadní zkušenost je přitom taková, že zadavatelé zkoušení upřednostňují provádění stanovení obsahu polyaromatických uhlovodíků v jednotlivých dílčích vzorcích samostatně po jednotlivých vrstvách, ač vyhláška umožňuje reprezentovat směsným vzorkem mnohem větší množství asfaltové směsi nežli pomocí dílčích vzorků. Vychází to z relativně základní ekonomické úvahy, kdy dílčí vzorek reprezentuje až 5 000 m<sup>2</sup>, což samo o sobě při vlastním vybourávání reprezentuje stovky tun materiálu. V případě provedení směsného vzorku z dílčích vzorků narůstá

riziko, že směsný vzorek, který by případně překročil limit pro „lepší“ třídu poté může významně prodražit následné nakládání s velkým množstvím materiálu.



Obrázek 1: Provádění vývrtu

Minimální počet vzorků dle přílohy č. 3, tabulky č. 1

Typ vzorku	Vztažná plocha (m <sup>2</sup> )*	Minimální počet vzorků
Směsný vzorek**	20 000	1
Dílčí vzorek	5 000	1

\*Vztažná plocha je maximální plocha, kterou může reprezentovat jeden vzorek.

\*\*Směsný vzorek vznikne smíšením z dílčích vzorků, z tohoto vzorku je po homogenizaci a zmenšení kvartací odebrán laboratorní vzorek, přičemž dílčí vzorek může reprezentovat plochu nejvýše 5000 m<sup>2</sup>.

Minimální počet vzorků dle přílohy č. 3, tabulky č. 2

Typ vzorku	Množství (t)***	Minimální počet vzorků
Směsný vzorek****	20 000	1
Dílčí vzorek	3 000	1

\*\*\*Množství znovuzískané asfaltové směsi v tunách, které může reprezentovat jeden vzorek.

\*\*\*\*Směsný vzorek vznikne smíšením z dílčích vzorků, z tohoto vzorku je po homogenizaci a zmenšení kvartací odebrán laboratorní vzorek, přičemž dílčí vzorek může reprezentovat nejvýše 3000 t znovuzískané asfaltové směsi.

## Zkoušení

Laboratorní zkoušky se provádějí v akreditovaných laboratořích nebo akreditovaných odborných pracovištích. Toto ustanovení vyhlášky tedy jasně (oproti vzorkování) deklaruje nutnost provést stanovení polyaromatických uhlovodíků akreditovaným pracovištěm a akreditovanou metodou. Výsledky analýzy se

porovnávají s limity pro celkový obsah polyaromatických uhlovodíků uvedených v tabulce č. 1 přílohy č. 1 vyhlášky (kde „x“ je celková suma stanovených PAU definovaných vyhláškou).

Limity pro sumu polyaromatických uhlovodíků jsou vztaženy na sušinu. Upozorňujeme ale na poznámku obsaženou ve vyhlášce, která se zabývá situací, kdy se odpadní znovuzískaná asfaltová směs s obsahem benzo(a)pyrenu  $\geq 50$  mg/kg nepoužije způsobem, který je v souladu s ustanoveními této vyhlášky – potom se jedná o nebezpečný odpad zařazený dle Katalogu odpadů jako 17 03 01\* Asfaltové směsi obsahující dehet. Jak je z předchozí věty zřejmé je limit pro benzo(a)pyren a případné zařazení asfaltu jako nebezpečného odpadu vztažen na kg vzorku, nikoliv na kg sušiny.

*Celkové množství polyaromatických uhlovodíků pro kvalitativní třídy znovuzískaných asfaltových směsí ZAS-T1, ZAS-T2, ZAS-T3 a ZAS-T4..*

Celkové obsahy parametru	Jednotka	Kvalitativní třída			
		ZAS-T1	ZAS-T2	ZAS-T3	ZAS-T4
Celkové množství polyaromatických uhlovodíků (PAU)	mg/kg suš.	$\leq 12$	$12 < x \leq 25$	$25 < x \leq 300$	$> 300$

Při laboratorních zkouškách musí být dodržen rozsah stanovovaných polyaromatických uhlovodíků uvedených v tabulce č. 2 přílohy č. 1 k vyhlášce. Jedná se o standardních 16 polyaromatických uhlovodíků, jak jsou požadovány i jinými vyhláškami z oblasti životního prostředí.

Vlastní zpracování vzorků sestává z drcení na zrnitost vhodnou pro následující extrakci a homogenizace vzorku. Vzhledem k povaze asfaltového pojiva se z hlediska dosažení potřebné zrnitosti jedná o relativně náročnější zpracování v porovnání například s běžnými stavebními materiály (cihly, betony...). Extrakce probíhá do vhodného organického rozpouštědla ve dvou stupních s následným přečištěním extraktu a jeho opětovným zakoncentrováním. Vlastní stanovení se provádí GC/MS technikou s kvantifikací metodou vnějšího standardu s následnou korekcí na výtěžnost interního standardu.



*Obrázek 2: Válcové vývrty před homogenizací*

### *Rozsah stanovovaných polyaromatických uhlovodíků*

Název	
Naftalen	Benzo(a)antracen (BaA)
Acenaftylen	Chrysen
Acenaften	Benzo(b)fluoranten (BpFA)
Fluoren	Benzo(k)fluoranten
Fenanthren	Benzo(a)pyren (BaP)
Anthracen	Indeno[1,2,3-cd]pyren
Fluoranthen	Benzo(g,h,i)perylene
Pyren	Dibenzo(a,h)antracen (DBahA)

Informace a záznamy z odběru vzorků a z provedených analýz poté tvoří spolu s ostatními údaji definovanými v příloze č. 2 vyhlášky dokumentaci potřebou pro prokázání splnění kritérií, při jejichž splnění je asfaltová směs vedlejším produktem nebo přestává být odpadem.

### **Zpracování v laboratořích ALS Czech Republic, s.r.o.**

Zkoušení asfaltů na obsah PAU provádí laboratoře ALS Czech Republic již dlouhodobě, významné množství těchto testů je prováděno pro švédské klienty. Od doby platnosti vyhlášky 130/2019 se velmi zintenzivnilo testování i pro český trh, kde v minulosti se tento typ analýz prováděl v rámci TP 150. Aby byly analytické laboratoře schopny dodávat službu v kvalitě a čase, který je trhem očekáván je třeba robustní, ověřená a vysoce kapacitní metoda. Vyvinuli jsme tedy speciální balíček pro zákazníky zahrnující potřebnou homogenizaci vzorku a vlastní stanovení spolu s výsledným protokolem uvádějícím legislativní limity pro třídy ZAS-T1 až ZAS-T4. Současně jsme připraveni na požadavek poskytovat i provedení směsných vzorků z dodaných dílčích vzorků dle vyhlášky.



Vyhl. 130/2019 - znovuzískaná asfaltová směs - sušina - příloha č. 1

Matrice: ASFALT

				Název vzorku	1 obrusná vrstva	Vyhl. 130/2019 - znovuzískaná asfaltová směs - sušina - příloha č. 1			
				Identifikace vzorku	PR190123-001				
				Datum odběru/čas odběru	29.8.2019 07:40				
Parametr	Metoda	LOQ	Jednotka	Výsledek	NM	Limit (min.)	Limit (max.)	Jednotka	Vyhodnocení
<b>fyzikální parametry</b>									
sušina při 105 °C	S-DRY-GRCI	0.20	%	99.4	± 6.0%	---	---	---	---
<b>polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)</b>									
suma 16 PAU	S-PAHCAL03	3.20	mg/kg suš.	8.11	---	0	0	mg/kg suš.	Limity uvedeny pod tabulkou
acenaften	S-PAHGMS03	0.200	mg/kg	<0.200	---	---	---	---	---
acenaftýlen	S-PAHGMS03	0.200	mg/kg	<0.200	---	---	---	---	---
anthracen	S-PAHGMS03	0.200	mg/kg	0.386	± 30.0%	---	---	---	---
benzo(a)anthracen	S-PAHGMS03	0.200	mg/kg	0.578	± 30.0%	---	---	---	---
benzo(a)pyren	S-PAHGMS03	0.200	mg/kg	0.438	± 30.0%	---	---	---	---
benzo(b)fluoranthren	S-PAHGMS03	0.200	mg/kg	0.611	± 30.0%	---	---	---	---
benzo(g,h,i)perylen	S-PAHGMS03	0.200	mg/kg	0.313	± 30.0%	---	---	---	---
benzo(k)fluoranthren	S-PAHGMS03	0.200	mg/kg	0.291	± 30.0%	---	---	---	---
chrysen	S-PAHGMS03	0.200	mg/kg	0.613	± 30.0%	---	---	---	---
dibenzo(a,h)anthracen	S-PAHGMS03	0.200	mg/kg	<0.200	---	---	---	---	---
fenanthren	S-PAHGMS03	0.200	mg/kg	1.49	± 30.0%	---	---	---	---
fluoranthren	S-PAHGMS03	0.200	mg/kg	1.76	± 30.0%	---	---	---	---
fluoren	S-PAHGMS03	0.200	mg/kg	<0.200	---	---	---	---	---
indeno(1,2,3-cd)pyren	S-PAHGMS03	0.200	mg/kg	0.284	± 30.0%	---	---	---	---
naftalen	S-PAHGMS03	0.200	mg/kg	<0.200	---	---	---	---	---
pyren	S-PAHGMS03	0.200	mg/kg	1.35	± 30.0%	---	---	---	---

Pokud zákazník neuvede datum a čas odběru vzorků, laboratoř uvede jako datum odběru datum přijetí vzorku do laboratoře a je uvedeno v závorce. Pokud je čas vzorkování uveden 0:00 znamená to, že zákazník uvedl pouze datum a neuvedl čas vzorkování. Nejistota je rozšířená nejistota měření odpovídající 95% intervalu spolehlivosti s koeficientem rozšíření k = 2.

Vysvětlivky: LOQ = Mez stanovitelnosti; NM = Nejistota měření. NM nezahrnuje nejistotu vzorkování.

Poznámky k limitům

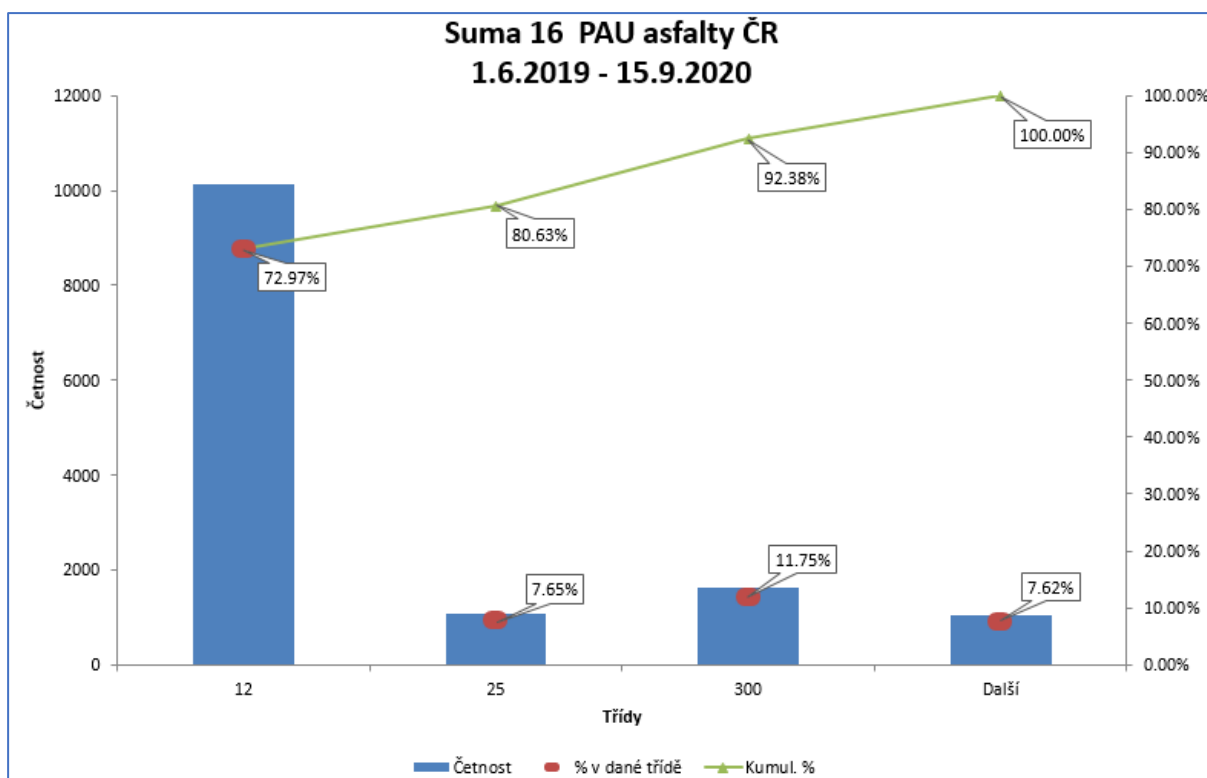
Vyhl. 130/2019 - znovuzískaná asfaltová směs - sušina - příloha č. 1	
suma 16 PAU	Limity sumy polyaromatických uhlovodíků (PAU) dle přílohy č. 1, tabulky č. 1 vyhlášky č. 130/2019 Sb.: hodnota sumy 16 PAU ≤ 12 mg/kg suš. = znovuzískaná asfaltová směs třídy ZAS-T1 12 mg/kg suš. < hodnota sumy 16 PAU ≤ 25 mg/kg suš. = znovuzískaná asfaltová směs třídy ZAS-T2 25 mg/kg suš. < hodnota sumy 16 PAU ≤ 300 mg/kg suš. = znovuzískaná asfaltová směs třídy ZAS-T3 hodnota sumy 16 PAU >300 mg/kg suš. = znovuzískaná asfaltová směs třídy ZAS-T4

Obrázek 3: Laboratorní protokol s výsledky analýz

Výsledky reálných vzorků asfaltů

Laboratoř ALS Czech Republic s.r.o. disponují za období platnosti vyhlášky 130/2019 velmi rozsáhlým souborem dat tisíců výsledků testovaných asfaltových směsí. Z jejich základního zpracování vyplývá, že zhruba čtyři pětiny vzorků splňují limit pro ZAS-T2, který tvoří hranici mezi širokými možnostmi zpracování asfaltové směsi a nutností zpracovat ji recyklací za studena na místě za podmínek dle 130/2016, popřípadě ji zpracovat v obalovně s povolením podle § 14 odst. 1 zákona. Téměř tři čtvrtiny vzorků přitom vyhoví i nepřísnějšímu limitu třídy ZAS-T1. Uvedená data jsou shrnuta na v grafickém provedení níže.





Obrázek 4: Podíl výsledků Suma 16 PAU vzorků asfaltů dle jednotlivých kategorií ZAS-T1 až ZAS-T4

## Shrnutí

Díky Vyhlášce č. 130/2019 Sb. o kritériích, při jejichž splnění je asfaltová směs vedlejším produktem nebo přestává být odpadem, získaly společnosti, v rámci jejichž činnosti tento materiál vzniká, jasný rámec pro legální ekologické a ekonomické nakládání s tímto materiálem. Současně se naplňuje záměr Zákona o odpadech, který na nejvyšší stupně hierarchie klade opětovné využívání materiálů pro jejich původní účel. Dochází také ke snížení spotřeby přírodních zdrojů.

Potřebné analytické činnosti jsou relativně standardní, nicméně provedení vývrtů, jejich rozdělení po vrstvách a vlastní homogenizace vzorků v laboratoři vyžaduje vhodné vybavení, postupy a zkušenosti. Společnost ALS Czech Republic, s.r.o. disponuje několikaletou zkušeností a kompletním balíčkem analytických služeb pro snadné naplnění požadavků vyhlášky 130/2019.

## Literatura

- [1] MŽP [2019]: Vyhláška č. 130/2019 Sb. Vyhláška o kritériích, při jejichž splnění je asfaltová směs vedlejším produktem nebo přestává být odpadem
- [2] MŽP [2005]: Vyhláška č. 294/2005 Sb. Vyhláška o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady
- [3] MD, Odbor silniční infrastruktury č. j. 26/2011-910-IPK/1 [2011]: Technické podmínky údržba a opravy vozovek pozemních komunikací obsahujících dehtová pojiva

# OVĚŘOVÁNÍ SHODY LABORATOŘÍ PŘI TESTOVÁNÍ KLASIFIKACE ZNOVUZÍSKANÝCH ASFALTOVÝCH SMĚSÍ DLE VYHLÁŠKY Č.130/2019 SB.

## VERIFICATION OF CONFORMITY OF LABORATORY TESTING FOR THE CLASSIFICATION OF RECOVERED BITUMINOUS MIXTURES ACCORDING TO DECREE NO.130 / 2019 COLL.

RNDr. Petr Kohout

Forsapi s.r.o., K Horoměřicům 1113/29, 165 00 Praha 6, [petr.kohout@forsapi.cz](mailto:petr.kohout@forsapi.cz)

### **Abstract**

*The paper summarizes the results of two interlaboratory testings aimed at verifying the conformity of the classification of recovered asphalt mixtures according to Decree No.130 / 2019 Coll. based on results of the polycyclic aromatic hydrocarbons in asphalt samples determined in crucial testing laboratories from the Czech Republic.*

### **1. Úvod**

Společnost Forsapi, s.r.o. společně se společnostmi UNIVERZA-SoP, s.r.o. zajišťují vzdělávání pracovníků laboratoří a konzultačních společností zabývajících se odběrem a vyhodnocením zkoušek vzorků odpadů. Jednotlivé vzdělávací semináře jsou věnovány vzorkování a zkoušení vybraných druhů odpadů. V průběhu seminářů jsou testovány rozličné postupy vzorkování odpadů a v návaznosti na ně i práce laboratoří s cílem postupné optimalizace a sjednocování metodiky (postupů) odběru vzorků a laboratorních prací tak, aby se zvyšovala spolehlivost informací o vlastnostech odpadů pro konečné uživatele.

Dva semináře manažerů vzorkování odpadů byly zaměřeny na problematiku zařazování znovuzískaných asfaltových směsí do kvalitativních tříd podle požadavků vyhlášky č.130/2019 Sb., kterou se stanoví kritéria, při jejichž splnění je znovuzískaná asfaltová směs vedlejším produktem nebo přestává být odpadem, a kritéria, při jejichž splnění asfaltová směs vyrobená z odpadní znovuzískané asfaltové směsi přestává být odpadem, a která je platná od 24.5.2019 a účinná od 1.6.2019. První testování se uskutečnilo v listopadu 2018 v Havlíčkově Brodě a hodnocena byla deponie vybourané ZAS s účastí 6 zkušebních laboratoří. Druhý test se uskutečnil v listopadu 2019 a hodnoceny byly vzorky asfaltů odebrané vývrty z komunikací, testování se účastnilo 7 zkušebních laboratoří.

### **2. Mezilaboratorní testování vybourané znovuzískané asfaltové směsi – listopad 2018**

Ověřit spolehlivost zařazení znovuzískané asfaltové směsi do jakostní třídy při rozsahu vzorkování stanoveném v době konání semináře ještě v navrhované vyhlášce bylo jedním z cílů praktického procvičování účastníků ve vzorkování. Odběr vzorků se uskutečnil v provozovně společnosti Chládek a Tintěra Havlíčkův Brod a.s. – Středisko recyklace.

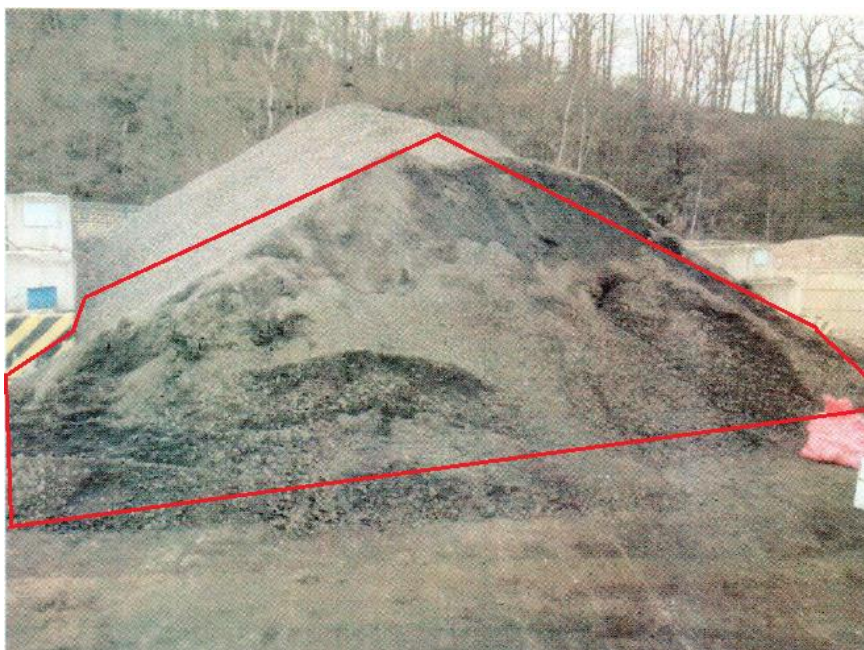
Účast na praktickém testování laboratoří přijalo 6 laboratoří. Přehled zúčastněných laboratoří je uveden v tabulce 1.

Tabulka 1: Přehled zúčastněných laboratoří (seřazených abecedně)

Název laboratoře	Adresa laboratoře
ALS Czech Republic s.r.o.	Na Harfě 336/9, 190 00 Praha 9
Aquatest a.s.	Geologická 4, 152 00 Praha 5
Bioanalytika CZ s.r.o.	Příštovy 820, 537 01 Chrudim
Laboratoř Morava s.r.o.	Oderská 456, 74213 Studénka,
Orlická laboratoř, s.r.o.	Lhotská 219, 560 13 Česká Třebová
Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě	Partyzánské náměstí č.7, 702 00 Ostrava

Pro účely testování laboratoří vybral spolupořadatel (společnost Chládek a Tintěra Havlíčkův Brod, a.s.) vhodný vzorkovaný soubor - deponii vybourané znovuzískané asfaltové směsi o přibližném objemu 300 – 350 m<sup>3</sup>. Na čelní straně deponie znovuzískané asfaltové směsi byl vymezen vzorkovaný soubor (o přibližné ploše 8 x 2 m<sup>2</sup>), ze kterého si členové jednotlivých vzorkovacích týmů laboratoří odebrali 3 dílčí vzorky (každý o přibližné hmotnosti 0,4 až 0,8 kg) a po homogenizaci a zmenšení směsného terénního vzorku připravili laboratorní vzorek označený VZOREK A. Hmotnost takto připravených vzorků se pohybovala mezi 1 až 1,5 kg.

Zástupci zúčastněných laboratoří si připravené vzorky odebrali a doručili je do svých laboratoří.



Obrázek 1: Vzorkovaný soubor je vymezen červenou linií

Na základě dotazu byly organizátorovi jednotlivými laboratořemi poskytnuty, jaké postupy jsou využívány při úpravě a přípravě analytických vzorků pro analytickou zkoušku společně s uvedením použité analytické metody (technické normy). Z porovnání získaných informací vyplynuly následující závěry:

- postupy přípravy zkušebního a analytického vzorku, použité analytické metody nemají laboratoře identické,

- velikost zkušebního vzorku: po homogenizaci vzorku je k další přípravě analytického vzorku použita 1/5 až 1/2 laboratorního vzorku.
- úprava zrnitosti analytického vzorku: nejmenší zrnitost analytického vzorku byla <0,5 mm, největší zrnitost u vzorku byla <4 mm. Nejběžnější rozpětí zrnitosti analytického vzorku se pohybuje mezi 1 až 2 mm.
- extrakční činidla: nejsou identická: část laboratoří používá *aceton*, dále směs *aceton/n-hexan* (poměry ve směsi nejsou identické), resp. směs *dichlormetan/metanol*.
- způsob extrakce: převládajícím postupem je sonifikace v ultrazvukové lázni, doby extrakce se liší.
- analytické metody: část laboratoří používá metodu GC/MS, část laboratoří metodu HPLC.

Přehled výsledků zkoušek PAU v odebraných vzorcích asfaltové směsi je uveden v tabulce 2 (VZOREK A) společně s charakteristikami naměřených dat. (*Laboratoře jsou v tabulkách označeny čísla v náhodném pořadí. Ve všech následujících tabulkách má konkrétní laboratoř stejné označení*).

Tabulka 2: Přehled výsledků stanovení PAU v sušině vzorku znovuzískané asfaltové směsi – VZOREK A

		znovuzískaná asfaltová směs - vzorek A						Průměr	minimum	maximum	RSD %
ukazatel	označení jednotka	1	2	3	4	5	6				
acenaftylen	mg/kg suš.	0,014	0,177	0,36	N	N	0,03	0,145	0,014	0,36	94,0%
naftalen	mg/kg suš.	0,056	0,112	<0,050	0,08	<1,25	0,04	0,072	0,04	0,112	39,5%
acenaften	mg/kg suš.	0,298	0,473	0,21	0,172	N	0,26	0,283	0,172	0,473	42,0%
fluoren	mg/kg suš.	0,282	0,403	0,49	0,074	N	0,21	0,292	0,074	0,49	56,2%
fenantren	mg/kg suš.	1,66	2,498	1,34	0,685	0,85	1,13	1,361	0,685	2,498	52,6%
antracen	mg/kg suš.	0,599	0,907	0,34	0,199	1,09	0,51	0,608	0,199	1,09	57,9%
fluoranten	mg/kg suš.	3,66	8,051	4,25	1,61	5,44	2,75	4,294	1,61	8,051	59,2%
pyren	mg/kg suš.	3,1	6,999	4,14	1,29	4,36	2,24	3,688	1,29	6,999	61,1%
benzo(a)antracen	mg/kg suš.	1,65	4,594	2,23	0,546	2,79	1,31	2,187	0,546	4,594	73,0%
chrysen	mg/kg suš.	1,74	4,767	1,25	0,533	2,88	1,21	2,063	0,533	4,767	81,0%
benzo(b)fluoranten	mg/kg suš.	2,22	4,724	1,83	0,666	3,82	1,78	2,507	0,666	4,724	63,9%
benzo(k)fluoranten	mg/kg suš.	0,838	2,384	0,75	0,339	1,24	0,62	1,029	0,339	2,384	78,4%
benzo(a)pyren	mg/kg suš.	1,7	5,099	1,98	0,681	2,75	1,37	2,263	0,681	5,099	77,0%
benzo(ghi)perylen	mg/kg suš.	0,97	3,987	1,61	0,313	2,32	0,79	1,665	0,313	3,987	87,1%
dibenzo(ah)antracen	mg/kg suš.	1,14	1,256	0,067	<0,1	N	0,21	0,668	0,067	1,256	70,2%
indeno(1,2,3-cd)pyren	mg/kg suš.	0,284	3,086	1,17	0,336	2,06	0,92	1,309	0,284	3,086	84,4%
suma 16 PAU	mg/kg suš.	20,2	51,32	22	7,52	29,60	15,4	24,34	7,524	51,32	71,0%

Vyhláška č.130/2019 Sb. vymezuje v příloze č.1, v tabulce 1 čtyři jakostní třídy podle obsahu sumy 16 polycyklických aromatických uhlovodíků. Rozdělení do jednotlivých tříd je v souladu s vyhláškou uvedeno v tabulce 3.

Tabulka 3: Celkové množství polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU) pro jakostní třídy znovuzískaných asfaltových směsí ZAS-T1, ZAS-T2, ZAS-T3 a ZAS-T4

Celkové obsahy parametru	Jednotka	Jakostní třída			
		ZAS-T1	ZAS-T2	ZAS-T3	ZAS-T4
Celkové množství polyaromatických uhlovodíků (PAU)	mg/kg suš.	≤12	12 < x ≤25	25 < x ≤300	>300

Na základě naměřených výsledků při mezilaboratorním porovnání je možné vzorkovaný soubor zařadit do následujících jakostních tříd – viz. tabulka 4.



Tabulka 4 : Zařazení vzorkovaného souboru znovuzískané asfaltové směsi do jakostních tříd

označení vzorku	ukazatel	označení laboratoře	1	2	3	4	5	6
		jednotka						
VZOREK A	Σ 16 PAU	mg/kg suš.	20,2	51,32	22	7,52	29,60	15,4
Jakostní třída znovuzískané asfaltové směsi			ZAS-T2	ZAS-T3	ZAS-T2	ZAS-T1	ZAS-T3	ZAS-T2

Vysvětlivky: **červeně zvýrazněné hodnoty** při zahrnutí nejistoty měření výsledek překračuje/nepřekračuje do jiné jakostní třídy

Získané výsledky zkoušení vzorkovaného souboru umožňují zařadit celý vzorkovaný objekt až do tří jakostních tříd – ZAS-T1, ZAS-T2 a ZAS-T3 za podmínek definovaných vyhláškou č.130/2019 Sb..

### 3. Mezilaboratorní testování asfaltů odebraných z komunikace – listopad 2019

Druhá mezilaboratorní porovnávací zkouška stanovení polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU) v asfaltech sledovala samostatné dílčí cíle:

- ověření shody analytických metod při zkoušení znovuzískaných asfaltových směsí (ZAS),
- ověření shody úpravy vzorku ZAS a přípravy analytického vzorku,
- porovnání odlišných postupů odběru vzorku ZAS a jejich vlivu na výsledky zkoušek.

Účast v mezilaboratorním testování laboratoří přijalo 7 laboratoří, které standardně poskytují akreditované zkoušky pro účely dotčené vyhlášky v České republice (tabulka 5).

Tabulka 5: Přehled zúčastněných laboratoří (seřazených abecedně)

Název laboratoře	Adresa laboratoře
ALS Czech Republic s.r.o.	Na Harfě 336/9, 190 00 Praha 9
Aquatest a.s.	Geologická 4, 152 00 Praha 5
Bioanalytika CZ s.r.o.	Píšťovy 820, 537 01 Chrudim
Ekologické laboratoře EMPLA, EMPLA AG spol. s r.o.	Za Škodovkou 305, 503 11 Hradec Králové
GEOtest, a.s., Hydrochemické laboratoře	Šmahova 1244/112, 627 00 Brno
Laboratoř Morava s.r.o.	Oderská 456, 74213 Studénka,
Monitoring s.r.o.	Novákových 439/6, 180 00 Praha 8

Všechny laboratoře se účastnily všech úloh mezilaboratorního porovnání, tzn., že realizovaly kroky pro splnění všech 3 cílů mezilaboratorního porovnání. Ve srovnání s běžnou praxí při provádění analytických zkoušek pro komerční účely prováděla většina laboratoří zkoušky pro jednotlivé účely vícenásobně, včetně extrakce a analýzy extraktu a výsledek sdělila jako průměrnou hodnotu jednotlivých měření, nebo poskytla vybraný výsledek podle vlastního uvážení.

Součástí mezilaboratorního porovnání byl rovněž podrobný popis přípravy a úpravy vzorku před vlastní zkouškou, použitá instrumentace a operační postup, resp. technická norma, ze které akreditovaná zkouška vychází. Z porovnání těchto postupů vyplynuly obdobné závěry jako v případě prvního mezilaboratorního porovnání, tzn. postupy přípravy, úpravy vzorků, použitá instrumentace a použité technické normy stanovení nejsou mezi laboratořemi jednotné.

Pro účely testování laboratoří vybrali organizátoři cca 3 m dlouhý úsek silnice II. třídy č. 634 (Rudolfovská třída) České Budějovice - Rudolfov v obci Nové Vráto jako vzorkovaný soubor, na kterém společnost TPA ČR s.r.o. prováděla diagnostiku komunikace spojenou s odběry vzorků pro účely vyhlášky č. 130/2019 Sb.

Na úseku cca 3 m komunikace č. 634 z Vráta na České Budějovice byl vrtačkou pro pořizování jádrových vývrtů proveden odběr 12 vzorků (vývrtů) o průměru 100 mm a s celkovou délkou získaného kompaktního jádra přibližně 250 mm. Vzorky postihují celou konstrukční vrstvu vozovky stmelenu asfaltem (či asfaltodehtem). Vývrty byly provedeny standardním vrtáním s výplachem vodou.

Druhou použitou metodou odběru vzorku byl odběr vzorku s použitím vrtání příklepovou vrtačkou. Ve 3 bodech v sousedství jádrového vrtání byly vyvrtány 3 otvory do hloubky 7 cm (uvedená hloubka vrtu představuje vrstvu komunikace obrus a hloubka vrtání byla určena podle vzhledu vrstev komunikace zřetelných na jádrových vzorcích - vývrtech). Odebraný vzorek měl prachovitou zrnitost. Analýza vzorku VZOREK 1 sloužila k porovnání odlišných postupů odběru vzorku ZAS a jejich vlivu na výsledky zkoušek.

Odebrané vzorky ve formě vrtných jader (vývrty) byly převezeny do Silniční laboratoře Fakulty stavební ČVUT v Praze. Zde byly vývrty při laboratorní teplotě a v temnu 3 dny uskladněny.

Následně byl každý vzorek (vývrt) upraven dělením s využitím kotoučové pily diamantovým řezným kotoučem. Jednotlivé části kompaktního jádra byly použity k přípravě vzorků, označených STANDARD, OBRUS a PODKLAD.

Vzorek STANDARD byl připraven odříznutím obrusné vrstvy s menším dílem ložní vrstvy tak, aby celková část odříznutého vývrtu byla přibližně 7 cm (odříznutí 7 cm od horní hrany vývrtu – povrchu vozovky). Dva takto připravené vzorky byly předány do laboratoře ALS Czech Republic s.r.o., která zajistila další úpravu vzorku.

Vzorek obrusné části vozovky (dva 7 cm vývrty o celkové hmotnosti 2,8 kg) byl zmražen kapalným dusíkem a poté byl podrcen na čelistovém drtiči firmy Retsch na požadovanou zrnitost <1 mm. Následně byl vzorek promíchán (homogenizován), kvartován a vzniklé podíly umístěny do skleněných vzorkovnic. Do každé vzorkovnice bylo umístěno cca 100 g upravené asfaltové drti. Celkem bylo naplněno 26 vzorkovnic. Z této sady vzorkovnic bylo odebráno náhodným výběrem 7 vzorkovnic pro ověření homogenity takto připravených vzorků. Analýzou rozptylu bylo prokázáno, že „between-bottle“ variabilita je nevýznamná (pro hladinu významnosti 0,05) a materiál lze považovat za dostatečně homogenní (při použití navážky alespoň 5 g). Vzorky nepoužité k ověření homogenity byly doručeny jednotlivým laboratořím. Analýza vzorku STANDARD sloužila k ověření mezilaboratorní shody analytických metod při zkoušení znovuzískaných asfaltových směsí (ZAS).

Vzorky OBRUS a PODKLAD byly připraveny z identických vývrtů odebraných z 3 m úseku komunikace č. 634 rozdělením kompaktního jádra s využitím kotoučové pily s diamantovým řezným kotoučem na pracovišti Silniční laboratoře Fakulty stavební ČVUT v Praze.

Při této fázi byla nejprve odříznuta obrusná vrstva s menším dílem ložní vrstvy tak, aby celková část odříznutého vývrtu byla přibližně 7 cm (odříznutí 7 cm od horní hrany vývrtu – povrchu vozovky) Takto získané vzorky byly uloženy na 2 dny pro vysušení při pokojové teplotě. Tyto vzorky byly použity pro vzorky označené OBRUS.

Obdobným způsobem bylo ze spodní hrany vývrtu odříznuto 12-14 cm. Tato část vzorku představuje nejspodnější část dehtem/asfaltodehtem stmelené podkladní vrstvy vozovky. Přítomnost dehtu v této vrstvě byla zjevná organolepticky - čichem byl identifikovatelný charakteristický zápach. I tyto vzorky byly uloženy na 2 dny při pokojové teplotě. Tyto vzorky byly použity pro vzorky označené PODKLAD.

V další fázi byly oddělené části vývrtů (vzorky OBRUS a PODKLAD) temperovány při teplotě 70-75°C po dobu 60-75 minut v sušárně s nucenou cirkulací vzduchu. Tímto postupem je při běžné praxi zajišťováno, aby byl vzorek dobře dezintegrovatelný na jednotlivá menší či větší zrna kameniva obaleného pojivem. Vždy se souběžně nahřály a dezintegrovaly 8 vzorků stejného druhu. Ty byly následně (po vychladnutí materiálu na pokojovou teplotu a proběhlé dezintegraci) promíseny a takto vzniklý vzorek byl kvartací rozdělen opět na 8 vzorků pro obrusnou vrstvu (OBRUS) i podkladní vrstvu (PODKLAD). Celková hmotnost jednotlivého vzorku OBRUS byla přibližně 1,3 kg, každý vzorek PODKLAD měl hmotnost 2,5-3 kg. Takto připravené vzorky byly umístěné do igelitového pytlíku, který byl uzavřen.

Takto připravené vzorky byly předány do jednotlivých zúčastněných analytických laboratoří. Analýza vzorků OBRUS a PODKLAD sloužila k ověření mezilaboratorní shody úpravy vzorku ZAS a přípravy analytického vzorku.

Výsledky připravených vzorků jsou uvedeny v tabulkách na následujících stránkách. Protože většina laboratoří prováděla zkoušky vícenásobně, včetně extrakce a analýzy extraktu, je možné posoudit u jednotlivých vzorků jejich heterogenitu a preciznost přípravy vzorku a jeho analýzy. *(Laboratoře jsou v tabulkách označeny čísla v náhodném pořadí. Ve všech následujících tabulkách je konkrétní laboratoř označena vždy stejným číslem).*

#### 4. Závěr

Mezilaboratorní porovnávací zkoušce bylo ze strany zúčastněných laboratoří věnováno mimořádné úsilí. Většina laboratoří prováděla zkoušky opakovaně včetně přípravy extraktů, použití alternativních extrakčních směsí, a výsledky byly většinou reportovány jako aritmetické průměry 2 až 7 měření. Tato praxe není při komerčním testování standardní, proto lze dosažené výsledky považovat za nejlépe dosažitelné na trhu v České republice.

Z realizovaného testování vyplývá, že limity podle účinné vyhlášky č. 130/2019 Sb. mají hranice mezi třídami znovuzískaných směsí ZAS-T1, ZAS-T2 a ZAS-T3 stanoveny nereálně blízko sebe a dosažení spolehlivé shody (objektivity) při zařazování znovuzískaných asfaltových směsí do tříd ZAS-T1, ZAS-T2 a ZAS-T3 je za stávající právní situace velmi obtížný úkol, jehož splnění je závislé na řadě okolností, které je možné hodnotit jako objektivní a není možné v dané situaci vyloučit podezření, že i subjektivních.

#### 5. Literatura

[1] KOHOUT, Petr: *Testování vzorků znovuzískané asfaltové směsi odebraných dne 13. 11. 2018 na recyklační ploše společnosti Chládek & Tintěra Havlíčkův Brod, a.s..*

[2] KOHOUT, Petr: *Testování vzorků znovuzískané asfaltové směsi Braškov, Kladno.* <https://forsapi.cz/download>



Tabulka 6: Přehled výsledků a jednotlivých měření stanovení ΣPAU ve vzorku STANDARD

Vzorek STANDARD	Koncentrace ΣPAU																											
	laboratoř																											
Parametr	jednotka	1		2		3		4		5		6		7														
Σ16PAU - výsledek	mg/kg suš.	34		42.3		26.7		30.3		29.8		54.5		94.4														
Σ16PAU - jednotlivá měření	mg/kg suš.	35.0	32.8	34.1	43.8	41.3	44.8	42.4	40.4	42.0	41.5	25.6	27.6	20.9	27.1	34.4	25.9	28.2	39.5	29.8	29.7	31.2	54.5	57.0	55.9	94.4	113.1	78.2
počet měření		3		7		2		7		3		3		3		3		3		3		3		3		3		
RSD	%	3.9%		3.8%		6.6%		25.0%		2.9%		2.7%		2.9%		2.7%		21.7%		21.7%		21.7%		21.7%		21.7%		

Relativní směrodatná odchylka naměřených hodnot Σ16 PAU ve vzorku STANDARD je 53,5%. Konfidenční interval pro konfidenční hladinu 95% z provedených stanovení vzorku STANDARD je: LE <<22.6 mg/kg suš.;66.9 mg/kg suš.>>

Mimo konfidenční interval se nachází výsledek stanovení laboratoře 7. Při dalším hodnocení byl výsledek laboratoře 7 ze souboru odstraněn jako odlehlý a znovu vypočítán konfidenční interval L. Konfidenční interval pro konfidenční hladinu 95% (hladina spolehlivosti 5%) po vyřazení výsledků laboratoře 7 je: LE <<25.2 mg/kg suš.;47.8 mg/kg suš.>>.

Tabulka 7: Přehled výsledků a jednotlivých měření stanovení ΣPAU ve vzorku VZOREK 1

Vzorek VZOREK 1	Koncentrace ΣPAU																		
	laboratoř																		
Parametr	jednotka	1		2		3		4		5		6		7					
Σ16PAU - výsledek	mg/kg suš.	38.7		44.7		33.1		31.4		39.3		45.9		435.4					
Σ16PAU - jednotlivá měření	mg/kg suš.	39.4	43.3	37.7	44.7	33.1	33.1	30.3	29.3	31.8	32.3	39.3	38.7	38.9	45.9	46.0	47.7	435.4	
počet měření		3		1		2		4		3		3		3		3		1	
RSD	%	8.2%		-		0.1%		4.7%		1.0%		2.3%		-		-		-	

Relativní směrodatná odchylka naměřených hodnot sumy 16 PAU je 156,5%. Výsledek je ale zcela evidentně ovlivněn odlehlou hodnotou výsledku laboratoře 7. Při dalším hodnocení byl výsledek laboratoře 7 ze souboru odstraněn jako odlehlý a vypočítán konfidenční interval L pro konfidenční hladinu 95% (hladina spolehlivosti 5%): LE <<32.7 mg/kg suš.;45.7 mg/kg suš.>>

Tabulka 8: Přehled výsledků a jednotlivých měření stanovení ΣPAU ve vzorku OBRUS

Vzorek OBRUS		Koncentrace ΣPAU																		
		laboratoř																		
Parametr	jednotka	1		2		3		4		5		6		7						
Σ16PAU - výsledek	mg/kg suš.	80.3		55.8		22.2		67.8		24.8		91		62.6						
Σ16PAU - jednotlivá měření	mg/kg suš.	86.4	76.4	76.6	52.5	59.0	20.4	24.0	70.0	63.3	69.9	24.8	26.4	24.0	91.0	92.7	84.1	62.6	70.5	73.0
počet měření		3		2		2		3		3		3		3		3		3		
RSD	%	7.4%		10.4%		14.2%		5.9%		5.7%		5.7%		5.7%		5.7%		8.9%		

Relativní směrodatná odchylka naměřených hodnot sumy 16 PAU je u vzorku OBRUS 45,1%. Výsledky stanovení jednotlivých laboratoří byly posuzovány na konfidenční hladině 95% (hladina spolehlivosti 5%). Pro tuto hladinu spolehlivosti byl ze 7 výsledků stanoven konfidenční interval, ve kterém leží skutečná hodnota průměru ze stanovení všech laboratoří:  $L \ll 33.8 \text{ mg/kg suš.}; 82.1 \text{ mg/kg suš.} \gg$ .

Tabulka 9: Přehled výsledků a jednotlivých měření stanovení ΣPAU ve vzorku PODKLAD

Vzorek PODKLAD		Koncentrace ΣPAU																				
		laboratoř																				
Parametr	jednotka	1		2		3		4		5		6		7								
Σ16PAU - výsledek	mg/kg suš.	2879		2979		2178		7007		2407		6837		4711								
Σ16PAU - jednotlivá měření	mg/kg suš.	2978	2839	2821	2969	2990	2127	2229	7007	6257	5952	4684	7212	2407	2511	2372	6837	7943	7546	4711	5181	5362
počet měření		3		2		2		5		3		3		3		3		3		3		
RSD	%	3.2%		0.6%		4.2%		17.5%		3.4%		8.8%		7.6%								

Relativní směrodatná odchylka naměřených hodnot sumy 16 PAU je 49,8%. Výsledky stanovení jednotlivých laboratoří byly posuzovány na konfidenční hladině 95% (hladina spolehlivosti 5%). Pro tuto hladinu spolehlivosti byl ze 7 výsledků stanoven konfidenční interval, ve kterém leží skutečná hodnota průměru:  $L \ll 2237 \text{ mg/kg suš.}; 6054 \text{ mg/kg suš.} \gg$ .

# HYBRIDNÍ POHONY RECYKLAČNÍCH STROJŮ KEESTRACK

## KEESTRACK HYBRID DRIVE OF RECYCLING MACHINES

Bc. Dan Bureš

KEESTRACK drtiče+třídíče s.r.o., dan.bures@kees.cz

### **Abstract**

*Introducing whole portfolio of Keestrack crushers, screeners and stackers with hybrid drives*

### **Ucelená koncepce recyklačních strojů Keestrack**

Přední dodavatel drtičů a třídíčů pro demolicí, recyklaci a lomový průmysl, společnost Keestrack drtiče+třídíče s.r.o, oficiální distributor strojů Keestrack pro Českou a Slovenskou republiku, představuje ucelenou koncepci recyklačních strojů a strojů pro lomový průmysl. Čtyři modely čelistových drtičů, tři modelové řady odrazových drtičů, dvě řady kuželových drtičů, pět modelů hrubotřídíčů, čtyři modely klasických třídíčů, dvě velikosti mobilních haldovacích dopravníků na pásovém podvozku a v neposlední řadě samostatný zkrápěcí systém pro redukci prašnosti, to je portfolio strojů Keestrack, které se vyrábějí v České republice ve městě Šternberk. Výroba je založena na historicky úspěšné české strojírenské výrobě ve Šternberku. Historie společnosti Keestrack sahá do roku 1988, kdy začala v Belgii s výrobou mobilních třídíčů a drtičů. Stroje se pod touto značkou již téměř 18 let vyrábí v České republice. Během této doby prošel výrobní program řadou změn, které reagovaly na potřeby trhu a požadavky zákazníků. Díky rozšiřitelnosti o přídatné prvky a variabilitě jsou možnosti třídění a drcení téměř neomezené. Současný trend automobilového průmyslu v hybridních pohonech neminul ani stroje Keestrack, proto je většina strojů dodávána i ve verzi pohonu diesel-elektro s možností napojení na externí zdroj elektrické energie. Dále je možné stroje propojit a využívat tak k pohonu pouze jednu pohonnou jednotku. Tyto systémy výrazně šetří náklady na provoz nejen v úspoře pohonných hmot, ale také nižšími náklady na hydraulický olej, filtry a servisní intervaly dieselových agregátů.



### **Čelistové drtiče Keestrack**

Kompaktní, ale robustní čelistové drtiče Keestrack a jejich pokročilá technologie umožňuje nepřetržitý provoz. Nonstop systém chrání drtič proti poškození v případě



vniknutí nedrtitelných materiálů. Pomocí hydraulického systému rozevírání čelistí a okamžitého vrácení čelistí do pracovní polohy, umožňuje tento patentovaný systém téměř nepřetržitý provoz. Plně automatizovaný plnicí systém naplňuje komoru drtiče na optimálních 75-80 % pro dosažení nejlepších výkonů.

Motory s nízkými emisními hodnotami v kombinaci s hydraulikou s dimenzací výkonu zaručuje minimální dopady na životní prostředí a zároveň šetření pohonných hmot. Možnost dodávky čelistových drtičů s hybridním pohonem diesel-elektro s možností připojení na externí zdroj elektrické energie a dále možnost napájení dalších strojů s využitím jediné pohonné jednotky dělá z čelistových drtičů Keestrack nejúspěšnější stroje ve své třídě. Ovládací panel Relytec ulehčuje ovládání a údržbu. Pomocí dálkového ovládání je možné čelistové drtiče ovládat i z bagru. Dvousítný nezávisle poháněný předtřídič zaručuje optimální a efektivní roztřídění materiálu před vstupem do drticí komory. Široká škála volitelného příslušenství zahrnující boční dopravník a magnetický separátor dělá z čelistových drtičů Keestrack skvělé stroje určené pro recyklaci stavebních materiálů. Ucelená řada čelistových drtičů s hmotností od 30 t do 55 t plně uspokojí požadavky zákazníků na mobilitu spojenou s nejvyšším výkonem. Čelistové drtiče Keestrack je možné vybavit i jednosítným zavěšeným třídičem s vratným dopravníkem pro optimálně ohraničenou výslednou frakci vyráběného produktu.



### **Odrázové drtiče Keestrack**

Odrázové drtiče vynikají roky osvědčenou optimalizovanou a unikátní geometrií drticích ploch a rotoru s výrazně vyšší polohou rotoru, což umožňuje drtit velké kusy vstupního materiálu a tedy lze drtič využít jako primární jednotku s vysokou kvalitou výsledného materiálu pro recyklace. Možnost vybavení odrázových drtičů přídatným zavěšeným jednosítným nebo dvousítným třídičem s vratkou materiálu zpět do násypky drtiče, umožňuje produkovat prvotřídní materiál s požadovanou křivkou zrnitosti a perfektně ohraničenou frakcí. Také u odrázových drtičů Keestrack je možnost dodávky hybridního pohonu diesel-elektro s možností napojení na externí zdroj elektrické energie a s možností propojení s dalšími třídiči nebo haldovacími dopravníky. Samozřejmostí je možnost vybavení odhliňovacím dopravníkem a magnetickým separátorem.



### **Kuželové drtiče Keestrack**

Kuželové drtiče Keestrack vynikají kompaktními rozměry při vysokém výkonu. Koncepte je založena na technologii „all in“, která umožňuje nasazení na nejširší množství aplikací spojené s vysokou kvalitou drceného materiálu. Tím se docílilo výrazného snížení opotřebení rychle opotřebitelných částí a tím snížit nutnost předtřídění. Kuželové drtiče Keestrack jsou k dispozici v provedení diesel-elektro a tedy nabízí nejnížší náklady na vyrobenou tunu materiálu spojené s maximálním výkonem. Jako jediný výrobce na světě nabízí Keestrack třísitý zavěšený třídíč s vratným dopravníkem.



### **Třídíče a hrubotřídíče Keestrack**

Pokročilá technologie třídíčů a hrubotřídíčů Keestrack znamená obrovskou úsporu pohonných hmot. Motor s nízkými emisními hodnotami v kombinaci s hydraulickým systémem s dimenzací výkonu minimalizuje dopady na životní prostředí a zároveň maximalizuje úsporu pohonných hmot. Hydraulika s dimenzací výkonu umožňuje ušetřit od 4 do 6 litrů nafty za hodinu. Při 1000 pracovních hodinách za rok můžete ušetřit kolem 5000 litrů nafty. Ovládací panel Relytec usnadňuje ovládání a údržbu. Volitelné dálkové ovládání třídíčů umožňuje ovládat

třídíč např. z bagru. Hrubotřídíče a třídíče zvládnou téměř každý úkol díky množství volitelných přídatných modulů. V nabídce hrubotřídíčů a třídíčů naleznete velké množství variant pohonu. Od klasického pohonu diesel-hydraulika, přes pohon diesel elektro až po možnost připojit stroj na přímý zdroj elektrické energie a pohánět pouze přes rozvodnou síť. Tyto stroje, se svou třídící plochou, jsou vždy nejvýkonnějšími ve své třídě.



### **Haldovací dopravníky Keestrack**

V případě požadavku na vysokokapacitní skladování nabízí společnost Keestrack dva typy mobilních haldovacích dopravníků na pasovém podvozku s vlastní dieselovým pohonem nebo hybridním pohonem diesel-elektro s možností připojení na externí zdroj elektrické energie. Skladovací kapacita těchto dopravníků se může vyšplhat až na 15.000 t bez nutnosti měnit pozici. Vysoká úspora haldovacích nákladů oproti např. kolovým nakladačům je téměř třetinová.



# ENVIRONMENTÁLNÍ DOPADY STAVEBNÍCH VÝROBKŮ S OBSAHEM DRUHOTNÝCH SUROVIN

## ENVIRONMENTAL IMPACTS OF CONSTRUCTION PRODUCTS CONTAINING SECONDARY RAW MATERIALS

Ing. Jan Pešta<sup>1,2</sup>, Ing. Tereza Pavlů, Ph.D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitní centrum energeticky efektivních budov ČVUT v Praze, ([jan.pesta@cvut.cz](mailto:jan.pesta@cvut.cz), [tereza.pavlu@cvut.cz](mailto:tereza.pavlu@cvut.cz)) <sup>2</sup>Fakulta technologie ochrany prostředí, VŠCHT v Praze

### **Abstract**

*Recycled aggregates (RA), as secondary material for concrete, affect the properties of products and their possibility to use. Therefore, it is hard to consider their final function, which is crucial for the environmental assessment. Using the Life Cycle Assessment method, we compared environmental impacts of recycled brick and concrete aggregates, foundation structures and reusable concrete blocks containing RA. The results confirmed that utilization of RA reduces the environmental impacts of products.*

### **1. Úvod**

Při hledání udržitelného řešení je potřeba vyvažovat kvality navrhovaného výrobku nebo služby s ohledem na všechny tři pilíře udržitelného rozvoje: ekonomický, sociální, environmentální. Environmentální pilíř představuje hledisko vycházející z faktu, že v omezeném systému naší planety není možný neomezený růst. Od toho se pak odvíjí i hodnota ekosystému planety a jeho služeb, které nemohou být neomezené.

Neomezená nemůže být ani produkce stavebních materiálů s obsahem druhotných surovin. Tento příspěvek se věnuje možnostem hodnocení environmentálních dopadů způsobených produkcí těchto výrobků. Dále jsou v tomto příspěvku uvedeny výsledky posuzování životního cyklu betonového recyklátu, betonových směsí pro použití v základech budov, a betonových tvarovek s obsahem druhotných surovin.

Jedním z přístupů, který se využívá k hodnocení vlivu výrobku na životní prostředí, je hodnocení jeho nebezpečnosti. V oblasti recyklace stavebních materiálů je takový přístup například aplikován při hodnocení nebezpečnosti materiálu pro použití na povrchu terénu, který vznikl úpravou stavebních a demoličních odpadů. Podrobné podmínky této povinnosti upravuje vyhláška č. 294/2005 Sb. Cílem tohoto hodnocení je zamezit toku nebezpečných látek do jiných složek životního prostředí a zabránit tak dopadům, které by emise nebezpečných látek mohly způsobit. Tento přístup tedy zohledňuje jen emise nebezpečných látek, a to navíc jen v části životního cyklu výrobku, kdy hrozí, že by tyto nebezpečné látky byly emitovány do další složky životního prostředí.

Dalším z přístupů je metoda Posuzování životního cyklu (z angl. Life Cycle Assessment). Tato metoda slouží k posouzení všech fází životního cyklu výrobku nebo služby od získání primárních surovin, jejich zpracování a výrobu výrobku, přes fázi užívání a fázi odstranění výrobku. Nehodnotí jen nebezpečné látky, ale hodnotí všechny látky emitované během celého životního cyklu, které mají potenciál působit dopad na životní prostředí. Mezi takové látky patří například oxid uhličitý, který sice není hodnocen jako nebezpečná látka a přesto má potenciál působit environmentální dopad v kategorii Klimatická změna.



Posuzování životního cyklu je standardizováno mezinárodní normou ISO 14 040:2006[1], která popisuje náležitosti pro posuzování životního cyklu všech výrobků a služeb. Výsledky posuzování mohou být využity pro deklaraci dopadů výrobku formou Environmentálního prohlášení o produktu (EPD). Náležitosti EPD pro kategorii stavebních výrobků stanovuje norma ČSN EN 15 804 A2[2]. Pro EPD betonu a betonových prvků jsou pravidla posuzování stanovena normou ČSN EN 16 757 (ČSN EN 16 757 Udržitelnost staveb - Environmentální prohlášení o produktu - Pravidla produktové kategorie pro beton a betonové prvky)[3].

V tomto příspěvku byla použita metoda LCA jako analytický nástroj pro hodnocení environmentálních dopadů recyklovaného kameniva s ohledem na jeho možné využití. Nejprve byla posuzována produkce 1 t recyklovaného betonového a cihelného kameniva. Následně byl rozšířen posuzovaný systém tak, aby byla zohledněna potencionální funkce kameniva a zohledněna jeho kvalita, která ovlivňuje jeho potencionální využití. Proto byly dále posuzovány dva systémy: výroba betonové směsi pro použití v základovém prvku a stavba 1 m<sup>2</sup> stěny z betonových tvarovek s obsahem druhotných surovin. Oba tyto výrobky byly porovnány s referenčními konstrukcemi.

## **2. Materiály a metody**

### **2.1 Recyklované betonové a cihelné kamenivo**

Po selektivní dekonstrukci jsou cihelný a betonový stavební odpad naskladněny na recyklační centrum, kde jsou následně drceny ve dvou krocích, tak aby se cihelný a betonový materiál mezi sebou nemísily. V prvním kroku je odpad drcen na tři frakce (frakce 0-16 mm, 16-63 mm a 63-120 mm) a z odpadu je na lince odseparován železný šrot. Frakce 0-16 mm a 16-63 mm jsou využity do násypů a podsypů a frakce 63-120 mm vstupuje do druhého stupně drcení. V tomto druhém drcení vznikají frakce 0-4 mm, 4-8 mm a 8-16 mm. Frakce ze druhé fáze jsou vhodné pro použití do betonu, protože po dvoustupňovém drcení je u nich značně snížen obsah jílových částic. Recyklované kamenivo bylo pro účely studií získáno od společnosti AZS 98, s.r.o.

### **2.2 Betonové směsi pro použití v základovém prvku**

Vlastnosti recyklovaného kameniva se liší na základě materiálu, ze kterého je recyklát vyroben. Pro celkové porovnání recyklovaného kameniva, a i jeho srovnání s přírodním kamenivem je potřeba najít konkrétní využití, které dokáže zohlednit jeho potencionální funkci ovlivněnou celou řadou vlastností kameniva, a tedy i betonové směsi. Společným využitím, které je vhodné pro přírodní i recyklované betonové kamenivo, je využití v základovém prvku.

Pro posuzování environmentálních dopadů byl zvolen základový prvek, u kterého bylo počítáno s zatěžovací silou 1000 kN a únosností zeminy 250 kPa. Všechny základové prvky byly navrženy na stejné zatížení a bylo uvažováno se stejným typem zeminy. Zároveň byla uvažována stejná efektivní plocha základu. Lišila se výška základů v závislosti na třídě betonu a v závislosti na tom se pro navrhované směsi měnil objem spotřebovaného materiálu. Betonové směsi byly navrženy s betonovým recyklátem (R) s mírou nahrazení 30 %, 50 % a 100 % (C30, C50 a C100) a to s kamenivem z prvního kroku recyklace (J) i s kamenivem z druhého kroku (D). Cílovými pevnostními třídami pro referenční směsi z přírodního kameniva (N) byla pevnostní třída C25/30 (I) a C30/37 (II). Z betonové směsi REC 16/20 C100\_V1 nebylo možné navrhnout popsany prvek. Receptury betonových směsí, jejich zařazení do třídy a vypočítaný objem základového prvku jsou uvedeny v Tabulce 1.

**Tabulka 1 Receptury betonových směsí pro základový prvek na 1 m<sup>3</sup> betonové směsi, dosažená pevnostní třída směsí a objem základového prvku ze směsi**

	NI	R I C30 J	R I C30 D	R I C50 J	R I C50 D	R I C100 J	R I C100 D
<b>Cement 42.5 R</b>	260	260	260	260	260	260	260
<b>Voda</b>	169	201	184	206	206	179	211
<b>NA (0-4 mm)</b>	736	632	632	611	611	415	588
<b>NA (4-8 mm)</b>	533	0	0	0	0	0	0
<b>NA (8-16 mm)</b>	570	656	656	311	311	0	0
<b>RCA (4-8 mm)</b>	0	485	485	506	506	239	526
<b>RCA (8-16 mm)</b>	0	0	0	283	283	1134	538
<b>Vodní součinitel</b>	0,65	0,77	0,71	0,79	0,79	0,69	0,81
<b>Effektivní vodní součinitel</b>	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
<b>Pevnostní třída</b>	C25/30	C12/15	C25/30	C16/20	C25/30	C8/10	C16/20
<b>Objem prvku</b>	3,96	5,06	3,96	4,62	3,96	-	4,62
	N II	R II C30 J	R II C30 D	R II C100 J	R II C100 D		
<b>Cement 42.5 R</b>	300	300	300	300	300		
<b>Voda</b>	165	200	183	175	208		
<b>NA (0-4 mm)</b>	700	615	615	364	549		
<b>NA (4-8 mm)</b>	538	0	0	0	0		
<b>NA (8-16 mm)</b>	601	674	674	0	0		
<b>RCA (4-8 mm)</b>	0	485	485	225	533		
<b>RCA (8-16 mm)</b>	0	615	615	1198	564		
<b>Vodní součinitel</b>	0,55	0,67	0,65	0,58	0,69		
<b>Effektivní vodní součinitel</b>	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55		
<b>Pevnostní třída</b>	C30/37	C16/20	C25/30	C16/20	C25/30		
<b>Objem prvku</b>	3,74	4,62	3,96	5,06	3,96		

*NA přírodní kamenivo, RCA – recyklované betonové kamenivo*

### 2.3 Stěna z betonových tvarovek s obsahem druhotných surovin

Environmentální dopady byly hodnoceny také pro tvarovky s obsahem recyklovaného kameniva. Takové využití recyklovaného kameniva nejen snižuje množství spotřebovaného primárního kameniva, ale díky rozebíratelnosti konstrukce může být tvarovka opětovně použita, čímž se šetří zdroje i jiných surovin[4].

Tvarovky nemají stejné vlastnosti a pro jejich vzájemné srovnání byly použity konstrukce zděných stěn, které byly navrženy se stejnými tepelně izolačními vlastnosti. Návrh konstrukce z tvarovky s cihelným recyklátem (TC) a návrh konstrukce z tvarovky s betonovým recyklátem (TB) byly porovnány s návrhem konstrukce z tvarovky s přírodním kamenivem (TP) a s návrhem referenční betonové stěny s přírodním kamenivem (BSP). Popis materiálových vstupů a výrobu tvarovek je v Tabulce 2.

**Tabulka 2 Popis návrhů konstrukcí z tvarovek a konstrukce betonové stěny**

Materiálové vstupy na 1 m <sup>2</sup> (kg)	Typy konstrukcí			
	TC	TB	TP	BSP
Cement (I 42.5R)	96	96	84	84
Kamenivo (cihlené/betonové/přírodní)	446,7	418,2	551,4	551,4
Minerální vlna	4,8	4,8	5,2	5,2
Dřevěná konstrukce	9,6	9,6	9,6	0
Vnitřní vápenná omítka	24	24	24	24
Vnější omítka	6	6	6	6
Voda	64,8	57,6	42	42
<b>Celková hmotnost materiálů</b>	<b>651,9</b>	<b>616,2</b>	<b>722,2</b>	<b>712,6</b>

## 2.4 Metoda Posuzování životního cyklu (LCA)

Pro analýzu environmentálních dat byla použita metoda LCA. Pomocí této metody lze vyčíslit potenciál výrobku nebo služby působit dopad na životní prostředí a to i v rozsahu celého životního cyklu. Analýza environmentálních dopadů probíhá ve čtyřech iteračních krocích: definice cíle a rozsahu, inventarizace, posuzování dopadů a interpretace[5]

V kroku definice cíle a rozsahu je potřeba popsat cíl studie, definovat porovnávanou funkci a funkční jednotku, která vyjádří míru naplnění definované funkce, popsat hranice posuzovaného systému. V kroku inventarizace jsou analyzovány všechny elementární toky mezi posuzovaným systémem a prostředím. Třetí krok je posuzování dopadů. Během tohoto kroku jsou všechny elementární toky klasifikovány a charakterizovány. Klasifikace spočívá v přiřazení toku do jedné nebo více kategorií dopadu a na základě tohoto přiřazení jsou toky násobeny charakterizačním faktorem, který vyjadřuje, jak velký dopad tok působí ve srovnání s ekvivalentním množstvím referenční látky pro danou kategorii dopadu. Součet dopadů v každé kategorii je pak použit pro interpretaci a možné přehodnocení předchozích kroků.

Klasifikace toků a jejich charakterizace byla provedena podle metodiky CML, verze leden 2016[6]. Vybrané indikátory pro vyjádření environmentálních dopadů pro jednotlivé kategorie jsou popsány v Tabulce 3. Pro modelování produktových systémů a vyhodnocení dat byl použit software Gabi[7]. Data o generických procesech byla převzata z databáze Ecoinvent[8].

**Tabulka 3 Popis indikátorů pro vybrané kategorie dopadu**

Indikátor (zkratka)	Jednotka	Popis
Potenciál úbytku zdrojů surovin pro	[kg Sb ekv.]	Vyjadřuje úbytek zdrojů způsobený spotřebou surovin ve srovnání s úbytkem antimonu (Sb).

Indikátor (zkratka)	Jednotka	Popis
prvky (ADP elements)		
Potenciál úbytku zdrojů surovin pro fosilní paliva (ADP fossil)	[MJ]	Popisuje spotřebu fosilních surovin vzhledem k jejich energetickému obsahu (výhřevnosti) a vyjadřuje ji v jednotkách MJ.
Potenciál acidifikace půdy a vody (AP)	[kg SO <sub>2</sub> ekv.]	Vyjadřuje dopad na okyselování půd pomocí schopnosti emisí uvolňovat proton H <sup>+</sup> . Referenční látkou je SO <sub>2</sub> .
Potenciál eutrofizace (EP)	[kg (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> ekv.]	Vyjadřuje dopad nadměrného obohacování sladkovodních vod nutrieny obsahujícími biodostupný fosfor a dusík. Referenční látkou je fosforečnanový anion.
Potenciál globálního oteplování (GWP 100 years)	[kg CO <sub>2</sub> ekv.]	Pro emise posuzovaného systému vyjadřuje potencionální dopad na absorpci tepelného záření ve srovnání s CO <sub>2</sub> .
Potenciál úbytku stratosférické ozonové vrstvy (ODP, steady state)	[kg R11 ekv.]	Vyjadřuje potencionální dopad na rozklad stratosférického ozonu ve srovnání trichlorfluormethan (také jako CFC-11).
Potenciál tvorby fotochemických oxidantů přízemního ozonu (POCP)	[kg Ethene ekv.]	Vyjadřuje dopad na nárůst koncentrace ozónu v troposféře. Potencionální dopad tvorby troposférického ozónu je vyjádřen ve srovnání s ethenem.

## 2.5 Posuzované systémy

Každý ze tří systému byl posuzován zvlášť. Pro každé porovnání výrobků v systému bylo potřeba definovat funkční jednotku a hranice systému. Pro porovnání recyklovaného kameniva byla využita deklarovaná jednotka 1 t kameniva. Produktový systém zahrnoval procesy spojené s manipulací s odpadem v recyklačním centru, drcení a třídění recyklovaného kameniva. Dále byla zahrnuta i separace železného odpadu ze stavebního a demoličního odpadu. Environmentální dopady byly alokovány na tunu kameniva vystupující z druhého kroku drcení a byly porovnány s dopady generického procesu produkce šterku.

Betonové směsi byly porovnávány pro použití v základovém prvku a funkční jednotka byla definována jako stejně široký betonový základ pro budovy, navržený se zatěžovací silou 1000 kN a únosností zeminy 250 kPa. Do hranic v tomto porovnávaném systému je zahrnuta výroba betonového recyklátu, těžba ostatních primárních surovin (cement, písek...), jejich doprava do recyklačního centra a míchání betonové směsi. Dále je zahrnuta doprava betonové směsi na staveniště s předpokládanou vzdáleností 50 km. Do hranic systému je zahrnuto i odstranění základu, jeho doprava na skládku a odstranění stavebního odpadu.

Stěna z tvarovek byla porovnávána v produktovém systému s deklarovanou jednotku 1 m<sup>2</sup> konstrukce. Do tohoto systému byla zahrnuta výroba recyklátu, příprava betonové směsi, výroba tvarovek a manipulace s tvarovkami a materiálem na

staveništi. Zahrnuty byly i procesy dekonstrukce a odstranění stavebního odpadu spolu s tříděním a energetickým využitím dřeva z konstrukce.

### 3. Výsledky a diskuze

V posuzovaném systému produkce betonového a cihelného recyklovaného kameniva působí příznivější dopad 1 t betonového kameniva. Environmentální dopady alokované na 1 t kameniva jsou uvedeny v Tabulce 4, kde jsou zároveň porovnány s dopady přírodního kameniva, které byly vyhodnoceny na základě generického procesu. Bez ohledu na druh materiálu jsou oba typy recyklátu příznivější než přírodní kamenivo. Betonové kamenivo působí příznivější dopad ve všech kategoriích s výjimkou kategorie ODP. Z hlediska kategorie úbytku fosilních surovin produkce betonového recyklátu předchází významně většímu dopadu (-1370 MJ) než produkce cihelného kameniva (-634 MJ). Podobně i u kategorie popisující globální oteplování předchází betonové kamenivo (-155 kg CO<sub>2</sub> ekv.) dopadu více než kamenivo cihelné (-70 kg CO<sub>2</sub> ekv.).

**Tabulka 4 Výsledky indikátorů dopadů pro 1 t recyklovaného betonového a cihelného kameniva a 1 t přírodního kameniva**

Indikátor	Beton. reckl. 1 t	Cihel. reckl. 1 t	Přírodní kamenivo 1 t
ADP elements [kg Sb ekv.]	-0,00259	-0,000949	7,18E-07
ADP fossil [MJ]	-1370	-634	32
AP [kg SO <sub>2</sub> ekv.]	-0,253	-0,111	0,007
EP [kg (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> ekv.]	-0,00561	-0,00360	0,00125
GWP 100 years [kg CO <sub>2</sub> ekv.]	-155	-70	3
ODP, steady state [kg R11 ekv.]	-2,86E-11	-2,89E-11	5,13E-14
POCP [kg Ethene ekv.]	-0,0530	-0,0119	-0,0006

Výsledky porovnání environmentálních dopadů betonového kameniva s ohledem na jeho využitelnost v betonové směsi pro základový prvek jsou uvedeny v Tabulce 5. Ze srovnání se základovým prvkem se směsí jen s přírodním kamenivem (N I a N II) je zřejmé, že využití recyklátu není vždy zárukou nižších dopadů. V kategorii ADP fossil má základový prvek N I (7800 MJ) nižší dopad než R I C30 J (9050 MJ). Podobně je tomu i u vyšší třídy, kde N II působí nižší dopad než R II C30 J. Naopak využití recyklátu ve směsích s větší mírou nahrazení přírodního kameniva (R I C50 J, R II C100 J) vede k příznivějším dopadům v kategorii úbytku prvků. Navíc, pokud je použito kamenivo z druhého kroku recyklace (R I C50 D, R I C100 D, R II C100 D), dopad směsi je dále snížen.

**Tabulka 5 Výsledky indikátorů dopadů výroby a odstranění základového prvku z betonových směsí s různou mírou nahrazení přírodního kameniva**

Indikátor	N I	R I C30 J	R I C30 D	R I C50 J	R I C50 D	R I C100 D
ADP elements [g Sb ekv.]	1,53	0,923	-1,61	0,25	-3,58	-6,26
ADP fossil [GJ]	7,80	9,05	5,82	7,75	4,64	4,11

<b>Indikátor</b>	<b>NI</b>	<b>RIC30 J</b>	<b>RIC30 D</b>	<b>RIC50 J</b>	<b>RIC50 D</b>	<b>RI C100 D</b>
AP [kg SO2 ekv.]	3,02	3,65	2,62	3,18	2,36	2,46
EP [kg (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> ekv.]	0,491	0,588	0,454	0,508	0,429	0,471
GWP 100 years [kg CO <sub>2</sub> ekv.]	1250	1510	1040	1330	915	931
ODP, steady state [kg R11 ekv.]	1,23E-06	-1,02E-07	-7,99E-08	-1,14E-06	-9,76E-07	-2,08E-06
POCP [kg Ethene ekv.]	-0,206	-0,286	-0,269	-0,269	-0,306	-0,395
<b>Indikátor</b>	<b>N II</b>	<b>R II C30 J</b>	<b>R II C30 D</b>	<b>R II C100 J</b>	<b>R II C100 D</b>	
ADP elem. [g Sb ekv.]	1,65	-0,05	-5,34	-0,78	-5,36	
ADP fossil [GJ]	7,66	9,41	5,25	7,80	3,71	
AP [kg SO2 ekv.]	3,04	3,98	2,89	3,57	2,28	
EP [kg (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> ekv.]	0,487	0,654	0,549	0,562	0,425	
GWP 100 years [kg CO <sub>2</sub> ekv.]	1300	1570	1020	1530	915	
ODP, steady state [kg R11 ekv.]	1,2E-06	-1,27E-06	-1,09E-06	-3,05E-06	-1,84E-06	
POCP [kg Ethene ekv.]	-0,180	-0,394	-0,442	-0,330	-0,328	

Z výsledků systému, ve kterém byly posuzovány tvarovky z kameniva z různých materiálů se ukazuje, že nejpriznivější dopady je působen konstrukcí s betonovým recyklátem (TB). Tvarovky s cihelným kamenivem (TC) a přírodním kamenivem (TP) působí srovnatelný dopad. Konstrukce s TC ale působí nižší dopad v kategorii úbytku fosilních surovin (519 MJ) než konstrukce s přírodním kamenivem (623 MJ). V tomto porovnaném systému je největší dopad spojen se stavbou a odstraněním betonové stěny s přírodním kamenivem, a naopak se potvrdil přínos využití recyklovaného kameniva.

**Tabulka 6 Výsledky indikátorů dopadů výroby a odstranění 1 m<sup>2</sup> konstrukce složené z tvarovek s obsahem přírodního (TP), cihelného (TC) nebo betonového (TB) kameniva a konstrukce betonové stěny z přírodního kameniva (BSP)**

<b>Indikátor</b>	<b>TC</b>	<b>TB</b>	<b>TP</b>	<b>BSP</b>
ADP elements [kg Sb ekv.]	0,000222	-0,000857	0,000220	0,000219
ADP fossil [MJ]	519	-20	623	667
AP [kg SO2 ekv.]	0,234	0,123	0,256	0,258
EP [kg (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> ekv.]	0,0473	0,0419	0,0498	0,0473
GWP 100 years [kg CO <sub>2</sub> ekv.]	106	46	108	113
ODP, steady state [kg R11 ekv.]	2,84E-08	2,84E-08	2,84E-08	3,90E-10
POCP [kg Ethene ekv.]	-0,0166	-0,0434	-0,0293	-0,0283



#### 4. Závěr

Použití recyklovaného kameniva ve stavebním výrobku příznivě ovlivňuje environmentální dopad spojený s produkcí stavebního výrobku. Vlastní proces drcení a třídění je energeticky náročný, avšak ve srovnání s produkcí přírodního kameniva má produkce recyklovaného cihelného i betonového kameniva příznivější dopad na prostředí. Rozdíl mezi cihelným a betonovým kamenivem se projevil i při použití ve tvarovkách, kde konstrukce s betonovým recyklátem měly nižší dopad než konstrukce s přírodním anebo cihelným kamenivem.

V posuzovaném systému betonů do základu se potvrdilo, že směsi s vyšším obsahem recyklovaného kameniva mají nižší dopady. Navíc, nejpříznivějších dopadů dosáhly směsi s recyklátem z dvofázové recyklace, které díky lepším vlastnostem kameniva snížily potřebný objem základového prvku, a tak vyvážily vliv dopadu energeticky náročnějšího procesu recyklace.

#### 5. Poděkování

Tento výzkum je financován z projektu MPO TRIO FV 10397 — RENCO, Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy v rámci Národního programu udržitelnosti I. projekt č. LO1605 – Univerzitní centrum energeticky efektivních budov – Fáze udržitelnosti a projektu Specifického vysokoškolského výzkumu – projekt A1\_FTOP\_2020\_004.

#### 6. Literatura

- [1] FINKBEINER, M., A. INABA, R. B. H. TAN, K. CHRISTIANSEN a H. J. KLUPPEL. The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. *International Journal of Life Cycle Assessment* [online]. 2006, **11**(2), 80–85. ISSN 0948-3349. Dostupné z: doi:10.1065/lca2006.02.002
- [2] CEN. *Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products (EN 15804 A2)*. 2020.
- [3] CEN. *EN 16757 Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Product Category Rules for concrete and concrete elements*. 2018.
- [4] PESTA, Jan, Tereza PAVLU, Kristina FARTOVA a Vladimír KOCI. *Sustainable Masonry Made from Recycled Aggregates: LCA Case Study* [online]. ST ALBAN-ANLAGE 66, CH-4052 BASEL, SWITZERLAND: MDPI. 2. únor 2020. Dostupné z: doi:10.3390/su12041581
- [5] GUINEE, J. Handbook on life cycle assessment - Operational guide to the ISO standards. *International Journal of Life Cycle Assessment* [online]. 2001, **6**(5), 255–255. ISSN 0948-3349. Dostupné z: doi:10.1007/bf02978784
- [6] *CML-IA Characterisation Factors* [online]. 16. září 2020. Dostupné z: <https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-output/science/cml-ia-characterisation-factors>
- [7] *GaBi Professional* [online]. nedatováno [vid. 2019-11-27]. Dostupné z: <http://www.gabi-software.com/databases/professional/>
- [8] *Ecoinvent database* [online]. 16. září 2020. Dostupné z: <https://www.ecoinvent.org/>

# MOŽNOSTI VYUŽITÍ RECYKLOVANÉHO CIHELNÉHO KAMENIVA DO ZÁKLADOVÝCH KONSTRUKCÍ

## POSSIBILITIES OF THE UTILIZATION OF RECYCLED BRICK AGGREGATE IN FOUNDATION STRUCTURES

Ing. Tereza Pavlů, Ph.D., Ing. Kristina Fořtová, Ph.D, Ing. Jakub Řepka, Jan Otýs

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

### **Abstract**

*This contribution deals with the verification of the production of recycled brick aggregate and concrete with recycled brick aggregate from construction and demolition waste, the production of which has been transferred from the laboratory environment to practice. Selected mixtures, which were manufactured in the laboratory, were subsequently verified during manufacturing in the concrete plant. The aim was to verify the technological process of manufacturing of the foundation element with 100% replacement of natural aggregate in the concrete mixture.*

### **1. Úvod**

Tento příspěvek se zabývá ověřením výroby recyklovaného cihelného kameniva (RCK) a betonu s využitím RCK ze stavebního a demoličního odpadu (SDO), jehož výroba byla přenesena z laboratorního prostředí do praxe. Vybrané směsi, které byly betonovány v laboratoři, byly následně ověřeny při betonáži v betonárně. Cílem bylo ověřením technologického postupu betonáže a betonáž základového prvku se 100 % náhradou přírodního kameniva (PK) v betonové směsi.

Z dosud publikovaných studií vyplývá, že objemová hmotnost hrubé frakce RCK (4-8, 8-16 mm) se pohybuje mezi 1800 a 2700 kg/m<sup>3</sup> a jemné frakce (0-4 mm) 2000 mezi 2500 kg/m<sup>3</sup> [1–7]. Nasákavost hrubé frakce RCK se pohybuje od 10% do 19% [4–7] a jemné frakce od 12% to 15% [1, 4, 8]. S těmito vlastnostmi je třeba počítat při návrhu receptury.

Ze studií betonů s RCK [4–6] vyplývá, že při náhradě PK do 15 % nedochází ke ztrátě mechanických vlastností, ty byly patrné až při náhradě vyšší než 30% [5]. Při náhradě 20 % došlo k poklesu pevnosti v tlaku o 11 % a při 50% náhradě už jsou vlastnosti na 50 % v porovnání s běžným betonem [6]. Oproti tomu v jiné studiích byla míra náhrady 100 %, pro tyto vzorky byl naměřen pokles pevnosti v tlaku v porovnání s běžným betonem o 35 % a pokles modulu pružnosti byl 50 % [4]. Obdobná studie ukázala pokles pevnosti v tlaku při 90 až 100% náhradě PK o 30 až 40 % a pokles modulu pružnosti o 50-60 % [9]. Všeobecně se výsledky shodují, že u modulu pružnosti dochází k největšímu rozdílu mezi běžným betonem a betonem s recyklovaným kamenivem.

### **2. Ověření výroby v praxi**

Na základě zjištěných vlastností RCK byly navrženy receptury s různým množstvím cementu a různým efektivním vodním součinitelem. Vzorky byly nejprve vyrobeny v laboratoři. Následně byly vybrány směsi pro ověřením betonáže a vlastností v praxi. Betonáž proběhla, z důvodu odladění receptury s ohledem na zpracovatelnost čerstvé směsi. ve dvou etapách (betonáž I a betonáž II). Vyrobené

směsi betonu obsahovaly vždy 100 % RCK a přírodní kamenivo, tak nebylo vůbec použito. Fyzikální, mechanické, deformační vlastnosti a mrazuvzdornost byly zkoušeny dle platných českých norem na trámcích 100×100×400 mm a na krychlich 150×150×150 mm (Obrázek 1).



Vstupní surovina pro RCK – směsný cihelný recyklát

Betonáž zkušebních těles

Vybetonovaná zkušební tělesa

Obrázek 1 Výroba zkušebních těles

## 2.1 Recyklované cihelné kamenivo

Nasákavost a objemová hmotnost byly ověřeny pyknometrickou metodou podle ČSN EN 1097-6. Objemová hmotnost hrubé frakce RCK 4-8 mm se pohybuje mezi 1850 a 2050 kg/m<sup>3</sup> a frakce 8-16 mm mezi 1950 a 2100 kg/m<sup>3</sup>. Nasákavost RCK frakce 4-8 mm se pohybuje od 11,5 do 14,7 % a 8-16 mm se pohybuje od 9,9 do 12,1 %. Ztráta hmotnosti při zmrazování a rozmrazování RCK frakce 4-8 mm se pohybovala mezi 1,9 % až 9,2 % a frakce 8-16 mm od 8,3 % do 20,4 %. Naměřené hodnoty vlastností RCK odpovídají výsledkům předchozích studií [2–13]. Vyšší nasákavost ovlivňuje technologii míchání betonu, protože recyklované kamenivo, je třeba před samotným přimícháním ostatních složek přednasáknout.

Dalšími ověřovanými vlastnostmi byl obsah jemných částic v RCK, který se pro frakce 4-8 a 8-16 mm pohyboval mezi 0,5 % na 1,2 %, u frakce 0-4 mm je to pak 5,0 %.

V rámci ověření vlastností vzorků vyrobených in-situ byly testovány vzorky betonů s využitím RCK. Betonové směsi byly vyrobeny ze dvou typů recyklovaného kameniva (Obrázek 2). V tabulce (Tabulka 1) jsou uvedeny vlastnosti použitého RCK.

Tabulka 1 Vlastností RCK použitého pro betonáž

		Obsah jemných částic [%]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Nasákavost [%]	Mrazuvzdornost [%]
RCK 04/2019	0-4 mm	5,10	-	-	-
	4-8 mm	1,20	2015	12,4	1,9
	8-16 mm	0,50	2020	11,0	8,3
RCK 07/2019	4-8 mm	1,20	2000	11,5	-
	8-16 mm	0,60	2110	9,9	-



RCK AZS frakce 0-4 mm      RCK AZS frakce 4-8 mm      RCK AZS frakce 8-16 mm

Obrázek 2 Recyklované cihelné kamenivo použité pro betonáž vzorků

## 2.2 Betony s recyklovaným cihelným kamenivem

V praxi byla ověřena výroba směsí obsahující pouze RCK. Směsi byly navrženy dle ČSN EN 206 se stejným typem cementu CEM I 42,5 R ale různým množstvím a různým efektivním vodním součinitelem. Vodní součinitel byl vypočítán jako poměr vody a cementu, kdy pro směsi obsahující RCK bylo počítáno s vodou potřebnou na přednasáknutí kameniva, která byla přidána do RCK na základě naměřené nasákavosti a bylo přihlédnuto ke konzistenci směsi měřené v průběhu míchání. Navržené receptury jednotlivých směsí jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 2).

*Vzorky byly vybetonovány ze dvou různých typů RCK. Směsi RECC 320 AZS, RECC 320 AZS I, RECC 280 AZS a RECC 260 AZS byly vyrobeny s jednoho typu RCK, vyrobené směsi však nedosahovaly dostatečné kvality, což bylo pravděpodobně způsobeno kvalitou RCK. Proto bylo přistoupeno k druhé betonáži, kdy bylo použito jiné RCK vyšší kvality a z tohoto RCK byly vybetonovány směsi RECC 320 AZS\*, RECC 320 I AZS \*, RECC 280 II AZS a RECC 260 I AZS. Vlastnosti těchto směsí jsou uvedeny v tabulce (*

Tabulka 3)

Označení RECC znamená, že směsi obsahují recyklované cihelné kamenivo, číslice značí množství cementu v 1 m<sup>3</sup> směsi a římská číslice odlišuje různé vodní součinitele.

Tabulka 2 Složení jednotlivých směsí v [kg/m<sup>3</sup>].

Směs	RECC 320*	RECC 320 I*	RECC 300 II	RECC 280	RECC 280 II	RECC 260 I	RECC 260
Voda	228	225	243	253	234	234	316
Cement	320	320	300	280	280	260	260
RCK 0/4	738	977	697	772	717	736	792
RCK 4/8	96	542	247	97	241	235	92
RCK 8/16	720	-	609	678	596	583	664
Efektivní vodní součinitel	0,50	0,50	0,55	0,65	0,55	0,60	0,65
Vodní součinitel	0,71	0,70	0,81	0,90	0,84	0,90	1,22
*	Směsi vybetonované dvakrát						

Tabulka 3 Souhrnná tabulka vlastností pro všechny zkoušené materiály

Směs	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	Pevnost v tlaku [MPa]	Statický modul pružnosti [GPa]	Dynamický modul pružnosti [GPa]	Kapilární nasákavost [kg/m <sup>2</sup> ]	Index mrazuvzdornosti z pevnosti v tahu za ohybu [%]
RECC 320 AZS*	2046	5,6	23,7	19,5	21,3	2,913	37 %
RECC 320 I AZS*	1980	5,9	20,3	16,9	24,7	5,860	79 %
RECC 320 AZS	1965	3,4	15,6	14,7	20,1	-	0 %
RECC 320 I AZS	1867	3,2	11,6	12,4	16,6	-	0 %
RECC 300 II AZS	1996	3,9	18,2	16,2	21,7	4,633	97 %
RECC 280 II AZS	1960	4,6	17,8	15,4	23,1	1,187	0 %
RECC 280 AZS	1904	2,6	11,7	13,8	19,4	1,547	0 %
RECC 260 I AZS	1997	5,6	15,9	15,1	24,3	-	0 %
RECC 260 AZS	1844	5,9	6,5	NE	17,2	-	NE

### 3. Betonáž prvku prefabrikovaných základů

Na základě ověřených vlastností betonových směsí byla vybrána směs RECC 300 II AZS se 100% náhradou přírodního kameniva recyklovaným cihelným kamenivem, 300 kg cementu CEM I 42,5 R a efektivním vodním součinitelem 0,55, ze které byl prvek prefabrikovaných základů o rozměrech 3200×400×400 mm. Betonáž byla provedena v betonárce AZS 98, s.r.o. Vlastnosti směsí jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 4). Směs RECC 300 II je směs betonovaná v laboratoři a směs RECC 300 II AZS je směs vyrobená v betonárce AZS 98, s.r.o. Z výsledků vyplývá, že při betonáži v praxi dojde k poklesu pevnosti v tlaku, který je o 15 %. Naopak směs betonovaná v praxi měla vyšší modul pružnosti a nižší nasákavost, což vedlo ke splnění požadavku na mrazuvzdornost.

Tabulka 4 Vlastnosti směsí pro výrobu prvku recyklovaných základů

Směs	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	Pevnost v tlaku [MPa]	Statický modul pružnosti v tlaku [GPa]	Dynamický modul pružnosti [GPa]	Kapilární nasákavost [kg/m <sup>2</sup> ]	Nasákavost [%]	Index mrazuvzdornosti z pevnosti v tahu za ohybu [%]	Třída betonu
RECC 300 II	1897	4,0	21,0	13,5	19,9	9,980	16,0	-	LC16/18
RECC 300 II AZS	1996	3,9	18,2	16,2	21,7	4,633	-	97	LC12/13

Postup výroby je ukázán na následujících fotografiích (Obrázek 3).





Vážení RCK



Betonová směs s RCK



Plnění mixu betonovou směsí



Forma prvku prefabrikovaných základů



Plnění formy a vibrování betonové směsi ponorným vibrátorem



Forma prefabrikovaných základů z betonu s RCK – po betonáži



Prvky recyklovaných základů z recyklovaného betonu – na lomu



Zámečky a manipulační úchyty prvků prefabrikovaných základů



Prvky recyklovaných základů z recyklovaného betonu – po odbednění

Obrázek 3 Výroba prvku prefabrikovaného základu



#### 4. Závěr

Příspěvek prezentuje vlastnosti recyklovaného cihelného kameniva ze stavebního a demoličního odpadu a betonů vyrobených v betonárce společnosti AZS 98, s.r.o, a porovnává s betony vyráběnými v laboratoři. Pro účel výběru betonové směsi k betonáži vzorku prefabrikovaných základů bylo vybráno celkem 9 směsí. Tyto směsi obsahovaly pouze RCK, cement a vodu a byla z nich vybetonována zkušební tělesa tak, aby se ověřila jejich výroba v praxi, a zároveň se ověřily vlastnosti k výběru receptury vhodné pro prvek prefabrikovaných základů. Jako určující betonová směs pro účel výroby vzorků a prvku prefabrikovaného základu byla vybrána směs RECC 300 II AZS se 100% náhradou přírodního kameniva recyklovaným cihelným kamenivem, 300 kg cementu CEM I 42,5 R a efektivním vodním součinitelem 0,55.

Ověření v praxi ukazuje využitelnost těchto směsí, ale ještě více klade důraz na kvalitu recyklovaného cihelného kameniva. Dále byla ověřena důležitost měření konzistence betonové směsi s recyklovaným kamenivem, která vypovídá o nasákavosti kameniva a vodě obsažené v tomto kamenivu v době betonáže. Výsledky ukazují nižší objemovou hmotnost, většina směsí se dá zařadit jako lehké betony LC D2,0. Většina směsí pak ukázala nedostatečnou mrazuvzdornost a tedy, že musí být kladen důraz na jejich použití v prostředí, kde nebudou vystavené mrazu a vlhkosti.

#### 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] ALVES, A. V., T. F. VIEIRA, J. DE BRITO a J. R. CORREIA. Mechanical properties of structural concrete with fine recycled ceramic aggregates. *Construction and Building Materials* [online]. 2014, **64**(Supplement C), 103–113. ISSN 0950-0618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.04.037
- [2] MANSUR, M. A., T. H. WEE a S. C. LEE. Crushed Bricks as Coarse Aggregate for Concrete. *Materials Journal* [online]. 1999, **96**(4), 478–484. ISSN 0889-325X. Dostupné z: doi:10.14359/649
- [3] CHEN, How-Ji, Tsong YEN a Kuan-Hung CHEN. Use of building rubbles as recycled aggregates. *Cement and Concrete Research* [online]. 2003, **33**(1), 125–132. ISSN 0008-8846. Dostupné z: doi:10.1016/S0008-8846(02)00938-9
- [4] DEBIEB, Farid a Said KENAI. The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete. *Construction and Building Materials* [online]. 2008, **22**(5), 886–893. ISSN 0950-0618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2006.12.013
- [5] CACHIM, Paulo B. Mechanical properties of brick aggregate concrete. *Construction and Building Materials* [online]. 2009, **23**(3), 1292–1297. ISSN 0950-0618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2008.07.023

- [6] YANG, Jian, Qiang DU a Yiwang BAO. Concrete with recycled concrete aggregate and crushed clay bricks. *Construction and Building Materials* [online]. 2011, **25**(4), 1935–1945. ISSN 0950-0618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.11.063
- [7] UDDIN, Mohammed Tarek, Aziz Hasan MAHMOOD, Md. Rubayet Ibna KAMAL, S. M. YASHIN a Zia Uddin Ahmed ZIHAN. Effects of maximum size of brick aggregate on properties of concrete. *Construction and Building Materials* [online]. 2017, **134**, 713–726. ISSN 0950-0618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.12.164
- [8] KHATIB, J. M. Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate. *Cement and Concrete Research* [online]. 2005, **35**(4), 763–769. ISSN 0008-8846. Dostupné z: doi:10.1016/j.cemconres.2004.06.017
- [9] PAVLU, Tereza, Kristina FORTOVA, Jakub DIVIS a Petr HAJEK. The Utilization of Recycled Masonry Aggregate and Recycled EPS for Concrete Blocks for Mortarless Masonry. *Materials* [online]. 2019, **12**(12), 1923. Dostupné z: doi:10.3390/ma12121923
- [10] CAVALLINE, Tara L. a David C. WEGGEL. Recycled brick masonry aggregate concrete: Use of brick masonry from construction and demolition waste as recycled aggregate in concrete. *Structural Survey* [online]. 2013, **31**(3), 160–180. ISSN 0263-080X. Dostupné z: doi:10.1108/SS-09-2012-0029
- [11] KHALAF FOUAD M. a DEVENNY ALAN S. Properties of New and Recycled Clay Brick Aggregates for Use in Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering* [online]. 2005, **17**(4), 456–464. Dostupné z: doi:10.1061/(ASCE)0899-1561(2005)17:4(456)
- [12] ZHENG, Chaocan, Cong LOU, Geng DU, Xiaozhen LI, Zhiwu LIU a Liqin LI. Mechanical properties of recycled concrete with demolished waste concrete aggregate and clay brick aggregate. *Results in Physics* [online]. 2018, **9**, 1317–1322. ISSN 2211-3797. Dostupné z: doi:10.1016/j.rinp.2018.04.061
- [13] NEPOMUCENO, Miguel C. S., Rui A. S. ISIDORO a José P. G. CATARINO. Mechanical performance evaluation of concrete made with recycled ceramic coarse aggregates from industrial brick waste. *Construction and Building Materials* [online]. 2018, **165**, 284–294. ISSN 0950-0618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.01.052

# UŽITÍ SMĚSNÝCH STAVEBNÍCH RECYKLÁTŮ DO NÁSYPŮ POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

## USE OF RECYCLED BUILDING MATERIALS TO ROAD EMBANKMENTS

Doc. Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací,  
Veveří 331/95, 602 00 Brno, stehlik.d@fce.vutbr.cz

### **Abstract**

*The use of mixed recyclates in layered embankments is currently a very current solution to the lack of suitable natural materials, especially in connection with the planned construction of the D35 motorway and other investment plans related to transport constructions. The alternation of suitable and conditionally suitable materials in the technological layers of the embankments brings some technological problems.*

### **1. Úvod**

Výzkumný projekt technologické agentury České republiky TH04030342 Recyklované stavební materiály pro dopravní stavby se ve druhém roce zabývá využitím stavebně demoličních recyklovaných materiálů do násypu a konstrukce vozovky účelových komunikací se zaměřením na snížení vstupních nákladů při zachování odpovídající kvality konstrukčních vrstev nízkonákladových typů pozemních komunikací. Konkrétně se jedná o účelovou komunikaci k areálu recyklační linky, která má zabezpečit dopravu recyklovaných materiálů na stavbu velkého městského okruhu v Brně a budoucí velkokapacitní záchytná parkoviště na území města Brna.

### **2. Návrh konstrukce vrstevnatého násypu účelové komunikace**

V současné době se stavební firmy při dopravních stavbách potýkají s nedostatkem stavebního materiálu pro násypové konstrukce. Jednou z možností je využití směsných stavebních recyklátů do vrstevnatých násypů, kde se střídají vrstvy ztužující s poddajnými. Tím se ušetří materiál a zároveň násypové těleso plní funkci dle požadavků ČSN 73 6133. V případě zkušebního úseku vrstevnatého násypu, který byl proveden v první polovině roku 2020 v blízkosti recyklační linky firmy Dufonev, R.C., a.s. se jednalo o násyp složený střídáním vrstev směsného recyklátu frakce 0/32 a tříděné recyklované jemnozrnné zeminy klasifikované dle ČSN 73 6133 jako jíla se střední plasticitou (F6CI) míchané se směsným recyklátem do výsledného produktu MZZ. Jedná se o materiál výsledně zařazený jako štěrk hlinitý (G4 GM) s přirozenou vlhkostí okolo 10%. Obsah jemných částic  $f=28\%$ . Maximální objemová hmotnost  $\rho_{d,max} = 1900 \text{ kg/m}^3$  a optimální vlhkost  $w_{opt} = 13\%$ . Stanovení okamžitého indexu únosnosti  $IBI = 28\%$ , kalifornský poměr únosnosti po čtyřdenní saturaci  $CBR = 22\%$ .

V případě ztužujících vrstev z recyklátu byly kladeny technologické vrstvy v tloušťkách 200 mm. Poddajné vrstvy ze směsi MZZ v tloušťkách 200 mm. Celková výška násypu se pohybovala od 1 m do 3,5 m. Horní vrstva násypu byla provedena stmelěním recyklátu cementem dle ověřené receptury chráněné užitným vzorem z řešení výzkumného projektu TA01020333. Využitím střídání vrstev vhodných a podmíněčně vhodných zemín do násypů pozemních komunikací lze uspořít značné množství vhodného přírodního materiálu pro stavbu konstrukce vozovky.





Obrázek 3 Ztužující, drenážní žebro v dolní části prováděného vrstevnatého násypu

V rámci zkušebního úseku účelové komunikace byla v jeho rovinaté části navržena konstrukce vozovky vedená po terénu s náhradou části aktivní zóny směsným recyklátem frakce 0/32 mm. Složení konstrukčních vrstev vozovky odpovídá dopravnímu zatížení, které se předpokládá na této komunikaci přibližně 100 těžkých nákladních automobilů za 24 hodin.

Konstrukce vozovky:

**Asfaltový recyklát 0/22 mm v tl. 100 mm**

**Štěrkodrt' z betonového recyklátu 0/32 mm v tl. 200 mm**

**Vibrovaný štěrku 32/63 mm v tl. 200 mm**, vyplněný v horní vrstvě asfaltovým recyklátem 0/22 mm. Materiál vibrovaného štěrku – betonový případně směsný recyklát.

Pozn. Asfaltový recyklát se do urovnaného nezhuťněného vibrovaného štěrku zavibruje do zatažení povrchu. Volný asfaltový recyklát na povrchu štěrku je nutné odstranit !!!

**Výměna jemnozrnné zeminy za směsný recyklát 0/32 mm v tloušťce 200 mm.**

**Geotextilie 300 g/m<sup>2</sup>**

V současné době je rovinatá část zkušebního úseku ve výstavbě. V rámci kontrolních zkoušek je vyzkoušeno podloží vozovky v úrovni paraplaně, kde byla provedena statická zatěžovací zkouška s výsledkem  $E_{def,2} = 46$  MPa, poměr  $E_{def,2}/E_{def,1} = 1,88$ . Požadovaná hodnota dle projektové dokumentace je na paraplani min.  $E_{def,2} = 30$  MPa a na zemní pláni  $E_{def,2} = 45$  MPa.

### 3. Předpoklady dalšího řešení výzkumného projektu

Po dokončení a důsledném kontrolním zkoušení jednotlivých položených konstrukčních vrstev vozovky účelové komunikaci dle kontrolního zkušebního plánu bude v rámci dalšího období řešení výzkumného projektu prováděn pravidelný monitoring chování místní komunikace kompletně provedené z recyklovaných stavebních materiálů pod přímým zatížením dopravou a povětrnostními vlivy. Pravidelné nedestruktivní kontrolní zkoušení bude prováděno rázovou zatěžovací zkouškou (FWD) s vyhodnocením změn průhybů jednotlivých konstrukčních vrstev

pod rázovým zatížením 50 a 80 kN. Výsledkem bude přepočítání na moduly pružnosti jednotlivých konstrukčních vrstev vozovky a vrstevnatého násypu.

#### **4. Závěr**

Výzkumný projekt TAČR s označením TH04030342 je řešen třemi subjekty: řešitelem firmou Dufonev, R.C., a.s. zabývající se vlastní recyklací stavebních materiálů, stavební firmou Ekostavby, a.s. dodavatelem stavebních prací v řešení zkušební úseku a dalších konkrétních výstupů a Vysokým učením technickým v Brně zabezpečujícím výzkumné zázemí projektu a provádění kontrolních zkoušek na realizovaných zkušebních úsecích. Toto složení výzkumného týmu je optimální nejen pro samotné řešení projektu, ale především pro významné regionální rozšíření využití recyklovaných stavebních materiálů do pozemních komunikací. To se odráží jak v úpravě platných normových předpisů pro použití těchto materiálů do různých konstrukčních částí vozovek, tak také v intenzivnější informovanosti široké odborné veřejnosti a především investorské sféry v dopravním stavitelství. Jedná se o první komplexní řešení s využitím recyklátů do všech konstrukčních vrstev vozovky účelové místní komunikace. V případě vyhovujících výsledků z dlouhodobého zkoušení je toto řešení nízkonákladových vozovek do budoucna jednou z možností, jak prodloužit udržitelný rozvoj dopravní infrastruktury, kde bude možné uplatnění recyklovaných materiálů v maximálním možném množství.

#### **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 pozemních komunikací, technické podmínky Ministerstva dopravy ČR, 1.1.2011, Vysoké učení technické v Brně, Ústav pozemních komunikací, Brno
- [2] TP 170 dodatek č.1 Navrhování vozovek pozemních komunikací – všeobecná část, katalog vozovek, návrhová metoda, Technické podmínky Ministerstva dopravy ČR, 1.9.2010, Vysoké učení technické v Brně, Ústav pozemních komunikací, Brno
- [3] TKP 30 Speciální zemní konstrukce, technické kvalitativní podmínky Ministerstva dopravy ČR, 1.1.2010, Arcadis Praha
- [4] ČSN 73 6133 Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací, UNMZ Praha, 2010
- [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



# VYUŽITÍ DAT Z DRONŮ PŘI ŘÍZENÍ SKLADEK ODPADŮ A RECYKLOVANÝCH HMOT

## USE OF DRONE DATA IN WASTE DISPOSAL MANAGEMENT

Ing. Vladimír Hůda, Ph.D.  
EASYmap a.s., easymap@easymap.cz

### Abstract

*Paper summarizes the possibilities of using drones to obtain information usable in the operation of landfills and in the recycling centers. In this field, drones are mainly used for the creation of maps and 3D models. Data are further used in volumetric calculations. The article also summarizes the possibilities of using other drone based sensors such as a multispectral camera, methane analyzer or magnetometer.*

### 1. Současné možnosti průmyslových dronů

Letadla bez pilota na palubě, častěji nazývaná jako drony jsou létající prostředky, ovládané na dálku pilotem, často s možností samostatného letu po předem připravené letové trase. Tyto bezpilotní prostředky jsou takřka bez výjimky poháněny elektřinou z palubních akumulátorů. Maximální doba letu je 30 až 60 minut, nosnost užitečné zátěže je typicky od 0,2 do 5,0 kg. Základní konstrukční dělení bezpilotních prostředků v této hmotnostní kategorii je podle způsobu vytváření potřebného vztlaku. Největší skupinu tvoří koptéry, které vytvářejí vztlak tahem rotujících vrtulí, přičemž změnou otáček jednotlivých motorů je dron řízen. Tyto drony mají nižší efektivitu využití energie, kratší dobu letu a vynikající manévrovací schopnosti včetně schopnosti visení v prostoru. Další skupinu dronů tvoří ty, i nichž vztlak vytváří křídlo, odtékané okolním vzduchem při dopředné rychlosti. Výhodou těchto typů strojů je delší doba letu, protože využívají energii efektivnějším způsobem, na druhou stranu mají větší nároky na výběr vhodného prostoru pro vzlet a přistání.



*Bezpilotní prostředek typu křídlo a koptéra*

Takřka všechny průmyslové drony jsou vybaveny palubním navigačním systémem využívajícím pro určení polohy příjem signálu z pozičních satelitů sítí GPS (USA), GLONAS (Ruská federace), BEIDOU (Čína) a výhledové evropské GALILEO (EU). Přesnost v určení polohy je v řádu jednotek metrů. Pokročilejší drony, využívající korekčních údajů z pozemních stanic, dokážou svou polohu určit s přesností na



několik centimetrů v reálném čase. Tyto drony se zvláště hodí pro geodetické aplikace a přesná měření.

Přínos dronů spočívá v jejich využití jako nosičů nejrůznějších senzorů pro sběr dat. Nejtypičtějším příkladem senzoru je běžná digitální kamera, která dokáže pořizovat snímky a video ve vysokém rozlišení. Rozšiřuje se také použití dalších senzorů jako například termokamer, multispektrálních kamer nebo zařízení pro vyhodnocování vzorků ovzduší nebo analýzu plynů.

## **2. Využití dronů při nakládání s odpady**

Nejjednodušším způsobem, jak využít přednosti dronů je pořízení letecké fotodokumentace, neboť drony poskytují jedinečnou výhodu získat snímky z dostatečného nadhledu. Snímky je možné využít při dokumentaci, prezentaci nebo ochraně objektů. Tento způsob využití bezpilotních prostředků nevyžaduje žádné zvláštní vybavení ani dovednosti. Podívejme se ale na některé další pokročilé možnosti využití dronů.

### **2.1. Letecká fotogrammetrie**

V současné době je největším přínosem dronů letecká fotogrammetrie, jejímž výsledkem je podrobný digitální model povrchu a fotomapa. Princip fotogrammetrie je podobný jako rekonstrukci 3D scény ze dvou obrazů, jak se to děje i v lidském mozku, kterému data o okolí dodává dvojice očí. Rozdíl je v tom, že při letecké fotogrammetrii se současně zpracovává velké množství snímků s vysokým rozlišením, řádově stovky, častěji tisíce.

Snímky pořizuje dron během letu, který je dopředu naprogramován tak, aby pořízené snímky pokrývaly celé mapované území s dostatečným přesahem. Díky palubnímu GPS přijímači jsou ke snímkům zapisovány i souřadnice míst, ze kterých byly snímky pořízeny. Tyto souřadnice je možné dále zpřesnit pozemním geodetickým měření tak aby se dosáhlo požadované přesnosti na úrovni jednotek centimetrů. Při výpočtu se hledají na dvojici snímků stejná místa na povrchu a ze znalosti polohy snímků, jejich geometrických vlastností a dalších parametrů jsou postupně vypočteny body, které reprezentují mapovaný povrch. Takto je postupně vypočtena množina bodů, označovaná jako bodové mračno. Typické bodové mračno reprezentující objekt jako je areál skládky obsahuje stovky miliónů bodů.

Zpracovaná data jsou přesnou kopií své předlohy a tvoří digitální dvojče mapovaného území. Na modelu – digitálním dvojčeti je možné provádět veškerá geometrická měření jaká by se jinak prováděla přímo v terénu, například měření délek a ploch, měření objemů nebo tvorbu řezů. Modely pořízené v různém čase je možné vzájemně porovnávat a sledovat dynamiku vývoje území.

Rozlišení, tedy míra zobrazených podrobností, modelu je zpracovatelem optimalizováno již ve fázi sběru dat tak, aby na jedné straně bylo dosaženo zobrazení potřebných podrobností a současně aby data měla velikost, která umožňuje pohodlnou práci. Převážná většina modelů v sektoru odpadového hospodářství má rozlišení 1 až 5 cm/pixel. Modely zachycují mapovaný povrch s velkou mírou podrobností a často včetně objektů, které nejsou pro další práci žádoucí. Z toho důvodu je možné po výpočtu bodového mračna provést jeho další

editaci a tyto objekty odstranit. Model povrchu, který byl upraven tak, aby zobrazoval průběh terénu se nazývá digitální model terénu.

Aplikační oblast digitálních modelů povrchu nebo digitálních modelů terénu v oblasti nakládání s odpady je poměrně široká a zahrnuje úlohy jako jsou:

- zaměření a dokumentace **výchozího stavu** zařízení určeného k úpravě odpadů, využití odpadů na povrchu terénu, uložení odpadů, výrobě stavebních hmot z odpadů a podobně
- zaměření a dokumentace **skutečného stavu** zařízení a výpočet změny od výchozího nebo předchozího stavu pro zjištění bilancí hmot do zařízení přijatých nebo vydaných
- zaměření a dokumentace aktuálního stavu pro účely **výpočtu zbytkové kapacity** porovnáním s projektovaným konečným stavem
- zjištění a **doložení množství odpadů v zařízení** se nacházejících pro účely hlášení o nakládání s odpady
- zaměření stavu pro účely zpracování **projektové dokumentace**
- výpočet nebo **ověření bilance** stavebních hmot a mocnosti budovaných konstrukčních vrstev při realizaci stavby
- **monitoring stability** rekultivovaného tělesa skládky, svahů nebo zemních hrází (sedání, sesuvy a zátrhy svahů a podobně)
- **zaměření skutečného stavu** provedení drenážních, odplyňovacích nebo jiných později nepřístupných konstrukcí v tělese skládky před jejich zakrytím
- zjištění **množství materiálu na mezideponiích**, upravených výrobků, ověření výkonů subdodavatelských firem například při třídění nebo drcení
- **vizualizace a 3D animace** pro účely prezentace rozvojových projektů

Jak je patrné z výčtu je častou operací, která navazuje na vytvořený model výpočet objemu nebo porovnání dvou různých stavů povrchu. Tyto výpočty se provádějí na rastrových modelech metodami rastrové analýzy. Na rozdíl od **vektorového** popisu povrchu, kdy podobu terénu zjednodušeně reprezentují vektorové prvky jako plochy (například hladina vodních těles), linie (hrany a paty terénu) nebo body (malé objekty, vrty, bodová pole) popisuje **rastrový** model terén v podobě pravidelné pravoúhlé mřížky, která obsahuje informaci o výšce povrchu v každé buňce. Hustota mřížky, v této souvislosti označovaná jako Ground Sampling Distance (GSD), bývá v rozpětí od 1 do 5 centimetrů/pixel. Při výpočtu objemů nebo zjištění velikosti a smyslu změn v průběhu povrchu mezi dvěma měřeními (přírůstek či úbytek) je vypočten rozdíl ve výškách dvou překrývajících se rastrů pro každou buňku zvlášť.

Při použití běžných geodetických metod je nejistota v určení výšky a polohy bodů zpravidla do pěti centimetrů a v případě potřeby může být tento parametr dále zpřesněn o jeden řád. Nejistota ve výpočtu objemů závisí na tvaru a velikosti měřeného tělesa (skládky nebo výkopu) a dosahuje jednotek procent.

Letecká fotogrammetrie je nejčastější aplikací dronů a její využití rychle roste. V současné době je největším limitem využití této nové metody spíše nízké povědomí potenciálních uživatelů o možnostech, které nabízí. Ve srovnání s tradičními terénními geodetickými postupy je využití fotogrammetrie zpravidla levnější a v každém případě přináší komplexnější informaci o mapovaném území.



*Digitální model povrchu - výřez*

## **2.2. Multispektrální mapování**

Dalším příkladem užitečného senzoru pro sběr dat je multispektrální kamera. Toto zařízení pracuje na podobném principu jako běžná RGB kamera, kterou známe z každodenního života. Rozdíl je v tom, že kromě světelné části spektra propouští i IR část elektromagnetického vlnění, a to v definovaných pásmech, nejčastěji samostatně pro pásmo Green, Red, Near Infrared a Infrared. Kamery často bývají vybaveny také čipem pro záznam RGB obrazu.

Infračervené kamery jsou používané na monitoring stavu vegetace a dokážou odhalit vegetační stres ať už je jeho příčinou nedostatek živin, vláhy, přítomnost škůdců, plísní nebo chorob. Při vyhodnocování se vychází ze skutečnosti, že listy zdravé rostliny s nenarušeným metabolismem pohlcují více energie ve viditelné části spektra, zatímco větší díl energie v infračervené oblasti odrazí. Listy rostlin zatížené stresem reagují opačně. V důsledku toho je zdravé listy jeví jako tmavší zejména v červeném pásmu a světlejší v IR oblasti a stresované listy opačně. Vyhodnocením poměru RED a IR je možné získat představu o míře stresu pro každý bod mapy a získat celkovou představu o stavu vegetace v mapovaném území. Takto získaná data jsou vizualizována v podobě mapy vegetačních indexů, což umožňuje soustředit pozornost na problémová místa a určit dávkování vhodných přípravků tam, kde je jich potřeba.

## **2.3. IR absorpční laserová spektrometrie**

Dalším z typů detektorů s potenciálem pro využití v odpadovém hospodářství je laserový spektrometr pro detekci metanu a metan obsahujících plynů. Společenská a zejména politická poptávka zvyšuje tlak na řešení úniku metanu především u skládek odpadů obsahujících biologicky rozložitelný uhlík. Tyto skládky je vyznačují různě intenzivní produkcí metanu, který je jímán nebo vypouštěn přes vhodný filtr. Laserový detektor metanu dokáže zjistit úniky metanu z existující infrastruktury skládek, tedy studní, sběrných drénů nebo dalších vedení k filtru nebo ke kogenerační jednotce. Metanový laserový detektor využívá paprsek polovodičového laseru a při analýze se vyhodnocuje intenzita odrazu emitovaného paprsku od pozadí. Prochází-li paprsek prostředím s přítomností metanu, dochází k absorpci fotonů laserového paprsku a podle intenzity absorpce molekulami metanu je možné usuzovat na jejich koncentraci.

Teoretická citlivost těchto detektorů je od 1 do 50.000 ppm. Značnou roli však hrají fyzikální faktory měření, především vítr, průběh koncentrace metanu podél detekčního paprsku a další. Spolehlivá spodní hranice detekce v reálném prostředí je 500 až 1.500 ppm.

Senzor měří průběžně s frekvencí 0,1 Hz, za sekundu tedy provede deset měření. Naměřené údaje o koncentraci jsou propojeny s informací o poloze a výsledkem je mapa rozložení koncentrace v mapovaném území.

#### **2.4. Magnetometrické geofyzikální měření**

Mezi detektory pro bezpilotní letadla, které mohou pomoci získat zajímavá data patří detektor magnetického pole – magnetometr.

Tyto detektory jsou používány nejčastěji pro vyhledání neexplodované munice, kdy se vyhledávají lokální odchylky od homogenního magnetického pole způsobené magnetickými částmi munice a také k magnetometrické prospekci, kdy se vyhledávají a vyhodnocují plošná ovlivnění magnetického pole přítomností magneticky reagujících nerostů.

Magnetometry je možné použít například při průzkumu území pro stavbu s cílem nalézt nebo zpřesnit polohu podzemních struktur, starých propustků, ocelových plynových vedení, stavebních konstrukcí nebo důlních děl.

Vlastní detektor je tvořen dvojicí magnetických čidel umístěných na nosiči. Při měření každé z čidel zaznamenává velikost magnetického toku v osách X, Y a Z. Přítomnost magnetického objektu v okolí senzoru se projevuje náhlou změnou v lokálně homogenním magnetickém poli. Velikost změny je závislá na hmotnosti, tvaru a orientaci magnetického tělesa a vzdálenost od senzoru. Magnetometr tedy nedokáže zobrazit a určit přesnou povahu tělesa ale data z něj pomáhají nasměrovat pozornost dalšího průzkumu na konkrétní místa.

Magnetometr bývá umístěn na bezpilotním prostředku přímo nebo pomocí volného závěsu a při mapování je důležité, aby bezpilotní prostředek kopíroval povrch v konstantní, pokud možno nízké výšce.

### **3. Legislativní úprava provozu dronů**

Bezpilotní prostředky se pohybují ve společném vzdušném prostoru, kde platí přísná regulace pro pohyb letadel s lidskou osádkou i bez ní. Pro zachování bezpečnosti je samozřejmě nezbytné, aby každý pilot bezpilotního prostředku dodržoval stanovená pravidla. Autoritou, která stanovuje a vymáhá pravidla je Úřad pro civilní letectví, který také vydává povolení k létání, povolení k provádění leteckých prací nebo povolení ke zvláštním způsobům užívání vzdušného prostoru.

Ke komerčním účelům smí používat dron jen osoba, která je oprávněna k provádění leteckých prací, vlastní letecký provoz může vykonávat pouze pilot, který je držitelem oprávnění pro daný typ a stejně tak každý provozovaný letoun musí být k provozu schválen a mít přidělenou registrační značku. Každý pilot skládá praktický a teoretický test, kterým prokáže znalost pravidel provozu a schopnost bezpilotní prostředek bezpečně řídit.

Provoz bezpilotních prostředků je upraven doplňkem X, leteckého předpisu L 2. Lze zjednodušeně shrnout, že k létání je vymezen vzdušný prostor do výšky 300 m nad povrchem, let nesmí probíhat nad osobami či objekty ani v jejich blízkosti. Za běžných podmínek není možné provádět lety v ochranném pásmu komunikací, dráhy nebo nadzemních vedení. Zvláštní režim platí v blízkosti letišť, kde je provoz dronů vždy potřeba koordinovat s řídicím letového provozu. Zvláštní režim platí pro létání v hustě osídleném prostoru nebo ve zvláště chráněných územích. V národních parcích je provoz možný pouze na základě výjimky. Za bezpečné provedení letu vždy odpovídá dálkově řídicí pilot.

#### **4. Závěr**

Nebývalý rozmach zaznamenávají drony přibližně od roku 2015, kdy se staly uživatelsky natolik přívětivými, že přestaly být doménou nadšenců. Od té doby roste množství aplikací, kde drony ukazují své přednosti. S rozšiřováním a zvyšováním kvality a technických parametrů dronů roste i množství senzorů pro sběr dat i jejich kvalita. V současné době je možné mít dron osazený kvalitní termokamerou, speciální inspekční kamerou, multispektrální kamerou, celou řadou senzorů pro chemickou či fyzikální analýzu ovzduší nebo geofyzikálními přístroji jako jsou georadar nebo magnetometr. Cena komerčních dronů, které jsou použitelné v průmyslové praxi se vytrvale snižuje a stávají se součástí běžné výbavy firem pro dokumentaci jejich činnosti.

Tento trend bude zcela jistě pokračovat a v budoucnu patrně budeme svědky dalšího rozšiřování specializovaných dronů v oblasti mapování a inspekcí a na druhé straně i většího rozšíření dronů provozovaných podnikatelskými subjekty pro vlastní potřebu.

# VÁHY A VÁŽÍCÍ SYSTÉMY V RECYKLAČNÍCH LINKÁCH

Petr Jurča

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

## Kontinuální vážení – pásové váhy

System pásových vah je tvořen jednopražcovou nebo dvojpražcovou vážící 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, výrobních krmných směsí a pod.. 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.

## Instalace tenzometrických snímačů pod podpěry zásobníku





## Instalovaný tenzometrický snímač pod podpěrou



### Stacionární vážení sil a zásobníků

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

### 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 a pod. 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.



**Vyhodnocovací  
jednotka RVS350U**



**Vážící mechanika TS102**



27 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.

#### **NAŠE FIRMA VYRÁBÍ A DODÁVÁ**

- *Pásové váhy*
- *Zásobníkové váhy*
- *Váhy na sila*
- *Mostové váhy*
- *Pytlovací váhy*
- *Linky pro MZK – míchání mechanicky zpevněných betonů*
- *Váhy na BIG-BAG*
- *Váhy pro betonárny*
- *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](http://www.rvs.cz) e-mail: rvs@rvs.cz

# ALTERNATIVNÍ CHODNÍKOVÁ KONSTRUKCE ZE STMELENÝCH RECYKLOVANÝCH MATERIÁLŮ

## ALTERNATIVE SIDEWALK PAVEMENT STRUCTURE BY BOUND RECYCLED MATERIALS

Jméno autora: doc. Ing. Jan Vodička, CSc., Ing. Jan Valentin, Ph.D., Ing. Luboš Musil, František Valentin

Organizace: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, [jan.vodička@fsv.cvut.cz](mailto:jan.vodička@fsv.cvut.cz)  
ČVUT v Praze, Fakulta stavební, [jan.valentin@fsv.cvut.cz](mailto:jan.valentin@fsv.cvut.cz)  
ČVUT v Praze, Fakulta stavební, [lubos.musil@fsv.cvut.cz](mailto:lubos.musil@fsv.cvut.cz)

### **Abstrakt:**

*V rámci experimentálních aktivit na ČVUT v Praze byly propojeny některé poznatky řešené různými pracovišti. Na jedné straně byla optimalizována receptura betonu s využitím maximalizovaného podílu betonového recyklátu v kombinaci s příměsí získanou recyklací textilií a měkkých plastů (např. autosedaček) z automobilového průmyslu, přičemž tento beton byl navržen s takovou mezerovitostí, aby umožnil pohltit větší množství vody, a na straně druhé byla navržená jemnozrná směs drenážního asfaltového koberce, kde se v pojivu uplatnila modifikace aktivovaným pryžovým prachem ze zpracování starých pneumatik. Beton vytvořil podkladní vrstvu, která by v budoucnosti mohla z dešťů absorbovat větší množství srážkové vody, drenážní asfaltový koberec vytvořil obrusnou vrstvu, která umožní rychlé odvodnění povrchu, čímž se zamezí tvorbě kaluží. Opačným potenciálem by mělo být, že voda akumulovaná v betonové podkladní vrstvě by při následném teplejším bezesrážkovém období mohla být odpařována a tím by docházelo k dílčímu ochlazení prostředí v okolí takové konstrukce. V rámci provedené zkoušky byla sledována experimentálně jednoduchou metodou schopnost vodu absorbovat a při laboratorních podmínkách následně i uvolňovat.*

### **1. Úvod**

Příspěvek se zaměřuje na jednu z potenciálně efektivně využitelných cest využití recyklátů ze stavební a průmyslové výroby větších objemů při návrhu, pokládce a využití dopravních ploch určených pro motoristickou i nemotoristickou dopravu (tzn. pěší, cyklisté apod.). Využitelné toto řešení má být především pro parkovací plochy, chodníky a místní komunikace například na sídlištích.

Konstrukci navrhovaného souvrství inovativní úpravy ploch tvoří nosná struktura mezerovitého kompozitu z recyklovaného betonu s příměsí chomáčků získaných recyklací textilií z vyřazených automobilů. Povrchová vrstva skladby je z drenážního asfaltového koberce, u které se uplatňuje modifikace asfaltového pojiva aktivovaným pryžovým prachem či granulátem, který vzniká při recyklaci vyřazených pneumatik.

### **2. Složení konstrukčních vrstev**

Nosná vrstva je vytvořena mezerovitou strukturou kompozitu a vznikne užitím betonového recyklátu odebraného přímo z deponií recyklačních středisek, tj. materiál vyznačující se širokou čarou zrnitosti, například 0/22 mm nebo 0/32 mm, která odpovídá požadavkům kladeným na běžnou šterkodř. Po homogenizaci odebraného objemu recyklátu při míchání směsi doplněním cementového tmele o objemu, který je

nezbytný pro obalení zrn recyklátu a dávkou příměsí textilií (chomáčky z textilií získaných recyklací z vyřazených aut, nazývané v technické praxi jako stered dle patentu PP 50057-2012) vyplňující mezery kompozitu, které vznikají ve struktuře nosné minerální kostry z betonového recyklátu. Takto složenou nosnou vrstvu lze nazvat dále steredbetonem, o kterém bylo blíže pojednáno v předchozích příspěvcích [1], [2]. Mezi základní charakteristiky steredbetonu patří duktilní chování, jelikož stered částečně nahrazuje ztužující vlákna, původně navrženého mezerovitého vláknobetonu, u kterého rovnoměrně rozptýlená vlákna výrazněji mění vlastnosti. Pevnostní charakteristiky jsou potom závislé především na míře hutnění. Pevnost v tahu za ohybu je cca v rozmezí 0,8 – 1,7 MPa, krychelná pevnost v tlaku 8,5 – 13 MPa. Dalšími vlastnostmi steredbetonu je výborná nasákavost tohoto kompozitu a zvýšená požární odolnost.

Horní obrusná vrstva inovativního souvrství může být tvořena drenážním asfaltovým kobercem, který se pokládá až na ztvrdlou nosnou vrstvu steredbetonu. Toto řešení by mělo vyhovět požadavkům na úpravu pochozího povrchu navrhované plochy. Samozřejmě je třeba zdůraznit, že drenážní koberec je jednou z možností, která nebude dle současné praxe v silničním stavitelství aplikovatelná vždy a všude – zde je důvodem především rozhodnutí technické veřejnosti nepřipouštět drenážní koberce na vozovkové konstrukce s motorizovanou dopravou s ohledem k vyšším nárokům na údržbu i pozdější opravy. U chodníkových konstrukcí či cyklistických stezek takové řešení omezeno není. Výhodou tohoto řešení je zvýšená propustnost pro srážkovou vodu, která se tak dostává rychleji do nosné podkladové vrstvy steredbetonu s betonovým recyklátem, kde tato voda může být zadržována a absorbována. Při teplém letním počasí pak následně může díky systému mezer a pórů docházet k postupnému uvolňování vody jejím odpařováním, což by mohlo přispívat k zvlhčování prostředí.

### 3. Funkčnost navrhované skladby konstrukce povrchového souvrství

Nejprve je třeba krátce shrnout parametry obrusné asfaltové vrstvy, jež má primárně plnit funkci rychlého odvedení vody. Jako obrusná vrstva byl zvolen drenážní asfaltový koberec s maximálním zrnem 8 mm (PA 8), přičemž byla zvolena dvě asfaltová pojiva – tradiční polymerem modifikovaný asfalt PMB 25/55-60 a vysokoviskózní asfalt modifikovaný pryží CRMB 25/55-60 V. Složení asfaltových směsí je uvedeno v tabulce 1. Dále jsou v tabulce 2 prezentovány vybrané charakteristiky obou asfaltových směsí.

**Tabulka 1: Složení asfaltových směsí drenážního koberce**

Složka směsi	Podíl ve směsi typu PA	
	PA PMB	PA CRMB V
Žumberk 4/8	75,7	77,3
Markovice 0/4	15,9	14,0
Filer ( VJM)	1,9	1,9
PMB 25/55-60	6,6	-
CRMB 25/55-60 V	-	6,9

**Tabulka 2: Vybrané charakteristiky asfaltových směsí drenážního koberce**

Sledovaná vlastnost	Asfaltová směs	
	PA PMB	PA CRMB V
Objemová hmotnost zhutněného tělesa (kg/m <sup>3</sup> )	2240	2245

Mezerovitost (%-obj.)	16,0	18,1
Modul tuhosti stanovení metodou IT-CY (MPa)		
@0°C	8867	8628
@15°C	2861	4022
@27°C	770	1713
Stékvost: parametr D (%)	0,189	0,204
parametr R (%)	0,0	0,0
Odolnost proti účinkům vody (%)		
ITSR (ČSN EN)	98	88
ITSR (AASHTO – jeden zmrazovací cyklus)	90	83
ITSR NaCl (pět cyklů zmrazování a rozmrazování v roztoku soli)	89	85

Obecně lze funkčnost ve smyslu rychlého odvedení vody a její akumulace ve vrstvě steredbetonu u zamýšlené skladby konstrukce odvodit z výsledků experimentu, které shrnují přednosti obou užitých materiálů (viz tab. 3-4, obr. 2-4). Ukazují perspektivu využití uvedených recyklátů, ale i efekt smysluplného využití dešťové vody.

#### 4. Provedený experiment a výsledky

Zkušební těleso bylo navrženo s cílem prokázat v úvodu popsané vlastnosti souvrství konstrukce inovačních ploch např. parkovišť, chodníků, cyklostezek apod. Sledovanými vlastnostmi byly:

- U obrusné vrstvy míra propustnosti dešťové vody, jakož i rovinnatost a celistvost povrchu, což nejlépe zajišťují drenážní asfaltové koberce nebo drenážní beton.
- U spodní steredbetonové vrstvy
  - únosnost (8,5 – 13,5 MPa)
  - schopnost absorbovat a zachytit dešťové srážky
  - absorbovanou vodu postupně uvolňovat odpařováním



Obrázek 1: Jednoduchý model drenážního asfaltového koberce a steredbetonu s aplikací vody

Pro prokázání těchto charakteristik byl navržen a vyroben model ve tvaru hranolu 300 x 400 mm o výšce 150 mm, vyroben ze steredbetonu s obrusnou vrstvou uloženou na povrch steredbetonu z asfaltového koberce drenážního variantně s využitím tradičního polymerem modifikovaného asfaltu a uplatněním modifikace silničního asfaltového pojiva aktivovaným prachem či granulátem získaného při recyklaci pneumatik. Model byl v horní části (na rozhraní asfaltové vrstvy a steredbetonu opatřen po obvodu asfaltovým natavovacím pásem, který sloužil jako zábrana bočního úniku vody u asfaltové vrstvy z důvodu možnosti co nejlépe simulovat dešťové srážky pronikající obrusnou vrstvou do ložní vrstvy tvořené steredbetonem, viz obrázek 1.

Tabulky 3 a 4 uvádějí záznam výsledků zkoušky propustnosti vody souvrstvím, které tvoří PA vrstva a steredbeton. V případě drenážního asfaltového koberce byla tloušťka vždy 40 mm následovaná akumulací vrstvou steredbetonu o mocnosti 150 mm. Z tabulek je patrný i postup jednotlivých kroků provedení měření akumulace vody ve vrstvě steredbetonu. Celkově přitom byly provedeny čtyři kampaně aplikace vody, mezi kterými byla vždy časová prodleva, aby se umožnilo částečné odpaření vody z vrstvy steredbetonu.

**Tabulka 3: Výsledky testu průtoku a akumulace vody v modelu PA+steredbeton (I. a II. série)**

	<b>PA PMB</b>	<b>PA CPMB</b>
Asfaltová deska PA s utěsněním:	13565 g	13492 g
Steredbeton:	31247 g	31304 g
<b>Celková hmotnost - suchá:</b>	<b>44812 g</b>	<b>44796 g</b>
I. série lití vody (4x1,5 kg):		
Asfaltová deska PA po I. sérii:	6000 g	6000 g
Voda protečená konstrukcí:	13780 g	13726 g
<b>Nasáknuto Steredbetonem - I. fáze:</b>	<b>2406 g</b>	<b>2488 g</b>
II. série lití vody (2x1,5 kg):		
Asfaltová deska PA po I. sérii:	3000 g	3000 g
Voda protečená konstrukcí:	13832 g	13770 g
<b>Nasáknuto Steredbetonem II. fáze:</b>	<b>289 g</b>	<b>352 g</b>
Celkem nasáknuto Steredbetonem:		
- <i>podíl na použité vodě</i>	2695 g	2840 g
Celkem nasáknuto asfaltovou vrstvou:	29,9%	31,6%
- <i>podíl na použité vodě</i>	267 g	278 g
	3,0%	3,1%

Plocha	0,12 m <sup>2</sup>	0,12 m <sup>2</sup>
Aplikovaná voda - jedno nalití	0,0015 m <sup>3</sup>	0,0015 m <sup>3</sup>
- <i>výška vody (m)</i>	0,0125 m	0,0125 m
- <i>výška vody (mm)</i>	12,5 mm	12,5 mm
Aplikovaná voda - celkem	0,0135 m <sup>3</sup>	0,0135 m <sup>3</sup>
- <i>výška vody (m)</i>	0,1125 m	0,1125 m
- <i>výška vody (mm)</i>	112,5 mm	112,5 mm



V rámci každé série testování byla voda aplikována vždy v dávkách 1,5 l, kdy se provedlo měření doby potřebné k jejímu protečení drenážní asfaltovou vrstvou. Doba byla vizuálně stanovena od okamžiku nalití po vstřebání vody a to tak, že na povrchu se netvořily viditelné louže. Mezi první a druhou sérií byla prodleva přibližně 10 minut, během kterých byla vážena asfaltová deska a byla odlita a zvážena voda, která skrz steredbeton protekla na zachytný plech. Je patrné, že u zcela vysušeného souvrství asfaltové a steredbetonové vrstvy byla průtočnost vody velmi rychlá. Postupně se saturovaly mezery v asfaltové vrstvě a rychlost transportu vody klesala.

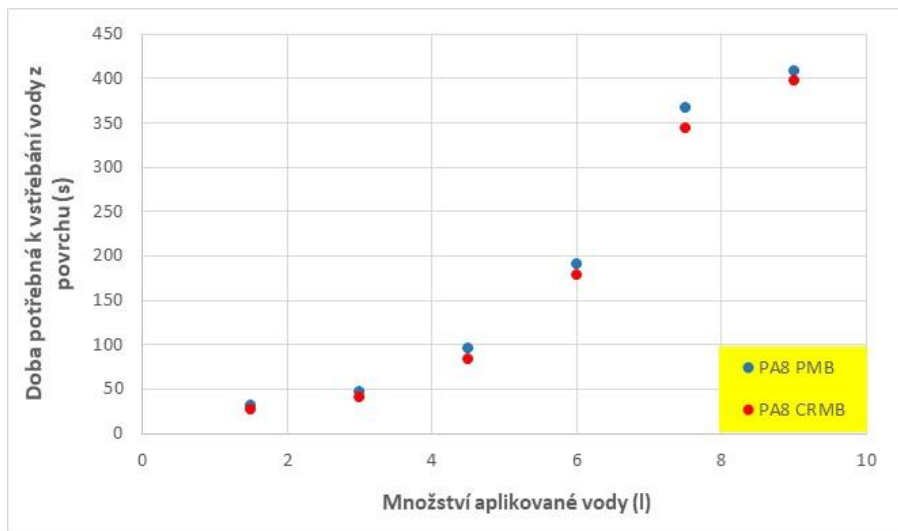
Třetí série byla provedena 92 hodin po prvních dvou sériích s přirozeným vysoušením obou typů materiálu při laboratorní teplotě. U čtvrté série byla prodleva (vztaženo k třetí sérii) dalších 92 hodin, kdy byl model ponechán v laboratorních podmínkách s teplotou 20-25 °C v suchém prostředí.

**Tabulka 4: Výsledky testu průtoku a akumulace vody v modelu PA+steredbeton (III. a IV. série)**

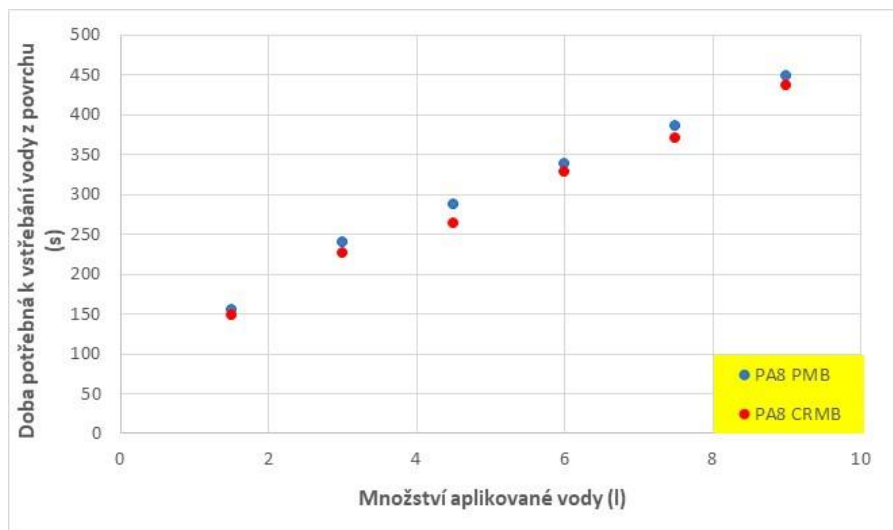
Steredbeton (po 92h vysychání)	32950 g	33186 g
Po I. a II. sérii zůstalo ve steredbetonu:	1703 g	1882 g
III. série lití vody (6x1,5 kg):	9000 g	9000 g
Asfaltová deska PA po III. sérii:	13858 g	13772 g
Voda protečená konstrukcí:	7571 g	7497 g
<b>Nasáknuto Steredbetonem III. fáze:</b>	<b>1265 g</b>	<b>1425 g</b>
Celkem nasáknuto Steredbetonem:	2968 g	3307 g
- <i>podíl na použité vodě</i>	16,5%	18,4%
Celkem nasáknuto asfaltovou vrstvou:	431 g	442 g
- <i>podíl na použité vodě</i>	2,4%	2,5%

Steredbeton (po dalších 92h vysychání)	32750 g	33197 g
Po I. až III. sérii zůstalo ve steredbetonu:	1503 g	1893 g
IV. série lití vody (6x1,5 kg):	9000 g	9000 g
Asfaltová deska PA po IV. sérii:	13834 g	13795 g
Voda protečená konstrukcí:	7278 g	7241 g
<b>Nasáknuto Steredbetonem III. fáze:</b>	<b>1571 g</b>	<b>1647 g</b>
Celkem nasáknuto Steredbetonem:	3074 g	3540 g
- <i>podíl na použité vodě</i>	17,1%	19,7%
Celkem nasáknuto asfaltovou vrstvou:	839 g	861 g
- <i>podíl na použité vodě</i>	4,7%	4,8%

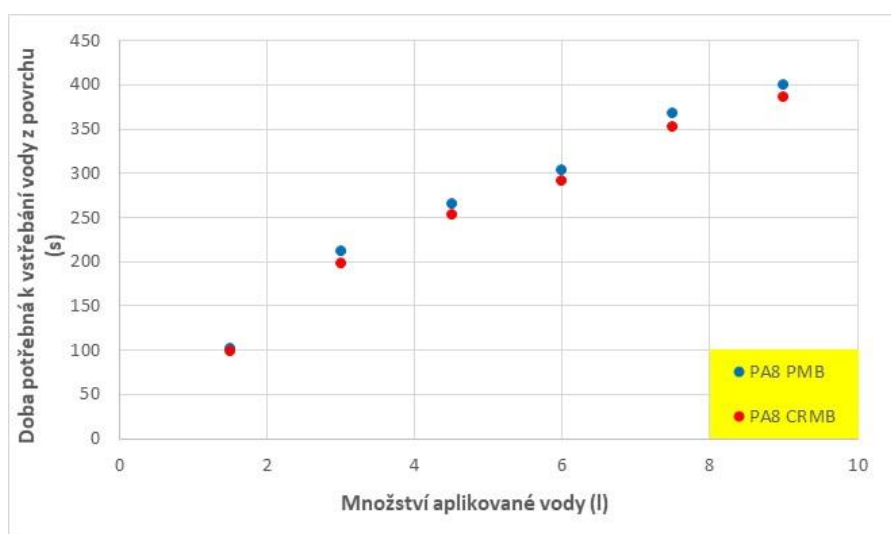




**Obrázek 2: Průběh rychlosti vstřebání vody I. a II. série aplikace**



**Obrázek 3: Průběh rychlosti vstřebání vody III. série aplikace**



**Obrázek 4: Průběh rychlosti vstřebání vody IV. série aplikace**

Prezentované výsledky ukazují jednak kapacitu akumulace protékající vody ve vrstvě steredbetonu a současně i rychlost, kterou postupně přidávaná voda prochází drenážní obrusnou vrstvou a vstřebává se do ložní (podkladní) vrstvy steredbetonu, kde buď zůstává, nebo prochází dále. Ze záznamu výsledků zkoušek jsou patrné i některé nedostatky, jež byly viditelné již v průběhu vlastního experimentu nebo potenciálně mohou ovlivnit celkový výsledek. Předně byl zaznamenán únik vody bočními stěnami modelu. V reálné konstrukci by se taková voda šířila v celé vrstvě, která by měla mnohem větší půdorysné rozměry než vlastní model, a tudíž by k bočnímu úniku nedocházelo, nebo by se do okolního terénu touto cestou dostávalo významně menší množství vody. Tento nedostatek je u modelu řešitelný utěsněním obvodového pláště modelu, kdy by volná zůstala pouze spodní podstava zkušební tělesa (kvádr) ze steredbetonu. Druhým teoretickým nedostatkem je zbytkový separační papír na povrchu asfaltové vrstvy. Ten se používá z důvodu hutnění zkušební desky, aby nedocházelo k nalepování asfaltové směsi na hutnicí segment válce. Standardně se pro tento účel na FSv ČVUT používá pečící papír. Je nicméně diskutabilní nakolik zbytky tohoto papíru mohou ovlivnit vlastní výsledek průniku vody či odpařující se páry. Z našeho pohledu tento vliv bude zanedbatelný. Jistý efekt má i způsob spojení obou vrstev. U laboratorního modelu byla na model steredbetonu položena deska z asfaltového koberce drenážního a tudíž zde nedošlo k přilnutí asfaltové směsi k podkladu. To v reálných podmínkách nastane, přičemž oproti standardním postupům v silničním stavitelství zde nelze aplikovat spojovací postřík, neboť taková vrstva filmu asfaltu by v zásadě znemožnila efektivní průnik vody do vrstvy steredbetonu. Vznikne tím pádem ale souvrství s nedokonalým spojením a s ohledem k smykovým silám, jež jsou při používání vozovek typické, bude takové řešení skutečně omezené pouze na chodníkové konstrukce, kde jsou účinky vodorovných sil mnohem menší, a nehrozí vzájemné klouzání vrstev jedné po druhé.

## 5. Závěr

Obsah článku zachycuje jednu z možností využití recyklátu z odpadových surovin. Bylo by velmi účelné získat investora pro uskutečnění praktické aplikace alespoň pro jeden z uvedených příkladů.

Výsledky zkoušky in situ by měly potvrdit popisované vlastnosti navrhovaného inovačního souvrství na úpravu ploch. Provedením alespoň jedné praktické realizace by mělo otevřít cestu nejen k širšímu využití recyklátu, ale především k zachycení dešťové vody, což je současným cílem celé společnosti.

## Poděkování

*Příspěvek vznikl za finanční podpory studentské grantové soutěže ČVUT v Praze v rámci projektu SGS20/109/OHK1/2T/11 "Zkušební metody a aplikace cementových kompozitů".*

## Literatura

- [1] Šeps, K.; Musil, L.; Vodička, J.; Vlastnosti mezerovitého steredbetonu. In: TOP 2018 - Technika ochrany prostředí. Bratislava: Slovenská technická univerzita, Strojnícka fakulta, 2018. ISBN 978-80-227-4835-3.
- [2] Vodička, J.; Šeps, K.; Hanzlová, H.; Steredbeton vyrobený z recyklátů z odpadových surovin. In: RECYCLING 2017 - Možnosti a perspektivy recyklace stavebních odpadů jako zdroje plnohodnotných surovin. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2017. p. 66-71. ISBN 978-80-214-5485-9.

# VYSOKOHODNOTNÝ BETON S NÁHRADOU JEMNÉ FRAKCE ODPADNÍ DLAŽBOU

## HIGH PERFORMANCE CONCRETE WITH VITRIFIED TILES AS A FULL REPLACEMENT OF FINE FRACTION

Ing. Diana Mariaková, Mgr. Klára Anna Mocová, Ph.D., 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](mailto:diana.mariakova@fsv.cvut.cz)

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

### **Abstract**

*This paper deals with the possibility of use waste tiles from different sources as a replacement for silica flour in high-performance concrete. There is a summary of the available research results focused on waste tiles from ceramic used on walls (CT) and waste vitrified tiles used as floor covering (VT) and our research work, which is focused on VT. The chemical composition of the waste tiles from both sources is examined and evaluated. The results are expected in accordance with Czech standards. The possibilities to use vitrified waste tiles in concrete are described.*

### **1. Úvod**

V době neustálé modernizace, ve které žijeme, je zcela běžné vyměnit střešní krytinu, cihelnou příčku, obklad v koupelně nebo dlažbu na terase či v domě. Vzhledem k pokračující tendenci zlepšovat vlastnosti a trvanlivost výše zmíněných běžně využívaných stavebních a dekorativních materiálů, není většinou důvodem změny ukončení životnosti, a proto je vhodné využít tyto (i jiné) stavební materiály znovu. Využití stavebního materiálu je věnována pozornost zejména proto, že je jeho množství stále velmi vysoké – globálně se množství odpadu zvyšuje [1].

V posledních několika letech bylo jedním z hlavních problémů klesající množství neobnovitelných zdrojů a surovin. Tyto materiály však úzce souvisejí s negativními dopady na životní prostředí - vysokou spotřebou primární energie nebo emisemi CO<sub>2</sub> [2]. Tato otázka souvisí s globálním nárůstem odpadu [1]. Podle nejnovějších údajů Českého statistického úřadu (z roku 2018) je až 41 % tohoto odpadu generováno stavební činností (výstavba, demolice, rekonstrukce atd.). Asi 7-8% celosvětové produkce CO<sub>2</sub> pochází z výroby cementu. V minulých letech byla snaha snížit množství betonu nebo zlepšit jeho dopad na životní prostředí.

Recyklace má již velmi široký význam. Neznamená to nutně pouze opakovatelné využití např. skleněných lahví pro stejný účel stále znovu. Objevuje se snaha tzv. znovuvyužití odpadů v jiných směrech. Proto je možné využít právě odpadní obklady, dlažby, použité cihly či sklo v jiných směrech, než jak byly využity dříve.

Tato práce se konkrétně zabývá možnostmi využití některých odpadních stavebních či dekorativních materiálů v betonu. Stručně jsou zhodnoceny možnosti využití keramiky a odpadní dlažby v betonu i ve vysokohodnotném betonu a zvláštní pozornost je pak věnována odpadní slinuté dlažbě a jejímu využití ve vysokohodnotném betonu.

V rámci těchto záměrů je vhodné uvažovat o vysokohodnotných betonech, které při nižší spotřebě materiálu mohou vykazovat stejné (či lepší) vlastnosti, než betony standardní (klasické pevností aj.). Dále je ve výzkumech často pracováno s možností náhrady některé z primárních surovin v betonu; většinou se jedná o náhradu druhotnou, odpadní surovinou jedné ze složek dané betonové směsi, tj. kameniva či cementu [3]–[5]. Vzhledem ke snaze docílit menší ekologické zátěže je nicméně nutné ověřovat i vlastnosti používaných druhotných surovin, zejména pak v chemickém směru; v rámci této práce bylo ověřeno chemické složení dané odpadní suroviny.

Jako vhodná surovina pro částečnou náhradu cementu (konkrétně křemenné moučky v receptuře, která je využita v tomto výzkumu) byla zvolena odpadní slinutá dlažba, která byla dvakrát přemleta a přeseťa.

## 2. Materiály a metody

### 2.1. Keramická dlažba

Keramické materiály se mohou stát levnější variantou přídatného pojiva pro malty a betony - s téměř rovnocennými vlastnostmi [6]. Tato otázka je však specifická kvůli náročným výrobním technologiím a procesům vypalování jílu. Je možné použít keramický odpad v betonu v různých formách. Všechna tato tvrzení podporují studie zkoumající chemické složení, morfologii vzorků nebo množství keramického odpadu, které lze přidat do betonu [7], [8]. Ve vědecké oblasti se nedávno objevil výzkum, který zkoumá náhradu kameniva odpadní keramikou. Náhrada kameniva dosahuje až 100 % s minimálním poklesem mechanických vlastností. Zhruba 10% - 40% portlandského cementu je ve studiích nahrazeno keramickým odpadem [9], [10]. Výzkum mikrostruktury ukázal, že přidání odpadní keramiky do betonu významně neovlivňuje hydrataci cementu [7].

### 2.2. Odpadní slinutá dlažba

3. **Tabulka 1.** Navrhovaná receptura HPC s odpadní slinutou dlažbou.

Složka	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	m [kg]	V [m <sup>3</sup> ]
Cement I 42.5R	3110	680	0,219
Kamenivo	2650	960	0,362
<b>Křemenná moučka / Odpadní slinutá dlažba</b>	<b>2650</b>	<b>325</b>	<b>0,123</b>
Mikrosilika	2100	175	0,083
Superplastifikátory	1025	29	0,028
Voda	1000	171	0,171
		2340	1,00

Využití odpadní slinuté dlažby v betonu je výhodné z více hledisek; zejména je to právě ekologický dopad, který např. v případě produkce cementu je nezanedbatelnou položkou. Konkrétně se jedná o úspory energie, zachování přírodních zdrojů a snížení celkových nákladů na produkci [11]. Byl proveden výzkum o využití slinuté dlažby jako pucolánový materiál při výrobě betonových střešních tašek. Zkoumána byla mikrostruktura a morfologie tohoto betonu [12].

Tento příspěvek se zabývá možnostmi kompletní náhrady křemičité mouky odpadní slinutou dlažbou z podlahové krytiny. Řešeno je zejména chemické složení a ekologická vhodnost odpadní slinuté dlažby pro další využití v betonu. Receptura (**Tabulka 1**) byla vyvinuta na Katedře pozemních konstrukcí na ČVUT v Praze v posledních letech. Vodní součinitel je roven 0,27.

#### 4. Experimentální část

##### 4.1. Chemická analýza

Prvek (mg/L)	Keramický obklad	Slinutá dlažba
Cu	<0.02	<0.02
Ni	<0.02	<0.02
Zn	0.02	~ 0.01
As	< 0.5	< 0.5
Cd	< 0.005	< 0.005
Cr	< 0.04	~ 0.06
Sb	< 0.1	< 0.1
Ba	< 0.1	< 0.1
Hg	< 0.001	< 0.001
Pb	< 0.04	< 0.04
Se	< 0.5	< 0.5
B	< 0.1	< 0.1
Mo	< 3.0	< 3.0
V	~ 0.35	< 0.3
Ca	50.6	113.0
Na	2.63	13.4

Byla provedena chemická analýza, kovy byly změřeny ve výluhu atomovou absorpční spektroskopií (přístroj Agilent 280FS AA s plamenovou technikou atomizace). Všechny prvky požadované vyhláškou o odpadech (tedy bez Ca a Na) byly velmi nízké – hluboko pod limitem. Většina prvků (od Cu po V včetně) byla naměřena v souladu s vyhláškou MŽP – hodnocení ekotoxicity odpadů. Barevně jsou označena pole, kde byla naměřena hodnota nad detekčním limitem.

##### 4.2. Pevnost v tlaku

Na základě pozitivních výsledků z chemické analýzy byla provedena betonáž referenční směsi (HPC) a směsi s obsahem odpadní slinuté dlažby. Náhrada křemenné moučky dosahovala 100 %. Byly vybetonovány testovací vzorky 100 x 100 x 100 mm po 5ks a následně testovány na pevnost v tlaku. Průměrná hodnota pevnosti

v tlaku dosáhla u referenční směsi HPC 94,278 MPa. U směsi se 100 % náhradou křemenné moučky odpadní slinutou dlažbou dosahovala průměrná hodnota pevnosti v tlaku 99,653 MPa.

## 5. Závěr

V rámci výzkumu byla shrnuta řešení využití odpadních materiálů na bázi keramiky a jílu. Byla provedena chemická analýza, která potvrdila ekologickou nezávadnost odpadních materiálů využívaných v tomto výzkumu. Následně byly vybetonovány vzorky na testování pevnosti betonu v tlaku, kdy hodnoty betonových vzorků s obsahem odpadní dlažby dosahovaly pevnosti v průměru o 5 MPa vyšší než referenční vzorek vysokohodnotného betonu. V návaznosti na výsledky bude dále testována ekologická nezávadnost samotných betonů s obsahem těchto odpadních materiálů a bude dále optimalizována směs s obsahem odpadní slinuté dlažby za účelem dosažení co nejvyšších pevností v tlaku.

## 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. Tuto práci podpořila dale také Grantová agentura ČVUT v Praze, grant č. SGS19 / 093 / OHK1 / 2T / 1 - Využití odpadních surovin v designových prvcích z vysokohodnotných betonů.

## Reference

[1] L. Brožová a K. Kuntová, „RECYKLACE STAVEBNÍHO DEMOLIČNÍHO ODPADU A JEHO VYUŽITÍ U POZEMNÍCH STAVEB“, *BIT*, roč. VI, č. 2, s. 32–50, 2016, doi: 10.14311/bit.2016.02.05.

[2] V. Mlčochová, „New findings about recycled concrete“, in *Recycling 2006 - Možnosti a perspektivy recyklace stavebních odpadů jako zdroje plnohodnotných surovin*, Brno, 2006.

[3] D. Mariaková, T. Vlach, a T. Pavlů, „Glass waste powder utilization in high performance concrete“, *Acta Polytechnica CTU Proceedings*, roč. 21, s. 24–27, bře. 2019, doi: 10.14311/APP.2019.21.0024.

[4] T. Pavlů, „Možnosti využití odpadního skla ve stavebnictví“, prezentováno v *Recycling 2017*, Brno, 2017.

[5] J. M. Khatib, E. M. Negim, H. S. Sohl, a N. Chileshe, „Glass Powder Utilization in Concrete Production“, *European Journal of Applied Science* 4, doi: 10.5829/idosi.ejas.2012.4.3.1102.

[6] E. Vejmelková, M. Ondráček, M. Sedlmajer, a R. Černý, „Fine-ground ceramics as an alternative binder in high performance concrete“, Tallinn, Estonia, čer. 2010, s. 91–98, doi: 10.2495/HPSM100091.

[7] D. M. Kannan, S. H. Aboubakr, A. S. EL-Dieb, a M. M. Reda Taha, „High performance concrete incorporating ceramic waste powder as large partial replacement of Portland cement“, *Construction and Building Materials*, roč. 144, s. 35–41, čvc. 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.03.115.

[8] P. O. Awoyera, J. M. Ndambuki, J. O. Akinmusuru, a D. O. Omole, „Characterization of ceramic waste aggregate concrete“, *HBRC Journal*, roč. 14, č. 3,



s. 282–287, pro. 2018, doi: 10.1016/j.hbrcj.2016.11.003.

[9] N. Ay a M. Ünal, „The use of waste ceramic tile in cement production“, *Cement and Concrete Research*, roč. 30, č. 3, s. 497–499, bře. 2000, doi: 10.1016/S0008-8846(00)00202-7.

[10] T. Kulovaná, *Vliv jemně mleté keramiky na vlastnosti cementových kompozitů*, 2018. vyd. Praha.

[11] R. Kaminskas, J. Mituzas, a A. Kaminskas, „The effect of pozzolana on the properties of the finest fraction of separated portland cement“, *Materials Science*, 2006.

[12] M. I. Sánchez De Rojas, F. P. Marín, M. Frías, a J. Rivera, „Properties and Performances of Concrete Tiles Containing Waste Fired Clay Materials“, *J American Ceramic Society*, roč. 90, č. 11, s. 3559–3565, lis. 2007, doi: 10.1111/j.1551-2916.2007.01944.x.

# NEJLEPŠÍ DOSTUPNÉ TECHNIKY PRO ÚPRAVU A RECYKLACI STAVEBNÍHO A DEMOLIČNÍHO ODPADU

## BEST AVAILABLE TECHNIQUES FOR CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE TREATMENT

Ing. Karolína Keprtová

Mgr. Jan Kolář

CENIA, česká informační agentura životního prostředí, karolina.keprtova@cenia.cz

### **Abstract**

*Waste prevention is the best approach according to the waste hierarchy, but there are activities which can't avoid waste production. Such activities include construction activities, in particular demolition and landscaping. If waste is generated, its recycling is desirable. Recycling installations should be beneficial to the environment and should therefore meet high environmental standards. For this purpose are BAT (Best Available Techniques) widely used.*

### **1. Úvod**

Zákon č. 185/2001 Sb, o odpadech stanovuje hierarchii pro nakládání s odpady, přičemž je prioritou předcházení vzniku odpadů [1]. U činností, jako jsou například demoliční práce, však není prevence vzniku odpadů reálná, je tedy žádoucí vznikající odpad efektivně využívat. Technologie pro úpravu a recyklaci stavebních a demoličních odpadů (SDO) musí nejen splňovat výkonnostní požadavky provozovatelů, ale musí být také šetrné k životnímu prostředí. Pro hodnocení environmentální šetrnosti lze použít různé přístupy. Obecně použitelné a v Evropské unii běžně aplikované je porovnání techniky úpravy, případně recyklace SDO s nejlepšími dostupnými technikami – BAT.

### **2. Integrovaná prevence a omezování znečištění**

Vstupem do Evropské unie roku 2004 se Česká republika zavázala k dodržování evropské environmentální legislativy na národní úrovni. Jedním z právních předpisů přejatých z Evropské unie je i právní úprava integrované prevence a omezování znečištění. Transpozicí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/75/EU o průmyslových emisích IED do českého právního systému, která ukotvuje integrovaný přístup k ochraně životního prostředí, vznikl zákon č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a o omezování znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů (zákon o integrované prevenci) [2].

Integrovaná prevence a omezování znečištění, zkráceně IPPC (z angl. Integrated Pollution Prevention and Control) je řada opatření zaměřených na omezování znečištění, emisí do jednotlivých složek životního prostředí a omezování vzniku odpadů, případně jeho další využití. Tento integrovaný přístup je založen nejen na použití koncových technologií, ale zejména na aplikaci preventivních opatření. Jako preventivní opatření lze označit výběr postupů a technologií, které jsou šetrné k životnímu prostředí jako k celku. Tyto technologie jsou označovány jako nejlepší dostupné techniky BAT (z angl. Best Available Techniques), které jsou obsaženy

v referenčních dokumentech nejlepších dostupných technik BREF (z angl. Reference Document on Best Available Techniques), případně jako obecná hlediska BAT v příloze č. 3 zákona č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci. BREFy, jako souhrny evropských nejlepších dostupných technik, jsou pro všechny členské státy jednotné. Z tohoto důvodu lze vyhodnocení souladu s BAT považovat za univerzální ověření šetrnosti výrobních procesů k životnímu prostředí. Je nutné zdůraznit, že posouzení nepodléhá pouze samotná technologie (strojové vybavení), ale i celý proces, včetně způsobu provozování technologie [3].

Smyslem IPPC je regulovat průmyslové a zemědělské činnosti uvedené v příloze č. 1 zákona o integrované prevenci, ale principy IPPC je možné aplikovat i na zařízení mimo působnost zákona o integrované prevenci. V případě recyklačních zařízení pro SDO nelze uplatit žádnou z kategorií činností uvedených v příloze č. 1 k zákonu č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci. Zákon o integrované prevenci se tedy na čistě mechanickou úpravu ostatního odpadu nevztahuje. Avšak díky obecné aplikovatelnosti lze uplatnit hodnocení souladu s BAT i na technologie pro úpravu a recyklaci SDO.

### 3. Vyhodnocení souladu s BAT

Pro porovnání technologické sestavy pro úpravu nebo recyklaci SDO s BAT lze uvažovat dva přístupy.

První přístup aplikuje vyhodnocení souladu se závěry o nejlepších dostupných technikách (dále jen „závěry o BAT“) uvedenými v rozhodnutí č. 2018/1147/EU, kterým se stanoví závěry o nejlepších dostupných technikách (BAT) podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/75/EU o průmyslových emisích pro zpracování odpadu. Závěry o BAT jsou rozděleny na dvě části, na obecné závěry o BAT a závěry pro jednotlivé procesy zpracování odpadů. Vzhledem k výše zmíněnému je použití závěrů o BAT limitováno pouze na obecné závěry o BAT a jedno hledisko BAT pro mechanickou úpravu odpadu.

Obecné závěry o BAT pro zpracování odpadu obsahují 28 kritérií. Kritéria jsou tematicky rozdělena na následující části [4]:

- Celková environmentální výkonnost – hlediska hodnotí zavedení a aktivní aplikaci systému environmentálního řízení (EMS), zavedení postupů charakterizace odpadů před přejímkou, postupy přejímky odpadů, jeho sledování, skladování a manipulaci s ním. Dále je za účelem snižování emisí do vody a ovzduší hodnoceno vytvoření a udržování přehledu toků odpadů, odpadních vod a plynů. V této části lze jako pozitivní hodnotit certifikaci dle ČSN EN ISO 14001 a 9001.
- Monitorování – hlediska hodnotí monitorování klíčových parametrů procesů, monitorování emisí do vody a ovzduší a jeho minimální četnost. Tato část hodnotí i sledování fugitivních emisí a emisí pachových látek.
- Emise do ovzduší – hlediska hodnotí přístupy k zamezení vzniku emisí pachových látek a rozptýlených emisí. V této části je hodnoceno i snižování emisí ze spalování na flérách, které není pro úpravu a recyklaci SDO relevantní.
- Hluk a vibrace – hlediska hodnotí postupy k omezování hluku a vibrací. Mezi techniky uvažované pro plnění těchto hledisek patří například zařízení s nízkou

hlučností nebo vybavení ke snižování hluku a vibrací (akustické izolace, protihlukové kryty apod.).

- Emise do vody – hlediska hodnotí postupy předcházení vzniku odpadních vod a jejich čištění. Dále stanovují úroveň emisí spojené s BAT, tedy limitní koncentrace jednotlivých znečišťujících látek. Tato část není až na výjimečné případy relevantní pro úpravu a recyklaci SDO.
- Emise z havárií a nehod – hledisko hodnotí předcházení haváriím a nehodám.
- Materiálová účinnost – hledisko hodnotí nahrazení materiálu odpadem. Toto hledisko je v případě recyklace SDO plněno, neboť je v tomto případě nahrazována primární surovina (kamenivo, betonová směs apod.) upraveným odpadem. Při úpravě SDO bez následné přímé recyklace nelze toto hledisko zhodnotit.
- Energetická účinnost – hledisko hodnotí účinné využívání energie evidencí energetické bilance a plánem energetické účinnosti.
- Opakované využití obalu – v případě, že je odpad přijímán v jakémkoli obale, je hodnoceno jeho opětovné použití.

Závěry o BAT pro mechanickou úpravu odpadu hodnotí techniky pro snižování emisí prachu. Toto hledisko je vzhledem k postupům úpravy a recyklace SDO relevantní a vzhledem k celému procesu lze považovat emise prachu (společně s emisemi hluku) za jediné emise vznikající při úpravě a recyklaci SDO.

Druhý přístup aplikuje vyhodnocení souladu s přílohou č. 3 k zákonu č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci, která obsahuje 12 hledisek, jejichž splnění je nutné pro kladné zhodnocení souladu s nejlepšími dostupnými technikami.

Níže uvedená hlediska jsou doplněna o informace relevantní pro zařízení úpravy a recyklace stavebního a demoličního odpadu [5].

1. Použití nízkoodpadové technologie – recyklační zařízení upravují SDO za vzniku recyklátu, který při splnění požadavků zvláštních právních předpisů nebude odpadem, nejedná se však o předcházení vzniku odpadů. Může vznikat malé množství odpadu jako výsledek separací nežádoucích příměsí. V případě úpravy SDO se jedná pouze o změnu zrnitosti, avšak změna fyzikálních vlastností je pro následnou recyklaci nutná.
2. Použití látek méně nebezpečných – v případě, že se nejedná například o střediska recyklace asphaltových směsí, v nichž je nutné použití nezbytného množství aditiv, pojiv a rejuvenátorů, není toto hledisko pro recyklaci SDO relevantní.
3. Podpora využívání a recyklace látek, které vznikají nebo se používají v technologickém procesu, případně využívání a recyklace odpadu – toto hledisko je splněno v případě, že je naplněna legislativní definice recyklace, tedy pokud bude recyklát využit jako materiál nikoliv pro zásypy, ale jako náhrada za přírodní kamenivo ve výrobě stavebních materiálů. Výhodou u mobilních technologií může být případné využití vzniklého recyklátu přímo v místě jeho vzniku.
4. Srovnatelné procesy, zařízení či provozní metody, které již byly úspěšně vyzkoušeny v průmyslovém měřítku – pro toto hledisko jsou využívány referenční provozy, případně obdobná využití jednotlivých technologií. Cílem je

označit technologii za běžně využívaný proces s ověřenou technologií, popřípadě proces unikátní s přínosem pro využívání zdrojů nebo ochranu životního prostředí.

5. Technický pokrok – hledisko technického pokroku zajišťuje použití moderních technologií, které splňují emisní požadavky a energetickou efektivitu.
6. Charakter, účinky a množství příslušných emisí – emisemi jsou obecně označovány emise do ovzduší, do vody, emise hluku a emise vibrací a neionizujícího záření. Každá technologie je hodnocena individuálně, podle dopadu výroby na jednotlivé složky životního prostředí. Emise do ovzduší jsou však obecně hodnoceny u všech recyklačních zařízeních SDO, přičemž je nutné dbát na předcházení vzniku emisí prachu z drcení, mletí a třídění.
7. Datum uvedení nových nebo existujících zařízení do provozu – je hodnoceno dle individuálních projektů a jedná se pouze o informativní hledisko.
8. Doba potřebná k zavedení nejlepších dostupných technik – podstatou celého hodnocení je zajištění zavedení BAT již v projektové fázi, tudíž toto hledisko musí být vždy plněno.
9. Spotřeba a druh surovin (včetně vody) používaných v technologickém procesu a energetická účinnost – hledisko stanovuje požadavek na energetickou a surovinovou efektivitu. Pro splnění tohoto hlediska je nutné evidovat a vyhodnocovat spotřebu energií a médií tak, aby zařízení využívalo zdroje efektivně. Do hodnocení tohoto hlediska lze zahrnout recirkulaci vody, hybridní pohony strojů apod.
10. Požadavek prevence nebo omezení celkových dopadů emisí na životní prostředí a rizik s nimi spojenými na minimum – požadavek prevence je plněn striktním dodržováním technologických postupů. Dále je zde souhrnně hodnocen přístup k omezování emisí do složek životního prostředí, tedy případné použití technologií pro čištění emisí do ovzduší, případně čištění odpadních vod.
11. Požadavek prevence havárií a minimalizace jejich následků pro životní prostředí – obecně lze tvrdit, že zařízení pro recyklaci SDO nespádají pod působnost zákona č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsmi [6]. Z hlediska prevence v ochraně životního prostředí a bezpečnosti bude toto hledisko plněno důsledným dodržováním provozních postupů i předpisů, pravidelnou údržbou a kontrolou.
12. Informace zveřejňované mezinárodními organizacemi – hledisko zahrnuje přehled mezinárodních informací a postojů k dané problematice. Může se jednat například o různé dokumenty vydávané Evropskou komisí, případně informace z mezinárodních asociací sdružujících jednotlivé společnosti produkující nebo recyklující SDO, případně stavebníky.

### **3. Závěr**

Úprava SDO může v případě následné recyklace vzniklého materiálu přispívat k podpoře oběhového hospodářství. Materiál, který byl odpadem, je po úpravě zrnitosti

a třídění znovu použít jako součást recyklovaných stavebních materiálů. Pro hodnocení komplexního přínosu recyklačních technologií k ochraně životního prostředí lze využít hodnocení hledisek BAT. Hlediska BAT jsou obecně aplikovatelná na širokou škálu zařízení i v případě, že svou činností přímo nenaplňují kategorie v příloze č. 1 zákona č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci. Vyhodnocení souladu technologií úpravy a recyklace SDO s hledisky BAT lze provádět za použití dvou přístupů – porovnání technologií se závěry o BAT pro zpracování odpadu a porovnání s přílohou č. 3 zákona o integrované prevenci. Obecně je pro splnění hledisek BAT zásadní použití technologií šetrných ke všem složkám životního prostředí. V případě, že zařízení produkuje jakékoliv emise, je žádoucí jim v první řadě předcházet, případně omezovat jejich množství nebo čistit proudy odpadních plynů a vod.

#### 4. Literatura

- [1] Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů
- [2] KEPRTOVÁ, K., KOLÁŘ, J. INTEGROVANÁ PREVENCE JAKO NÁSTROJ PRO EFEKTIVNÍ A EKOLOGICKY ŠETRNOU VÝROBU. *CHEMAGAZÍN*, 2019, vol. 29, no. 6, p. 8–9.
- [3] KEPRTOVÁ, K., KOLÁŘ, J. Použití BAT pro úpravu a recyklaci stavebního a demoličního odpadu. *Stavebnictví* [v tisku]. 2020, no. 9.
- [4] Provděcí rozhodnutí Komise (EU) 2018/1147 ze dne 10. srpna 2018, kterým se stanoví závěry o nejlepších dostupných technikách (BAT) podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/75/EU pro zpracování odpadu.
- [5] Zákon č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a o omezování znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů (zákon o integrované prevenci)
- [6] Zákon č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsmi a o změně zákona č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů, (zákon o prevenci závažných havárií)



# RECYKLACE TEPELNĚ IZOLAČNÍCH MATERIÁLŮ VE STAVEBNÍM ODVĚTVÍ

## RECYCLING OF THERMAL INSULATION MATERIALS IN THE BUILDING INDUSTRY

Ing. David Průša

prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc., Ph.D.

doc. Ing. Karel Šuhajda, Ph.D.

Ing. Josef Polášek

Stavební fakulta VUT v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno

### **Abstrakt**

*Předložená práce se zabývá možností recyklace tepelně-izolačních materiálů, např. polystyrénů a minerální vlny, nejen z nemovitostí po demolici, ale i z materiálů, které vznikly odpadem po výstavbě novostaveb. Zkouší se jako plnivo do velmi lehkých betonů za účelem výplně dutin keramických tvarovek a jako plnivo do samonivelačních betonů.*

### **Abstract**

*This aim of task deals with the properties and the possibility of recycling thermal insulation materials such as polystyrene and mineal wool, not only from the demolition but also from materials left over after the construction of the new buildings. These materials are tested as filler for light weight concrete to fill the cavities of ceramic fitting, as filler for self compacting concrete (SCC) and for the production of acoustic facing.*

## 1. Úvod

Výrobci dutinových dílců, zejména pak keramických dutinových tvarovek, deklarují nejen mechanické vlastnosti výsledného výrobku, ale i hodnoty tepelně technických veličin, zejména hodnotou tepelného odporu, součinitele prostupu tepla a také ekvivalentní součinitele tepelné vodivosti. Z hlediska zlepšení tepelně technických vlastností bylo zjištěno, že je vhodné dutiny těchto dílců vyplnit tepelně izolačním materiálem. Dosáhneme se tak nejen zlepšení zmíněného tepelného odporu, ale zároveň omezíme vliv tepelných mostů, které by jinak mohly vzniknout zásahem do skladby konstrukce.

V současné době se využívají pro výplně těchto dutin ušlechtilé tepelně izolační materiály, nicméně je snaha nahrazovat je různými odpadními materiály. To má nesporný důsledek nejen na výslednou cenu dílce, ale i na ekologickou stopu. Tím se míní zejména znovuvyužití odpadního polystyrénu a odpadní minerální vlny, která by se jinak musela skládkovat. Právě minerální vlna je z hlediska ekologie problém, jelikož spadá do kategorie nebezpečných odpadů a jako odpadní materiál se tudíž musí skladovat na skládkách pro stavební odpad, přičemž cena za skládkování 1 t materiálu činí přibližně 1750 Kč. Není zde možnost minerální vlnu (ani polystyrén) zpracovat na palivo z důvodu přítomnosti inhibitorů hoření. Možnosti znovuzhodnocení a průmyslové recyklace se tedy v současné době příliš nerozvíjejí.

Polystyrén je obecně materiál skládající se z diskretních vzduchových dutin v polymerové matici, jehož hlavní vlastností je velmi nízká hodnota objemové hmotnosti, je stabilní, hydrofobní, trvanlivý, vykazuje kvalitní spojení s cementovou maticí. Recyklovaný polystyrén se rozdrťí na malé kusy s drsným povrchem, což oproti hladkým granulím umožňuje vznik pevnější zóny mezi plnivem a pojivem. Mimo to lze také prodloužit trvanlivost výsledného kompozitu. Ferrándiz-Mas a García-Alcocel během svého výzkumu zjistili, že použití recyklovaného pěnového polystyrénu snížilo kapilární absorpci a díky schopnosti polystyrénu lépe absorbovat krystalizační tlaky zlepšilo celkovou mrazuvzdornost kompozitu.

Minerální vlna naproti tomu je obvykle složena z čedičových vláken opatřených silikonovým olejem. To má za následek její hydrofobní vlastnost i nehořlavost. Prozatím nebyl proveden dostatečný výzkum využití odpadní minerální vlny a fakticky neexistuje technologie, která by tento materiál účelně zpracovávala.

V tomto příspěvku je navrženo a porovnáno několik typů záměsí, které se liší množstvím tepelně izolačních recyklovaných materiálů a dávkou pojiva. Jsou studovány tepelné, mechanické a fyzikální vlastnosti výsledných směsí.

## 2. Materiály pro výplňové směsi

Složení jednotlivých záměsí je uvedeno v tabulce 1. Pro jejich přípravu bylo využito silikátové pojivo – cement – CEM I 42,5 R,  $\beta$ -sádra a  $\alpha$ -sádra. Jako plnivo byl využit Styrobal drcený; jedná se o polystyrénové granule kulovitého tvaru, přičemž byla vytříděna frakce 0 – 12 mm a 0 – 4 mm. Dále byla využita rozvlákněná minerální vlna z fasádních desek. Návrh směsi se řídil požadavkem dosažení maximální pevnosti v tlaku při zachování nízké objemové hmotnosti. Z každé záměsi byly vyformovány vzorky, na kterých byly zkoumány zmíněné vlastnosti. Snahou je optimalizovat skladbu vstupních surovin, tj. zvolit minimální dávku pojiva při zachování dostatečné manipulační pevnosti, konzistence čerstvé směsi a minimální objemové hmotnosti. Hutnění směsí proběhlo pomocí vibračního stolku.

Složka	Jednotka	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CEM I 42,5 R	$kg \cdot m^{-3}$	625	625	556	526	387	-	-	526	-	-
EPS 0 – 4	$kg \cdot m^{-3}$	62,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EPS 0 – 12	$kg \cdot m^{-3}$	-	62,5	111,1	157,9	64,5	62,5	100,0	-	167	125
Záměsová voda	$kg \cdot m^{-3}$	313	313	333	316	280	470	405	316	333	375
Minerální vlna	$kg \cdot m^{-3}$	-	-	-	-	-	-	-	5		-
$\beta$ -sádra	$kg \cdot m^{-3}$	-	-	-	-	-	470	462	-		
$\alpha$ -sádra	$kg \cdot m^{-3}$								-	500	500
Vodní součinitel	-	0,5	0,5	0,6	0,6	0,75	1	1	0,6	0,67	0,75

Tab. 1: Přehled o surovinové skladbě záměsí.

## 3. Experimentální program

Tabulka 2 udává výsledky naměřených veličin. U vzorků 1 a 2 docházelo k segregaci cementového pojiva a vzorky 3 a 5 byly mechanicky poškozeny. U vzorku 5 tímto bylo zjištěno nedostačující množství cementového pojiva. Vzorek 1 a 2 měl stejné složení a lišil se pouze ve vybrané frakci EPS. Výsledný rozdíl hodnot je nepatrný, a tedy velikost frakce nemá vliv na výslednou hodnotu součinitele tepelné vodivosti.

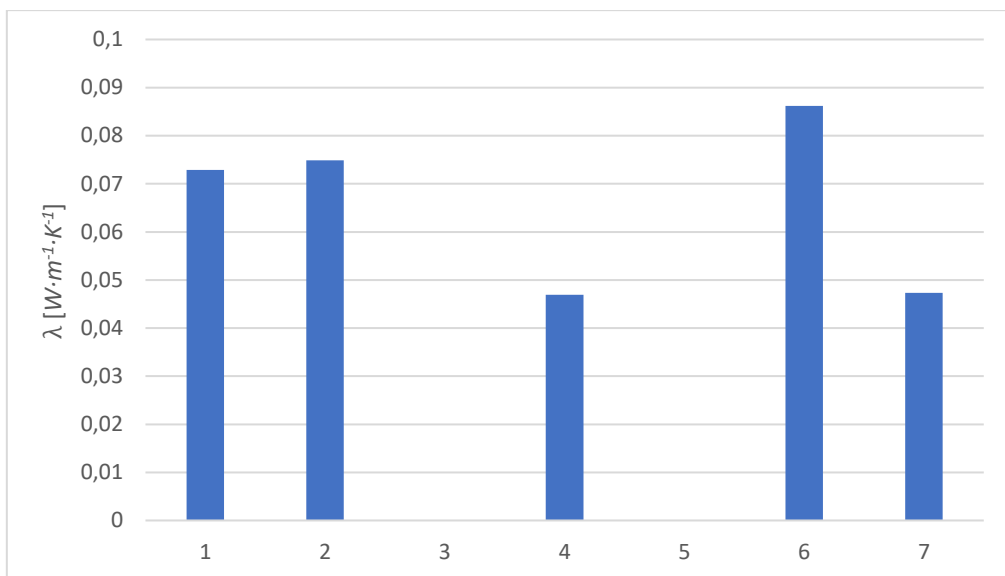
Vzorek 4 vykazuje nejnižší možné množství cementového pojiva, kdy je ještě zachována dostatečná mechanická stabilita vzorků. Tento vzorek byl porovnán se směsí, kde byla dále využita recyklovaná minerální vlna v dávce 5 kg na m<sup>3</sup>. Jelikož prozatím neexistuje technologie zpracování odpadní minerální vlny, byla zpracována manuálně. Z výsledků vyplývá, že zvolené množství nemá vliv na výsledný součinitel tepelné vodivosti a je zde možnost vytvořit vzorky, kde se použije více odpadní minerální vlny. To bude předmětem dalšího zkoumání.

Dále byl stanoven součinitel tepelné vodivosti vzorků, kde bylo jako pojivo využita  $\beta$ -sádra a  $\alpha$ -sádra. Vzorky vykazují vyšší manipulační pevnost než vzorky směsí, kde bylo využito cementové pojivo při zachování takřka stejné hodnoty součinitele tepelné vodivosti. Při výběru vhodného pojiva do výplňových směsí tedy bude rozhodovat zejména jejich cena a množství spotřebovaného materiálu, přičemž je zřejmé, že je mnohem výhodnější využít právě cementové pojivo.

Dále byla ověřena dostatečná přídržnost vybraných vzorků v keramické dutinové tvarovce.

Veličina	Jednotka	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Objemová hmotnost	$kg.m^{-3}$	280	280	-	200	-	240	190	270	210	200
Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$	$W.m^{-1}.K^{-1}$	0,073	0,075	-	0,047	-	0,086*	0,047	0,047	0,048	0,0478

Tab. 2: Přehled o hodnotách objemové hmotnosti jednotlivých směsí a součinitelích tepelné vodivosti po 7. dnech po odformování vzorků.



Obr. 1: Hodnoty součinitele tepelné vodivosti jednotlivých záměsí



Obr. 2: Fotografie vybraných vzorků záměsí

#### 4. Lehký samozhutnitelný beton

Další součástí tohoto úkolu je vytvoření samozhutnitelného betonu s odpadním polystyrenem. Složení dvou směsí je uvedeno v tab. 3.

Složení	Jednotka	Směs 1	Směs 2
Cement CEM I 42,5 R	$kg \cdot m^{-3}$	640	550
Voda	$kg \cdot m^{-3}$	340	300
EPS 0 - 12 mm	$kg \cdot m^{-3}$	75	70

Změkčovadlo	$kg \cdot m^{-3}$	6.5	5.5
-------------	-------------------	-----	-----

Tab. 3: Složení směsí

Objemová hmotnost byla stanovena dle normy ČSN EN 12390-70.

Součinitel tepelné vodivosti byl měřen zařízením ISOMET 2104.

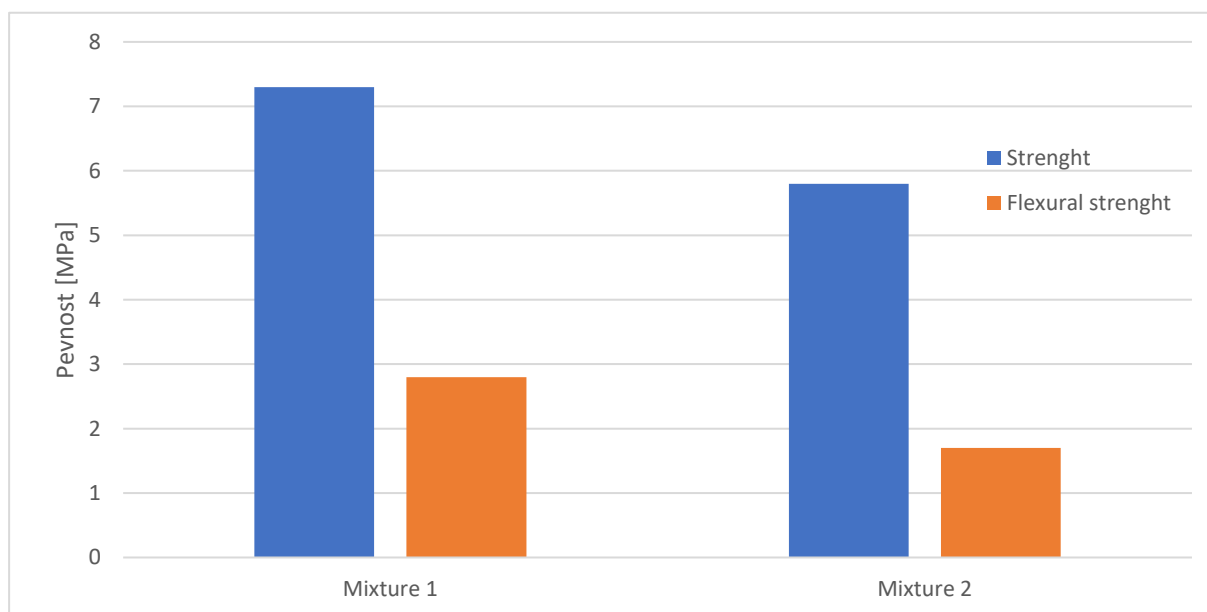
Pevnosti byly stanovena po 28. dnech po odformování trámečků podle normy ČSN EN 206.

## 5. Výsledky experimentů

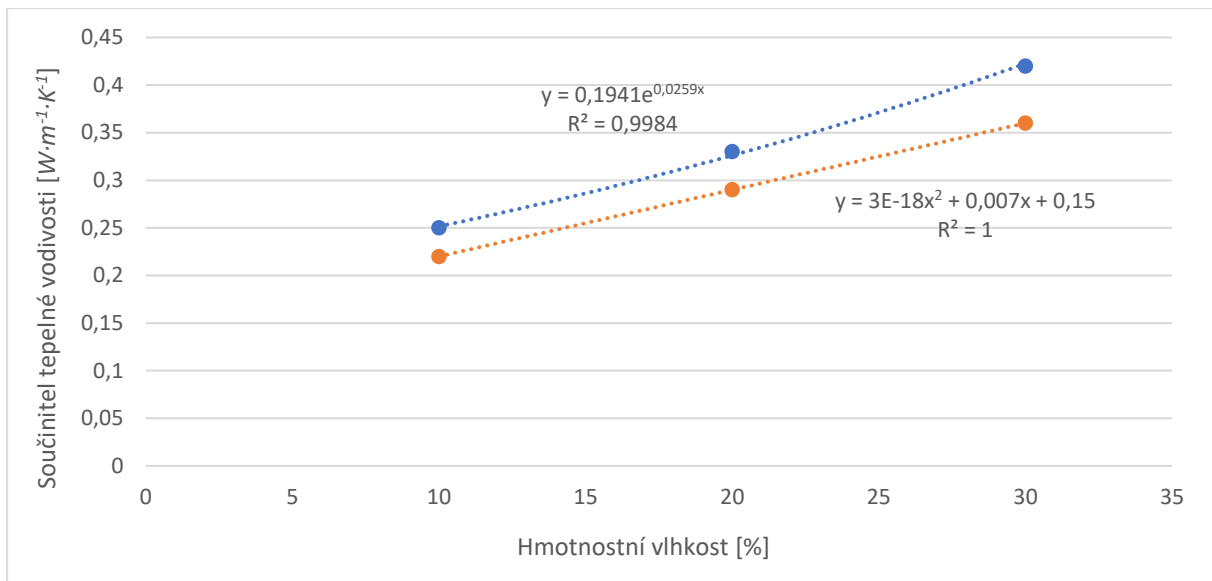
Tabulka 4 ukazuje výsledky naměřených hodnot. Betony plněné zemřít dokonale. To je důležité informace, protože nyní tyto betony mohou být také použity k vyplnění dutin.

Jednotka	Jednotka	Směs 1	Směs 2
Hustota	$kg \cdot m^{-3}$	800	750
Sílu	MPa	7.3	5.8
Pevnost v ohybu	MPa	2.8	1.7

Tab. 4. Hodnoty objemové hmotnosti, pevnosti v tlaku a pevnosti v ohybu



Obr. 3: Graf pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu pro jednotlivé směsi.



Obr. 4: Graf závislosti součinitele tepelné vodivosti na vlhkostním obsahu.

Součinitel tepelné vodivosti byl měřen pro tři různé stavy vlhkosti. Jak můžeme vidět na obrázku 4, existuje závislost mezi obsahem vlhkosti a hodnotou součinitele tepelné vodivosti, neboť s rostoucí vlhkostí se zvyšuje i jeho hodnota.

## 5. Závěr

V této práci bylo provedeno porovnání několika typů směsí s obsahem recyklovaného polystyrénu a odpadní minerální vlny jako plniva. U studovaných materiálů byla určena objemová hmotnost a součinitel tepelné vodivosti. Směsi byly navrženy s ohledem na zachování manipulační pevnosti a nízkých hodnot objemové hmotnosti a součinitele tepelné vodivosti. Výsledky ukázaly minimální potřebné množství pojiva, porovnání vlastností směsí s různou frakcí recyklovaného polystyrénu a porovnání vlastností při využití dvou různých pojiv. Cementové pojivo se jeví jako vhodnější materiál právě pro svou nízkou cenu od dodavatele. Nicméně je zde stále prostor pro další výzkum, zejména využití minerální odpadní vlny a vytvoření vhodné technologie její recyklace. Další možné využití by mohlo být uplatněno ve vývoji vývoj ultralehkého samozhutnitelného betonu na bázi odpadních recyklačních hmot a dále vývoj desky s vysokou hodnotou činitele zvukové pohltivosti pro zlepšení doby dozvuku v místnosti.

Tento výzkum byl částečně podpořen Technologickou agenturou České republiky č. TH04030425 a projektem specifického výzkumu Vysokého učení technického v Brně č. FAST-J-20-6356.



## 6. Literatura

- [1] COOK, D.J. Expanded polystyrene concrete. Concrete Technology & Design: New Concrete Materials. R. N. Swamy. Surrey University Press. 1983, (1): 41-69.
- [2] HANNA, A.N. Properties of expanded polystyrene concrete and applications for pavement sub-bases. Research and Development Bulletin. Portland Cement Association. 1978, (Rd 055.01P)
- [3] GRZESZCZYK, S. a U. BRUDKIEWICZ. Styrol-asche-beton als Baustoff. Environmental Engineering: Scientific Papers. Opole University of Technology. Opole, Poland. 2006, (5): 215-223.
- [4] APPLIED PRECISION -ISOMET. User manual [online], 2020
- [5] Stefania Grzeszczyk, Eva Vejmelková, Jaroslava Kořátková, Monika Čáchová, Dana Koňáková, Pavel Reiterman, Martin Keppert, Pavel Roubíček, Petr Konvalinka, Robert Černý, Samozhutnitelné betony se zvýšenou tepelně izolační schopností, Energeticky efektivní budovy 2015
- [6] ČSN EN 12390-7, UMNZ Praha 2005

# OVPLYVŇOVANIE FYZIKÁLNYCH A MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ CEMENTOVÝCH KOMPOZITOV NA BÁZE DREVNEJ ŠTIEPKY PLNIVOM Z ODPADOVÝCH MATERIÁLOV

INFLUENCE OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CEMENT COMPOSITES BASED ON WOOD CHIP BY FILLING FROM WASTE MATERIALS

Ing. Miriam Ledererová, PhD.,  
STU Stavebná fakulta, Radlinského 11, 810 05 Bratislava

## **Abstract**

*The biggest problem are materials, that do not have direct secondary processing, cannot be destroyed or effectively recycled and nature cannot process them by itself. They remain unchanged for several years or even decades. One of these materials are rubber-based materials, commonly known as rubber. The aim of this work is to analyze the current state of the field of recycled materials obtained from tires and their use in lightweight concrete based on wooden chips. In this article are described possibilities of secondary processing of recycled tires. In this experiment, lightweight concretes were prepared by using a mixture obtained directly in the production (mixture of wood fiber and cement). The mixture of wires and rubber was replaced in a specified ratio and mixed into the pre-prepared mixture and verified their effect on bulk density and mechanical properties. The output of the experiments will be tabular and graphical dependences of tests of bulk density, compressive strength and flexural tensile strength with subsequent evaluation.*

## **Introduction**

Tires wear out to such an extent that they become unusable for their primary purpose and thus they became waste. Subsequently, they are not only stored, but also incinerated in specialized incinerators, which is non-ecological due to the release of hazardous substances and fumes requiring special filters. By comparison, in the United States alone, there are about 242 million discarded tires each year, representing about 1.2% of the country's total solid waste. But these are just official numbers. The Environmental Protection Agency estimates that another 2-3 billion tires lie in illegal landfills, and other millions are dumped along roads, parking lots, but also in forests, rivers or lakes. And these are just numbers from the United States. [1]

After processing the tire as waste, the tires are ground and then the metal parts are removed from this mixture by means of a magnet. Since the wires after grinding tend to form clumps, after removing the wires from the mixture we do not get clean wires, but a mixture of rubber and wires, where the concentration of rubber is much lower. Recycling of worn tires takes place on a crushing line. The tires are placed in front of the crushing line. If they are dirty, they are washed and then the crushing process starts on the initial equipment of the line, where the tire is cut into rubber chips about 30x30cm. This is followed by re-crushing of these cuttings to a smaller size - about 2x2 cm. After this process, the chopped parts of the tires pass through the so-called magnetic separator, where about 95% separation of metal components occurs. The use of wires as waste in cement composites can primarily affect the flexural tensile strength, as the addition of short fibers to concrete in general has been a proven practice for decades. However, on the other hand, the risk of inhomogeneous material can negatively affect the cohesiveness of the final product and thus negatively affect its final strength. [2,3]

## Materials and methods.

The mixture was provided directly from the factory for the production of test specimens. The main raw material in the production of fittings is wood. Wood chips (softwood chips), which can no longer be used technologically for processing. By a special method, the wood chips are refined by means of mineralization and mixed with cement and water into a mixture, where fittings are then formed by means of a pressing machine. Two different mixtures (differing in color and recipe) were used in the production. The exact ratios of the composition of this mixture were not provided, but the basic material composition is wood chips, aluminum sulphate lime (due to color) cement. [Fig. 1.2]

The wood chips are enriched by mineralization with aluminum sulphate, thus ensuring that the resulting product will withstand the effects of the weather. It serves as an ecological filler. Cement plays a traditional role as a binder and water. Due to the fact that the fittings are also produced in a different color than natural gray-brown, lime is added to the fittings, in order to make it easier to color the sample with pigment. In order to improve the mechanical properties, fibres - waste from tires, in various percentages, were mixed into the pre-prepared mixture. [table 1.2]



**Fig.1** Composition of the mixture



**Fig. 2.** Waste fibers and mixture with waste fibers

The determination of the proportion of waste fibers in the mixture was based on the approximate bulk densities of fittings, for which the real bulk densities range from 500-800 kg/m<sup>3</sup>. Since two types of bulk densities were compared, sets of samples with a lower bulk density of about 500 kg/m<sup>3</sup> and a higher bulk density of about 700 kg/m<sup>3</sup> were produced. Samples measuring 100x100x100 mm and 100x100x400 mm were produced from each set. [table 1.2] . [4,6]

	Waste (%)	Volume (m3)	Weight (kg)	Weight of mixture (kg)	Weight of waste (kg)
<b>Cube 500</b>					
R	0	0,03	2,1	2,1	0
A	5	0,03	2,1	1,995	0,105
B	7,5	0,03	2,1	1,9425	0,1575
C	10	0,03	2,1	1,89	0,21
<b>Beam 500</b>					
R	0	0,04	2,8	2,8	0
A	5	0,04	2,8	2,66	0,14
B	7,5	0,04	2,8	2,59	0,21
C	10	0,04	2,8	2,52	0,28

**Table 1.** Recipe - composition of the mixture

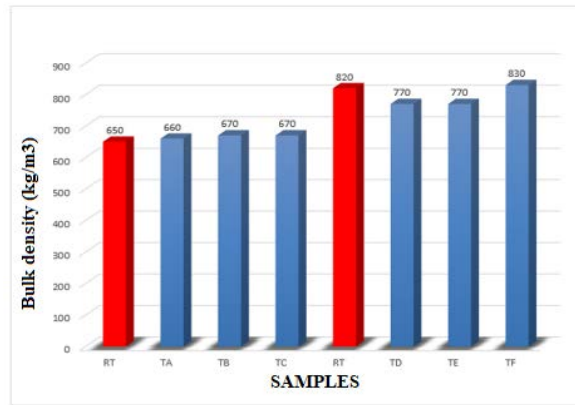
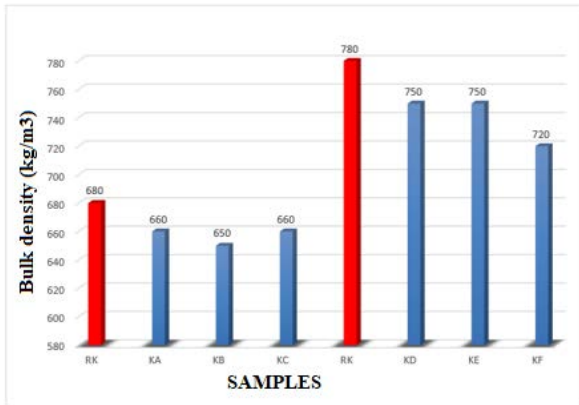
	Waste (%)	Volume (m3)	Weight (kg)	Weight of mixture (kg)	Weight of waste (kg)
<b>Cube 700</b>					
R	0	0,03	2,94	2,94	0
A	5	0,03	2,94	2,793	0,147
B	7,5	0,03	2,94	2,7195	0,2205
C	10	0,03	2,94	2,646	0,294
<b>Beam 700</b>					
R	0	0,04	3,92	3,92	0
A	5	0,04	3,92	3,724	0,196
B	7,5	0,04	3,92	3,626	0,294
C	10	0,04	3,92	3,528	0,392

**Table 2.** Recipe - composition of the mixture

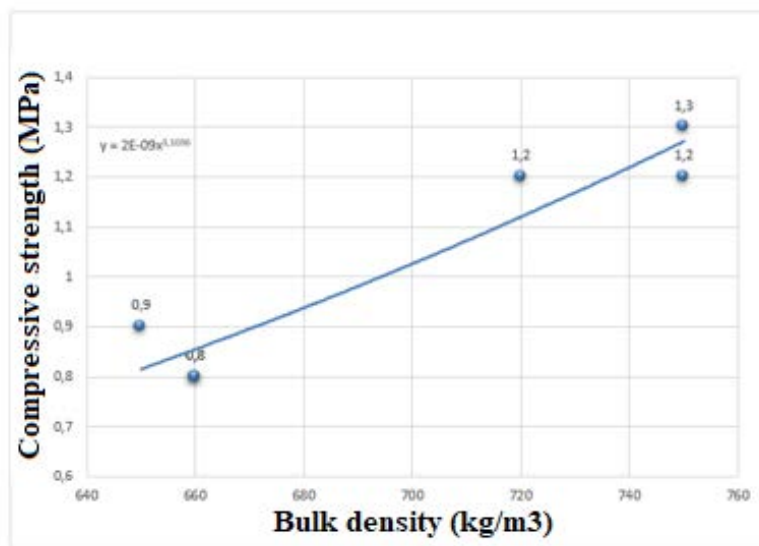


**Fig. 3** Production and treatment of samples

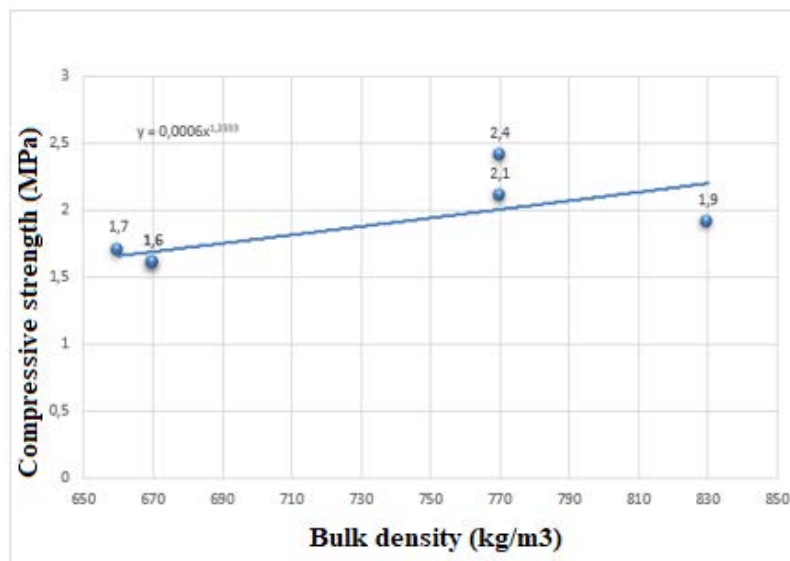
## RESULTS



**Fig. 4** Comparison - Bulk density cube **Fig. 5** Comparison - Bulk density beam



**Fig. 6** Dependence of compressive strength on bulk density



**Fig. 7** Dependence of flexural tensile strength on bulk density

The aim of the experiment was to determine the possibilities of using waste wires from the processing of used tires for the preparation of wire concrete. The wires seemed to be a quality material for use as scattered reinforcement, so it was necessary to verify this possibility in real experiments. It has been found that the mixture with the wires forms clumps of wires which are difficult to mix. These clumps are caused by the proportion of wires with an unsuitable shape that become entangled. The inappropriate shape meant excessive bending of the wires with hooks at their ends.

Two primary mixtures were used, to which individual wires with different dosages were added. Bulk density, compressive strength, flexural strength was determined for each mixture. The bulk density was reduced by the addition of the mixture of wires, most notably in samples with an assumed bulk density of 500 kg/m<sup>3</sup>. [Fig. 4.5] [5]

## CONCLUSION

The strength results of the wire concrete sample from waste fibers did not show significant effects. Mixtures showed only a partial positive effect on the resulting strength of concrete mixtures. Improvements have been shown in both tensile and compressive strengths. In compressive strengths, the impact of waste wires was more pronounced. [Fig. 6.7]

The influence of wires had a positive effect on the increase in concrete strength. Unfortunately, this use also has a negative part, where clumps of wires were formed in the mixture. This feature could be eliminated by further modification of the wires. Therefore, advanced finishing for industrial use would be needed. In the case of the real use of wires, it would certainly be an ecological benefit, when there is a secondary use of waste raw material and at the same time an economic benefit, when it would undoubtedly be a cheaper source of steel dispersed reinforcement.

## REFERENC

- [1] Guoqiang Li, Michael A. Stubblefield, Gregory Garrick, John Eggers, Christopher Abadie, Baoshan Huang. Development of waste tire modified concrete. *Cement and concrete research*. 2004.
- [2] <http://www.separujodpad.sk/index.php/samosprava/udalosti/382-opotrebovane-pneumatiky.html?start=4>
- [3] Častulík, ing. drviče.sk. [Online] [http://www.drvice.sk/drvic/spracovanie\\_drvenie\\_recyklacia\\_pneumatik.htm](http://www.drvice.sk/drvic/spracovanie_drvenie_recyklacia_pneumatik.htm).
- [4] STN EN 206: 2015, Betón. Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda.
- [5] STN EN 12390-5. Skúšanie zatvrdnutého betónu. Časť 5: Pevnosť v ťahu pri ohybe skúšobných telies. 2020.
- [6] STN EN 14889-1. Ocelové vlákna. Definície, špecifikácie a zhoda. 2006.



# SMĚSI RECYKLACE ZA STUDENA V DOPRAVNÍM STAVITELSTVÍ S VYUŽITÍM ALTERNATIVNÍCH POJIV NA BÁZI STRUSKY

## COLD RECYCLING MIXTURES FOR ROAD STRUCTURES UTILIZING ALTERNATIVE SLAG-BASED BINDERS

Jméno autora: Ing. Jan Valentin, Ph.D., Ing. Martin Živný, Nadia Tarifa, MSc.

Organizace: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, [jan.valentin@fsv.cvut.cz](mailto:jan.valentin@fsv.cvut.cz)  
Eurovia a.s., [martin.zivny@eurovia.cz](mailto:martin.zivny@eurovia.cz)  
École Nationale d'Ingénieurs de Tunis, Tunis

### **Abstrakt.**

*Technologie recyklace za studena představuje v silničním stavitelství zavedenou technologii. V České republice je specifická tím, že se při jejím praktickém využití aplikuje velmi často v podobě systému, kde dominantní úlohu má hydraulické pojivo. Jedním z důvodů je především nižší nákladová cena takového řešení (cement jako pojivo je ve výsledku levnější než asfaltová emulze či zpeněný asfalt v případě systému, kde dominantní roli hraje asfaltové pojivo). V souvislosti s tímto obecným trendem silniční stavební praxe byly posuzovány možnosti dalších substitucí tradičního hydraulického pojiva. Důvodem je vedle momentálně vysoké ceny cementu i problematika jeho uhlíkové stopy a snaha alternativami prokazovat vyšší míru environmentální kompatibility kompozitního výrobku. Proto byla zvolena sada některých typů strusek, které se běžně nevyužívají při výrobě cementu nebo jako přísada do betonů, mají však též potenciál latentně hydraulického pojiva. Ve všech zvolených případech se jednalo o materiály, které byly upraveny vysokorychlostním mletím, čímž se posiluje aktivita alternativního struskového pojiva. Navržena byla jedna směs recyklace za studena, u které bylo pro všechny varianty s různým typem hydraulického pojiva zvoleno stejné množství asfaltové emulze – jednalo se tedy o směs recyklace za studena s kombinovaným pojivem. Na souboru směsí s různým typem struskového pojiva byly provedeny zkoušky pevnosti v příčném tahu, tuhosti a odolnosti proti účinkům vody.*

### **1. Úvod**

O technologii recyklace za studena bylo v uplynulých 15 letech publikováno mnoho příspěvků a vznikla řada prací a odborných zpráv (např. [1, 2, 3, 4, 7, 9, 13], které se věnovaly řadě aspektů počínaje vlastní charakterizací této technologie, jak se tradičně provádí s využitím asfaltového pojiva a cementu, přes studium a ověřování funkčních parametrů (např. [5, 6, 11, 12]) a pokročilých zkoušek, až po možnosti provádět některé náhrady pojiv v těchto kompozitech (např. [8, 10, 14-17]). Výčet zdrojů by ve skutečnosti byl mnohem širší a zaplnil by sám o sobě několik stran vlastního článku. Opomenout nelze ani evropské projekty, které v uplynulých 10 letech byly realizovány a přispěly k rozšíření poznání o technologiích recyklace za studena – např. SAMARIS, Re-ROAD, CoRePaSol a další.

Technologie samotná je velmi dobře v praxi zavedena a využívá se především při opravách a rekonstrukcích pozemních komunikací, kdy se zejména v případě její podvarianty prováděné na místě zefektivní a zrychlí celý proces výstavby. Navíc je její výhodou, že v zásadě ze 100 % opětovně využije ty vrstvy, které jsou předmětem recyklace. A to bez potřeby přepravy vybouraného materiálu ze stavby a dovozem nové stmelené směsi na stavbu. Tudíž jejím prováděním nevzniká odpad a navíc ji lze

využít efektivně tam, kde v starých konstrukcích vozovek máme materiály, které byly historicky oblíbené a velmi dobře funkční, představují však zdravotní a environmentální rizika. Tím se mají na mysli zejména různé formy prolévaných vrstev, kde se aplikoval černouhelný dehet. Jeho negativním znakem je velmi vysoký obsah polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU), které se uvolňují při zahřátí do ovzduší, a současně může docházet k jejich vyluhování do podzemních vod. Technologií recyklace za studena na místě za použití zpěněného asfaltu nebo asfaltové emulze se provede obalení zrn recyklovaného materiálu s obsahem dehtu asfaltovým filmem, který pasivuje účinky uvolnění škodlivých látek do okolního prostředí. Navíc, provedením technologie za studena, nedochází k ohřevu recyklovaného materiálu a tím se zamezí emisím vyšších koncentrací výparů či aerosolů PAU do okolního prostředí.

## **2. Recyklované materiály a metalurgické strusky v širší perspektivě**

Recyklovaný materiál v podobě znovuzískané asfaltové směsi, či zrnitého materiálu původních nestmelených vrstev nebo jako betonový recyklát je vždy do jisté míry co do složení nehomogenní materiál, který lze znovu uplatnit v konstrukcích dopravních stave, vyžaduje ovšem přiměřenou kontrolu kvalitativních parametrů. Pokud původní materiál splňuje jakostní požadavky určené technickými normami či předpisy, lze jej použít při výstavbě nebo údržbě vozovek bez snížení výsledné kvality. Jednou z variant nahrazení původního materiálu materiálem recyklovaným je možno hledat i u vysokopecních, případně ocelářských strusek. Granulované vysokopecní a ocelářské strusky jsou přitom, vedle možnosti být uplatněné jako umělé kamenivo, dobré a perspektivní alternativy k substituci hydraulických pojiv. Jedná se přitom o možnost, jak odpadní materiál metalurgického průmyslu účinně využít a recyklovat. I když se jedná o široko-spektrální materiál, jeho hodnota na trhu je v porovnání s ocelí nebo železem velmi nízká. Zároveň se ovšem produkci strusky ani do budoucna nevyhneme, jelikož vzniká jako vedlejší produkt při metalurgických procesech. Metalurgický průmysl přitom patří mezi největší průmyslová odvětví na světě a produkce strusky patří k nejobjemnějším odpadním produktům. Je proto snahou strusku po desetiletí nelikvidovat či neskládkovat, ale vhodně dále využít, což snižuje vysoké náklady na energetické zdroje a současně částečně obhajuje jejich nezbytné využívání. Jednoznačně má tedy využití strusky svou perspektivu.

Využití metalurgické strusky jako pojiva pro stavebnictví bylo popsáno již v 18. století, kdy získal patent na tento způsob výroby pojiva J. Payne. V roce 1859 poukázal na možné využití strusky ve stavitelství F. Lürman, který strusku aplikoval při výrobě žáruvzdorného materiálu. V roce 1862 E. Lange popsal hydraulické vlastnosti vysokopecní strusky, čímž poukázal na možnost využití strusky při výrobě cementu. Vývoj využití strusky tedy započal již v 18. století, nicméně přibližně do roku 1970 se využití strusky příliš neujalo. Následně se až do současnosti postupně etablovalo a rozvinulo využívání některých typů strusek v cementářském průmyslu, kde se jako klíčový ukázal být chemický koktail oxidů, které strusku tvoří a to včetně podílu tzv. sklovité fáze ve strusce. To znamená, že zdaleka ne každá vysokopecní struska se pro výrobu cementů používá. Dnes nejčastější jsou granulované vysokopecní strusky, které vznikají zpravidla rychlým zchlazením horké strusky vodou a následným předrcením/přemletím. To představuje řešení pro část strusek, nijak však například nepřináší řešení pro celou řadu strusek, které v minulosti vznikly jako vzduchem chlazený materiál. V České republice je toto částečně dáno i situací, která vznikla v minulosti při výstavbě na dálnici D47(D1) na Ostravsku tzv. zvlněním dálnice. Problémem přitom nebyla přítomnost upravené, tříděné a materiálově certifikované

strusky, nýbrž studený odval, který nebyl technickými parametry dostatečně specifikován, jako je tomu u tříděných strusek. Bohužel, ne vždy se toto dokáže při diskusi na téma strusky odlišit.

Běžně byly pro odpadní materiály ze sléváren vytvářeny speciální skládky, kde byly tyto vedlejší produkty naváženy. Proto dnes není výjimkou vidět někde umělé kopce tvořené tímto odpadním materiálem, které jsou nazývány haldy. V České republice se vyskytuje hned několik velkoobjemových hald, které mají v součtu rozlohu řádově desítek km<sup>2</sup>. Tento rozměr skládek byl způsobený především neexistencí norem a neřešením otázky využití tohoto druhu odpadu. Od sedmdesátých let minulého století se tedy řeší otázka, jak tento navezený odpadní materiál, který lze dále zužitkovat, odstranit z krajiny a zabránit tak možným negativním ekologickým dopadům. Ty mohou mít rozsah až v podobě ekologické havárie, jelikož v haldách může kromě neškodného materiálu být ložen i odpad / nebezpečný odpad, který není blíže specifikován a způsobuje ohrožení okolního životního prostředí.

Druhotné materiály metalurgického procesu jsou úzce spjaty s výrobním procesem surového železa a oceli. Výrobní postup úpravy železné rudy a následná její přeměna na ušlechtilé materiály představuje proces, který je známý pro lidstvo již několik tisíciletí. Pokud se podíváme na světovou produkci oceli, tak klíčovou roli dnes sehrávají asijské země v čele s potřebami ČLR, kde se vyrobí cca 50 % světové produkce oceli. V roce 2017 činila celosvětová produkce oceli téměř 1,7 miliardy tun. Samozřejmě, že ruku v ruce s nárůstem výroby železa a oceli roste i množství odpadních produktů vznikajících při samotném zpracování železné rudy. Z tohoto důvodu se řadu let hledají efektivní využití těchto vedlejších produktů v průmyslových odvětvích, kdy se jako jedna z možností nabízí dopravní stavitelství, [15].

Chemické složení a mechanické vlastnosti strusek závisí především na způsobu spalování a na vstupních materiálech, které do výrobního procesu vstupují. Vliv na výsledné vlastnosti strusek má i technologický způsob zpracování, způsobu chlazení, či uložení a skladování strusky. Nejčastějším typem strusek jsou již několikrát uvedené metalurgické strusky. Samozřejmě v přírodě existují i vulkanické strusky. Ty vznikají přírodními procesy při vulkanické činnosti, tudíž se nejedná o odpadní materiál, ale o „vedlejší“ přírodní produkt. Vulkanickou strusku tvoří pyroklastický materiál, který je z jícnu sopky vyvrhován při erupcích. Vulkanickým struskám se ale v podmínkách ČR pozornost nevěnuje. Posledním typem jsou strusky, které vznikají jako vedlejší produkt při spalování pevných paliv. Těm se ale obecně neříká struska, nýbrž popílek či škvára. Možnostem využití spalovenských strusek jsou věnovány jiné články, které v nedávné minulosti byly prezentované též.

Metalurgické strusky vznikají jako vedlejší produkt ve slévárnách při rafinaci kovů jako odpadní surovina, která má ale několik důležitých funkcí. Zabraňuje vzniku oxidů železa a redukuje jejich množství, ale také snižuje obsah manganu v železe. Poslední důležitou funkcí strusky je odsíření kovové lázně. Při výrobě strusky vzniká přibližně 400 až 600 kg na tunu čistého železa vyrobeného ze surové železné rudy.

Existují dva typy metalurgických strusek. Vysokopecní struska (BFS – Blast Furnace Slag) je nejvyužívanějším typem strusky, nicméně jedná se pouze o jednu z různých druhů strusek, které se liší především procesem, při kterém jako odpadní materiál vznikají. Druhým typem metalurgických strusek je struska ocelářská (BOF – Basic oxygen furnace). Vysokopecní granulovaná nebo vysokopecní vzduchem chlazená struska, jež byly použity v zde prezentované studii, vzniká několika způsoby při různých procesech výroby. Prvním případem, při kterém vzniká struska, je výroba

surového železa ve vysoké peci. V té jsou železné rudy zahřívány a pomocí vysoké teploty zbaveny kyslíku a nečistot. Právě nečistoty, které se odlučují od železné rudy, tvoří taveninu, která se běžně nazývá vysokopecní struska. Po prudkém ochlazení materiálu na odvalech vzniká již samotná vysokopecní granulovaná struska. Vedle prudkého ochlazení se v minulosti využíval proces i přirozeného postupného ochlazení vzduchem, což je případ např. haldy Koněv v blízkosti areálu POLDI Kladno. Uvedený postup se při zpracování železné rudy využívá pro odstranění nečistot z rudy a zabránění tak železu zpětné oxidaci. Do vysoké pece ve slévárně se naveze kromě samotné železné rudy také koks a struskotvorné přísady. Mezi ty patří nejčastěji vápenec a dolomit. Struska se tak tvoří ve vysoké peci spolu s čistým železem.

### 3. Experimentální návrhy a zkoušky

Snahou experimentální studie, která současně tvořila praktickou část diplomových prací [18, 19], bylo posoudit možné substituce běžně používaného cementu ve směsích recyklace za studena aplikací variant vysokopecních strusek, s případným porovnáním vlivu popílkových pojiv. K výrobě variant zkušebních směsí bylo použito plnivo složeného z kombinace štěrkodrti frakce 0/32 mm s asfaltovým R-materiálem frakce 0/11 mm ve vzájemném poměru 1:1 nebo tvořené výhradně asfaltovým R-materiálem frakce 0/22 mm. Vyrobené směsi obsahují zvolený typ hydraulického pojiva (vysokopecní struska, cement, atp.) v proměnlivém dávkování dle jednotlivých receptur a asfaltovou emulzi C60B7, jejíž dávkování bylo u všech variant směsí stejné.

Veškeré porovnávací experimentální směsi (viz tab. 2a,b), resp. dosažené výsledky na tělesech vyhotovených z těchto směsí, se porovnaly s výsledky, které byly naměřeny u referenční směsi (REF) pomocí laboratorních zkoušek, které předepisují TP 208. Standardně vyžadované zkoušky byly doplněny o stanovení modulu tuhosti metodou opakovaného namáhání v příčném tahu na válcových tělesech (ČSN EN 12697-26, metoda C) a stanovením odolnosti proti šíření trhliny dle postupu ČSN EN 12697-44:2010. Tyto zkoušky byly prováděny pouze na zkušebních tělesech, které zrály 28 dní nebo 56 dní.

Poměr štěrkodrti k R-materiálu v případě jedné části experimentálních porovnání byl zvolen z důvodu, aby se namíchané zkušební směsi blížily svými vlastnostmi a množstvím materiálům, ze kterých se mísí stmelené vrstvy v praxi. Ve skutečnosti totiž není příliš obvyklé, aby se budoucí stmelená vrstva skládala pouze z jednodruhového materiálu, zpravidla tam nějaký vzájemný poměr štěrkodrti a znovuzískané asfaltové směsi je. Výjimečný případ potvrzující toto pravidlo nabízí například modernizace dálnice D1, kdy se za studena recyklují původní vrstvy stmelené cementem.

Složení referenční směsi recyklace za studena je uvedeno v tabulce 1. Složení variantních směsí se substitucí cementu potom shrnují tabulky 2a, b.

**Tabulka 1: Materiálové složení referenční směsi**

Složka směsi recyklace za studena	Složení suché směsi	
	REF 1	REF 2 (R1)
ŠDA 0/32	45,05 %	-
R-materiál 0/11	45,05 %	-
R-materiál 0/22	-	90,0 %
Voda	3,9 %	3,5 %
Asfaltová emulze	3,0 %	3,5 %
Cement CEM II/B-S 32,5R	3,0 %	3,0 %

**Tabulka 2a: Složení variantních směsí recyklace za studena, [18]**

Složka směsi recyklace za studena	Složení suché směsi					
	A	B	C	D	E	F
ŠDA 0/32	44,0 %	44,1 %	43,85 %	43,45 %	43,85 %	43,4 %
R-materiál 0/11	44,0 %	44,1 %	43,85 %	43,45 %	43,85 %	43,4 %
Voda	4,0 %	3,8 %	4,3 %	5,1 %	4,3 %	5,2 %
Asfaltová emulze	3,0 %	3,0 %	3,0 %	3,0 %	3,0 %	3,0 %
Cement CEM II/B-S 32,5R	1,0 %	1,0 %	1,0 %	1,0 %	1,0 %	-
MS-PT (pánvová)	4,0 %	-	-	-	-	-
MS-KVP (vzduchem chlazená)	-	4,0 %	-	-	-	-
MS-TG (granulovaná vysokopeční)	-	-	4,0 %	-	-	-
MS-TG + DASTIT (poměr 50:50)	-	-	-	4,0 %	3,0 %	4,0 %

**Tabulka 2b: Složení variantních směsí recyklace za studena, [19]**

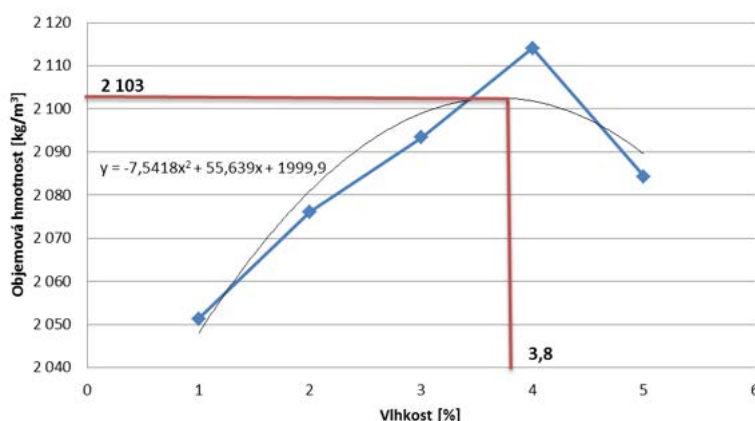
Složka směsi recyklace za studena	Složení suché směsi							
	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
R-materiál 0/22	90,0%	90,0%	90,0%	91,0%	91,5%	90,0%	90,0%	90,0%
Voda	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,0%	3,5%	3,5%	3,5%
Asfaltová emulze	3,5%	3,5%	3,5%	1,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%
Cement CEM II/B-S 32,5R	-	-	-	4,0%	2,0%	-	-	-
Silniční hydraulické pojivo TB	-	-	-	-	-	-	3,0%	-
MS-TG (granulovaná vysokopeční)	3,0%	-	-	-	-	-	-	-
MS-KVP (vzduchem chlazená)	-	3,0%	-	-	-	-	-	-
Mletý betonový recyklát (D2)	-	-	3,0%	-	-	-	-	-
Ternární pojivo Sorfix	-	-	-	-	-	-	-	3,0%
DASTIT s příměsí CEM I (poměr 4:1)	-	-	-	-	-	3,0%	-	-

Posuzované varianty se lišily aplikací strusky či popílkového pojiva z různých lokalit, případně kombinací strusky a popílkového pojiva. Je třeba zdůraznit, že všechny strusky prošly procesem vysokorychlostního mletí (mechano-chemickou aktivací). V ČR jsou zdroje metalurgických strusek dobře dostupné především ve třech lokalitách: Kladno, Třinec a Ostrava. Alternativu k těmto místním zdrojům lze nalézt například v severorakouském Linci. Pojivo na popílkové bázi DASTIT® se momentálně vyrábí v Plzni a jedná se o certifikovaný výrobek, který se aktuálně nejvíce využívá při solidifikaci jílovitých hornin a kalů. Dalším příkladem je potom ternární popílkové pojivo Sorfix, který je produktem skupiny ČEZ a je tvořen dvěma různými typy popílku kombinovaného s vápenným hydrátem a aditivou. V neposlední řadě jsou pro porovnání v případě druhé série dat zahrnuty i komerčně dostupné hydraulické silniční pojivo TB a vysokorychlostním mletím desintegrováný betonový recyklát původní frakce 0/4 mm, který byl odebrán v rámci oprav provedených na dálnici D2.

V případě strusky označené MS-PT se jedná se o vysokopeční pánvovou strusku původem z Třince, ve které je oxid vápenatý obsažen ve stopovém množství. Chemické složení této vysokopeční strusky dominuje  $\text{SiO}_2$  a  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Vzorek MS-KVP představuje stabilizovanou vzduchem chlazenou vysokopeční strusku původem z haldy Koněv patřící do vlastnictví firmy DESTRO. Jedná se o materiál, který byl na příslušnou haldu navážen od počátku minulého století přibližně do 70. let. Pro účely studie byla struska zpracována mletím v desintegrátoru, přičemž její měrný povrch dle Blaine činí  $370 \text{ m}^2/\text{kg}$ . Přítomnost vysokého obsahu volného vápna ( $\text{CaO}$ ) – téměř 38 % – je dobrým předpokladem latentní hydraulické aktivity tohoto materiálu a lze předpokládat, že bude využitelná jako částečná náhrada klasického cementu. V této

strusce je potom zastoupen opět především  $\text{SiO}_2$  a významnější je pak i obsah  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Velikost zrn se pohybovala v intervalu 0,1-50  $\mu\text{m}$ , přičemž největší četnost měla zrna v rozmezí 10-15  $\mu\text{m}$ . U vzorku MS-GT se jedná o vysokopecní granulovanou (vodou chlazenou) strusku mletou v desintegrátoru, původem z Třineckých železáren, měrný povrch stanovený dle Blaine je v případě použitého vzorku podstatně nižší než u strusky předchozí a dosahuje pouze 84  $\text{m}^2/\text{kg}$ . Při dalších režimech mletí, kdy takto upravené vzorky zde nejsou prezentované, se dosáhlo měrného povrchu na úrovni 250-300  $\text{m}^2/\text{kg}$ . Nízký měrný povrch je do jisté míry vysvětlitelný i velikostí částic, jak bylo stanoveno laserovou granulometrií. Velikost zrn se pohybovala v intervalu 0,1-250  $\mu\text{m}$ , přičemž největší četnost měla zrna v rozmezí 40-100  $\mu\text{m}$ . Této strusce dominuje  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  (cca 42 %) a  $\text{MgO}$ , [18].

Použitá substituce MS-GT+DASTIT® představuje kombinaci vysokopecní granulované strusky s pojivovou popílkovou bází DASTIT®, která byla namíchána na FSv ČVUT v Praze ve vzájemném poměru 1:1. Důvodem volby kombinace byla očekávaná vyšší aktivita granulované strusky a zkušenosti s nízkou objemovou hmotností popílkové báze DASTIT, jak se ověřila u zkušebního úseku na silnici II/118, viz [17]. Naopak granulovaná struska se zpravidla vyznačuje vysokou objemovou hmotností, tzn. tyto aspekty by se ve směsném vzorku měly vzájemně vyvážit.



Obrázek 1: Závislost vlhkosti a objemové hmotnosti Proctorovy zkoušky ( $\text{ŠD}_A$  + R-materiál)

Tabulka 3: Volumetrické a pevnostní charakteristiky směsí recyklace za studena – série I

Varianta směsi		REF1	CR-A	CR-B	CR-C	CR-D	CR-E	CR-F
Objemová hm. zh. t. (před zkouškou)	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	2,287	2,297	2,299	2,298	2,291	2,288	2,292
Mezerovitost	%-obj.	13,71	13,31	13,28	13,33	13,58	13,71	13,55
Vlhkost čerstvé směsi	%-hm.	3,89	3,99	3,79	4,26	5,07	4,33	5,21
Pevnost v příčném tahu, 7 dní ( $R_{it,7}$ )	MPa	0,48	0,33	0,30	0,35	0,43	0,35	0,37
Pevnost v příčném tahu, 7+7 dní ( $R_{it,7+7}$ )	MPa	0,42	0,27	0,30	0,32	0,43	0,38	0,35
Odolnost proti účinkům vody (ITSR)	%	87,3	81,9	101,2	91,1	98,9	106	104,5

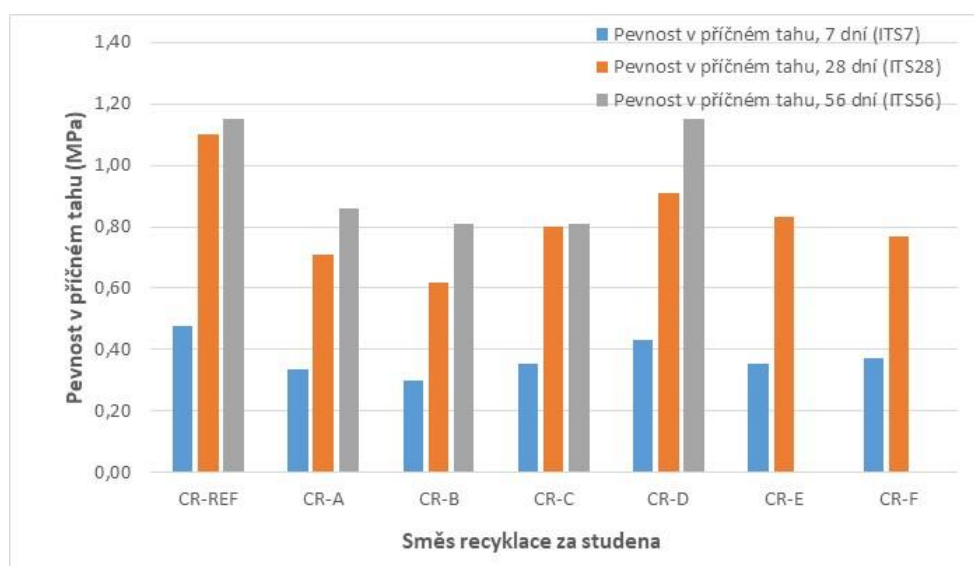
Jednotlivé varianty recyklace za studena byly vyráběny laboratorní míchačkou, přičemž zkušební tělesa byla vyrobena v souladu s TP 208 hutněním statickým lisováním válcových zkušebních těles silou ( $88,5\pm 0,5$ ) kN. Zkušební tělesa měla průměr 150 mm a výšky minimálně 130 mm. Pro referenční směsi bylo provedeno stanovení optimální vlhkosti modifikovanou Proctorovou zkouškou s průběhem zkoušky uvedeným pro REF1 na obr. 1. Objemová hmotnost ztuhnutých těles směsí byla stanovena z rozměrů po 7 dnech zrání. Pevnost v příčném tahu byla provedena



podle ČSN EN 13286-42 s posouzením výsledků dle požadavků TP 208. Moduly tuhosti byly stanoveny v souladu s metodou C normy ČSN EN 12697-26. Výsledky volumetrických a pevnostních charakteristik jsou uvedené v tabulkách 3 a 4.

Zjištěné skutečné vlhkosti vyrobených směsí recyklace za studena se blížily vlhkosti optimální, která byla stanovena Proctorovou modifikovanou zkouškou. Hodnoty reálných vlhkostí u směsí REF, A, B, C a E se pohybovaly kolem 4,0 %, tedy kolem hodnoty optima. Vyšší vlhkost byla stanovena u stmelovaných směsí typu D a F, tedy u receptur, které obsahovaly pojivo DASTIT v navrhovaném množství 4,0 %. Přítomnost této popílkové pojivové báze ve stmelovaných směsích zapříčiní nutné zvýšení dávkovaného množství vody při výrobě oproti směsím, které popílky neobsahují.

U pevnosti v příčném tahu bylo nejprve vyhodnocováno prvních pět zkušebních variant směsí recyklace za studena (REF, A, B, C, D). Minimální hodnoty pevnosti v příčném tahu  $R_{it}$  definované technickými podmínkami TP 208 nebyly splněny u 2 variant, konkrétně u směsí A (0,273 MPa) a B (0,297 MPa). Zbylé dvě varianty (C, D) tento minimální požadavek bez problémů splnily. Ve vzájemném porovnání výsledků směsi REF a C nebyly ovšem získané výsledky u směsi C tak vysoké. Daleko lépe obstála ve vzájemném porovnání s referencí směs D, kde pevnost v příčném tahu byla sice o něco nižší (0,433 vs. 0,475) MPa, ovšem následně zjištěná pevnost odolnosti proti vodě u této směsi již překonala hodnotu pevnosti odolnosti u směsi referenční (0,428 vs. 0,415) MPa.



Obrázek 2: Pevnosti v příčném tahu pro varianty směsí recyklace za studena – série I

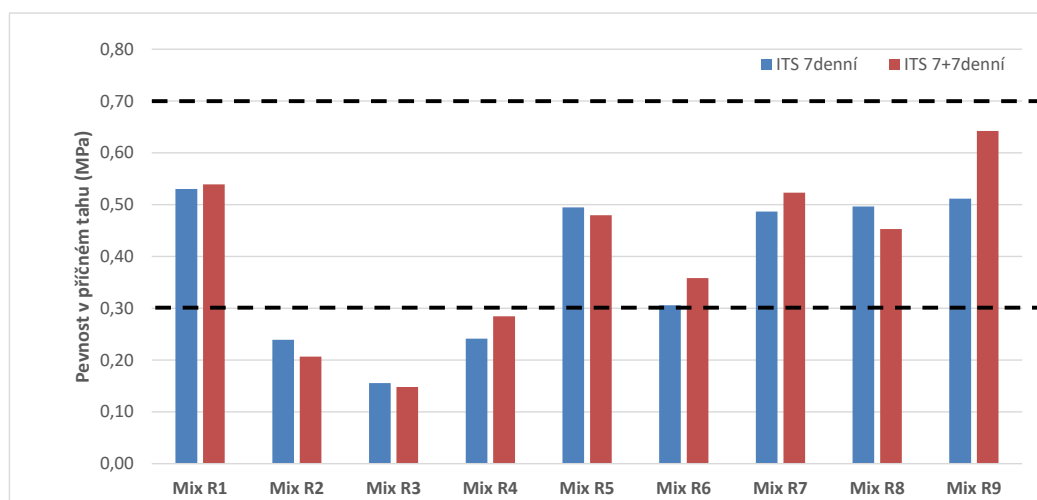
V první fázi testování nejlépe dopadla v porovnání s referenční směsí směs D, která byla stmelena 1,0 % cementu a 4,0 % směsného pojiva složeného z vysokopeční granulované strusky mísené s pojivovou bází DASTIT. Z tohoto důvodu byly posléze na základě receptury D vyrobeny ještě dvě další varianty směsí recyklace za studena (E, F), které obsahovaly stejnou strusku smíchanou společně s pojivem DASTIT, jen se variovalo dávkované množství pojiva. Tyto dvě poslední stmelené směsi sice splnily požadavky na minimální hodnoty pevnosti v příčném tahu a odolnosti proti vodě definované v technických podmínkách pro recyklace za studena, nicméně ve srovnání se směsí referenční zůstaly zjištěné výsledné hodnoty mírně za očekáváním.

Pomalejšímu, nicméně v čase průběžně probíhajícímu, nárůstu dobře odpovídá vývoj pevnosti u směsi D. Zatímco v případě sedmidenní nebo 28denní pevnosti tato varianta vykazovala viditelně pořád nižší pevnost než standardně používaný cement, tak po 56 dnech došlo k vyrovnání pevnostních charakteristik s referenční směsí a lze tvrdit, že po této době je navržená substituce plnohodnotně srovnatelná s tradičním cementem, přičemž lze předjímat, že toto řešení bude ekonomicky efektivnější a současně může být deklarováno jako nízkoemisní, protože pro výrobu alternativního hydraulického pojiva jsou potřeba vedlejší produkty, které tak jako tak vznikají lidskou činností a energeticky málo náročný desintegrátor. Oproti tomu výroba cementu se neobejde bez uvolnění vyšších množství CO<sub>2</sub>.

Druhá série testovaných směsí recyklace za studena se odlišovala hned v několika aspektech. Jednak byl použit výhradně asfaltový R-materiál (bez kombinace se štěrkodrtí) a k tomu s maximálním zrnem velikosti 22 mm. Dále bylo zachováno stejné množství přidávané vody, tedy nereflektovala se skutečnost, že především popílková pojiva budou vyžadovat pro optimální vlhkost mírně zvýšené procento. Množství vody bylo pouze sníženo v případě varianty R6, kde byl redukován i podíl cementu ve směsi. Vliv zvýšené spotřeby vody je patrný z porovnání vlhkosti čerstvé směsi, kdy referenční směs vykázala nejvyšší hodnotu.

**Tabulka 4: Volumetrické a pevnostní charakteristiky směsí recyklace za studena – série II**

Varianta směsi		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Objemová hm. zh. tělesa	g.cm <sup>-3</sup>	2,249	2,239	2,220	2,175	2,164	2,179	2,151	2,166	2,092
Mezerovitost	%-obj.	10,04	10,46	12,83	13,73	15,00	11,51	13,20	9,97	13,01
Vlhkost čerstvé směsi	%-hm.	6,1	5,6	6,0	5,6	5,6	5,9	5,2	4,9	5,7
Odolnost proti účinkům vody (ITSR)	%	101,6	86,5	95,0	118,0	96,3	117,2	107,2	91,2	125,6



**Obrázek 3: Pevnosti v příčném tahu pro varianty směsí recyklace za studena – série II**

V případě série I s pevnostními charakteristikami poměrně dobře korelují výsledky provedené zkoušky stanovení modulu tuhosti (tab. 5) – to v zásadě platí pro obě série variantních směsí. Modulová charakteristika byla standardně stanovena při 3 zkušebních teplotách (0 °C, 15 °C a 27 °C), přičemž se stanovil i poměr modulů pro nejnižší a nejvyšší měřenou teplotu, který lze označit jako teplotní citlivost. Ta je v porovnání s asfaltovými směsmi prováděnými za horka u směsí recyklace za

studena vždy významně nižší a v zásadě lze konstatovat, že jednotlivé varianty v tomto ohledu mezi sebou byly dobře porovnatelné.

Co je třeba uvést, že dle modulové charakteristiky v případě první série varianta D byla již po 28 dnech plně porovnatelná s variantou referenční směsi. V případě stanovení modulu tuhosti lze dokonce tvrdit, že srovnatelná je i varianta E, kde došlo oproti variantě D k mírnému snížení množství použitého alternativního pojiva.

**Tabulka 5: Výsledky stanovení modulu tuhosti variant směsí recyklace za studena**

Směs	Modul tuhosti @ T(°C), (MPa)			Teplotní citlivost
	0	15	27	S <sub>0</sub> /S <sub>27</sub>
REF 1	12 258	8 056	6 706	1,83
CR - A	7 764	4 449	3 331	2,33
CR - B	6 794	4 874	3 441	1,97
CR - C	9 196	6 834	4 663	1,97
CR - D	11 658	8 447	6 269	1,86
CR - E	12 239	7 849	7 363	1,66
CR - F	10 500	6 326	4 997	2,10
REF - R1	8 684	4 982	3 172	2,74
R2	6 051	2 339	841	7,19
R3	6 445	2 438	985	6,54
R4	4 834	1 989	999	4,84
R5	9 974	8 147	6 193	1,61
R6	5 938	3 886	2 557	2,32
R7	7 424	4 725	3 207	2,31
R8	6 762	4 292	3 204	2,11
R9	6 897	4 708	3 219	2,14

V případě série II variantních směsí recyklace za studena je situace odlišná a neplatí zde podobný závěr jako v případě první série. Nejvyšší hodnoty modulu tuhosti (tab. 6) dosahuje varianta R5, která se vyznačovala vyšším obsahem cementu. Tato varianta díky sníženému obsahu asfaltové emulze má také velmi nízkou teplotní citlivost. Dále je patrné, že substituce cementu existujícím komerčním hydraulickým silničním pojivem nebo popílkovými pojivy DASTIT a Sorfix vedou k podobným modulovým charakteristikám. Tento výsledek tak podporuje opodstatněnost možnosti takovou substituci při výrobě směsí recyklace za studena na místě provést.

## Závěr

Z provedených porovnání se potvrzuje, že substituce tradičního cementu alternativními materiály na bázi popílku či strusky je možná a technicky má dokonce opodstatnění. Vždy je přitom vhodné, aby alternativní latentně hydraulická látka nebo pojivo bylo doplněno či kombinováno s vhodným aktivátorem, kterým může být cement, vápenný hydrát apod. Tím zpravidla dochází k nastartování hydratačních procesů u popílkových či struskových bází. Dalším důležitým aspektem bezesporu bude i velikost částic použitých vedlejších produktů. Zde se jako vhodné řešení jeví použití desintegrátorů, které nejen látky rozemílají, ale současně umožňují jejich větší či menší mechanickou aktivaci. Pokud neočekáváme pevnosti v tlaku u výsledných vrstev vyšší jak 20-25 MPa, jsou alternativní pojiva či substituenty cementu na bázi popílku či strusky dobrým řešením. Je přitom třeba zdůraznit, že pozornost se zde věnuje fluidním popílkům a těm typům vysokopecních strusek, které se nevyužívají pro

výrobu směsných cementů. Kombinujeme-li tuto skutečnost s objemy, které se uplatní v dopravním stavitelství, může být ekonomická páka využití těchto alternativ významná a zhotoviteli přinese nezanedbatelnou úsporu nákladů – ceny alternativ na bázi popílků či strusek zpravidla nepřesahují 1500 CZK/t, naopak se lze setkat s řešením, kdy se cena pohybuje na úrovni 1200 CZK/t. Pominout nelze ani pozitivní environmentální přínos, kdy se za jiných okolností odpady využijí pro nové výrobky, resp. naleznou uplatnění v hydraulicky stmelené směsi.

Závěrem je třeba doplnit, že častou obavou bývá již samotný pojem „struska“ či „popílek“, který je stigmatizován buď dřívějšími problematickými aplikacemi či obecnou nedůvěrou třeba proto, že tyto materiály obsahují vyšší obsahy volného vápna a předpokládá se u nich obecně riziko neřízených reakcí objemových změn. Je třeba si však uvědomit, že při použití těchto látek jako pojivo, je jejich zastoupení v kompozitní směsi poměrně malé. Navíc tyto materiály procházejí procesem řízeného mletí, při kterém lze některé potenciálně nebezpečné projevy dlouhodobého chování účinně usměrnit a riziko objemových změn eliminovat.

*Tento článek vznikl v rámci projektu TAČR, program Epsilon, projekt č. TH04020043.*

## Literatura

- [1] AUSTROADS: Technical Report – Review of Foamed Bitumen Stabilisation Mix Design Methods, Austroads Publication No. AP–T178/11, 2011.
- [2] Asphalt Academy, 2009: Technical Guideline: Bitumen Stabilised Materials: A Guideline for the Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilised Materials. Second edition. South Africa, Pretoria.
- [3] Valentin, J., Mondschein, P.: Pěnoasfalty při recyklaci za studena - stávající zahraniční zkušenosti. In: Znovupoužitie materiálů na stavebné účely. Štrbské Pleso, 2006.
- [4] Valentin, J., Mondschein, P.: Porovnání vybraných vlastností směsí studené recyklace s asfaltovou emulzí a asfaltovou pěnou. In: Zborník přednášok - VIII. vedecká konferencia Stavebnej fakulty TU v Košiciach, Košice, 2007.
- [5] Valentin, J., Mondschein, P.: Sledování vybraných reologických vlastností (moduly tuhosti a únava) u různých směsí recyklace za studena. In: Zborník z konferencie Realizácia a ekonomika stavieb. Štrbské Pleso, 2007.
- [6] Valentin, J., Mondschein, P.: Rozbor charakteristiky modulu tuhosti u vybraných směsí recyklace za studena. In: ASFALTOVÉ VOZOVKY 2009. Asfaltové vozovky 2009, České Budějovice, 2009-11-24/2009-11-25. Praha: Pragoprojekt, 2009. s. 1-11
- [7] Batista F., Valentin J., Čížková Z., et al: Report on available test and mix design procedures for cold-recycled bitumen stabilised materials. CEDR Transnational Road Research Programme Call 2012: Recycling: Road construction in a post-fossil fuel society, 2014.
- [8] Faltus M.: Nové typy hydraulických pojiv na bázi odpadních materiálů, Ecology and new building materials and products, červenec 2009, ISBN 978-80-254-4447-4.
- [9] Suda J., Čížková Z., Valentin J., Šedina J., Valentová T.: Influence of test specimen compaction and curing condition for pavement cold recycled mixtures, In: 12th International Symposium on Concrete Roads 2014. Praha: Výzkumný

- ústav maltovin s.r.o., 2014, p. 148-149.
- [10] Souček V., Suda J., Matoušek D., Kubinčanová L.: Směsi stmelené alternativními pojivy s uplatněním vedlejších produktů v silničním stavitelství, Juniorstav 2011, VUT - Brno.
  - [11] Krpálek, O.: Deformační chování směsí recyklace za studena s různými typy pojiv. Bakalářská práce, FSv ČVUT v Praze, 2013.
  - [12] Valentin J.: Problematika směsí recyklace za studena z hlediska vybraných funkčních charakteristik. Disertační práce, České vysoké učení technické v Praze, 2009.
  - [13] Čížková, Z.: Problematika laboratorního zkoušení asfaltových směsí recyklovaných za studena. Disertační práce, České vysoké učení technické v Praze, 2017.
  - [14] Suda, J.: Navrhování a hodnocení recyklovaných a emulzních asfaltových směsí s využitím vedlejších energetických produktů. Disertační práce, ČVUT v Praze, 2018.
  - [15] Šedina J.: Alternativní druhy pojiv ve stmelených směsích. Disertační práce, ČVUT v Praze, 2019.
  - [16] Suda, J., Valentin, J.: Využití mechanicky aktivovaného fluidního popílku ve stmelených směsích recyklace za studena. In: ŠKOPÁN, M., ed. Recycling 2012 - Možnosti a perspektivy recyklace stavebních odpadů jako zdroje plnohodnotných surovin. Recycling 2012, Brno.
  - [17] Valentin, J. et al. Poznatky z realizace zkušebního úseku s uplatněním technologie recyklace za studena a alternativního pojiva na bázi aktivovaného fluidního popílku (DASTIT®). In: RECYCLING 2018 - Možnosti a perspektivy recyklace stavebních odpadů jako zdroje plnohodnotných surovin. Brno, 2018.
  - [18] Živný M.: Kompozitní směsi pro recyklace konstrukčních vrstev vozovky za studena s využitím upravených vysokopecních strusek. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, 2019.
  - [19] Tarifa, N.: Alternative hydraulic binders for cold recycling techniques used in pavement rehabilitation. Final year project report (diplomová práce), ČVUT v Praze a ENIT Tunis, 2019.

# HYDRAULICKY STMELENÉ SMĚSI S UMĚLÝM HUTNÝM KAMENIVEM – POZNATKY Z REÁLNÉHO ZKUŠEBNÍHO ÚSEKU

## HYDRAULICALLY BOND MIXTURES WITH ARTIFICIAL DENSE AGGREGATE – EXPERIENCE FROM A REAL TRIAL SECTION

Ing. Jan Valentin, Ph.D., Ing. Radomír Rucki, Miroslav Karas, Ing. Pavla Vacková

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, [jan.valentin@fsv.cvut.cz](mailto:jan.valentin@fsv.cvut.cz)

Miroslav Karas - DESTRO, [radomir.rucki@destro.cz](mailto:radomir.rucki@destro.cz), [miroslav.karas@destro.cz](mailto:miroslav.karas@destro.cz)

Pozemní komunikace Bohemia, a.s., [pavla.vackova@pkb.cz](mailto:pavla.vackova@pkb.cz)

### **Abstrakt.**

*V rámci společných aktivit průmyslového vývoje byla společností DESTRO, Pozemní komunikace Bohemia a.s. a ČVUT v Praze ověřovány možnosti využití vysokopecní strusky jako vhodného materiálu pro hydraulicky stmelené směsi dopravního stavitelství obecně označované jako KSC nebo SC. Bylo navrženo několik variant kompozitních směsí se zrnitostí 0/32 mm výhradně struskového kameniva a s minimalizací cementu jako tradičního hydraulického pojiva. Pro vybrané varianty byla vyrobena série zkušebních Proctorových těles, která byla podrobena pevnostním zkouškách, bobtnání či zmrazování. V rámci této aktivity byly porovnány i dvě možnosti hutnění zkušebních těles – standardně Proctorovým pýchem a lisováním v souladu s technickými podmínkami Ministerstva dopravy, TP 208. Současně byl v září 2019 realizován zkušební úsek se dvěma variantami hydraulicky stmelené směsi se struskovým kamenivem. U tohoto úseku jsou sledovány především charakteristiky únosnosti konstrukční vrstvy v čase. Výsledky uvedených aktivit inovačního vývoje jsou prezentovány v článku.*

### **1. Úvod**

O problematice metalurgických strusek a jejich dalšího průmyslového využití byla nejen v ČR publikována řada poznatků [např. 1, 3-8, 10-15], jelikož se jedná o tradiční druhotnou surovinu, kterou je snahu využívat po desetiletí nejen ve stavebnictví, ale i jako filtrační materiál či brusivo. Používání především granulovaných vysokopecních strusek má své nezastupitelné místo a tradici při výrobě některých typů směsných cementů. Zde se ale dlouhodobě omezujeme především na tento jeden typ strusek, jejichž celková dostupnost je omezená. Aplikování strusky jako recyklovaného kameniva má svou tradici, přičemž u vysokopecních strusek nebývá s takovým materiálem technicky a technologicky problém – samozřejmě lze sledovat zpravidla mírně zvýšenou nasákavost, která je daná způsobem vzniku této horniny. Větší problém představují ocelářské strusky, jež bývají co do chemického složení heterogenější a obsahují zpravidla více reaktivních oxidů, které mohou při kontaktu s vlhkostí a vodou v konstrukcích vyvolávat sekundární reakce a v dlouhodobém horizontu vést k porušování vlastních kompozitů, do kterých jsou zabudovány. Proto v řadě zemí je například z pohledu dopravního stavitelství problematické tento typ strusek využívat. Nemělo by však docházet k tomu, aby se problematika ocelářských strusek paušalizovala na veškeré použitelné strusky, protože tím sami sobě vytváříme neopodstatněnou bariéru. Jiným problémem je slučování forem strusky jako certifikovaného umělého kameniva a studeného odvalu. Tento specifický problém je známý především v souvislosti s problémy, které řadu let sledujeme u ostravské části dálnice D1 (D47). I zde se však nejedná primárně o problém strusky jako nevhodného



kameniva, ale o nekontrolované použití odvalu, který s hutným umělým kamenivem má jen pramálo co společného.

Obecně samozřejmě platí, že strusky, ať již vysokopeční nebo ocelářské, vykazují menší či větší míru heterogenity. Je však třeba zdůraznit, že nejinak je tomu i u jiných konstrukčních materiálů přírodního původu používaných běžně ve stavebnictví – kamenivo z odlišného lomu má jiné vlastnosti, stejně jako asfaltová či hydraulická pojiva od různých výrobců. Vznik a vlastnosti strusky ovlivňuje při výrobě železa/oceli řada faktorů a výstupní vedlejší produkt (struska) je v řadě případů velmi heterogenní. Při výrobě železa vznikají z jednoho daného zdroje zpravidla podobné materiály. Avšak při výrobě oceli se mohou jednotlivé šarže od sebe natolik lišit, že i výsledné strusky budou rozmanitého charakteru.

Vlastnosti strusky tedy nelze generalizovat, ale při správném třídění a rozváženém skládkování (kontinuální „pasportizace“ vyvážených odpadů) lze získat dostatečné množství materiálu z jednoho zdroje, o kterém lze s určitou opatrností nebo přiměřenou mírou jistoty mluvit jako o homogenním.

Standardně proto ve stavebnictví pracujeme pouze se struskami, které lze označit jako „stabilní“, tedy strusky, u kterých proběhly všechny chemické procesy. U „stabilních“ strusek proběhly všechny nebo většina chemických dějů a tak se její vlastnosti s časem již nemění. Nedostatečně stabilní strusky mohou naopak vykazovat např. velké objemové změny, které by ve stavebních konstrukcích způsobovaly deformace. To je jeden z dalších důvodů, proč se poslední minimálně 4 roky zaměřuje Fakulta stavební ČVUT v Praze na zdroje a rozvoj řešení využití vysokopeční vzduchem chlazené strusky, která byla několik desetiletí stabilizována jejím uložením na haldě Koněv v Kladně. Právě doba, kterou tento nemalý zdroj v blízkosti hlavního města měl možnost od počátku minulého století procházet, z něj činí v mnoha ohledech unikátní druhotnou surovinu. Nutno dodat, že její potenciál české stavebnictví stále ještě plně neobjevilo a nedocenilo.

Není však možné generalizovat vlastnosti kompozitních směsí s použitím strusek, jisté závěry se ve výzkumech nicméně opakují (viz zdroje literatury níže):

- Jedna z vlastností, která je popsána shodně téměř ve všech studiích, je vhodný tvar zrn struskového kameniva. Struskové kamenivo má zpravidla velmi dobrý tvarový index a drsný pórovitý povrch, který zajišťuje dobré spolupůsobení kameniva a tím zlepšení pevnostních charakteristik směsí i bez přítomnosti hydraulického nebo asfaltového pojiva.
- Na druhou stranu pórovitá struktura struskového kameniva vyžaduje zvýšení obsahu asfaltového pojiva v asfaltových směsích. Při použití 100 % struskového kameniva je doporučeno použít minimálně o 0,5 % asfaltového pojiva více. Při náhradě nižšího procentuálního množství je nutné zvýšit obsah asfaltového pojiva dle optimalizace návrhu. U hydraulicky stmelených směsí může být tato skutečnost naopak předností, protože v pórovité struktuře je zachycena voda, která následně může být využita při vlastním procesu hydratace cementu či obdobného pojiva ve stmelené směsi.
- Dalším charakteristickým aspektem strusky je nasákavost. Pokud není struska ještě zcela chemicky stabilní, může docházet k její větší nasákavosti a vlivem chemických reakcí k objemovým změnám. V případě asfaltových směsí je tato potenciální vlastnost strusek eliminována tenkým asfaltovým filmem, kterým jsou strusky během výroby asfaltové směsi pokryty a který zabraňuje nasákavosti kameniva. Problém vysoké nasákavosti se týká především ocelářských strusek,

kteře obsahují vysoký podíl volného CaO a volného MgO, které zatím zcela nezreagovaly s křemičitými složkami.

- Některé studie uvádějí zhoršenou zpracovatelnost z důvodu ostrohranosti a textury zrn struskového kameniva. U hydraulicky stmelěných směsí toto považujeme za výhodu, která zlepšuje vzájemné zaklínění jednotlivých zrn a zvyšuje tak soudržnost kompozitní směsi a přispívá k vyšším pevnostem.

Záměrem studie, jejích některé poznatky zde jsou prezentované, bylo prokázat vhodnost či nevhodnost použití strusky z daného zdroje (Poldi Kladno) jako částečné náhrady přírodního drceného kameniva. I závěry získané ze zahraničních zdrojů podpořily vhodnost použití stabilizované vzduchem chlazené vysokopecní strusky. Přitom, jak bylo uvedeno, kladenské ložisko je co do velikosti svým výskytem v ČR ojedinělé, a proto má zajímavý potenciál pro využití ve stavebnictví.

Záměrem širší řešené studie bylo primárně ověření možnosti využití strusek v asfaltových směsích. Cílem přitom nebylo zlepšení vlastností asfaltových směsí, ale prokázání, že je možné vyrábět asfaltové směsi, které vyhoví normovým požadavkům i s uvedeným typem umělého hutného kameniva. Byl předpoklad, že použití struskového kameniva může mít pro obalovny i ekonomické přínosy. Další aspekt, který je třeba neopomíjet, byť se tak často děje, je ekologický přínos. Metalurgický průmysl má v České republice dlouhou historii a metalurgické provozy např. na Kladně či Ostravsku mají velké zásoby stabilního nezužitkováného materiálu. Jelikož technicky u asfaltových směsí je jistou limitou pórovitost struskového kameniva, která vede ke zvýšení podílu přidávaného asfaltového pojiva, byla postupně jako druhý směr rozvinuta možnost využití strusek pro hydraulicky stmelěné směsi.

## 2. Inicie a provedení zkušebního úseku

V rámci ověřování technologie směsí stmelěných hydraulickým pojivem byla společně s aplikačními partnery (stavební společnost POZEMNÍ KOMUNIKACE BOHEMIA, a.s. a výrobce umělého kameniva DESTRO) provedena pokládka dvou variantních řešení hydraulicky stmelěných vrstev s použitím struskového kameniva. Tyto hydraulicky stmelěné vrstvy byly z hlediska výrobních parametrů recepturou upraveny podmínkám výroby společnosti DESTRO, která provedla i vlastní výrobu dvou variant původně zamýšlených jako SC C8/10 (označováno dále jako KSC) s maximálním zrnem 32 mm a využitím výhradně drcené a tříděné stabilizované vysokopecní vzduchem chlazené strusky. Navrženými variantami hydraulicky stmelěných směsí jsou uvedené dále.

Tabulka 1: Varianty hydraulicky stmelěné směsi zkušebního úseku

	Struskové kamenivo	Hydraulické pojivo	Obsah pojiva	Obsah vody
KSC 01	0/4, 8/16, 16/32	CEM I 42,5 Radotín (~60 %) + el. popílek M (~40 %)	6,4 %	11,0 %
KSC 02	0/32	elektrárenský popílek A	6,0 %	14,2 %

U navržených směsí byly stanoveny tyto charakteristiky:

- **Laboratorní srovnávací objemová hmotnost a optimální vlhkost směsi** dle ČSN EN 13286-2 (Proctorova zkouška modifikovaná);
- **Pevnost v tlaku** dle ČSN EN 13286-41;
- **Modul přetvárnosti** dle ČSN 72 1006.

Pokládka zkušebního úseku proběhla na účelové komunikaci v areálu společnosti DESTRO v září 2019. Místo pokusného úseku bylo vybráno v lokalitě, kde projíždí těžká technika (nákladní automobily a rypadla), ale zároveň se nejedná o přímou příjezdovou komunikaci do drtícího a třídícího centra, která by se primárně využívala pro veškerou dopravu.



Obrázek 1: Pokusný úsek v areálu Destro, Kladno

Před pokládkou byl stávající povrch srovnán na přijatelnou rovinatost a zhutněn těžkým válcem. Na zhutněném povrchu byly stanoveny základní vlastnosti podkladu, tedy především modul přetvárnosti, který sloužil jako referenční (výchozí) hodnota.

Navržené směsi byly položeny ve dvou pružích o cca šířce 3 m, délce 100 m a tloušťce 20 mm. Potřebná množství hydraulicky stmelených směsí byla vyrobena v míchací zařízení společnosti DESTRO. Z míchacího zařízení byly odebrány vzorky, které byly dále zkoušeny.



Obrázek 2: Podklad pro KSC vrstvu – před hutnění (vlevo), po hutnění (vpravo)

Hydraulicky stmelená směs s obsahem cementu a popílku jako aktivní náhrada části pojiva „M“ byla vizuálně tmavší a více vlhká než směs, která obsahovala pouze popílek „A“. Díky popílku byla směs spíše zabarvená do hněda. V těchto případech se jednalo o granulační popílek z elektrárny Mělník.

Hydraulicky stmelené směsi byly pokládány v tloušťce cca 20 mm. K pokládce byl použit grader a zeminový vibrační válec. Válec zhutnil dané pruhy pokusného úseku

vždy stejný počtem pojezdů. I po finálním hutnění byl patrný vizuální rozdíl mezi použitými směsmi typu KSC, což je dáno především použitím popílku.

Během hutnění vrstev s vibrací bylo zjištěno, že v druhé polovině pokusného úseku (v místech blíže KÚ) se nachází pod povrchem buď skalní masiv, či jiný velmi tuhý objekt. Vzhledem k charakteru území – deponie pro skládkování strusky a ostatních materiálů z vysokých pecí Poldi Kladno – je možné, že pod povrchem se nachází jiný pevný/tuhý objekt, který může negativně ovlivňovat výsledky zkoušek vrstev.



**Obrázek 3: Pokusný úsek během hutnění (vlevo), po zhutnění (vpravo)**

### 3. Výsledky dat z pokusného úseku

Jak bylo uvedeno výše, během pokládky pokusného úseku byly z obou hydraulicky stmelených směsí odebrány vzorky, které byly laboratorně zhutněny a zkoušeny v souladu s ČSN EN 14227-1.

**Tabulka 2: Zkoušky hydraulicky stmelených směsí**

Charakteristika		KSC 01	KSC 02
objemová hmotnost po zhutnění (vlhká)	kg/m <sup>3</sup>	2344	1984
vlhkost směsi stanovená ze vzorku	% hm.	10,4	19,7
suchá objemová hmotnost směsi	kg/m <sup>3</sup>	2123	1657
objemová hm. suché směsi + nasákavost k.	kg/m <sup>3</sup>	2266	1757
skutečný objem zhutněné směsi	m <sup>3</sup>	1,016	1,000
pevnost v tlaku po 7 dnech	MPa	12,7	5,7
28 dnech	MPa	17,7	6,3
nárůst pevnosti	%	33,9 %	10,9 %
Pozn.: Hutnění těles bylo provedeno Proctorovou zkouškou, varianta Proctor modifikovaný			

Z výsledku provedených zkoušek je patrné, že po 28 dnech odpovídá směs KSC 01 dle normových specifikací třídě SC C<sub>15/20</sub> a směs KSC 02 třídě SC C<sub>5/6</sub>. Z uvedeného vyplývá, že u první varianty lze uvažovat významné snížení obsahu cementu v hydraulicky stmelené směsi, pokud bychom cílili na zamýšlenou variantu hydraulicky stmelené směsi třídy SC C<sub>8/10</sub>.

Modul přetvárnosti byl stanoven dle ČSN 72 1006 na zemní pláni a poté po 15 a 36 dnech od pokládky vždy v přibližně shodných místech, aby byl eliminován vliv změny podloží.



Obrázek 4: Schéma pokládky hydraulicky stmelěných směsí (11.9.2019)

Tabulka 3: Výsledky zkoušky únosnosti u konstrukční vrstvy typu SC

			DEN 0	DEN 15	DEN 36	Nárůst koeficientu $E_{def,2}$	
			(podklad)			DEN 15	DEN 36
KSC 01	1	$E_{def,1}$	17,6	187,4	192,6	465%	478%
		$E_{def,2}$	<b>56,4</b>	<b>262,4</b>	<b>269,6</b>		
		poměr	3,2	1,4	1,4		
	2	$E_{def,1}$	113,9	373,1	329,1	287%	253%
		$E_{def,2}$	<b>182,2</b>	<b>522,3</b>	<b>460,7</b>		
		poměr	1,6	1,4	1,4		
KSC 02	3	$E_{def,1}$	17,6	383,1	209,1	1019%	741%
		$E_{def,2}$	<b>56,4</b>	<b>574,7</b>	<b>418,2</b>		
		poměr	3,2	1,5	2		
	4	$E_{def,1}$	113,9	187,5	128,6	154%	92%
		$E_{def,2}$	<b>182,2</b>	<b>281,3</b>	<b>167,2</b>		
		poměr	1,6	1,5	1,3		

Při prvním měření konstrukčních vrstev byl patrný významný nárůst charakteristiky vlivem použitých materiálů. Na začátku pokusného úseku (body 1 a 3) je nárůst pevností markantnější a to už jen z důvodu nižší pevnosti výchozí zemní pláně. Na začátku úseku (ZÚ) měla zemní plán pouze 56,4 MPa, kdežto na konci úseku (KÚ) měla více než trojnásobnou hodnotu.

Mezi jednotlivými měřeními (15. a 36. den) došlo k poklesu charakteristik. Je nutné zdůraznit, že v říjnu již nebyly natolik ideální klimatické podmínky a je možné, že výsledky jsou negativně ovlivněny deštivější obdobím. Současně není zdokumentováno, jaký byl občasný provoz těžké stavební techniky (zejména pásových rypadel) po realizované vrstvy KSC. I tato skutečnost mohla ovlivnit výsledné vlastnosti a únosnost testované konstrukční vrstvy. Z klimatických důvodů nebylo již provedeno měření 60 dní od pokládky hydraulicky stmelěné směsi. Časté deště vystřídaly ranní mrazy a měření by tímto bylo ovlivněno.

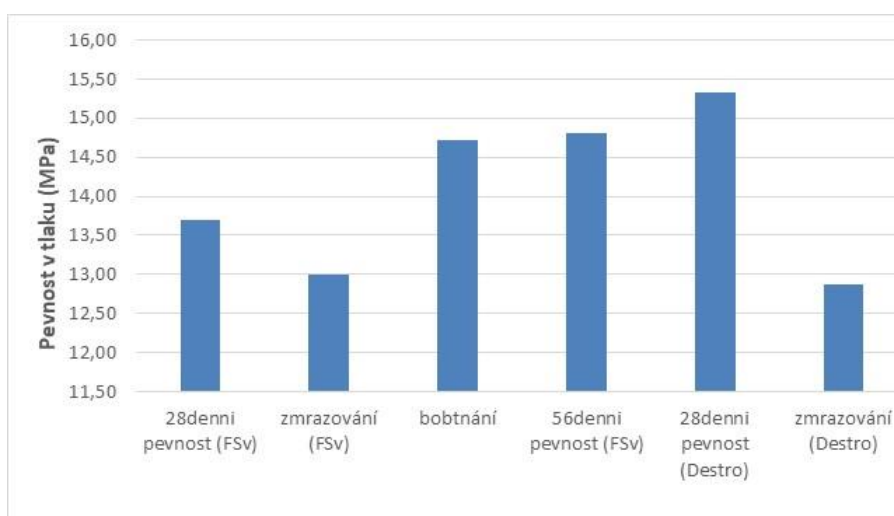
#### 4. Laboratorní ověření

Pro ověření výsledků získaných praktickým ověřením technologie, které se neomezuje jen na popsany zkušební úsek, ale i na další reálně provedené stavby v regionu Kladenska byla laboratorně vyrobena jedna z variant hydraulicky stmelěné směsi, která odpovídala parametry KSC 01, jak je uvedeno výše a to s obsahem pojiva na úrovni 6 %-hm. I v tomto případě pojivo tvořil v poměru 60:40 portlandský cement a elektrárenský popílek. Z této směsi bylo vyrobeno 11 zkušebních těles hutněných Proctorovým pěchem (modifikovaná Proctorova zkouška pro zkušební tělesa průměru 150 mm). Vedle toho bylo vyrobeno 12 zkušebních těles lisováním v souladu s postupem, který uvádějí technické podmínky Ministerstva dopravy ČR, TP 208, pro směsi recyklace za studena na místě. Při tomto způsobu hutnění se zkušební těleso stlačuje silou 85 kN. Pro hydraulicky stmelěnou směs byla stanovena její počáteční



vlhkost, jež se pohybovala na úrovni 9,3 %-hm. Současně byla stanovena mezerovitost zhutněných zkušebních těles, která dosahovala hodnoty 15,90 %-obj.

Zkušební tělesa byla následně rozdělena do několika skupin s cílem stanovit pevnost v tlaku po 7, 28 a 56 dnech zrání v souladu s ČSN EN 13286-41. Dále byla v souladu s požadavky normy ČSN EN 14227-1 stanovena i odolnost hydraulicky stmelené směsi proti vodě a mrazu. Tato zkouška je prováděna podle normy ČSN 73 6124-1, příloha A. Odolnost se testuje alespoň na třech zkušebních tělesech po 28 dnech zrání. Tělesa se nejdříve uloží na plstěnou podložku a nechají se kapilárně nasytit vodou. Poté jsou uložena na 6 hodin do mrazící skříně a následně na 18 hodin vyjmuta a znovu uložena na plstěnou podložku, kdy probíhá současně kapilární sycení vodou a rozmrazování. Následně dojde znovu ke zmrazení těles a celý proces se opakuje, dokud není splněn předepsaný počet cyklů. Po ukončení cyklického děje je zkoušena pevnost v tlaku těles dle ČSN EN 13286-41. Pevnost v tlaku zkušebních těles, které jsou vystaveny mrazovým cyklům, by měla dosáhnout minimálně 85 % pevnosti v tlaku zkušebních těles nepodrobených zmrazovacím cyklům. Norma předepisuje v závislosti na indexu mrazu dané oblasti tři úrovně a to odděleně pro uplatnění ve spodní podkladní vrstvě (7-13 cyklů) a v horní podkladní vrstvě (10-13 cyklů). V rámci provedeného posouzení bylo zvoleno 13 zmrazovacích cyklů. V neposlední řadě byla provedena zkouška lineárního bobtnání dle postupu uvedeného v ČSN EN 13286-47. Tento postup se uplatňuje standardně u zemin a pro zde posuzované hydraulicky stmelené směsi byl převzat. Zkušební tělesa byla ponechána v Proctorově formě byla umístěna do vodní lázně, včetně digitálního úchylkoměru, pomocí něhož byla sledována míra bobtnání po dobu 14 dní a 30 dní. Následně byla i u těchto těles provedena zkouška pevnosti v prostém tlaku.



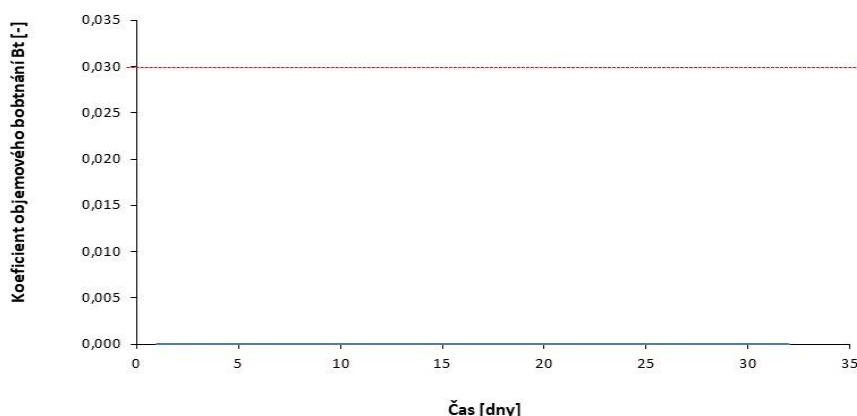
**Obrázek 5: Pevnost v prostém tlaku (pozn.: tělesa FSv byla vyrobena na automatickém Proctorově pěchu, 5 vrstev s 56 údery; tělesa Destro byla vyrobena ručním Proctorovým pěchem, 3 vrstvy s 56 údery)**

Výsledky pevnostních charakteristik jsou uvedeny na obr. 5. Z výsledků zkoušky odolnosti hydraulicky stmelené směsi proti účinkům vody a mrazu plyne, že v případě hutnění zkušebních těles standardním postupem (5 vrstev s 56 údery pěchu, automatický přístroj) je dosažena pevnost na úrovni 94,9 % (tedy pokles pevnostní charakteristiky po 13 zmrazovacích cyklech o 5,1 %). Jelikož bylo několik zkušebních těles vyrobeno pro účely porovnání i s využitím ručního Proctorova pěchu, kde se provedlo hutnění nestandardně ve 3 vrstvách s 56 údery, tak u této série zkušebních



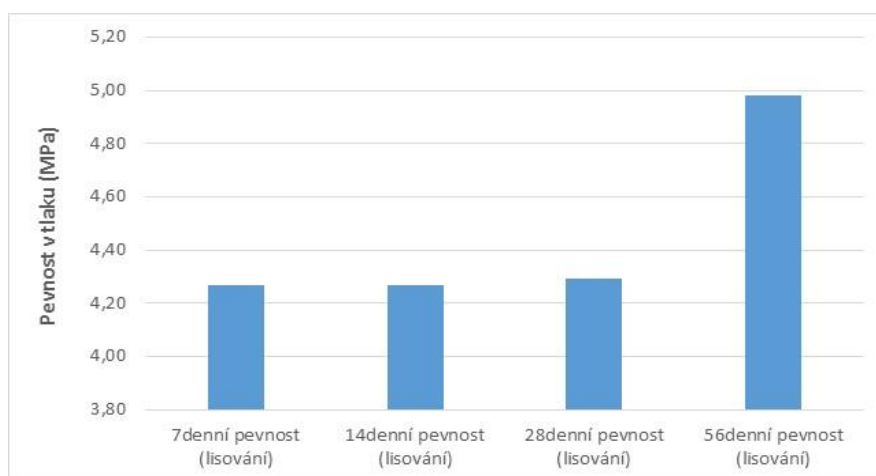
těles bylo dosaženo po 13 zmrazovacích cyklech úrovně 84,1 % (tedy pokles pevnostní charakteristiky po 13 zmrazovacích cyklech o 15,9 %).

U zkoušky lineárního bobtnání lze konstatovat, že po 30 dnech uložení zkušebních těles ve vodě nedošlo k žádné změně objemu (výšky zkušebního tělesa), viz obr. 6.



**Obrázek 6: Průběh zkoušky lineárního bobtnání ověřované směsi KSC s umělým hutným (struskovým) kamenivem**

Výsledku pevnostních charakteristik zkušebních těles hutněných lisováním jsou pro informaci shrnuty na obrázku 10. Hodnoty v porovnání s normově hutněnými zkušebními tělesy cementových stabilizací (KSC) dosahují přibližně třetinových pevností v tlaku, přičemž se obdobně jako na obr. 5 potvrzuje postupný nárůst pevnosti, ke kterému dochází v prvních 56 dnech zrání a lze předpokládat, že mírný trend zvyšující se pevnosti v tlaku pokračuje i v delším období, než 56 dní.



**Obrázek 7: Výsledky zkoušky pevnosti v prostém tlaku zkušebních těles hutněných lisováním dle TP 208**

## Závěr

Hledání nových možností pro využití umělých nebo recyklovaných druhů kameniva jako je vysokopecní stabilizovaná struska, nebo jako představují vedlejší energetické produkty v podobě řady popílků, je jedním z aktuálních témat, kdy je snahou co nejefektivněji využít těchto produktů, které vznikají lidskou činností a v mnoha případech končí na skládkách. Zde jsou dlouhodobě uloženy bez dalšího využití nebo se uplatňují pro podřadné aplikace ve stavebnictví, případně v dalších odvětvích. Tím se nezahodnocuje v dostatečné míře energie, která byla do jejich vytvoření vložena a

současně není využito možnosti ochránit neobnovitelné přírodní zdroje jejich částečnou substitucí za vedlejší produkty lidské činnosti, které tak jako tak vznikají.

U sledovaného typu strusky a jejího použití v hydraulicky stmelené směsi se ukazuje, že vedle možnosti tento materiál použít, aniž by byly negativně ovlivněny sledované parametry, se jako další potenciál ukazuje možnost snižovat i množství potřebného hydraulického pojiva, které se do takové směsi přidává a to díky specifickým fyzikálním vlastnostem, které tato struska má.

*Tento článek vznikl v rámci projektu programu TAČR ZÉTA, projekt č. TJ01000435.*

## Literatura

- [1] Patel, Jigar P.: Broader Use of Steel Slag Aggregates in Concrete. *Bachelor thesis*, Maharaja Sayajirao University of Baroda, India, 2006.
- [2] Piatak, Nadine M.: Environmental Characteristics and Utilization Potential of Metallurgical Slag: Chapter 19. *Environmental Geochemistry (Second Edition)*: 487-519 ISBN 9780444637635, 2018.
- [3] Shi, C., Krivenko, P.V., Roy D.M.: Alkali-activated cements and concretes. New York: Taylor & Francis. ISBN 9780415700047, 2006.
- [4] 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.
- [5] Wang, G.C.: The utilization of slag in civil infrastructure construction. Duxford, UK: Woodhead Publishing is an imprint of Elsevier. Woodhead Publishing series in civil and structural engineering, number 68. ISBN 978-0-08-100994-9, 2016.
- [6] Frýbortová, I.: Možnosti alkalické aktivace ocelářské strusky (bakalářská práce), VUT Brno, 2010.
- [7] Glukhovskiy, 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.
- [8] Hanzálek, M.: Mechanické vlastnosti cementových malt s příměsí mikromleté strusky. Diplomová práce, ČVUT Praha, 2017.
- [9] Vlček, J. a kol.: *Strusky z výroby železa a oceli a jejich objemová stabilita*, Stavební obzor, ročník 20 č. 6/2012
- [10] Neagu, D.: *Možnosti recyklace materiálů z metalurgických procesů*, Bakalářská práce, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, VŠB-TU Ostrava, 2017.
- [11] Hlavinková, E.: *Potenciální náhrada vysokopecní strusky ve směsných portlandských cementech*, bakalářská práce, Fakulta stavební, VUT v Brně, 2012
- [12] Rucki, R.: *Betonové stavební výrobky s vysokým podílem druhotných surovin*, RECYCLING 2018, sborník přednášek 23. ročníku konference
- [13] Boháčová, J.: *Possible Applications of Alkali-Activated Systems in Construction*, Transactions of the VŠB – Technical University of Ostrava, Civil Engineering Series, Volume 12, Issue 2, 2013
- [14] Martauz, P.: *Fundamental Properties of Industrial hybrid cement: utilization in ready-mixed concretes and shrinkage-reducing application*, *Materiales de Costrucción*, Vol. 66, Issue 322, 2016
- [15] Prošek, Z. a kol.: *Role of lime, fly ash, and slag in cement pastes containing recycled concrete fines*, *Construction and Building Materials*, Vol. 201, 2019.

# **SPOJOVÁNÍ BETONŮ Z BETONOVÉHO RECYKLÁTU EPOXIDOVÝMI A EPOXI-DISPERZNÍMI LEPIDLY**

## **BONDING OF CONCRETE WITH RECYCLED CONCRETE AGGREGATE WITH EPOXY AND EPOXY-DISPERSION ADHESIVES**

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

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, jana.knapova@vutbr.cz

### **Abstract**

*Contact gluing is undoubtedly one of the modern ways of bonding materials. The presented article examines the possibility of applying water-soluble epoxy dispersion adhesives to concrete surfaces of building constructions. The applicability of these adhesives is verified by adhesion tests where the degree of adhesion of the adhesive to recycled concrete surfaces is being compared to the degree of adhesion of standard epoxy and silicate adhesives. The obtained results show eligibility of water-soluble epoxy dispersion in the field of contact gluing of building materials.*

### **1. Úvod**

Betony z betonového recyklátu se stále častěji zabydlují ve stavební praxi. Dovedou nahradit méně až středně kvalitní betony z přírodního kameniva, navíc jsou ekologické, tedy je v nich zabudována druhotná surovina ve formě betonového recyklátu. Konstrukce z betonu z betonového recyklátu je však nutno většinou dále vystrojovat, tedy na ně napojovat díly z variantních konstrukčních materiálů. Jednou z možných variant napojování je bezesporu lepení. Vznik moderních lepidel na bázi syntetických pryskyřic je časově spojeno s koncem druhé světové války. Lze říci, že vývoj nových druhů syntetických lepidel v posledním půlstoletí ubíhá mílovými kroky vpřed. Současné syntetické pryskyřice výrobci nabízejí ve dvojí formě – klasické (nerozpustné ve vodě – např. CHS Epoxy 1200) a disperzní (s i bez přídatných rozpouštědel – tzv. eco-friendly compositions). Obecně je možno lepidla pro stavební účely rozdělit na lepidla roztoková a disperzní (tuhnou odpařováním nebo vsakováním vody nebo organického rozpouštědla) a lepidla reaktivní (tuhnou vlivem chemické reakce vyvolané vnějšími vlivy, např. zvýšenou teplotou nebo přidáním tvrdidla). Často nachází uplatnění u potrubních a izolačních systémů lepidla tavná, která je třeba nejdříve roztavit nebo natavit, poté za normální teploty tuhnou a spojují požadované povrchy.

Princip hodnocení použitelnosti a vhodnosti moderních epoxidových disperzí [1, 2, 3, 4] pro lepení stavebních materiálů spočívá v porovnání adhezních vlastností daných disperzí, nanesených na různě upravené betonové adhezivy, a adhezních vlastností klasických silikátových a epoxidových lepidel. Míru adheze lze objektivně stanovit dle ČSN EN 1015-12 jako maximální napětí v tahu vyvozené zatížením působícím kolmo k povrchu naneseného adheziva a vyjádřit jako přídržnost v N/mm<sup>2</sup> [5].

### **2. Popis testovaných materiálů a princip zkušebních postupů**

Během výzkumu byly otestovány adhezní a kohezní vlastnosti [6, 7, 8] moderního vodou ředitelného disperzního dvousložkového lepidla pro stavební aplikace

označeného L1, v textu pak **I.** (viz Tab. 1), od výrobce SYNPO Pardubice, a.s. Kompozice složky A lepidla L1: 73 % disperze CHS EPOXY 160 V 55; 20 % Kalcimat KO-1/30; 0,5 % Bentone LT; 0,2 % Bayferrox 316. Složka B lepidla L1 obsahuje 6,5 % tvrdidla Telalit 1040.

Zkoušky byly provedeny na podkladu z betonu z betonového recyklátu. Z důvodu ověření nutnosti povrchové úpravy adhérendu před vlastním lepením byly některé betonové povrchy zabroušeny, některé navíc penetrovány vodou ředitelnou epoxidovou disperzí typu **IV.** (CHS Epoxy 160V55 + tvrdidlo Telalit 1040 – viz Tab.č. 1). Beton z betonového recyklátu je minimálně dvojnásobně nasákavý oproti betonu z těžného hutného kameniva, proto nanesená vrstvička epoxidové disperze může předčasně ztratit vodní dispergens s negativními následky popraskání a nedostatečného slití dispergovaného lepidla (pro pórobeton viz Obr. 4). Míra adheze zatvrdlé vodní disperze k podkladu byla stanovena odtrhovou zkouškou (jedná se o stanovení přídržnosti  $f_u$  v N/mm<sup>2</sup> dle [5]) a byla porovnána s adhezí klasického elastického silikátového lepidla Flexkleber firmy Knauf a s adhezí epoxidového lepidla E520 k odpovídajícímu podkladu.

Tab. 1 Přehled použitých lepidel a penetrací při testu přídržnosti

Typ – označení v textu	Typ adheziva a penetrace	Typ tvrdidla	Poměr mísení Adhezivo: Tvrdidlo /: (voda)	Účel při testu soudržnosti
<b>I.</b>	Lepidlo L1 pro konstrukce – složka A	Lepidlo L1 – složka B	100 : 7	Testované disperzní lepidlo
<b>II.</b>	Flexkleber elastické lepidlo	-	5 : 1,4	Referenční silikátové lepidlo
<b>III.</b>	Lepidlo E520 složka A – pryskyřice	Telalit 2007	2 : 1	Referenční lepidlo
<b>IV.</b>	Penetrace CHS Epoxy 160V55 – disperzní	Telalit 1040	100 : 9	Penetrační systém
<b>V.</b>	Lepidlo pro lepení terčů – složka A	Lepidlo pro lepení terčů – složka B	2 : 1	Lepidlo pro určování adheze k podkladu

Posouzení adhezních vlastností adheziv bylo provedeno na základě stanovení přídržnosti dle ČSN EN 1015 12 „Zkušební metody malt pro zdivo – Část 12: Stanovení přídržnosti zatvrdlých malt pro vnitřní a vnější omítky k podkladu“. Přídržnost adheziva k podkladu  $f_u$  v N/mm<sup>2</sup> byla stanovena jako maximální napětí v tahu, vyvozené zatížením působícím kolmo k povrchu adheziva naneseného na podklad. Takové zatížení bylo vyvozeno prostřednictvím odtrhového terče o průměru 50 mm, přilepeného speciálním rychletuhnoucím lepidlem typu **V.**

k testovanému kruhovému povrchu adheziva – viz Obr. 1. Hledaná přídržnost byla vyjádřena jako podíl vyvozeného zatížení a zkoušené plochy. Mechanický způsob odtrhu ocelového terče Ø 50 mm švýcarským přístrojem DYNA Z 15 firmy PROCEQ je znázorněn na Obr. 2.



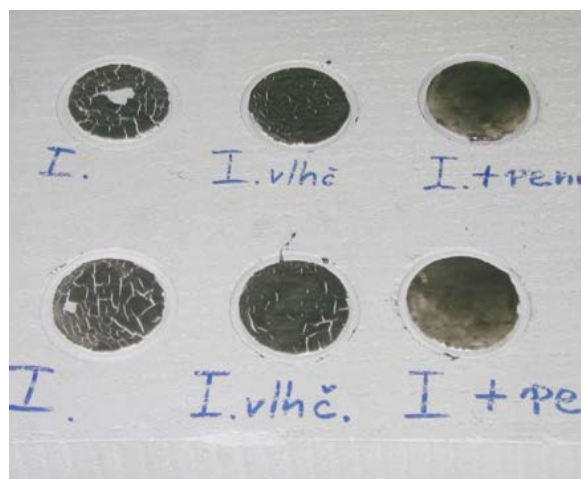
Obr. 1 Přilepení odtrhového terče k povrchu



Obr. 2 Odtrh terče přístrojem DYNA Z 15



Obr. 3 Nanesené adhezivo L1 na povrchu betonu



Obr. 4 Popraskaný povrch L1 na pórobetonu

### 3. Postup stanovení přídržnosti

Technologii penetrace, nanášení testovaných adheziv a lepení odtrhových terčů na betonové adherendy lze rozdělit do těchto podskupin:

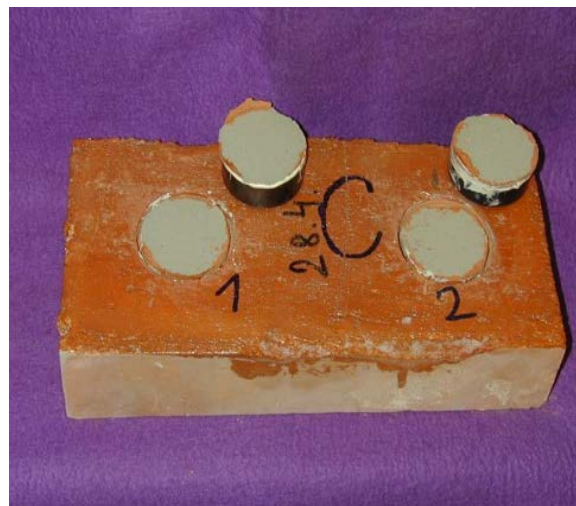
a) aplikace testovaného disperzního adheziva typu **I.** na penetrovaný povrch betonového adherendu. Vývrtem omezená kruhová plocha je 1x napenetrována penetrací typu **IV.** Po 24 hodinách zasychání je nanесena stěrkou tenká vrstva adheziva typu **I.**, které zasychá a tvrdne cca 1 měsíc (Obr. 3). Poté je na tuto tenkou vrstvu testovaného adheziva přilepen adhezivem typu **V.** odtrhový terč – viz Obr. 1, po 24 hodinách je proveden vlastní test přídržnosti (prakticky Obr. 2 a Obr. 5).

b) aplikace testovaného disperzního adheziva typu **I.** na surový (nepenetrovaný) povrch adherendu (beton). Vynechána etapa penetrace a následného 24hodinového zasychání, jinak postup stejný jako a).

c) aplikace referenčního silikátového adheziva typu **II.** na surový (neimpregnovaný) povrch betonového adherendu. Na vývrtem omezenou kruhovou plochu je nanесena cca 1 mm silná vrstva adheziva typu **II.**, která zasychá a tvrdne cca 1 měsíc. Poté je na tuto vrstvu silikátového adheziva typu **II.** přilepen adhezivem typu **V.** odtrhový terč, po 24 hodinách je proveden vlastní test přídržnosti (vzorově pro keramiku Obr. 6).



Obr. 5 Způsob odtržení penetrovaného betonového adherendu při testu přídržnosti adheziva typu **I.** a **II.**



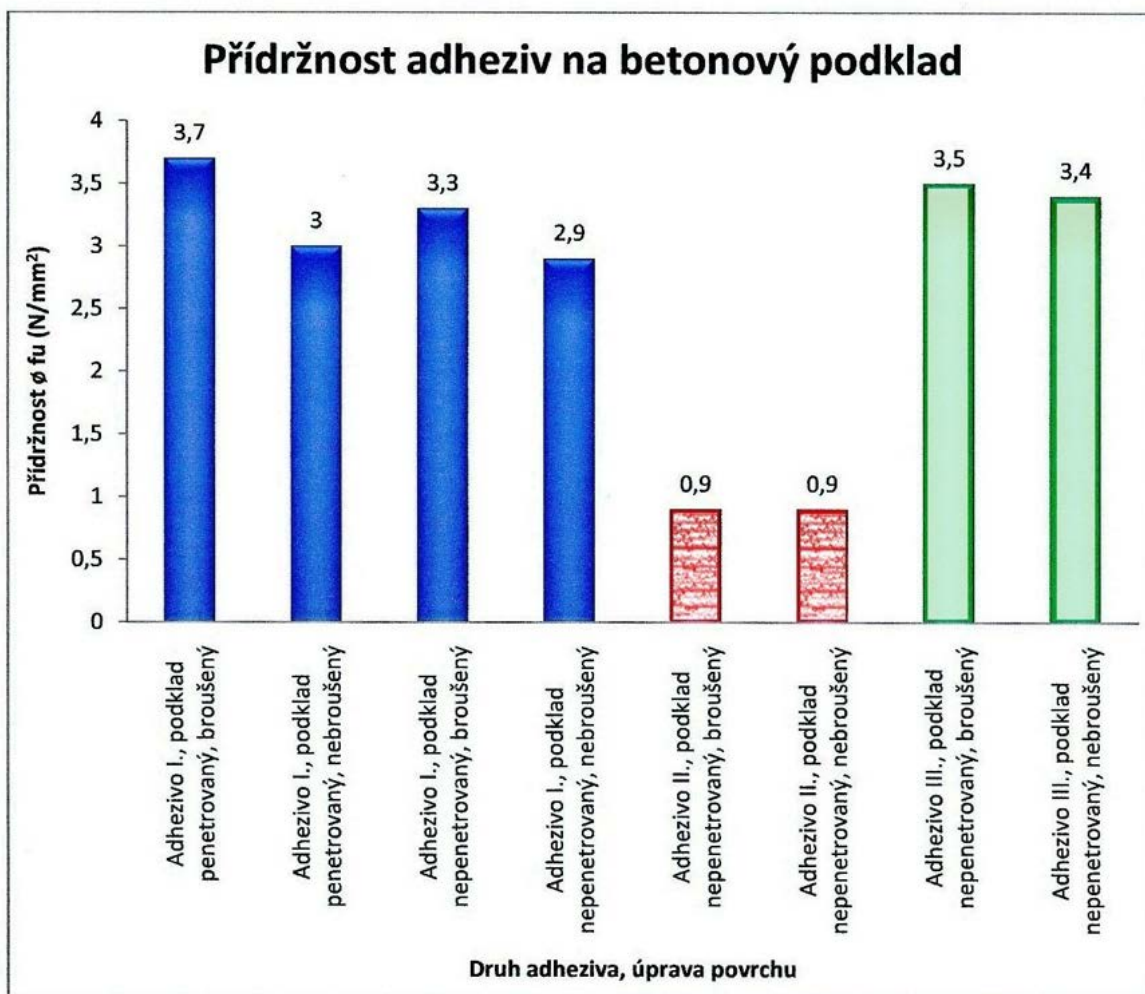
Obr. 6 Ztráta koheze silikátového adheziva typu **II.**

#### 4. Výsledky

Výsledky přídržnosti testovaného disperzního (typ **I.**) a referenčních silikátového a epoxidového adheziva (typ **II.** a **III.**) k různě upraveným betonovým adherendům obsahuje přehledně Obr. 7. Testy moderního disperzního adheziva byly vždy provedeny na šesti samostatně odvrtaných vzorcích daného typu adherendu, testy referenčních adheziv pak na minimálně třech samostatných vzorcích daného adherendu.

Z adhezních vlastností testovaného vodou ředitelného epoxidového disperzního adheziva typu **I.** byla největší pozornost věnována přídržnosti. Během testu přídržnosti adheziva typu **I.** (lepidlo **L1**) ke všem úpravám betonových adherendů došlo k porušení tahem v materiálu adherendu, tedy přídržnost je vždy větší než dosažený výsledek zkoušky. Význam penetrace betonových adherendů přípravkem typu **IV.** před vlastním nanесením disperzního adheziva typu **I.** nelze jednoznačně prokázat (adheze k penetrovanému podkladu je vyšší než naměřené přídržnosti  $f_u$  pro adhezivo typu **I.**), avšak lze předpokládat její účelnost u pórovitých adherendů (cihly, plynosilikáty), kde je nebezpečí rychlého vysušení a následného popraskání disperzního adheziva. Během testu přídržnosti referenčního silikátového adheziva typu **II.** (Flexkleber) ke všem betonovým adherendům došlo k porušení tahem ve vrstvě adheziva, tj. došlo k porušení vlastní soudržnosti (koheze) hmoty adheziva. Přídržnost je vždy větší než dosažený výsledek zkoušky. Druhé referenční epoxidové adhezivo typu **III.** se chová z hlediska přídržnosti obdobně jako testované disperzní adhezivo typu **I.**





## 5. Závěr

Epoxidové disperze se začínají prosazovat ve stavební praxi díky a) dobré přilnavosti na vlhké podklady, b) možnosti použití vlhkých plnidel, c) nízké toxicitě a nehořlavosti d) zanedbatelným nákladům na ředění a celkové úspoře až 20 % při výrobě oproti epoxidovým pryskyřicím. Navíc, výsledky provedených zkoušek přidržnosti dle ČSN EN 1015 – 12 ukazují, že u surových i upravených typů betonových povrchů je výsledná adheze k podkladu i vnitřní koheze disperzního lepidla L1 vyšší než u silikátového lepidla FLECKLEBER a je srovnatelná s epoxidovou pryskyřicí E520. Díky tomu jsou ve vodě rozpustná epoxidová disperzní lepidla vhodná v oblasti kontaktního lepení stavebních materiálů. Předložený výzkum potvrzuje konkurenceschopnost těchto lepidel s tradičními a ponechává prostor pro podrobnější zkoumání neoptimálnějšího složení.

## 6. Literatura

- [1] ANON. Epoxy dispersions in adhesive applications. Adhesives Age. 1995, 38(5), 34-37, ISSN 0001-821X
- [2] NOVÁK, J. et al. Vodou ředitelné epoxidové disperze nové generace. [New generation water-soluble epoxy dispersions]. Internal research report of the project No. FT-TA3/056. Synpo Pardubice Czech Republic, 2006, 26-38

- [3] NOVÁK, J. et al. *Vodou ředitelné epoxidové disperze nové generace* [New generation water-soluble epoxy dispersions]. Internal research report of the project No. FT-TA3/056. Synpo Pardubice, Czech Republic, 2008, 44-65
- [4] AI. D.; MO. R.; WANG. H. et al. *Preparation of waterborne epoxy dispersion and its application in 2K waterborne epoxy coatings*. Progress in Organic Coatings. 2019, 136, UNSP 105258, doi.org/10.1016/j.porgcoat.2019.105258
- [5] ČSN EN 1015-12 *Zkušební metody malt pro zdivo – Část 12: Stanovení přídržnosti zatvrdlých malt pro vnitřní a vnější omítky k podkladu*. ČNI. 2000
- [6] ŠAUMAN Z. *Úvod do fyzikální chemie obecné a stručné základy fyzikální chemie silikátů*. [Introduction to physical chemistry: general and brief basics of physical chemistry of silicates]. Praha: STNL, 1965, 112-134
- [7] BRANDŠTETR, J. and ŠAUMAN, Z. *Teorie struktury stavebních látek*. [Theory of structure of building matters]. Brno, BUT, 1979, 145-165
- [8] SHAW, J.D.N. *Adhesives in the construction industry*. Materials and case histories, Construction and Building Materials. 1990, 4(2), 92-97, doi.org./10.1016/0950-06/8(90)90007-N

# SMĚSI PRO VIBROLISOVANÉ PRVKY S VYUŽITÍM ODPADNÍ ZEMINY A BETONOVÉHO RECYKLÁTU

## MIXTURES FOR VIBRATED AND COMPRESSED ELEMENTS USING WASTE SOIL AND CONCRETE RECYCLATE

Ing. Peter Gallo<sup>1</sup>; Ing. Petr Konrád<sup>2</sup>; Ing. Radoslav Sovják, Ph.D.<sup>2</sup>;  
Ing. Šárka Pešková, Ph.D.<sup>2</sup> a Ing. Jan Valentin, Ph.D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Katedra silničních staveb, Fakulta stavební, ČVUT v Praze, peter.gallo@fsv.cvut.cz

<sup>2</sup>Experimentální centrum, Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Thákurova 7, Praha

### **Abstract**

*Transition to a circular economy is a necessity not only from the point of view of sustainable development policy. Framework of this study contributes to this effort. It deals with the use of the majority of waste produced by construction, such as recycled concrete and waste soil. The study examines the possibility of producing vibrated and compressed elements using mentioned waste materials. Three variants of the mixture were produced: one mixture with recycled concrete and two mixtures with different soils. The effect of compaction method, superplasticizer (HRWR) and air-entraining admixture were investigated. Compressive strength and bulk density were key comparison values.*

### **1. Úvod**

Stavebnictví patří mezi význačné producenty odpadu. Na druhou stranu, už několik let se řadí mezi odvětví, které využíváním druhotných surovin významnou měrou přispívá k ochraně životního prostředí. V zemích EU odhadem představují přibližně 45% z celkové produkce odpadů, bez výkopových zemin přibližně 25% odpadů [1]. Stavební odpad tedy představuje významný zdroj druhotných surovin, přičemž hmotnostní podíl odpadních zemin je takřka poloviční. Tvoří tak největší složku produkce odpadu ve stavebnictví. Je tedy v obecném zájmu se využitím tohoto odpadu zabývat.

Jedním ze základních problémů využití odpadních zemin je jejich různorodost. I když máme k dispozici inženýrsko-geologický průzkum, po vytěžení je zpravidla zemina jiná, než je očekáváno. Je to dáno způsobem jejího vzniku. V praxi ovšem tento fakt činí použití takového materiálu značně nesnadným. Odpadní zemina je totiž pojem, který v sebe zahrnuje celou škálu příbuzných, no jinak chovajících se materiálů. I proto se tento článek zabývá využitím různých typů zemin. Kromě toho je jeho cílem zjištění vlastností směsí s betonovým recyklátem a zjistit odlišnosti v chování bez a za použití dalších přísad.

### **2. Materiály a příprava**

Vlastní výzkum navazuje na předcházející práci [2-3]. Kromě odpadní zeminy se tento článek zaměřuje na využití betonového recyklátu, určení vlivu způsobu hutnění a přidání dvou různých přísad na pevnost v tlaku a objemovou hmotnost.

Základní materiály pro výrobu směsí byly následovné:

- Hlína s nízkou plasticitou F5 ML,
- Písek hlinitý S4 SM,
- Betonový recyklát 0/8.

Uvedena klasifikace zemin je dle ČSN 73 6133. Hlína s nízkou plasticitou pochází z výkopu při stavbě domu v Praze a nebyla by jinak využita. Písek hlinitý pochází z rekonstrukce dálnice D1, 77 km. Dle platných technických podmínek se jedná o zeminu podmíněčně vhodnou do násypů a aktivní zóny. Betonový recyklát byl získán z haldy stavebního odpadu ve městě Kladno kde byl vyroben předrcením betonového odpadu firmou Miroslav Karas – DESTRO. Všechny základní materiály byly před použitím vysušeny a přesítovány přes síto s velikostí oka 8 mm.

Vliv přísad do betonu byl zkoumán za použití superplastifikátoru Sika Gold-20 a provzdušňovací přísady Stachema Microporan. Jejich obsah byl 1 % z hmotnosti cementu, který byl použit CEM 42,5 R.

Pro určení hodnot klíčových parametrů, rozhodujících pro porovnání výsledků, byly zhotoveny vzorky ve tvaru kostky. Rozměr strany podstavy byl 80 mm, výška se od této hodnoty odchylovala v závislosti na směsi. Jak už bylo zmíněno dříve, pro výrobu zkušebních těles byly použity dvě metody hutnění. Jedna sada vzorků byla zhutněna jenom vibrací, druhá byla zhutněna vibrací i lisováním. Postup výroby vzorků byl následovný: zamíchání a nasypání směsi do ocelové formy, krátká vibrace na vibračním stole (10 s), přitížení ocelovým pístem za použití vibrace (30 s), přemístění celé formy pod lis s následným lisováním pod tlakem 2 MPa. Závěrečné lisování bylo vynecháno v případě výroby jenom vibrovaných těles. Použité přísady byly vždy přidávány do záměsové vody. Tělesa pak byla ponechána 28 dní v prostředí s relativní vlhkostí větší, než 50 %.

směs / %	voda	cement	zemina F5 ML	zemina S4 SM	betonový recyklát
<b>B</b>	13,5	15,0	0,0	0,0	71,5
<b>Z1</b>	13,5	15,0	71,5	0,0	0,0
<b>Z2</b>	13,5	15,0	0,0	71,5	0,0
<b>BZ1</b>	15,0	20,0	32,5	0,0	32,5
<b>BZ2</b>	15,0	20,0	0,0	32,5	32,5

**Tab. 1: Receptury testovaných směsí**

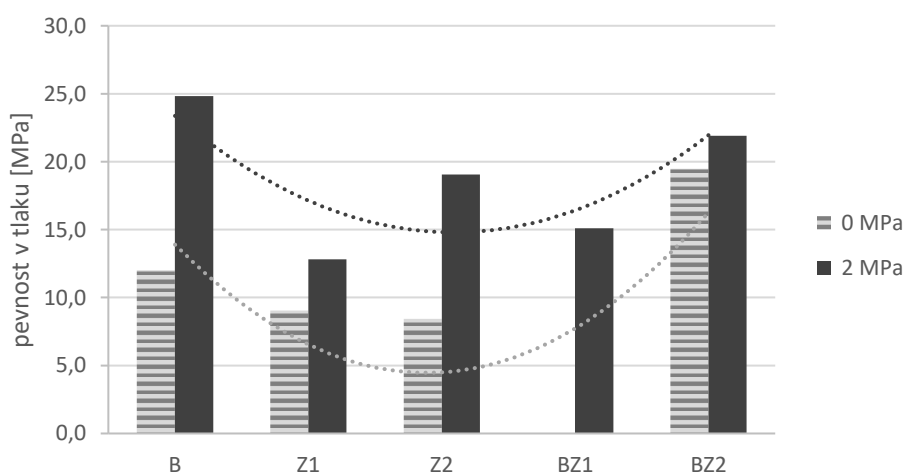
Z Tab.1 je zřejmé, že obsah cementu ve směsích je vyšší, než se pro zlepšení zemin v praxi používá. Pro výrobu zdělicích tvarovek se dosáhne požadována pevnost v tlaku i s užitím nižšího obsahu cementu [2-3]. Tahle studie je, z důvodu prozkoumání možnosti výroby dlažebních prvků z těchto materiálů, zaměřena na dosažení co možná nejvyšší pevnost v tlaku.

### 3. Výsledky výzkumu

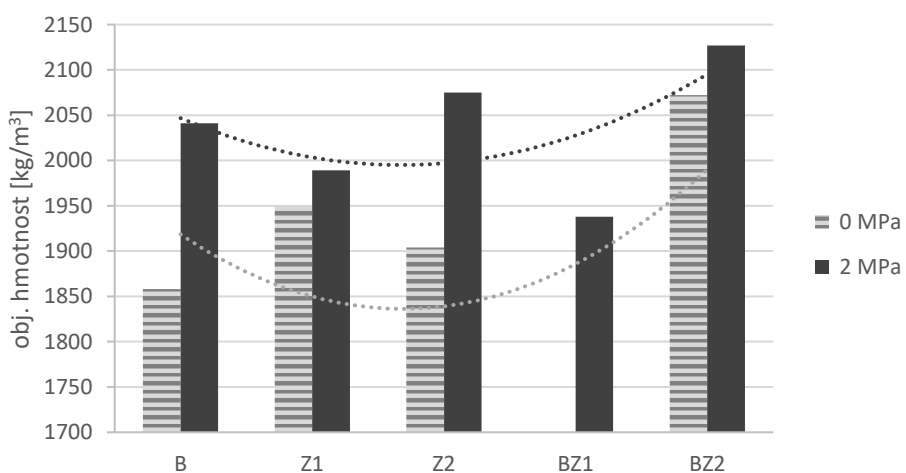
V první skupině směsí bez přidaných přísad dosáhla nejvyšší pevnost v tlaku směs obsahující pouze betonový recyklát (B). O cca 3 MPa nižší pevnost v tlaku dosáhla BZ2, v které byl poměr zeminy (S4 SM) a betonového recyklátu 50:50 (Obr.1). Směs BZ2 přitom dosáhla nejvyšších hodnot objemové hmotnosti (Obr.2). Závislost mezi těmito parametry je znázorněna trendovými křivkami 2. stupně. Nashromážděná data dále ukazují, že typ použité zeminy je rozhodující pro výsledné vlastnosti směsi. Jen za použití vibrace dosáhla směs se zeminou F5 ML o málo vyšších hodnot sledovaných parametrů, než tomu bylo se zeminou S4 SM. Po lisování se však

hodnoty vyměnili a naopak, směs Z2 dosáhla výrazně vyšších hodnot pevnosti v tlaku i objemové hmotnosti. Obecně, a nepřekvapivě, lze říct, že lisování tyto hodnoty zvyšuje. Důležitější je ale zjištění, že tenhle rozdíl nebyl nijak zásadní ve směsích Z1 a BZ. Data pro směs BZ1 a tlak 0 MPa bohužel nebyli k dispozici, což je trochu na škodu věci. Dá se však předpokládat, že rozdíl bude podobný, jaký můžeme vidět při směsi BZ2. Zde je nutno připomenout, že směsi BZ měli o 5 % vyšší obsah cementu. Nejvyšší nárůst sledovaných parametrů po zhuštění lisováním testovaných těles vykázali směsi B a Z2, tedy směsi s menším množstvím jemných (jílových) částic.

Při míchání směsi s recyklovaným betonem (B1) bylo nutno zvýšit obsah záměsové vody z důvodu lepší zpracovatelnosti směsi a zajištění celistvosti a tvarové stálosti vyrobených těles. Výsledné procento ve směsi se pak zvýšilo na hodnotu 15 %. Zároveň byla při prvním míchání vyzorována ztráta záměsové vody ze směsi. Původní záměs se míchala pro 6 testovaných kostek. První tři, zhuštěné jen za použití vibrace, byly vyrobeny v pořádku. Druhá půlka záměsi zatím „odpočívala“ v míchací nádobě a když došlo na výrobu kostek pro vibrování i lisování, směs byla opticky sušší. Tento fakt byl potvrzen i dosaženými výsledky, kdy tyto původní tělesa dosáhli výrazně nižších pevností v tlaku, i hodnot objemové hmotnosti. Po vyhodnocení výsledků byla vyrobena další záměs, která je prezentována níže. Tyto problémy byly pravděpodobně způsobeny nasáknutím části záměsové vody pórovitým betonovým recyklátem.

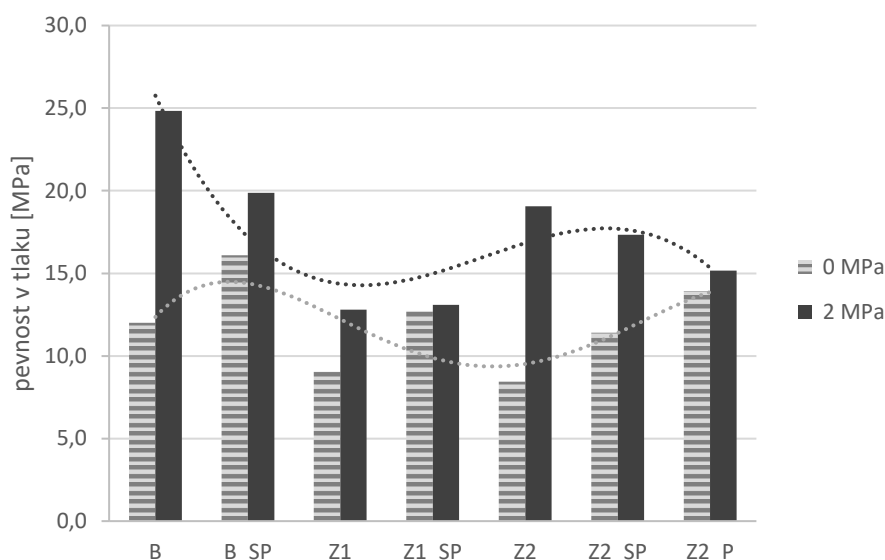


Obr. 1: Pevnosti v tlaku směsí bez přísad

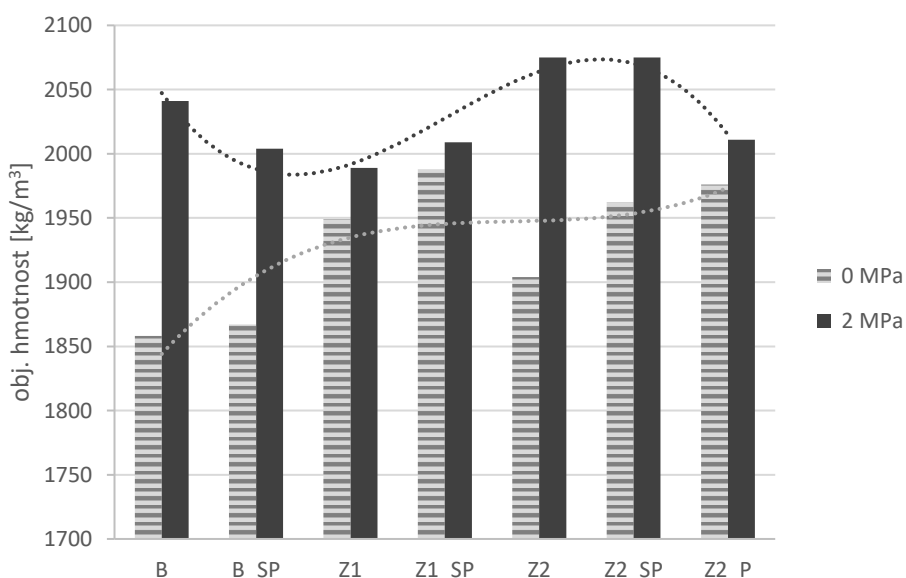


Obr. 2: Objemová hmotnost směsí bez přísad

Druhou skupinu výsledků tvoří směsi obsahující přísady do betonu. Tyto jsou vždy porovnávány s referenční směsí bez přísady. Ve směsích s indexem \_SP byla použita superplastifikační přísada, do směsi označené indexem \_P byla přidána přísada provzdušňovací. Pokud se tělesa hutnila jenom vibrací, znamenalo přidání přísady vždy zlepšení obou sledovaných parametrů, přičemž nejvyšší pevnosti v tlaku dosáhla směs B\_SP. Lisování zkušebních těles pak vyústilo do mírného nárůstu hodnot pevnosti v tlaku i objemové hmotnosti při směsi se zeminou F5 ML a naopak, k poklesu hodnot obou parametrů u ostatních směsí. Přidání přísad znamenalo nižší viskozitu směsí. Po navození hutnicího tlaku pak byla záměsová voda snáz vytlačena, čemu lze připsat pokles hodnot sledovaných parametrů. Proto pro lisované prvky z použitých materiálů nelze přísady doporučit. Podtrhují to data směsi s provzdušňovací přísadou (Z2\_P), kde je rozdíl v hodnotách pevnosti v tlaku i objemové hmotnosti mezi vibrací a vibrací s lisováním minimální. Také v druhé skupině výsledků lze pozorovat závislost mezi pevností v tlaku a objemovou hmotností. V tomto případě je znázorněna křivkami 3. stupně.



Obr. 3: Pevnost v tlaku směsí s přísadami



Obr. 4: Objemová hmotnost směsí s přísadami



#### 4. Závěr

Maximální využití odpadních surovin je jednou z hlavních úkolů této doby. Kromě vzletných frází je to však i známka zodpovědného inženýrského přístupu ve světle trvale udržitelného rozvoje. Tenhle článek prezentuje možnosti výroby jednoduchých stavebních prvků z odpadní zeminy a betonového recyklátu. Ze získaných dat bylo zaznamenáno několik pozorování. Směsi s větší zrnitostí základních materiálů dosáhli nejlepších výsledků po zhutnění těles lisováním. Naopak, směsi s jemnozrnnou zeminou vykázali po lisování nejnižší hodnoty pevnosti v tlaku i objemové hmotnosti. Přidání přísad pak znamenalo pokles hodnot sledovaných parametrů po lisování v hrubozrnných směsích, kdežto ve směsích s jemnozrnnou zeminou byl zaznamenán mírný nárůst. Lze říct, že přísady do betonu mají pozitivní efekt na vlastnosti směsi v případě hutnění vibrováním. Prezentovány výsledky jsou motivací do budoucna pro další výzkum. Současně ukazují slibné parametry pro případnou výrobu jednoduchých stavebních prvků.

*Tento příspěvek byl podpořen Ministerstvem průmyslu a obchodu (FV30407).*

#### 5. Literatura

- [1] KRENÍKOVÁ, Věra. *Odpady a druhotné suroviny II* [online]. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, 2014 [cit. 2020-09-13]. ISBN 978-80-7414-872-9.
- [2] KONRÁD, Petr, Peter GALLO, Radoslav SOVJÁK, Šárka PĚŠKOVÁ a Jan VALENTIN. The applicability of by-products in civil engineering for production of eco-bricks. In: *Technika ochrany prostredia*. 2019.
- [3] KONRÁD, Petr, Peter GALLO, Radoslav SOVJÁK, Šárka PĚŠKOVÁ a Jan VALENTIN. Effect of various input parameters on compressed earth block's strength. *Key Engineering Materials* [online]. 2020, (838), 81-87 [cit. 2020-09-03]. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.838.81>.

# MOŽNOSTI VYUŽITÍ RECYKLOVANÉHO STAVEBNÍHO SÁDROKARTONOVÉHO ODPADU - PROBLEMATIKA HYDROFOBIZACE

## POSSIBILITIES OF USING RECYCLED BUILDING PLASTERBOARD WASTE - PROBLEM OF HYDROFOBIZATION

Ing. Zdeněk Prošek\*, Ing. Václav Nežerka, Ph.D., Ing. Hana Sekavová,  
Ing. George Karra'a, doc. Ing. Pavel Tesárek, Ph.D.

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra mechaniky; LAVARIS s.r.o.

\*zdenek.prosek@fsv.cvut.cz,

### **Abstract**

*Within the cooperation of KNAUF Prague, LAVARIS and CTU in Prague, possibilities are being sought for the use of construction SDK waste. One of the problems associated with the reuse of construction SDK waste is the use of hydrophobic additives to modify the resulting properties. The article presents the results of gypsum mixtures containing recycled SDK waste, which also contains the remains of hydrophobized (impregnated) SDK boards.*

### **1. Úvod (nebo jiný nadpis)**

V současné době jsou kladeny stále vyšší nároky na recyklaci stavebních materiálů. Mezi stavební materiály, kde není recyklace zcela vyřešena, patří odpad ze sádrokartonových (dále SDK) desek a to jak odpad vzniklý při výrobě SDK desek, tak odpad při zpracování SDK desek na stavbě v podobě stavebního odpadu [1]. Mezi jeden z hlavních problémů opětovného využití recyklátu na bázi SDK desek je použití přísad, které zvyšují jejich odolnost proti vlhkosti. Hydrofobizované SDK desky jsou zákazníci žádány, ale díky přísadám, které obsahují je jejich následná recyklace komplikovaná. Způsoby hydrofobizace SDK desek jsou založeny především na principu zabránění pronikání vlhkosti do hmoty desek, kterého je docíleno přidáním speciálních přísad - především na bázi polymerů. Polymery jsou přidávány během homogenizace sádrové kaše při výrobě a desky jsou tímto způsobem impregnovány [2].

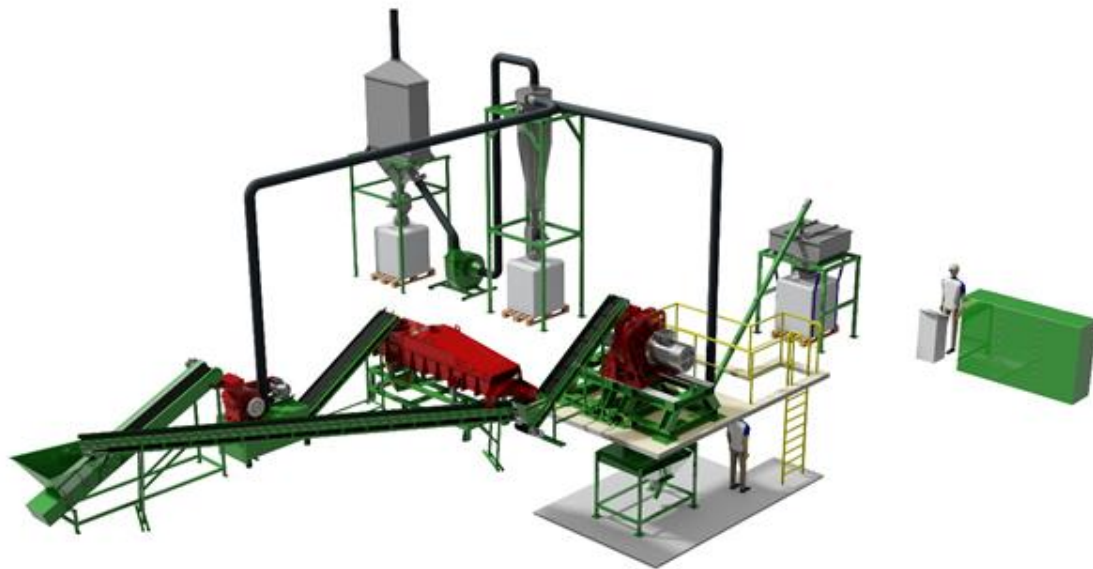
Klasické SDK desky dnes představují zhruba 90 % celkové produkce, na "speciální" desky tedy připadá 10 % a kromě desek určených do vlhkých provozů sem patří i protipožární desky a desky se zvýšenou odolností proti mechanickému poškození [3].

Předmětem předloženého článku bylo ověřit vliv "znečištění" na vlastnosti upraveného SDK recyklátu při využití recyklační linky na SDK odpad a technologií společnosti Lavaris s.r.o. (Libčice nad Vltavou), která z SDK odpadu vytváří druhotnou surovinu ve formě inertního plniva na bázi sádrovce. Snahou bylo zjistit, jak běžná kontaminace ovlivní nebo omezí další způsob využití SDK recyklátu.

### **2. Použité recyklované materiály a jejich úprava**

Jako SDK odpad byly použity části SDK standardních (obyčejných) desek s označením A, dle normy ČSN EN 520+A1, které byly vyrobeny v závodě Počerady společnosti Knauf Praha s.r.o. Čistý SDK odpad byl uměle kontaminovaný 10 hm. %

odřezky ze SDK desek se zvýšenou odolností proti vlhkosti, dle normy ČSN EN 520+A1 označená jako H2. Všechny SDK desky prošly celým procesem výroby a byly použity jako vzorky simulující SDK odpad, resp. tzv. suchý odpad. Uměle kontaminovaný SDK odpad v hmotnosti 500 kg byl umístěn do "big bagu" a byl ze závodu v Počeradech převezený do společnosti Lavaris, s.r.o. Ve společnosti Lavaris byl odpad upraven pomocí separační a recyklační linky na SDK odpad (Obrázek 1), která je vyvíjena v rámci projektu MPO Trio č. FV30359 „Recyklace sádrokartonových desek a nová materiálová využití s přidanou hodnotou – GIPSRec“ [4].



Obrázek 1: Vizualizace příkladu linky na separaci a recyklaci SDK odpadu.

V prvním kroku byly odřezky SDK desek zmenšeny, následně byl použit primární drtič se separátorem kartonu. Separátor kartonu oddělil cca 98 hm. % kartonu (Obrázek 2). Následně byla oddělená ztvrdlá sádrová hmota upravena pomocí vysokorychlostního mlýnu. Na základě předchozích zkušeností bylo upraveno nastavení mlýnu tak, aby výsledný recyklát (materiál) nebyl vystaven vyšší teplotě, která by způsobila kalcinaci sádrovce. V rámci recyklace se s upraveným recyklátem primárně uvažuje jako s inertním plnivem. Upravený SDK recyklát byl umístěn do plastových konví a převeze na Fakultu stavební ČVUT v Praze a do laboratoře závodu v Počeradech na další testování.



Obrázek 2: Výstupy z linky: jemně (vlevo), hrubě (uprostřed) a karton (vpravo).

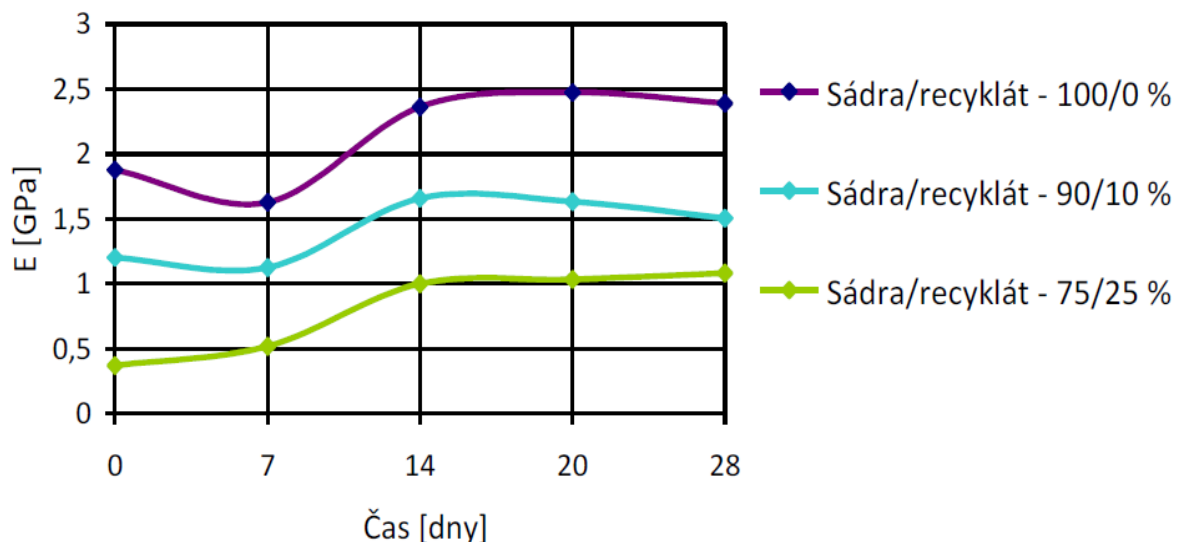
Jako vstupní (základní) materiál bylo použito sádrové pojivo, které je vyráběno v závodu Počerady společnosti Knauf Praha a používá se pro výrobu SDK desek, toto pojivo bylo použito v obou laboratořích - na FSv ČVUT i v Počeradech.

### 3. Experimentální výsledky a diskuse

Pro testování byly použity tři základní sady vzorkům s různým poměrem sádry a recyklátu:

- sádra/recyklát 100/0 hm. %, referenční vzorek,
- sádra/recyklát 90/10 hm. %, sada s běžným obsahem příměsi v podobě sádrovce ve formě recyklátu,
- sádra/recyklát 75/25 hm. %, sada s vysokým obsahem příměsi.

Z pohledu vodního součinitele bylo použito stejné množství vody jako u předcházejícího výzkumu [5]. Z pohledu rozlivu a zpracovatelnosti došlo ke zpomalení hydratačního procesu a to v závislosti na obsahu recyklátu. Dalším sledovaným parametrem byla pevnost v tlaku po 28 dnech, při použití 25 % náhrady sádry recyklátem došlo až k 30 % poklesu pevnosti v tlaku (tj. pokles pevnosti v tlaku z hodnoty 2,05 MPa na hodnotu 1,52 MPa). Před provedením destruktivní zkoušky (pevnost v tlaku) byly vzorky po dobu 28 dní sledovány pomocí nedestruktivní dynamické impulsní metody, pomocí které byl stanoven dynamický modul pružnosti (Obrázek 3). Zde je zcela patrný vliv množství použitého recyklátu. Na výsledných 28 denních hodnotách je patrné zhoršení v porovnání s čistým recyklátem, kde modul pružnosti při 25 hm. % náhradě byl 1,5 GPa [5].



Obrázek 3: Závislost dynamického modulu pružnosti sádry Knauf s recyklátem v závislosti na čase.

Z pohledu náhrady sádry kontaminovaným SDK recyklátem, bylo dosaženo horších vlastností, než v případě použití čistého (nekontaminovaného) recyklátu [5], ale toto snížení se nejeví jako zcela zásadní.

Z pohledu dalšího využití jsou ale zásadní výsledky získané v laboratoři v Počeradech. Při použití kontaminovaného recyklátu došlo k chemické reakci s dalšími přísadami, které jsou nutné pro docílení vhodných vlastností sádrové hmoty pro výrobu SDK kaše. I náhrada 10 hm. % kontaminovaného SDK recyklátu zcela mění užité vlastnosti hmoty a tím zamezuje využití recyklátu při výrobě nových SDK desek

#### **4. Závěr**

Z předložených výsledků byl potvrzen očekávaný předpoklad spojená s kontaminací SDK odpadu - v tomto případě speciálními SDK deskami. Kdyby se podařilo separovat sádrový odpad hned při jeho vzniku, a to při výrobě SDK desek nebo při jeho zpracování na stavbě, bylo by možné daleko lépe a efektivně SDK dále zpracovat a recyklovat.

#### **Poděkování**

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

#### **5. Literatura**

- [1] TESÁREK, P. a kol. (2007): Flue Gas Desulfurization Gypsum: Study of Basic Mechanical, Hydric and Thermal Properties, CBM 21, 1500-1509.
- [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 system consisting of glass fiber reinforced gypsum panels. CBM 23, 2905-2913.
- [4] TREJBAL J. a kol. (2019): Recyklace sádrových výrobků pomocí vysokorychlostního mikromletí. In: RECYCLING 2019 - Recyklace a využití stavebních odpadů jako druhotných surovin. Brno: Vysoké učení technické Brno, 2019. p. 113-116. ISBN 978-80-214-5728-7.
- [5] PROŠEK Z. a kol. (2019): Alternativní možnosti využití recyklované sádry ve stavebnictví, In: RECYCLING 2019 - Recyklace a využití stavebních odpadů jako druhotných surovin. Brno: Vysoké učení technické Brno, 2019. p. 109-112. ISBN 978-80-214-5728-7.

# ODPAD ZDROJEM DÍKY PLATFORMĚ CYRKL.COM

## WASTE TO RESARCE THANKS TO CYRKL.COM

Ing. Cyril Klepek  
Cyrkl, Zdrojová platforma s.r.o.

### **Abstract**

*Cyrkl brings a fresh new air into the trading with recycling materials. Construction materials are nevertheless the least advanced in digital trading. In this short article story behind is presented and some concrete examples of good practice are presented. Construction materials are still waiting for its uprising but more 1500 actively trading companies show its potential.*

## **1. Úvod**

Krise ve stavebnictví hlásají s čím dál tím větší urgencí media. Naposledy jsme se mohli dočíst, že současné lomy na kámen, štěrk a písek se v Česku za pár let dotěží a pro další těžbu chybějí povolení. Dovoz tohoto materiálu tak začíná prodražovat stavby silnic, železnic i budov. Trend ještě přizívuje rostoucí poptávka veřejného i soukromého sektoru po výstavbě především rezidenčních nemovitostí.

Řešením problému do jisté míry skutečně může být materiál, který je všude okolo nás. Stavební a demoliční materiály jsou jako materiálové banky, které zároveň představují 60 % produkce všech odpadů v Česku. Nejčastěji se jedná o odpad vzniklý při demoliční činnosti, jako je zemina, kamení, hlušina, ale i beton a cihly. Recyklované kamenivo bývá často využíváno k lokálnímu využití v rámci stavebních prací, přesto dnes vidíme, že využití recyklátu ve stavebnictví je na daleko nižší úrovni, než je tomu obvyklé například v západní Evropě. Důvody jsou dvojí.

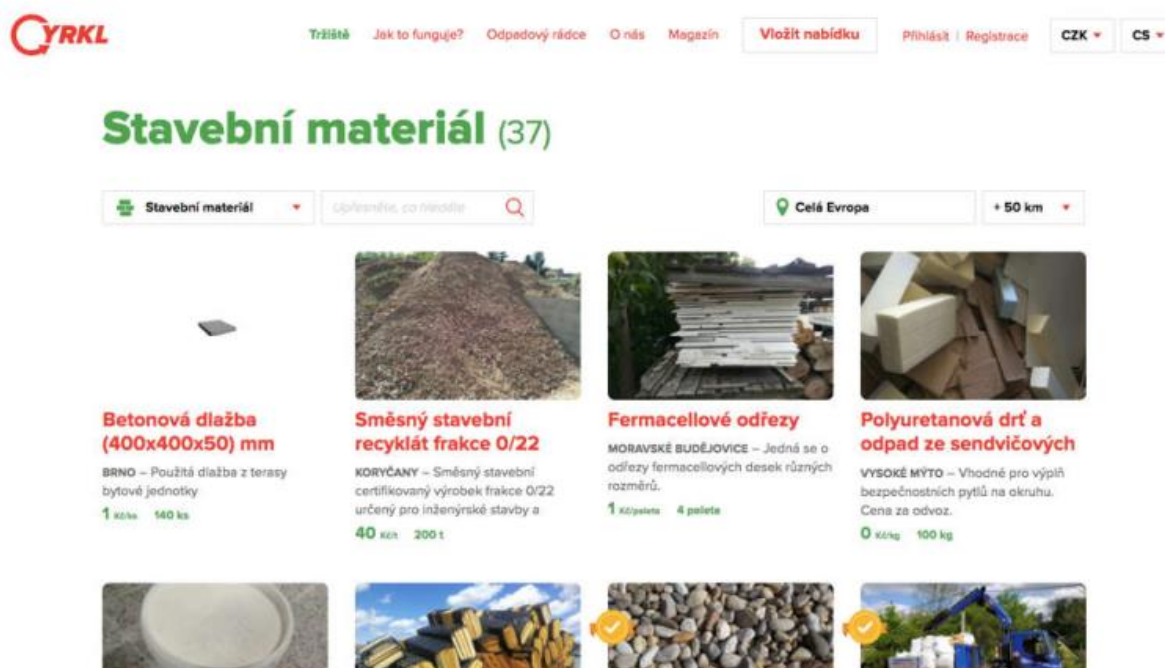
## **2. Dvě obavy z využití recyklátů na cyrkl.com**

Především je to obava z nedostatečné kvality recyklátů oproti primárním surovinám. Popis konkrétních vlastností druhotných surovin a snahu odbourat obecnou nedůvěru ve stavební výrobky z druhotných surovin si klade za cíl například Katalog výrobků a materiálů s obsahem druhotných surovin pro použití ve stavebnictví, který vypracovali kolegové z Univerzitního centra energeticky efektivních budov ČVUT (UCEEB). „Katalog poskytne informace pro projektanty a architekty, kterým přehlednou formou ukáže, jakým způsobem a za jakých podmínek je možné recyklovat stavby. Zástupcům státní správy ukáže příklady dobré praxe tak, aby mohli požadavky na recyklaci více zohledňovat ve státních zakázkách a zpracovatelům stavebních odpadů a stavebním firmám pomůže se stanovením postupů a určením požadavků na nové výrobky využívající recyklovanou složku.“ uvedl Antonín Lupíšek z UCEEB. Druhým hlavním důvodem je levné skládkování a celá řada spekulativních rekultivací a úprav terénu, jaké můžeme vidět třeba v Kralupech nad Vltavou.

Kolegové z UCEEB svůj zmíněný katalog představovali v rámci městského cirkulárního skenu, který organizoval před rokem Institut cirkulární ekonomiky. Když jsme se následně na pracovním workshopu bavili o se zástupci ARSM a velkých developerů tom, jak využití recyklátů v Česku podpořit, tak kromě informování o



vhodnosti použití zazněla potřeba umožnit online zprostředkování obchodu za podmínek slučitelných se zákony a obchodní logikou. Vyslyšeli jsme toto volání a založili cyrkl.com kde stavební materiály stojí jako první v našem hledáčku.



Obr.č.1 – Stavební materiál na Cyrkl.com

Na burze je aktuálně přes 60 nabídek, jak z oblasti recyklátů (betonový, cihlový), tak i například zeminy a střešních tašek. Ukazuje se, že poptávková strana je tou slabší v tomto segmentu, a proto jsme zavedli práci s databázemi, základní řešení zdarma a nerovnost se snažíme vyvážit aktivním oslovováním firem na trhu v oblasti stavebních materiálů. Za velký úspěch považujeme, že se nám za rok a půl práce podařilo již 50 obchodů zprostředkovat, ale sami vnímáme, že jsme na úplném začátku. V Česku se zřejmě nerecykluje více než 10 % stavebních odpadů, což je výrazně méně než obvyklých 35 % u našich západních sousedů. Toto číslo se navíc díky technologickému pokroku stále navyšuje, takže i když do mostních oblouků recyklát dávat nebudeme, tak využití je možné stále více než pouze na dnešní podřadné zásypy inženýrských sítí. Revoluce se ale neodehrávají přes noc a my jsme tak rádi za všechny kolegy ze stavebních společností a recyklačních středisek od zástupců společnosti Skanska až po AZS98, kteří se s námi tuto *“krizi ve stavebnictví”* rozhodli překonat a umožňují vracet materiály zpátky do oběhu.



### Polyuretanový jemný prach

VYSOKÉ MÝTO – Polyuretanový jemný prach. Cena za odvoz.

0 Kč/kg 300 kg



### Polyuretanové desky (odřezky)

VYSOKÉ MÝTO – Tyto desky lze použít jako zateplení na půdě a dalších místností. Cena za odvoz.

0 Kč/m² 50 m²



### Štěrka oválný tříděný

KUNŠTÁT – Štěrka oválný (kačírek) zrnitostí 12-32mm, 32-64mm, 64+ tříděný, nepraný, svratecký, vhodný

Dohodou 1000 t

DOPRAVA



### Štěrka z pěnového skla REFAGLASS, frakce 0-

KUNŠTÁT – Pěnové sklo REFAGLASS nabízí moderní řešení tepelné izolace základových desek. U základových

Dohodou 1000 m³

DOPRAVA



### Materiál na bázi cementu a dřevěných

HRANICE – Odřezky a zlomky



### Materiál na bázi cementu a dřevěných

HRANICE – Jemný materiál, určený



### Betonový recyklát

STŘÍBRO – Certifikovaný betonový recyklát. Frakce 0/16mm 149, Kč/t bez



### Betonový recyklát

ZAVLEKOV – Certifikovaný betonový recyklát. Frakce 0/16mm 129, Kč/t bez

Obr.č.2 – Aktuální stavební materiál na Cyrkl.com

## Závěr

Stavebnictví je jedním z méně progresivních odvětví a pouze 10 % ze všech nabídek se týkají tohoto oboru. Přesto je stavebnictvím jedním z největších trhů, který na svoji příležitost stál čeká. Mnoho desítek firem, které již dnes na cyrkl.com obchodují jsou toho živým důkazem.

Pozn. Využití platformy je v základní verzi bezplatné a dostupné na cyrkl.com

## Kontakt:

cyril.klepek@cyrkl.com  
Zakladatel CYRKL.com

# REKLAMY

## SEZNAM INZERENTŮ :

### výrobky, služby:

**BETONSERVER, AUREA INVEST a.s.**, Praha

**EASYmap a.s.**, Most

**EMPLA AG spol. s r.o.**, Hradec Králové

**KEESTRACK**

**pewag Czech s.r.o.**, Česká Třebová

**RVS Chodov, s.r.o.**, Chodov u Karlových Varů

**WAMAG, spol. s r.o.**, Mníšek pod Brdy

### 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



# **RECYKLAČNÍ CENTRA ON-LINE**

**VYHLEDÁVAČ PRO LIBOVOLNÉ MÍSTO STAVBY V ČR**

**[WWW.BETONSERVER.CZ](http://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](http://WWW.BETONSERVER.CZ). Již 21 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](http://WWW.BETONSERVER.CZ)**

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

# Zaměřování a 3D modely skládek



Most, Františka Halase 1200  
Ústí n.L., Králova Výšina 1427

**EASV**map  
d r o n y v p r a x i

V ČR zajistíme:

- zaměření skládek a deponií
- výpočet zbytkové kapacity
- zaměření skutečného stavu skládek
- dokumentace rekultivace
- výpočet bilance hmot na skládkách



Volejte!

**602 283 834**  
[www.easymap.cz](http://www.easymap.cz)

Výhody: **rychlost**  
**efektivita**  
**nízká cena**



## EMPLA AG spol. s r.o.

KOMPLEXNÍ SLUŽBY V OCHRANĚ  
ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Akreditovaná zkušební laboratoř

[WWW.EMPLA.CZ](http://WWW.EMPLA.CZ)



## ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ A OBEC

**Naše společnost již od roku 1991 nabízí i obcím kompletní ekologické služby.  
V poslední době je ze strany obcí velký zájem především o tyto služby:**

- odběr vzorků za účelem identifikace výskytu azbestů, měření azbestů v pevných materiálech, měření v pobytovém i vnějším prostředí, ověření zdravého prostředí ve školách, školkách, kancelářích
- testy vypouštěných předčištěných odpadních vod, ověřování jakosti vypouštěných vod do toků, podklady pro hlášení do ISPOP
- odběry vzorků sedimentů z vodních toků a nádrží, včetně poradenství o další aplikaci sedimentů, návrh řešení na nakládání se sedimenty a zeminami
- poradenství při nakládání se zeminami ze stavebních prací, analýzy zemin, návrh řešení
- testování vstupů do kompostáren (zejména dusík, uhlík, vlhkost, zbytek žiháním), testování jakosti výstupních kompostů, pomoc při registraci kompostů
- analýzy produkce odpadů jako podklad pro získání dotací v odpadovém hospodářství
- odběry a analýzy pitných vod (řády i studny)
- odběry a analýzy písku v dětských pískovištích
- průzkumy budov před demolicí
- analýzy půd ze zahrad (živiny, znečištění)
- zpracování provozních řádů (kompostárny, sběrné dvory atd.)
- mikrobiologické stěry (plísňe, bakterie a kvasinky)
- měření vnitřního prostředí aeroskopem (plísňe, bakterie)
- ekologické audity
- mimo uvedených služeb provádíme hodnocení EIA, SEA, měření hluku, posuzování územních plánů, zpracování rozptylových studií, atd.
- proškolení zaměstnanců dle vašich požadavků v oblasti OŽP

Více informací naleznete na našich webových stránkách: [www.empla.cz](http://www.empla.cz)

### Kontakty

**Centrála**  
Ing. Michal Rejl  
EMPLA AG spol. s r. o.

Za Škodovkou 305  
503 11 Hradec Králové  
Tel.: 495 218 875  
E-mail: [empla@empla.cz](mailto:empla@empla.cz)

**středisko Morava**  
Mgr. Viktor Jung  
EMPLA AG spol. s r. o.

Podnásepní 477/1h  
602 00 Brno  
Tel.: 602 184 937  
E-mail: [jung@empla.cz](mailto:jung@empla.cz)

[www.empla.cz](http://www.empla.cz)





## Nejnižší náklady na vyrobenou tunu

Kvalita našich strojů znamená, že vám vydělávají tím, že vydrží déle, a zároveň udržují provozní náklady na absolutním minimu.

[Více](#)



## Nejlepší řešení mobility

Naše unikátní řada mobilních technologií znamená, že jsme schopni nabídnout nejvyšší mobilitu na trhu, aniž bychom museli dělat kompromisy v oblasti produktivity

[Více](#)



## Podpora, kterou potřebujete, když ji potřebujete

Abychom zajistili našim zákazníkům to nejlepší z jejich zařízení Keestrack, nabízíme plně integrovaný program péče o zákazníky.



výhradní distributor pro ČESKOU REPUBLIKU

**KEESTRACK drtiče + třídiče s.r.o.**

Městský park 274

537 01 Chrudim

tel: +420 469 622 987 •

e-Mail: [servis@kees.cz](mailto:servis@kees.cz)



# ŘETĚZY PRO NEJTĚŽŠÍ PODMÍNKY

**pewag**

**STRONG  
IS NOT  
ENOUGH**  
www.pewag.com



ochranné řetězy pro:  
- všechny aplikace  
- všechny pneumatiky



ochranné řetězy  
dopravníkové řetězy  
vázací prostředky

kotevní řetězy  
trakční řetězy

*pewag Czech s.r.o.*  
*Matyášova 2095*  
*560 02 Česká Třebová*  
**prodej@pewag.cz**  
**www.pewag.cz**  
**+420 494 549 923-6**



# Regulace – Váhy – Systémy



## NAŠE FIRMA VYRÁBÍ A DODÁVÁ

- Pásové váhy
- Zásobníkové váhy
- Mostové váhy
- Pytlovací váhy
- Laboratorní váhy
- Váhy pro betonárny
- Linky pro MZK
- Míchání minerálně zpevněné kamenivo
- Dávkovací linky

Vyhodnocovací jednotka RVS350U



Vážící mechanika TS102



**RVS Chodov, s.r.o., CZ, Vančurova 504 , 357 35 Chodov u Karlových Varů**

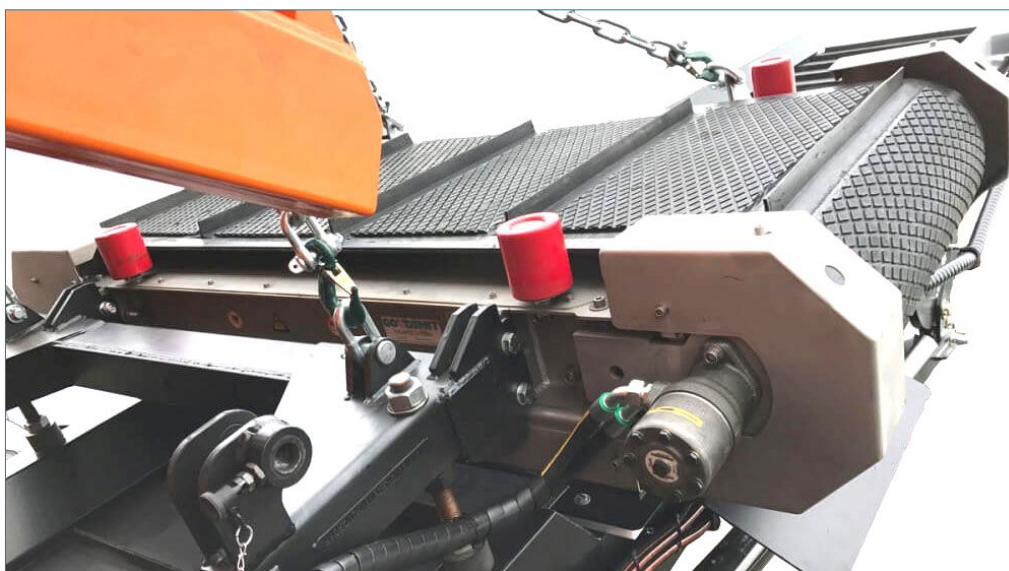
Tel.: 00420 602 278 444 , Fax : 00420 352 667 749



## VÝVOJ A VÝROBA MAGNETICKÝCH SYSTÉMŮ

### PRO RECYKLACI ODPADŮ NABÍZÍME:

- ZÁVĚSNÉ SEPARÁTORY, BUBNOVÉ SEPARÁTORY A MAGNETICKÉ VÁLCE
- EDDY CURRENT SEPARÁTORY NEŽELEZNÝCH KOVŮ
- BŘEMENOVÉ A NADPÁSOVÉ ELEKTROMAGNETY
- ★ KONZULTACE A TECHNOLOGICKÉ TESTY
- ★ NÁVRH A KONSTRUKČNÍ ZPRACOVÁNÍ
- ★ DODÁVKU S MOŽNOSTÍ DOHLEDU a MONTÁŽE
- ★ POZÁRUČNÍ SERVIS



---

**WAMAG, spol. s r.o., PRAŽSKÁ 270, 252 10 MNÍŠEK POD BRDY**  
**TEL.: +420 318 599 550, Fax: +420 318 599 522,**  
**E-MAIL: [info@wamag.cz](mailto:info@wamag.cz), [www.wamag.cz](http://www.wamag.cz)**

ČLEN MEZINÁRODNÍ SKUPINY GOUDSMIT MAGNETICS



# 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 spalín. □



## Voda

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



Oběhové hospodářství, bezpečné odpady, recyklace, materiálové využití. □

## Odpady



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

## Energie

VYDAVATEL: CEMC – České ekologické manažerské centrum | IČO: 45249741 | [www.odpadoveforum.cz](http://www.odpadoveforum.cz)  
REDAKCE: 28. pluku 25, 101 00 Praha 10 | tel.: (+420) 274 784 067 | e-mail: [forum@cemc.cz](mailto:forum@cemc.cz)

## odborné časopisy pro města a obce

### ODPADY

odborný časopis pro nakládání s odpady a životní prostředí



SPECIÁL:  
PŘEDCHÁZENÍ  
VZNIKU ODPADŮ

Časopis Odpady  
je čtvrt století

Monitorování  
nebezpečných  
zásilek





# 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](mailto:redakce@prumyslovaekologie.cz)  
+420 728 786 298, +420 773 423 324

# **LOMY a TĚŽBA**

**STROJE A ZAŘÍZENÍ PRO TĚŽEBNÍ A STAVEBNÍ PRŮMYSL**

TĚŽEBNÍ A STAVEBNÍ  
STROJE

NOVÉ TECHNOLOGIE

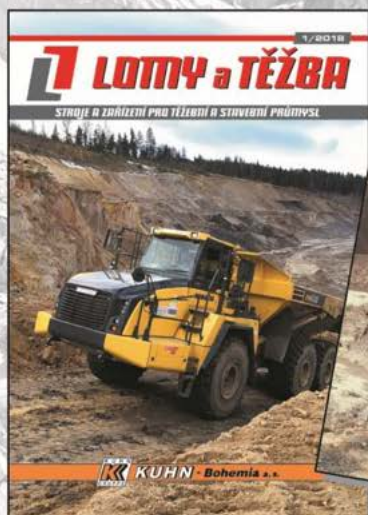
TĚŽBA KAMENE

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](http://www.lomyatezba.cz)



# MAGAZÍN®

MOBILITA ○ STROJE ○ TECHNOLOGIE ○ EKOLÓGIA

Magazín poskytuje priestor na široké spektrum odborných článkov a prezentácie spoločností, osôb pôsobiacich v segmente stavebníctva, dopravy, infraštruktúry, strojárstva, ťažby surovín a environmentálnych technológií vo všetkých odvetviach priemyselnej výroby. Predstavuje výskum a vývoj nových materiálov, technológií ako napríklad elektrifikácia, digitalizácia výrobných procesov, automatizované vozidlá, integrácia súkromnej a hromadnej dopravy a i.

Neoddeliteľnou súčasťou periodika je uverejňovanie technických informácií a ponuka rôznej mechanizácie, stavebných, cestných, koľajových a dopravných strojov používaných v hospodárstve krajiny. Magazín poskytuje priestor aj pre univerzity, vysoké školy na prezentáciu vybraných projektov a vedecko-technických poznatkov. Informuje o odborných publikáciách a dianí na fakultách.

V roku 2020 otvoril **15. ročník** širokospektrálneho periodika, ktorý si našiel svojich čitateľov, odberateľov a priaznivcov z celého Slovenska a Českej republiky. Do popredia sa dostáva aj vďaka pestrému prehľadu odborných tém, uverejňovaním nezávislých a mienkotvorných informácií od autorov, špecialistov zainteresovaných v odbore, ktoré magazín prezentuje v príslušných rubrikách.

Magazín upriamuje pozornosť svojim slobodným slovom a možnosťou uverejňovania širokého spektra informácií. Vydavateľ disponuje vlastnou rozsiahlou databázou, ktorú tvoria firemní klienti, odborníci, akademici, predplatitelia, čitatelia od vzniku periodika v roku 2006.

[www.ekomagazin.sk](http://www.ekomagazin.sk)

## SPEKTRUM RUBRIK

- AKTUALITY
- DIAGNOSTIKA
- EKOLÓGIA
- FÓRUM
- GEOTECHNIKA
- IT TECHNOLOGIE
- A BEZPEČNOSTNÉ SYSTÉMY
- KONFERencie A VÝSTAVY
- MATERIÁLY A TECHNOLOGIE
- MOBILITA - DOPRAVA - LOGISTIKA
- PROJEKTY A KONŠTRUKCIE
- STROJE A MECHANIZÁCIA
- UNIVERZITY A FAKULTY
- VÝSKUM A VÝVOJ
- VZDELÁVANIE



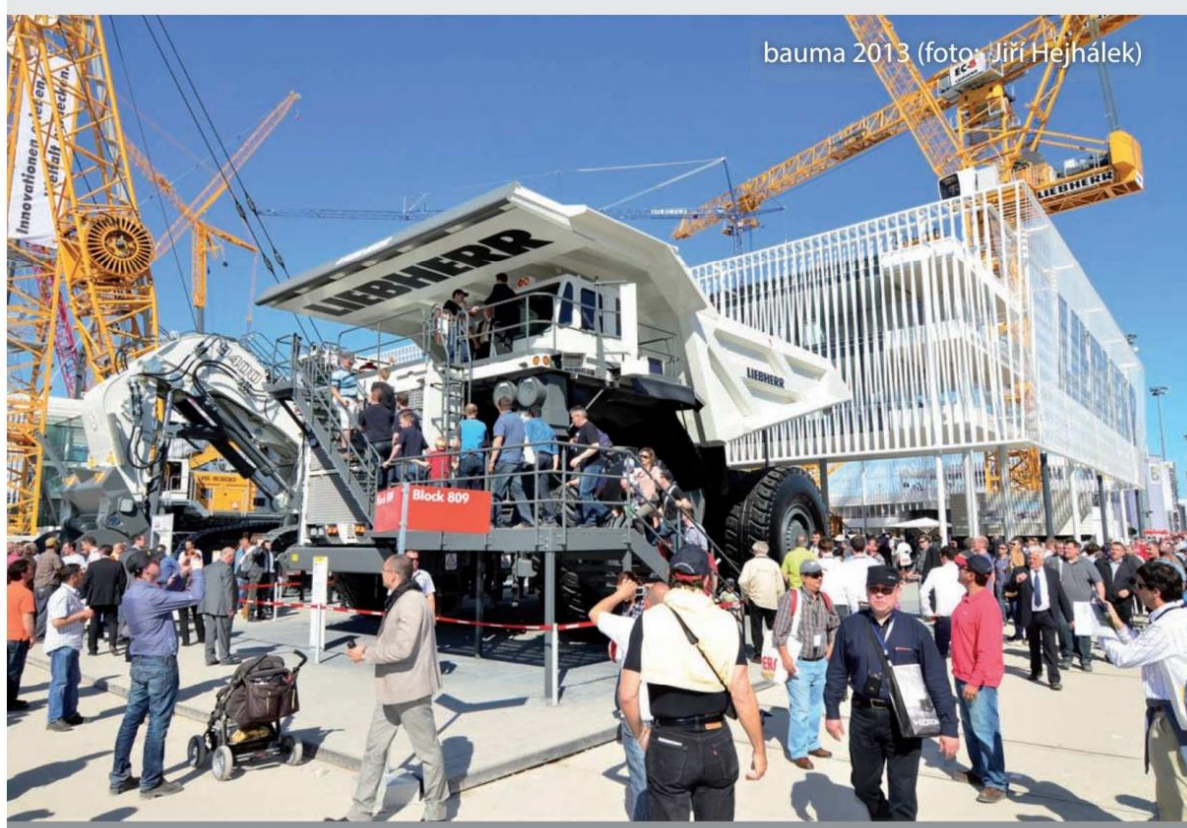


# stavební technika

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 2020**  
na e-mailu [předplatne@vega.cz](mailto: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](http://www.stavebni-technika.cz)

více než 2 000 článků

kalendář akcí

videoukázky strojů při práci

fotogalerie z akcí

# EXPO Lesní lom 1.-3. 6. 2021

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](http://www.expolesnilom.cz)

