

# HYDRAULICKY STMELENÉ ZMESI NA BÁZE SKLENENÉHO RECYKLÁTU

*Iveta Najdená, Ing., Jozef Kolivoška, Ing, CSc.  
TSÚS Bratislava, TPA s. r. o., skupina Východ, Košice*

## 1 ÚVOD

Vyspelosť spoločnosti sa neposudzuje podľa jej ekonomickej prosperity ale podľa jej prístupu k odpadovému hospodárstvu. Prevencia vzniku odpadov, recyklácia, opätovné spracovanie odpadov, minimalizovanie spaľovania a ukladania odpadov na skládky – to sú hlavné atribúty recyklačnej spoločnosti. Recyklácia (z angl. recycling = recirkulácia, vrátenie späť do procesu, t. j. vrátenie do procesu, v ktorom odpad vzniká, teda pre pôvodný účel a rovnaký systém) a opätovné spracovanie odpadov, predstavujú stratégiu, ktorá opätovným využívaním/zhodnotením odpadov šetrí prírodné zdroje, znižuje ekologickú záťaž prostredia a prináša aj finančný efekt - zníženie nákladov pri stúpajúcich cenách surovín...

V príspevku je uvedený konkrétny príklad použitia skleneného recyklátu, ako čiastočnej náhrady kameniva pre hydraulicky stmelené zmesi (cementom stmelené zrnité zmesi) pre podkladové vrstvy vozoviek.

## 2 SKLENENÝ RECYKLÁT

### 2.1 Pôvod a vznik skleneného recyklátu

Pre účely overenia možnosti použitia skleneného recyklátu ako substitútu kameniva pri výrobe cementových kompozitov (cementom stmelených zrnitých zmesí pre podkladové vrstvy vozoviek) sa použil sklenený recyklát – materiál z druhotného zdroja - upravené sklo z CRT TV obrazoviek a PC monitorov, vznikajúci v procese spracovania elektroodpadu v spoločnosti Peter Bolek - EKORAY, Námestovo.

*(Poznámka 1: ďalej uvedené informácie sú publikované so súhlasom majiteľa spoločnosti).*

„Zdroj na výrobu“ skleneného recyklátu v danej spoločnosti predstavujú TV prijímače a osobné počítače s klasickými tzv. CRT obrazovkami, resp. monitormi. Po ručnej dekompozícii týchto elektronických zariadení, sa vykoná následné oddelenie (alternatívne rozpílením diamantovým kotúčom alebo sa využije princíp tepelného šoku) čelnej časti obrazovky (tzv. tienidlo, tvorené zo skla s obsahom oxidov bária do cca 14 % hmotn. a oxidov stroncia do cca 12 % hmotn.) od zadnej časti (tzv. kónus - tvorený z olovnateho skla - obsah oxidov olova do 25 % hmotn.). Po oddelení týchto dvoch častí a odstránení kovovej masky (farebné obrazovky) sa následne špeciálnym odsávačom odstráni luminofor z tienidla a povlaky grafitu a hliníka z kónusu.

*(Poznámka 2: luminofor je látka, schopná uchovávať dodávanú energiu a následne ju vyžarovať vo forme svetla /tzv. luminiscencia/, slúži na vytváranie obrazu napr. v CRT monitoroch počítačov. Obsahuje kovy vzácných zemín /skandium (Sc), yttrium (Y), lanthan (La) a aktinium (Ac)/ a je toxická).*

Takto upravené sklo (tienidlová aj kónusová časť obrazovky) sa následne drví v jednorotorovom mlyne, typ DRJ 64/9,2 kW a vynášacím transportným pásom ukladá na krytú (zastrešenie) skládku.

## 2.2 Rozsah overovaných vlastností skleneného recyklátu

V zmysle požiadaviek normy STN EN 14227-1 [1] kamenivo pre cementom stmelené zrnité zmesi musí vyhovovať požiadavkám STN EN 13242 + A1 [2], pričom môže byť prírodné (kamenivo z minerálnych zdrojov, ktoré bolo spracované len mechanickým spôsobom), umelé (kamenivo minerálneho pôvodu, získané priemyselnými postupmi, obsahujúcimi tepelnú alebo inú úpravu), recyklované (kamenivo získané úpravou anorganických materiálov predtým použitých v konštrukciách), alebo ich kombinácia.

Sklenený recyklát nenapĺňa podstatu žiadnej z uvedených definícií – nie je to kamenivo ani prírodné, ani umelé ani recyklované. Materiál sa však použil na základe poznámky 1 k [2], podľa ktorej menej bežné materiály z druhotných zdrojov, ak sa umiestnia na trh ako kamenivo, musia vyhovovať tejto norme [2] a národným predpisom vzťahujúcim sa na nebezpečné látky.

V rámci overovania úžitkových parametrov skleneného recyklátu (odber zo skládky vo výrobní v októbri 2010) sa vykonali skúšky jeho vlastností v rozsahu požiadaviek [2]:

- geometrické vlastnosti (zrornosť, obsah jemných zrn),
- mechanické vlastnosti (odolnosť proti rozdrobovaniu a obrusovaniu),
- fyzikálne vlastnosti (objemová hmotnosť, nasiakavosť /na základe skúšky nasiakavosti ako predbežnej skúšky sa vyhodnotila jeho odolnosť proti zmrazovaniu a rozmrazovaniu/).

Všetky skúšky sa vykonali v súlade s príslušnými skúšobnými STN EN, ktoré pre jednotlivé vlastnosti stanovuje [2].

Súčasne sa preverilo splnenie požiadaviek národného predpisu - vyhlášky MZ SR č. 528/2007 Z. z. [3] (index hmotnostnej aktivity) pre stavebné výrobky určené na výstavbu iných stavieb ako stavieb s pobytovými priestormi.

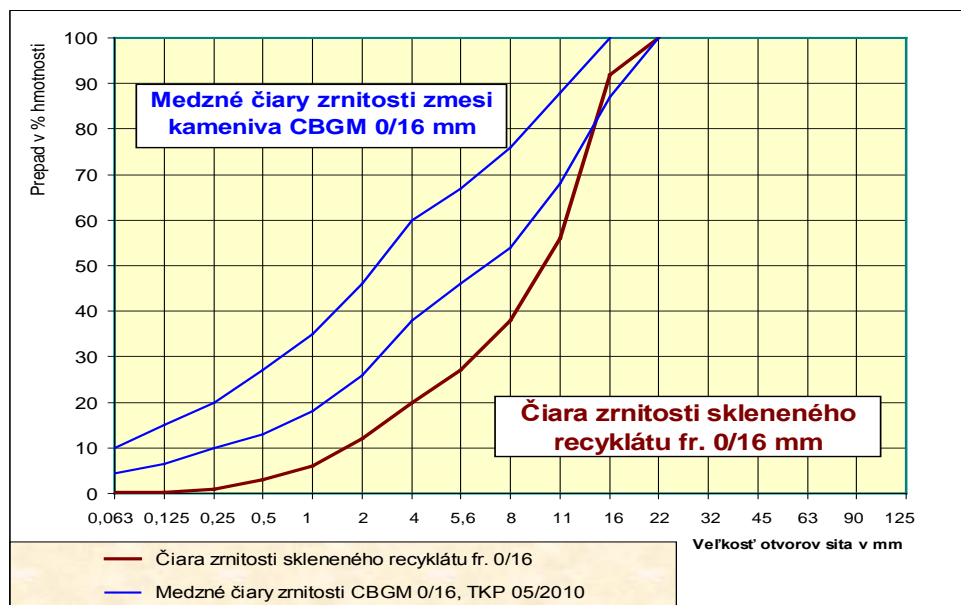
Vzhľadom na charakter materiálu (odpad) a neexistenciu iných ekologických požiadaviek/kritérií, sa posúdili jeho ďalšie vlastnosti ako odpadu (za účelom jeho klasifikácie a posúdenia vhodnosti pre zneškodnenie skládkovaním). Posúdenie sa vykonalo na základe výsledkov analytickej kontroly (hodnoty vybraných ukazovateľov v natívnom /prírodnom/ stave odpadu, hodnoty ukazovateľov vo vodnom výluhu) a toxicity prítomných látok (ekotoxická - vlastnosť odpadov spôsobujúca okamžité alebo oneskorené zaťaženie životného prostredia toxickými účinkami na biotické systémy). V zmysle platnej legislatívy SR a podľa STN 83 8303 [4] boli na predmetnej vzorke odpadu vykonané 4 ekotoxikologické skúšky s vodnými výluhmi na vodných organizmoch (na rybách *Poecilia reticulata* a na perloočkách *Daphnia magna*) a skúšky inhibície (spomalenie) rastu rias (*Scenedesmus quadricauda*) a vyšších kultúrnych rastlín (koreňa bielej horčice *Sinapis alba*). Výsledky skúšok boli interpretované v zmysle platnej legislatívy SR: zákon č. 223/2001 Z. z. [5], vyhláška MŽP SR č. 284/2001 Z. z. [6] a vyhláška MŽP SR č. 263/2010 Z. z. [7].

## 2.3 Výsledky skúšok vlastností skleneného recyklátu

Výsledky materiálových charakteristík testovaného skleneného recyklátu a ich porovnanie s požiadavkami predpisov [2], [3], [5], [6], [7] sú uvedené v tabuľkách (resp. pod tabuľkami) č. 1 až č. 6.

Na základe vizuálneho zhodnotenia predstavuje sklenený recyklát sklenenú drvinu sivej farby, tuhého skupenstva, so zaoblenými hladkými zrnami. Vzorka neobsahovala látky (znečistenie) iné ako vlastný materiál. Testovaná vzorka obsahovala len 20 % hmotn. zrn veľkosti do 4 mm, max. veľkosť zrna bola 16 mm. Obsah jemných zrn ( $\leq 0,063$  mm) stanovený premývaním a po vysušení následným sitovaním bol 0,2 % hmotn. Porovnaním s požiadavkami [2] možno materiál označiť ako drvinu, frakcia 0/16 mm, resp. 0/22 mm, trieda zrnosti kategória  $G_A 85$  (resp.  $G_A 80$ ), obsah jemných zrn kategória  $f_3$ .

Čiara zrnitosti a porovnanie s požiadavkami (medznými čiarami zrnitosti) pre cementom stmelenú zrnitú zmes, frakcia 0/16 mm podľa TKP 05/2010 [8] je na obrázku č. 1.



Obr. 1 Zrnitosť skleneného recyklátu a medzné čiary zrnitosti pre CBGM pre frakciu 0/16 podľa TKP 05/2010

Tab. 1 Mechanické a fyzikálne vlastnosti

<b>Odolnosť proti rozdrobovaniu</b> (súčiniteľ Los Angeles) [- ] <sup>*1</sup>	<b>41</b>	
<b>Odolnosť proti obrusovaniu</b> (súčiniteľ obrusnosti mikro-Deval) [- ] <sup>*1</sup>	<b>8</b>	
<b>Objemová hmotnosť</b> [Mg.m <sup>-3</sup> ]	zdanlivá	<b>2,79</b>
	recyklátu vysušeného v sušiarňi	<b>2,70</b>
	recyklátu nasýteného a povrchovo vysušeného	<b>2,73</b>
<b>Nasiakavosť</b> [% hmotn.]	<b>1,1</b>	
<i>Poznámka: <sup>*1</sup> Skúška vykonaná na frakcii 10/14</i>		

Posúdenie:

Dosiahnuté výsledky sú v relácii s výsledkami týchto vlastností stanovenými na prírodnom kamenive (objemová hmotnosť, odolnosť proti obrusovaniu), materiál je pomerne málo nasiakavý, čo v súlade s čl. 7.3.2 [2] znamená, že ho na základe tejto predbežnej skúšky možno považovať za odolný proti zmrazovaniu a rozmrazovaniu. Vzhľadom na podstatu materiálu (sklo) prekvapila hodnota odolnosti proti rozdrobovaniu – bola na úrovni hodnôt kameniva ťaženého v určitých oblastiach z naplavenín rieky Nitra. Porovnaním s požiadavkami [2] možno jednotlivé vlastnosti označiť ako kategórie: odolnosť proti rozdrobovaniu  $LA_{45}$ , odolnosť proti obrusovaniu –  $M_D15$ , ostatné vlastnosti – ide o deklarované hodnoty.

Tab. 2 Hmotnostná aktivita rádionuklidov

<b>Hmotnostná aktivita</b> [Bq.kg <sup>-1</sup> ]	<sup>40</sup> K	<b>2518,2 ±240</b>
	<sup>226</sup> Ra	<b>113,8 ±17,2</b>
	<sup>232</sup> Th	<b>43,1 ±6,5</b>
<b>Index hmotnostnej aktivity</b> [-]		<b>1,43</b>

Posúdenie:

Testovaná vzorka splnila požiadavky predpisu [3] pre stavebné výrobky určené na výstavbu iných stavieb ako stavieb s pobytovými priestormi (index hmotnostnej aktivity /1,43/ ≤ 2).

Tab. 3 Zloženie recyklátu, hodnoty vybraných ukazovateľov v natívnom stave vzorky a porovnanie s hraničnými hodnotami

Ukazovateľ	Hraničné hodnoty [mg.kg <sup>-1</sup> suš.]	Namerané hodnoty [mg.kg <sup>-1</sup> suš.]	Hodnotenie
Suma uhlíkovodíkov (uhlíkovodíky C10 –C40)	50000	<b>4</b>	+
Ortuť (Hg)	3000	< <b>0,01</b>	+
Arzén (As)	5000	<b>74</b>	+
Olovo (Pb)	10000	<b>7024</b>	+
Kadmium (Cd)	5000	< <b>2</b>	+
Nikel (Ni)	5000	<b>105</b>	+
Celkové rozpustené látky (CRL)	300000	<b>380</b>	+

Poznámka: + vyhovuje, - nevyhovuje hraničnej hodnote

Posúdenie:

Posudzovaná vzorka nebola znečistená nebezpečnými látkami. Nie je odpadom, ktorý je uvedený na zozname odpadov v zmysle prílohy č. 1 [5]. Hraničné koncentrácie sledovaných ukazovateľov neboli prekročené, čo umožňuje materiál (odpad) skládkovať.

Tab. 4 Zloženie vodného výluhu recyklátu a porovnanie s limitnými hodnotami pre jednotlivé triedy vylúhovateľnosti odpadov

Ukazovateľ	Limitné hodnoty [mg.kg <sup>-1</sup> ]			Namerané hodnoty [mg.l <sup>-1</sup> ]	Hodnotenie
	Trieda skládky odpadov				
	SKIO	SKNNO	SKNO		
	Trieda vylúhovateľnosti				
	I.	II.	III.		
pH	6-12	5,5-13	4-13,5	<b>7,43</b>	IO
As	0,05	0,2	2,5	< <b>0,001</b>	IO
Ba	2	10	30	<b>0,288</b>	IO
Cd	0,004	0,1	0,5	< <b>0,0003</b>	IO
Cr	0,05	1	7	< <b>0,002</b>	IO
Cu	0,2	5	10	< <b>0,002</b>	IO
Hg	0,001	0,02	0,2	<b>0,0002</b>	IO
Mo	0,05	1	3	< <b>0,004</b>	IO
Ni	0,04	1	4	<b>0,002</b>	IO
Pb	0,05	1	5	<b>0,012</b>	IO
Sb	0,006	0,07	0,5	<b>0,008</b>	NNO
Se	0,01	0,05	0,7	< <b>0,001</b>	IO
Zn	0,4	5	20	<b>0,013</b>	IO
Cl <sup>-</sup>	80	1500	2500	< <b>1</b>	IO
F <sup>-</sup>	1	15	50	< <b>0,1</b>	IO
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	100	2000	5000	< <b>2</b>	IO
DOC (rozložiteľný organický uhlík)	50	80	100	7,4	IO
Ekotox [ml.l <sup>-1</sup> ]	negatívna	10	-	<b>negatívna</b>	IO
Celkové rozpustené látky (CRL)	400	6000	10000	<b>38</b>	IO

Poznámka: IO – splnené limity pre skládku odpadov na inertný odpad  
NNO - splnené limity pre skládku odpadov na odpad, ktorý nie je nebezpečný

Tab. 5 Zloženie recyklátu, hodnoty vybraných ukazovateľov v natívnom stave vzorky a porovnanie s limitnými hodnotami ukazovateľov pre jednotlivé skládky odpadov

Ukazovateľ	Limitné hodnoty [mg.kg <sup>-1</sup> suš.]			Namerané hodnoty [mg.kg <sup>-1</sup> suš.]	Hodnotenie
	Trieda skládky odpadov				
	SKIO	SKNNO	SKNO		
Uhl'ovodíky C10 –C40	500	1000	50000	<b>4</b>	IO
As	200	-	5000	<b>74</b>	IO
Cd	4	-	5000	<b>&lt; 2</b>	IO
Hg	2	-	3000	<b>&lt;0,01</b>	IO
Ni	500	-	5000	<b>105</b>	IO
Pb	500	-	10000	<b>7024</b>	<b>NNO</b>

Posúdenie:

Vo všetkých sledovaných ukazovateľoch vo vodnom výluhu okrem antimónu (Sb) boli namerané hodnoty pod limitmi pre triedu vylúhovateľnosti I. Nameraná **koncentrácia antimónu vo vodnom výluhu mierne prekročila limit pre triedu vylúhovateľnosti I.**

Namerané hodnoty všetkých sledovaných ukazovateľov v natívnej vzorke recyklátu **okrem olova boli pod limitmi pre triedu skládok na inertný odpad. Nameraná koncentrácia olova v natívnej vzorke recyklátu značne prekročila limitnú hodnotu pre skládku odpadov na inertný odpad, čo môže súvisieť so zložením skla (olovnaté sklo – vyšší obsah oxidov olova), pričom tento prvok do výluhu prešiel v min. množstve (tab. 4)**

Sklenený recyklát na základe predchádzajúcich výsledkov v prípade jeho uloženia na skládku odpadov môže byť umiestnený na skládku odpadov na odpad, ktorý nie je nebezpečný.

Tab. 6 Výsledky ekotoxikologických testov

Druh testovaného organizmu	Toxicita výluhu	Trieda vylúhovateľnosti	Charakteristika odpadu
Poecilia reticulata (ryby)	mortalita = 0 %	<b>I.</b>	IO
Daphnia magna (perloočky)	mortalita = 0 %	<b>I.</b>	IO
Scenedesmus quadricauda (riasy)	stimulácia = 22 %	<b>I.</b>	IO
Sinapis alba (koreň bielej horčice)	stimulácia = 42 %	<b>I.</b>	IO

Posúdenie:

Sklenený recyklát vykazoval negatívnu akútnu toxicitu u všetkých 4 testov (u rýb, perloočiek, zelenej riasy a horčice). Úroveň akútnej toxicity zodpovedá zaradeniu recyklátu ako inertný odpad.

Záverčné zhrnutie:

Na základe dosiahnutých výsledkov skleneného recyklátu bolo rozhodnuté o jeho overení ako čiastočnej náhrady kameniva pre hydraulicky stmelené zmesi (cementom stmelené zrnité zmesi) pre podkladové vrstvy vozoviek.

### 3 NÁVRH SKLADBY HYDRAULICKY STMELENEJ ZMESI

Aj napriek menej vyhovujúcej zrnitosti testovanej vzorky skleneného recyklátu bol tento materiál overený s cieľom použitia ako plnivo (čiastočná náhrada kameniva) do hydraulicky stmelených zmesí v kombinácii s prírodným drveným kamenivom.

#### 3.1 Požiadavky na zrnitosť hydraulicky stmelených zmesí

Norma STN EN 14227-1 [1] uvádza v svojej prílohe B medzné čiary zrnitosti pre zmesi frakcie 0/10 mm, 0/14 mm, 0/20 mm a 0/31,5 mm. Prvé tri zmesi sú ešte rozdelené (na základe maximálneho podielu prepadu zmesi stanoveným radom sít) na kategórie G1 a G2.

Technicko-kvalitatívne podmienky – TKP 05/2010 [8], ktoré sú v platnosti od roku 2010, vychádzajú pri stanovení zrnitosti zmesi kameniva pre cementom stmelené zmesi z normy STN EN 14227-1 [1]. V TKP sa predpokladá použitie zmesi najmä pre konštrukčné vrstvy vozoviek s triedou dopravného zaťaženia TDZ I až III a pre návrh výslednej zmesi je potrebné použiť minimálne dve frakcie kameniva. Medzné čiary zrnitosti sú predpísané v závislosti od max. zrna kameniva použitého v zmesi a to pre frakcie 0/16 mm, 0/22 mm a 0/31,5 mm. Pre sklenený recyklát bolo, vzhľadom na výsledky jeho zrnitosti, najvhodnejšie použiť medzné čiary pre max. zrno v zmesi 16 mm, t.j. frakciu 0/16 mm.

#### 3.2 Požiadavky na pevnostné charakteristiky hydraulicky stmelených zmesí

V zmysle STN EN 14227-1 [1], hydraulicky stmelené zmesi, kde je ako spojivo použitý cement t.j. cementom stmelené zmesi – CBGM, sa vo všeobecnosti klasifikujú pevnostnými vlastnosťami stavebnej zmesi a to alternatívne:

- charakteristickou pevnosťou v tlaku (systém I) alebo
- charakteristickou pevnosťou v priamom ťahu (resp. charakteristickou pevnosťou v priečnom ťahu) a modulom pružnosti (systém II).

V podmienkach SR sa rozhodlo o používaní systému I, pre ktorý norma stanovuje pevnostné triedy na základe charakteristickej pevnosti v tlaku po 28 dňoch zrenia zmesi ( $R_{ck}$ ) za normou stanovených podmienok.

Klasifikáciu cementom stmelených zmesí pomocou pevnosti v tlaku (systém I) preberajú aj revidované Technicko-kvalitatívne podmienky - TKP 05/2010 [8]. Požiadavky oboch dokumentov (STN EN 14227-1 požadované pevnosti v tlaku pre jednotlivé kvalitatívne triedy hydraulicky stmelených zmesí, TKP 05/2010 najvyššia dovolená trieda dopravného zaťaženia) sú uvedené v tab. č. 7.

Tab. 7 Použitie cementom stmelených zmesí v konštrukčných vrstvách vozoviek

Druh zmesi a trieda pevnosti podľa STN EN 14227-1	Požadovaná pevnosť v tlaku po 28 dňoch $R_{ck}$ , MPa (valce $H/D^1 = 1,0^2$ )	Najvyššia dovolená trieda dopravného zaťaženia		
		Obrusná vrstva krytu	Horná podkladová vrstva	Spodná podkladová vrstva
CBGM C <sub>16/20</sub> a C <sub>12/15</sub>	20/15	V - VI	I - III	-
CBGM C <sub>8/10</sub>	10	V - VI	I - III	I - VI
CBGM C <sub>5/6</sub>	6	-	I - III	I - VI
CBGM C <sub>3/4</sub>	4	-	II - IV	II - VI

Poznámky: <sup>1)</sup>  $H/D$  = pomer medzi výškou a priemerom skúšobného telesa  
<sup>2)</sup>  $H/D$  = 0,8 až 1,21

### 3.3 Návrh cementom stmelenej zmesi so skleneným recyklátom

Na návrh cementom stmelenej zmesi - CBGM 0/16 boli použité nasledujúce materiály:

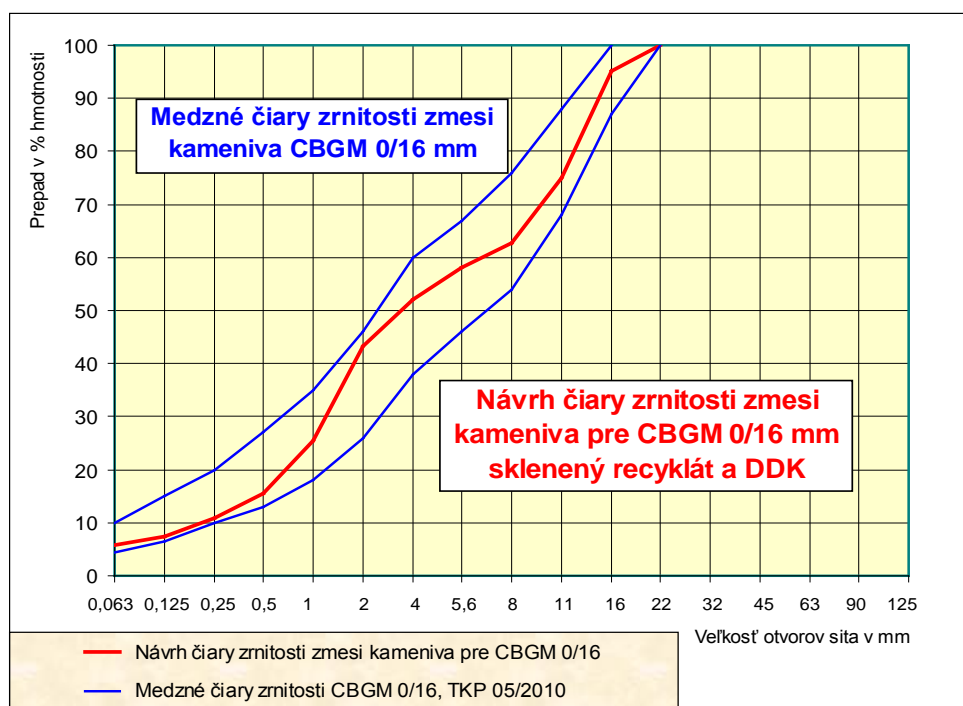
- **kamenivo** - sklenený recyklát frakcia 0/16 mm získaný pri spracovaní elektroodpadu v spoločnosti Peter Bolek – EKORAY, Námestvo a prírodné kamenivo (drobné, drvené, zdroj: usadená hornina /dolomitický vápenec/), frakcia 0/4 mm z lomu Olcava (KSR – kameňolomy SR, s. r. o , Zvolen)

- **spojivo** - portlandský troskový cement CEM III/A 32,5 R, VSH a.s. Turňa nad Bodvou

- **voda** - pitná z vodovodu.

Na základe výsledkov skúšok zrnitosti vstupných materiálov bola navrhnutá výsledná zmes kameniva tak, aby zodpovedala zrnitosti požadovanej podľa STN EN 14227-1 [1] a TKP 05/2010 [8] pre CBGM zrnitosť 0/16 mm.

Výsledná čiara zrnitosti zmesi kameniva pre zmes **CBGM 0/16** bola zložená zo **60 % skleneného recyklátu** a **40 % DDK Olcava**. Čiara je uvedená na obrázku č. 2.



Obr. 2 Výsledný návrh čiary zrnitosti zmesi kameniva pre zmes CBGM 0/16 a medzné čiary pre CBGM 0/16 podľa TKP 05/2010

Návrh potrebného množstva spojiva (cementu) v zmesi CBGM bol stanovený na základe optimalizácie skúšok zmesí s rôznym obsahom cementu. Pre optimalizáciu boli zvolené tri dávkovania cementu a to v množstve  $c = 3,0 \%$ ,  $4,0 \%$  a  $5,0 \%$  hmotnosti zmesi. Overované dávky spojiva rešpektovali požiadavku normy [1] na minimálny obsah spojiva v závislosti od maximálnej veľkosti zrna zmesi kameniva.

Zo zmesí s rôznym obsahom cementu boli pre každý variant vyrobené 4 skúšobne telesá (valce výšky 120 mm a priemeru 100 mm). Tieto boli uložené do vlhkého prostredia a po 28 dňoch podľa postupu uvedenom v norme [1] boli na vzorkách stanovené pevnosti v tlaku -  $R_{ck}$ . Dosiahnuté výsledky pevností v prostom tlaku sú uvedené v tab. č. 8.

Tab. 8 Pevnostné charakteristiky cementom stmelenej zmesi CBGM 0/16

Vlastnosť navrhutej zmesi CBGM	Obsah spojiva	Dosiahnutá pevnosť, MPa	Deklarovaná trieda pevnosti zmesi
Pevnosť v tlaku po 28 dňoch - $R_{ck}$	3 %	<b>3,3</b>	-
	4 %	<b>4,6</b>	C <sub>3/4</sub>
	5 %	<b>5,8</b>	C <sub>3/4</sub>

Na základe pevností dosiahnutých po 28 dňoch zrenia zmesi možno pre stavebné zmesi s obsahom cementu 4 a 5 % deklarovať triedu pevnosti C<sub>3/4</sub> v zmysle STN EN 14227-1 [1] a TKP 05/2010 [8] s max. zrnom kameniva 16 mm. Pre dávkovanie cementu v množstve 3 % nebola dosiahnutá minimálna požadovaná pevnosť v tlaku pre triedu C<sub>3/4</sub> (4,0 MPa). Pri dávkovaní 5% spojiva bola dosiahnutá pevnosť zmesi len tesne pod požiadavkou 6,0 MPa pre kvalitatívnu triedu C<sub>5/6</sub>.

V porovnaní s podobnými zmesami vyrobenými len na báze prírodného drveného kameniva možno konštatovať, že na dosiahnutie zrovnateľných pevností zmesi bolo v prípade zmesi kameniva so skleneným recyklátom potrebné použiť o 1 až 2 % hmotnosti viac cementu. To je samozrejme mierne negatívne z hľadiska ekonomiky výroby zmesi. V prípade zmesi so skleneným recyklátom však bolo potrebné použiť menšie množstvo zámesovej vody na dosiahnutie optimálnej vlhkosti zmesi oproti zmesiam navrhnutým len z prírodného kameniva. Je to samozrejme z dôvodu nízkej nasiakavosti samotných zrn skleneného recyklátu. Táto skutočnosť je zase v prospech ekonomickej náročnosti výroby zmesi. Samozrejme nie zanedbateľnou stránkou je aj samotná cena skleneného recyklátu, ktorá by mohla mať významný vplyv na celkovú cenu stavebnej zmesi.

Počas výroby vzoriek boli zmesi kameniva so skleneným recyklátom dobre spracovateľné a zhutniteľné, čo naznačuje, že by nemali byť problémy ani pri samotnom pokladaní a hutnení konštrukčnej vrstvy na stavbe.

Rovnaká séria skúšobných telies, aká bola vyrobená pre skúšky po 28 dňoch, bola vyrobená na dlhodobé sledovanie (min. 1 rok) a to z dôvodu sledovania vplyvu chemického zloženia skleneného recyklátu na zmenu pevnostných charakteristík cementom stmelenej zmesi na báze skleneného recyklátu.

## 4 ZÁVER

Dosiahnuté výsledky (spracovateľnosť a zhutniteľnosť zmesi, splnenie požiadaviek normy [1] na pevnosť v tlaku /systém I/) cementom stmelenej zmesi so 60 % -ným obsahom skleneného recyklátu preukázali, že tento materiál je možné použiť na výrobu hydraulicky stmelených zmesí. Jeho aplikačnú vhodnosť (správanie sa zmesi pri pokladaní a hutnení) pre konštrukčné vrstvy vozoviek by bolo vhodné v ďalšej etape overiť. Zaujímavé budú aj výsledky získané na skúšobných telesách po 1 roku od ich zhotovenia.

Využitie takýchto zmesí je pravdepodobnejšie pre vozovky s nižšími triedami dopravného zaťaženia (TDZ IV až VI), prípadne iné dopravné a spevnené plochy. Potrebné množstvo cementu na výrobu zmesi je mierne vyššie ako pri zmesiach s prírodným kamenivom. V prípade nižších cien za sklenený recyklát ako za klasické prírodné kamenivo, by mala byť výroba zmesi s obsahom recyklátu ekonomickejšia v porovnaní s klasickými stavebnými zmesami. A v neposlednom rade je ekologický aspekt využitia tohto materiálu v dôležitej konštrukčnej vrstve cestných vozoviek.

## LITERATÚRA

- [1] STN EN 14227-1 Hydraulicky stmelené zmesi. Špecifikácie. Časť 1: Cementom stmelené zmesi pre podkladové vrstvy, august 2005
- [2] STN EN 13242 + A1 Kamenivo do nestmelených a hydraulicky stmelených materiálov používaných v inžinierskom stavebníctve a pri výstavbe ciest (Konsolidovaný text), august 2008
- [3] Vyhláška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 528/2007 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách na obmedzenie ožiarenia z prírodného žiarenia
- [4] STN 83 8303 Skúšanie nebezpečných vlastností odpadov. Ekotoxicita. Skúšky akútnej toxicity na vodných organizmoch a skúšky inhibície rastu rias a vyšších kultúrnych rastlín, január 1999
- [5] Zákon č. 223/2001 Z. z. o odpadoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov
- [6] Vyhláška Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky č. 284/2001 Z. z., ktorou sa ustanovuje Katalóg odpadov
- [7] Vyhláška Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky č. 263/2010 Z. z., ktorou sa mení a dopĺňa vyhláška Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky č. 283/2001 Z. z. o vykonaní niektorých ustanovení zákona o odpadoch v znení neskorších predpisov
- [8] TKP 05/2010 Technicko-kvalitatívne podmienky. Podkladové vrstvy, MDPaT SR, november 2009