

VŠB - Technical University of Ostrava
VŠB - Technická univerzita Ostrava

SANAČNÍ MALTA S TEPELNĚ IZOLAČNÍM ÚČINKEM NA BÁZI PUR PĚNY PO UKONČENÍ ŽIVOTNÍHO CYKLU

Vojtěch Václavík a kol.



Cíl výzkumu

- Hlavní cíl výzkumu spočíval ve využití recyklované polyuretanové pěny po ukončení životního cyklu jako nového plniva v sanační maltě.

Polyuretan

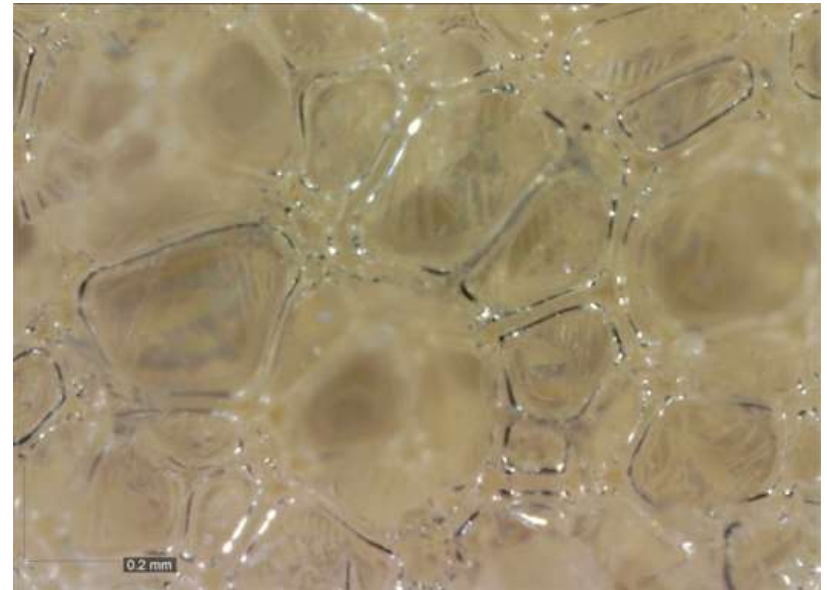
- Jedná se o tvrdou nebo polotvrdou makromolekulární pěnu s vysokým podílem uzavřených buněk.
- V surovém stavu se jedná o systém dvou tekutých složek, jejichž smísením za určitých podmínek vznikne nenasáklivá, vodoizolační i tepelně izolační hmota, která je tvarově a rozměrově stálá.
- Základní suroviny moderních polyuretanů tvoří vesměs tyto základní složky: **vícesytné alkoholy a isokyanáty**, jejichž smícháním dojde k napěnění.

Polyuretan

A)



B)



Obr. 1 Pohled na uzavřenou strukturu PUR pěny o objemové hmotnosti $40 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$,
A) zvětšeno 51,4 krát, B) zvětšeno 240,6 krát

Polyuretan

Mechanické a tepelně technické vlastnosti PUR pěny

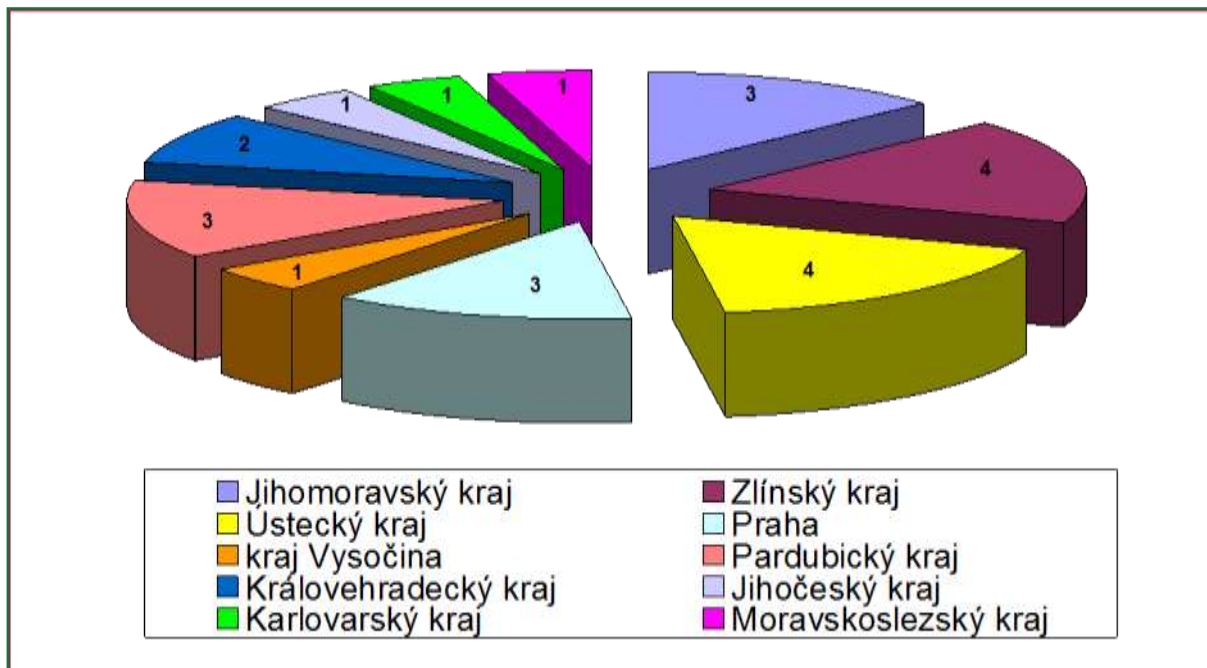
<i>Vlastnost</i>	<i>Jednotka</i>					
Měrná hmotnost	kg·m ⁻³	30	40	60	80	100
MECHANICKÉ VLASTNOSTI						
Pevnost v tlaku	N·mm ⁻²	0,20	0,25	0,40	0,60	0,90
Pevnost v tahu	N·mm ⁻²	0,35	0,60	0,85	1,00	1,20
Pevnost v ohybu	N·mm ⁻²	0,30	0,45	0,70	0,95	1,20
Pevnost ve stříhu	N·mm ⁻²	0,15	0,20	0,30	-	-
E-modul	N·mm ⁻²	5	7	12	20	25
TEPELNĚ TECHNICKÉ VLASTNOSTI						
Součinitel tepelné vodivosti λ						
W·m ⁻¹ ·K ⁻¹				0,025		
Lineární koef. roztažnosti (pro měrnou hmotnost 30 až 60 kg·m⁻³)						
1/K					5 až 8·10 ⁻⁵	
Odpor difúzi vodních par (pro měrnou hmotnost 30 až 100 kg·m⁻³)						
μ					30 až 100	
Nasákavost (při 20° C)						
po 24 hod	objem. %			do 2, max. 5		
po 28 dnech	objem. %			do 2, max. 5		
Obrysová stabilita (při 30° C)						
objem. %					0, -0,2	
Teplotní rozsah	°C			-200 až +140		
Krátkodobě	°C			+250		
Hořlavost					B2	

Polyuretanové odpady

- V roce 2007 bylo v Evropě dosaženo produkce polyuretanových výrobků vyšší než 4,5 milionů tun.
- Odhad pro rok 2012 činí téměř 5,25 milionů tun.
- V ČR se ročně vyprodukuje cca 10 000 tun odpadní tvrdé polyuretanové pěny.
- Významní producenti odpadní PUR pěny:
 - recyklace bílé techniky;
 - odpad vznikající při vypěňování PUR bloků,
 - formátování PUR desek.

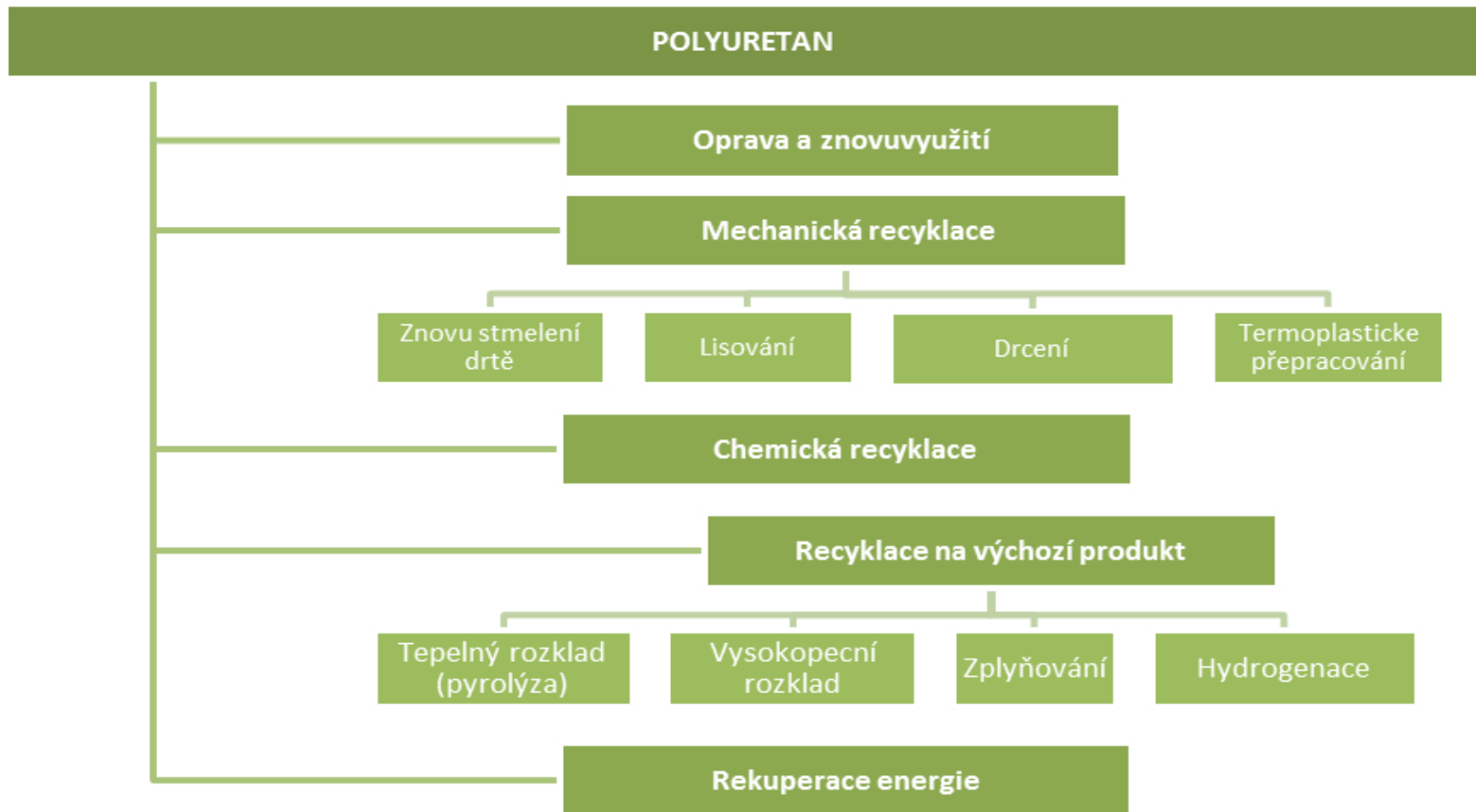
Polyuretanové odpady

- Na základě katalogů odpadů je možno přiřadit polyuretanovým odpadům číslo **17 06 04**.



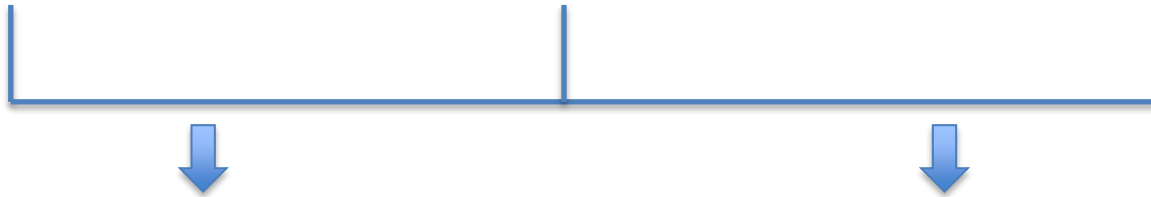
Obr. 2 Přehled firem vyrábějící polyuretany v ČR a tudíž i producentů polyuretanových odpadů

Recyklace polyuretanu



Obr. 3 Schéma recyklace polyuretanu po ukončení životního cyklu

Recyklace polyuretanu



Obr. 4 Pohled na PUR zrna fr. 0/1 mm, u kterých je narušena buněčná struktura, zvětšeno 206 krát

Obr. 5 Pohled na detail PUR zrna fr. 0/4 mm, zvětšeno 206 krát

Experimentální receptury

Složky sanační malty s tepelně izolačním účinkem	Měrná jednotka	Záměs R1	Záměs R2	Záměs R3	Záměs R4	Záměs R5	Záměs R6	Záměs R7	Záměs R8	Záměs R9
PUR (drcený fr. 0/4 mm)	kg	4,60	4,60	4,60	4,60	4,60	-	-	-	-
PUR (drcený fr. 0/1mm)	kg	-	-	-	-	-	4,60	4,60	4,60	4,60
Cement CEM II/B-S 32,5R	kg	5,25	7,61	10,50	10,50	10,50	-	-	-	-
Cement CEM I 42,5 R	kg	-	-	-	-	-	15,19	10,64	10,13	5,06
Alkylbenzensulfonan sodný	kg	0,13	0,10	0,08	0,05	0,07	-	-	-	-
Lignosulfonan vápenatý	kg	-	-	0,05	0,03	0,02	-	-	-	-
Kopolymer vinylacetát	kg	-	0,06	-	50	-	-	-	-	-
Hostapur OSB	kg	-	-	-	-	-	0,15	0,12	0,15	0,15
Vápenatý hydrát CL90-S	kg	-	2,89	-	-	-	-	-	-	10,13
Vápenec velmi jemně mletý 3500 cm ² ·g ⁻¹	kg	5,25	-	-	-	-	-	-	-	-
Metakaolín Mefisto K05	kg	-	-	-	-	-	-	1,35	5,06	-
Voda	kg	9,06	9,06	9,06	9,06	9,06	11,97	10,03	15,97	16,97

Přísady:

Kopolymervinylacetát - prášková přísada pod obchodním názvem Wacker 8034H zlepšující reologii směsi, zvyšující pevnost a snižující nasákavost izolační malty.

Alkylbenzensulfonan sodný - prášková provzdušňovací přísada zvyšující obsah vzduchu v čerstvé maltě.

Lignosulfonan vápenatý - prášková plastifikační přísada upravující reologii směsi a její tuhnutí.

Hostapur OSB - přísada zlepšující smáčivost a zvyšující obsah pórů v čerstvé i zatvrdlé maltě.

Postup přípravy záměsí experimentálních receptur

- Do míchací nádoby míchačky byla nadávkována PUR drť společně s pojivovou složkou. Následovala homogenizace složek za sucha v délce 3 min.
- Nadávkování přísady a homogenizace za sucha všech složek po dobu 2 min.
- Přidání požadovaného množství vody do míchací nádoby a míchání sanační malty po dobu 10 min.
- Celková doba jedné záměsi činila 15 min.

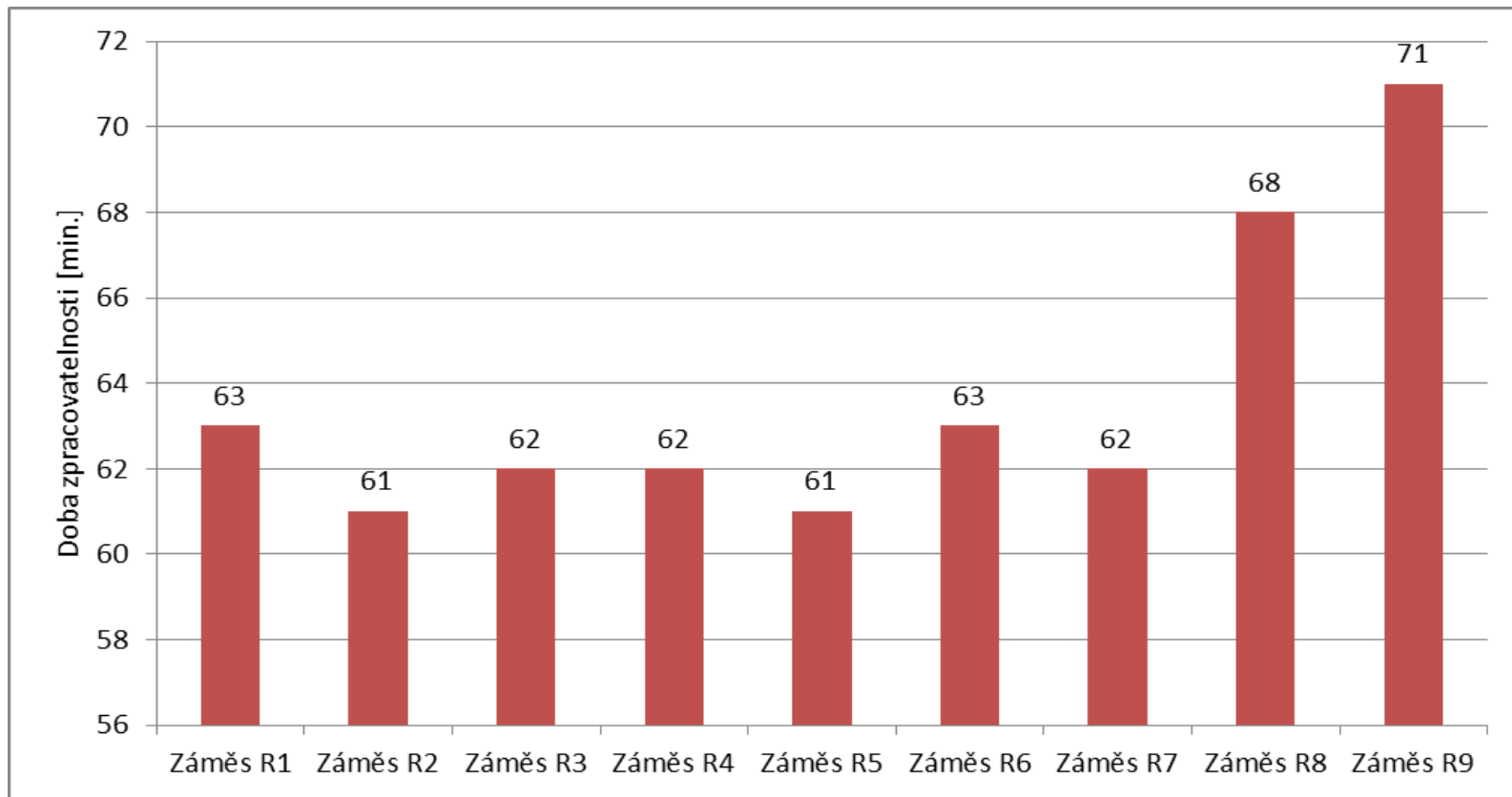


Obr. 5 Cyklonová míchačka řady M80 značky Filamos

Parametr	M80
Objem nádrže [l]	111
Max. užitný objem [l]	69
Výkon elektrického motoru [kW]	2,2
Napětí [V]	400
Otáčky míchadla [ot/min]	47
Max. zrnitost materiálu [mm]	6
Hmotnost [kg]	137

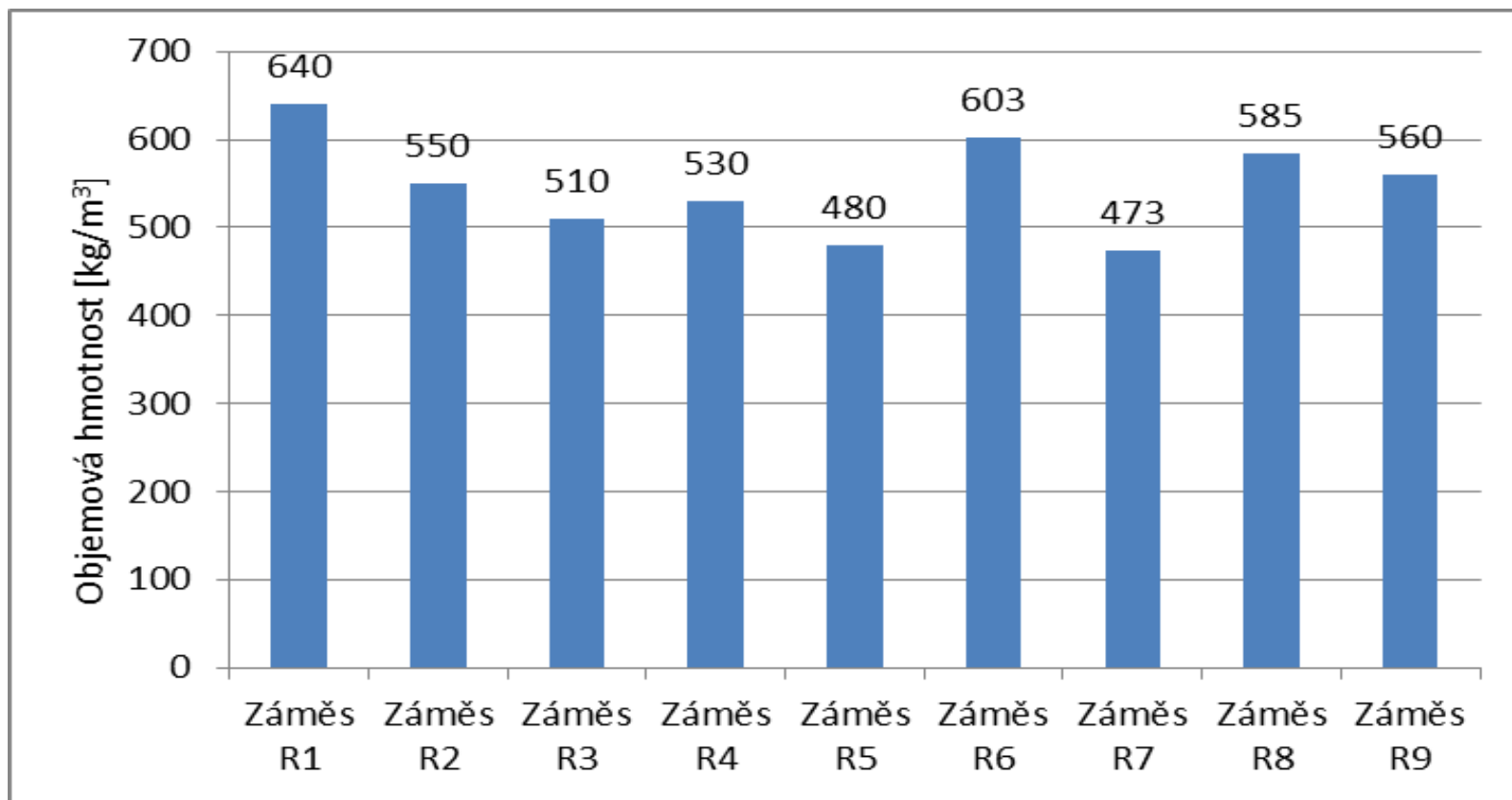
Stanovení doby zpracovatelnosti a času pro úpravu čerstvé malty

- Stanovení bylo provedeno dle ČSN EN 1015-9.



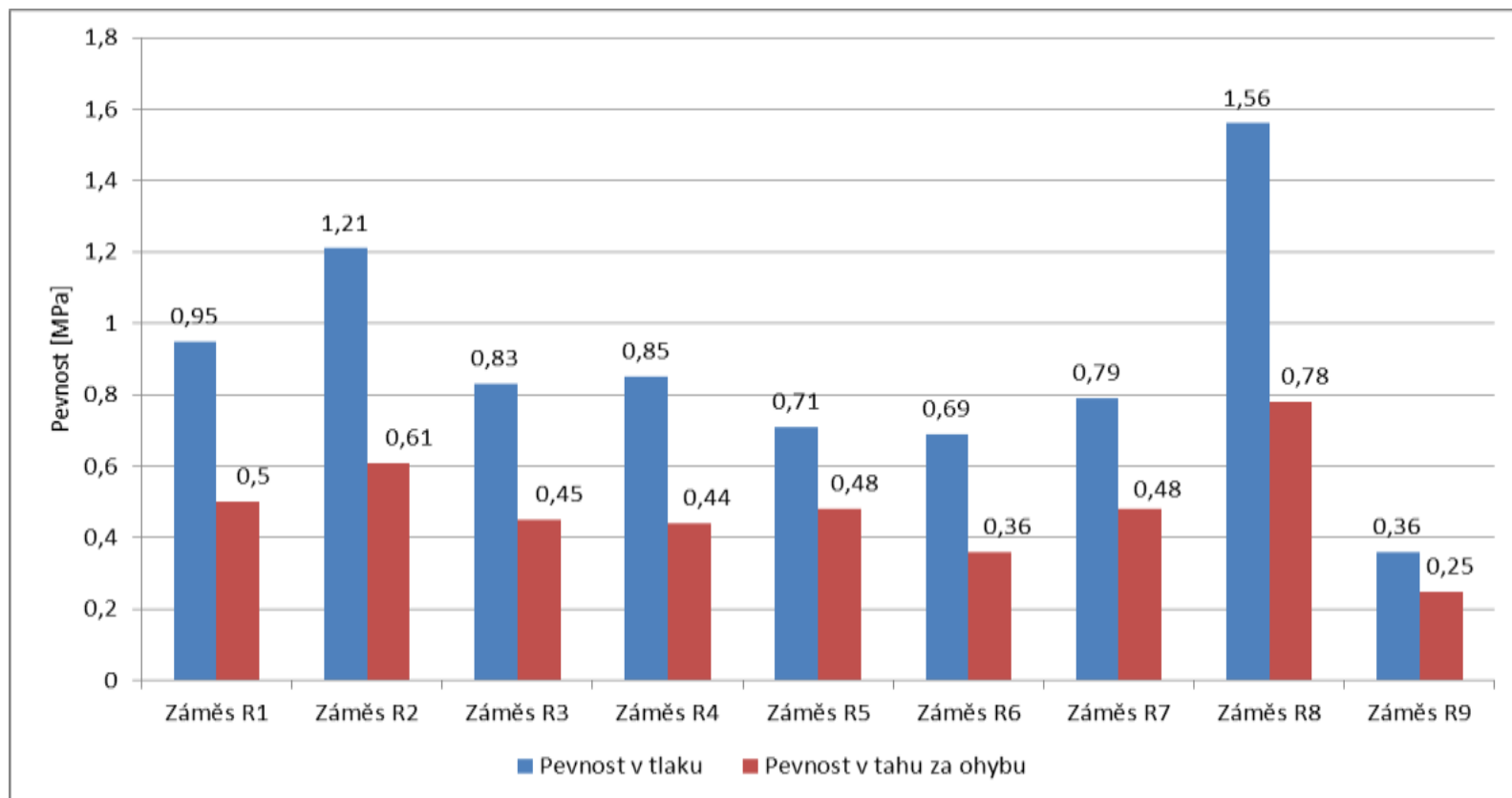
Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty

- Stanovení bylo provedeno dle ČSN EN 1015-10.



Stanovení pevnostních charakteristik

- Pevnostní charakteristiky sanační malty byly stanoveny dle EN 1015-11.



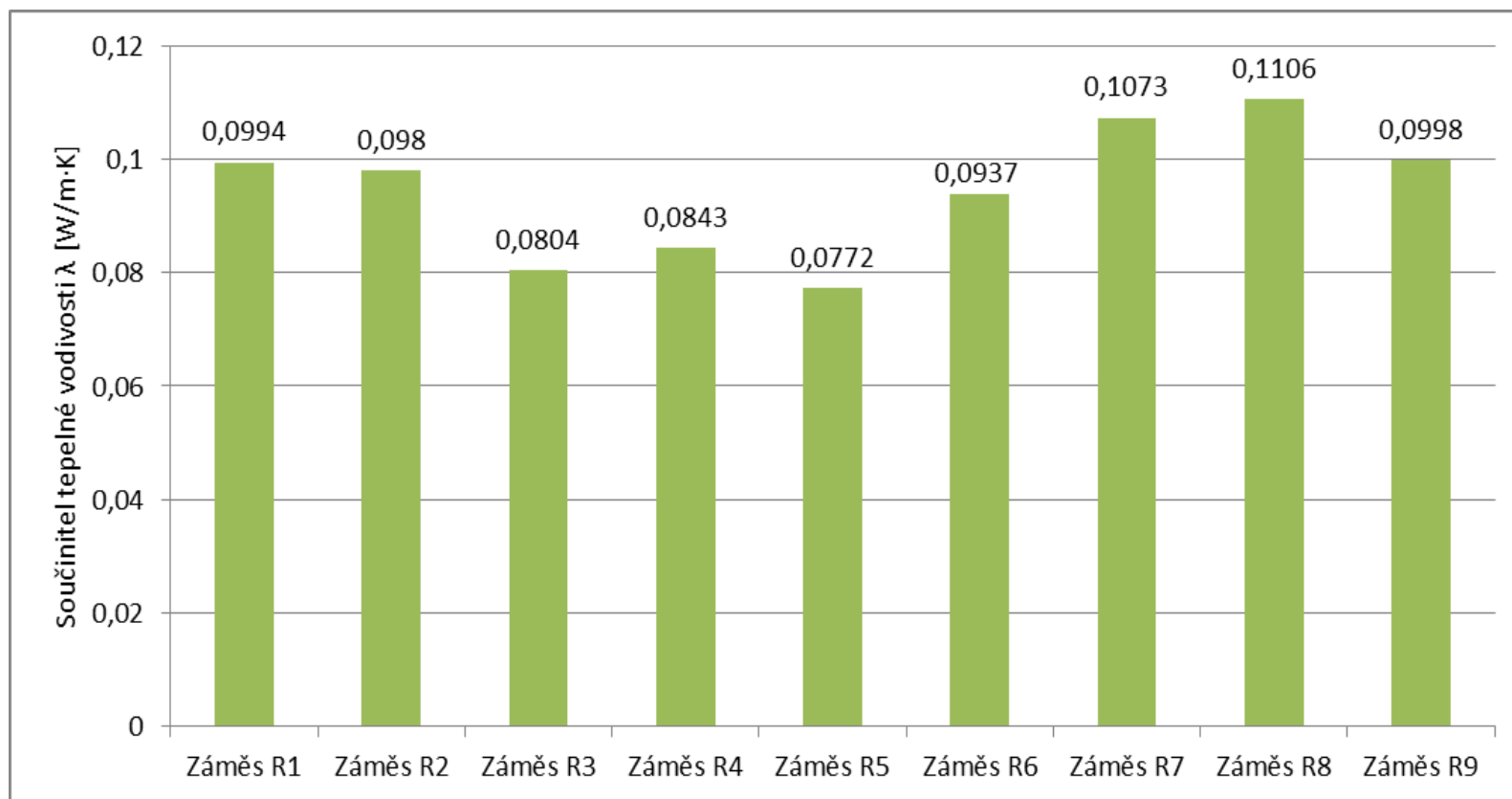
Stanovení přídržnosti zatvrdlé malty

- Stanovení bylo provedeno dle ČSN EN 1015-12.
- Podklad – keramický střepek (CP)

Záměs	Přídržnost k podkladu Ø (N·mm ⁻²)	Způsob odtržení od podkladu
R1	0,30	Porušení ve vrstvě malty
R2	0,40	Porušení spojení mezi maltou a podkladem
R3	0,10	Porušení ve vrstvě malty
R4	0,15	Porušení ve vrstvě malty
R5	0,07	Porušení spojení mezi maltou a podkladem
R6	0,21	Porušení ve vrstvě malty
R7	0,33	Porušení ve vrstvě malty
R8	0,43	Porušení spojení mezi maltou a podkladem
R9	0,15	Porušení ve vrstvě malty

Stanovení součinitele tepelné vodivosti λ

- Bylo provedeno analyzátořem tepelných vlastností ISOMET Model 2114.



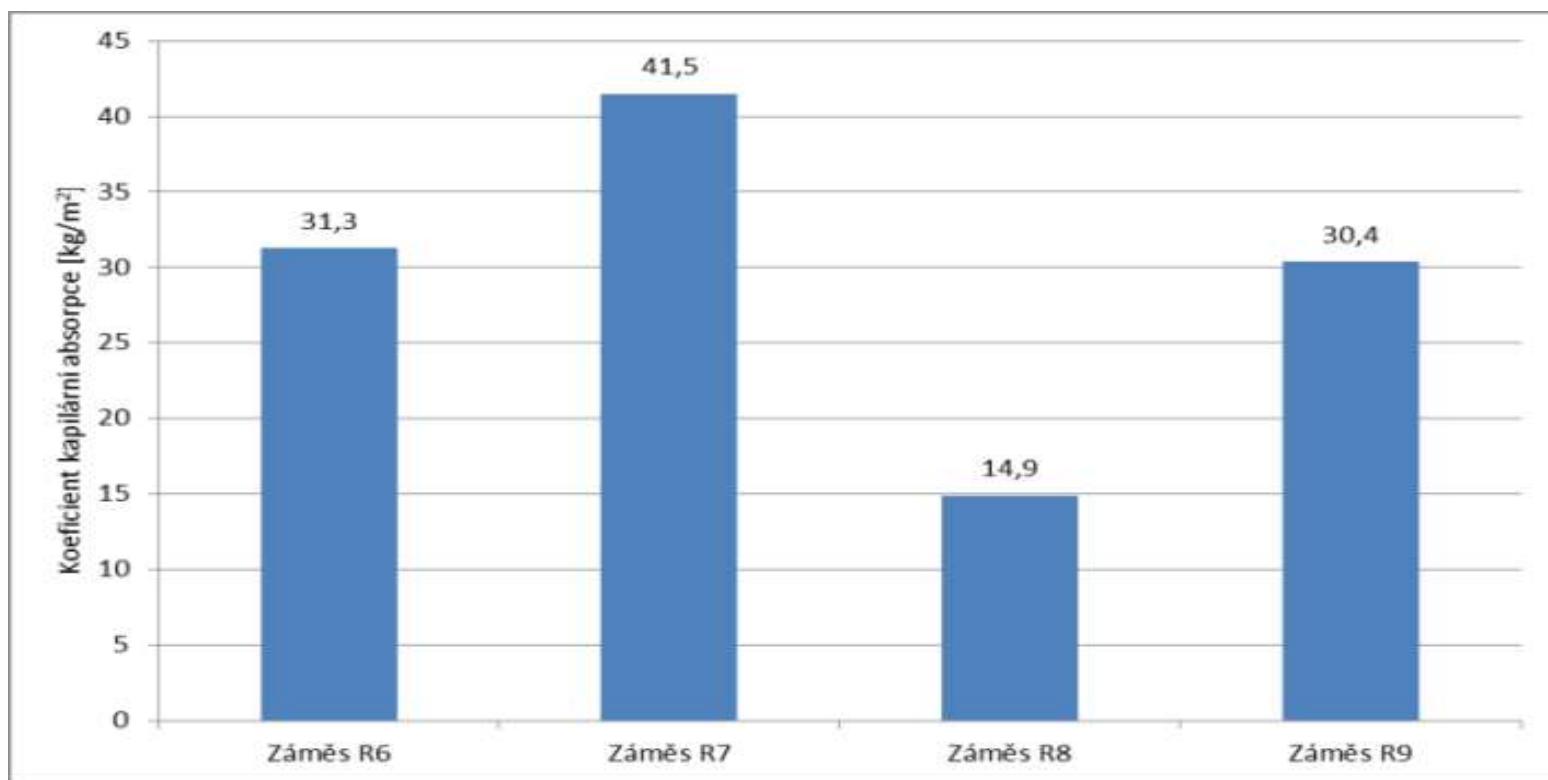
Stanovení pórovitosti zatvrdlé sanační malty

- Bylo testováno u experimentálních záměsí R6, R7, R8 a R9.
- Rtuťová porozimetrie – testováno na rtuťovém porozimetru Autopore 9500

Parameters	Záměs R6	Záměs R7	Záměs R8	Záměs R9
Total Intrusion Volume [mL·g ⁻¹]	0,5323	0,9787	1,0370	0,9586
Total Pore Area [m ² ·g ⁻¹]	21,487	39,774	22,649	19,897
Median Pore Diameter (Volume) [μm]	2,1380	32,5787	2,0463	2,4779
Average Pore Diameter (4V/A) [μm]	0,0991	0,0984	0,1831	0,1927
Porosity [%]	53,6354	65,3807	68,8753	63,3898

Stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě

- Bylo testováno u experimentálních záměsí R6, R7, R8 a R9.
- Stanovení bylo provedeno dle ČSN EN 1015-18



Odolnost proti solím

- Odolnost proti solím sanační malty s tepelně izolačním účinkem byla testována u experimentálních záměsí R6, R7, R8 a R9.
- Zkušební tělesa po 28-ti dnech stáří byla ponořena svou podstavou do modelového solného roztoku dle WTA na ták, na kterém byla udržována hladina roztoku ve výšce 15 ± 5 mm po dobu 30-ti dnů.
- Složení solného roztoku na 1000 ml demineralizované vody bylo následující: $35 \text{ g NaCl} + 5 \text{ g Na}_2\text{SO}_4 + 15 \text{ g NaNO}_3$.

Odolnost proti solím



R6



R7



R8



R9



Obr. 6 Pohled na zkušební tělesa experimentálních záměsí, před a po vytažení z roztoku solí dle WTA

Odolnost proti solím

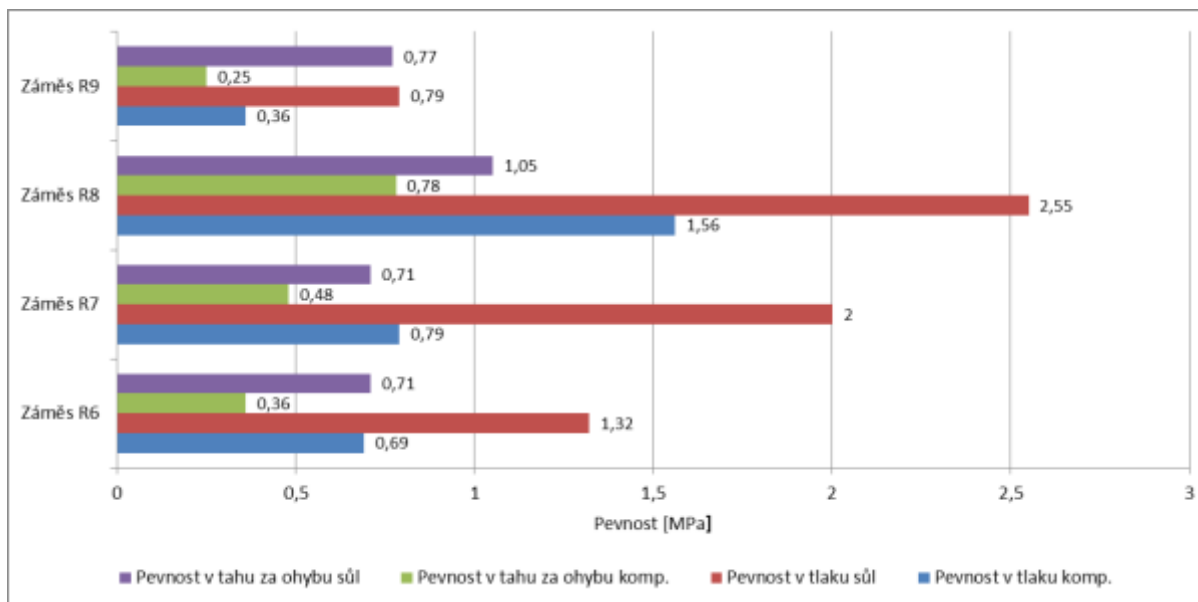
Pevnosti sanační malty s tepelně izolačním účinkem po 30-ti dnech uložení v solném roztoku

Záměs	Hmotnost před nasycení [g]	Hmotnost po nasycení [g]	Množství soli [g]	Množství soli \emptyset [g]	Tlačná síla tah za ohybu [N]	Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	Pevnost v tahu za ohybu \emptyset [MPa]	Tlačná síla Tlak 1 [N]	Tlačná síla Tlak 2 [N]	Pevnost v tlaku 1 [MPa]	Pevnost v tlaku 2 [MPa]	Pevnost v tlaku [MPa]	Pevnost v tlaku \emptyset [MPa]
Záměs R6	125,0	160,0	35	36,3	290	0,680	0,71	2250	2000	1,406	1,250	1,328	1,32
	132,0	169,0	37		320	0,750		2200	2100	1,375	1,313	1,344	
	128,0	165,0	37		310	0,705		2100	2040	1,313	1,275	1,294	
Záměs R7	141,0	183,0	42	43,7	300	0,703	0,71	3130	3310	1,956	2,069	2,013	2,00
	124,0	179,0	55		300	0,703		3120	3280	1,950	2,050	2,000	
	146,0	180,0	34		310	0,727		3140	3260	1,963	2,038	2,000	
Záměs R8	151,0	187,0	36	41,0	450	1,055	1,05	4150	4090	2,594	2,556	2,575	2,55
	151,0	192,0	41		430	1,008		3950	4000	2,469	2,500	2,484	
	149,0	195,0	46		460	1,078		4200	4100	2,625	2,563	2,594	
Záměs R9	138,0	171,0	33	28,0	370	0,867	0,77	1210	1340	0,756	0,838	0,797	0,79
	138,0	160,0	22		290	0,680		1380	1100	0,863	0,688	0,775	
	137,0	166,0	29		330	0,773		1280	1230	0,800	0,769	0,784	

Odolnost proti solím

Porovnání komparačních pevností a pevností sanační malty uložené v solném roztoku po dobu 30-ti dnů

Záměs	Pevnost v tahu za ohybu [MPa]		Pevnost v tlaku [MPa]		Navýšení pevnosti v tahu za ohybu oproti komparační		Navýšení pevnosti v tlaku oproti komparační	
	Komparační	Roztok solí	Komparační	Roztok solí	[MPa]	násobek	[MPa]	násobek
Záměs R6	0,36	0,71	0,69	1,32	0,35	0,97x	0,63	0,91x
Záměs R7	0,48	0,71	0,79	2,00	0,23	0,48x	1,21	1,53x
Záměs R8	0,78	1,05	1,56	2,55	0,27	0,35x	0,99	0,63x
Záměs R9	0,25	0,77	0,36	0,79	0,52	2,08x	0,43	1,19x



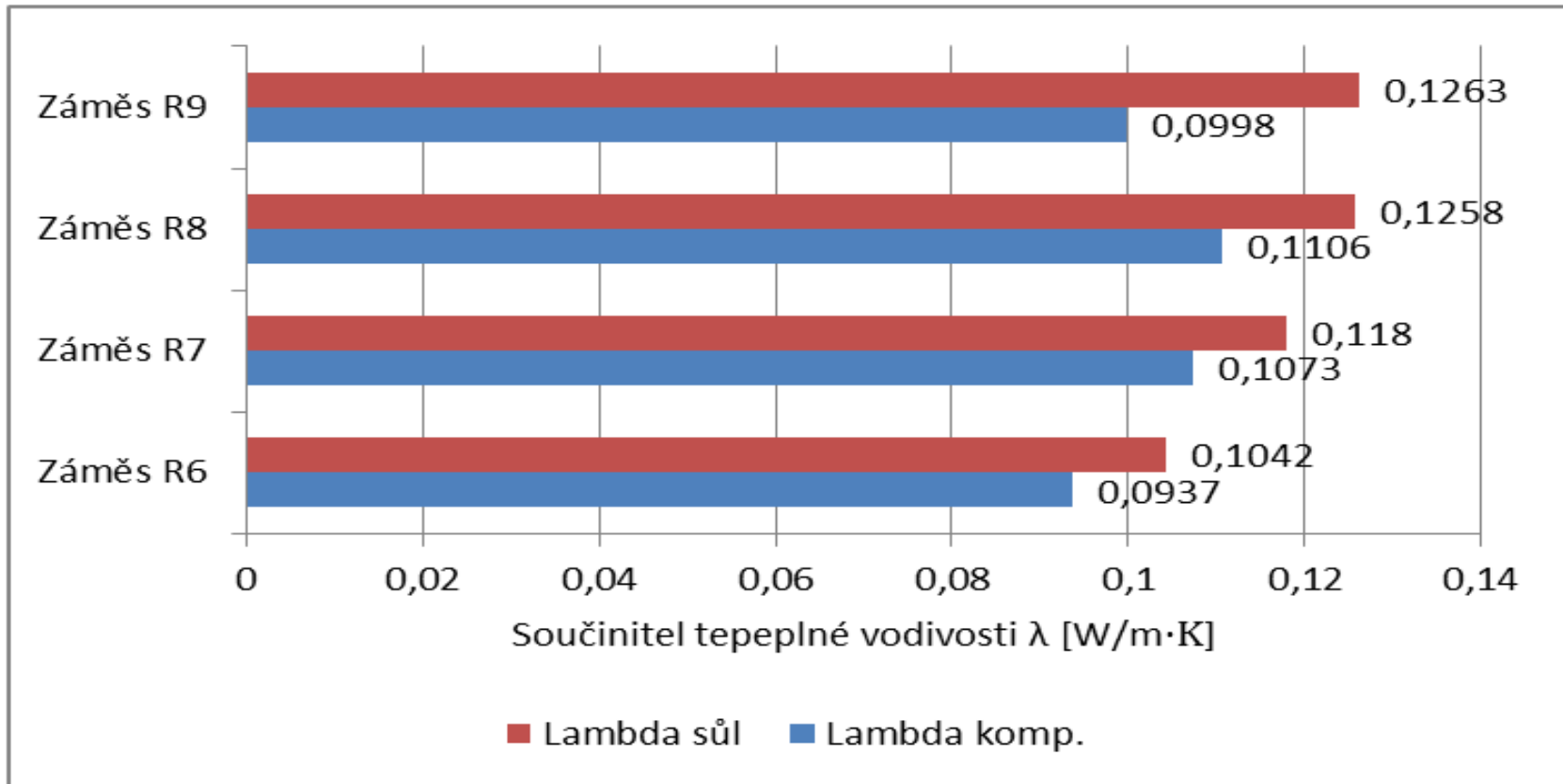
Odolnost proti solím

Naměřené hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ experimentálních záměsí po zkoušce odolnosti solí

Označení vzorku	Objemová hmotnost ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	Zvýšení obj. hmotnosti oproti komparačním záměsím	Součinitel tepelné vodivosti λ \emptyset ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	Zvýšení součinitele tepelné vodivosti λ oproti komparačním záměsím
Záměs R6	643	6,6 %	0,1042	11,2 %
Záměs R7	705	49,0 %	0,1180	10,0 %
Záměs R8	749	28,0 %	0,1258	13,7 %
Záměs R9	647	15,5 %	0,1263	26,6 %

Odolnost proti solím

Grafické porovnání součinitele tepelné vodivosti komparačních těles a těles uložených 30-ti dnů v solném roztoku



Závěr

Srovnání vlastností sanačních malt

Název	Objemová hmotnost zatvrdlé malty [kg·m ⁻³]	Zrnitost [mm]	Pevnost v tlaku [N·mm ⁻²]	Součinitel tepelné vodivosti [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Koeficient kapilární absorpce [kg·m ⁻²]
Záměs R8	585	0-1	1,56	0,110	14,9
Sanační omítka podkladní WTA CEMIX	1100-1400	0-1,2	1,5 až 5	max. 0,410	min. 1,0
KVK sanační omítka podkladní 0230 K	1250	0-2,5	1,5 až 5	max. 0,420	min. 1,0
SANIER Porenausgleichsputz 208 HASIT	1200-1400	0-3	1,5 až 5	≤ 0,390	> 1,0

Závěr

Novost sanační malty s tepelně izolačním účinkem spočívá v tom:

- 1. polyuretanová pěna je zakomponovaná v cementometakaolínové matrici.**
- 2. díky své pórovitosti, velikosti a struktuře pórů umožňuje zvýšit násobně kapacitu pro ukládání solí ve struktuře sanační malty s tepelně izolačními účinky, aniž by došlo k destrukci směsi, vlivem zvětšení objemu krystalů solí a s tím spojených krystalizačních a rekrystalizačních tlaků ve struktuře směsi.**
- 3. malta nezpůsobuje degradaci podkladního zdiva a zároveň nedochází ke zpětnému zasolování zdiva vlivem změny parciálního tlaku a/nebo vlivem gradientu vlhkosti.**

Závěr

Novost sanační malty s tepelně izolačním účinkem spočívá v tom:

4. že malta plní jak funkci **vlhkostně sanační, tak zároveň funkci tepelně izolační**, čili u staveb s vyšším obsahem vlhkosti ve zdivu, zvyšuje tepelný odpor při zachování autenticity vnějších povrchů;
5. že lze modifikovat výslednou recepturu (Záměs R8), dle požadavků pro doplňková opatření tvrdých sanačních technologií, tzn. hydroizolace, injektáže, elektroosmotické metody apod.

Závěr

Funkční vzorek:

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. ***Sanační malta s tepelně izolačním účinkem.*** Původci Vojtěch Václavík, Jaromír Daxner, Jan Valíček, Milena Kušnerová, Miroslava Bendová, Tomáš Dvorský. Česká republika. Funkční vzorek 063/19-09-2012_F. 2012-09-19



Děkuji za pozornost !