



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

NÁVRH SPÁROVACÍ HMOTY PRO CHEMICKÉ NAMÁHÁNÍ S VYUŽITÍM DRUHOTNÝCH SUROVIN

DESIGN OF GROUT JOINT FOR CHEMICAL EXPOSURE USING SECONDARY RAW
MATERIALS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Veronika Matušková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. ROSTISLAV DROCHYTKA, CSc.,
MBA

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Veronika Matušková
Název	Návrh spárovací hmoty pro chemické namáhání s využitím druhotných surovin
Vedoucí práce	prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

[1] ČSN EN 13888 – Spárovací malty a lepidla pro keramické obkladové prvky – Definice a specifikace.

[2] MCGHEE, Kenneth H. Design, construction, and maintenance of PCC pavement joints. Washington, D.C.: National Academy Press, 1995. ISBN 0309056713.

[3] KLOČUREK, Vladimír, Jan NEUSTUPNÝ a Jiří VALENTA. EUTIT®: kámen nad ocel : 60 let výroby taveného čediče ve Staré Vodě = stone over steel : 60 years of cast basalt production in Stará Voda. Stará Voda: EUTIT, 2011. ISBN 978-80-270-0490-4.

[4] Další vědecké a odborné publikace, normy a předpisy zabývající se spárovacími hmotami.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Na základě teoretických poznatků získaných z odborné domácí a zahraniční literatury bude navržena nová polymerní vysoce kvalitativní spárovací hmota s využitím druhotných surovin pro zvýšené chemické namáhání. Předpokládaným využitím navržené hmoty je spárování prvků z taveného čediče ve stavebních objektech, které jsou permanentně namáhány vlivem vysoce agresivního chemického zatížení. Dalším přínosem této hmoty by mělo být využívání takových vstupních surovin, které byly vyrobeny progresivními technologiemi za účelem snížení ekologické stopy jak výsledného produktu, tak samotných výrobních procesů. Tato práce zabývající se aktuální problematikou v praxi je součástí projektu vědy a výzkumu.

1. V teoretické části souhrnně zpracujte doposud získané poznatky z oblasti spárovacích hmot na silikátové a polymerní bázi. Zaměřte se na hmoty použitelné v místech se zvýšeným nebo extrémním chemickým namáháním, které je možné využít především pro spárování prvků z taveného čediče.

2. Definujte normové požadavky a zkušební postupy dle patřičných norem a technických návodů pro použití spárovacích hmot v různém agresivním prostředí. Definujte typy a druhy expozičního prostředí, kde budou vyvíjené materiály použity (upřesnění míry zvýšeného namáhání).

3. Navrhněte a charakterizujte vhodná polymerní pojiva a plniva (především druhotné suroviny a nebezpečné odpady) pro přípravu spárovací hmoty pro zvýšené chemické namáhání.

4. Navrhněte technologii úpravy plniv na bázi druhotných surovin včetně nebezpečných odpadů. Navrhněte optimální technologie solidifikace vybraných nebezpečných odpadů pro vznik nových druhů solidifikátů, využitelných jako plniv pro polymerní spárovací hmoty. Zaměřte se taky na návrh prvotních solidifikačních receptur.

5. Optimalizujte vhodná plniva a polymerní pojiva a dále navrhněte základní receptury pro výrobu spárovací hmoty pro zvýšené chemické zatížení.

6. Navrhněte základní zkoušení navržených receptur a laboratorně prověřte vybrané receptury.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřená na návrh vysoce kvalitní spárovací hmoty na polymerní bázi pro zvýšené chemické namáhání s využitím druhotných surovin a nebezpečných odpadů. Předpokládaným hlavním využitím navrhované spárovací hmoty je spárování prvků z taveného čediče ve stavebních objektech, které jsou systematicky namáhány vlivem vysoce agresivního chemického namáhání. Dalším přínosem této hmoty by mělo být využívání takových vstupních surovin, které byly vyprodukované progresivními technologiemi za účelem snížení ekologické stopy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Spárovací hmota, epoxidová pryskyřice, chemická odolnost, druhotná surovina, nebezpečný odpad, solidifikace, výrobky z taveného čediče.

ABSTRACT

The aim of the bachelor's thesis is the design of a high-quality polymeric grout joint using secondary raw materials and hazardous waste for increased chemical exposure. The main use assumed of the proposed grout joint is grouting of the cast basalt elements in building objects that are systematically exposure due to the highly aggressive chemical load. The use of input materials produced by progressive technologies should be another benefit of this grout joint to enhance the ecological aspects of the grout joint production.

KEYWORDS

Grout joint, epoxy resin, chemical resistance, secondary raw material, hazardous waste, solidification, cast basalt products.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Veronika Matušková *Návrh spárovací hmoty pro chemické namáhání s využitím druhotných surovin*. Brno, 2018. 88 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2018

Veronika Matušková

autor práce

POĎAKOVANIE

V prvom rade by som chcela poďakovať vedúcemu práce prof. Ing. Rostislavovi Drochytškovi, CSc., MBA, za jeho odborné vedenie, hodnotné rady, pripomienky a čas strávený nad mojou prácou. Zároveň by som chcela poďakovať Ing. Jakubovi Hodulovi za hodiny času strávené konzultáciami, za odbornú pomoc pri vypracovaní bakalárskej práce a za ochotu, s akou k mojej práci pristupoval. Ďalej ďakujem Ing. Tomášovi Žlebkovi za odbornú pomoc pri vypracovaní práce.

Bakalárska práca bola vypracovaná v rámci riešenia projektu FV20303 „Progresivní polymerní hmoty s využitím druhotných surovin a nebezpečných odpadů do chemicky silně agresivního prostředí“.

OBSAH

1.	ÚVOD	11
2.	TEORETICKÁ ČASŤ.....	12
2.1.	Termíny a definície.....	12
2.2.	Škárovacie hmoty.....	13
2.2.1.	Škárovacie hmoty na polymérnej báze (RG)	14
2.2.1.1.	Chemická odolnosť polymérnych škárovacích hmôt	14
2.2.1.2.	Príprava škár a aplikácia škárovacích hmôt na polymérnej báze ...	14
2.2.1.3.	Časticové kompozity s polymérou matricou	15
2.2.2.	Škárovacie hmoty na silikátovej báze.....	17
2.2.2.1.	Chemická odolnosť cementovým škárovacích hmôt	17
2.2.2.2.	Príprava škár a aplikácia cementových škárovacích hmôt (CG).....	17
2.2.3.	Porovnanie epoxidových a cementových škárovacích hmôt	18
2.3.	Odpady.....	19
2.3.1.	Nebezpečné odpady (NO)	20
2.3.1.1.	Vlastnosti, pre ktoré sa odpad považuje za nebezpečný.....	20
2.3.1.2.	Možnosti stabilizácie nebezpečných odpadov a podmienky pre ich využívanie.....	21
2.3.2.	Druhotné suroviny	24
2.3.2.1.	Požiadavky na stavebné materiály využívajúce druhotné suroviny	24
2.4.	Tavený čadič.....	25
2.4.1.1.	Vlastnosti taveného čadiča	26
2.4.1.2.	Výrobky z taveného čadiča	27
2.4.1.3.	Použitie výrobkov z taveného čadiča	29
3.	CIEĽ PRÁCE.....	30
4.	METODIKA PRÁCE.....	31
4.1.	I. ETAPA: Prehľad chemicky odolných škárovacích hmôt dostupných na trhu a požiadavky kladené na škárovacie hmoty.....	31
4.2.	II. ETAPA: Návrh vhodných spojív a plnív pre výrobu polymérnej škárovacej hmoty	32

4.3.	III. ETAPA: Výber vhodnej technológie predúpravy vybraných plnív do škárovacej hmoty	33
4.4.	IV. ETAPA: Návrh receptúr polymérnej škárovacej hmoty s obsahom NO34	
5.	PRAKTICKÁ ČASŤ	35
5.1.	I. ETAPA: Prehľad chemicky odolných škárovacích hmôt dostupných na trhu a požiadavky kladené na škárovacie hmoty.....	35
5.1.1.	Prehľad chemicky odolných škárovacích hmôt dostupných na trhu	35
5.1.2.	Definovanie normových požiadaviek na škárovacie hmoty podľa EN 13888	38
5.1.2.1.	Škárovacie hmoty na polymérnej báze (RG)	38
5.1.2.2.	Škárovacie hmoty cementové (CG).....	38
5.1.3.	Definovanie normových skúšobných postupov pre škárovacie hmoty podľa patričných noriem	39
5.1.3.1.	Stanovenie odolnosti proti obrusovaniu podľa EN 12808-2.....	39
5.1.3.2.	Stanovenie pevnosti v ťahu pri ohybe a pevnosti v tlaku podľa EN 12808-3	40
5.1.3.3.	Stanovenie zmraštenia podľa EN 12808-4.....	41
5.1.3.4.	Stanovenie nasiakavosti podľa EN 12808-5.....	42
5.1.4.	Definovanie ostatných skúšobných postupov pre škárovacie hmoty	43
5.1.4.1.	Stanovenie chemickej odolnosti škárovacích mált na polymérnej báze podľa EN 12808-1	43
5.1.4.2.	Stanovenie pórovitosti	43
5.2.	Použitie škárovacích hmôt	44
5.2.1.	Identifikácia agresívneho prostredia pre škárovacie hmoty	44
5.2.1.1.	Použitie v kanalizačných stokách	44
5.2.1.2.	Použitie v priemyselnej výrobe	45
5.3.	II. ETAPA: Návrh vhodných spojív a plnív pre výrobu polymérnej škárovacej hmoty	45
5.3.1.	Definovanie vhodných polymérnych spojív pre prípravu vyvíjanej škárovacej hmoty	45
5.3.1.1.	Epoxidové živice (ER).....	45

5.3.1.2.	Furánové živice.....	46
5.3.1.3.	Polyuretánové živice (PU)	46
5.3.1.4.	Silikónové živice	46
5.3.2.	Definovanie vhodných plnív pre prípravu vyvíjanej škárovacej hmoty	47
5.3.2.1.	Referenčné plnivo	47
5.3.2.2.	Plnivá na báze druhotných surovín	47
5.3.2.3.	Plnivá na báze nebezpečných odpadov	52
5.3.2.4.	Optimalizačný výpočet pre výber vhodných plnív	55
5.4.	III. Etapa: Výber vhodnej technológie predúpravy vybraných plnív.....	58
5.5.	IV. Etapa: Návrh receptúr pre prípravu škárovacej hmoty s obsahom nebezpečného odpadu	60
5.6.	Experimentálne preverenie navrhnutých receptúr pre prípravu vyvíjanej škárovacej hmoty.....	61
5.6.1.	Predúprava navrhnutého plniva.....	61
5.6.1.1.	Predúprava navrhnutého plniva technológiou solidifikácie formou granulovania.....	61
5.6.1.1.	Predúprava navrhnutého plniva technológiou solidifikácie formou suchej homogenizácie.....	65
5.6.1.2.	Skúška vylúhovateľnosti predupravených plnív	67
5.6.2.	Výroba škárovacích hmôt podľa navrhnutých receptúr.....	68
5.6.3.	Stanovenie vlastností škárovacích hmôt v polymerizovanom stave	70
5.6.4.	Porovnanie vlastností vyvinutých škárovacích hmôt so škárovacími hmotami dostupnými na trhu	75
5.6.5.	Zhrnutie výsledkov získaných z experimentálneho overenia.....	76
6.	ZÁVER	77
7.	ZOZNAMY	80
7.1.	Zoznam použitej literatúry.....	80
7.2.	Zoznam použitých skratiek	84
7.3.	Zoznam tabuliek.....	85
7.4.	Zoznam obrázkov	87

1. ÚVOD

V súčasnej dobe je vznik nebezpečného odpadu v porovnaní s celkovou produkciou odpadov len vo veľmi malom množstve, no aj napriek tomu, nebezpečné odpady výrazne ovplyvňujú súčasný stav životného prostredia a tiež môžu v niektorých prípadoch poškodzovať ľudské zdravie.

Celosvetový vývoj smeruje k tomu, aby bolo nebezpečné odpady možné adekvátnym spôsobom upravovať — zbavovať ich škodlivých a nebezpečných vlastností, a následne využívať produkty vzniknuté pri týchto úpravách, a to nielen v stavebníctve. Ako jednou z možností využitia vhodne upravených nebezpečných odpadov, sa javí ich použitie v podobe plnív do polymérnych škárovacích hmôt¹ určených pre zvýšené chemické namáhanie. Miešaním týchto vhodne upravených odpadov v podobe plnív s polymérnou matricou možno vytvoriť hmoty, ktoré by boli nie len z ekologického, ale aj z ekonomického hľadiska veľmi výhodné.

Škárovacie hmoty, ktorými sa táto práca zaoberá, sú vytvorené z polymérnej matrice a vhodného plniva na báze druhotných surovín a nebezpečných odpadov, takým spôsobom, aby vytvárali hmoty vykazujúce rad vynikajúcich vlastností. Medzi tie najhlavnejšie patria: vynikajúca prídržnosť k rôznym typom obkladových a dlažobných prvkov, zvýšená mechanická a chemická odolnosť, minimálne zmraštenie, a tiež pomerne vysoké pevnosti v ťahu pri ohybe a pevnosti v tlaku.

¹ škárovacie hmoty = slovenský názov pre český výraz „spárovací hmoty“

2. TEORETICKÁ ČASŤ

2.1. Termíny a definície

„Spárovací hmota“ uvedená v zadaní tejto práce, ktoré je písané v českom jazyku, je ďalej uvádzaná ako „škárovacia hmota“ — v slovenskom jazyku, v ktorom je celá práca vypracovaná.

Obkladové prvky pre steny a podlahy — obkladové prvky vyrobené z keramických materiálov alebo z prírodného kameňa. [1]

Škárovanie povrchu obkladového prvku — vyplňanie škár medzi všetkými typmi obkladových prvkov, s výnimkou dilatačných škár. [1]

Škárovacia malta a lepidlo pre keramický obkladový prvok — akýkoľvek vhodný výrobok použiteľný k vyplňaniu škár medzi všetkými typmi keramických obkladových prvkov. [1]

Cementová škárovacia malta (CG) — zmes hydraulických spojív, kameniva, anorganických a organických prísad. [1]

Škárovacia malta a lepidlo z tvrditeľnej živice (RG) — zmes syntetickej živice, kameniva, anorganických a organických prísad, ktorá sa vytvrdzuje chemickou reakciou. [1]

Doba použiteľnosti — najdlhší časový interval, v ktorom sa môže škárovacia malta alebo lepidlo po namiešaní použiť. [1]

Doba vyškárovania — najkratší časový interval po inštalácii obkladových prvkov, po ktorom sa môže škárovacia malta alebo lepidlo nanášať do škár. [1]

Pevnosť v ťahu pri ohybe — najvyššia hodnota pri porušení hranolu zo škárovacej malty alebo lepidla namáhaného silou v ohybe v troch bodoch. [1]

Pevnosť v tlaku — najvyššia hodnota pri porušení hranolu zo škárovacej malty alebo lepidla namáhaného tlakom v dvoch protiľahlých bodoch. [1]

Nasiakavosť vodou — množstvo vody nasiaknutej vplyvom kapilarity, keď povrch hranolov zo škárovacej malty alebo lepidla je v kontakte s vodou bez pôsobenia prídavného tlaku. [1]

Odolnosť proti obrusovaniu — schopnosť povrchu škárovacej malty alebo lepidla odolávať oteru. [1]

Zmraštenie — zmenšenie dĺžky hranolu zo škárovacej hmoty alebo lepidla behom vytvrdzovania. [1]

Chemická odolnosť — schopnosť škárovacej malty alebo lepidla odolávať chemickým činidlám. [1]

Odpad — akákoľvek vec, ktorej sa osoba zbavuje, alebo má úmysel alebo povinnosť sa jej zbaviť. [3]

Nebezpečný odpad — odpad vykazujúci jednu alebo viac nebezpečných vlastností uvedených v *Nariadení Komisie (EÚ) č. 1357/2014 z 18. decembra 2014*. [3]

Komunálny odpad — všetok odpad vznikajúci na území obce pri činnosti fyzických osôb, a ktorý je uvedený ako komunálny odpad v Katalógu odpadov, s výnimkou odpadov vznikajúcich u právnických osôb alebo fyzických osôb oprávnených na podnikanie. [3]

Úprava odpadu — každá činnosť, ktorá vedie k zmene chemických, biologických alebo fyzikálnych vlastností odpadov (vrátane ich triedenia) pre umožnenie alebo uľahčenie dopravy, využitie, odstraňovanie alebo na zníženie ich objemu, prípadne zníženie ich nebezpečných vlastností. [3]

Materiálové využitie odpadov — spôsob využitia odpadu zahŕňajúci recykláciu a ďalšie spôsoby zhodnocovania odpadov ako materiálu k pôvodnému alebo inej účely, s výnimkou bezprostredného získania energie. [3]

2.2. Škárovacie hmoty

Škárovacie hmoty slúžia na škárovanie obkladových a dlažobných prvkov z keramiky, tiež z prírodného kameňa, a to ako v interiéri, tak aj v exteriéri. Mnoho vlastností škárovacích hmôt je určených predovšetkým druhom použitých spojív. Rôzne typy spojív vykazujú špecifické charakteristické vlastnosti, pokiaľ ide o spracovateľné a užívateľské vlastnosti.

Rozdelenie škárovacích hmôt

V súčasnej dobe poznáme dva druhy škárovacích hmôt, a to, škárovacie hmoty na báze silikátovej a na báze polymérnej.

- Škárovacie hmoty na silikátovej báze:
 - cementové.

- Škárovacie hmoty na polymérnej báze:
 - na báze epoxidovej živice,
 - na báze akrylátovej živice,
 - na báze polyuretánovej živice,
 - na báze silikónovej živice,
 - na báze furánovej živice.

2.2.1. Škárovacie hmoty na polymérnej báze (RG)

2.2.1.1. Chemická odolnosť polymérnych škárovacích hmôt

Škárovacie hmoty na polymérnej báze sú obzvlášť účinné v aplikáciách, ktoré vyžadujú zvýšenú odolnosť voči chemickému namáhaniu.

2.2.1.2. Príprava škár a aplikácia škárovacích hmôt na polymérnej báze

Škáry musia byť suché, čisté, zbavené prachu a prázdne najmenej do 2/3 hrúbky obkladu. Nadbytočné lepidlo alebo maltu treba odstrániť ešte začerstva. Pred škárovaním je potrebné sa uistiť, že lepidlo použité pri lepení obkladových prvkov je vytvrdené a uvoľnilo väčšinu svojej vlhkosti. Škáry nesmú byť počas prác vlhké, vlhkosť na povrchu vytvrdenej škáry už neovplyvňuje vlastnosti škárovacej hmoty.

Škárovacie hmoty sa aplikujú tak, že sa nanesú vhodnou stierkou tak, aby boli škáry kompletne zaplnené. Ihneď po dokončení škárovania, ešte pred vytvrdením malty, je potrebné odstránenie nadmerného množstva malty z povrchu dlaždíc.

Štandardom je príprava tmelu, vytmelenie škáry, zahľadanie povrchu tmelu a očistenie obkladových a dlažobných prvkov, pričom tento postup je zobrazený na Obr. č. 1—3.

Vždy je nutné postupovať podľa návodu uvádzaného výrobcom v aplikačnom alebo v technickom liste.



Obrázok č.1: *Nanášanie škárovacej hmoty pomocou gumovej stierky [5]*

Obrázok č.2: *Čistenie škár po dostatočnom zatuhnutí [5]*

Obrázok č.3: *Finálne dočistenie škár s použitím tvrdej celulózovej špongie [5]*

2.2.1.3. Časticové kompozity s polymérou maticou

Škárovacie hmoty na polymérnej báze možno považovať za kompozitné materiály s polymérou maticou. K prednostiam polymérnych kompozitných materiálov patria hlavne malá merná hmotnosť, dobrá stabilita pri nízkych teplotách a odolnosť voči korózii. Výsledné parametre sú dané vlastnosťami jednotlivých komponentov a ich vzájomným pomerom. Ako materiály matrice môžu byť použité elastoméry, termoplasty, ale aj termosety (reaktoplasty). [6]

Niektoré pozitívne vlastnosti kompozitných materiálov s polymérou maticou:

- priaznivý pomer pevnosti a hmotnosti,
- vysoká chemická odolnosť,
- estetické hľadisko (farebnosť, dekoratívnosť),
- ľahká opracovateľnosť,
- prijateľná cena. [6]

Materiály matrice

Pre kompozity s polymérou maticou je možné použiť celú radu živíc, najčastejšie sa do chemicky namáhaného prostredia používajú epoxidové živice (ER), nenasýtené polyestery (UP), vinylestery (VE) a medzi najviac chemicky odolné sa radia fenolické živice. Vlastnosti najčastejšie používaných organických matric do časticových kompozitov sú uvedené v Tab. č. 1. [6]

Tabuľka č.1: Vlastnosti najčastejšie používaných organických matric používaných pre časticové kompozity [6]

Materiál matrice	Hustota [g · cm ⁻³]	Modul pružnosti [GPa]	Pevnosť v ťahu [MPa]
termosety	1,10—1,67	1,3—6,0	20—180
epoxidy (ER)	1,10—1,40	2,1—6,0	35—90
polyestery (UP)	1,10—1,50	1,3—4,5	45—85
polyamidy	1,20—1,90	3,0—3,1	80—190
termoplasty	0,90—1,45	1,0—4,0	20—250

Časticové kompozity s matricou na báze reaktoplastu

Plnené reaktoplasty (termoplasty) sú najviac rozšírené v stavebníctve a elektrotechnike. Prídavok tuhého plniva (napr. kremičitého piesku alebo sklenených guľčiek) do termosetovej matrice zvyšuje za vhodných podmienok pevnosti, napr. pevnosť v ohybe asi o 8 %. Záleží pritom na mernom povrchu plniva a na pevnosti fyzikálnych a chemických väzieb medzi plnivom a polymérou matricou. Plnivá znižujú všeobecne veľkosť zmrštenia a tiež koeficient teplotnej rozťažnosti.

Typickým zástupcom týchto materiálov v stavebníctve sú plnené epoxidové živice (ER). Používajú sa hlavne pri opravách a rekonštrukciách, pri spevňovaní železobetónových prvkov, pre škárovacie hmoty, pre zalievanie kotviacich otvorov, a rovnako aj pre samonivelačné povrchy. [6]

Plnivá do časticových kompozitov

Používajú sa rôzne prírodné alebo syntetické nerozpustné látky. Majú funkciu prídavného materiálu, ktorý je obsiahnutý v celom objeme matrice. Používajú sa hlavne na zlepšenie mechanických, chemických alebo iných vlastností polymérovej matrice, tiež na vyplnenie polymérnych zmesí, čím sa znižuje množstvo drahých polymérnych matric, a v neposlednom rade sa nimi tiež znižuje cena finálneho výrobku. Ideálne plnivá by mali byť lacné, ľahko dostupné, s nízkou hustotou a chemicky inertné voči polymérnym matriciam. [6]

Typy plnív podľa tvaru a veľkosti častíc:

- **časticové** — nevystužujúce plnivo, tvorené práškom. Obsah časticových plnív býva až cca 70 %. Materiály, ktoré sa používajú ako plnivo znižujú cenu, sú bežne múčky zo skla, kaolínu, bridlice, kriedy a ďalších lacných materiálov. Iné plnivá (napr. grafit) zlepšujú klzné vlastnosti, práškové kovy zlepšujú tepelnú vodivosť. Prídavkom sadzí sa zvyšuje odolnosť proti UV žiareniu.

Zvláštnym typom plniva sú sklenené alebo kovové guľôčky, ktoré zvyšujú rozmerovú stabilitu a odolnosť proti nárazom. [7]

- **vláknité** — majú prevažne vystužujúcu funkciu, ich obsah v matrici je väčšinou do cca 50 %. Vlákna musia byť dostatočne obalené v polymérnej matrici, aby došlo k úplnému využitiu ich funkcie. Ich najčastejšou funkciou je zvýšenie fyzikálnej a mechanickej odolnosti materiálu. [7]

Každý tvar častíc prináša určité výhody. Napríklad častice guľového tvaru dávajú materiálu najvyššiu hustotu, rovnomerné rozloženie napätia a nižšiu viskozitu. Kubické a doštičkové častice zvyšujú vystuženie a hustotu. Členité častice majú k dispozícii veľkú plochu pre interakciu s polymérnymi matricami. [7]

Typy plnív podľa pôvodu:

- **prírodné** — materiály, ktoré sa ťažia, a následne upravujú na požadovanú frakciu a čistotu. Príkladom je kremičitý piesok, kaolín, slúda a i.
- **priemyselne vyrábané** — materiály, ktoré sa vyrábajú priamo na požadovanú frakciu, čistotu atd. Ich veľkou nevýhodou je ale pomerne vysoká cena.
- **druhotné suroviny** — materiály získané z odpadových surovín. Čistením a vhodnou úpravou sa získavajú materiály, ktorými môžeme čiastočne, alebo aj úplne nahradiť plniva prírodné alebo priemyselne vyrábané. Príkladom je popolček zo spaľovania uhlia, troska, sklenený recyklát, rôzne odprašky a i. [7]

2.2.2. Škárovacie hmoty na silikátovej báze

2.2.2.1. Chemická odolnosť cementovým škárovacích hmôt

Neexistuje žiadna cementová škárovacia hmota, ktorá by konkurovala polymérnym škárovacím hmotám v oblasti chemickej odolnosti. [4]

2.2.2.2. Príprava škár a aplikácia cementových škárovacích hmôt (CG)

Škárky a okraje obkladov je potrebné očistiť od zvyškov lepidiel. Škárovanie sa vykonáva po tom, čo lepidlo použité na lepenie obkladu je dostatočne vyschnuté a vytvrdené. Je potrebné sa vopred presvedčiť o tom, či škárovacia hmota trvalo nepoškodzuje povrch obkladov.

Vždy je nutné postupovať podľa návodu uvádzaného výrobcom v aplikačnom alebo v technickom liste. Prípadný postup škárovania obkladových prvkov s použitím cementovej škárovacej hmoty je zobrazený na Obr. č. 4—7.



Obrázok č.4: *Nanášanie škárovacej hmoty na stenu s gumovou stierkou [5]*



Obrázok č.5: *Čistenie škár po čiastočnom zatuhnutí [5]*



Obrázok č.6: *Čistenie a finálne dočistenie škár na stenách s použitím špongie [5]*



Obrázok č.7: *Obkladové prvky na stene vyškárované so škárovacou hmotou [5]*

2.2.3. Porovnanie epoxidových a cementových škárovacích hmôt

Cementové (CG) a epoxidové škárovacie hmoty (RG) majú odlišný vzhľad, trvanlivosť a pravidlá nanášania. Epoxidová malta sa stáva čoraz populárnejšou, či už medzi dodávateľmi alebo staviteľmi, pretože pri každom použití tohto produktu nachádzame jeho nové výhody. [9]

Na rozdiel od cementovej malty, ktorá je vyrobená z cementovej práškovej zmesi, je epoxidová malta vyrobená z epoxidových živíc (ER) a plniva. Epoxidová hmota je nepriepustná, má lepšiu pevnosť spoja a chemickú odolnosť ako cementové malty, je teda extrémne trvanlivá a dokonale vodotesná, čím sa eliminuje aj jej prípadné znečistenie. Farba epoxidovej malty pochádza z plniva a je konštantná v celom rozsahu. Cementová malta nie je vodotesná, takže na rozdiel od epoxidovej malty, môže absorbovať vodu, a tým vzniká jej znečistenie. Je to spôsobené nasiakavou štruktúrou minerálneho materiálu. Behom umývania dlaždíc vniká do škárovacej hmoty znečistená voda, ktorá spôsobuje jej znečistenie. [9]

Hoci má veľa výhod, treba vziať na vedomie, že s epoxidovou maltou sa ťažšie pracuje, ako s bežnou cementovou maltou. Má tiež tendenciu vyzerať ako plast, čo nie všetkým užívateľom môže vyhovovať. Škára medzi dlaždicami vyplnená epoxidovou hmotou a zvyšky na povrchu dlaždíc majú vysoký lesk. Je preto potrebné správne očistenie dlaždíc pred, a po škárovaní, aby sa tomu zabránilo. Čas potrebný na čistenie dlaždíc a vysoká cena (často 3—5-krát vyššia ako bežná cementová malta) sú tiež jednými z veľkých nevýhod epoxidových škárovacích hmôt. [9]

Niektoré epoxidové hmoty sú určené len pre sklenené dlaždice. Rozdiel je v plnive škárovacej hmoty. Plnivá na sklenené dlaždice sú väčšinou jemnejšie, aby nedošlo k poškriabaniu jemných sklenených dlaždíc. Mierne hrubšie epoxidové škáry majú tendenciu oveľa lepšie odstraňovať nadbytok epoxidovej malty z povrchu dlaždíc. [9]

Použitie epoxidovej malty je úplne odlišné od použitia bežnej cementovej škárovacej malty, žiadny krok postupu nie je rovnaký, od miešania až po aplikáciu a čistenie majú epoxidové škárovacie hmoty vlastný súbor pravidiel. [9]

Výhody epoxidových škárovacích hmôt oproti cementovým:

- epoxidová malta má vysokú odolnosť proti chemikáliám a olejom,
- pri správnom zmiešaní a nanášaní bude epoxidová malta poskytovať ložnú plochu väčšiu ako 90 %,
- epoxidová malta bude odolávať vyššiemu dynamickému a statickému zaťaženiu ako cementová malta. [4]

2.3. Odpady

Odpadové hospodárstvo v rámci Európskej únie (EÚ) upravuje *Smernica Európskeho parlamentu a Rady o odpadoch*, pričom jej základným účelom je ochrana ľudského zdravia a životného prostredia pred škodlivými vplyvmi zberu, prepravy, spracovania, skladovania a skládkovania odpadov. Dôležitým bodom tejto smernice je tiež zjednotenie nakladania s odpadmi, terminológie a definícií odpadov v rámci celého spoločenstva EÚ. V Českej republike (ČR) vymedzuje podmienky pre nakladanie s odpadmi *Zákon č.185/2001 Sb.: Zákon o odpadech*, ktorý bol za posledných desať rokov niekoľkokrát zmenený, naposledy v roku 2010. [10]

2.3.1. Nebezpečné odpady (NO)

Nebezpečného odpadu (NO) vzniká v porovnaní s celkovou produkciou odpadov len veľmi malé množstvo, no aj napriek tomu nebezpečné odpady výrazne ovplyvňujú súčasný stav životného prostredia a tiež poškodzujú ľudské zdravie. Preto je potrebné im venovať zvýšenú pozornosť. Na základe toho sa hľadajú efektívne spôsoby zneškodňovania NO. Celosvetový vývoj smeruje k procesom úpravy odpadov, ktoré zbavia NO ich škodlivých a nebezpečných vlastností. Tieto úpravy môžu výrazne prispieť k efektívnosti ukladania odpadov na skládky. Perspektívne sa tiež javí využitie produktov vznikajúcich pri týchto úpravách k príprave rôznych „polotovarov“ využiteľných nielen v stavebníctve.

2.3.1.1. Vlastnosti, pre ktoré sa odpad považuje za nebezpečný

Vlastnosti, pre ktoré sa odpad považuje za nebezpečný podľa *Nariadenia Komisie (EÚ) č. 1357/2014*, sú uvedené v *Tab. č. 2*.

Tabuľka č.2: Vlastnosti, pre ktoré sa odpad považuje za nebezpečný [2]

Vlastnosť odpadu	Kódy tried a kategórii nebezpečnosti
výbušný	HP1
oxidujúci	HP2
horľavý	HP3
dráždivý	HP4
toxický pre špecifický cieľový orgán (STOT)/toxický pri vdýchnutí	HP5
akútna toxicita	HP6
karcinogénny	HP7
leptavý	HP8
Infekčný	HP9
toxický pre reprodukciu	HP10
mutagénny	HP11
uvoľňujúci akútne toxické plyny	HP12
senzibilizujúci	HP13
ekotoxický	HP14
odpad, ktorý môže vykazovať nebezpečnú vlastnosť uvedenú vyššie, ktorú pôvodný odpad nevykazoval	HP15

2.3.1.2. Možnosti stabilizácie nebezpečných odpadov a podmienky pre ich využívanie

Základným kritériom skladovateľnosti odpadov je ich vylúhovateľnosť, ktorá sa dá u niektorých nebezpečných odpadov znížiť úpravou fyzikálnych a chemických vlastností. Pre úpravy tohto typu sa používa termín stabilizácia. Jedná sa o účelovú chemickú reakciu, pri ktorej dochádza k premene na nerozpustný produkt, a teda k zníženiu vylúhovateľnosti jednotlivých zložiek odpadov, alebo ich zachytenie na vhodný sorbent. Jedná sa teda o procesy, pri ktorých sa prítomné kontaminanty premieňajú na menej rozpustné, a teda na menej pohyblivé formy, pričom fyzikálna podstata odpadov sa nemusí meniť.

Pod pojmom solidifikácia sa všeobecne označuje premena sypkého alebo kvapalného ON na pevný materiál. Solidifikačné procesy sú charakteristické zmenšením povrchu odpadu, ale obsah nebezpečných látok sa pritom neznižuje. Dochádza k vytvoreniu bariéry medzi časticami odpadu a prostredím. Kontaminanty sa chemicky viažu na maticu tvorenú anorganickou alebo organickou inertnou látkou. Je to proces, pri ktorom sa zo stabilizovaných odpadov vytvorí pevný monolitický blok s minimálnou vylúhovateľnosťou kontaminantov a tiež s mechanickými vlastnosťami zaisťujúcimi dobrú manipulovateľnosť a mechanickú únosnosť pre uloženie vo viacerých vrstvách na sebe. [11]

Pre stabilizáciu a solidifikáciu odpadov sa používa spoločný termín „stabilizácia/solidifikácia“ označovaný tiež ako technológia S/S.

Fixácia je solidifikácia, kedy malé čiastočky odpadu (molekuly alebo atómy) reagujú so zložkami solidifikačného média chemicky, alebo s nimi vytvárajú zmesi. [11]

Solidifikačná technológia

V súčasnosti sa využívajú tri základné druhy technológie solidifikácie, ktoré možno použiť pri spracovaní odpadov, a to: cementácia, bitúmenácia a vitifikácia.

Cementácia je založená na fixácii odpadov do silikátovej matrice, a je vhodná predovšetkým pre anorganické odpady.

Do bitúmenov možno po predchádzajúcom odvodnení fixovať ako anorganické, tak aj organické odpady. Avšak, odpady musia odolávať vysokej teplote roztaveného bitúmenu.

Pri vitifikácii sa odpad vytaví so sklotvornými látkami (napr. s odpadovým sklom) a následne sa takto solidifikovaný odpad použije napr. v stavebníctve. [11]

Spojiva používané pri solidifikácii

Využívajú sa anorganické aj organické spojiva, resp. ich kombinácia.

Anorganické spojivá sa delia na hydraulické a nehydraulické. Výhodou anorganických spojív je nízka cena materiálu, aplikovateľnosť na rôzne druhy odpadov a jednoduchosť použitej technológie. K nevýhodám patrí pomerne vysoký obsah nečistôt (nadlimitný obsah chrómu v prípade cementu), alebo celkový nárast objemu odpadu. [11]

Hydraulické spojivá sú také, ktoré po zmiešaní s vodou samovoľne tuhnú a tvrdnú, a to aj pod vodou. Patria sem látky na báze cementu. Pevná matrica vzniká v dôsledku hydratácie hlavných kryštalických zložiek portlandského cementu — dikalcium- a trikalciumpremičitanov (C2S, C3S). Potrebná voda na hydratáciu cementu je buď voľná voda prítomná v samotnom odpade, alebo sa pridáva samostatne. Pri tuhnutí, ktoré začína po kontakte cementu s vodou, sa zvyšuje pH, znižuje merný povrch a menia sa niektoré ďalšie chemické vlastnosti zmesi. [11]

Nehydraulické spojivá sú také, ktoré tuhnú len na vzduchu. K najčastejšie používaným nehydraulickým spojivám patrí vzdušné vápno a biely vápenný hydrát. Hydroxid vápenatý prítomný vo vznikajúcej tuhej látke po homogenizácii odpadu s uvedeným materiálom, je pôsobením oxidu uhličitého prevedený na nerozpustný uhličitan vápenatý. [11]

Pre zlepšenie vlastností solidifikátov sa k anorganickým spojivám pridávajú tiež rôzne typy aditív, ktoré prispievajú k požadovaným fyzikálno-chemickým interakciám v pevnej fáze. Ich výsledkom je tvorba stabilného materiálu odolnejšieho voči vplyvom životného prostredia. Ako aditíva sa používajú napríklad hlinitaný pre sorbciu kvapalných a špecificky viazaných aniónov alebo katiónov, rozpustné kremičitany pre stabilizáciu portlandského cementu, aktívne uhlie ako sorbent pre organické látky alebo hydroxid hlinitý. Vedľa toho možno využiť ako aditívum aj popolček, ktorý vzniká ako vedľajší energetický produkt zo spaľovania hnedého uhlia v tepelných elektrárnach. [11]

Organické spojivá sa uplatňujú hlavne pri solidifikácii rádioaktívnych odpadov alebo určitých typov odpadov organických, ktoré nemožno zneškodniť termicky. Do tejto skupiny spojív patria napríklad bitúmenové (asfaltové) živice, kamennouhoľné dechty, polyesterové živice (UP), epoxidové živice (ER) a niektoré typy termoplastov. Ich výhodou je predovšetkým možnosť chemickej fixácie, nízky stupeň permeability, vysoká hydrolytická stabilita, odolnosť voči biodegradácii, zmenám teploty a počasia, necitlivosť k zmenám pH a vynikajúce mechanické a štruktúrne vlastnosti vzniknutého produktu. [11]

Ako kombinácia anorganických a organických spojív sa najčastejšie používajú polyuretány (PU) s cementom, polymérové gély s kremičitanmi, a v neposlednej rade aj vápno s cementom. [11]

Hodnotenie vlastností vzniknutých solidifikátov

Účinnosť solidifikácie sa hodnotí rôznymi analytickými metódami umožňujúcimi upravený odpad charakterizovať, či už po stránke fyzikálnej, alebo po stránke chemickej. Z fyzikálnych testov sú dôležité skúšky pevnosti, pri ktorých sa zisťuje, ako bude solidifikát odolávať mechanickému zaťaženiu. Testovanie trvanlivosti vypovedá o schopnosti materiálu odolávať premenlivosti klimatických faktorov, napríklad striedanie mrazu a rozmrazovania alebo navlhnutie a zosychanie. [11]

Najdôležitejšou súčasťou analytických metód sú skúšky vylúhovateľnosti. Ich podstatou je vystavenie odpadu rôznym typom extrakčných médií a v určitom časovom intervale následné stanovenie obsahu kontaminantov v tomto médiu. Medzi najčastejšie používané média patrí destilovaná, resp. deionizovaná voda, a tiež vodné roztoky zmesi kyseliny sírovej (H_2SO_4) a dusičnej (HNO_3) simulujúce pôsobenie kyslého dažďa a roztok kyseliny octovej (CH_3COOH), ktorá vzniká v anaeróbnej fáze biodegradácie v prostredí skládky odpadov. [11]

Porovnaním výluhov pred, a po vykonaní solidifikácie, možno zaistiť schopnosť solidifikátov imobilizovať nebezpečné zložky prítomné v zneškodňovaných odpadoch. Výsledky jednotlivých testov môžu byť značne odlišné, a to predovšetkým vďaka rôznym hodnotám pH, ktoré sa používajú pre toto stanovenie. Všeobecne sa vyznačujú nízkou vypovedacou schopnosťou a nemali by byť v žiadnom prípade použité pre prognózy dlhodobej stability solidifikátov. Preto sa odporúča kombinovať ich s ďalšími testami. [11]

Výhody stabilizácie/solidifikácie odpadov:

- odpady sú po pridaní vhodného spojiva prevedené na menej rozpustnú formu,
- takto upravený odpad je možné pomerne bezpečne uložiť na skládku,
- s upravenými odpadmi je jednoduchšia manipulácia,
- nakladanie so stabilizovanými a solidifikovanými odpadmi je finančne menej náročné,
- odpad sa dá vo väčšine prípadov upraviť až do podoby certifikovaného materiálu,
- má väčšiu možnosť ďalšieho využitia v technologických procesoch,
- dochádza ku zníženiu alebo k úplnému odstráneniu nebezpečných vlastností odpadov,
- využitie solidifikovaných odpadov ako výplňového a sanačného materiálu. [12]

2.3.2. Druhotné suroviny

Druhotnými surovinami nazývame materiály, ktoré majú najmä charakter vedľajších produktov, alebo upravených odpadov, ktoré prestali byť odpadom potom, čo splnili stanovené podmienky a kritériá. Druhotná surovina slúži ako vstup pre výrobu a nahradzuje primárne suroviny. [27]

2.3.2.1. Požiadavky na stavebné materiály využívajúce druhotné suroviny

Na stavebné výrobky využívajúce priemyselné odpady sa vzťahujú požiadavky spojené so zdravotnou nezávadnosťou výrobkov. Hodnotenie zdravotnej nezávadnosti je spojené s uvoľňovaním škodlivých a nežiaducich látok do okolitých médií (vody, pôdy). Uvoľnené látky slúžia k posúdeniu zdravotnej nezávadnosti stavebných výrobkov so spracovaným odpadom. Metódy hodnotenia uvoľňovania škodlivých látok nie sú jednotne stanovené. [13]

Zdravotná nezávadnosť stavebného výrobku je daná technickými požiadavkami v *Nařízení vlády 163/2002Sb, v příloze č.1, v bodě 3: Hygiena, ochrana zdraví a životního prostředí*, a stanovuje nižšie uvedené požiadavky z hľadiska zdravotnej nezávadnosti výrobkov, kde nesmie dochádzať k:

- uvoľňovaniu toxických plynov,
- prítomnosti nebezpečných častíc alebo plynov v ovzduší,
- emisii nebezpečného žiarenia,
- znečisteniu alebo zamoreniu vody alebo pôdy,
- nedostatočnému zneškodňovaniu odpadných vôd, dymu a tuhých alebo kvapalných odpadov,
- výskytu vlhkosti v častiach stavby alebo na povrchoch vo vnútri stavby. [13]

2.4. Tavený čadič

Taveným čadičom, respektíve výrobkami z tohto materiálu, rozumieme odliatky, vyrobené roztavením, opätovným vytvarovaním a vychladením vhodných prírodných hornín, najmä teda olivinických čadičov. Základnými minerálmi taveného čadiča sú monoklinické a rombické pyroxény, sferolickaj a dendrickej štruktúry. Okrem týchto minerálov obsahuje tavený čadič tiež menšie množstvo magnetitu, olivínu a zostatkovú sklovitú fázu. Chemické zloženie taveného čadiča je uvedené v Tab. č. 3. [14]

Tabuľka č.3: Chemické zloženie taveného čadiča [14]

Chemická zlúčenina	Obsah [hm.%]	Chemická zlúčenina	Obsah [hm.%]
SiO ₂	42,0—46,0	MgO	8,0—11,0
TiO ₂	2,0—3,5	CaO	10,0—12,0
Al ₂ O ₃	11,0—13,0	Na ₂ O	2,0—3,0
Fe ₂ O ₃	3,0—6,0	K ₂ O	1,0—2,0
FeO	5,0—10,0	P ₂ O ₅	0,5—1,0

Pre výrobu odliatkov z taveného čadiča sú najvhodnejšie suroviny stredne kyslé až olivinické čadiče s obsahom oxidu kremičitého 42—46 %, odpovedajúceho mineralogického zloženia. Spracovanie čadiča sa vykonáva bez akýchkoľvek ďalších prísad. Tavenie čadičového štrku prebieha v šachtových peciach pri teplotách nepresahujúcich 1300 °C. Po roztavení je potom tavenina odlievaná buď staticky

do pieskových, alebo kovových foriem, alebo dynamicky pri výrobe rúr do rotujúcich foriem. Tenkostenné odliatky chladnú vo formách len niekoľko minút. Následne sú z foriem uvoľnené a vložené do tunelových chladiacich peci. Chladienie v tunelových peciach je veľmi náročné, po vychladení sú všetky výrobky kontrolované, triedené a skladované. [14]

2.4.1.1. Vlastnosti taveného čadiča

Mrazuvzdornosť taveného čadiča po päťdesiatich zmrazovacích cykloch za teplotného rozdielu - 15 a + 15 °C je veľmi vysoká a prakticky nedochádza k porušeniu jednotlivých odliatkov. Tavený čadič je v tomto ohľade úplne zrovnateľný s mrazuvzdornými keramikými obkladovými prvkami.

Okrem vysokej odolnosti proti obrusovaniu, tvrdosti a značnej pevnosti v tlaku, je dôležitou vlastnosťou taveného čadiča aj jeho chemická odolnosť. Táto vlastnosť nebola v skorších dobách vo väčšom rozsahu využívaná, pretože vtedy používané spojivové materiály nevykazovali spravidla tak vysokú chemickú odolnosť ako tavený čadič. Dnes sú však vyvinuté tmely a spojivá, vďaka ktorým možno využívať i vysokú chemickú odolnosť taveného čadiča. Možno teda povedať, že tavený čadič svojou chemickou odolnosťou predbehne kovové materiály a aj materiály cementové. Lepšiu odolnosť v silných anorganických kyselinách vykazujú len korundové, resp. korundo-baddeleyitové materiály, chemicky odolné sklo a karbid kremíku. V alkalických roztokoch je však tavený čadič s nimi už úplne zrovnateľný, mnohokrát vykazuje aj lepšie vlastnosti. Vybrané vlastnosti reprezentatívnych materiálov s vysokou odolnosťou proti obrusovaniu sú uvedené v Tab. č. 4. [14]

Tabuľka č.4: Prehľad vlastností reprezentatívnych materiálov s vysokou odolnosťou proti obrusovaniu [14]

Vlastnosť	Jednotka	Prírodný čadič	Tavený čadič	Eucor	Spekaný korund	
Merná hm.	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	3040	3000	3850—3900	3650—3950	
Objemová hm.	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	3017—3057	2900—3000	3500—3700	3600—3920	
Nasiakavosť	hm. %	-	0	-	0	
Pórovitosť	obj. %	-	1—3	4—10	1—6	
Pevnosť v tlaku	MPa	162—318	450	400	1000—3000	
Pevnosť v ťahu pri ohybe	MPa	16,5—35,1	40	50	150—400	
Tepelná vodivosť	$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	-	1,9	5,8	10—20	
Chem. odolnosť	70% H_2SO_4	obj. % ¹	24	9	0,75	veľmi dobrá
	1% NaOH		2	1,5	1,4	dobrá
Odolnosť proti obrusovaniu (DIN 52108)	$\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$	5,6—6,6	max. 5	max. 0,75	0,25—0,4	

Vysvetlivky: ¹ objemový úbytok v %.

2.4.1.2. Výrobky z taveného čadiča

Výrobky z taveného čadiča možno deliť do troch skupín:

- staticky liate odliatky do kovových foriem,
- odstredivo liate rúry,
- ostatné odliatky liate do pieskových foriem. [17]

Samotné produkty z taveného čadiča môžeme rozdeliť na:

- dlaždice,
- rúry,
- žľaby,
- tvarové odliatky. [17]

Dlaždice

Dlaždice patria medzi najjednoduchšie odliatky, ktoré sú vyrábané liatím čadičovej taveniny do otvorených pieskových alebo kovových foriem.

Hotové čadičové dlaždice by nemali vykazovať nasledujúce chyby:

- trhliny,
- sklenú vrstvu na pracovnej ploche,
- cudzie telesá s priemerom väčším než 5 mm,
- lunkre (dutiny v stene dlaždice) nad 5 mm,
- mapovitosť zasahujúcu do hĺbky väčšej než 1 mm,
- preliačiny a presahujúce dovolené odchýlky. [17]

Príklady použitia dlaždíc vyrobených z taveného čadiča v rôznych chemicky namáhaných prostrediach sú uvedené na Obr. č. 8—9.



Obrázok č.8: *Obloženie prepadovej hrany výrobkami z taveného čadiča v kanalizačnej stoke [15]*



Obrázok č.9: *Obklad ochladzovacieho bazéna z taveného čadiča [16]*

Rúry

Odstredivo liaty odliatok je oproti staticky vyrábanému odliatku hutnejší, homogénny a tiež bez pórov a bubliniek. Odstredivo liate rúry sa vyznačujú tromi vlastnosťami, a to, že majú jednoliatu štruktúru, väčšiu pevnosť proti pretlaku a tiež to, že sú liate normálnym statickým spôsobom. Príklad výrobkov z tejto technológie liatia čadičovej taveniny je zobrazený na Obr. č. 10. [17]

Hotové čadičové rúry by nemali vykazovať nasledovné chyby:

- trhliny,
- sklenú vrstvu hrúbky cez 1,5 mm na povrchu rúry a cez 3 mm na čelnej ploche,
- zaliate cudzie telieska zistiteľné okom či poklepom,
- nerovnosť vnútorného povrchu. [17]



Obrázok č.10: Čadičové T-kusy po vyrobení [8]

2.4.1.3. Použitie výrobkov z taveného čadiča

Použitie taveného čadiča je mnohostranné. V priemyselných odvetviach sa využíva jeho neobyčajne vysoká odolnosť proti obrusovaniu pri doprave a skladovaní rôznych abrazívnych materiálov, rovnako ako jeho dobrá pevnosť v tlaku pri mechanicky namáhanom sklze (podlahy a zásobníky) a značnej chemickej odolnosti v rôznych oblastiach, kde dochádza k manipulácii s chemikáliami, kyselinami, hydroxidmi a inými agresívnymi látkami. Dlaždice z taveného čadiča sú tiež využívané v interiéroch. Pre svoju hygienickú nezávadnosť a nulovú nasiakavosť sa tavený čadič ľahko čistí, a je teda vhodný pre podlahy a obklady zdravotníckych zariadení a potravinárskych prevádzkach, ako sú napr. mliekarne, pekárne, pivovary, vinné pivnice, a pod. Príklad použitia obkladových prvkov z taveného čadiča v potravinárskej prevádzke je uvedený na Obr. č. 12. Špeciálnym využitím sú potom žľaby a tvarovky pre kanalizácie, vid' Obr. č. 11, a čistiarne odpadných vôd. Vzhľadom k vynikajúcim vlastnostiam taveného čadiča teda možno predpokladať, že bude použiteľný aj v oblastiach, kde príde do kontaktu s pitnou vodou, a je teda potrebné preukázať jeho zdravotnú nezávadnosť. [14]



Obrázok č.11: *Vajcovitý žľab kanalizácie z taveného čadiča [18]*



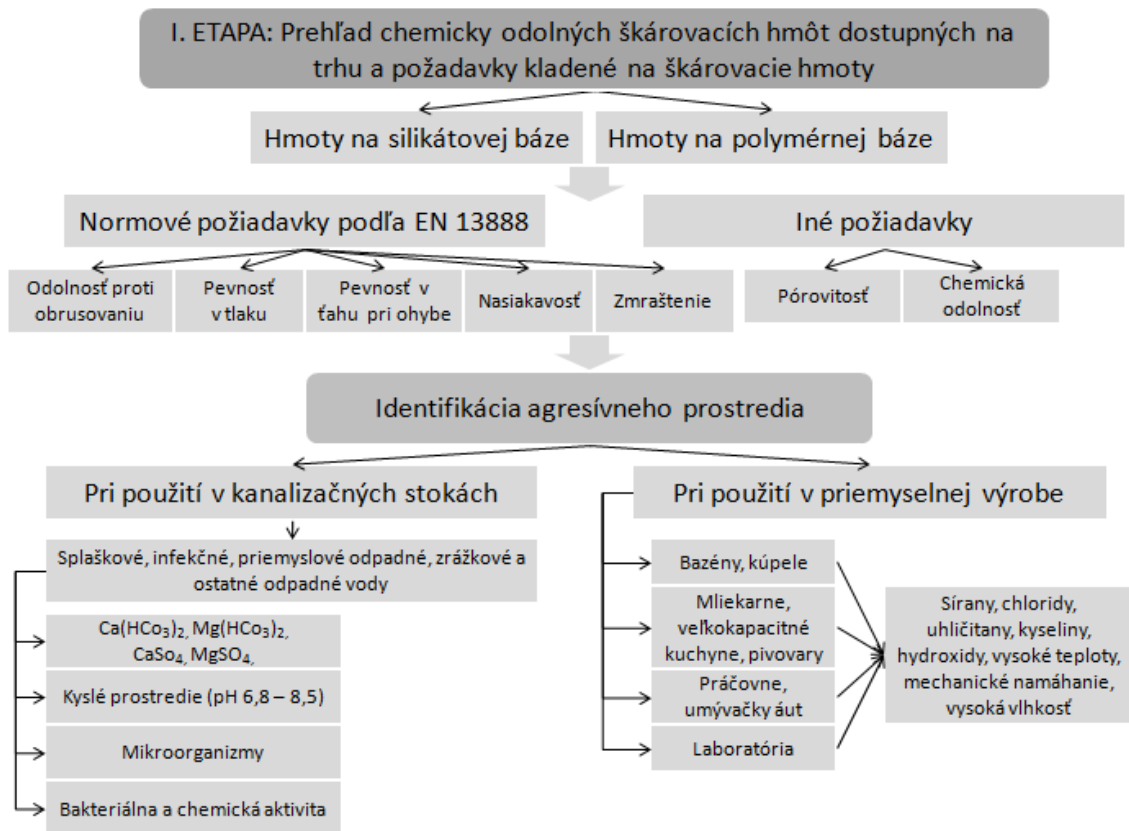
Obrázok č.12: *Obklad z taveného čadiča v potravinárskej prevádzke [19]*

3. CIEĽ PRÁCE

Cieľom tejto bakalárskej práce je navrhnúť progresívnu polymérnu vysoko odolnú škárovaciu hmotu pre zvýšené chemické namáhanie s využitím druhotných surovín a upravených nebezpečných odpadov. Predpokladaným využitím vyvinutej škárovacej hmoty je škárovanie prvkov z taveného čadiča v objektoch, ktoré sú permanentne namáhané vplyvom vysoko agresívneho chemického namáhania. S ohľadom na požiadavky na vyvíjanú škárovaciu hmotu sa musí vybrať vhodná spojivová zložka a plnivá na báze druhotných surovín a upravených nebezpečných odpadov. Pri výbere vhodných plnív je kladený veľký dôraz na využitie takých vstupných surovín, ktoré boli vyrobené progresívnymi technológiami za účelom zníženia ekologickej stopy, či už finálneho produktu, ale tiež samotných výrobných procesov. Čiastkovým cieľom práce je návrh a následné experimentálne preverenie vhodnej solidifikačnej technológie predúpravy NO, pomocou vhodne vybraných druhotných surovín tak, aby bolo možné zabezpečiť ich úspešné využitie v podobe plnív do škárovacích hmôt. Dôležitým výstupom celej práce je návrh základných receptúr polymérnej škárovacej hmoty pre zvýšené chemické namáhanie, pričom vybrané receptúry budú taktiež experimentálne preskúšané a na základe posúdenia výsledkov sa vyberú najlepšie receptúry spĺňajúce očakávané požiadavky.

4. METODIKA PRÁCE

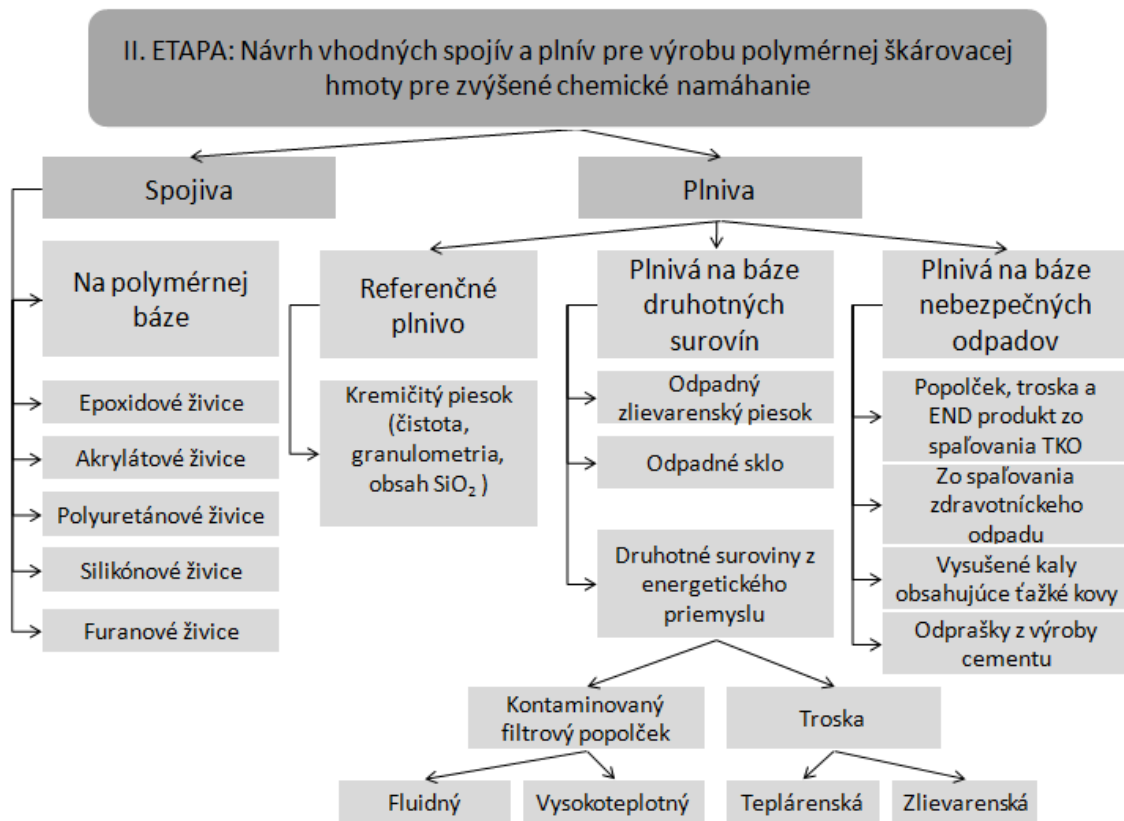
4.1. I. ETAPA: Prehľad chemicky odolných škárovacích hmôt dostupných na trhu a požiadavky kladené na škárovacie hmoty



Cieľom I. etapy bude porovnanie súčasných chemicky odolných škárovacích hmôt na trhu, zameranie sa na ich normové a tiež ostatné vlastnosti a parametre, a v neposlednom rade porovnanie s normovými požiadavkami na škárovacie hmoty. Ďalej tu budú definované normové požiadavky a skúšobné postupy podľa príslušných technických noriem pre použitie škárovacích hmôt v rôznom agresívnom prostredí.

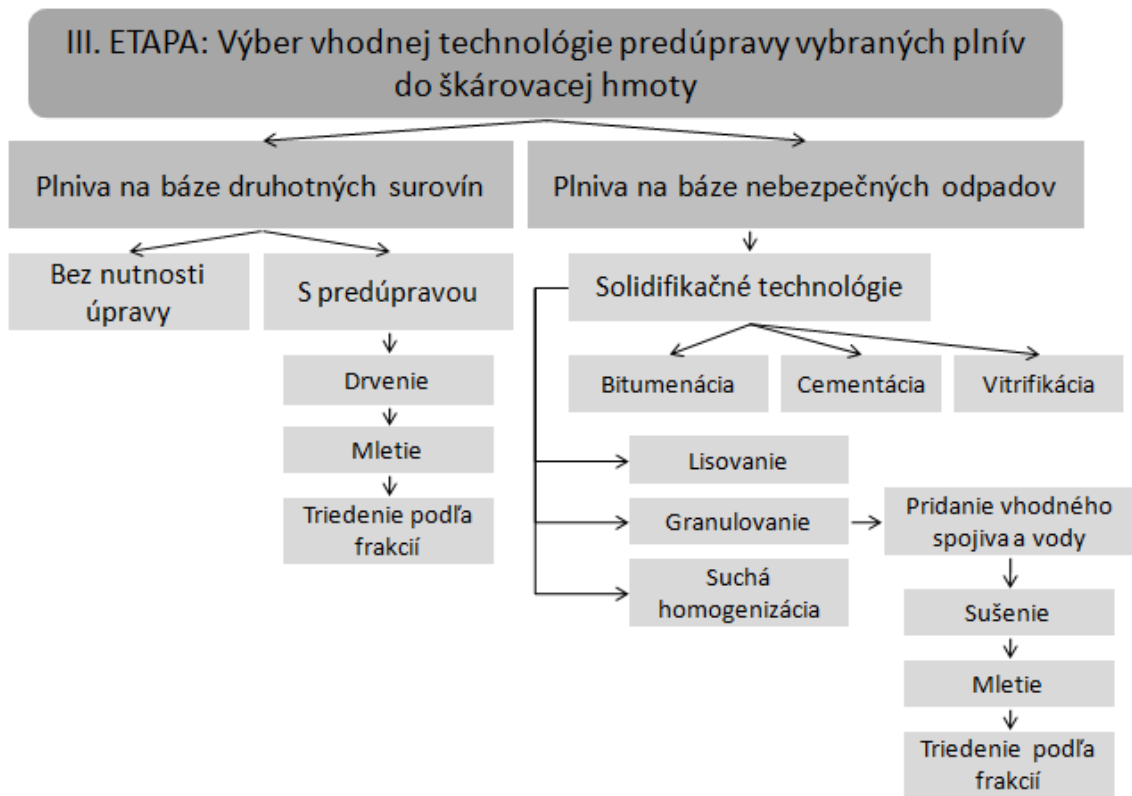
Táto etapa sa bude zaoberať tiež špecifikovaním jednotlivých typov expozičného prostredia, kde sa plánuje aplikácia vyvíjanej škárovacej hmoty s obsahom NO. Vyvinutá škárovacia hmota musí spĺňať predovšetkým špecifikované normové požiadavky, ako je napr. mechanická pevnosť a odolnosť proti obrusovaniu, ale musí taktiež odolávať silnému agresívnemu chemickému pôsobeniu.

4.2. II. ETAPA: Návrh vhodných spojív a plnív pre výrobu polymérnej škárovacej hmoty



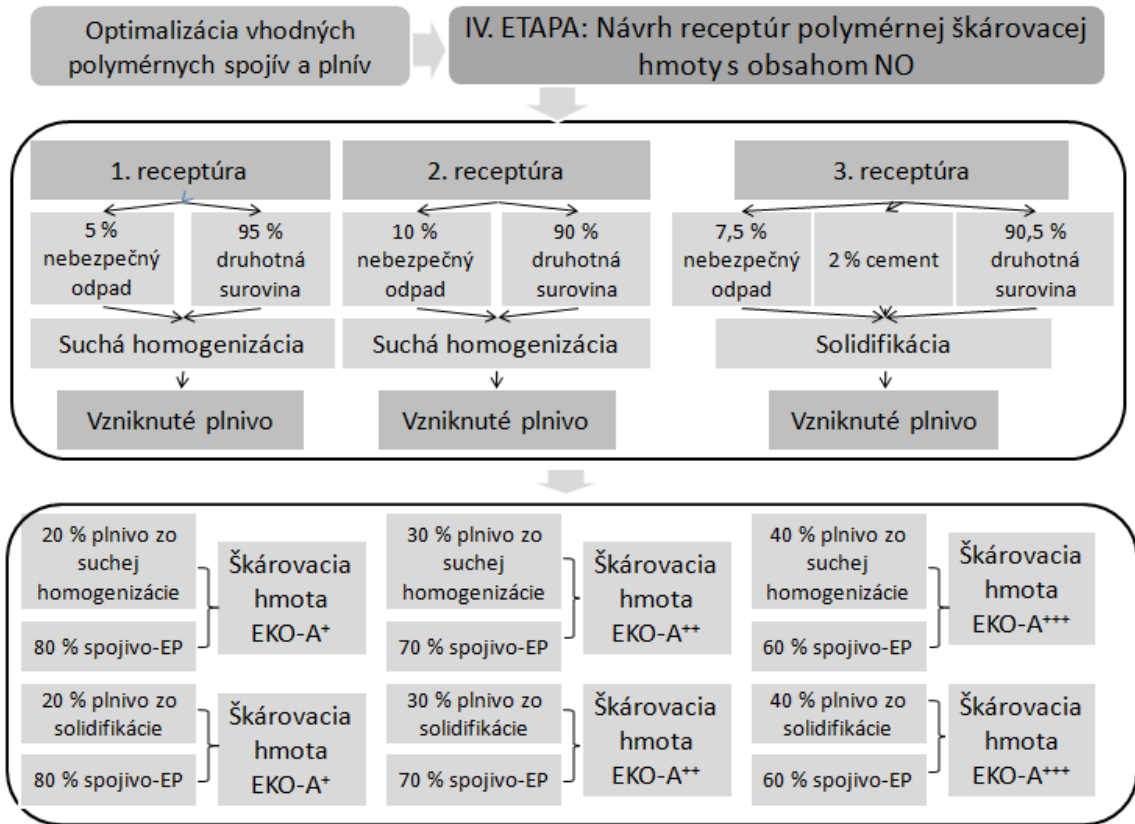
Cieľom II. etapy je navrhnutie vhodných polymérnych spojív a plnív na báze druhotných surovín a nebezpečných odpadov použiteľných pre výrobu škárovacej hmoty využiteľnej v chemicky namáhanom prostredí. Dôraz bude kladený predovšetkým na využitie druhotných surovín a nebezpečných odpadov, ktoré sa nebudú musieť pred samotným použitím v podobe plnív zložiť predupravovať a solidifikovať.

4.3. III. ETAPA: Výber vhodnej technológie predúpravy vybraných plnív do škárovacej hmoty



Cieľom III. etapy je navrhnutie vhodných solidifikačných technológií predúpravy plnív na báze druhotných surovín a nebezpečných odpadov. Táto etapa sa bude zaoberať predovšetkým hľadaním účinnej solidifikačnej technológie vhodných nebezpečných odpadov za vzniku nových druhov solidifikátov, ktoré sa budú dať využiť ako progresívne plnivo do polymérnych škárovacích hmôt pri dodržaní všetkých legislatívnych ekologických požiadaviek. Ako najlepšia sa javí technológia solidifikácie v podobe granulovania NO, alebo suchej homogenizácie s vhodným solidifikačným činidlom na báze vhodných druhotných surovín. Solidifikácia, teda vhodná predúprava NO, musí byť účinná, jednoduchá a cenovo nenáročná.

4.4. IV. ETAPA: Návrh receptúr polymérnej škárovacej hmoty s obsahom NO



Cieľom poslednej IV. etapy je predovšetkým navrhnutie základných receptúr pre výrobu novej škárovacej hmoty určenej pre extrémne chemické namáhanie. Receptúry obsahujú polymérne spojivo, ktoré sa najviac hodí do zamýšľaného prostredia, kde bude vyvinutá hmota aplikovaná. Druhotné suroviny vybrané na základe optimalizačného výpočtu sú použité ako solidifikačné činidlá pri solidifikácii NO, za vzniku solidifikátu, ktoré bude použité do škárovacích hmôt v podobe plniva. Výsledkom tejto etapy je návrh šiestich receptúr s rôznym obsahom NO, pričom tá najekologickejšia je označená ako EKO-A⁺⁺⁺. Navrhnuté receptúry sú následne experimentálne preverené v závere bakalárskej práce v podobe jednoduchého a účelového laboratórneho experimentálneho overenia.

5. PRAKTICKÁ ČASŤ

5.1. I. ETAPA: Prehľad chemicky odolných škárovacích hmôt dostupných na trhu a požiadavky kladené na škárovacie hmoty

5.1.1. Prehľad chemicky odolných škárovacích hmôt dostupných na trhu

V súčasnej dobe je na trhu pomerne veľké množstvo chemicky odolných polymérnych škárovacích hmôt, pričom silikátové chemicky odolné škárovacie hmoty sú dostupné v obmedzenejšom množstve.

V Tabuľkách č. 5–8, ktoré sú uvedené nižšie, môžeme pozorovať normové a tiež iné, doplnkové vlastnosti, dostupných chemicky odolných škárovacích hmôt, a to ako na polymérnej, tak na silikátovej báze.

Tabuľka č.5: Normové vlastnosti chemicky odolných škárovacích hmôt na báze epoxidových živíc dostupných na trhu [33–45]

Výrobca	Názov škárovacej hmoty	Spojivová báza	Plnivo	Pevnosť v tlaku (MPa)	Pevnosť v ťahu pri ohybe (MPa)	Zmraštenie (mm/m)	Odolnosť proti obrusovaniu (mm ³)	Nasiakavosť (g)
Ceresit	CE 79 UltraPox Color	EP ¹	MP ²	N/A ³	N/A	N/A	N/A	N/A
Ceresit	CE 74 UltraPox Fix	EP	MP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
MAPEI	Kerapoxy IEG	EP	KP ⁴	80	35	N/A	147	0,05
MAPEI	Kerapoxy SP	EP	KP	70	30	0,7	100	0,05
Technokolla	Epostuk	EP	MS ⁵	60	40	0,9	150	0,04
Technokolla	Skycolors	EP	MS	58	38	0,8	160	0,05
Technokolla	Skycolors Evolution	EP	MS	45	30	≤ 1,5	≤ 250	≤ 0,1
Eutit	EUFIX EP-JF	EP	N/A	> 80	> 30	< 1,5	< 250	< 0,1
Eutit	EUFIX EP-JF1	EP	N/A	> 45	> 30	< 1,5	< 250	< 0,1
MAPEI	Kerapoxy	EP	KP	58	31	0,8	147	0,05
MAPEI	Kerapoxy design	EP	KP	75	45	0,8	147	0,05
MAPEI	Kerapoxy P	EP	KP	58	31	0,8	147	0,05
isomat	MULTIFILL-EPOXY GLITTER	EP	N/A	49	30	≤ 0,4	≤ 210	≤ 0,02

Vysvetlivky: ¹ epoxidová živica, ² minerálne plnivo, ³ nedefinované, ⁴ kremičitý piesok, ⁵ minerálny substrát.

Tabuľka č.6: Iné vlastnosti chemicky odolných škárovacích hmôt na báze epoxidových živíc dostupných na trh uvedených v Tab. č. 5 [33–45]

Názov škárovacej hmoty	Prípustná teplota pre spracovanie (°C)	Možnosť zaťaženia po (hod)	Plné zaťaženie (deň)	Hustota čerstvej malty (kg/m ³)	Odolnosť proti kyselinám a zásadám	Odolnosť proti vlhkosti	Teplotná odolnosť (°C)
CE 79 UltraPox Color	10–25	24	N/A ¹	1600	N/A	zaručená	-30–100
CE 79 UltraPox Fix	10–25	24	N/A	1600	N/A	zaručená	-30–100
Kerapoxy IEG	12–30	24	4	1430	výborná, vid'. TL ²	„výborná“	-20–100
Kerapoxy SP	5–30	6	1	2020	výborná, vid'. TL	„výborná“	-20–100
Epostuk	10–30	24	3	1600	vid'. TL	N/A	-30–100
Skycolors	12–30	24	4	1600	vid'. TL	N/A	-20–100
Skycolors Evolution	12–25	24	7	1600	vid'. TL	N/A	-20–100
EUFIX EP-JF	5–25	24	4–7	N/A	vid'. TL	„nenasia-kavá“	120
EUFIX EP-JF1	5–25	24	4–7	N/A	vid'. TL	„nenasia-kavá“	100
Kerapoxy	12–30	24	4	1550	výborná, vid'. TL	výborná	-20–100
Kerapoxy design	12–30	24	4	1550	výborná, vid'. TL	výborná	-20–100
Kerapoxy P	12–30	24	4	1550	výborná, vid'. TL	výborná	N/A
MULTIFILL-EPOXY GLITTER	15–25	45	15–25	1350	„odolná“	„odolná“	N/A

Vysvetlivky: ¹ nedefinované, ² technický list.

Tabuľka č.7: Normové vlastnosti chemicky odolných škárovacích hmôt na silikátovej báze [46, 47]

Výrobca	Názov škárovacej hmoty	Báza	Plnivo	Pevnosť v tlaku poSU ¹ (MPa)	Pevnosť v ťahu pri ohybe po SU (MPa)	Pevnosť v tlaku po ZC ² (MPa)	Pevnosť v ťahu pri ohybe po ZC (MPa)	Zmraštenie (mm/m)	Odolnosť proti obrusovaniu (mm ³)	Nasiakavosť (g)
Ceresit	CE 44	C ³ + EP ⁴	MP ⁵	≥ 15	≥ 2,5	≥ 15	≥ 2,5	≤ 3	≤ 1000	≤ 5
Ceresit	CE 43 "Grand' Elit"	C+ PM ⁶	MP	≥ 15	≥ 3,5	≥ 15	≥ 3,5	≤ 2	≤ 1000	≤ 5

Vysvetlivky: ¹ suchom uložení, ² zmrazovacích cykloch, ³ cement, ⁴ epoxidová živica, ⁵ minerálne plnivo, ⁶ polymérna modifikácia.

Tabuľka č.8: Iné vlastnosti chemicky odolných škárovacích hmôt na silikátovej báze uvedených v Tab. č. 7 [46,47]

Názov škárovacej hmoty	Doba spracovateľnosti (min)	Prípustná teplota pre spracovanie (°C)	Možnosť zaťaženia po (hod)	Hustota čerstvej malty (kg/m ³)	Odolnosť proti kyselinám a zásadám	Odolnosť proti vlhkosti	Teplotná odolnosť (°C)
CE 44	45	10—25	24	1900	N/A ¹	„vodotesná“	- 20—100 (SP ²) - 20—40 (MP ³)
CE 43 "Grand' Elit"	60	5—25	N/A	1250	N/A	„znížená nasiakavosť vodou“	- 30—70

Vysvetlivky: ¹ nedefinované, ² suché prostredie, ³ mokré prostredie.

Z vyššie uvedených vlastností dostupných chemicky odolných škárovacích hmôt ako polymérnych, tak aj cementových môžeme konštatovať rozdielne vlastnosti a tiež odlišné chovanie medzi danými dvomi skupinami chemicky odolných škárovacích hmôt.

Škárovacie hmoty na cementovej báze majú pevnosť v tlaku menej ako tretinovú (od 15 MPa) v porovnaní s hmotami na polymérnej báze, ktoré majú pevnosť v tlaku od 45 MPa do približne 80 MPa. Pevnosť v ťahu pri ohybe je u škárovacích hmôt na cementovej báze podstatne nižšia (od 2,5 MPa do približne 3,5 MPa) v porovnaní s hmotami na polymérnej báze, ktoré majú pevnosť v ťahu pri ohybe viac, ako 12-násobnú a to, od 30 MPa do 45 MPa. Zmraštenie je pri hmotách

na cementovej báze od ≤ 2 mm/m do ≤ 3 mm/m, pri hmotách na polymérnej báze je zmraštenie od $\leq 0,4$ mm/m do $\leq 1,5$ mm/m, vyššie zmraštenie môžeme teda konštatovať u škárovacích hmotách na cementovej báze. Odolnosť proti obrusovaniu škárovacích hmôt na cementovej báze je ≤ 1000 mm³, čo je zhruba 10-násobne viac, ako pri hmotách na polymérnej báze, kde je odolnosť proti obrusovaniu len od 100 mm³ do 250 mm³. Nasiakavosť škárovacích hmôt na cementovej báze je ≤ 5 g, oproti tomu nasiakavosť škárovacích hmôt na polymérnej báze je len od 0,02 do 0,1 g, oproti hmotám na cementovej báze je nasiakavosť hmôt na polymérnej báze podstatne nižšia (250-krát nižšia).

Na základe týchto diametrálne odlišných vlastností hmôt na cementovej a na polymérnej báze môžeme konštatovať, že škárovacie hmoty na báze polymérnej, majú podstatne lepšie vlastnosti, ako hmoty na báze cementovej, preto navrhovaná škárovacia hmota, ktorou sa táto práca zaoberá, bude na báze polymérnej.

5.1.2. Definovanie normových požiadaviek na škárovacie hmoty podľa EN 13888

5.1.2.1. Škárovacie hmoty na polymérnej báze (RG)

Škárovacie malty a lepidlá na polymérnej báze musia vykazovať hodnoty uvedené v Tab. č. 9. Skúšobné podmienky (teplota, vlhkosť a i.) sa musia čo najlepšie napodobniť podmienky aj expozíciu vonkajšími vplyvmi, ktoré sú predpokladané pri praktickom používaní. [1]

Tabuľka č.9: Normové požiadavky na škárovacie hmoty na polymérnej báze podľa [1]

ZÁKLADNÉ CHARAKTERISTICKÉ VLASTNOSTI		
Charakteristická vlastnosť	Požiadavka	Skúšobná metóda
Odolnosť proti obrusovaniu	≤ 250 mm ³	EN 12808-2
Pevnosť v ťahu pri ohybe po uložení za sucha	≥ 30 N/mm ²	EN 12808-3
Pevnosť v tlaku po uložení za sucha	≥ 45 N/mm ²	EN 12808-3
Zmraštenie	$\leq 1,5$ mm/m	EN 12808-4
Nasiakavosť vodou po 240 minútach	$\leq 0,1$ g	EN 12808-5

5.1.2.2. Škárovacie hmoty cementové (CG)

Cementové škárovacie malty musia vykazovať hodnoty charakteristických vlastností uvedených v Tab. č. 10. Tabuľka č. 11 uvádza doplnkové charakteristické vlastnosti, ktoré môžu byť požadované pri používaní v zvláštnych podmienkach.

Množstvo vody a/alebo tekutej prísady potrebnej pre prípravu cementovej škárovacej malty musí byť pre všetky skúšky rovnaké. [1]

Tabuľka č.10: Normové požiadavky na cementové škárovacie malty podľa [1]

ZÁKLADNÉ CHARAKTERISTICKÉ VLASTNOSTI		
Charakteristická vlastnosť	Požiadavka	Skúšobná metóda
Odolnosť proti obrusovaniu	$\leq 2\,000\text{ mm}^3$	EN 12808-2
Pevnosť v ťahu pri ohybe po uložení za sucha	$\geq 2,5\text{ N/mm}^2$	EN 12808-3
Pevnosť v ťahu pri ohybe po vystavení zmrazovacím cyklom	$\geq 2,5\text{ N/mm}^2$	EN 12808-3
Pevnosť v tlaku po uložení za sucha	$\geq 15\text{ N/mm}^2$	EN 12808-3
Pevnosť v tlaku po vystavení zmrazovacím cyklom	$\geq 15\text{ N/mm}^2$	EN 12808-3
Zmraštenie	$\leq 3\text{ mm/m}$	EN 12808-4
Nasiakavosť vodou po 30 minútach	$\leq 5\text{ g}$	EN 12808-5
Nasiakavosť vodou po 240 minútach	$\leq 10\text{ g}$	EN 12808-5

Tabuľka č.11: Doplnkové vlastnosti pre cementové škárovacie hmoty, ktoré môžu byť požadované pri používaní v zvláštnych podmienkach podľa [1]

DOPLNKOVÉ CHARAKTERISTICKÉ VLASTNOSTI		
Charakteristická vlastnosť	Požiadavka	Skúšobná metóda
Vysoká odolnosť proti obrusovaniu	$\leq 1\,000\text{ mm}^3$	EN 12808-2
Znížená nasiakavosť vodou po 30 minútach	$\leq 2\text{ g}$	EN 12808-5
Znížená nasiakavosť po 240 minútach	$\leq 5\text{ g}$	EN 12808-5

5.1.3. Definovanie normových skúšobných postupov pre škárovacie hmoty podľa patričných noriem

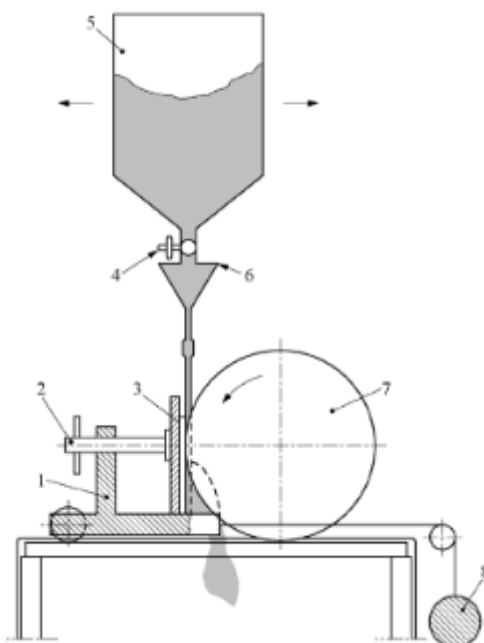
5.1.3.1. Stanovenie odolnosti proti obrusovaniu podľa EN 12808-2

Odolnosť proti obrusovaniu je daná normou pri hmotách na polymérnej báze na $\leq 250\text{ mm}^3$ a pri hmotách na cementovej báze je odolnosť proti obrusovaniu daná hodnotou $\leq 2\,000\text{ mm}^3$.

Odolnosť proti obrusovaniu je pri škárovacích hmotách veľmi dôležitá. Je potrebné, aby sa odolnosť proti obrusovaniu škárovacej hmoty čo najviac priblížila odolnosti proti obrusovaniu obkladových, alebo dlažobných prvkov, ktoré sú touto hmotou škárované.

Princíp skúšky

Vzorka vytvorená zo škárovacej hmoty sa vloží do skúšobného zariadenia na stanovenie odolnosti proti obrusovaniu, vid'. Obr. č. 13. Vzorka sa vloží oproti brúsne kotúču, oceľový kotúč sa otočí 50 krát, zmeria sa dĺžka tetivy brusnej stopy vzniknutej na každej vzorke, obrus každej vzorky sa hodnotí minimálne na dvoch miestach. Odolnosť proti obrusovaniu sa nakoniec vyjadrí ako objemový úbytok materiálu vzniknutý v dôsledku oteru v mm^2 . [29]



Legenda

- 1 Zariadenie na uchytenie skúšobného zariadenia
- 2 Upevňujúci šrób
- 3 Skúšobná vzorka
- 4 Ventil
- 5 Násypka pre brusný materiál
- 6 Násypka zaisťujúca rovnomerný tok
- 7 Oceľový kotúč
- 8 Vyvažovacie závažie

Obrázok č.13: Zariadenie na stanovenie odolnosti proti obrusovaniu podľa [29]

5.1.3.2. Stanovenie pevnosti v ťahu pri ohybe a pevnosti v tlaku podľa EN 12808-3

Pevnosť v ťahu pri ohybe sa pri škárovacích hmotách na polymérnej báze požaduje normou $\geq 30 \text{ N/mm}^2$, pri škárovacích hmotách na cementovej báze je normová požiadavka $\geq 2,5 \text{ N/mm}^2$. Normová požiadavka pevnosti v tlaku škárovacích hmôt na polymérnej báze je $\geq 45 \text{ N/mm}^2$ a hmôt na cementovej báze je daná hodnotou $\geq 15 \text{ N/mm}^2$.

Princíp skúšky

Pevnosť v ťahu pri ohybe stanovená pri štandardných podmienkach sa skúša na skúšobnom hranole vytvoreného zo škárovacej hmoty, ktorý sa vloží do skúšobného zariadenia a zaťažuje sa v zvislom smere. Pevnosť v tlaku stanovená za štandardných podmienok sa skúša na poloviciach skúšobného hranola rozlomeného pri ohybovej skúške. [30]

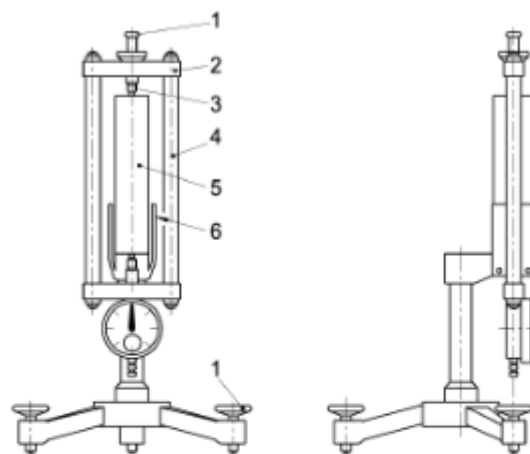
5.1.3.3. Stanovenie zmraštenia podľa EN 12808-4

Zmraštenie je pri škárovacích hmotách na polymérnej báze dané normovou hodnotu $\leq 1,5$ mm/m, pri škárovacích hmotách na cementovej báze je normová požiadavka zmraštenia ≤ 3 mm/m.

Zmraštenie je pri škárovacích hmotách taktiež veľmi dôležitá a sledovaná vlastnosť. Je potrebné, aby bolo zmraštenie škárovacej hmoty, čo najnižšie. Vplyvom nadmerného zmraštenia škárovacej hmoty môže dôjsť ku vzniku prasklín medzi hranou dlažobného alebo obkladového prvku, a medzi vrstvou škárovacej hmoty, ktoré môžu viesť ku zníženiu odolnosti proti vlhkosti a tiež k zníženiu chemickej odolnosti povrchu.

Princíp skúšky

Vzorky vytvorené zo škárovacích hmôt sa po vytiahnutí z foriem meracím zariadením zmerajú a určí sa ich dĺžka. Po 27 dňoch od počiatku merania sa opäť zmeria dĺžka každej vzorky. Príklad meracieho zariadenia pre stanovenie zmraštenia je uvedený na Obr. č. 14. Lineárne zmraštenie sa vyjadří ako priemer z troch hodnôt vzťahnutých na počiatočnú dĺžku a uvedie sa v mm/m. [31]



- Legenda
 1 Vyrovnávací šrób
 2 Rám
 3 Merací tŕň
 4 Spojnica
 5 Skúšobné teleso
 6 Držiak

Obrázok č.14: Merací prístroj pre stanovenie zmráštenia podľa [31]

5.1.3.4. Stanovenie nasiakavosti podľa EN 12808-5

Nasiakavosť je pri škárovacích hmotách na polymérnej báze daná normovou hodnotou $\leq 0,1$ g, pri škárovacích hmotách na cementovej báze je nasiakavosť vodou po 30 minútach daná hodnotou ≤ 5 g, nasiakavosť vodou po 240 minútach je daná normovou hodnotou ≤ 10 g.

Je potrebné, aby nasiakavosť vodou pri škárovacích hmotách bola možno čo najnižšia. Nasiakavosť sledujeme z dôvodu, že pri použití nasiakavej škárovacej hmoty v trvalo vlhkom prostredí hrozí vznik plesní, ktoré majú negatívny vplyv na ľudské zdravie.

Princíp skúšky

Zo škárovacej malty sa pripravia vzorky, bočné povrchy skúšobných telies sa utesnia silikónovým tmelom. Každá vzorka sa zváži a následne sa vloží do misky tak, aby jej vrchný povrch bol ponorený vo vode. Vzorky sa po vytiahnutí z vody osušia, zvážia sa, potom sa opäť vložia do nádrže, a po 210 minútach sa postup opakuje. Výsledkom skúšky je nasiakavosť v gramoch každej vzorky po 30 minútach, a 240 minútach. [32]

5.1.4. Definovanie ostatných skúšobných postupov pre škárovacie hmoty

5.1.4.1. Stanovenie chemickej odolnosti škárovacích mált na polymérnej báze podľa EN 12808-1

Pokiaľ ide o chemickú odolnosť, v norme pre škárovacie hmoty nie je udaná ani limitná hodnota chemickej odolnosti ani chemické činidlo, ktorým sa skúška stanovenia chemickej odolnosti má vykonávať. Skúšobným prostredím musí byť činidlo, ktorému sú chemicky odolné škárovacie hmoty v praxi vystavené. Rovnako aj skúšobné podmienky, ako napr. teplota, vlhkosť a i. musia čo najlepšie napodobniť podmienky aj expozíciu vonkajšími vplyvmi, ktoré sú predpokladané pri praktickom používaní. [1]

Princíp skúšky

Vzorky vytvorené zo škárovacích hmôt sa zmerajú a zvážia, následne sa položia na dno nádoby. Do nádoby sa tiež pridá skúšobná kvapalina a uzavretá nádoba sa vloží do sušiarne alebo do kvapalinového kúpeľa, ktorý predstavuje maximálne priblíženie podmienkam pri praktickom použití. Vzorky sa z nádoby vytiahnu, osušia, zvážia sa a zmeria sa ich priemer. Akékoľvek poškodenie a sfarbenie povrchu vzorky a tvorba sedimentu sa zaznamená. [28]

5.1.4.2. Stanovenie pórovitosti

Pórovitosť na jednej strane znižuje objemovú hmotnosť škárovacej hmoty, no na druhej strane otvorená pórovitosť zvyšuje jej nasiakavosť a ako je vyššie uvedené, pri škárovacích hmotách máme požiadavku, aby nasiakavosť bola možno čo najnižšia. Otvorená pórovitosť taktiež znižuje mrazuvzdornosť škárovacích hmôt.

V technickej praxi sú na stanovenie obsahu pórov v pevných látkach využívané tieto dve metódy:

- metódy založené na meraní adsorpcie a desorpcie plynov,
- metódy založené na intrúzií (vtláčaní) ortuti do pórov.

Určovanie pórovitosti metódou sorpcie plynu — BET izoterma (BET teória)

je základom analytickej metódy na meranie špecifickej plochy povrchu disperzných a poréznych materiálov. Možno takto zistiť distribúciu pórov a ich objem. Meria sa množstvo plynu, ktoré sa adsorbuje za daných podmienok (teplota, tlak) na povrchu vzorky. Touto metódou sa však nedá získať informáciu o vnútorných uzavretých póroch, ktoré samozrejme tiež ovplyvňujú materiálové vlastnosti pevnej látky.

Metóda ortuťovej porozimetrie je založená na meraní zmeny objemu ortuti v dilatometri v závislosti na zvyšovaní tlaku. Objem meraných mikropórov vyjadruje rozdiel medzi objemom ortuti pôvodným a po vykonanej skúške.

5.2. Použitie škárovacích hmôt

5.2.1. Identifikácia agresívneho prostredia pre škárovacie hmoty

Oblasti použitia chemicky odolných škárovacích hmôt:

- priemyselná výroba,
- kanalizačné stoky,
- bazény,
- umývačky áut,
- práčovne,
- laboratória, a i.

Chemicky odolné škárovacie hmoty sú určené predovšetkým pre škárovanie keramických a kamenných obkladov a dlažieb, kyselinovzdorných obkladových prvkov, jemnej kameniny a pod. Pre použitie v miestach zaťažených agresívnymi vplyvmi, ako napr. v kúpeľoch, mliekarňach, umývačkách, pivovaroch, silách, stajniach, kanalizačných stokách, bazénoch, saunách, laboratóriách a pod. sú obkladové a dlažobné prvky namáhané rôznymi agresívnymi vplyvmi.

5.2.1.1. Použitie v kanalizačných stokách

Druhy odpadových vôd v kanalizačných stokách:

- splaškové (z domácností, sociálnych zariadení, ubytovní a pod.),
- priemyselné (z výrobných procesov),
- mestské (komunálne) — zmes splaškových a iných, najmä priemyselných vôd, ktoré odtekajú verejnou kanalizáciou,
- poľnohospodárske (rastlinná a živočíšna výroba, drenážne vody z meliorácií),
- dažďové (zrážkové vody odvádzané stokovou sieťou),
- iné (napr. nemocničné, chladiace, banské). [20]

Tieto odpadné vody majú nízke pH, ktoré sa pohybuje od 6,8 až do 8,5, a obsahujú tiež celú radu agresívnych látok, napr. rozpustené anorganické soli, uhľovodíky, fenoly, polyfenoly, amoniakálny dusík, ortuť, olovo, kyanidy, tenzidy, detergenty, ftaláty a i. Teplota vypúšťaných odpadných vôd je stanovená maximálne do 40 °C. [21]

5.2.1.2. Použitie v priemyselnej výrobe

V priemyselnej výrobe sú tak, ako aj obkladové a dlažobné prvky, tak aj škárovacie hmoty vystavené rôznym trvalým agresívnym prostrediam. Sú to napríklad trvalo mokré prostredia, prostredia kde dochádza k trvalému mechanickému namáhaniu, prostredia s vysokými teplotami a i.

Ďalej môžu na škárovacie hmoty pôsobiť rôzne chemikálie, ako napríklad:

- kyseliny: kyselina octová, chlorovodíková, chrómová, citrónová, mravčia, mliečna, dusičná, fosforečná, sírová, trieslová, vínna, šťaveľová a i.,
- zásady: roztok čpavku, hydroxid sodný, manganistan draselný, hydroxid draselný a i.,
- oleje a palivá: benzín, terpentínový olej, motorová nafta, kamennouhoľný decht, olivový olej, ľahký motorový olej, ťažký motorový olej, ropa a i.,
- rozpúšťadlá: acetón, etylén glykol, glycerín, perchlóretylén, chlorid uhličitý, etylalkohol, toulén, benzén, xylén, peroxid vodíka a i.

5.3. II. ETAPA: Návrh vhodných spojív a plnív pre výrobu polymérnej škárovacej hmoty

5.3.1. Definovanie vhodných polymérnych spojív pre prípravu vyvíjanej škárovacej hmoty

5.3.1.1. Epoxidové živice (ER)

Epoxidové živice (ER) sú jednou z najvýznamnejších skupín polymérov využívaných v stavebníctve. Veľmi dobre odolávajú zásadám aj zriedeným roztokom anorganických a organických kyselín. Ich chemická odolnosť rastie s molekulovou hmotnosťou a stupňom zosieťovania. Menšiu odolnosť vykazujú voči niektorým kyselinám, napr. mravčej, octovej a dusičnej. Dobrú odolnosť majú proti vode, uhľovodíkom, alkoholom a zásadám. Pevnosť v ťahu pri ohybe ER sa uvádza približne 70 MPa a pevnosť v tlaku ER je 80 až 120 MPa. Pre škárovacie hmoty na polymérnej báze je normová požiadavka pevnosti v ťahu pri ohybe ≥ 30 MPa a požiadavka na pevnosť v tlaku je ≥ 45 MPa. [23]

Z vyššie uvedených vlastností vyplýva, že polymérne škárovacie hmoty na báze ER by požiadavky uvedené príslušnou normou pre škárovacie hmoty nie len splňovali, ale aj prevyšovali. Vďaka ich vlastnostiam, ako dokonalá vodotesnosť, vynikajúcu príľnavosť k rôznym typom povrchov, vysoká mechanická a tiež chemická odolnosť sa javia tieto živice ako veľmi vhodné pre použitie do vyvíjanej škárovacej hmoty v podobe spojivovej zložky. Spolu s použitím vhodného typu plniva škárovacej hmoty, môžu byť vlastnosti ER v podobe spojiva škárovacej hmoty ešte výrazne priaznivejšie.

5.3.1.2. Furánové živice

Tieto živice sú nízkomolekulárne, tekuté až tuhé oligoméry, ktoré za prítomnosti kyselín alebo kyslo reagujúcich solí vytvárajú tvrdé, netaviteľné a nerozpustné produkty tmavohnedej až čiernej farby. Vytvrdené furánové polyméry majú vysokú tepelnú odolnosť a odolnosť proti kyselinám aj alkalickým prostrediam. Tieto živice patria medzi chemicky najodolnejšie. Furfuralalkoholové živice vo vytvrdenom stave výborne odolávajú pôsobeniu neoxidujúcich kyselín (aj za tepla), alkáliám, rade ďalších chemikálií a rozpúšťadiel. Preto sa používajú všade tam, kde sú kladené veľké nároky na chemickú odolnosť a kde nie je problémom ich čierne sfarbenie. [24]

5.3.1.3. Polyuretánové živice (PU)

Polyuretánové elastoméry sa v mnohom podobajú kaučukom. Ich štruktúra sa však vyznačuje pravidelnejším zosieťovaním, čo sa prejavuje mimo iného v ich väčších pevnostiach. Výrobky polyuretánových elastomérov dobre odolávajú veľkému zaťaženiu, trvalo znášajú až 80 °C a krátkodobo až 160 °C. Niektoré z nich tiež dobre odolávajú starnutiu. Majú ale nízku odolnosť proti obrusovaniu za tepla. Používajú sa predovšetkým ako nátery podláh, ktoré majú dostatočnú pružnosť a uplatnenie tiež našli pri ochrane kovov proti korózii a proti opotrebeniu. Mimo iného sa z nich vyrábajú tesniace tmely a tmely pre spojovanie dlaždíc a obkladačiek. [24]

5.3.1.4. Silikónové živice

Silikónové živice sa dodávajú väčšinou vo forme roztoku v toluéne s koncentráciou 50—70 %. Vytvrdené silikónové živice dobre odolávajú poveternostným vplyvom a dlhodobo znášajú teploty do 200 °C, krátkodobo až do 300 °C. K modifikácii epoxidových aj iných živíc sa dodávajú tzv. silikónové medziprodukty, ktoré za tepla reagujú so základnou živicom a následne zväčšujú jej odolnosť voči teplote a poveternostným podmienkam. [22]

5.3.2. Definovanie vhodných plnív pre prípravu vyvíjanej škárovacej hmoty

Ako plnivá pre prípravu vyvíjanej škárovacej hmoty na polymérnej báze je možné použiť ako prírodné, tak i syntetické nerozpustné látky. Tieto látky majú v škárovacích hmotách funkciu prídavného materiálu, ktorý je rovnomerne obsiahnutý v celom objeme matrice. Používajú sa najmä pre zlepšenie mechanických, chemických a iných vlastností polymérnej matrice, pridaním vhodného plniva do polymérnej matrice sa tiež znižuje cena finálneho výrobku. Ideálne plnivá by teda mali byť lacné, ľahko dostupné, s nízkou hustotou a chemicky inertné voči polymérnym matriciam. [6]

Vhodné plnivá do vyvíjanej škárovacej hmoty budú vyberané spomedzi druhotných surovín a NO, ktoré môžu byť za predpokladu vhodnej predúpravy využiteľné pre tento účel. Veľkou výhodou odpadov a druhotných surovín je, že sú lacné, ľahko dostupné a tiež ich opätovným spracovaním vo výrobe napomáhame okrem iného k zníženiu spotreby prvotných surovín a taktiež k šetreniu energie potrebnej pre ťažbu a úpravu prvotných surovín. V dnešnej dobe sa kladie čoraz väčší dôraz na opätovné spracovanie odpadov vo výrobe, a práve preto sa budú vhodné plnivá do vyvíjanej škárovacej hmoty vyberať spomedzi druhotných surovín a NO. Budú vyberané také druhotné suroviny a NO, ktoré budú sypké a s vhodnou zrnitosťou (pod 2 mm), aby nebolo potrebné dodatočné ekonomicky náročné mletie suroviny a následné triedenie podľa jednotlivých frakcií, ideálne teda práškové druhotné suroviny a NO. Ďalej sa budú vyberať odpady suché, aby sa vylúčilo ich dodatočné sušenie, čo predstavuje v technológii výroby taktiež značnú ekonomickú záťaž. Vybrané NO musia byť vhodným spôsobom solidifikované, aby bolo možné ich využitie v podobe progresívneho plniva do vyvíjanej škárovacej hmoty.

5.3.2.1. Referenčné plnivo

Kremičitý piesok DORSILIT

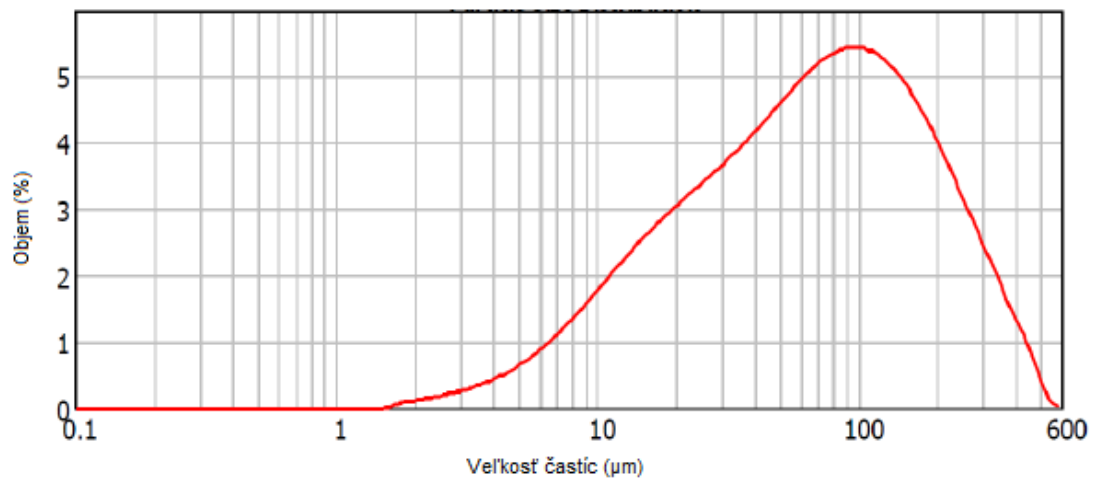
Tento kremičitý piesok má obsah $\text{SiO}_2 > 98 \%$, je niekoľkokrát praný a po sušení je na sitách rozdelený na viac ako dvanásť frakcií. Tieto piesky majú optimálny guľatý tvar a tiež veľkosť zrna potrebnú pre použitie ako plnivo do škárovacích hmôt. [25]

5.3.2.2. Plnivá na báze druhotných surovín

1. Vysokoteplotný filtrový popolček kontaminovaný vplyvom denitrifikačnej (DeNOx) technológie SNCR — Nováky

Tento typ vysokoteplotného popolčeka je vybraný predovšetkým z toho dôvodu, že tepelná Elektrárň Nováky je na území SR najvýznamnejším producentom filtrového popolčeka. Popolček je pevného skupenstva, bez obsahu voľne viazanej vody, nie je horľavý, nie je rozpustný vo vode a tiež nie je zdraviu škodlivý.

Pred jeho použitím v podobe plniva do škárovacích hmôt nie je potrebné popolček sušiť, ani mlieť, pretože jeho zrnitosť je pre dané použitie optimálna. Distribúcia veľkosti častíc je uvedená na Obr. č. 15. Merná hmotnosť popolčeka je 2114 kg/m^3 a merný povrch je $440 \text{ m}^2/\text{kg}$. Koncentrácia amoniaku (NH_3) je v tomto popolčeku 20,05 ppm. Chemické zloženie daného vysokoteplotného filtrového popolčeka je uvedené v Tab. č. 12, fotografiu tohto vysokoteplotného popolčeka možno vidieť na Obr. č. 16.



Obrázok č.15: Distribúcia veľkosti častíc vysokoteplotného denitrifikovaného filtrového popolčeka Nováky

Tabuľka č.12: Chemické zloženie vysokoteplotného filtrového popolčeka Nováky

Chemické zloženie [%]									
SiO_2	Cl^-	Al_2O_3	CaO	MgO	MnO	Fe_2O_3	SO_3	K_2O	Na_2O
60,10	266	18,60	4,79	1,95	0,15	9,77	0,69	1,72	0,68

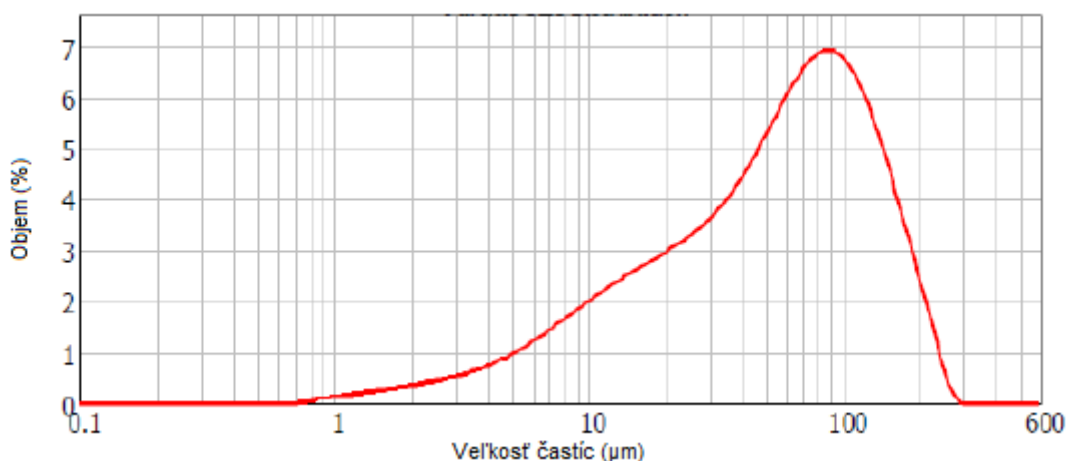


Obrázok č.16: Vysokoteplotný filtrový popolček Nováky

2. Fluidný filtrový popolček kontaminovaný vplyvom denitrifikačnej (DeNOx) technológie SNCR — Kladno

Táto druhotná surovina bola vybraná z dôvodu, že tepelná elektráreň produkujúca tento fluidný popolček je významným producentom fluidného filtrového popolčeka v ČR. Tepelná elektráreň Kladno ročne vyprodukuje až niekoľko stotisíc ton tejto druhotnej suroviny, pričom v súčasnosti nemá žiadne efektívne uplatnenie.

Pred jeho použitím do škárovacích hmôt v podobe plniva, nie je potrebné popolček sušiť, ani mlieť, z dôvodu, že jeho zrnitosť je pre toto použitie optimálna. Distribúcia veľkosti častíc je uvedená na Obr. č. 17. Tento popolček je pevného skupenstva, nie je horľavý, ani rozpustný vo vode a tiež nie je škodlivý zdraviu. Merná hmotnosť popolčeka je 2872 kg/m^3 a merný povrch je $627 \text{ m}^2/\text{kg}$. Koncentrácia amoniaku (NH_3) je v tomto popolčeku 30,10 ppm. Chemické zloženie daného fluidného filtrového popolčeka je uvedené v Tab. č. 13, fotografiu tohto fluidného popolčeka možno vidieť na Obr. č. 18.



Obrázok č.17: Distribúcia veľkosti častíc fluidného filtrového popolčeka Kladno

Tabuľka č.13: Chemické zloženie fluidného filtrového popolčeka Kladno

Chemické zloženie [%]										
SiO ₂	Cl ⁻	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	Fe ₂ O ₃	SO ₄	K ₂ O	Na ₂ O	NH ₄
35,20	76	19,80	18,50	1,05	0,03	5,80	5,88	0,63	0,31	25,50



Obrázok č.18: Fluidný filtrový popolček Kladno

3. Teplárenská troska Oslavany

Táto druhotná surovina bola vybraná z dôvodu, že pred použitím v podobe plniva do škárovacích hmôt nie je potrebné ju sušiť, mlieť a ani triediť, a jej zrnitosť je optimálna pre dané použitie. Troska je pevného skupenstva, nie je horľavá, nie je rozpustná vo vode, a tiež nie je škodlivá zdraviu. Sypná hmotnosť voľne sypanej trosky je 831 kg/m^3 , strata sušením je 0,34 hm. % a strata žíhaním trosky je 2,38 hm. %. Chemické zloženie teplárenskej trosky Oslavany je uvedené v Tab. č. 14.

Tabuľka č.14: Chemické zloženie teplárenskej trosky Oslavany

Chemické zloženie [%]						
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	MnO	K ₂ O
51,45	22,09	3,80	1,76	10,74	0,106	3,45
TiO ₂	P ₂ O ₅	Na ₂ O	Sírany	Cl ⁻	S	
0,85	0,32	1,85	1,64	0,007	0,70	

4. Zlievarenský piesok čierny

Jedná sa o odpadný produkt hutnej výroby, ktorý bol používaný pre výrobu foriem pre odlievanie liatinových výrobkov. Tento piesok je už natoľko znečistený, že ho nemožno ďalej pre tento účel používať. Obsahuje 94 % SiO₂, pričom referenčný piesok obsahuje až 99,6 % SiO₂. Z ostatných oxidov sú tu prítomné K₂O + Na₂O, čo môže byť zapríčinené vodným sklom, ktoré sa používa ako hlavné spojivo pre výrobu foriem.

Tento zlievarenský piesok je pevného skupenstva, nie je horľavý, nie je rozpustný vo vode a nie je zdraviu škodlivý. Strata sušením tohto piesku pri 107 °C je 0,07 % a strata žíhaním pri 1100 °C je 0,14 % zo sušiny.

Piesok nie je potrebné pre použitie do škárovacích hmôt v podobe plniva sušiť, ale je potrebné ho pomlieť na optimálnu zrnitosť pre dané použitie.

Jeho chemické zloženie je uvedené v Tab. č. 15 a na Obr. č. 19 možno vidieť fotografiu tohto zlievarenského piesku.

Tabuľka č.15: Vlastnosti a chemické zloženie zlievarenského piesku čierneho

Chemické zloženie a vlastnosti [%]						
MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO
0,057	94,00	1,72	0,387	0,037	0,011	0,174
K ₂ O	Na ₂ O	Li ₂ O	Cr ₂ O ₃	BaO	ZrO ₂	SrO
1,99	0,27	<0,001	<0,081	0,019	0,019	<0,006



Obrázok č.19: Zlievarenský piesok čierny

5. Odpadné autosklo

Odpadné autosklo je pevného skupenstva, nie je horľavé, je nerozpustné vo vode a nie je zdraviu škodlivé. Pred opätovným použitím tohto materiálu vo výrobe nastáva problém s odstránením bezpečnostnej fólie zo skla, čo predstavuje zásadný technologický a ekonomický problém.

Odpadné autosklo väčšinou nie je potrebné pred použitím v podobe plniva do škárovacích hmôt sušiť, je potrebné ho ale pomlieť na frakciu potrebnú pre dané použitie a následne roztriediť na požadované frakcie. Jeho chemické zloženie je uvedené v Tab. č. 16 a na Obr. č. 20 možno vidieť fotografiu odpadného autoskla. Strata žíhaním pri 1100 °C tohto odpadného autoskla je 0,65 % zo sušiny.

Tabuľka č.16: Vlastnosti a chemické zloženie odpadného autoskla zo skládky Frýdecká skládka, a. s.

Chemické zloženie a vlastnosti [%]						
MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	Li ₂ O	CaO
3,71	69,16	0,69	0,14	12,00	0,004	9,19
K ₂ O	BaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	ZnO	PbO	ZrO ₂
0,32	0,17	0,03	0,005	0,01	0,02	0,029



Obrázok č.20: Odpadné autosklo

5.3.2.3. Plnivá na báze nebezpečných odpadov

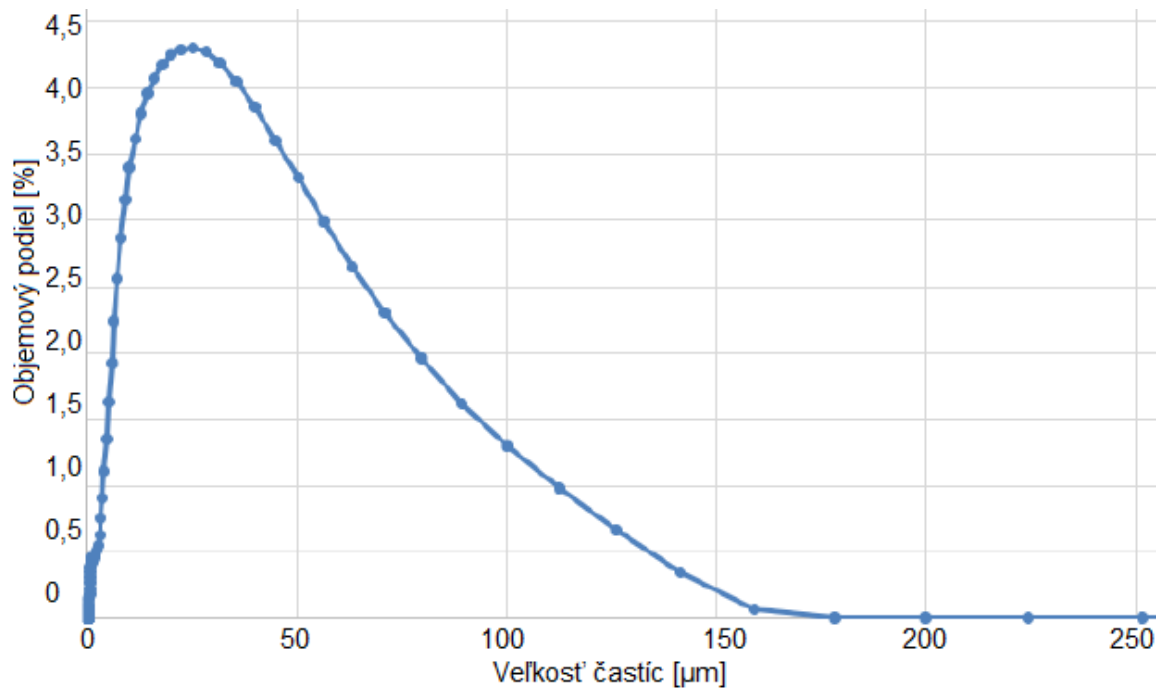
6. End-produkt zo spaľovania TKO

End-produkt je produktom z čistenia dymových plynov, ktoré vznikajú v procese spaľovania zmesových komunálnych, a im podobných odpadov. Pri technológii čistenia dymových plynov je pneumatically prefukovaný do zásobníka end-produktu na sekciu solidifikácie. Jedná sa o zmes popolčeka, aktívneho uhlia a vápenatých produktov z čistenia spalín, ktoré boli zachytené na textilných filtroch. Zmiešaním popolčeka a end-produktu s vodou a cementom vzniká tzv. solidifikát, ktorý bude zrejme možné použiť v podobe plniva do vyvíjanej škárovacej hmoty. Fotografiu tohto fluidného popolčeka možno vidieť na Obr. č. 22.

Nebezpečné vlastnosti tohto odpadu sú: HP5 — toxicita pre špecifický cieľový orgán (STOT)/toxicita pri vdýchnutí, HP13 —senzibilizácia, HP14 — ekotoxicita. Tento NO nie je potrebné pre použitie v podobe plniva do škárovacích hmôt sušiť ani mlieť, má totiž optimálnu zrnitosť pre dané použitie. Distribúcia veľkosti častíc je uvedená na Obr. č. 21. Skupenstvo odpadu je pevné, merná hmotnosť NO je 2370 kg/m³, merný povrch je 1075 m²/kg. Tento NO nie je rozpustný vo vode a nie je ani horľavý.

Skúška vylúhovateľnosti tohto NO bola vykonaná spoločnosťou ALS Czech Republic, s.r.o., NO bol zaradený podľa *Vyhlášky č. 294/2005 Sb.* do triedy vylúhovateľnosti IIa, no chloridy, RL sušené (105 °C) a olovo (Pb) nevyhovujú limitným hodnotám

ukazovateľov pre danú triedu vylúhovateľnosti. Výsledky z tejto skúšky sú uvedené v Tab. č. 17.



Obrázok č.21: Distribúcia veľkosti častíc end-produktu zo spaľovania TKO

Tabuľka č.17: Výsledky skúšky vylúhovateľnosti vybraného NO — end-produktu

Vylúhovateľnosť [mg/l]								
pH	Chloridy	Fluoridy	Sírany	As	Ba	Cd	Cr	Cu
12,2	18500	<4,00	743	<0,10	3,84	<0,008	0,179	0,311
Hg	Ni	Pb	Sb	Se	Mo	Zn	DOC ¹	RL ²
<0,001	0,124	45,7	<0,20	<0,20	0,257	10,2	4,09	34700

Vysvetlivky: ¹ rozpustený organický uhlík, ² celkové rozpustené látky.



Obrázok č.22: End-produkt zo spaľovania TKO(odobraný 9. 3. 2018)

7. Pevné odpady z čistenia odpadových plynov (popol zo spaľovania nebezpečných odpadov zo zdravotníctva - filtrový popolček)

Tento nebezpečný odpad vzniká pri spaľovaní zdravotníckych potrieb (injekčné striekačky, gázy, náplaste, plienky, atď.). Chemické zloženie môže byť u týchto odpadov veľmi rozmanité, pretože vždy sa spaľujú rôzne druhy zdravotníckych potrieb. Jedná sa o sypký, prachový podiel z čistenia plynov elektrofiltru, cyklónu alebo rukávových filtrov. Tento filtrový popolček má šedú až hnedú farbu a je veľmi ľahký. Nebezpečné vlastnosti tohto odpadu sú: HP5 —toxicita pre špecifický cieľový orgán (STOT)/toxicita pri vdýchnutí, HP7 — karcinogenita, HP13 —senzibilizácia, HP14 — ekotoxicita.

Tento NO nie je potrebné pre použitie v podobe plniva do škárovacích hmôt sušiť ani mlieť, má totiž optimálnu zrnitosť pre dané použitie. Skupenstvo tohto NO je pevné, je nehorľavý a nerozpustný vo vode. Vylúhovateľnosť tohto NO je uvedená v Tab. č. 18.

Tabuľka č.18: Výsledky skúšky vylúhovateľnosti NO — filtrový popolček zo spaľovania nebezpečných odpadov zo zdravotníctva

Vylúhovateľnosť [mg/l]									
pH	Chloridy	RL ¹	Fluoridy	Sírany	As	Ba	Cd	Cr	Cu
12,4	3610	19200	1,66	843	<0,01	1,1	0,003	<0,1	<0,2
Hg	Ni	Pb	Sb	Se	Mo	Zn	DOC ²	Fenoly	
0,004	<0,05	<0,01	0,31	<0,01	0,44	0,55	18,2	<0,01	

Vysvetlivky: ¹ celkové rozpustené látky, ² rozpustený organický uhlík.

8. Škvára zo spaľovania TKO

Škvára je pevným produktom spaľovacieho procesu TKO tmavo sivej farby a tvorí 22—24 % objemu spaľovaného odpadu. Ročná produkcia tejto škváry je 50 000 ton. Škvára zo spaľovania TKO má niekoľko nebezpečných vlastností, a to: HP5 — toxicita pre špecifický cieľový orgán (STOT)/toxicita pri vdýchnutí, HP13 — senzibilizácia, HP14 — ekotoxicita.

Skupenstvo tohto NO je pevné, je nehorľavý a nerozpustný vo vode. Pred použitím nie je potreba škváru sušiť, je potrebné ju vopred pomlieť na potrebnú veľkosť častíc a následne roztriediť podľa jednotlivých frakcií. Vylúhovateľnosť tohto NO je uvedená v Tab. č. 19.

Tabuľka č.19: Výsledky skúšky vylúhovateľnosti vykonané na NO — škvára zo spaľovania TKO

Vylúhovateľnosť [mg/l]								
pH	Chloridy	Fluoridy	Sírany	As	Ba	Cd	Cr	Cu
11,5	325	0,525	114	<0,0001	0,84	<0,0005	0,013	0,82
Hg	Ni	Pb	Sb	Se	Mo	Zn	DOC ¹	RL ²
<0,0001	0,012	2,32	<0,001	<0,005	0,052	1,12	28,5	1950

Vysvetlivky: ¹ rozpustený organický uhlík, ² celkové rozpustené látky.

9. Kal z procesu ťahania drôtu

Tieto kaly sú kaly vznikajúce z procesu ťahania nerezových drôtov, sú to anorganické odpady obsahujúce nebezpečné látky. Kaly z procesu ťahania nerezových drôtov majú niekoľko nebezpečných vlastností, a to: HP1 — výbušnosť, HP2 — oxidácia, HP5 — toxicita pre špecifický cieľový orgán (STOT)/toxicita pri vdýchnutí, HP8 — leptavosť, HP13 — senzibilizácia, HP14 — ekotoxicita.

Skupenstvo tohto NO je pevné, je nehorľavý, ani rozpustný vo vode. Tento odpad je potrebné pre použitie v podobe plniva do škárovacích hmôt len vysušiť, nie je potrebné ho mlieť, má totiž optimálnu zrnitosť pre dané použitie. Vylúhovateľnosť tohto NO je uvedená v Tab. č. 20.

Tabuľka č.20: Výsledky skúšky vylúhovateľnosti vykonané na NO — kal z procesu ťahania drôtu

Vylúhovateľnosť [mg/l]									
pH	Chloridy	Fluoridy	Sírany	As	RL ²	Cd	Cr	Cu	DOC ¹
11,6	2950	<0,200	5,82	0,0014	6340	<0,0005	0,0089	0,071	19,7
Hg	Ni	Pb	Zn	Se	Mo	Sb	Ba	Fenoly	
<0,001	<0,002	<0,001	<0,01	<0,005	0,019	<0,001	0,0265	<0,005	

Vysvetlivky: ¹ rozpustený organický uhlík, ² celkové rozpustené látky.

5.3.2.4. Optimalizačný výpočet pre výber vhodných plnív

Výber druhotných surovín a NO vodných pre použitie do vyvíjanej škárovacej hmoty v podobe plniva polymérnej matrice sa riadil s ohľadom na čo najbližšie priblíženie vlastností k vlastnostiam primárneho plniva, ktorým je najčastejšie kremičitý piesok. Výber druhotných surovín a NO použitých pre optimalizačný výpočet vhodných plnív je uvedený v Tab. č. 21. Označením A—E sú označené druhotné suroviny a označením F—I sú označené vybrané NO.

Metódou párového zrovnania (Fullerov trojuholník) sa optimalizujú najvhodnejšie druhy plnív, jeden na báze druhotnej suroviny, a druhý na báze NO.

Tabuľka č.21: Druhotné suroviny a nebezpečné odpady vybrané pre optimalizačný výpočet

Označenie	Vybrané plnivo
A	Vysokoteplotný filterový popolček kontaminovaný vplyvom denitrifikačnej (DeNOx) technológie SNCR — Nováky
B	Fluidný filterový popolček kontaminovaný vplyvom denitrifikačnej (DeNOx) technológie SNCR — Kladno
C	Teplárenská troska Oslavany
D	Zlievarenský piesok čierny
E	Odpadné autosklo
F	End-produkt zo spaľovania TKO
G	Pevné odpady z čistenia odpadových plynov (popol zo spaľovania nebezpečných odpadov zo zdravotníctva - filterový popolček)
H	Škvára zo spaľovania TKO
I	Kal z procesu ťahania drôtu

Zásadnými kritériami hodnotenia vybraných druhotných surovín a NO sú napr. ich stálosť zloženia, keďže je známe, že druhotné suroviny a NO sa väčšinou vyznačujú nestálosťou ich zloženia, tiež je veľmi dôležitá ich chemická inertnosť voči polymérnej matrici do ktorej budú použité v podobe plniva. Všetky vybrané kritéria hodnotenia vybraných druhotných surovín a NO sú uvedené v Tab. č. 22.

Tabuľka č.22: Vybrané kritéria hodnotenia druhotných surovín a NO

Označenie	Kritérium	Jednotka	Škála hodnotenia
1	Hustota	[kg·m ⁻³]	[-]
2	Dostupnosť	[-]	[1—3] ¹
3	Stálosť zloženia	[-]	[1—3] ²
4	Nutnosť predúpravy	[-]	[1—3] ³
5	Chemická inertnosť	[-]	[1—3] ⁴
6	Zrornosť	[µm]	[-]

Vysvetlivky: ¹ 1 — najdostupnejšie, 3 — najťažšie dostupné, ² 1 — najstálejšie zloženie, 3 — najmenej stále zloženie, ³ 1 — bez nutnosti predúpravy, 3 — najvyšší stupeň predúpravy, ⁴ 1 —chemicky inertné, 3 — najmenej chemicky inertné.

Tabuľka č.23: Rozhodovacia matrica

č.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Min	Max
1	2114	2872	2100	2500	2500	2370	2100	2200	2300	2100	2872
2	2	1	2	2	2	1	2	2	3	1	3
3	2	1	3	3	2	1	3	3	3	1	3
4	1	1	1	2	4	1	1	2	3	1	4
5	2	1	2	2	2	1	2	2	3	1	3
6	90	100	150	450	500	25	100	1000	300	25	1000

Tabuľka č.24: Fullerov trojuholník

1	1	1	1	1
2	3	4	5	6
2	2	2	2	
3	4	5	6	
3	3	3		
4	5	6		
4	4			
5	6			
5				
6				

Tabuľka č.25: Výpočet váhy

Číslo	Počet	P_i	V_i	F_i (váha)
1	1	5	2	0,1
2	1	5	2	0,1
3	4	3	4	0,2
4	3	3	4	0,2
5	5	1	6	0,3
6	1	5	2	0,1
SUMA			20	1,0

Použité vzorce:

$$V_i = n + 1 - P_i$$

$$F_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}$$

Tabuľka č.26: Výpočtová matica (metóda párového zrovnania)

č.	F _i	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	0,1	0,18	10,00	0,00	5,18	5,18	3,50	0,00	1,30	2,59
2	0,1	5,00	10,00	5,00	5,00	5,00	10,00	5,00	5,00	0,00
3	0,2	10,00	20,00	0,00	0,00	10,00	20,00	0,00	0,00	0,00
4	0,2	20,00	20,00	20,00	10,00	0,00	20,00	20,00	10,00	0,00
5	0,3	15,00	30,00	15,00	15,00	15,00	30,00	15,00	15,00	0,00
6	0,1	9,33	9,23	8,72	5,64	5,13	10,00	9,23	0,00	7,18
SPOLU		59,52	99,23	48,72	40,82	40,31	93,50	49,23	31,30	9,77

Použité vzorce:

$$MAX \rightarrow b_{ij} = \frac{a_{ij} + MIN(a_i)}{MAX(a_i) - MIN(a_i)}$$

$$MIN \rightarrow b_{ij} = \frac{MAX(a_i) - a_{ij}}{MAX(a_i) - MIN(a_i)}$$

$$c_{ij} = F_i \cdot b_{ij} \cdot 100$$

Metódou párového zrovnania boli optimalizované najvhodnejšie plnivá pre použitie do vyvíjanej škárovacej hmoty. Spomedzi druhotných surovín vyšlo ako najvhodnejšie plnivo pre toto použitie plnivo č. 2: fluidný filtrový popolček kontaminovaný vplyvom denitrifikačnej (DeNOx) technológie SNCR — Kladno (99,2/100) a spomedzi nebezpečných odpadov vyšlo ako najvhodnejšie plnivo, plnivo č. 6: end-produkt zo spaľovania TKO (93,5/100).

5.4. III. Etapa: Výber vhodnej technológie predúpravy vybraných plnív

V súčasnosti sú známe tri základné druhy solidifikačnej technológie, ktoré možno použiť pri spracovaní nebezpečných odpadov, a to: cementácia, bitúmenácia a vitirifikácia.

Cementácia

Cementácia je založená na fixácii odpadov do silikátovej matrice a je vhodná pre anorganické odpady. Vhodnými spojivami z hľadiska stability a dostupnosti sú: portlandské cementy, struskoportlandské cementy a troskové cementy, spojivá na báze vápna, popolčky, trosky, a pod.

Výhodou cementácia je priebeh za normálnej teploty a relatívne nízka cena. Je vhodná predovšetkým pre anorganické materiály (popol a odvodnené kaly z čistiarní priemyselných odpadových vôd), a tiež pre obyčajnú solidifikáciu odpadu uloženého

na skládky. V súčasnej dobe sa často využíva predovšetkým kombinácia rôznych typov spojív.

Nevýhodou je naopak citlivosť cementu na prítomnosť určitých látok, ktoré ovplyvňujú priebeh hydratačných reakcií. Prídavkom popolčeka do portlandského cementu má pozitívny vplyv na imobilizačnú schopnosť a zníženie priepustnosti. [26]

Bitúmenácia

Do bitúmenov možno po predchádzajúcom odvodnení fixovať ako anorganické, tak aj organické odpady. Pokiaľ odolávajú teplote roztaveného bitúmenu. S/S taveným asfaltom prináša vynikajúce výsledky, má však jednu veľkú nevýhodu, a tou je nutnosť tavenia tohto materiálu, pričom sa zahrieva súčasne aj samotný NO, čo môže byť spojené s emisiami znečisťujúcich látok z NO a plynných produktov tepelného odbúravania asfaltu.

Bitúmenácia nie je vhodná na spevnenie zrnitých alebo kusových odpadov, ale je veľmi vhodná pre filtračné prachy a fixáciu kalov a kvapalných koncentrátov. [26]

Vitrifikácia

Vitrifikácia, čiže zasklenie tavením pri vysokých teplotách je aplikovaná najmä pri spracovaní toxických zvyškov zo spaľovania NO, eventuálne toxických prachov z filtrov používaných v rôznych technológiách. Sklotvorné látky sú často prítomné už v samotnom odpade, ale pridávajú sa aj sklenené črepy napr. z obalového skla, čím sa vytvorí spoľahlivá základná matrica. Vzniknuté sklá vynikajú vysokou odolnosťou proti pôsobeniu vody, a preto je týmto spôsobom možné spracovať aj odpady s vysokými koncentraciami škodlivých látok. Táto technológia navyše významne znižuje objem, alebo prevádza prakticky všetky zlúčeniny na oxidy. Výsledné sklo je vysoko inertné, a preto ho možno použiť na výrobu stavebného materiálu (dlaždice, obklady, strešné krytiny a pod.). [26]

Ako dve najvhodnejšie technológie predúpravy vybraných plnív do navrhovanej škárovacej hmoty boli vybrané — technológia solidifikácie vybraného NO (end-produktu) formou cementácie v podobe granulovania s pridaním vybraného solidifikačného činidla v podobe druhotnej suroviny (fluidného filtrového popolčeka Kladno), ako druhá technológia predúpravy bola vybraná technológia solidifikácie NO formou suchej homogenizácie vybraného NO s vybraným rovnakým solidifikačným činidlom.

Solidifikácia NO technológiou cementácie bude vyskúšaná formou granulovania suchých práškových zložiek (cement, fluidný filtrový popolček a NO), ktoré budú kropené vodou na granulačnom tanieri. Granule, získané

z tejto solidifikačnej technológie budú následne vysušené a pomleté na požadovanú jemnosť potrebnú pre použitie v podobe plniva do škárovacích hmôt.

Solidifikácia formou suchej homogenizácie fluidného filtrového popolčeka a NO bude vyskúšaná suchou homogenizáciou vybraných surovín v homogenizátore po takú dobu, kým nebudú suroviny spoločne dostatočne zhomogenizované. Táto forma solidifikácie sa javí ako ekonomickejšia vzhľadom k predchádzajúcej technológii (solidifikácia formou granulovania), keďže sa v tomto prípade môže vynechať nákladné sušenie a tiež mletie získaného materiálu.

Na plnive vytvorenom oboma spôsobmi predúpravy NO, či už solidifikáciou formou granulovania alebo formou suchej homogenizácie, bude vykonaná skúška vylúhovateľnosti. Výsledky skúšky vylúhovateľnosti vzniknutých plnív budú porovnané s výsledkami skúšky vylúhovateľnosti neupraveného NO. Z výsledkov tejto skúšky bude zistené prípadné možné použitie predupraveného NO v podobe plniva pre prípravu navrhovanej polymérnej škárovacej hmoty.

5.5. IV. Etapa: Návrh receptúr pre prípravu škárovacej hmoty s obsahom nebezpečného odpadu

Na základe predchádzajúcej etapy bakalárskej práce bolo navrhnutých šesť receptúr pre prípravu vyvíjanej polymérnej škárovacej hmoty s obsahom NO určenej pre extrémne chemické namáhanie.

Prvé tri receptúry pre prípravu škárovacej hmoty boli navrhnuté z plniva vytvoreného technológiou solidifikácie NO formou granulovania, ako spojivová zložka bola navrhnutá epoxidová živica (ER) EŠH1. Vzniknuté tri receptúry sa líšia od seba len v množstve plnenia ER, a sú uvedené v Tab. č. 27.

Tabuľka č.27: Receptúry pre prípravu škárovacej hmoty s použitím plniva vzniknutého granulovaním

Receptúra č.	Plnivo — z granulovania [%]	Spojivo — ER [%]
1	20	80
2	30	70
3	40	60

Ďalšie tri receptúry pre prípravu vyvíjanej škárovacej hmoty boli navrhnuté z plniva vytvoreného druhým spôsobom predúpravy — technológiou solidifikácie NO formou suchej homogenizácie. Ako spojivo bola v tomto prípade navrhnutá taktiež epoxidová živica (ER) EŠH1. Vzniknuté tri receptúry sa líšia od seba len v množstve plnenia polymérnej matrice a sú uvedené v Tab. č. 28.

Tabuľka č.28: Receptúry pre prípravu škárovacej hmoty s použitím plniva vzniknutého suchou homogenizáciou

Receptúra č.	Plnivo — zo suchej homog. [%]	Spojivo — ER [%]
4	20	80
5	30	70
6	40	60

Výsledkom tejto etapy je návrh šiestich receptúr pre prípravu vyvíjanej polymérnej škárovacej hmoty určenej pre extrémne chemické namáhanie s rozdielnym obsahom rôzne predupraveného NO, pričom tá najekologickejšia, obsahujúca najviac solidifikovaného NO, je označená ako EKO-A⁺⁺⁺. Navrhnuté receptúry budú experimentálne preverené v nasledujúcej kapitole bakalárskej práce v podobe jednoduchého a účelového laboratórneho experimentálneho overenia.

5.6. Experimentálne preverenie navrhnutých receptúr pre prípravu vyvíjanej škárovacej hmoty

5.6.1. Predúprava navrhnutého plniva

5.6.1.1. Predúprava navrhnutého plniva technológiou solidifikácie formou granulovania

Solidifikácia NO formou cementácia v podobe granulovania bola vyskúšaná nadávkovaním sypkých surovín, vid'. Tab. č. 29, na granulačný tanier, vid'. Obr. č. 23, a kropením vodou — za vzniku granúl solidifikátu.

Tabuľka č.29: Suroviny použité pri predúprave NO formou granulovania

Surovina	Množstvo [%]	Množstvo [g]
End-produkt zo spaľovania TKO (NO)	7,5	195
Fluidný filtrový popolček kontaminovaný vplyvom denitrifikačnej (DeNOx) technológie SNCR — Kladno	90,5	2353
Cement CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R	2	52
Celkom	100	2600

Granulačný tanier sa nastavil na vhodný sklon pre granulovanie (cca 45 °), následne sa naň nadávkovali sypké suroviny v množstve uvedenom v Tab. č. 29. Granulačný tanier sa uviedol do pohybu a na nadávkované sypké suroviny sa začala postupne kropiť voda, vid'. Obr. č. 23. Otáčaním granulačného taniera a kropením suchej zmesi surovín vodou vznikali granule solidifikátu, vid'. Obr. č. 24. Voda sa pridávala postupne, najskôr sa pridalo 0,7 l a postupným pridávaním

sa spotrebovalo 1,2 l vody. Pridaním rôzneho množstva vody pre vytvorenie granúl vznikli tri zmesi granúl, prvá zmes, s najnižším množstvom pridanej vody, vytvorila granule len s jemne prepojenými časticami. Granule boli veľmi pórovité a malých priemerov, vid'. Obr. č. 25. Druhá zmes bola vytvorená pridaním vyššieho množstva vody, granule boli pevnejšie, menej pórovité a častice surovín boli lepšie medzi sebou navzájom prepojené. Tretia zmes obsahovala najvyššie množstvo vody, vzniknuté granule mali najväčšie priemery, mali najnižšiu pórovitosť, a častice boli medzi sebou navzájom najlepšie prepojené. Vzniknuté zmesi granúl boli následne vysušené v sušiarňi pri teplote 103 °C.



Obrázok č.23: Granulovanie zmesi na granulačnom tanieri



Obrázok č.24: Vzniknuté granule (solidifikát) na granulačnom tanieri



Obrázok č.25: Odobratie vzniknutých granúl (solidifikátu)

Stanovenie zrnitosti granúl sitovým rozborom

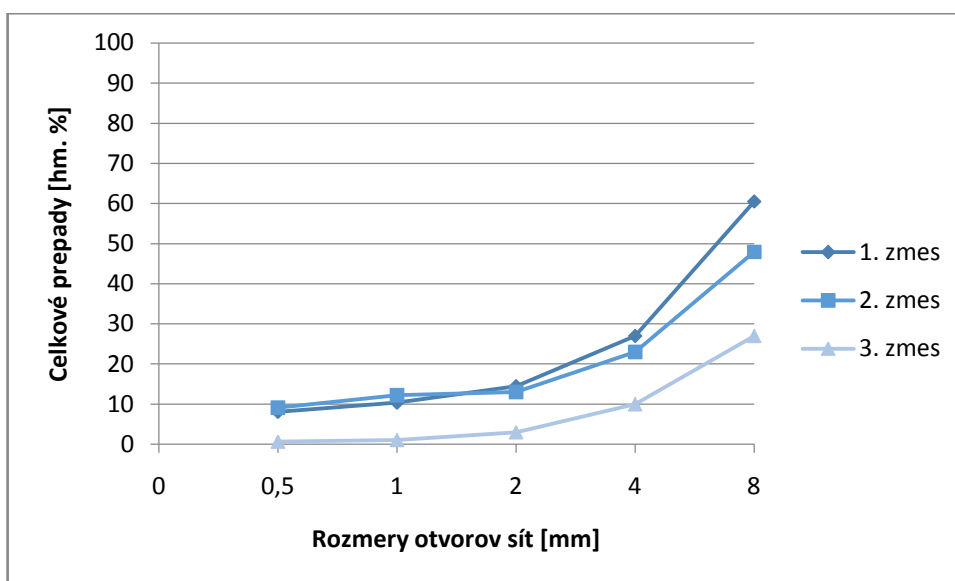
Po vysušení granúl bola na všetkých troch zmesiach granúl (od najsuchšej po najvlhkejšiu) stanovená zrnitosť sitovým rozborom na sade sít s veľkosťami otvorov 8, 4, 2, 1 a 0,5 mm. Na Obr. č. 26 možno vidieť zostatky na jednotlivých sítach po stanovení zrnitosti granúl sitovým rozborom. Tabuľka č. 30 udáva výsledky zo sitového rozboru a na Obr. č. 27 je uvedená krivka zrnitosti granúl vytvorených pri predúprave NO technológiou solidifikácie formou granulovania.

Tabuľka č.30: Výsledky zo sitového rozboru granúl vytvorených pri predúprave NO formou granulovania

Rozmer oka na site [mm]		8	4	2	1	0,5
Celkové prepady sitom [%]	1. zmes	60,5	27,0	14,5	10,4	8,1
	2. zmes	48,1	23,0	13,0	12,2	9,1
	3. zmes	27,0	10,0	3,0	1,1	0,7



Obrázok č.26: Zostatky granúl na jednotlivých sítách po stanovení zrnitosti sitovým rozborom



Obrázok č.27: Krivky zrnitosti jednotlivých zmesí vytvorených granúl pri predúprave NO formou granulovania

Z výsledkov sitového rozboru bolo zistené, že najväčšie priemery granúl boli dosiahnuté pri 3. zmesi (najvlhkejšej), naopak najmenšie priemery granúl vykazovala 1. zmes (najsuchšia).

Stanovenie sypnej hmotnosti granúl podľa ČSN EN 1097-3

Granule boli po sitovom rozbere roztriedené podľa jednotlivých frakcií. Na frakcii granúl 4—8 mm a na granulách s priemerom > 8 mm bola stanovená sypná hmotnosť, výsledky zo skúšky sú uvedené v Tab. č. 31, na Obr. č. 28 je fotografia z priebehu skúšky stanovenia sypnej hmotnosti.



Obrázok č.28: Váženie nádoby naplnenej frakciou granúl 4—8 mm pre stanovenie sypnej hmotnosti

Tabuľka č.31: Vypočítané hodnoty sypnej hmotnosti vytvorených granúl

m_1 [kg]	1,43	m_1 [kg]	1,43
m_2 [kg]	1,93	m_3 [kg]	1,92
V [m ³]	0,001	V [m ³]	0,001
ρ_1 [kg/m ³]	499	ρ_2 [kg/m ³]	489

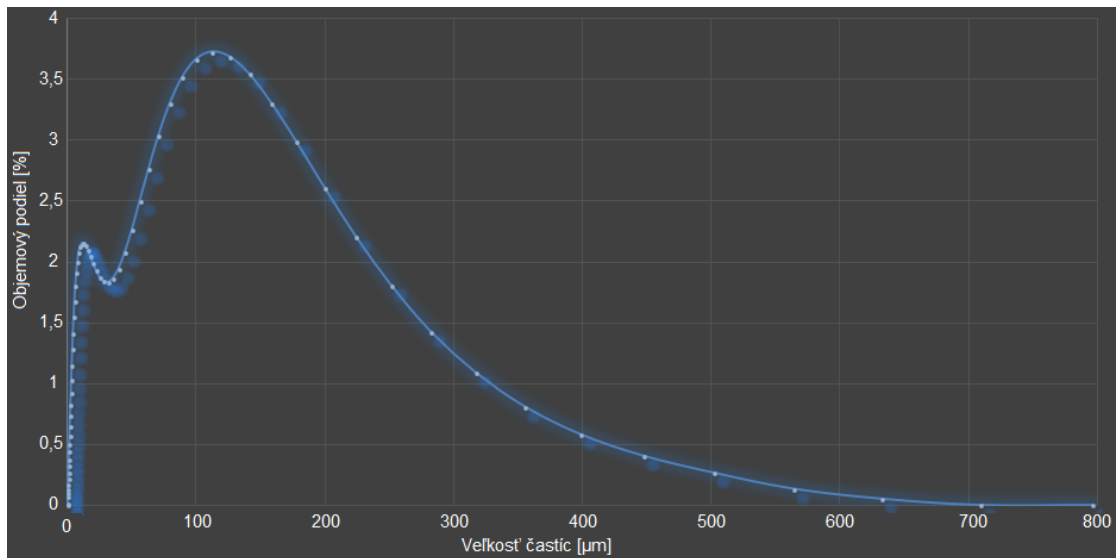
Vysvetlivky: m_1 — hmotnosť prázdnej nádoby, m_2 — hmotnosť nádoby naplnenej frakciou granúl 4—8 mm, V — objem nádoby, ρ_1 — sypná hmotnosť frakcie 4—8 mm, m_3 — hmotnosť nádoby naplnenej granulami s priemerom > 8 mm, ρ_2 — sypná hmotnosť granúl s priemerom > 8 mm.

Granule s priemerom > 8 mm mali sypnú hmotnosť nižšiu (489 kg/m³), ako granule frakcie 4—8 mm (499 kg/m³). Sypná hmotnosť granúl nižšej frakcie (4—8 mm) vyšla vyššia z dôvodu, že granule menších priemerov lepšie zaplnia priestor skúšobnej nádoby — vzniká menej medzier medzi nimi. Naopak, granule väčších priemerov (> 8 mm) zaplnia skúšobnú nádobu so vznikom väčších medzier medzi granulami a tým vychádza sypná hmotnosť týchto granúl nižšia.

Mletie granúl

Granule frakcie 1—4 mm sme následne po vykonaných skúškach pomleli na vibračnom mlyne VM-3 LA na veľkosť častíc vhodných pre použitie do škárovacích hmôt na polymérnej báze v podobe plniva. Distribúcia veľkosti častíc pomletých granúl je zobrazená na Obr. č. 29, hustota častíc je 2600 kg/m³ a merný povrch častíc pomletých granúl je 981 m²/kg. Doba mletia granúl bola 2 minúty. Granule frakcie 1—4 mm boli vybrané predovšetkým z toho dôvodu, že sa u nich predpokladá najvyššia úspešnosť solidifikácie vďaka minimálnemu obsahu pórov a tým najúčinnjšie

zakomponovanie kontaminantov do solidifikačného činidla — predpokladá sa najsilnejšia kontaktná zóna medzi zložkami NO a popolčeka. Na Obr. č. 30 je fotografia z plnenia mlecej nádoby vibračného mlyna granulami (solidifikátom).



Obrázok č.29: *Distribúcia veľkosti častíc pomletých granúl*



Obrázok č.30: *Plnenie mlecej nádoby vibračného mlyna granulami solidifikátu*

5.6.1.1. Predúprava navrhnutého plniva technológiou solidifikácie formou suchej homogenizácie

Suroviny použité pri technológii solidifikácie NO formou suchej homogenizácie sú uvedené v Tab. č. 32.

Tabuľka č.32: Suroviny použité pri predúprave NO formou suchej homogenizácie

Surovina
End-produkt zo spaľovania TKO (NO)
Fluidný filtrový popolček kontaminovaný vplyvom denitrifikačnej (DeNOx) technológie SNCR — Kladno

Suché, sypké suroviny sme spoločne zmiešali do dvoch nádob homogenizátoru v dvoch rôznych receptúrach s odlišným pomerom miešania NO s fluidným popolčekom, ktoré sú uvedené v Tab. č. 33. Celkové navážky oboch zmesí surovín boli 250 g.

Tabuľka č.33: Percentuálne zastúpenie surovín pre predúpravu NO formou suchej homogenizácie

Receptúra č.	Surovina	Množstvo [%]	Množstvo [g]
1	Fluidný filtrový popolček	95	237,5
	End-produkt (NO)	5	12,5
	Celkom	100	250
2	Fluidný filtrový popolček	90	225
	End-produkt (NO)	10	25
	Celkom	100	250

Obe zmesi surovín sme nechali spoločne nasucho homogenizovať, vid'. Obr. č. 31, po dobu piatich dní. Homogenizáciou surovín vznikli dve zmesi preupraveného NO s rôznym obsahom NO (5 a 10 %). Vzniknutý predupravený NO (solidifikát) má pre použitie do polymérnych škárovacích hmôt vo forme plniva vhodnú zrnitosť, preto ho nie je potrebné pred použitím pre tento účel mlieť, ani triediť.



Obrázok č.31: Suchá homogenizácia dvoch rôznych zmesí NO s fluidným filtrovým popolčekom

5.6.1.2. Skúška vylúhovateľnosti predupravených plnív

Na oboch plnivách, vzniknutých dvomi rozdielnymi formami solidifikačnej technológie (granuláciou a suchou homogenizáciou), boli spoločnosťou ALS Czech Republic, s. r. o. vykonané skúšky vylúhovateľnosti.

Výsledky skúšky vylúhovateľnosti jednotlivých plnív (solidifikátov) sú uvedené v Tab. č. 34, spolu s výsledkami vylúhovateľnosti použitého neupraveného NO (end-produkt zo spaľovania TKO) pre porovnanie.

Tabuľka č.34: Výsledky skúšky vylúhovateľnosti vykonanej na použitých plnivách (solidifikátoch)

Vylúhovateľnosť [mg/l]								
End-produkt zo spaľovania TKO (NO)								
pH [-]	Chloridy	Fluoridy	Sírany	As	Ba	Cd	Cr	Cu
12,2	18500	<4,00	743	<0,10	3,84	<0,008	0,179	0,311
Hg	Ni	Pb	Sb	Se	Mo	Zn	DOC ¹	RL ²
<0,001	0,124	45,7	<0,20	<0,20	0,257	10,2	4,09	34700
Plnivo vzniknuté formou granulovania								
pH [-]	Chloridy	Fluoridy	Sírany	As	Ba	Cd	Cr	Cu
11,5	1140	0,287	37,3	<0,05	0,727	<0,005	0,140	<0,01
Hg	Ni	Pb	Sb	Se	Mo	Zn	DOC	RL
<0,001	<0,02	0,116	<0,05	<0,025	0,132	0,028	10,7	2560
Plnivo vzniknuté formou suchej homogenizácie								
pH [-]	Chloridy	Fluoridy	Sírany	As	Ba	Cd	Cr	Cu
12,2	1040	1,25	1080	<0,05	0,816	<0,005	0,150	<0,01
Hg	Ni	Pb	Sb	Se	Mo	Zn	DOC	RL
<0,001	<0,02	0,0746	<0,05	<0,025	0,113	0,0579	5,78	5170

Vysvetlivky: ¹ rozpustený organický uhlík, ² celkové rozpustené látky.

Použitý NO bol zaradený podľa Vyhlášky č. 294/2005 Sb. do triedy vylúhovateľnosti IIa, no chloridy, RL sušené a olovo (Pb) nevyhovujú limitným hodnotám ukazovateľov pre danú triedu vylúhovateľnosti. Obe plnivé vzniknuté predúpravou tohto NO boli taktiež zaradené do triedy vylúhovateľnosti IIa (všetky ukazovatele vyhovujú limitným hodnotám danej triedy).

Aj napriek tomu, že trieda vylúhovateľnosti vzniknutých plnív sa oproti triede vylúhovateľnosti NO nezmenila, z výsledkov skúšky uvedených v Tab. č. 34 je zrejmé, že došlo k výraznému zníženiu vylúhovateľnosti niektorých kontaminantov, pretože boli pevne zainkorporované do popolčekovej matrice. Napríklad rozpustené látky (RL) v plnive vzniknutom granuláciou sa oproti neupravenému NO znížili takmer o 14-krát, a v plnive vzniknutom suchou homogenizáciou sa znížili o viac, ako 6-krát.

Celkovo môžeme konštatovať, že výraznejšie sa znížila vylúhovateľnosť kontaminantov, v porovnaní s hodnotami neupraveného NO, pri plnive vzniknutom granuláciou. Predúprava plniva technológiou solidifikácie NO formou granulovania sa teda javí ako účinnejšia, v porovnaní s technológiou solidifikácie NO formou suchej homogenizácie. Avšak, táto technológia predúpravy NO je technologicky aj finančne náročnejšia.

5.6.2. Výroba škárovacích hmôt podľa navrhnutých receptúr

Vzniknuté plnivá pre vyvíjanú škárovaciu hmotu sa použili pre plnenie polymérnej matrice (ER) EŠH1, chemické zloženie jednotlivých zložiek ER (samotná ER (zl. A), tvrdidlo (zl. B)) je uvedené v Tab. č. 36. Receptúry pre výrobu škárovacích hmôt sú uvedené v Tab. č. 35. Receptúry č. 1–3 obsahujú plnivo vzniknuté solidifikáciou NO formou granulovania a receptúry č. 4–6 obsahujú plnivo vzniknuté solidifikáciou NO formou suchej homogenizácie (vybrané bolo plnivo s obsahom NO 5 %).

Tabuľka č.35: Receptúry pre prípravu vzoriek škárovacích hmôt

Receptúra č.	Typ plniva	Hmotnosť plniva [g]	Hmotnosť spojiva [g]		Celkom [g]
			Zložka A (ER)	Zložka B (tvrdidlo)	
1	Solidifikát z granulácie	44	127,8	48,2	220
2		66	111,8	42,2	220
3		88	95,8	36,2	220
4	Solidifikát zo suchej homogenizácie	44	127,8	48,2	220
5		66	111,8	42,2	220
6		88	95,8	36,2	220

Tabuľka č.36: Chemické zloženie jednotlivých zložiek polymérneho spojiva EŠH1

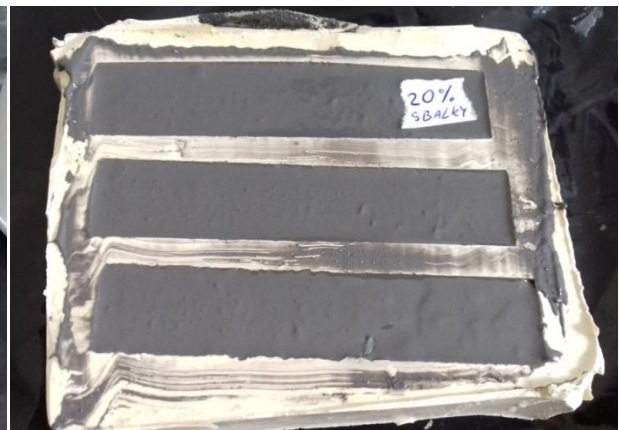
Chemické zloženie jednotlivých zložiek polymérneho spojiva EŠH1	
Zložka A	Zložka B (tvrdidlo na polyaminovej báze)
ER (priemerná početná molekulová hmotnosť ≤ 700)	4,4-methylenbis (cyklohexylamin)
(Alkoxyethyl) oxiran (alkyl C12-C14) formaldehyd	Fenylmethanol
Oligomerné reakčné produkty s 1-chlor-2, 3-epoxypropanom a fenolom	Formaldehyd
	Polymér s benzenaminom

Najskôr sa navážili všetky potrebné zložky, následne sa zmiešala zložka A spojiva — ER s plnivom (podľa typu) a nakoniec sa pridala zložka B (tvrdidlo), všetky zložky sa dôkladne premiešali, čím vznikla výsledná hmota.

Pri miešaní škárovacích hmôt bolo viditeľné, že hmoty obsahujúce najvyšší podiel plniva, až 40 %, mali oveľa vyššiu viskozitu a horšiu spracovateľnosť, ako hmoty obsahujúce len 20 % plniva, ktoré boli oveľa ľahšie spracovateľné. Plnenie silikónovej trojformy namiešanou hmotou obsahujúcou 20 % plniva z predúpravy formou granulácie, možno vidieť na Obr. č. 32. Vzniknutými šiestimi hmotami bolo následne naplnených šesť foriem pre výrobu skúšobných vzoriek v tvare trámčekov s rozmermi 20 x 20 x 100 mm, vid' Obr. č. 33. Hmoty sa vo formách nechali po dobu 24 hodín polymerizovať, následne sa z foriem vytiahli a uložili po dobu 7 dní do laboratórneho prostredia.



Obrázok č.32: *Plnenie formy namiešanou hmotou*



Obrázok č.33: *Naplnená forma namiešanou hmotou*

Z hmoty receptúry č. 5 (30 % plniva vzniknutého suchou homogenizáciou a 70 % spojiva EŠH1) boli po namiešaní skúšobne zaškárované dve dlaždice z taveného čadiča s rozmermi 250 x 250 x 25 mm, vid' Obr. č. 35, 36. Hrúbka škáry medzi dlaždicami bola 4 mm, čo možno vidieť na Obr. č. 34.



Obrázok č.34: *Hrúbka škáry dlaždíc z taveného čadiča — 4 mm*



Obrázok č.35: *Zaškárované dlaždice vytvorenou škárovacou hmotou*



Obrázok č.36: Detail zaškárovanej dlaždice vytvorenou škárovacou hmotou

5.6.3. Stanovenie vlastností škárovacích hmôt v polymerizovanom stave

Vlastnosti vzoriek škárovacích hmôt v polymerizovanom stave boli vykonané po uplynutí doby uloženia — 7 dní z dôvodu, že pevnosti sa po siedmich dňoch menia max. o 2 %, čo je pre naše experimentálne overenie zanedbateľná zmena.

Najskôr sme stanovili na vzorkách škárovacích hmôt, vid'. Obr. č. 37, objemovú hmotnosť v zatvrdnutom (spolymerizovanom) stave. Stanovenie pevnosti v ťahu pri ohybe a pevnosti v tlaku bolo vykonané na vzorkách podľa normy ČSN EN 12808-3: *Lepidla spárovací malty pro keramické obkladové prvky — Část 3: Stanovení pevnosti v ohybu a v tlaku*. V našom prípade boli skúšané skúšobné vzorky s rozmermi 20 x 20 x 100 mm.



Obrázok č.37: Vzorky škárovacích hmôt v polymerizovanom stave

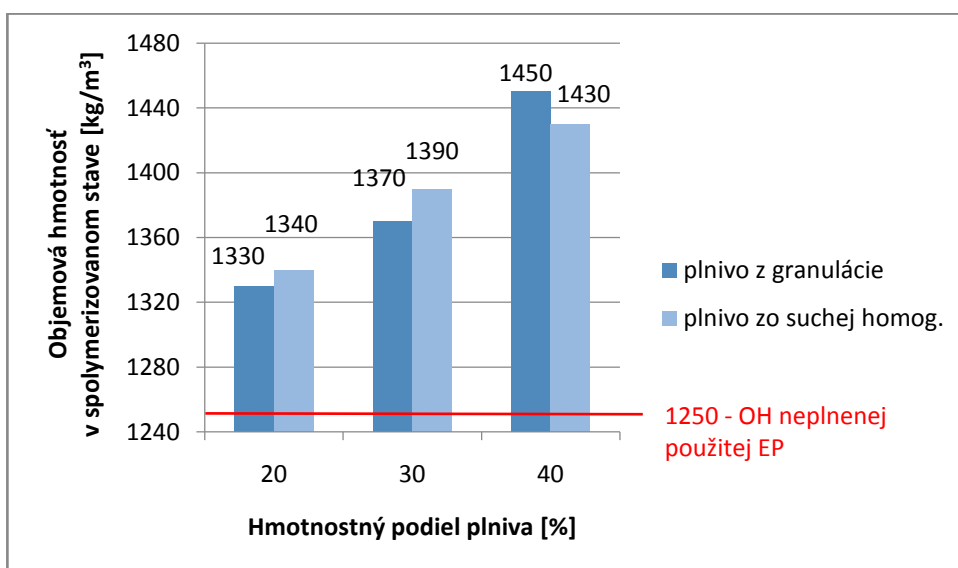
Tabuľka č.37: Výsledky skúšok objemovej hmotnosti, pevnosti v ťahu pri ohybe a pevnosti v tlaku

Typ plniva	Hmot. podiel plniva [%]	Ø OH [kg/m ³]	Ø R _f [N/mm ²]	Ø R _c [N/mm ²]
Solidifikát z granulácie	20	1330	34,5	60,8
	30	1370	19,5	48,4
	40	1450	17,7	44,1
Solidifikát zo suchej homogenizácie	20	1340	27,6	44,9
	30	1390	25,3	52,1
	40	1430	21,0	42,3

Vysvetlivky: OH — objemová hmotnosť, R_f — pevnosť v ťahu pri ohybe, R_c — pevnosť v tlaku.

Objemová hmotnosť

Stanovenie objemovej hmotnosti (OH) bolo vykonané na polymerizovaných vzorkách vytvorených zo škárovacích hmôt s rozmermi 20 x 20 x 100 mm. Najskôr boli určené presné rozmery vzoriek pomocou posuvného meradla s presnosťou na 0,01 mm, následne boli za pomoci digitálnej váhy stanovené hmotnosti vzoriek s presnosťou na 0,01 g. Z nameraných hodnôt boli vypočítané jednotlivé OH vzoriek v polymerizovanom stave, výsledky sú uvedené v Tab. č. 37.



Obrázok č.38: Graf závislosti objemovej hmotnosti na jednotlivých škárovacích hmotách

Z grafu, na Obr. č. 38, je zrejmé, že pridaním vyššieho množstva plniva do hmoty, OH rastie, čo bolo aj predpokladané. Plnivo použité do škárovacích hmôt má totiž vyššiu hustotu, ako samotná polymérna matrica (ER). Hmoty s hmotnostným podielom plniva z granulácie 20 a 30 % vykazovali nižšie OH, ako hmoty s plnivom zo suchej homogenizácie. Pri hmotách s hmotnostným podielom plniva 40 % to bolo presne naopak — hmoty s plnivom z granulácie vykazovali vyššie OH, ako hmoty s plnivom

zo suchej homogenizácie. Predpokladá sa, že druh použitého plniva nemá zásadný vplyv na OH vyvinutých škárovacích hmôt.

Pevnosť v ťahu pri ohybe

Stanovenie pevnosti v ťahu pri ohybe (R_f) bolo vykonané na polymerizovaných vzorkách vytvorených zo škárovacích hmôt s rozmermi 20 x 20 x 100 mm, použitých pri stanovení OH v zatvrdnutom stave.

Skúšobné vzorky boli namáhané v skúšobnom zariadení trojbodovým ohybom, vid'. Obr. č. 39, podľa ČSN EN 12808-3, vzdialenosť medzi podperami skúšobného zariadenia je 80 mm. Vzorky sa namáhali až do okamihu zlomenia, vid'. Obr. č. 40. Zlomky skúšobných vzoriek boli ponechané na skúšku pevnosti v tlaku.



Obrázok č.39: *Zaťažovanie vzorky trojbodovým ohybom*



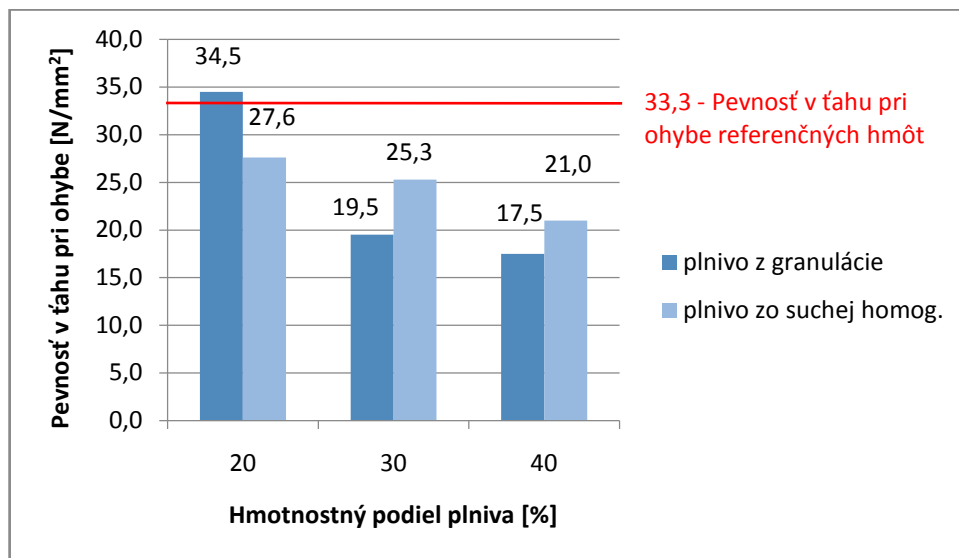
Obrázok č.40: *Porušenie vzorky po zaťažovaní trojbodovým ohybom*



Obrázok č.41: *Lomová plocha hmoty s pridaním 40 % plniva z granulácie*

Porovnaním lomových plôch vzoriek s pridaním rôzneho množstva plniva bolo vidieť, že pri vzorke hmoty s obsahom plniva 20 % bola hmota pomerne homogénna, s nízkym obsahom vzduchových pórov. Na vzorke hmoty s obsahom plniva 40 %, vid'. Obr. č. 41, bolo vidieť nerozmiešané zhluky plniva v hmote a tiež vyšší obsah

vzduchových pórov. Tieto nedokonalosti hmoty boli spôsobené horšou spracovateľnosťou hmoty s vyšším obsahom plniva a majú tiež za následok zhoršenie vlastností škárovacej hmoty.



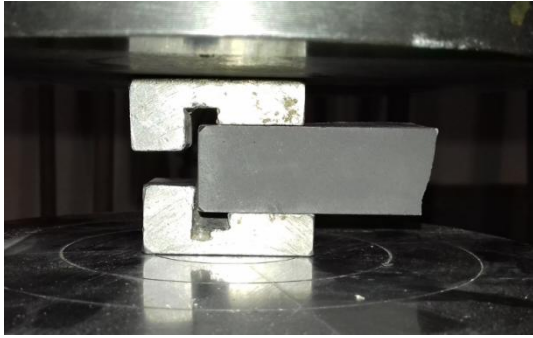
Obrázok č.42: Graf závislosti pevnosti v ťahu pri ohybe na jednotlivých škárovacích hmotách

Priemerná hodnota pevností v ťahu pri ohybe (33,3 N/mm²) chemicky odolných škárovacích hmôt na polymérnej báze dostupných na trhu je znázornená v grafe červenou farbou, vid'. Obr. č. 42, táto hodnota bola získaná z prehľadu škárovacích hmôt uvedenom v kapitole 5.1.1.

Z grafu, na Obr. č. 42, je zrejmé, že pridaním vyššieho množstva plniva do škárovacej hmoty pevnosť v ťahu pri ohybe klesá. Dôvodom je pravdepodobne to, že pridaním vyššieho množstva plniva do ER sa stávajú čiastočky plniva nedokonalejšie obalenými polymérnou maticou. Vzniká slabá kontaktná zóna na rozhraní plnivo/spojivo, čo je dôsledkom podstatného oslabenia tohto materiálu — materiál vykazuje horšie mechanické vlastnosti. Hmoty s hmotnostným podielom plniva z granulácie 30 a 40 % vykazovali nižšie pevnosti v ťahu pri ohybe, ako hmoty s plnivom zo suchej homogenizácie. Pri hmotách s hmotnostným podielom plniva len 20 % to bolo naopak. Z výsledkov je tiež zrejmé, že druh plniva nemá zásadný vplyv na pevnosť v ťahu pri ohybe vyvinutých škárovacích hmôt.

Pevnosť v tlaku

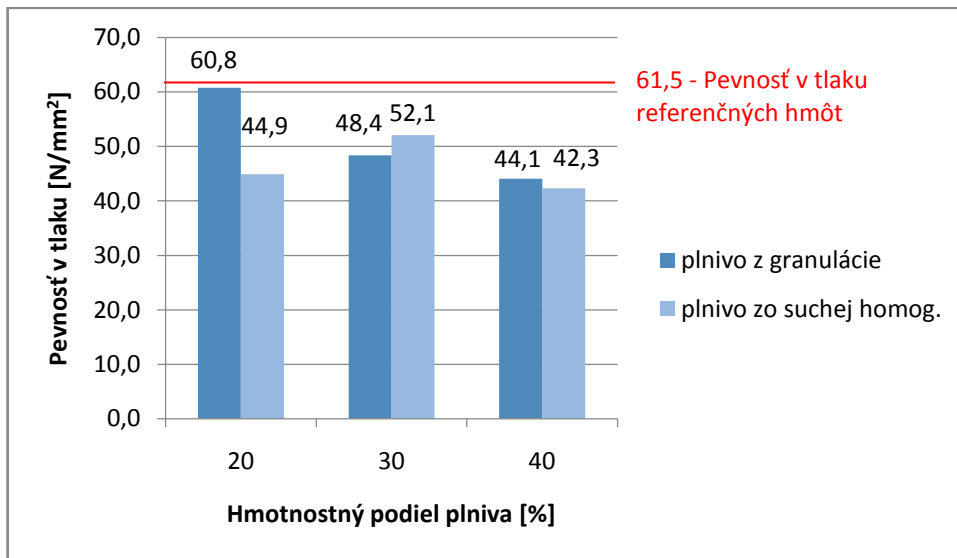
Stanovenie pevnosti v tlaku (R_c) bolo vykonané na zlomkoch skúšobných vzoriek vzniknutých zlomením pri skúške pevnosti v ťahu pri ohybe. Skúšobné vzorky boli umiestnené medzi podložné doštičky (tlačaná plocha — 400 mm²) skúšobného zariadenia, kde boli namáhané tlakom, vid'. Obr. č. 43, podľa ČSN EN 12808-3.



Obrázok č.43: Zatažovanie skúšobnej vzorky tlakom



Obrázok č.44: Porušenie vzorky po zatažovaní tlakom



Obrázok č.45: Graf závislosti pevnosti v tlaku na jednotlivých škárovacích hmotách

Priemerná hodnota pevností v tlaku ($61,5 \text{ N/mm}^2$) chemicky odolných škárovacích hmôt na polymérnej báze dostupných na trhu je znázornená v grafe červenou farbou, vid'. Obr. č. 45, táto hodnota bola získaná z prehľadu škárovacích hmôt uvedenom v kapitole 5.1.1.

Z grafu, na Obr. č. 45, je zrejmé, že pridaním vyššieho množstva plniva do hmoty pevnosť v tlaku klesá. Dôvod je pravdepodobne rovnaký, ako pri pevnosti v ťahu pri ohybe — pridaním vyššieho množstva plniva do ER sa stávajú čiastočky plniva nedokonalejšie obalenými, vzniká slabá kontaktná zóna na rozhraní plnivo/spojivo, hmota je podstatne oslabená a vykazuje horšie mechanické vlastnosti. Hmoty s hmotnostným podielom plniva z granulácie 20 a 40 % vykazovali vyššie pevnosti v tlaku, ako hmoty s plnivom zo suchej homogenizácie. Pri hmotách s hmotnostným podielom plniva 30 % to bolo naopak. Z výsledkov je tiež zrejmé, že druh plniva nemá zásadný vplyv na pevnosť v tlaku vyvinutých škárovacích hmôt.

5.6.4. Porovnanie vlastností vyvinutých škárovacích hmôt so škárovacími hmotami dostupnými na trhu

V Tabuľke č. 38 sú uvedené priemerné hodnoty pevností v ťahu pri ohybe a v tlaku jednotlivých škárovacích hmôt — dostupných na trhu (referenčných) a tiež novo vyvinutých s rôznym podielom plniva pre porovnanie.

Tabuľka č.38: Prehľad priemerných pevností škárovacích hmôt referenčných a vyvinutých

Vlastnosť	Referenčné hmoty	Vyvinutá hmota s plnivom 20 %	Vyvinutá hmota s plnivom 30 %	Vyvinutá hmota s plnivom 40 %
Pevnosť v ťahu pri ohybe [N/mm ²]	33,3	31,1	22,4	19,3
Pevnosť v tlaku [N/mm ²]	61,5	52,9	50,3	43,2

Z výsledkov, uvedených v Tab. č. 38, možno vidieť, že nami vyvinuté škárovacie hmoty vykazujú nižšie pevnosti v ťahu pri ohybe a v tlaku, než je priemer týchto vlastností referenčných hmôt.

Normová požiadavka pevnosti v ťahu pri ohybe škárovacích hmôt na polymérnej báze, daná normou ČSN EN 13888 je ≥ 30 N/mm². Túto požiadavku splňuje len vyvinutá hmota s hmotnostným podielom plniva 20 %. Normová požiadavka pevnosti v tlaku pre škárovacie hmoty (ČSN EN 13888) je ≥ 45 N/mm². Túto požiadavku spĺňajú vyvinuté hmoty s podielom plniva 20 a 30 %.

Pevnosť v ťahu pri ohybe použitej — neplnenej ER deklarovanej výrobcom v technickom liste je 30 N/mm² a pevnosť v tlaku je deklarovaná hodnotou 60 N/mm². Získanie nižších pevností namiešaných škárovacích hmôt z použitej ER bolo zrejme spôsobené nedokonalou homogenizáciou jednotlivých zložiek hmoty (plnivo, spojivo) za vzniku vzduchových pórov a nerozmiešaných zhlukov plniva v ER. Vzniknutá nehomogenita materiálu má pravdepodobne za následok zníženie pevnosti v ťahu pri ohybe a tiež v tlaku namiešaných škárovacích hmôt. Predpokladá sa, že dôkladnejšou homogenizáciou jednotlivých zložiek hmoty, alebo plnením EP menším podielom plniva by sa mohli vlastnosti hmôt výrazne zlepšiť.

5.6.5. Zhrnutie výsledkov získaných z experimentálneho overenia

Najskôr sme stanovili na vytvorených vzorkách škárovacích hmôt objemové hmotnosti (OH) v polymerizovanom stave. Z výsledkov bolo zistené, že pridaním vyššieho množstva plniva do hmoty, OH stúpa. Dôvodom je, že plnivo použité pre plnenie polymérnej matrice malo vyššiu hustotu, ako samotná ER. Zo získaných výsledkov OH sa predpokladá, že druh plniva nemá zásadný vplyv na OH skúšaných škárovacích hmôt.

Z výsledkov pevností v ťahu pri ohybe a v tlaku bolo vidieť, že pridaním vyššieho množstva plniva do škárovacej hmoty, obe pevnosti poklesli. Dôvodom je pravdepodobne to, že pridaním vyššieho množstva plniva do ER sa stávajú čiastočky plniva nedokonalejšie obalenými polymérnou matricou. Vzniká tak slabá kontaktná zóna na rozhraní plnivo/spojivo, čo je dôsledkom podstatného oslabenia tohto materiálu — materiál vykazuje horšie mechanické vlastnosti. Ako najvhodnejšie sa teda z tohto dôvodu javí plnenie polymérnej matrice s pridaním 20 % plniva v podobe solidifikátu. Z výsledkov pevností bolo tiež zrejmé, že druh použitého plniva (solidifikátu) nemá zásadný vplyv na pevnosť v ťahu pri ohybe, ani na pevnosť v tlaku vyvinutých hmôt.

Porovnaním výsledkov pevností v ťahu pri ohybe a v tlaku vyvinutých škárovacích hmôt s hodnotami referenčných hmôt je vidieť, že nami vyvinuté škárovacie hmoty vykazujú nižšie pevnosti v ťahu pri ohybe a pevnosti v tlaku, než je priemer týchto vlastností referenčných škárovacích hmôt. Získanie nižších pevností skúšaných škárovacích hmôt bolo zrejme spôsobené nedokonalou homogenizáciou jednotlivých zložiek hmoty, za vzniku vzduchových pórov a nerozmiešaných zhlukov plniva v ER. Vzniknutá nehomogenita materiálu má pravdepodobne za následok zníženie pevnosti v ťahu pri ohybe a tiež v tlaku škárovacích hmôt.

6. ZÁVER

Na základe teoretických poznatkov získaných z odbornej literatúry bola navrhnutá nová polymérna škárovacia hmota s využitím druhotných surovín a upravených nebezpečných odpadov (NO) pre zvýšené chemické namáhanie.

V I. etape tejto práce boli definované normové požiadavky pre škárovacie hmoty na polymérnej (RG) a na cementovej báze (CG) podľa príslušnej technickej normy. Ďalej boli podľa patričných technických noriem definované normové skúšobné postupy jednotlivých skúšok pre škárovacie hmoty. Definovaním typov expozičného prostredia bolo následne spresnené, v akom prostredí budú pravdepodobne navrhované škárovacie hmoty používané a akej miere zvýšeného agresívneho prostredia budú musieť odolávať.

V II. etape boli navrhnuté a charakterizované vhodné polymérne spojivá pre prípravu novej škárovacej hmoty s obsahom NO. Ako najvhodnejšia pre toto použitie bola vybraná epoxidová živica (ER) EŠH1, epoxidová živica bola vybratá hlavne kvôli jej vynikajúcim vlastnostiam, ktorými sú hlavne: dokonalá vodotesnosť, vynikajúca prídržnosť k rôznym typom povrchov, vysoká mechanická a hlavne chemická odolnosť. V ďalšom kroku tejto etapy boli definované vhodné plnivá pre prípravu škárovacej hmoty. Pri výbere vhodných plnív bol kladený veľký dôraz na využitie takých vstupných surovín, ktoré boli vyrobené progresívnymi technológiami za účelom zníženia ekologickej stopy, či už finálneho produktu, alebo tiež samotných čiastkových výrobných procesov. Vhodné plnivá do škárovacej hmoty boli vyberané spomedzi druhotných surovín a nebezpečných odpadov (NO), pričom vybrané druhotné suroviny boli vyberané tak, aby mohli slúžiť ako solidifikačné činidlo pre efektívnu solidifikáciu vhodného NO. Spomedzi NO vyšlo ako najvhodnejšie plnivo end-produkt zo spaľovania TKO, ktoré malo ideálnu granulometriu, bolo v úplne vysušenom stave, čiže pred samotnou solidifikáciou ho nebolo potrebné nijakým spôsobom upravovať. Spomedzi druhotných surovín vyšlo ako najvhodnejšie plnivo, pomocou ktorého by bolo možné solidifikovať vybraný NO, fluidný filtrový popolček kontaminovaný vplyvom denitrifikačnej (DeNOx) technológie SNCR z tepelnej elektrárne Kladno. Oba vybrané materiály vykazujú ideálnu granulometriu a sú v sypkom stave, preto sa javí ako najvhodnejšia technológia solidifikácie homogenizácia v suchom stave.

V III. etape boli navrhnuté a vybraté najvhodnejšie možnosti predúpravy NO vhodnou technológiou solidifikácie s použitím solidifikačného činidla v podobe fluidného filtrového popolčeka. Pri výbere najvhodnejšej technológie solidifikácie bol kladený dôraz hlavne na to, aby vzniknuté solidifikáty bolo možné úspešné využiť v podobe plnív do navrhovanej škárovacej hmoty pre splnenie príslušných požiadaviek. Ako dve najvhodnejšie technológie predúpravy NO (end-produktu) boli vybrané:

technológia solidifikácie NO formou granulácie s pridaním vybranej druhotnej suroviny v podobe solidifikačného činidla (fluidný filtrový popolček Kladno), ako druhá bola vybraná technológia solidifikácie formou suchej homogenizácie NO s rovnakým solidifikačným činidlom.

V IV. etape bolo navrhnutých šesť rôznych receptúr pre základné overenie škárovacích hmôt. Všetkých šesť receptúr bolo navrhnutých s vybranou spojivovou zložkou — ER, ako plnivo bolo pre prvé tri receptúry vybrané plnivo vzniknuté solidifikáciou NO formou granulovania, a pre ďalšie tri receptúry bolo navrhnuté plnivo vzniknuté solidifikáciou NO formou suchej homogenizácie. Receptúry boli navrhnuté s rôznym obsahom solidifikovaného NO, pričom tá najekologickejšia bola označená EKO-A⁺⁺⁺.

Overenie vlastností navrhnutých receptúr pre prípravu vyvíjanej škárovacej hmoty bolo overené v experimentálnej časti tejto práce. Prvým krokom tejto etapy bola predúprava vybratých plnív oboma navrhnutými technológiami solidifikácie. Na oboch navrhnutých plnivách bola vykonaná skúška vylúhovateľnosti. Z výsledkov skúšky bolo zrejmé, že solidifikáciou NO oboma navrhnutými spôsobmi došlo k výraznému zníženiu vylúhovateľnosti niektorých kontaminantov. Výraznejšie sa znížila vylúhovateľnosť kontaminantov, v porovnaní s hodnotami vylúhovateľnosti neupraveného NO, pri plnive vzniknutom solidifikáciou NO formou granulovania, pretože boli pevne zainkorporované do silikátovej matrice. Táto predúprava plniva sa teda javí ako účinnejšia, v porovnaní s technológiou solidifikácie NO formou suchej homogenizácie, avšak je technologicky náročnejšia.

V ďalšom kroku sa prešlo k samotnej príprave vzoriek škárovacích hmôt a následnému stanoveniu základných fyzikálno-mechanických vlastností škárovacích hmôt. Na základe posúdenia výsledkov boli vyvinuté škárovacie hmoty porovnané s referenčnými — v súčasnosti na trhu dostupnými hmotami. Vyvinuté škárovacie hmoty vykazovali o niečo nižšie pevnosti v ťahu pri ohybe a v tlaku, než bol priemer týchto vlastností referenčných škárovacích hmôt. Pevnosť v ťahu pri ohybe navrhnutých hmôt bola v priemere 24,3 N/mm² (referenčné hmoty 33,3N/mm²) a pevnosť v tlaku bola 48,8 N/mm² (referenčné hmoty 61,5N/mm²). Dôvodom je pravdepodobne to, že pridaním vyššieho množstva plniva do ER sa stávajú čiastočky plniva nedokonalejšie obalenými polymérnou matricou. Vzniká slabá kontaktná zóna na rozhraní plnivo/spojivo, čo je dôsledkom podstatného oslabenia tohto materiálu, materiál vykazuje horšie mechanické vlastnosti. Ako najvhodnejšie sa teda z tohto dôvodu javí plnenie polymérnej matrice len s pridaním plniva v množstve 20 % (EKO-A⁺).

Zásadným prínosom navrhnutých škárovacích hmôt s použitím vhodných druhotných surovín a NO, ako progresívnych plnív, je skutočnosť, že sú z ekologického

a ekonomického hľadiska podstatne výhodnejšie, oproti referenčným hmotám, využívajúcim iba primárne suroviny. Použitím plniva získaného vhodnou technológiou solidifikácie NO nielenže šetríme životné prostredie, ale tiež šetríme náklady na výrobu polymérnych škárovacích hmôt. Vhodnou predúpravou a následným využívaním NO zamedzujeme drahému a často krát náročnému skládkovaniu NO. Použitím predupraveného NO do týchto hmôt v podobe plniva taktiež zamedzujeme používaniu primárnych surovín (najčastejšie kremičitého piesku), čím sa nielenže šetrí náklady na výrobu hmôt, ale sa aj zamedzuje ťažbe tejto primárnej suroviny, čo je z ekologického hľadiska rovnako veľmi pozitívne.

Navrhnutá a experimentálne overená škárovacia hmota na polymérnej báze s obsahom druhotných surovín a NO je úplne novým druhom škárovacej hmoty. V rámci laboratórneho overenia bolo taktiež potvrdené, že vykazuje širokú radu vynikajúcich vlastností. Medzi tie najvýznamnejšie patria: vysoká pevnosť v ťahu pri ohybe a pevnosť v tlaku, optimálna konzistencia pre škárovanie rôznych typov škár, vynikajúcu prídržnosť k tavenému čadiču, a to aj napriek tomu, že v nej bolo použité pomerne veľké množstvo NO (7,5 %) a druhotných surovín (90 %).

Táto škárovacia hmota sa bude používať predovšetkým pre škárovanie prvkov z taveného čadiča, z prírodného kameňa, a tiež na škárovanie keramických dlažobných a obkladových prvkov. Škárovanie dlažieb z taveného čadiča bolo úspešne odskúšané aj v rámci experimentálneho overenia (viď. Obr. 35, 36). Použitie tejto hmoty bude pravdepodobne možné ako v exteriéry, tak aj v interiéry, avšak dlhodobú trvanlivosť tejto novej škárovacej hmoty bude potrebné ešte overiť. Taktiež bude vhodná pre použitie do objektov s trvalo vlhkým prostredím a s trvalým namáhaním vplyvom vysoko agresívneho chemického namáhania, pretože sa predpokladá, že použité plnivo v podobe solidifikátu by nijakým výrazným spôsobom nemalo ovplyvniť deklarovanú vynikajúcu chemickú odolnosť použitej epoxidovej živice.

7. ZOZNAMY

7.1. Zoznam použitej literatúry

- [1] ČSN EN 13888. *Spárovací malty a lepidla pro keramické obkladové prvky — Definice a specifikace*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [2] Potravináři. NARIADENIE KOMISIE (EÚ) č. 1357/2014 z 18. decembra 2014, ktorým sa nahrádza príloha III k smernici Európskeho parlamentu a Rady 2008/98/ES o odpade a o zrušení určitých smerníc. In: *potravinari.sk* [online]. [cit. 5.3.2018]. Dostupné z: http://www.potravinari.sk/files/EU_1357-2014_PRILOHA_III_ODPAD.pdf
- [3] Zákon č.185/2001 Sb. ze dne 15. května 2001, o odpadech a o změně některých dalších zákonů.
- [4] HARRISON, Don. *The grouting handbook: a step-by-step guide for foundation design and machinery installation (Second edition). A Step-by-step Guide* [online]. Elsevier. 14. June 2013, 28, 57—68 [cit. 3.3.2018]. ISBN: 978-0-12-416585-4. Dostupné prostřednictvím Science Direct z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416585-4.00003-1>
- [5] MAPEI. Ultracolor Plus. Škárovacia malta, modifikovaná polymérmi, s rýchlym tvrdnutím a vysychaním, bez tvorby výkvetov, na výplň škár šírky 2-20 mm, hydrofóbná vďaka systému DropEffect® a s protiplesňovou technológiou Bioblock®. In: *mapei.sk* [online]. [cit. 5.3.2018]. Dostupné z: http://www.mapei.com/public/SK/products/2801_Ultracolor%20Plus_sk.pdf
- [6] BODNÁROVÁ, Lenka. *Kompozitní materiály ve stavebnictví*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 80-214-2266-1.
- [7] JUŘIČKA, Viktor. *Vývoj polymerního reprofilačního materiálu*. Brno, 2016. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Rostislav DROCHYTKA.
- [8] Eutit. Potrubí z čediče nebo eucoru. Potrubí. In: *eutit.cz* [online]. [cit. 5.3.2018]. Dostupné z: <https://www.eutit.cz/clanky-potrub.html#&gid=1&pid=11>
- [9] Houzz. Epoxy vs. Cement Grout — What's the Difference? In: *houzz.com* [online]. [cit. 5.3.2018]. Dostupné z: <https://www.houzz.com/ideabooks/15323992/list/epoxy-vs-cement-grout-whats-the-difference>
- [10] BÍNA, Tomáš. *Prověření možnosti transformace nebezpečného odpadu v nový materiál*. Brno, 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Rostislav DROCHYTKA.

- [11] Chemické listy. Chemická stabilizace nebezpečných složek v průmyslových odpadech. In: *chemicke-listy.cz* [online]. [cit. 5.3.2018]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1998_10_789-793.pdf
- [12] HŘIVNOVÁ, Pavla. *Optimalizace solidifikační receptury pomocí vícefaktorové regresní analýzy*. Zlín, 2016. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická. Ústav inženýrství ochrany životního prostředí. Vedoucí práce Vratislav BEDNAŘÍK.
- [13] JUŘIČKA, Viktor. *Vývoj polymerních správkových hmot s využitím druhotných surovin*. Brno, 2018. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Rostislav DROCHYTKA.
- [14] KLOČUREK, Vladimír, Jan NEUSTUPNÝ a Jiří VALENTA. *EUTIT®: kámen nad ocel : 60 let výroby taveného čediče ve Staré Vodě = stone oversteel : 60 years of cast basalt production in Stará Voda*. Stará Voda: EUTIT, 2011. ISBN 978-80-270-0490-4.
- [15] Eutit. Čedičová kanalizace. Kanalizace. In: *eutit.cz* [online]. [cit. 8.3.2018]. Dostupné z: <https://www.eutit.cz/clanky-kanalizace.html#&gid=1&pid=12>
- [16] Eutit. Interierové dlažby. Interiérové podlahy. In: *eutit.cz* [online]. [cit. 8.3.2018]. Dostupné z: <https://www.eutit.cz/interierove-dlazby.html#&gid=1&pid=21>
- [17] ČERNÝ, Pavel. *Kompozit s vysokým podílem druhotných surovin a taveného čediče*. Brno, 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Rostislav DROCHYTKA.
- [18] Eutit. Žlaby a tvarovky. Stokové zlaby, bočnice, kruhové segmenty a další tvary. In: *eutit.cz* [online]. [cit. 8.3.2018]. Dostupné z: <https://www.eutit.cz/zlaby-a-tvarovky.html#&gid=1&pid=1>
- [19] Eutit. Interierové dlažby. Interiérové podlahy. In: *eutit.cz* [online]. [cit. 8.3.2018]. Dostupné z: <https://www.eutit.cz/interierove-dlazby.html#&gid=1&pid=3>
- [20] Enviro - edu. Odpadové vody: Spôsoby čistenia a úpravy vôd. In: *enviro-edu.sk* [online]. [cit. 10.3.2018]. Dostupné z: http://www.enviro-edu.sk/?page=environmentalne_problemy/odpadove_vody
- [21] Vodovody a kanalizace Hodonín. Kanalizační řád stokové sítě města ŽDÁNICE. In: *vak-hod.cz* [online]. [cit. 13.3.2018]. Dostupné z: http://www.vak-hod.cz/vak/zakaznickeCentrum/kanalizacni_rady/KR_Zdanice.pdf
- [22] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-708-0617-6.
- [23] LIDAŘÍK, Miloslav. *Epoxidové pryskyřice*. 3. vyd., přeprac. a rozš. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1983.
- [24] DROCHYTKA, Rostislav. *Plastické látky ve stavebnictví*. Brno: CERM, 1998. ISBN 80-214-1148-1.

- [25] Chejn. Křemičité písky DORSILIT. In: *chejn.cz* [online]. [cit. 26.3.2018]. Dostupné z: http://www.chejn.cz/pdf/1_dorsilit.pdf
- [26] VACENOVSKÁ, Božena. *Solidifikace nebezpečných odpadů*. Brno, 2012. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Rostislav DROCHYTKA.
- [27] Ministerstvo průmyslu a obchodu. Definice druhotné suroviny – výňatek z návrhu nového zákona o odpadech. In: *mpo.cz* [online]. [cit. 15.4.2018]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/politika-druhotnych-surovin-cr/2016/12/Priloha-3_Definice-Druhotna-surovina.pdf
- [28] ČSN EN 12808-1. *Lepidla a spárovací malty pro keramické obkladové prvky – Část 1: Stanovení chemické odolnosti malt na bázi reaktivních pryskyřic*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [29] ČSN EN 12808-2. *Lepidla a spárovací malty pro keramické obkladové prvky - Část 2: Stanovení otěruvzdornosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [30] ČSN EN 12808-3. *Lepidla a spárovací malty pro keramické obkladové prvky - Část 3: Stanovení pevnosti v ohybu a v tlaku*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [31] ČSN EN 12808-4. *Lepidla a spárovací malty pro keramické obkladové prvky - Část 4: Stanovení smrštění*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [32] ČSN EN 12808-5. *Lepidla a spárovací malty pro keramické obkladové prvky - Část 5: Stanovení nasákavosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [33] Ceresit. CM 79 UltraPox Color. Epoxidová spárovací hmota a lepidlo. In: *ceresit.cz* [online]. [cit. 26.3.2018]. Dostupné z: <http://www.ceresit.sk/content/dam/uac/ceresit/slovakia/dokumentykestazeni/ce79/ceresit-ce79-ce80-tl.pdf>
- [34] Ceresit. CM 74 UltraPox FIX. Epoxidové lepidlo a spárovací hmota. In: *ceresit.cz* [online]. [cit. 26.3.2018]. Dostupné z: <http://www.ceresit.cz/content/dam/uac/ceresit/czech-republic/Produkty/Lepeni--sparovani--utesnovani/epoxidove/CM-74/ceresit-cm-74-technicky-list..pdf>
- [35] MAPEI. Kerapoxy IEG. Two-component, extremely high chemical resistance epoxy grout for tile joint at least 3 mm wide. In: *mapei.com* [online]. [cit. 26.3.2018]. Dostupné z: http://www.mapei.com/public/COM/products/148_kerapoxyieg_gb.pdf

- [36] MAPEI. Kerapoxy SP. Three-component epoxy grout with high chemical resistance for grouting joints with a minimum width of 5 mm. In: *mapei.com* [online]. [cit. 26.3.2018]. Dostupné z: http://www.mapei.com/public/COM/products/142_Kerapoxy_SP_gb.PDF
- [37] Technokolla. Epostuk. 11/12 107. In: *technokolla.cz* [online]. [cit. 26.3.2018]. Dostupné z: <http://www.technokolla.cz/upload/epostuk.pdf>
- [38] Technokolla. Skycolors. 11/12 197. In: *technokolla.cz* [online]. [cit. 26.3.2018]. Dostupné z: <http://www.technokolla.cz/upload/skycolors.pdf>
- [39] Technokolla. Skycolors evolution. Draft 232. In: *technokolla.cz* [online]. [cit. 26.3.2018]. Dostupné z: http://www.technokolla.cz/upload/skycolors-evolution_cz.pdf
- [40] Eutit. EUFIX EP-JF. Chemicky odolná spárovací malta z tvrditelných pryskyřic. In: *eutit.cz* [online]. [cit. 26.3.2018]. Dostupné z: https://www.eutit.cz/files/ke_stazeni/eufix_ep-jf.pdf
- [41] Eutit. EUFIX EP-JF1. Epoxidová spárovací hmota s vylepšenou zpracovatelností. In: *eutit.cz* [online]. [cit. 26.3.2018]. Dostupné z: https://www.eutit.cz/files/ke_stazeni/eufix-ep-jf1.pdf
- [42] MAPEI. Kerapoxy. Dvojsložková, kyselinovzdorná, epoxidová škárovacia malta (dostupná v 29 farbách) pre šírku škáry min. 3 mm. môže byť tiež použitá ako lepidlo. In: *mapei.sk* [online]. [cit. 26.3.2018]. Dostupné z: http://www.mapei.com/public/SK/products/141_Kerapoxy_sk.pdf
- [43] MAPEI. Kerapoxy Design. Dvojsložková dekoratívna kyselinovzdorná epoxidová škárovacia malta (dostupná v 15 farbách), ideálna na sklenené mozaiky, s možnosťou použitia ako lepidlo. In: *mapei.sk* [online]. [cit. 26.3.2018]. Dostupné z: http://www.mapei.com/public/SK/products/149_Kerapoxy%20Design_sk.pdf
- [44] MAPEI. Kerapoxy P. Two-component, acid resistant epoxy mortar for joints wider than 3 mm, easy to apply and easy to clean. In: *mapei.com* [online]. [cit. 26.3.2018]. Dostupné z: http://www.mapei.com/public/COM/products/146_kerapoxyp_gb.pdf
- [45] isomat. MULTIFILL-EPOXY GLITTER. 2-component, decorative epoxy grout. In: *isomat.gr* [online]. [cit. 26.3.2018]. Dostupné z: <https://www.isomat.gr/wp-content/uploads/2015/12/e-MULTIFILL-EPOXY-GLITTER.pdf>
- [46] Ceresit. CE 44. Vodotesná, chemicky odolná škárovacia hmota. In: *ceresit.sk* [online]. [cit. 26.3.2018]. Dostupné z: <http://www.ceresit.sk/content/dam/uac/ceresit/slovakia-thor/Produkty/Lepenie--k-rovanie-obkladov-/3-Epoxidove-skarovacie-hmoty/CE-44/ceresit-ce44-tl.pdf>

[47] Ceresit. CE 43 Grand'Elit. Flexibilní spárovací hmota se zvýšenou chemickou a mechanickou odolností. In: *ceresit.cz* [online]. [cit. 26.3.2018]. Dostupné z: <http://www.ceresit.cz/content/dam/uac/ceresit/czech-republic/Produkty/Lepeni--sparovani--utesnovani/2-Sparovaci-hmoty/CE-43-/CE43.pdf>

7.2. Zoznam použitých skratiek

BET — BET izoterma (adsorpčná izoterma BET) podľa: Brunauer, Emmett, Teller

C — Cement

CG — Cementová škárovacia malta (Cement grout)

ČR — Česká republika

DENOX — Zariadenie na obmedzovanie emisií oxidov dusíka

DOC — Rozpustený organický uhlík (Dissolved organic carbon)

ER — Epoxidová živica (Epoxy resin)

EÚ — Európska únia

KP — Kremičitý piesok

MP — Minerálne plnivo

MS — Minerálny substrát

NO — Nebezpečný odpad

N/A — Neuvedené

OH — Objemová hmotnosť

PE — Polyetylén

PM — Polymérna modifikácia

PU — Polyuretánová živica

RG — Škárovacia malta na polymérnej báze (Reaction resin grout)

RL — Celkové rozpustené látky

SNCR — Systém pre kontrolu oxidov dusíka — NO_x (System for NO_x Control)

SR — Slovenská republika

STOT — Toxický pre špecifický cieľový orgán (Specific target organ toxicity)

S/S — Stabilizácia/Solidifikácia

TKO — Tuhý komunálny odpad

UP — Polyesterová živica

VE — Vinylesterová živica

ZŽ — Strata žíhaním

7.3. Zoznam tabuliek

Tabuľka č.1: Vlastnosti najčastejšie používaných organických matric používaných pre časticové kompozity [6]	16
Tabuľka č.2: Vlastnosti, pre ktoré sa odpad považuje za nebezpečný [2].....	20
Tabuľka č.3: Chemické zloženie taveného čadiča [14]	25
Tabuľka č.4: Prehľad vlastností reprezentatívnych materiálov s vysokou odolnosťou proti obrusovaniu [14]	27
Tabuľka č.5: Normové vlastnosti chemicky odolných škárovacích hmôt na báze epoxidových živíc dostupných na trhu [33—45].....	35
Tabuľka č.6: Iné vlastnosti chemicky odolných škárovacích hmôt na báze epoxidových živíc dostupných na trh uvedených v Tab. č. 5 [33—45]	36
Tabuľka č.7: Normové vlastnosti chemicky odolných škárovacích hmôt na silikátovej báze [46, 47]	37
Tabuľka č.8: Iné vlastnosti chemicky odolných škárovacích hmôt na silikátovej báze uvedených v Tab. č. 7 [46,47]	37
Tabuľka č.9: Normové požiadavky na škárovacie hmoty na polymérnej báze	38
Tabuľka č.10: Normové požiadavky na cementové škárovacie malty podľa [1]	39
Tabuľka č.11: Doplnkové vlastnosti pre cementové škárovacie hmoty, ktoré môžu byť požadované pri používaní v zvláštnych podmienkach podľa [1]	39
Tabuľka č.12: Chemické zloženie vysokoteplotného filtrového popolčeka Nováky	48
Tabuľka č.13: Chemické zloženie fluidného filtrového popolčeka Kladno	49
Tabuľka č.14: Chemické zloženie teplárenskej trosky Oslavany	50
Tabuľka č.15: Vlastnosti a chemické zloženie zlievarenského piesku čierneho.....	51
Tabuľka č.16: Vlastnosti a chemické zloženie odpadného autoskla zo skládky Frýdecká skládka, a. s.	52

Tabuľka č.17: Výsledky skúšky vylúhovateľnosti vybraného NO — end-produktu.....	53
Tabuľka č.18: Výsledky skúšky vylúhovateľnosti NO — filtrový popolček zo spaľovania nebezpečných odpadov zo zdravotníctva	54
Tabuľka č.19: Výsledky skúšky vylúhovateľnosti vykonané na NO — škvára zo spaľovania TKO.....	55
Tabuľka č.20: Výsledky skúšky vylúhovateľnosti vykonané na NO — kal z procesu ťahania drôtu.....	55
Tabuľka č.21: Druhotné suroviny a nebezpečné odpady vybrané pre optimalizačný výpočet.....	56
Tabuľka č.22: Vybrané kritéria hodnotenia druhotných surovín a NO	56
Tabuľka č.23: Rozhodovacia matica	57
Tabuľka č.24: Fullerov trojuholník.....	57
Tabuľka č.25: Výpočet váhy	57
Tabuľka č.26: Výpočtová matica (metóda párového zrovnania).....	58
Tabuľka č.27: Receptúry pre prípravu škárovacej hmoty s použitím plniva vzniknutého granulovaním	60
Tabuľka č.28: Receptúry pre prípravu škárovacej hmoty s použitím plniva vzniknutého suchou homogenizáciou	61
Tabuľka č.29: Suroviny použité pri predúprave NO formou granulovania	61
Tabuľka č.30: Výsledky zo sitového rozboru granúl vytvorených pri predúprave NO formou granulovania.....	62
Tabuľka č.31: Vypočítané hodnoty sypnej hmotnosti vytvorených granúl.....	64
Tabuľka č.32: Suroviny použité pri predúprave NO formou suchej homogenizácie.....	66
Tabuľka č.33: Percentuálne zastúpenie surovín pre predúpravu NO formou suchej homogenizácie	66
Tabuľka č.34: Výsledky skúšky vylúhovateľnosti vykonanej na použitých plnivách (solidifikátoch).....	67
Tabuľka č.35: Receptúry pre prípravu vzoriek škárovacích hmôt	68
Tabuľka č.36: Chemické zloženie jednotlivých zložiek polymérneho spojiva EŠH1	68
Tabuľka č.37: Výsledky skúšok objemovej hmotnosti, pevnosti v ťahu pri ohybe a pevnosti v tlaku	71
Tabuľka č.38: Prehľad priemerných pevností škárovacích hmôt referenčných a vyvinutých	75

7.4. Zoznam obrázkov

Obrázok č.1: Nanášanie škárovacej hmoty pomocou gumovej stierky [5]	15
Obrázok č.2: Čistenie škár po dostatočnom zatuhnutí [5]	15
Obrázok č.3: Finálne dočistenie škár s použitím tvrdej celulózovej špongie [5].....	15
Obrázok č.4: Nanášanie škárovacej hmoty na stenu s gumovou stierkou [5]	18
Obrázok č.5: Čistenie škár po čiastočnom zatuhnutí [5]	18
Obrázok č.6: Čistenie a finálne dočistenie škár na stenách s použitím špongie [5].....	18
Obrázok č.7: Obkladové prvky na stene vyškárované so škárovacou hmotou [5]	18
Obrázok č.8: Obloženie prepadovej hrany výrobkami z taveného čadiča v kanalizačnej stoke [15]	28
Obrázok č.9: Obklad ochladzovacieho bazéna z taveného čadiča [16].....	28
Obrázok č.10: Čadičové T-kusy po vyrobení [8]	29
Obrázok č.11: Vajcovitý žľab kanalizácie z taveného čadiča [18].....	30
Obrázok č.12: Obklad z taveného čadiča v potravinárskej prevádzke [19].....	30
Obrázok č.13: Zariadenie na stanovenie odolnosti proti obrusovaniu podľa [29]	40
Obrázok č.14: Merací prístroj pre stanovenie zmraštenia podľa [31]	42
Obrázok č.15: Distribúcia veľkosti častíc vysokoteplotného denitrifikovaného filtrového popolčeka Nováky	48
Obrázok č.16: Vysokoteplotný filtrový popolček Nováky	48
Obrázok č.17: Distribúcia veľkosti častíc fluidného filtrového popolčeka Kladno	49
Obrázok č.18: Fluidný filtrový popolček Kladno.....	50
Obrázok č.19: Zlievarenský piesok čierny	51
Obrázok č.20: Odpadné autosklo	52
Obrázok č.21: Distribúcia veľkosti častíc end-produktu zo spaľovania TKO	53
Obrázok č.22: End-produkt zo spaľovania TKO(odobraný 9. 3. 2018)	53
Obrázok č.23: Granulovanie zmesi na granulačnom tanieri	62
Obrázok č.24: Vzniknuté granule (solidifikát) na granulačnom tanieri.....	62
Obrázok č.25: Odobratie vzniknutých granúl (solidifikátu).....	62
Obrázok č.26: Zostatky granúl na jednotlivých sitách po stanovení zrnitosti sitovým rozborom.....	63

Obrázok č.27: Krivky zrnitosti jednotlivých zmesí vytvorených granúl pri predúprave NO formou granulovania.....	63
Obrázok č.28: Váženie nádoby naplnenej frakciou granúl 4—8 mm pre stanovenie sypnej hmotnosti.....	64
Obrázok č.29: Distribúcia veľkosti častíc pomletých granúl.....	65
Obrázok č.30: Plnenie mlecej nádoby vibračného mlyna granulami solidifikátu	65
Obrázok č.31: Suchá homogenizácia dvoch rôznych zmesi NO s fluidným filtrovým popolčekom.....	66
Obrázok č.32: Plnenie formy namiešanou hmotou	69
Obrázok č.33: Naplnená forma namiešanou hmotou.....	69
Obrázok č.34: Hrúbka škáry dlaždíc z taveného čadiča — 4 mm.....	69
Obrázok č.35: Zaškárované dlaždice vytvorenou škárovacou hmotou.....	69
Obrázok č.36: Detail zaškárovanej dlaždice vytvorenou škárovacou hmotou	70
Obrázok č.37: Vzorky škárovacích hmôt v polymerizovanom stave	70
Obrázok č.38: Graf závislosti objemovej hmotnosti na jednotlivých škárovacích hmotách	71
Obrázok č.39: Zaťažovanie vzorky trojbodovým ohybom.....	72
Obrázok č.40: Porušenie vzorky po zaťažovaní trojbodovým ohybom.....	72
Obrázok č.41: Lomová plocha hmoty s pridaním 40 % plniva z granulácie	72
Obrázok č.42: Graf závislosti pevnosti v ťahu pri ohybe na jednotlivých škárovacích hmotách	73
Obrázok č.43: Zaťažovanie skúšobnej vzorky tlakom	74
Obrázok č.44: Porušenie vzorky po zaťažovaní tlakom.....	74
Obrázok č.45: Graf závislosti pevnosti v tlaku na jednotlivých škárovacích hmotách...	74