



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 CHEMICKY ODOLNÝCH NÁTĚROVÝCH
HMOT S VYUŽITÍM DRUHOTNÝCH SUROVIN I
NEBEZPEČNÝCH ODPADŮ**

DESIGN OF SPECIAL COATINGS USING SECONDARY RAW MATERIALS AND HAZARDOUS
WASTE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ŠÁRKA STODOLOVSKÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**prof. Ing. ROSTISLAV DROCHYTKA, CSc.,
MBA**

BRNO 2019



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	Šárka Stodolovská
Název	Návrh chemicky odolných nátěrových hmot s využitím druhotných surovin i nebezpečných odpadů
Vedoucí práce	prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Datum zadání	30. 11. 2018
Datum odevzdání	24. 5. 2019

V Brně dne 30. 11. 2018

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

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

[1] ČSN EN 1504-2 – Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody - Část 2: Systémy pro povrchovou ochranu.

[2] RUIZ, M.M., CAVAILLÉ, J.Y., DUFRESNE, A., GRAILLAT, C., GÉRARD, J. New waterborne epoxy coatings based on cellulose nanofillers. *Macromol. Symp.* (169), 2001. pp. 211-222.

[3] PASCAULT, Jean-Pierre, WILIAMS, R.J.J., eds. *Epoxy Polymers: New Materials and Innovations*. Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2010. ISBN 09783527324804

[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 budou navrženy a experimentálně ověřeny dva typy chemicky odolných nátěrových hmot využívajících plniv na bázi druhotných surovin, včetně nebezpečných odpadů, a to jak kvalitativní úrovně PREMIUM, tak ECOLOGY. Při návrhu nátěrového systému PREMIUM bude kladen důraz primárně na chemickou odolnost a funkční parametry, a u nátěru ECOLOGY bude sledována také ekologická náročnost použitých surovin. Tato práce zabývající se aktuální problematikou v praxi je součástí projektu vědy a výzkumu. Rozsah práce bude 40 až 50 stran.

1. V teoretické části práce přehledně zpracujte dostupné poznatky z oblasti nátěrových hmot na silikátové a polymerní bázi. Zaměřte se především na nátěry se zvýšenou chemickou odolností, které je možné využít především v oblasti ochrany chemicky namáhaných stavebních objektů, jako jsou např. kanalizační stoky.
 2. Definujte požadavky a zkušební postupy dle patřičných norem a technických návodů pro použití nátěrových hmot v různém agresivním prostředí. Definujte typy a druhy expozičního prostředí, kde budou vyvíjené nátěry aplikovány, a zaměřte se také na způsob aplikace a předúpravu povrchu.
 3. Vyberte a blíže identifikujte vhodná polymerní pojiva a plniva (především druhotné suroviny a nebezpečné odpady), které se jeví jako vhodná, pro přípravu nátěrových hmot se zvýšenou chemickou odolností.
 4. Navrhněte a specifikujte technologii úpravy vybraných druhotných plniv, včetně vhodných práškových nebezpečných odpadů. Navrhněte optimální technologii solidifikace vybraných nebezpečných odpadů za účelem jejich efektivního dalšího využití jako plniv do polymerních nátěrových hmot, a to zejména u nátěru kvalitativní úrovně ECOLOGY.
 5. Na základě optimalizačního výpočtu vyberte vhodná plniva a vyberte nejvhodnější polymerní pojivo pro přípravu nátěrových hmot. Dále navrhněte prvotní receptury pro přípravu nátěrových hmot určených pro zvýšené chemické namáhání.
 6. Vytvořte metodiku základního zkoušení navržených receptur, a experimentálně proveďte vybrané receptury pomocí základních zkoušek pro nátěrové hmoty.
- Předpokládaný rozsah práce 40-50 stran.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Na základě teoretických poznatků získaných z odborné domácí a zahraniční literatury jsou navrženy a experimentálně ověřeny dva typy nátěrových hmot využívajících plniv na bázi druhotných surovin, včetně nebezpečných odpadů. Předpokládaným využitím navržených nátěrových systémů, jak kvalitativní úrovně PREMIUM, tak ECOLOGY, je ochrana stavebních konstrukcí, které jsou permanentně namáhány vlivem zvýšeného chemického namáhání. Při návrhu nátěrové hmoty PREMIUM je kladen důraz primárně na chemickou odolnost a funkční parametry, a u nátěru ECOLOGY je sledována také ekologická náročnost použitých surovin. V obou případech je důležité zachování příznivého poměru ceny a užitné hodnoty. Tato práce zabývající se aktuální problematikou v praxi je součástí projektu vědy a výzkumu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Nátěrová hmota, nebezpečný odpad, druhotná surovina, plniva, solidifikace, chemická odolnost

ABSTRACT

On the basis of theoretical knowledge gained from Czech and foreign technical literature, two types of coatings using fillers based on secondary raw materials, including hazardous waste, is designed and experimentally verified. The expected use of the proposed coating systems, both PREMIUM and ECOLOGY, is the protection of building structures that are permanently stressed by increased chemical stress. When designing the PREMIUM coating material, emphasis is primarily focused on chemical resistance and functional parameters, and the ecological performance of the raw materials used is monitored primarily with the ECOLOGY coating material. In both cases, it is important to maintain a favorable price / value ratio.

KEYWORDS

Coating material, hazardous waste, secondary raw material, fillers, solidification, chemical resistance

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Šárka Stodolovská *Návrh chemicky odolných nátěrových hmot s využitím druhotných surovin i nebezpečných odpadů*. Brno, 2019. 87 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 O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Návrh chemicky odolných nátěrových hmot s využitím druhotných surovin i nebezpečných odpadů* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 21. 5. 2019

Šárka Stodolovská
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Návrh chemicky odolných nátěrových hmot s využitím druhotných surovin i nebezpečných odpadů* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 21. 5. 2019

Šárka Stodolovská
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych velice ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Rostislavovi Drochytzkovi, CSc., MBA, za jeho cenné rady a odborné vedení. Zároveň bych velice ráda poděkovala Ing. Jakubovi Hodulovi, Ph.D. za čas, který mi věnoval během konzultací, za odborné a cenné rady a za vstřícný přístup.

Práce byla vypracována v rámci řešení projektu FV20303 „Progresivní polymerní hmoty s využitím druhotných surovin a nebezpečných odpadů do chemicky silně agresivního prostředí“.

OBSAH

ÚVOD	13
1 TEORETICKÁ ČÁST	14
1.1 Termíny a definice	14
1.2 Povrchové úpravy	15
1.3 Nátěrové hmoty	15
2 NÁTĚROVÉ HMOTY NA POLYMERNÍ BÁZI	18
2.1 Přehled některých nátěrových hmot dostupných na trhu	21
2.2 Plniva.....	22
2.3 Suroviny využitelné jako plniva	22
2.3.1 Primární suroviny	22
2.3.2 Odpadní suroviny	23
3 PŘEDÚPRAVA POVRCHU	23
3.1 Mechanická předúprava povrchu	24
3.2 Chemická předúprava povrchu.....	25
4 ZPŮSOBY APLIKACE NÁTĚROVÝCH HMOT	25
5 VADY NÁTĚRŮ	26
6 CHEMICKY AGRESIVNÍ VLIVY PŮSOBÍCÍ NA BETON	27
7 SOLIDIFIKACE/STABILIZACE NEBEZPEČNÝCH ODPADŮ	30
7.1 Solidifikační technologie	30
8 METODIKA PRÁCE	31
8.1 ETAPA I. : Požadavky a zkušební postupy pro nátěrové hmoty	31
8.2 ETAPA II.: Výběr vhodných plniv a pojiv pro výrobu nátěrových hmot odolných v chemicky agresivním prostředí.....	32
8.3 ETAPA III.: Optimalizace vhodných plniv a výběr vhodné technologie pro předúpravu těchto plniv	33
8.4 ETAPA IV.: Návrh prvotních receptur nátěrových hmot odolných v chemicky agresivním prostředí a návrh metodiky zkoušení	34
9 PRAKTICKÁ ČÁST	35
9.1 I. Etapa: Požadavky a zkušební postupy pro nátěrové hmoty	35
9.1.1 Identifikace agresivního prostředí	35
9.1.2 Definice základních normových a jiných požadavků na polymerní nátěrové hmoty.....	37
9.1.3 Specifikace základních požadavků	37
9.1.4 Předúprava betonového povrchu	40
9.1.5 Aplikace ochranného nátěru	41
9.2 II. ETAPA: Výběr vhodných plniv a pojiv pro výrobu nátěrových hmot odolných v chemicky agresivním prostředí.....	43

9.2.1	Definice vhodných plniv	43
9.2.1.1	Primární plniva	44
9.2.1.2	Plniva na bázi druhotných surovin	44
9.2.1.3	Plniva na bázi nebezpečných odpadů	50
9.2.2	Definice vhodných pojiv	53
9.3	III. Etapa: Předúprava a výběr vhodných druhotných surovin a nebezpečných odpadů	54
9.3.1	Optimalizační výpočet pro výběr vhodných plniv	54
9.3.1.1	Vyhodnocení optimalizace	57
9.3.2	Solidifikační technologie pro přípravu plniv ze solidifikátů	57
9.4	IV. Etapa: Návrh prvotních receptur nátěrových hmot odolných v chemicky agresivním prostředí a návrh metodiky zkoušení	58
9.4.1	Návrh receptur	58
9.4.1.1	Návrh hmoty ECONOMY	58
9.4.1.2	Návrh hmoty PREMIUM	59
9.4.2	Návrh metodiky zkoušení	60
9.4.3	Aplikační test.....	63
9.4.4	Tloušťka čerstvého filmu.....	66
9.4.5	Tahové vlastnosti	67
9.4.6	Tvrдость.....	69
9.4.7	Přilnavost	70
9.4.8	Odolnost proti úderu	71
9.4.9	Tloušťka zpolymerovaného nátěru	73
9.4.10	Stanovení chemické odolnosti.....	74
ZÁVĚR		76
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	79
11	SEZNAM OBRÁZKŮ	83
12	SEZNAM TABULEK	85
13	SEZNAM GRAFŮ.....	86
14	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	87

ÚVOD

V důsledku lidské činnosti vzniká v současnosti velké množství nebezpečných odpadů. Snaha dnešní doby je předcházení vzniku odpadů, avšak to není pochopitelně vždy možné, a proto je cílem směřovat k možným způsobům tyto nebezpečné odpady dále využívat a tím šetřit přírodní zdroje. K dalšímu využití je však nutné tyto nebezpečné odpady vhodnými technologiemi zbavit nebezpečných a škodlivých vlastností. Takto solidifikované a upravené nebezpečné odpady se mohou použít např. jako plniva do polymerních nátěrových hmot vystavených chemicky agresivnímu prostředí. Využití takto upravených odpadů v podobě plniva do chemicky odolných nátěrových hmot by mohlo být velmi ekologicky a ekonomicky výhodné. Cílem je však dosáhnout co nejjednodušší úpravy těchto nebezpečných odpadů.

Nátěrové hmoty navrhované v této práci jsou na polymerní bázi s využitím plniv na bázi druhotných a odpadních surovin.

1 TEORETICKÁ ČÁST

V teoretické části jsou zpracovány základní informace o nátěrových hmotách. Další část je zaměřena především na nátěry na polymerní bázi, a to kvůli jejich vysokým chemickým odolnostem. Dále zde nalezneme uplatnění druhotných surovin a nebezpečných odpadů v oblasti nátěrových hmot a jejich technologie úpravy pro výrobu plniv do polymerních nátěrů.

1.1 Termíny a definice

Nátěrová hmota – Hlavní součástí nátěrových hmot jsou filmtvorné látky. Nátěrové hmoty se aplikují ve stavu tekutém, gelovém, pastovitém až těstovitém v jedné nebo více vrstvách.

Nebezpečný odpad – Odpad je považován za nebezpečný, pokud vykazuje alespoň jednu z nebezpečných vlastností uvedených v nařízení č. 1357/2014

Solidifikace - fyzikální imobilizační mechanismus, během kterého dochází ke snižování toxicity odpadu díky vytvořeným fyzikálním bariérám, které znemožňují nebo zpomalují transport toxicity do prostředí. Vlivem solidifikace dochází k vytvoření pevné matrice ze směsi odpadu, pojiva či dalších přísad a vzniká pevné a monolitické těleso.

Stabilizace - chemický imobilizační mechanismus, kde dochází ke snižování chemické toxicity odpadu vlivem chemických reakcí mezi toxickou látkou v odpadu a pojivem, což vede k trvale omezenému vyluhování nebezpečných látek z odpadu. Při stabilizaci nemusí docházet ke zpevnění odpadu.

1.2 Povrchové úpravy

Mikrotrhliny a makropóry, které jsou na povrchu betonových konstrukcí, vytvářejí cestu k přepravě agresivních iontů do interiéru betonu. Jedná se zejména o průnik oxidu uhličitého a vody. Jednat se může však o celé spektrum dalších agresivních médií, záleží na expozici, ve které se betonová konstrukce nachází. Povrchové úpravy působí právě jako ochranná bariéra mezi agresivním prostředím a betonem. Základními druhy povrchových ochranných systémů jsou impregnace, hydrofobní impregnace a nátěry. [1]

1.3 Nátěrové hmoty

Hlavní součástí nátěrových hmot jsou filmotvorné látky. Nátěrové hmoty se aplikují ve stavu tekutém, gelovém, pastovitém až těstovitém, práškovém a na povrch konstrukce se nanášejí v jedné nebo více vrstvách. Tyto vrstvy vytvoří tuhý a pružný film tzv. nátěr. Vzhledem k nízkým nárokům na aplikační technologie a vzhledem k dostatečným ochranným vlastnostem jsou polymerní nátěry nejrozšířenější povrchovou úpravou. Podle účelu se nátěry rozdělují na ochranné, hygienické a estetické. [2]

Obecné rozdělení nátěrových hmot

Podle obsahu pigmentu a plniv:

- Transparentní
 - laky, fermeže, rozpouštědla
 - zanechávají průhledný film
- Pigmentové
 - email, barva, tmel
 - krycí funkce, kdy vytvoří neprůhledný a barevný film [2]

Podle počtu složek:

- Jednosložkové – k vytvrzování a zasychání dochází bez další složky
- Dvousložkové – k vytvrzování a zasychání potřebují další složku, např. tvrdidlo [2]

Podle použitých rozpouštědel:

- Rozpouštědlové – použití směsi organických rozpouštědel

- Vodou ředitelné – jedná se o nátěrové hmoty dispergovatelné ve vodě [2]

Podle počtu a tloušťky vrstev:

- Jednovrstvé
- Vícevrstvé
- Tenkovrstvé

Základní složky nátěrových hmot

Nátěrová hmota se skládá z řady kapalných, polotuhých či tuhých látek, nebo jejich směsí, roztoků a disperzí apod.

- Pojivo – disperze či roztok filmotvorných látek
- Pigmenty – dodávají nátěrům požadovaný barevný odstín, kryvost aj.
- Plnivo – zlepšují funkční a technologické vlastnosti a především snižují cenu nátěru
- Barvivo – probarvení za účelem dosažení požadované estetičnosti [2]

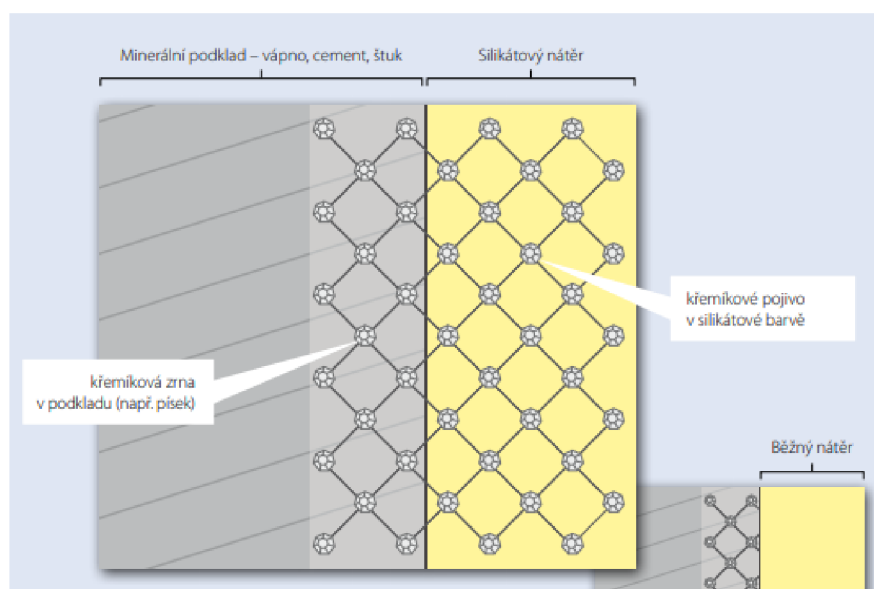
Rozdělení dle materiálové báze

- Nátěrové hmoty na silikátové bázi

Silikátové nátěrové hmoty se řadí mezi tzv. minerální nátěry, kam patří také vápenné a cementové nátěry. Minerální nátěry jsou takové nátěry, kde hlavním pojivem je anorganická látka. Pojivem silikátových nátěrů je nejčastěji draselné vodní sklo, méně často pak sodné či litné vodní sklo.[3]

Silikátové nátěrové hmoty se vyznačují zejména velmi nízkým difúzním odporem a velmi vysokou nasákavostí. Naopak mezi přednosti silikátových nátěrových hmot oproti jiným nátěrům např. na bázi akrylátových disperzí patří jejich chemická vazba ke křemičitým zrnům obsažených v podkladu. Velká část organických nátěrových hmot se k podkladu nejčastěji váže pouze fyzikálně. [3]

K chemické reakci mezi silikátovou nátěrovou hmotou a podkladem s křemičitými zrny dochází při chemické reakci vodního skla s oxidem uhličitým ze vzduchu v průběhu vytvrzování. [3]



Obr. č. 1: Chemická vazba silikátového nátěru k podkladu s křemičitými zrny.[4]

Vzhledem k tomu, že silikátové nátěrové hmoty nejsou odolné v chemicky agresivním prostředí vyskytující se zejména v kanalizačních stokách, kde se vyvíjené nátěrové hmoty plánují použít, bude práce dále zaměřena na nátěrové hmoty na polymerní bázi.

- Nátěrové hmoty na polymerní bázi

Ze skupiny polymerů se nejčastěji používají reaktoplasty ve formě pryskyřic s dvousložkovým charakterem. U polymerních nátěrů se jako pojivo používají tyto pryskyřice:

- epoxidové pryskyřice
- akrylátové pryskyřice
- polyuretanové pryskyřice
- silikonové pryskyřice

2 NÁTĚROVÉ HMOTY NA POLYMERNÍ BÁZI

Předností polymerních nátěrových hmot jsou především jejich vysoká chemická odolnost, výborná přilnavost k betonovému povrchu, odolnost vůči korozi a dobrá stabilita i při nízkých teplotách. Mezi další pozitivní vlastnosti patří dobré elektroizolační a dielektrické vlastnosti, nízká tepelná vodivost, vysoký stupeň plnění, vhodná viskozita, barevnost a dekorativnost.

Nátěry na bázi epoxidové pryskyřice

Epoxidové nátěrové hmoty se používají k ochraně betonu a oceli před chemickým a mechanickým napadením v exteriéru, interiéru nebo i v mořském prostředí. Epoxidové systémy se skládají ze dvou nebo tří složek, které po smíchání a aplikování chemicky reagují a vytvoří tak ochranný povlak s vysokou odolností, houževnatostí, výbornou přilnavostí a odolností proti nárazům. Oproti jiným pryskyřicím vynikají svou výbornou chemickou odolností. Epoxidové pryskyřice (EP) jsou reaktoplasty a vytvrzují se reakcí s tvrdidly. [5] [6]

Vytvrzování epoxidových pryskyřic:

Vytvrzené epoxidové pryskyřice (EP) mají vysokou přilnavost k betonovým povrchům. Mají velmi dobré elektroizolační a především chemické vlastnosti. V neposlední řadě výborně odolávají vodě, některým rozpouštědlům a roztokům alkálií a kyselin. Vytvrzují se pomocí tvrdidel. [7]

Metody pro vytvrzení EP jsou různé a to :

- polyadice probíhající na epoxidové skupině
- polykondenzace na přítomných hydroxylových skupinách
- polymerace epoxidových skupin

Nejvýznamnější je vytvrzování polyamidy a anhydridy polykarboxylových kyselin. [7]

Druhy tvrdidel:

- Polyaminy – Dovolují vytvrzovat EP za normálních teplot. Reakce s polyaminy probíhá za vzniku hydroxylové a sekundární aminoskupiny.

- Aby došlo ke vzniku sítě v produktu, je nutné, aby polyamin měl v molekule min. 3 atomy vodíku. Tyto polyaminy se používají zejména pro lepidla, tmely, nátěrové hmoty, licí podlahoviny a polymerbetony. [7]
- Polythioly – Vícefunkční polythiolové sloučeniny vytvrzující EP rovněž za normálních teplot. Jejich -SH skupiny reagují s epoxidovými skupinami, kde se reakce zpravidla urychluje aminy. [7]
- Anhydridy – Anhydridy polykarboxylových kyselin patří do jedné z nejdůležitějších skupin tvrdidel EP. Směsi anhydridů s EP mají při nižších teplotách dlouhou životnost. Pro práškové nátěrové hmoty se používají v kombinaci s výšemolekulárními typy pryskyřic. [7]
- Vytvrzování jinými pryskyřicemi – Toto vytvrzování je významné zejména pro nátěrové hmoty. K vytvrzování EP dochází ve směsi s jinými pryskyřicemi, zejména s těmi, které obsahují reaktivní alkokymethylové skupiny, kam patří fenolformaldehydové močovinoformaldehydové a melaminformaldehydové pryskyřice. K vytvrzování těchto pryskyřic dochází za zvýšených teplot za vzniku etherových můstků. Kombinace EP s fenolickými pryskyřicemi tvoří lakové filmy, které mají vysoké odolnosti proti chemikáliím a rozpouštědlům. [7]

Epoxidové novolaky

Nahrazením dianu fenolickým novolakem se získají epoxidové novolaky. Stejně jako u nízkomolekulárních epoxidových pryskyřic na bázi dianu se epoxidové novolaky připravují hlavně alkalickou kondenzací v přebytku epichlorhydrinu. Oproti dianovým epoxidům mají tyto epoxidy o 30 – 40 ° C vyšší tvarovou stálost. Epoxidové systémy novolaky jsou v dnešní době nejmodernější recepturou. Epoxidové novolaky jsou formulovány s epoxidovými pryskyřicemi systému Bisfenol F, oproti běžnějším epoxidovým systémům Bisfenol A. Epoxidové novolaky zvyšují chemickou odolnost oproti běžným epoxidům, zvýšení je okolo 30 %. Např. chemická odolnost vůči kyselině sírové se zvyšuje z přibližně 70% koncentrace na odolnost vůči 98% koncentraci. Nevýhodou je vyšší cena než u pryskyřic Bisfenol A. [8]

Nátěry na bázi akrylátové pryskyřice

Jedná se o nátěry, které obsahují akrylátové polymery (vyrábějí se polymerací esterů kyseliny akrylové a methakrylové).

Jsou vodou ředitelné nebo ředitelné organickými rozpouštědly, záleží na způsobu výroby. Nátěrové hmoty, které jsou disperzní ve vodě jsou pružné. Nátěry ředěné rozpouštědly zase lépe odolávají povětrnostním vlivům. Akrylátové nátěrové hmoty mají vysokou ochranu proti napadení plísněmi a mechy. Mohou být použity jako základní nátěry nebo i jako vrchní ochranný nátěr. Další výhodou je vysoká propustnost vodních par, a z toho důvodu se většinou aplikují jako paropropustné, za účelem propouštění vodní páry z konstrukce. [6]

Nátěry na bázi polyuretanové pryskyřice

Polyuretanové nátěry obsahují polymery, které mají specifické uspořádání molekul a dodávají tak nátěrovým hmotám především odolnosti k vnějším vlivům. V průběhu sesítování jsou ve formě „pružiny“ a jedná se tedy o nejpružnější polymer. Používají se proto na střechy, betonové plochy vystavené odírání apod. K dalším vlastnostem polyuretanů patří jejich tepelná odolnost a vysoká odolnost vůči UV záření. [6]

Nátěry na bázi silikonové pryskyřice

Silikonové hydrofobizační přípravky vytvoří na povrchu konstrukce slabou vrstvu, která zvětší stykový smáčecí úhel, původní výška kapilární elevace se zmenší, a tím dojde ke kapilární depresi. Tím se zabrání průchodu kapalin konstrukcemi, ale paropropustnost a plynopropustnost je zachována. Nevýhodou je, že tento jev není trvalý u konstrukcí, které jsou vystaveny tlakové či trvalé vodě. Dalšími výhodami jsou vysoké odolnosti proti teplotním změnám a stálost vůči slunečnímu světlu. Roztoky silikonových pryskyřic se doporučují používat zejména pro impregnaci mikroporézních staviv. [7]



Obr. č. 2: Pohled na nehydrofobizovaný (vlevo) a hydrofobizovaný (vpravo) povrch s vodními kapkami [9]

2.1 Přehled některých nátěrových hmot dostupných na trhu

V tabulce č. 1 jsou uvedeny některé polymerní nátěry různých chemických bází dostupných na domácím a zahraničním trhu. Nejsledovanějším parametrem je chemická odolnost, neboť navrhované nátěrové hmoty se plánují použít v chemicky agresivním prostředí. Nejlepší chemickou odolnost jeví polymerní nátěry na bázi epoxidové pryskyřice.

Tab. 1: Přehled některých současně dostupných polymerních nátěrů a jejich základní parametry [42-52]

Název	Báze	Max. přípustná vlhkost podkladu [%]	Hustota [g/l]	Přilnavost [MPa]	Chemická odolnost	Zpracovatelnost [min]	Ekvivalentní difúz.tl. - s_D [m]
Den Braven TL.20.15	EP ¹	max 4	1,2 – 1,3	> 1,5	Ano	30	-
RedCoat EP 230	EP	-	1,35 – 1,40	2	Vysoká	120	284
ResiCote F2	EP	-	1,35 – 1,40	> 2	Vysoká	120	284
ETERNAL epoxy stabil	EP	max 5	1,1	> 1,5	Dobrá	120	-
ResiCote WB5	AP ²	-	1,32 – 1,36	> 0,8	Dobrá	-	> 50
REDCOAT E	AP	-	1,35	> 2	Ne	-	> 100
ResiCote WB4	AP	-	1,40 – 1,42	> 0,8	Dobrá	-	> 50
PurCote P2T	PUR ³	-	1,52 – 1,55	> 2	Vysoká	180	-
Sikafloor-359 N	PUR	≤ 4	-	> 1,5	Dobrá	25	> 50
HS 3200 Series	S ⁴	-	-	-	Ne	120	-
Silicate Paint D	Si ⁵	-	1,4	-	Ne	-	-
HEMPADUR 15500	EP	-	-	-	Velmi vysoká	180	-

Vysvětlivky: ¹ Epoxidová pryskyřice, ² akrylátová pryskyřice, ³ polyuretanová pryskyřice, ⁴ silikonová pryskyřice, ⁵ silikátová báze

2.2 Plniva

Plniva zlepšují jak mechanické vlastnosti, tak chemickou odolnost nebo tvarovou stálost při zvýšených teplotách. Plniva se používají především za účelem snížení ceny hmoty.

Rozdělení plniv podle tvaru

- Vyztužující (vláknitá) plniva – skleněná, uhlíková, kovová a jiná vlákna. Jejich obsah činí max. 50 % a musí být zajištěno, aby plnivo bylo dokonale obaleno pojivem pro správnou funkčnost. [10]
- Nevyztužující (částicová) plniva – jsou ve formě prášku. Přidávají se obvykle ke snížení ceny hmoty a jedná se např. o moučku z břidlice, kaoliny, křídly a jiné. Jejich obsah bývá až 70 %. [10]
- Nanoplनिया – Díky velmi malé velikosti nanoplniv $1\text{nm} = 10^{-9}\text{ m}$ je umožněno velmi blízké spojení plniva a polymerní matrice. Nanočástice zlepšují mechanické vlastnosti polymerní matrice a mohou redukovat obsah přísad nutných k dosažení požadovaných parametrů nátěrových hmot. Nejzásadnější výhodou nanoplniv pro použití nátěrových hmot odolných v chemicky agresivním prostředí je jejich odolnost vůči většině chemikálií a nepropustnost vůči agresivním plynům, dále zvýšení jakosti povrchu a lesku. [10]

2.3 Suroviny využitelné jako plniva

2.3.1 Primární suroviny

Nejčastěji používanými primárními surovinami jsou například skleněné vločky a jemně drcený křemenný písek s optimálním tvarem zrn, kde velikost částic by měla být menší než 0,063 mm. Největší výhodou křemičitého písku jako plniva je jeho optimální zaoblení zrn a díky tomu je to ideální plnivo nejen do nátěrových hmot. V ČR se běžně do nátěrových hmot používají křemenné písky s obsahem - SiO_2 98 %. Skleněné vločky jsou malé rovinné desky s hladkým povrchem. Zajišťují vysokou ochranu proti agresivním látkám, avšak z ekonomického hlediska nejsou příliš efektivní. [11]



***Obr. č. 3:** Skleněné vločky využívané jako primární plnivo za účelem zvýšení chemické odolnosti do polymerních nátěrových hmot [12]*

2.3.2 Odpadní suroviny

Odpadní suroviny mohou být i druhotnými surovinami, pokud mají vhodné vlastnosti a lze je efektivně dále použít jako vhodný materiál nebo zpět do výroby. Druhotné suroviny se získávají také úpravou odpadních surovin. Čištěním a vhodnou úpravou granulometrie se získávají materiály, které mohou částečně ale i úplně nahrazovat plniva přírodní, nebo průmyslově vyráběná. Do druhotných surovin patří v současnosti např. popílký, odprašky, skelný recyklát aj.

Pojem druhotná surovina zatím není v legislativě přesně vymezen.

Nebezpečné odpady (NO)

Nebezpečné odpady (NO) jsou odpady, které vykazují alespoň jednu nebezpečnou vlastnost uvedenou v příloze komise (EU) č.1357/2014.

Mezi nebezpečné vlastnosti odpadu patří zejména toxicita (HP 6), karcinogenita (HP 7), infekčnost (HP 9) aj. K negativnímu působení NO dochází zejména v místě jejich vzniku, při transportu a v blízkosti místa jejich odstranění. NO mohou poškozovat lidské zdraví či životní prostředí, a proto je nutné věnovat jim zvýšenou pozornost. [13]

3 PŘEDÚPRAVA POVRCHU

Před vlastním nanesením nátěrové hmoty je důležité, aby se provedla předúprava povrchu. Právě nedostatečná předúprava povrchu před aplikací nátěru je mnohdy nejzávadnějším důsledkem pro vznik poškozených nátěrů.

Předúpravu povrchu dělíme na :

- Mechanickou
- Chemickou

3.1 Mechanická předúprava povrchu

Mechanická úprava spočívá v odstranění nečistot z povrchu a zajištění podmínek zejména pro vhodnou přilnavost aplikovaného nátěru, lepší mechanické vlastnosti povrchu, zvýšení korozní odolnosti apod. Mezi jednotlivé technologie předúpravy především betonového povrchu se řadí:

- Broušení – při této úpravě se odstraňují nerovnosti a sjednocuje se kvalita povrchu za účelem lepší přilnavosti nátěru a zlepšení kvality celé sekundární ochrany. [14]
- Kartáčování – na pevném předmětu ve formě kotouče či pevného drátu jsou uchyceny drátky, které pomocí svých konců odírají povrch konstrukce. Kartáčování se provádí buď ručně, strojně nebo elektricky. [14]
- Leštění – při leštění je úbytek materiálu minimální. Používají se rozličně tvarované rotační kotouče většinou z textilního materiálu, na kterých jsou naneseny leštící pasty. Leštěním docílíme zdrsnění povrchu a tím lepší soudržnosti nátěru s betonovým podkladem. Leštění se provádí také u ocelového povrchu k docílení kovového lesku. [14]
- Tryskání (brokování) – pomocí této metody jsou ze stávajícího betonového povrchu odstraněny nesoudržné části jako např. staré nátěrové systémy, nánosy prachu a špíny, povrchová mastnota a degradované části stávajícího povrchu. Pomocí nárazů ocelových broků na betonový povrch se zbavuje tento povrch stávající vrchní vrstvy na povrchu. [15]
- Tryskání (pískování) – technologie sloužící k opracování betonových i ocelových povrchů proudem jemných částic. Tryskání dokonale zabezpečuje čištění, odstraňování starých nátěrů a rzi a odmašťování.

Opracovaný materiál je po pískování dokonale čistý a připravený k aplikaci nátěru. Nejpoužívanější abraziva jsou křemičitý písek, ocelová drť či struska. [15]

- Tryskání vysokotlakým vodním paprskem – tato technologie se pro předúpravu betonového i ocelového povrchu používá velmi často. Využívá se hlavně mokrý písek (vodní paprsek + abrazivo). [15]

3.2 Chemická předúprava povrchu

V chemické předúpravě reaguje s nečistotami na povrchu konstrukce chemické činidlo. Povrch lze chemicky předupravit např. mořením nebo odmašťováním. Při moření se využívají minerální kyseliny jako např. kyselina solná a sírová, které slouží k odstranění hydratovaných oxidů např. $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Při odmašťování se odstraňují např. oleje a tuky, které se nerozpouštějí ve vodě, a to má za následek zhoršenou přilnavost nátěrové hmoty. Odmašťuje se např. tenzidovými prostředky, vysokotlaké odmašťování, elektrolytické odmašťování apod. [14]

4 ZPŮSOBY APLIKACE NÁTĚROVÝCH HMOT

Před výběrem techniky aplikace je nutné znát charakter nátěrové hmoty a také betonového povrchu. Pro docílení co nejlepší přilnavosti nátěrové hmoty k podkladu je vhodné povrch před aplikací řádně předupravit.

- Ruční nanášení

Nanáší se pomocí štětce, štětky, válečku či nanášecích rukavic. Tento způsob nanášení nátěrových hmot je díky své jednoduchosti často používán a to většinou na menších objektech a špatně přístupných konstrukcích. [14]

- Nanášení pomocí aplikátoru

Pro nanášení se používají aplikátory např. pravítka. Tato metoda je vhodná pro relativně rovné a pevné podklady. [14]



Obr. č. 4: Aplikátor filmu Elcometer 3520 [16]

- Stříkání
 - Pneumatické – Nátěrová hmota, která je přiváděna do stříkací pistole je pomocí stlačeného vzduchu rozprašována na povrch konstrukce. Výhodou je možnost proces automatizovat, avšak nevýhodou je velká spotřeba nátěrové hmoty a ředidel na úpravu konzistence.
 - Vysokotlaké – Nátěrová hmota je rozprašována pod vysokým tlakem bez použití vzduchu. [14]

5 VADY NÁTĚRŮ

Většina vad vzniká nedodržením správného technologického postupu, nedostatečným upravením povrchu před aplikací nátěru, nebo chybně zvoleným nátěrem do agresivního prostředí.

Jedním z důvodů, proč dochází ke vzniku vad a poruch nátěrových systémů je rostoucí vlhkost v konstrukci. Pokud je na porézním materiálu, jako je beton aplikován nepropustný nátěr, může dojít ke vzniku puchýřků vlivem proudící vysoké vlhkosti v porézním materiálu. Pokud shromážděná vlhkost pod vytvrzeným materiálem zmrzne, může také dojít k vysokému tahovému namáhání. Pokud je beton vlhký je dobré použít jako první primer. [5]

Další popisy častých vad:

- Smršťování nátěrů, která má za následek zvrásnění povrchu nátěru. Příčin může být několik a to zejména znečištěný povrch, vysoká tloušťka nátěru, vysoká vlhkost nebo nevhodná teplota v okolí.

- Stékání nátěrů ze svislých ploch, které je způsobeno například nesprávnou konzistencí nátěrové hmoty, nebo špatnou aplikací.
 - Vysoká porezita nátěru, což má za následek tvorbu drobných trhlinek a kráterů.
 - Praskání a odlupování nátěrů, které vzniká vysokou relativní vlhkostí vzduchu, špatnou předúpravou povrchu nebo špatně zvoleným nátěrem.
- [6]



Obr. č. 5: Ztráta adheze vlivem vlhkosti [17]

Obr. č. 6: Puchýře na nátěrovém filmu způsobené vzlínající vlhkostí [18]

6 CHEMICKY AGRESIVNÍ VLIVY PŮSOBÍCÍ NA BETON

Cementový beton, který bývá použit při výstavbě civilních infrastruktur pro přepravu tekutin v průmyslovém zařízení a v systémech odpadních vod je vystaven chemickému a mikrobiálnímu působení. Následkem je poškození betonu – degradace.

V praxi existuje několik metod, které se snaží degradaci zabránit, nebo vrátit konstrukce do původních pracovních podmínek. Jednou z metod ochrany betonu je právě ochranný povlak. Podmínkou správné funkčnosti povlaku je, aby byl pevně spojen s betonovou konstrukcí. Doporučená přilnavost nátěrů je větší než 1,4 MPa. Soudržnost mezi nátěry a betonovými podklady je ovlivněna několika faktory, a to zejména způsobem aplikace, kvalitou betonu, předúpravou povrchu a druhem nátěru.

[19]

- **Definice agresivního prostředí**

Tabulka č. 2 je převzata z normy ČSN EN 206-1 pro lepší charakterizaci chemického prostředí, ve kterém se plánují aplikace nátěrů. Uvedené mezní hodnoty se používají před návrhem betonu, zejména při betonáži v kontaktu nebo blízko podzemní vody. Pro nátěrové hmoty neexistuje takováto norma, avšak bylo by to velice vhodné.

Tab. 2: Mezní hodnoty pro stupně chemického působení zeminy a podzemní vody dle ČSN EN 206-1 „Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda“ [20]

Chemická charakteristika	Referenční zkušební metoda	XA1	XA2	XA3
Podzemní voda				
SO ₄ ²⁻ mg/litr	EN 196-2	≥ 200 a ≤ 600	> 600 a ≤ 3000	> 3000 a ≤ 6000
pH	ISO 4316	≤ 6,5 a ≥ 5,5	< 5,5 a ≥ 4,5	< 4,5 a ≥ 4
CO ₂ mg/litr agresivní	prEN 13577:1999	≥15 a ≤40	>40 a ≤100	>100 až do nasycení
NH ₄ ⁺ mg/litr	ISO 7150-1 nebo ISO7150-2	≥15 a ≤30	>30 a ≤60	>60 a ≤ 100
Mg ²⁺ mg/litr	ISO 7980	≥300 a ≤1000	>1000 a ≤ 3000	>3000 až do nasycení
Zemina				
SO ₄ ²⁻ mg/kg	EN 196-2	≥2000 a ≤3000	>3000 a ≤12000	>12000 a ≤24000
Kyselost ml/kg	DIN 4030-2	>200 Baumann-Gully	V praxi se nepoužívá	

- **Rozdělení chemicky agresivních vlivů dle skupenství**

- Kapalné prostředí
- Plynné prostředí
- Tuhé prostředí
- Biologické vlivy
- Bludné proudy

- **Chemicky agresivní prostředí**

Toto prostředí rozdělujeme na kapalné, plynné a pevné skupenství. Vlivem působení chemicky agresivních látek dochází k vymílání pojivové složky, popř. dochází v mikrostrukturu betonu ke vzniku krystalických novotvarů, které svými expanzními tlaky narušují strukturu betonu, což vede k degradaci betonu. Dalším negativním důsledkem působení chemicky agresivních látek je postupné klesání pH betonu. Vyvíjené nátěrové hmoty se plánují použít především do kanalizačních stok, takže je potřeba se zaměřit zejména na chemicky agresivní látky v podobě kapalného a plynného prostředí. [21]

- Chemicky agresivní prostředí – kapalné skupenství

Do agresivního kapalného prostředí působícího na betonovou konstrukci patří zejména agresivní vody, organické sloučeniny, minerální oleje a sírany. Do vnějších zdrojů síranů vyskytujících se v kanalizacích patří znečištěné ovzduší či půda, průmyslové odpady, nebo čističky odpadních vod. Sírany se přenášejí do betonu buď iontovou difúzí, nebo kapilární absorpcí roztoků síranů, a to vede k praskání betonu. Za přítomnosti reaktivní hydratace produktů z cementu v dostatečné koncentraci např. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ se sírany, může vznikat sekundární ettringit, který narušuje strukturu betonu. [21] [22]

- Chemicky agresivní prostředí – plynné skupenství

Agresivní prostředí v plynné formě se vyskytuje zejména v atmosféře, ve které se nachází několik agresivních plynů a par:

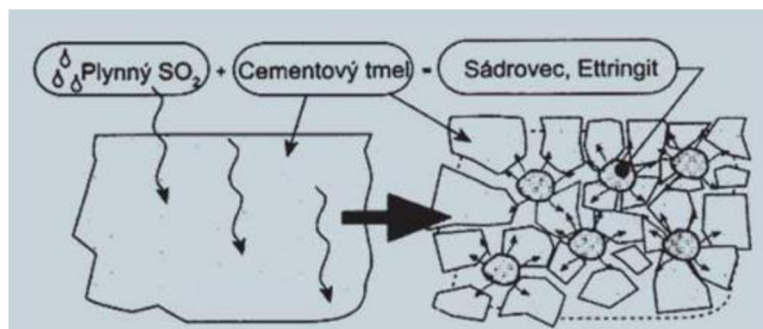
- Oxid uhličitý (CO_2)
- Sulfan (H_2S)
- Oxid siřičitý (SO_2)
- Oxid dusíku (NO_x)
- Další (HF , NH_3 , HCl) [21]

- Působení oxidu uhličitého CO_2

Pronikání CO_2 do betonu ovlivňuje zejména druh hydratačních produktů pojiv, pórovitá struktura cementového tmelu, relativní vlhkost okolního prostředí a v neposlední řadě sekundární povrchová ochrana betonové konstrukce. CO_2 při styku s cementovým tmelem způsobuje karbonataci betonu. Důsledkem karbonatace je změna hodnoty pH. Aby došlo ke karbonataci betonu vlivem CO_2 musí být ve struktuře betonu přítomnost pórů a kapilár a dostatečná vlhkost. Úplně vysušený beton nereaguje s CO_2 . Rychlost karbonatace závisí na koncentraci CO_2 a relativní vlhkosti vzduchu. [21]

- Působení oxidu siřičitého SO_2

Působením SO_2 dochází k tzv. sulfataci betonu. Rychlost sulfatace je závislá na koncentraci SO_2 , vlhkosti betonu a relativní vlhkosti vzduchu. Konečným produktem sulfatace je sádrovec vznikající při nižší vlhkosti, který ovlivňuje pokles hodnoty pH až na hodnotu 5,4. Působením plynného SO_2 při střídavém provlhčování betonu může dojít ke vzniku ettringitu ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) a tím k rozpadu betonu. [21]



Obr. č. 7: Degradace betonu sulfatací [23]

7 SOLIDIFIKACE/STABILIZACE NEBEZPEČNÝCH ODPADŮ

Do navrhovaných nátěrů se plánuje vhodné využití nebezpečných odpadů (NO) jako plniv. Nejvhodnější NO jsou práškového charakteru, protože není potřeba je nijak zvlášť předupravovat. Avšak před jejich použitím v podobě plniv do nátěrů je nutné je nejprve solidifikovat, aby se snížila vyluhovatelnost kontaminantů, a došlo tak k jejich inkorporaci.

Pojem solidifikace znamená nejen zpevňování kapalných odpadů, ale používá se i pro popis úpravy pevných odpadů, které spočívají v smíchání odpadů s pojivou (solidifikační činidla) a následnou změnou jejich fyzikálních i chemických vlastností.

Jako pojiva se využívají různé materiály (i odpady), které buď chemicky reagují s odpadem, nebo pouze obalují částice odpadu bez chemických reakcí. Jako aktivní pojiva se nejběžněji využívají hydraulická pojiva, jako cement, vápno a jejich směsi, které jsou doplněny různými přísadami např. popílkem, křemičitany aj. Jako pasivní pojivo se používá např. asphalt, síra, plasty apod. [24]

7.1 Solidifikační technologie

- Cementace

Je založena na fixaci odpadů do silikátové matrice a je vhodná především pro anorganické odpady. Jako solidifikační činidlo se využívá hlavně portlandský směsný cement a z druhotných surovin popílek, a to jak fluidní, tak vysokoteplotní. Jako vzdušné solidifikační činidlo se používá vápno.

- Vitrifikace

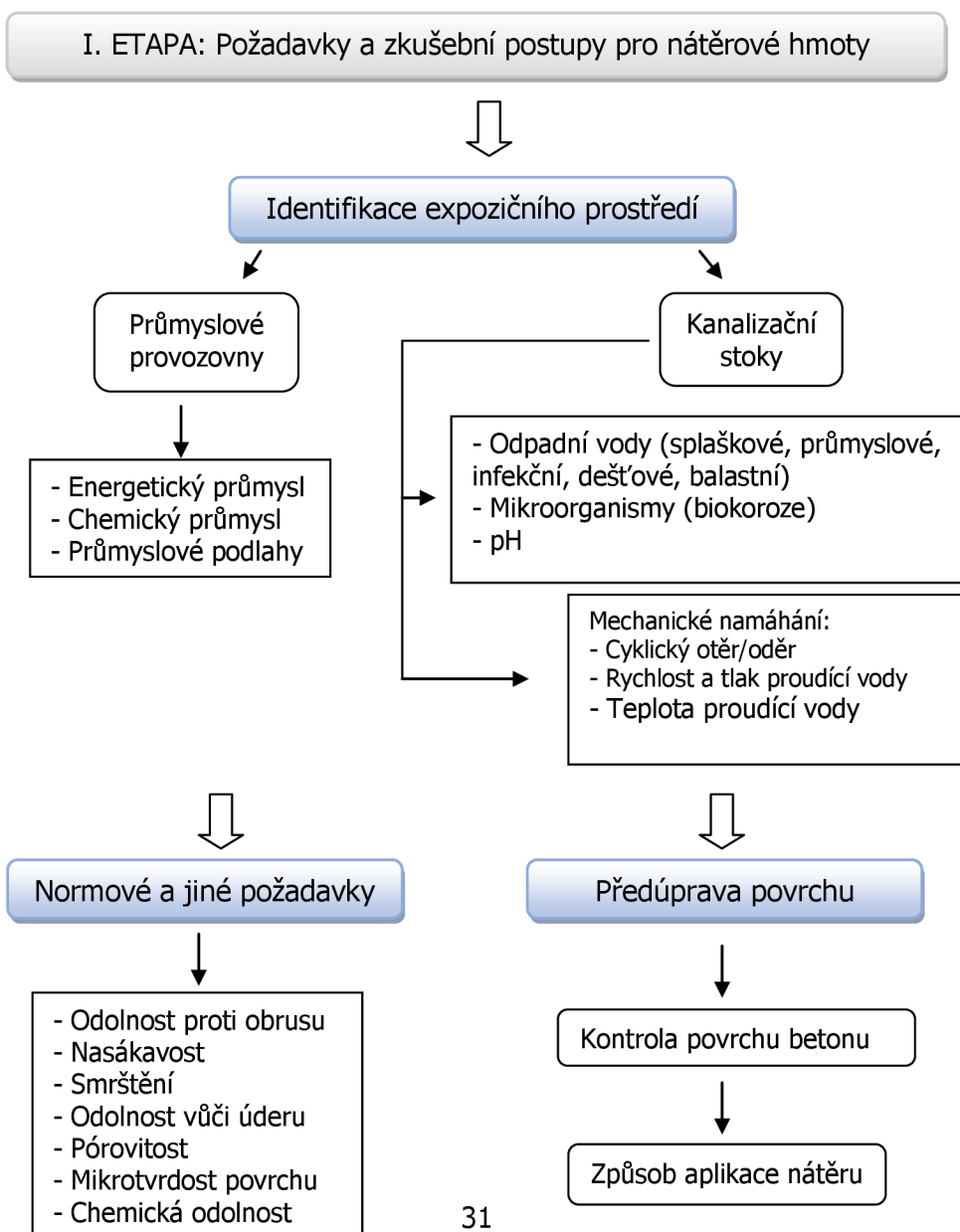
Při vitrifikaci se odpad vytaví se sklotvornými látkami jako např. s odpadním sklem a vzniklá tzv. fritra se může využít ve stavebnictví.

- Bitumenace

Po odvodnění lze do bitumenu fixovat jak anorganické, tak i organické odpady. Tyto odpady však musí odolávat teplotě roztaveného bitumenu. [25]

8 METODIKA PRÁCE

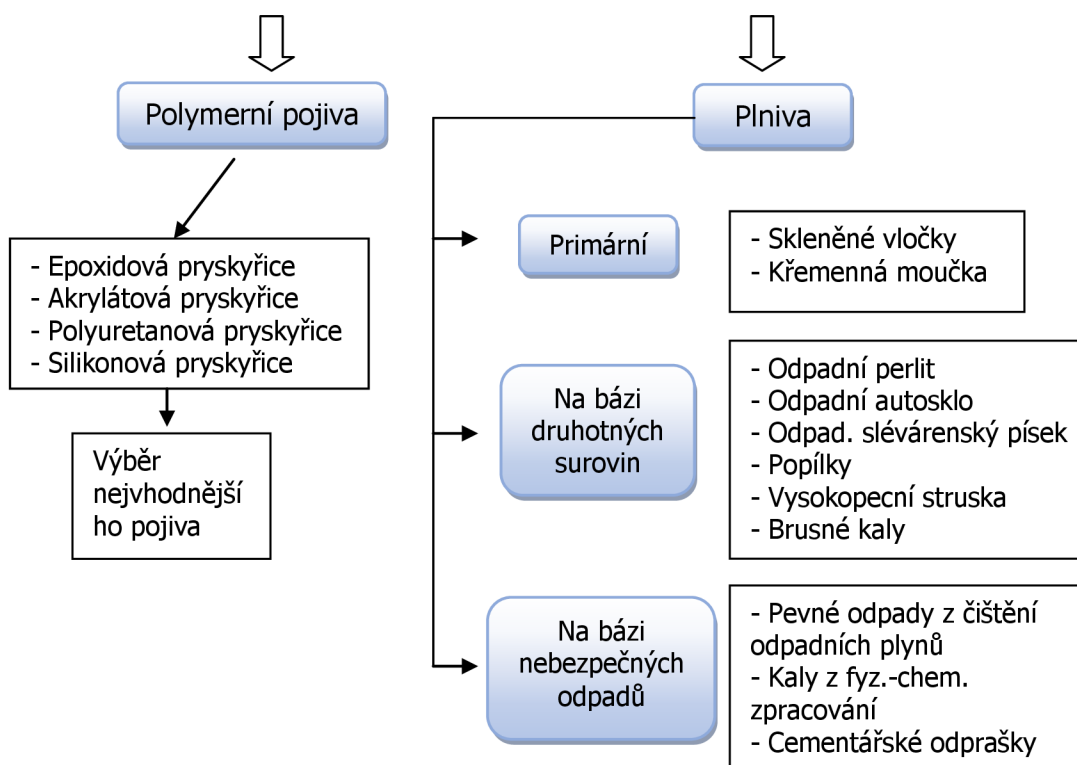
8.1 ETAPA I. : Požadavky a zkušební postupy pro nátěrové hmoty



Cílem této etapy je zaměřením se na normové a jiné požadavky na nátěrové hmoty a definovat postupy zkoušení dle příslušných technických norem a návodů. Je zde identifikováno agresivní prostředí vyskytující se zejména v kanalizačních stokách, protože vyvíjené nátěrové hmoty se plánují aplikovat především v těchto konstrukcích. Dále je zde zmíněn způsob aplikace nátěru a hlavně předúprava povrchu před aplikací nátěru.

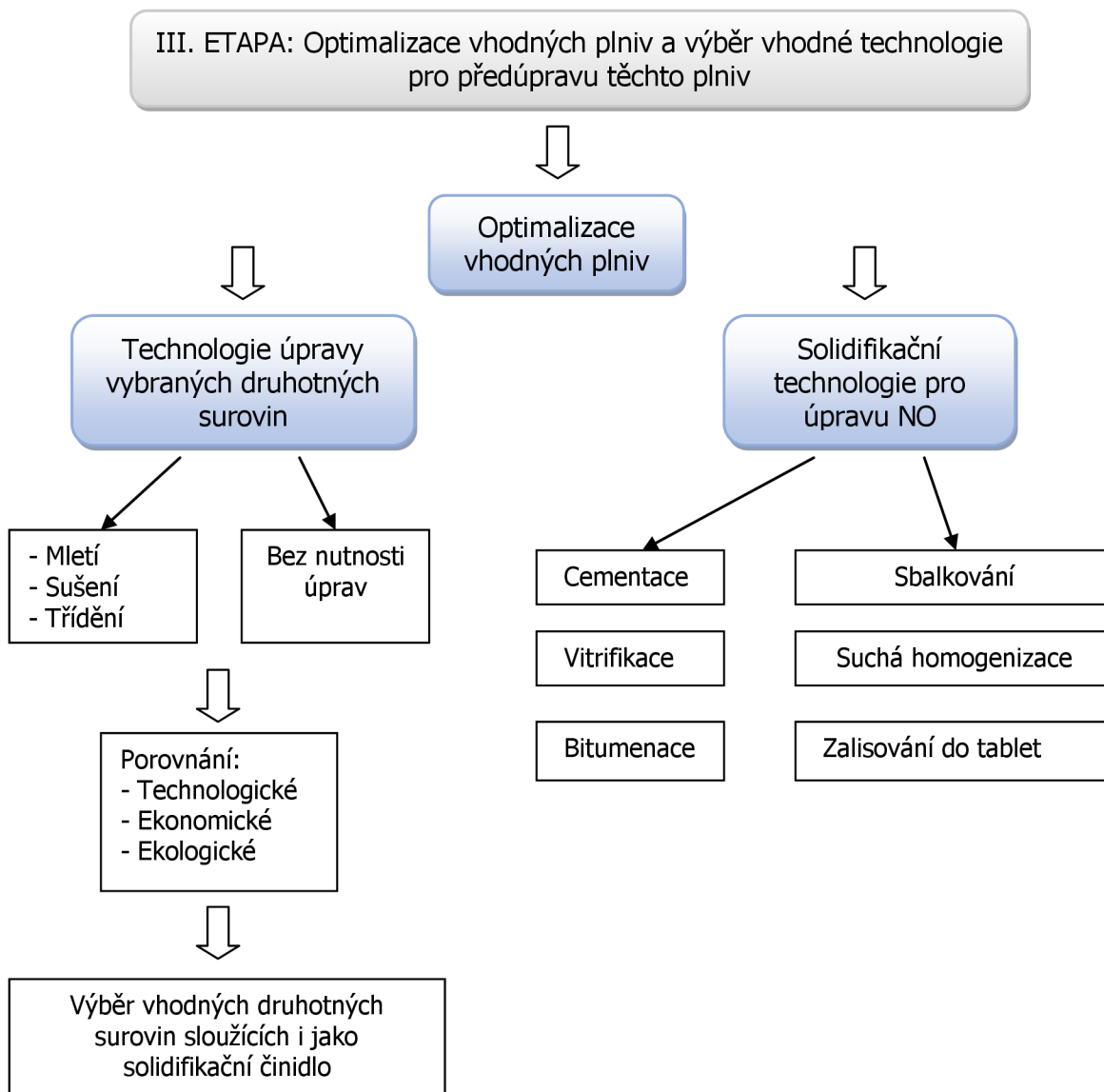
8.2 ETAPA II.: Výběr vhodných plniv a pojiv pro výrobu nátěrových hmot odolných v chemicky agresivním prostředí

II. ETAPA: Výběr vhodných plniv a pojiv pro výrobu nátěrových hmot odolných v chemicky agresivním prostředí



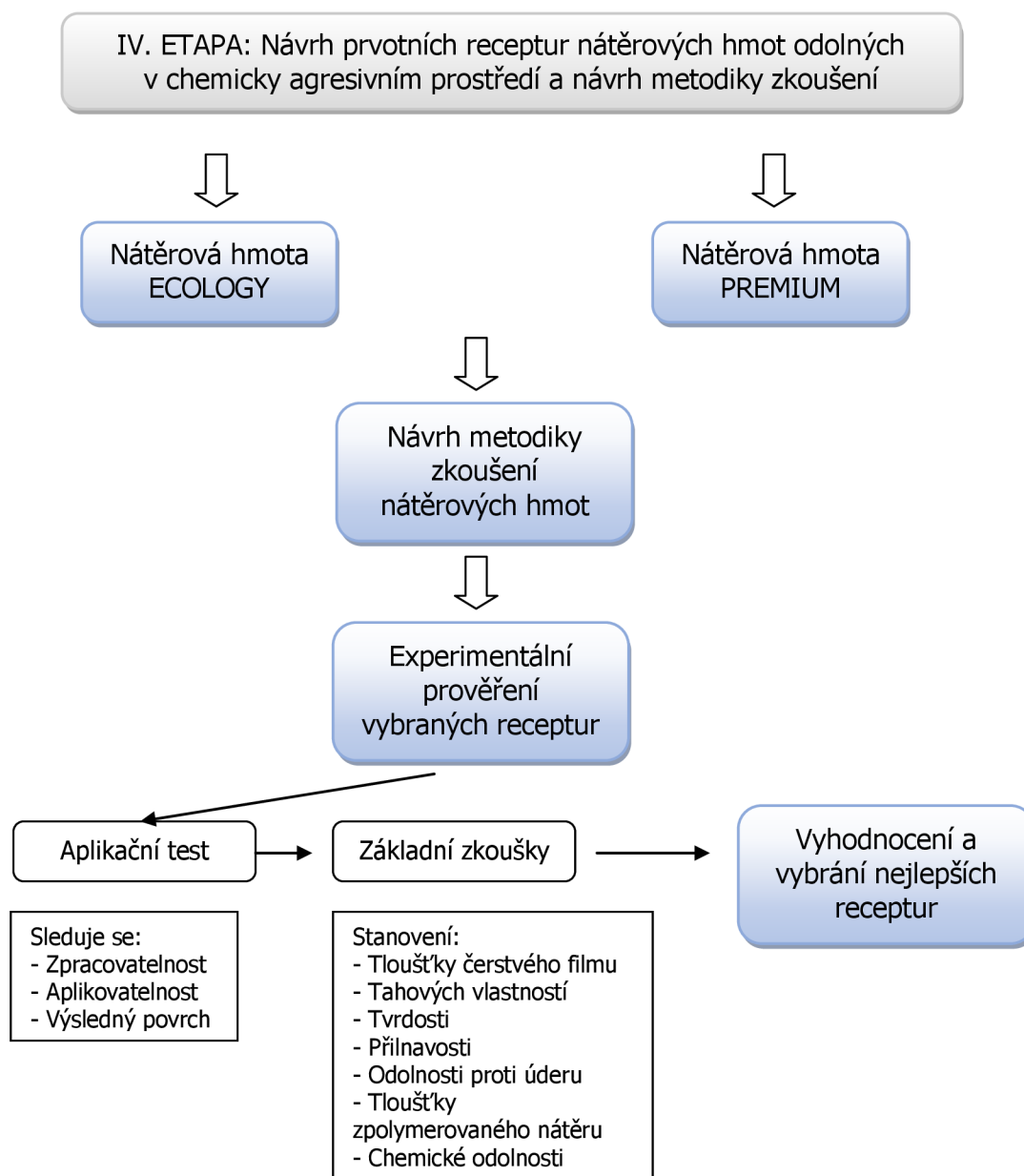
Cílem této etapy je výběr vhodných polymerních pojiv a plniv na bázi druhotných surovin a nebezpečných odpadů (NO). Tato pojiva a plniva musí být vhodná pro nátěrové hmoty odolné v chemicky agresivním prostředí. Při výběru vhodných plniv bude kladen důraz zejména na co nejméně nákladnou a nejjednodušší předúpravu těchto plniv před použitím.

8.3 ETAPA III.: Optimalizace vhodných plniv a výběr vhodné technologie pro předúpravu těchto plniv



Cílem III. Etapy je na základě optimalizačního výpočtu vybrat nejvhodnější plniva na bázi druhotných surovin a nebezpečných odpadů (NO), kde výběr vhodných druhotných surovin a NO bude probíhat především na základě optimalizačního výpočtu. Vybrané druhotné suroviny jsou následně použity jako solidifikační činidlo. Dále je cílem navrhnout vhodné solidifikační technologie pro přípravu NO, aby bylo možné jejich použití v podobě plniv do nátěrových hmot. Při výběru optimální solidifikace je kladen důraz zejména na jednoduchost a cenovou nenáročnost vybrané technologie.

8.4 ETAPA IV.: Návrh prvotních receptur nátěrových hmot odolných v chemicky agresivním prostředí a návrh metodiky zkoušení



Cílem IV. etapy je návrh receptur nátěrových hmot odolných především v chemicky agresivním prostředí. Dále je proveden aplikační test, v rámci kterého je sledována konzistence navržených hmot, sedimentace a segregace plniv a výsledný povrch. Na základě aplikačního testu jsou nátěrové hmoty podrobeny vybraným základním zkouškám. V tomto experimentálním prověření je ověřena pouze hmota PREMIUM. V závěru je vyhodnoceno experimentální prověření a jsou vybrány nejlepší receptury.

9 PRAKTICKÁ ČÁST

9.1 I. Etapa: Požadavky a zkušební postupy pro nátěrové hmoty

9.1.1 Identifikace agresivního prostředí

Navrhované chemicky odolné nátěrové hmoty se plánují použít na povrch betonových konstrukcí, které jsou permanentně vystaveny chemicky agresivnímu prostředí. Chemicky agresivní prostředí se vyskytuje například v průmyslových provozovnách - energetický průmysl, chemický průmysl či průmyslové podlahy. Vyvíjené nátěrové hmoty se plánují použít především do kanalizačních stok, kde se vyskytuje silná biokoroze, kterou doprovází velice nízké pH.

Použití v průmyslové výrobě:

V průmyslové výrobě, ať už se jedná o energetický a chemický průmysl, či průmyslové podlahy jsou nátěrové hmoty vystaveny vysoce agresivnímu chemickému prostředí. Konkrétně se jedná například o laboratoře, bazény, elektrárny, betonové podlahy, autodílny apod. K poškození betonových povrchů také dochází jejich vystavením trvalé vlhkosti, či vysokým teplotám a dochází tak k mechanickému poškozování.

Použití v kanalizačních stokách:

Rozsah a druh poškození stokového systému jsou závislé na agresivitě přítomných látek, kvalitě stávajícího betonu a kvalitě sekundární ochrany. Norma ČSN EN 206:2013 definuje chemicky agresivní prostředí pro beton na XA1, XA2 a XA3 – slabé, střední a vysoce agresivní prostředí. Námi vyvíjené nátěrové hmoty se plánují použít právě do vysoce agresivního prostředí (XA3) viz teorie „Definice agresivního prostředí“. [26]

V kanalizačních stokách proudí několik druhů odpadních vod, které mohou být chemicky závadné, obsahovat různé agresivní látky a tím poškozovat povrch betonového kanalizačního potrubí. Vliv na poškození mají i mikroorganismy (např. sulfurikační bakterie) a pH odpadních vod. Nastat může nejen chemické poškozování, ale i mechanické.

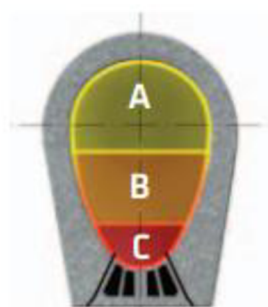
Druhy odpadních vod:

- Splaškové, balastní, průmyslové, infekční, dešťové

Mezi nejběžnější prvky kanalizačních stok patří pokládání betonové potrubí, nebo stoky z litého železobetonu obdélníkového, kruhového či vejčitého profilu.

Jednotlivé části kanalizace mají odlišné namáhání:

- A) Biogenní agrese, odtékající dešťová voda, odpadní voda, vysoce koncentrované z kondenzované kyseliny, agresivní plyny (např. H_2S)
- B) Odtékající odpadní voda, defekty koroze a eroze
- C) Odpadní a splašková voda, defekty eroze a abraze [26]



Obr. č. 8 :Rozdělení kanalizace dle druhu namáhání [26]

Poškození kanalizačních stok vlivem chemického namáhání:

Vlivem mikroorganismů, snižování pH okolního prostředí a následně betonu a agresivitě odpadních vod dochází k chemickému napadání betonového povrchu a následně celé konstrukce. Vlivem agresivních látek může nastat lokální defekt stěn a stropu kanalizačního potrubí či ocelové výztuže. Těmto defektům lze předcházet použitím vhodné sekundární ochrany (nátěru). Konkrétní chemicky agresivní vlivy byly již zmíněny v teoretické části. [26]



Obr. č. 9: Lokální defekt betonu a zkorodovaná výztuž v kanalizaci [26]

Poškození kanalizačních stok vlivem mechanického namáhání:

Do odolnosti vůči mechanickému poškození se řadí hlavně odolnost proti oděru pevných látek obsažených v odpadních vodách např. písek, štěrk apod., rychlost a tlak proudící vody a v neposlední řadě i teplota a chemické složení proudící vody. Odolnost betonu vůči silnému proudu nebývá obvykle dostatečná a často je celý povrch betonu erodován. K namáhání dochází také vlivem smršťování a sedání betonu, což následně vede ke vzniku prasklin, kterými prosakují nebezpečné látky do okolních podzemních vod. [26]

9.1.2 Definice základních normových a jiných požadavků na polymerní nátěrové hmoty

V následující tabulce jsou uvedeny základní požadavky na funkční vlastnosti nátěrů dle normy ČSN EN 1504-2. Tyto požadavky musí nátěrové hmoty splňovat.

Tab. 3 : Základní požadavky na funkční vlastnosti nátěru dle ČSN EN 1504-2 [27]

Vlastnost	Zkušební metoda	Požadavky
Lineární smrštění	EN 12617-1	$\leq 0,3\%$
Odolnost v oděru	EN ISO 5470-1	Úbytek hm. ≤ 3000 mg
Propustnost CO ₂	EN 1062-6	$S_D > 50$ m
Propustnost pro vodní páru	EN ISO 7783-1 EN ISO 7783-2	tř. I. $S_D < 5$ m tř. II. $5 \text{ m} \leq S_D \leq 50$ m tř. III. $S_D > 50$ m
Rychlost pronikání vody	EN 1062-3	$w < 0,1$ kg/m ² *h
Přilnavost	EN 13687-1 EN 13687-2	Po teplotním cyklování: a) žádné bubliny, trhliny a odlupování b) odtrhová zkouška
Odolnost vůči silnému chemickému napadení	EN ISO 2812-1	Snížení tvrdosti o méně než 50%
Schopnost přemostování trhlin	EN 1062-7	V příslušné třídě žádné závady
Odolnosti proti úderu	EN ISO 6272-1	Po zatížení žádné trhliny a odlupování

9.1.3 Specifikace základních požadavků

Lineární smrštění

Tato zkouška se provádí pouze u tzv. tuhých systémů s aplikační tloušťkou větší než 3 mm. Tyto tuhé nátěry jsou definovány jako nátěry s tvrdostí Shore D ≥ 60 .

Zkouška lineárního smrštění se provádí podle normy ČSN EN 12 617-1 – Zkušební metody Část 1 a výsledek by měl být menší než 0,3%. [15]

Smrštění by mělo být co nejnižší, jelikož při velkém smrštění může dojít ke vzniku trhlin na nátěru a tím dojde ke snížení chemické odolnosti povrchu a k zvýšení nasákavosti.

Propustnost CO₂

Dle normy ČSN EN 1062-6 Nátěrové hmoty – Povlakové materiály a povlakové systémy pro vnější zdivo a betony – část 6: Stanovení propustnosti oxidu uhličitého. Zkoumá se množství oxidu uhličitého v gramech, které pronikne za jeden den povlakem o ploše jeden metr čtvereční při definovaném parciálním tlaku nebo definovaném koncentračním rozdílu. Požadavkem u nátěrů je ekvivalentní difúzní tloušťka $S_D > 50$ m. [28]

Chemická odolnost vůči silnému chemickému napadení

Tato odolnost se provádí, respektive hodnotí dle ČSN EN 13 529 „Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Stanovení odolnosti vůči silnému chemickému napadení.“ Podstatou této zkoušky je stanovení odolnosti nátěru, který je vystaven z jedné strany působení zkušební kapaliny. Zkušební kapaliny jsou uvedeny v této normě a zahrnují všechny druhy běžných chemikálií. Mezi doporučené zkušební kapaliny uvedené v této normě patří např. 20% kyselina sírová, metanol aj. Při zkoušce by nemělo dojít ke snížení tvrdosti nátěru o více jak 50 %. Odolnost se stanovuje buď Bucholzovou vrypovou zkouškou dle ČSN EN ISO 2815 nebo tvrdost Shore podle ČSN EN ISO 868 [15]

Tloušťka nátěru

Tloušťka naneseného nátěru (nátěrového systému) se stanovuje proto, aby se prokázalo vytvoření dostatečné vrstvy, schopné poskytovat sanované konstrukci účinnou ochranu před agresivními vlivy prostředí. Tloušťka nátěrových systémů se stanovuje dle ČSN EN ISO 2808 – Nátěrové hmoty – Stanovení tloušťky nátěru. [15]

Mřížková zkouška přilnavosti

Zkouška se provádí dle ČSN ISO 2409. Touto metodou se určuje přilnavost nátěru při porušení mřížkovým řezem až k podkladu. Speciálním řezným nástrojem se provede řez do nátěru a druhý řez ve směru kolmém na první řez. Následně se nalepí samolepící páska do středu mřížky a strhne se. Hodnotí se poškození nátěru. [29]

Doplňkové požadavky

Mikrotvrdot

Pro stanovení mikrotvrdoti polymerních nátěrů nelze použít obvyklé tvrdoměry, jelikož vyžaduje mnohem přesnější měření. Měří se vtisk a velikost zatížení zkoušeného materiálu. Zkoušený materiál se zatěžuje cejchovanou pružinou, nebo závažím. Jelikož měření vyžaduje opravdu vysokou přesnost, mikrotvrdoměry jsou součástí metalografických mikroskopů, ale mohou být použity i samostatně. Zkoušku mikrotvrdoti lze provádět několika metodami, a to zkouška podle Hanemanna, zkouška podle Vickerse, zkouška podle Knoop a zkouška podle Bierkoviče. [30]

Odolnost proti úderu

Zkušební metoda se provádí dle ČSN EN ISO 6272-1 „Nátěrové hmoty – Zkoušky rychlou deformací (odolnost proti úderu) - Část 1: Zkouška padajícím závažím, velká plocha úderníku.“ Tato zkouška se provádí na natřených betonových zkušebních tělesech připravených dle ČSN EN 1766. Podstatou této zkoušky je hodnocení praskání a odlupování nátěrové hmoty od podkladu v důsledku deformace způsobené padajícím závažím.

Nátěr je následně zatříděn do jedné ze tří tříd: třída I ≥ 4 Nm, třída II ≥ 10 Nm, třída III ≥ 20 Nm. [15]

Velká plocha úderníku se obvykle volí u tvrdých povrchů nátěrů, značné tloušťky nátěru a u vyššího modulu pružnosti nátěrové hmoty.

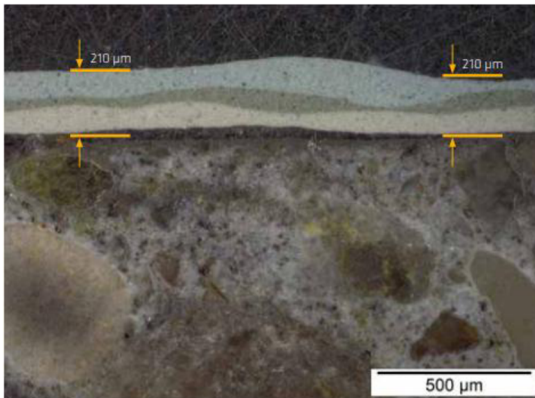
9.1.4 Předúprava betonového povrchu

Každý povrch, ať už se jedná o betonový nebo ocelový či jiný materiál je nutno před samotnou aplikací nátěru předupravit. Vyvíjené nátěrové hmoty se plánují použít především na betonový podklad, a proto zde bude uvedena předúprava betonového povrchu. Úprava povrchu betonového podkladu má zásadní vliv na výsledné povrchové vlastnosti sekundární ochrany (nátěru).

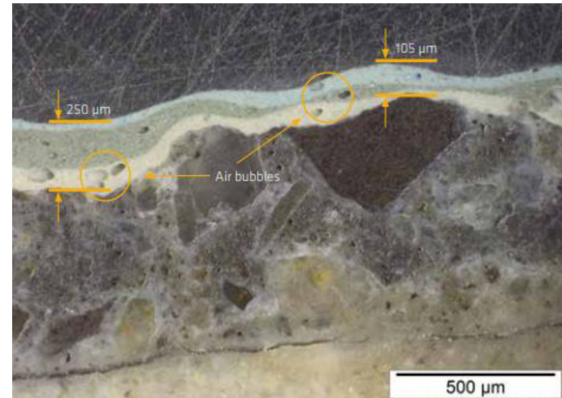
Betonový podklad musí být čistý, bez prachu, nečistot, olejů, zvětralin a bez zbylých starých nátěrů. Trhliny v podkladu o velikosti $> 300 \mu\text{m}$ musí být před aplikací nátěru ošetřeny. Při čištění vodorovných ploch se doporučuje suché pískování – podklad tak nebude nasycen vodou. Pokud je podklad opatřen stávajícím nekvalitním nátěrem, je nutné jej odstranit nejlépe pískováním nebo tryskáním vodou vysokotlakým vodním tlakem. Za použití běžného tryskání totiž nemusí dojít k odstranění dobře držícího nátěru, zejména starých epoxidových nátěrů. [31]

Při odstraňování narušených, nepevných, zkarbonatizovaných či agresivními médii kontaminovaných povrchových vrstev betonu je cílem vytvořit únosný betonový podklad pro nanesení nátěrových hmot. Při odstraňování narušených povrchových vrstev nesmí být ohrožena kvalita a stav ocelové výztuže a statická únosnost konstrukce. Povrch betonové konstrukce se upravuje např. kombinací mechanického odsekávání a otryskávání vysokotlakým vodním paprskem nebo vhodným abrazivem. Použito může být i suché či mokré pískování a jiné metody. Po provedené předúpravě betonového podkladu je nutné provést kontroly předúpravy povrchu a dále je třeba provést dokumentaci výskytu trhlin, vyskytujících se v místě, kde má být nátěr aplikován. Po provedené předúpravě betonového podkladu se provádí kontrola, do které patří vizuální kontrola, odtrhové zkoušky, akustické trasování apod. [15]

Dalším důležitým faktorem je rovinnost betonového podkladu. Rovný podklad zajišťuje homogenní tloušťku nátěru. Nerovný povrch, nebo nedostatečná příprava povrchu může vést ke vzniku vzduchových bublin v nátěru, proměnné tloušťce nátěru apod. Tyto faktory mohou ovlivňovat výkon nátěru např. nižší ochranou proti CO_2 , či nižší schopnost překlenutí trhlin. [32]



Obr. č. 10: Nátěr na rovném betonovém podkladu [32]



Obr. č. 11: Nátěr na nerovném betonovém podkladu – vznik vzduchových bublin v nátěru [32]

Pokud se zjistí při sanaci betonové konstrukce, že stávající nátěr je na některých místech dostatečně kvalitní, ne vždy je nutné jej odstraňovat. Povrch se očistí vysokotlakým vodním paprskem o tlaku přibližně 500 Bar, čímž se odstraní nesoudržné vrstvy nátěru, případně řasy a zůstanou pouze neporušené vrstvy nátěrového systému, který vykazuje stále vysokou přilnavost k podkladním vrstvám nebo k podkladnímu betonu. Pomocí vysoce kvalitní polymercementované malty (např. Sika Icoment 520) se spojí s podkladním předupraveným betonem a na stávající nátěr se nastříkají, či jinak aplikují nové vrstvy nátěru za účelem zabezpečení požadované životnosti chemicky namáhané konstrukce.

9.1.5 Aplikace ochranného nátěru

Aby se dosáhlo, co nejlepších výsledků provádí se aplikace nátěru na minimálně 28 dní starý beton (kvůli vlhkosti podkladu). Aplikaci nátěru na mladší beton může doprovázet následný vznik trhlin, puchýřků či jiného poškození nátěru vlivem smršťování betonu při jeho zrání. Dalším důvodem proč dodržet stáří betonu alespoň 28 dní je vlhkost podkladu, která by měla být před aplikací nátěru menší než 4 % a dosažení plných mechanických pevností betonu. [31]

- **Rozdělení nátěrů podle tloušťky filmu**

- Tenkovrstvý nátěr

- Má obvykle tloušťku 0,1 až 0,2 mm. Nátěr může být barevný i bezbarvý a hlavní funkcí je omezit průnik kapalných i plyných médií.

Tenkovrstvý nátěr se aplikuje v několika vrstvách obvykle 2-3x včetně penetrace. Při aplikaci je vhodnější nanášet několik více slabých vrstev než jednu silnou vrstvu při zachování stejné tloušťky a to kvůli funkčnosti celého nátěrového systému. [15]

- Vícevrstvý nátěr

Provádí se obvykle v tloušťce 0,2 až 1 mm, v praxi se však tloušťka pohybuje obvykle do 0,5 mm. Dokonale uzavírá povrch konstrukce a zvyšuje její dlouhodobou trvanlivost. [15]

- **Primární nátěr (primer)** – Primární nátěr neboli penetrace je technologický proces upravující podklad. Primárním nátěrem se zvyšují mechanické parametry jako pevnost a oděruvzdornost. Zvyšuje se i chemická odolnost podkladu. Vlivem penetrace dochází k zpevnění podkladu, vytěsnění vzduchu z povrchové vrstvy a též k sjednocení kvality povrchu. Primární nátěr snižuje nasákavost a prašnost podkladu a v neposlední řadě zlepšuje přídržnost následně aplikovaných nátěrových hmot. [33]
- **Specifikace jednotlivých vrstev nátěru** – Každá vrstva nátěru má svou specifickou funkci. Podle pořadí nanášení se jednotlivé vrstvy rozlišují takto:
 - Základní vrstva
Zajišťuje přilnavost dalšího nátěru ke konstrukci
 - Vyrovnávací vrstva
Nanáší se na základní vrstvu nebo na dostatečně připravený betonový povrch. Tato vrstva slouží k eliminaci nerovnosti plochy
 - Podkladní vrstva
Zajišťuje neporéznost nátěru a připravuje co nejhladší podklad pod vrchní nátěr. Aby se zamezilo vysoké poréznosti nátěrů, nanášejí se obvykle čtyři vrstvy nátěru.

Póry vznikají při difúzi ředitelných par z filmu a to umožňuje pronikání vlhkosti k natíranému podkladu, tomu zabraňujeme právě překrýváním vrstev nátěru.

- Vrchní vrstva

Zajišťují požadovaný vzhled konstrukce a musí odolávat namáhání, kterému je konstrukce vystavena. [34]

- **Požadavky při aplikaci jednotlivých vrstev**

- Přílnavost nátěru k betonovému povrchu
- Kompatibilita všech vrstev
- Tloušťka vrstvy nátěru – při příliš velkých tloušťkách může dojít ke vzniku vysokého napětí a tím způsobit předčasné selhání nátěrového systému
- Časový interval mezi jednotlivými vrstvami – před aplikací další vrstvy nátěru na předchozí vrstvu musí být takový časový interval, aby došlo k vyprchání těkavých sloučenin a aby předchozí nátěr zcela vyschl.
- Barevná odlišnost jednotlivých vrstev, pro zjednodušení kontroly každé vrstvy

9.2 II. ETAPA: Výběr vhodných plniv a pojiv pro výrobu nátěrových hmot odolných v chemicky agresivním prostředí

9.2.1 Definice vhodných plniv

Plniva pro přípravu vyvíjených nátěrových hmot na polymerní bázi mohou být přírodní anebo průmyslově vyráběná, odpadní nebo druhotná. Plniva se do nátěrových hmot přidávají především za účelem zlepšení chemických či mechanických vlastností a taktéž ke snížení ceny výrobku. Plniva se používají buď primární, ale hlavním cílem současné doby je využití plniv z odpadních surovin za účelem snížení těžby a úpravy primárních surovin.

Vhodná plniva do vyvíjených polymerních nátěrů budou vybrána z nebezpečných odpadů a z druhotných surovin, která částečně nebo zcela nahrazují primární suroviny.

Požadavky na tyto plniva jsou především přiblížení se vlastnostem primárních surovin, snadná dostupnost, nízká cena a chemická odolnost. Dalším, velmi důležitým požadavkem na plniva na bázi druhotných surovin a NO jsou, aby byla prášková a se zrnitostí max. 0,063 mm, aby nebylo třeba následné mletí a třídění surovin. Dalším kritériem pro výběr je, aby NO a druhotné suroviny byly suché, jelikož dodatečné sušení je ekonomicky náročné a prodlouží se také proces přípravy plniva. Vybrané vhodné NO musí být následně solidifikované, čímž dojde ke snížení negativního vlivu nebezpečných látek, dojde tedy ke snížení vyluhovatelnosti nebezpečného odpadu, aby se mohl využít jako plnivo do nátěrových hmot.

9.2.1.1 Primární plniva

Nejčastějšími primárními plnivy používané do nátěrových hmot za účelem zvýšení chemické odolnosti je drcený křemenný písek (křemenná moučka) a skleněné vločky viz teorie v části 2.3 „Primární suroviny“. Nejvhodněji se jeví křemenná moučka, která byla použita jako plnivo v referenční nátěrové hmotě.

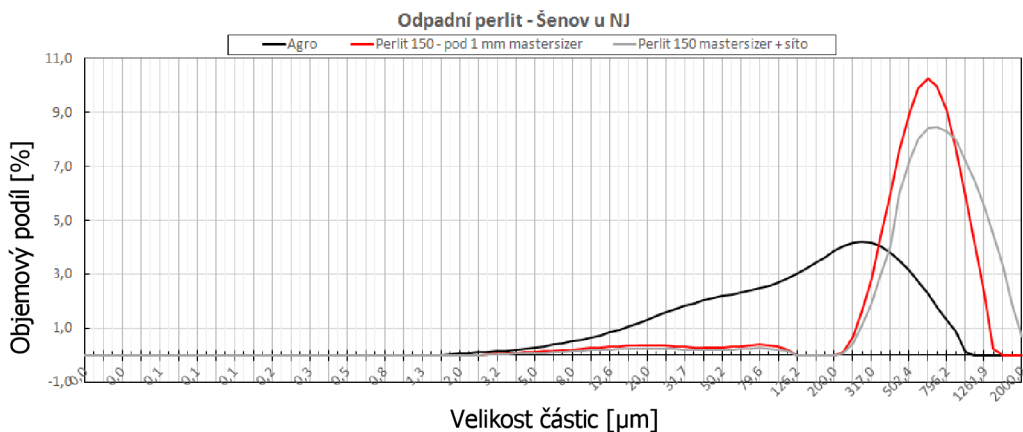
9.2.1.2 Plniva na bázi druhotných surovin

- **Odpadní perlit – Šenov u Nového Jičína**

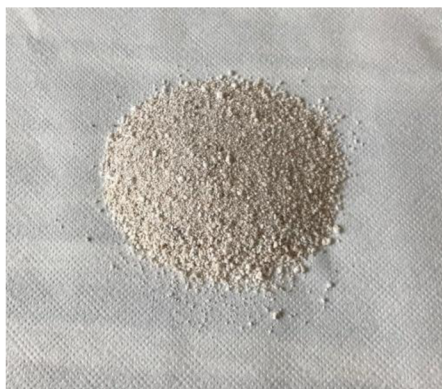
Vzniká při pražení perlitových rud, kdy následkem procesu rozpínání vzniká expandovaný perlit. Z uvedených druhů odpadních perlitů na grafu č. nás hlavně zajímá pro použití v podobě plniva agro perlit, jelikož je nejjemnější. I přesto se však musí před použitím v podobě plniva do polymerních nátěrových hmot domílat.

Tab. 4 : Základní vlastnosti a informace o odpadním agro perlitu

Základní vlastnosti a informace					
Požadavky na předúpravu			Mletí		
Ztráta žíháním			0,76 % suš.		
Chemické složení [% suš.]					
Chloridy	SO ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Al ₂ O ₃
< 100	< 0,01	1,26	0,228	4,56	13,2
PO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	Na ₂ O	SiO ₂	TiO ₂
< 0,023	2,02	0,057	2,14	74	0,02



Graf 1: Distribuce velikosti částic odpadního perlitu



Obr. č. 12: Odpadní perlit



Obr. č. 13: Odpadní agro perlit

- **Odpadní autosklo**

Výhodou odpadního autoskla je nehořlavost, nerozpustnost ve vodě a odolnost chemickým látkám. Před samotnými úpravami odpadního autoskla se musí odstranit bezpečnostní fólie a poté následuje pomletí v kulovém mlýně na požadované frakce. V tab. 5 je uvedené chemické složení odpadního skla.

Tab. 5 : Základní vlastnosti a informace o odpadním autosklu

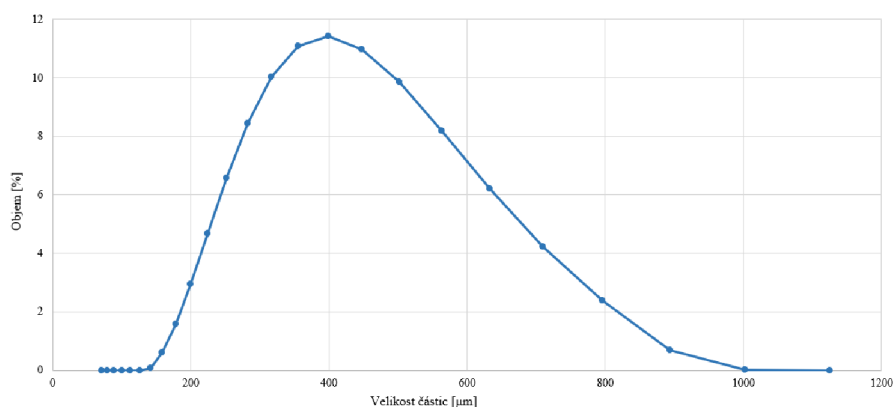
Základní vlastnosti a informace					
Požadavky na předúpravu			Drcení, mletí, čištění, třídění		
Ztráta žiháním			0,65 % suš.		
Měrná hmotnost			2540 kg/m ³		
Chemické složení [% suš.]					
SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	Na₂O	LiO₂	CaO
69,16	0,69	0,14	12	0,004	9,19
MgO	BaO	K₂O	ZnO	TiO₂	PbO
3,71	0,17	0,32	0,01	0,03	0,02



Obr. č. 14: Odpadní autosklo

- **Odpadní slévárenský písek (černý)**

Slévárenský písek je odpadním produktem slévárenských provozů pro výrobu forem litinových výrobků. Slévárenské odpadní písky jsou křemičitého charakteru. Obsahuje 94 % SiO_2 a jako pojivo pro výrobu forem obsahuje např. vodní sklo. Odpadní slévárenský písek je natolik znečištěný, že ho nelze dále pro výrobu forem používat. Na grafu 2 je uvedena distribuce velikosti částic a v tab. 6 je chemické složení odpadního slévárenského písku.



Graf 2: Distribuce velikosti částic odpadního slévárenského písku

Tab. 6 : Základní vlastnosti a informace o odpadním slévárenském písku

Základní vlastnosti a informace					
Roční produkce v jedné slévárně			6600 tun		
Požadavky na předúpravu			Mletí		
Ztráta sušením (105 °C)			0,07 %		
Ztráta žíháním (1100 °C)			0,36 % suš.		
Měrná hmotnost			2680 kg/m ³		
Chemické složení [% suš.]					
SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	Na₂O	K₂O	CaO
94	1,72	0,387	1,99	0,726	0,174
MgO	BaO	MnO	Cr₂O₃	TiO₂	ZrO₂
0,057	0,019	0,011	0,081	0,037	0,019



Obr. č. 15: Odpadní slévárenský písek (černý)

- **Popílký**

- **Vysokoteplotní filtrový popílek Opatovice (KP-OP) kontaminovaný vlivem denitrifikační technologie**

Tepelná elektrárna Opatovice ročně vyprodukuje až 260 tis. tun tohoto popílku. Popílek je v pevném a suchém stavu, a není tedy nutné jej před použitím sušit. Jeho zrnitost není optimální pro použití do nátěrových hmot, a proto je nutné jej před použitím v podobě plniva domílat.

Tab. 7: Základní vlastnosti a informace o vysokoteplotním filtrovém popílku kontaminovaným vlivem denitrifikační technologie

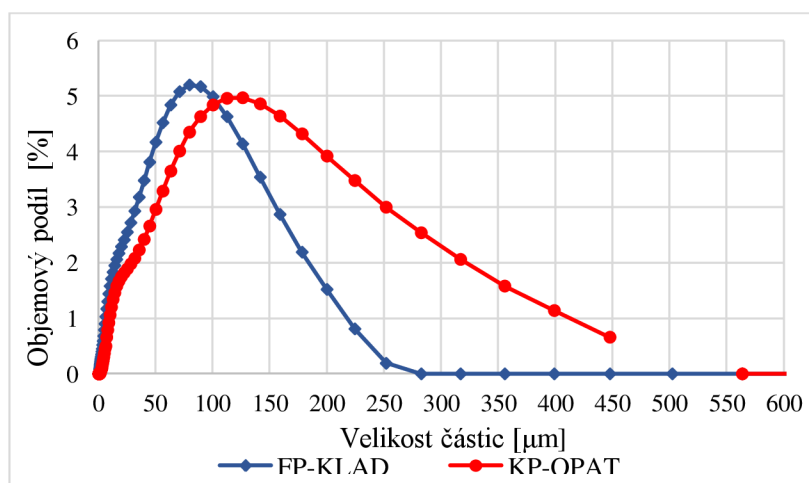
Základní vlastnosti a informace					
Měrná hmotnost	2420 kg/m ³				
Měrný povrch	278 m ² /kg				
Ztráta sušením (105 °C)	0,25%				
Ztráta žíháním (1100 °C)	2,32 % suš.				
Požadavky na předúpravu	Do nátěrů potřeba domílat				
Koncentrace NH ₃	97 ppm				
Chemické složení [% suš.]					
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO
51,6	25,9	9,5	0,43	1,62	2,06
MgO	MnO	P ₂ O ₅	SO ₃	TiO ₂	Li ₂ O
1,34	0,086	0,225	0,25	1,26	0,005

○ **Fluidní filtrový popílek Kladno (FP–KLAD) kontaminovaný vlivem denitrifikační technologie**

Tepelná elektrárna Kladno má vysokou roční produkci fluidního filtračního popílku a proto byl vybrán jako druhotná surovina. Tento popílek je pevného skupenství a před použitím v podobě plniva jej není nutné sušit. Jeho zrnitost není optimální pro použití do nátěrových hmot, a proto je nutné jej před použitím v podobě plniva domílat.

Tab. 8 : Základní vlastnosti a informace o fluidním filtrovném popílku kontaminovaným vlivem denitrifikační technologie

Základní vlastnosti a informace					
Měrná hmotnost	2672 kg/m ³				
Měrný povrch	627 m ² /kg				
Ztráta sušením (105 °C)	0,20%				
Amoniakální dusík [mg/kg suš.]	19,80				
Amoniak jako amonné ionty NH ₄ [mg/kg suš.]	25,5				
Chloridy [mg/kg suš.]	76				
Požadavky na předúpravu	Do nátěrů potřeba domílat				
Koncentrace NH ₃	30,11 ppm				
Chemické složení [% suš.]					
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO
35,2	19,8	5,8	0,307	0,629	18,5
MgO	MnO	P ₂ O ₅	SO ₄	TiO ₂	volné CaO
1,05	0,033	0,18	5,88	2,27	8,74



Graf 3: Distribuce velikosti částic vysokoteplotního popílku Opatovice a fluidního popílku Kladno



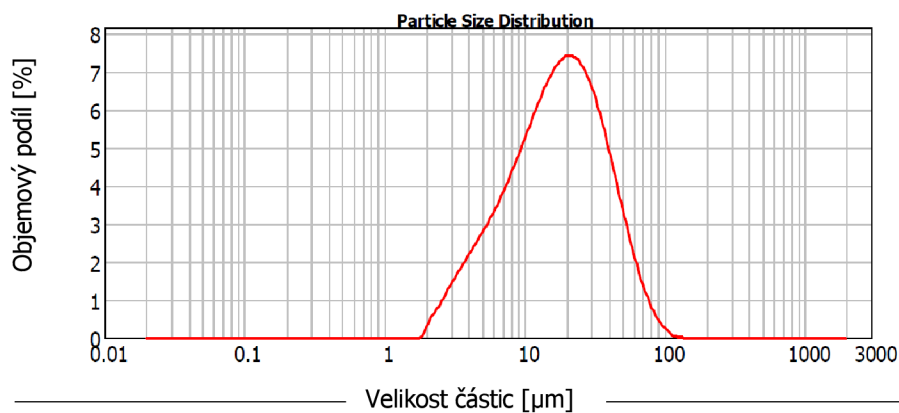
Obr. č. 16: Fluidní filtrový popílek Kladno (FP- KLAD)



Obr. č. 17: Vysokoteplotní filtrový popílek Opatovice (KP-OPAT)

- **Vysokopecní struska Kotouč Štramberk**

Vysokopecní struska není nebezpečná pro zdraví, je nehořlavá a nerozpustná ve vodě. Tato vysokopecní struska je pevného skupenství a před použitím v podobě plniva ji není třeba sušit, mlít ani třídit. Měrná hmotnost je 2800 kg/m^3 a měrný povrch $380 \text{ m}^2/\text{kg}$. Velikost distribuce částic můžeme vidět na grafu 4.



Graf 4: Distribuce velikosti částic vysokopecní strusky



Obr. č. 18 : Vysokopecní struska Kotouč Štramberk

- **Brusné kaly CIDEMAT**

Roční produkce brusných kalů ve společnosti CIDEMAT činí 1000 tun ročně. Kaly vznikají při broušení teracových dlažeb. Odpad není nebezpečný pro zdraví. Tento kal je před použitím potřeba vysušit po dobu 48 hodin při teplotě 70°C, následně pomlít v kulovém mlýně a roztřídit podle frakcí. Surovina je pevného skupenství, nehořlavá a nerozpustná ve vodě. Měrná hmotnost je 2430 kg/m³.

Tab. 9: Chemické složení brusných kalů CIDEMAT

Chemické složení								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MnO	Cl	S	Mgo	Neraz. Zbytek
4,55	0,42	0,79	52,65	0,011	0,02	1,25	1,72	7,86

9.2.1.3 Plniva na bázi nebezpečných odpadů

- **Pevné odpady z čištění odpadních plynů**

Jedná se o popel ze spalování NO ve zdravotnictví – filtrový popílek. Tento nebezpečný odpad vzniká při spalování zdravotnických potřeb např. injekčních stříkaček, náplastí apod. Filtrový popílek není třeba před použitím v podobě plniva sušit, tříditi ani domílat. Surovina má pevné skupenství, je nehořlavá a nerozpustná ve vodě. Jelikož jsou vždy spalovány různé druhy zdravotnických potřeb, bývá chemické složení různé. Jedná se o sypký a prachový podíl z čištění plynů elektrofiltry, rukávovými filtry nebo cyklony. Odpad má několik nebezpečných vlastností a to: HP 5 (toxicita pro specifické cílové orgány, toxicita při vdechnutí), HP 7 (karcinogenní), HP 13 (senzibilizující), HP 14 (ekotoxický).

Tento NO je nutno pro použití jako plnivo do nátěrů solidifikovat.

Vyluhovatelnost následně uvedených nebezpečných odpadů byla provedena dle vyhlášky č.294/2005 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady. Úprava vzorků a následná příprava vodného výluhu byla provedena dle ČSN EN 12457-4.

Tab. 10: Vyluhovatelnost dle ČSN EN 12457-4 pevných odpadů z čištění odpadních plynů

Vyluhovatelnost [mg/l]									
pH	Chloridy	RL ¹	Fluoridy	Sírany	As	Ba	Cd	Cr	Cu
10,1	27 500	180 000	217	9 740	< 0,01	0,66	0,005	< 0,1	< 0,2
Hg	Ni	Pb	Sb	Se	Mo	Zn	DOC ²	Fenoly	
0,156	<0,05	0,1	2,7	< 0,01	< 0,1	3,66	154	< 0,01	

Vysvětlivky: ¹ (celkové rozpustné látky), ² (rozpuštěný organický uhlík)



Obr. č. 19: Pevné odpady z čištění odpadních plynů

- **Kaly z fyzikálně-chemického zpracování obsahující nebezpečné látky**

Jedná se o NO ze staré ekologické zátěže. Jedná se o neutralizační kal, který je odpadním produktem z procesu válcování pechů. Mezi nebezpečné vlastnosti odpadu patří: HP 3 (hořlavé), HP 5 (toxická pro specifické cílové orgány, toxická při vdechnutí), HP 13 (senzibilizující), HP 14 (ekotoxický). Skupenství odpadní látky a před použitím v podobě plniva se musí vysušit, pomlít a následně solidifikovat.

Tab. 11: Vyluhovatelnost dle ČSN EN 12457-4 kalů z fyzikálně-chemického zpracování obsahující nebezpečné látky

Vyluhovatelnost [mg/l]								
pH	Chloridy	Fluoridy	Sírany	As	Ba	Cd	Cr	Cu
8,9	458	1	1960	<0,001	0,048	<0,0001	<0,003	0,02
Hg	Ni	Pb	Sb	Se	Mo	Zn	DOC ²	RL ¹
<0,0001	<0,02	<0,0001	<0,001	0,0023	0,0297	<0,02	46,3	3480

Vysvětlivky: ¹ (celkové rozpustné látky), ² (rozpuštěný organický uhlík)

Tab. 12: Koncentrace škodlivin v sušině kalů z fyzikálně- chemického zpracování obsahující nebezpečné látky

Koncentrace škodlivin v sušině [mg/mg]					
As	Cd	Cr	Pb	EOX	Uhlovodíky
5,59	0,29	582	290	0,9	2700



Obr. č. 20: Kaly z fyzikálně-chemického zpracování obsahující nebezpečné látky

- **Odprašky**

Cementářské odprašky jsou vedlejším produktem při výrobě cementu. Tyto odprašky vznikají v tzv. bypassu umístěným mezi rotační pecí a předehřívacím pásmem. Vzhledem k vysokému obsahu alkálií nemohou být přidány zpět k surovinové moučce. Před použitím v podobě plniva do nátěrových hmot je vhodné je domílat a následně solidifikovat.

Měrná hmotnost těchto odprašků je 2,70 g/cm³ a měrný povrch 9820 cm²/g.

Tab. 13: Vyluhovatelnost dle ČSN EN 12457-4 cementářských odprašků

Vyluhovatelnost [mg/l]								
pH	Chloridy	RL	Fluoridy	Sírany	As	Ba	Cd	Cr
12,8	10 700	39 500	3,96	4 980	<0,05	0,729	<0,005	3,65
Hg	Ni	Pb	Sb	Se	Mo	Zn	DOC	Cu
<0,001	<0,02	163	<0,05	0,458	0,659	3,46	2,49	<0,01

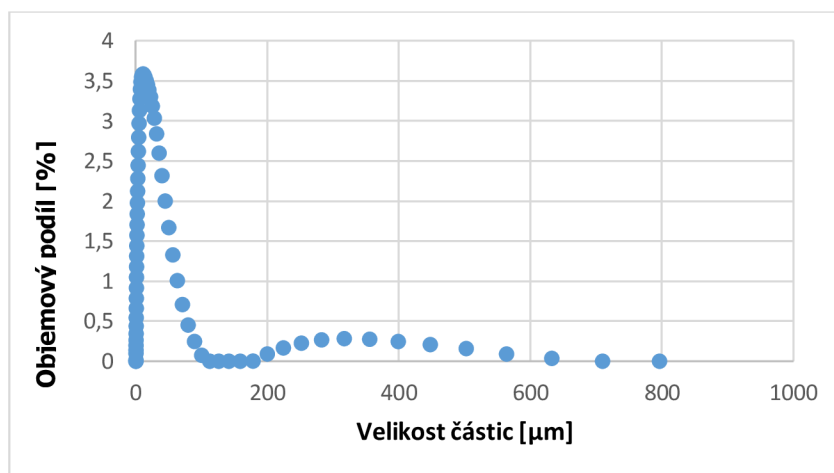
Vysvětlivky: ¹ (celkové rozpustné látky), ² (rozpuštěný organický uhlík)

Cementářské odprašky na základě výsledků vyluhovatelnosti nespádají dle vyhlášky 294/2005 sb. do žádné z uvedených tříd vyluhovatelnosti, neboť došlo u všech tříd k překročení limitních hodnot ukazatelů.

Tab. 14: Koncentrace škodlivin v sušině cementářských odprašků

Koncentrace škodlivin v sušině [mg/kg]							
As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	V	EOX ¹
16,0	76,3	155,0	<0,20	9,4	3720,0	30,6	<1,0

*Vysvětlivky:*¹ (extrahovatelné organicky vázané halogeny)



Graf 5: Distribuce velikosti částic cementářských odprašků

Koncentrace škodlivin v sušině a výluhy byly provedeny na základě vyhlášky 294/2005.

9.2.2 Definice vhodných pojiv

V teoretické části byly charakterizovány nejčastější pojivové složky nátěrových hmot. Jedná se o polyuretanové pryskyřice, akrylátové pryskyřice, silikonové pryskyřice a epoxidové pryskyřice. Právě epoxidová pryskyřice je nejčastěji používána do parotěsných ochranných nátěrových hmot, které jsou odolné chemicky agresivnímu prostředí. Dalšími důvody použití EP jako vhodného plniva do vyvíjených nátěrových hmot jsou její vysoké chemické odolnosti, vysoké mechanické pevnosti a dobré plnění tohoto pojiva.

- **Epoxidová pryskyřice**

EP se rozdělují na rozpouštědlové EP, bezrozpouštědlové EP a vodou ředitelné EP. V současnosti jsou nejpoužívanější bezrozpouštědlové EP.

- Rozpouštědlové epoxidové pryskyřice

Rozpouštědlové EP kvůli větším nárokům na ekologii ztrácí své stálé místo na trhu, a to zejména kvůli odparu rozpouštědel, kterými jsou nejčastěji xylen a butylacetát. Nelze zabránit odparu rozpouštědel do ovzduší, jelikož úplný odpar z hmoty je podmínkou dokonalé polymerace. Rozpouštědla se přidávají za účelem snížení viskozity, dalším důvodem je také cena. Snižují cenu nátěrových hmot zejména kvůli vysokému dávkování přibližně 70 – 80 hmotnostních procent. [35]

- Bezrozpouštědlové epoxidové pryskyřice

Pro snížení viskozity se používají speciální ředidla, avšak ty se liší od klasických ředidel z hmoty neodpařují. Bezrozpouštědlové EP jsou náchylné na zvýšenou vlhkost podkladu. V případě, že je vlhkost podkladu vyšší než 4 % je nutno použít vhodnou penetraci. Doporučená max relativní vlhkost vzduchu při aplikaci je 75 %. Obsah těkavých látek (VOC – volatile organic compounds) je minimální. [35]

- Vodou ředitelné epoxidové pryskyřice

Tato technologie vznikla jako šetrnější způsob k životnímu prostředí. Základními složkami jsou pryskyřice a tvrdidlo jako u bezrozpouštědlových systémů. Vodou ředitelné EP snadno a dokonale přilnou i na vlhký podklad oproti bezrozpouštědlovým EP. Lze je aplikovat i při vysokých relativních vlhkostech vzduchu. Obsah VOC je nulový. Z nátěrové hmoty se odpařuje pouze voda. [35]

9.3 III. Etapa: Předúprava a výběr vhodných druhotných surovin a nebezpečných odpadů

V této etapě je cílem vybrat nejvhodnější plnivo z druhotných surovin a nebezpečných odpadů na základě optimalizačního výpočtu. Dále je tato etapa zaměřena na vhodnou solidifikaci vybraných NO a přípravu plniv ze vzniklých solidifikátů.

9.3.1 Optimalizační výpočet pro výběr vhodných plniv

Na základě optimalizačního výpočtu jsou vybrána nejvhodnější plniva na bázi druhotných surovin a NO. Tyto suroviny jsou uvedeny v tabulce 15 a označeny písmeny A-J.

Tab. 15: Nebezpečné odpady a druhotné suroviny vybrané pro optimalizační výpočet

	Plnivo
A	Odpadní perlit
B	Odpadní autosklo
C	Odpadní slévárenský písek (černý)
D	Vysokoteplotní filtrový popílek, kontaminovaný vlivem denitrifikační technologie – Opatovice (KP-OPAT)
E	Fluidní filtrový popílek, kontaminovaný vlivem denitrifikační technologie – Kladno (FP-KLAD)
F	Vysokopeční struska - Kotouč Štramberk
G	Brusné kaly CIDEMAT
H	Pevné odpady z čištění odpadních plynů
I	Kaly z fyzikálně - chemického zpracování obsahující nebezpečné látky
J	Odprašky

Dalším krokem je výběr kritérií, dle kterých se budou vybraná plniva hodnotit. Velice důležité kritérium je chemická inertnost a stálost složení, všechny další kritéria jsou uvedeny v tabulce 16.

Tab. 16: Vybraná hodnotící kritéria pro vybraná plniva

Číslo	Kritérium	Jednotka	Hodnocení
1	Dostupnost	[-]	[1 - 3] ¹
2	Stálost složení	[-]	[1 - 3] ²
3	Náročnost předúpravy	[-]	[1 - 3] ³
4	Chemická inertnost	[-]	[1 - 3] ⁴
5	Max. velikost částic	[μm]	[-]
6	Měrná hmotnost	[kg/m ³]	[-]
7	Nebezpečnost	[-]	[1 - 5] ⁵

Vysvětlivky:

¹ 1 – minimální dostupnost, 3 – maximální dostupnost

² 1 – složení je v čase nestejnorodé, 3 – složení je konstantní

³ 1 – nejméně náročná předúprava, 3 – velice složitá předúprava suroviny

⁴ 1 – chemicky reaktivní odpadní suroviny, 3 – chemicky inertní ve většině prostředích

⁵ 1 – nejméně nebezpečné odpady, 5 – vykazují více nebezpečných vlastností

Hodnoty jednotlivých kritérií jsou uvedeny v tabulce 17, kde je také uvedena optimální maximální nebo minimální hodnota pro dané kritérium.

Tab. 17: Rozhodovací matice

číslo	optimum	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Min	Max
1	min	2	2	2	1	1	2	2	2	3	2	1	3
2	min	2	2	3	2	1	2	3	3	3	2	1	3
3	min	2	3	2	2	2	1	3	2	3	2	1	3
4	min	1	2	2	2	1	2	3	2	3	1	1	3
5	min	300	500	400	130	90	40	200	150	200	50	40	500
6	max	200	2540	2680	2420	2670	2800	2430	2000	2000	2700	200	2800

Tab. 18: Výpočet váhy (Sattih matice)

číslo	1	2	3	4	5	6	7	S_i	R_i	F_i	
1	1	3	1/4	4	1/3	5	2	10,00000000	1,42857143	0,01355718	
2	1/3	1	1/2	2	3	5	1/3	1,66666667	0,23809524	0,00225953	
3	4	2	1	4	4	5	1	640,00000000	91,42857143	0,86765920	
4	4	1/2	1/4	1	1/5	3	1/4	0,07500000	0,01071429	0,00010168	
5	3	1/3	1/4	5	1	3	1/2	1,87500000	0,26785714	0,00254197	
6	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1	1/7	0,00012698	0,00001814	0,00000017	
7	1/2	3	1	4	2	7	1	84,00000000	12,00000000	0,11388027	
	SUMA								737,61679365	105,37382766	1,00000000

Použité vzorce pro výpočty

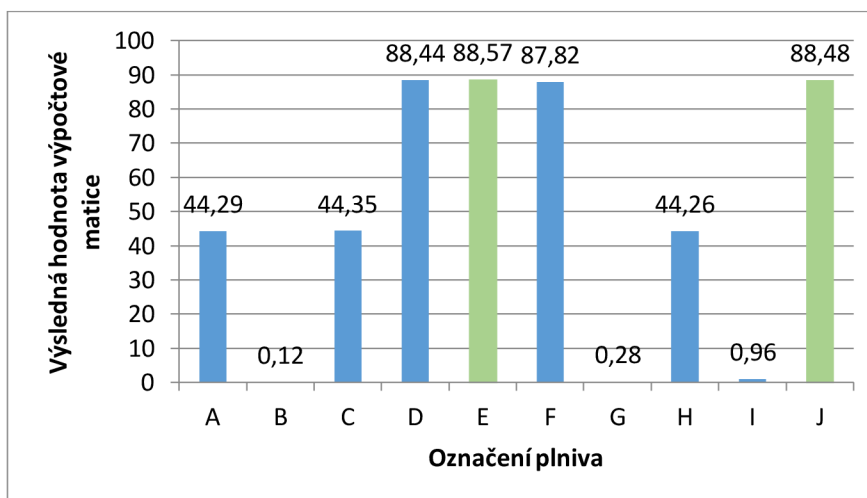
$$S_i = \prod_{j=1}^n s_{ij} \quad R_i = (S_i)^{\frac{1}{n}} \quad F_i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^n R_i}$$

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

Tab. 19: Výpočtová matice (metoda kvantitativního párového srovnání)

číslo	F_i	Optim	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	0,014	max	0,68	0,00	0,68	1,36	1,36	0,68	0,00	0,68	0,68	1,36
2	0,002	max	0,11	0,11	0,23	0,11	0,23	0,11	0,11	0,00	0,11	0,11
3	0,868	min	43,38	0,00	43,38	86,77	86,77	86,77	0,00	43,38	0,00	86,77
4	0,000	max	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
5	0,003	min	0,11	0,00	0,06	0,20	0,23	0,25	0,17	0,19	0,17	0,25
6	0,000	max	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,114	min	11,39	7,59	11,39	11,39	11,39	11,39	11,39	0,00	0,00	3,80
	SUMA		44,29	0,12	44,35	88,44	88,57	87,82	0,28	44,26	0,96	88,48

Maximální hodnota ve výpočtové matici je 100, a proto budou vybrána plniva, které se této hodnotě nejvíce přiblíží.



Graf 6: Výsledné hodnoty plniv na základě optimalizačního výpočtu

9.3.1.1 Vyhodnocení optimalizace

Na základě výsledků optimalizace se jeví jako nejlepší druhotná surovina fluidní filtrový popílek Kladno kontaminovaný vlivem denitrifikační technologie s hodnotou 88,57 a z nebezpečných odpadů (NO) vychází nejlépe odprašky s hodnotou 88,48. Tato dvě plniva mají neoptimálnější požadované vlastnosti, a proto budou následně použity pro návrh receptur vyvíjených nátěrových hmot PREMIUM a ECOLOGY.

9.3.2 Solidifikační technologie pro přípravu plniv ze solidifikátů

- Sbalkování (peletizace)

Jedná se o metodu sbalkování prachového materiálu, která je založena na zvlhčení jemnozrnné suroviny. V rotujícím zařízení se jednotlivé částičky suroviny shlukují a tvoří tzv. zárodky. Po nabalování vzniknou kulovité částičky (granule, pelety)

- Lisování do tablet

Aby vznikl kvalitní solidifikát, jsou kladeny na sypké suroviny některé požadavky především z hlediska jejich sypnosti a lisovatelnosti.

- Suchá homogenizace

Suché a sypké suroviny se společně smíchají v nádobě umístěné v homogenizátoru a zajistí se tak dokonalé promísení dvou surovin. Takto vzniklý solidifikát, pokud nemá požadovanou zrnitost, je vhodné ještě před použitím pomlít, a to taky za účelem lepšího propojení NO a solidifikačního činidla, což zaručí úspěšnější solidifikaci.

Jako nejvhodnější technologie předúpravy NO cementářských odprašků je zvolena solidifikace formou suché homogenizace s přidáním solidifikačního činidla v podobě fluidního filtrového popílku Kladno.

Suchá homogenizace těchto vybraných surovin je provedena v homogenizátoru, dokud se všechny suroviny dostatečně nehomogenizují. Ve srovnání s technologiemi lisování do tablet a sbalkování, je metoda suché homogenizace ekologičtější a časově méně náročná. Dostatečně homogenizovaný solidifikát se následně pomele za účelem dosažení požadované zrnitosti pro přípravu polymerních nátěrových hmot, ale také za účelem dosažení lepšího propojení jednotlivých složek, jelikož pomletím se jednotlivé částičky více přiblíží a dojde k fyzikálnímu propojení. To může zaručit také úspěšnější solidifikaci.

9.4 IV. Etapa: Návrh prvotních receptur nátěrových hmot odolných v chemicky agresivním prostředí a návrh metodiky zkoušení

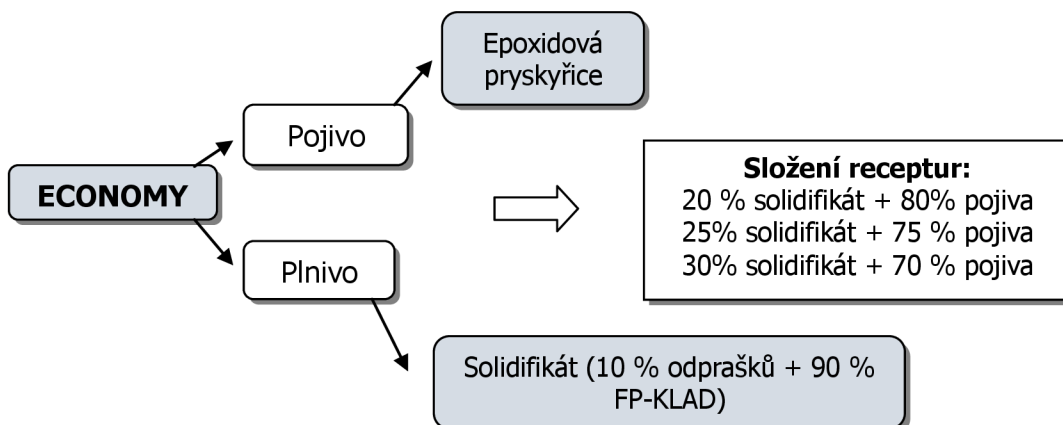
Tato etapa je zaměřena na návrh receptur chemicky odolných nátěrových hmot na základě výběru nejvhodnějších plniv a pojiv v předchozích etapách. Je zde navržena nátěrová hmota PREMIUM a ECOLOGY. Hmota PREMIUM je následně experimentálně ověřena a porovnána s referenční nátěrovou hmotou obsahující pouze primární suroviny.

9.4.1 Návrh receptur

9.4.1.1 Návrh hmoty ECONOMY

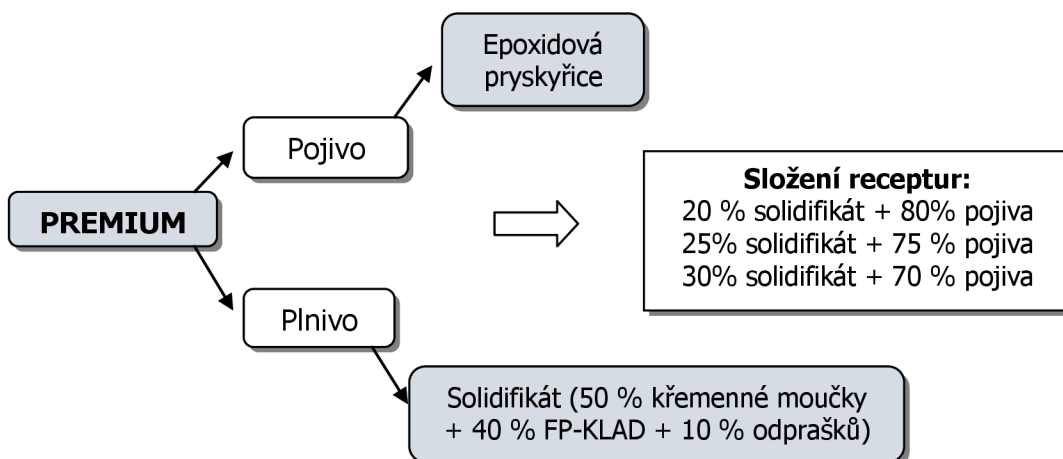
Jako plnivo u této hmoty jsou využity pouze druhotné suroviny a nebezpečný odpad v podobě odprašků z bypassu, které byly vybrány na základně optimalizačního výpočtu.

Z druhotných surovin je použit fluidní filtrový popílek z tepelné elektrárny Kladno (FP-KLAD) kontaminovaný vlivem denitrifikační technologie sloužící jako solidifikační činidlo. Jako plnivo je použita chemicky odolná epoxidová pryskyřice (EP).



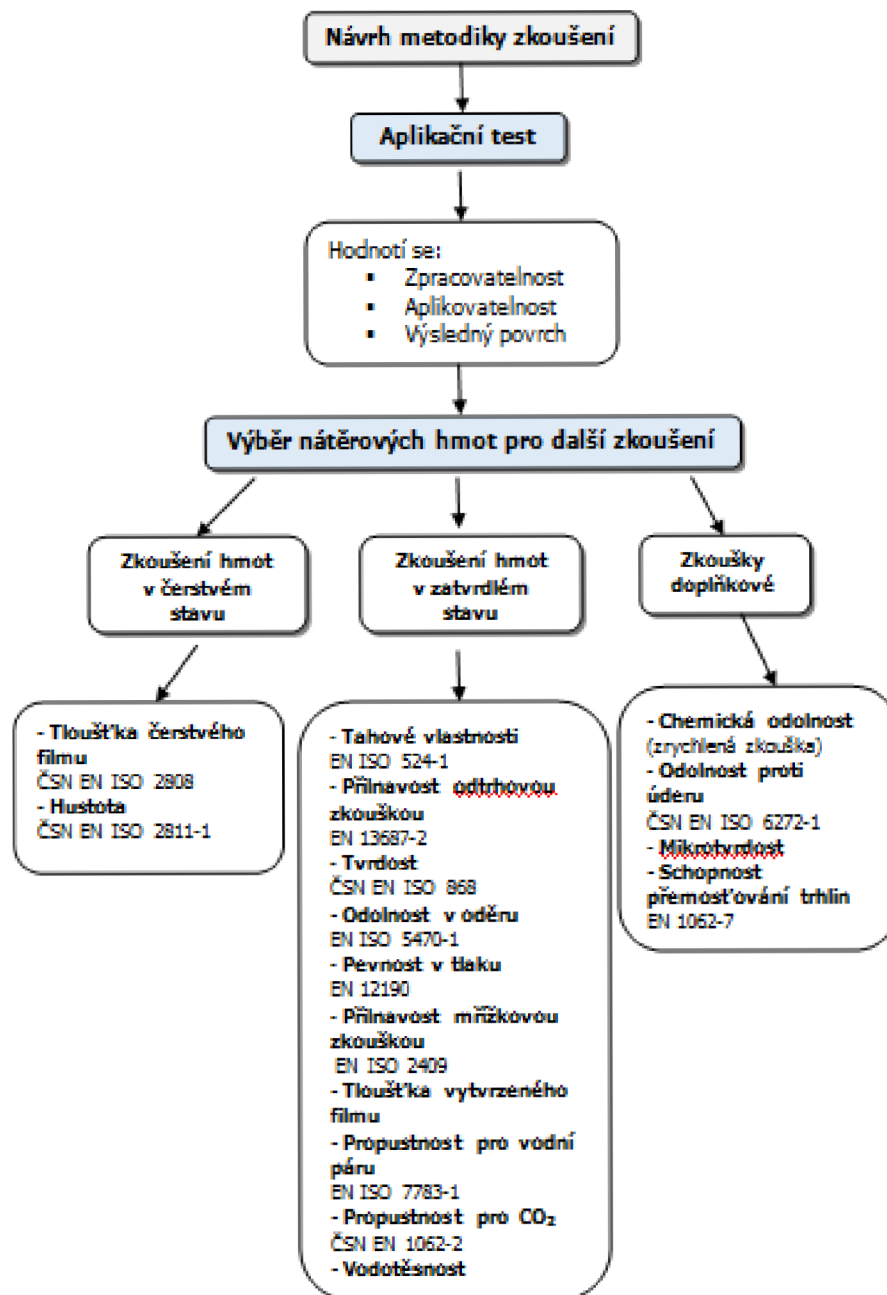
9.4.1.2 Návrh hmoty PREMIUM

Plnivo nátěrové hmoty PREMIUM využívá druhotné suroviny, nebezpečné odpady i primární suroviny. Druhotná surovina a NO jsou stejné jako u hmoty ECONOMY a jako primární surovina je zde použita křemenná moučka za účelem snížení nebezpečnosti použitého plniva a zvýšení chemické odolnosti.



9.4.2 Návrh metodiky zkoušení

V navržené metodice zkoušení pro vývoj a výzkum se jako první provádí aplikační test. Sleduje se zde zpracovatelnost, aplikovatelnost a výsledný povrch zpolymerované nátěrové hmoty. Na základě aplikačního testu se vyberou nátěrové hmoty, které budou podrobeny podrobnějšímu zkoušení fyzikálních a mechanických vlastností. Jedná se o zkoušení nátěrových hmot v čerstvém a zatvrdlém stavu. Hlavním cílem je chemická odolnost nátěrových hmot, se kterou také souvisí vodotěsnost a parotěsnost těchto hmot, které zajistí ochrannou bariéru před agresivními médii. Tyto parametry taktéž souvisí s dlouhodobou trvanlivostí nátěru. Jednotlivé zkoušky závisí i na tom, na jaký povrch (betonový, kovový aj.) se nátěr aplikuje. Vyvíjené nátěrové hmoty se plánují aplikovat na betonový povrch. Navrhované zkoušky jsou uvedeny níže v grafické podobě pro větší přehlednost. Navrženy jsou takové zkoušky, které vyplývají z plánovaného využití vyvinuté chemicky odolné nátěrové hmoty, pomocí níž lze definovat požadavky na tyto hmoty.



EXPERIMENTÁLNÍ PROVĚŘENÍ

Pro experimentální prověření jsou vybrány pouze základní zkoušky z navržené metodiky. Vyhodnocuje se zde aplikační test, tloušťka čerstvého filmu, tahové vlastnosti, tvrdost, odolnosti proti úderu, tloušťka ve vytvrzeném stavu, přilnavost odtrhovou zkouškou a chemická odolnost.

Velikost a distribuce částic plniva, které se plánuje použít do hmoty PREMIUM, je téměř stejné jako u hmoty ECOLOGY, a proto pro experimentální prověření byla vybrána pouze hmota PREMIUM obsahující jako plnivo solidifikát v podobě 50 % křemenné moučky, 40 % popílku Kladno a 10 % odprašků.

Základní zkoušky jsou provedeny tedy na hmotě PREMIUM s dalším označením (SP) a na referenční hmotě (REF) a jejich tloušťky jsou větší než v praxi, právě kvůli provádění základních zkoušek.

V praxi se pohybuje tloušťka vícevrstevných nátěrů okolo 300 μm , a proto jsou zhotoveny nátěrové hmoty s označením REF 1 a SP 1 s menší tloušťkou, kde se sledovala pouze zpracovatelnost, aplikovatelnost, výsledný povrch, výsledná tloušťka a přilnavost nátěru.

Definice vstupních surovin:

Jako pojivo ve všech recepturách je použita dvousložková epoxidová pryskyřice s označením EP1 [40]

U hmot, které jsou nanášeny na cementotřískové desky za účelem dalšího zkoušení představuje - první složka pryskyřice A samotnou EP z bisfenolu A, epichlorhydrinu a nízkomolekulární EP na bázi bisfenolu F. Složka B je polyaminové tvrdidlo. Pro aplikaci receptur, které jsou nanášeny v tenčí vrstvě (500 μm) je taktéž použita EP1.

Před samotnou aplikací nátěrů REF 1 a SP 1 je použita navíc penetrace v podobě nízkoviskózní EP od IN CHEMIE. V referenční hmotě s označením REF je použita jako plnivo křemenná moučka, kterou není třeba před použitím domílat. Vyvíjená nátěrová hmota s označením SP obsahuje plnivo v podobě solidifikátu (50 % křemenná moučka, 40 % popílku Kladno, 10 % odprašků), které je nutno domílat.



Obr. č. 21: Plnivo v podobě solidifikátu v mlecí nádobě

Tab. 20: Receptury pro experimentální ověření

Označ. hmoty	Složky pojiva		Poměr složek A:B	Plnivo	Plnění [% hmotnostní]		
REF	A	EP	2,3:1	Křemenná moučka	20	25	30
	B	tvrdidlo					
REF 1	A	EP	2,3:1	Křemenná moučka	20	25	30
	B	tvrdidlo					
SP	A	EP	2,3:1	50 % křem. moučky, 40 % popílku, 10 % odprašků	20	25	30
	B	tvrdidlo					
SP 1	A	EP	2,3:1	50 % křem. moučky, 40 % popílku, 10 % odprašků	20	25	30
	B	tvrdidlo					

9.4.3 Aplikační test

V rámci aplikačního testu se sledovala zpracovatelnost, aplikovatelnost a výsledný povrch nátěrových hmot. Tento test se provádí proto, aby se zjistily základní vlastnosti (homogenizace, reologické vlastnosti, konzistence, rozdispergovatelnost plniva) nátěrových hmot, a i na základně toho se vybraly receptury pro další podrobnější zkoušení. K vyhodnocení aplikovatelnosti a výsledného povrchu byly nátěrové hmoty nanášeny na cementotřískové desky

- **Zpracovatelnost**

Tab. 21: Hodnocení zpracovatelnosti navržených receptur

Plnivo	Zpracovatelnost v závislosti na obsahu plniva [hmotnostní %]		
	20	25	30
REF REF 1	Zpracovatelnost jednotlivých složek je snadná. Složky jsou kompatibilní. Časově a mechanicky nenáročné.	Zpracovatelnost jednotlivých složek je snadná. Složky jsou kompatibilní. Časově a mechanicky nenáročné.	Zpracovatelnost jednotlivých složek je snadná. Složky jsou kompatibilní. Časově a mechanicky mírně náročné.
SP SP1	Nedochází ke tvorbě shluků plniva...rozdispergovatelnost plniva je dobrá	Nedochází ke tvorbě shluků plniva...rozdispergovatelnost plniva je dobrá	

- **Aplikovatelnost**

Vyvinené nátěrové hmoty se aplikovaly pomocí kovové ruční zubové stěrky na cementotřískové desky. Při aplikaci se sledovaly reologické vlastnosti hmoty a kompatibilita pojiva a plniva. Dále zda dochází k celkovému slinutí a zda dojde k vyrovnání povrchu hmoty.

Pokud je nátěrová hmota vyhovující, vyznačuje se dobrými reologickými vlastnostmi, je dobře aplikovatelná ruční zubovou stěrkou, dochází k rovnoměrnému slinutí a vyplňuje prostor, kde je aplikována.

Tab. 22: Vyhodnocení aplikovatelnosti vyviněných nátěrových hmot

Plnivo	Aplikovatelnost v závislosti na obsahu plniva [hmotnostní %]		
	20	25	30
REF REF1	Vyhovující	Vyhovující	Vyhovující
SP SP1			

- **Výsledný povrch**

Hodnotí se výsledný zpolymerovaný povrch nátěrových hmot. Hodnotí se zejména, zda na povrchu nejsou trhlinky, důlky, fleky a zda nedošlo k separaci plniva od pojivové složky. Hodnotí se také rovinnost povrchu. Výsledný povrch se porovnává pouze vizuálně.



Obr. č. 22 : Vyhovující výsledný povrch nátěrové hmoty (vlevo), nevyhovující výsledný povrch nátěrové hmoty (vpravo)

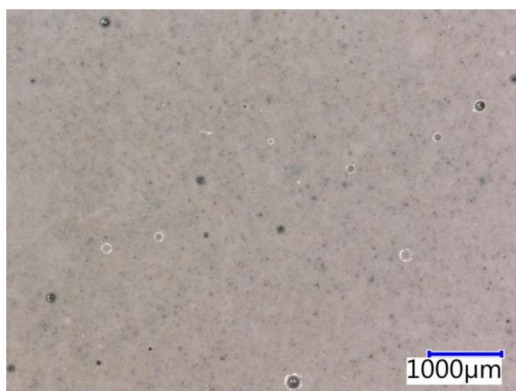
Tab. 23 : Hodnocení výsledného povrchu navržených receptur

Plnivo	Výsledný povrch v závislosti na obsahu plniva [hmotnostní %]		
	20	25	30
REF	Nevyhovující	Vyhovující	Vyhovující
REF1	Vyhovující	Vyhovující	Vyhovující
SP			
SP1	Vyhovující	Vyhovující	Vyhovující

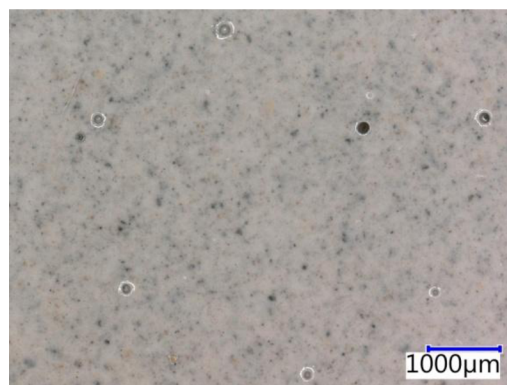
V aplikačním testu se prokázalo, že plnivo v podobě solidifikátu má stejnou náročnost pro zpracovatelnost a aplikovatelnost jako nátěry s referenčním plnivem. Výsledný povrch byl u všech hmot vyhovující, kromě referenční hmoty s 20% plněním, kde byla zvolena větší tloušťka nátěru, než u ostatních nátěrových hmot. Mohlo tedy dojít k nerovnoměrnému roznesení nátěrové hmoty na povrchu a vzniku nevyhovujícího zpolymerovaného povrchu. Na základě tohoto testu byly dále provedeny další zkoušky pro všechny navržené receptury.

- **Hodnocení mikrostruktury**

Jedním z dalších faktorů, které ovlivňují výsledný povrch nátěrových hmot je jemnost mletí použitého plniva. Na následujících mikroskopických snímcích lze vidět rozdíl mezi použitím pomletého plniva v podobě solidifikátu a stejného typu plniva, avšak nepomletého. Lze pozorovat zejména větších zrn popílku v nepomletém plnivu a větších vzduchových bublin na povrchu čerstvé nátěrové hmoty.



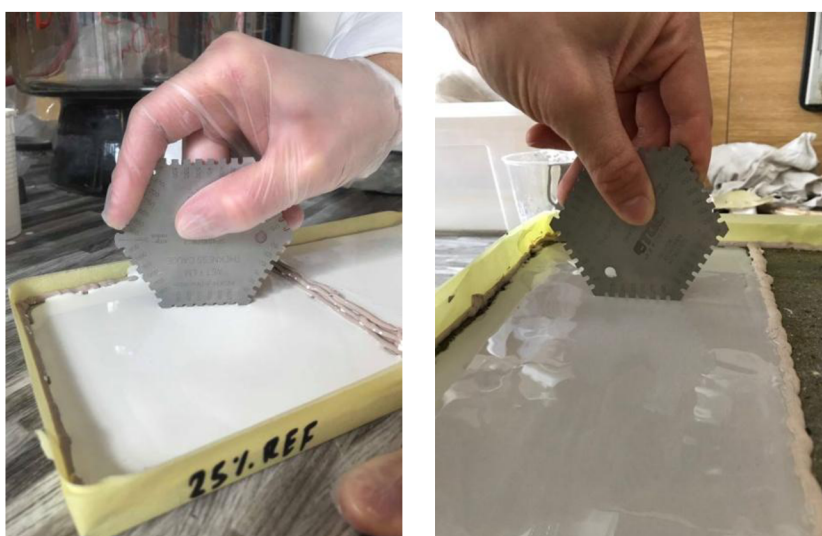
Obr. č. 23 : Povrch nátěrové hmoty na mikroskopickém snímku s pomletým plnivem (3 x zvětšeno)



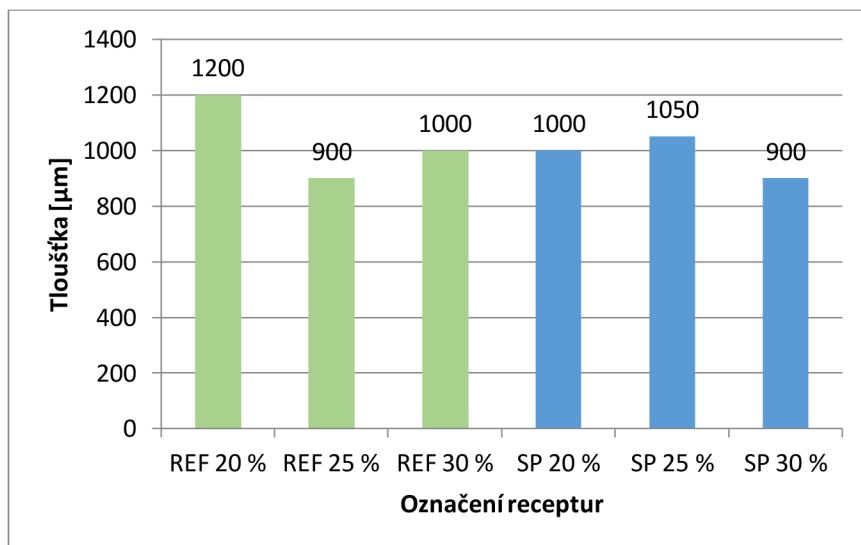
Obr. č. 24: Povrch nátěrové hmoty na mikroskopickém snímku s nepomletým plnivem (3x zvětšeno)

9.4.4 Tloušťka čerstvého filmu

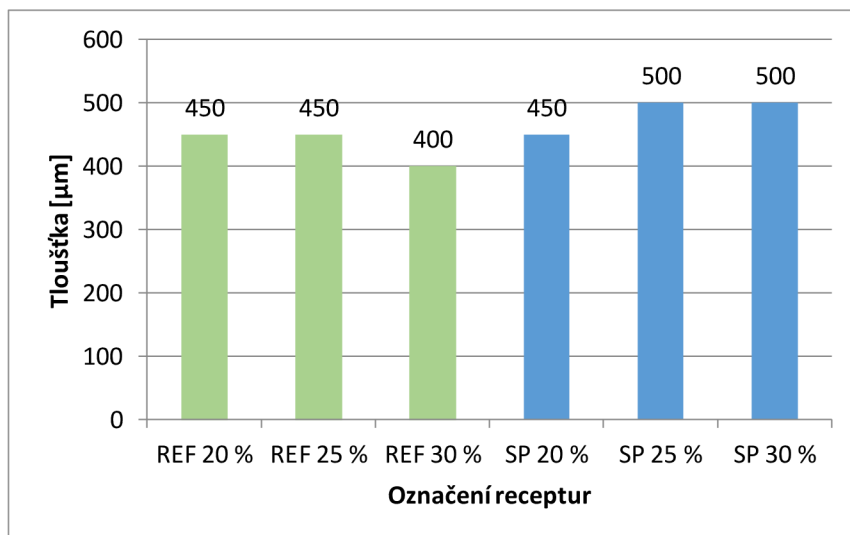
Stanovila se podle normy ČSN EN ISO 2808 „Nátěrové hmoty – Stanovení tloušťky nátěru“. Měření proběhlo u každého vzorku nátěrové hmoty. [36]



Obr. č. 25: Měření tloušťky čerstvého nátěru pomocí šestihránného nerezového hřebene



Graf 7: Naměřené tloušťky čerstvých hmot REF a SP



Graf 8: Naměřené tloušťky čerstvých hmot REF 1 a SP 1

9.4.5 Tahové vlastnosti

Tato zkouška se prováděla dle normy EN ISO 527-1 „Plasty – stanovení tahových vlastností“.

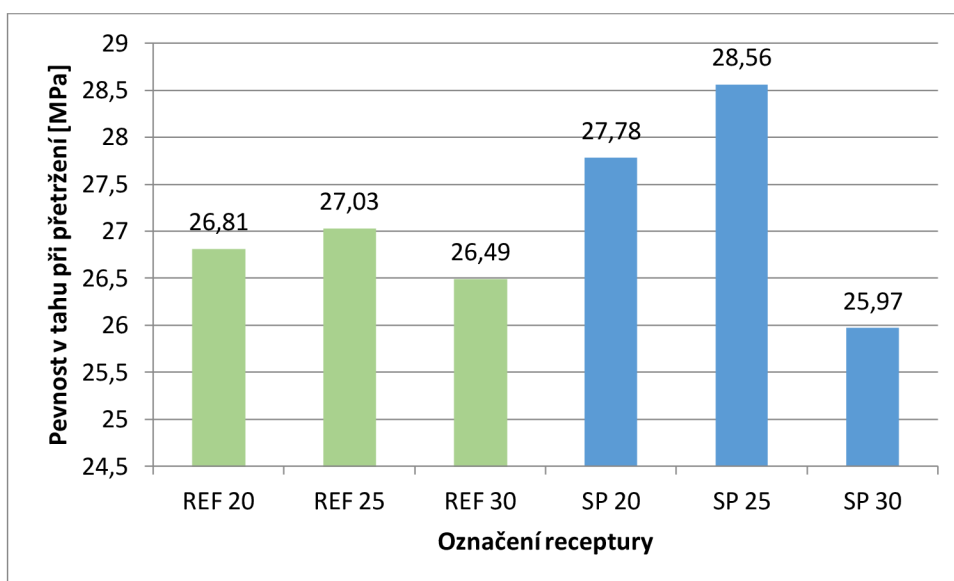
Principem této zkoušky bylo protahování zkušebního tělesa viz obr. č. 26 ve směru hlavní podélné osy konstantní rychlostí až do porušení. Při zatěžování rovnoměrně rostoucí tahovou silou F se zkušební těleso postupně deformovalo a až při maximálním tahovém zatížení došlo k destrukci. Při této zkoušce se průtahoměrem sleduje změna počáteční měřené délky L_0 průtahoměru, která byla 25 mm. [37]



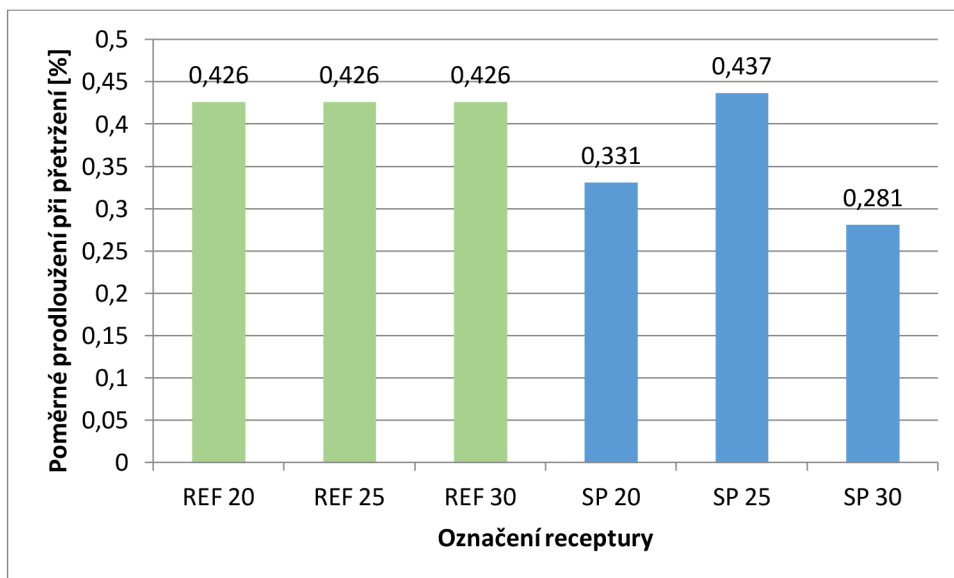
Obr. č. 26 : Zkušební těleso ve tvaru lžičky upnuté do čelistí zkušebního lisu a opatřeno průtahoměrem



Obr. č. 27 : Porušení vzorku v místě největšího póru



Graf 9 : Závislost pevnosti v tahu na druhu a množství plniva



Graf 10: Závislost poměrného prodloužení při přetržení na druhu a množství plniva

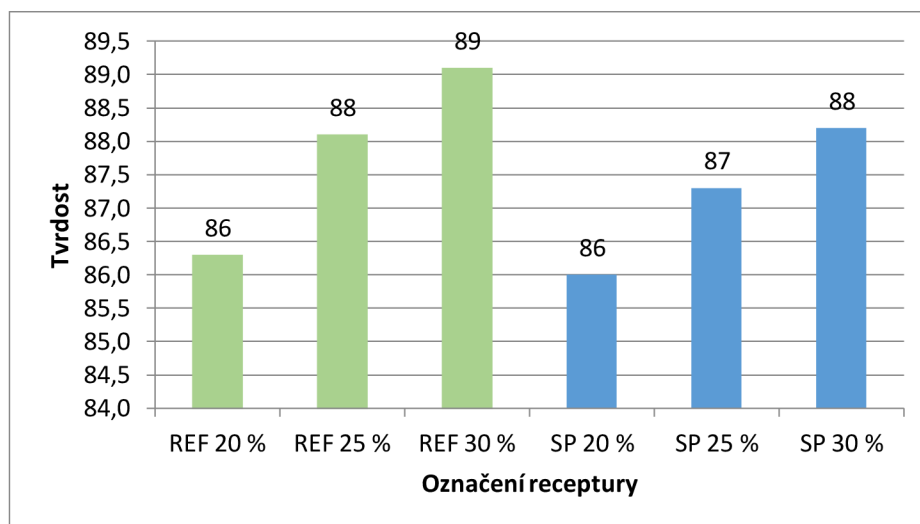
Obecně platí, že zvyšujícím se množstvím plniva se od určitého bodu snižuje pevnost v tahu i poměrné prodloužení, což můžeme vidět na grafu 8. S vyšším plněním 30 % pevnost v tahu referenční hmoty poklesla, důvodem je pravděpodobně to, že přidáním vyššího množství plniva se stávají částice plniva nedokonale obalenými polymerní maticí, a vzniká tak slabá kontaktní zóna mezi pojivem a plnivem, což hmotu oslabuje. Všechny vzorky se přetrhly v pracovní části, převážně v zeslabeném místě např. v největším vzduchovém póru.

9.4.6 Tvrdost

Tvrdost se stanovila dle normy ČSN EN ISO 868 „Plasty a ebonit – Stanovení tvrdosti vtlačováním hrotu tvrdoměru. Tvrdost vyvíjených nátěrových hmot byla stanovena pomocí tvrdoměru durometru Shore typu D. Hrot tvrdoměru byl vtlačenu do povrchu hmoty a následně se odečetla tvrdost. Tato metoda je vhodná pro epoxidy, jelikož mají tvrdý povrch a je to nejjednodušší způsob jak určit jejich tvrdost. [38]



Obr. č. 28: Stanovení tvrdosti vytvrzeného nátěru pomocí durometru Shore typu D po 28 dnech



Graf 11: Naměřené hodnoty tvrdosti vyvíjených nátěrových hmot

V závěru této zkoušky můžeme říci, že s vyšším obsahem plniva se zvyšuje tvrdost zpolymerované nátěrové hmoty a to v obou případech, protože částice plniva vykazují pravděpodobně vyšší tvrdost, než samotná vytvrzená EP, tzn., že s vyšším podílem SP/REF plniva se vytvoří taky hutnější struktura nátěrové hmoty.

9.4.7 Přílnavost

Je stanovena na nátěrech aplikovaných na vibrolisované betonové dlažbě v tloušťce 500 µm.

Požadavek na přilnavost nátěrových hmot k podkladu dle ČSN EN 1540-2 je minimálně 0,8 MPa. Přilnavost se stanovuje dle normy ČSN EN 4624 „Nátěrové hmoty – Odtrhová zkouška přilnavosti“, která umožňuje použití panenek (terčů) o průměru 20 mm, nebo dle normy ČSN EN 1542, která umožňuje použití pouze větších terčů o průměru 50 mm. [39]

Terče se před samotným odtrhnutím pomocí Elcometeru 506-20D musí obřezat pomocí rezného nástroje. Bylo použito dvousložkové lepidlo na epoxidové bázi značky Araldite.



Obr. č. 29: Aplikace nátěrových terčů pomocí lepidla na povrch nátěrové hmoty



Obr. č. 30: Odtržený terč a naměřená hodnota přilnavosti

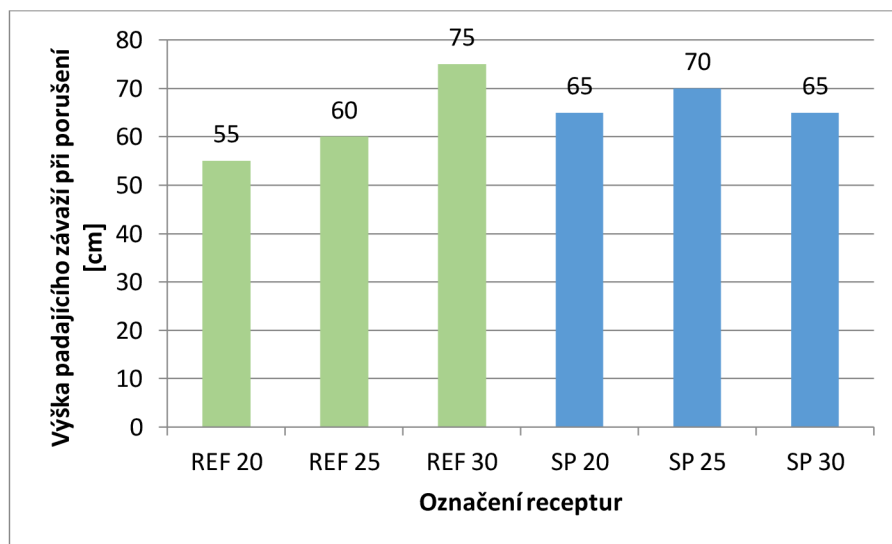
Porušení bylo abnormální, což znamená, že došlo k adheznímu porušení mezi lepidlem a terčem. Výsledná průměrná hodnota ze třech měření u referenční hmoty s 25% plněním vyšla 11,3 MPa a u hmoty s plnivem v podobě solidifikátu 7,4 MPa. U obou nátěrových hmot byl tedy splněn požadavek dle normy ČSN EN 1540-2.

9.4.8 Odolnost proti úderu

Zkušební metoda se provádí dle ČSN EN ISO 6272-1 „Nátěrové hmoty – Zkoušky rychlou deformací (odolnost proti úderu) - Část 1: Zkouška padajícím závažím, velká plocha úderníku.“ Tato zkouška se prováděla na cementotřískových deskách. Podstatou této zkoušky je hodnocení praskání a odlupování nátěrové hmoty od podkladu v důsledku deformace způsobené padajícím závažím.

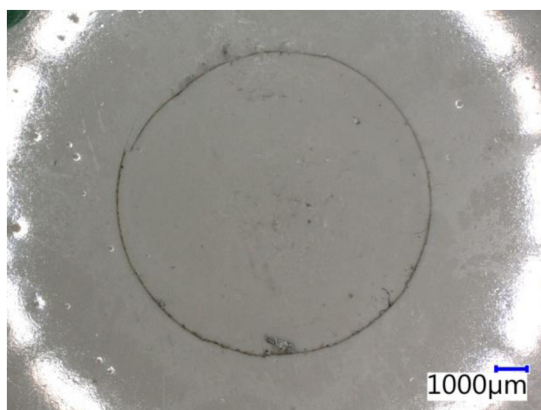
Nátěr je následně zařazen do jedné ze tří tříd: třída I ≥ 4 Nm, třída II ≥ 10 Nm, třída III ≥ 20 Nm. [15]

Velká plocha úderníku se obvykle volí u tvrdých povrchů nátěrů, značné tloušťky nátěru a u vyššího modulu pružnosti nátěrové hmoty.

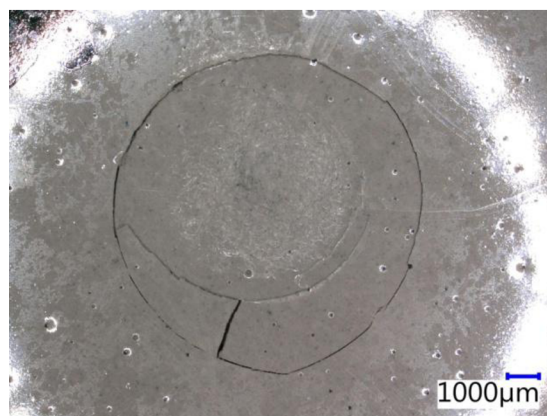


Graf 12: Výška padajícího závaží, při které došlo k porušení nátěru v závislosti na druhu a množství plniva

Po provedení zkoušky byly otisky, kde došlo k porušení nátěru vloženy pod optický mikroskop, kde byla sledována plocha a typ porušení, jak lze vidět na obr. č. 31 a 32. Jedná se o téměř kruhový otisk úderníku.



Obr. č. 31: Zvětšení plochy, kde dopadl úderník a došlo k porušení nátěru – prasknutí vykazuje téměř dokonalý kruhový tvar (10 x zvětšeno, výška 60 cm)



Obr. č. 32: Zvětšení plochy, kde dopadl úderník a došlo k porušení nátěru (10 x zvětšeno, výška 70 cm)

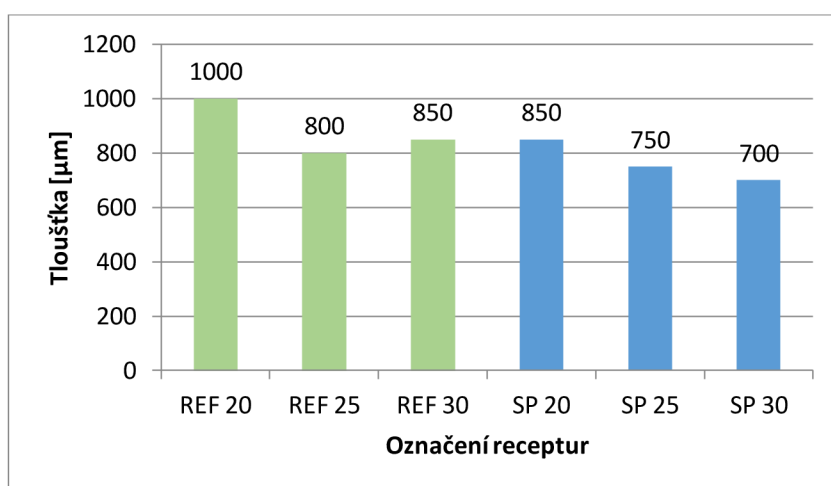
U referenční hmoty s obsahem plnění 20 % nedošlo k porušení nátěru pomocí této zkoušky, neboť tloušťka nátěru byla moc velká. Všechny receptury jsou následně zařazeny do třídy III.

9.4.9 Tloušťka zpolymerovaného nátěru

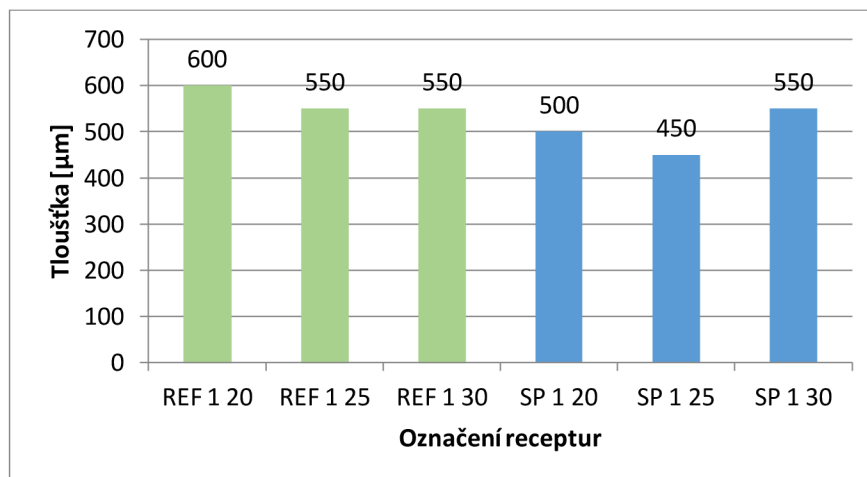
Tloušťka nátěru je důležitým parametrem, neboť má vliv na mechanické i chemické odolnosti nátěrových hmot. Tloušťky nátěrů se obvykle udávají v mikrometrech. V tomto případě se tloušťky jednotlivých nátěrů stanovovaly destruktivní zkouškou pomocí zařízení P.I.G (Elcometer 121/4). Nevýhodou je porušení nátěru, avšak určení tloušťky nátěru je poměrně přesné. Na zařízení byl nastaven nůž číslo 1 pod řezným úhlem 45°, takže tloušťku bylo možní odečíst přímo ze stupnice okuláru.



Obr. č. 33: Stanovení tloušťky vytvrzeného nátěru pomocí tloušťkoměru Elcometeru 121/4



Graf 13: Naměřené tloušťky nátěrových hmot REF a SP ve zpolymerovaném stavu



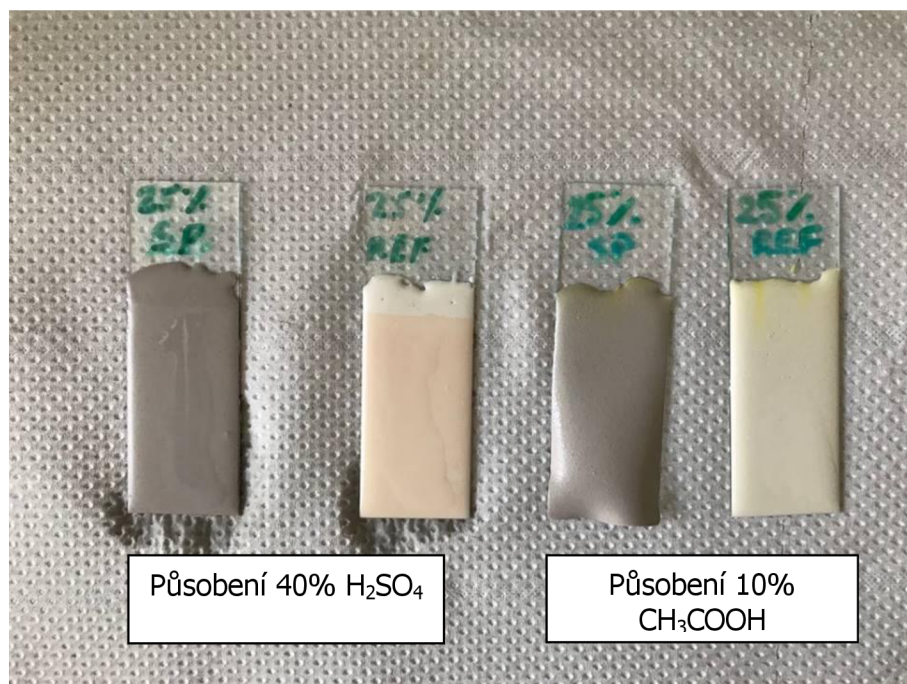
Graf 14: Naměřené tloušťky nátěrových hmot REF 1 a SP 1 ve zpolymerovaném stavu

9.4.10 Stanovení chemické odolnosti

Stanovení chemické odolnosti bylo provedeno zrychlenou zkouškou chemické odolnosti. Chemická odolnost se stanovovala na hmotách s 25% plněním, neboť se toto plnění na základě provedených základních zkoušek prokázalo jako nejoptimálnější. Sledovala se chemická odolnost vyvinutých nátěrových hmot vystavených 10% kyselině octové (CH_3COOH) a 40% kyselině sírové (H_2SO_4). Nátěrové hmoty se nejprve nanuly na laboratorní sklíčka, která se po 10 dnech polymerizace vložila do květ s uvedenými chemikáliemi. Těmito chemikáliím byly vystaveny po dobu 21 dní.



Obr. č. 34: Nátěrové hmoty před vystavením působení chemikálií



Obr. č. 35 : Nátěrové hmoty po vystavení působení chemikálií

Tab. 24: Hodnotící systém pro zrychlenou zkoušku chemické odolnosti

*****	nátěr nevykazuje žádné změny
*****	z nátěru se uvolnily zrníčka plniva a vznikla prázdná místa
****	nátěr vykazuje pouze barevné změny
***	nátěr nabobtnává
**	stékání nátěru ze sklíčka
*	úplné popraskání a rozložení nátěru

Tab. 25: Vyhodnocení chemické odolnosti

Působící chemikálie	Obsah plniva [% hmotnostní]	
	REF 25 %	SP 25 %
H ₂ SO ₄	****	****
CH ₃ COOH	*****	***

U referenční nátěrové hmoty a hmoty s plnivem v podobě solidifikátu, které byly vystaveny 40% H₂SO₄ nedošlo k porušení přilnavosti mezi nátěrem a podkladním sklíčkem.

Tvrdość těchto dvou nátěrových hmot zůstala také neporušená – zjišťováno vrypovou metodou. Došlo však k barevné změně nátěrových hmot, která je vidět především na referenční hmotě, kde bylo použito plnivo v podobě křemenné moučky (viz obr. č. 35). U nátěrových hmot, které byly vystaveny druhé chemikálii 10% CH₃COOH došlo u nátěru s plnivem v podobě solidifikátu k porušení přilnavosti k podkladu. Povrchová tvrdość však zůstala neporušená a to i u referenční hmoty vystavené této chemikálii. Barevnost nátěrů vystavených této chemikálii se nezměnila. Na základě vyhodnocení této zkoušky lze předpokládat, že vyvinuté nátěrové hmoty budou odolávat krátkodobě slabým organickým kyselinám a silným anorganickým kyselinám (pH 1-2).

ZÁVĚR

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo navrhnout speciální nátěrové hmoty úrovně PREMIUM a ECOLOGY odolné v chemicky agresivním prostředí s využitím plniv na bázi druhotných surovin a také nebezpečných odpadů (NO), které by částečně či úplně nahrazovaly primární suroviny.

Použití druhotných surovin a vhodných nebezpečných odpadů (NO) v podobě plniv – solidifikátů, by mohlo zajistit snížení výrobních nákladů vyvíjených nátěrových hmot a také zlepšit ekologickou náročnost na životní prostředí. Vývoj nátěrových hmot je uveden v praktické části rozdělené celkem do čtyř etap.

V I. etapě bylo identifikováno chemicky agresivní prostředí vyskytující se zejména v kanalizačních stokách, kde se vyvíjené nátěrové hmoty plánují využívat. V dalším kroku této etapy se definovaly normové požadavky na navrhované nátěrové hmoty dle příslušných technických norem a návodů. Dle uvedených norem byly dále definovány základní požadavky na chemicky odolné nátěrové hmoty.

V II. etapě byly vybrány a definovány vhodná pojiva a plniva na bázi druhotných surovin a NO. Cílem při výběru bylo přiblížit se především vlastnostem současně využívaných primárních surovin, snadná dostupnost, chemická odolnost aj.

Sledovala se také distribuce velikosti částic, neboť dalším cílem při výběru surovin bylo dosáhnout co nejjednodušší předúpravy vybraných odpadů pro přípravu plniv v podobě solidifikátů. Jako nejvhodnější pojivo pro použití do vyvíjených polymerních nátěrových hmot byla vybrána epoxidová pryskyřice (EP), neboť mezi její vlastnosti patří hlavně chemická odolnost, mechanická odolnost, výborná přilnavost k podkladu a také se dá výborně plnit.

V III. etapě byla na základě optimalizačního výpočtu pomocí kvantitativního párového srovnání vybrána jako nejvhodnější druhotná surovina fluidní filtrový popílek Kladno (FP-KLAD) kontaminovaný vlivem denitrifikační technologie a jako nejvhodnější NO cementářské odprašky. Jako nejvhodnější technologie předúpravy cementářských odprašků byla zvolena solidifikace formou suché homogenizace. Dále se tento solidifikát domílal pro zajištění požadované zrnitosti, ale zejména pro lepší fyzikální propojení částic.

Ve IV. byly navrženy receptury nátěrových hmot PREMIUM a ECOLOGY. Plnivo pro hmotu PREMIUM bylo složeno jak z primární suroviny, tak z druhotné suroviny a NO (50 % křemenné moučky, 40 % FP-KLAD, 10 % odprašků). Plnivo ve hmotě ECOLOGY bylo pouze na bázi druhotných surovin a NO (10 % odprašků, 90 % fluidního popílku Kladno. Dále byla v rámci této etapy navržena metodika zkoušení těchto nátěrových hmot. Navrženy byly takové zkoušky, které vyplívají z plánovaného využití vyvinuté vysoce odolné nátěrové hmoty, pomocí níž lze definovat požadavky na tyto hmoty, aby nedocházelo k jejich degradaci a byla také zaručena jejich dlouhodobá trvanlivost v agresivním prostředí.

V experimentálním ověření se sledovaly vlastnosti vyvíjené hmoty PREMIUM s porovnáním s referenční nátěrovou hmotou. Navrženo bylo celkem devět receptur s 20, 25 a 30% plněním. Ve všech recepturách byla jako pojivo použita dvousložková epoxidová pryskyřice. Na základě vyhovujících výsledků v aplikačním testu byly všechny receptury dále podrobeny vybraným základním zkouškám.

Při stanovení tahových vlastností měly obě porovnávané hmoty nejvyšší hodnoty při 25% plnění a hmota PREMIUM vykazovala stejné tahové vlastnosti jako referenční hmota.

Při stanovení přilnavosti k betonovému podkladu vyšla hodnota u referenční hmoty 11,3 MPa a u hmoty PREMIUM vyšla hodnota menší a to 7,4 MPa.

Na základě vyhodnocení odolnosti proti úderu lze říci, že vyvíjená hmota PREMIUM má stejnou odolnost vůči dopadu cizích předmětů jako referenční nátěrová hmota.

V neposlední řadě se stanovovala chemická odolnost zkrácenou zkouškou na hmotách s 25% plněním, neboť toho plnění se z předchozích zkoušek jeví jako neoptimálnější. U vybrané nátěrové hmoty došlo při působení 10% kyseliny octové k narušení přidrženosti s podkladem. Při působení 40% kyseliny sírové hmota PREMIUM vykazovala stejnou chemickou odolnost jako referenční nátěrová hmota.

Experimentální prověření navržených hmot PREMIUM a ECOLOGY bude podrobněji prověřeno v rámci diplomové práce, která bude na bakalářskou práci navazovat.

Cíl této bakalářské práce navrhnout a experimentálně prověřit speciální ochranné nátěrové hmoty odolné v chemicky agresivním prostředí na bázi druhotných surovin a s použitím NO byl úspěšně splněn. S použitím druhotných surovin a NO v podobě solidifikátu nedošlo razantně ke zhoršení vlastností v porovnání s referenční hmotou, naopak se vyvinula hmota, která má výborné fyzikální a mechanické vlastnosti a prokázána byla i chemická odolnost. Použití plniva do polymerních nátěrových hmot v podobě solidifikátu v praxi, by mohlo dojít k šetření primárních surovin a jednalo by se o výrobu mnohem ekologičtější cestou k životnímu prostředí.

Práce byla vypracována v rámci řešení projektu FV20303 „Progresivní polymerní hmoty s využitím druhotných surovin a nebezpečných odpadů do chemicky silně agresivního prostředí“.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] AGUIAR, José B., CAMOES, Aires, MOREIRA Pedro M. *Coatings for concrete Protection against Aggressive Enviroments*. [online] [10.02.2019] Dostupné z: <http://Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 6, No. 1, 243-250, February 2008 / Copyright © 2008 Japan Concrete Institute>
- [2] KALEDOVA, Andrea, KALENDA, Petr. *Technologie nátěrových hmot: Pojiva, rozpouštědla a aditiva pro výrobu nátěrových hmot*. 1. vyd. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2004. 328 s. ISBN 80-7194-691-5.
- [3] Minerální fasádní barvy | iMaterialy. Portál pro odborníky ve stavebnictví – projektanty, stavaře z praxe, architektky i řemeslníky | iMaterialy [online]. [16. 02. 2019]. Dostupné z: https://www.imaterialy.cz/rubriky/materialy/mineralni-fasadni-barvy_101472.html
- [4] Specialista na barvy a povrchové úpravy | Meffert [online]. [16. 02. 2019]. Dostupné z: http://www.meffert.cz/files/Meffert/Profitec_Silik%C3%A1tov%C3%A9_naterove_sy-stemy.pdf
- [5] Epoxy Coating Guide for Concrete | ChemCo Systems. Concrete Restoration & Epoxy Injection For Repairs | ChemCo Systems [online]. [16.02.2019]. Dostupné z: https://www.chemcosystems.com/tech_coatguide/?fbclid=IwAR1vJc_H88pb21imOE7LNgcRvYfPisU8_5f8OZr4i888a5IKer-C3XADIJ8
- [6] MALÁ Růžena. *Nátěrové hmoty s krátkou dobou zasychání*. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní. Praha, 2017. Bakalářská práce
- [7] DROCHYTKA, Rostislav. *Plastické látky ve stavebnictví*. Brno: CERM, 1998. ISBN 80-214-1148-1.
- [8] Dynesic Technologies | Advanced Sealants & Coatings | United States. Dynesic Technologies | Advanced Sealants & Coatings | United States [online]. [c 10.03.2019]. Dostupné z: <https://www.dynesic.com/single-post/2014/12/05/Why-Novolac-Epoxies-Top-10-Advantages-of-Novolac-Epoxies>
- [9] Nejvíce informací o stavebnictví v ČR | Stavebnictvi3000.cz. Nejvíce informací o stavebnictví v ČR | Stavebnictvi3000.cz [online]. [10.03.2019] Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/silikonove-hydrofobizacni-pripravky-pro-povrchove->
- [10] ZEMAN, L. *Vstřikování plastů*. 1.vyd. Praha: Nakladatelství BEN – technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3

- [11] HODUL, Jakub, HODNÁ, Jana, DROCHYTKA, Rostislav. *Experimental Verification of Scrub and Impact Resistance of the Epoxy Coatings Filled with Finely Milled Waste Glass*. ISSN: 1662-9795.
- [12] Glass Flakes, medium | Fillers made of glass | Fillers & Building Materials | Kremer Pigments Inc.. 303 See Other [online]. [12.03.2019] Dostupné z: <https://shop.kremerpigments.com/en/fillers-und-building-materials/fillers-made-of-glass/5650/glass-flakes-medium>
- [13] Nebezpečné odpady - Ministerstvo životního prostředí. Ministerstvo životního prostředí [online]. [16.05.2019] Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/nebezpecne_odpady
- [14] ZEMAN, Václav. *Rychleschnoucí nátěrové hmoty*. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní. Praha 2015. Diplomová práce.
- [15] DROCHYTKA, Rostislav, a KOLEKTIV. *Technické podmínky pro sanace betonových konstrukcí TPSSBK III*. Brno]: Sdružení pro sanace betonových konstrukcí, 2012, 265 s.: il. ISBN 978-80-260-2210-7.
- [16] Gamin | Gamin. Gamin | Gamin [online]. [22.03.2019] Dostupné z: https://www.gamin.cz/fileadmin/user_upload/Elcometer_3520_01.pdf
- [17] Peeling and Cracking - Problem Solvers by Sherwin-Williams. Sherwin-Williams Paints, Stains, Supplies and Coating Solutions[online]. [22.03.2019] Dostupné z: https://www.sherwin-williams.com/homeowners/how-to/problem-solver/peeling-cracking?fbclid=IwAR1RqA4AmXi2slQrmX_WcsywUiAD1bm4jx77SPAWovQDxG8-puyLcn97UI8
- [18] Blistering - Sherwin-Williams. Sherwin-Williams Paints, Stains, Supplies and Coating Solutions [online]. [22.03.2019]. Dostupné z: <https://www.sherwin-williams.com/homeowners/how-to/problem-solver/peeling-cracking/SW-ARTICLE-DIR-BLISTERING>
- [19] Tensile bonding strength of epoxy coatings to concrete substrate - ScienceDirect. ScienceDirect.com | Science, health and medical journals, full text articles and books. [online]. [16.04.2019]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884604002881>
- [20] ČSN EN 206-1. Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. 2001
- [21] MATOUŠEK, Milan a DROCHYTKA, Rostislav. *Atmosférická koroze betonů*. Vyd.1. Praha: IKAS, 1998. ISBN 80-902-5580-9.

- [22] AGUIAR, José B., CAMOES, Aires, MOREIRA Pedro M. *Coatings for concrete Protection against Aggressive Enviroments*. [online] [10.02.2019] Dostupné z: <http://Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 6, No. 1, 243-250, February 2008 / Copyright © 2008 Japan Concrete Institute>
- [23] Časopis BETON - technologie, konstrukce, sanace (BETON TKS) [online]. [18. 04. 2019]. Dostupné z: <http://www.betontks.cz/sites/default/files/2008-2-62.pdf>
- [24] PODHOLA, M., Určování časové stability solidifikátů, Vysoká škola chemicko technologická v Praze, Ústav chemie ochrany prostředí, 2005. Dostupné z: http://arnika.org/soubory/dokumenty/odpady/Ke_stazeni/hodnoceni.pdf [21.04.2019]
- [25] Chemické listy. Chemická stabilizace nebezpečných složek v průmyslových odpadech. [online] [21.04.2019]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1998_10_789-793.pdf
- [26] Sika CZ s.r.o. *Technologie a řešení pro čistírny odpadních vod*. [online] [25.04.2019]. Dostupné z: [file:///C:/Users/%C5%A0%C3%A1rka/Downloads/_OV_Sika%20Technologie%20a%20_e_en%C3%AD%20pro%20_ist%C3%ADrny%20odpadn%C3%ADch%20vod%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/%C5%A0%C3%A1rka/Downloads/_OV_Sika%20Technologie%20a%20_e_en%C3%AD%20pro%20_ist%C3%ADrny%20odpadn%C3%ADch%20vod%20(4).pdf)
- [27] ČSN EN 1504-2. Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody – Část 2: Systémy pro povrchovou ochranu. 2004
- [28] ČSN EN 1062-6. Nátěrové hmoty – Povlakové materiály a povlakové systémy pro vnější zdivo a betony – Část 6: Stanovení propustnosti oxidu uhličitého. 2002
- [29] ČSN EN 2409. Nátěrové hmoty – Mřížková zkouška. 2013
- [30] STRAKOVÁ, Soňa. *Tendence laboratorního a provozního měření tvrdosti ocelí v oblasti odborného znalectví*. Mendelova univerzita v Brně, Technické znalectví a pojišťovnictví. Brno 2012. Bakalářská práce
- [31] Sika CZ s.r.o., Aplikace hydrofobních impregnací Sikagard, Září 2014. [online] [12.04.2019]. Dostupné z: [file:///C:/Users/%C5%A0%C3%A1rka/Downloads/MP_Aplikace_Hydrofobn%C3%ADch_impregnac%C3%AD_Sikagard%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/%C5%A0%C3%A1rka/Downloads/MP_Aplikace_Hydrofobn%C3%ADch_impregnac%C3%AD_Sikagard%20(1).pdf)
- [32] Sika CZ s.r.o., Protective coatings for concrete [online] [12.04.2019]. Dostupné z: <file:///C:/Users/%C5%A0%C3%A1rka/Downloads/Protective%20Coating%20for%20Concrete.pdf>

- [33] Sika CZ s.r.o., Akrylátová penetrace a nátěr na minerální podklady [online] [12.04.2019]. Dostupné z: <file:///C:/Users/%C5%A0%C3%A1rka/Downloads/Sika%20Level-01%20Primer.pdf>
- [34] MOTYČKA, Vít. *Procesy vnitřní a dokončovací – nátěry*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. Brno, 2005. Studijní opory.
- [35] Lena Chemical, Nové možnosti v oblasti vodou ředitelných epoxidových podlahových hmot. [online] [28.04.2019]. Dostupné z: http://lenachemical.com/soubory/files/podlahy_a_interi%C3%A9ry_11-12_201...pdf
- [36] ČSN EN ISO 2808. Nátěrové hmoty - Stanovení tloušťky nátěru. Český normalizační institut, Únor 2007.
- [37] EN ISO 527-1. Plasty – stanovení tahových vlastností. 1997
- [38] ČSN EN ISO 868. Plasty a ebonit - Stanovení vlačováním hrotu tvrdoměru (tvrdost Shore). Český normalizační institut, Říjen 2003.
- [39] ČSN EN ISO 4624. Nátěrové hmoty - Odtrhová zkouška přilnavosti. Český normalizační institut, Prosinec 2003.
- [40] LENA. LENA N 121. Vysoce chemicky odolný nátěrový systém se zvýšenou odolností pro kyseliny, alkoholy a ropné látky. In: lenachemical.com [online] [14.04.2019]. Dostupné z: http://lenachemical.com/soubory/files/ml_2017/lena_n_121_mlcz7010117.pdf
- [41] LENA. LENA N 125. Fyziologicky nezávadný nátěrový systém. In: lenachemical.com [online] [14.04.2019]. Dostupné z: http://lenachemical.com/soubory/files/ml_cz/Lena_n_125_mlcz.pdf
- [42] Redrock. REDCOAT EP 230. Epoxidový chemicky a mechanicky odolný vodou ředitelný ochranný nátěr. In: redrock-cz.com [online] [22.02.2019]. Dostupné z: http://www.redrock-cz.com/katalog/produkty/pdf/Redcoat_EP230.pdf
- [43] Sanax. ResiCote F2. Epoxidový, vysoce chemicky odolný finální nátěr. In: sanax.cz [online] [22.02.2019]. Dostupné z: https://www.sanax.cz/static/files/product/TL/TL_ResiCote_F2_2.pdf
- [44] Eternal. Eternal epoxy stabil. Dvousložkový vodou ředitelný epoxidový email na vysoce odolné nátěry betonových podlah pro vnitřní použití. In: barvy-eternal.cz [online] [22.02.2019]. Dostupné z: <https://barvy-eternal.static.s9.upgates.com/x/x5b0f9c90cfe6e-tl-et-epoxy-stabil-v05-18.pdf>
- [45] Sanax. ResiCote WB5. Vodou ředitelná akrylátová nátěrová hmota určená pro nátěry betonových podlah. In: sanax.cz [online] [22.02.2019]. Dostupné z: https://www.sanax.cz/static/files/product/TL/347746TL_ResiCote_WB5.pdf

- [46] Redrock. REDCOAT E. Pružný akrylátový ochranný a dekorativní nátěr na beton a zdivo překlenující trhlinky. In: redrock-cz.com [online] [22.02.2019]. Dostupné z: http://www.redrock-cz.com/katalog/produkty/pdf/Redcoat_E.pdf
- [47] Sanax. Resicote WB4. Vodou ředitelná akrylátová nátěrová hmota odolná vůči olejům a ropným produktům. In: sanax.cz [online] [22.02.2019]. Dostupné z: https://www.sanax.cz/static/files/product/TL/TL_ResiCoteWB4.pdf
- [48] Sanax. PurCote P2T. Polyuretanová nátěrová hmota určená pro silné namáhání betonu, stavebních materiálů, kovů a dalších podkladů. In: sanax.cz [online] [22.02.2019]. Dostupné z: https://www.sanax.cz/static/files/product/TL/TL_PurCote_P2T_2.pdf
- [49] Sika. Sikafloor – 359N. Dvoukomponentní polyuretanový houževnatě pružný barevný uzavírací nátěr. In: podlahyepoxid.wbs.cz [online] [22.02.2019]. Dostupné z: http://podlahyepoxid.wbs.cz/sikafloor-359_n.pdf
- [50] Proecosil. HS 3200 series. High Bulid, High Solids, LOW VOC Silicone Roof rating. In: pmsilicone.com [online] [22.02.2019]. Dostupné z: <http://pmsilicone.com/wp-content/uploads/2015/05/HS-3200-High-Build-Series.pdf>
- [51] Remmers. Silicate Paint D. Single komponent, dispersion-silicate paint. In: remmers.co.uk [online] [23.03.2019]. Dostupné z: http://www.remmers.co.uk/fileadmin/doc/tm/TM1_0630_EN.pdf
- [52] Hempel. Hempadur 15500. In: hesel.cz [online] [23.03.2019]. Dostupné z: <file:///C:/Users/%C5%A0%C3%A1rka/Downloads/PDS%20HEMPADUR%2015500%20cs-CZ.pdf>

11 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1: Chemická vazba silikátového nátěru k podkladu s křemičitými zrny [4]

Obr. č. 2: Pohled na nehydrofobizovaný a hydrofobizovaný povrch s vodními kapkami [9]

Obr. č. 3: Skleněné vločky využívané jako primární plnivo za účelem zvýšení chemické odolnosti polymerní nátěrové hmoty [12]

Obr. č. 4: Aplikátor filmu Elcometer 3520 [16]

Obr. č. 5: Ztráta adheze vlivem vlhkosti [17]

Obr. č. 6: Puchýře na filmu způsobené vztlínající vlhkostí [18]

Obr. č. 7: Degradace betonu sulfatací [23]

- Obr. č. 8: Rozdělení kanalizace dle druhu namáhání [26]
- Obr. č. 9: Lokální defekt betonu a zkorodovaná výztuž v kanalizaci [26]
- Obr. č. 10: Nátěr na rovném betonovém podkladu [32]
- Obr. č. 11: Nátěr na nerovném betonovém podkladu – vznik vzduchových bublin v nátěru [32]
- Obr. č. 12: Odpadní perlit
- Obr. č. 13: Odpadní agro perlit
- Obr. č. 14: Odpadní autosklo
- Obr. č. 15: Odpadní slévárenský písek (černý)
- Obr. č. 16: Fluidní filtrový popílek Kladno (FP-KLAD)
- Obr. č. 17: Vysokoteplotní filtrový popílek Opatovice (KP-OPAT)
- Obr. č. 18: Vysokopeční struska Kotouč Štramberk
- Obr. č. 19: Pevné odpady z čištění odpadních plynů
- Obr. č. 20: Kaly z fyzikálně- chemického zpracování obsahující nebezpečné látky
- Obr. č. 21: Plnivo v podobě solidifikátu v mlecí nádobě
- Obr. č. 22: Vyhovující výsledný povrch nátěrové hmoty (vlevo), nevyhovující výsledný povrch nátěrové hmoty (vpravo)
- Obr. č. 23: Povrch nátěrové hmoty na mikroskopickém snímku s pomletým plnivem (3x zvětšeno)
- Obr. č. 24: Povrch nátěrové hmoty na mikroskopickém snímku s nepomletým plnivem (3x zvětšeno)
- Obr. č. 25: Měření tloušťky čerstvého nátěru pomocí šestihranného nerezového hřebene
- Obr. č. 26: Zkušební těleso ve tvaru lžičky upnuté do čelistí zkušební lisu opatřeno průtahoměrem
- Obr. č. 27: Porušení vzorku v místě největšího póru
- Obr. č. 28: Stanovení tvrdosti vytvrzeného nátěru pomocí duometru Shore typu D po 28 dnech
- Obr. č. 29: Aplikace nátěrových terčů pomocí lepidla na povrch nátěrových hmot

Obr. č. 30: Odtržený terč a naměřená hodnota přilnavosti

Obr. č. 31: Zvětšení plochy, kde dopadl úderník a došlo k porušení nátěru – prasknutí vykazuje téměř dokonalý kruhový tvar (10 x zvětšeno, výška 60 cm)

Obr. č. 32: Zvětšení plochy, kde dopadl úderník a došlo k porušení nátěru (10 x zvětšeno, výška 70 cm)

Obr. č. 33: Stanovení tloušťky vytvrzeného nátěru pomocí tloušťkoměru Elcometeru 121/4

Obr. č. 34: Nátěrová hmota před vystavením působení chemikálií

Obr. č. 35: Nátěrová hmota po vystavení působení chemikálií

12 SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Přehled některých současně dostupných polymerních nátěrů a jejich základní parametry [42-53]

Tab. 2: Mezní hodnoty pro stupně chemického působení zeminy a podzemní vody dle ČSN EN 206-1 „Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda“. [20]

Tab. 3: Základní požadavky na funkční vlastnosti nátěru dle ČSN EN 1504-2 [27]

Tab. 4: Základní vlastnosti a informace o odpadním agro perlitu

Tab. 5: Základní vlastnosti a informace a odpadním sklu

Tab. 6: Základní vlastnosti a informace o odpadním slévárenském písku

Tab. 7: Základní vlastnosti a informace o vysokoteplotním filtrovém popílku kontaminovaným vlivem denitrifikační technologie

Tab. 8: Základní vlastnosti a informace o fluidním filtrovém popílku kontaminovaným vlivem denitrifikační technologie

Tab. 9: Chemické složení brusných kalů CIDEMAT

Tab. 10: Vyluhovatelnost dle ČSN EN 12457-4 pevných odpadů z čištění odpadních plynů

Tab. 11: Vyluhovatelnost dle ČSN EN 12457-4 kalů z fyzikálně- chemického zpracování obsahující nebezpečné látky

Tab. 12: Koncentrace škodlivin v sušině kalů z fyzikálně-chemického zpracování obsahující nebezpečné látky

- Tab. 13: Vyluhovatelnost dle ČSN EN 12457 cementářských odprašků
- Tab. 14: Koncentrace škodlivin v sušině cementářských odprašků
- Tab. 15: Nebezpečné odpady a druhotné suroviny vybrané pro optimální výpočet
- Tab. 16: Vybraná hodnotící kritéria pro vybraná plniva
- Tab. 17: Rozhodovací matice
- Tab. 18: Výpočet váhy (Sattihio matice)
- Tab. 19: Výpočtová matice (metoda kvantitativního párového srovnání)
- Tab. 20: Receptury pro experimentální ověření
- Tab. 21: Hodnocení zpracovatelnosti navržených receptur
- Tab. 22: Vyhodnocení aplikovatelnosti navržených receptur
- Tab. 23: Hodnocení výsledného povrchu navržených receptur
- Tab. 24: Hodnocení systém pro zrychlenou zkoušku chemické odolnosti
- Tab. 25: Vyhodnocení chemické odolnosti

13 SEZNAM GRAFŮ

- Graf 1: Distribuce velikosti částic odpadního perlitu
- Graf 2: Distribuce velikosti částic odpadního slévárenského písku
- Graf 3: Distribuce velikosti částic vysokoteplotního popílku Opatovice a fluidního popílku Kladno
- Graf 4: Distribuce velikosti částic vysokopecní strusky
- Graf 5: Distribuce velikosti částic cementářských odprašků
- Graf 6: Výsledné hodnoty plniv na základě optimalizačního výpočtu
- Graf 7: Naměřené tloušťky čerstvých hmot REF a SP
- Graf 8: Naměřené tloušťky čerstvých hmot REF 1 a SP 1
- Graf 9: Závislost pevnosti v tahu na druhu a množství plniva
- Graf 10: Závislost poměrného prodloužení při přetržení na druhu a množství plniva
- Graf 11: Naměřené hodnoty tvrdosti vyvíjených nátěrových hmot

Graf 12: Výška padajícího závaží, při které došlo k porušení nátěru v závislosti na druhu a množství plniva

Graf 12: Naměřené tloušťky nátěrových hmot REF a SP ve zpolymerovaném stavu

Graf 13: Naměřené tloušťky nátěrových hmot REF 1 a SP 1 ve zpolymerovaném stavu

14 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

EP – epoxidová pryskyřice

AP – akrylátová pryskyřice

PUR – polyuretanová pryskyřice

S – silikonová pryskyřice

Si – silikátová báze

NO – nebezpečný odpad

RL – celkové rozpustné látky

DOC – rozpuštěný organický uhlík

EOX – extrahovatelné organicky vázané halogeny

VOC – obsah těkavých látek (volatile organic compounds)