



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 PAROTĚSNÉHO OCHRANNÉHO
NÁTĚRU NA BETON S CHEMICKOU
ODOLNOSTÍ**

DESIGN OF VAPOR PROOF PROTECTIVE COATING FOR CONCRETE WITH
CHEMICAL RESISTANCE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Marika Fousková

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. ROSTISLAV DROCHYTKA,
CSc., MBA, dr.h.c.

BRNO 2020



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	Marika Fousková
Název	Návrh parotěsného ochranného nátěru na beton s chemickou odolností
Vedoucí práce	prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr.h.c.
Datum zadání	30. 11. 2019
Datum odevzdání	22. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr.h.c.
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] ALMUSALAM, A.A., KHAN, F.M., DULAIJAN, S.U., AL-AMOUDI, O.S.B. Effectiveness of surface coatings in improving concrete durability. *Cement and Concrete Composites* (25), 2003, pp. 473–481.

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

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Na základě teoretických poznatků dostupných z odborné domácí a zahraniční literatury bude navržen a experimentálně ověřen parotěsný chemicky odolný ochranný nátěr využívající taky druhotných surovin. Bude se jednat o rychle tuhnoucí polymerní nátěr. Polymerní parotěsný nátěr bude vykazovat vynikající mechanickou, vysokou chemickou (např. olejům, ropným produktům, kyselinám, rozpouštědlům, saponátům apod.) i zvýšenou tepelnou odolnost. Nátěr bude plněn mikroplnivem, které bude pocházet z vhodné druhotné suroviny. Tato práce zabývající se aktuální problematikou v praxi je součástí projektu vědy a výzkumu.

1. V teoretické části souhrnně zpracujte poznatky z oblasti ochranných nátěrových hmot, především těch na polymerní bázi. Definujte agresivní expoziční prostředí, kterému mohou být navrhované nátěrové hmoty vystaveny. Uveďte poznatky z oblasti sekundární ochrany železobetonových konstrukcí a způsob jak ochranné nátěry zvyšují životnost těchto konstrukcí.

2. Provedte porovnání vlastností současně dostupných parotěsných nátěrových hmot na polymerní bázi. Zaměřte se především na nátěry se zvýšenou chemickou odolností, které je možné využít jako ochranu chemicky namáhaných stavebních objektů. Definujte normové a ostatní požadavky na parotěsné ochranné nátěrové hmoty. Uveďte možnosti aplikace parotěsných polymerních nátěrů a zaměřte se taky na požadavky týkající se podkladu.

3. Na základě porovnání vlastností polymerních pryskyřic používaných jako pojiva do nátěrů, vyberte nejvhodnější pro navrhovaný nátěr. Uveďte a blíže specifikujte materiály použitelné jako plniva do nátěrů a navrhnete využití vhodných druhotných surovin jako plniv – vyberte materiály s optimálními vlastnostmi včetně druhotných plniv.

4. Provedte návrh řady vhodných receptur pro parotěsné ochranné nátěry na beton s chemickou odolností. Specifikujte metodiku zkoušení navrhovaných nátěrových hmot s ohledem na druh agresivního prostředí, kde se plánují tyto hmoty využívat.

5. V poslední části práci experimentálně ověřte navržené receptury pro nátěrové hmoty a provedte na nich základní testování. Na základě výsledků navrhnete nejvhodnější recepturu.

Předpokládaný rozsah bakalářské práce 40-50 stran.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr.h.c.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Hlavní náplní bakalářské práce je navrhnout parotěsný chemicky odolný nátěr s využitím druhotných surovin. Nátěry jsou aplikovány především za účelem ochrany betonových konstrukcí, které jsou vystaveny chemickému namáhání. Druhotné suroviny jsou do nátěru použity ve formě mikroplniva, které je rovnoměrně rozdispergováno v polymerní matrici. Navržené nátěry vykazují vysokou přilnavost k betonu, výbornou zpracovatelnost a aplikovatelnost, přičemž plnivo ve formě druhotných surovin nezhoršuje vlastnosti nátěru, a to jak v čerstvém, tak ve zpolymerovaném stavu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Nátěrová hmota, druhotná surovina, plnivo, chemická odolnost, epoxidová pryskyřice

ABSTRACT

The main content of the bachelor's thesis is to design a vapor-tight chemically resistant coating using secondary raw materials. Coatings are applied primarily for the purpose of protecting concrete structures that are exposed to chemical stress. Secondary raw materials are used in the coating in the form of a microfiller, which is evenly dispersed in the polymer matrix. The proposed coatings show high adhesion to concrete, excellent workability and applicability, while the filler in the form of secondary raw materials does not impair the properties of the coating, both in fresh and polymerized state.

KEYWORDS

Coating material, secondary raw material, filler, chemical resistance, epoxy resin

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Marika Fousková *Návrh parotěsného ochranného nátěru na beton s chemickou odolností*. Brno, 2020. 77 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr.h.c.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Návrh parotěsného ochranného nátěru na beton s chemickou odolností* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22. 5. 2020

Marika Fousková
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Rostislavu Drochytzkovi, CSc., MBA, dr.h.c. za jeho odborné vedení. Zároveň bych velice ráda poděkovala Ing. Jakobovi Hodulovi, Ph.D. za jeho obrovskou vstřícnost a trpělivost během konzultací a za jeho odborné rady. Nakonec bych také ráda poděkovala Ing. Janě Majerové, která mi věnovala svůj čas a pomohla mi s prací v laboratoři.

Práce byla vypracována v rámci řešení vědecko-výzkumného projektu TN01000056/04 „Pokročilé materiály a technologie – Advanced Materials and Technologies (ADMATEC)“.

Obsah

1 Úvod	11
2 Teoretická část	12
2.1 Termíny a definice	12
2.2 Nátěrové systémy	12
2.3 Princip sekundární ochrany pomocí nátěrového systému	13
2.4 Dělení nátěrových hmot	13
2.4.1 Dle přítomnosti pigmentu.....	13
2.4.2 Dle tloušťky.....	14
2.4.3 Dle schopnosti propouštět vodní páru	14
2.4.4 Dle tvorby filmu	14
2.4.5 Dle materiálové charakteristiky.....	14
2.4.6 Dle druhu rozpouštědla	15
2.5 Složení nátěrových hmot	16
2.5.1 Pojiva neboli filmotvorné látky.....	16
2.5.2 Plniva.....	18
2.5.3 Pigmenty.....	19
2.5.4 Ostatní přísady (Aditiva).....	20
2.5.5 Rozpouštědla	20
2.6 Úpravy povrchu před nátěrem.....	21
2.6.1 Mechanická předúprava povrchu	21
2.6.2 Chemická předúprava povrchu.....	22
2.7 Nanášení nátěru	22
2.8 Problémy a závady	23
2.9 Namáhání vlivem prostředí	25
2.9.1 Chemicky agresivní prostředí.....	26
3 Cíl práce	27
4 Metodika práce	28
4.1 Etapa I – Rešerše nátěrů na současném trhu, stanovení požadavků na nátěry a jejich aplikaci	28
4.2 Etapa II – Studium možností využití druhotných surovin jako plniva a výběr vhodných polymerních pojiv	29
4.3 Etapa III – Návrh receptur pro chemicky odolné nátěry a metodiky zkoušení	30
4.4 Etapa IV – Experimentální ověření vybraných vlastností u navržených receptur	31

5	<u>Praktická část</u>	32
5.1	Etapa I – Rešerše nátěrů na současném trhu, stanovení požadavků na nátěry a jejich aplikaci	32
5.1.1	Chemicky agresivní prostředí.....	32
5.1.2	Průzkum nátěrů na domácím trhu i v zahraničí.....	32
5.1.3	Normové a jiné požadavky na nátěry	33
5.1.4	Příprava podkladu před nanesením nátěru	37
5.1.5	Aplikace nátěru	40
5.1.6	Vrstvy nátěru.....	40
5.1.7	Volba vhodné nanášecí techniky.....	41
5.2	Etapa II – Výběr vhodných vstupních surovin.....	41
5.2.1	Polymerní pojiva	41
5.2.2	Plniva.....	43
5.2.3	Optimalizační výpočet pro výběr vhodného plniva.....	54
5.3	Etapa III – Návrh receptur pro chemicky odolné nátěry a metodika zkoušení	57
5.3.1	Návrh receptur pro chemicky odolné polymerní nátěry.....	57
5.3.2	Metodika zkoušení pro výběr nejvhodnějšího nátěru.....	60
5.4	Etapa IV – Experimentální ověření vybraných vlastností u navržených receptur	62
5.4.1	Specifikace použitých polymerních pojiv, plniva a prověřovaných receptur	62
5.4.2	Aplikační test.....	63
5.4.3	Viskozita nátěru.....	65
5.4.4	Tloušťka čerstvého nátěru	66
5.4.5	Tloušťka zpolymerovaného nátěru.....	66
5.4.6	Odrhová zkouška přilnavosti.....	67
6	<u>Závěr</u>	70
7	<u>Seznam použitých zdrojů</u>	72
8	<u>Seznam obrázků</u>	76
9	<u>Seznam tabulek</u>	77
10	<u>Seznam grafů</u>	77

1 Úvod

Beton je jeden z nejčastěji používaných materiálů pro stavební účely. Důležitým sledovaným faktorem je trvanlivost a degradace železobetonových staveb působením agresivního prostředí. Degradaci lze zabránit několika způsoby, jeden ze způsobů je opatřit konstrukci ochranným nátěrem, který by zamezil vnik chemicky agresivních látek do betonové konstrukce. Pomocí prostředků sekundární ochrany betonové konstrukce lze zpomalit proces materiálové destrukce ve struktuře betonu i stárnutí vozovek, pokud je vytvořena správná a funkční ochrana před vlivy z okolního prostředí. Ochranné prostředky je nutné vždy aplikovat v závislosti na vlastnostech betonu i množství již přítomných vad.

Na trhu existuje velké množství nátěrů, které obsahují různé plnící i pojivové složky. Obvykle se jako plniva používají suroviny, které je třeba speciálně vyrábět, aby splňovaly očekávané požadavky, což je finančně i ekologicky nevýhodné.

Na druhé straně vzniká stále více skládek průmyslového odpadu, jehož vlastnosti nejsou v dostatečné míře využívány. Proto lze v některých případech, při vhodnosti vybraných vstupních surovin, vytvořit takový nátěr, který bude jako plnivo obsahovat druhotné suroviny a zároveň splňovat požadované vlastnosti. Je ale třeba vybrat takový odpad, který neobsahuje toxické látky, jeho další zpracování není finančně ani technologicky náročné a negativně neovlivňuje chemickou odolnost výsledného nátěru. Pokud jsou druhotné suroviny v nátěru použity, je to obvykle finančně výhodné a je tím výrazně šetřeno životní prostředí, na což je v dnešní době kladen obzvlášť velký důraz.

2 Teoretická část

Teoretická část obsahuje základní informace o nátěrových systémech a možnostech jeho dělení. Jsou zde podrobněji rozepsány nátěry na polymerní bázi, jelikož splňují požadavky na vysokou chemickou odolnost. Na konci teoretické části je rozepsán vliv chemicky agresivního prostředí, do kterého bude výsledný nátěr navrhován.

2.1 Termíny a definice

Ekvivalentní difuzní tloušťka S_D

Vyjadřuje tloušťku vzduchové vrstvy, která klade shodný difuzní odpor, jako daná vrstva materiálu, pro kterou je to počítáno. Hodnotu lze vypočítat jako součin tloušťky materiálu a jeho difuzním odporem, jednotkou jsou metry [29].

Druhotná surovina

Za druhotnou surovinu jsou považovány odpady z předešlé výroby, které lze ještě využít. Zpracováním těchto surovin je šetřeno životní prostředí, primární suroviny i finance.

Primer

Je základní nátěr, který je aplikován na podklad, aby uzavřel povrch materiálu a snížil jeho nasákavost. Slouží i k lepšímu přichycení další vrstvy. Jako základní nátěr se používá impregnační nátěrová hmota, která penetruje do podkladní vrstvy a zlepšuje její vlastnosti. Tento nátěr nemusí splňovat požadavky na ochranné vlastnosti [2]

2.2 Nátěrové systémy

Nátěrový systém je souhrnný název pro veškeré hmoty tekutého, emulzního nebo pastovitého charakteru, které se nanášejí jako tenký povlak na povrch materiálu a po sušení nebo vytvrzování vytvoří pevný, ochranný, dekorativní nebo funkční jednolitý film tzv. nátěr.

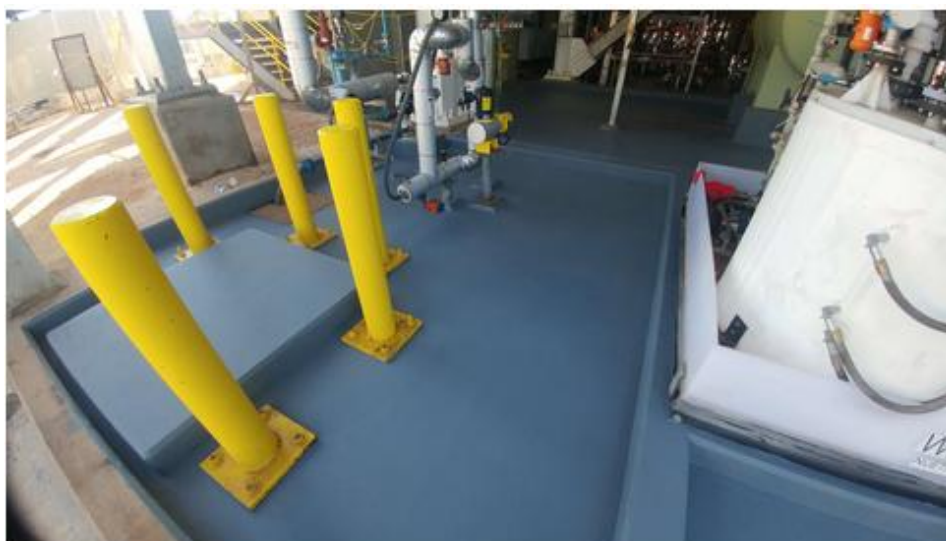
Vývoj syntetických pryskyřic a průmyslová výroba široké škály rozpouštědel a nových pigmentů jsou hlavní důvody pro obrovský rozvoj průmyslu nátěrových hmot. I přes vývoj ekologických nátěrových systémů založených na použití barev s nízkým obsahem rozpouštědla, práškových nátěrů bez rozpouštědla, vysoce energeticky vytvrditelných nátěrů a produktů na bázi vody, je obtížné vyměnit mnoho tradičních barev na bázi organických rozpouštědel, aniž by to ovlivnilo flexibilitu, univerzálnost aplikace a zejména kvalitu finálních produktů [6].

Na povrchu betonové konstrukce nátěry vytváří povrchovou bariéru zejména proti průniku vody a agresivních médií, především k ocelové výztuži. Dále může zlepšovat vlastnosti povrchu, jako je například odolnost proti oděru, ochrana proti mikroorganismům a další. Nátěr má také velký vliv na celkový estetický vzhled [2] [6].

2.3 Princip sekundární ochrany pomocí nátěrového systému

Principem sekundární ochrany je redukce nebo úplné vyloučení působení agresivního prostředí na zhotovenou konstrukci. Při navrhování je třeba brát ohledy na již použitou primární ochranu, tak aby fungovaly vzájemně ve shodě [21].

Aby byl nátěr proveden kvalitně, je třeba mít správně upraven podklad, na který je nanášen. Pokud je povrch poškozen nebo obsahuje větší množství pórů, může to být důvod pro porušení vlastního nátěru. Pokud se u podkladu zmíněné vady vyskytují, je vhodné provést převrstvení pomocí jemnozrnné stěrky. Tato stěrka sama o sobě zvyšuje krycí vrstvu výztuže, čímž zvyšuje ochranu výztuže proti pronikání CO_2 a vytváří ideální podklad pro nanášení nátěru. Aplikovaný nátěrový systém poté vytváří sekundární ochranu proti povětrnostnímu i dalšímu namáhání a zvyšuje dlouhodobou trvanlivost konstrukce [23].



Obrázek 1: Sekundární ochrana betonové konstrukce proti účinkům agresivních chemikáliím [24]

2.4 Dělení nátěrových hmot

Nátěrové hmoty lze dělit dle několika kritérií.

2.4.1 Dle přítomnosti pigmentu

a) Transparentní

Za transparentní nátěry považujeme nátěry tvořící na povrchu materiálu průsvitnou vrstvu. Řadí se sem například laky a fermeže.

b) Pigmentové nátěry

Tyto nátěry tvoří na povrchu obvykle neprůhlednou vrstvu určité barvy. Mezi pigmentové nátěry patří email, barva a tmel [2].

2.4.2 Dle tloušťky

a) Tenkovrstvý

Tloušťka tenkovrstvého nátěru se obvykle pohybuje v rozmezí 0,1–0,3 mm. Tento nátěr uzavírá povrch konstrukce a tvoří bariéru proti průniku kapaliny i plynu. Tento nátěr je možné provádět také ve více slabých vrstvách.

b) Vícevrstvý

Za vícevrstvý nátěr považujeme nátěr, jehož tloušťka je 0,3 až 1 mm [3].

2.4.3 Dle schopnosti propouštět vodní páru

Nátěry lze dělit dle schopnosti propouštět vodní páru na parotěsné a paropropustné. Pokud potřebujeme, aby se vlhkost dostávala ven z konstrukce, je nutné použít nátěr paropropustný. Naopak, pokud je třeba, aby se vodní pára nedostávala do konstrukce, je použit nátěr parotěsný.

a) Parotěsné

Za parotěsné nátěry považujeme nátěry s minimální hodnotou ekvivalentní difuzní tloušťky pro vodní páru $S_D \geq 50$ metrů vrstvy vzduchu. Tyto nátěry jsou nepropustné pro vodní páru i pro vodu v kapalném prostředí.

b) Paropropustné

U paropropustných nátěrů hodnota ekvivalentní difuzní tloušťky pro vodní páru S_D nepřesahuje 5 metrů vzduchové vrstvy. Paropropustný nátěr zajišťuje ochranu před vodou v kapalném stavu, umožňuje však pohyb vodní páry z konstrukce [3].

2.4.4 Dle tvorby filmu

a) Zasychání chemickými pochody

V tomto případě se film tvoří pomocí chemických procesů, při nichž se z nízkomolekulárních látek tvoří vysokomolekulární. Reakce probíhá po smíchání reaktivních složek nebo po zahřátí na určitou teplotu.

b) Zasychání fyzikálními pochody

Nedochází zde k chemické změně filmotvorné složky, pouze zde probíhá ztuhnutí předem roztavené hmoty nebo k odpaření použitého rozpouštědla.

c) Zasychání fyzikálně i chemicky

Zde se oba předchozí pochody kombinují – při filmu dochází k odpaření rozpouštědla a zároveň zde probíhá chemická reakce [2].

2.4.5 Dle materiálové charakteristiky

a) Nátěrové hmoty na silikátové bázi

Nátěry založené na silikátové bázi jsou řazeny mezi minerální barvy. Pojivem těchto nátěrových hmot je anorganická látka – vodní sklo.

Vodní sklo vzniká tavením křemičitého písku s alkalickým uhličitánem při teplotě asi 1400 °C. Vzniklá hmota se pomocí vody a tlaku, při zvýšené teplotě asi 100–160 °C, převede na roztok, který se po přefiltrování změní na čirou kapalinu – vodní sklo. Nejčastěji používaným alkalickým uhličitánem je uhličitán draselný, lithný a méně často pak sodný. Sodná vodní skla mají totiž sklon vytvářet tzv. vykvétání nátěrů.

Tvrdnutí nátěru dochází při porušení hydrolytické rovnováhy pomocí kyseliny. V tomto případě ale stačí k zatvrdnutí i působení vzdušného oxidu uhličitého (CO₂).

Silikátové nátěry jsou propustné pro vodní páru, jelikož mají nízký difúzní odpor. Mezi výhody silikátových nátěrových hmot patří vytvoření chemické vazby mezi nátěrem a křemičitými zrny obsaženými v podkladu, tím je zajištěna velmi dobrá přilnavost [10] [11].

b) Nátěrové hmoty na polymerní bázi

Nátěry na polymerní bázi mají vynikající potenciál, jelikož jsou chemicky velmi odolné, jsou stabilní i při nižších teplotách a jejich přilnavost k betonu je též dobrá. Dále se vyznačují možností vysokého stupně plnění a nízkou tepelnou vodivostí [8].

Jako pojivo je možné použít například alkydové pryskyřice, silikonové pryskyřice, epoxidové pryskyřice a polyuretanové, všechny zmíněné budou v práci podrobněji popsány.

2.4.6 Dle druhu rozpouštědla

a) Vodou ředitelné

Je zvyšující se tendence používat vodou ředitelné nátěrové hmoty, jelikož se tím značně snižuje obsah organických těkavých látek, čímž se šetří životní prostředí. Voda tvoří v těchto případech disperze nebo emulze, v nichž jsou částice rozptýleny. Aby bylo dosaženo vzniku homogenního nátěru, je nutné použít vhodné aditiva. Jednotlivé částice se přibližují a spojují vlivem odpařování vody. Vzniká zde povrchové napětí a vnitřní síly, které částice deformují na mnohostěny. Aby byl proces dokončený a vznikl tak homogenní nátěr, je třeba i několik dní [15].

b) Organická rozpouštědla

Organická rozpouštědla se používají u výroby nátěrových hmot nejčastěji, patří ale mezi těkavé látky, které mají špatný vliv na životní prostředí a lidský organismus. Toxicita jednotlivých rozpouštědel se výrazně liší, a tím je ovlivněna i míra jejich použití.

c) Bezrozpouštědlové

U bezrozpouštědlových systémů se využívají rozpouštědla, která jsou schopná se začlenit během procesu vytvrzování do makromolekulární sítě. Použití těchto rozpouštědel je ekonomické a šetrné k životnímu prostředí [23].

2.5 Složení nátěrových hmot

2.5.1 Pojiva neboli filmotvorné látky

Pojivo je velmi důležitou složkou nátěrových hmot. Díky pojivu je možné vytvoření homogenní disperze, v které jsou rozptýlené pigmenty a plnivo. Dle vybraného pojiva je volen vhodný způsob nanášení a je nutné vybrat i náležitý druh rozpouštědla. Pojivo ovlivňuje schnutí, přilnavost k povrchu, mechanické vlastnosti i chemická odolnost výsledného nátěru [2].

U nátěrů na polymerní bázi se jako pojivo používají nejčastěji tyto pryskyřice:

Alkydové pryskyřice

Alkydové pryskyřice jsou nasycené polyestery složené z vícefunkčních nasycených alkoholů a vícesytných nasycených kyselin. Tyto pryskyřice mají obrovský význam, představují více než polovinu celosvětové produkce syntetických pryskyřic.

Vlastnosti jsou závislé na druhu a množství přidané modifikované látky. Krátké alkydy, obsahující asi 30–50 % modifikovacího oleje, se obvykle kombinují s melaminovými pryskyřicemi a používají se pro výrobu vypalovacích nátěrů, které tvoří film za zvýšené teploty. Střední alkydy obsahují asi 50–60 % oleje. Tyto alkydy jsou poté kombinovány s chlorkaučukem a tvoří tak výchozí složky pro výrobu nátěrů, které jsou schopné schnout na vzduchu. Nejčastěji se nanáší na průmyslové výrobky. Poslední skupinou jsou dlouhé alkydy, které obsahují největší množství oleje, a to 60–70 %. Tyto nátěry se používají na ochranu proti povětrnostním vlivům.

Mezi velkou výhodou alkydů patří jejich dobrá tolerance s ostatními filmotvornými látkami. Nátěry tvořené alkydy mají dobrou přilnavost, odolávají povětrnosti a rozpouštějí se v běžně dostupných rozpouštědlech, jako jsou například aromáty a lakový benzin [2].

Silikonové pryskyřice

Výhodou nátěrů na bázi silikonové pryskyřice je vysoká odolnost vůči teplotním změnám, kdy se jejich vlastnosti mění jen minimálně. Jejich odolnost vůči vysokým teplotám je zapříčiněna tím, že při výpalu organická část shoří a pojivo se poté skládá pouze z anorganického zbytku. Mezi nevýhody patří nízká přilnavost, kterou lze zvýšit na úkor snížení teplotní odolnosti pomocí alkydů nebo epoxidů. U silikonových pryskyřic je nutno použít nepolární rozpouštědla, jako je například xylen nebo toluen [2].

Polyuretanové pryskyřice (PUR)

Jako rozpouštědlo je nutné u tohoto pojiva použít látku, která neobsahuje ani minimum vody, jelikož voda by reagovala s polymerem za vzniku oxidu uhličitého. Jedná se o pružný polymer, proto je možné tyto nátěry využít k ochraně betonových ploch vystavených odírání nebo i k překlenutí drobných povrchových trhlinek. Mezi jeho další výhody patří odolnost proti vyšším teplotám, odolnost vůči UV záření a vodě. Filmy na PUR bázi mají též velmi dobrou přilnavost k povrchu [2] [15].

Epoxidové pryskyřice (EP)

Pro epoxidové pryskyřice je typická přítomnost více než jedné epoxidové (oxiranové) skupiny. Bez přítomnosti další látky nejsou tyto pryskyřice schopné vytvářet nátěrový film, jelikož zasychají pouze fyzikálně a vzniklý film by byl zpětně zcela rozpustný. Proto je třeba molekuly těchto pryskyřic síťovat [2].

Dle možnosti zasíťování dělíme epoxidové nátěrové hmoty na:

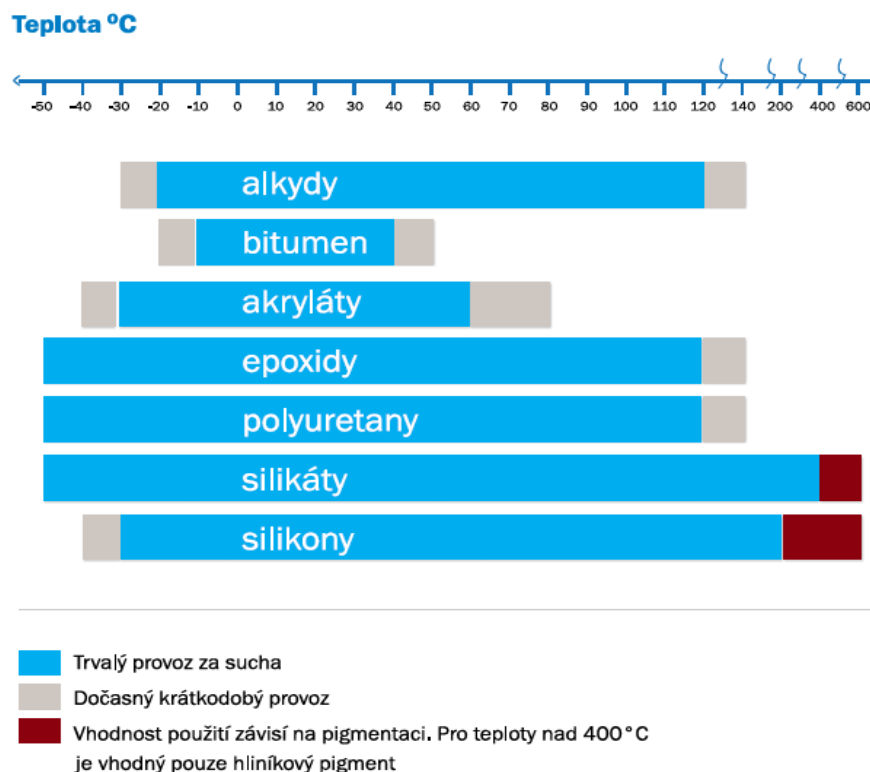
- Za studena tvrditelné
K roztoku středně molekulární epoxidové pryskyřice je přidáno tvrdidlo, v tomto případě polyamin.
- Vypalovací
Aby bylo možné o epoxidovém nátěru říci, že je řazen mezi vypalovací, je třeba, aby byla výše molekulární epoxidová pryskyřice v kombinaci s 20–30 % fenolických či močovinných pryskyřic. Další možností je kombinace epoxidové pryskyřice s nevysychavými mastnými kyselinami a močovinných nebo melaminových pryskyřic.
- Na vzduchu schnoucí
K roztoku epoxidových esterů se přimíchávají kyseliny vysychavých olejů a sikativy.
- Práškové
V tomto případě probíhá vytvrzení nátěru při teplotě ležící nad teplotou tání epoxidových pryskyřic, kdy jsou k vytvrzování použity aromatické polyamidy nebo anhydridy kyselin.
- Vodou ředitelné
Epoxidová pryskyřice i polyamid jsou převedeny na vodní emulzi.

Pro epoxidové nátěry je typická vysoká odolnost vůči alkáliím, zředěným kyselinám a jsou netečné i k mnoha rozpouštědlům. Pokud je betonový povrch před nátěrem správně ošetřen, mají k tomuto povrchu výbornou přilnavost [21].

Epoxidové novolaky

Po nahrazení dianu fenolickým novolakem vznikají epoxidové novolaky. Epoxidové novolaky se připravují hlavně alkalickou kondenzací v přebytku epichlorhydrinu, stejně jako nízkomolekulární epoxidové pryskyřice. Ve srovnání s dianovými epoxidy mají o 30 až 40 °C vyšší tvarovou stálost, při použití shodných typů tvrdidel. Pro epoxidové novolaky se používají pryskyřice systému Bisfenol F, pro ostatní epoxidové nátěry se běžně používá systém Bisfenol A.

Novolakové epoxidy dosahují vyšší chemické odolnosti, jsou schopné odolávat až 98% kyselině sírové. Ačkoli jsou novolakové pryskyřice dražší, než pryskyřice bisfenolu A, výsledná cena nátěru je nižší. Epoxidové novolaky mají silnou adhezní sílu, takže doporučená minimální požadovaná tloušťka je mnohem menší, než u jiných systémů. U těchto nátěrů není také kladen velký důraz na předúpravu povrchu a není nutné aplikovat základní nátěr. Jejich další výhodou je dlouhá životnost [21] [28].



Obrázek 2: Teplotní odolnost jednotlivých nátěrů dle polymerní báze [31]

2.5.2 Plniva

Pod tímto pojmem si lze představit přírodní nebo syntetické látky, které v daném systému tvoří požadovanou objemovou koncentraci pevných látek a optimalizují nebo mění určité požadované vlastnosti daného nátěru. Plniva se také často používají pro snížení výsledné ceny nátěru. Vyznačují se nižším indexem lomu, než pigmenty, a to pod hodnotu 1.7, mají tedy horší kryvost [1].

Volbu vhodného plniva do nátěru nejvíce ovlivňuje dostupnost, cena, požadavek na zlepšení fyzikálních vlastností, teplotní a barevná stálost. Dále by plniva měla být dobře dispergovatelná, netoxická a chemicky inertní [1].

Primární suroviny

Mezi nejčastěji používané primární suroviny patří mastek, který je rovněž znám pod názvem talek. Pokud má toto plnivo vláknitou nebo jehlicovitou strukturu, využívá se k zabránění sedimentace pigmentů, zároveň také zvyšují mechanickou pevnost a brání praskání povrchu. Pokud má talek destičkovou strukturu, je vhodné ho použít do základních barev ke zlepšení antikoročních vlastností. Pokud je použit ve velmi rozmělněném stavu zlepšuje přilnavost nátěru k povrchu [5].

Dále jsou často používané jemné křemičité písky, které by měly mít velikost zrna nižší než 0,063 mm a obsah SiO₂ 98 %.

Skleněné vločky se používají jako plniva pro zlepšení nepropustnosti a výztuže antikoročních nátěrů. Vytvářejí díky své morfologii bariéru proti pronikající vlhkosti,

zvyšují otěruvzdornost a pevnost, jelikož působí jako rozptýlená výztuž. Jejich hlavní nevýhodou je poměrně vysoká cena [12].

Druhotné suroviny

Odpady z předešlé výroby lze využít jako druhotné suroviny, jestliže ještě obsahují využitelnou složku. Zpracováním druhotných surovin je šetřeno životní prostředí, primární suroviny a finance. Často je nutné druhotné suroviny před použitím ještě upravit, aby získaly požadované vlastnosti. Mezi tyto suroviny se řadí například odpadní perlit, sklo, slévárenský písek řezné kaly. Na druhé straně lze použít i odpadní suroviny, kde není úprava nutná vůbec nebo pouze minimálně. Do této skupiny jsou řazeny jemné částice, jako jsou popílky nebo odprašky.

Dle tvaru primárních částic lze plniva rozdělit na:

- Neizometrická – (šupinková, lamelární, lístková), která se řadí mezi vyztužující plniva. Řadí se sem například slídové minerály, ocelové či skleněné šupiny.
- Krátkovláknitá, kam patří wollastonit.
- Dlouhovláknitá plniva, mezi které patří vláknité materiály vyrobené ze skla, čediče či uhlíku.
- Kulovitá plniva, která se vyznačují tvarem dutých nebo plných kuliček [1].

Na plniva jsou tedy kladeny různé požadavky, mezi základní patří například:

- Zvýšení obsahu sušiny v nátěrovém systému
Pokud nátěrová hmota obsahuje uspokojivé množství plniva, její objemové smrštění při zasychání je podstatně menší. Dojde tak k lepšímu vyrovnání prasklin či drobných nerovností na povrchu.
- Zdrsnění výsledného povrchu
Pokud je třeba, aby byl výsledný povrch z nějakého důvodu drsný, je možno použít hrubá plniva, která musí být dostatečně tvrdá a odolná proti obroušení.
- Nárůst adheze
Pomocí plniv lze také zvýšit přilnavost nátěru k podkladní vrstvě nebo mezi samotnými vrstvami. Zde je ideální použít plniva lamelárního tvaru.
- Zvýšení pevnosti
Pro zvýšení pevnosti lze použít lamelární nebo vláknitá plniva, která rovněž zlepší pružnost nátěru [1].

2.5.3 Pigmenty

Pigmenty jsou jemné pevné částice dispergované v pojivu, které poskytují nátěru požadovanou barvu, lesk a neprůhlednost. Na základě chemického složení lze pigmenty dělit na anorganické (uhličitany, oxidy, sírany, sulfidy, křemičitany, chromáty, molybdenany, kovy) a organické (na minerální bázi- vápník, uhličitany, sulfáty) [6].

Krycí schopnost patří mezi nejdůležitější fyzikální vlastnosti, je to schopnost bránit pronikání světla daným nátěrem. Tato vlastnost závisí na indexu lomu a na opacitě (schopnosti pohlcovat záření) daného pigmentu. Další důležitý parametr je elektrický odpor, v tomto případě platí přímá úměra, film s vysokým elektrickým odporem má také vysokou odolnost proti vodě [2].

2.5.4 Ostatní přísady (Aditiva)

Aditiva jsou menšinovými doplňkovými složkami v nátěrové hmotě a obecně každý z těchto produktů nepředstavuje více než 2 % celkového objemu. Jsou však velmi důležité pro dosažení specifických vlastností nátěrů, usnadňují přípravu a ulehčují také způsob následného nanášení. Nejčastěji používanými aditivami jsou inhibitory koroze, fungicidy používané k prevenci růstu mikroorganismů, oděňovače, ultrafialové absorbéry, které snižují degradaci povlaku slunečním světlem, sikativy, které urychlují proces schnutí, matovací látky, dispergační aditiva a další [6].

2.5.5 Rozpouštědla

Rozpouštědla jsou zavedena do formulace barvy, aby se rozpustilo pojivo a aby byla zajištěna dostatečná úprava viskozity - správná tekutost barvy, pro další správnou technologii nanášení. Výrobce je obvykle doporučeno vhodné ředidlo a poměr ředění, který je nutno dodržet. Důležitým ukazatelem pro volbu rozpouštědla je typ pryskyřice, dostupnost i cena.

Nejdůležitějšími vlastnostmi rozpouštědel jsou jejich schopnost rozpouštět filmotvorné látky a jejich těkavost, která řídí rychlost odpařování. Dle rychlosti odpařování jsou rozpouštědla dělena na lehká, střední a těžká. Pokud v nátěrovém filmu zůstane i nepatrné množství těkavých složek, dochází k zhoršení jeho odolnosti, především pokud se dostane do styku s agresivním kapalným prostředím [6] [13].

Rozpouštědla obsahují jednu či více složek. Vícesložková rozpouštědla mohou obsahovat rozpouštědla pravá, nepravá i ředidla. Zatřídění rozpouštědel mezi pravá či nepravá závisí vždy na druhu použité filmotvorné látky, jelikož rozpouštědlo které je pro jednu látku nepravé, se stává pro jinou pravé [2] [14].

Mezi nejběžnější rozpouštědla patří:

- Alifatické uhlovodíky, kam spadá technické benziny a lakový benzin.
- Aromatické uhlovodíky, které mají největší rozpouštěcí schopnost, ale jejich nevýhodou je vysoká toxicita. Mezi aromatické uhlovodíky patří například Benzen a Toluén.
- Alkoholy, kam spadá benzylalkohol, metylalkohol, etylalkohol, butylalkohol.
- Ketony, jejichž hlavní představitel je aceton nebo cyklohexanon.
- Estery, což jsou výborná rozpouštědla pro velké množství pryskyřic.

Obecně se ale ve výrobě nátěrových hmot používají obvykle směsi rozpouštědel, aby bylo dosaženo co nejlepších požadovaných výsledných vlastností [2].

2.6 Úpravy povrchu před nátěrem

Před procesem nanášení nátěrové hmoty je ve většině případů nutný proces předúpravy natírané plochy, aby byla zajištěna vhodná přilnavost nátěru.

Předúpravu natíraného povrchu lze rozdělit na:

- Mechanickou
- Chemickou

2.6.1 Mechanická předúprava povrchu

- Broušení

Mechanická předúprava pomocí broušení spočívá v odstranění tenké horní vrstvy, kdy se odstraní nerovnosti, nečistoty a dojde ke sjednocení povrchu. Povrch je zdrsňen pomocí brusných papírů, a to zdokonaluje přilnavost [19].

- Kartáčování

Velkou výhodou této operace je možnost odstranění hrubých nečistot a také možnost vyčistit od nečistot i přítomné prohlubně. Kartáče jsou vyrobeny z tenkých drátků, obvykle z mosazi nebo oceli. Kartáčování se provádí buď ručně, nebo pomocí speciálního stroje [17].

- Leštění

Leštění je proces, při kterém dochází k nižšímu úbytku povrchové vrstvy, jsou odstraněny pouze nejjemnější částice. Kotouče, které jsou pro tyto operace používané, jsou z textilního nebo plastového materiálu. Často se také používají v kombinaci s leštícími pastami [20].

- Otryskávání

Na povrch materiálů je značnou rychlostí tryskán vhodný materiál, který při dopadu odstraňuje starý nátěr, nečistoty, nechtěné výstupky. Jako tryskací materiál je nejčastěji používán křemičitý písek, ocelové broky nebo sekaný drát [3].

- Čištění pomocí vysokotlakého vodního paprsku

Tento způsob je vhodný pro odstranění rzi, ulpělých solí a nečistot, zejména na čištění velkých ploch nebo ploch s dutinkami (Obrázek 3). Pro zvýšení účinnosti je možné použít vhodné abrazivo, což je obvykle křemičitý písek. Pokud je abrazivo použito, je nutné, aby vzniklá odpadová voda neohrožovala okolí [5].



Obrázek 3: Čištění pomocí vysokotlakého paprsku [30]

2.6.2 Chemická předúprava povrchu

Během procesu chemické předúpravy reaguje na povrchu chemické činidlo s přítomnými nečistotami. Do chemické předúpravy lze zařadit proces moření, ke kterému se používají minerální kyseliny, sloužící k odstranění přítomných uhličitánů. Také sem patří proces odmaštění, kdy se odstraňují přítomné oleje a tuky nerozpustné ve vodě [17].

2.7 Nanášení nátěru

V praxi existuje mnoho technologií pro nanášení nátěrových hmot a také mnoho faktorů, které ovlivňují výběr vhodné technologie – náročnost na obsluhu, cena, technické požadavky. Je nutné také zohlednit charakter dané nátěrové hmoty a povrch betonového podkladu, na který bude nátěr nanášen.

- Ruční nanášení nátěrových hmot

K tomuto typu nanášení jsou používány štětce, štetky a válečky. Ruční nanášení nátěru patří mezi dobře dostupné způsoby, je však velmi časově náročné a tím se stává i málo produktivní. Finální vzhled zhotoveného nátěrového filmu není obvykle příliš kvalitní. Používá se tedy k natírání těžko dostupných míst, malých ploch nebo při drobných opravách nátěru. Dále je ruční nanášení vhodné pro povrchy, které nejsou dokonale očištěny, jelikož rozetřením nečistot do nátěru je zlepšena přilnavost. U některých nátěrových hmot (např. suříkových, suboxidovaných) se také často používá ruční nanášení, jelikož stříkání je z hygienických důvodů zakázáno [5] [17].

- Nanášení nátěrových hmot pomocí aplikátoru

Jako aplikátor se nejčastěji používá tzv. pravítko, které umožňuje rovnoměrné nanášení nátěru na rovinnou plochu pomocí skuliny, která definuje tloušťku finálního filmu. Na trhu jsou dostupná automatizovaná pravítka, či pravítka s aplikátorem [16].

- Pneumatické stříkání

Pneumatické neboli vzduchové stříkání je velmi rozšířený způsob aplikace, jelikož je cenově dostupný a hodně produktivní. Nátěrová hmota se nanáší pomocí stříkací pistole, kam je přiváděn stlačený vzduch. Tento proces je možné také automatizovat [18].



Obrázek 4: Ukázka pneumatického stříkání polymerního nátěru [25]

- Vysokotlaké stříkání

Vysokotlaké stříkání, které lze též nazývat jako bezvzduché, se od pneumatického stříkání liší způsobem dodávání nátěru do stříkací pistole. V tomto případě se nátěr do stříkací pistole dodává pouze tlakem, bez použití vzduchu [18].

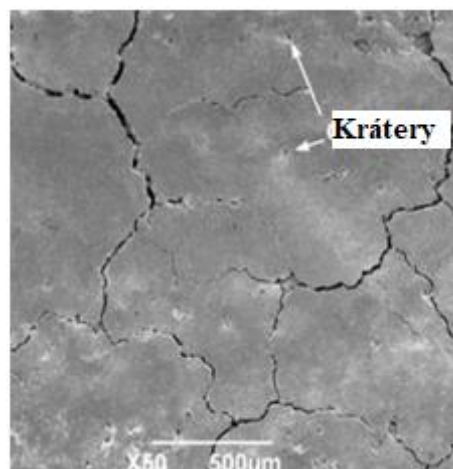
2.8 Problémy a závady

- Kráterky a bubliny

Tato závada je způsobena pohybem plynů a vodních par v nevyzrálém podkladním materiálu (Obrázek 5). Tento problém lze omezit zvolením vhodné teploty, za vyšších teplot totiž dochází k rozpínání plynů a par a jejich následnému uvolnění. Na snímku ze skenovacího elektronového mikroskopu (Obrázek 6) jsou zobrazeny tyto závady nátěru.



Obrázek 6: Ukázka nežádoucích bublin v nátěru [42]



Obrázek 5: Ukázka kráterů a trhlin v nátěru [43]

- Vznik navazujících trhlin

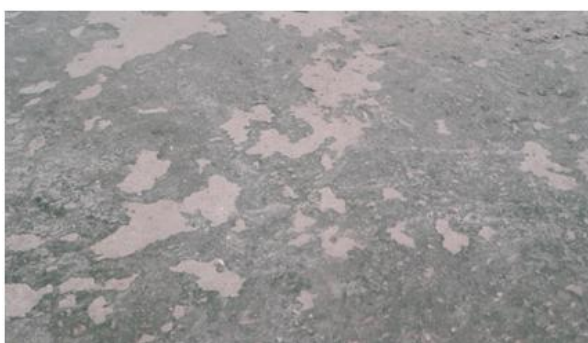
Problém navazujících trhlin vzniká v místě, kde nátěrový systém překrývá již přítomnou trhlinu, u které později dochází k pohybu. Trhlina vznikne v okamžiku, kdy napětí u nátěrové vrstvy překročí mez pevnosti v tahu.

- Ztráty povrchové ochrany

Ztráta povrchové ochrany se vyskytuje u nátěrů s vysokým obsahem prchavé složky, kde došlo za působení větru nebo vysoké teploty, k příliš rychlému odpaření rozpouštědla.

- Porušení soudržnosti

Pokud nanášíme vrstvu nátěru na špatně očištěný nebo mokrý povrch, může dojít k oslabení soudržnosti a později k oddělení nátěru od betonového povrchu (Obrázek 7).



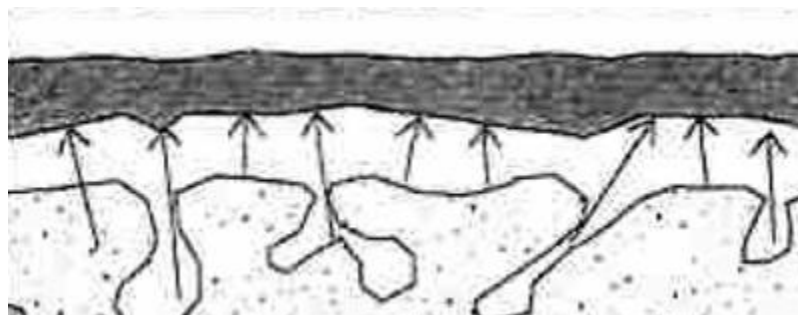
Obrázek 7: Porušení soudržnosti alkydového nátěru s podkladem

- Porušení soudržnosti mezi vrstvami

Jestliže nanášíme více vrstev, může nastat situace, kdy dojde k oddělení vrstev mezi sebou. Nejčastější příčina je nedodržení časového rozestupu mezi vrstvením nátěru nebo nedostatečně očištěný podkladní nátěr.

- Porušení soudržnosti uzavřením vlhkosti

V tomto případě je porušení způsobeno nahromaděním vlhkosti pod povrchem nátěru (Obrázek 8), kdy dojde k utvoření dostačujícího tlaku, který je schopen povrch nátěru narušit [22].

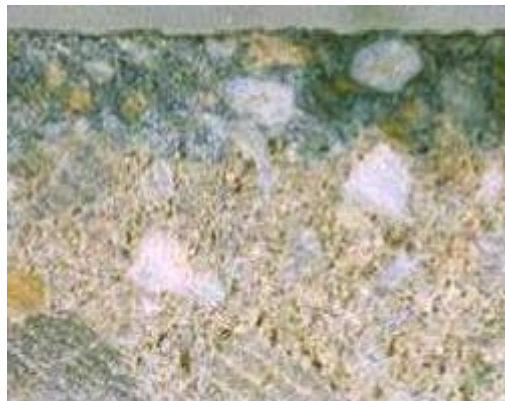


Obrázek 8: Porušení soudržnosti uzavřením vlhkosti [22]

Na následujícím obrázku (Obrázek 9) je znázorněno použití nevhodného primeru a kombinování hmot od různých výrobců. Vzorek byl po plném vytvrzení podroben střídání teplot v rozmezí $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a k jeho porušení došlo po 5 cyklech. Zvolený primer nebyl dostatečně pružný. Když byl stejný test uskutečněn s použitím flexibilního primeru, tak na vzorku nevznikly žádné trhliny (Obrázek 10). Pružná primerová vrstva byla schopna překonat vzniklé tlaky způsobené střídáním teplot a daná vrstva byla nanesena v dostatečném množství, aby byla schopna vyplnit všechny póry [37].

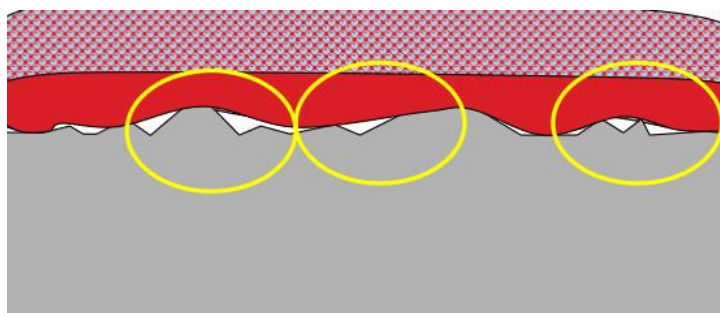


Obrázek 9: Použití nevhodného primeru [37]



Obrázek 10: Použití vhodného pružného primeru [37]

U nátěrové hmoty je také důležité vytvořit vhodnou výslednou konzistenci. Pokud je výsledná hmota málo naředěná a má tedy vysokou viskozitu (Obrázek 11), nedochází k dostatečnému vyplnění mezer, ve kterých může být uzavřena vzdušná vlhkost způsobující např. nevytvrzení nátěru a další nežádoucí jevy v průběhu polymerace. Nedostatečné napojení nátěru k podkladu také významně snižuje přilnavost [38].



Obrázek 11: Nátěr s vysokou viskozitou – nezatečení do otevřených pórů podkladu [38]

2.9 Namáhání vlivem prostředí

Životnost betonových konstrukcí je obvykle ohrožena vlivem klimatického střídání teplot, smáčením či navlháním, vysycháním. Dále je to vliv ultrafialového (UV) záření a mechanického namáhání. Mezi další neméně důležitý aspekt je řazen vliv chemicky agresivního prostředí.

Obvykle jsou předměty opatřené nátěrem vystaveny kombinaci všech výše uvedených činitelů.

2.9.1 Chemicky agresivní prostředí

Látky, které jsou označeny jako chemicky agresivní, zapříčiňují ve struktuře betonu vznik nových novotvarů, které po nárůstu objemu rozrušují strukturu povrchu, což vede k degradaci betonu. Dále také snižují svou přítomností hodnotu pH betonu [9].

Kapalné agresivní prostředí

Nejčastěji se betonové konstrukce dostávají do styku s vodami, obsahující různé rozpustné látky (obvykle soli kyselin), chemikáliemi, minerálními oleji a tuky.

Kapaliny způsobující degradaci lze rozdělit na tři typy:

a) Kapaliny způsobující korozi I. typu:

Tyto vody můžeme nazvat též jako měkké. Vyluhují z betonu přítomný hydroxid vápenatý ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), poté dochází k rozkládání přítomných hydratovaných hlinitanů a křemičitanů. Dochází k výraznému poklesu pH betonu, což má špatný vliv na stabilitu zhydratovaných slínekových minerálů. Pokud je pH nízké, výztuž už není pasivována [9].

b) Kapaliny způsobující korozi II. typu:

Pokud se tyto kapaliny dostanou do kontaktu s betonovou konstrukcí, vytvoří s cementovým tmelem lehké rozpustné sloučeniny, mající špatné vazné schopnosti. Jedná se především o vody, které obsahují chloridy, sírany, amonné ionty [9]. Mechanismus poškození povrchových vrstev betonu kapalinami způsobující korozi II. typu je znázorněn na Obrázku 12.



Obrázek 12: Mechanismus poškození povrchových vrstev betonu [24]

c) Kapaliny způsobující korozi III. typu:

Tyto vody obsahují různorodé sloučeniny, reagující s cementovým tmelem za zrodu krystalických fází, které mají vyšší objem. Zpočátku tyto fáze vznikají v dutinkách a pórech, což zvyšuje nepropustnost betonu i jeho pevnost. Při dalším zvětšování objemu ale dochází k vzniku napětí, což vede ke vzniku trhlin a následně k ztrátě soudržnosti. Koroze tohoto typu je obvykle způsobena vodami, které obsahují sírany [9].

Plynné agresivní prostředí

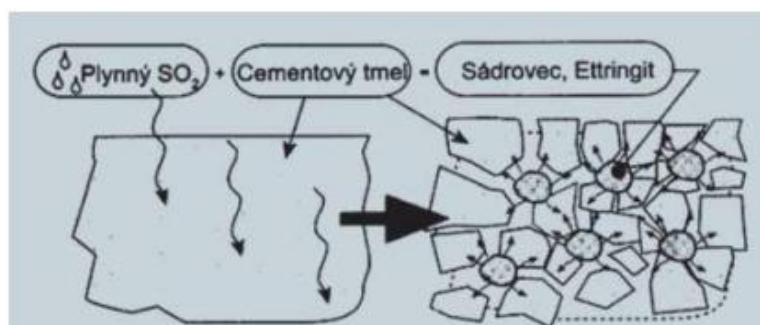
Mnoho železobetonových konstrukcí je vystaveno vlivu atmosféry, ve které je přítomné velké množství plynů, které způsobují degradaci konstrukce. Mezi tyto plyny se řadí například oxid siřičitý, oxid uhličitý, amoniak, sirovodík, sloučeniny chlóru a další.

Oxid uhličitý (CO₂)

Mezi oxidem uhličitým a cementovým tmelem pobíhá neutralizační reakce, která je označována jako karbonatace. Aby mohla karbonatace probíhat, je nutná přítomnost dostatečné vlhkosti. Při procesu karbonatace dochází ke snížení hodnoty pH betonu, výztuž přestává být pasivována, a zároveň dochází ke vzniku nerozpustných novotvarů uhličitanu vápenatého (CaCO₃). Tyto novotvary zaplňují dutinky a póry povrchové vrstvy betonu, kde poté dochází ke zvýšení objemové hmotnosti.

Oxid siřičitý (SO₂)

V důsledku působení oxidu siřičitého dochází k tzv. sulfataci betonu (Obrázek 14). Při tomto procesu vznikají krystalky sádrovce, jejichž velikost a tvar je silně závislý na přítomné vlhkosti. Hodnota pH může klesnout až na hodnotu 5,4. Průběh degradace je obdobný jako při působení oxidu uhličitého [9].



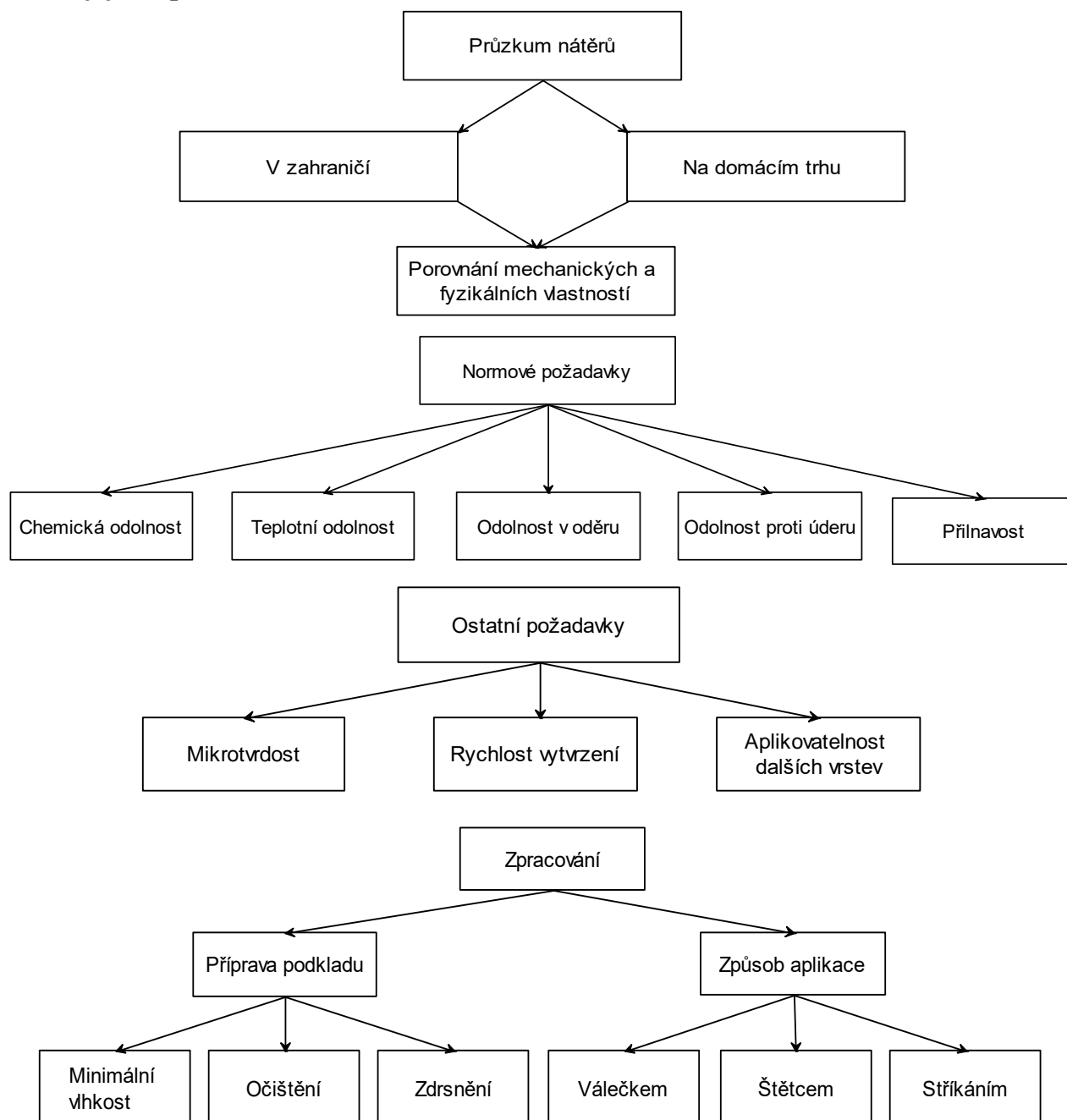
Obrázek 13: Porušení betonu sulfatací [22]

3 Cíl práce

Hlavním cílem bakalářské práce je návrh a experimentální ověření základních vlastností parotěsného chemicky odolného ochranného nátěru využívajícího vhodné druhotné suroviny jako plnivo. Navrhovaný polymerní nátěr, použitelný především jako sekundární ochrana betonových konstrukcí, musí být rychle tuhnoucí s vynikající mechanickou a chemickou odolností a také musí vykazovat požadovanou zpracovatelnost a aplikovatelnost. Snahou je využít co největší množství vhodných druhotných surovin v podobě mikroplniva, které pozitivně ovlivní vlastnosti výsledného nátěru a zároveň jejich úprava nebude příliš náročná.

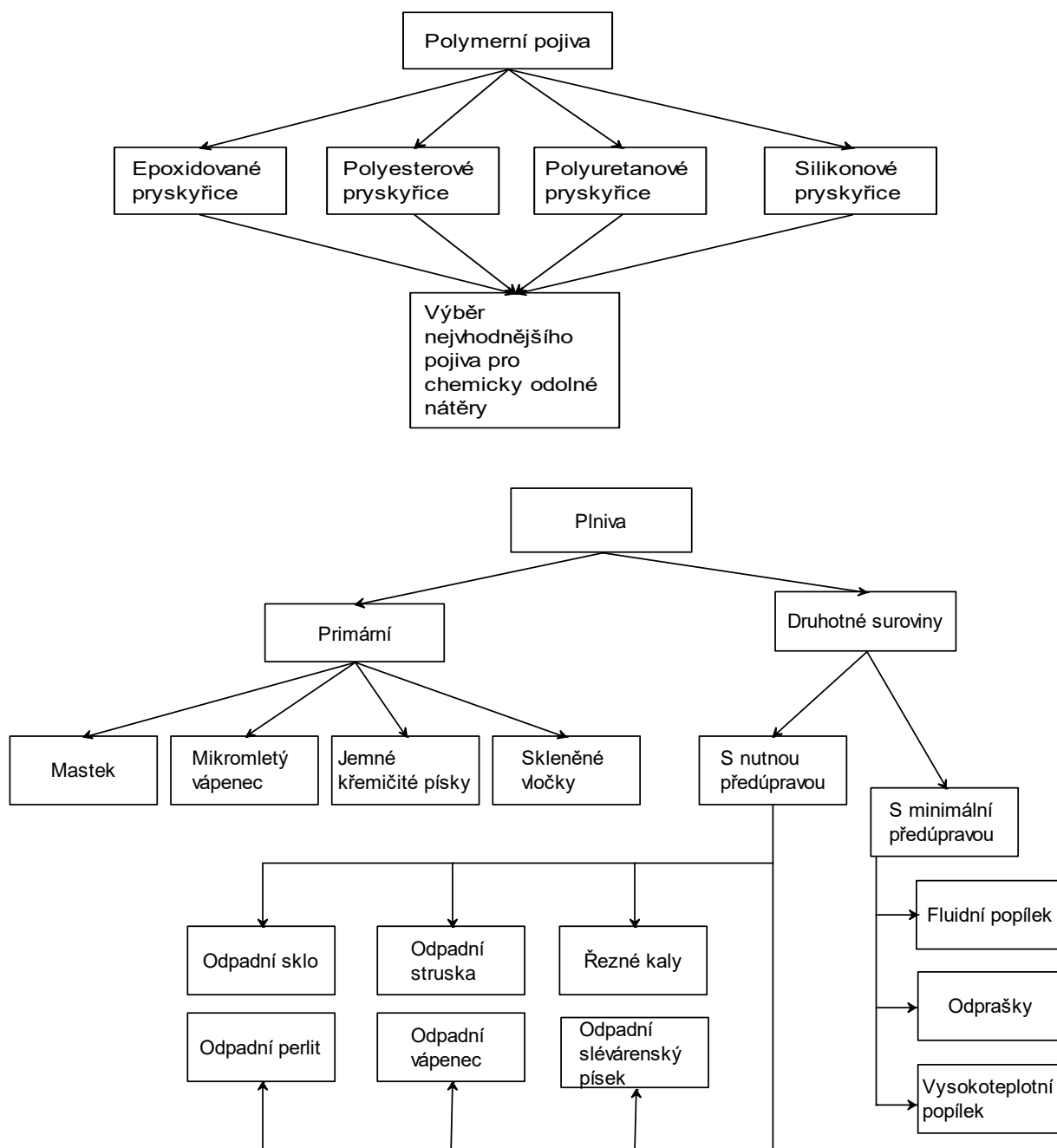
4 Metodika práce

4.1 Etapa I – Rešerše nátěrů na současném trhu, stanovení požadavků na nátěry a jejich aplikaci



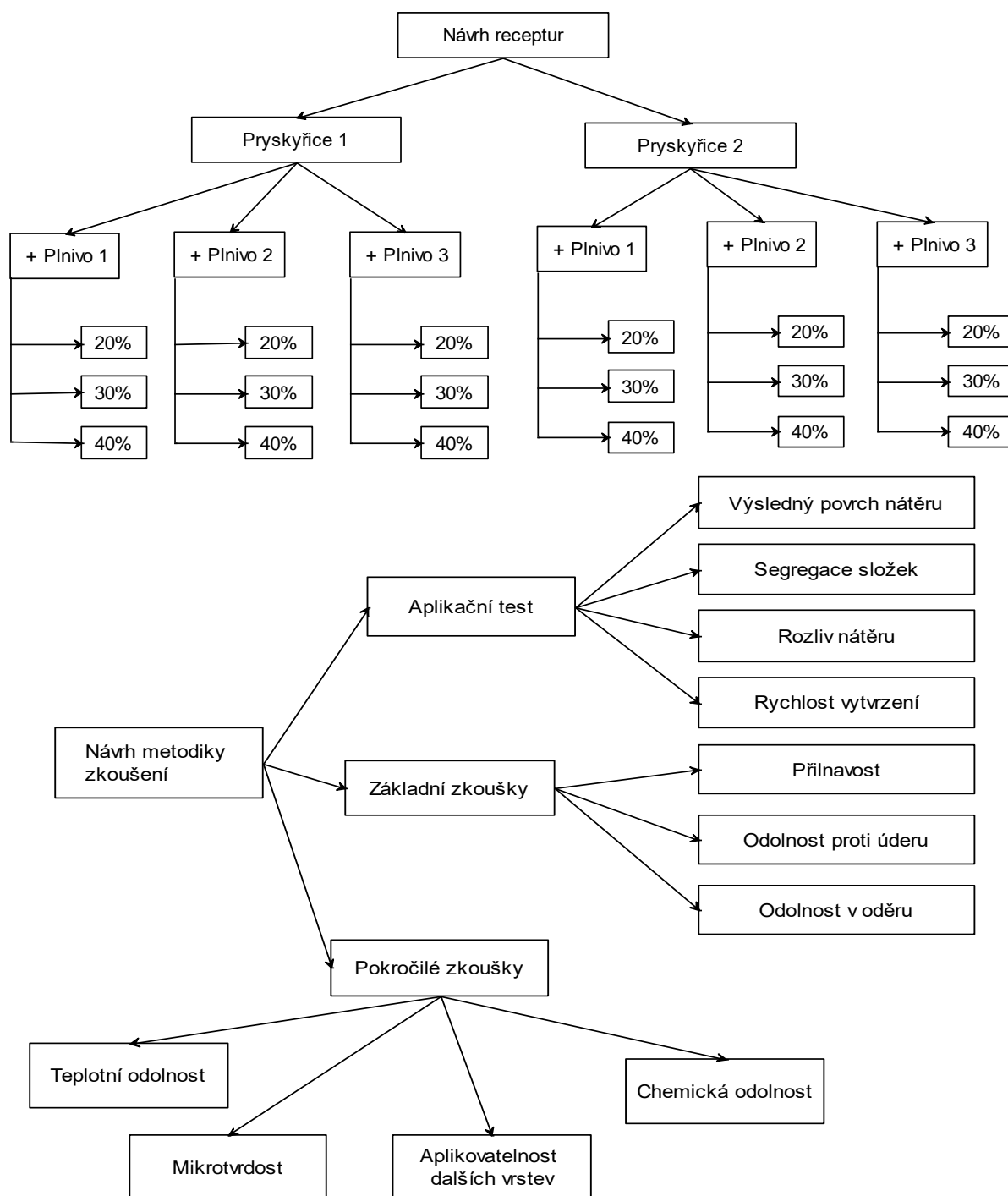
Cílem této etapy je vypracování rešerše dnes nejčastěji používaných nátěrů, které se využívají k ochraně betonu před chemickým působením. Je uveden přehled nejčastěji používaných nátěrů, především na polymerní bázi, a na jakém principu fungují. V této etapě jsou následně popsány normové a jiné postupy pro stanovení vlastností a požadavků na nátěry.

4.2 Etapa II – Studium možností využití druhotných surovin jako plniva a výběr vhodných polymerních pojiv



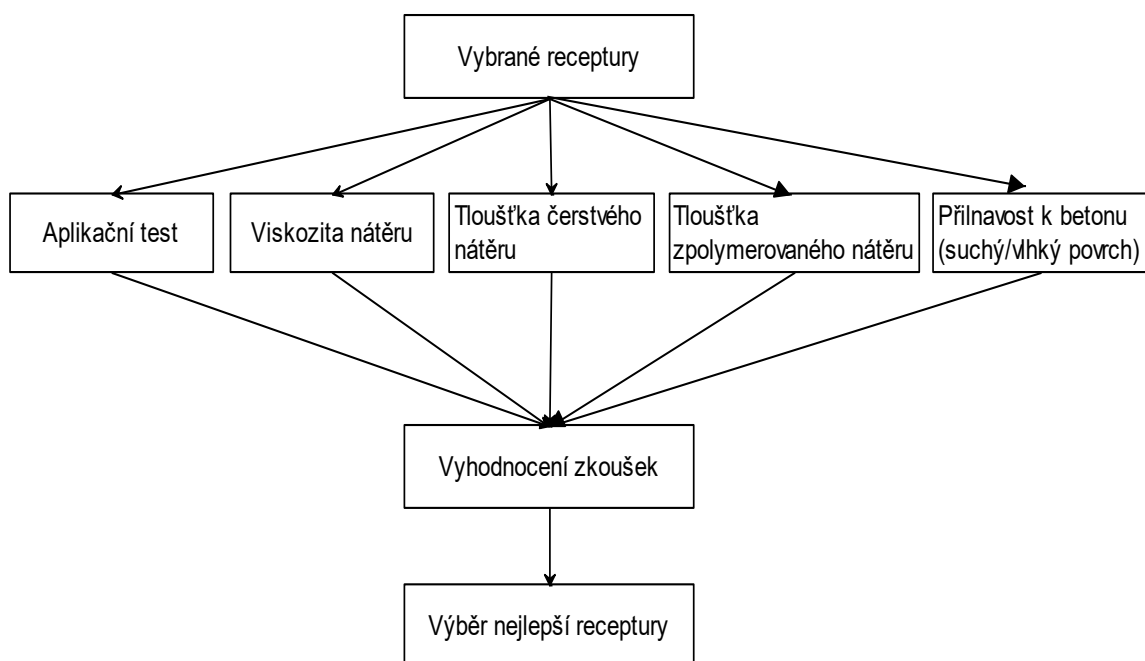
V této etapě jsou u jednotlivých navrhovaných materiálů, plniv a polymerních pojiv, zhodnoceny primární vlastnosti, jejich využití, dostupnost a cena. Jsou zde vybrány vhodné alternativní suroviny tak, aby bylo možné maximálně využít druhotné suroviny v podobě plniv, při současném nahrazení těch primárních. Z řad druhotných surovin je rozhodováno mezi těmi s potřebnou předúpravou (sušení, mletí, atd.) a s minimální předúpravou.

4.3 Etapa III – Návrh receptur pro chemicky odolné nátěry a metodiky zkoušení



Cílem třetí etapy je podle daného typu prostředí navrhnout vhodné receptury, tak aby se maximálně využili druhotné suroviny a byly dosaženy požadované parametry parotěsných polymerních nátěrů. Stupeň plnění je zvolen také s ohledem na zpracovatelnost nátěru a jeho aplikovatelnost různými způsoby pro dosažení silné kontaktní zóny mezi podkladem a nátěrem. Dále je zde navržena metodika zkoušení daných receptur, za účelem výběru nejvhodnější receptury a dosažení co nejlepších vlastností nátěru.

4.4 Etapa IV – Experimentální ověření vybraných vlastností u navržených receptur



V poslední etapě je experimentálně ověřeno, zda navržené receptury splňují základní požadavky, jako je např. vysoká přilnavost k betonovému povrchu. Dále jsou porovnány receptury složené jenom z primárních surovin s nátěry využívajícími také druhotných surovin jako plniv. Na základě výsledků experimentálního ověření vybraných receptur je vyhodnoceno, jestli je možné úspěšně využít některé upravené odpadní materiály v podobě plniv do polymerních nátěrů při dosažení požadovaných vlastností.

5 Praktická část

5.1 Etapa I – Rešerše nátěrů na současném trhu, stanovení požadavků na nátěry a jejich aplikaci

V rámci první etapy byla provedena rešerše nátěrů na polymerní bázi, které lze považovat za nátěry parotěsné – nepropustné pro vodní páru. Důraz byl kladen také na porovnávání chemické odolnosti vybraných polymerních nátěrů. Dále byly v této etapě popsány další vlastnosti, které by měl parotěsný a chemicky odolný nátěr splňovat. Na konci této etapy jsou zmíněny požadované vlastnosti povrchu, na který se nátěr nanáší a způsob aplikace nátěru.

5.1.1 Chemicky agresivní prostředí

Navrhované ochranné parotěsné nátěry se plánuje aplikovat do prostředí, které jsou permanentně vystavovány chemicky agresivnímu prostředí. Takovéto prostředí se vyskytuje v průmyslových provozovnách, laboratořích či elektrárnách, kde na nátěr působí nejen chemicky agresivní vlivy, ale mnohdy také přítomnost trvalé vlhkosti, vysoké teploty či cyklické mechanické zatížení. Nátěr použitý na vnější betonové konstrukce je velmi často vystaven povětrnostním vlivům a působení UV záření. Při použití nátěru na pozemní komunikace, parkoviště či odstavné plochy je nutné také uvážit vliv UV záření, často používaných chemických rozmrazovacích látek a střídání extrémních teplot. Při výběru vhodného nátěrového systému je tedy nutno brát v úvahu všechny výše zmíněné vlivy.

5.1.2 Průzkum nátěrů na domácím trhu i v zahraničí

V následující tabulce (Tabulka 1) jsou uvedeny některé z nátěrů dostupné na současném trhu, které splňují podmínku vysoké chemické odolnosti a jsou tedy vhodné na použití do agresivního prostředí.

Všechny z uvedených nátěrů jsou založeny na polymerní bázi, jelikož mají mnohem vyšší chemickou odolnost a přilnavost, než nátěry silikátové. Silikátové nátěry nejsou vhodné také proto, jelikož mají nízký difuzní odpor a tím se stávají více propustné pro vodní páru než polymerní nátěry. U většiny epoxidových a polyuretanových nátěrů se požaduje, aby měl povrch, na který se bude nátěr nanášet, vlhkost maximálně 4 %. Obecně nejvyšší přilnavost jak k betonovému, tak asfaltovému povrchu, mají nátěry na epoxidové bázi, které vytváří s podkladem nejsilnější kontaktní zónu. Avšak nevýhodou je jejich cena. U parotěsných nátěrů se požaduje, aby ekvivalentní difuzní tloušťka vrstvy S_D byla větší než 50 metrů – tento požadavek splňují všechny nátěry uvedené v tabulce níže.

Tabulka 1: Přehled dostupných nátěrů na polymerní bázi [44-52]

Název	Polymerní báze	Max. přípustná vlhkost podkladu [%]	Hustota nátěru v čerstvém stavu [kg/m ³]	Přilnavost [MPa]	Zpracovatelnost [min]	Ekvivalentní difúzní tl. - S _D [m]
Redcoat E	AP ¹	-	1350	>2	-	>100
Sikafloor-359 N	PUR ²	≤ 4	-	>1,5	25	>50
SikaCor 277	EP ³	-	1400	-	30-40	>50
Mapecoat I 24	EP ³	-	1300	>3,8	30-40	>50
BETOFIX SR	EP ³	≤ 4	1410	>1,5	120	>50
Mapecoat cpu/rt	PUR ²	-	1953	>2,5	15	>50
Sika Poxitar F	EP ³	≤ 4	-	-	90	>50
ResiCote WB4	AP ¹	-	1420	-	-	>50
PCI Decotop	EP ³	-	1300	-	35	>50

Vysvětlivky: ¹ Akrylátová pryskyřice, ² Polyuretanová pryskyřice, ³ Epoxidová pryskyřice

5.1.3 Normové a jiné požadavky na nátěry

V Tabulce č. 2 jsou definovány základní nároky na vlastnosti parotěsných nátěrů dle normy ČSN EN 1504-2 [36]. Tyto požadavky pomáhají dosáhnout optimální sekundární ochrany betonové konstrukce, která zvyšuje její životnost.

Tabulka 2: Základní požadavky na vlastnosti parotěsných nátěrů dle ČSN EN 1504-2 [36] [22]

Vlastnosti	Zkušební metoda	Požadavky
Lineární smrštění	ČSN EN 12617-1	≤ 0,3 %
Odolnost v oděru	ČSN EN ISO 5470-1	Úbytek hmotnosti ≤ 3000 mg
Propustnost pro CO ₂	ČSN EN 1062-6	S _D > 50 m
Propustnost pro vodní páru	ČSN EN ISO 7783-1 ČSN EN ISO 7783-2	tř. III. S _D > 50 m
Přilnavost	ČSN EN 1542 ČSN EN ISO 4624	1,2 MPa
Odolnost vůči silnému chemickému napadení	ČSN EN 13 529	Snížení tvrdosti o méně než 50 %
Schopnost přemostování trhlin	ČSN EN 1062-7	V příslušné třídě žádné závady
Odolnost proti úderu	ČSN EN ISO 6272-1	Po zatížení žádné trhliny a odlupování
Mrazuvzdornost	ČSN EN 13 687-1	50 cyklů
Tloušťka nátěru	ČSN EN ISO 2808	200–300 μm
Odolnost proti UV záření	ČSN EN 11507	Odolné
Vodotěsnost	ČSN 73 2578	0,0 l·m ⁻²
Odolnost vůči vysokým teplotám	ČSN EN 1062-11	60 °C

- Chemická odolnost

Odolnost vůči silnému chemickému působení na nátěr se hodnotí dle normy ČSN EN 13 529 „Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Stanovení odolnosti vůči silnému chemickému napadení.“ Nátěr je v této zkoušce vystaven působení kapalin, které jsou taktéž uvedeny ve zmiňované normě a řadí se mezi běžně se vyskytující chemikálie. Jako zkušební kapaliny se používají např. 20% vodný roztok NaCl, 20% vodný roztok H₂SO₄, aceton aj. Kapaliny působí na nátěr z jedné strany a za vyhovující výsledek se považuje snížení tvrdosti nátěru o méně než 50 %. Tvrdost je poté stanovena Buchholzovou vrypovou zkouškou (dle ČSN EN ISO 2815) nebo pomocí tvrdostní zkoušky Shore (dle ČSN EN ISO 868) [3].

- Odolnost proti úderu

Odolnost proti úderu je jedním z parametrů, které by měl navrhovaný parotěsný nátěr splňovat, a to především z toho důvodu, že se plánuje jeho aplikace také do prostor, kde se může vyskytovat dynamické mechanické zatížení. Tato zkouška se provádí dle normy ČSN EN ISO 62721 „Nátěrové hmoty – Zkoušky rychlou deformací (odolnost proti úderu) - Část 1: Zkouška padajícím závažím, velká plocha úderníku.“ Je zde hodnocena odolnost již vytvořeného suchého nátěru proti vzniku prasklinek a odlupování od podkladového materiálu vlivem dopadání závaží, které je přesně definováno a je opatřeno kulovým úderníkem o průměru 20 mm. Postupně je zvětšována výška, z které je závaží spouštěno, dokud nedojde k poškození nátěru. Nátěr je poté zařazen do jedné ze tří tříd, kdy jsou hranice tříd definovány jako: třída I ≥ 4 Nm, třída II ≥ 10 Nm, třída III ≥ 20 Nm [3].

- Kontrola souvrství nátěru mřížkovou zkouškou

Přilnavost k podkladu a soudržnost jednotlivých vrstev nátěrového systému je jednou z nejdůležitějších vlastností nátěrů obecně. Zkouška je prováděna dle normy ČSN EN ISO 2409 „Nátěrové hmoty – Mřížková zkouška.“ Do nátěru, který je starý minimálně 8 dní, se pomocí řezacího nože provede šest řezů, které jsou přes celou tloušťku nátěru. Kolmo na tyto řezy se provede opět šest řezů, díky nimž vznikne v nátěru mřížka s 25 políčky. Poté se pomocí kartáče přes tyto pole přejede v obou směrech 5x sem a tam. Mřížka je poté pozorována pod lupou a změny nátěru vyhodnoceny (Obrázek 14) [3].



Obrázek 14: Ukázka různých klasifikačních stupňů [41]

- Odolnost v oděru

Odolnost nátěru v oděru je velice důležitá vlastnost pro nátěry používané na úpravu průmyslových podlah a u značení silnic. Je nutné, aby nátěr vydržel mechanické odírání, jemuž bude vystavován, jelikož při jeho prodření nebude podkladová konstrukce dostatečně chráněna.

Odolnost proti oděru pomocí přístroje Taber-Abraser

Vzorek je připevněn do přístroje a poté je proveden daný počet cyklů, během nichž je nátěr odírán. Počet cyklů závisí na druhu nátěrové hmoty, obvykle se volí 1000 cyklů. Výsledkem je úbytek hmotnosti nátěrové hmoty [22].

Odolnost nátěru při odírání pomocí padajícího materiálu

Při této zkoušce je zjišťována odolnost nátěru pokud na něj dopadá oděrový materiál. Odolnost je vyjádřena hmotností dopadajícího materiálu udaného v kilogramech, který rozruší nátěr na předem definovanou hodnotu [22].

- Soudržnost s mokrým betonem

Této zkoušky se využívá u nátěrů, které jsou prováděny na čerstvý beton nebo na beton se značnou vlhkostí. Vodou nasycená podkladní tělesa, jejichž povrch je suchý, jsou z jedné strany opatřena nátěrem. Tyto vzorky jsou poté uloženy do vodního prostředí. Je hodnocena barevná změna, odlupování a jsou zde stanovovány rozdíly v soudržnosti ve srovnání s nátěry, jež se nanášely na suchý beton [3].

- Lineární smrštění

Tato zkouška je prováděna u tzv. tuhých systémů, které mají hodnotu aplikační tloušťky větší než 3 mm a tvrdost hodnocenou dle Shore D ≥ 60 . Lineární smrštění je zkoušeno a hodnoceno dle normy ČSN EN 12 617-1 „Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Část 1: stanovení lineárního smrštění polymerů a systémů povrchové ochrany.“ Výsledek této zkoušky měl být ≤ 3 %. Pokud je hodnota smrštění vyšší, je zde velké riziko vzniku trhlin, které snižují výslednou chemickou odolnost a také celkovou ochranu konstrukce [3].

- Mikrotvrdost

Zkouška mikrotvrdosti je považována za zkoušku celkem jednoduchou, jejíž velkou výhodou je možnost provádět ji jak přímo na hotovém výrobku, tak na zkušebním tělese. Tato zkouška ale vyžaduje vysokou přesnost, kdy je důležité správně změřit vtisk pomocí optiky, proto nelze použít na měření obyčejné tvrdoměry. Zatěžování se provádí pomocí závaží či cejchované pružiny, kdy do materiálu vniká diamantový indentor, který utváří malé vpichy. Zkoušku lze provádět pomocí více metod, např. dle Vickerse, dle Knoop, dle Bierkoviče [39].

- Teplotní odolnost

Zkoušení teplotní odolnosti u nátěrů lze provést pomocí různých norem a způsobů. Jako první lze použít normy zabývající se sledováním snížení přilnavosti nátěru k betonovému podkladu po vystavení různým podmínkám, které jsou uvedeny níže.

Teplotná slučitelnost – dle použití nátěru

V této zkoušce se rozlišují tři možné způsoby zkoušení nátěrů, kdy se u každého způsobu používají jiné teplotní cykly dle různých norem.

- Vnější nátěr, na který působí vliv rozmrazovacích solí
- Vnější nátěr, na který nepůsobí vliv rozmrazovacích solí
- Vnitřní nátěr

Poté, co jsou teplotní cykly na nátěru dokončeny, je vizuálně zhodnocen. Nátěr by neměl obsahovat trhlinky, bubliny a nemělo by dojít ani k jeho odlupování. Na tomto nátěru je dále provedena odtrhová zkouška přilnavosti k podkladu a zkouška na schopnost přemostit trhliny. Betonový podklad je připraven dle EN 1766 s pevnostní třídou C50/60 a vhodným vodním součinitelem, ideálně 0,4 [3].

Tepelná slučitelnost – Zmrazování a tání

Je zde měřen účinek cyklického zmrazování a rozmrazování ponoření do nasyceného roztoku rozmrazovacích solí. Na vzorcích je provedeno padesát cyklů, kdy je vzorek dvě hodiny ponořen do roztoku chloridu sodného při teplotě $(-15 \pm 2) ^\circ\text{C}$, poté je uložen na dvě hodiny do vody o teplotě $(+21 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Po dokončení padesáti cyklů jsou zaznamenávány viditelné vady vzorku a je stanovena přilnavost k podkladu [3].

Tepelná slučitelnost – Náporové skrápění

Tato metoda je založena na vyvíjení cyklických tepelných šoků. Délka jednoho cyklu je šest hodin, kdy na těleso po dobu 5 hodin a 45 minut působí teplota $(+60 \pm 5) ^\circ\text{C}$ a poté je 15 minut skrápěno vodou, která má teplotu $(+12 \pm 3) ^\circ\text{C}$. Tento cyklus je proveden třicetkrát, poté jsou zhodnoceny vady nátěru a stanovena hodnota přilnavosti k podkladu [3].

Tepelná slučitelnost – Cyklování za sucha

Těleso je při této zkoušce vystaveno třiceti cyklům, kdy délka jednoho cyklu je 6 hodin. Během 15 minut je těleso teploty $(+21 \pm 2) ^\circ\text{C}$ konstantně ochlazováno na teplotu $(-25 \pm 2) ^\circ\text{C}$, kde je poté uloženo po dobu 153 minut. V další části cyklu je 27 minut konstantně zahříváno pomocí vzduchu až na teplotu $(+55 \pm 2) ^\circ\text{C}$, kde je tato teplota udržena dalších 153 minut. Poté je těleso 12 minut chlazeno na původní teplotu $(+21 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Poté jsou opět zaznamenány viditelné vady a neprovedena odtrhová zkouška [3].

- Odtrhová zkouška přilnavosti

Aby navrhované parotěsné nátěry na polymerní bázi mohli plnit své požadované funkce, musí být nejdříve vykazovat vysokou přilnavost, a to jak k betonovému, tak asfaltovému povrchu.

Tato zkouška je prováděna dle normy ČSN EN ISO 4624 Nátěrové hmoty - Odtrhová zkouška přilnavosti, kdy lze pomocí odtrhové zkoušky zjistit přilnavost nátěru k danému podkladu, což je vlastně hodnota pevnosti v prostém tahu. Aby bylo zkoušku možné správně provést a vyhodnotit, je nutné zajistit, aby byla přilnavost lepidla vyšší, než přilnavost nátěru. Zkušební terčik je vyroben obvykle z oceli nebo hliníku, kdy je jedna jeho strana rovná a uzpůsobena pro nalepení na nátěr a na druhé straně se nachází závit, díky němuž je možné terč uchytit do trhacího zařízení. Terč má obvykle kruhový průřez, který má průměr 50 nebo 20 mm (Obrázek 15), lze ale také použít čtverec o velikosti 50 x 50 mm.

Než je terč na nátěr nalepen, je nutné nátěr nejprve proříznout na podklad. Poté, co je terč nalepen a lepidlo vytvrdlé, je terč uchycen do trhacího zařízení a je rovnoměrně zatěžován tažnou silou. Je provedeno nejméně pět měření a výsledkem je průměrná síla,

kteřá je potřebná k odtržení nátěru. Aby byla zjištěna odtrhová pevnost v MPa, je třeba odtrhovou sílu vydělit plochou terče [3].



Obrázek 15: Terčik a možnosti porušení při odtrhové zkoušce přilnavosti [40]

- Zvýšení odolnosti nátěrů proti poškrábání

Existuje hodně způsobů, jak vylepšit odolnost proti poškrábání a následnému znehodnocení polymerních nátěrů. Prvním způsobem je optimalizovat složky polymerního nátěru. Druhý způsob je založen na vyztužení nátěru pomocí vhodných plniv a vláken. Jako vhodné plnivo zlepšující odolnost vůči poškrábání se jeví využití nanočástic s velikostí částic pod 100 nm. Bylo prokázáno, že nanočástice zlepšují mechanické vlastnosti polymerních nátěrů a vzhledem k jejich malé velikosti nemusí ovlivňovat ani transparentnost nátěru. Jako nanočástice lze použít nanomateriály na bázi SiO_2 , ZrO_2 a TiO_2 , které po zabudování do nátěru výrazně zlepšují odolnost vůči poškrábání a otěru výsledného nátěru [39].

5.1.4 Příprava podkladu před nanesením nátěru

Před nanesením nátěru je nutné povrch správným způsobem předupravit, jelikož neupravený povrch nebo špatně upravený povrch má negativní vliv na výsledné vlastnosti nátěru a značně snižuje jeho přilnavost. Navrhovaná nátěrová hmota je vyvíjena zejména na betonový povrch, popřípadě na povrch silnic.

Vhodnou úpravou jsou z povrchu odstraněny jemné prachové částice, staré nátěry i mastné skvrny. Pokud jsou přítomné trhliny o velikosti $> 300 \mu\text{m}$, je nutné zajistit jejich ošetření. Pokud je na povrchu starý nátěr, je doporučeno ho odstranit [34].

Na úpravu povrchu lze použít různé techniky. Při výběru je nutné zvážit pracnost, umístění upravované konstrukce i požadovaný výsledný povrch.

- **Broušení**

Pomocí broušení je možné odstranit výčnělky a vytvořit tak hladký povrch, jehož hladkost závisí na drsnosti brusných kotoučů.

Kotouče se pohybují v pravém úhlu k povrchu a mohou na povrchu zanechávat kruhové vzory nebo drážky. Podlahové brusky se používají pro vodorovné povrchy, ruční brusky se používají na svislé povrchy či malé plochy (Obrázek 16).



Obrázek 16: Broušení betonového povrchu pomocí ruční brusky [54]

- **Kyselé leptání**

Kyselé leptání působí na povrchu betonu a rozpouští cement. Používá se k odstranění výkvětů a k jemnému zdrsnění povrchu při přípravě na tmel, základní nátěr nebo jiný tenký povlak. S kyselinou je obtížné a nebezpečné pracovat, její výpary představují zdravotní riziko a může dojít k poleptání.

- **Abrazivní otryskání**

Abrazivní tryskání pohání suché nebo vlhké brusivo v proudu stlačeného vzduchu. Při nárazu abrazivní částice pronikají do podkladu, uvolňují fragmenty malty a jemných částic, což vede k celkovému zdrsnění. Abrazivní otryskání odstraňuje povrchové nečistoty, nezdravý beton, nátěry a lepicí fólie. Je možné také použít abrazivní otryskávání parou k odstranění výkvětů a jemného zdrsnění povrchů. Obě metody lze použít na vodorovných i svislých stěnách a jsou vhodné pro vnitřní i vnější použití.

- **Vodní tryskání**

Proud vody odstraňuje nečistoty a zdrsňuje povrch působením proudů vysokotlaké vodního paprsku.

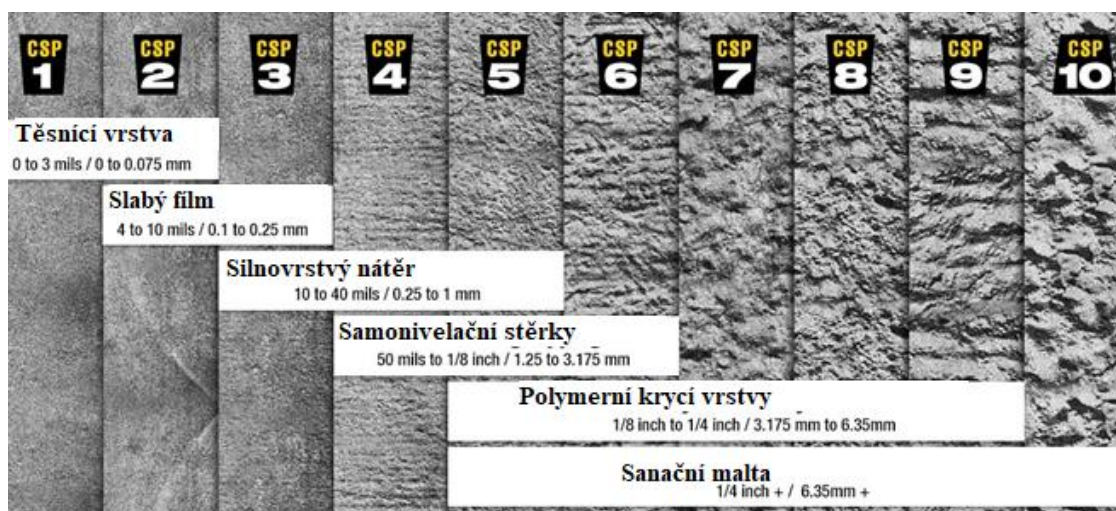
- **Povrchové rozrušování betonu trhacím zařízením**

Je použit stroj, který se skládá z řad ozubených podložek namontovaných na ocelových tyčích, které jsou namontovány na rotační ocelový buben. Když se buben otáčí, ozubené podložky udeří na povrch, čímž rozbijí a rozmělní beton a vytvoří pruhovaný vzor. Tato metoda se používá pouze na vodorovné povrchy.

- **Rýhování povrchu betonu**

U této metody je použito více špičatých pístových hlav, pneumaticky poháněných, které buší na povrch, který štípají a drtí. Vytvářejí hrubé, nepravidelné povrchy, na které nelze aplikovat nátěr rovnou. Na takto upravený podklad je nutné nejprve aplikovat stěrku nebo sanační maltu metodou stříkání, poté primer, na který už lze aplikovat povrchový nátěr.

Pokud se jedná o zdravý beton bez přítomnosti kontaminantů a nesoudržných částí, tak jediné, co zbývá před samotnou aplikací nátěrového systému, je povrch betonu zdrsnit. Otryskaný betonový povrch je příliš drsný na to, aby byl posuzován pomocí pásky a následně zatříděn do jednotlivých tříd dle drsnosti v mikrometrech. V současnosti neexistuje žádný přesný popis kvality předúpravy betonového povrchu, nicméně na Obrázku 17 lze vidět stupnici o rozsahu deseti stupňů, pro posuzování povrchu betonu, která slouží pro výběr vhodné sekundární ochrany. Není zde však uvedeno, jak který profil předupraveného betonového povrchu postačuje pro různé typy povlaků a nátěrů - jedná se pouze o subjektivní posouzení.



Obrázek 17: Příklady předúpravy betonového povrchu před nanesením ochranné vrstvy [53]

Mezi další požadavky na podklad patří jeho rovinnost. Pokud je povrch rovnoměrný a je opatřen vhodnou předúpravou, vzniklý nátěr má obvykle konstantní tloušťku filmu, ve kterém nejsou přítomné vady. Pokud je ale povrch nerovný, výsledný nátěr obvykle obsahuje zachycené vzduchové bubliny a jeho tloušťka není jednotná. Tento nátěr poté nezajišťuje dostatečnou ochranu proti CO₂ ani vodě [35].

Podklad by měl být suchý a neměl by obsahovat vlhká místa. Maximální vlhkost v podkladu by neměla být vyšší než 5 %. U vodou kompatibilních nátěrů tento požadavek nemusí být splněn, avšak tyto typy nátěrů vykazují horší parametry, jako např. nižší přilnavost a chemickou odolnost. V ideálním případě by měl být povrch zcela suchý a velmi nasákavý [34].

Betonový povrch je velmi často porušen mechanickými vlivy (náráz, sedání podloží), chemickými a biologickými vlivy prostředí nebo vlivy fyzikálními (vlhkost, mrazové cykly). Před nanesením nátěru je tedy často nutné odstranit narušené povrchové vrstvy, aby bylo dosaženo betonového podkladu, který je únosný a nátěr zde dokonale přilne k povrchu.

Cílem předúpravy povrchu je vytvoření soudržného podkladu, který je dostatečně pevný, suchý i drsný, ideálně za minimum nákladů [33].

5.1.5 Aplikace nátěru

Pro dosažení nejlepších výsledků je optimální aplikovat nátěr na 28 dní starý beton. Pokud by byl nátěr aplikován na mladší beton, hrozí zde riziko vzniku trhlinek, jelikož beton ještě není plně vyzrál a dochází k jeho smršťování. Čerstvý beton také obsahuje nežádoucí množství volných alkálií [34].

Pokud je třeba aplikovat nátěr na již stávající beton, je nutné před aplikací zajistit, aby byl povrch co nejvíce celistvý. Pokud není konstrukce úplná, je proveden proces dobetonování, beton je však nutné vždy nechat plně vyzrát. Korozí poškozenou výztuž lze zaměnit výztuží novou, tento postup ale použijeme pouze při extrémní korozi. Při povrchové a hloubkové korozi je nutné výztuž řádně opískovat nebo jinak očistit od rzi a poté natřít antikorozním nátěrem. Pokud je beton nepoškozený, je třeba ho dle pokynů pouze správně očistit a upravit.

Ideální teplota pro nanášení nátěru je 15–25 °C, nejnižší přijatelná teplota, ve které může být nátěr zhotoven, je +5 °C. Relativní vlhkost vzduchu by neměla být vyšší než 80 % [32].

Při aplikování nátěrového systému je doporučeno řídit se pokyny výrobce uvedených v technologických předpisech, kde je charakteristika podkladové vrstvy také blíže specifikována. Je vhodné použít celý ochranný systém vyrobený jednou firmou, jelikož se rapidně snižuje pravděpodobnost vzniku vad těchto nátěrů. Pokud jsou jednotlivé vrstvy od odlišných výrobců, nemusí dojít ke správnému přilnutí vrstev [22].

Vždy je namícháno takové množství nátěru, aby ho bylo možné zpracovat v časovém intervalu uvedeném v technickém listu. Dobu zpracovatelnosti lze ovlivnit teplotou hmoty a okolí.

5.1.6 Vrstvy nátěru

Nátěrový systém je obvykle složen z více vrstev, aby bylo dosaženo co nejlepších výsledných vlastností. Nátěr obvykle tvoří tři až pět vrstev. Mezi vrstvami by také měla panovat kompatibilita, proto je vhodné použít všechny vrstvy od jednoho výrobce.

- Primer

Je základní nátěr, který je aplikován na podklad, aby uzavřel povrch materiálu a snížil jeho nasákavost. Slouží i k lepšímu přichycení další vrstvy. Jako základní nátěr se používá impregnační nátěrová hmota, která penetruje do podkladní vrstvy a zlepšuje její vlastnosti. Tento nátěr nemusí splňovat požadavky na ochranné vlastnosti. Vyznačuje se obvykle nízkou viskozitou [2].

- Vyrovňovací vrstva

Díky této vrstvě dochází k odstranění dutinek a drobných prasklin.

- Podkladní (krycí) vrstva

Podkladní nátěr je obvykle aplikován až ve čtyřech vrstvách, aby byla zajištěna co nejhladší plocha a byla co nejvíce odstraněna poréznost.

- Vrchní vrstva

Tato vrstva je uzpůsobena, aby odolávala vnějšímu namáhání a tvořila ochranu pro všechny předcházející vrstvy [32].

Je nutné, aby jednotlivé vrstvy nátěru vždy náležitě zaschly. Čas potřebný k zaschnutí je ovlivněn druhem nátěrové hmoty, teplotou a vlhkostí prostředí. Aby bylo dobře rozpoznatelné, kde už je konstrukce natřena, velmi často se jednotlivé vrstvy barevně rozlišují pomocí pigmentů.

5.1.7 Volba vhodné nanášecí techniky

Před začátkem nanášení nátěru je nutné zvolit vhodný způsob, jakým bude nátěr aplikován. Způsob aplikace má vliv na životnost výsledného nátěru i vzhled. Dále také ovlivňuje finanční i časovou náročnost.

Vhodnost jednotlivých technik je ovlivněna:

- Velikostí natírané plochy
- Kvalitou podkladu
- Požadavky na životnost a kvalitu výsledného nátěru
- Pracností

U nátěrových hmot je pro výběr vhodné techniky sledována:

- Roztíratelnost (tři kategorie dle doby roztírání)
- Stríkatelnost (schopnost vytvoření rovnoměrné vrstvy)
- Slévateľnost (schopnost vytvoření hladké a souvislé vrstvy, hodnoceno 30 minut po nanesení)
- Vydatnost (Schopnost vytvořit požadovaný nátěr na $X \text{ m}^2$ z 1 kg hmoty) [32]

5.2 Etapa II – Výběr vhodných vstupních surovin

V druhé etapě jsou podrobněji popsány vlastnosti vybraných plniv a polymerních pojiv a je proveden optimalizační výpočet pro výběr vhodného plniva.

5.2.1 Polymerní pojiva

U nátěrů na polymerní bázi se jako pojivo používají nejčastěji níže uvedené pryskyřice, kdy jsou u každé z pryskyřic uvedeny její charakteristické vlastnosti, které jsou zohledněny při výběru té nejvhodnější.

► Epoxidové pryskyřice (EP)

Epoxidové pryskyřice se používají pro polymerní nátěry především z následujících důvodů:

- Vynikající chemická odolnost.
- Dobrá přilnavost při nanášení dalších vrstev.
- Odolnost vůči mechanickému namáhání.
- Odolnost vůči vysokým teplotám (stále do teploty 120 °C) [2].

Bezrozpouštědlové epoxidové pryskyřice

- Šetrné k životnímu prostředí (ředidla se z nátěru neodpařují – zreagují s EP).
- Nelze aplikovat na vlhký podklad (maximální vlhkost podkladu 4 %).
- Maximální relativní vlhkost vzduchu 75 %.

Vodou ředitelné epoxidové pryskyřice

- Velmi šetrné k životnímu prostředí (odpařuje se pouze voda).
- Možnost aplikovat i na vlhký podklad.
- Možnost aplikace i při vysokých relativních vlhkostech vzduchu.
- Vysoké smrštění.
- Nízká cena.

Rozpouštědlové epoxidové pryskyřice

- Není šetrné k životnímu prostředí (ředidla se z nátěru odpařují a nezakomponují se do polymerní sítě).
- Nízká cena (ředidla mohou tvořit až 80 hmotnostních procent nátěru) [54].

► **Nenasycené polyesterové pryskyřice**

Pro polyesterové pryskyřice jsou typické tyto vlastnosti:

- Barevná stálost při vysokých teplotách.
- Dobrá přilnavost.
- Odolnost vůči povětrnostním vlivům [2].

► **Polyuretanové pryskyřice (PUR)**

Polyuretanové pryskyřice mají následující vlastnosti:

- Chemická odolnost.
- Odolnost proti otěru.
- Odolnost vůči povětrnostním vlivům.
- Ztráta lesku při intenzivním slunečním světle.
- Odolnost proti vyšším teplotám (stále do teploty 120 °C) [2].

► **Silikonové pryskyřice**

Silikonové pryskyřice se vyznačují:

- Dobrá odolnost proti vlhkosti i skrápění vodou.
- Odolnost vůči UV záření.
- Vysoká cena.
- Odolnost vůči teplotním šokům i vysokým teplotám (stále do teploty 200 °C).
- Nízká přilnavost k podkladu [2].

Výběr nejvhodnějšího pojiva pro chemicky odolné nátěry

Na základě vlastností, které vykazují výše zmíněné polymerní pryskyřice, se jako nejvhodnější pojivo pro navrhovaný parotěsný ochranný nátěr do chemicky agresivního prostředí jeví epoxidová pryskyřice (EP). Epoxidové pryskyřice mají vysokou chemickou odolnost, vynikající přilnavost k většině typů podkladu a vysoký možný stupeň plnění. Pokud bude nátěr aplikován do vlhkého prostředí, je nejvhodnější použít vodou kompatibilní epoxidovou pryskyřici, v ostatních případech bezropouštědlovou EP.

5.2.2 Plniva

Jako plniva lze použít primární suroviny nebo druhotné suroviny, které jsou dále ještě děleny dle náročnosti jejich předúpravy. Nejčastěji používaná plniva jsou zde podrobněji popsána a v tabulkách jsou uvedeny jejich charakteristické hodnoty.

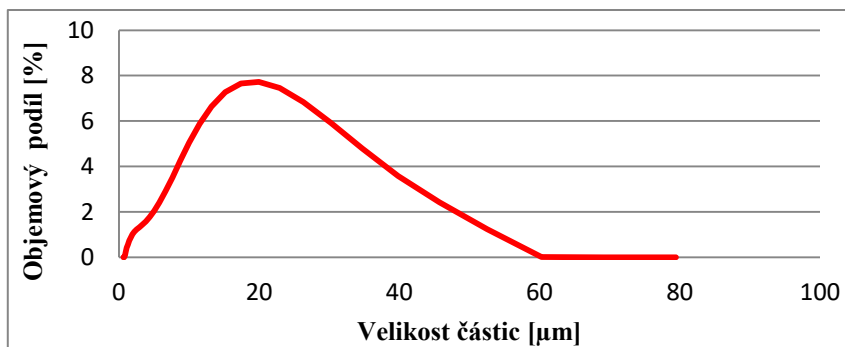
Primární suroviny

- **Mastek**

Mastek je minerál, který lze považovat za křemičitan hořečnatý (Obrázek 18). Těžba je prováděna povrchovým či hlubinným způsobem, poté je nutné provést drcení, mletí a následně magnetickou nebo gravitační separaci. Pokud je mastek použit jako plnivo do nátěrových hmot, upravuje kvalitu nátěru v několika ohledech. Zlepšuje přilnavost k podkladu, pevnost v ohybu, slévatelnost a brání vzniku trhlinek ve výsledném nátěru. Má dobrou krycí schopnost a je stabilní za zvýšených teplot. Dále se vyznačuje vysokou chemickou odolností vůči kyselinám i zásadám. V mastku jsou ale obvykle v různé míře zastoupeny i další minerály, které mohou negativně ovlivnit odolnost nátěru vůči atmosférickým vlivům [1]. Základní vlastnosti mastku jsou uvedeny v Tabulce 3, distribuce velikosti částic je zobrazena v Grafu 1.

Tabulka 3: Základní vlastnosti a informace o mastku

Měrná hmotnost	2920 kg/m ³			
Měrný povrch	639 m ² /kg			
Maximální velikost zrna	40 μm			
Ztráta žiháním (1100 °C)	17 %			
Chemické složení [%]:				
FeO	MgO	CaO	SiO₂	Al₂O₃
4	30	5	41	3



Graf 1: Distribuce velikosti částic mastku



Obrázek 18: Mastek typu SM4

- **Mikromletý vápenec**

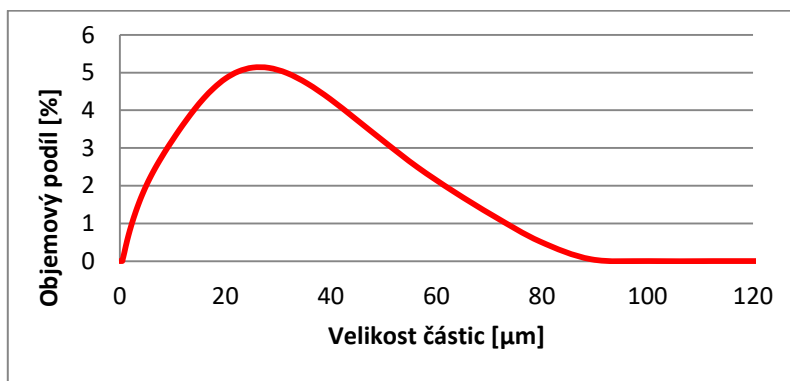
Přírodní vápenec je těžen povrchově. Aby byl získán mikromletý vápenec (Obrázek 19), je nutné použít suchý způsob zpracování, kdy je vytěžená surovina podrcena, rozemleta za sucha a pomocí vzduchu roztříděna. Velkost zrn mikromletého vápence používaného do nátěrů se pohybuje v rozmezí 0,8–3,5 µm. Jeho hustota je 2,7 g/cm³. Vápenec má nízkou tvrdost, je netoxický, snadno mísitelný s pojivy a stabilní do teploty asi 800 °C. Oproti výše zmíněnému mastku je snadněji dostupný a levnější. Vápenec má zásaditý charakter, proto není příliš stálý v kyselém prostředí [1].



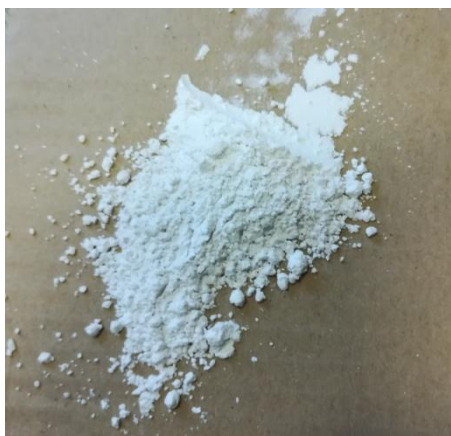
Obrázek 19: Mikromletý vápenec

- **Jemné křemičité písky**

Jako primární plnivo do polymerních nátěrů jsou používány také křemičité písky, jejichž zrna mají zaoblený tvar, a které mají obsah SiO_2 minimálně 98 %. Velikost zrn by neměla být vyšší než 0,063 mm. Jedná se tedy o tzv. „křemičitou moučku“ (Obrázek 20), přičemž distribuce velikosti částic je uvedena v Grafu 2.



Graf 2: Distribuce velikosti částic křemičité moučky



Obrázek 20: Jemná křemičitá moučka

- **Skleněné vločky**

Skleněné vločky jsou tenké průhledné rovinné destičky, které mají hladký povrch (Obrázek 21). Pokud jsou jako plnivo použity skleněné vločky, jsou schopné vytvořit funkční lamelovou bariéru vůči působení agresivních látek, jelikož destičky při styku s touto látkou vytváří dlouhou klikatou cestu, kterou musí látka projít, než se dostane k podkladu. Zlepšují také pevnost výsledného nátěru, jsou ale finančně velice nákladné. V Tabulce 4 jsou uvedeny základní vlastnosti skleněných vloček.

Tabulka 4: Základní vlastnosti a informace o skleněných vločkách

Měrná hmotnost	2470 kg/m ³					
Ztráta žíháním (1100 °C)	0,32 %					
Maximální velikost zrna	700 μm					
Chemické složení [%]:						
SiO₂	Al₂O₃	CaO	MgO	Fe₂O₃	K₂O	Na₂O
65,1	4,11	6,41	2,28	0,12	2,50	8,42



Obrázek 21: Skleněné vločky

Druhotné suroviny

a) S minimální předúpravou

- **Odprašky**

Cementářské odprašky jsou vedlejší produkt vznikající v cementárnách. Odprašky jsou shromažďovány z elektrostatických filtrů. Je to materiál, který je vysoce alkalický a je žádoucí provést proces solidifikace, který vede ke stabilizaci a snížení možnosti vyluhování nebezpečných prvků a sloučenin do výsledného nátěru.

- **Fluidní popílek**

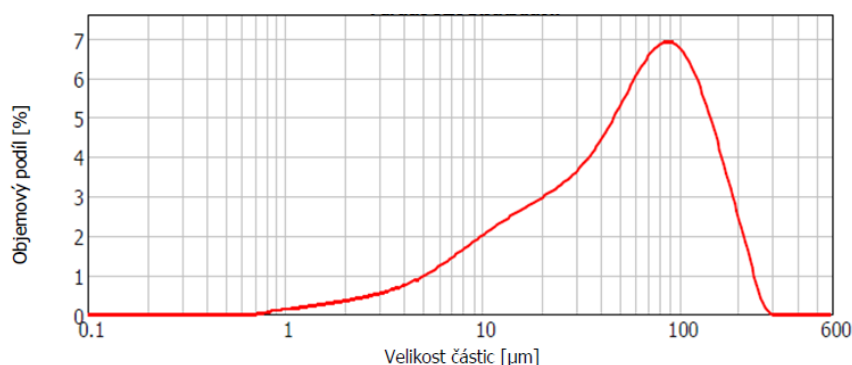
Popílek je heterogenní materiál, jehož částice mají rozdílné fyzikální i chemické vlastnosti, které závisí na chemickém složení použitého uhlí a způsobu spalování a vhodné teplotě.

Tento druh popílku vzniká během fluidního spalování tuhých paliv. Uhlí rozemleté na optimální velikost se spaluje spolu s vápencem či dolomitem na teplotu 750–850 °C. Teplota spalování je nižší, než je teplota tavení popílku, proto částice vzniklého popílku nemají kulový tvar, jsou nepravidelné a porézní [55].

Vybraný popílek z tepelné elektrárny Kladno (Obrázek 23) je kontaminován vlivem denitrifikace spalin (selektivní nekatalytická redukce spalin), což je proces, během něhož je snižován obsah znečišťujících látek, především sloučenin NO_x z plynných spalin. Základní vlastnosti o fluidním popílku z tepelné elektrárny Kladno jsou uvedeny v Tabulce 5, distribuce velikosti částic je uvedena v Grafu 3.

Tabulka 5: Základní vlastnosti a informace o fluidním filtrovém popílku kontaminovaným vlivem denitrifikace spalin – Kladno

Měrná hmotnost	2872 kg/m ³									
Měrný povrch	627 m ² /kg									
Maximální velikost zrna	90 μm									
Obsah amoniaku NH ₃	30,11 ppm									
Chemické složení [%]:										
SiO₂	Cl⁻	Al₂O₃	CaO	MgO	MnO	Fe₂O₃	SO₄	K₂O	Na₂O	NH₄
35,2	76	19,8	18,5	1,05	0,03	5,80	5,88	0,63	0,31	25,5



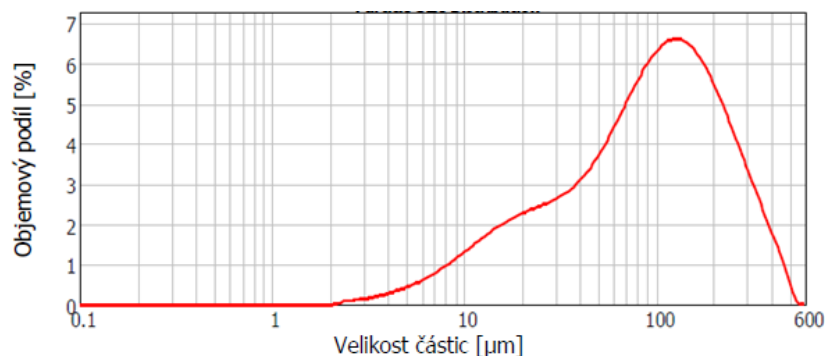
Graf 3: Distribuce velikosti částic fluidního popílku z tepelné elektrárny Kladno

- **Vysokoteplotní popílek**

Tento druh popílku vzniká při spalování uhlí na teplotu 1200–1700 °C, spaliny je nutné následně odsířit, nejčastěji pomocí vápna. Výsledným produktem procesu odsíření je nejčastěji sádrovec. Zrna vysokoteplotního popílku vznikají po zatuhnutí taveniny a jsou nejčastěji kulovitého tvaru [55]. Vysokoteplotní popílek z tepelné elektrárny je vyfocen na Obrázku 22 a jeho základní vlastnosti jsou uvedeny v Tabulce 6.

Tabulka 6: Základní vlastnosti a informace o filtrovém popílku - Opatovice

Měrná hmotnost	2420 kg/m ³									
Měrný povrch	278 m ² /kg									
Ztráta sušením (105 °C)	0,25 %									
Ztráta žiháním (1100 °C)	3,48 %									
Sypná hmotnost	750–950 kg/m ³									
Maximální velikost zrna	130 μm									
Chemické složení [%]:										
SiO₂	Cl⁻	Al₂O₃	CaO	MgO	MnO	Fe₂O₃	SO₃	K₂O	Na₂O	
49,6	57	25,9	2,16	1,34	0,09	11,5	0,25	1,52	0,41	



Graf 4: Distribuce velikosti částic vysokoteplotního popílku z tepelné elektrárny Opatovice



Obrázek 23: Vysokoteplotní popílek pocházející z tepelné elektrárny Opatovice



Obrázek 22: Fluidní popílek z tepelné elektrárny Kladno

b) S víceetapňovou předúpravou

• Odpadní sklo

Recyklované sklo může pocházet z různých zdrojů, mohou to být recykláže z obrazovek, autoskla nebo obalového skla. Odpadní skla jsou v některých případech speciálně upravována a obsahují tedy látky, které ho znečišťují. Před dalším použitím ve formě plniva je tedy nutné zajistit jejich odstranění a poté sklo pomlít na požadovanou jemnou frakci [8].

Odpadní autosklo

Skla používaná k vyplnění otvorů u automobilů jsou speciálně upravována. Mezi vnitřní a vnější částí je uložena bezpečnostní laminační folie, která zajišťuje bezpečnost při jeho porušení. Laminační folii obvykle obsahuje jen čelní sklo, boční a zadní sklo může být opatřeno tónovacím pokovením. Autoskla je nutné nejprve nadrtit, poté jsou použity separátory, které odstraní kovy a další příměsi. Pomocí optických čidel jsou dále odstraněny zbytky gumy a autofolie. Vyčištěná skleněná drť je poté pomleta na optimální velikost [60]. Chemické složení odpadního autoskla je podrobněji popsáno v Tabulce 7.

Tabulka 7: Chemické složení odpadního autoskla

Chemické složení [%]:						
SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	Na₂O	Li₂O	CaO	MgO
69,16	0,69	0,14	12,00	0,004	9,19	3,71
K₂O	BaO	TiO₂	Cr₂O₃	ZnO	PbO	ZrO₂
0,32	0,17	0,03	0,005	0,01	0,02	0,029

Recyklované obalové sklo

Z obalového skla je před dalším použitím nutné sejmout etikety a zajistit odstranění zbytků obsahu. Dále je možné provést třídění dle různých barev. Sklo je nutné před použitím rozdrtit (Obrázek 25) a pomlít na kulovém mlýně, ideálně na frakci 0–63 μm (Obrázek 24), za účelem využití jako plniva do polymerních nátěrových hmot. Základní vlastnosti o recyklovaném obalovém skle jsou uvedeny v Tabulce 8.

Tabulka 8: Základní vlastnosti a informace o recyklovaném obalovém skle

Měrná hmotnost	2 560 kg/m ³				
Sypná hmotnost volně sypaná	1 550 kg/m ³				
Sypná hmotnost setřesená	1 660 kg/m ³				
Nasákavost	0,1 %				
Chemické složení [%]:					
SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	BaO	CaO	MgO
69,73	1,76	0,41	0,26	9,96	2,29
MnO	Cr₂O₃	ZrO₂	Org. látky	Na₂O	K₂O
0,02	0,072	0,05	0,33	12,2	0,88



Obrázek 24: Odpadní obalové sklo



Obrázek 25: Odpadní obalové sklo pomleté pod velikost 63 μm

Sklo ze solárních panelů

Solární panely jsou složeny z vrstveného skla, které tvoří kolem 70 % celkového objemu panelu. Skla jsou k sobě spojována pomocí etylén-vinyl acetátové fólie. Kolem panelu je obvykle hliníkový rám, který je nutné před recyklací ručně demontovat. Poté probíhá drcení a třídění dle velikosti frakce (Obrázek 26). Z rozdrčených solárních panelů jsou poté obvykle chemicky odstraňovány těžké kovy, aby byl při druhotném použití eliminován jejich negativní vliv na životní prostředí. Sklo je nutné před použitím rozdrtit a pomlít ve vhodném mlýně, např. kulovém, ideálně na frakci 0–63 μm [59]. Chemické složení skel ze solárních panelů QS Solar je uvedeno v Tabulce 9.

Tabulka 9: Chemické složení skla ze solárních panelů

Chemické složení [%]:						
SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	TiO₂	MnO	CaO	ZrO₂
71,0	0,499	0,110	0,023	0,006	8,45	0,009
MgO	K₂O	Na₂O	Li₂O	Cr₂O₃	BaO	SrO
4,04	0,171	12,4	<0,002	0,005	0,009	0,005



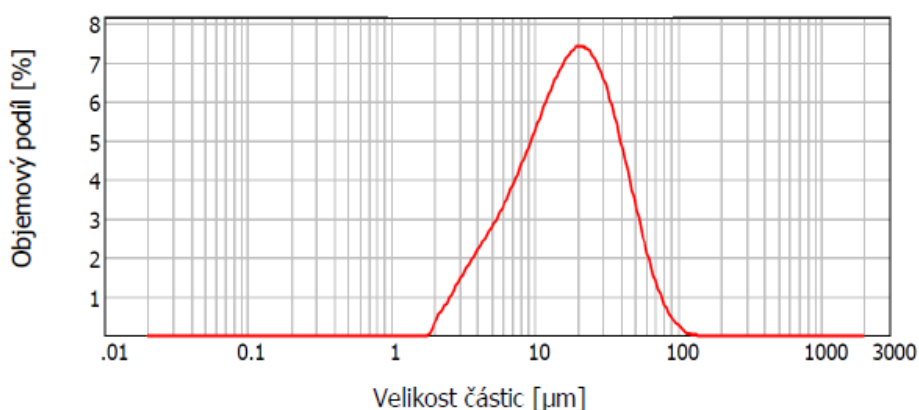
Obrázek 26: Odpadní sklo ze solárních panelů QS Solar

- **Odpadní struska**

Struska vzniká během spalovacích nebo termických procesů. Při výrobě železa lze hovořit o vysokopeční strusce, která vzniká během rychlého ochlazení rozžhavené strusky. Aby bylo možné strusku využít jako plnivo do nátěrových hmot, je nutné nejprve odstranit obsažené nečistoty či kovové částice, poté strusku podrtit a provést třídění na požadovanou jemnou frakci (Obrázek 27). Struska použitá jako plnivo zvyšuje mikrotvrdotost a obrusnost výsledného nátěru, aniž by byla zhoršena vodotěsnost a tím i mrazuvzdornost [57]. Základní vlastnosti vysokopeční strusky Kotouč Štramberk jsou uvedeny v Tabulce 10 a distribuce velikosti zrn v Grafu 5.

Tabulka 10: Základní vlastnosti a informace o vysokopecní strusce Kotouč Štramberk

Měrná hmotnost	2800 kg/m ³			
Měrný povrch	380 m ² /kg			
Maximální velikost zrna	100 μm			
Chemické složení [%]:				
SiO₂	Al₂O₃	CaO	MgO	MnO
37,9	5,80	40,0	11,9	0,60



Graf 5: Distribuce velikostí zrn vysokopecní strusky Kotouč Štramberk



Obrázek 27: Vysokopecní struska

- **Řezné kaly**

Během broušení betonových výrobků a řezání za mokra vzniká velké množství kalů, které je nutné před dalším použitím jako plniva do polymerních nátěrů úplně vysušit a poté pomlít. Je nutné zjistit chemické složení upravovaného broušeného materiálu a tím zajistit vhodnost pro použití jako plnicí složky.

- **Odpadní slévárenský písek**

Odpadní slévárenský písek vzniká jako vedlejší produkt z forem, které se už nedají dále využít, jelikož jsou poškozené. Na výrobu těchto forem je použita tzv. formovací směs, která obsahuje až 98 % ostřiva a 1–10% pojiva. Jako ostřivo se nejčastěji používá křemičitý písek či chromit.

U formovací směsi lze provést proces regenerace, kdy je možné ze směsi odstranit použité pojivo a příměsi a získat tím původní ostřivo. Při tomto procesu ale nelze nikdy dosáhnout původní kvality ostřiva.

Velikost částic pro odpadní slévárenský písek byla stanovena na hodnotu okolo 300 μm , zrna jsou žáruvzdorná a velice pevná [56].

- **Odpadní vápenec**

Odpadní vápenec je vedlejším produktem lomu, ve kterém jsou těženy vápencové bloky. Popisovaný odpadní vápenec je z lomu Sigggiewi Globigerina na Maltě. Před jeho použitím do nátěru je nutné odpadní vápenec vysušit a pomlít na kulovém mlýně na jemnou frakci (<100 μm).

Tabulka 11: Základní vlastnosti a informace o odpadním vápenci

Měrná hmotnost	2693 kg/m ³		
Maximální velikost zrna	2 mm		
Chemické složení [%]:			
SiO₂	Al₂O₃	CaO	MgO
6,78	1,62	87,87	1,60



Obrázek 28: Odpadní vápenec z lomu

- **Odpadní perlit**

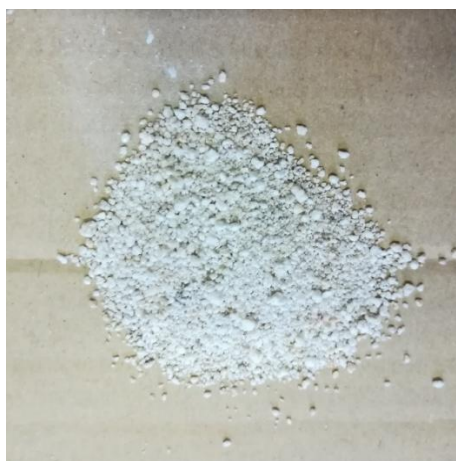
Expandovaný perlit vzniká ze stejnojmenné horniny, která obsahuje ve své struktuře vázanou vodu. Při prudkém zahřátí dochází k expanzi, kdy se původní objem několikanásobně zvětší. Perlit je nehořlavý šedobílý materiál, který je chemicky odolný. Teplota tání je 980–1200 °C, jeho pH je neutrální.

Perlit 150 (Obrázek 29) má objemovou hmotnost 170 kg/m³ a nasákavost 320 %. Nejjemnějším druhem perlitu je tzv. agroperlit (Obrázek 30), který je používán v zemědělství na vylehčování půdy. Velikost zrn je 1–3 mm, před použitím do nátěru je tedy nutné, zrna ještě domílat.

Odpadní perlit vzniká jako odpad při výrobě hrubozrnějšího perlitu, jedná se o velice nasákový vedlejší produkt. Odpadní agroperlit má objemovou hmotnost 400 kg/m³ a nasákavost 160 % [58]. Chemické složení perlitu a procentuální ztráta sušením a žíháním jsou uvedena v Tabulce 12.

Tabulka 12: Základní vlastnosti a informace o perlitu

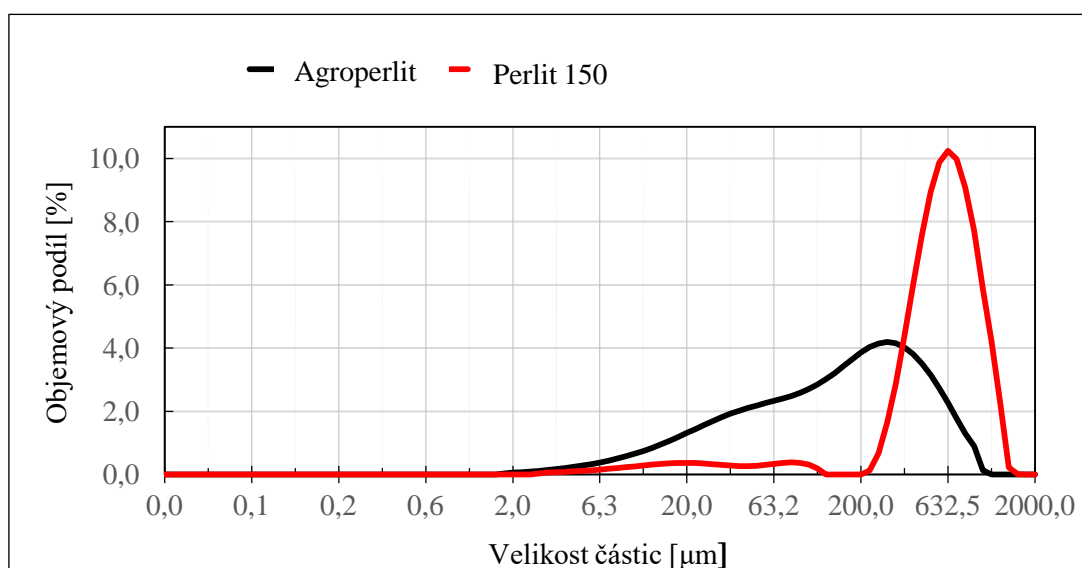
Ztráta sušením (105°C)		0,47 %					
Ztráta žíháním (1100°C)		0,76 %					
Chemické složení [%]:							
SiO₂	MnO	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	MgO	K₂O	Na₂O
74	0,06	13,2	2,02	1,26	0,228	4,56	2,14



Obrázek 30: Perlit 150



Obrázek 29: Agroperlit



Graf 6: Distribuce velikostí zrn perlitu

5.2.3 Optimalizační výpočet pro výběr vhodného plniva

Do optimalizačního výpočtu byly zařazeny vhodné vstupní druhotné suroviny, které by bylo možné použít jako plnivo do navrhované nátěrové hmoty. Tyto plniva jsou označena v následující tabulce (Tabulka 13) písmeny A-J.

Tabulka 13: Vstupní druhotné suroviny

	Plnivo
A	Odpadní perlit
B	Odpadní obalové sklo
C	Odpadní autosklo
D	Odpadní sklo ze solárních panelů
E	Vysokoteplotní popílek
F	Fluidní popílek
G	Odpadní struska
H	Odpadní slévárenský písek
I	Odpadní vápenec
J	Cementářské odprašky

V následující tabulce (Tabulka 14) jsou uvedena vybraná hodnotící kritéria, dle kterých budou jednotlivá plniva hodnocena.

Tabulka 14: Hodnotící kritéria

Číslo	Kritérium	Jednotka
1	Dostupnost	[1-3] ¹
2	Stupeň předúpravy	[1-3] ²
3	Obsah SiO ₂	[%]
4	Chemická odolnost	[1-3] ³
5	Maximální velikost zrna	[μm]
6	Měrná hmotnost	[kg/m ³]
7	Nebezpečnost	[1-3] ⁴

Vysvětlivky:

¹ 1- minimální dostupnost, 3- maximální dostupnost

² 1- minimální předúprava, 3- velice náročná předúprava

³ 1- minimální chemická odolnost, 3- velice chemicky odolné

⁴ 1- minimálně nebezpečné, 3- vysoká nebezpečnost

Hodnoty pro jednotlivá kritéria jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 15), kde je také uvedeno, zda je pro kritérium požadována maximální nebo minimální hodnota. Také je zde označena nejnižší (Min) a nejvyšší (Max) hodnota.

Tabulka 15: Rozhodovací matice

Číslo	Optimum	A	B	C	D	E	F	G	H	J	Min	Max
1	Max	2	3	2	2	1	1	1	2	2	1	3
2	Min	2	3	3	3	1	1	3	3	2	1	3
3	Max	74	69,7	69,2	71	49,6	35,2	37,9	63	25,2	25,2	74
4	Max	2	1	1	1	2	3	2	1	2	1	3
5	Min	300	500	400	400	130	90	40	300	340	40	500
6	Max	200	2560	2520	2540	2420	2872	2800	2620	2360	200	2872
7	Min	2	1	1	1	3	3	2	1	2	1	3

Tabulka 16: Výpočet váhy (Sattyho matice)

Číslo	1	2	3	4	5	6	7	S _i	R _i	F _i
1	1	1/2	5	5	1/3	5	2	41,66666667	5,95238095	0,61940208
2	2	1	4	1/6	1/3	1/3	1/3	0,04938272	0,00705467	0,00073411
3	1/5	1/4	1	4	2	4	2	3,20000000	0,45714286	0,04757008
4	1/5	6	1/4	1	2	2	3	3,60000000	0,51428571	0,05351634
5	3	3	1/2	1/2	1	4	2	18,00000000	2,57142857	0,26758170
6	1/5	3	1/4	1/2	1/4	1	1/6	0,00312500	0,00044643	0,00004646
7	1/2	3	1/2	1/3	1/2	6	1	0,75000000	0,10714286	0,01114924
	SUMA							67,26917438	9,60988205	1,00000000

Vzorce použité pro výpočet:

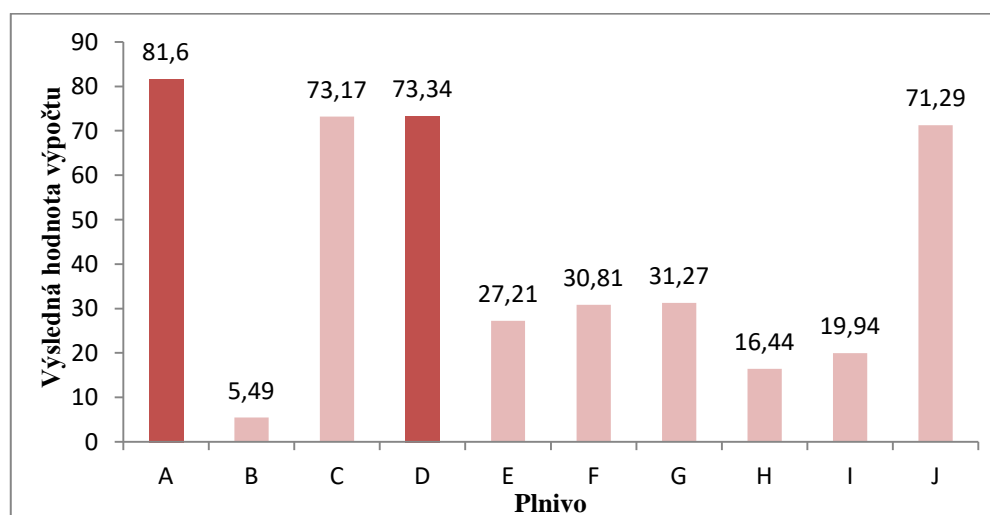
$$S_i = \prod_{j=1}^n s_{ij} \quad R_i = (S_i)^{\frac{1}{n}} \quad F_i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^n R_i}$$

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

Tabulka 17: Výpočtová matice (metoda kvantitativního párového srovnání)

Číslo	F _i	Optimum	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	0,6194	Max	61,94	0,00	61,94	61,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	61,94
2	0,0007	Min	0,04	0,04	0,00	0,00	0,07	0,07	0,04	0,00	0,04	0,04
3	0,0476	Max	4,76	4,34	4,29	4,46	2,38	0,97	1,24	3,68	2,13	0,00
4	0,0535	Max	2,68	0,00	0,00	0,00	2,68	5,35	2,68	0,00	2,68	0,00
5	0,2676	Min	11,63	0,00	5,82	5,82	21,52	23,85	26,76	11,63	14,54	9,31
6	0,0000	Max	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,0111	Min	0,56	1,11	1,11	1,11	0,56	0,56	0,56	1,11	0,56	0,00
SUMA			81,60	5,49	73,17	73,34	27,21	30,81	31,27	16,44	19,94	71,29

Maximální hodnota, které lze dosáhnout, je 100. Jako pojivo do nátěrové hmoty budou tedy vybrány suroviny, které mají výslednou hodnotu co nejvyšší a požadované hodnotě se co nejvíce přibližují.



Graf 7: Výsledné hodnoty pro vybraná plniva (Tabulka 13) na základě optimalizačního výpočtu

Na základě výše provedených výpočtů, se jako nejvhodnější druhotná surovina, kterou je vhodné použít jako plnivo do nátěrové hmoty s chemickou odolností, jeví odpadní perlit a odpadní sklo ze solárních panelů. Tyto dvě druhotné suroviny nejlépe splňují vybrané požadované vlastnosti.

Závěr II. etapy

V rámci druhé etapy byly srovnány vlastnosti možných pojivových složek, kdy byla pro navrhovaný parotěsný nátěr do chemicky agresivního prostředí vybrána bezrozpuštědlová epoxidová pryskyřice, do vlhkého prostředí epoxidová pryskyřice, která je vodou kompatibilní. Dále byly vybrány nejvhodnější druhotné suroviny, které by bylo možné použít jako plnivo do navrhovaných polymerních nátěrů. U druhotných surovin byla srovnána požadovaná kritéria a jako nevhodnější plnivo byl vybrán odpadní perlit a odpadní sklo ze solárních panelů.

5.3 Etapa III – Návrh receptur pro chemicky odolné nátěry a metodika zkoušení

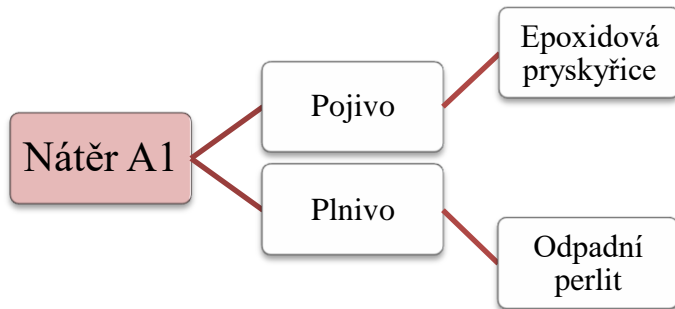
Ve třetí etapě je navrženo teoretické složení nátěrů, které by bylo možné použít na beton s chemickou odolností či asfalt. Dále je zde uvedena metodika zkoušení nátěrů, kde jsou některé jednotlivé zkoušky podrobněji popsány a je zde uveden důvod, proč je jednotlivé vlastnosti potřeba zkoušet.

5.3.1 Návrh receptur pro chemicky odolné polymerní nátěry

V předchozí etapě byla na základě svých vlastností vybrána nejvhodnější pojivová složka – epoxidová pryskyřice, a na základě optimalizačního výpočtu vybráno vhodné plnivo – odpadní perlit a odpadní sklo ze solárních panelů. V nátěru C je navržena kombinace těchto plniv (40 % odpadního perlitu, 60 % odpadního skla), aby byla směs dostatečně homogenizována, je vhodné, aby se plniva mlela dohromady. Každý z navržených polymerních nátěrů má tři stupně plnění (20 %, 30 %, 40 %).

EP-S

Na suchý podklad, kdy je jeho vlhkost maximálně 4 %, byla navržena bezrozpuštědlová epoxidová pryskyřice jako pojivo pro nátěr s označením EP-S.

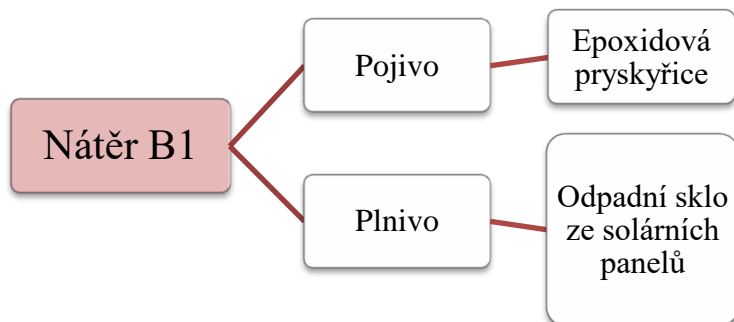


Složení nátěru:

20 % plniva + 80 % pojiva

30% plniva + 70 % pojiva

40 % plniva + 60 % pojiva

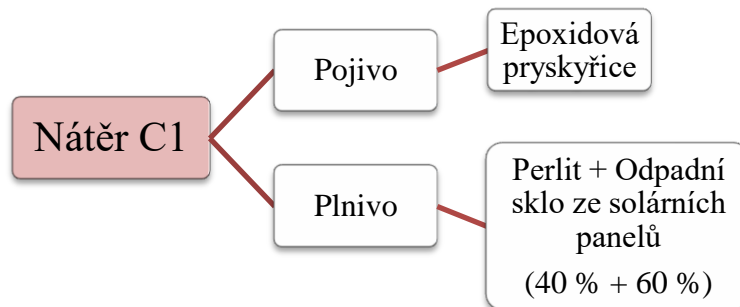


Složení nátěru:

20 % plniva + 80 % pojiva

30% plniva + 70 % pojiva

40 % plniva + 60 % pojiva



Složení nátěru:

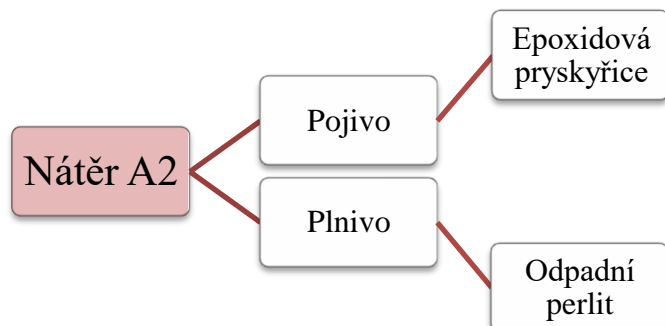
20 % plniva + 80 % pojiva

30% plniva + 70 % pojiva

40 % plniva + 60 % pojiva

EP-W

Pro nátěr s označením EP-W byla navržena vodoukompatibilní epoxidová pryskyřice, použitelná i na mokrý a vlhký podklad.

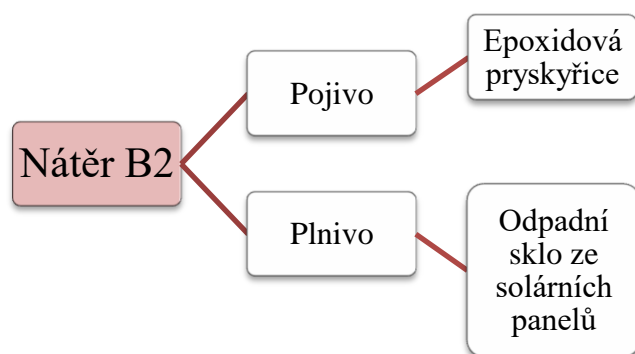


Složení nátěru:

20 % plniva + 80 % pojiva

30% plniva + 70 % pojiva

40 % plniva + 60 % pojiva

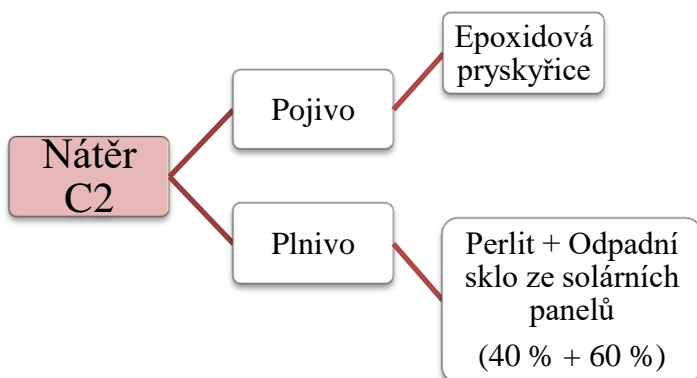


Složení nátěru:

20 % plniva + 80 % pojiva

30% plniva + 70 % pojiva

40 % plniva + 60 % pojiva



Složení nátěru:

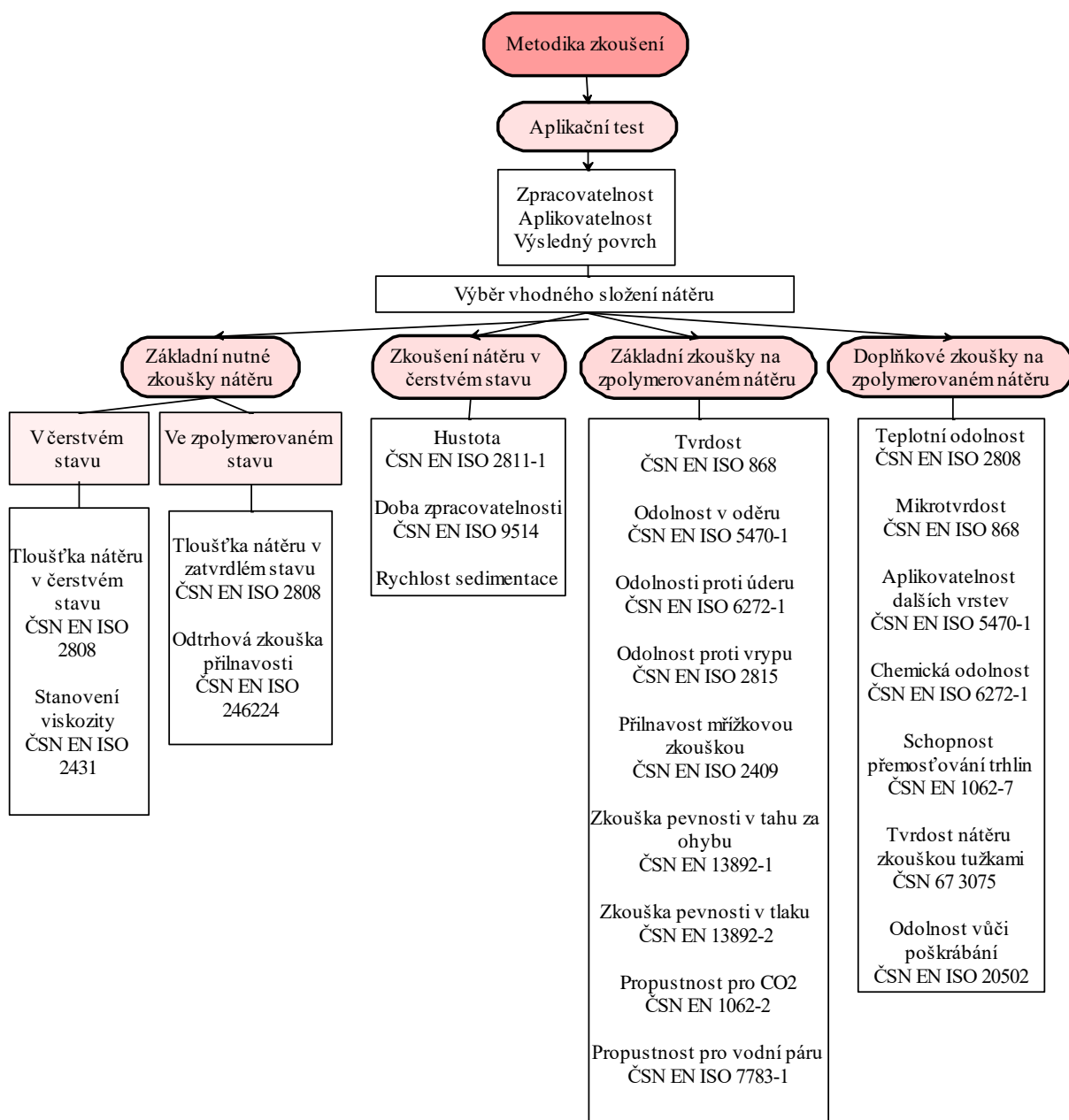
20 % plniva + 80 % pojiva

30% plniva + 70 % pojiva

40 % plniva + 60 % pojiva

5.3.2 Metodika zkoušení pro výběr nejvhodnějšího nátěru

V níže navržené metodice zkoušení je uveden přehled vybraných zkoušek, které by se měly na nátěru provést a tím zjistit vlastnosti, které jsou od dané nátěrové hmoty požadovány. V průběhu zkoušení nátěrů dle navržené metodiky lze také stanovit např. optimální plnění polymerní pryskyřice navržených receptur.



Tloušťka nátěru ovlivňuje celkovou životnost povlaku a má také vliv na výsledky zkoušek chemické, mechanické a povětrnostní odolnosti. Je nutné určit rozmezí, mezi kterým se má tloušťka nátěru ideálně pohybovat. Měření tloušťky nátěru v čerstvém stavu je možné provést pomocí měřicího hřebene. Hřeben je přitisknut do nátěru kolmo tak, aby nátěr smočil jeho zuby. Tloušťka nátěru je rovna nejvyššímu stupni zubu, který byl nátěrem smočen.

Pro stanovení optimální viskozity je třeba vytvořit nátěr ideální konzistence, který bude mít takovou tekutost, která bude vhodná pro vybraný způsob aplikace. Viskozita nátěru je vlastnost závislá na přitažlivých silách mezi částicemi a určuje jeho vnitřní tření. Čím je přitažlivá síla nižší, tím je nižší viskozita a tím je nátěr více tekutý.

Je nutné namíchat nátěr ideální hustoty, aby byly zachovány jeho krycí schopnosti, zároveň ale nebyl příliš hustý a byl schopný dostatečně vyplnit přítomné dutinky. Hustota nátěru také výrazně ovlivňuje přilnavost finálního nátěru k podkladu. Hustota nátěru je měřena pomocí pyknometru známého objemu, kdy je zvážen nejprve prázdný, poté naplněný nátěrem bez přítomnosti vzduchových bublin a výsledná hustota je dopočítána.

Pro zjištění doby zpracovatelnosti je namíchána směs, ze které je v určitých intervalech odebírán vzorek, na kterém jsou uskutečňovány příslušné zkoušky. Doba zpracovatelnosti je čas, měřený od smíchání všech složek po dobu, kdy už hodnocené vlastnosti neodpovídají technickým listům či příslušné normě. Doba zpracovatelnosti je ovlivněna teplotou i vstupními surovinami.

Při rychlosti sedimentace je zkoumáno chování plniva v namíchaném nátěru. Pokud plnivo v nátěru výrazně sedimentuje, není výsledný nátěr stejnorodý, což může vést k jeho znehodnocení.

Tvrdomost vyjadřuje odolnost nátěru vůči průniku cizího tělesa, což je velice důležité například v průmyslových halách, kde je možnost pohybu vysokozdvíhových vozíků či přítomnost těžkých regálů.

Adhezivita, neboli přilnavost, je jedna z hlavních vlastností ovlivňující životnost výsledného nátěru. Aby byla přilnavost k betonovým a asfaltovým povrchům co nejvyšší, je nutné zajistit vhodnou přípravu povrchu, ať už jde o odstranění starého nátěru, odmaštění či odstranění prachu.

Odolnost proti úderu je zkouška hodnotící odolnost ztvrdlého nátěru po dopadu těžkého závaží. Je hodnocen vznik prasklin či odlupování nátěru, který byl zdeformován po dopadu závažím. Je důležitá jako hodnotící parametr pro nátěry používané v prostředí, jako jsou např. průmyslové haly a energetický průmysl.

Jedním z hlavních parametrů pro navrhovaný nátěr je právě co nejvyšší možná chemická odolnost. Pokud na nátěr působí chemikálie, může dojít ke změně jeho fyzikálních vlastností (barevná změna) nebo k jeho rozpraskání, kdy už nadále nevykazuje požadované ochranné vlastnosti, resp. sekundární ochranu betonových konstrukcí a asfaltových povrchů. Rozsah změn nátěru je ovlivněn druhem chemikálie i dobou, po kterou na nátěr působí.

Závěr III. etapy

Ve třetí etapě je navrženo teoretické složení nátěrů s různým stupněm plnění. Je zde také uvedena metodika zkoušení, která obsahuje aplikační test, pomocí kterého je možné vybrat vhodné složení nátěru. Dále jsou zde uvedeny základní nutné zkoušky, které jsou provedeny v experimentální části práce. Jedná se o tloušťku čerstvého nátěru, tloušťku nátěru ve zpolymerovaném stavu, viskozitu nátěru a odtrhovou zkoušku přilnavosti. Metodika také obsahuje zkoušky nátěru v čerstvém stavu, základní zkoušky na zpolymerovaném nátěru a doplňkové zkoušky na zpolymerovaném nátěru, které ale nebudou experimentálně ověřovány.

5.4 Etapa IV – Experimentální ověření vybraných vlastností u navržených receptur

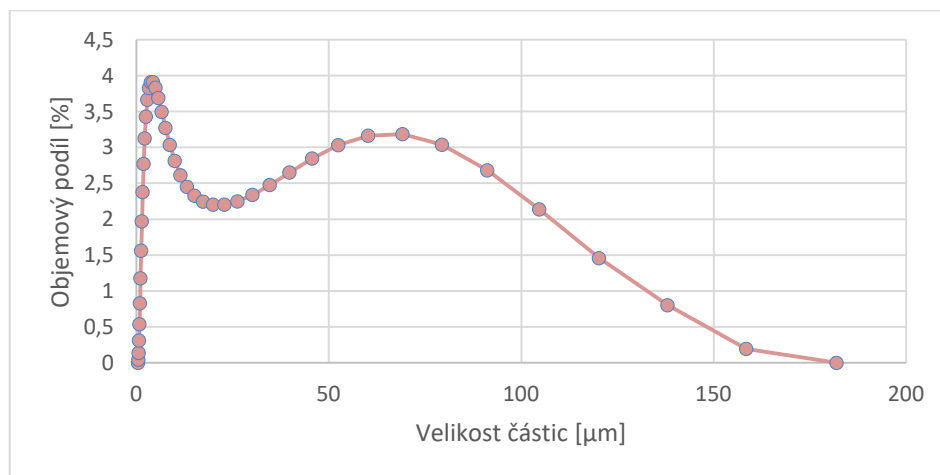
Pro experimentální ověření byly vybrány pouze některé ze základních zkoušek uvedené v metodice-aplikační test a základní nutné zkoušky nátěru. V následující tabulce (Tabulka 18) je uvedeno složení nátěrů, na kterých jsou zkoušky prováděny.

5.4.1 Specifikace použitých polymerních pojiv, plniva a prověřovaných receptur

Pro nátěry s označením EP-W byla použita vodoukompatibilní epoxidová pryskyřice. Její složka A je složena z epoxidové pryskyřice, (alkoxymethyl)oxiranu (alkyl C12-C14) formaldehyd, oligomerní reakční produkty s 1-chlor-2, 3-epoxypropanem a fenolem. Složka B obsahuje mastné kyseliny, tallové oleje, reakční produkty s tetraethylenetriaminem, 3-Aminopropylidimethylamine, 4,4'-Isopropylidenediphenol, 2,4,6-Tris(dimethylaminomethyl)phenol, benzylalkohol, 1,3-bis(aminomethyl)benzene [64].

Pro nátěry s označením EP-S byla použita bezropouštědlová epoxidová pryskyřice. Složka A je zastoupena epoxidovou pryskyřicí, dále pak obsahuje malé množství fenolu a formaledehydu. Složka B je na polyaminové bázi, přičemž obsahuje také benzylalkohol [65].

Jako referenční plnivo je použita křemičitá moučka a dále směs odpadního agro perlitu (40 %) a skla ze solárních panelů (60%). Distribuce velikosti částic plniva je uvedena v Grafu 8.



Graf 8: Distribuce velikosti částic plniva

Tabulka 18: Složení nátěru pro experimentální ověření

Označení	Složky pojiva		Poměr složek A:B	Plnivo	Povrch	Plnění
EP-S REF	A	EP	1,8 : 1	Křemičitá moučka	Betonová vibrolisovaná dlažba Suchá (w < 4 %)	30 %
	B	Tvrdidlo				
EP-W REF	A	EP	1,8 : 1	Křemičitá moučka	Betonová vibrolisovaná dlažba Vlhký (w = 30–40 %)	30 %
	B	Tvrdidlo				
EP-S PL	A	EP	1,8 : 1	40 % Odpadní agro perlit 60 % Sklo ze solárních panelů	Betonová vibrolisovaná dlažba Suchá (w < 4 %)	30 %
	B	Tvrdidlo				
EP-W PL	A	EP	1,8 : 1	40 % Odpadní agro perlit 60 % Sklo ze solárních panelů	Betonová vibrolisovaná dlažba Vlhká (w = 30–40 %)	30 %
	B	Tvrdidlo				

5.4.2 Aplikační test

Na navržených nátěrech byl nejprve proveden aplikační test, kdy je hodnocena zpracovatelnost nátěru, aplikovatelnost a výsledný povrch.

- Zpracovatelnost

Zpracovatelnost byla hodnocena dle schopnosti vytvořit jednotný nátěr, kdy jsou všechny jeho složky ideálně promíchány. Je zde také hodnocena technická i časová náročnost míchání.

Tabulka 19: Hodnocení zpracovatelnosti

Označení	Zpracovatelnost
EP-S REF	Míchání bylo časově i technicky nenáročné. Po zamíchání vznikl jednotný nátěr, ve kterém nedocházelo ke tvorbě shluků plniva.
EP-W REF	
EP-S PL	
EP-W PL	

- Aplikovatelnost

Nátěr byl nanášen rozlitím a poté upraven kovovou ozubenou stěrkou na optimální tloušťku. Při aplikovatelnosti je hodnocena slučitelnost plniva a pojiva, schopnost nátěru vyrovnat nerovnosti povrchu a vytvořit slinutý povrch.

Tabulka 20: Hodnocení aplikovatelnosti

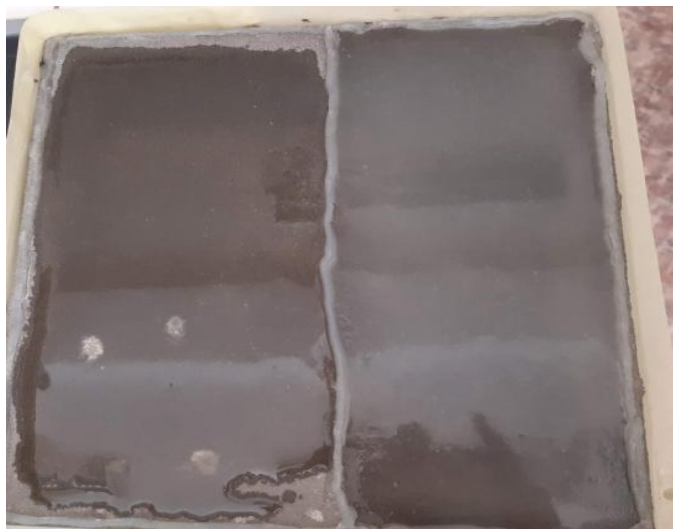
Označení	Aplikovatelnost
EP-S REF	Ve všech vzorcích nátěru nedocházelo k sedimentaci plniva, nátěr byl i při nanášení kompaktní. Nanášení bylo snadné a nátěr vytvořil slinutý jednotný povrch.
EP-W REF	
EP-S PL	
EP-W PL	

- Výsledný povrch

Výsledný povrch byl po dostatečném zpolymerování nátěru vizuálně posouzen. Je zde hodnocen lesk, hladkost povrchu, vznik trhlinek nebo prohlubenin, přítomnost fleků či separace pojiva a použitého plniva.

Tabulka 21: Zhodnocení výsledného povrchu zpolymerovaného nátěru

Označení	Výsledný povrch
EP-S REF	Vyhovující
EP-W REF	Nevyhovující. Na nátěru došlo ke tvorbě výkvětů.
EP-S PL	Vyhovující.
EP-W PL	Vyhovující.



Obrázek 31: Nevhodující nátěr EP-W REF s výkvěty (vlevo), vhodující nátěr EP-W PL (vpravo).

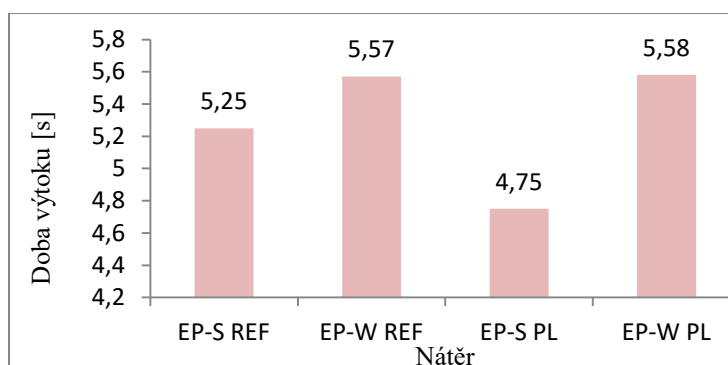
Výsledný povrch nátěru nebyl vyhovující pouze u nátěru EP-W REF (Obrázek 31), ve kterém bylo jako plnivo použita křemičitá moučka a nátěr byl aplikován na vlhký povrch. Na povrchu nátěru se po procesu polymerace utvořily bílé výkvěty. Je možné, že bylo plnivo v nátěru nedostatečně rozmícháno.

Vyhodnocení aplikačního testu:

Aplikačním testem bylo zjištěno, že nátěr s referenčním plnivem (křemičitá moučka) má stejnou zpracovatelnost i aplikovatelnost jako nátěr s použitím vybrané druhotné suroviny (40 % perlit + 60 % sklo ze solárních panelů). Výsledný povrch nebyl vyhovující u nátěru s křemičitou moučkou, který byl aplikován na vlhký povrch. U všech ostatních nátěrů byl povrch vyhovující.

5.4.3 Viskozita nátěru

Zkouška byla prováděna dle ČSN EN ISO 2431 - Nátěrové hmoty - Stanovení výtokové doby výtakovými pohárky. Viskozita čerstvého nátěru byla měřena pomocí výtokového (Fordova) kelímku, který má průměr výtokového otvoru 12 mm. Po naplnění kelímku je měřen čas, za který se kelímek vyprázdní. Tato metoda je pouze srovnávací, takže výsledkem tohoto měření není hodnota kinematické viskozity ν [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$], ale výtokový čas, díky kterému je možné mezi sebou porovnat viskozitu jednotlivých nátěrů [62].



Graf 9: Doba výtoku stanovena pomocí Fordova kelímku



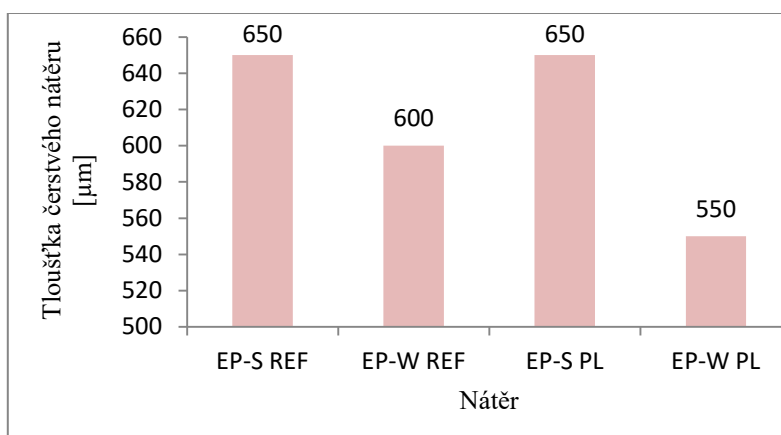
Obrázek 32: Fordův výtokový kelímek s výtokovým otvorem Ø12 mm naplněný nátěrem EP-S REF

Vyhodnocení zkoušky viskozity nátěru:

U nátěrů, které byly aplikovány na vlhký podklad (EP-W) byla použita vodoukompatibilní epoxidová pryskyřice, která má vyšší hustotu, než bezrozpuštědlová epoxidová pryskyřice, což lze vyčíst i z doby výtoku v Grafu 8. U nátěrů s označením EP-W jsou výtokové časy srovnatelné, bez závislosti na výběru plniva. Dle změřených časů měl nejnižší viskozitu nátěr EP-S PL, u kterého byl výtokový čas nejnižší.

5.4.4 Tloušťka čerstvého nátěru

Měření tloušťky nátěru v čerstvém stavu je možné provést pomocí měřícího hřebene. Hřeben je přitisknut do nátěru kolmo tak, aby nátěr smočil jeho zuby (Obrázek 33). Tloušťka nátěru je rovna nejvyššímu stupni zubu, který byl nátěrem smočen. Tato zkouška je prováděna dle normy ČSN EN ISO 2808 [61].



Graf 10: Tloušťka čerstvého nátěru



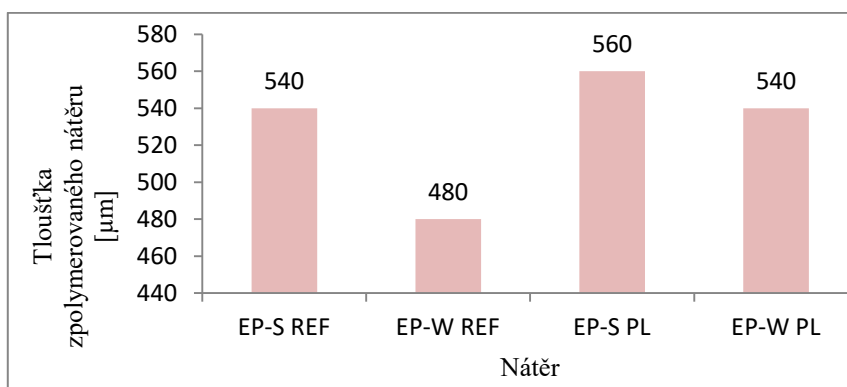
Obrázek 33: Měření tloušťky čerstvého nátěru pomocí šestihránného hřebene

5.4.5 Tloušťka zpolymerovaného nátěru

Tloušťka nátěru ovlivňuje celkovou životnost povlaku, má také vliv na výsledky zkoušek chemické, mechanické a povětrnostní odolnosti. Tloušťka byla stanovena pomocí tloušťkoměru Elcometer 121/4 P.I.G. (Obrázek 34), kdy byl použit nůž s úhlem 45°. Při použití tohoto přístroje lze tloušťku nátěru změřit celkem přesně, je ale nutné nátěr porušit řezem. Byly provedeny tři měření a z naměřených hodnot vytvořen průměr [61].



Obrázek 34: Tloušťkoměr Elcometer 121/4 P.I.G



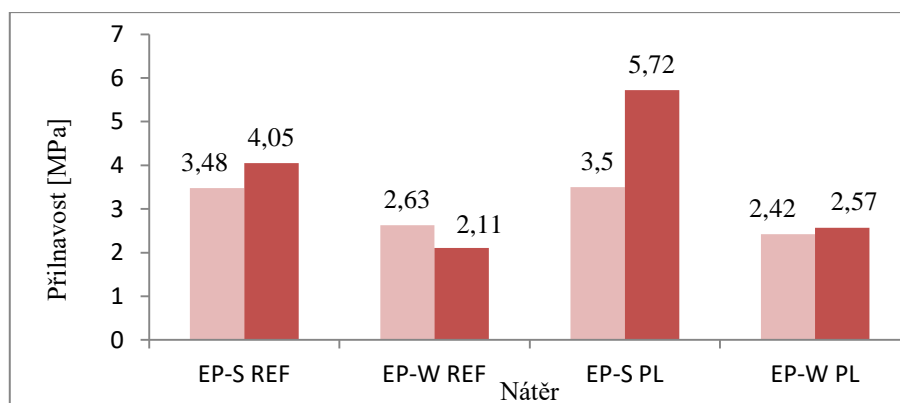
Graf 11: Tloušťka zpolymerovaného nátěru

5.4.6 Odtrhová zkouška přilnavosti

Pro odtrhovou zkoušku byly použity terče o průměru 50 mm, které byly na nátěr nalepeny pomocí dvousložkového epoxidového lepidla Sikadur-31 CF. Po zatvrdnutí lepidla, po 24 hodinách, se terče ořezaly pomocí úhlové brusky až na podklad do osmiúhelníku a následně se odtrhoměrem značky DYNA Proceq zkoušela přilnavost zkoušených nátěrů s betonovým podkladem (Obrázek 35). Zkouška byla prováděna dle normy ČSN EN ISO 4624 [63].

Tabulka 22: Hodnoty pro odtrhovou zkoušku přilnavosti

Označení	Přilnavost [MPa]	Místo porušení	Typ porušení
EP-S REF	3,48	40 % Nátěr/ 60 % lepidlo	Kohézní
	4,05	40 % Nátěr/ 60% beton	Kohézní
EP-W REF	2,63	Beton	Kohézní
	2,11	Beton	Kohézní
EP-S PL	3,50	80 % Nátěr/ 20% beton	Kohézní
	5,72	90 % Nátěr/ 10 % beton	Kohézní
EP-W PL	2,42	Beton	Kohézní
	2,57	Beton	Kohézní



Graf 12: Přilnavost nátěrů k betonovému podkladu



Obrázek 35: Odtrhoměr Dyna Proceq



Obrázek 36: Odtrhový terč po porušení nátěru EP-S PL nátěr/beton



**Obrázek 38: Porušení nátěru EP-S
REF nátěr/lepidlo**



**Obrázek 37: Porušení nátěru EP-W
PL v povrchové vrstvě betonové
dlažby (2 mm)**

Vyhodnocení přilnavosti

Nejvyšší přilnavost vykazoval nátěr aplikovaný na suchý povrch, který byl plněn zhomogenizovanou směsí složenou ze 40 % odpadního perlitu + 60 % odpadního skla ze solárních panelů, průměrná přilnavost tohoto nátěru byla 4,6 MPa. Oba vzorky byly při zkoušce porušeny stejným způsobem, a to na rozhraní nátěru a betonu (Obrázek 36).

Velmi dobrou přilnavost měl také nátěr EP-S REF, který byl aplikován na suchý podklad a jako plnivo byla použita křemičitá moučka, zde byla průměrná hodnota 3,8 MPa. Každý nátěr byl zkoušen pomocí dvou odtahových terčů, v jednom případě došlo k porušení mezi nátěrem a betonem, ve druhém případě byl nátěr porušen mezi nátěrem a lepidlem (Obrázek 37).

Nátěry EP-W, kde byla použita vodoukompatibilní epoxidová pryskyřice a které byly aplikovány na vlhký povrch vyšly průměrné hodnoty přilnavosti téměř totožně. U nátěru s označením EP-W PL to byla hodnota 2,5 MPa a u EP-W REF 2,4 MPa. U těchto nátěrů došlo u všech případů k porušení v podkladu, kdy byl odtrhový terč oddělen v povrchové vrstvě betonové dlažby (Obrázek 38).

6 Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo navrhnout chemicky odolné parotěsné nátěrové hmoty, ve kterých by se jako plnivo uplatnily vhodné druhotné suroviny, které by negativně neovlivňovaly chemickou odolnost a další důležité parametry výsledného nátěru a jejichž úprava by nebyla časově ani finančně příliš náročná.

V I. etapě byla vypracována rešerše nejdostupnějších nátěrů na polymerní bázi, které se využívají k ochraně betonu před chemickým působením. Dále byly definovány normové a jiné požadavky na dané nátěry. Podrobněji byly také popsány způsoby předúpravy betonového povrchu, jelikož neupravený nebo špatně upravený povrch má negativní vliv na výsledný nátěr, a to především na jeho přilnavost.

II. etapa obsahuje srovnání primárních vlastností vybraných pojivových složek. Jako pojivo pro parotěsný nátěr, po kterém je požadována především chemická odolnost, byla zvolena epoxidová pryskyřice. Dále byly vybrány nejvhodnější suroviny, které by bylo možné použít jako plnivo do navrhovaných polymerních nátěrů. Suroviny byly rozděleny na primární, sekundární s vícestupňovou předúpravou a sekundární s minimální předúpravou. Všechny suroviny byly podrobněji popsány a na základě jejich vlastností a zvolených kritérií byl proveden optimalizační výpočet, dle kterého byly jako nejvhodnější plniva vybrány odpadní sklo ze solárních panelů a odpadní perlit.

Ve III. etapě byl vytvořen návrh složení jednotlivých nátěrů, s různým typem plniva i různým stupněm plnění. Dále zde byla navržena metodika zkoušení, kde byl přehled vybraných zkoušek s příslušnou normou. Tyto zkoušky je nutné na nátěru provést, aby byla zjištěna jejich vhodnost do daného prostředí a aby bylo možné vybrat nejvhodnější recepturu s optimálním plněním.

IV. etapa obsahovala experimentální ověření některých základních vlastností u vybraných navržených receptur polymerních nátěrových hmot.

Nátěry se nanášely jak na suchý, tak na vlhký povrch betonových dlažeb. Pro nátěr, který byl aplikován na vlhký podklad, byla použita vodoukompatibilní epoxidová pryskyřice. U nátěru, nanášeného na suchý betonový podklad byla použita bezrozpouštědlová epoxidová pryskyřice.

Oba nátěry byly plněny z 30 % mikroplnivem. Jako plnivo do nátěrů s označením EP-S PL, EP-W PL byla vytvořena směs složená ze 40 % odpadního perlitu + 60 % odpadního skla ze solárních panelů, která byla pomleta pod 180 μm a zhomogenizována. Pro nátěry EP-S REF, EP-W REF bylo použito referenční plnivo, kterým byla v tomto případě křemičitá moučka.

Na nátěrech byl proveden aplikační test, který prokázal, že nátěr s referenčním plnivem má stejnou zpracovatelnost a aplikovatelnost jako nátěr, kde byla použita směs z druhotných surovin. Při hodnocení výsledného povrchu nebyl vyhovující pouze nátěr s použitím křemičité moučky, který byl aplikován na vlhký povrch.

U nátěrů byla pomocí výtokového Fordova kelímku sledována viskozita. Nejnižší viskozitu měl nátěr EP-S PL, u kterého bylo jako plnivo použita směs druhotných surovin a jako pojivo bezrozpouštědlová epoxidová pryskyřice. U nátěrů, které byly později aplikovány na vlhký povrch a u kterých byla jako pojivo použita vodoukompatibilní

epoxidová pryskyřice byl výtokový čas nejvyšší a téměř totožný. Plnivo na bázi druhotných surovin nemělo negativní dopad na vlastnosti nátěru

Tloušťka nátěru aplikovaného na beton se pohybovala v rozmezí 550–650 μm .

Nejvyšší hodnota přilnavosti k betonovému povrchu byla naměřena u nátěru EP-S PL, kdy byl nátěr aplikován na suchý povrch a jako plnivo byla použita směs druhotných surovin. Průměrná hodnota přilnavosti k betonu pro tento nátěr byla 4,6 MPa. Velmi dobrá přilnavost byla naměřena také u nátěru EP-S REF, kdy byla průměrná hodnota přilnavosti 3,8 MPa.

U nátěru aplikovaných na vlhký povrch byly průměrné hodnoty u nátěru EP-W PL 2,5 MPa a u EP-W REF 2,4 MPa. K odtržení terče u nátěru aplikovaného na vlhký podklad došlo v podkladu. U všech zkoušených nátěrů byla přilnavost vyšší než 2,0 MPa, což zaručuje požadovanou soudržnost k betonu a odpovídá požadavkům v příslušné normě ČSN EN 1504-2. Z výše uvedených hodnot přilnavosti je zřejmé, že plnivo na bázi druhotných surovin negativně neovlivňuje přilnavost výsledného nátěru k betonovému povrchu.

Chemická odolnost nátěru bude pravděpodobně řešena v rámci diplomové práce, jelikož se ale plnivo z druhotných surovin blíží vlastnostem primárního plniva a je pevně začleněno do polymerní matrice, předpokládá se, že nedojde k negativnímu ovlivnění chemické odolnosti výsledného nátěru.

Závěrem je možné jednoznačně konstatovat, že při porovnání vlastností nátěru s referenční primární surovinou a nátěru s použitím druhotných surovin, není patrné zhoršení vlastností tohoto nátěru. Nátěry s použitím plniva z druhotných surovin vykazovaly vynikající přilnavost jak na suchý, tak na vlhký povrch. Bylo tedy prokázáno, že je možné jako plnivo do nátěrových hmot použít vhodné druhotné suroviny (odpadní perlit a odpadní sklo ze solárních panelů), což by vedlo k zlepšení ekologických a ekonomických dopadů výroby parotěsných polymerních hmot. Lze tedy konstatovat, že cíl práce byl jednoznačně splněn.

Práce byla vypracována v rámci řešení vědecko-výzkumného projektu TN01000056/04 „Pokročilé materiály a technologie – Advanced Materials and Technologies (ADMATEC)“.

7 Seznam použitých zdrojů

- [1] KALEDOVÁ, Andrea. *Technologie nátěrových hmot I.: pigmenty a plniva pro nátěrové hmoty*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 80-7194-576-5.
- [2] KALEDOVÁ, Andrea a Petr KALENDA. *Technologie nátěrových hmot I.: pojiva, rozpouštědla a aditiva pro výrobu nátěrových hmot*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004. ISBN 80-7194-691-5.
- [3] 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.
- [4] 403 Forbidden [online]. Copyright ©T [23.11.2019]. Dostupné z: <http://ect.4prostor.cz/wp-content/uploads/2016/07/reologicka-aditiva-pro-rozpoustedlove-naterove-hmoty.pdf>
- [5] JARUŠEK, Jaroslav. *Technologie nátěrových hmot*. Pardubice: Vysoká škola chemicko-technologická, 1987.
- [6] Garrigues, S. (2017). *Organic Solvent-Based . Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*. doi:10.1016/b978-0-12-409547-2.14227-1
- [7] TROJAN, Miroslav. *Technologie anorganických pigmentů*. Pardubice: Vysoká škola chemicko-technologická, 1992. Učební texty vysokých škol.
- [8] STODOLOVSKÁ, Šárka. *Návrh chemicky odolných nátěrových hmot s využitím druhotných surovin i nebezpečných odpadů*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební, V Brně 2019
- [9] Úvod | Časopis BETON - technologie, konstrukce, sanace (BETON TKS) [online]. Copyright © [cit. 24.11.2019]. Dostupné z: http://www.betontks.cz/sites/default/files/2008-4-66_0.pdf
- [10] KOLÁŘ, Karel a Pavel REITERMAN. *Stavební materiály: pro SPŠ stavební*. Praha: Grada, 2012. Studium (Grada). ISBN 9788024740706
- [11] Minerální fasádní barvy | iMaterialy. Portál pro odborníky ve stavebnictví – projektanty, stavaře z praxe, architekty i řemeslníky | iMaterialy [online]. Dostupné z: https://www.imaterialy.cz/rubriky/materialy/mineralni-fasadni-barvy_101472.html
- [12] 301 Moved Permanently. 301 Moved Permanently [online]. Dostupné z: <http://www.glassflake.com/pages/applications/by-industry/coatings>.
- [13] KREIBICH, Viktor a Karel HOCH. *Koroze a technologie povrchových úprav*. Praha: České vysoké učení technické, 1984.
- [14] KLIKORKA, Jiří, Bohumil HÁJEK a Jiří VOTINSKÝ. *Obecná a anorganická chemie*. 4. nezměn. vyd. Praha: Nakladatelství techn. lit., 1982.
- [15] ZDENĚK, Tůma. Stav a trendy vývoje průmyslových NH. In: *Časopis Transfer*. VYZKUMNY A ZKUŠEBNÍ LETECKY ÚSTAV, A.S., 2014. Dostupné také z: <http://www.vzlu.cz/download.php?file=902>
- [16] PROINEX.CZ., Aplikace nátěru. *Natahovací pravítko BAKER* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <http://www.proinex.cz/natahovaci-pravitko-baker.html>
- [17] ZEMAN, Václav. *Rychleschnoucí nátěrové hmoty*. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní. Praha 2015. Diplomová práce.
- [18] Zoubek, Michal. *Nátěrové hmoty s vyššími užitnými vlastnostmi*. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní. Praha 2015. Diplomová práce
- [19] KREIBICH, Viktor: *Teorie a technologie povrchových úprav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1999.
- [20] JURÁSEK, Zdeněk: *Studium vlivu čistoty substrátu na adhezi nanopovlaků*, Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Ostrava 2015
- [21] DROCHYTKA, Rostislav. *Plastické látky ve stavebnictví*. Brno: CERM, 1998. ISBN 80-214-1148-1.

- [22] DROCHYTKA, Rostislav: Trvanlivost stavebních materiálů. Studijní opora, VUT v Brně, FAST., 2007. [<https://intranet.fce.vutbr.cz/pedagog/predmety/opory.asp>] (CS)
- [23] VORÁČKOVÁ, Veronika, *Vývoj odolných nátěrových systémů na bázi moderních polymerních pojiv*, Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební, V Brně 2012
- [23] Egalizace (ochrana) povrchu betonových konstrukcí s pomocí tenkovrstvých malt a stěrek | Tvstav.cz. *Tvstav.cz* [online]. Copyright © 2010 [cit. 25.11.2019]. Dostupné z: <http://tvstav.cz/clanek/4789-vliv-egalizace-povrchu-betonovych-konstrukci-na-jejich-celkovou-trvanlivost>
- [24] *ScienceDirect.com | Science, health and medical journals, full text articles and books.* [online]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061817325114>
- [25] Polyurethane & Polyurea Coatings for Concrete | Chemline. *Polyurethane Coatings & Resins That Endure | Chemline* [online]. Copyright © 2019 Chemline. All Rights Reserved. [cit. 26.11.2019]. Dostupné z: <https://www.chemline.net/sprayed-coatings/polyurethane-polyurea-coatings-for-concrete/?fbclid=IwAR1kjKVJkKKMgtGXuvelq4GJHq7NL5Uu0hQr3iURM412TKVpCtnB87i6GQ>
- [26] Surface protection of concrete: coating of mass concrete | technology development | Long-span Bridge Engineering Center. *JB* [online]. Copyright © 2005 Honshu [cit. 26.11.2019]. Dostupné z: https://www.jb-honshi.co.jp/english/corp_index/technology/lbec/technology_development/concrete_paint.html?fbclid=IwAR3hk6qpyjp1PPG79raMqncKPtC9M4LNxHDKM-roOtyEeezNQdr0WkDBqYE
- [27] Identifying Professional Indemnity claims: Blistering coatings - SAFETY4SEA. *SAFETY4SEA | Shipping and maritime news* [online]. Copyright © SAFETY4SEA2019 [cit. 27.11.2019]. Dostupné z: <https://safety4sea.com/identifying-professional-indemnity-claims-blistering-coatings/>
- [28] Why Novolac Epoxies? Top 10 Advantages of Novolac Epoxies. *Dynestic Technologies | Advanced Sealants & Coatings | United States* [online]. Copyright © 2015 by Dynestic Technologies, Inc. [cit. 28.11.2019]. Dostupné z: <https://www.dynestic.com/single-post/2014/12/05/Why-Novolac-Epoxies-Top-10-Advantages-of-Novolac-Epoxies>
- [29] ČSN EN ISO 9346 - Tepelně vlhkostní chování budov a stavebních materiálů - Fyzikální veličiny pro přenos hmoty, Český normalizační institut, Prosinec 2008.
- [30] Vysokotlaké čištění technologií FALCH | NOGA stavební společnost. *NOGA stavební společnost | Firma s dlouholetou tradicí ve stavebnictví se specializací na beton a betonové konstrukce.* [online]. Copyright © 2019 NOGA stavební společnost [cit. 03.12.2019]. Dostupné z: <https://noger.cz/sluzby/vysokotlake-cistení/>
- [31] Hempel | Česká republika. *Hempel | Česká republika* [online]. Dostupné z: https://www.hempel.cz/files/brochures/ISO-brochure_CZ_20170530
- [32] MOTYČKA, Vít. Procesy vnitřní a dokončovací – nátěry. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. Brno, 2005. Studijní opory.
- [33] BYDŽOVSKÝ, Jiří. Technologie sanace- modul 01. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. Brno, 2007. Studijní opory.
- [34] METODICKÁ PŘÍRUČKA Aplikace hydrofobních impregnací Sikagard - PDF Stažení zdarma. *Představujeme Vám pohodlné a bezplatné nástroje pro publikování a sdílení informací.* [online]. Copyright © DocPlayer.cz [cit. 04.02.2020]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/69222637-Metodicka-prirucka-aplikace-hydrofobnich-impregnaci-sikagard.html>
- [35] *Sika Group* [online]. Copyright © [cit. 04.02.2020]. Dostupné z: <https://www.sika.com/content/dam/dms/corporate/d/glo-concrete-protection-coatings.pdf>

- [36] ČSN EN 1504-2 (732101) Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody - Část 2: Systémy pro povrchovou ochranu
- [37] <http://lenachemical.com/soubory/files/text.pdf>
- [38] http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hpu_renovace_a_povrchove_upravy_naterov_e_hmoty_2018_kubicek.pdf
- [39] 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
- [39] Scratch Resistance Enhancement of Polymer Coatings
- [40] *Recyklace-redidel.cz* | *Recyklaceředidel.cz* [online]. Copyright © [cit. 29.01.2020]. Dostupné z: https://www.recyklace-redidel.cz/fileadmin/user_upload/Elcometer_510_01.pdf
- [41] Mřížkový test. *Barvy Laky, Štefánikova 139/72, Brno - Královo Pole* | *Malířské potřeby* [online]. Copyright © 2016 Colorbetafiniš s. r. o. [cit. 29.01.2020]. Dostupné z: <https://www.colorbetafinis.cz/mrizkovy-test-kvality-barvy>
- [42] *BELGIAN & HOLLAND For VALVES Engineering And Constractions* [online]. Copyright © [cit. 14.05.2020]. Dostupné z: <http://belgian-eg.com/valves/wp-content/uploads/2018/09/Coating%20Failures%20and%20Defects.pdf>
- [43] Surface morphology and segmented cracks of re-melted coatings obtained... | Download Scientific Diagram. *ResearchGate* | *Find and share research* [online]. Copyright © 2008 [cit. 14.05.2020]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Surface-morphology-and-segmented-cracks-of-re-melted-coatings-obtained-with-different_fig2_310475198
- [44] Redrock. REDCOAT E. Pružný akrylátový ochranný a dekorativní nátěr na beton a zdivo překlenující trhlinky. In: [redrock-cz.com](http://www.redrock-cz.com) [online] [29.01.2020]. Dostupné z: http://www.redrock-cz.com/katalog/produkty/pdf/Redcoat_E.pdf
- [45] Sika. Sikafloor – 359N. Dvoukomponentní polyuretanový houževnatě pružný barevný uzavírací nátěr. In: podlahyepoxid.wbs.cz [online] [cit. 29.01.2020]. Dostupné z: http://podlahyepoxid.wbs.cz/sikafloor-359_n.pdf
- [46] Technické listy produktů skupiny SikaCor | Sika CZ, s.r.o.. *Sika CZ, s.r.o. | Česká republika | Stavební chemie, průmyslové tmely a lepidla* | *Sika CZ, s.r.o.* [online]. Dostupné z: https://cze.sika.com/content/czech_republic/main/cs/solutions_products/document_download/PDS/PDS_G_SikaCor.html
- [47] MAPECOAT I 24, technický list | Mapei ". *Mapei - adhesives, sealants, chemical products for building* [online]. Copyright © 2020 MAPEI All rights reserved [cit. 29.01.2020]. Dostupné z: <https://www.mapei.com/cz/cs/vyrobky-a-reseni/seznam-vyrobku/product-detail/mapecoat-i-24>
- [48] BETOFIX SR | Betosan. *Stavební chemie, hydroizolace, sanace betonu* | *Betosan* [online]. Dostupné z: <http://www.betosan.cz/produkt/betofix-sr/>
- [49] MAPEFLOOR CPU/RT, technický list | Mapei ". *Mapei - adhesives, sealants, chemical products for building* [online]. Copyright © 2020 MAPEI All rights reserved [cit. 29.01.2020]. Dostupné z: <https://www.mapei.com/cz/cs/vyrobky-a-reseni/seznam-vyrobku/product-detail/mapefloor-cpu-rt>
- [50] Stavební chemie SIKÁ CZ - - Eshop Michal Pokorný. *Stavební chemie SIKÁ CZ - Úvod - Eshop Michal Pokorný* [online]. Dostupné z: <http://www.stavchemshop.cz/sika-poxitar-f>
- [51] *Sanax chemical construction s.r.o.* | *Specialista na stavební chemii* [online]. Copyright © [cit. 29.01.2020]. Dostupné z: https://www.sanax.cz/static/files/product/TL/TL_ResiCote_WB4.pdf
- [52] PCI Decotop® BAP Dvousložkový polyuretanový nátěr. *PCI Česká republika: Home* [online]. Copyright © Copyright 2020 PCI Augsburg GmbH [cit. 29.01.2020]. Dostupné z: <https://www.pci->

cz.cz/de/produkty.html?tx_mmdb%5Bproduct%5D=26247&cHash=33756049547af39bbc9f1bfff11c6a7

[53] Concrete Surface Preparation: Part 3 - Grades of Concrete Roughness. *302 Found* [online]. Copyright © Graco Inc. All rights reserved. [cit. 29.01.2020]. Dostupné z: <https://www.graco.com/us/en/contractor/solutions/articles/concrete-surface-prep-part-3-grades-of-roughness.html>

[54] Broušení a opravy betonu - Sami Sobě. *Stavba domu svépomocí - Sami Sobě* [online]. Copyright © 2020 Eva Sovová [cit. 29.01.2020]. Dostupné z: <https://stavba.selfici.com/2019/07/brouseni-a-opravy-betonu/>

[54] Lena Chemical, Nové možnosti v oblasti vodou ředitelných epoxidových podlahových hmot. [online] [cit.24.02.2020]. Dostupné z: http://lenachemical.com/soubory/files/podlahy_a_interi%C3%A9ry_11-12_201...pdf

[55] BAYER, Petr. Vliv popílku na vlastnosti cementových malt. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická. Brno 2012. Bakalářská práce.

[56] KOPECKÝ, Filip. Možnosti využití odpadních slévárenských písků. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická. Brno 2013. Diplomová práce.

[57] Využití průmyslových odpadních materiálů při výrobě stavebních hmot | 04/08 | časopis Stavebnictví | Expodata Brno. *Časopis stavebnictví | Expodata Brno* [online]. Copyright © 2007 [cit. 28.02.2020]. Dostupné z: https://www.casopisstavebnictvi.cz/vyuziti-prumyslovych-odpadnich-materialu-pri-vyrobe-stavebnich-hmot_A753_I18

[58] *Perlit – Šenov u Nového Jičína* [online]. Dostupné z: http://www.perlit.cz/wp-content/uploads/2017/03/bezpecnosti-llist_EP.pdf

[59] JAK SE RECYKLUJÍ SOLÁRNÍ PANELE | TRÍDĚNÍODPADU.CZ. *Odpady / tříděníodpadu.cz* [online]. Copyright © 2007 [cit. 18.03.2020]. Dostupné z: <https://www.trideniodpadu.cz/jak-se-recykluji-solarni-panele>

[60] Výroba a recyklace autoskla - Auto sklo servis Praha. *Auto sklo servis Praha - Auto sklo servis Praha* [online]. Dostupné z: <https://www.autosklo-autoskla.cz/o-autosklech/vyroba-a-recyklace-autoskla/RS>

[61] ČSN EN ISO 2808. Nátěrové hmoty - Stanovení tloušťky nátěru. Český normalizační institut, Únor 2007.

[62] ČSN EN ISO 2431 - Nátěrové hmoty - Stanovení výtokové doby výtokovými pohárky.

[63] ČSN EN ISO 4624 (673077)-Nátěrové hmoty - Odrhová zkouška přilnavosti

[64] IN-EPOX 2060 - IN-CHEMIE Technology s.r.o.. *Úvodní stránka - IN-CHEMIE Technology s.r.o.* [online]. Dostupné z: <https://www.in-chemie.cz/produkt/in-epox-2060/>

[65] IN-EPOX 2020 QUICK - IN-CHEMIE Technology s.r.o.. *Úvodní stránka - IN-CHEMIE Technology s.r.o.* [online]. Dostupné z: <https://www.in-chemie.cz/produkt/in-epox-2020-quick/>

8 Seznam obrázků

Obrázek 1: Sekundární ochrana betonové konstrukce proti účinkům agresivních chemikáliím [24] ...	13
Obrázek 2: Teplotní odolnost jednotlivých nátěrů dle polymerní báze [31]	18
Obrázek 3: Čištění pomocí vysokotlakého paprsku [30]	22
Obrázek 4: Ukázka pneumatického stříkání polymerního nátěru [25]	23
Obrázek 5: Ukázka nežádoucích bublin v nátěru [42]	23
Obrázek 6: Ukázka kráterů a trhlin v nátěru [43]	23
Obrázek 7: Porušení soudržnosti alkydového nátěru s podkladem	24
Obrázek 8: Porušení soudržnosti uzavřením vlhkosti [22]	24
Obrázek 9: Použití nevhodného primeru [37]	25
Obrázek 10: Použití vhodného pružného primeru [37]	25
Obrázek 11: Nátěr s vysokou viskozitou – nezatečení do otevřených pórů podkladu [38]	25
Obrázek 12: Mechanismus poškození povrchových vrstev betonu [24]	26
Obrázek 13: Porušení betonu sulfatací [22]	27
Obrázek 14: Ukázka různých klasifikačních stupňů [41]	34
Obrázek 15: Terčik a možnosti porušení při odtrhové zkoušce přilnavosti [40]	37
Obrázek 16: Broušení betonového povrchu pomocí ruční brusky [54]	38
Obrázek 17: Příklady předúpravy betonového povrchu před nanesením ochranné vrstvy [53]	39
Obrázek 18: Mastek typu SM4	44
Obrázek 19: Mikromletý vápenec	44
Obrázek 20: Jemná křemičitá moučka	45
Obrázek 21: Skleněné vločky	46
Obrázek 23: Fluidní popílek z tepelné elektrárny Kladno	48
Obrázek 22: Vysokoteplotní popílek pocházející z tepelné elektrárny Opatovice	48
Obrázek 24: Odpadní obalové sklo pomleté pod velikost 63 μm	49
Obrázek 25: Odpadní obalové sklo	49
Obrázek 26: Odpadní sklo ze solárních panelů QS Solar	50
Obrázek 27: Vysokopecní struska	51
Obrázek 28: Odpadní vápenec z lomu	52
Obrázek 29: Perlit 150	53
Obrázek 30: Agroperlit	53
Obrázek 31: Nevyhovující nátěr EP-W REF s výkvěty (vlevo), vyhovující nátěr EP-W PL (vpravo)	64
Obrázek 32: Fordův výtokový kelímek s výtokovým otvorem $\text{Ø}12$ mm naplněný nátěrem EP-S REF	65
Obrázek 33: Měření tloušťky čerstvého nátěru pomocí šestihraného hřebene	66
Obrázek 34: tloušťkoměru Elcometer 121/4 P.I.G.	67
Obrázek 35: Odtrhoměr Dyna Proceq	68
Obrázek 36: Odtrhový terč po porušení nátěru EP-S PL nátěr/beton	68
Obrázek 38: Porušení nátěru EP-W PL v povrchové vrstvě betonové dlažby (2 mm)	69
Obrázek 37: Porušení nátěru EP-S REF nátěr/lepidlo	69

9 Seznam tabulek

Tabulka 1: Přehled dostupných nátěrů na polymerní bázi [44-52]	33
Tabulka 2: Základní požadavky na vlastnosti parotěsných nátěrů dle ČSN EN 1504-2 [36] [22]	33
Tabulka 3: Základní vlastnosti a informace o mastku.....	43
Tabulka 4: Základní vlastnosti a informace o skleněných vločkách.....	46
Tabulka 5: Základní vlastnosti a informace o fluidním filtrovém popílku kontaminovaným vlivem denitrifikace spalin – Kladno	47
Tabulka 6: Základní vlastnosti a informace o filtrovém popílku - Opatovice.....	47
Tabulka 7: Chemické složení odpadního autoskla.....	49
Tabulka 8: Základní vlastnosti a informace o recyklovaném obalovém sklu	49
Tabulka 9: Chemické složení skla ze solárních panelů.....	50
Tabulka 10: Základní vlastnosti a informace o vysokopecní strusce Kotouč Štramberk.....	51
Tabulka 11: Základní vlastnosti a informace o odpadním vápenci.....	52
Tabulka 12: Základní vlastnosti a informace o perlitu.....	53
Tabulka 13: Vstupní druhotné suroviny.....	54
Tabulka 14: Hodnotící kritéria	55
Tabulka 15: Rozhodovací matice	55
Tabulka 16: Výpočet váhy (Sattyho matice).....	55
Tabulka 17: Výpočtová matice (metoda kvantitativního párového srovnání)	56
Tabulka 18: Složení nátěru pro experimentální ověření	63
Tabulka 19: Hodnocení zpracovatelnosti.....	63
Tabulka 20: Hodnocení aplikovatelnosti.....	64
Tabulka 21: Zhodnocení výsledného povrchu zpolymerovaného nátěru.....	64
Tabulka 22: Hodnoty pro odtrhovou zkoušku přilnavosti.....	68

10 Seznam grafů

Graf 1: Distribuce velikosti částic mastku	44
Graf 2: Distribuce velikosti částic křemičité moučky	45
Graf 3: Distribuce velikosti částic fluidního popílku z tepelné elektrárny Kladno	47
Graf 4: Distribuce velikosti částic vysokoteplotního popílku z tepelné elektrárny Opatovice	48
Graf 5: Distribuce velikosti zrn vysokopecní strusky Kotouč Štramberk.....	51
Graf 6: Distribuce velikosti zrn perlitu	54
Graf 7: Výsledné hodnoty pro vybraná plniva (Tabulka 13) na základě optimalizačního výpočtu	56
Graf 8: Distribuce velikosti částic plniva.....	62
Graf 9: Doba výtoku stanovena pomocí Fordova kelímku	65
Graf 10: Tloušťka čerstvého nátěru.....	66
Graf 11: Tloušťka zpolymerovaného nátěru	67
Graf 12: Přilnavost nátěrů k betonovému podkladu.....	68