



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

STUDIUM VLIVU UZAVÍRACÍCH NÁTĚRŮ NA ODOLNOST BETONU PROTI POVĚTRNOSTNÍM VLIVŮM

STUDY OF THE EFFECT OF SEALING PAINTS ON THE RESISTANCE OF CONCRETE
TO WEATHERING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Radek Sláma

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ADAM HUBÁČEK, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Radek Sláma
Název	Studium vlivu uzavíracích nátěrů na odolnost betonu proti povětrnostním vlivům
Vedoucí práce	Ing. Adam Hubáček, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

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

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

PODKLADY A LITERATURA

Časopis Beton TKS

ČSN EN 206+A1 Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda

ČSN P 73 2404 - Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda - Doplnující informace

Technické kvalitativní podmínky MD ČR pro stavby pozemních komunikací: Kapitola 18 TKP - beton pro konstrukce

Sborníky z českých a mezinárodních konferencí

České a zahraniční časopisy

Internetové zdroje

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem bakalářské práce bude shrnutí poznatků o vlivu uzavíracích nátěrů na vlastnosti betonu a betonových výrobků, zejména na jejich trvanlivost. Zušlechťování povrchu betonu patří k posledním trendům v oblasti technologie betonu a v posledních letech je stále více využívána jak v oblasti konstrukčních betonů, tak u betonových výrobků.

Základní body bakalářské práce budou následující:

- Popis a shrnutí dosavadních znalostí o uzavíracích nátěrech,
- shrnutí poznatků o jednotlivých druzích a typech uzavíracích nátěrů na beton a betonové výrobky,
- posouzení vlivu různých druhů uzavíracích nátěrů na trvanlivost betonu,
- posouzení případného ekonomického přínosu použití těchto aplikací na povrch betonu.

Část bakalářské práce bude zaměřena na praktické aplikace posouzení trvanlivosti betonů, na jejichž povrch byl aplikován uzavírací nátěr. Bude sledován vliv těchto materiálů na provzdušněný beton pro prostředí XF4, ale také na běžné betony, jejichž struktura není primárně odolná proti působení povětrnostních vlivů. Budou sledovány vlastnosti čerstvého betonu, jako je zpracovatelnost a případně míra provzdušnění v čerstvém betonu. Důraz bude kladen také na vlastnosti ztvrdlého betonu, zejména na pevnost v tlaku, nasákavost jeho trvanlivost (odolnost proti působení chemických rozmrazovacích látek) a obsah vzduchu ve ztvrdlém betonu. Závěrem bude vyhodnocen vliv nátěrů na dlouhodobou trvanlivost betonu.

Rozsah práce cca 45 stran

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

Ing. Adam Hubáček, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je shrnutí dosavadních znalostí o uzavíracích nátěrech a zhodnocení jejich působení na povrch betonu. Důraz je kladen zejména na popis jednotlivých druhů nátěrů, způsobů jejich aplikace a na popis vlivů prostředí působících na beton, kterým by měl ochranný nátěr odolávat.

V experimentální části bakalářské práce budou laboratorně zkoumány vlastnosti vybraných druhů uzavíracích nátěrů, jako je odolnost povrchu betonu proti působení chemických a rozmrazovacích látek, nasákavost a hloubka průsaku tlakovou vodou.

KLÍČOVÁ SLOVA

Trvanlivost betonu, uzavírací nátěry, vytvrzování povrchu, nasákavost, odolnost proti CHRL, hloubka průsaku tlakovou vodou

ABSTRACT

Purpose of this bachelor thesis is to summarize existing knowledge of sealing paints and evaluate its effect on concrete surface. Emphasis is placed especially on description of single paint type, application methods and description of degradation effect on concrete, which protective painting should prevent.

In experimental part of this thesis are researched properties of chosen sealing paintings types on resistance of concrete to weathering. Observed tests are especially absorption, resistance of concrete surface to effect of chemical and defrosting substances and depth of penetration of water under pressure.

KEYWORDS

Durability of concrete, sealing paints, hardening of surface, absorption, resistance to CHDS, depth of penetration of water under pressure

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Radek Sláma *Studium vlivu uzavíracích nátěrů na odolnost betonu proti povětrnostním vlivům*. Brno, 2018. 78 s., Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Adam Hubáček, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25. 5. 2018

Radek Sláma

autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Adamu Hubáčkovi, Ph.D za odborné vedení a užitečné rady při zpracování bakalářské práce. Velké díky patří mé rodině, která mi byla oporou po celou dobu studia. Poděkování patří také panu Vladimíru Klímovi za pomoc při zkoušení vzorků v laboratoři.

OBSAH

ÚVOD.....	11
CÍL PRÁCE	12
A. TEORETICKÁ ČÁST.....	13
1 SUROVINY PRO VÝROBU BETONU.....	13
1.1 KAMENIVO	13
1.2 CEMENT	15
1.3 VODA	17
1.4 PLASTIFIKAČNÍ A SUPERPLASTIFIKAČNÍ PŘÍSADY	18
1.5 PROVZDUŠŇOVACÍ PŘÍSADY	21
2 TRVANLIVOST BETONU	22
2.1 PLYNNÉ AGRESIVNÍ PROSTŘEDÍ.....	22
2.1.1 KARBONATACE.....	23
2.1.2 SULFATACE.....	23
2.1.3. SULFATACE BETONU V PRAXI.....	23
2.2 KAPALNÉ AGRESIVNÍ PROSTŘEDÍ.....	24
2.2.1 KOROZE HLADOVÝMI VODAMI.....	24
2.2.3 KOROZE KYSELÝMI VODAMI.....	24
2.2.2. KOROZE SÍRANOVÝMI A CHLORIDOVÝMI VODAMI	25
2.3. DEGRADACE POVRCHU BETONU PŮSOBENÍM VODY, MRAZU A CHEMICKÝCH ROZMRAZOVACÍCH LÁTEK	25
3 OCHRANA BETONU UZAVÍRACÍMI NÁTĚRY.....	26
3.1 VLASTNOSTI UZAVÍRACÍCH NÁTĚŘŮ	28
3.2 HYDROFOBNÍ IMPREGNACE BETONU.....	28
3.2.1 PODSTATA HYDROFOBIZACE POVRCHU	28
3.2.2 PŘÍPRAVKY POUŽÍVANÉ PRO HYDROFOBNÍ IMPREGNACE	29
3.2.3 PROVÁDĚNÍ HYDROFOBNÍCH IMPREGNACÍ	33

3.2.4 VADY PŘI APLIKACI HYDROFOBNIČH IMPREGNACÍ	33
3.2.5 ZHODNOCENÍ VLASTNOSTÍ HYDROFOBNIČH IMPREGNACÍ	34
3.3 NÁTĚRY (LAKY)	34
3.3.1 AKRYLÁTOVÝ IMPREGNAČNÍ NÁTĚR	34
3.3.2 POLYURETANOVÝ IMPREGNAČNÍ NÁTĚR	35
3.3.3 EPOXIDOVÉ NÁTĚRY	36
3.3.4 VADY PŘI APLIKACI UZAVÍRACÍH NÁTĚRŮ	38
4 VYTVRZOVÁNÍ OCHRANNÉHO NÁTĚRU	39
4.1 INFRAČERVENÉ ZÁŘENÍ	39
4.1.1 VYTVRZOVÁNÍ NÁTĚRU INFRAČERVENÝM ZÁŘENÍM	39
4.2 ULTRAFIALOVÉ ZÁŘENÍ	40
4.2.1 VYTVRZOVÁNÍ NÁTĚRU ULTRAFIALOVÝM ZÁŘENÍM	40
5 ZKOUŠKY VLASTNOSTÍ BETONU	42
5.1 ČERSTVÝ BETON	42
5.2 ZTVRDLÝ BETON	45
B. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	51
6 METODKA ŘEŠENÍ EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI	52
6.1 VSTUPNÍ SUROVINY PRO VÝROBU BETONU	54
6.1.1 KAMENIVO	54
6.1.2 CEMENT	57
6.1.3 VODA	58
6.1.4 PŘÍSADY	58
6.1.5 UZAVÍRACÍ NÁTĚRY	58
6.2 SLOŽENÍ BETONŮ	58
7 VÝSLEDKY ZKOUŠEK	59
7.1 ZKOUŠKY ČERSTVÉHO BETONU	59
7.2 ZKOUŠKY ZTVRDLÉHO BETONU	59

7.3 STANOVENÍ NASÁKAVOSTI VLIVEM KAPILARITY.....	60
7.4 STANOVENÍ HLOUBKY PRŮSAKU TLAKOVOU VODOU.....	62
7.5 STANOVENÍ ODOLNOSTI BETONU PROTI PŮSOBENÍ VODY A CHEMICKÝCH ROZMRAZOVACÍCH LÁTEK.....	63
7.6 STANOVENÍ SOUČiniteLE PROSTOROVÉHO ROZLOŽENÍ PÓRŮ VE ZTVRDLÉM BETONU.....	65
8 ZHODNOCENÍ EKONOMICKÉHO PŘÍNOSU	66
ZÁVĚR	68
SEZNAM OBRÁZKŮ	71
SEZNAM TABULEK	72
SEZNAM GRAFŮ	73
SEZNAM PŘÍLOH	73
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	74

ÚVOD

Beton, dříve definovaný jako umělý kámen, se jako stavební materiál začal používat již kolem roku 200 př. n. l., v té době se pro výrobu pojiva používal sopečný prach, který vykazoval velmi dobré vlastnosti, zejména hydraulické. Objevením této vlastnosti a tím i betonu byly položeny základy moderního stavitelství. Z betonu se začali stavět opevnění, přístavy a stavby pro přívod vody do měst. [1]

V dnešní době je beton velice univerzální materiál, který se používá pro nosné i nenosné konstrukce. Díky jeho velice dobrým vlastnostem, vysoké životnosti a poměrně malými nároky na ošetřování se používá i pro velmi namáhané konstrukce. Ročně se ve světě vyrobí okolo 7,5 miliardy m³ betonu, to odpovídá zhruba 1 m³ na obyvatele světa.

Beton je kompozitní stavební látka, která se skládá ze směsi kameniva, cementu a vody. Jako další doprovodné suroviny se používají příměsi a přísady, kterými lze u betonu dosáhnout lepších konečných vlastností.

Za předpokladu odborného zpracování a správných poměrů použitých surovin je beton látkou, která má vynikající odolnost proti povětrnostním vlivům a stárnutí. I přes tyto skutečnosti dochází k jeho degradaci, zejména vlivem vlhkosti. Voda je reakčním médiem destruktivních fyzikálních a chemických procesů (například karbonatace, sulfatace), které se významně podílejí na znehodnocování betonových konstrukcí. [2]

Z těchto důvodů se v současné době v oblasti technologie betonu stále více rozšiřuje metoda zušlechťování povrchu pomocí uzavíracích nátěrů. V posledních letech se tato metoda využívá jak v oblasti konstrukčních betonů, tak u betonových výrobků. Nabídka hydrofobizačních, impregnačních, či filmotvorných nátěrů se na trhu neustále rozšiřuje a je to velice zajímavé téma pro výzkum.

CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce bylo shrnutí poznatků o vlivu uzavíracích nátěrů na vlastnosti betonu, zejména pak na jeho trvanlivost. V teoretické části bakalářské práce byl kladen důraz na popis degradačních vlivů působících na beton, shrnutí poznatků o uzavíracích nátěrech a popis jednotlivých druhů používaných nátěrů.

Hlavním cílem experimentální části bakalářské práce bylo vyhodnocení vlivu vybraných druhů uzavíracích nátěrů na dlouhodobou trvanlivost betonu. Ochranné nátěry byly aplikovány na povrch betonu pro stupeň vlivu prostředí XF4 a na běžný neprovzdušněný beton pro stupeň vlivu prostředí XC4, jehož struktura není primárně odolná proti působení povětrnostních vlivů. V rámci experimentu byl proveden soubor několika zkoušek, které byly následně vyhodnoceny a na závěr byl posouzen případný ekonomický přínos uzavíracích nátěrů pro betonové konstrukce.

A. TEORETICKÁ ČÁST

1 SUROVINY PRO VÝROBU BETONU

1.1 KAMENIVO

Kamenivo je zrnitý, sypký a anorganický materiál s maximální velikostí zrna 63 mm. V betonu slouží jako plnivo, zaujímá 70 - 80 % z celkového objemu a propůjčuje betonu lepší objemovou stabilitu a trvanlivost. Zrna kameniva jsou obalena cementovým tmelem a po zatvrdnutí vytváří pevnou matici, která odolává tlakovým napětím.

Vlastnosti použitého kameniva výrazně ovlivňují výsledné vlastnosti ztvrdlého betonu. Je velmi důležité sledovat obsah nežádoucích látek, jako jsou: chloridy, sírany, reaktivní silika (z důvodu alkalicko-křemičité reakce) a obsah jemných jílových a humusových podílů. [3]

Mezi nejčastější způsoby dělení kameniva patří:

- podle původu,
- způsobu vzniku,
- objemové hmotnosti,
- velikosti zrn.

ROZDĚLENÍ KAMENIVA PODLE PŮVODU

Podle původu se dělí kamenivo na přírodní, umělé a recyklované. Přírodní kamenivo se získává těžbou nebo drcením přírodních hornin. K rozkladu horniny dochází fyzikálně-mechanickým procesem přirozeného zvětrávání, nebo drcením v drtičích. Umělé kamenivo se pro získání konkrétních vlastností upravuje většinou tepelným procesem. Recyklované kamenivo se získává ze stavebního materiálu, který byl již dříve použit ve stavebních konstrukcích. [4]

ROZDĚLENÍ KAMENIVA PODLE ZPŮSOBU VZNIKU

Podle způsobu vzniku se dělí kamenivo na těžené, drcené a těžené předrcené. Těžené kamenivo je přírodní kamenivo nejčastěji fluválního (říčního), glacigenního (ledovcového), glacifluválního (říčně-ledovcového) nebo eolického (naváté větrem) původu. Jedná se o sedimentární horniny typu písků, štěrků a štěrkopísků, které vznikají zvětráváním starších hornin a následným transportem

vodou, ledovcem nebo větrem. Těžené kamenivo se vyznačuje zaoblenými tvary zrn a ohlazeným povrchem. Drcené kamenivo vzniká drcením větších kusů horniny a následným tříděním. Je charakteristické nepravidelným, ostrohranným tvarem zrn a drsným lomovým povrchem. Těžené předrcené kamenivo se získává drcením zrn těženého kameniva o velikosti zrn nad 2 mm s podílem drcených zrn nad 40 % hmotnosti. [4]

ROZDĚLENÍ KAMENIVA PODLE OBJEMOVÉ HMOTNOSTI

Podle objemové hmotnosti se kamenivo dělí na pórovité, hutné a těžké. Pórovité kamenivo má objemovou hmotnost do $2000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a z přírodních kameniv se jedná například o vulkanické tufy a tufity, pemzu nebo křemelinu. Z uměle vyráběných kameniv patří mezi pórovitá kameniva škvára, liapor, perlit, vermikulit, agloporit nebo expandit. Pórovitá kameniva se používají zejména při výrobě lehkých malt, omítkových směsí a betonů s tepelně-izolačními vlastnostmi. Většina těchto kameniv je nasákavých, k čemuž se musí přihlídnout při návrhu receptury čerstvého betonu. [4]

Hutné kamenivo má objemovou hmotnost v rozmezí $2000 - 3000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a patří sem většina těžených nebo přírodních kameniv. Z umělých hutných kameniv se používá zejména vysokopecní struska. Hutná kameniva jsou základem většiny betonů a malt, používají se i na násypy pro výrobu asfaltobetonů. [4]

Těžké kamenivo má objemovou hmotnost nad $3000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Mezi tato kameniva patří například masivní čediče, amfibolity, korund ($4000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), baryt ($4500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), magnetit a hematit (až $5300 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), rovněž se používají ocelové broky, litinová drť nebo odpady z obrábění železa. Těžká kameniva jsou základem pro výrobu speciálních těžkých betonů, které slouží zejména jako ochrana proti radioaktivnímu nebo rentgenovému záření, v energetice, lékařství a výzkumu. [4]

ROZDĚLENÍ KAMENIVA PODLE VELIKOSTI ZRN

Podle velikosti zrn kamenivo dělí na drobné a hrubé. Drobné kamenivo obsahuje velikost zrn do 4 mm a je možné dále z něho vyčlenit filer (kamennou moučku), to jsou jemné částice pod 0,063 mm. Filer vzniká jako odpadní produkt při úpravě kameniva a při návrhu receptury betonu je velice důležité sledovat obsah těchto jemných podílů. Hrubé kamenivo tvoří zrna velikosti od 4 do 125 mm.

Na základě velikosti zrna se kamenivo třídí do jednotlivých frakcí. Pojmeme frakce se rozumí rozdělení kameniva podle velikosti od dolního (d) a horního (D) síta. Frakce je množina zrn kameniva, které propadne horním sítem a zachytí se na spodním sítu a velikostní rozmezí se zapisuje ve formě d/D. Frakce se rozděluje na širokou a úzkou, široká je definována poměrem otvorů D/d větší než 2 (například 0/4, 4/16, 8/22, 0/32, 0/64) a úzká je vymezena síty s poměrem otvorů menším nebo rovným 2 (například 0/2, 2/4, 4/8, 8/16, 11/22, 32/63). [4]

1.2 CEMENT

Cement je jemně mletá prášková anorganická látka s hydraulickými vlastnostmi, která v betonu plní funkci pojiva. Po smíchání s vodou tuhne a tvrdne vlivem chemických hydraulických reakcí a po zatvrdnutí si zachovává svoji pevnost a stálost na vzduchu i ve vodě. [5]

Základní surovinou pro výrobu cementu je portlandský slínek s různými přísadami. Suroviny pro výrobu slínku lze rozdělit na základní a pomocné. Základní suroviny jsou důležité pro vznik slínkových minerálů a pomocné suroviny přidáváme do směsi pro usnadnění výrobního procesu. Proces výroby cementu se dá rozdělit na tři základní body:

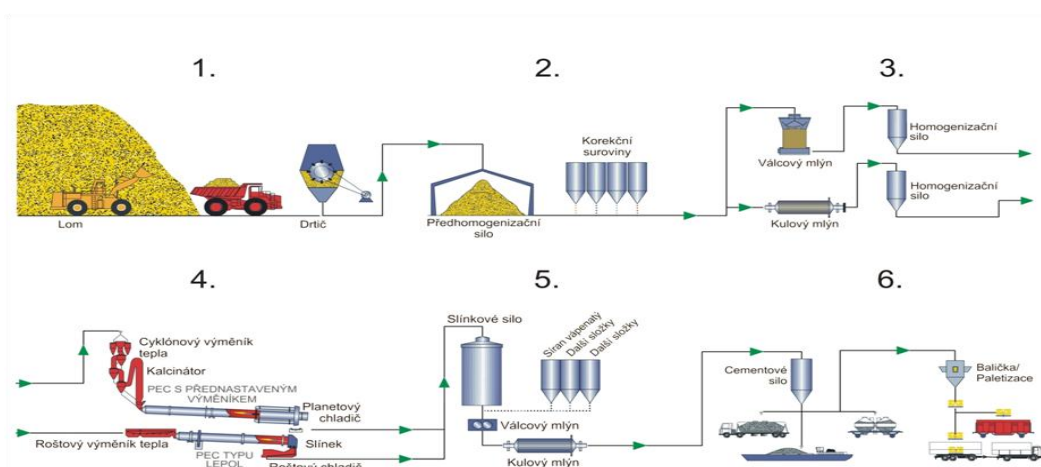
- příprava surovin,
- pálení slínku,
- mletí cementu.

Suroviny se po natěžení podrtí, předsuší a poté uloží do homogenizačních sil. Složky se homogenizují a přidávají se do nich korekční přísady. Výsledná směs se dává do surovinového mlýna, ve kterém se mele a dosušuje. [6]

K výpalu surovinové moučky dochází při teplotách 1400 - 1500 °C v rotační peci za vzniku portlandského slínku, který se poté rychle ochladí a následně umisťuje do slínkových sil, kde se nechá odležet. [6]

Poté se slínek mele v kulovém mlýně společně s přídavkem 3 - 5 % sádrovce, který v cementu funguje jako zpomalovač tuhnutí, případně s dalšími korekčními přísadami. Velikost částic cementu se pohybuje od 1 do 250 μm. Jemnost mletí cementu je posuzována podle měrného povrchu částic. Cementy vyšších tříd mívají hodnoty měrného povrchu v rozmezí 350-500 m²·kg⁻¹ a u nižších tříd se měrný povrch pohybuje v rozmezí 280-350 m²·kg⁻¹. [6]

Pomletý cement se skladuje v cementových silech, kde se čeří vzduchem z důvodu homogenizace a zvyšování jeho objemové stálosti. Cement se expeduje dvěma způsoby, buď jako volně sypaný, nebo jako pytlovaný.



Obrázek 1 - Schéma procesu výroby cementu [6]

Díky hydrataci cementu beton tvrdne a může být používán jako konstrukční materiál. Hydratace cementu je souhrn chemických reakcí cementu a vody, díky kterým přechází z plastické hmoty, která je snadno zpracovatelná do materiálu pevného a mechanicky odolného. V průběhu hydratace se uvolňuje velké množství hydratačního tepla. [3]

Během chemických reakcí mezi cementem a vodou dochází ke dvěma změnám, první je postupný pokles zpracovatelnosti čerstvého betonu do doby, kdy cementová pasta ztratí schopnost tvarování, tento proces nazýváme jako tuhnutí. Druhá změna spočívá v postupném růstu pevnosti a označuje se pojmem tvrdnutí. V praxi přechází jeden z těchto procesů plynule v druhý. Materiál se mění z kaše do pevného stavu, a nakonec je podobný hornině. [3]

Cementy se pro obecné použití rozdělují do 5 skupin:

- CEM I portlandský cement,
- CEM II portlandský cement směsný,
- CEM III vysokopecní cement,
- CEM IV pucolánový cement,
- CEM V směsný cement.

Každý typ cementu může být výrobcem dodáván v následujících třídách pevnosti: 32,5N, 32,5R, 42,5N, 42,5R, 52,5N a 52,5R. Označení určuje minimální

tlakovou pevnost cementové malty, která je vyjádřena v MPa. Pevnost se zjišťuje na trámečcích ve stáří 28 dní. [3]

1.3 VODA

Voda společně s cementem a kamenivem tvoří jednu ze tří hlavních složek při výrobě betonu. Bez použití vody by se beton nedal vyrobit, neprobíhala by hydratace cementu a nevytvořila by se tak pevná struktura betonu. Ovšem ani přebytek vody není žádaný, jelikož způsobuje zhoršení kvality betonu z hlediska pevností a trvanlivosti. Přídavek vody nám může pomoci například pro zlepšení zpracovatelnosti, to je výhodné při ukládání betonu. [3]

Ve skutečnosti nesnižuje pevnosti ani trvanlivost betonu přídavek vody, ale vysoký vodní součinitel (w/c , w - hmotnost vody, c - hmotnost cementu). Z tohoto vztahu vyplývá, že množství vody může být zvýšeno pro zlepšení zpracovatelnosti, ale současně s tím je potřeba zvyšovat i dávku cementu, aby se výsledný vodní součinitel nezměnil. [3]

Technologicky rozdělujeme vodu na záměsovou a ošetřovací. Záměsová voda se dává při mísení čerstvého betonu a ošetřovací voda se dodává po zatuhnutí betonu po dobu několika dnů pro udržení betonu ve vlhkém stavu. Vhodnost vody pro výrobu betonu závisí na jejím zdroji a z toho vyplývá její použitelnost. [5]

Zdroje vody používané do betonu mohou být:

- pitná voda - použitelná bez dalšího zkoušení,
- přírodní a povrchová voda - musí být vyzkoušená před jejím použitím,
- průmyslová odpadní voda - lze ji použít, ale musí splňovat určitá kritéria, která se kontrolují před jejím použitím,
- recyklovaná voda - používá se v uzavřeném technologickém cyklu při výrobě transportbetonu, denně se musí měřit její hustota, která nesmí přesahovat hodnotu 1010 kg/m^3 . Pro stupně vlivu prostředí XF1 - XF4 nelze použít recyklovanou vodu jako záměsovou,
- mořská voda - použitelná pro prostý beton, ale není vhodná pro vyztužený beton z důvodu vysokého obsahu chloridových iontů, díky kterým dochází ke korozi výztuže,
- splašková voda - do betonů se nesmí používat. [5]

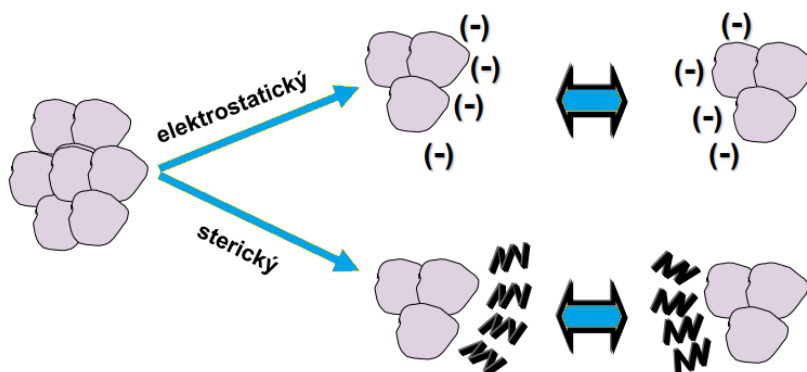
1.4 PLASTIFIKAČNÍ A SUPERPLASTIFIKAČNÍ PŘÍSADY

Plastifikační a superplastifikační přísady se používají zejména pro zlepšení zpracovatelnosti čerstvého betonu a to díky chemickým reakcím, které probíhají v čerstvém betonu po jeho zamíchání s těmito přísadami. V dnešní době se plastifikační nebo superplastifikační přísady používají při výrobě téměř všech betonů.

Základní vlastností plastifikačních a superplastifikačních přísad je zlepšení zpracovatelnosti čerstvého betonu. Přídavkem těchto přísad se snižuje potřebný obsah záměsové vody v čerstvém betonu při stejné zpracovatelnosti. Snížení vodního součinitele, má za následek zejména zvýšení pevností betonu. Zároveň se snižuje obsah cementu, výskyt smršťovacích trhlin a dotvarování betonu. V neposlední řadě se zlepšuje hutnost betonu a tím se beton stává odolnější proti působení okolního prostředí. [7]

Rozdíl mezi plastifikačními a superplastifikačními přísadami je v množství vody, které dokážou zredukovat. Plastifikační přísady redukují vodu minimálně o 10 procent, superplastifikační minimálně o 22 procent. U superplastifikačních přísad se může dosáhnout hodnoty až 35 procent redukce vody. [7]

Samotné fungování těchto přísad je založeno na dvou principech a to na elektrostatickém odpuzování a sterickém odpuzování. Principy jsou znázorněny v následujícím obrázku.



Obrázek 2 - Princip elektrostatického a sterického odpuzování částic [7]

ROZDĚLENÍ PŘÍŠAD Z CHEMICKÉHO HLEDISKA:

1. Lignosulfonany (LS) - jedná se o soli či deriváty lignosulfonanů. Vyrábí se z odpadů při výrobě celulózy, mají tmavohnědou barvu a jsou charakteristické svým dehtovým zápachem. Tyto látky dokážou redukovat potřebu záměsové vody maximálně o 15 % a dávkují se okolo 0,4 % z hmotnosti cementu. Jejich cena je velice příznivá, okolo 10 Kč/kg. Lignosulfonany mají retardující účinky (zpomalují tuhnutí), proto se hodí pro letní betonáže. Jsou velice náchylné na předávkování. [7]

2. Naftalensulfonáty (SNF) - jedná se o sulfonované naftalenformaldehydové kondenzáty. Účinnost těchto látek je až 22 % a cena za jeden kilogram je zhruba 17 Kč/kg. Dávkují se v množství okolo 0,8 % z hmotnosti cementu. Tyto přísady se řadí mezi nejlepší, jelikož nezpomalují ani neurychlují tuhnutí betonu a jejich použitím je možné do určité míry ovlivnit bleeding (krvácení) betonu. Naftalenové přísady nejsou náchylné na nepřesnosti v dávkování. [7]

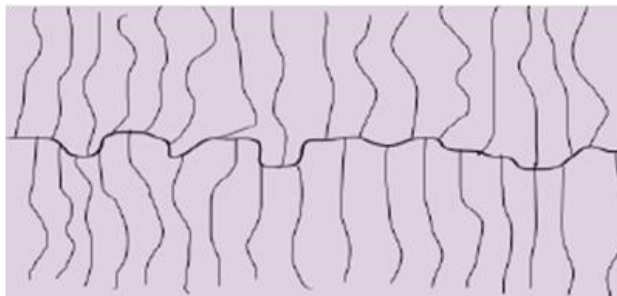
3. Melaminformaldehydy (SMF) - jedná se o sulfonované melaminformaldehydové kondenzáty, při jejichž použití je možné dosáhnout redukce záměsové vody až o 25 % a jejich dávkování se pohybuje rozmezí 0,9 až 1,3 % z hmotnosti cementu. Cena melaminů je poměrně vysoká, zhruba 35 Kč/kg, při této ceně a poměrně vysokém dávkování je jejich použití neekonomické a je podstatně omezeno. [7]

4. Polykarboxyláty (PC, PCE) - jedná se o polykarboxyláty, respektive o polykarboxylethery. Díky těmto přísadám můžeme redukovat množství záměsové vody až o 40 % a dávkují se v rozmezí od 0,8 - 1,3 % z hmotnosti cementu. Cena těchto přísad bývala poměrně vysoká, v dnešní době je však již přijatelná a jsou ekonomicky dostupné. [7]

Mezi nespornou výhodou těchto superplastifikačních přísad patří možnost upravovat jejich molekulární podobu. To znamená, že lze upravovat délky hlavního a postranních řetězců molekuly přísad a tím měnit jejich účinnost. V případě, že je hlavní řetězec dlouhý a postranní řetězce krátké, docílíme rychlého nárůstu počátečních pevností a zkrácení doby zpracovatelnosti čerstvého betonu. Naopak je-li hlavní řetězec krátký a postranní řetězce dlouhé, je docíleno pomalého nárůstu pevností a tím i prodloužení doby zpracovatelnosti. Úpravami těchto řetězců se dají vyrobit plastifikační přísady potřebné přímo na míru. [7]

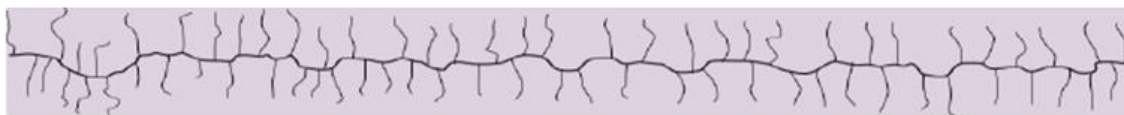
ROZDĚLENÍ KARBOXYLÁTŮ PODLE STRUKTURY ŘETĚZCE:

1. Hřebenovitý (dvojhřebenovitý) - tento typ struktury má silně ztekucující účinek, z toho vyplývá vysoká redukce záměsové vody, která se pohybuje až okolo 35 %. Napomáhají k rychlému nárůstu počátečních pevností, z tohoto důvodu jsou vhodné pro prefabrikovanou výrobu. [7]



Obrázek 3 - Hřebenovitý polymer [7]

2. Stonožkový - tento typ redukuje množství záměsové vody okolo 25 - 30 % a neurychluje nárůst počátečních pevností tolik jako hřebenovitá struktura. [7]



Obrázek 4 - Stonožkový polymer [7]

3. Hvězdicovitý - označován jako polykarboxylát nové generace. Superplastifikační přísady s hvězdicovitou strukturou jsou vhodné pro betonování v letních měsících. [7]



Obrázek 5 - Hvězdicovitý polymer [7]

1.5 PROVZDUŠŇOVACÍ PŘÍŠADY

Běžný neprovzdušněný beton obsahuje přibližně 2 % vzduchu, tato hodnota provzdušnění ovšem nepřispívá ke zvýšení trvanlivosti betonu, jelikož póry nemají vyhovující velikost a rozložení. V betonu je potřeba vytvořit strukturu účinných pórů, která zvýší odolnost proti působení mrazu a chemických rozmrazovacích látek. Potřebné jsou póry o účinných rozměrech a určitém prostorovém rozložení. Pro dosažení zvýšení obsahu pórů se používají provzdušňovací přísady, ty po zamíchání do čerstvého betonu vytváří v betonu systém bublinek. Ve ztvrdlém betonu zůstávají po vzduchových bublinkách mikropóry, které přerušují systém kapilárních pórů a snižují tím průnik vody do betonu. Mrznoucí voda se může v betonu bez následků rozpínat, čímž se zvyšuje odolnost betonu. Z pohledu chemizmu jsou provzdušňovací přísady látky, na bázi syntetických a přírodních tenzidů. [5]

Provzdušňující přísady neovlivňují pouze obsah vzduchu, ale mají vliv i na další vlastnosti betonu. Zlepšují například zpracovatelnost, čerpatelnost a stabilitu čerstvého betonu. Ve ztvrdlém stavu zlepšují zejména mrazuvzdornost, trvanlivost a odolnost proti průsaku tlakovou vodou. Zvýšený obsah vzduchu může zapříčinit snížení pevností ztvrdlého betonu, tento jev se však redukuje přidávkou plastifikačních respektive superplastifikačních přísad. [5]

Požadavky na pórovitost u provzdušněných betonů jsou následující:

- obsahu vzduchu v betonu 4 - 6 %,
- průměr pórů 0,025 - 0,3 mm,
- součinitel prostorového rozložení pórů $L < 0,200$ mm.

Typy přísad pro provzdušnění betonu:

- soli dřevěných pryskyřic,
- syntetické detergenty,
- soli sulfonovaných ligninů,
- soli proteinových látek,
- mastné a pryskyřičné kyseliny a jejich soli,
- organické soli sulfonovaných uhlovodíků.

2 TRVANLIVOST BETONU

Trvanlivost betonu je definována jako schopnost betonu odolávat působení povětrnostních vlivů, chemických látek a mechanickému poškození. Příčiny degradace betonu se rozdělují do tří hlavních kategorií - fyzikální, chemické a mechanické. Hlavním médiem poškozování betonu je voda a kyselé plyny, zejména oxid uhličitý (CO_2) a oxid siřičitý (SO_2). [8]

Základní opatření, která mají za účel ochránit konstrukci proti daným degradačním vlivům, vychází z normy ČSN EN 206+A1. Tato norma klasifikuje prostředí, ve kterých má betonová konstrukce sloužit, do šesti základních kategorií, které se nazývají stupně vlivu prostředí. Stupně vlivu prostředí jsou označovány písmenem X, za kterým následuje ještě další písmeno, podle vlivu prostředí. [9] Následující tabulka popisuje stupně vlivu prostředí společně s jejich charakteristikou.

Tabulka 1 - Stupně vlivu prostředí

Stupeň vlivu prostředí	Charakteristika prostředí	
X0	bez nebezpečí koroze nebo narušení (interiéry budov s velmi nízkou vlhkostí)	
XC1 až XC4	koroze vlivem karbonatace	
XD1 až XD3	koroze způsobena chloridy (ne z mořské soli)	
XS1 až XS3	koroze způsobena chloridy z mořské soli	
XF1 až XF4	působení mrazu a rozmrazování (s / a nebo bez působení chemických rozmrazovacích látek (CHRL))	
	XF1 a XF3	bez CHRL
	XF2 a XF3	s vlivem CHRL
XA1 až XA3	chemicky agresivní prostředí	

Jelikož se tato bakalářská práce zabývá odolností betonu proti působení povětrnostních vlivů, budou v této kapitole popsány některé degradační procesy působící na beton.

2.1 PLYNNÉ AGRESIVNÍ PROSTŘEDÍ

Mezi plyny, které mají významné degradační účinky na beton, a způsobují jeho korozi, patří zejména oxid uhličitý (CO_2) a oxid siřičitý (SO_2). Z důvodu jejich vysoké koncentrace v ovzduší a vysokému stupni agresivity. Oxid siřičitý se nenachází v ovzduší v takové míře, ale je až desetkrát agresivnější vůči betonu než oxid uhličitý. [8]

2.1.1 KARBONATACE

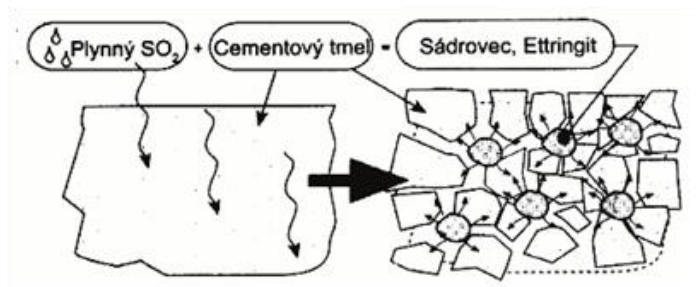
Chemický proces, který je způsobený reakcí oxidu uhličitého (CO_2) se složkami cementového tmele v betonu. Karbonatace se zpočátku projevuje mírným zvýšením pevnosti povrchové vrstvy. V průběhu reakcí dochází k neutralizaci hydroxidových iontů OH^- a tím se snižuje hodnota pH pórového roztoku. Hydroxidové ionty zajišťují vytvoření ochranné pasivační vrstvy na povrchu výztuže. Při snížení hodnoty pH pod 9,6 se pasivační vrstva poruší a může docházet ke korozi výztuže. Rychlost postupování karbonatace je závislá na mnoha faktorech, zejména na možnosti difuze CO_2 do struktury betonu a přítomnosti vlhkosti. [10]

2.1.2 SULFATACE

Koroze cementového tmele vlivem SO_2 se v počátečních stádiích téměř neprojevuje. Již malé množství korozních novotvarů, zejména v přítomnosti vlhkosti, začíná ovlivňovat mechanické a fyzikálně chemické vlastnosti cementové malty. V důsledku koroze postupně dochází k významnému snížení hodnoty pH. Úměrně k snižujícímu se množství portlanditu ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), narůstá množství korozních produktů. Na povrchu se vytvářejí výkvěty hemihydrátu a dihydrátu síranu vápenatého (CaSO_4). Vlivem uvolněné vody povrchy vzorků navlhají a tato nestálost povrchových vrstev, kde sulfatace probíhá nejintenzivněji, vede ke snížení mikrotvrdosti povrchu i pevností v tlaku. [10]

2.1.3. SULFATACE BETONU V PRAXI

V praxi sulfatace neprobíhá samostatně, do reakce vstupuje hlavně CO_2 . Dochází k takzvanému synergickému působení plynů, to se vyznačuje prolínáním etap sulfatace a karbonatace. V důsledku mnohem vyššího obsahu CO_2 ve vzduchu dochází v prvním stadiu nejprve ke karbonataci portlanditu ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Oxid uhličitý působí v hlouběji položených vrstvách materiálu, přičemž koroze SO_2 se zpočátku omezuje na jemnozrnné novotvary karbonatace v povrchových vrstvách. Další etapy karbonatace jsou provázeny následnými sulfatačními přeměnami karbonatačních novotvarů na produkty sulfatace, které jsou již charakterizovány výraznějšími objemovými změnami. Z praktického hlediska jsou, při nepříliš výrazné koncentraci SO_2 a CO_2 u hutných betonů a cementových malt, procesy velmi dlouhodobými. [10] Na obrázku je znázorněn postup sulfatace.



Obrázek 6 - Objemové změny v důsledku sulfatační přeměny C_3A na $C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ (ettringit) [10]

2.2 KAPALNÉ AGRESIVNÍ PROSTŘEDÍ

Koroze betonu probíhá nejlépe v kapalném prostředí a působení vody se dělí do tří skupin:

- nenasycené vody - vyluhují povrch betonu,
- kyselé vody - s cementovým tmelem vytváří rozpustné sloučeniny,
- síranové a chloridové vody - reakcí s cementovým tmelem vytváří látky se zvětšujícím se objemem. [10]

V následujícím textu jsou popsány principy degradace způsobené těmito vodami.

2.2.1 KOROZE HLADOVÝMI VODAMI

Pojmem hladové vody se označují nenasycené vody, tedy s nízkým obsahem solí. Tyto vody mají malou přechodnou i trvalou tvrdost a zpočátku rychle vyluhují v betonu obsažený portlandit $Ca(OH)_2$, dále již pomaleji dochází k rozkladu zhydratovaných křemičitanů a hlinitanů. Tato skutečnost vede ke snížení hodnoty pH a to má nepříznivý vliv na stabilitu některých slínkových minerálů, ale hlavně na korozi výztuže. Průběh koroze je ovlivněn mnoha faktory, záleží, zda se jedná o vodu stojatou či proudící, jestli působí pod tlakem a zda jde o vodu teplou či studenou. Řeč je o vodách z řek, rybníků a srážkových vodách. [10]

2.2.3 KOROZE KYSELÝMI VODAMI

Látky obsažené v kyselých vodách vytvářejí s cementovým tmelem snadno rozpustné často nepevné sloučeniny, které se v betonu vyluhují a porušují jeho povrch.

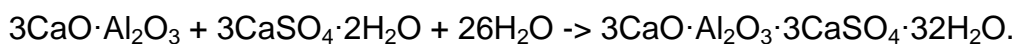
S kyselínovou korozí se setkáváme u průmyslových odpadních vod a u vod přírodních. Kysele reagují i dešťové vody, u kterých pH klesá v průmyslových oblastech až na hodnotu 3 až 4. V praxi se nejčastěji vyskytují poškození

způsobená kyselinou chlorovodíkovou (HCl), sírovou (H₂SO₄) a dusičnou (HNO₃). Kyseliny reagují především s hydroxidem vápenatým (Ca(OH)₂) a následně s hydrosilikáty a hydroalumináty vápenatými za vzniku vápenatých solí. Rychlost koroze betonu závisí zejména na rozpustnosti vápenatých solí a na chování vrstvy vzniklých korozních produktů. [11]

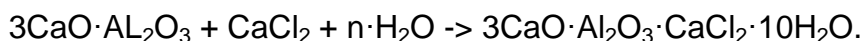
2.2.2. KOROZE SÍRANOVÝMI A CHLORIDOVÝMI VODAMI

Síranové a chloridové vody způsobují nahromadění málo rozpustných solí, které krystalizují za zvětšení objemu pevné fáze.

Síranové vody obsahují kyselinu sírovou (H₂SO₄) nebo sírany (SO₄²⁻) a působením na cementový tmel vznikají sírany vápenaté (CaSO₄). Jejich další reakcí se slínekovými minerály vzniká v cementovém tmelu ettringit (3CaO·Al₂O₃·3CaSO₄·32H₂O), který narušuje strukturu betonu, jelikož zvětšuje svůj objem až 2,27 krát. Reakce probíhá dle rovnice:



Ze skupiny chloridů je nebezpečný zejména chlorid sodný (NaCl) a chlorid hořečnatý (MgCl₂), reagující s vápenatými sloučeninami z cementového tmele za vzniku rozpustného chloridu vápenatého (CaCl₂). Reakci tohoto chloridu se slínekovými minerály lze popsat následující rovnicí:



Vzniklá chemická sloučenina, která vyvozuje vysoké krystalizační tlaky, se nazývá Friedlova sůl. [11]

2.3. DEGRADACE POVRCHU BETONU PŮSOBENÍM VODY, MRAZU A CHEMICKÝCH ROZMRAZOVACÍCH LÁTEK

Poškozování betonu cyklickým zmrazováním a rozmrazováním prostřednictvím solných roztoků způsobuje z hlediska jeho struktury povrchové poškození. Dochází k odlupování malých vloček ztvrdlého cementového tmele a tím k následnému obnažení hrubého kameniva. Tyto poruchy betonu byly poprvé identifikovány v roce 1950 v laboratorních podmínkách při různých pokusech. [12]

Eroze povrchu není analogická s poškozením betonu působícím ledem při zmrazování vody v jeho vnitřní struktuře. Při tomto jevu dochází k poruchám vznikajícím díky působení tahového napětí na stěny kapilár celého pórového

systemu. Beton není schopen přenášet tahová napětí, dochází ke vzniku trhlin, to má za následek snížení pevností v tlaku a tahu a chloridové ionty i jiné agresivní látky mají možnost snadného průniku do struktury betonu, to následně vede ke korozi výztuže a celkovému narušení betonu. [12] [13]

Poškozování betonových povrchů chemickými a rozmrazovacími látkami má za příčinu obnažení kameniva betonu, otevření celého systému betonu pro snadnější průnik agresivních činitelů a vlhkosti, které svým působením výrazně snižují celkovou životnost betonových konstrukcí a výrobků.

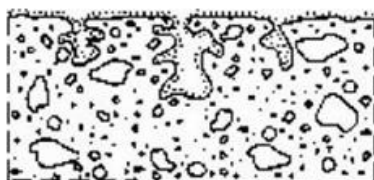
3 OCHRANA BETONU UZAVÍRACÍMI NÁTĚŘY

Životnost betonu a betonových výrobků závisí na jejich schopnosti odolávat agresivnímu prostředí a různým druhům degradace. Povrchová úprava poskytuje fyzikální a chemickou ochranu proti pronikání agresivních látek do struktury betonu. Mnoho agresivních činitelů je přenášeno vodou a vzduchem, proto jsou vlastnosti povrchové vrstvy betonu velice důležité pro trvanlivost betonové konstrukce nebo výrobků. Podle celosvětově prováděných výzkumů je ochrana povrchu betonu pomocí uzavíracích nátěrů velice efektivní způsob zlepšení kvality povrchové vrstvy. [14]

Základní rozdělení uzavíracích nátěrů definuje norma 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. [15]

Podle normy jsou nátěry rozděleny do tří skupin:

- hydrofobní impregnace,
- impregnace,
- nátěry (povlaky).



Obrázek 7 - hydrofobní impregnace [16]



Obrázek 8 - Impregnace [16]



Obrázek 9 - Nátěr (povlak) [16]

Norma uvádí pět hlavních cílů, kterých lze aplikací těchto prostředků povrchové ochrany dosáhnout:

- Prvním cílem je "ochrana proti vnikání", v tomto případě má povrchová vrstva omezit pronikání cizích látek, zejména vody. Při návrhu je potřeba zvážit skutečnost, že povrchová úprava bude bránit odpařování vlhkosti z betonu. Z tohoto důvodu se musí ochrana provést co nejdokonaleji, aby nedocházelo k hromadění vlhkosti v konstrukci.
- Druhým cílem je "regulace vlhkosti". Aplikací ochranného nátěru se snažíme snížit vlhkost betonu, jelikož voda představuje pro konstrukce z betonu korozní činitel. Chráníme tím konstrukci například proti poškození alkalicko-křemičitou reakcí nebo síranovou korozi.
- Třetím cílem je zvýšení fyzikální odolnosti povrchu konstrukce.
- Čtvrtým cílem je zvýšení chemické odolnosti. Ochranný nátěr oddělí konstrukci od agresivního prostředí.
- Pátým cílem je zvýšení elektrického odporu betonu. Dosáhnout této ochrany u reálných konstrukcí je značně problematické. Snahou je snížení vlhkosti betonu a tím omezit riziko koroze výztuže. Suchý beton má větší elektrický odpor než vlhký beton. [16] [15]

Pro výběr vhodného povrchového ochranného systému jsou rozhodující tato kritéria:

- očekávaná funkce betonového prvku nebo konstrukce,
- mechanické zatížení povrchu betonové konstrukce,
- působení zvláštních agresivních médií (například posypových solí),
- požadavky pro propustnost či nepropustnost betonu pro vodní páru podle charakteru provozu, prostředí a druhu konstrukce,
- vysoký difuzní odpor betonu vůči průniku CO_2 a SO_2 a jiných kyselinotvorných plynů,
- požadavky na vodotěsnost betonu,
- požadavky na překlenutí stabilních nebo pohyblivých trhlin v betonu. [17]

3.1 VLASTNOSTI UZAVÍRACÍCH NÁTĚRŮ

Mezi nejvýznamnější vlastnosti, které jsou použitím uzavíracích nátěrů zlepšovány, patří zejména snížení nasákavosti a kapilární vztlakovosti. Těmito přípravky lze dosáhnout snížení kapilární absorpce až v míře 90 %, v závislosti na druhu použitého nátěru. Dále pak výrazně snižují průnik oxidu uhličitého CO_2 a siřičitého SO_2 , zvyšují odolnost proti působení UV záření a biologickým vlivům, zamezují vzniku skvrn a zvyšují odolnost betonu vůči chemickému a mechanickému poškození. Vylepšením uvedených vlastností se docílí výrazného zvýšení životnosti a trvanlivost betonových konstrukcí a výrobků.

Povrchové impregnační prostředky obvykle působí dvěma mechanismy a to:

- fyzicky - vytváří pevnou fyzickou bariéru oddělující betonový povrch od nepříznivého korozního prostředí,
- obsahem reaktivních látek - reaktivní látky, obvykle určité inhibitory či pigmenty, reagují mezi sebou nebo s betonovým podkladem, čímž vytvářejí sloučeniny, které napomáhají zlepšování vlastností betonu.

Uzavírací nátěry nabývají svých vlastností po vytvrzení. Vytvrzování může probíhat samovolně na vzduchu, nebo za specifických podmínek, kterými je například vytvrzování nátěrů pomocí ultrafialového nebo infračerveného záření. [18] [19] [20]

3.2 HYDROFOBNI IMPREGNACE BETONU

Mezi jeden z nejlepších způsobů jak zabránit pronikání vody do betonu, je hydrofobizace jeho povrchu. Hydrofobizační prostředky pronikají do povrchu betonu, kde vytvářejí vrstvu s vysokým smáčecím úhlem pro vodu a tím zabraňují jejímu vnikání do struktury betonu [21].



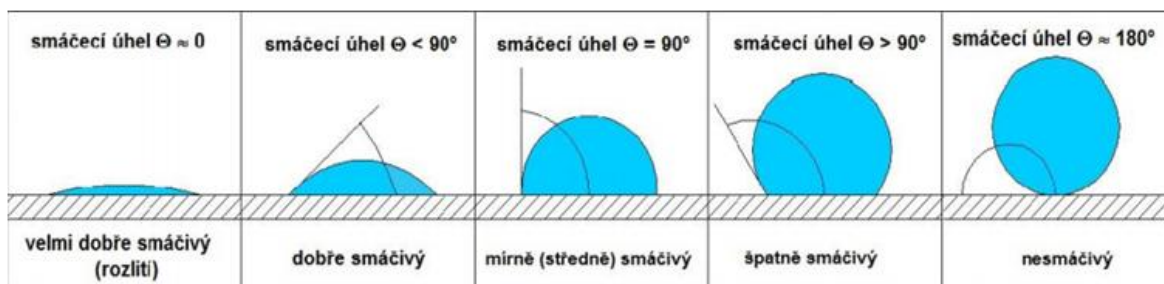
Obrázek 10 - Povrch opatřený hydrofobní impregnací [22]

3.2.1 PODSTATA HYDROFOBIZACE POVRCHU

Hydrofobizaci betonového povrchu lze dosáhnout potažením povrchu pórů hydrofobní sloučeninou. Penetrační nátěry proniknou do pórů betonu adhezivními,

Van der Waalsovými silami a při jejich aplikaci dochází k chemické reakci mezi nimi a silikátovou strukturou betonu. Vytvářejí ochranný film, který beton chrání před pronikáním vlhkosti a chemických látek. [21]

Hydrofobizační efekt závisí na zvětšení smáčecího úhlu pro vodu v pórech cementového kamene. Smáčecí úhel je tím větší, čím má látka vyšší počet uhlíků v molekule. Smáčecí úhel je označován řeckým písmenem θ a velikost úhlu charakterizuje, na jakou plochu se rozlije kapka vody. U materiálů, které mají malý smáčecí úhel θ , jako jsou například silikátové materiály, se kapka vody rozlije na velké ploše, z tohoto důvodu jsou vodou dobře smáčeny a označujeme je jako materiály hydrofilní. Naopak u materiálů s velkým smáčecím úhlem θ , se kapka vody rozlije na malé ploše, jsou tedy špatně smáčeny a označujeme je jako hydrofobní materiály. Do této skupiny patří například voskované povrchy. [22]



Obrázek 11 - Přehled smáčecích úhlů θ [22]

Voda se díky malému smáčecímu úhlu snadno dostává do struktury betonu. Opatříme-li vnitřní povrch kapilár tenkou vrstvou nátěru, který má velký smáčecí úhel, voda stěny kapilár nesmáčí a tím pádem vlhkost neproniká do betonu. Hydrofobizace tedy spočívá ve vytvoření tenké vrstvičky hydrofobizující látky na vnitřním povrchu pórů, která nezmenšuje jejich průměr. Většina hydrofobních impregnací je prodyšná, to umožňuje unikání vlhkosti z materiálu. [22] [21]

3.2.2 PŘÍPRAVKY POUŽÍVANÉ PRO HYDROFOBNI IMPREGNACE

Hydrofobní impregnace se vyrábějí v mnoha variantách, v závislosti na látce, která je použita jako rozpouštědlo:

- vodní emulze,
- mikroemulze,
- roztok v organických rozpouštědlech,
- pasta nebo krém.

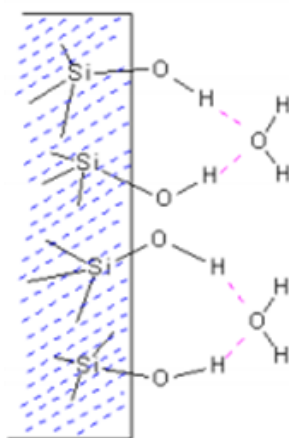
Většina přípravků používaných pro hydrofobní impregnaci povrchu betonu je vyrobena ze směsi hydrofobizujících látek a pomocných materiálů. Jedná se například o nepolární sloučeniny, které obsahují uhlíkaté řetězce. [21]

Rozdělení chemických látek používaných pro výrobu hydrofobních impregnací:

- silany - reagují se vzdušnou vlhkostí za vzniku silikonové pryskyřice,
- siloxany - reagují odpařením rozpouštědla za vzniku silikonové pryskyřice,
- vysokomolekulární polysiloxany - reagují se vzdušnou vlhkostí za vzniku silikonové pryskyřice,
- nízkomolekulární oligomerní alkylalkoxysiloxany - reagují se vzdušnou vlhkostí za vzniku silikonové pryskyřice,
- silikonové mikroemulze - reagují se vzdušnou vlhkostí za vzniku silikonové pryskyřice,
- silikonáty - reagují s vzdušným oxidem za vzniku silikonové pryskyřice. [22]

SILANY

Silany jsou někdy označovány také jako alkoxy silany. Po chemické stránce se jedná o nehydrolyzované silany (estery kyseliny křemičité). Jako rozpouštědla silanů se používají bezvodé alkoholy a alifatická rozpouštědla, ale vyrábějí se též ve formě vodní emulze. Silany reagují se vzdušnou vlhkostí za vzniku gelu kyseliny křemičité, který má kromě hydrofobizace i tu vlastnost, že zpevňuje povrch betonu. Silany velmi dobře penetrují a vytvářejí chemické vazby na povrchu křemenných zrn, z tohoto důvodu se nedají z povrchu odstranit. [23]



Obrázek 12 - Mechanismus působení silanů [22]

SILOXANY

Siloxany jsou též označovány jako alkoxy siloxany a patří mezi nepoužívanější hydrofobní přípravky. U siloxanů se jako rozpouštědlo nejčastěji používá lakový benzín a obsah siloxanové pryskyřice se pohybuje v rozmezí 3 - 8 %. Jedná se o přípravky jednosložkové, a jelikož jsou pryskyřice rozpuštěné v lakovém benzínu, nemůžeme tyto impregnace používat na vlhké nebo mokré povrchy. Siloxanové nátěry jsou dobře obnovitelné, lze jimi impregnovat již dříve hydrofobizované povrchy a díky rozpustnosti tohoto nátěru, je možné ho odstranit odstraňovačem nátěrů. [22] [24]

POLYSILOXANY

Jedná se o roztoky polysiloxanových pryskyřic převedených do vodní emulze. Polysiloxanové hydrofobizační přípravky jsou vodou ředitelné a díky tomu je lze nanášet na vlhké povrchy. Hydrofobní efekt se u nich vytváří po odpaření vlhkosti. Pro výrobu polysiloxanů se používají emulgátory, které se vyplavují z polymerního filmu, takže konečná hydrofobní ochrana působí až po určitém čase. Polysiloxanové impregnace vytvářejí na povrchu betonu velice tenkou vrstvu ochranného filmu, který je velice tvrdý, ale zároveň křehký. [22] [25]

NÍZKOMOLEKULÁRNÍ OLIGOMERNÍ ALKYLALKOXYSILOXANY

Nízkomolekulární oligomerní alkylalkoxysiloxany se vážou chemicky na povrch křemenných zrn, a proto jsou velice vhodné pro ochranu silikátových materiálů (cementových a betonových výrobků). Vazba impregnace na křemenná zrna zvyšuje odolnosti povlaku proti oděru, ale zároveň tato vazba znemožňuje nátěr odstranit z povrchu. Většinou se jedná o jednosložkové prostředky, které vlivem vzdušné vlhkosti samovolně polymerují. Z výše uvedených hydrofobní impregnací nejvíce pronikají do povrchu materiálu. Na trhu se objevují ve formě pasty nebo krému a nejčastěji se aplikují na čerstvý beton. Použitím tohoto nátěru ve formě pasty nebo krému se dosahuje větší hloubky proniknutí přípravku do struktury betonu. [22]

SILIKONOVÉ MIKROEMULZE

Silikonové mikroemulze jsou nízkomolekulární silikonové sloučeniny, které po smíchání s vodou vytvářejí vodní emulzi. Nespornou výhodou těchto přípravků je jejich mísitelnost s vodou, nemusejí se tak používat organická rozpouštědla. [22]

SILIKONÁTY

Jedná se o hydrofobizující sloučeniny, které reagují s oxidem uhličitým za vzniku gelu kyseliny křemičité, který je nerozpustný a z tohoto důvodu se nátěr nedá odstranit v povrchu. Po chemické stránce jde o metylsilikonáty sodné nebo draselné. Negativní vlastností přípravků na bázi silikonátů je, že při reakci s oxidem uhličitým se uvolňuje hydroxid sodný nebo draselný, který přechází na uhličitán sodný nebo draselný, které mohou být příčinou vzniku nežádoucích výkvětů. Výkvěty se nejčastěji tvoří, pokud je nátěr aplikován při nízkých teplotách a způsobují vizuální znehodnocení betonových výrobků. [22]

V následující tabulce (Tabulka 2) jsou shrnuty typy a vlastnosti přípravků používaných pro hydrofobní impregnace.

Tabulka 2 - Přehled používaných přípravků pro hydrofobní impregnaci [22]

Aktivní složka skupiny	Aktivní složka	Použité rozpouštědlo	Použití	Nevhodné použití
silany	nehydrolyzovaný silan (nízkomolekulární alkylalkoxysiloxan)	alkohol (isopropanol)	beton, kámen, omítky, keramické obklady, sádra	materiály citlivé na rozpouštědla (polystyren, asfalt, asfaltové střešní krytiny, polymerové živice)
	-	alifatická rozpouštědla	beton, kámen, omítky, keramické výrobky	
	octyltrietoxysilan	vodní emulze	beton, kámen, omítky, cihly, pórobeton, lehký beton, sádra	-
siloxany	alkylalkoxysiloxany	alifatická rozpouštědla	beton, kámen, omítky, keramické výrobky, sádra	-
polysiloxany	alkoxy polysiloxany	vodní mikroemulze, vodní emulze	beton, cihly, omítky, kámen, sádra	koncentrát musí být naředěný vodou
směs oligomerů	nízkomolekulární oligomerní alkylalkosiloxany	vodní emulze	beton, kámen, omítky, cihly, pórobeton, lehký beton, sádra	-
silikonové pryskyřice	polymerní siloxany	vodní emulze	beton, kámen, omítky, cihly, pórobeton, lehký beton, sádra	-
silikonáty	methylsilikonáty sodné nebo draselné	vodní roztok	beton, omítky, cihly, vlhké povrchy	nátěr je neodstranitelný, nevhodný pro památkové objekty

3.2.3 PROVÁDĚNÍ HYDROFOBNIÍCH IMPREGNACÍ

Při aplikaci hydrofobních impregnací se musí dbát zejména na čistotu povrchu, na který bude impregnace nanášena. Ve většině návodů se uvádí, že přípravky se mohou nanášet od teploty +3 °C, ale doporučené rozmezí teplot je od +10 °C až +25 °C. Při nižších teplotách je odpařování rozpouštědla velmi pomalé a tím se zpomaluje vytvrzování silikonové pryskyřice, při vysokých teplotách se snižuje hloubka průsaku impregnace do betonového povrchu a tím dochází ke snížení účinnosti ochrany. Natřené povrchy je nutné do doby, než dojde k zatvrdnutí, chránit před deštěm a silným větrem. Přípravky na bázi vodní emulze vyžadují delší ochranu než přípravky na bázi rozpouštědla, které schnou rychleji.

Hydrofobní impregnace se na povrch aplikují nátěrem, nástřikem, poléváním nebo ponorem. Kvalita ochrany závisí na míře nasycení ošetřovaného povrchu, to znamená na hloubce penetrace přípravku do struktury betonu. Dobře provedená impregnace by měla proniknout do hloubky 2-4 mm, u betonů a betonových výrobků vystavených působení posypových solí se doporučuje 6 až 8 mm. Při větší hloubce penetrace nátěr vykazuje větší odolnosti proti působení UV záření. [22] [26]

3.2.4 VADY PŘI APLIKACI HYDROFOBNIÍCH IMPREGNACÍ

Mezi nejčastější závady při provádění hydrofobních impregnací, patří nanesení silné vrstvy přípravku, kvůli které dochází k vytvoření lesklých ploch a ke vzniku nažloutlých skvrn. K zabránění výskytu této vady je nutné setřít přebytečný přípravek během nanášení.

U hydrofobních přípravků je uváděno, že jsou paropropustné. Toto tvrzení však není u všech typů přípravků zcela pravdivé. Například u silikonátů dochází k zúžení kapilár a tím k nepropustnosti povrchové vrstvy. Před samotnou aplikací je potřeba zjistit, jak tyto přípravky ovlivňují difuzní odpor povrchu betonu.

Další častou závadou při provádění hydrofobních impregnací je nanesení přípravku na materiál, který obsahuje vodorozpustné soli. Migrací roztoků solí za vodoodpudivou vrstvu, dochází ke vzniku takzvané vnitřní koroze, která je špatně odhalitelná a její účinek se projeví až v okamžiku porušení povrchové vrstvy. Vnitřní korozi způsobuje odpařování povrchové vody, tím dochází ke zvyšování koncentrace solí pod ochrannou vrstvou, vznikající krystaly solí se zde hromadí a hrozí odtrhnutí celé vrstvy. [22] [26]

3.2.5 ZHODNOCENÍ VLASTNOSTÍ HYDROFOBNIÍCH IMPREGNACÍ

Impregnace obvykle poskytují neviditelnou ochranu bez změny vzhledu povrchu. Většina z nich je prodyšná, to umožňuje unikání vlhkosti z materiálu. Nejčastěji se používají ve venkovním prostředí, díky jejich vynikající ochraně před těžkými podmínkami. Zejména pro venkovní plochy jako příjezdové cesty a chodníky, kde je důležitá dobrá přilnavost, jsou výhodnější volbou než filmotvorné prostředky, jako je například akryl nebo polyuretan. Nespornou výhodou hydrofobních impregnací je, že nezanechávají lesklý film na povrchu konstrukce a to snižuje skluznost povrchu betonu. Hydrofobizací povrchu se sníží nasákavost až o 75 - 95 %. [26]

3.3 NÁTĚRY (LAKY)

3.3.1 AKRYLÁTOVÝ IMPREGNAČNÍ NÁTĚR

Akrylát, neboli polymerthylmetakrylát, se řadí do skupiny, kterou nazýváme akrylátové polymery. Objevení a výroba těchto polymerů se datuje na počátek 20. století v Německu. Pozměněním struktury polymeru je možné vytvořit celou řadu materiálů s různými vlastnostmi. Vzhledem k této skutečnosti jsou akrylátové polymery rozšířeny v mnoha formách, jako disperze, granuláty, předpolymery, či hotové výrobky. Akrylátové disperze jsou používané ve formě nátěrového prostředku, který ošetřuje a chrání povrchy materiálů. Lze je kombinovat s polyuretany, alkydy a mnoha dalšími prostředky. [27]

Akrylátové impregnační nátěry jsou k dispozici ve dvou variantách:

- na bázi rozpouštědla,
- na bázi vodní disperze.

Akrylátové hmoty jsou vhodné pro projekty, kde je důležitá snadná aplikace a ekonomická hospodárnost. Používají se ve vnitřním i vnějším prostředí a na betonu vytvoří tenkou ochrannou fólii, která poskytuje výbornou ochranu proti pronikání vody a chloridů a zároveň umožňují unikání vlhkosti z konstrukce. Při působení UV záření nežloutnou a jsou k dispozici v řadě úrovní lesku. Použití akrylátů je výhodné pokud, je vyžadována rychlá aplikace, jelikož jsou do hodiny na dotyk suché. [26]

Akrylátové nátěry jsou obvykle mnohem tenčí než polyuretanové a epoxidové, takže se rychle opotřebovávají a vyžadují pravidelnou údržbu. Na vnitřních

plochách vyžadují opatření několika vrstvami vosku, aby se zabránilo opotřebovávání.

Akrylátové přípravky založené na rozpouštědlech obecně fungují lépe, než výrobky na bázi vody.

Nátěr se nanáší pomocí válečku nebo nástřiku. Důležité je, aby byly laky nanášeny v tenkých vrstvách a zároveň nedocházelo k jejich popraskání. I při nanášení povlaku ve dvou vrstvách by měla být celková tloušťka ochrany maximálně 1 až 2 mm. [26]

3.3.2 POLYURETANOVÝ IMPREGNAČNÍ NÁTĚR

Polyuretan byl vyvinut již počátkem 20. století v Německu a od této doby se jeho používání neustále rozšiřuje. Hlavní výhodou tohoto elastomeru je fakt, že se dá upravovat jeho chemické složení a tím připravit velké množství druhů polyuretanů se specifickými vlastnostmi. Mezi základní vlastnosti polyuretanů patří zejména vysoká elasticita, výborná odolnost proti oděru, odolnost proti znečištění, stálost v ropných i olejových produktech a poměrně vysoká pevnost. [18] [20]

Polyuretanový systém vzniká chemickou reakcí polyisokyanátových složek s vícemocnými alkoholy za vzniku karbamátové vazby. Součástí těchto reakcí jsou zpravidla také katalyzátory a prodlužovače řetězců. [20]

Polyfunkční izokyanáty používané pro výrobu mohou být ve své struktuře aromatické, alifatické, cykloalifatické nebo polycyklické. Nejčastěji využívanými izokyanáty jsou aromatické z důvodu nejvyšší míry reaktivity. Výsledné vlastnosti polyuretanu se odvíjí v závislosti na použitém izokyanátu.

Katalyzátory se přidávají z důvodu, aby reakce probíhala vyšší rychlostí za nižších teplot. Nejčastěji používanými katalyzátory jsou terciální aminy, trethylaminy a sloučeniny cínu.

Mezi prodlužovače řetězců patří nejčastěji vícemocné alkoholy. Přidávají se do reakce kvůli své schopnosti pozměňovat chemické sloučeniny pomocí obsahujících reaktivních skupin. [18]

Polyuretany se vytvrzují vzdušnou vlhkostí, na kterou jsou velice citlivé a pokud není nádoba s nátěrem řádně utěsněna, dochází ke znehodnocení hmoty. Při aplikaci nátěru musí být velká pozornost věnována tomu, aby nebyla na povrchu betonu přítomna voda. V případě přítomnosti vlhkosti se spustí chemická

reakce, která vede ke vzniku bublin a pění, zároveň tyto nátěry neumožňují, aby z betonu unikala vlhkost. [26]

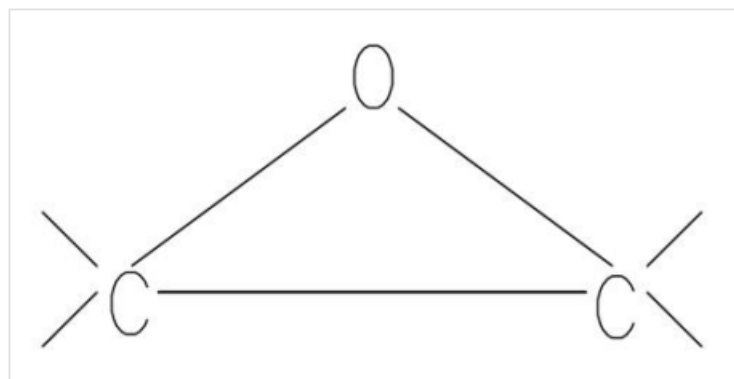
Polyuretanové těsnící nátěry jsou po aplikaci téměř dvakrát tlustější než akrylátové tmely a na betonovém povrchu vytvářejí silnou ochrannou fólii, která poskytuje vynikající odolnost proti oděru a chemikáliím. Na trhu jsou k dispozici variantách založených na bázi rozpouštědla nebo vody. Vyrábějí se v řadě úrovní lesku, konečná povrchová úprava je průhledná a při působení UV záření nežloutnou. Vhodné jsou pro použití na beton do exteriérů i interiérů. Nejčastěji jsou tyto hmoty aplikovány na podlahy s vysokým provozem, z důvodu výborné odolnosti proti oděru.

Polyuretanové nátěry vyžadují při aplikaci větší pozornost na výběr aplikačního zařízení ve srovnání s jednokomponentními nátěry, jako jsou například akryláty. Nanášení pomocí zahradního postřikovače není v tomto případě možné, z důvodu nedostatečného tlaku potřebného pro dosažení tenkého, rovnoměrného rozprostření nátěru. Pro kvalitní nanášení těsnící hmoty se používají zejména vysokotlaké postřikovače, další možností jsou mikrovláknové mopy. [26]

3.3.3 EPOXIDOVÉ NÁTĚRY

Epoxidované pryskyřice se objevily na trhu v polovině 20. století a od té doby se jejich využití rozšířilo do celé řady odvětví díky schopnosti pozměňování chemické struktury, a tím vytváření široké škály materiálů se specifickými vlastnostmi. [28]

Epoxidové pryskyřice jsou charakteristické svým chemickým uspořádáním atomů ve formě kruhu, který obsahuje tři členy, známé jako epoxid a epoxidová nebo ethylenová skupina. Jedná se o étery s cyklickým uspořádáním atomů v kruhu, díky kterým dosahuje molekula vysokého kruhového napětí. Vzhledem k tomuto napětí jsou epoxidy velice reaktivní. Pokud se nachází v syntetickém polymerním materiálu určité množství volných, nezreagovaných epoxidových článků, označuje se jako epoxidová pryskyřice, polyepoxid či jen epoxid. [28]



Obrázek 13 - Kruhové uspořádání molekuly epoxidu

Epoxidové látky se vyznačují celou řadou vlastností, mezi které patří vysoká chemická a korozní odolnost, dobré mechanické, tepelné a elektrické vlastnosti a zejména vysoká míra přilnavosti k různým povrchům. Řadu dalších kladných vlastností, jako jsou například chemická a tvarová stálost, tepelná odolnost a tvrdost, získávají epoxidové látky po vytvrzení. Díky možnostem pozměnění chemické struktury se tyto látky využívají v celé řadě průmyslových odvětví. Vzhledem ke svým vlastnostem jsou využívány zejména pro výrobu nátěrů, laků a v konstrukčních aplikacích, jako je výroba různých laminátů a kompozitů. [28]

Epoxidové těsnicí prostředky vytvářejí na betonovém povrchu vysoce odolnou ochrannou vrstvu, kterou betonu poskytují dlouhodobou, tvrdou a oděruvzdornou povrchovou ochranu. Zároveň jsou velice vodotěsné.

Na trhu jsou k dispozici jako čiré nebo barevné a většina z nich se vyznačuje lesklým povrchem. Epoxidové nátěry jsou mnohem tvrdší než akrylátové. Epoxidy na bázi vody se dobře spojují s povrchem betonu a poskytují mu jasný vzhled. Mezi zápornou vlastnost těchto nátěrů patří to, že jsou neporézní a neumožňují tak unikání vlhkosti z betonu.

Použití epoxidových nátěrů je obecně omezeno jen pro použití v interiéru, z důvodu, že při působení UV záření žloutnou. Hodí se pro použití u podlah s vysokým provozem.

Většina epoxidů jsou dvousložkové produkty, které se před aplikací smíchávají, jakmile se směs epoxidů smíchá, musí se rychle aplikovat, protože začne rychle tvrdnout. Vzhledem k vysoké viskozitě se používá pro jejich nanášení stěrka a povrch se následně zarovná válečkem bez vláken. [26]

3.3.4 VADY PŘI APLIKACI UZAVÍRACÍCH NÁTĚRŮ

- **TRHLINKY A PUCHÝŘE** - tyto vady vznikají na povrchu nátěru pohybem plynů nebo vodních par nevyzrálým materiálem. Puchýře sou zapříčiněny hromaděním plynu pod částečně vytvrzenou vrstvou nátěru, to způsobuje odchlípnutí nátěru od podkladu v místě výskytu plynové kapsy. Rozpínání plynů a vlhkosti v betonu může být způsobováno mnoha faktory, například vysokou teplotou při nanášení nátěru nebo důsledkem působení slunce na konstrukci.
- **ZTRÁTA VLASTNOSTÍ POVRCHOVÉ OCHRANY** - dochází-li při nanášení povrchové ochranné vrstvy k příliš rychlému odpařování rozpouštědla, nemusí se ochranný nátěr dostatečně vsáknout do povrchu betonu. Tyto poruchy vznikají například působením vysokých teplot nebo větru.
- **PORUŠENÍ PŘÍDRŽNOSTI** - trvanlivost a kvalita povrchové vrstvy se odvíjí zejména od přídržnosti nátěru k povrchu betonu. Není-li povrch před nanášením prostředků připraven v předepsané kvalitě, může docházet k odchlípnutí nátěru. Mezi nejčastější příčiny narušení soudržnosti betonu a nátěru patří nedostatečné očištění povrchu, mokrý povrch při nanášení či nedostatečná nebo nesprávná aplikace penetrace před nanesením vrstvy nátěru.
- **PORUŠENÍ SOUDRŽNOSTI MEZI VRSTVAMI NÁTĚRU** - při aplikování vícevrstvých nátěrů může docházet k oddělení jedné vrstvy od druhé. Příčinou tohoto druhu vad je nejčastěji nedodržení intervalu vytvrnutí nátěru mezi nanášením jednotlivých vrstev, nebo pokud je povrch znečištěn.
- **PORUŠENÍ SOUDRŽNOSTI UZAVŘENÍM VLHKOSTI** - dochází-li uvnitř betonu k hromaděni vlhkosti pod povrchovou ochrannou vrstvou, může se vytvářet tlak, který je dostatečně velký k porušení soudržnosti ochranného nátěru. Za příčiny se považuje vlhkost betonu, tlak nasycených par vlivem změn teplot, růst ledových krystalků nebo tvorba krystalků soli.
- **VZNIK TRHLIN V POVRCHOVÉ ÚPRAVĚ** - v místě, kde nátěr překrývá trhlinu v povrchu betonu, u kterých dochází k pohybu, se mohou v naneseném ochranném prostředku začít vyskytovat trhliny. Překročí-li napětí v povrchovém materiálu mez pevnosti v tahu, nastane porušení. [17]

4 VYTVRZOVÁNÍ OCHRANNÉHO NÁTĚRU

V dnešní době se stále více využívá ochranného nátěru a jeho následného vytvrzování. Vytvrzování může probíhat samovolně na vzduchu, tento jev označujeme spíše jako sušení. Mezi další používané metody pro vytvrzování ochranného nátěru patří ultrafialové nebo infračervené záření. Působením těchto procesů dochází ke změně vnitřní struktury laku a tím se dosahuje zlepšení výsledných vlastností upravovaného povrchu.

4.1 INFRAČERVENÉ ZÁŘENÍ

Infračervené záření je oblast spektra elektromagnetického záření, u kterého se pohybují vlnové délky v rozmezí od 700 nanometrů do 1 milimetru. Délky infračervených vln jsou delší než viditelné světlo, ale kratší než radiové vlny. V závislosti na tomto jevu jsou frekvence infračerveného záření vyšší než frekvence mikrovln, ale nižší než frekvence viditelného světla v rozmezí 300 GHz - 400 THz. [29]

Jedná se o tepelné záření, bez ohledu na to, jak toto teplo vzniká. Jakékoliv těleso, jehož teplota je vyšší než absolutní nula (-273 °C), vyzařuje energii ve formě elektromagnetického záření. Délka vlnového záření se určuje podle teploty vyzařujícího objektu. Setkáním infračervených paprsků na povrchu jiných objektů propouští obsaženou energii ve formě tepla.

Nejlepším příkladem infračerveného záření je slunce, které vyzařuje energii o různých vlnových délkách. S rychlostí světla pronikají sluneční paprsky do chladných prostorů a zahřívají zemský povrch. V noci se země ochlazuje, tím se uvolňuje teplo ve formě infračerveného záření. Dostanou-li se paprsky infračerveného světla na povrchovou plochu, energie záření se adsorbuje a přeměňuje na teplo. [30]

4.1.1 VYTVRZOVÁNÍ NÁTĚRU INFRAČERVENÝM ZÁŘENÍM

Použitím technologie vytvrzování ochranného prostředku dochází vlivem zvýšené teploty k rychlému odpařování disperzního prostředí laku. Tento proces vytvrzování se vyznačuje přibližováním, spojováním a tvrdnutím účinných součástí nátěru. Na povrchu betonu se vytvoří vrstva, která má výborné fyzikálně-mechanické a fyzikálně-chemické vlastnosti a chrání tím beton proti působení škodlivých vlivů. [31]

4.2 ULTRAFIALOVÉ ZÁŘENÍ

Ultrafialové záření (UV - pochází z anglického ultraviolet) je elektromagnetické záření o kratší vlnové délce než má viditelné světlo, ale delší než rentgenového záření. Pro člověka je neviditelné. Zdrojem UV záření jsou tělesa zahřátá na vysokou teploty. Přírodním zdrojem UV záření je slunce a umělým například elektrický oblouk nebo speciální výbojky naplněné párami rtuti. Draselné sklo UV záření pohlcuje, proto se výbojky musí zhotovovat ze skla křemenného. Atmosféra silně pohlcuje ultrafialové záření, to zde způsobuje ionizaci vzdušného kyslíku a tento jev je příčinou vzniku ozonu. [32] [33]

Jako oblast elektromagnetického spektra se UV záření rozděluje podle vlnové délky. Dělení je znázorněno v tabulce.

Tabulka 3 - Rozdělení ultrafialového záření dle vlnové délky [32]

Název	Zkratka	Vlnová délka [nm]
Blízké UV záření - dále dělíme na: <ul style="list-style-type: none">• dlouhovlnné• středněvlnné• krátkovlnné	NUV	400 - 200
	UVA	400 - 320
	UVB	320 - 280
	UVC	< 280
Hluboké ultrafialové záření	DUV	< 300
Daleké ultrafialové záření	FUX, VUV	200 - 10
Extrémní (hluboké) ultrafialové záření	EUV, XUV	31 - 1

4.2.1 VYTVRZOVÁNÍ NÁTĚRU ULTRAFIALOVÝM ZÁŘENÍM

Procesy , reakce a transformace, které jsou spojené s přechodem použitého tekutého laku do pevného stavu je jev, který označujeme jako vytvrzování. Sušení laků v průmyslu se liší rychlostí, to znamená časem potřebným pro změnu z kapalné formy na pevnou. Vytvrzování ultrafialovým zářením je nejrychlejší existující proces sušení. [34]

UV barvy obsahují takzvané fotoiniciátory, které reagují pouze se specifickou energií (fotony). Nejsou-li k dispozici tyto energetická svazky, neprobíhají žádné chemické reakce.

Vytvrzování pomocí ultrafialového záření probíhá zářením o vlnové délce 200 - 400 nm, které označujeme UVA, UVB a UVC. Hodnoty vlnové délky jsou velice důležité pro vytvrzování UV laků, protože hloubka průniku UV záření je závislá na jeho vlnové délce. Krátkovlnné UVC záření je nejméně pronikavé a nedá se tak použít při tloušťce laku vyšší než 100 μm . Naopak dlouhovlnné UVA záření dokáže proniknout přes velmi tlustou vrstvu filmu a je schopné vytvrdit lak přes

více vrstev, proto se UVA záření nejčastěji používá právě pro vytvrzování UV laků. [34]

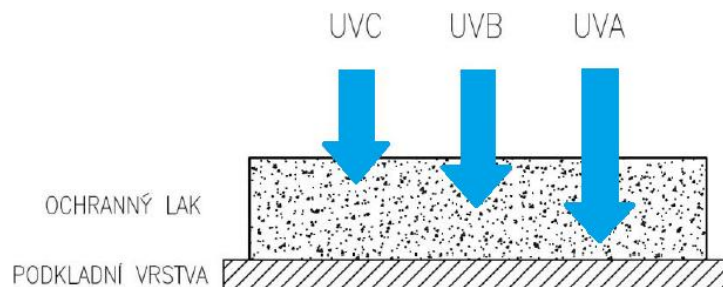
Je důležité, aby při vytvrzování UV zářením došlo k vytvrzení až do základu, z důvodu dosažení vazby mezi povrchem a lakem. Použitím záření o nižší energii vede k nedostatečnému vytvrzení, a to způsobuje takzvané vločkování povrchu laku. Naopak použitím záření o příliš vysoké energii by mohlo dojít k vytváření napětí v laku a tím k jeho popraskání. [34]

Kvalita vytvrzeného povrchu ultrafialovým zářením je závislá na:

- výkonu UV lampy,
- stáří UV lampy,
- vzdálenosti UV lampy od povrchu,
- geometrii reflektoru,
- reflexní kapacitě UV reflektoru.

Rozdělení používaných UV lamp dle typu žárovek:

- rtuťové lampy (hg lampy) - rtuťové výbojky bez doppingu,
- D lampy, F nebo Fe - železem dopované rtuťové výbojky,
- Ga lampy - galiem dopované rtuťové výbojky. [34]



Obrázek 14 - Schéma hloubky penetrace UV záření

Povrchy zušlechtnuté pomocí UV záření jsou extrémně nenáročné na údržbu. Výbornou vlastností je, že nečistoty nevnikají do betonu, ale zůstávají na jeho povrchu. Pokud je vrstva znečištěného nátěru znečištěna, dá se znečištění snadno a efektivně odstranit. Nečistoty se čistí vodou a kartáčem nebo je možné použít čistič s tlakovou vodou o tlaku do 100 bar. Povrchy opatřené dvojitou vrstvou laku vytvrzeného UV zářením jsou absolutně nenasákavé, chrání povrch betonu před blednutím barev, jsou vysoce odolné proti oděru a celkově prodlužují dlouhodobou životnost betonových konstrukcí a výrobků. [35]

5 ZKOUŠKY VLASTNOSTÍ BETONU

5.1 ČERSTVÝ BETON

ZPRACOVATELNOST ČERSTVÉHO BETONU

Pro stanovení zpracovatelnosti čerstvého betonu se používají metody zkouška sednutím, zkouška VeBe, zkouška stupně zhutnitelnosti a zkouška rozlitím dle ČSN EN 12350. Zkoušky stupně zhutnitelnosti a VeBe se nepoužívají pro provzdušněné betony, jelikož jsou určeny pro neprovzdušněné betony s nízkým vodním součinitelem.

Zkouška sednutí se provádí dle ČSN EN 12350 - 2, Zkoušení čerstvého betonu - Část 2: Zkouška sednutím. Při zkoušce sednutím se používá pro přípravu zkušebního tělesa tuhá kovová forma v tvaru komolého kužele (Abramsův kužel o rozměrech: $h = 300 \pm 2$ mm, $d_s = 200 \pm 2$ mm, $d_h = 100 \pm 2$ mm). Forma se pevně zafixuje k podložce, naplní se rovnoměrně ve třech vrstvách a každá vrstva se zhutní 25 vpichy. Po naplnění se odstraní násypka a horní okraj se zarovná. Abramsův kužel se zvedne svislým tahem směrem od podložky v průběhu 2 až 5 sekund. Ihned po zvednutí se změří výška sednutí kužele oproti výšce formy a výsledná hodnota se zaokrouhlí na nejbližších 10 mm. Celá zkouška musí trvat maximálně 150 sekund. [36]

Výsledkem zkoušky je zatřídění betonu do třídy sednutí, které jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 4 - Stupně sednutí

Stupeň	Sednutí [mm]
S1	10 - 40
S2	50 - 90
S3	100 - 150
S4	160 - 210
S5	> 220

Zkouška rozlitím se provádí dle ČSN EN 12350 - 5, Zkoušení čerstvého betonu - Část 5: Zkouška rozlitím. Při zkoušce rozlitím se používá pro přípravu zkušebního tělesa tuhá kovová forma ve tvaru komolého kužele ($h = 200 \pm 2$ mm, $d_s = 200 \pm 2$ mm, $d_h = 130 \pm 2$ mm). Forma se pevně zafixuje k horní desce střešacího stolku a naplní se ve dvou rovnoměrných vrstvách, přičemž každá vrstva se 10 krát zhutní dusadlem. Po odstranění formy se 15 zdvihy horní desky stolku dosáhne rozlití betonu a poté se změří ve dvou kolmých směrech největší rozměr rozlití betonu a zaokrouhlí se na nejbližších 10 mm. Při této zkoušce se též posuzuje riziko segregace betonu, pokud k ní dojde, je zkouška pro tento typ betonu nevyhovující.

[37] Výsledkem zkoušky je zatřídění betonu do třídy rozlití, které jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 5 - Stupně rozlití

Stupeň	Rozlití [mm]
F1	< 350
F2	350 - 410
F3	420 - 480
F4	490 - 550
F5	560 - 620
F6	> 630

OBJEMOVÁ HMOTNOST ČERSTVÉHO BETONU

Zkouška objemové hmotnosti čerstvého betonu se provádí dle ČSN EN 12350 - 6, Zkoušení čerstvého betonu - Část 6: Objemová hmotnost čerstvého betonu. Používá se kovová dostatečně tuhá těsná nádoba, jejíž nejmenší rozměr musí být nejméně čtyřnásobkem největší jmenovité velikosti zrna hrubého kameniva, minimálně však 150 mm a její objem nesmí být menší než 5 litrů.

Zváží se hmotnost prázdné nádoby, která se naplní betonem nejméně ve dvou vrstvách, každá vrstva se dokonale zhutní, a poté si zváží hmotnost plné nádoby. Výsledná objemová hmotnost D se zaokrouhlí na nejbližších $10 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. [38]

Objemová hmotnost čerstvého betonu se vypočítá podle vzorce:

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$$

kde:

m_2 ... hmotnost plné nádoby [kg]

m_1 ... hmotnost prázdné nádoby [kg]

V ... objem nádoby [m^3]

D ... objemová hmotnost čerstvého betonu [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

OBSAH VZDUCHU V ČERSTVÉM BETONU

Zkouška stanovení obsahu vzduchu v čerstvém betonu se provádí dle ČSN EN 12350 - 7, Zkoušení čerstvého betonu - Část 7: Obsah vzduchu - Tlakové metody. Pro stanovení obsahu vzduchu v čerstvém betonu se používají přístroje, které pracují na principu Boyle - Mariottova zákona. Jsou pro ně stanoveny specifické zkušební postupy:

- typ A - měří změnu stavu vodního sloupce vlivem definovaného tlaku vzduchu
- typ B - měří snížení tlaku vzduchu v přetlakové komoře, která byla předem natlakována a uvolněnému tlaku byl vystaven povrch betonu

Pro účely této bakalářské práce byla použita metoda B, tlaková metoda. Známý objem vzduchu o známém tlaku je propojen v uzavřené nádobě s neznámým objemem vzduchu ve vzorku ztuhlého betonu. Stupnice tlakoměru je kalibrována v procentním podílu obsahu vzduchu ve vzorku betonu. Obsah vzduchu se vyjadřuje v procentech objemu se zaokrouhlením na nejbližších 0,1 %. [39]



Obrázek 15 - Tlakový hrnec

5.2 ZTVRDLÝ BETON

OBJEMOVÁ HMOTNOST ZTVRDLÉHO BETONU

Zkouška objemové hmotnosti betonu ve ztvrdlém stavu se provádí dle ČSN EN 12390 - 7, Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu. Princip zkoušky spočívá ve zjištění hmotnosti zkušební tělesa vztažené na objem zkušební tělesa. Výsledná objemová hmotnost se zaokrouhluje na $10 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. [40]

Objemová hmotnost ztvrdlého betonu spočítá podle vzorce:

$$D = \frac{m}{V} \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$$

kde:

V ... objem tělesa [m^3]

m ... hmotnost tělesa [kg]

D ... objemová hmotnost ztvrdlého betonu [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

PEVNOST V TLAKU ZKUŠEBNÍCH TĚLES

Zkouška pevnosti v tlaku se provádí podle ČSN EN 12390 - 3, Zkoušení ztvrdlého betonu - část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles. Pevnost v tlaku se stanovuje na zkušebních tělesech ve tvaru krychle o hraně 150 mm nebo na zkušebních tělesech o tvaru válce o výšce 300 mm a průměru 150 mm. Tělesa jsou rovnoměrně zatěžována ve zkušebním lisu až do meze porušení. Výsledkem zkoušky je zjištěná maximální hodnota síly F , při porušení v N a pevnost v tlaku zkušebních těles se udává v MPa s přesností na 0,1 MPa. [41]

Pevnost v tlaku se vypočítá podle vzorce:

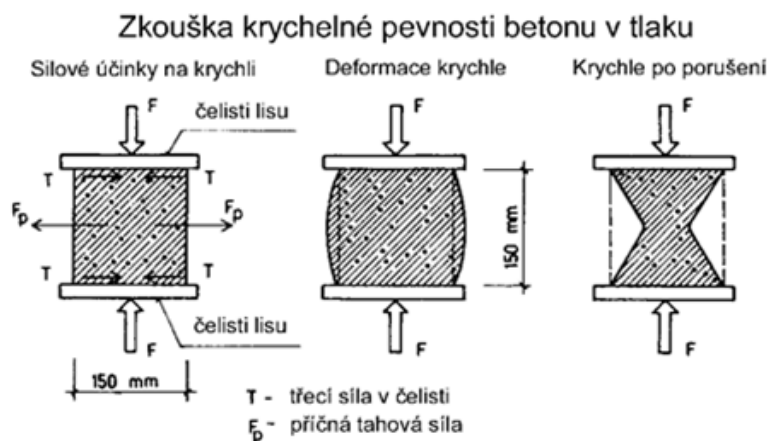
$$f_c = \frac{F}{A} \quad [\text{MPa}]$$

kde:

F ... nejvyšší zatížení při porušení [N]

A ... tlačná plocha [mm^2]

f_c ... pevnost v tlaku [MPa]



Obrázek 16 - Zkouška pevnosti v tlaku [42]

STANOVENÍ ODOLNOSTI POVRCHU CEMENTOVÉHO BETONU PROTI PŮSOBENÍ VODY A CHEMICKÝCH ROZMRAZOVACÍCH LÁTEK (CHRL)

Zkouška se provádí dle ČSN 731326/Z1, Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek - automatické cyklování.

Metoda A (automatické cyklování I)

Podstatou této zkoušky je cyklické zmrazování a rozmrazování zkušebních vzorků v roztoku 3% chloridem sodným (NaCl) daným počtem cyklů. Maximální a minimální dosažené teploty jsou vždy po stanovenou dobu udržovány a poté dojde k ochlazení či oteplení.

Cyklické zmrazování a rozmrazování probíhá tak, že vzorky jsou ochlazovány na teplotu $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, tato teplota se udržuje po dobu 15 minut. Následně se tělesa ohřívají na teplotu $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a tato teplota se opět udržuje po dobu 15 minut. Toto označujeme jako jeden cyklus a následně probíhá další.

Před ponořením vzorku do roztoku chloridu sodného je nutné zjistit plochu lícové vrstvy, která se zkouší. Vzorek se umístí do připravené misky a zalije se do výšky $5 \pm 1\text{ mm}$ 3% roztokem NaCl. Takto připravené vzorky se uloží do zkušebního zařízení, kde jsou vystavovány cyklickému zmrazování a rozmrazování. Po každých 25 cyklech se tělesa vyjmou ze zkušebního zařízení, vodou se opláchnou jejich povrch do misky a odloučené části betonu se nechají vysušit v sušárně do konstantní hmotnosti. Po vysušení se zaznamená váha odloučených částí betonu. Tělesa se opět umístí do zkušebního zařízení, dolije se roztok NaCl do stanovené výšky a celý postup se opakuje do doby, než uběhne stanovený počet cyklů.

Stanovený počet cyklů pro metodu A je 100 cyklů pro kontrolní zkoušky a 150 cyklů pro průkazní zkoušky. Výsledkem zkoušky je stanovení hmotnosti odpadu vztaženého na 1 m² zkušební plochy (g·m⁻²), která se porovná s limitní hodnotou pro daný metodický postup. Zpravidla maximálně do 1000 g·m⁻². [43]

Výsledná hodnota se vypočítá podle vzorce:

$$\rho_a = \frac{\Sigma m}{A} \quad [\text{g}\cdot\text{m}^{-2}]$$

kde:

Σm ... suma všech hmotností odpadů [g]

A ... velikost plochy vystavené působení chemických rozmrazovacích látek [m²]

ρ_a ... výsledná hmotnost vztažená na 1 m² [g·m⁻²]



Obrázek 17 - Uložení vzorků ve zkušebním zařízení

Metoda C (automatické cyklování II)

Zkouška je založena na poznatku, že hlavním faktorem porušování povrchu betonové konstrukce, na kterou působí mrazové cykly a roztoky chemických rozmrazovacích látek, je gradient koncentrace chloridů v povrchové vrstvě betonu.

Jako objímka se používá například pruh automobilové vzdušnice, který se opatří vrstvou kaučukového lepidla. Vrstvou kaučukového lepidla se rovněž opatří zkoušený vzorek na místech, kde bude objímka doléhat. Takto připravené těleso se vloží do klimatizační komory a nalije se na něj 3% roztok NaCl, ve výšce zhruba 5 mm. Zahájí se cyklování, které se skládá z 3 hodin zmrazování při teplotě -18°C a 3 hodin rozmrazování při +5 °C. Po několika cyklech (4, 8, 12,...) se pohmatem zjistí, zda nedochází k porušení vzorku. Při kladném zjištění se roztok slije, nejdéle však po 7 dnech a těleso se vyjme z klimatizační komory.

Uvolněné částice se splaví do misky a nechají se vysušit v sušárně do konstantní hmotnosti. Omyté zkušební těleso se ponechá v laboratorních podmínkách ve stavu, kdy je až po okraj objímky povrch tělesa zaplněn vodou. Po 24 hodinách se opakuje postup zkoušky. Odolnost proti působení vody a roztoku NaCl se hodnotí dle součinitele odolnosti D1 až D5 v $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$. [43]

STANOVENÍ NASÁKAVOSTI VLIVEM KAPILARITY

Norma pro betonové výrobky popisuje pouze stanovení celkové nasákavosti, proto se využilo modifikace metody pro stanovení kapilární nasákavosti zdících prvků, při které se sleduje nasákavost pouze lícové vrstvy prvku. Zkouška nasákavosti zdících prvků vlivem kapilarity se provádění dle normy ČSN EN 772-11, Zkušební metody pro zdící prvky - část 11: Stanovení nasákavosti betonových tvárníc a zdících prvků z umělého a přírodního kamene vlivem kapilarity a počáteční rychlosti nasákavosti zdících prvků.

Pro účely této bakalářské práce se před začátkem zkoušky referenční vzorky, které nebyly primárně ošetřeny uzavíracím nátěrem, opatřily z bočních stran nátěrem, aby nedocházelo ke zkreslení výsledků zkoušky vlivem nasákavosti bočních stěn.

Všechny vzorky se vysušily v sušárně do ustálené hmotnosti, zvážily se a poté se umístily lícovou plochou do vody tak, aby se plocha nedotýkala dna nádoby a zároveň voda nepřesahovala přes okraj nátěrů. Mezery mezi lícovou plochou a dnem nádoby bylo docíleno podložkami. Norma pro zdící prvky udává časový horizont 10 minut pro ponoření zkoušených vzorků. Pro účel bakalářské práce se tato zkouška modifikovala a vzorky zůstaly ve vodní lázni do ustálené hmotnosti (do stavu, kdy už povrch vzorku betonu nepřijímal vodu).

V časových intervalech 1, 3, 6, 9, 12 a 14 dní (24, 72, 144, 216, 288, 336 hodin) se pravidelně vzorky vážily. Podle normy se výsledek kapilární nasákavosti udává v $\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{s}$, z důvodu modifikace této zkoušky se z hmotností vysušených vzorků a hmotností vzorků nasáklých vodou v uvedených intervalech vypočítá kapilární nasákavost, která se udává v %. Zkouška se prováděla na 8 zkušebních sadách po dvou kusech vzorků od každé sady. Zkušebními vzorky byly krychle o hraně 150 mm. [44]

Výsledná hodnota nasákavosti vlivem kapilarity se vypočítá podle vztahu:

$$NV_{kap} = \frac{m_n - m_s}{m_s} \times 100 \quad [\%]$$

kde:

m_n ... hmotnost nasáklého vzorku v daném časovém intervalu [g]

m_s ... hmotnost vysušeného vzorku [g]

NV_{kap} ... nasákavost vlivem kapilarity [%]

HLOUBKA PRŮSAKU TLAKOVOU VODOU

Zkouška hloubky průsaku tlakovou vodou se zkouší dle ČSN EN 12390 - 8, Zkoušení ztvrdlého betonu - část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou. Podstatou této zkoušky je, že se nechá působit tlaková voda na definovaný povrch betonu. Pro účely této zkoušky potřebujeme zařízení, které je schopné nepřetržitě vyvolávat tlak vodního sloupce. Zkušební těleso je krychle, válec nebo hranol o délce hrany nebo průměru nejméně 150 mm, žádný rozměr nesmí být menší než 100 mm.

Tělesa se zkouší ve stáří 28 dní a působí na ně tlak vody 500 ± 50 kPa po dobu 72 ± 2 hodiny. Zkušební tělesa se po provedení zkoušky rozlomí a změří se maximální hloubka průsaku, která se zaokrouhlí na nejbližší milimetr. [45]



Obrázek 18 - Vzorky upevněné ve zkušebním zařízení pro zkoušku průsaku tlakovou vodou

SOUČINTEL PROSTOROVÉHO ROZLOŽENÍ PÓRŮ VE ZTVRDLÉM BETONU

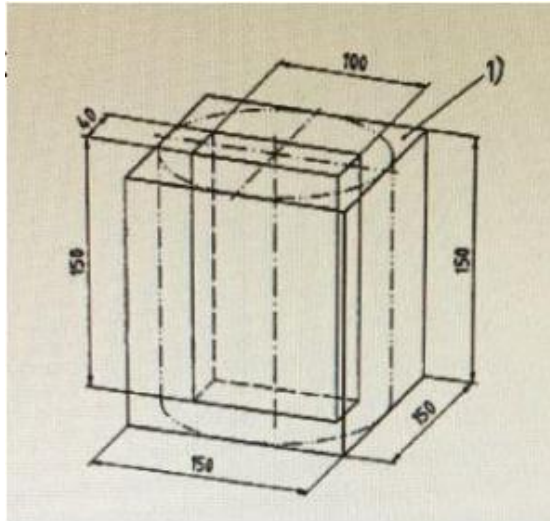
Zkouška se provádí dle ČSN EN 480 - 11, Přísady do betonu, malty a injektážní malty - Zkušební metody - část 11: Stanovení charakteristik vzduchovým pórů ve ztvrdlém betonu. Zkušební vzorky pro zkoušku se připraví rozřezáním vzorku ztvrdlého betonu. Řez se vede kolmo k horní povrchové ploše vzorku a rozměry vzorku jsou (150×100×20) mm. Po rozřezání se musí povrchy vzorků zbrousit a vyleštit tak, aby se vytvořil rovný hladký povrch vhodný pro zkoumání mikroskopem.

Rozložení vzduchových pórů se zjišťuje podrobným snímáním podél řady měřících přímk, vedených rovnoběžně s původním horním povrchem vzorku. Počet vzduchových pórů protnutých měřícími přímkami se zaznamená stejně tak jako jednotlivé délky tětív.

Před samotnou zkouškou se povrch vzorku opatří červeným inkoustem, na který se po vyschnutí rozetře zinková běloba, aby vznikl kontrast mezi póry a okolním cementovým tmelem s kamenivem. Vzorek se umístí na manipulační stolek tak, aby měřící přímky procházely rovnoběžně s původním horním povrchem zkušebního tělesa.

Pro každý zkušební vzorek je požadovaná minimální délka soustavy měřících přímk 1200 mm, dávající celkové minimum 2400 mm na zkoušku. Čtyři měřící přímky vedené přes šířku musí být umístěny v jeho horní části a měly by být umístěny zhruba 6 mm od sebe. Další čtyři přímky se umístí v dolní části vzorku. Součet délky měřících přímk musí splňovat minimální délku 2400 mm.

Povrch vzorku se sleduje digitální kamerou se zvětšením (100 ± 10). Zvětšení se nesmí během zkoušky měnit. Data změření vyhodnocuje počítačový software, který je propojený s digitální kamerou a manipulačním stolem. Na základě počtu tětív a délky měřících přímk vyhodnocuje software prázdné a plné póry označené při vstupu do programu. Výstupními hodnotami jsou tabulky se všemi vyjmenovanými parametry a histogram rozložení vzduchových pórů. [46]

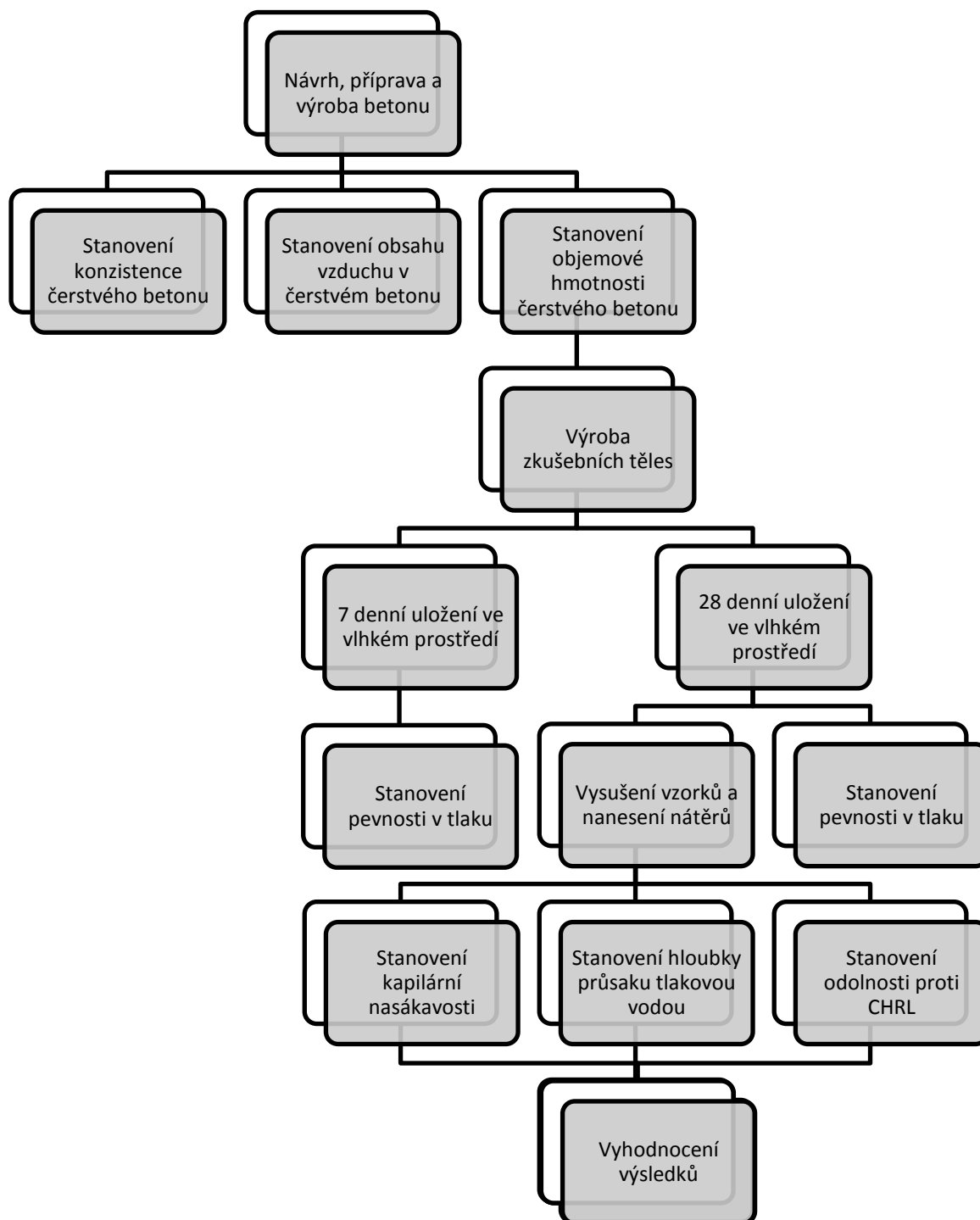


Obrázek 19 - Rozměry zkušebního tělesa pro zkoušky spacing factoru [46]

B. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cílem experimentální části bakalářské práce bylo porovnání působení různých druhů ochranných nátěrů na odolnost ztvrdlého betonu proti povětrnostním vlivům. Nátěry byly nanášeny na provzdušněný beton pro stupeň vlivu prostředí XF4 a na neprovzdušněný beton pro třídu prostředí XC4, jehož struktura není primárně odolná proti působení povětrnostních vlivů, zároveň se od každé receptury nechala sada referenčních vzorků, které nebyly opatřeny nátěrem. Zjištění vlastností bylo provedeno pomocí souboru zkoušek. Postupy a vyhodnocené výsledky zkoušek jsou popsány v následující kapitole.

6 METODKA ŘEŠENÍ EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI



Obrázek 20 - Schéma metodiky práce

Úkolem experimentální části bylo navrhnout a následně namíchat dvě receptury betonu o pevnostní třídě C 30/37, konzistence stupně sednutí S3. První recepturou byl neprovzdušněný beton pro stupeň vlivu prostředí XC4, jehož struktura není primárně odolná proti působení povětrnostních vlivů a druhá receptura byla navržena pro stupeň vlivu prostředí XF4.

Po zjištění potřebných parametrů betonu, návrhu složení a výběru a posouzení vlastností vstupních surovin bylo provedeno namíchání receptur betonu.

Sledované vlastnosti betonu byly:

- zpracovatelnost čerstvého betonu dle ČSN EN 12350 – 2,
- objemová hmotnost čerstvého betonu dle ČSN EN 12350 – 6,
- obsah vzduchu v čerstvém betonu dle ČSN EN 12350 – 7.

Pro účely zkoušek byla z betonu vyrobena zkušební tělesa ve tvaru krychle o hraně 150 mm v celkovém počtu 44 kusů. Zkušební tělesa byla po dobu zrání uložena ve vlhkém prostředí.

Na ztvrdlém betonu byly prováděny následující zkoušky:

- objemová hmotnost ztvrdlého betonu dle ČSN EN 12390 – 7,
- pevnost v tlaku zkušebních těles po 7 a 28 dnech dle ČSN EN 12390 – 3,
- stanovení nasákavosti vlivem kapilarity modifikací zkoušky pro účely bakalářské práce dle ČSN EN 772 – 11,
- hloubka průsaku tlakovou vodou dle ČSN EN 12390 – 8,
- odolnost betonu proti CHRL dle ČSN EN 731326/Z1,
- součinitel prostorového rozložení pórů dle ČSN EN 480 – 11.

Každá zkouška se prováděla na sadě těles, která se skládala ze dvou krychlí o hraně 150 mm. S výjimkou těles pro stanovení pevnosti v tlaku po 7 a 28 dnech probíhala příprava těles pro zkoušky na ztvrdlém betonu tak, že po uplynutí doby zrání se krychle vyjmuly z vodního prostředí a nechaly se vyschnout. Následně byly jejich povrchy natřeny třemi vybranými uzavíracími nátěry. Postup byl takový, že se vždy od každého betonu nechaly referenční sady vzorků bez nátěru a následně se další sady opatřily různými druhy nátěrů, které se aplikovaly ve dvou vrstvách. Po vyschnutí nátěrů se provedly výše popsané zkoušky.

Po provedení všech zkoušek byly naměřené hodnoty vyhodnoceny. Výsledky byly zpracovány do přehledných tabulek a vyneseny do grafů. Výstupem

experimentální části bylo porovnání výsledků zkoušek a zhodnocení případného ekonomického přínosu nátěrů.

6.1 VSTUPNÍ SUROVINY PRO VÝROBU BETONU

6.1.1 KAMENIVO

Pro jednotlivé receptury bylo použito kamenivo frakce 0/4 mm, 4/8 mm a 8/16 mm a konkrétně se jednalo o:

- drobné těžené prané kamenivo, frakce 0/4 mm Žabčice
- hrubé drcené kamenivo, frakce 4/8 mm Olbramovice
- hrubé drcené kamenivo, frakce 8/16 Olbramovice



Obrázek 21 - Drobné těžené prané kamenivo, frakce 0/4 Žabčice



Obrázek 22 - Hrubé drcené kamenivo, frakce 4/8 Olbramovice



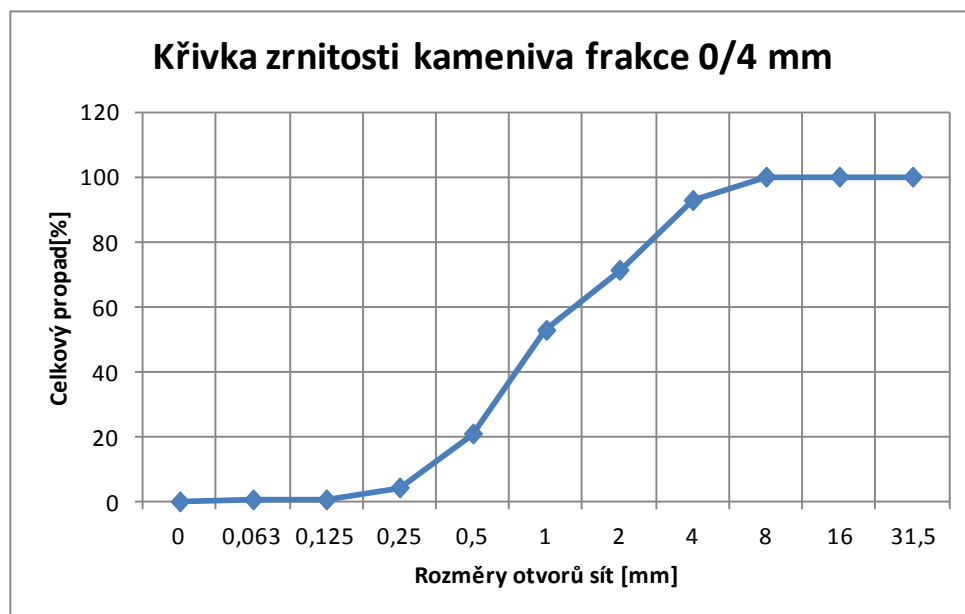
Obrázek 23 - Hrubé drcené kamenivo, frakce 8/16 Olbramovice

Na použitých kamenivech byla provedena zkouška stanovení zrnitosti kameniva dle ČSN EN 933 - 1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - síťový rozbor.

SÍTOVÉ ROZBORY KAMENIVA

Tabulka 6 - Sítový rozbor hrubého těžného praného kameniva, frakce 0/4 mm, Žabčice

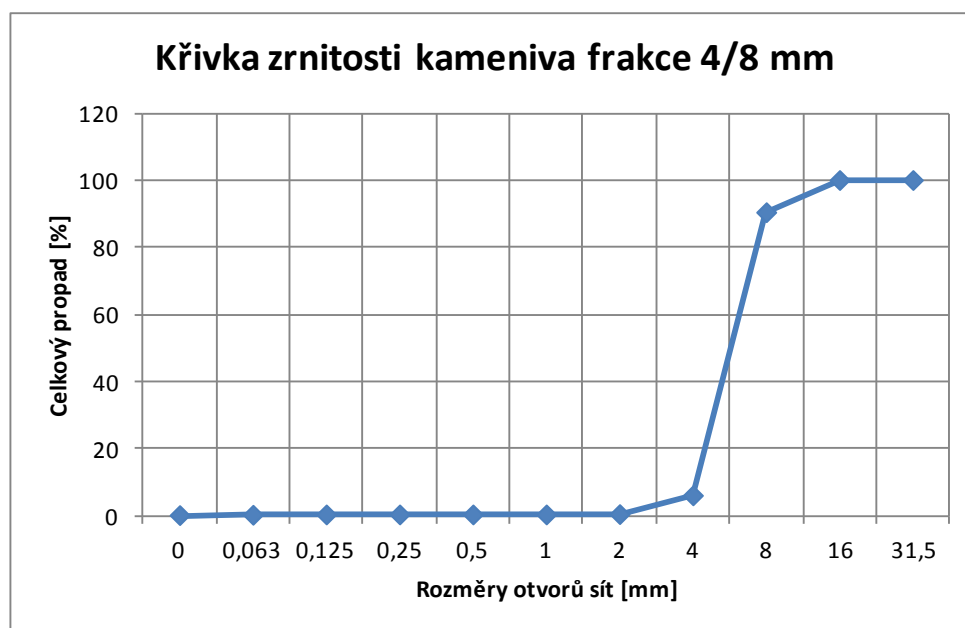
Žabčice 0/4 mm				
Rozměry otvorů na sítích [mm]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]	Podíl jednotlivých frakcí [%]
31,5	0,0	0,0	100,0	0,0
16	0,0	0,0	100,0	
8	0,0	0,0	100,0	
4	7,2	7,2	92,8	95,7
2	21,5	28,7	71,3	
1	18,6	47,2	52,8	
0,5	31,9	79,1	20,9	
0,25	16,6	95,7	4,3	
0,125	3,7	99,4	0,6	4,3
0,063	0,0	99,4	0,6	
0	0,6	100,0	0,0	
Kontrola	100,0	-	-	100,0



Graf 1 - Křivka zrnitosti drobného těžného praného kameniva frakce 0/4 mm, Žabčice

Tabulka 7 - Sítový rozbor hrubého drceného kameniva, frakce 4/8 mm, Olbramovice

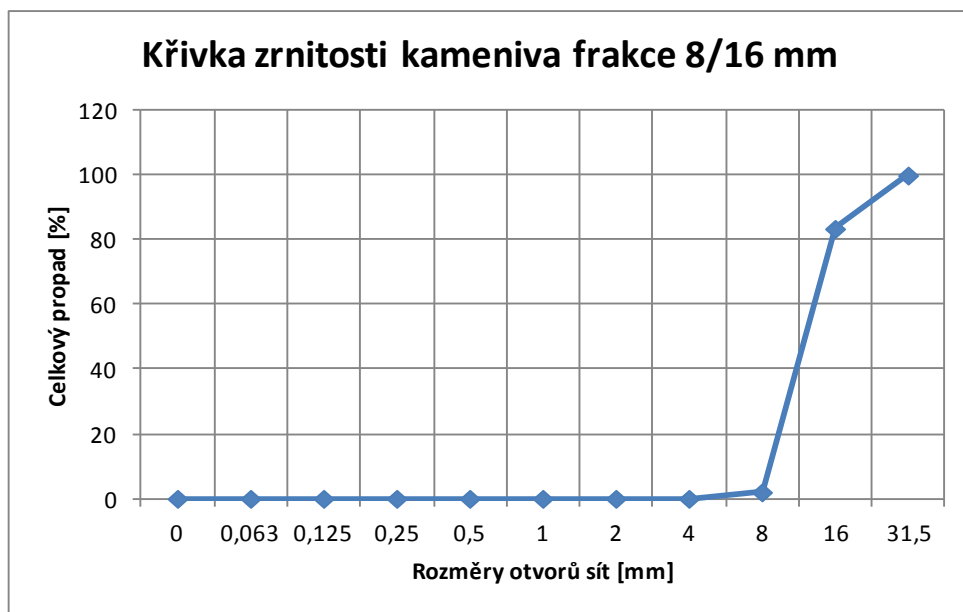
Olbramovice 4/8 mm				
Rozměry otvorů na sítích [mm]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]	Podíl jednotlivých frakcí [%]
31,5	0,0	0,0	100,0	9,6
16	0,0	0,0	100,0	
8	9,6	9,6	90,4	
4	84,5	94,1	5,9	91,2
2	5,6	99,7	0,3	
1	0,1	99,8	0,2	
0,5	0,0	99,8	0,2	
0,25	0,0	99,8	0,2	
0,125	0,0	99,8	0,2	0,2
0,063	0,1	99,9	0,1	
0	0,1	100,0	0,0	
Kontrola	100,0	-	-	100,0



Graf 2 - Křivka zrnitosti hrubého drceného kameniva frakce 4/8 mm, Olbramovice

Tabulka 8 - Sítový rozbor hrubého drceného kameniva, frakce 8/16 mm, Olbramovice

Olbramovice 8/16 mm				
Rozměry otvorů na sítích [mm]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]	Podíl jednotlivých frakcí [%]
31,5	0,0	0,0	100,0	98,0
16	16,5	16,5	83,5	
8	81,5	98,0	2,0	
4	2,0	100,0	0,0	2,0
2	0,0	100,0	0,0	
1	0,0	100,0	0,0	
0,5	0,0	100,0	0,0	
0,25	0,0	100,0	0,0	
0,125	0,0	100,0	0,0	0,0
0,063	0,0	100,0	0,0	
0	0,0	100,0	0,0	
Kontrola	100,0	-	-	100,0



Graf 3 - Křivka zrnitosti hrubého drceného kameniva frakce 8/16 mm, Olbramovice

6.1.2 CEMENT

Pro výrobu všech receptur byl použit portlandský cement - CEM I 42,5 R Mokrý. Více uvedeno v technickém listu v příloze 1.

Tabulka 9 - Mechanické vlastnosti cementu CEM I 42,5 R Mokrý

Pevnost v tlaku po 2 dnech [MPa]	Pevnost v tlaku po 28 dnech [MPa]	Měrná hmotnost [kg·m ⁻³]
31,3	55,6	3100

6.1.3 VODA

Voda byla použita z vodovodního řadu FAST VUT Brno.

6.1.4 PŘÍŠADY

Pro účely této bakalářské práce byly použity provzdušňovací a plastifikační přísady od firmy Stachema.

- Plastifikační přísada Stachement 6358 - plastifikační přísada na bázi polykarboxylátu. Více uvedeno v technickém listu v příloze 2.
- Provzdušňovací přísada Microporan - určena pro výrobu betonů a malt s vysokou odolností proti mrazu a chemických rozmrazovacích látek. Více uvedeno v technickém listu v příloze 3.

6.1.5 UZAVÍRACÍ NÁTĚRY

V bakalářské práci byly pro úpravu betonových povrchů použity tři druhy uzavíracích nátěrů a to:

- Dálniční fermež O 1010 od společnosti Teluria. Jedná se o roztok vysychavým olejů v lakovém benzínu s přísadou sušidel. Více uvedeno v technickém listu v příloze 4.
- ECOLOR BKH FLEX od společnosti Stachema. Jedná se o vodou ředitelnou akrylátovou látku. Více uvedeno v technickém listu v příloze 5.
- Planiseal WR 80 CREAM od společnosti Mapei. Jedná se hydrofobizační krémový přípravek pracující na bázi silanu ve vodní emulzi. Více uvedeno v technickém listu v příloze 6.

6.2 SLOŽENÍ BETONŮ

Tabulka 10 - Složení betonu

Složení kg·m ⁻³	R1	R2
CEM I 42,5 R	350	380
Voda	158	165
DTK 0 - 4 mm Žabčice	866	846
HDK 4 - 8 mm Olbramovice	236	229
HDK 8 - 16 mm Olbramovice	763	721
Plast. přísada - Stachement 6358 (0,8 % z m _c)	2,8	3,04
Provzduš. přísada - Microporan (0,08 % z m _c)	-	0,30

Poznámka:

R1 - označení receptury betonu, který není primárně určený pro odolnost proti povětrnostním vlivům

R2 - označení receptury betonu navrženého pro stupeň vlivu prostředí XF4

Pro účely zkoušek byly připraveny zkušební sady od každé receptury, které se lišily povrchovou úpravou lícové vrstvy, a to:

R1 - referenční vzorek bez speciální úpravy povrchu

R2 - referenční vzorek bez speciální úpravy povrchu

R1 Teluria - vzorek opatřený nátěrem od firmy BARVY A LAKY TELURIA

R2 Teluria - vzorek opatřený nátěrem od firmy BARVY A LAKY TELURIA

R1 Stachema - vzorek opatřený nátěrem od společnosti STACHEMA

R2 Stachema - vzorek opatřený nátěrem od společnosti STACHEMA

R1 Mapei - vzorek opatřený nátěrem od společnosti MAPEI

R2 Mapei - vzorek opatřený nátěrem od společnosti MAPEI

7 VÝSLEDKY ZKOUŠEK

7.1 ZKOUŠKY ČERSTVÉHO BETONU

Tabulka 11 - Výsledky zjištěné na betonu v čerstvém stavu

Receptura	Naměřené hodnoty sledovaných vlastností		
	Sednutí kužele [mm]	Objemová hmotnost ČB [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Obsah vzduchu v ČB [%]
R1	100	2350	2,2
R2	110	2300	5,5

DÍLČÍ VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK

Konzistence obou receptur byla dle zkoušky sednutí kužele stupně S3. Obsah vzduchu v čerstvém betonu vyšel u receptury R1 2,2 % a u R2 5,5 %. Objemová hmotnost koresponduje s obsahem vzduchu v čerstvém betonu, se zvyšujícím se obsahem vzduchu v betonu objemová hmotnost klesá. Konkrétně u receptury R1 byla objemová hmotnost v čerstvém stavu $2350 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a u receptury R2 $2300 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

7.2 ZKOUŠKY ZTVRDLÉHO BETONU

Tabulka 12 - Vlastnosti betonu z hlediska objemové hmotnosti a pevnostních charakteristik

Označení vzorku	Naměřené průměrné hodnoty sledovaných vlastností			
	Objemová hmotnost ZB po 7 dnech [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Pevnost betonu v tlaku po 7 dnech [MPa]	Objemová hmotnost ZB po 28 dnech [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Pevnost betonu v tlaku po 28 dnech [MPa]
R1	2330	39,5	2310	52,5
R2	2280	33,1	2270	39,2

DÍLČÍ VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK

Ve ztvrdlém stavu vyšla objemová hmotnost betonu R1 $2310 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a R2 $2270 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Vzorky zhotovené z receptury R1 dosáhly po 28 dnech pevnosti v tlaku 52,5 MPa a z receptury R2 39,2 MPa, oba betony vyhověly pevnostní třídě C30/37. Z výsledků je patrné, že se zvyšujícím se obsahem vzduchu ve ztvrdlém betonu klesá pevnost v tlaku a odpovídají tomu i hodnoty objemových hmotností, které jsou zpravidla u provzdušněných betonů nižší.



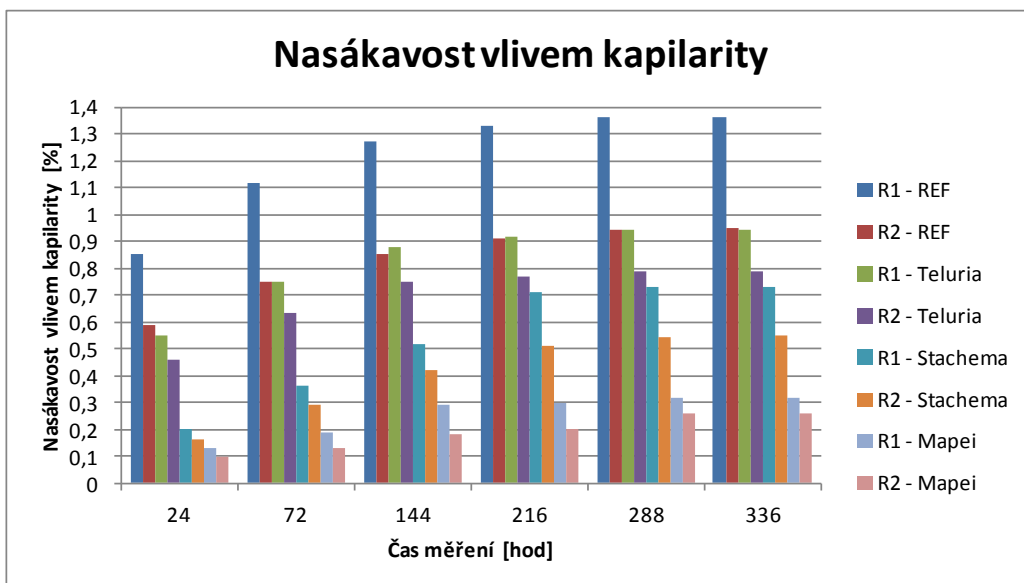
Obrázek 24 - Vzorek po zkoušce pevnosti v tlaku

7.3 STANOVENÍ NASÁKAVOSTI VLIVEM KAPILARITY

Tabulka 13 - Výsledné hodnoty nasákavosti vlivem kapilarity

Označení vzorku	Naměřené průměrné hodnoty sledované vlastnosti					
	$NV_{\text{kap},24}$ [%]	$NV_{\text{kap},72}$ [%]	$NV_{\text{kap},144}$ [%]	$NV_{\text{kap},216}$ [%]	$NV_{\text{kap},288}$ [%]	$NV_{\text{kap},336}$ [%]
R1 REF	0,85	1,12	1,27	1,33	1,36	1,36
R2 REF	0,59	0,75	0,85	0,91	0,94	0,95
R1 Teluria	0,55	0,75	0,88	0,92	0,94	0,94
R2 Teluria	0,46	0,63	0,75	0,77	0,79	0,79
R1 Stachema	0,20	0,36	0,52	0,71	0,73	0,73
R2 Stachema	0,16	0,29	0,42	0,51	0,54	0,55
R1 Mapei	0,13	0,19	0,29	0,30	0,32	0,32
R2 Mapei	0,1	0,13	0,18	0,20	0,26	0,26

Kde: $NV_{\text{kap},n}$... nasákavost vlivem kapilarity v čase [%]



Graf 4 - Graf závislosti nasákavosti vlivem kapilarity na čase

DÍLČÍ VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY

Z vypočítaných hodnot a vynesení grafu je patrné, že provzdušněné betonu mají nižší nasákavost, díky obsahu účinných pórů ve struktuře betonu. Nejvyšší nasákavost měl vzorek R1 REF bez povrchové úpravy betonu. Kapilární nasákavost u tohoto vzorku byla po 336 hodinách 1,36 %. Naopak nejmenší nasákavost vykazoval vzorek R2 Mapei, u kterého se hodnota nasákavosti po 336 hodinách zastavila na hodnotě 0,26 %. Mohlo dojít ke zkreslení výsledků zkoušky, z důvodu toho, že vzorky nebyly opatřeny nátěrem ze všech stran a mohli tak přijímat vlhkost z okolí.

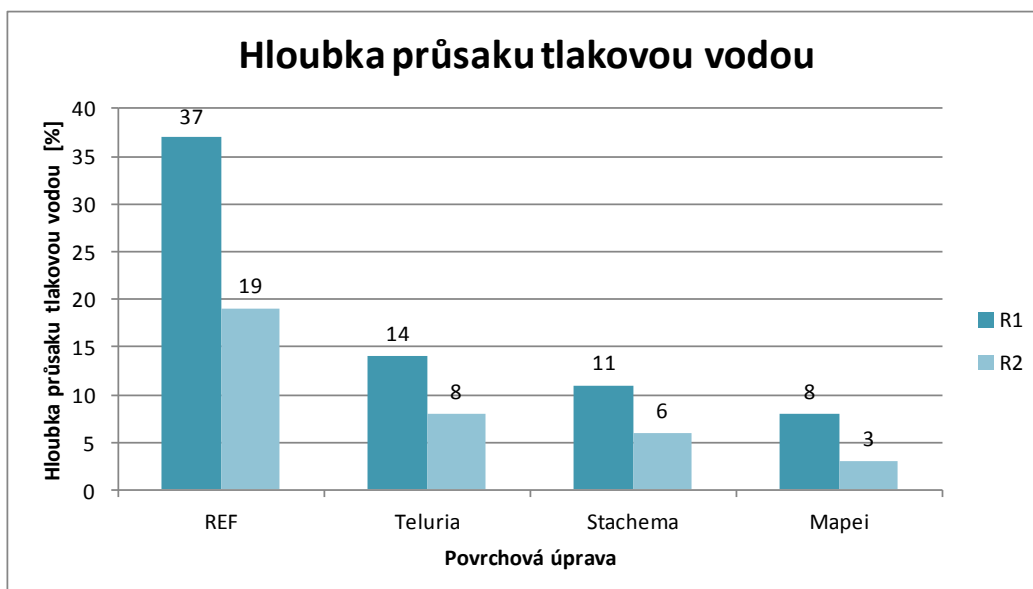


Obrázek 25 - Uložení vzorků ve vodní lázni

7.4 STANOVENÍ HLOUBKY PRŮSAKU TLAKOVOU VODOU

Tabulka 14 - Výsledné hodnoty zkoušky hloubky průsaku tlakovou vodou

Označení vzorku	Naměřené průměrné hodnoty sledované vlastnosti
	Hloubka průsaku tlakovou vodou [mm]
R1 REF	37
R2 REF	19
R1 Teluria	14
R2 Teluria	8
R1 Stachema	11
R2 Stachema	6
R1 Mapei	8
R2 Mapei	3



Graf 5 - Graf závislosti hloubky průsaku tlakovou vodou na povrchové úpravě lícové vrstvy

DÍLČÍ VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY

Z výsledných hodnot a vynesení grafu se dá určit, že hloubka průsaku tlakovou vodou s rostoucím obsahem účinných pórů, které mají vhodné prostorové rozložení v betonu a rozrušují síť kapilár, klesá. Nejvyšší hodnota průsaku byla dle předpokladů naměřena u vzorku R1 REF a to 37 mm. Nejmenší hloubka průsaku vyšla u vzorku R2 Mapei, u kterého průsak činil pouhé 3 mm, tento fakt odpovídá výsledku kapilární nasákavosti, kde měl tento vzorek rovněž nejlepší výslednou hodnotu. Výsledky dokazují, že všechny nátěry snižují hloubku průsaku tlakovou vodou a napomáhají tak ke zlepšení trvanlivosti betonu.



Obrázek 26 - Vzorky po zkoušce hloubky průsaku

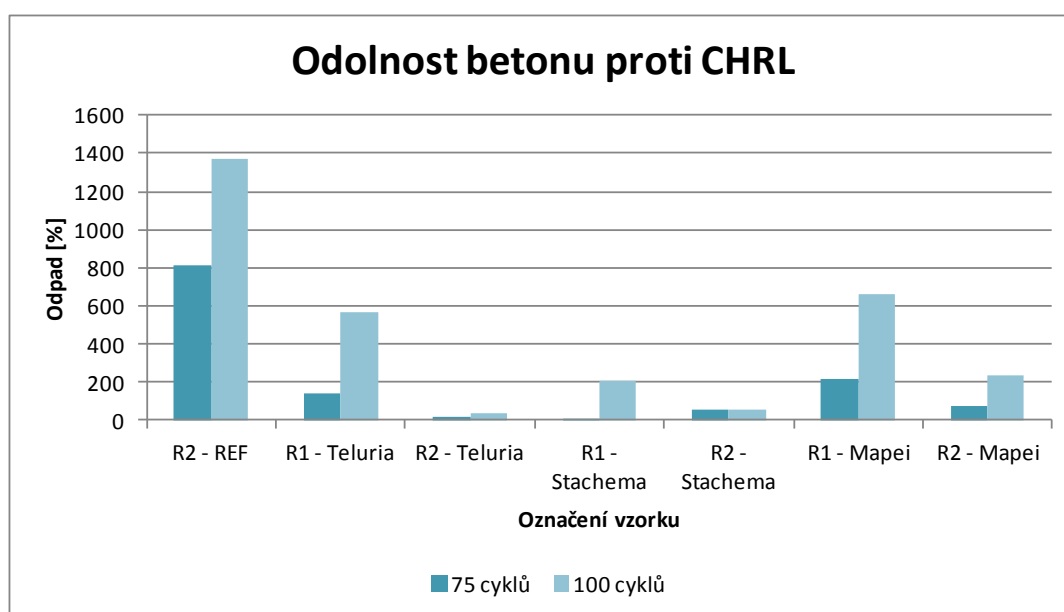
7.5 STANOVENÍ ODOLNOSTI BETONU PROTI PŮSOBENÍ VODY A CHEMICKÝCH ROZMRAZOVACÍCH LÁTEK

Tabulka 15 - Výsledné hodnoty zkoušky odolnosti povrchu proti vodě a chemickým rozmrazovacím látkám

Označení vzorku	Průměrné naměřené hodnoty sledovaných cyklů			
	Počet cyklů			
	50	75	100	150
	$\bar{\rho}_a [\text{g}\cdot\text{m}^{-2}]$	$\bar{\rho}_a [\text{g}\cdot\text{m}^{-2}]$	$\bar{\rho}_a [\text{g}\cdot\text{m}^{-2}]$	$\bar{\rho}_a [\text{g}\cdot\text{m}^{-2}]$
R1 REF	1501,1	2524,5	6766,2*	rozdpad
R2 REF	399,2	812,2	1368,3	4812,3*
R1 Teluria	44,2	144,1	569,9	5511,2*
R2 Teluria	7,1	15,9	33,6	469,3
R1 Stachema	7,3	13,2	205,2	4935,5*
R2 Stachema	2,7	53,7	56,8	897,2
R1 Mapei	68,2	220,8	657,8	1633,5
R2 Mapei	34,1	77,3	231,3	866,7

kde: $\bar{\rho}_a$... průměrná hodnota poměru celkové hmotnosti odpadu k ploše vystavené působení chemických a rozmrazovacích látek

* ... vzorek, u kterého došlo k rozpadu, odpad vyšší jak $3000 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



Graf 6 - Graf závislosti odolnosti betonu proti působení CHRL

DÍLČÍ VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY

Vzorky, které mají po 100 cyklech odpad vyšší jak $1000 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ označujeme podle normy ČSN P 73 2404 jako nevyhovující. Vzorek R1 REF podle očekávání podměnce nevyhověl, již po 50 cyklech byl odpad $1501,1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Receptura R2 - REF měla být díky zvýšenému obsahu účinných pórů, které rozrušují síť kapilár ve ztvrdlém betonu, primárně odolná vůči těmto vlivům. Nevyhověla však již po 100 cyklech, kdy velikost odpadu činila $1368,3 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Nevyhovující výsledek byl pravděpodobně způsoben nedokonalou úpravou povrchu zkušebních těles pro zkoušku CHRL při jejich výrobě.

U vzorků R1 Teluria, R1 Stachema a R1 Mapei, které byly opatřeny povrchovou úpravou, byl odpad po 100 cyklech u vzorku R1 Teluria $569,9 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, u vzorku R1 Stachema $205,2 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ a u vzorku R1 Mapei $657,8 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$.

Nejlepší výsledky byly naměřeny u provzdušněného vzorku, který měl lícovou vrstvu opatřenou dálniční fermeží od společnosti Teluria označený R2 Teluria. Zde velikost odpadu činila po 100 cyklech $33,6 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Druhý nejlepší podle velikosti odpadu byl vzorek R2 Stachema, u kterého byla velikost odpadu po 100 cyklech $56,9 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Ovšem u tohoto vzorku došlo v průběhu zkoušky k popraskání nátěru, které je znázorněné v příložené fotografii (obrázek 27). Z tohoto důvodu se nátěr nejvíce jako vhodný pro ochranu vysoce namáhaných konstrukcí. Velikost odpadu u vzorku R2 Mapei vyšla $231,3 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Naměřené hodnoty na těchto vzorcích jsou řádově 25 krát nižší než u referenčního vzorku REF 2 a poukazují na kladné působení nátěrů na povrch betonu.

Dle dosažených výsledků všechny vzorky opatřené nátěrem vyhověly hodnotě maximálního odpadu $1000 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ po 100 cyklech a splnily požadavky trvanlivosti dle normy.

Závěrem můžeme konstatovat, že nátěry zlepšily odolnost betonu proti působení chemických a rozmrazovacích látek a zvyšují tak trvanlivost betonu. Nejvíce pak Dálniční fermež O1010 od společnosti Barvy a laky Teluria.



Obrázek 27 - Popraskaný nátěr na vzorku

R2 Stachema



Obrázek 28 - Rozpadlý vzorek R1 REF



Obrázek 29 - Vzorky R2 Teluria po 200 cyklech

7.6 STANOVENÍ SOUČiniteLE PROSTOROVÉHO ROZLOŽENÍ PÓRŮ VE ZTVRDLÉM BETONU

Tabulka 16 - Obsah vzduchu ve ztvrdlém betonu

Označení vzorku	Obsah vzduchu v čerstvém betonu [%]	A [%]	A ₃₀₀ [%]	Součinitel rozložení pórů L [mm]
R1	2,2	2,06	0,85	0,350
R2	5,5	4,98	2,95	0,140

kde: A ... celkový obsah vzduchu

A₃₀₀... obsah mikroskopického vzduchu

L ... součinitel prostorového rozložení vzduchových pórů

DÍLČÍ VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY

Obsah vzduchu v čerstvém betonu, který byl stanoven dle ČSN EN 12350 - 7, byl u receptury R1 2,2 % a u receptury R2 5,5 %. Obsah vzduchu ve ztvrdlém betonu vyšel u vzorku R1 2,06 %, tento výsledek odpovídá parametrům neprovzdušněných betonů pro prostředí XC4 a u vzorku R2 4,98 %, kde hodnota obsahu vzduchu odpovídá betonu pro prostředí XF4.

Součinitel prostorového rozložení pórů L byl u vzorku R1 0,350 mm a u vzorku R2 0,140 mm. Obsah mikroskopického vzduchu A_{300} vyšel u betonu R1 0,85 % a u betonu R2 2,95 %. Z výsledků je zcela patrný rozdíl mezi provzdušněnými a neprovzdušněnými betony. Beton pro prostředí XF4 vyhověl požadavku normy ČSN EN 73 2404, která udává maximální hodnotu součinitele prostorového rozložení pórů $L = 0,2$ mm a minimální obsah mikroskopických pórů $A_{300} = 1,8$ %.



Obrázek 30 - Vzorky pro zkoušku spacing faktoru

8 ZHODNOCENÍ EKONOMICKÉHO PŘÍNOSU

Tabulka 17 - Základní údaje o nátěrech

Označení	Cena Kč/kg	Spotřeba kg/m ²	Cena Kč/m ²
Dálniční fermež O1010 - Teluria	160	0,1 - 0,125	19
ECOLOR BKH FLEX - Stachema	161	0,4 - 0,6	64
Planiseal WR 80 CREAM - Mapei	193	0,15 - 0,3	43

poznámka: ceny nátěrů jsou uvedené bez DPH (daň z přidané hodnoty)

Ekonomické zhodnocení je znázorněno na betonové desce o velikosti 10,0 x 10,0 m při výšce 0,150 m, která je vystavena působení povětrnostních vlivů typu prostředí XF4. Výrobní cena betonu C30/37 pro třídu prostředí XF4 je cca 2100 Kč·m⁻³ bez DPH. Z této ceny byla vypočítána přibližná cena betonu na 1m², která vyšla 315 Kč·m⁻² při tloušťce desky 150 mm. Ceny uváděné ve zhodnocení jsou pouze za materiál, není započítávána práce, doprava a další parametry pro realizaci.

Beton navržený pro stupeň vlivu prostředí XF4 by měl být primárně odolný proti působení povětrnostních vlivů. V praxi však může dojít k pochybení dodavatele betonu nebo prováděcí firmy a po určitém čase se mohou začít objevovat degradace povrchu betonu.

Na trhu existují uzavírací nátěry, které zlepšují odolnost povrchu proti povětrnostním vlivům a zvyšují tak trvanlivost betonu. Aplikací nátěrů se prodlužuje životnost staveb o 10 a více let a nátěry dají se obnovovat. Tyto poznatky vychází z tuzemské a zahraniční literatury a zároveň z prováděných zkoušek v experimentální části bakalářské práce, zejména pak odolnosti proti CHRL. Norma udává pro přepokládanou životnost staveb 50 let maximální velikost odpadu po 100 cyklech $1000 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Vzorek R2 Teluria opatřený Dálničnickou fermeží O1010 od firmy Teluria, u které je cena za 1 m^2 přibližně 19 Kč, měl u provzdušněného betonu odpad po 100 cyklech $33,6 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Tento výsledek poukazuje na výborné vlastnosti tohoto nátěru proti působení škodlivých vlivů prostředí. Aplikace fermeže na celou desku by vyšla na 1900 Kč, za předpokladu nanášení nátěru ve dvou vrstvách by cena byla do 4000 Kč.

Cena nátěru ECOLOR BKH FLEX od firmy Stachema je $64 \text{ Kč}\cdot\text{m}^2$. Cena při aplikaci na desku o dané velikosti by vyšla na 12800 Kč při dvou vrstvách nátěru. Vzorek opatřený tímto náteřem R2 Stachema měl při zkoušce CHRL po 100 cyklech odpad $56,8 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Tento nátěr však během zkoušky CHRL popraskal a z toho důvodu se jeví jako nevyhovující pro zlepšení odolnosti betonového povrchu proti působení škodlivých vlivů. Voda, která by pronikala trhlinami do struktury betonu, by vzhledem k nátěru na povrchu nemohla unikat ven a vznikaly by ještě větší škody.

Posledním používaným nátěrem byl Planiseal WR 80 CREAM od firmy Mapei, u kterého je cena nátěru za 1 m^2 43 Kč. Cena nanesení nátěru na desku ve dvou vrstvách by vyšla na 8600 Kč. Odpad vzorku R2 Mapei opatřeného tímto nátěrem byl po 100 cyklech $231,3 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$.

Oprava výměnou betonu by pro celou desku byla 31 500 Kč. Odpad u referenčního vzorku R2 REF byl po 100 cyklech $1368,3 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$.

Vzhledem k těmto skutečnostem je možné konstatovat, že nátěry jsou ekonomicky přínosné pro aplikaci na povrch betonu a zvyšují trvanlivost konstrukce. Zároveň je nutné podotknout, že nátěrem se může uzavřít vlhkost ve struktuře betonu a tím by mohlo docházet k jeho znehodnocení, tak jako v případě nátěru od firmy Stachema. Tento fakt se musí pečlivě zvážit při konkrétních případech použití.

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývala studiem vlivu uzavíracích nátěrů na vlastnosti betonu proti povětrnostním vlivům. V úvodu teoretické části práce byly popsány vstupní suroviny pro výrobu betonu.

Dalším tématem, bylo popsání vlivů prostředí na trvanlivost betonu a shrnutí vybraných degradačních procesů působících na jeho strukturu. Důraz byl kladen zejména na popis škodlivých vlivů zapříčiněných působením vody a kyselých plynů (CO_2 a SO_2).

Následujícím bodem bakalářské práce byl popis úpravy povrchu betonových konstrukcí a výrobků pomocí ochranných nátěrů. Byly zde shrnuty poznatky dosavadních znalostí o uzavíracích nátěrech, zejména základní rozdělení, chemické složení jednotlivých druhů, principy jejich fungování, vlastnosti a možnosti použití. Nejpoužívanějšími nátěry jsou přípravky na bázi silikonových pryskyřic, polyuretanu, epoxidu či akrylátu. V navazující kapitole bakalářské práce byly popsány možnosti vytvrzování používaných nátěrů pomocí infračerveného nebo ultrafialového záření.

Jelikož jsou v posledních letech na betonové konstrukce a výrobky kladeny větší požadavky, zejména na jejich trvanlivost, začíná se používání uzavíracích nátěrů stále více rozšiřovat. Hlavním důvodem pro používání této technologie je zlepšení některých významných vlastností betonů. Jedná se zejména o nasákavost, povrchy betonů opatřené těmito nátěry by měly být prakticky nenasákavé. Mezi další výhody použití ochranných nátěrů patří odolnost proti obrusu, snadná čistitelnost a zlepšení odolnosti proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek.

V poslední kapitole teoretické části byly popsány zkoušky, které se provádějí na čerstvém a ztvrdlém betonu. Poznatky získané v teoretické části bakalářské práce sloužily jako vstupní informace pro vypracování části experimentální.

Hlavním cílem experimentální části bylo porovnání vlastností různých druhů ochranných nátěrů na odolnost ztvrdlého betonu proti povětrnostním vlivům. Nátěry byly nanášeny na betony pro stupně vlivu prostředí XC4 a XF4.

Nejprve se prováděly zkoušky na čerstvém betonu. Zkouška sednutí kužele byla u obou receptur stupně konzistence S3. Obsah vzduchu v čerstvém betonu se pohyboval ve stanovených mezích prostředí, pro které byly betony navrženy.

Objemové hmotnosti v čerstvém i ztvrdlém stavu úměrně klesaly s množstvím vneseného vzduchu do betonu. Tomu odpovídají i výsledné hodnoty pevností v tlaku betonu po 28 dnech, které vyšly u receptury R1 52,5 MPa a u receptura R2 39,2 MPa.

Další prováděnou zkouškou, kde se již zkoumal vliv nátěrů, byla zkouška kapilární nasákavosti. Zde po 336 hodinách vykazoval největší nasákavost vzorek R1 REF s hodnotou 1,36 %. Naopak nejmenší nasákavost vyšla u vzorku R2 Mapei, u kterého se hodnota nasákavosti po 336 hodinách ustálila na hodnotě 0,26 %. Nasákavost byla dle očekávání vždy menší u provzdušněných betonů a z dosažených výsledků zkoušky je patrné, že nátěry zvýšily odolnost povrchu betonu proti nasákavosti. Výsledky zkoušky mohly být ovlivněny tím, že vzorky nebyly opatřeny nátěrem ze všech stran a přijímaly tak vlhkost z okolí. Vhodnější by pro tuto zkoušku bylo opatření celých vzorků ochranným nátěrem, kromě lícových vrstev u referenčních vzorků.

Výsledky zkoušky hloubky průsaku tlakovou vodou odpovídají výsledkům zkoušky kapilární nasákavosti. Nejvyšší hodnotu průsaku byla u vzorku R1 REF a to 37 mm. U vzorku R2 REF vyšel průsak 19 mm, z toho vyplývá, že provzdušněné betony, ve kterých je vyšší obsah účinných pórů, které rozrušují síť kapilár, jsou odolnější proti průsaku tlakové vody. Nejmenší hloubka průsaku byla naměřena u vzorku R2 Mapei, kde průsak činil pouhé 3 mm. Maximální hloubka průsaku tlakovou vodou nebyla u žádného vzorku opatřeného nátěrem větší než 14 mm a lze je klasifikovat jako vodotěsné. Výsledky dokazují, že všechny používané nátěry snižují hloubku průsaku tlakovou vodou a napomáhají tak ke zlepšování trvanlivosti betonu.

Další zkouškou bylo stanovení odolnosti povrchu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek, stejně jako u předchozích zkoušek se zde projevil pozitivní vliv použitých nátěrů. Vzorek R1 REF se po sto cyklech rozpadl, odpad byl vyšší jak $6000 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Vzorek R2 REF, který měl být primárně odolný proti CHRL nevyhověl hodnotě maximálního odpadu po 100 cyklech. Velikost odpadu byla $1368,3 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Nevyhovující výsledek pravděpodobně zapříčinila nedokonalá úprava povrchu vzorků při výrobě betonu. Po 100 cyklech měl nejnižší odloučený odpad z povrchu vzorek R2 Teluria o hodnotě $33,6 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Nejvyšší hmotnost odpadu u vzorků s povrchovou úpravou vykazoval po 100 cyklech vzorek R1 Mapei s velikostí odpadu $657,8 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Odpady naměřené u

provzdušněných vzorků opatřených nátěrem byly průměrně 25 krát nižší než u vzorku referenčního. Dle dosažených výsledků všechny vzorky opatřené uzavíracími nátěry vyhověly po 100 cyklech podmínce maximálního odpadu $1000 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ dle normy ČSN P 73 2404. Ovšem při průběhu zkoušky nátěr od společnosti Stachema popraskal, voda společně s chemickými rozmrazovacími látkami pronikala do struktury betonu a díky nátěru na povrchu nemohla ze vzorku unikat. Z výsledků vyplývá, že povrchová úprava nátěrem napomáhá ke zvýšení trvanlivosti betonu. Jako nejúčinnější ochrana se podle výsledků jeví nátěr Dálniční fermeží O1010 od společnosti Teluria.

Poslední prováděnou zkouškou bylo stanovení Spacing faktoru ve ztvrdlém betonu. Norma ČSN EN 73 2404 udává pro stupeň vlivu prostředí XF4 minimální hodnotu obsahu mikroskopických pórů, která je 1,8 % a součinitel prostorového rozložení pórů L, který je maximálně 0,2 mm. Beton R2, který byl navržen pro třídu prostředí XF4 těmto požadavkům vyhověl.

Závěrem experimentální části bylo zhodnocení případného ekonomického přínosu nátěrů při jejich aplikaci na povrch betonu. Na názorném příkladu bylo prokázáno, že použití nátěrů je ekonomicky výhodné pro povrchovou úpravu betonu a betonových výrobků. S výjimkou nátěru od společnosti Stachema, který během zkoušky odolnosti proti CHRL popraskal. Výsledná cena opraveného povrchu betonu pomocí nátěru byla řádově 5 krát nižší než, kdyby se přistoupilo k výměně betonu.

Problematika používání uzavíracích nátěrů je stále málo probádané téma a bylo by vhodné se jí věnovat více do hloubky, například v diplomové práci. Pro podrobnější rozbor působení nátěrů by bylo vhodné rozšířit soubor prováděných zkoušek, například o zkoušku tvorby vápenných výkvětů nebo přídržnosti nátěru odtrhovou zkouškou. Zároveň by se mohl porovnávat rozdíl mezi nátěry vytvrzovanými na vzduchu nebo pomocí infračerveného, či ultrafialového záření.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Schéma procesu výroby cementu [6].....	16
Obrázek 2 - Princip elektrostatického a stérického odpuzování částic [7]	18
Obrázek 3 - Hřebenovitý polymer [7]	20
Obrázek 4 - Stonožkový polymer [7]	20
Obrázek 5 - Hvězdovitý polymer [7]	20
Obrázek 6 - Objemové změny v důsledku sulfatační přeměny C_3A na $C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ (ettringit) [10].....	24
Obrázek 7 - hydrofobní impregnace [16]	26
Obrázek 8 - Impregnace [16].....	26
Obrázek 9 - Nátěr (povlak) [16]	26
Obrázek 10 - Povrch opatřený hydrofobní impregnací [22]	28
Obrázek 11 - Přehled smáčecích úhlů θ [22].....	29
Obrázek 12 - Mechanismus působení silanů [22].....	30
Obrázek 13 - Kruhové uspořádání molekuly epoxidu	37
Obrázek 14 - Schéma hloubky penetrace UV záření	41
Obrázek 15 - Tlakový hrnec	44
Obrázek 16 - Zkouška pevnosti v tlaku [42].....	46
Obrázek 17 - Uložení vzorků ve zkušebním zařízení	47
Obrázek 18 - Vzorky upevněné ve zkušebním zařízení pro zkoušku průsaku tlakovou vodou	49
Obrázek 19 - Rozměry zkušebního tělesa pro zkoušky spacing factoru [46]	51
Obrázek 20 - Schéma metodiky práce	52
Obrázek 21 - Drobné těžené kamenivo, frakce 0/4 Žabčice	54
Obrázek 22 - Hrubé drcené kamenivo, frakce 4/8 Olbramovice	54
Obrázek 23 - Hrubé drcené kamenivo, frakce 8/16 Olbramovice	54
Obrázek 24 - Vzorek po zkoušce pevnosti v tlaku	60
Obrázek 25 - Uložení vzorků ve vodní lázni	61
Obrázek 26 - Vzorky po zkoušce hloubky průsaku.....	63
Obrázek 27 - Popraskaný nátěr na vzorku	65
Obrázek 28 - Rozpadlý vzorek R1 REF	65
Obrázek 29 - Vzorky R2 Teluria po 200 cyklech	65
Obrázek 30 - Vzorky pro zkoušku spacing factoru	66

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Stupně vlivu prostředí.....	22
Tabulka 2 - Přehled používaných přípravků pro hydrofobní impregnaci [22].....	32
Tabulka 3 - Rozdělení ultrafialového záření dle vlnové délky [32].....	40
Tabulka 4 - Stupně sednutí	42
Tabulka 5 - Stupně rozlití.....	43
Tabulka 6 - Sítový rozbor hrubého těžného pranceho kameniva, frakce 0/4 mm, Žabčice.....	55
Tabulka 7 - Sítový rozbor hrubého drceného kameniva, frakce 4/8 mm, Olbramovice	56
Tabulka 8 - Sítový rozbor hrubého drceného kameniva, frakce 8/16 mm, Olbramovice	57
Tabulka 9 - Mechanické vlastnosti cementu CEM I 42,5 R Mokrý	57
Tabulka 10 - Složení betonu.....	58
Tabulka 11 - Výsledky zjištěné na betonu v čerstvém stavu	59
Tabulka 12 - Vlastnosti betonu z hlediska objemové hmotnosti a pevnostních charakteristik	59
Tabulka 13 - Výsledné hodnoty nasákavosti vlivem kapilarity	60
Tabulka 14 - Výsledné hodnoty zkoušky hloubky průsaku tlakovou vodou	62
Tabulka 15 - Výsledné hodnoty zkoušky odolnosti povrchu proti vodě a chemickým rozmrazovacím látkám	63
Tabulka 16 - Obsah vzduchu ve ztvrdlém betonu	65
Tabulka 17 - Základní údaje o nátěrech	66

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 - Křivka zrnitosti drobného těžného praného kameniva frakce 0/4 mm, Žabčice.....	55
Graf 2 - Křivka zrnitosti hrubého drceného kameniva frakce 4/8 mm, Olbramovice	56
Graf 3 - Křivka zrnitosti hrubého drceného kameniva frakce 8/16 mm, Olbramovice	57
Graf 4 - Graf závislosti nasákavosti vlivem kapilarity na čase	61
Graf 5 - Graf závislosti hloubky průsaku tlakovou vodou na povrchové úpravě lícové vrstvy.....	62
Graf 6 - Graf závislosti odolnosti betonu proti působení CHRL	63

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 - Technický list cementu CEM I 42,5 R Mokrý
Příloha 2 - Technický list plastifikační přísady Stachement 6358
Příloha 3 - Technický list provzdušňovací přísady Microporan
Příloha 4 - Technický list nátěru Dálniční fermez O1010
Příloha 5 - Technický list nátěru ECOLOR BKH FLEX
Příloha 6 - Technický list nátěru Planiseal WR 80 CREAM
Příloha 7 - Záznam měření Spacing faktoru ve ztvrdlém betonu

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Příručka technologa BETON: SUROVINY - VÝROBA - VLASTNOSTI. Českomoravský beton, a.s., 2013.
- [2] SAMEC, Jiří. Hydrofobizace betonu silikonovými prostředky. BETON TKS. Praha, 2006, 2006(3), 3.
- [3] Colleparidi, Mario. Moderní beton. 1. Praha : Informační centrum ČKAIT, 2009. ISBN 978-80-87093-75-7.
- [4] JIRÁSEK, Jakub a Martin VAVRO. Nerostné suroviny a jejich využití: Kamenivo. Ostrava: VŠB, 2008. ISBN 9788024813783.
- [5] Hela, Rudolf. Technologie betonu I . Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2005.
- [6] Ščuka Jiří, Martinec Petr. www.stavebniinzenyrstvi.cz [online]. Ostrava : Vysoká školá báňská - technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, 2013.
- [7] HELA, Rudolf. Technologie betonu II: Přednášky. 2018. Brno: FAST VUT BRNO, 2018.
- [8] Recent durability studies on concrete structure. Cement and Concrete Research [online]. 2015, s. 143-154 [cit. 2018-03-21]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884615001581>
- [9] ČSN EN 206+A1 Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Český normalizační institut, 2017.
- [10] DROCHYTKA, Rostislav. Trvanlivost stavebních materiálů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2007.
- [11] ADÁMEK, Jiří, Jan KOUKAL a Bohumil NOVOTNÝ. Stavební materiály. Brno: CERM, 1997. Učební texty vysokých škol. ISBN 8021406313.
- [12] Team of authors. A review of salt scaling: I. Phenomenology. Science direct [online]. USA: Princeton University, 2007, 2007 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884607000737>

[13] KLAUDOVA, Dana. Možnosti testování a zlepšování trvanlivosti provzdušněných betonů. Brno, 2013. Diplomová práce. FAST VUT BRNO. Vedoucí práce Ing. Adam Hubáček, Ph.D.

[14] Team of authors. A review on concrete surface treatment Part I: Types and mechanisms: Construction and Building Materials. Science direct [online]. China and Denmark: College of civil Engineering, Hunan University, 2016 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061816319183>

[15] ČSN EN 1504-2, Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Část 2: Systémy pro povrchovou ochranu. Český normalizační institut. 2006.

[16] TŮMA, Petr. Nátěry na beton: typy, požadavky, normové parametry [online]. In: . [cit. 2018-03-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/10916-natery-na-beton-typy-pozadavky-normove-parametry>

[17] BYDŽOVSKÝ, Jiří. Technologie sanace. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2007.

[18] CHATTOPADHYAY, D.K. Structural engineering of polyurethane coatings for high performance applications. Progress in Polymer Science [online]. Elsevier, 2007, s. 352-418 [cit. 2018-04-20]. ISSN 0079-6700. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670006001365>

[19] Team of authors. Long-term chloride-induced corrosion monitoring of reinforced concrete coated with commercial polymer-modified mortar and polymeric coatings: Construction and Building Materials. Science direct[online]. Italy, 2013 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061813007228>

[20] Effect of polymer modified cementitious coatings on water and chloride permeability in concrete. Construction and Building Materials[online]. Elsevier, 2013, s. 720-728 [cit. 2018-05-23]. ISSN 0950-0618. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061813007800>

[21] Using charge passed and total chloride content to assess the effect of penetrating silane sealer on the transport properties of concrete. Materials Chemistry and Physics [online]. ELSEVIER, 2004, s. 238-244 [cit. 2018-03-23]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254058404000707>

- [22] Odborný portál MCT: Hydrofobní impregnace betonu [online]. Jan Vetchý, 2015 [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <https://www.mct.cz/soubor/hydrofobni-impregnace/>
- [23] Long-term 20-year performance of surface coating repairs applied to façades of reinforced concrete buildings: Case Studies in Construction Materials. Science direct [online]. 2017 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509517301122>
- [24] MOJSIEWICZ-PIEŃKOWSKA, Krystyna a Dominika KRENCZKOWSKA. Evolution of consciousness of exposure to siloxanes—review of publications. Chemosphere [online]. Elsevier, 2018, s. 204-217 [cit. 2018-04-16]. ISBN 0045-6535. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653517316247>
- [25] Evaluation of scratch resistance of functionalized graphene oxide/polysiloxane nanocomposite coatings. Progress in Organic Coatings[online]. Elsevier, 2018, s. 118-129 [cit. 2018-05-2]. ISSN 0300-9440. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300944017306185>
- [26] ConcreteNetwork.com: Type of sealers [online]. [cit. 2018-04-5]. Dostupné z: <https://www.concretenetwork.com/products-sealer/>
- [27] ARVAI, T. Příprava akrylátových kopolymerů emulzní polymerací. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2013. 58 s. Vedoucí diplomové práce Mgr. František Kučera, Ph.D.
- [28] KROSCHWITZ, Jacqueline I. High Performance Polymers and Composites ; Editor: Jacqueline I. Kroschwitz. Hong Kong: John Wiley, 1991. ISBN 0471543667.
- [29] ROUSE, Margaret. Infrared radiation (IR). TechTarget [online]. 2017 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/infrared-radiation>
- [30] Zjistěte více o infračerveném záření. In: Mega-sunshine [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.mega-sunshine.cz/infra-salave-panely/co-je-infracervene-zareni/>

- [31] Team of authors. Production line expansion with the purchase of UV application and drying systems: Concrete plant international [online]. [cit. 2018-03-4]. Dostupné z:
<https://www.cpi-worldwide.com/en/journals/artikel/41170/production-line-expansion-with-the-purchase-of-uv-application-and-drying-sy>
- [32] MLČOCH, Zbyněk. Ultrafialové záření, UV záření - UVA, UVB, UVC - škodlivost, vlastnosti. In: ZbyněkMlčoch.cz [online]. 25.04.2009 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://www.zbynekmlcoch.cz/informace/texty/technika/ultrafialove-zareni-uv-zareni-uva-uvb-uvc-skodlivost-vlastnosti>
- [33] EICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Ultrafialové záření. In: Encyklopedie fyziky [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z:
<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/531-ultrafialove-zareni>
- [34] SUPPA, Manfred a Tomáš BRAVENÝ. Vytvrzování tlustovrstvých krycích laků TWIN CURE®. In: DPS [online]. 05/2012 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z:
<https://www.dps-az.cz/vyroba/id:11942/vytvrzovani-tlustovrstvych-krycich-laku-twin-cure->
- [35] LUXUSNÍ POVRCHOVÁ ÚPRAVA. In: BEST [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.best.info/zakaznický-servis/luxusni-povrchova-uprava/>
- [36] ČSN EN 12350 - 2. Zkoušení čerstvého betonu - Část 2: Zkouška sednutím. Český normalizační institut, 2009.
- [38] ČSN EN 12350 - 5, Zkoušení čerstvého betonu - Část 5: Zkouška rozlíváním. Český normalizační institut, 2009.
- [38] ČSN EN 12350 - 6. Zkoušení čerstvého betonu - Část 6: Objemová hmotnost. Český normalizační institut, 2009.
- [39] ČSN EN 12350 - 7. Zkoušení čerstvého betonu - Část 7: Obsah vzduchu - Tlakové metody. Český normalizační institut, 2009.
- [40] ČSN EN 12390 - 7. Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu. Český normalizační institut, 2009.
- [41] ČSN EN 12390 - 3. Zkoušení čerstvého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles. Český normalizační institut, 2012.
- [42] Stavební hmoty: Konstrukční vlastnosti betonu [online]. [cit. 2018-05-20].

[43] ČSN 731326 / Z1. Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek. Český normalizační institut, 2003.

[44] ČSN EN 772-11, Zkušební metody pro zdící prvky - část 11: Stanovení nasákavosti betonových tvárnic a zdících prvků z umělého a přírodního kameniva vlivem kapilarity a počáteční rychlosti nasákavosti zdících prvků. 2011.

[45] ČSN EN 12390 - 8. Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou. Český normalizační institut, 2009.

[46] ČSN EN 480 - 11. Přísady do betonu, malty a injektážní malty - Zkušební metody - Část 11: Stanovení charakteristik vzduchových pórů v čerstvém betonu. Český normalizační institut, Duben 2006.