



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A
DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND
COMPONENTS

HODNOCENÍ ÚČINKU KRYSTALIZAČNÍCH PŘÍSDAD NA TRVANLIVOST CEMENTOVÝCH KOMPOZITŮ

THE EVALUATION OF THE EFFECT OF CRYSTALLIZATION ADDITIVES ON DURABILITY
CEMENT COMPOSITES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

DAVID ROUBAL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ÁMOS DUFKA, Ph.D.

BRNO 2016



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 David Roubal

Název Hodnocení účinku krystalizačních přísad na trvanlivost cementových kompozitů

Vedoucí bakalářské práce Ing. Ámos Dufka, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2015

Datum odevzdání bakalářské práce 27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015

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

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

Podklady a literatura

KROPP, J. AND HILSDORF, H. K. (edited), Performance Criteria for Concrete Durability, E & FN SPON, Rilem raport 12, 1995. ISBN 0 419 19880 6,
MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. Concrete Microstructure Properties, New York: McGraw-Hill Professional Publishing, 2005. ISBN 978-0071462891, ANGEL, M., DENU, H. J. Waterproof membranes for concrete surface protection, Farbe & Lack, roč. 103, č. 8, 1997. ISSN 0014-7699,
DOHNÁLEK, P. & kolektiv. Technologie bílých van s využitím krystalizačních přísad, Realizace staveb, 3/2010,
MITSUKI, Y., FUJIMOTO, M., NAKAMURA, Y. An Enhancement in the Nature of Concrete with a Multipliactive Cement Crystal Type Concrete Material, 46th Annual Meeting of the Civil Engineering Society, Japan, 1992.

Zásady pro vypracování

Práce bude provedena v následujících krocích:

1. Komplexní rešerše materiálů a technologií používaných pro utěšňování betonu tzv. sekundární krystalizací,
2. Na základě zjištěných skutečností budou vymezeny základní faktory, které determinují pronikání a účinnost utěšňujících přísad v kapilárně pórovém systému betonu (tj. porozita betonu, faktor difúzní vodivosti atd),
3. S ohledem na zjištěné skutečnosti bude navržena metodika pro testování hloubky průniku a ověření účinku krystalizačních přísad v betonu, která bude ověřena experimentálně na vybraných typech betonů různých pevnostních tříd.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

.....
Ing. Ámos Dufka, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá studiem krystalizačních materiálů a jejich vlivu na trvanlivost betonu. V teoretické části práce jsou podrobně rozebrány charakteristiky krystalizačních materiálů, včetně jejich rozdělení a způsobu použití. Dále jsou specifikovány hlavní faktory ovlivňující trvanlivost betonu a provedena komplexní rešerše testování krystalizačních materiálů. Na základě získaných poznatků bylo v experimentální části provedeno zkoušení těchto materiálů aplikovaných na samozhutnitelném betonu. Jednalo se mimo jiné o zkoušení v agresivním prostředí, zkoušky permeability a pevnosti na zatvrdlém samozhutnitelném betonu.

Klíčová slova

Krystalizační materiál, sekundární krystalizace, trvanlivost, degradace, permeabilita, pórovitost, samozhutnitelný beton, hydroizolace, ...

Abstract

This bachelor's thesis deals with the study of crystalline materials and their effects on the durability of concrete. The theoretical part of this thesis focuses on the detailed analysis of the characteristics of crystalline materials, including their division and use. It also particularizes the main factors influencing the durability of concrete and provides an overall research of crystalline materials testing. Based on the findings, the experimental part focuses on the examination of crystalline materials applied to self-compacting concrete. The examination included, among other things, testing in aggressive environment and strength and permeability test carried out on set SCC.

Keywords

Crystalline material, secondary crystallization, durability, degradation, permeability, porosity, self-compacting concrete, hydroisolation, ...

Bibliografická citace VŠKP

David Roubal *Hodnocení účinku krystalizačních přísad na trvanlivost cementových kompozitů*. Brno, 2016. 68 s., 4 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Ámos Dufka, Ph.D.

Prohlášení:

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

V Brně dne 26.5.2016

.....
podpis autora
David Roubal

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval zejména mému vedoucímu práce Ing. Ámosi Dufkovi, PhD., za poskytnutí odborných rad a studijních materiálů a dále pak vybraným pracovníkům ústavu THD při VUT FAST v Brně, za pomoc při zpracování praktické části bakalářské práce. Velice významnou roli v mém dosavadním vysokoškolském studiu sehráli a nadále sehrávají rodiče, kterým taktéž velmi děkuji.

V Brně 2016

David Roubal

Obsah

1.	Úvod	11
2.	Cíl práce	12
3.	Krystalizační materiály	13
3.1	Úvod.....	13
3.2	Vodonepropustnost a permeabilita betonu	13
3.3	Životnost betonů	15
3.3.1	Koroze výztuže	16
3.3.2	Síranová koroze.....	17
3.3.3	Vyluhování cementové pasty působením agresivních vod	17
3.3.4	Porušení cyklickým zmrazováním a rozmrazováním	17
3.3.5	Povrchové trhliny způsobené fyzikálními vlivy	18
3.3.6	Mechanické narušování povrchu betonu	18
3.3.7	Alkalicko-křemičitá reakce.....	19
3.4	Hodnocení životnosti betonu.....	19
3.5	Ochrana proti působení vody.....	20
3.6	Krystalizační materiály na bázi sekundární krystalizace	21
3.7	Princip sekundární krystalizace	21
3.8	Faktory ovlivňující krystalizaci	23
3.9	Rozdělení krystalizačních látek	23
3.10	Způsob aplikace	24
3.10.1	Aplikace ve formě přísady do betonu	24
3.10.2	Aplikace ve formě nátěru a nástřiku	25
3.10.3	Aplikace ve formě tmelu a ucpávek	25
3.10.4	Aplikace vsypem na povrch čerstvého betonu	26
3.10.5	Aplikace injektáží do zdiva	26
3.10.6	Aplikace ve formě stěrky.....	26

3.11	Ošetřování	27
3.12	Technické specifikace krystalizačních materiálů	27
3.13	Faktory omezující použitelnost krystalizačních materiálů	28
3.14	Přehled krystalizačních produktů na českém trhu	28
4.	Samozhutnitelný beton (SCC).....	29
4.1	Složení SCC.....	29
4.2	Porovnání SCC s běžným vibrovaným betonem.....	31
4.2.1	Čerstvý beton	31
4.2.2	Zatvrdlý beton.....	31
5.	Literární rešerše informací ke krystalizačním přísadám.....	32
6.	Využití v praxi.....	37
6.1	Bílé vany	37
6.2	Sanace	38
	Experimentální část	39
7.	Metodika testování	39
8.	Experimentální testování	40
8.1	Etapa I – výroba zkušebních těles.....	40
8.2	Etapa II – aplikace nátěru a uložení v agresivních prostředích	42
8.2.1	Agresivní prostředí.....	42
8.3	Etapa III – fyzikálně-mechanické zkoušky	45
8.3.1	Stanovení nasákavosti	46
8.3.2	Stanovení kapilární vztlínivosti.....	48
8.3.3	Stanovení objemové hmotnosti.....	49
8.3.4	Stanovení pevnosti v tahu povrchových vrstev	50
8.3.5	Stanovení pevnosti v tlaku.....	53
8.3.6	Analýza REM.....	55
8.4	Diskuze výsledků.....	58

9. Závěr	61
Seznam použitých zdrojů	63
Seznam použitých zkratk a výrazů	66
Seznam tabulek.....	67
Seznam obrázků.....	67
Seznam grafů	68
Seznam příloh.....	68
Přílohy	68

1. Úvod

Beton je vysoce trvanlivý materiál, který je sám o sobě schopen poměrně dlouho vzdorovat agresivním prostředím. V případě železobetonu se jeho odolnost často snižuje z důvodu koroze výztuže, která může probíhat při přítomnosti vody v betonu. Z tohoto důvodu se konstrukce opatřují hydroizolacemi, které mají průniku vody zabránit. Nejběžnější jsou hydroizolace asfaltovými pásy, plastovými foliemi a nátěry a stěrkami založených na nejrůznějších materiálových bázích. Jejich cílem je zamezení pronikání vody a agresivních látek do betonu, které způsobují koroze betonu i ocelové výztuže. Tyto degradační procesy vedou ke snižování životnosti (trvanlivosti) konstrukce a mohou skončit i její destrukcí.

V současné době se stále více používají progresivní hydroizolace na bázi sekundární krystalizace. Tyto materiály přišly na český trh až v devadesátých letech a kvůli tomu jejich použití stále naráží na nedůvěru stavebníků. V zahraničí i u nás bylo provedeno nespočet zkoušek, které měly za cíl prokázat jejich účinek a spolehlivost v betonu.

Použití krystalizačních materiálů na bázi sekundární krystalizace (dále jen „krystalizační materiály“) chrání betonové konstrukce před působením vody a agresivních látek. To má za následek zpomalení degradace betonu a tím zvýšení jeho životnosti. Proto se používají i při návrhu vodostavebních betonů. U krystalizačních materiálů dochází na rozdíl od tradičnějších řešení (asfaltové pásy, plastové fólie atd.) ke změně vnitřní struktury betonu. Tato změna struktury přináší kromě hydroizolačních schopností i řadu dalších změn v charakteristice betonu. Především se jedná o změny v pórové struktuře betonu, které mají pozitivní vliv na životnost betonu.

2. Cíl práce

Cílem této práce je studium krystalizačních materiálů a jejich vlivu na trvanlivost samozhutnitelných betonů. Důvodem, proč se tato práce zabývá samozhutnitelnými betony, je opomíjení jejich testování s aplikovanými krystalizačními materiály, přestože se jedná o dosti rozšířený typ betonu. Samozhutnitelný beton je speciálně navržený druh betonu, který při ukládání nepotřebuje zhutňovat. Od běžného vibrovaného betonu se v některých parametrech odlišuje, což bude v práci podrobněji rozebráno.

Teoretická část práce se bude zabývat rešerší dostupných poznatků z domácích i mezinárodních zdrojů, jejich vlivem a chování v betonu. Na základě zjištěných skutečností budou vymezeny základní faktory, které determinují pronikání a účinnost těchto materiálů v samozhutnitelných betonech. Bude provedeno rozdělení krystalizačních materiálů a technologií aplikace. Dále bude proveden průzkum výrobců a materiálů na českém trhu. Součástí teoretické části bude také literární rešerše testování krystalizačních materiálů u nás i ve světě, a v neposlední řadě také nebude chybět popis metodiky a výsledky jednotlivých zkoušek realizovaných při testování účinku krystalizačních materiálů.

Na základě zjištěných skutečností v teoretické části bude navržena metodika testování pro experimentální část práce. V té bude testována hloubka průniku krystalizačních materiálů a ověření jejich vlivu na trvanlivost samozhutnitelných betonů. Účinek krystalizačních materiálů bude v práci testován komplexem fyzikálně-mechanických stanovení (tj. především pevnostní parametry) a dále pak pomocí mikrostrukturálních analýz. Významným faktorem pak bude komparace výsledků zkoušek provedených na vzorcích exponovaných vybranými typy agresivních prostředí a na vzorcích referenčních.

3. Krystalizační materiály

3.1 Úvod

Beton je nejrozšířenější stavební materiál. Jedná se o velice univerzální materiál, který se neustále vyvíjí. Hledají se nové a nové možnosti k jeho uplatnění. Při výrobě se používají nové látky a recyklují odpadní suroviny tak, aby beton nabýval požadovaných vlastností. Krystalizační materiály jsou látky, které se do betonu přidávají z důvodu utěsnění mikrostruktury betonu a zacelení drobných trhlin. Výsledkem je beton, který se účinně brání pronikání vody (tzv. vodonepropustný beton). Stává se mnohem odolnější vůči působení vnějších degradačních vlivů, a tím roste i jeho životnost.

Složení těchto krystalizačních materiálů je u všech výrobců podobné. Základ tvoří portlandský cement, křemičitý písek a chemické látky, které způsobují vznik krystalů prorůstajících do struktury betonu. [1]

Pronikání vody do betonů je dáno uspořádáním jejich vnitřní mikrostruktury. Zásadní roli zde hrají faktory, jako jsou pórovitost, spojitost kapilárních pórů a permeabilita (propustnost). [2]

3.2 Vodonepropustnost a permeabilita betonu

Vodonepropustnost betonu je problematika zahrnující působení tlakové vody, ale i pronikání vody za atmosférického tlaku a vztlínání vody pórovou strukturou. Pohyb kapalin v porézním prostředí betonu závisí jak na charakteru pronikající kapaliny, tak na vlastní charakteristice pórové struktury. [9]

Beton je pórovitý materiál, díky čemuž umožňuje pronikání kapalných a plynných látek do své struktury. Póry se dělí podle svého vzniku a velikosti. Jedná se o kapilární póry, které vznikly odvodem přebytečné záměsové vody po hydrataci cementu. Jejich velikost je 0,1 až 10 μm . Dále se jedná o gelové póry, které jsou součástí pevných hydrátů, především v C-S-H (tobermoritickém) gelu. Nabývají velikosti 1 až 10 nm. Vzduchové póry jsou ve formě bublin o velikosti 100 až 300 μm . Dále jsou součástí betonu i póry obsažené v kamenivu nebo tzv. kaverny vzniklé nedostatečným zhutněním. [3]

Mezi zásadní charakteristiky pórové struktury patří pórovitost, spojitost kapilárních pórů a permeabilita. Pórovitost vyjadřuje, jak velký objem betonu je tvořen póry nebo dutinami. Pokud póry nejsou propojené, neumožňují průchod kapalinám a plynům. Na pórovitost má největší vliv velikost vodního součinitele (podíl hmotnosti vody a cementu). S klesajícím vodním součinitelem klesá i pórovitost. V případě, že se při návrhu betonu sníží vodní součinitel, zvýší se jeho pevnost a odolnost proti tvorbě trhlin. Tím se zvýší také trvanlivost.

Permeabilita je vlastnost, která ovlivňuje rychlost pronikání kapalin a plynů do pórové struktury. Závisí na velikosti, rozdělení a spojitosti pórů. Ovlivňuje rychlost pronikání vody do betonu, nasákavost i vysychání betonu. Je ovlivňována kvalitou cementového kamene a existencí trhlin na rozhraní kameniva a cementového kamene. Pro její vyjádření se používá Darcyho zákon pro ustálený tok kapaliny pórovým systémem.

$$v = \frac{dq}{dt} \frac{1}{A} = k \frac{\Delta h}{l}$$

v – rychlost průtoku [m/s]

$\frac{dq}{dt}$ – průtok [m³/s]

A – plocha průřezu [m²]

k – součinitel permeability [m/s]

Δh – hydraulický spád [m]

l – délka vzorku ve směru filtrace [m]

Součinitel permeability nemá konstantní hodnotu. Je ovlivněn vodním součinitelem a stupněm hydratace cementu. Pro zkoušení permeability se používají zkoušky založené na pronikání vody, plynů nebo elektrického náboje betonem. Například tzv. rychlá zkouška propustnosti chloridů (RCPT) nebo zkoušky vodotěsnosti.

Permeabilitu určuje síť spojitých kapilárních pórů v betonu. Jak pokračuje hydratace cementu, přerušuje se síť kapilárních pórů vytvářejícím se C-S-H gelem a součinitel permeability klesá. Kdy dojde k přerušení kapilár, závisí na hodnotě vodního součinitele a vlhkosti prostředí, ve kterém se beton nachází. Součinitel permeability klesá dál, i pokud dojde k přerušení kapilár. Děje se tak z důvodu zvětšování tloušťky C-S-H mezi kapilárami. Pokud vodní součinitel betonu nabývá hodnot větších

než 0,7, pak nedojde k přerušení kapilární sítě. Takový beton bude mít vysokou permeabilitu, která v případě vystavení konstrukce agresivním kapalinám, povede k degradačním procesům v betonu. Výsledkem bude snížení jeho životnosti, která může vést až ke ztrátě únosnosti.

Důležitým faktorem, který ovlivňuje permeabilitu betonu, je i délka ošetřování vodou. U betonů, které jsou ošetřovány déle, klesá permeabilita rychleji. Pro její snížení je vhodné do návrhu směsi přidat aktivní minerální příměsi jako je křemičitý úlet. Ten snižuje pórovitost i velikost pórů v betonu. [2]

Aktivních minerálních příměsí se využívá i u návrhu samozhutnitelných betonů, kde se přidávají z důvodu zlepšení některých technologických vlastností. Mimo jiné však jejich přítomnost ve směsi redukuje množství pórů a přispívá k vyšší homogenitě samozhutnitelných betonů.

Obecně se dá říci, že spojitá pórovitost snižuje životnost betonu, zatímco nespojitá pórovitost, která je volně rozptýlená v cementové matrici, životnost nesnižuje

Závislost kapilární pórovitosti (spojitá pórovitost) na hodnotě vodního součinitele a míře hydratace matematicky vyjádřil Powers vztahem:

$$V_p = \frac{v}{c} - 36,15 \alpha$$

V_p – objem kapilárních pórů vyjádřených v litrech na 100 kg cementu

$\frac{v}{c}$ – vodní součinitel [-]

α – stupeň hydratace [-] [3]

Ze vzorce vyplývá, že pokud chceme snížit kapilární pórovitost, je třeba snížit vodní součinitel nebo zvýšit stupeň hydratace.

3.3 Životnost betonů

Životnost je chápána jako schopnost betonů odolávat vnějším i vnitřním degradačním pochodům, které vedou k porušení betonu a ztrátě jeho vlastností. Především ztráta mechanických vlastností je velmi závažná a může vést až ke ztrátě únosnosti konstrukce.

Porušení železobetonových konstrukcí je způsobováno několika pomalými a postupnými procesy, kterými jsou zejména:

- koroze výztuže,
- síranová koroze cementové matrice,
- tvorba ledu v cementové pastě a kamenivu,
- působení agresivních vod na povrch betonu,
- rozvoj trhlin následkem vlhkostních a teplotních změn a zatížení,
- abraze a eroze povrchu betonu,
- alkalicko-křemičitá reakce. [3]

Podrobněji budou degradační procesy popsány v následujících kapitolách.

3.3.1 Koroze výztuže

Při korozi výztuže dochází k tvorbě rzi, která je tvořena oxidy a hydroxidy železa. Koroze je umožněna přístupem vlhkého vzduchu (kyslík a voda) krycí vrstvou k oceli. Začne se tvořit rez, která postupně nabírá na objemu. Vrstva krycí praská a dochází k přímému kontaktu ocelové výztuže se vzduchem, čímž se koroze dále zhoršuje.

Koroze má za následek snižování účinného průřezu výztuže a může být urychlována například karbonatací betonu nebo pronikáním chloridů.

Karbonatace betonu je způsobena pronikáním CO_2 pórovou strukturou krycí vrstvy výztuže. Díky tomu dochází postupně k neutralizaci $\text{Ca}(\text{OH})_2$. To vede ke snížení pH krycí vrstvy pod hodnotu 9,6 a odstranění speciální ochranné vrstvy železitých oxidů na povrchu výztuže (depassivace). V případě přítomnosti vlhkého vzduchu pak začne probíhat koroze výztuže.

Pronikání chloridů k ocelové výztuži rovněž způsobuje depassivaci. Týká se betonů, které jsou vystaveny působení mořské soli nebo rozmrazovacím solím. V případě pronikání chloridů je koroze výztuže výrazně nepravidelná. Jedná se o tzv. bodovou korozi. Stejně jako v případě karbonatace se jedná pouze o iniciátor koroze. Vlastní korozi pak způsobuje O_2 a H_2O . [3]

3.3.2 Síranová koroze

Síranová koroze je způsobena expanzí sekundárního ettringitu, kterou vyvolává reakce síranů s hydratačními produkty cementové pasty. Podle výskytu síranů se dělí na vnitřní a vnější síranovou korozi. V případě vnitřní síranové koroze jsou sírany vneseny do betonu při jeho výrobě. Vnější síranová koroze probíhá pouze za přítomnosti vody, síranů a dostatečné permeability betonu. [3]

3.3.3 Vyluhování cementové pasty působením agresivních vod

Porušení betonu vyluhováním cementové pasty nastává při kontaktu s agresivními kapalinami. Jedná se především o odpadní vody z průmyslové výroby, které obsahují:

- agresivní CO_2
- kyseliny
- amonné soli
- hořečnaté soli
- octan vápenato-hořečnatý.

Vyluhování CO_2 rozpuštěným ve vodě je založeno na reakcích, při kterých se $\text{Ca}(\text{OH})_2$ transformuje do rozpustných solí. Působením kyselin dochází k vyluhování $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a CaCO_3 . V případě silných kyselin ($\text{pH} < 4$) dochází k vyluhování C-S-H gelu. U amonných a hořečnatých solí dochází k přeměně $\text{Ca}(\text{OH})_2$ na rozpustné soli a plynný amoniak, popřípadě pevný $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Působení octanu pak vede k vyluhování vápníku z $\text{Ca}(\text{OH})_2$ nebo z C-S-H gelu. [3]

3.3.4 Porušení cyklickým zmrazováním a rozmrazováním

Porušení betonu cyklickým zmrazováním a rozmrazováním je způsobeno nárůstem objemu, ke kterému dochází při přeměně vody na led při teplotách pod $0\text{ }^\circ\text{C}$. Při přeměně vody na led se objem zvýší o 9 %. Pokud nemá led prostor k růstu, dochází k tvorbě trhlin v betonu. Pokud se v betonu nevyskytuje voda, nemůže dojít k porušení betonu. K porušení dochází jen, když je dosaženo tzv. kritické hranice nasycení (cca 91,7 %). Nasycením se rozumí poměr mezi objemem vody a objemem pórů.

Mrazuvzdornost betonu neboli schopnost odolávat tvorbě ledu bez porušení ovlivňuje obsah kapilárních pórů, míra provzdušnění a použití hutného kameniva. [3]

3.3.5 Povrchové trhliny způsobené fyzikálními vlivy

Povrchové trhliny vznikají většinou díky tahovým napětím. Ty jsou vyvolány působením fyzikálních vlivů v cementové matici nebo na rozhraní s kamenivem. Trhliny snižují odolnost betonu vůči působení agresivních látek, protože zvyšují permeabilitu betonu. Vlivy, které způsobují vznik tahových napětí, jsou:

- Smrštění vysycháním betonu, který je vystaven suchému prostředí. Dochází ke smrštění povrchu vůči zbytku betonu, který zůstává vlhký. Pokud tahová napětí převyší tahovou pevnost v betonu, dochází k tvorbě trhlin.
- Teplotní smrštění způsobené střídáním teplot. Při rychlém ochlazování dochází v povrchové vrstvě betonu k rychlejšímu poklesu teploty. Vnitřní části se ochlazují pomaleji, čímž dochází ke vzniku tahových napětí a případných trhlin.
- Nestejnoměrné zahřívání betonu způsobeného hydratačním teplem nastává u masivních betonových konstrukcí. Vnitřek betonu se zahřívá a povrchové vrstvy jsou ochlazovány vzduchem. Výsledkem je vznik tahových napětí, která vedou k tvorbě trhlin.
- Dynamická zatížení vyvolaná opakujícími se tahovými napětími se vyskytují například u mostních konstrukcí. Za předpokladu, že tahová napětí převyší pevnost v tahu, dojde ke vzniku trhlin.
- Stálé statické zatížení, které v konstrukci vyvolává tlak i tah. V případě různých defektů v betonu může dojít ke statické únavě, která způsobí ztrátu únosnosti konstrukce. [3]

3.3.6 Mechanické narušování povrchu betonu

Mechanické narušování povrchu je způsobeno abrazí, erozí nebo nárazem. Náchylné jsou konstrukce, kde při betonáži došlo k odměšování vody. Tím se zvyšuje vodní součinitel v povrchové vrstvě, která se tak stává málo odolnou vůči mechanickým vlivům.

Kvalitu povrchových vrstev můžeme v návrhu směsi zlepšit použitím mikrosiliky a snížením vodního součinitele. Příkladem může být např. samozhutnitelný beton. [3]

3.3.7 Alkalicko-křemičitá reakce

K alkalicko-křemičité reakci může dojít, pokud kamenivo obsahuje amorfni SiO_2 , schopné reagovat s alkáliemi. Ty se v betonu v malé míře přirozeně nacházejí. Dalším zdrojem alkálií může být vnější prostředí. Alkalicko-křemičitá reakce způsobuje porušení betonu z důvodu expanzního charakteru reakce. K reakci mezi amorfni oxidem křemičitým a alkáliemi dochází za přítomnosti vody. Výsledkem je N-S-H nebo K-S-H fáze, jejichž objem je mnohonásobně větší a dochází k narušování betonu. Přítomnost vlhkosti je pak klíčovou podmínkou, bez které alkalicko-křemičitá reakce neproběhne. [3]

3.4 Hodnocení životnosti betonu

Hodnocení životnosti betonu je komplikované téma, které je při navrhování staveb čím dál důležitější. Časově prognózovat délku životnosti je velice komplikované a nepřesné. Pro simulaci chování betonu v agresivních prostředích se používají tzv. zrychlené degradační zkoušky. Jejich úkolem je poskytnout dostatek informací o chování betonu v degradačním prostředí. Výsledky se pak dají použít k matematické predikci životnosti konstrukce. Jedná se o simulace, kdy je vzorek většinou zatížen jen jedním agresivním médiem s koncentrací mnohonásobně vyšší, než je v praxi obvyklé. [4]

I přes svůj název jsou zrychlené degradační zkoušky časově velmi náročné. Proto se pro hodnocení životnosti používají i zkoušky mechanického a fyzikálního charakteru. Jedná se o rychlé zkoušky, které hodnotí určitý parametr betonu. Obecně se pro hodnocení životnosti používají zkoušky založené na měření permeability a mechanické pevnosti.

Zkoušky založené na permeabilitě hodnotí pronikání a pohyb kapalin a plynů v betonu. Platí, že čím menší je permeabilita betonu, tím lepší se předpokládá jeho životnost. Nejčastěji se používají zkoušky vodotěsnosti za pomoci tlakové vody, zkoušky plynotěsnosti, nasákavosti a vzlínivosti. Při zkouškách mechanické pevnosti platí, že čím větší jsou pevnostní charakteristiky betonu, tím větší se předpokládá jeho životnost. Jedná se o zkoušky pevností v tlaku, v tahu, v tahu za ohybu aj. [6, 10]

Některé ze zkoušek hodnotících životnost betonů budou provedeny v experimentální části práce.

3.5 Ochrana proti působení vody

Na beton většinou působí více degradačních procesů souběžně a tím se jejich negativní vliv sčítá. Například vznik trhlin umožňuje vodě snáze pronikat do betonu a způsobovat korozi výztuže nebo při přeměně v led vyvozovat nebezpečná tahová napětí. Proto existují tzv. stupně vlivu prostředí, které jsou popsány v normě ČSN EN 206. Ty specifikují požadavky na beton podle toho, v jakém prostředí se nachází.

Stupně vlivu prostředí:

- X0 – pro beton bez nebezpečí koroze nebo narušení
- XC1 až XC4 – pro beton s nebezpečím koroze vlivem karbonatace
- XD1 až XD3 – pro beton s nebezpečím koroze vlivem chloridů, ne však z mořské vody
- XS1 až XS3 – pro beton s nebezpečím koroze vlivem chloridů z mořské vody
- XF1 až XF4 – pro beton vystavený mrazu a rozmrazování
XF1 a XF3 – bez rozmrazovacích prostředků
XF2 a XF4 – s rozmrazovacími prostředky
- XA1 až XA3 – pro beton vystavený chemicky agresivnímu prostředí
- XM1 až XM3 – pro beton mechanickým zatížením (namáhání obrusem) [5]

Za většinu degradačních procesů je spoluodpovědná voda. To je důvod, proč se vyvíjí stále nové technologie k zabránění vnikání kapalin do pórové struktury betonu. [10]

Možností jak zabránit vodě vnikat do betonu je hned několik. Jednou je omezit pórovitost vhodným návrhem betonu. Kdy se za pomoci správného výběru a dávkování jednotlivých složek docílí nízkého vodního součinitele a vysoké hutnosti betonu. Výsledkem je pak beton odolný proti působení vody. Nicméně se jedná o řešení, které je technologicky velice náročné a vodotěsné schopnosti betonu jsou závislé na kvalitě provedení.

Další z možností ochrany konstrukce před působením vody jsou hydroizolace. Ty brání kontaktu betonu s vodou, instalují se na jeho povrch a vytvářejí nepropustnou bariéru. Jsou založeny na různých materiálových bázích. Nejčastěji se jedná o živичné pásy, plastové fólie, polyuretanové nátěry aj. Beton na povrchu opatřený těmito izolacemi je chráněn od působení vody. Jedná se o klasické cenově dostupné řešení, kterým se chrání jak nové, tak stávající betony proti průniku vody do konstrukce.

Nevýhodou tohoto řešení je pracnost provádění, nutnost pečlivého spojení švů izolací a riziko jejich mechanického poškození.

Proto se v současné době rozmáhá používání speciálních materiálů na bázi sekundární krystalizace cementu. Tyto materiály se dají použít jako hydroizolace aplikací na povrch betonu nebo jako přísada do čerstvého betonu. Za pomoci chemické reakce utěšňují póry v betonu a stávají se jeho trvalou součástí. Na rozdíl od běžných hydroizolací tak nejsou náchylné k porušení. [9]

3.6 Krystalizační materiály na bázi sekundární krystalizace

Historie těchto materiálů se datuje od konce 60. let minulého století. Vznikly v Kanadě. Jejich vývoj až do 80. let probíhal výhradně na území Severní Ameriky. Na konci 70. let pak vznikly první použitelné přísady do čerstvého betonu od firmy Xypex Chemical Corporation. Postupně došlo k rozšíření technologie i do jiných částí světa. Velkou odezvu měly tyto materiály v Asii, kde v 80. letech probíhal intenzivní výzkum těchto progresivních materiálů. Postupně se vymýšlely nové formy aplikací a využití až do dnešních, téměř komplexních řešení.

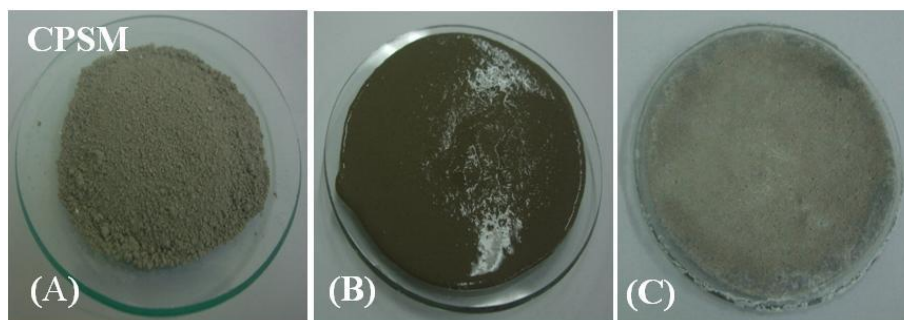
Jedná se o materiály na čistě komerční bázi, jejichž přesné složení je obchodním tajemstvím. Obecně lze složení popsat jako směs jemného křemičitého písku, portlandského cementu a aktivních chemických látek umožňujících krystalizaci. Výhodou této technologie je její možnost aplikace jak v čerstvém betonu, tak ve stávajících starých betonech. Pokud se po aplikaci v konstrukci nachází voda, začne probíhat chemická reakce, jejímž výsledkem je tvorba krystalických novotvarů, které utěšňují trhliny a póry v betonu. Tím se uzavře cesta pro pohyb vody v betonu. Tato vytvořená hydroizolační bariéra se stává trvalou součástí betonu a s přítomností vlhkosti se dále rozšiřuje hlouběji do betonu. Proto není snadné krystalické hydroizolace mechanicky poškodit, jako je tomu u jiných typů izolací. [9]

3.7 Princip sekundární krystalizace

Krystalizační přísady jsou jemnozrnny sypký materiál. Základními složkami jsou cement, křemičitý písek a speciální chemické látky způsobující krystalizaci. Tyto chemické látky jsou hydrofilní, což jim umožňuje pronikat hluboko do nasycených kapilárních pórů betonu. Za přítomnosti vody dochází k chemické reakci, díky které se ve struktuře betonu začnou tvořit krystaly. Jedná se o tenké jehličkovité krystalické

novotvary, které postupně zaplňují všechny kapilární póry a stávají se trvalou součástí betonu.

Na obr. 1 jsou tři fotografie, které ukazují hydrataci krystalizačních materiálů. Na fotografii A je krystalizační materiál před hydratací. Na fotografii B dochází po smíchání s vodou k hydrataci. Snímek C byl pořízen po 24 hodinách hydratace, kdy jsou na povrchu rozeznatelné bílé krystaly. [7]



Obr. 1: Hydratace krystalizačního materiálu [7]

Princip pronikání krystalizačních látek do betonu je umožněn za pomoci difuze. Difuze je obecně založena na principu vyrovnávání koncentrací roztoků. Roztok o vyšší koncentraci přechází do roztoku o nižší koncentraci. V pórovém systému betonu je pak difuze krystalizačních látek realizována jako průnik krystalizačních chemikálií (roztok s vysokou koncentrací) do vody v pórech (roztok s nízkou koncentrací). Dochází k pronikání krystalizačních chemikálií hlouběji do betonu, které se dostávají do kontaktu s produkty hydratace cementu. Hloubka, do které krystalizační materiály díky difuzi mohou proniknout, je dána především kvalitou ošetřování a obsahem pórové vody. [17]

Princip působení krystalizačních materiálů je založen na chemické reakci, při níž dojde k dodatečné krystalizaci nezhydratovaných slínekových minerálů, které utěsní kapilární póry.

Chemické složky krystalizačních materiálů reagují při hydrataci s cementovou matricí za přechodného vzniku $\text{Ca}(\text{OH})_2$, poté dochází k tvorbě silikátových aniontů.

Po smíchání krystalizační směsi s vodou a nanesení nátěru začne krystalizace a tvorba nerozpustných sraženin ve struktuře betonu. Jedná se o proces doprovázený tvorbou tobermoritového gelu $3\text{Ca}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ a hydráttetrakalcium aluminátu $3\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{Ca}(\text{OH})_2\cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Souběžně probíhá i vznik CaF_2 , který je ve vodě nerozpustný.

Beton opatřený krystalizační hydroizolací je propustný pro plyny, ovšem pro vodu je nepropustný. Dokáže odolávat agresivním roztokům solí, tlakové vodě, oleji nebo benzínu. Další pozitivní vlastností je schopnost udržovat v betonu vysoké hodnoty pH, čímž se předchází korozi výztuže. [20]

Vytváření krystalizačních novotvarů dokáže kromě utěšňování pórů zacelovat i trhliny v betonu, a to až do šíře 0,4 mm. Podmínkou je přítomnost vody. Toto tzv. autogenní hojení trhlín snižuje permeabilitu betonu a příznivě působí na trvanlivost betonu. [21]

3.8 Faktory ovlivňující krystalizaci

Mezi základní faktory, které ovlivňují krystalizaci, patří:

- pórová struktura cementové matrice
- voda
- způsob aplikace

Pórovitost cementové matrice umožňuje pohyb degradačních médií, čímž se snižuje životnost betonu. Krystalizační materiály zaplňují kapilární póry tvorbou jehličkovitých krystalů a beton se stává nepropustným.

Voda je zásadní faktor, který je součástí chemické reakce umožňující vznik krystalizačních novotvarů. Bez přítomnosti vody nedochází ke spuštění sekundární krystalizace cementu. Proto se použití krystalizačních materiálů omezuje na vlhké konstrukce nebo na použití v čerstvém betonu.

Se způsoby aplikace se částečně mění i složení krystalizačních materiálů. Způsob aplikace je závislý na stáří konstrukce, stupni vlivu prostředí, tlakovém zatížení vodou atd. Vždy je třeba volit řešení, které bude spolehlivé a cenově příznivé. [9]

Rozdělením a způsoby aplikací se zabývají následující kapitoly.

3.9 Rozdělení krystalizačních látek

Krystalizační látky se rozdělují na dva základní druhy:

- Krystalizační přísady
- Krystalizační izolační hmoty

Krystalizační přísady se používají při výrobě betonu jako přísada. Při výrobě se ve směsi rozmísí a za pomoci krystalizace utěsní póry v betonu. Mají schopnost zacelovat smršťovací trhliny a pracovní spáry. Výsledkem je vodotěsný betonový prvek.

Mezi krystalizační izolační hmoty patří všechny ostatní druhy krystalizačních látek. Nejčastěji se používají nátěry či nástřiky pro sanace betonových konstrukcí zatížených průsakem vody. Patří sem i rychletuhnoucí tmely pro lokální průsaky, krystalizační látky pro vsyp aj. speciální druhy. [22]

3.10 Způsob aplikace

Hydroizolační materiály s krystalizačními účinky je možno aplikovat různými způsoby. Jednotliví výrobci nabízejí speciálně vytvořené produkty pro každou z forem aplikací. Forma aplikace a tedy i druh krystalizačního materiálu se volí v závislosti na konkrétních specifikacích konstrukce a cenové výhodnosti jednotlivých řešení. Správný výběr materiálu může výrazně snížit náklady. [11]

3.10.1 Aplikace ve formě přísady do betonu

Používá se jako hydroizolační bariéra u nově budovaných konstrukcí. Přidává se přímo do betonové směsi při míchání. Složení se oproti výrobkům pro aplikaci nátěrem mírně liší. Písady totiž obsahují menší množství křemičitého písku. U nově budovaných betonových konstrukcí je použití krystalizačních přísad jako formy aplikace cenově výhodnější než dodatečné opatřování povrchu konstrukce nátěrovou aplikací. V praxi se používají především na konstrukce bílých van a jiných vodonepropustných betonových konstrukcí. [14]

Dávkování přísad je možno provádět několika způsoby. Nejběžnější je dávkování v suchém stavu do směsi kameniva. Následuje delší míchání s kamenivem, které má zajistit rovnoměrné rozptýlení chemicky aktivních látek ve směsi. Po rozmíchání se pokračuje běžným způsobem.

Další možností jak tyto přísady dávkovat je v aktivované podobě. Ta spočívá v rozmíchání požadovaného množství přísady v části záměsové vody. Vzniklá řídká směs se dávkuje do suchých složek směsi spolu se zbytkem záměsové vody. Obvyklé dávkování je 0,5 až 3 % z hmotnosti cementu. Přesná hodnota dávkování je však závislá na specifických požadavcích každé konstrukce.

Po uložení čerstvého betonu se pokračuje ošetřováním, které provádíme podle pokynů výrobce. Krystalizační látky začnou být aktivní, až po vytvoření základní struktury betonu. Aby mohlo dojít k chemické reakci, při níž vzniknou krystalické novotvary, musí být kapilární póry nasycené vodou. Proto je třeba dodávat betonu vlhkost ošetřováním. [23]

3.10.2 Aplikace ve formě nátěru a nástřiku

Tato forma aplikace je nejrozšířenější a nabízejí ji všichni výrobci. Bývá častým řešením při sanaci plošných betonových prvků. Nátěr je možné použít i u zděných konstrukcí, pokud je zdivo opatřeno cementovou omítkou. Podmínkou pro použití nátěrů na betonu je dostatečná kvalita povrchu, který musí být spojitý a soudržný. Stáří ani specifikace betonu není rozhodující. [11]

Aplikace je poměrně jednoduchá. Nejprve se rozmíchá krystalizační materiál s vodou v požadovaném poměru. Nanáší se jeden nebo dva nátěry. Druhý nátěr provádíme po zatuhnutí předchozího nátěru. Pro většinu aplikací je ale dostatečné provedení jednoho nátěru. Dva nátěry provádíme, pokud je konstrukce vystavena náporu tlakové vody nebo se první vrstva nátěru neukázala jako dostatečná. Před nanášením nátěru je třeba konstrukci očistit a otevřít pórovou strukturu na povrchu betonu. To se provádí zdrsňením svrchní vrstvy betonu například za pomoci ocelového kartáče nebo pomocí broušení. Následuje důkladné provlhčení povrchu betonu, aby se jeho kapilární póry zaplnily vodou a mohlo dojít ke krystalizaci. Důslednost provlhčení betonu je jedním z faktorů, který ovlivňuje míru krystalizace. Nátěr provádíme štětcem nebo stříkácí pistolí. Tloušťka nátěru by měla dosahovat min. 1 mm. Po zaschnutí nátěru provádíme jeho ošetřování. [23]

3.10.3 Aplikace ve formě tmelu a ucpávek

Tyto aplikace se používají na sanaci lokálních poruch betonu. Vyplňují se jimi trhliny, kterými proniká vlhkost, spáry nebo kaverny. Výhodou těchto výrobků je rychlost jejich zatuhnutí, která se pohybuje v řádech jednotek minut. Tmel se používá k řešení menších trhlin s menším průsakem vody. Aplikace ve formě ucpávek se naopak provádí u poruch se značným průsakem. Obě tyto varianty se

používají spolu s krystalizačními nátěry. Dodávají se v sypkém stavu, takže před vlastním použitím se musí smíchat s vodou v poměru udávaném výrobcem. [11]

Místo pro aplikaci tmelu musí být zbaveno nečistot a důsledně provlhčeno. Aplikace začíná vysekáním žlábků ve tvaru „U“ v místě trhliny. Poté následuje aplikace samotného tmelu, kterým se zaplní vytvořený žlábek. Po zatvrdnutí tmelu se celé místo i s blízkým okolím přetře krystalizačním nátěrem. Po zatumnutí nátěru následuje ošetřování vodou. [23]

3.10.4 Aplikace vsypem na povrch čerstvého betonu

Použití této formy aplikace je omezeno na vodorovné a mírně svažité betonové konstrukce. Nejčastěji se používá pro podlahy v chemických závodech, které jsou zatíženy působením agresivních medií. Aplikace se provádí sypáním krystalizačního prášku na zavadlý povrch čerstvého betonu. Následuje mechanické zapracování za pomoci rotační hladičky. Krystalizační materiál se tak stává součástí struktury a s mírným zpožděním začíná krystalizace. Ošetřování se provádí stejně jako u předchozích typů aplikací. [23]

3.10.5 Aplikace injektáží do zdiva

Tato aplikace se používá k sanaci zdiva zatíženého průsakem vody. Nejprve jsou do zdiva vyvrtány injektážní otvory, kterými se přivede cementové mléko, se kterým budou krystalizační látky reagovat. Po zatvrdnutí mléka se injektážními otvory vpustí krystalizační roztok. Krystalizační látky reagují s cementovým prostředím a vznikne vodonepropustná clona. [11]

Téměř žádný z výrobců nenabízí speciální produkt pro aplikaci injektáží. Většinou se pro výrobu injektážního roztoku používají krystalizační přísady.

3.10.6 Aplikace ve formě stěrky

Jedná se o rychletuhnoucí stěrky složené z portlandského cementu, křemičitého písku a chemických látek způsobujících krystalizaci. Povrch betonu ošetřujeme podobně jako v případě aplikace nátěru. Před použitím se smíchají s dodávaným roztokem v poměru udávaném výrobcem. Nanáší se za pomoci špachtle, válečku nebo štětce. Aplikuje se ve dvou vrstvách o celkové mocnosti cca 3 mm. [24]

3.11 Ošetřování

Ošetřování betonových prvků s aplikovanou krystalizační přísadou se provádí stejně jako u běžných čerstvých betonů (norma ČSN EN 206). Tedy minimálně po dobu 48 hodin od aplikace krystalizačního materiálu je nutné povrch betonu udržovat ve vlhkém stavu.

U aplikací na povrchu betonu musí být provedena dostatečná ochrana proti dešti, slunci a větru. Teplota vzduchu a betonu při aplikaci musí být v rozmezí +5 °C až +35 °C. Po zatuhnutí materiálu je třeba ošetřování vodou, aby se zabránilo vysychání horních vrstev aplikace a zajistila se dostatečná schopnost krystalizace. Ošetřený beton je udržován ve vlhkém stavu po dobu alespoň 3 dnů. Během ošetřování je třeba umožnit přístupu vzduchu k ošetřenému povrchu. [24]

3.12 Technické specifikace krystalizačních materiálů

Složení krystalizačních materiálů jednotlivých výrobců se mírně odlišuje, proto udávají i rozdílné specifikace svých výrobků. Pro názorný příklad byly zvoleny výrobky Xypex, které budou použity k testování v experimentální části práce.

Výrobce uvádí, že jeho produkty jsou schopny odolávat trvalé teplotní zátěži mezi -32 °C až 130 °C. Krátkodobě pak teplotám -185 °C až 1530 °C. Odolnost vůči agresivním kapalinám je udávána v závislosti na jejich pH, kdy výrobce udává odolnost vůči pH 3 až 11. Schopnost utěšňování povrchových trhlin je limitována hodnotou 0,4 mm a odolnost vůči tlakové vodě je min. 0,8 MPa. Materiály neobsahují žádné nebezpečné látky a mohou být použity pro konstrukce, které jsou v kontaktu s potravinami i pitnou vodou.

V případě výrobku Xypex Admix (přísada) je udáváno zvýšení tlakové pevnosti (při dávkování 2 % z hmotnosti cementu) o minimálně 15 %. Přísadu je možné používat i v kombinaci s jinými přísadami do betonu. Při vyšším dávkování mohou způsobovat mírné zpomalení tuhnutí. Pro správné fungování je požadován obsah cementu v betonové směsi ve výši alespoň 10 %.

Xypex Concentrate (nátěr) je možné aplikovat jak na negativní, tak na pozitivní (zatížena vodou) straně konstrukce. Po dostatečném časovém odstupu od aplikace je možno provést běžné povrchové úpravy (nátěry, omítky atd.) [24]

3.13 Faktory omezující použitelnost krystalizačních materiálů

U sekundární krystalizace jsou problémem aktivní trhliny, které mění svoji šířku. Krystalické novotvary utěsňující beton jsou velmi křehké a v případě, že dojde k pohybu v trhlině, dochází k jejich destrukci. Křehkost krystalů je třeba zohlednit a vyvarovat se použití této technologie v konstrukcích s aktivními trhlinami. Dále u konstrukcí, které nejsou odolné vůči pohybu způsobenému teplotními změnami nebo obecně u konstrukcí, kde hrozí větší deformace. V těchto specifických případech není použití krystalizačních materiálů spolehlivé, tudíž je třeba hledat jiné řešení. [16]

3.14 Přehled krystalizačních produktů na českém trhu

Na českém trhu působí celá řada výrobců krystalizačních izolací. Některé firmy nabízejí pouze krystalizační nátěry, jiní nabízejí vícero produktů umožňujících komplexní řešení hydroizolací. Přehled některých výrobců a produktů je uveden v tab. 1

Název firmy	Název výrobku	Aplikace
Nekap, s.r.o	Xypex Concentrate	nátěr
	Xypex Modified	nátěr
	Xypex Admix	příísada
	Xypex Concentrate DS I	vsyp
	Xypex Concentrate Patch'n Plug	tmel
Sika CZ, s.r.o	Sika WT-200 P	příísada
	SikaSeal-210 Migrating	stěrka
Realsan, s.r.o	Sikkaton-A	příísada
	Sikkaton-B	nátěr
	Sikkaton-E	tmel
Sun Stop	Ladax Mono	nátěr
	Ladax FS, FS II	nátěr
	Ladax FC	nátěr
	Ladax Quick	ucpávka
	Ladax Tmel	tmel
	Ladax Fix	příísada
ARTESA capillary dry, s.r.o.	H krystal	stěrka
	H krystal Mix, MR	příísada
	Hydra plug-A, B	ucpávka
Redrock Construction, s.r.o	Krystol T1	nátěr
	Krystol-S25	stěrka
	Krystol Mix	příísada
SCHOMBURG Čechy a Morava, s.r.o	Aquafin-IC	stěrka
	Aquafin-Admix	příísada
BASF Stavební hmoty Česká republika	MasterSeal 501	nátěr
Moramis, s.r.o	Akvatron 6	nátěr
	Akvatron 12	příísada

Tab. 1: Přehled některých výrobců krystalizačních hydroizolací a jejich produktů

4. Samozhutnitelný beton (SCC)

Samozhutnitelný beton patří mezi vysokohodnotné betony. Je to beton, který má v čerstvém stavu dostatečnou pohyblivost a odolnost vůči segregaci. Jak už z názvu vyplývá, tento beton dokáže dosáhnout požadované hutnosti bez jakékoli vnější pomoci (vibrovaní). Technologie SCC vznikla v 80. letech v Japonsku. V Evropě došlo k jejímu pozvolnému rozvoji v 90. letech.

Samozhutnitelný beton dokáže vyplnit bednění a obtékat i kolem hustě uložené výztuže. V čerstvém stavu se od běžného betonu liší větší pohyblivostí a tekutostí, ovšem v zatvrdlém stavu jsou si velice podobné. Skutečnost, že SCC nepotřebuje zhutňovat, vede k vyšší homogenitě výsledné struktury betonu. [5]

4.1 Složení SCC

Hlavní rozdíl oproti běžnému vibrovanému betonu je vyšší objem cementové matrice, která umožňuje vysokou pohyblivost betonu. Zvyšuje se obsah jemných podílů o cca 1/3 objemu. K úpravě pohyblivosti bez zvýšení dávky vody se používají superplastifikační přísady. Z důvodu omezení blokáží na výztuži a lepší pohyblivosti směsi se redukuje obsah hrubé frakce kameniva.

Samozhutnitelný beton se navrhuje tak, aby dosahoval dobré pohyblivosti bez blokáží kameniva na výztuži, netrpěl segregací a jeho vodní součinitel byl co nejnižší.

Jemné podíly jsou složky betonu, které mají velikost zrna do 0,125 mm. Zvýšením jejich obsahu se dosáhne snížení tření u kameniva z důvodu lepšího obalení zrn. Pro pohyb zrn stačí menší síla a betonu se zvýší jeho tekutost. Dalším důvodem pro zvýšení obsahu jemných podílů je úspora cementu. Při nadbytku jemných podílů dosahuje směs příliš vysoké viskozity. Naopak nízký podíl zvyšuje riziko segregace.

Použití superplastifikačních přísad umožňuje snížení obsahu záměsové vody a lze jimi upravovat pohyblivost. Snížením dávky vody se zlepšuje mikrostruktura betonu, dojde k omezení pórů a zlepšení mechanických vlastností.

Cement se používá nejčastěji portlandský CEM I 42,5 R, který dosahuje rychlého nárůstu pevností, nicméně je možné použít všechny cementy, které vyhovují požadavkům normy ČSN EN 197-1.

Kamenivo musí splňovat požadavky normy EN 12620. Nejvíce se používá těžené z důvodu vhodnějšího tvarového indexu. Křivka zrnitosti by měla být plynulá.

Maximální zrno se nedoporučuje větší než 16 mm. Při návrhu je nutné přihlédnout k minimální vzdálenosti výztuží v betonu a maximální velikost zrna podle ní upravit, aby nedocházelo k blokacím kameniva na výztuži.

Záměsová voda se redukuje použitím plastifikačních látek tak, aby výsledný vodní součinitel byl co nejnižší. Běžně se pohybuje mezi 0,3 až 0,6.

Vodní součinitel w [-] se určí ze vzorce:

$$w = \frac{m_v}{m_c + (k \cdot m_p)}$$

m_v – obsah vody [kg]

m_p – obsah aktivních příměsí [kg]

m_c – obsah cementu [kg]

k – hodnota odpovídající dané příměsi [-]

Příměsi se do samozhutnitelného betonu přidávají ke zlepšení některých vlastností. Zlepšují tekutost betonu, homogenitu, odolnost vůči segregaci aj. Podíly do 0,125 je třeba započítat do jemných podílů a zohlednit při výpočtu vodního součinitele. Nejčastěji používané příměsi jsou:

- létavý popílek – odpad při spalování uhlí, zlepšuje zpracovatelnost a pevnost betonu, zvyšuje spotřebu vody
- mikrosilika – vedlejší produkt při výrobě křemíku, díky pucolánovým vlastnostem zlepšuje pevnost a chemickou odolnost betonu
- struska – jedná se o latentně hydraulickou druhotnou surovinu vzniklou při výrobě železa, zlepšuje chemickou odolnost betonu

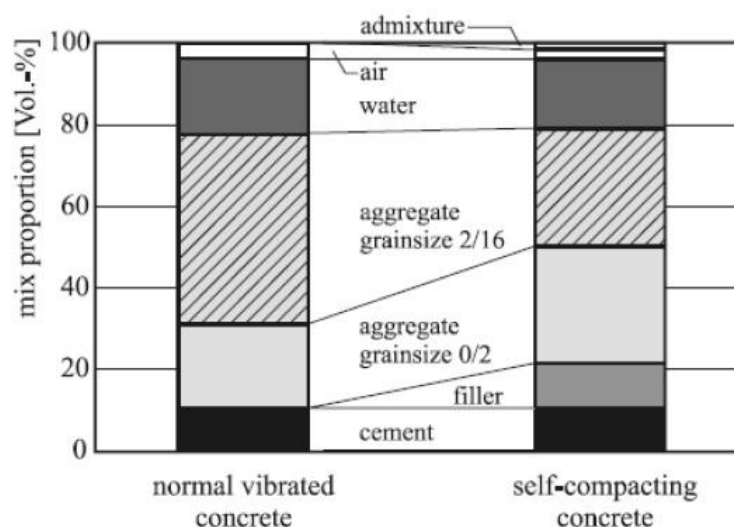
Přísady, které jsou pro samozhutnitelné betony nepostradatelné, jsou tzv. superplastifikační látky. Tyto látky umožňují výrazně snížit množství záměsové vody při zachování konzistence betonu. Redukce vody dosahuje až 1/3 objemu. To umožňuje zlepšení zpracovatelnosti a odolnosti čerstvého betonu vůči segregaci zrn. Nejúčinnějšími a nejpoužívanějšími superplastifikátory jsou pak výrobky na bázi polykarboxylátu. [5]

4.2 Porovnání SCC s běžným vibrovaným betonem

Tato práce pojednává o působení hydroizolačních materiálů na bázi sekundární krystalizace na samozhutnitelné betony. Tento speciální druh betonu se od běžného v některých parametrech odlišuje. Pro lepší představu fungování těchto materiálů v samozhutnitelných betonech je na místě srovnání odlišností s běžným vibrovaným betonem. Této problematice se věnují následující podkapitoly.

4.2.1 Čerstvý beton

U čerstvého betonu jsou rozdíly mezi SCC a běžným betonem jasně patrné. Rozdíly začínají už při návrhu směsi. U SCC jsou kromě základních surovin (cement, voda, kamenivo) i další suroviny (příměsi a přísady), které mají velký vliv na konečný výsledek. SCC jsou díky použití plastifikačních přísad a zvýšení obsahu jemných podílů více pohyblivé a tekuté. Na obr. 2 jsou patrné rozdíly ve složení směsí jednotlivých betonů. Část hrubého kameniva je u SCC nahrazena menší frakcí. Jemné podíly jsou zvýšeny přidáním příměsí. [5]



Obr. 2: Srovnání složení SCC s běžným betonem [5]

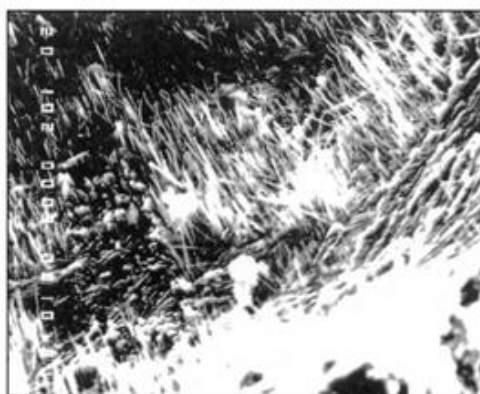
4.2.2 Zatvrdlý beton

Rozdíly u zatvrdlého betonu jsou menší než u čerstvé směsi. Je potřeba se na oba typy betonů podívat podrobněji. Rozdíly v zatvrdlém stavu vychází z rozdílného návrhu a složení směsí. SCC vyniká kvalitou povrchu. Velice dobře kopíruje tvar

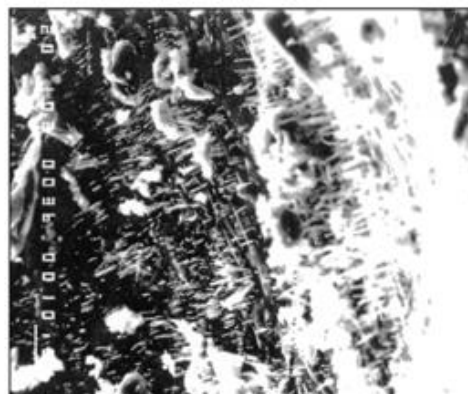
bednění. Další rozdíly najdeme v mikrostruktuře betonu. Díky redukci vodního součinitele mají SCC vyšší hutnost a jemnější kapilární póry. Odchází méně vody při zrání betonu a dosahují větší stejnorodosti. Snižování vodního součinitele má také pozitivní vliv na zvýšení pevnosti, čehož se využívá u vysokopevnostních betonů. Z důvodu absence zhutňování dosahují SCC i lepší soudržnosti s ocelovou výztuží. Nevýhodou je pak větší autogenní smršťování, které v případě nedůsledného ošetřování po betonáži může vést k tvorbě trhlin. Z pohledu životnosti jsou SCC díky jemnější pórové struktuře odolnější vůči agresivním prostředím než běžné betony. [5]

5. Literární rešerše informací ke krystalizačním přísadám

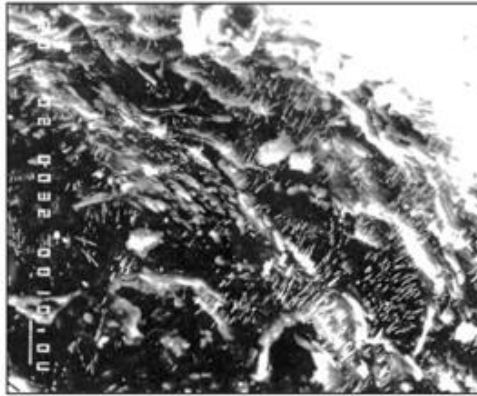
V roce 1992 provedli v Japonsku na Univerzitě Hosei zkoušení krystalizačního materiálu od firmy Xypex. Zkoumání účinků materiálu bylo prováděno za pomoci rastrovacího elektronového mikroskopu (REM). Po odformování vzorku byl proveden nátěr krystalizačním materiálem na jedné straně kvádrů. Vzorek byl ošetřován vodou po dobu sedmi dnů. Poté strávil jeden rok ve venkovním, nechráněném prostředí. Pro zkoumání REM byl ze vzorku zhotoven jádrový vývrt a zkoumán REM při 1000 násobném zvětšení. Výzkumem byla potvrzena schopnost krystalizačních nátěrů pronikat do betonu a utěšňovat póry. Na obr. 3, 4 a 5 je možné vidět fotografie pořízené REM v různých hloubkách od aplikovaného nátěru. Nejvíce krystalů bylo u povrchu s aplikovaným nátěrem. Směrem od povrchu hustota krystalů klesala, ale i v hloubce 30 centimetrů od nátěru byly znatelně rozeznatelné jehličkovité krystaly. Z rentgenové difrakční analýzy bylo zjištěno, že se jedná o C-S-H krystaly zodpovědné za zlepšení hutnosti a utěsnění betonu. [8]



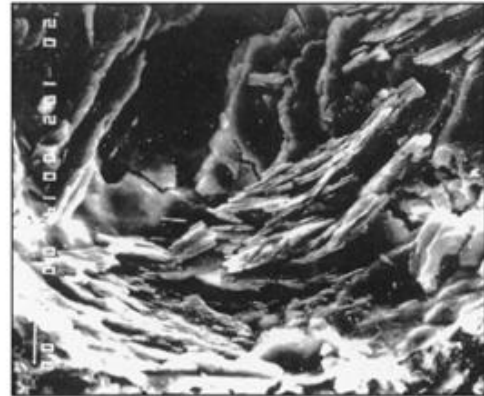
Obr. 3: REM 1000x, hloubka 10 cm [8]



Obr. 4: REM 1000x, hloubka 20 cm [8]



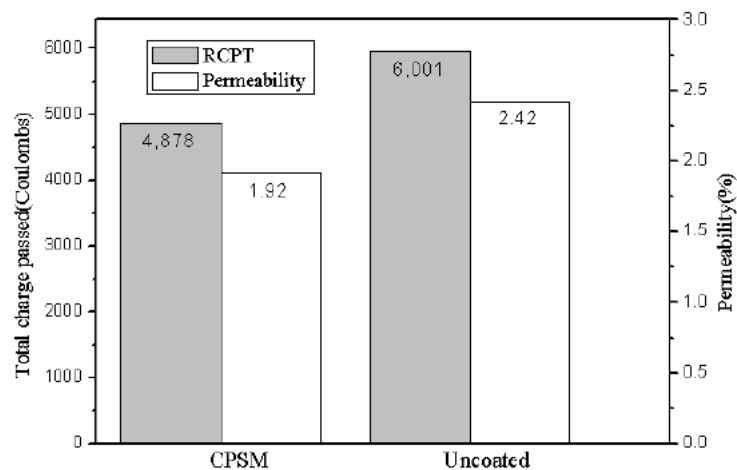
Obr. 5: REM 1000x, hloubka 30 cm [8]



Obr. 6: REM 1000x, bez aplikace Xypex
hloubka 10 cm [8]

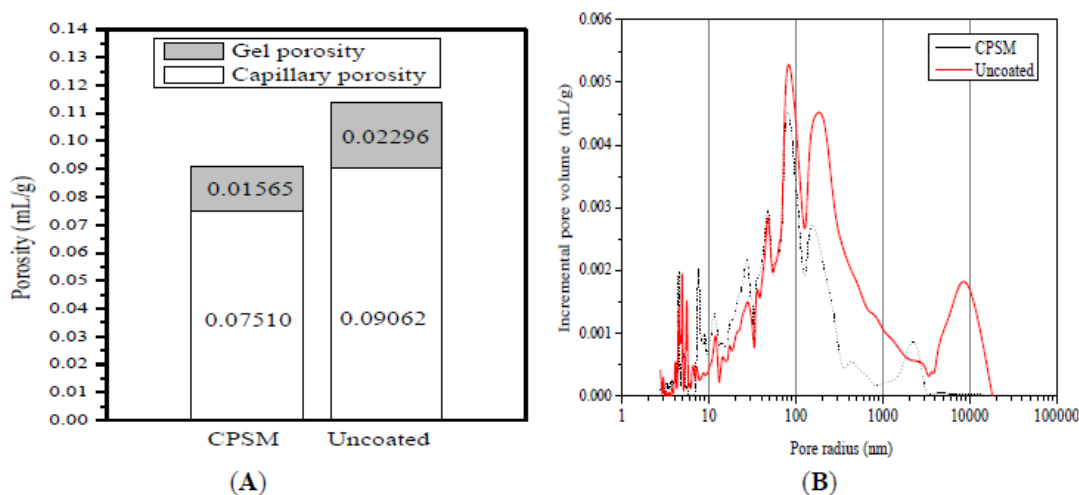
V roce 2014 byl ve vědeckém časopise Materials publikován velice komplexní výzkum taiwanských pracovníků National Taiwan Ocean University a National Ilan University. Ve svém výzkumu se zabývali testováním krystalizačních přísad pro použití ve formě nátěru. Zhotovili 2 druhy vzorků stejného složení, jeden byl opatřen dvěma vrstvami krystalizačního nátěru, druhý byl bez nátěru. Zkoušky byly prováděny na vzorcích stáří 28 dnů. Na vzorcích provedli zkoušky propustnosti, rentgenovou difrakční analýzu, rtuťovou porozimetrii a zkoumání REM. Zkoumání REM potvrdilo přítomnost jehličkovitých krystalů ve struktuře betonu, stejně jako v případě výše zmíněné práce [8] japonských výzkumníků.

Obě zkoušky propustnosti potvrdily snížení propustnosti betonu s aplikovaným nátěrem (obr. 7). Propustnost betonu pro vodu se snížila o 20,62 %. U propustnosti chloridů byl pokles o 18,71 %.



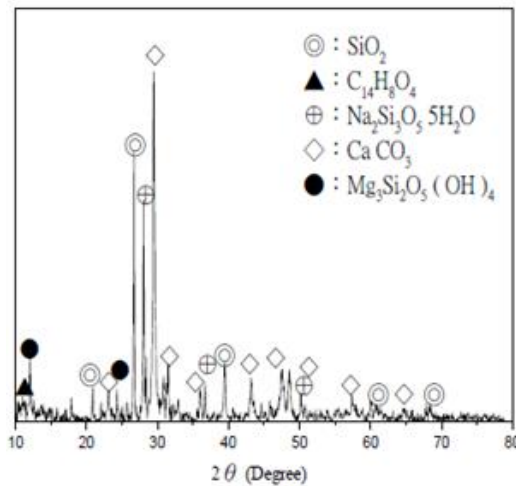
Obr. 7: Vyhodnocení zkoušek propustnosti [7]

Dále byla na vzorcích provedena zkouška rtuťové porozimetrie. Provedením této zkoušky lze stanovit objem pórů, jejich průměr i rozdělení v betonu. Bylo zjištěno, že beton s krystalizačním nátěrem má menší obsah kapilárních i gelových pórů o cca 20 % (obr. 8, snímek A). Podle rozdělení pórů došlo k největšímu úbytku pórů o velikosti 100 až 10 000 nm (obr. 8, snímek B). Obě tyto skutečnosti potvrzují, že použití krystalizačního nátěru snižuje obsah pórů v betonu.

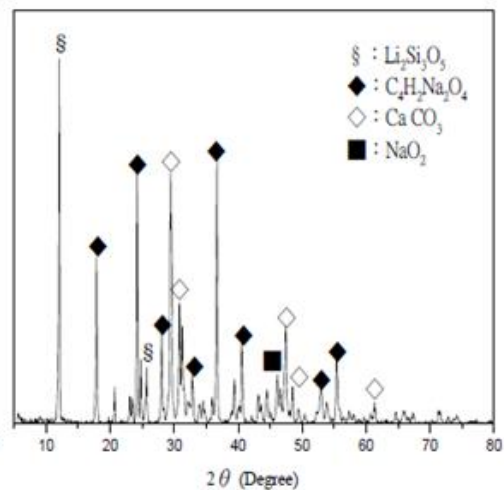


Obr. 8: Vyhodnocení zkoušky rtuťové porozimetrie [7]

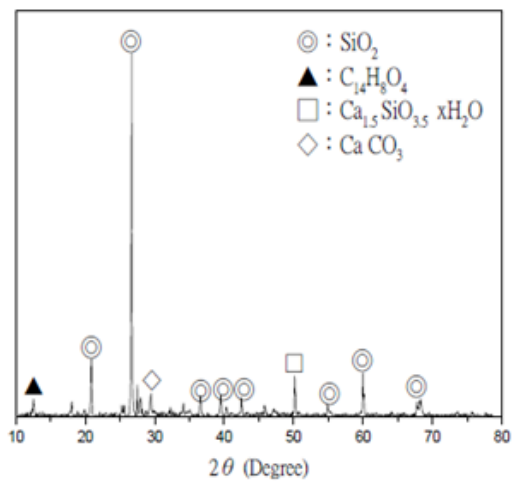
Pro zkoumání složení krystalizačního materiálu i jeho produktů byly vzorky podrobeny rentgenové difrakční analýze (XRD). XRD analýza identifikovala hlavní složky krystalizačního nátěru na povrchu betonu (obr. 9) a složení jehličkových krystalů (obr. 10). Bylo zjištěno, že krystalizační materiál reaguje v betonu s Ca(OH)_2 (portlandit) za vzniku $\text{Ca}_{1.5}\text{SiO}_{3.5} \cdot x\text{H}_2\text{O}$ (C-S-H fáze) a CaCO_3 (vápenec). V hloubce 20 mm pod povrchem nátěru (obr. 12), nedošlo podle obsahu Ca(OH)_2 k reakci s krystalizačním materiálem. Z výše uvedeného vyplývá, že krystalizační nátěr nedokázal za daný čas proniknout do této hloubky. [7]



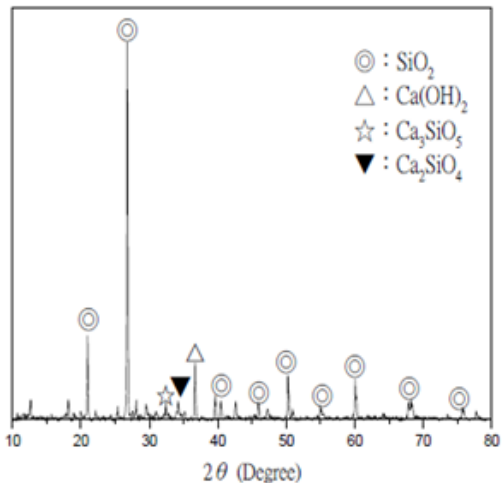
Obr. 9: XRD krystalizačního nátěru na povrchu betonu [7]



Obr. 10: XRD vytvořených krystalů [7]



Obr. 11: XRD betonu 5 mm pod krystalizačním nátěrem [7]



Obr. 12: XRD betonu 20 mm pod krystalizačním nátěrem [7]

Schopností zacelování povrchových trhlin betonu s krystalizačními přísadami se zabývalo několik studií.

Studie, která vyšla v roce 2012 v *Cement & Concrete Composites*, se zabývala hojením trhlin v betonu s obsahem expanzních a krystalizačních přísad. Při obsahu 10 % (z hmotnosti cementu) expanzních a 1,5 % (z hmotnosti cementu) krystalizačních přísad, došlo k výraznému zlepšení hojivých schopností. Trhliny do 400 μm se dokázaly plně zacetit. [12]

V roce 2015 vyšel v časopisu *Construction and Building Materials* článek, ve kterém zacelování trhlin testovali na betonu s 4 % krystalizačních přísad (z hmotnosti cementu). V případě, že byl beton v kontaktu s vodou, měli krystalizační přísady výrazně pozitivní vliv na zacelování trhlin. Testování probíhalo na trhlínách do 300 μm .

Při kontaktu s vodou trhliny dokázaly zarůst. Bez přítomnosti vody ošetřování neproběhlo. [13]

Testování krystalizačních materiálů v agresivním prostředí není tak běžné, ovšem lze nalézt několik provedených zkoušek v různých typech prostředí. Výraznou roli u testování v agresivním prostředí má snížení nasákavosti a tvorba odolných krystalických novotvarů.

Zajímavý test byl proveden na betonu s přísadou Xypex Admix 1000 NF. Beton byl vystaven síranovému roztoku v koncentraci 36 000 mg/l. Jedná se o urychlenou korozní zkoušku. Zkušební vzorky byly krychle o hraně 150 mm. Po 60 dnech byla zkoumána degradace betonu a hmotnostní úbytek. Beton s přísadou Xypex měl po 60 dnech hmotnostní úbytek max. 90 g/m² a povrch téměř nejevil známky poškození. Beton bez přísady Xypex dosáhl hmotnostního úbytku až 3 700 g/m², což se projevilo výrazným narušením betonu. Na základě tohoto testu, stanovili předpokládanou životnost betonu s přísadou minimálně 100 let v prostředí XC3. [15]

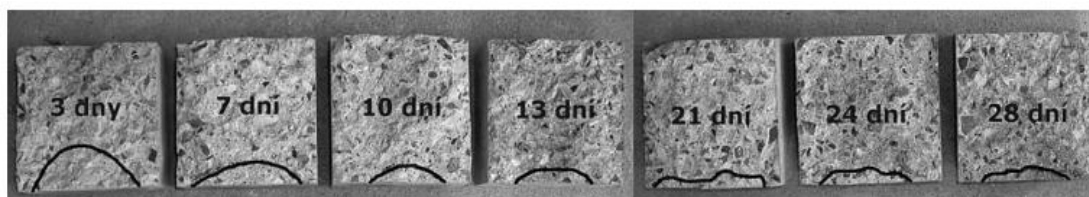
V Japonsku zase provedli zkoušku, kdy vystavili beton opatřený ze všech stran krystalizačním nátěrem 5% kyselině sírové po dobu 10 týdnů. Úbytek hmotnosti betonu opatřeného krystalizačním nátěrem dosahoval cca 20 % původní hmotnosti. U referenčních vzorků byl pokles asi o 55 % původní hmotnosti. [15]

Na Kloknerově Ústavu ČVUT v Praze byla testována odolnost betonu opatřeného krystalizačními nátěry Xypex Concentrate proti nevodným kapalinám. Vzorky byly vystaveny působení benzínu natural tlakem 10,5 kPa. Zkoušení probíhalo po dobu 14 dnů. U referenčních vzorků došlo k průniku benzínu v rozmezí 4 hod 50 min, až 5 hod 20 min. U vzorku opatřených krystalizačním nátěrem nedošlo k průniku benzínu ani po 14 dnech, kdy byla zkouška ukončena.

Podobného výsledku se dosáhlo také v testování průniku nafty či transformátorového oleje. [15]

Ze zkoušek propustnosti, u nichž je funkčnost krystalizačních přísad testována nejčastěji, stojí za zmínku testování provedené na ČVUT a publikované v časopise Stavební obzor. Cílem experimentu byla analýza vlivu časového faktoru na propustnost betonu s krystalizační příměsí. Dávkování krystalizační přísady bylo 2 % z hmotnosti cementu. Zkouška proběhla podle normy ČSN EN 12390-8. První zkouška byla

provedena už po 3 dnech od vytvoření vzorků. Poté následovalo testování v určitých časových intervalech až do stáří vzorku 28 dnů. Obr. 13 znázorňuje geometrii průsaku na vzorcích různého stáří. Už po 7 dnech dosahovaly vzorky přijatelné hodnoty průniku vody pro použití v konstrukcích bílých základových van, přitom podle návrhu složení betonové směsi by bez přítomnosti krystalizační přísady nemohl těchto hodnot beton dosáhnout. Na základě výsledků bylo v závěru článku konstatováno, že použití krystalizačních přísad umožňuje vytvoření spolehlivé a trvalé hydroizolace. [25]



Obr. 13: Geometrie průsaku na vzorcích [25]

čas začátku zatížení vodou [dny]	3	7	10	13	21	24	28	
max. hloubka průsaku [mm]	47	21	17	16	16	16	15	14

Tab. 2: Hloubka průsaku v závislosti na čase [25]

6. Využití v praxi

6.1 Bílé vany

V poslední době se krystalizační přísady používají pro modifikaci tzv. bílých van. Bílá vana je jeden ze způsobů provádění izolací spodních staveb, kde se místo klasických membránových izolací (asfaltové pásy, izolační stěrky atd.) použije vodostavební beton. Toto řešení je plně osvědčené a využívané, nicméně je velice citlivé na technologické nekázně, kdy může dojít k lokálním poruchám. Jejich modifikace krystalizačními přísadami přináší mnoho výhod, kdy lze za mírně vyšších nákladů dosáhnout lepší spolehlivosti a chemické odolnosti. Dávkování krystalizačních přísad se provádí přímo do autodomíchávače. Na stavbě se beton zpracovává běžným způsobem. V případě, že je konstrukce izolována pouze za pomoci sekundární krystalizace, ošetřují se pracovní spáry a detaily krystalizačním nátěrem. Ten díky krystalizaci propojí stávající vrstvy s novými bez porušení hydroizolační funkce.

Výhodou modifikace je minimalizace selhání lidského faktoru absencí provádění membránových povlakových izolací. Z důvodu zlepšení samoošetřujících schopností betonu lze při návrhu omezit potřebu betonářské výztuže při povrchu betonu. Neboť krystalizační přísady umožňují hojení trhlin až do šíře 0,4 mm. Některé z krystalizačních výrobků mají atestaci proti průniku radonu, není tedy potřeba použití speciálních protiradonových izolací.

V konečném důsledku modifikace krystalizačními přísadami nezvyšuje náklady konstrukce bílé vany. U čerstvé betonové směsi se sice zvednou náklady, ovšem ty jsou kompenzovány redukcí výztuže a případnou absencí protiradonové izolace. Další úspora nákladů je spojena s vyšší spolehlivostí a případně jednodušším prováděním oprav.

Funkce krystalizačních přísad má své limity vycházející z limitů železobetonových konstrukcí, protože jsou přímo její součástí. K porušení hydroizolačních schopností dochází tehdy, když je porušena konstrukce v celém profilu.

Z důvodu počátečních pochybností o spolehlivosti hydroizolací na bázi sekundární krystalizace byly realizovány projekty, které by se daly označit za hybridní. Hydroizolační funkci totiž zajišťovalo jak provedení membránových izolací, tak krystalizačních.

V současné době se modifikované bílé vany krystalizačními přísadami používají od nejjednodušších aplikací (rodinné domy), přes podzemní garáže, až po průmyslové stavby s vlivem agresivních prostředí. Například čističky odpadních vod, stáčírny pohonných hmot, silážní jámy. Dále v podzemním stavitelství pro budování kolektorů a tunelů. V Brně se tato technologie hydroizolace realizovala u nově budovaných kolektorů. [14]

6.2 Sanace

Sanací se rozumí odstranění příčin a následků způsobených škod. Většina sanací betonu nezasahuje do struktury betonu, degradační procesy tak mohou postupovat dál do konstrukce. Jako vhodné řešení se ukázalo použití krystalizačních materiálů na bázi sekundární krystalizace. Ty se při krystalizaci stávají součástí betonu, a tak dokáží lépe vzdorovat degradačním procesům. Pro sanaci se používají krystalizační nátěry, nástřiky, stěrky, tmely a ucpávky. Nejčastěji se krystalizačními materiály sanují železobetonové

konstrukce spodní stavby, kterými prosakuje voda. Použit se také ale mohou na nejrůznější typy betonových konstrukcí zatížených vlhkostí či průsakem vody. [18]

Používají se jak na plošné sanace betonu, tak na lokální vady. Jedná se hlavně o trhliny, pracovní spáry aj. Plošné sanace betonových prvků, kterými prosakuje voda, se řeší použitím krystalizačního nátěru nebo nástřiku. Spolu s aplikací nátěru je většinou potřeba řešit i lokální vady a poškození betonu (kaverny). Ty se řeší za použití tmelů a ucpávek. Výhoda aplikací krystalizačních ucpávek je možnost jejich použití i v případě, kdy trhlinou při sanaci proniká voda. Výsledkem sanace je vytvoření trvalé vodonepropustné vrstvy v betonové konstrukci, která se za přítomnosti vody dále rozšiřuje. [19]

Experimentální část

7. Metodika testování

Zpracování experimentální části probíhalo ve čtyřech po sobě následujících etapách. První etapa se zabývá výrobou zkušebních vzorků a jejich ošetřováním. Ve druhé etapě byly vzorky uloženy do agresivních prostředí. Třetí etapa představuje fyzikálně-mechanické testování, kde jsou provedeny zkoušky objemové hmotnosti, nasákavosti, vzlínavosti, pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu. Poslední etapou byla diskuse dosažených výsledků zkoušek. V jednotlivých etapách jsou vzorky v závislosti na aplikaci krystalizačních materiálů označovány dle následující tabulky:

Název	Vysvětlení
Nátěr	Zkušební tělesa opatřena krystalizačním nátěrem
Admix 1 %	Zkušební tělesa s obsahem krystalizační přísady
Referenční	Zkušební tělesa bez krystalizačních materiálů

Tab. 3: Specifikace vzorků

V rámci experimentální části byly na vybraných zkušebních tělesech provedeny tyto zkoušky:

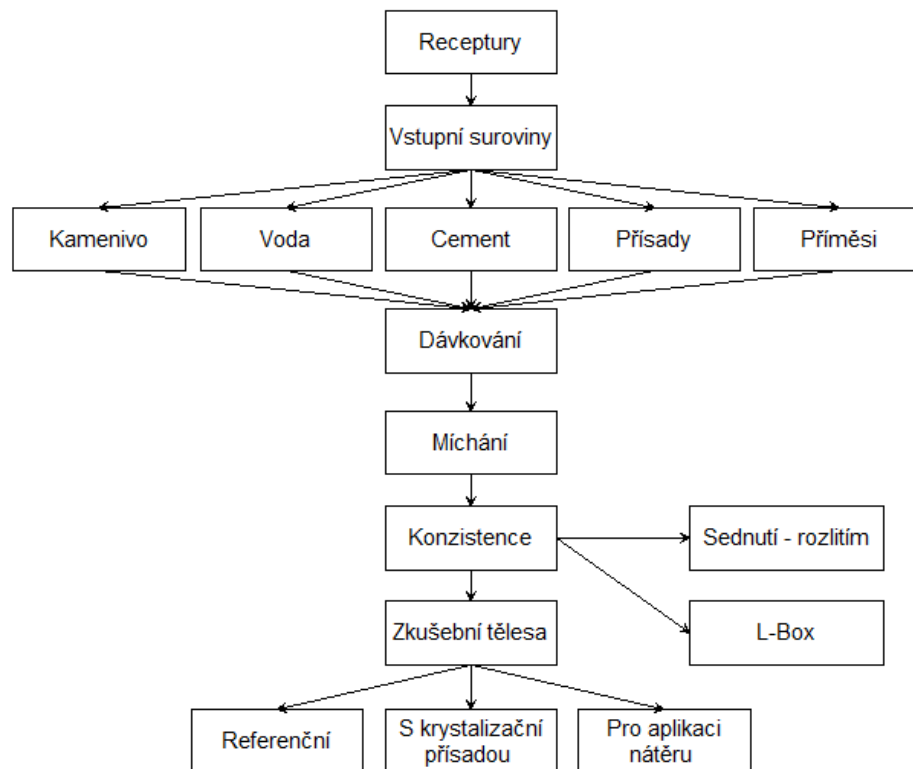
- stanovení hmotnostního úbytku v agresivním prostředí
- objemové hmotnosti
- nasákavosti

- kapilární vztlínivosti
- pevnosti v tahu povrchových vrstev
- pevnosti v tlaku
- analýza REM

8. Experimentální testování

8.1 Etapa I – výroba zkušebních těles

V této etapě byly zhotoveny zkušební vzorky z navržených receptur. Jedná se o standardní složení s mírně vyšším vodním součinitelem. Celkem byly zhotoveny testovací vzorky ze dvou receptur. První receptura uvedena v tab. 4 byla použita pro vytvoření referenčních zkušebních vzorků, z nichž později bude část opatřena krystalizačním nátěrem. Druhá receptura (tab. 5) se liší pouze přidáním krystalizační přísady Xypex Admix C-1000 (NF). Na směsi byly provedeny zkoušky konzistence metodou sednutí-rozlítím podle normy ČSN EN 12350-8 a zkouška L-box, která charakterizuje schopnost průtoku betonu přes výztuž podle normy ČSN EN 12350-10. Výsledky zkoušek jsou uvedeny v tab. 6 a 7. Následovalo ošetřování vzorků ve vlhkém uložení po dobu 7 dní.



Obr. 14: Schéma Etapy I

Složka	Původ	Množství [kg]
CEM I 42,5 R	Mokrá u Brna	380
Kamenivo 0-4 mm	Žabčice	860
Kamenivo 4-8 mm	Žabčice	230
Kamenivo 8-16 mm	Žabčice	535
Popílek	Tisová	160
Voda	Vodovod	200
Plastifikátor Viscocrete 1035 (0,9 % z m _c)	Sika	3,42

Tab. 4: Receptura směsi SCC č. 1

Složka	Původ (výrobce)	Množství [kg]
CEM I 42,5 R	Mokrá u Brna	380
Kamenivo 0-4 mm	Žabčice	860
Kamenivo 4-8 mm	Žabčice	230
Kamenivo 8-16 mm	Žabčice	535
Popílek	Tisová	160
Voda	Vodovod	200
Plastifikátor Viscocrete 1035 (0,9 % z m _c)	Sika	3,42
Xypex Admix C-1000 NF (1 % z m _c)	Nekap	3,80

Tab. 5: Receptura směsi SCC č. 2

Zkoušky konzistence čerstvého betonu jsou vyhodnoceny v následujících tabulkách. Konzistence směsi SCC je stanovována metodou rozlití Abramsova kužele (norma ČSN EN 12350-8). Výstupem ze zkoušky je kromě průměru rozlití i čas (T_{500}), za který se po zvednutí kužele rozteče směr do koláče o průměru 500 mm. Výsledná hodnota se pak klasifikuje podle normy. Výsledkem zkoušky L-box (norma ČSN EN 12350-10) je hodnota udávající poměr výšek hladin betonové směsi po průtoku přes pruty výztuže, která se opět klasifikuje podle příslušné normy.

	T_{500} [s]	Rozlití [mm]	Průtok L-box
Hodnoty	1,8	660	0,84
Klasifikace	VS1	SF2	PL2

Tab. 6: Vyhodnocení zkoušky sednutí-rozlitím a L-box pro SCC č. 1

	T_{500} [s]	Rozlití [mm]	Průtok L-box
Hodnoty	1,9	660	0,82
Klasifikace	VS1	SF2	PL2

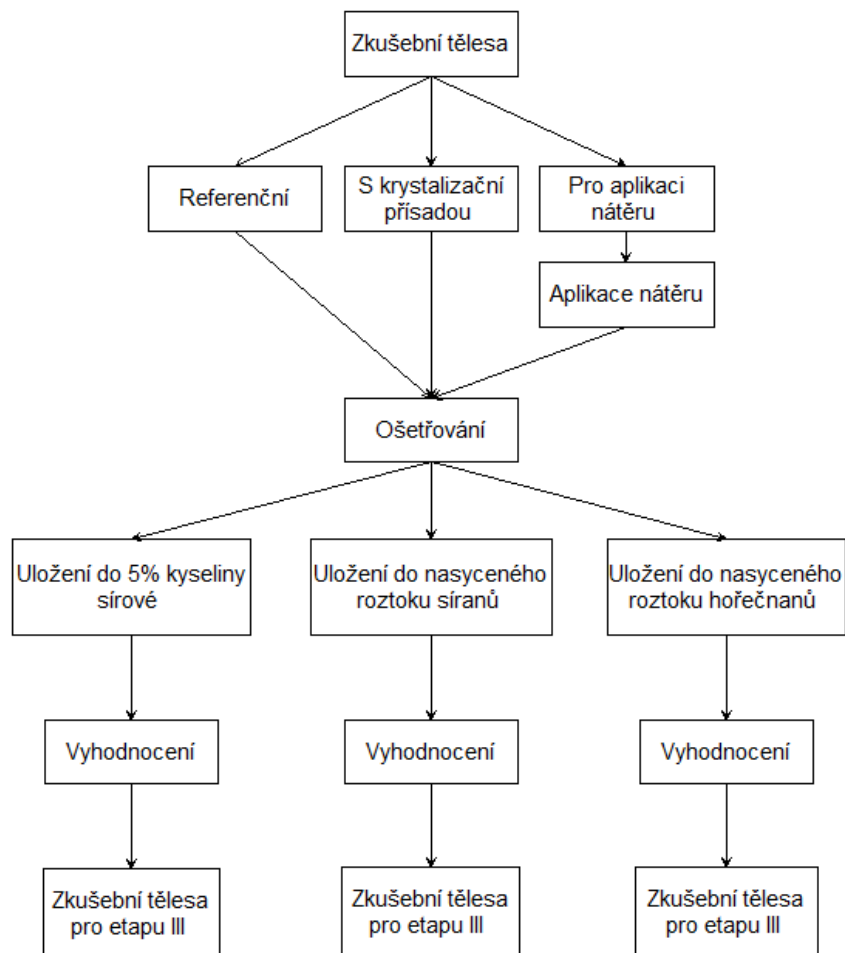
Tab. 7: Vyhodnocení zkoušky sednutí-rozlitím a L-box pro SCC č. 2

8.2 Etapa II – aplikace nátěru a uložení v agresivních prostředích

V této etapě byl na část vzorků z referenční směsi aplikován krystalizační nátěr. Postup byl proveden podle pokynů výrobce (viz technický list). Tím vznikly tři různé sady zkušebních vzorků (krychle o hraně 100 mm). Referenční, opatřené nátěrem a vzorky s krystalizační přísadou. Vzorky byly uloženy do vlhké zrací komory a byly pravidelně ošetřovány po dobu 7 dnů. Po 14 dnech se vždy 6 vzorků z každé sady umístilo do vybraných agresivních prostředí.

8.2.1 Agresivní prostředí

První prostředí představoval nasycený roztok síranů SO_4^{2-} v koncentraci 161g/l ($\text{Na}_2\text{SO}_4/\text{voda}$). Uložení v tomto prostředí způsobuje síranovou korozi, která vyvolává tvorbou sekundárního ettringitu porušení betonu. Druhé prostředí představoval nasycený roztok hořečnanů Mg^{2+} o koncentraci 399 g/l ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}/\text{voda}$). V tomto prostředí dochází k vyluhování cementové pasty z betonu. Za poslední agresivní prostředí byl zvolen 5% roztok kyseliny sírové (H_2SO_4). Volba tohoto prostředí byla inspirována testováním [15] v Japonsku. V případě tohoto vysoce agresivního prostředí dochází k vyluhování C-S-H gelu z betonu a tím dochází k výrazným hmotnostním úbytkům. Pro přehlednost je postup práce schematicky uveden na obr. 15.



Obr. 15: Schéma Etapy II

Vzorky s aplikovaným nátěrem byly opatřeny nátěrem ze všech stran zkušebních krychlí. Ty byly v agresivních prostředích uloženy po dobu 3 týdnů, poté proběhlo vyhodnocení.

V případě vzorků uložených v roztoku síranů a hořečnanů nedošlo po celou dobu uložení k vizuálním ani hmotnostním změnám. Což bylo způsobeno krátkou dobou expozice, kterou lze ovšem v kontextu bakalářských prací považovat za adekvátní. Síranová koroze ani vyluhování hořečnany se tedy nedokázaly projevit.

V kyselině sírové byly u vzorků pozorovány vizuální změny, které se projeví i úbytkem hmotnosti. Z důvodu omezení role probíhající krystalizace u vzorků byla referenční hmotnost (m_{ref}) stanovena až po nasáknutí vzorků (cca po 48 hod.). Po ukončení zkoušky byla stanovena konečná hmotnost (m_k) a vypočítán relativní hmotnostní úbytek u 3 těles z každé sady (viz tab. 8). Vzorky ze všech tří prostředí byly dále použity při pevnostních zkouškách.

Vzorek	m_{ref} [g]	m_k [g]	rel. pokles hmotnosti [%]	rel. pokles hmotnosti [%]
Nátěr I	2242	2229	0,58	0,62
Nátěr II	2244	2232	0,53	
Nátěr III	2238	2221	0,76	
Admix 1 % I	2277	2232	1,98	1,55
Admix 1 % II	2261	2234	1,19	
Admix 1 % III	2275	2241	1,49	
Referenční I	2311	2256	2,38	2,46
Referenční II	2319	2249	3,02	
Referenční III	2308	2262	1,99	

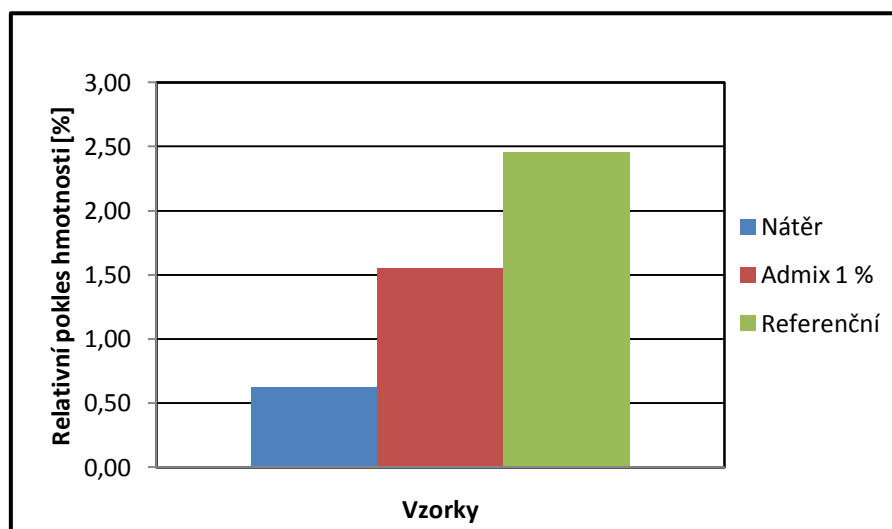
Tab. 8: Relativní pokles hmotnosti v prostředí kyseliny sírové



Obr. 16: Uložení v H_2SO_4



Obr. 17: Zkušební těleso s krystalizační přísadou Admix po 3 týdnech v H_2SO_4

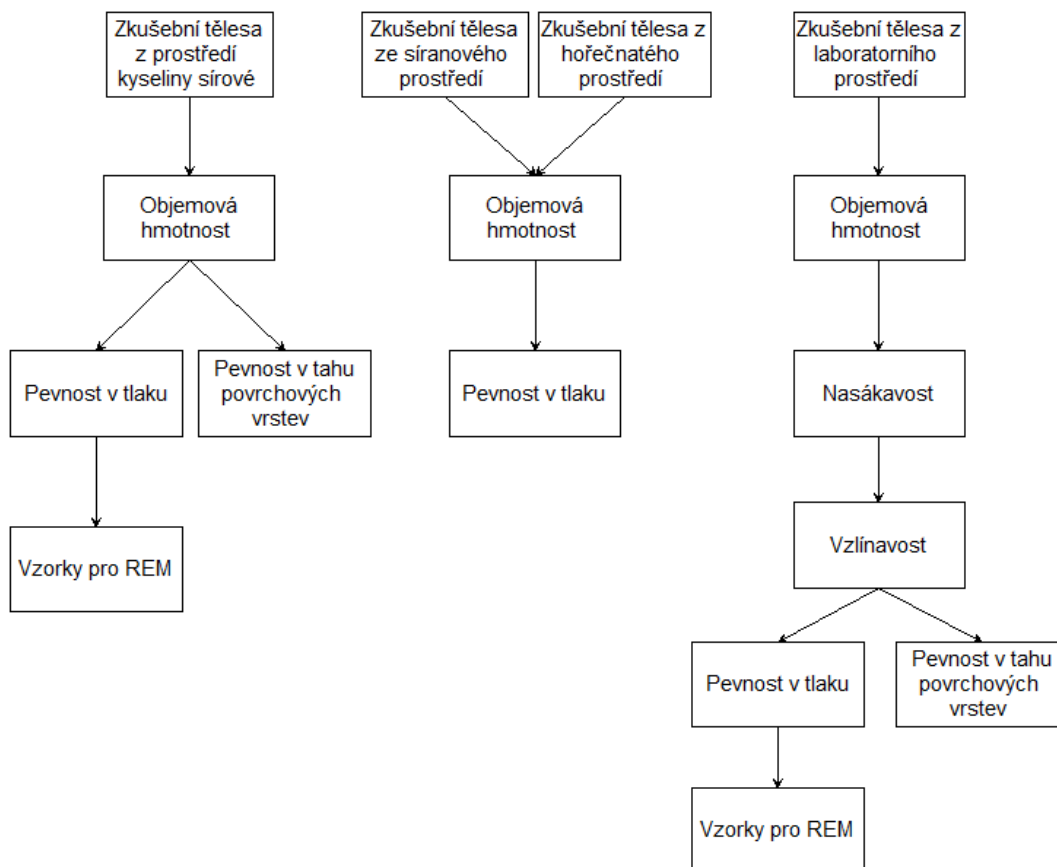


Graf 1: Relativní pokles hmotnosti vzorků v prostředí H_2SO_4

Nejlépe v agresivním prostředí kyseliny sírové obstály vzorky opatřené krystalizačním nátěrem. Dosáhly relativního poklesu hmotnosti pouze 0,62 %. Kyselina nedokázala plochy s odolným nátěrem účinně vyluhovat. Největší hmotnostní úbytek dosahovaly podle očekávání referenční vzorky, které byly odkázány pouze na odolnost samotného betonu. Hmotnostní úbytek u nich činil 2,46 % a došlo k viditelnému narušení povrchových vrstev vlivem vyluhování. Uprostřed mezi hodnotami, kterých dosáhly referenční a nátěrem opatřené vzorky, se nachází tělesa s přísadou Admix (1,55 %). U nich se vizuální výsledek výrazně nelišil od referenčních vzorků, ovšem relativní hmotnostní úbytek u nich dosahoval výrazně nižších hodnot. Potvrdilo se tak, že krystalizační materiály zvyšují odolnost betonu vůči kapalinám s nízkým pH.

8.3 Etapa III – fyzikálně-mechanické zkoušky

V této etapě byly na vzorcích prováděny pevnostní zkoušky. Dále byly provedeny zkoušky nasákavosti a vzlínivosti pro vodu, stanoveny objemové hmotnosti a odebrány vzorky pro REM. Průběh testování je znázorněn na obr. 18.



Obr. 18: Schéma Etapy III

8.3.1 Stanovení nasákavosti

Nasákavost se stanovuje podle normy ČSN 73 1357, kde se tělesa (hranoly 100x100x300 mm) ponoří tak, aby byla cca 1/3 jejich objemu pod vodou. Po 24 hodinách se voda dolije tak, aby byla tělesa ponořena do 2/3 svého objemu. Po dalších 24 hodinách se voda dolije do výšky 20 mm nad horní plochu hranolů. Po uplynutí dalších 24 hodin, tedy po 72 hodinách od uložení těles do vody, se tělesa vyjmou, osuší a stanoví se hmotnost m_a nasáklého tělesa. Po odležení se tělesa vysuší v sušárně do ustálené hmotnosti m_d . Nasákavost w_a [%] se určí ze vztahu:

$$w_a = \frac{m_a - m_d}{m_d} \cdot 100$$

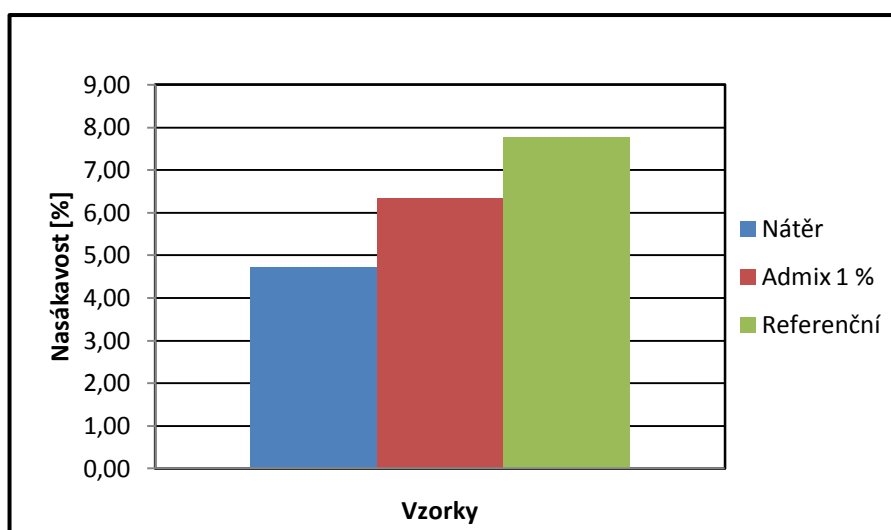
m_a – hmotnost nasáklého tělesa [g]

m_d – hmotnost vysušeného tělesa [g] [26]

Pro zkoušku nasákavosti byla použita nenormovaná tělesa (krychle o hraně 100 mm). Stanovení nasákavosti dále proběhlo podle normy ČSN 73 1357. Hodnoty nasákavosti pro jednotlivé vzorky z laboratorního prostředí jsou uvedeny v tab. 9. Zkouška byla prováděna na 3 sadách (Nátěr, Admix 1 % a Referenční) po 3 tělesech. Hodnoty v tabulce jsou pak průměrné hodnoty nasákavosti 3 zkušebních těles o stáří 14 dnů.

Vzorek	Nasákavost [%]
Nátěr	4,71
Admix 1%	6,33
Referenční	7,78

Tab. 9: Nasákavost vzorků z laboratorního prostředí



Graf 2: Nasákavost vzorků z laboratorního prostředí

Tělesa s krystalizačním nátěrem dosahovala průměrně nasákavosti 4,71 %. V případě vzorků s krystalizační přísadou činila nasákavost 6,33 %. Oproti referenčním vzorkům, které dosahovaly nasákavosti průměrně 7,78 %, došlo k výraznému snížení. Relativní snížení pak činí 18,64 % ve prospěch vzorků s přísadou a 39,46 % pro vzorky opatřené nátěrem. Dosažené hodnoty potvrzují snížení nasákavosti vlivem sekundární krystalizace.

8.3.2 Stanovení kapilární vztlínivosti

Postup zkoušení byl inspirován prací [9]. Vychází z normy ČSN 73 1357-2. Byla použita tělesa ve tvaru krychle o hraně 100 mm. Ty byly vysušeny do ustálené hmotnosti. Po vychladnutí byly všechny strany kromě testované opatřeny nepropustným plastovým nátěrem, který měl vyloučit pronikání vzdušné vlhkosti. Následovalo uložení zkušebních těles na rošt nenatřenou stranou tak, aby výška hladiny destilované vody dosahovala 2 až 5 mm nad spodní stranu tělesa. Po určitých časových intervalech se vzorky vážily pro určení průběhu vztlínivosti v čase. Po 48 hodinách se vzorky vyjmuly a určila se výsledná hmotnost.

Výpočet vztlínivosti w_c [%] byl proveden dle vzorce:

$$w_c = \frac{m_c - m_d}{m_d} \cdot 100$$

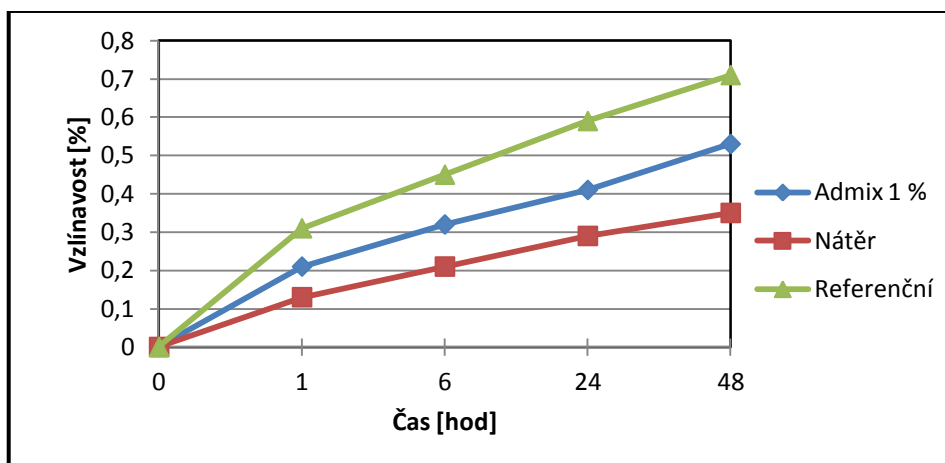
m_c – hmotnost tělesa po ukončení vztlínání [g]

m_d – hmotnost vysušeného tělesa [g]

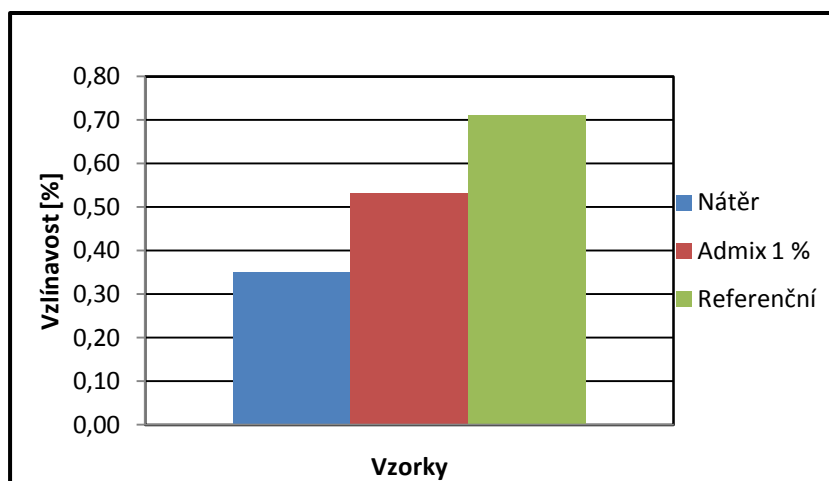
V tab. 10 jsou uvedeny průměrné hodnoty vztlínivosti pro 3 tělesa z každé sady (Admix 1 %, Nátěr, Referenční).

Čas [hod]	Vztlínivost [%]			
	1	6	24	48
Admix 1 %	0,21	0,32	0,41	0,53
Nátěr	0,13	0,21	0,29	0,35
Referenční	0,31	0,45	0,59	0,71

Tab. 10: Vztlínivost vzorků z laboratorního prostředí v závislosti na čase



Graf 3: Vzlínavost vzorků z laboratorního prostředí v závislosti na čase



Graf 4: Vzlínavost vzorků z laboratorního prostředí

Nejnižší hodnoty vzlínavosti pro vodu dosáhly vzorky s aplikovaným krystalizačním nátěrem s hodnotou 0,35 %. Nejvyšší hodnoty měly referenční vzorky s hodnotou 0,71 %. Výrazného poklesu oproti referenčním vzorkům dosáhly i vzorky s krystalizační přísadou Admix. Tím byla potvrzena schopnost materiálů na bázi sekundární krystalizace utěšňovat kapilární póry a bránit tak pronikání vzlínající vody.

8.3.3 Stanovení objemové hmotnosti

Objemová hmotnost se stanovuje podle normy ČSN EN 12390-7. Stanovuje se buď na vysušených vzorcích, nebo na vzorcích s ustálenou vlhkostí před zkouškou. Objemová hmotnost ztvrdlého betonu D [kg/m^3] se vypočítá podle vztahu:

$$D = \frac{m}{V}$$

m – hmotnost tělesa [kg]

V – objem tělesa [m³] [27]

Objemové hmotnosti zkušebních těles před zkouškami jsou uvedeny v tab. 11. Jedná se vždy o průměrné hodnoty 3 těles z každé zkušební sady při ustálené vlhkosti a stáří 28 dní.

Vzorky	D [kg/m ³]		
	Admix 1 %	Nátěr	Referenční
Tělesa z prostředí H ₂ SO ₄	2210	2230	2200
Tělesa z prostředí Mg ²⁺	2240	2240	2240
Tělesa z prostředí SO ⁴⁻	2240	2230	2220
Tělesa z laboratorního uložení	2230	2230	2220

Tab. 11: Objemové hmotnosti

8.3.4 Stanovení pevnosti v tahu povrchových vrstev

Pevnost v tahu povrchových vrstev betonu byla zjišťována na zkušebních tělesech postupem, který vychází z ČSN 73 1318.

Pevnost v tahu povrchových vrstev f_t [MPa] určíme podle vztahu:

$$f_t = \frac{F}{A}$$

F – nejvyšší dosažená síla [N]

A – zatěžovaná plocha [mm²] [28]

Pro zkoušení byl použit přístroj DYNA Z16E, který obsahuje šnekový převod opatřený klikou k vyvozování mechanické síly. Dále je opatřen 3 nastavitelnými podporami a závěsem, do kterého se připevňuje tažný čep. Díky čepovému spoji působí

mechanická síla v kolmém směru na zkoušenou plochu tělesa. Po upnutí tažného čepu se za pomoci kliky vyvozuje plynule narůstající mechanická síla až do odtržení povrchové vrstvy. Výsledná síla je pak zaznamenávána na připojený DYNAMETR, který slouží jako výstupní zařízení pro odečet stanovených hodnot.



Obr. 19: Zkušební zařízení pro zkoušku pevnosti v tahu povrchových vrstev

Zkouška probíhala na tělesech ve tvaru krychle o hraně 100 mm a stáří 28 dnů. Byly použity 2 sady vzorků. První sada pocházela z uložení v H_2SO_4 a druhá z laboratorního uložení. Každá sada pak obsahovala zkušební těleso s aplikovaným krystalizačním nátěrem (Nátěr), těleso s krystalizační přísadou (Admix 1 %) a referenční těleso.

Zkušební postup začínal zdrsněním zkušební plochy. Poté následovalo nalepení ocelového terče (průměru 50 mm) pomocí lepidla ke zkoušené ploše. Po vytvrdnutí byl úhlovou bruskou ocelový terč obříznut. Poté se ocelový terč díky závitů a osazení čepového spoje připojil na zkušební přístroj a pomocí kliky pak byla vyvozována mechanická síla až do odtržení.

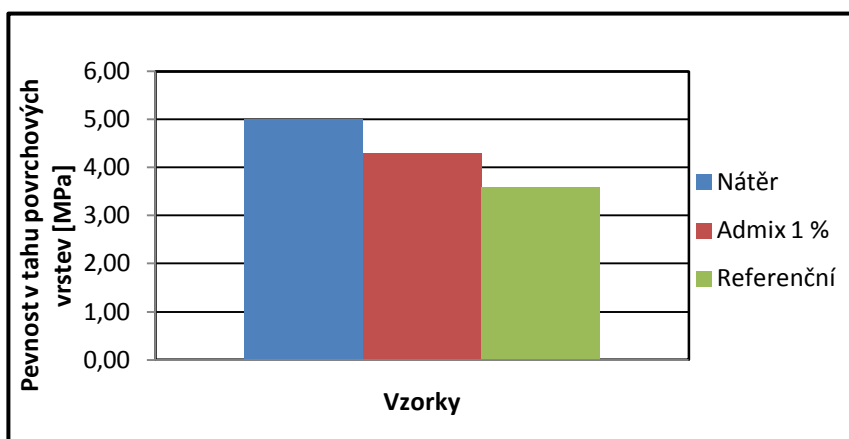
Stanovené průměrné hodnoty na 3 vzorcích z každé sady jsou zaznamenány v tab. 12 a tab. 13.

Vzorek z laboratorního uložení	Pevnost v tahu povrchových vrstev [MPa]
Admix 1%	4,3
Nátěr	5,0
Referenční	3,6

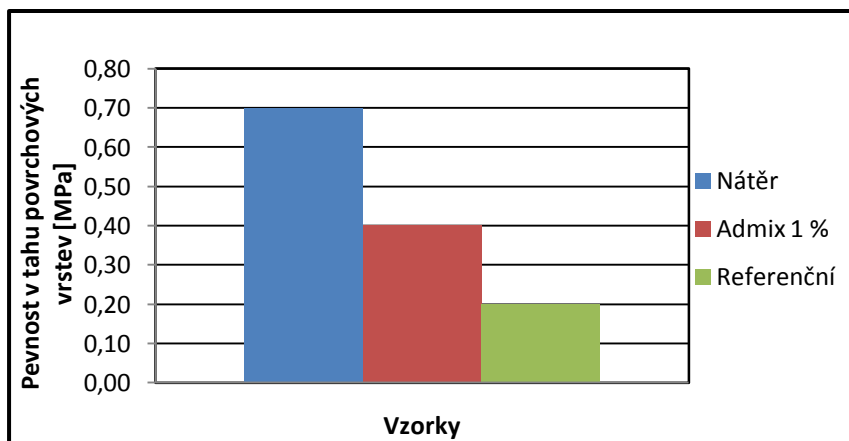
Tab. 12: Pevnost v tahu povrchových vrstev vzorků z laboratorního prostředí

Vzorky z H ₂ SO ₄	Pevnost v tahu povrchových vrstev [MPa]
Admix 1%	0,4
Nátěr	0,7
Referenční	0,2

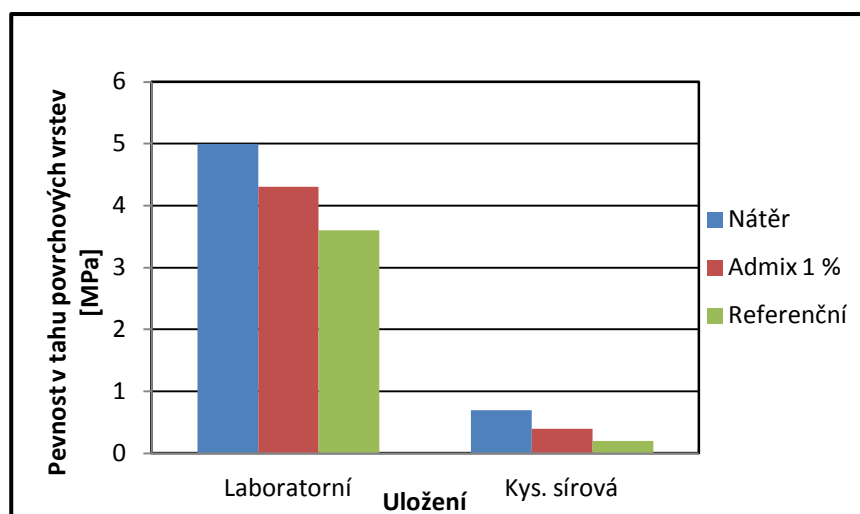
Tab. 13: Pevnost v tahu povrchových vrstev vzorků z prostředí H₂SO₄



Graf 5: Pevnost v tahu povrchových vrstev vzorků z laboratorního prostředí



Graf 6: Pevnost v tahu povrchových vrstev vzorků z prostředí H₂SO₄



Graf 7: Porovnání pevností v tahu vzorků z obou prostředí

Při zkoušení dosahovala nejvyšších hodnot tělesa opatřená krystalizačním nátěrem s hodnotami 0,7 MPa (tělesa z prostředí H_2SO_4) a 5,0 MPa (tělesa z laboratorního prostředí). Nejnižších hodnot dosáhla tělesa referenční. Na tělesech z prostředí H_2SO_4 byla stanovena pevnost 0,2 MPa a u laboratorních těles 3,6 Mpa. Při provádění zkoušky na tělesech z uložení v H_2SO_4 byly dosažené pevnosti velmi nízké. Může za to narušený povrch, který byl způsoben vyluhováním cementového kamene v agresivním uložení.

8.3.5 Stanovení pevnosti v tlaku

Zkouška vycházela z normy ČSN EN 12390-3 pro pevnost v tlaku. Spočívá v rovnoměrném zatěžování těles tlakovou silou do jejich porušení. Zkouší se na tělesech ve tvaru krychle (o hraně 150 mm) nebo na válcích (výška 300 mm, průměr 150 mm).

Pevnost v tlaku f_c [Mpa] se pak vyjádří ze vztahu:

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

F – maximální zatížení při porušení [N]

A_c – průřezová plocha zkušebního tělesa, na kterou působí tlaková síla [mm^2] [29]

Pro vlastní zkoušení bylo použito nenormových těles ve tvaru krychle o hraně 100 mm a stáří 28 dní. Zbytek postupu pak odpovídal dané normě. Průměrné hodnoty stanovené na 3 vzorcích z každé sady jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Vzorky z laboratorního uložení	Pevnost v tlaku [MPa]
Admix 1%	52,9
Nátěr	50,8
Referenční	49,7

Tab. 14: Pevnost v tlaku vzorků z laboratorního prostředí

Vzorky z Mg ²⁺	Pevnost v tlaku [MPa]
Admix 1%	55,3
Nátěr	52,9
Referenční	49,3

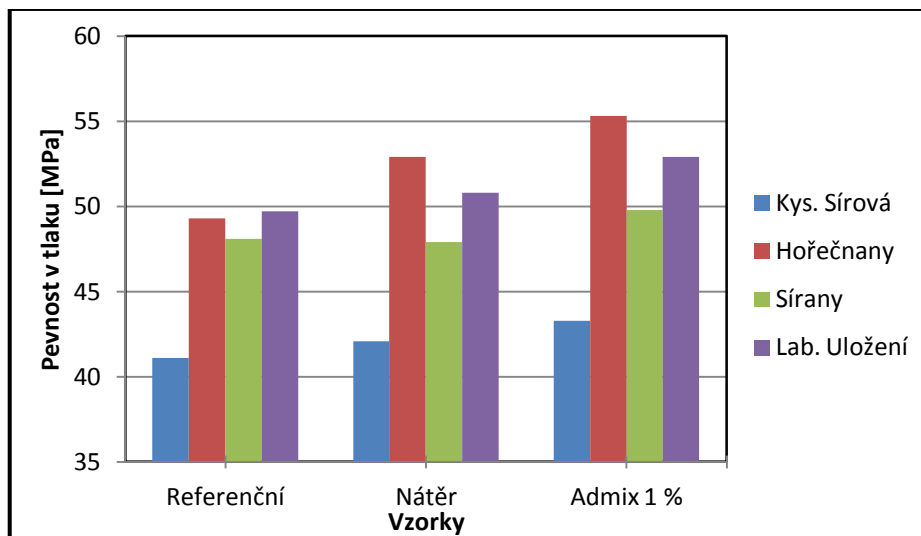
Tab. 15: Pevnost v tlaku vzorků z prostředí Mg²⁺

Vzorky z SO ₄ ²⁻	Pevnost v tlaku [MPa]
Admix 1%	49,8
Nátěr	47,9
Referenční	48,1

Tab. 16: Pevnost v tlaku vzorků z prostředí SO₄²⁻

Vzorky z H ₂ SO ₄	Pevnost v tlaku [MPa]
Admix 1%	43,3
Nátěr	42,1
Referenční	41,1

Tab. 17: Pevnost v tlaku vzorků z prostředí H₂SO₄



Graf 8: Pevnost v tlaku vzorků ze všech druhů prostředí

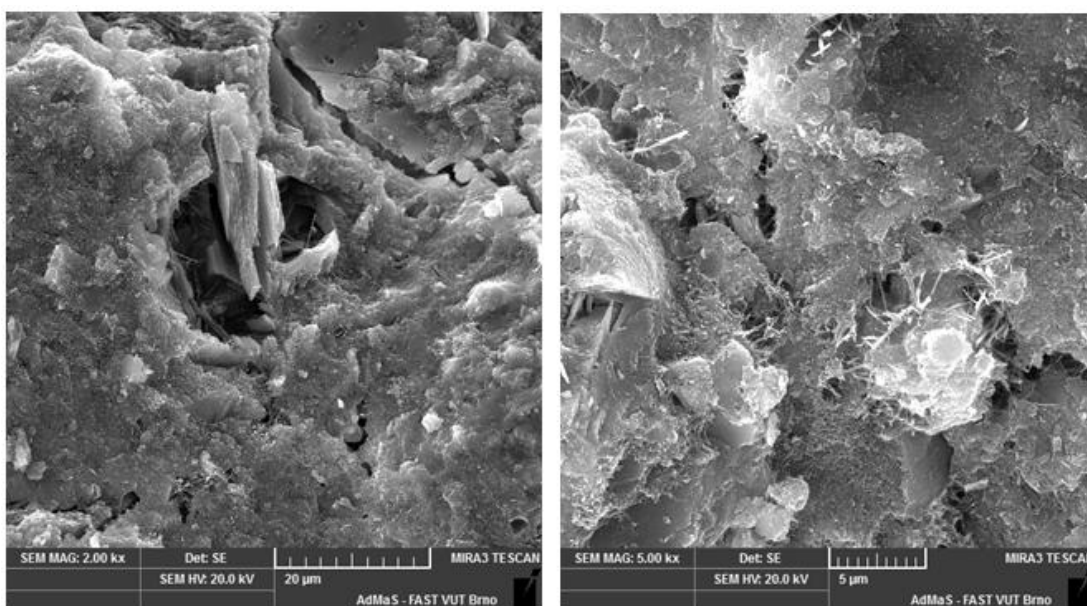
Stanovení pevnosti v tlaku ukázalo pozitivní vliv krystalizačních přísad na pevnost betonu. Nejnižších hodnot dosahovala zkušební tělesa, která byla uložena v prostředí kyseliny sírové. V tomto prostředí došlo k degradaci povrchových vrstev, což se projevilo i na konečné pevnosti v tlaku. Nejvyšších hodnot dosáhla tělesa z hořečnatého uložení. To se dá vysvětlit tím, že u vzorků po dobu uložení v tomto agresivním prostředí nedošlo k degradaci. Oproti referenčním vzorkům pak byly déle ve vodním uložení, a proto se u nich dosáhlo větší míry krystalizace.

8.3.6 Analýza REM

REM funguje na principu lomu a ohybu elektronového paprsku v elektromagnetickém poli. Vzorky o průměru do 15 mm se pokryjí vrstvou zlata a poté se vzorek po řádcích projíždí svazkem dopadajících elektronů. Z interakce mezi vzorkem a dopadajícími elektrony vznikají detekovatelné signály, ze kterých je sestaven výsledný obraz. Rozsah zvětšení se udává v rozmezí 20 až 50 000 krát. [30]

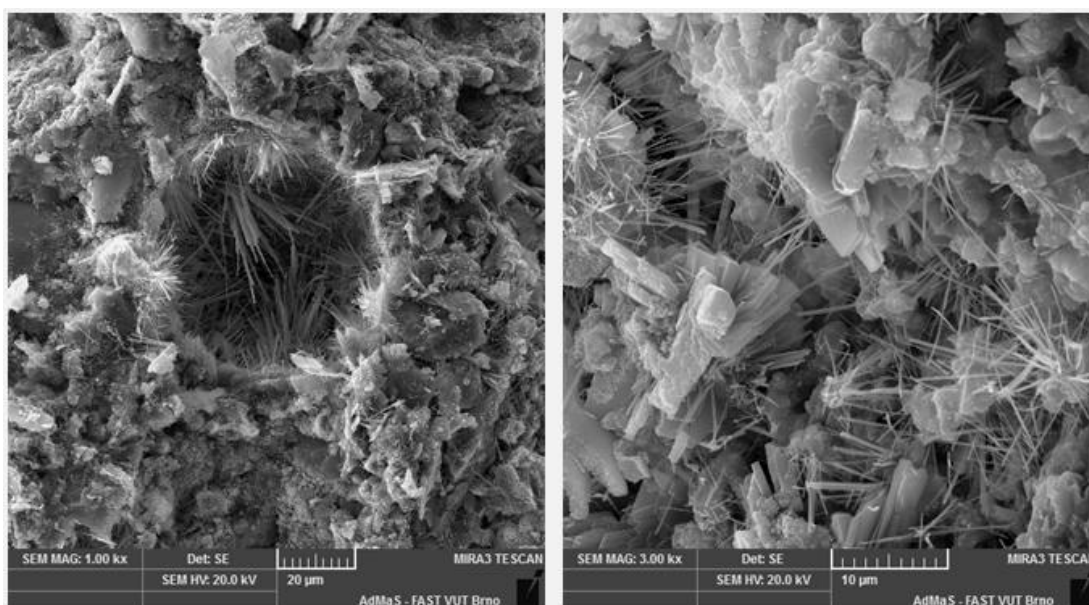
Vzorky pro analýzu REM byly odebrány po stanovení pevnosti v tlaku u těles ze dvou prostředí. Jednalo se o tělesa z laboratorního uložení a o tělesa z uložení v kyselině sírové. Tělesa z prostředí kyseliny sírové byla zvolena z důvodu prokazatelných degradačních pochodů. Cílem analýzy je studium vlivu krystalizačních materiálů na strukturu betonu. Snímky pořízené REM jsou zobrazeny na následujících obrázcích.

Na obr. 20 jsou snímky pořízené REM referenčních vzorků z laboratorního prostředí. Na obou snímcích je vidět kompaktní cementová matrice, ve které lze identifikovat C-S-H fáze. Na snímku vlevo je pak pozorovatelná drůza portlanditu.



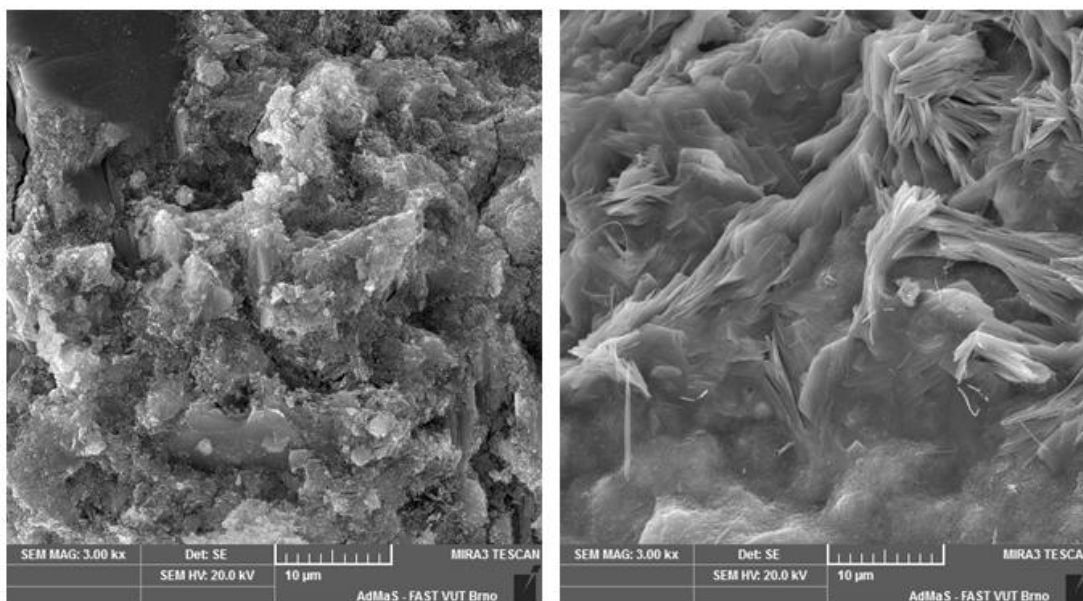
Obr. 20: Snímky z analýzy REM referenčních vzorků z laboratorního prostředí

Na obr. 21 jsou snímky z REM referenčních vzorků z prostředí H_2SO_4 . Na snímku vlevo je pohled na pór s vytvořenými tenkými jehličkami sekundárního ettringitu. Na snímku vpravo jsou kromě tenkých jehliček sekundárního ettringitu i velké krystaly sádrovce.



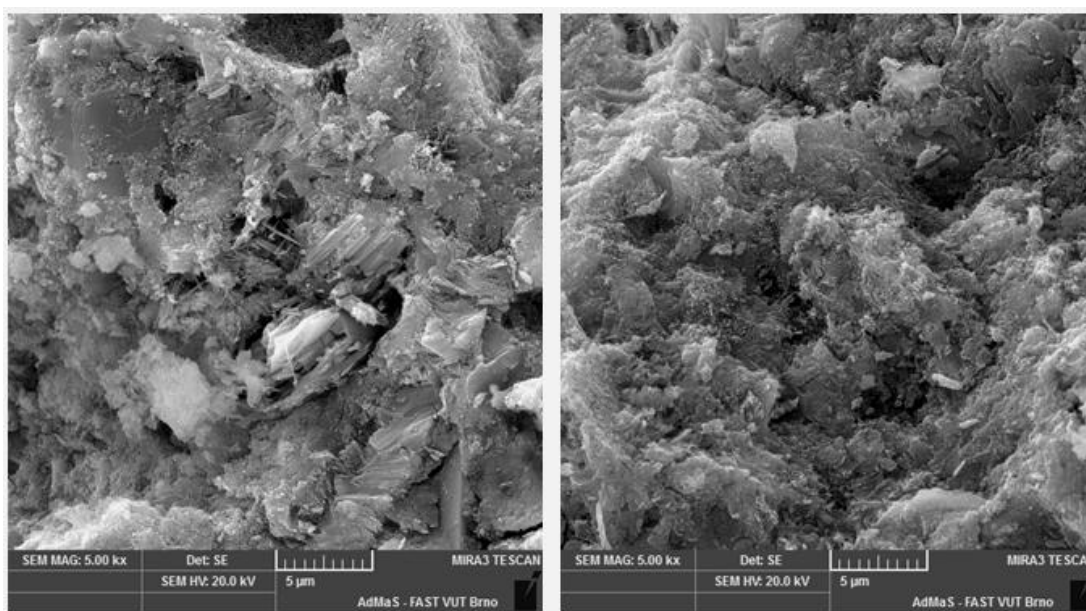
Obr. 21: Snímky z analýzy REM referenčních vzorků z prostředí H_2SO_4

V případě obr. 22 se jedná o snímky vzorků s krystalizační přísadou z prostředí H_2SO_4 . Na obou snímcích je vidět struktura cementové matrice bez viditelných korozních novotvarů.



Obr. 22: Snímky z analýzy REM vzorků s přísadou z prostředí H_2SO_4

Na obr. 23 jsou snímky vzorků s krystalizačním nátěrem z prostředí H_2SO_4 . Cementová matrice je na nich bez přítomnosti korozních novotvarů.



Obr. 23: Snímky z analýzy REM vzorků s nátěrem z prostředí H_2SO_4

Vzorky pro analýzu REM byly odebrány z hloubky cca 1 cm od povrchu betonu. U vzorků pocházejících z prostředí H_2SO_4 byly v případě referenčních vzorků nalezeny

korozní novotvary v podobě sekundárního ettringitu a sádrovce. V případě vzorků s aplikovanými krystalizačními materiály se tyto korozní novotvary ve struktuře nevyskytovaly.

Za pomoci analýzy REM se ovšem nepodařilo lokalizovat produkty sekundární krystalizace, kterou iniciují zkoušené krystalizační materiály. Nebylo tak možné určit hloubku jejich prokrystalizování v případě nátěru.

8.4 Diskuze výsledků

Bylo provedeno zkoušení betonových těles v agresivních kapalinách. V případě uložení v 5% kyselině sírové došlo za dobu expozice (3 týdny) k hmotnostním a vizuálním změnám. Nejvíce odolná se podle výsledků ukázala zkušební tělesa opatřená krystalizačním nátěrem Xypex Concentrate. Dosahovala relativního hmotnostního úbytku 0,62 %. A jejich povrch se podle vizuálního zhodnocení jevil jako téměř neporušený. Krystalizační nátěr dokázal vyluhování cementového kamene efektivně vzdorovat. V případě těles s aplikovanou přísadou Xypex Admix došlo rovněž ke zlepšení odolnosti proti vyluhování. Hodnota relativního hmotnostního úbytku činila 1,55 % oproti 2,46 % v případě vzorků referenčních. Vizuálně se pak povrch těles s přísadou jevil nepatrně méně porušený, než v případě referenčních těles.

Problémem u testování v prostředí H_2SO_4 je pokles pH roztoku. Dochází k němu vlivem vyluhování cementového kamene. Vyluhování zásaditého cementového kamene vede k postupnému vyrovnávání pH, čímž se degradační vliv kyseliny neustále snižuje. Proto byla hodnota pH v průběhu experimentu monitorována a udržována na konstantní úrovni.

V případě uložení zkušebních těles v nasyceném roztoku síranů nedošlo po dobu expozice k hmotnostním ani vizuálním změnám. Při stanovení pevnosti v tlaku byl zjištěn pokles pevnosti oproti vzorkům z laboratorního prostředí. Ten byl pravděpodobně způsoben počínající síranovou korozí, která se po dobu expozice nedokázala projevit úbytkem hmotnosti ani tvorbou povrchových trhlin.

V případě těles pocházejících z roztoku Mg^{2+} nedošlo po dobu expozice k hmotnostním ani vizuálním změnám. Dokonce dosáhly nejvyšších hodnot pevnosti v tlaku. To se dá vysvětlit tím, že u vzorků po dobu uložení v tomto agresivním prostředí nedošlo k degradaci. Oproti referenčním vzorkům pak byly déle ve vodním

uložení, kde měly příznivější podmínky k hydrataci. To se pak projevilo nárůstem pevností.

U uložení v roztoku síranů a hořečnanů byla doba expozice relativně krátká a vliv krystalizačních materiálů se tak nedokázal projevit. V případě dalšího testování pak navrhuji dobu expozice výrazně prodloužit. V případě expozice v řádech jednotek měsíců by se tento vliv měl dostatečně projevit, nicméně v rámci této práce to nebylo možné.

Zkouška nasákavosti probíhala na zkušebních tělesech z laboratorního prostředí. U těles opatřených krystalizačním nátěrem byla stanovena průměrná nasákavost 4,71 %. V případě těles s aplikovanou krystalizační přísadou Xypex Admix se dosáhlo hodnot nasákavosti 6,33 %. Referenční tělesa dosáhla hodnoty 7,78 %. Relativní pokles nasákavosti v porovnání s referenčními tělesy činí u vzorků Admix 18,64 %. V případě krystalizačního nátěru došlo k poklesu nasákavosti o 39,46 % oproti vzorkům referenčním. Pokles u těles s krystalizačními materiály potvrzuje snížení propustnosti pórů vlivem sekundární krystalizace.

Následující zkouška vzlínivosti byla provedena pro všechny druhy těles z laboratorního prostředí. Výsledky ukazují, že nejnižší vzlínivosti dosáhla tělesa opatřená nátěrem. Tělesa s nátěrem měla hodnotu vzlínivosti 0,38 %, tělesa s přísadou dosáhla hodnoty 0,53 % a tělesa referenční 0,71 %. Nátěr dosáhl nejnižších hodnot, protože se aplikuje přímo na povrch. Sekundární krystalizace tento povrch dokáže v krátkém čase velice účinně zaizolovat. V případě aplikace přísady do čerstvé směsi pravděpodobně nedokáže rozptýlený krystalizační materiál spustit tak účinnou sekundární krystalizaci v povrchových vrstvách tělesa jako nátěr.

Při zhodnocení zkoušek nasákavosti a vzlínivosti lze konstatovat, že krystalizační materiály účinně snížily permeabilitu betonu.

Objemová hmotnost jednotlivých zkušebních těles ze všech prostředí dosahovala srovnatelných hodnot (kolem 2230 kg/m³). Všechna byla totiž vyrobena se stejným dávkováním hlavních složek betonu. K mírnému poklesu vlivem vyluhování došlo pouze u referenčních těles uložených v kyselině sírové.

Zkouška pevnosti v tahu povrchových vrstev probíhala na zkušebních tělesech z laboratorního uložení a z uložení v H_2SO_4 . Vzorky z prostředí kyseliny sírové byly vybrány z důvodu degradace jejich povrchu. Porovnávala se tak tělesa se silně narušeným povrchem a s nepoškozeným povrchem. V případě těles degradovaných působením kyseliny sírové dosahovala pevnost v tahu velice nízkých hodnot, referenční tělesa 0,2 MPa, tělesa s přísadou 0,4 MPa. U těles opatřených nátěrem byla stanovena hodnota 0,7 MPa. Této hodnoty nátěr dosáhl díky nejnižší degradaci povrchu způsobené kyselinou sírovou.

U těles z laboratorního prostředí bylo dosaženo hodnot 3,6 MPa pro referenční, 4,3 MPa pro admix a 5,0 MPa pro nátěr. Zvýšení pevností u těles s nátěrem a s přísadou lze zdůvodnit působením sekundární krystalizace. Ta zlepšuje hutnost cementového kamene, což vede ke zlepšení pevností. V případě nátěru se jeví sekundární krystalizace ošetřených povrchových vrstev efektivnější.

Zkouška pevnosti v tlaku byla provedena u vzorků ze všech prostředí. Nejvyšších hodnot, jak již bylo zmíněno výše, dosáhly vzorky z prostředí Mg^{2+} . To se dá vysvětlit tím, že u vzorků po dobu uložení v tomto agresivním prostředí nedošlo k degradaci. Oproti referenčním vzorkům pak byly déle ve vodním uložení, a proto se u nich dosáhlo větší míry krystalizace. To se pak projevilo nárůstem pevností. Nejnižších hodnot dosáhly vzorky zatížené degradací v kyselině sírové. Obecně se dá říci, že nejvyšší pevnosti dosáhly vzorky s krystalizační přísadou a nejnižší referenční vzorky. Hodnota pevnosti vzorků s nátěrem se pohybovala uprostřed.

Vzorky z laboratorního prostředí dosáhly pevnosti v tlaku 49,7 MPa pro referenční vzorky, 50,8 MPa pro nátěr a 52,9 MPa v případě přísady. V případě přísady se jedná o relativní nárůst pevnosti o 6,4 % oproti referenčním tělesům. To potvrzuje zvyšování pevnosti vlivem utěsňování pórové struktury betonu sekundární krystalizací, kdy roste hutnost betonu.

Souhrn výsledků zkoušek permeability, pevnosti a zkoušek v degradačním prostředí svědčí o tom, že krystalizační materiály zvyšují odolnost vůči agresivním kapalinám s nízkým pH.

U analýzy REM zkoušených vzorků byl zaznamenán pozitivní vliv krystalizačních materiálů vůči degradačním pochodům ve struktuře betonu. U vzorků pocházejících z uložení v H_2SO_4 se v případě aplikace krystalizačních materiálů

nenalézaly korozní novotvary sekundárního ettringitu a sádrovce. Což jsou korozní produkty způsobené síranovou korozi z prostředí kyseliny sírové. Výsledky tedy nasvědčují tomu, že krystalizační materiály zlepšují odolnost betonu vůči síranové korozi. Nicméně se za pomoci analýzy REM nepodařilo lokalizovat produkty sekundární krystalizace, kterou iniciují zkoušené krystalizační materiály. Nebylo tak možné určit ani hloubku jejich prokrystalizování v případě nátěru.

Nedostatkem analýzy REM krystalizačních materiálů je, že krystalizační útvary vzniklé při hydrataci cementu jsou velmi podobné jako krystalické produkty sekundární krystalizace. Spolehlivějším řešením se pak jeví metoda založená na měření kontaktních úhlů testovací kapaliny na povrchu betonu. Kdy beton s krystalizačním materiálem má rozdílné vlastnosti povrchu (lomové roviny) betonu. [19]

Pro příští testování tedy doporučuji použít spolehlivější metodu pro ověření hloubky průniku sekundární krystalizace.

9. Závěr

Krystalizační materiály spouští v betonu proces tzv. sekundární krystalizace, která znatelně ovlivňuje vlastnosti zatvrdlých betonů. Cílem práce bylo studium vlivu těchto látek na životnost samozhutnitelného betonu. Z literární rešerše uvedené v teoretické části práce vyplývá, že sekundární krystalizace mimo jiné snižuje permeabilitu betonu, zvyšuje odolnost vůči agresivním prostředím a zlepšuje pevnost betonu. V experimentální části práce bylo toto tvrzení podrobena laboratornímu testování. Protože jsou to právě tyto faktory, které nejvíce ovlivňují životnost betonů. Provedenými zkouškami vztlínivosti a nasákavosti bylo potvrzeno snížení permeability SCC vlivem sekundární krystalizace. Permeabilita, potažmo pórovitost se pokládá za jeden z nejzásadnějších parametrů majících vliv na životnost betonu. Jejím snížením se omezuje degradační vliv vody v betonu, která je spoluodpovědná za většinu korozivních pochodů. V případě agresivních prostředí bylo za pomoci kyseliny sírové potvrzeno zvýšení životnosti SCC v agresivních kapalinách s nízkým pH. Analýza REM pak ukázala pozitivní vliv sekundární krystalizace na odolnost vůči síranové korozi a pevnostní zkoušky potvrdily zvýšení hutnosti, což má pozitivní vliv na mechanickou degradaci.

Stanovit hloubku průniku krystalizačních materiálů je za pomoci analýzy REM velmi obtížné. V případě tohoto testování se hloubka krystalizace nepodařila stanovit.

Pro příští testování pak navrhuji použít spolehlivější metodu měření kontaktních úhlů popsanou v práci [19].

Kvantifikovat procentuálně, o kolik jsou betony s krystalizačními materiály trvanlivější než betony bez nich, je velmi obtížné. Je třeba komplexní přístup a dlouhodobé testování, které ovšem přesahuje rámec bakalářské práce.

Při shrnutí této problematiky můžeme říci, že sekundární krystalizace pozitivně ovlivňuje životnost betonu včetně toho samozhutnitelného. Krystalizační materiály patří do souhrnu možností, jak zlepšit životnost betonu. Do betonu pak mohou být přidávány pro zlepšení určitých charakteristik nebo jejich spolehlivosti.

Při testování bylo získáno několik poznatků, které by mohly být nápomocny v budoucím zkoumání těchto materiálů.

Seznam použitých zdrojů

- [1] KROPÁČEK, Michal a Jiří ŠAFRATA. Vliv sekundární krystalizace na vlastnosti betonu. *Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. 2015, **15**(2), 52-54. ISSN 1213-3116.
- [2] BAJZA, Adolf a Ildiko ROUSEKOVÁ. *Technológia betónu*. Bratislava: Jaga, 2006. ISBN 80-807-6032-2.
- [3] COLLEPARDI, Mario. *Moderní beton*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2009. První vydání. ISBN 978-80-87093-75-7.
- [4] DROCHYTKA, R. *Trvanlivost stavebních materiálů, studijní opory*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2007.
- [5] HELA, Rudolf. *Technologie Betonu II*. Brno, 2007. Skriptum. VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců.
- [6] BLAŽEK, Michal. *Možnosti hodnocení trvanlivosti povrchové vrstvy betonu stavebních konstrukcí*. Brno, 2014. Diplomová práce. VUT v Brně. Fakulta stavební. Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce Tomáš VYMAZAL.
- [7] TENG, Li-Wei et al. A study of crystalline mechanism of penetration sealer materials. *Materials* [online]. 2014, (7), 399-412 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1996-1944/7/1/399>
- [8] MITSUKI, Y., FUJIMOTO, M., NAKAMURA, Y. *An Enhancement in the Nature of Concrete with a Multipliactive Cement Crystal Type Concrete Material*, 46th Annual Meeting of the Civil Engineering Society, Japan, 1992.
- [9] DOHNÁLEK, Pavel. *Vývoj bariérových kapalnotěsných a plynotěsných povrchových úprav s využitím odpadních látek*. Brno, 2010. Disertační práce. VUT v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Rostislav DROCHYTKA.

[10] MEHTA, Kumar P. a Paulo J. M. MONTEIRO. *Concrete: microstructure, properties, and materials*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, c2006. ISBN 00-714-6289-9.

[11] PAZDERKA, Jiří a Eva BURGETOVÁ. Krystalizační hydroizolace. *Stavitel*. 2008, (6), Příloha. ISSN 1210-4825.

[12] SISOMPHON, K. et al. Self-healing of surface cracks in mortars with expansive additive and crystalline additive. *Cement and Concrete Composites* [online]. 2012, (2), 566–574 [cit. 2016-04-21]. Dostupné z:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946512000133>

[13] ROIG-FLORES, M. et al. Self-healing capability of concrete with crystalline admixtures in different environments. *Construction and Building Materials* [online]. 2015, 1-11 [cit. 2016-04-29]. Dostupné z:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815003700>

[14] DOHNÁLEK, Pavel, Jan MANDELÍK a Roland MACHAČ. Technologie bílých van s využitím krystalizačních přísad. In: *Asb-portal.cz* [online]. 2010 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/materialy-a-vyrobky/hydroizolace/technologie-bilych-van-svyuzitim-krystalizacnich-prisad>

[15] *Xypex.hr* [online]. Stav, c2013 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.xypex.hr/index.htm>

[16] BOHUŠ, Štěpán. *Vývoj nových druhů plynotěsných a vodotěsných povrchových úprav*. Brno, 2013. Disertační práce. VUT v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Rostislav DROCHYTKA.

[17] STARK, Stanley. Concrete waterproofing with crystalline technology. In: *IMX Technologies* [online]. [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: http://imxtechnologies.com/docs/ArchRecordContEd_Jan06.pdf

- [18] TICHÝ, Jan. Sanace a hydroizolace betonových konstrukcí pomocí krystalizačních materiálů. *Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. 2006,**6**(3), 27-29. ISSN 1213-3116.
- [19] PAZDERKA, Jiří. Účinnost sanačních postupů založených na krystalizačních materiálech. *Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. 2009,**9**(2), 16-19. ISSN 1213-3116.
- [20] Posilování hydroizolační a chemické odolnosti betonových konstrukcí na bázi krystalizace. In: *Stavebnictví 3000* [online]. Sun Stop, 2001 [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/posilovani-hydroizolacni-a-chemicke-odolnosti-beto/>
- [21] VÁVRA, Zdeněk. Zvýšení chemické odolnosti betonu a správkových malt použitím sekundární krystalizace. In: *IMateriály* [online]. Betosan, 2013 [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: http://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/stavebni-chemie/zvyseni-chemicke-odolnosti-betonu-a-spravkovych-malt-pouzitim-sekundarni-krystalizace_105838.html
- [22] DROCHYTKA, Rostislav, Pavla MATULOVÁ a Pavel DOHNÁLEK. Současné hydroizolační krystalizační látky. In: *Asb-portal.cz* [online]. 2009 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/materialy-a-vyrobky/hydroizolace/soucasne-hydroizolacni-krystalizacni-latky>
- [23] PAZDERKA, Jiří. Principy použití krystalizačních hydroizolací. In: *Asb-portal.cz* [online]. 2008 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/materialy-a-vyrobky/beton/principy-pouziti-krystalizacnich-hydroizolaci>
- [24] *Nekap* [online]. Praha, c2012 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://www.nekap.cz/xypex/index.php>
- [25] PAZDERKA, Jiří a Eva BURGETOVÁ. Betony s krystalizační příměsí a jejich odolnost proti tlakové vodě. *Stavební obzor*. 2008, **17**(6), 168-171. ISSN 1210-4027.

[26] ČSN 73 1357: *Stanovení kapilárních vlastností pórobetonu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

[27] ČSN EN 12390-7: *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

[28] ČSN 73 1318: *Stanovení pevnosti betonu v tahu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1987.

[29] ČSN EN 12390-3: *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

[30] JANOUŠKOVÁ, Monika. *Fyzika a biologie*. Brno, 2010. Diplomová práce. Masarykova Univerzita. Pedagogická fakulta. Katedra fyziky. Vedoucí práce Vladislav NAVRÁTIL.

Seznam použitých zkratek a výrazů

Obr.	obrázek
Tab.	tabulka
CEM	cement
C-S-H	kalcium-silikátový-hydrát
REM	rastrovací elektronový mikroskop
SCC	samozhutnitelný beton
RCPT	rychlá zkouška propustnosti chloridů
XRD	rentgenová difrakční analýza
VUT	Vysoké učení technické
ČVUT	České vysoké učení technické
degradace	znehodnocení, zhoršení kvality
drúza	srůst krystalů
komparace	srovnávání, porovnávání
expoze	vystavení, vystavení určitému vlivu
hydrofilní	schopnost vázat vodu nebo se v ní rozpouštět

referenční	srovnávací (bez aplikace krystalizačních materiálů)
inicializace	spuštění něčeho
predikce	předpověď
injektáž	vstřikování, vhánění zpevňovací hmoty do jiné hmoty

Seznam tabulek

Tab. 1: Přehled některých výrobců krystalizačních hydroizolací a jejich produktů

Tab. 2: Hloubka průsaku v závislosti na čase

Tab. 3: Specifikace vzorků

Tab. 4: Receptura směsi SCC č. 1

Tab. 5: Receptura směsi SCC č. 2

Tab. 6: Vyhodnocení zkoušky sednutí-rozlitím a L-box pro SCC č. 1

Tab. 7: Vyhodnocení zkoušky sednutí-rozlitím a L-box pro SCC č. 2

Tab. 8: Relativní pokles hmotnosti v prostředí kyseliny sírové

Tab. 9: Nasákavost vzorků z laboratorního prostředí

Tab. 10: Vzlínavost vzorků z laboratorního prostředí v závislosti na čase

Tab. 11: Objemové hmotnosti

Tab. 12: Pevnost v tahu povrchových vrstev vzorků z laboratorního prostředí

Tab. 13: Pevnost v tahu povrchových vrstev vzorků z prostředí H₂SO₄

Tab. 14: Pevnost v tlaku vzorků z laboratorního prostředí

Tab. 15: Pevnost v tlaku vzorků z prostředí Mg²⁺

Tab. 16: Pevnost v tlaku vzorků z prostředí SO₄²⁻

Tab. 17: Pevnost v tlaku vzorků z prostředí H₂SO₄

Seznam obrázků

Obr. 1: Hydratace krystalizačního materiálu

Obr. 2: Srovnání složení SCC s běžným betonem

Obr. 3: REM 1000x, hloubka 10 cm

Obr. 4: REM 1000x, hloubka 20 cm

Obr. 5: REM 1000x, hloubka 30 cm

Obr. 6: REM 1000x, bez aplikace Xypex, hloubka 10 cm

Obr. 7: Vyhodnocení zkoušek propustnosti

Obr. 8: Vyhodnocení zkoušky rtuťové porozimetrie

- Obr. 9: XRD krystalizačního nátěru na povrchu betonu
Obr. 10: XRD vytvořených krystalů
Obr. 11: XRD betonu 5 mm pod nátěrem
Obr. 12: XRD betonu 20 mm pod krystalizačním krystalizačním nátěrem
Obr. 13: Geometrie průsaku na vzorcích
Obr. 14: Schéma Etapy I
Obr. 15: Schéma Etapy II
Obr. 16: Uložení v H_2SO_4
Obr. 17: Zkušební těleso s krystalizační přísadou Admix po 3 týdnech v H_2SO_4
Obr. 18: Schéma Etapy III
Obr. 19: Zkušební zařízení pro zkoušku pevnosti v tahu povrchových vrstev
Obr. 20: Snímky z analýzy REM referenčních vzorků z laboratorního prostředí
Obr. 21: Snímky z analýzy REM referenčních vzorků z prostředí H_2SO_4
Obr. 22: Snímky z analýzy REM vzorků s přísadou z prostředí H_2SO_4
Obr. 23: Snímky z analýzy REM vzorků s nátěrem z prostředí H_2SO_4

Seznam grafů

- Graf 1: Relativní pokles hmotnosti vzorků v prostředí H_2SO_4
Graf 2: Nasákavost vzorků z laboratorního prostředí
Graf 3: Vzlínavost vzorků z laboratorního prostředí v závislosti na čase
Graf 4: Vzlínavost vzorků z laboratorního prostředí
Graf 5: Pevnost v tahu povrchových vrstev vzorků z laboratorního prostředí
Graf 6: Pevnost v tahu povrchových vrstev vzorků z prostředí H_2SO_4
Graf 7: Porovnání pevností v tahu vzorků z obou prostředí
Graf 8: Pevnost v tlaku vzorků ze všech druhů prostředí

Seznam příloh

- Technický list Xypex Concentrate
Technický list Xypex Admix C-1000 (NF)

Přílohy

Xypex® Concentrate

■ VÝROBCE

HYDROPROOF, s.r.o.

Thákurova 7, 160 00 Praha 6

v licenci:

XYPEX CHEMICAL CORPORATION,

1371 Mayfield Place,

Richmond B.C.CANADA V6V 2G9

■ DISTRIBUTOR PRO ČR

NEKAP s.r.o.

kancelář: Thákurova 7, 160 00 Praha 6

tel.: 233 323 902, 224 316 107

fax: 224 313 212

e-mail: info@nekap.com

www.nekap.com

■ CHARAKTERISTIKA

Jedná se o kompozitní směs portlandského cementu s velmi jemným křemičitým pískem a aktivní chemickou bází Xypex® Concentrate, která v kapilárním systému betonu iniciuje růst vláknitých krystalů na molekulární úrovni a trvale zaceluje transportní cesty pro kapalná média. Tím vytváří z běžného betonu trvale účinný systém, nepropustný pro tlakovou vodu, odolný naftě, olejům a jejich derivátům i řadě průmyslovým chemikáliím.

■ VLASTNOSTI VÝROBKU

Nepropustnost pro vodu (ČSN EN 12390-8)

min. 0,8 MPa

Sypná hmotnost suché směsi (ČSN EN 1097-3)

1.100 ± 50 kg.m-3

Doba zpracovatelnosti při +20 °C a 50 % R.V.

max. 0,3 hod

■ PŘÍPRAVA PODKLADU

Podklad musí být předem dostatečně nasycen vodou, zbaven všech nečistot, prachu, cementových šlemů, příp. mírně zdrsňen, aby byl zpřístupněn kapilární systém betonu, nesmí být mastný a zatížen stojící vodou.

■ ZPRACOVÁNÍ

Kompozit Xypex® Concentrate se míchá s pitnou vodou ručně nebo vrtačkou s míchadlem (250-300 ot/min.), v poměru 5 : 2 (objemově) pro aplikaci nátěrem, 5 : 3 pro aplikaci nástřikem. Nanáší se na betonový povrch štětkou nebo stříkací pistolí v tloušťce min. 1 mm (orientační spotřeba je 0,65-1,0 kg.m-2). Optimální doba zpracovatelnosti připravené čerstvé hmoty je 30 minut, dodatečné přidávání vody není přípustné. Podrobný návod je uveden v Technologické příručce Xypex®, který je závazný pro poskytované záruční podmínky.

■ OŠETŘOVÁNÍ

Čerstvě ošetřené povrchy betonu kompozitem Xypex® Concentrate musí být účinně chráněny před sluncem, deštěm a vysušujícím větrem. Teplota vzduchu a podkladu při aplikaci musí být v rozmezí +5 °C až + 35 °C. Teplota prostředí by neměla klesnout po aplikaci pod +4 °C po dobu min. 48 hodin. Po zavaznutí aplikace se doporučuje provádět časté vlhčení jemným postřikem povrchu pitnou vodou po dobu min. 3 dnů a umožnit volný přístup vzduchu (nesmí se těsně zakrývat parotěsnými PE fóliemi). Zatížení ošetřeného betonu tlakem vody je možné až po min. 12 dnech po aplikaci (v případě agresivních médií až po 18 dnech). Další povrchové úpravy ošetřené betonové konstrukce jsou možné, při respektování pokynů v Technologické příručce Xypex®.

■ OBLAST UŽITÍ

Na betonové konstrukce všeho druhu. Ve spodních stavbách proti vlhkosti i tlakové vodě, jako náhrada klasických izolací. Jako chemická ochrana nádrží v objektech ČOV, úpravnách vody, parovodech, naftovém hospodářství, ČS, stáčištích ropných látek atd. Využívá se jako účinná izolační ochrana geometricky složitých nebo obtížně přístupných betonových konstrukcí, např. skeletových staveb, mostů, kolektorů, tunelů, skladišť jaderného odpadu ap.

■ DOPLŇUJÍCÍ INFORMACE

Teplotní zátěž trvalá	-32 °C až 130 °C
Teplotní zátěž periodická	-185 °C až 1.530 °C
Odolnost proti chemikáliím (periodická zátěž)	pH = 2-12
Odolnost proti chemikáliím (trvalá zátěž)	pH = 3-11

■ HYGIENA PRÁCE

Směs je alkalická, netoxická, schválena k použití na pitnou vodu. Při zasažení očí je nutno vypláchnout proudem čisté vody a ihned vyhledat lékaře. Při požití ihned vypít 3 až 4 sklenice mléka nebo vody, nevyvolávat zvracení a ihned vyhledat lékaře. Doporučuje se používat při práci běžné osobní ochranné pomůcky. Při styku pokožkou omýt mýdlem a pokožku ošetřit regeneračním krémem.

■ SKLADOVÁNÍ

V původních neporušených obalech v suchém prostředí při min. teplotě +5 °C. Při dodržení skladovacích podmínek je na materiál balený v plechovkách poskytována záruka 1 rok od data prodeje, na materiál balený v pytlích 6 měsíců od data prodeje.

■ BALENÍ

v plechovkách s PE vložkou, hmotnost 25 kg
v plastových kbelících, hmotnost 5 kg
v papírových pytlích s PE vložkou, hmotnost 20 kg

■ CERTIFIKACE

Výrobek je certifikován AO 227 dle zákona č.22/1997 Sb., číslo certifikátu C5-05-0254 ze dne 19.4.2005.

Xypex® Admix C-1000 (NF)

■ VÝROBCE

Xypex CE s.r.o.

Thákurova 7, 160 00 Praha 6

v licenci:

XYPEX CHEMICAL CORPORATION,

1371 Mayfield Place,

Richmond B.C.CANADA V6V 2G9

■ DISTRIBUTOR PRO ČR

NEKAP s.r.o.

kancelář: Thákurova 7, 160 00 Praha 6

tel.: 233 323 902, 224 316 107

fax: 224 313 212

e-mail: info@nekap.com

www.nekap.com

■ CHARAKTERISTIKA

Jedná se o práškovou přísadu s obsahem aktivní chemické báze Xypex® Admix, která se přidává již při výrobě čerstvého betonu pro dosažení účinné vodonepropustnosti ztvrdlého betonu a současně pozitivně ovlivňuje zpracovatelnost čerstvého betonu a pevnost ztvrdlého betonu. Příklad Xypex® Admix C-1000 (NF) má stejnou chemickou účinnost (tvorbu těsnících krystalů) ve struktuře betonu, jako nátěrové hmoty Xypex® Concentrate a Xypex® Modified.

■ VLASTNOSTI VÝROBKU

Vodotěsnost betonu (ČSN EN 12390-8)	min. V12
Zvýšení pevnosti betonu (doporučená dávka 2 % hmotnosti cementu)	min. 15 %
Sypná hmotnost suché směsi (ČSN EN 1097-3)	1.100 ± 50 kg.m-3
Součinitel filtrace (ČSN CEN ISO/TS 17892-11)	< 7.10-11
Dávkování Admix C-1000 / z hmotnosti cementu	1-3 %
Dávkování Admix C-1000 NF / z hmotnosti cementu	0,5 - 1,5 %

■ ZPRACOVÁNÍ

Obvyklým způsobem jako běžný beton (ČSN P ENV 13670-1 (2) + ČSN EN 206-1). Příklad Xypex® Admix C-1000 (NF) se dávkuje buď v suchém stavu do směsi kameniva bez cementu nebo se aktivuje v záměsové vodě při výrobě čerstvého betonu. Podrobný návod je uveden v Technologické příručce Xypex®, který je závazný pro poskytované záruční podmínky.

■ OŠETŘOVÁNÍ

Obvyklým způsobem jako běžný čerstvý beton (ČSN P ENV 13670-1 (2) + ČSN EN 206-1). Po dobu min. 48 hodin musí být povrch betonu s přísadou Xypex® Admix C-1000 (NF) v trvale vlhkém stavu.

■ OBLAST UŽITÍ

Pro výrobu betonových konstrukcí s vysokými nároky na odolnost proti působení vody a agresivních kapalných chemických látek.



■ DOPLŇUJÍCÍ INFORMACE

Teplotní zátěž trvalá	-32 °C až 130 °C
Teplotní zátěž periodická	-185 °C až 1.530 °C
Odolnost proti chemikáliím (periodická zátěž)	pH = 2-12
Odolnost proti chemikáliím (trvalá zátěž)	pH = 3-11

■ HYGIENA PRÁCE

Přísada Xypex® Admix C-1000 (NF) je alkalická a netoxická. Při zasažení očí je nutno vypláchnout proudem čisté vody a ihned vyhledat lékaře. Doporučuje se používat při práci běžné osobní ochranné pomůcky. Při styku pokožkou omýt mýdlem a pokožku ošetřit regeneračním krémem.

■ SKLADOVÁNÍ

V původních neporušených obalech v suchém prostředí při min. teplotě +5 °C. Při dodržení skladovacích podmínek je na materiál balený v plechovkách poskytována záruka 1 rok od data prodeje, na materiál balený v pytlích 6 měsíců od data prodeje.

■ BALENÍ

Rozpustné pytlíky, o hmotnosti 2 až 8 kg, balené do kartonové krabice s PE vložkou.

■ CERTIFIKACE

Výrobek je značen CE, v souladu s normou EN 934-2.