

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra technologie staveb**



DIPLOMOVÁ PRÁCE
**Vliv technologické nekázně
při aplikaci krystalizačních
přísad na vodonepropustný
beton**

**Bc. Tereza Křižánková
2019**

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Pavel Svoboda, CSc.

Prohlašuji, že jsem předkládanou diplomovou práci vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze

.....

Bc. Tereza Křížánková

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat panu doc. Ing. Pavlu Svobodovi, CSc., za odborné vedení, cenné rady a věcné připomínky při zpracování mé diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat vedení experimentálního centra ČVUT fakulty stavební, a to konkrétně panu doc. Ing. Jiřímu Litošovi, Ph.D., panu Ing. Pavlu Reitermanovi, Ph.D. a Lukáši Joglovi, za umožnění provádění experimentu v laboratořích fakulty stavební, za jejich pomoc a rady.



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Křížánková</u>	Jméno: <u>Tereza</u>	Osobní číslo: <u>423058</u>
Zadávací katedra: <u>Katedra technologie staveb</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Příprava, realizace a provoz staveb</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Vliv technologické nekázně při aplikaci krystalizačních přísad na vodonepropustný beton</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Influence of technological indiscipline in the application of crystallizing additives to waterproof concrete</u>	
Pokyny pro vypracování: První část bude teoretická. Studentka se bude zaměřovat na charakteristiku možností způsobů zajištění betonových konstrukcí proti působení tlakové vody. Následně bude řešit jednotlivé krystalizační přísady do betonů od třech největších dodavatelů na český trh a technologické nekázně při betonáži. V praktické části budou simulovány různé technologické nekázně při výrobě betonové směsi na zkušebních vzorcích. Následně budou na zkušebních vzorcích vykonány destruktivní a nedestruktivní zkoušky a výsledky budou porovnány a zpracovány do tabulek.	
Seznam doporučené literatury: - Odborné tuzemské i zahraniční sborníky z odborných konferencí - Odborný časopis Beton TSK - České technické normy - Technologické předpisy od výrobců krystalizačních přísad	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>doc. Ing. Pavel Svoboda, CSc.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>12.10.2018</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>6.1.2019</u> <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</small>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Anotace

Tato diplomová práce je zaměřena na vodonepropustnost betonu s vlivem technologických nekázni při aplikaci krystalizačních přísad a je rozdělena na dvě části. První část – rešerše pojednává o jednotlivých složkách betonu, o vodonepropustnosti zajištěné krystalizací a krystalizačních přísadách dostupných na našem trhu a následně se zabývá alternativními řešeními pro zajištění ochrany spodní stavby proti tlakové vodě. Druhá část – experiment popisuje postup přípravy vzorků, provádění destruktivních a nedestruktivních zkoušek čerstvého i ztvrdlého betonu a následné vyhodnocení a porovnání výsledků provedených zkoušek.

Klíčová slova

krystalizační, přísady, beton, Xypex, Sika, Krystol, vodonepropustnost, pevnost, průsak

Annotation

This diploma thesis is focused on the waterproofing of concrete with the influence of technological indiscipline in the application of crystallization additives and it is divided into two parts. The first part – research deals with the individual constituents of concrete, the waterproof concrete, the crystallization and the crystallizing additives and subsequently solves alternative solutions for the protection of subterranean construction against pressure water. The second part – the experiment describes the procedure of samples preparation, destructive and non-destructive testing of concrete and resultant appraisal and comparison of the results of the performed tests.

Keywords

crystallizing, additives, concrete, Xypex, Sika, Krystol, waterproof, strenght, seepage

OBSAH

ÚVOD	9
1 BETON A JEHO SLOŽKY	10
1.1 Beton.....	10
1.2 Pojivo.....	11
1.3 Plnivo.....	13
1.4 Voda	14
1.5 Příměsi	15
1.6 Přísady	15
1.6.1 Plastifikátory	16
1.6.2 Zpomalovače tuhnutí.....	16
1.6.3 Urychlovače tuhnutí a tvrdnutí.....	17
1.6.4 Provozdušňovače.....	17
1.6.5 Hydrofobizační (těsnící) přísady	18
2 VODONEPROPUSTNOST	19
2.1 Krystalizace betonu	19
2.1.1 Princip krystalizace	20
2.1.2 Ovlivnění krystalizace.....	21
2.1.3 Využití krystalizace.....	21
2.1.4 Krystalizační přísady.....	22
2.1.4.1 Způsob aplikace práškové přísady do betonu	23
2.1.4.2 Sika WT – 200 P	24
2.1.4.3 Xypex Admix C–1000 NF	26
2.1.4.4 Redrock Krystol Mix koncentrát.....	28
2.1.4.5 Další možné krystalizační přísady.....	29
2.1.5 Krystalizační nátěry, nástřiky, tmely a vsypy	30
3 ALTERNATIVY PRO ZAJIŠTĚNÍ OCHRANY SPODNÍ STAVBY PROTI TLAKOVÉ VODĚ	32
3.1 Hydroizolační asfaltové pásy.....	32
3.2 Hydroizolační fólie	33
3.3 Bentonitové izolační systémy	35

4 PLÁN EXPERIMENTU	37
4.1 Cíl experimentu	37
4.2 Postup experimentu	37
4.3 Použité suroviny	40
4.4 Receptury	42
4.5 Použité přístroje	43
4.6 Příprava zkušebních těles	46
4.7 Technologické nekázně	51
4.7.1 Tvrdnutí v mrazu	52
4.7.2 Tvrdnutí ve vodě	52
4.7.3 Tvrdnutí ve vlhku	53
4.7.4 Nedostatečné množství přísady	53
4.7.5 Tvrdnutí v běžných podmínkách laboratoře	54
5 ZKOUŠENÍ.....	55
5.1 Zkouška sednutím kužele	55
5.2 Objemová hmotnost čerstvého betonu	57
5.3 Objemová hmotnost ztvrdlého betonu.....	59
5.4 Měření pevnosti betonu v tlaku	62
5.5 Měření pevnosti betonu v tahu ohybem	64
5.6 Měření hloubky průsaku tlakovou vodou	70
5.7 Měření nasákavosti	76
6 EKONOMICKÁ NÁROČNOST	79
ZÁVĚR.....	82
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ.....	84
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	89
SEZNAM OBRÁZKŮ	90
SEZNAM TABULEK	92
SEZNAM GRAFŮ	93
SEZNAM PŘÍLOH.....	94

ÚVOD

Po celou dobu své existence má svět tendence posouvat věci dopředu a jinak tomu není ani ve stavebnictví konkrétně u betonu. Ten je zapotřebí neustále vyvíjet, zdokonalovat a zkoušet. Jedním ze způsobů, jak zlepšovat vlastnosti čerstvého i ztvrdlého betonu, je přidávání přísad. Proto se ve své práci budu zaměřovat na jednu z často diskutovaných přísad – krystalizační přísadu.

První část práce tvoří rešerše tuzemských i zahraničních odborných publikací, zabývající se jednotlivými složkami betonu, principem krystalizace a jejího využití, specifikací jednotlivých krystalizačních přísad a v poslední řadě alternativami zajištění spodní stavby proti působení tlakové vody.

V rámci praktické části byl vypracován experiment, který se zabývá vlivem technologických nekázní na vodonepropustnost betonu v případě použití krystalizačních přísad od různých výrobců. V průběhu experimentu byly zhotoveny vzorky, na kterých byly simulovány vybrané nekázně a následně provedena řada destruktivních i nedestruktivních zkoušek. Získaná data ze všech zkoušek byla porovnána a poté byly vyvozeny patřičné závěry.

1 BETON A JEHO SLOŽKY

1.1 Beton

Zrod betonu, v podobě, v jaké ho známe dnes, se datuje od poloviny 19. století, kdy byla objevena technologie výroby hydraulických pojiv, především cementu. Následně od roku 1900, kdy se konala Všeobecná světová výstava v Paříži, se beton řadí mezi základní konstrukční materiály. [1]

Beton je stavební materiál tvořený několika odlišnými složkami s rozdílnými vlastnostmi, které společně vytvářejí výsledný materiál se zcela novým charakterem. Základními složkami je pojivo – cement, plnivo – hrubé i drobné kamenivo a voda. V současném stavitelství využívání betonu výrazně převažuje nad ostatními materiály, a proto se ho snažíme neustále zdokonalovat. Pro vylepšení a získání specifických vlastností bývají součástí další složky v podobě přísad a příměsí. Obecně se uvádí následující procentuální složení směsi: kamenivo 75 %, cement 13,4 %, voda 7,7 %, příměsí 3,4 % a přísady 0,1 %. Nicméně konečný poměr složek vždy záleží na našich požadavcích na očekávané výsledné vlastnosti čerstvého i ztvrdlého betonu. [2] [3]

V betonové směsi dochází po smíchání cementu s vodou k procesu hydratace. Touto chemickou reakcí je zapříčiněn vznik jemných krystalků, které vzájemně prorůstají, a z plastické hmoty se tak stává tuhý a mechanicky odolný materiál. Prvním procesem, který po smíchání nastává, je tuhnutí. Během tuhnutí dochází k postupnému zhoršování zpracovatelnosti betonové směsi až po úplnou ztrátu formovatelnosti. Počátek procesu tuhnutí opět závisí na složení. V případě použití portlandského cementu pouze z portlandského slínku, by k procesu tuhnutí došlo okamžitě po smíchání cementu s vodou. Pro účely dnešní výstavby se doba tuhnutí upravuje pomocí vícesložkových cementových směsí nebo přísad a pohybuje se běžně i v rámci hodin. Druhým jevem následujícím po tuhnutím je proces tvrdnutí. Během tvrdnutí beton nabývá své pevnosti. Největší nárůst pevnosti nastává v prvních 7 dnech po namíchání směsi, svou plnou pevnost by měl vykazovat po 28 dnech. Nárůst pevnosti nejvíce závisí na teplotních podmínkách okolí. Při nízkých teplotách (již pod 5 °C) dochází k podstatnému zpomalení tvrdnutí, naopak při vyšších teplotách se proces urychluje a beton nabývá vyšších počátečních pevností v kratším čase. [2] [3] [4] [7]

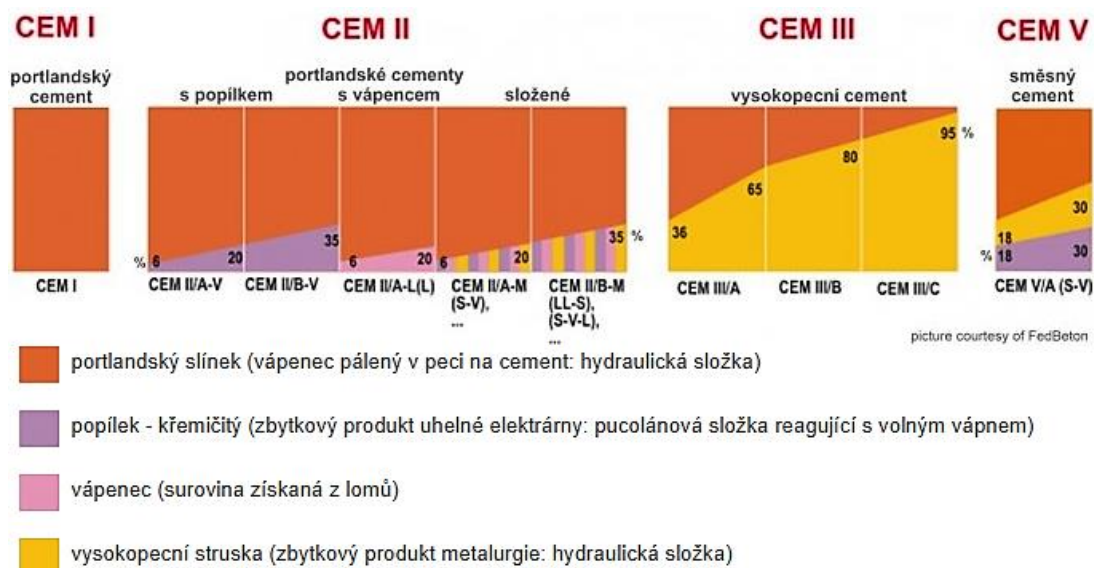
1.2 Pojivo

Pojivem v betonové směsi se rozumí cement. Jeho hlavní funkcí je vytvořit soudržnost materiálu. Jak již bylo zmíněno v bodě 1.1, cement po spojení s vodou tvoří cementovou matici, která po určité době začíná tuhnout a nabývat na pevnosti. Důležitým faktorem pro výslednou pevnost je poměr mezi cementem a vodou, ten se udává přibližně 3:1. Čím zvolíme nižší vodní součinitel ($w=v/c$) tzn. čím menší je poměr hmotnosti účinného obsahu vody k hmotnosti cementu v čerstvém betonu, tím vyšší pevnost betonu získáme. [4]

Dle ČSN EN 197-1 se cementy pro obecné použití dělí dle složení na 5 hlavních skupin viz Tabulka 1. Odpovídající procentuální složení jednotlivých druhů těchto cementů je znázorněno na Obrázku 1. Nejpoužívanějším cementem je cement portlandský. Ten je z převážné většiny tvořen portlandským slínkem a regulátorem tuhnutí – síranem vápenatým, který tvoří přibližně 5 % celkového objemu cementu. Kdyby ve směsi nebyl obsažen, tuhnutí betonu by bylo započato ihned po umíchání. [4] [5]

Tabulka 1- Rozdělení cementů dle složení [5]

Označení	Název	Barevné odlišení nápisů
CEM I	portlandský cement	černá
CEM II	portlandský cement směsný	zelená
CEM III	vysokopeční cement	červená
CEM IV	pucolánový cement	modrá
CEM V	směsný cement	hnědá



Obrázek 1- Složení cementů [6]

Cementy dále dělíme podle vaznosti neboli pevnosti v tlaku po 28 dnech a rychlosti náběhů pevnosti viz Tabulka 2.

Tabulka 2- Rozdělení cementu dle pevnostní třídy [5]

Pevnostní třída	Pevnost v tlaku [MPa]				Počátek tuhnutí [minut]	Objemová stálost [mm]
	Počáteční pevnost		Normalizovaná pevnost			
	2 dny	7 dnů	28 dnů			
32,5 N	-	≥ 16,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
32,5 R	≥ 10,0	-				
42,5 N	≥ 10,0	-	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	
42,5 R	≥ 20,0	-				
52,5 N	≥ 20,0	-	≥ 52,5	-	≥ 45	
52,5 R	≥ 30,0	-				

Stanovení pevnostních tříd se provádí podle ČSN EN 197-1. V Tabulce 2 nalezneme vedle pevnostních tříd také požadavky na mechanické a fyzikální vlastnosti. Veškeré hodnoty jsou uvedené jako charakteristické. Číslo pevnostní třídy (např. 32,5) představuje nejnižší požadovanou hodnotu pevnosti v tlaku po 28 dnech udávanou v MPa (N/mm²). N a R označují rychlost nárůstu počáteční pevnosti během prvních dvou dnů. N (normal) se vyznačuje normálními počátečními pevnostmi, kdežto R (rapid) vykazuje po prvních dvou dnech vysoký počáteční nárůst pevnosti. (Např. cement 52,5 N má požadavek na počáteční pevnost po 2 dnech ≥ 20,0 MPa, oproti cementu 52,5 R, který po 2 dnech musí nabýt minimální pevnosti 30,0 MPa).

U CEM III se můžeme setkat s nárůstem pevnosti L, který je pomalý a dosahuje se tak nízké hodnoty počátečních pevností. [4] [5]

Výrobců cementu v České republice existuje hned několik. Mezi nejznámější patří Českomoravský cement a.s., Cement Hranice a.s. a CEMEX Czech Republic s.r.o. Cementy se běžně prodávají v 25 kg pytlích a jejich cena se odvíjí od požadovaného druhu, kupovaného množství a výrobce. Běžně se cena za 25 kg pytel pohybuje mezi 50–100 Kč bez DPH. [8]

1.3 Plnivo

Plnivo do betonové směsi představuje kamenivo. Jedná se o zrnitý, sypký materiál anorganického původu (případně umělý), který tvoří převážnou část objemu (zpravidla 2/3-3/4 celkového objemu betonové směsi). V případě výroby betonu dle ČSN EN 206–1 je zapotřebí, aby kamenivo vyhovělo dle ČSN EN 12620+A1 – Kamenivo do betonu. Kamenivo se podílí na zvýšení pevnosti a zlepšení trvanlivosti betonové konstrukce. Je zapotřebí, aby ve směsi bylo rovnoměrně rozloženo a všechna zrna kameniva byla obalena cementovou maticí. [9] [10]

Použité kamenivo do betonu je možné rozdělit podle velikosti částic na jemné, drobné a hrubé kamenivo. Jemné kamenivo obsahuje zrna do velikosti 0,25 mm a jedná se především o fillery (obsahují min. 70 % jemných částic pod 0,063 mm) nebo jemně mleté písky. Drobné kamenivo představuje písek, který má maximální velikost zrna 4 mm. Nejčastěji používanými frakcemi drobného kameniva je frakce 0/2 nebo 0/4. Hrubým kamenivem se rozumí kamenivo o velikosti zrna 4 až 125 mm a bývá označován jako štěrk nebo drcené kamenivo. Pro betonové směsi se využívá kamenivo do velikosti zrna 63 mm. [9] [10]

Dále můžeme kamenivo dělit dle původu na přírodní (těžené nebo těžené drcené), umělé (nejčastěji lehčené a pórovité kamenivo), regenerované prané (získané omytím čerstvého betonu na betonárně), regenerované drcené (získané předrcením ztvrdlého betonu) a recyklované. Podle objemové hmotnosti na lehké (při výrobě lehkého betonu např. keramzit), hutné a těžké kamenivo. [9] [10]

Pro zajištění potřebných vlastností betonové směsi a následnou práci s ní je zapotřebí správně zvolit obsah jednotlivých velikostí zrn kameniva. Pro tyto účely se kamenivo dělí na jednotlivé frakce. Frakce kameniva představuje označení kameniva podle velikosti ok dolního (d) a horního síta (D). Takovéto kamenivo je pak

označováno ve formě d/D (např. frakce 8/16 značí hrubé kamenivo o velikosti zrn 8 - 16 mm). Nejběžněji používanými frakcemi v betonárnách jsou frakce: 0/1, 1/2, 0/4, 4/8, 8/16 a 11/22. Rozdělení dle normové řady sít viz Tabulka 3. [9] [10] [11]

Tabulka 3- Normové řady sít [11]

Základní [mm]	0,06	0,13	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32	63
Doplňková [mm]	0,05	0,09	0,18	0,36	0,71	1,4	2,8	6	11	22	45

Kamenivo pro stavební účely lze objednávat dle požadovaných frakcí od dodavatelů, kteří mohou prokázat platné „Prohlášení o shodě“ případně „Prohlášení výrobce“ pro nabízené produkty. Dodavatelů kameniva je velká řada např. Pískovna Dolany, Cemex a.s., Kamenivo M&O, s.r.o. a další. Kamenivo se objednává po tunách, kdy cena za tunu kameniva ve frakcích běžně využívaných pro beton vychází na 250 – 450 Kč bez DPH (v případě lomového kamene – frakce 200/500 a vyšší se cena pohybuje i v řádech tisíců). Cena závisí na požadované frakci, druhu kameniva (drcené, těžené) a výrobci. [8] [12]

1.4 Voda

Při výrobě betonové směsi je označována jako voda záměsová. Jedná se o zcela běžnou pitnou vodu (ne minerální), případně se využívá voda získaná při recyklaci, mořská voda, podzemní či povrchová voda nebo odpadní průmyslová voda. Nedoporučuje se využívat vodu splaškovou. Ve všech případech nesmí voda obsahovat žádné chemické přísady, které by měly negativní vliv na proces hydratace a tím na výslednou kvalitu betonu. Vyjma pitné vody je zapotřebí, aby voda prošla potřebnými zkouškami podle kritérií normy ČSN EN 1008. Proto se téměř vždy využívá pro záměs voda pitná. [13] [14]

Voda se spolu s cementem podílí na procesu hydratace, ke kterému dochází po jejich smíchání. Uvádí se, že minimální množství vody potřebné pro hydrataci cementu je 25–35 % celkového objemu cementu. Více o hydrataci viz 1.2 Cement. Druhou významnou funkcí je její vliv na zpracovatelnost betonu. Čím více vody přidáme, tím získává směs řidší konzistenci a tím je beton lépe zpracovatelný. Vyšší dávka vody má zároveň vliv na další vlastnosti betonu. Zvyšuje množství kapilár a pórů, snižuje pevnost a zhoršuje odolnost vůči vlivům prostředí. Z těchto důvodů

se pro zlepšení zpracovatelnosti nevyužívají větší dávky vody, ale přidávají se plastifikátory, kteří zpracovatelnost pozitivně ovlivní bez nežádoucích vlivů. [4] [13]

1.5 Příměsi

Jedná se o práškovité anorganické látky, které do betonu přidáváme z důvodu ovlivnění jeho vlastností v čerstvém i ztvrdlém stavu. Jejich použití bývá přínosné i z ekonomického a ekologického hlediska. [15]

Příměsi dělíme na:

- typ I – inertní
- typ II – aktivní

Mezi inertní příměsi se řadí filler (jemně mleté kamenivo – kamenná moučka, jemně mletý vápenec) a pigmenty. Jedná se o látky, které se nepodílejí na procesu hydratace cementu (netuhnou, netvrdnou). Využívají se především pro získání hutnější struktury betonu nebo pro zlepšení reologických vlastností čerstvého betonu. Jejich přidáním získáme větší podíl jemné cementové malty, která přispívá k lepší zpracovatelnosti. Pigmenty ovlivňují výslednou barevnost betonu. [4] [15] [16]

Aktivní příměsi jsou látky, které mají schopnost podílet se na hydrataci a přispět tak k pevnosti cementového tmele. Tyto příměsi dělíme podle způsobu působení na latentně hydraulické a pucolánové. Latentně hydraulické mají schopnost tvrdnout ve vodním prostředí, ale musejí být aktivovány pomocí cementu. Řadí se mezi ně například jemně mletá struska. Pucolánové látky sami o sobě nemají schopnost tuhnout ani tvrdnout, obsahují však amorfní SiO_2 , který s Ca(OH)_2 reaguje. Mezi tyto látky patří křemelina, vysokopecní popílký, mikrosilika a další. [4] [15] [16]

Příměsi do betonů nabízí na našem trhu mnoho výrobců jako např. Stachema, Sika CZ, Remei, CZ s.r.o. a další. Cenová škála příměsí je velmi široká, vzhledem k tomu, jak se vlastnosti použitých přísad liší.

1.6 Přísady

Přísadami označujeme chemické látky, které přidáváme do betonové směsi za účelem zlepšení některých jejích vlastností nebo zlepšení vlastností ztvrdlého betonu. Jedná se o organické i anorganické látky, jak v tekuté, tak v práškové formě. Množství přísad přidávaných do betonové směsi musí být maximálně 5 % hmotnosti pojiva (cementu). Přísady jsou do betonu přidávány v době míchání směsi. Požadavky na

přísady do betonů se zabývá norma ČSN EN 934-2. Používání přísad do betonu se definováno v normě ČSN EN 206-1. [4] [17]

Přísady lze rozdělit dle funkce na:

- plastifikátory a superplastifikátory
- zpomalovače tuhnutí, zpomalovače tvrdnutí
- urychlovače tuhnutí, urychlovače tvrdnutí
- provzdušňovače
- stabilizátory
- hydrofobizační (těsnící)
- jiné [17]

1.6.1 Plastifikátory

Plastifikátory jsou nejběžněji používanou přísadou do betonů. Jejich funkcí je kladně ovlivnit zpracovatelnost betonové směsi a snížit tak potřebné množství vody. Použitím menšího množství záměsové vody docílíme i vyšší pevnosti ztvrdlého betonu. Plastifikátory tedy zlepšují vlastnosti betonové směsi i finálního ztvrdlého betonu. Jedná se o chemické látky na bázi lignosulfonanů, hydrolyzátů bílkovin, polykarboxilátů, sulfonových mastných kysel a dalších látek. [4] [17]

Mezi výrobce plastifikátorů se řadí Den Braven, Sika, Toptherm, Rehau atd. Litr plastifikátoru se dá koupit od cca 80 Kč za 1 litr. Opět záleží především na kupovaném množství a zvoleném výrobcu.

1.6.2 Zpomalovače tuhnutí

Zpomalovače neboli retardéry jsou přísadami do betonu, které prodlužují dobu zpracovatelnosti betonu, oddalují počátek tuhnutí čerstvého betonu tím, že zpomalují reakci cementu s vodou. Zpomalování tuhnutí je závislé na dávce cementu, vodním součiniteli a teplotě. Tyto přísady jsou nejčastěji vyráběny na bázi fosfátů, lignosulfonátů, derivátů cukrů nebo oxicarbonových kyselin. [4] [17]

Zpomalovače tuhnutí jsou běžně dostupnou přísadou například od výrobců Stachema, CHRYSO Chemie s.r.o., Sika či Reckli. Cena se pohybuje v řádech stovek Kč za kg (litr).

1.6.3 Urychlovače tuhnutí a tvrdnutí

U těchto přísad je důležité rozlišit, zda se jedná o urychlovače tuhnutí, sloužící ke zkrácení doby tuhnutí čerstvé betonové směsi nebo o urychlovače tvrdnutí, kteří zvyšují počáteční pevnost ztvrdlého betonu, případně existují přísady, které ovlivňují obě fáze. Tyto přísady nejčastěji tvoří chemické látky jako uhličitany, křemičitany, hydroxidy, hlinitany a další. [4] [18]

Hlavní funkcí těchto přísad je urychlení hydratační reakce vody s cementem, čímž se dosáhne i zrychlení nárůstu počátečních a krátkodobých pevností. S urychlením těchto procesů souvisí zkrácení doby, kdy čerstvá betonová směs začíná tuhnout, s čímž se pojí i zkrácení doby zpracovatelnosti. Při použití těchto přísad je tedy nutné zvolit vhodně vodní součinitel, aby se se směsí dalo po určitou dobu vhodně pracovat. [17] [18]

Urychlovače se využívají především při betonování za nízkých teplot, protože některé přísady zapříčiňují snížení teploty bodu tání ledu a tím tak brání zmrznutí záměsové vody a zároveň je urychlen vývin hydratačního tepla. Dále se využívají při opravách betonových konstrukcí za provozu, kotvení velkých konstrukčních prvků a dalších speciálních činnostech. [4] [18]

Výrobci tohoto druhu přísad jsou jako obvykle např. Sika, Stachema, Den Braven, Soudaquick a mnoho dalších. Cena za litr této přísady se pohybuje v řádech desítek korun, maximálně kolem 100 Kč za 1 litr bez DPH.

1.6.4 Provzdušňovače

Provzdušňovače mají vliv na pórovitost. Tato přísada vyvolává v čerstvém betonu vznik mnoha uzavřených (nepropojených) vzduchových bublin, které jsou zachovány i přes přepravu a zhutňování. Zároveň je nutné, aby tyto póry byly ve směsi rovnoměrně rozmístěny. Velikost těchto pórů by se měla pohybovat v rozmezí 0,05 - 0,3 mm (občas bývá uváděno 0,06 - 0,2 mm). Díky uzavřenosti se do pórů nedostává voda ani při jejím dlouhém působení a prostor tak zůstává vyplněn vzduchem. Tento jev má za následek snížení krystalizačního tlaku ledu vzniklého v kapilárách. Z tohoto důvodu se zmiňované přísady využívají zejména u betonů, které jsou vystavené mrazu či rozmrazovacím chemickým solím (CHRL). [4] [17]

Provzdušnění má i plastifikační účinky. Póry nahrazují jemné kamenivo, dochází ke zlepšení zpracovatelnosti a tím je možné snížit obsah záměsové vody. [17]

1.6.5 Hydrofobizační (těsnící) přísady

Jedná se o látky, které napomáhají betonu odolávat vlivu vody, a to nikoliv pouze povrchově. Pod těsnící přísady se dle normy ČSN EN 934-2 + A1 řadí i krystalizační přísady, na které je tato práce zaměřena a budu se jimi zabývat obsáhleji níže. [17]

Principem, na kterém fungují těsnící přísady, je homogenní uzavírání pórů. Dochází k tvorbě povlaku na povrchu pórů a kapilár, čímž je bráněno transportu vody. Tento princip se od krystalizace liší, ale funkce zůstává stejná. [17]

2 VODONEPROPUSTNOST

Vodonepropustnost je schopnost konstrukce odolávat působení tlakové vody i vody za běžného tlaku či vztlínání. Vodonepropustnosti můžeme docílit vlastní betonovou konstrukcí nebo aplikací pomocných k tomuto účelu určených konstrukcí. Možnými řešeními se budu zabývat níže (2.1.3 a 3). [19]

Vodonepropustnost betonu je závislá především na dvou parametrech. Prvním z nich je pórovitost konstrukce, která je ovlivněna vodním součinitelem, provzdušňujícími a plastifikačními přísadami a kvalitou hutnění. Druhým zásadním parametrem je vznik trhlin a jejich velikost. Základem je tedy navrhnout vhodnou recepturu. Nejvhodnější je snížení potřebného množství vody a cementu, čímž zajistíme menší objemové změny. Nabízí se i možnost použití rozptýlené výztuže, která také kladně přispívá k redukci objemových změn. Velmi důležité je dodržování technologické kázně během celého procesu výstavby betonové konstrukce, počínaje výrobou betonové směsi v betonárce. [19]

2.1 Krystalizace betonu

Beton je v dnešní době jedním z nejvíce používaných stavebních materiálů. Vedle svých nesporných výhod skrývá i řadu omezení. Jedním z nich je nízká odolnost proti působení vody. Koncem 60. let 20. století vzniká v Kanadě přísada, která má tento problém vyřešit – krystalizační přísada. V dalších letech se tato přísada dále vyvíjí a zdokonaluje a pomalu rozšiřuje do zbytku světa (u nás až počátkem 90. let 20. století). Dnes již existuje řada výrobců těchto přísad a její vlastnosti se běžně a hojně využívají při výstavbě po celém světě.

Aplikace látek potřebných pro krystalizaci je možná několika způsoby. Pro nové betonové konstrukce se využívá aplikace formou práškovité přísady přidávané do záměsi čerstvé betonové směsi. Na tento typ aplikace je má práce zaměřena a níže bude detailněji rozvedena (2.1.4.1). Dalšími možnými způsoby, které se využívají, jak při výstavbě nových betonových konstrukcí, tak při jejich opravách, je aplikace pomocí nátěru nebo nástřiku, formou rychletuhnoucího tmelu a poslední možností je posypání povrchu čerstvého betonu viz 2.1.5. [21]

Výhody krystalizačních hydroizolací:

- nevyžaduje následnou ochrannou vrstvu
- zacelí vlasové trhliny do 0,4 mm
- izoluje proti tlakové vodě
- mechanicky neporušitelná
- časově i ekonomicky úspornější řešení
- neuzavírá vlhkost do konstrukce, umožňuje dýchat
- životnost izolace stejná jako životnost betonu
- ochrana proti radonu [21]

2.1.1 Princip krystalizace

Vzhledem k tomu, že výrobci tají přesné složení tzv. aktivních chemikálií, nelze přesně určit chemickou reakci, ke které při tomto procesu dochází. Aktivní chemikálie mají zapříčinit proces sekundární krystalizace pomocí hydratace slinkových minerálů v cementovém tmelu. [20]

Krystalizace je chemická (katalycká) reakce, kdy dochází k růstu krystalků a vytváření pravidelné struktury. V pórovém systému betonových konstrukcí případně v jejich trhlínách dochází k tzv. sekundární krystalizaci. K tomuto procesu dochází v případě, že na konstrukci působí voda, která je k vyvolání této chemické reakce nezbytně nutná. V konstrukci poté dochází k tomu, že čím více se voda snaží konstrukcí prosakovat, tím více póry prorůstají krystalky a vodě je tak zabráněno pronikat dál. Po vyvázání vody z kapilár se růst krystalků zastaví. Produktem krystalizace je tedy sekundárně narostlý krystal v kapilárních pórech, který v budoucnu může sloužit k zabránění transportu vody pórovým systémem. V případě, že není zajištěno dostatečné množství vody, krystalizace neproběhne v plné míře a má pouze omezenou funkci. Z tohoto důvodu je důležité u těchto druhů betonů dbát na správné ošetřování v době tuhnutí a tvrdnutí betonu. Především v prvních dnech nesmí dojít k vysychání betonu. Je tedy zapotřebí ho několikrát denně vlhčit. [21] [22] [23]

Kompletní proces probíhá v celém objemu nikoli pouze na povrchu (i v případě aplikace formou nátěru nebo nástřiku). V případě aplikace krystalizačního materiálu ve formě přísady dochází k započetí procesu až s určitým zpožděním, neboť je zapotřebí, aby primárně vznikla struktura cementové pasty. Beton si zachovává svou paropropustnost i po vytvoření krystalků. [21] [22]

2.1.2 Ovlivnění krystalizace

Krystalizace může být ovlivněna několika faktory. Jak popisují výše, na krystalizaci má dopad množství vody, které na konstrukci působí. Dále záleží na pórovitosti cementového kamene, správném použití a aplikaci krystalizační přísady dle technologických listů. Samozřejmostí je i vliv okolního prostředí především teploty, která by v průběhu krystalizace neměla klesnout pod +5°C. [21]

2.1.3 Využití krystalizace

Využití těchto přísad se pojí s konstrukcemi ve stálém případně častém kontaktu s vodou, jiné omezení využitelnosti nemají. Proto se krystalizační materiály používají pro podzemní konstrukce, tunely, kanalizace a technologie ČOV, mostní konstrukce nebo konstrukce ve styku s mořskou vodou.

Běžně se tento princip využívá pro základové konstrukce typu **bílá vana**. Bílá vana je železobetonová konstrukce, která kromě nosné funkce přebírá i funkci těsnící proti působení prosakující vody. Těsnící funkci zajišťuje pouze svou vlastní konstrukcí (bez použití povlakových hydroizolací). Jedním z typů vodonepropustného betonu pro bílé vany může být beton s přidáním krystalizační přísady, která zajistí samotnou požadovanou funkci vodonepropustnosti. V některých návrzích bílých van se krystalizační látky aplikují jen jako pojistka pro jinak vhodně navržený beton. Vodonepropustnost vlastního betonu bílé vany nebývá tím, co by způsobovalo problémy a bylo hlavním ukazatelem kvality konstrukce. Rozhodujícím bývá zejména řešení pracovních a dilatačních spár v betonu a kvalitní utěsnění prostupů TZB. Pro tyto účely se nejčastěji využívají doplňující prvky jako různé plastové profilované těsnící pásy, bentonitové těsnící pásy anebo tmely, které opět fungují na bázi krystalizace. Druhým stěžejním faktorem je správný návrh složení betonové směsi a následné provádění tak, aby výsledná konstrukce vyhověla jak podmínkám únosnosti a pevnosti, tak i na maximální průsak vody a bylo vhodně omezeno maximální smrštění a šířka trhlin. Vše musí probíhat s přísně dodržovanou technologickou kázní. Výhody těchto konstrukcí jsou totožné s výhodami krystalizačních hydroizolací (viz 2.1). Nevýhodou je právě vysoká závislost na dodržování technologické kázně. [25]

Dalším typem vodonepropustného betonu (alternativou k použití krystalizace) při konstruování bílých van je tzv. Permacrete, beton speciálně vyvinutý pro tento účel.

Tento beton nevyužívá krystalizace, ale je navržen v maximální možné míře dle zásad betonů pro bílé např. dle požadavků technický norem ČBS 02. Zvýšené nároky jsou kladeny především maximální průsak tlakové vody a omezení vzniku a šířky trhlin od objemových změn a teplotního gradientu. Permacrete se vyrábí v pevnostních třídách C25/30 – C40/50 v téměř všech stupních vlivu prostředí (výjimku tvoří XF2-4). Výrobci uvádějí, že v případě použití betonu Permacrete dochází i ke značné finanční úspoře oproti použití nákladných krystalizačních přísad. V praktické části bude ekonomické hledisko porovnáno. [27]

2.1.4 Krystalizační přísady

Krystalizační přísady jsou práškovité látky v odstínech šedé barvy vyráběné zpravidla z jemně mletého portlandského cementu, který představuje většinový podíl směsi 80–90 %. Dále z hydroxidu vápenatého s podílem na složení 10–20 %, přispívající ke zvýšení odolnosti proti chemickým vlivům pomocí zvyšování alkalického prostředí. Posledními známými složkami je jemný křemičitý písek a redukční činidlo. Zbylé prvky, jejich množství a složení výrobci z důvodu konkurence tají. [23]

Většina výrobců ve svých technických listech deklaruje zvýšení pevnosti v tlaku při použití maximálního doporučeného množství jejich přísad, toto tvrzení však nebylo prokázáno. V laboratorních podmínkách byly provedeny odpovídající zkoušky a s výjimkou přísady Sika WT-200P použité přísady neměly kladný vliv na hodnoty pevnosti betonu v tlaku. Výsledná čísla vyšla téměř shodná jako u referenčního vzorku bez přísady viz Graf 1. Samozřejmě tento výsledek může být ovlivněn složením betonu a v jiných případech se pozitivní vliv může prokázat. Většina výrobců totiž neuvádí konkrétní podmínky pro složení směsi vhodné pro správnou funkci krystalizačních přísad. [24]

Ve své práci se budu pevností betonu v tlaku za použití různých přísad také zabývat s tím rozdílem, že na vzorcích budou simulovány různé technologické nekázně.

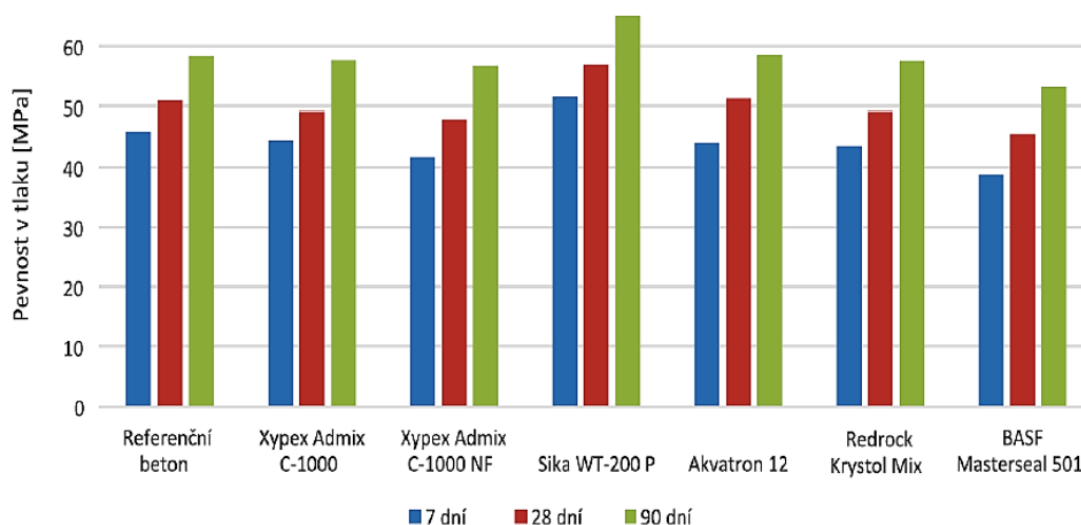
Tabulka 4- Složení zkoušených betonových vzorků [24]

Složka		Množství na 1 m ³ [kg]
Vodní součinitel (w/c)		0,55
Cement	CEM I 42,5 R	280
Voda	-	154
Kamenivo Poměr – 46:8:46	0/4 Tovačov	871
	4/8 Hrabůvka	152
	8/16 Hrabůvka	871
Superplastifikátor PCE 0,8 % z hmotnosti cementu	BASF Glenium SKY 665	2,24

Tabulka 5- Obsah krystalizačních přísad [24]

Krystalizační přísada	Dávkování		
	objemová hmotnost [kg/m ³]	[% obj. hm.]	rozsah dávkování dle technického listu [% obj. hm.]
Akvatron 12	1,96	0,7	0,4 až 1
BASF Masterseal 501	4,9	1,75	1,5 až 2
Redrock Krystal Mix	4,9	1,75	1,5 až 2
Sika WT-200 P	4,2	1,5	1 až 2
Xypex Admix C-1000	5,6	2	1 až 3
Xypex Admix C-1000 NF	2,8	1	0,5 až 1,5

Graf 1- Srovnání pevností betonu v tlaku [24]



2.1.4.1 Způsob aplikace práškové přísady do betonu

V případě aplikace formou práškové krystalizační přísady do čerstvé betonové směsi výrobci uvádějí dva možné způsoby vmísení. Je velmi důležité, aby krystalizační příměs byla v celém objemu betonu rovnoměrně rozptýlena, proto je nutné dodržovat tyto technologické postupy. Výrobci též doporučují dodatečné promíchání směsi s dobou trvání přibližně 15 minut. [21] [24]

První možností je vsypání přísady do suché směsi kameniva. Takto vzniklou sypkou směs je zapotřebí po delší dobu míchat, aby došlo k jejímu rovnoměrnému rozložení v celém objemu betonu. Teprve poté je možné přidávat cement, vodu a další přísady či příměsi. [21]

Druhou možností je vmíchání přísady do záměsové vody. V tomto případě je opět nutné přísadu ve vodě dostatečně promíchat a zabránit jejímu usazení nebo přichycení na stěny nádoby. Následně je přísada přidána do směsi společně s vodou a celá směs znova důkladně promíchána. Někteří výrobci požadují smíchání přísady jen s malým množstvím záměsové vody, aby vznikla pouze kašovitá nikoliv tekutá směs a zbylou záměsovou vodu přilít samostatně až následovně. [21]

Množství přidávané přísady se pohybuje zpravidla mezi 0,5 – 2 % hmotnosti cementu v závislosti na doporučeném dávkování od výrobce, které je zapotřebí dodržovat pro zajištění požadované funkce. Doporučené minimální množství cementu nebývá výrobci těchto přísad často předepsáno. Obecně se však doporučuje obsah cementu mezi 300–400 kg/m³ v závislosti na vhodnosti celkového složení betonové směsi a vyztužení. [21]

2.1.4.2 Sika WT – 200 P

Sika WT – 200 P je kombinovaná krystalizační a těsnicí přísada do betonu, kterou společnost Sika vyvinula pro výrobu vysoce kvalitních vodonepropustných betonů. Jedná se o směs cementu, aminoalkoholů a plniva. Toto složení má za následek hydrofobizaci betonu a zároveň dochází k vyplnění pórů a kapilár a tím tak k trvalému utěsnění betonové směsi proti působení vody či jiných kapalin. Výhodou tohoto složení je schopnost samoredukce vzniklých trhlin pomocí krystalizace, čímž zvyšuje schopnost betonu případné trhliny překlenovat (tato schopnost prozatím nebyla doložena žádným objektivním měřením). Použití toho výrobku může ovlivnit i další vlastnosti, jakými je například snížení



Obrázek 2-Sika WT - 200 P [30]

kapilární absorpce betonu, zvýšení odolnosti vůči chemickému namáhání a snížení propustnosti pro vodní páru. [28] [29]

Pro výslednou konstrukci tato přísada představuje řadu výhod. Prodlužuje se životnost konstrukce, výrazně se zvyšuje trvanlivost a soudržnost ztvrdlého betonu, zajišťuje vodotěsnost betonu bez dalších nákladných opatření a snižuje náklady na údržbu. [28] [29]

Jako jeden z mála výrobců společnost Sika pro tento výrobek doporučuje návrh receptury betonové směsi viz Tabulka 6. Obsah přísady by měl být v rozsahu 1–2% obsahu cementu a vodní součinitel max. 0,45. [29]

Tabulka 6- Doporučený návrh receptury betonové směsi [29]

Komponenty	Doporučení	
Plnivo	vhodné jsou všechny zrnitosti	
Cement	minimální obsah cementu 350 kg/m ³	
Práškové příměsi	dostatečně jemná frakce	
Voda	maximální vodní součinitel w/c (v závislosti na stupni vlivu prostředí)	< 0,45
Přísady do betonu	Sika® ViscoCrete® nebo SikaPlast® nebo Sikament®	0,6 – 1,5 %
	Sika® WT-200 P	1,0 – 2,0 %
Aplikační požadavky a vytvrzení	následné ošetření pro dosažení vysoce kvalitního (kompaktního) povrchu betonu Sika® Antisol	

Dávkování přísady do betonové směsi se provádí dvěma způsoby podle potřeby. Postupy jsou popsány obecně již výše (2.1.4.1), Sika však pro své výrobky uvádí jiné doporučené časy. První metoda je přidání přísady do záměsové vody, čímž vytvoříme velmi řídkou suspenzi a následně se přilije ke zbytku směsi v míchacím zařízení a vše se znova promíchá po dobu minimálně 60 sekund. Druhým způsobem je přidání přísady do kameniva, následně promíchání trvajícím minimálně 120 sekund a poté přidání cementu a záměsové vody. Doporučuje se přidat pouze 1/3 záměsové vody a až po uplynutí 60 sekund postupně přilévat zbylé 2/3 z důvodu, abychom výslednou konzistenci nezískali příliš řídkou, než jak je potřeba. [28] [29]

Na trhu se vyskytuje ještě výrobek s podobným označením WT – 100. Jedná se o předchůdce WT – 200 P a plní pouze funkci těsnící. Společnost Sika nabízí další výrobky pro kompletní zajištění a řešení vodonepropustnosti betonové konstrukce.

Výrobek WT – 200 P je vhodný využívat pro základové konstrukce, parkovací doby či garáže, tunely, plavecké bazény, přehrady, ČOV, podzemní zařízení. Konkrétně byl tento výrobek použit například při stavbě justičního areálu v Brně, známého podzemního domu v Londýně a v řadě dalších významných staveb. [29]

2.1.4.3 Xypex Admix C–1000 NF

Společnost Xypex Chemical Corporation vznikla v Kanadě roku 1970 a byla první, která na trh uvedla krystalizační příměs. Společnost nabízí širokou škálu výrobků, nejen krystalizačních. Pro svou práci jsem použila právě přísadu Admix C–1000 NF, a proto se jí budu konkrétněji zabývat. [32]



Obrázek 3-Xypex Admix C–1000 NF

Jedná se opět o práškovitou přísadu do betonu, která obsahuje chemickou bázi Xypex Admix zajišťující sekundární krystalizaci betonu a tím zvyšuje jeho vodotěsnost, ale zároveň zpomaluje tuhnutí. Zpomalení tuhnutí má za následek pozitivní ovlivnění zpracovatelnosti čerstvého betonu. Tuto vlastnost uvítáme především v případě betonů s vysokým obsahem portlandského cementu, vystaveným vyšším okolním teplotám, anebo při delší době transportu, kde v těchto případech prodloužení doby zpracovatelnosti téměř vždy vyžadujeme. Dále výrobek slibuje kladné promítnutí na pevnost ztvrdlého betonu, ale jak prokázaly zkoušky (viz 2.1.4), je zapotřebí brát toto tvrzení s rezervou a případně provést u vlastní směsi potřebné zkoušky. Zajímavostí je, že dle prohlášení o vlastnostech produktu Xypex Admix C–1000 NF se jedná o přísadu do betonu, jejichž primární funkcí je zpomalení tuhnutí a díky bázi Xypex Admix je její další přidanou vlastností sekundární krystalizace. Tuto přísadu mezi přísady zpomalující tuhnutí řadí i norma ČSN EN 934 - 2 + A1. [31]

Tento výrobek nemá žádné předepsané nároky na složení betonové směsi. Je kompatibilní se všemi druhy cementů. Dávkování přísady Admix C-1000 NF je doporučeno v rozmezí 0,5 – 1,5 % hmotnosti cementu. Jedná se o koncentrovanější řadu s větším podílem aktivní chemické báze oproti Admix C-1000, kde je doporučené dávkování 1–3 % hmotnosti cementu. Postup dávkování je totožný s postupy popsány v bodě 2.1.4.1. [31]

Charakteristickými vlastnostmi betonu s použitím této přísady jsou:

- odolnost proti vysokému hydrostatickému tlaku
- nepropustnost a odolnost proti oleji, ropě, naftě, benzínu
- snižuje vznik smršťovacích trhlin
- chrání beton proti karbonataci
- chrání výztuž proti korozi
- plastifikuje
- ochrana proti radonu
- odolnost proti síranům a siřičitanům [31]

Zmiňovaný výrobek byl použit již v řadě výstaveb po celém světě. V České republice například pro výstavbu Aquacentra Barrandov. Při výstavbě bylo spotřebováno na bazény přibližně 3 tuny Admixu C-1000 (nekoncentrovaná směs). [33]



Obrázek 4-Aquacentru Barrandov [33]

V Hongkongu byla přísada použita při výstavbě stanice Tsuen Wan West MTR v podzemním tunelu metra. Na tento projekt bylo spotřebováno více jak 75 000 m³ betonu s obsahem cementu zpravidla minimálně 500 kg/m³. [34]

Dalším světově známým projektem je mrakodrap Doha v Kataru. Zde byla přísada Admix C-1000 NF použita pro zajištění vodonepropustnosti a ochraně základové desky a podzemních stěn. Budova má celkem 3 podzemní podlaží. Dále byla využita pro přípravu betonových konstrukcí pro vodní nádrže nacházející se v nadzemních podlažích. [35]



Obrázek 5- Mrakodrap Doha [35]

2.1.4.4 Redrock Krystal Mix koncentrát

Jedná se o koncentrovanou práškovou přísadu na bázi portlandského cementu a dalších speciálních chemikálií, které procesem krystalizace vytvářejí nerozpustné krystalky v celé masě betonu. Výrobce opět deklaruje téměř ty samé výhody při použití tohoto produktu jako výrobci předešli. Jde tedy zejména o zabránění prostupu vlhkosti a tlakové vody a průniku jiných kapalin (benzin, oleje), zastavuje škodlivé působení chloridů na výztuž, chrání výztuž proti korozi, zůstává propustný pro vodní páry,



Obrázek 6 - Redrock Krystal Mix [37]

schopnost obnovit reakci při průniku vody i po letech, snižuje náklady na izolaci betonu a další. [36]

Oproti předešlému výrobku od Xypexu nemá Krystol Mix vliv na zpomalování doby tuhnutí. Nicméně zapříčiňuje plastifikační účinky, jimiž ovlivňuje zpracovatelnost a čerpatelnost betonové směsi a zároveň snižuje potřebu vody při stejné zpracovatelnosti o 5–10 %. Výrobce opět deklaruje zvýšení konečné pevnosti. [36]

Vzhledem k tomu, že se jedná o koncentrát, dávkování je doporučeno v množství 0,75 – 1 % váhového obsahu cementu. V případě, že by se nejednalo o koncentrovaný výrobek, doporučené dávkování směsi je v rozmezí 1,5 – 2 % z hmotnosti cementu. Výrobce dále neuvádí žádné další konkrétní podmínky pro složení čerstvého betonu. Dávkování je vhodné jak do míchačky, tak i do autodomíhávače, přesný postup dávkování není výrobcem uveden. Jedinou potřebou po přidání přísady je, aby kompletní směs čerstvého betonu byla následně ještě minimálně 10 minut míchána pro úplné rozptýlení a rozpuštění organických chemikálií. [36]

2.1.4.5 Další možné krystalizační přísady

Akvatron 12 je koncentrát modifikované směsi anorganického původu, jehož hlavní funkcí je zlepšení výsledných vlastností betonu, a to především odolnosti proti vodě a agresivním látkám. Produkt se doporučuje dávkovat v množství 0,4 – 1 % k hmotnosti cementu. Dávkování probíhá ve formě pastové konzistence, kterou získáme smícháním přísady s malým množstvím vody. Po smíchání pasty se zbytkem směsi je potřeba vše znova důkladně promíchat. Výrobce klade důraz na následné ošetřování. První 3 dny je potřeba povrch vlhčit, chránit před slunečním zářením a po dobu 21 dnů by nemělo dojít k vysušení povrchu. Zabráníme tím nedostatečnému procesu krystalizace. [38]

Waterizol Admix nabízený firmou Balchem s.r.o. Výrobce doporučuje pro betonovou směs použít portlandský cement v minimálním množství 340 kg/m^3 a vodní součinitel nižší než 0,5 z důvodu zajištění správné funkce nepropustnosti. Výrobek má plastifikační účinek, který můžeme kladně využít pro snížení obsahu vody. Příklad se dává v množství 1,2 -1,6 % hmotnosti cementu do míchačky po kamenivu,

až následně se přidávají ostatní suché složky a v poslední řadě voda. Nedoporučuje se kombinace s provzdušňujícími přísadami. [39]

Dalším nalezeným produktem na našem trhu je Maxseal Super Admix vyvinutý společností Drizoro Construction Products s.r.o. Spotřebu výrobce uvádí v rozsahu 0,8 – 2 % váhového množství cementu. Jiné nároky na složení směsi nejsou kladeny. Produkt je možné bez problémů kombinovat s dalšími běžně používanými přísadami. Přísada se aplikuje přímo do směsi v míchačce (v jaké fázi výroby neuvádí) a po přidání je potřebné pokračovat v míchání minimálně dalších 5 minut. [40]

Firma ARTESA capillary dry s.r.o. představila krystalizační přísadu s názvem H krystal mix. Pro zajištění správné funkce je doporučen objem cementu minimálně 300 kg/m³. Přísada by měla být dávkována mezi 4-6 kg/m³ betonu v závislosti na agresivitě prostředí (čím horší podmínky, tím větší obsah přísady). Přísadu je možné aplikovat přímo do míchačky či mixu společně s vodou a poté minimálně 10 minut míchat. Mezi další produkty této firmy se stejnou funkcí se řadí H – Krystal MR. [41]

2.1.5 Krystalizační nátěry, nástříky, tmely a vsypy

Vedle aplikace krystalizační směsi formou přísady lze krystalizace docílit i jinými způsoby provedení. Volba vhodného způsobu aplikace závisí na typu konstrukce a také na finančním pohledu. Výsledná funkce zůstává prakticky shodná bez ohledu na způsob provedení. [21]

Mezi nejrozšířenější formu aplikace se řadí nástříky či nátěry. Za nejčastější využívání může především fakt, že se jedná o téměř jediný možný způsob, jak provést sanaci vlhkosti starších betonových konstrukcí. Nátěry a nástříky kladou vyšší důraz na přípravu povrchu před samotnou aplikací. Aby nově vzniklé krystalky mohly prorůst do struktury betonu, je zapotřebí zajistit otevření povrchových pórů. Toho docílíme následujícím způsobem. V první řadě se povrch zbaví nečistot, následně se zdrsní ocelovým nebo jiným vhodným kartáčem a v posledním kroku se celý povrch důkladně provlhčí, aby bylo zajištěno, že dojde k potřebné krystalizaci. Výrobci dodávají směs ve formě prášku, která se jen ve stanoveném poměru smíchá s vodou. Čím více vrstev nátěrů je plánováno, tím řidší se směs připravuje. Množství nátěrů závisí na požadovaném stupni ochrany. Jeden nátěr je vhodný pouze pro konstrukce,

které nebudou zatížené tlakovou vodou. V opačném případě stačí aplikovat nátěry dva. Více nátěrů se doporučuje pro lokální sanace. Tloušťka jedné nanesené vrstvy nátěru bývá přibližně 1 – 1,5 mm. Po provedení všech vrstev nátěru je nutné povrch pravidelně ošetřovat tzn. v délce minimálně 2 dnů 3x denně povrch vlhčit, nesmí dojít k jeho vysušení, jedině tak zajistíme, že krystalizace bude zcela provedena. [21]

Aplikace formou vsypu je vhodná pouze pro vodorovné betonové konstrukce případně spádové betony tak, aby byla zajištěna poloha vsypu a tím se docílilo rovnoměrného rozložení. Postup je následující. Výrobci dodají suchou práškovou hmotu, kterou pracovník posypává čerstvý nezatvrdlý beton a následně pomocí vhodného stroje (rotační hladíčka s kotoučem) zapracovává prášek do hmoty betonu. Poté je opět nutné ošetřování betonu formou zvlhčování. Tento způsob se využívá především pro průmyslové podlahy. Pro tento typ aplikace existuje pouze omezená řada výrobků. [21]

Poslední formou provádění je využití krystalizačních rychletuhnoucích tmelů. Toto řešení se používá pouze pro lokální řešení průsaků. Tmel se vytvoří smícháním krystalizační hydroizolace sloužící pro nátěr pouze se sníženým množstvím vody, případně se využije speciální produkt. Tmel se musí aplikovat v několika minutách po namíchání a je zapotřebí ho kombinovat s nátěrovou krystalizační hydroizolací. [21]

3 ALTERNATIVY PRO ZAJIŠTĚNÍ OCHRANY SPODNÍ STAVBY PROTI TLAKOVÉ VODĚ

Jak jsem již popisovala v bodě 2.1.3 nejčastěji se krystalizační materiály používají pro zajištění vodonepropustnosti betonové konstrukce spodní stavby neboli bílé vany. Existují ale ještě tzv. povlaková řešení hydroizolace spodní stavby. Pro zajištění vodonepropustnosti spodní stavby v tomto případě slouží jiné materiály než samotná betonová konstrukce a těmi jsou: hydroizolační asfaltové pásy, hydroizolační fólie (PVC – P) nebo bentonitové rohože. Největším úskalím tohoto způsobu izolace je složitost řešení návaznosti spojů, dokonalé provedení detailů a náchylnost k mechanickému poškození. Kvalitu provedení může být těžké zkontrolovat především, pokud se jedná o rozsáhlejší stavby. Pokud by následně došlo ke ztrátě izolační funkce, je téměř nemožné najít přesné místo porušení a oprava je tak velmi složitá. Dále povlakové hydroizolace kladou větší nároky na připravenost podkladu. I přes tyto nevýhody se jedná o metodu, která využíváním převyšuje bílé vany, hlavně díky své mnohaleté prověřenosti a všeobecné známosti. [25]

3.1 Hydroizolační asfaltové pásy

Prvním způsobem, jak zajistit povlakovou hydroizolaci, je aplikace asfaltových pásů. Asfaltových pásů je několik druhů. Vedle základnějšího oxidovaného asfaltu (využívá se na méně namáhané konstrukce, nemá schopnost elasticity), jsou tzv. modifikované asfaltové pásy. Jedná se o SBS (styren-butadien-styren), který je vhodný pro běžnou hydroizolaci spodní stavby, je elastický a má zvýšenou odolnost proti vzniku trhlin při ohýbání za mrazu. Druhým způsobem je modifikace APP (atakticky nebo amorfní polypropylen). Tyto pásy nemají schopnost elasticity, ale mají zvýšenou odolnost proti vysokým teplotám. Doplnkem systému asfaltových pásů jsou asfaltové nátěrové hmoty, které můžeme využít například pro složitější řešení detailů. [42]

Při provádění je nutné dodržovat několik zásad. Teplota vzduchu při zpracování nesmí klesnout pod + 10 °C pro oxidované asfalty a pod + 5 °C (popř. 0 °C) pro asfalty modifikované. Podklad musí být vyzrálý, objemově stálý, rovný, čistý, suchý, bez ostrých hran a částic. Na takto připravený podklad je vhodné použít ještě penetraci v podobě asfaltového penetračního laku. Po technologické přestávce (min. 1 den) se může přejít k samotné aplikaci asfaltových pásů. Ty jsou buďto natavovány, svařovány horkým vzduchem, mechanicky kotveny nebo lepeny. Záleží

na zvoleném typu asfaltového pásu. Pásy se mohou klást v jedné vrstvě, pokud je tloušťka pásu min. 5 mm, v ostatních případech se kladou vrstvy minimálně dvě. Při kladení je zapotřebí dodržovat doporučené přesahy jednotlivých pásů (u natavovaných jsou min. přesahy v příčném směru 100 mm, lépe 150 mm a podélné min. 80 mm, lépe 100 mm a v jednom místě nesmí vznikat více jak 3 spoje). Předem musí být vyřešena problematika aplikace ve všech detailech tak, aby tato místa byla vodotěsná, bývá to řešeno od dodavatele technologie. Po provedení asfaltových pásů je potřeba zajistit ochranu proti mechanickému poškození (protržení, prořezání). To u svislých konstrukcí zajistíme pomocí přízdivky z cihelného zdiva (zastaralá metoda), drenážní nopovou fólií nebo deskami z extrudovaného polystyrenu. [42]



Obrázek 7 - Elastek 40 special mineral [43]

Jako příklad využívaných izolačních pásů bych uvedla například Elastek 40 special mineral, který je tvořen SBS modifikovaným asfaltem s nosnou vložkou z polyesterové rohože, horním povrchem s jemným separačním povrchem a spodní stranou se separační PE fólií. Cena takového pásu se pohybuje kolem 150 Kč za m² bez DPH. Dále lze pořídit oxidovaný asfaltový pás DEK R13 (cena 30 Kč/m² bez DPH), samolepící asfaltový pás Glastek 30 Sticker plus (cena 120 Kč/m² bez DPH) a další. [43]

3.2 Hydroizolační fólie

Druhým způsobem, který je svými vlastnostmi velmi podobný asfaltovým pásům, je hydroizolace pomocí izolačních fólií. Fólie jsou vyráběny z plastů, nejčastěji se jedná o měkčené PVC-P s doporučenou minimální tloušťkou 1–2 mm.

Hydroizolační fólie mohou mít kromě plastových vrstev, i výztužnou vložku, tyto typy ale pro spodní stavby nevyužíváme. [42] [44]

Zásady a způsob provádění se od asfaltových pásů natolik neliší. Izolační práce s fóliemi z měkkého PVC se doporučuje provádět do teplot + 5 °C (lze i při - 5 °C a nižších, ale často pak bývá na vině lidský faktor). Podklad je opět zapotřebí mít vyvrážený, objemově stálý, rovný, čistý, bez ostrých hran a částic a nesmí být zcela mokrá. Jako podklad pod fólie se využívají nehnijící netkané textilie z polypropylenových nebo polyesterových vláken (gramáž min. 500 g/m²). Izolační fólie jsou následně kladeny pomocí technologie svařování horkým vzduchem, mechanického kotvení nebo lepení (lepidla na bázi polyuretanů nebo na bázi organických rozpouštědel). Spojované okraje fólie musí být překryty minimálně 50 mm, doporučuje se 80 mm. Fólie se kladou zpravidla v jedné vrstvě, pouze v místech většího mechanického namáhání (kouty, rohy) se doporučuje dvě a více vrstev. Po provedení hydroizolační vrstvy je zapotřebí provést opět ještě vrstvu ochrannou. Ta chrání fólii před poškozením dalšími stavebními procesy. Pro tyto účely se opět využívá stejná textilie jako pro podklad a následně se provádí zděná přízdívka nebo obklad pomocí desek z pěnových plastů (XPS). [42] [44]

Pro izolaci spodní stavby se hodí například PVC-P Alkorplan 35034 1,5 mm. Jde o nevyztuženou fólii z měkkého PVC-P. Cena takovéto izolace se pohybuje kolem 150 Kč/m² bez DPH. Dále je vhodná nevyztužená fólie Fatrafol 803/V. (cena 139 Kč/m² bez DPH) či Borsaleaf WP 1,5 mm (cena 147 Kč/m² bez DPH). Ceny jsou celkem srovnatelné s cenami za modifikované pásy využívané pro hydroizolaci spodní stavby. [43]



Obrázek 8 - PVC - P Alkorplan 35034 1,5 mm [43]

Způsob provedení hydroizolace spodní stavby pomocí technologie hydroizolačních asfaltových pásů nebo hydroizolačních fólií bývá také označován jako tzv. **černá vana**.

3.3 Bentonitové izolační systémy

Pro zajištění hydroizolačních vlastností spodní stavby se využívají i materiály na bázi bentonitu (druh jílu – přírodní bentonit sodný, případně i chemicky upravovaný). Obecně se tomuto způsobu hydroizolace spodní stavby říká **hnědá vana**. Princip těchto systémů spočívá v navázání okolní vlhkosti, čímž začíná bentonit zvětšovat svůj objem (bobtnat) a vytvářet tak vodonepropustnou membránu. Tato funkce zůstává zachována po celou dobu životnosti stavby, nemění své vlastnosti ani nedegraduje. Jejich výhodou oproti asfaltovým pásům a izolačním fóliím je snazší a jednodušší provedení detailů, celkově vyšší rychlost pokládky a vyšší ohleduplnost k životnímu prostředí. Nedoporučuje se kombinovat s jinými než železobetonovými konstrukcemi. [45]

Bentonitové izolační systémy jsou k sehnání v několika formách, a to jako rohože, kompozit a panely. Bentonitové rohože tvoří většinou dvě vzájemně prošívané geotextílie, které vytvářejí prostorovou strukturu a zajišťují polohu bentonitových granulí či prášku. Jejich výhodou je vysoká odolnost proti mechanickému poškození, jednoduché spojování pásů bentonitových rohoží a možnost zabetonování železobetonovou konstrukcí tak, že se rohož stává její součástí. Rohože je tedy možné realizovat ještě před betonáží samotné ŽB konstrukce. Nejsou však vhodné pro dodatečnou montáž na již hotové konstrukce (nelze zajistit plné spolupůsobení s hotovou železobetonovou konstrukcí). Pro izolační systém realizovaný na již hotovou ŽB konstrukci je ideální bentonitový kompozit. Kompozitem jsou volné granule, které bývají k podkladu (nosné konstrukci) přichyceny pomocí laminace či emulze zpravidla na bázi PE fólie. V tomto případě hlavní izolační funkci plní PE fólie a bentonit má pouze funkci sekundární hydroizolace (nelze ho použít jako samostatný prvek pro izolaci spodní stavby). Bentonitové panely tvoří např. karton, do kterého se vsypou granule nebo prášek bentonitu. Panely mají problém s ochranou proti vodě před zabudováním pod železobetonovou konstrukci a z tohoto důvodu se poslední dobou téměř pro účely hydroizolace spodní stavby nevyužívají. [45] [46]

U nás na trhu jsou dostupné například rohože Voltex, které využívají patentovaného způsobu prošívání geotextílií. Cena této rohože je poněkud vyšší než u asfaltových pásů nebo hydroizolačních fólií. 1 m² vychází kolem 530 Kč bez DPH. Dalšími produkty je Bentofix GCL nebo CEMtobent DS Double Seal. [46]



Obrázek 9- CEMtobent DS Double Seal [46]

4 PLÁN EXPERIMENTU

4.1 Cíl experimentu

Cílem experimentu bylo zjistit, jakou mírou může být ovlivněna vodonepropustnost betonu obsahující různé druhy krystalizačních přísad při simulaci několika technologických nekázni, které během výroby betonové směsi a při následné realizaci mohou běžně nastat. Účinnost jednotlivých krystalizačních přísad s vlivem stejných podmínek porovnat dle výsledků měření hloubky průsaku a dále pak vyhodnotit pevnost betonu v tlaku, pevnost betonu v tahu za ohybu a stanovit nasákavost. Závěrem bylo zapotřebí porovnat i finanční náročnost vodonepropustných betonů s rozdílnými druhy krystalizačních přísad.

4.2 Postup experimentu

Ze začátku je nutné poznamenat, že s časových důvodů byla pro provádění všech zkoušek zvolena doba staří betonu 28 dnů. Po této době se sice považuje beton za vyzrálý, ale v případě krystalizačních přísad a jejich vlivu na zajištění vodonepropustnosti se nabízí i otázka provedení měření hloubky průsaku i po 56 a více dnech zrání, kdy se tato hodnota může stále měnit.

Celý experiment se odehrával v laboratořích fakulty stavební ČVUT. V první řadě byla zapotřebí příprava zkušebních vzorků s rozdílnými druhy a množstvím krystalizačních přísad. Bylo vytvořeno celkem 6 záměsí. 3 záměsí s obsahem 75 litrů, kde každá záměs měla stejný obsah všech složek (cement, voda, kamenivo a plastifikátor) s výjimkou přidávané krystalizační přísady, která se lišila dle výrobce. Krystalizační přísady se přidávalo vždy její maximální množství doporučené od výrobce. Celkem tedy byly použity 3 druhy přísad od rozdílných výrobců – Sika WT - 200 P, Xypex Admix C-1000 NF, Redrock Krystol Mix koncentrát. Z každé této záměsí bylo vytvořeno 20 krychlí o hraně $a = 150$ mm a 9 trámčů 40 x 40 x 160 mm. (Trámčů by postačilo 8, ale z důvodu forem po 3 trámčích jich je 9). Všechny vzorky byly překryty fólií, aby nedošlo k jejich vysychání. Po 24 hodinách bylo provedeno odbednění a následné uložení vzorků do rozdílných prostředí. Z každé záměsí bylo 5 krychlí a 3 trámce uloženy do vody, do mrazu, do vlhka a v běžném prostředí viz Tabulka 8. Takto byly ponechány zbylých 27 dní zrání. Zbylé 3 záměsí byly menšího objemu 20 litrů, protože byly určeny pouze pro uložení v běžném prostředí. Simulovaná nekázeň byla v podobě nízkého

přidaného množství krystalizační přísady. Každá záměs opět obsahovala danou přísadu od jiného výrobce (Sika WT 200 P, Xypex Admix C–1000 NF, Redrock Krystol Mix koncentrát). Množství, které se do směsi přidávalo, představovalo polovinu minimální dávky doporučené od výrobce. Poměr zbylých složek (voda, cement, kamenivo, plastifikátor) byl zvolen stejný jako u záměsí s větším objemem. Z těchto menších záměsí bylo vytvořeno 5 krychlí o hraně $a = 150 \text{ mm}$ a 3 trámce $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$. Po uplynutí 24 hodin od výroby byly uloženy na zbylých 27 dní do běžného prostředí v laboratoři.

Po uplynutí požadované doby 28 dní byly na jednotlivých vzorcích prováděny potřebné zkoušky. Vzhledem k časové náročnosti a potřebnému množství vybavení pro vykonání všech zkoušek, byly některé zkoušky provedeny po době delší než 28 dnů. Vše je zohledněno a popsáno dále u jednotlivých postupů zkoušek (viz 5). Jedná se o zkoušky: pevnosti betonu v tlaku, pevnosti betonu v tahu za ohybu, měření hloubky průsaku tlakovou vodou, zkouška nasákavosti a stanovení objemové hmotnosti ztvrdlého betonu. Počty vzorků pro zkoušky jsou uvedeny v Tabulce 9. Dále na záměsích čerstvého betonu byla provedena zkouška konzistence sednutí kužele a stanovení objemové hmotnosti čerstvého betonu.

Tabulka 7 - Označení připravovaných záměsí

OZNAČENÍ PŘIPRAVOVANÝCH ZÁMĚSÍ	
Celý název	Označení
Krystol Mix koncentrát 1 % přísady	KRYS 1
Xypex Admix C–1000 NF 1,5 % přísady	XYP 1
Sika WT-200 P 2 % přísady	SIKA 1
Krystol Mix koncentrát 0,37 % přísady	KRYS 2
Xypex Admix C–1000 NF 0,25 % přísady	XYP 2
Sika WT-200 P 0,5 % přísady	SIKA 2

Tabulka 8 - Počet uložených vzorků ve všech prostředích

Záměs	Prostředí							
	Počet vzorků							
	Krychle				Trámce			
	Běžné	Mráz	Voda	Vlhko	Běžné	Mráz	Voda	Vlhko
KRYS 1	5	5	5	5	2	2	2	2
XYP 1	5	5	5	5	2	2	2	2
SIKA 1	5	5	5	5	2	2	2	2
KRYS 2	5	x	x	x	2	x	x	x
XYP 2	5	x	x	x	2	x	x	x
SIKA 2	5	x	x	x	2	x	x	x

Tabulka 9 - Počet potřebných zkušebních těles na zkoušky

	Běžné prostředí					
	KRYS 1	XYP 1	SIKA 1	KRYS 2	XYP 2	SIKA 2
Celkem zkušebních těles – krychle	5	5	5	5	5	5
Celkem zkušebních těles – trámce	2	2	2	2	2	2
Zkoušky ztvrdlého betonu						
Objemová hmotnost ztvrdlého betonu	1	1	1	1	1	1
Zkouška pevnosti v tlaku	2	2	2	2	2	2
Zkouška pevnosti v tahu za ohybu (trámce)	2	2	2	2	2	2
Zkouška hloubky průsaku tlakovou vodou	2	2	2	2	2	2
Zkouška nasákavosti	1	1	1	1	1	1
	Mráz			Voda		
	KRYS 1	XYP 1	SIKA 1	KRYS 1	XYP 1	SIKA 1
Celkem zkušebních těles – krychle	5	5	5	5	5	5
Celkem zkušebních těles – trámce	2	2	2	2	2	2
Zkoušky ztvrdlého betonu						
Objemová hmotnost ztvrdlého betonu	1	1	1	1	1	1
Zkouška pevnosti v tlaku	2	2	2	2	2	2
Zkouška pevnosti v tahu za ohybu (trámce)	2	2	2	2	2	2
Zkouška hloubky průsaku tlakovou vodou	2	2	2	2	2	2
Zkouška nasákavosti	1	1	1	1	1	1
	Vlhko					
	KRYS 1	XYP 1	SIKA 1			
Celkem zkušebních těles – krychle	5	5	5			
Celkem zkušebních těles – trámce	2	2	2			
Zkoušky ztvrdlého betonu						
Objemová hmotnost ztvrdlého betonu	1	1	1			
Zkouška pevnosti v tlaku	2	2	2			
Zkouška pevnosti v tahu za ohybu (trámce)	2	2	2			
Zkouška hloubky průsaku tlakovou vodou	2	2	2			
Zkouška nasákavosti	1	1	1			

V Tabulce 9 vzorky pro zkoušku objemové hmotnosti ztvrdlého betonu nejsou započteny do celkového počtu, neboť tato zkouška je nedestruktivní a vzorky budou použity následně znova pro jinou zkoušku. Zkušební trámce jsou využívány pouze pro zkoušku pevnosti v tahu za ohybu, ostatní zkoušky probíhají na zkušebních krychlích.

4.3 Použité suroviny

Veškeré použité suroviny byly v laboratořích umístěny již delší dobu, aby se s nimi dalo bez problémů pracovat a byly dostatečně suché. Níže budou uvedeny veškeré použité suroviny pro záměsi.

Pojivo

Jako pojivo byl použit portlandský cement s rychlým nárůstem počátečních pevností CEM I 42,5 R od výrobce Českomoravský cement a.s., závod Mokrý. Tento cement je vyráběn v souladu s normou ČSN 197-1, obsahuje tedy 95–100 % portlandského slínku a 0–5 % doplňujících složek.



Obrázek 10 - použitý portlandský cement CEM I 42,5 R

Plnivo

Jako plnivo do betonu byla zvolena směs kameniva dvou frakcí splňující požadavky dle ČSN EN 12620. Drobné těžené kamenivo (písek) frakce 0/4 a hrubé drcené kamenivo (štěrka) frakce 4/8 z pískovny Ledčice – Kámen Zbraslav.



Obrázek 11 - použité kamenivo rozdělené dle frakcí

Voda

Jako záměsová voda byla užitá běžná pitná voda o teplotě cca 13 °C.

Přísady

Do betonové směsi byly vybrány celkem 2 přísady. Před jejich zvolením bylo důkladně prostudováno, zda lze tyto přísady společně použít, aby nedošlo k narušení jejich požadovaných funkcí.

Pro zajištění lepší zpracovatelnosti čerstvého betonu byl zvolen superplastifikátor Sika ViscoCrete – 20 Gold CZ. Jedná se o univerzální vysoce účinný superplastifikátor s rychlým nárůstem počátečních pevností. Dávkována byla dle doporučení výrobce 0,3 % z hmotnosti cementu. Nižší hodnota byla zvolena z důvodu požadované hustší konzistence betonové směsi.



Obrázek 12 - Zvolený superplastifikátor

Poslední přidanou složkou byla krystalizační přísada. Vzhledem k plánu experimentu byly zvoleny 3 druhy této přísady, které byly vždy použity odděleně do samostatných záměsí. Pro plánovaný experiment bylo v případě vzorků se správným množstvím přísady zvoleno dávkování všech krystalizačních přísad v maximálním doporučeném množství. První krystalizační přísadou je Krystol Mix koncentrát od výrobce Redrock. Dávkováno bylo doporučené maximální množství 1 % z obsahu pojiva. Druhou zvolenou přísadou je Xypex Admix C-1000 NF. Jedná se o koncentrovanou směs a z tohoto důvodu byla přidána v maximálním doporučeném množství 1,5 % z hmotnosti cementu. Třetí krystalizační přísadou je Sika WT-200P aplikovanou opět v maximálním doporučeném množství od výrobce 2 % hmotnosti pojiva. Všechny tyto 3 krystalizační přísady byly přidávány do směsi z důvodu, aby zabránily pronikání tlakové vody betonovou konstrukcí. Pro 3 záměsí bylo zvoleno dávkování krystalizačních přísad v množství 1/2 minimální doporučené dávky přísady (viz 4.6.4).

4.4 Receptury

Za účelem porovnání výsledků byl zvolen základ receptury pro všech 6 záměsí stejný. Poměr obsahu a typu jednotlivých složek (voda, cement a kamenivo) se nemění, jediný rozdíl ve směsích tvoří druh a množství přidávané krystalizační přísady. Přesné složení záměsí zvolené s ohledem na laboratorní účely je uvedené v Tabulce 10 a Tabulce 11.

Tabulka 10 - Složení betonových směsí na 1 m³

Složky		KRYS 1	XYP 1	SIKA 1	KRYS 2	XYP 2	SIKA 2
Cement [kg/m ³]		400	400	400	400	400	400
Kamenivo [kg/m ³]	0/4	1080	1080	1080	1080	1080	1080
	4/8	580	580	580	580	580	580
Voda [kg/m ³]		186	186	186	186	186	186
Plastifikátor [kg/m ³]		1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Krystol Mix koncentrát [kg/m ³]		4	x	x	1,48	x	x
Xypex Admix C-1000NF [kg/m ³]		x	6	x	x	1	x
Sika WT-200 P [kg/m ³]		x	x	8	x	x	2

Tabulka 11 - Složení betonových směsí na záměsí o objemu 75 a 20 litrů

Složky		záměs objemu 75 l			záměs objemu 20 l		
		KRYS 1	XYP 1	SIKA 1	KRYS 2	XYP 2	SIKA 2
Cement [kg/záměs]		30	30	30	8	8	8
Kamenivo [kg/záměs]	0/4	81	81	81	21,6	21,6	21,6
	4/8	43,5	43,5	43,5	11,6	11,6	11,6
Voda [kg/záměs]		13,95	13,95	13,95	3,72	3,72	3,72
Plastifikátor [kg/záměs]		0,09	0,09	0,09	0,024	0,024	0,024
Krystol Mix koncentrát [kg/záměs]		0,3	x	x	0,03	x	x
Xypex Admix C-1000NF [kg/záměs]		x	0,45	x	x	0,02	x
Sika WT-200 P [kg/záměs]		x	x	0,6	x	x	0,04

4.5 Použité přístroje

Pro první část experimentu – přípravu vzorků byly využity nástroje, zařízení a různé pomůcky dostupné v experimentálním centru fakulty stavební ČVUT. Při práci s přístroji napomáhal technik laboratoře, aby nedošlo k chybám při přípravě či poškození strojů.

Nástroje, zařízení a pomůcky:

- Svinovací metr 5 m, digitální posuvné měřítko Kinex
- Kbelíky, misky
- Teploměr
- Vlhkoměr
- Odměrky, pipeta, rozprašovač
- Zednická lžice, fanka, lopata
- Kovová forma komolého kužele, propichovací tyč, násypka, podkladní deska (Obrázek 20)
- Laboratorní váha Kern 572 (max. 20000 g, d = 0,05g) (Obrázek 14)
- Míchačka pro větší záměs 75 l (Obrázek 15)
- menší míchačka pro záměs 20 l (Obrázek 16)
- Váha Transporta (max. 100 kg, d = 0,1g) (Obrázek 13)
- Platové formy – krychle (Obrázek 19)
- Ocelové formy – trámce (Obrázek 18)
- Vibrační stůl (Obrázek 17)
- Fólie

- Vodotlačná stolice (Obrázek 22)
- Zatěžovací lis EU 40 s maximální možnou silou v tlaku do 2000 kN
- Zatěžovací lis EDB 400 s maximální možnou silou v tlaku do 4000 kN (Obrázek 21)
- Zatěžovací lis od firmy MTS (Obrázek 23)
- Sušárna WSU 400



Obrázek 13 - Váha Transporta



Obrázek 14 - Laboratorní váha Kern 572



Obrázek 15 - Použitá míchačka pro záměs 75 l



Obrázek 16 - Použitá míchačka pro záměs 20 l



Obrázek 17 - Vibrační stůl



Obrázek 18 - Ocelové formy – trámce 40x40x160 mm



Obrázek 19 - plastové formy – krychle $a=150\text{ mm}$



Obrázek 20 - Vybavení na zkoušku sednutí kužele



Obrázek 21 - Zatěžovací lis EDB 400 s maximální možnou silou v tlaku do 4000 kN



Obrázek 22 - Vodotlačná stolice



Obrázek 23 - Zatěžovací lis od firmy MTS

4.6 Příprava zkušebních těles

Příprava jednotlivých záměsí a následná betonáž potřebných vzorků probíhala dle předem promyšleného harmonogramu v několika dnech. Harmonogram se odvíjel od dostupnosti laboratoře a potřebných zařízení a od plánu následných zkoušek.

KRYS 1 a XYP 1

Dne 12.11. 2018 byly připraveny 2 záměsi – KRYS 1 a XYP 1. V první řadě byly naváženy všechny potřebné suroviny pro obě záměsi a viditelně prostorově odděleny, aby nemohlo dojít k jejich záměně. Formy pro obě záměsi byly umístěny na vibrační stoly a vystříkány separačním prostředkem pro snazší odbednění. Jednalo se celkem o 40 plastových forem krychlí a 6x3 ocelových forem trámčů. Před samotným započítím míchání směsi byla míchačka mírně postříkána vodou z rozprašovače, aby došlo k jejímu zvlhčení a neodebírala vodu ze směsi. První byla připravována záměs KRYS 1. Aplikace přísady byla zvolena metodou rozpuštění v záměsové vodě. Do míchačky byly postupně přidávány suroviny. Jako první se začalo s mícháním suché směsi kameniva a cementu. Během doby, kdy se mísila suchá směs, byla v přibližně 3/4 záměsové vody rozmíchávána krystalizační přísada. Přibližně po minutě se do suché směsi začala přidávat řídká suspenze vody s přísadou a pokračovalo se v míchání již mokré směsi. Po uplynutí cca další minuty se do směsi vlila zbylá 1/4 vody společně s plastifikátorem. Výrobce Redrock Krystol Mix doporučuje míchání výsledné směsi ještě min. 10 minut, které jsem dodržela. Celková doba přípravy záměsi KRYS 1 (bez přípravy surovin) byla necelých 15 minut.

Před betonáží byla provedena zkouška sednutí kužele pro zjištění výsledné konzistence čerstvého betonu viz 5.1. Poté byla nádoba s betonem převezena k vibračnímu stolu, kde byly připraveny formy (pro záměs KRYS 1–20 krychlí a 3x3 trámčů). Formy byly plněny zhruba do 1/2 a poté byl na pár sekund puštěn vibrační stůl pro zhutnění směsi. Po prvním zvlivování se formy doplnily až po okraj a zvlivování se zopakovalo. Ve finále se pomocí zednické lžice odebralo, popř. přidalo chybějící množství betonu, vzorky se v laboratoři srovnaly do řad vedle sebe a zakryly fólií, aby nedocházelo k jejich nadměrnému vysušování. Takto uloženy zůstaly 24 hodin při teplotě 20 ± 5 °C a poté byly odbedněny. Část betonáže zabrala cca 15 minut.

Následovala příprava záměsi XYP 1 z již připravených surovin. Postup byl téměř stejný. Rozdílná byla pouze finální doba míchání směsi, kde výrobce nepožaduje 10 minut, proto byla tato doba zkrácena na 2 minuty. Vzorky byly viditelně odděleny od vzorků záměsi KRYS 1 a popsány, aby nedošlo k jejich záměně.

Celková doba přípravy těchto vzorků (KRYŠ 1 a XYP 1) vychází na necelé 2 hodiny. Výroba betonu probíhala dle normy ČSN EN 12390-2 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 2: Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti.

KRYŠ 2 a XYP 2

Následující den 13.11.2018 jsem připravila 2 záměsi s menším obsahem 20 dm³. Postup pro KRYŠ 2 probíhal zcela stejně jako příprava záměsi s přísadou Krystol Mix – KRYŠ 1 a stejně tak příprava vzorků XYP 2 probíhala po vzoru XYP 1. Z důvodu menšího objemu směsi byla použita pro míchání menší míchačka (Obrázek 16). Pro tyto vzorky jsem využila celkem 10 krychlových forem a 2x3 forem trámečků. První byla vyrobena a betonována záměš KRYŠ 2 a poté XYP 2. Výroba těchto 2 záměsí včetně přípravy materiálu a betonáže zabrala opět necelé 2 hodiny.

SIKA 1 a SIKA 2

Poslední dva typy vzorků jsem vyrobila 16.11. 2018. Jednalo se o vzorky s aplikací přísady Sika WT-200 P. Tento výrobce jako jediný udává konkrétnější požadavky na obsah složek. Podmínka min. 350 kg/m³ betonové směsi byla dodržena, dále je doporučeno množství plastifikátoru Sika ViscoCrete dávkovat v rozmezí 0,6 – 1,5 % celkového objemu směsi. Tato podmínka nebyla dodržena, neboť se při dávkování vycházelo z technických listů pro Sika ViscoCrete, kde je doporučeno min. 0,2 % celkové objemu směsi a zároveň ostatní přísady nemají přidávání této přísady nijak podmíněno. Posledním doporučením je maximální hodnota vodního součinitele 0,45. Zvolené složení tuto podmínku sice nesplňuje ($w=0,465$), ale pro porovnání a zjištění účinnosti to lze v tomto případě zanedbat a považovat zkoušky i tak za přínosné.

V laboratoři se opět postupovalo podle téměř stejného postupu jako u KRYŠ 1. Jako první přišla na řadu větší záměš SIKA 1 a až následně po ní objemově menší záměš SIKA 2. Dle doporučení výrobce byly obě výsledné směsi po smíchání všech surovin míchány v délce 60 sekund. Celková doba výroby těchto vzorků se pohybovala kolem 2 hodin.



Obrázek 24 - Suroviny pro záměs XYP 2



Obrázek 25 - Přidávání přísady Krystol Mix pro záměs KRYS 1



Obrázek 26 - Michání řídké směsi záměsové vody s přísadou Xypex Admix C – 1000NF pro záměs XYP 2



Obrázek 27 - Připravená záměs KRYS 2



Obrázek 28 – Betonáž záměsi KRYŠ 1 do plastových krychlových forem uložených na vibračním stole



Obrázek 29 - Překrytí vzorků fólií na 24 hodin pro zabránění vysušování



Obrázek 30 - Vzorky SIKKA 1 po 24 hodinách od betonáže připravené na odbedňování



Obrázek 31 - Pomůcky na odbedňování vzorku z plastových forem

Vzorky z plastových forem tvaru krychle byly vytlačovány pomocí vzduchu z kompresoru, který se přikládal k malému otvoru (během betonáže byl otvor utěsněn) na dně formy. Krychle byly při odformování uloženy na kovové čtyřnožce dnem vzhůru, tak aby jednoduše vypadly na podložku pod sebou. Odformování trámčů z ocelových forem spočívalo v uvolnění šroubů, poté se mohly odebrat ocelové stěny formy a vyjmou vzorek.

Všechny vzorky byly odformovávány po 24 hodin od betonáže. Tudíž KRYŠ 1 a XYP 1 dne 13.11. 2018, KRYŠ 2 a XYP 2 dne 14.11.2018 a SIKA 1 a SIKA 2 dne 17.11.2018. Veškerá zkušební tělesa byla ihned po odformování popsána. Popis obsahoval označení záměsi, datum výroby vzorku a mé jméno (např. KRYŠ 1, 12.11., Křižánková). Později byly ještě dopsány značky dle prostředí (Vo – voda, M – mráz, V – vlhko, bez popisku – běžné prostředí)



Obrázek 32 - Popsané vzorky KRYŠ 1, připravené na uložení do rozdílných prostředí

4.7 Technologické nekázně

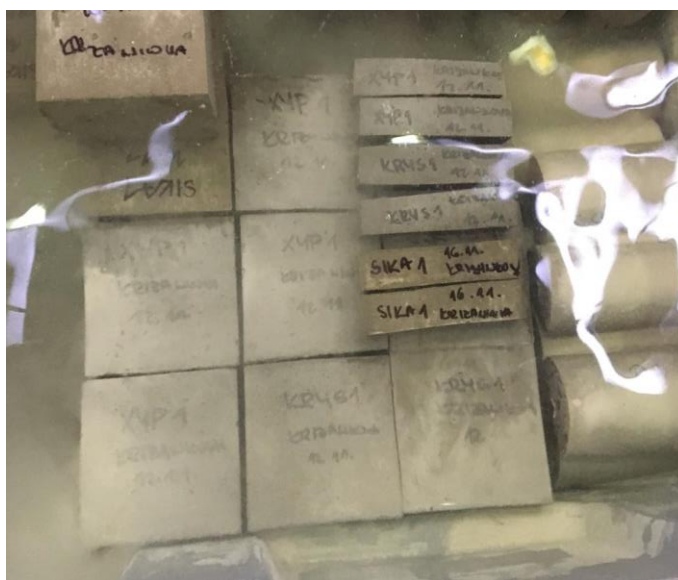
Pro dobu tvrdnutí zkušebních těles byly zvoleny 4 rozdílná prostředí – mráz, voda, vlhko a běžné prostředí laboratoře. Tyto rozdílné okolní podmínky (vyjma tvrdnutí v běžném prostředí laboratoře) představují možné technologické nekázně. Vzorky byly vždy rozmístěny ihned po odbednění tzn. cca po 25 hodinách od betonáže a ponechány zde dalších následujících 27 dní (u některých vzorků déle v závislosti na možnostech provádění zkoušek). Jednou z nekázní nebylo nevhodné prostředí, ale špatně nadávkovaná přísada s uložením vzorků v běžném prostředí laboratoře.

4.7.1 Tvrdnutí v mrazu

Pro tvrdnutí v mrazu byla využita laboratorní mraznička Kirsch. Teplota v mrazáku byla konstantní po celou dobu – 5°C. Hodnota teploty byla zvolena dle reálných podmínek, které na našem území v případě betonáže v zimním období můžou nastat. Do mrazáku bylo umístěno celkem 15 krychlí a 6 trámců. 5 krychlí a 2 trámce KRYS 1 a stejně tak 5 krychlí a 2 trámce XYP 1 byly do mrazáku umístěny po 24 hodinách od betonáže a vyjmuty vždy v den provádění zkoušek. Dne 17.11.2018 byly do mrazáku přidány vzorky SIKA 1, také 5 krychlí a 2 trámce a ponechány až do doby, kdy byly potřeba pro jednotlivé zkoušky.

4.7.2 Tvrdnutí ve vodě

Pro simulaci působení vody na konstrukci byly vzorky ponořeny v celém svém objemu do běžné pitné vody. Vodní prostředí představovala nádoba s vodou umístěna přímo v laboratoři. Teplota vody v nádobě se pohybovala mezi 13–15 °C. Zkušební tělesa byla ponořena do hloubky mezi 400–600 mm. Běžně jsou betonové konstrukce zatěžovány hydrostatickým tlakem ve větších hloubkách, ale pro účely tohoto experimentu a porovnání účinků krystalizace je zvolené prostředí dostačující. Vzorky byly do vody vkládány ve shodné dny jako u mrazu (4.6.1) a vyjmuty ve dnech vykonávaných zkoušek



Obrázek 33 - Část vzorků KRYS 1 ponořené do vody

4.7.3 Tvrdnutí ve vlhku

Další prostředí s nevhodnými podmínkami je s působením vyšší vlhkosti. V laboratořích se pro simulaci vlhkého prostředí nachází uzavíratelná nádoba se zaplněným dnem vodou do výšky 150 mm, která zapříčiňuje vlhké prostředí. Nad vodou jsou umístěny rošty pro vyskládání vzorků. V nádobě byla pomocí vlhkoměru změřena vlhkost 95 % s teplotou 18 °C. Všechny vzorky byly vyskládány do nejvyššího patra roštu 1000 mm nad vodou. Data vkládání a počet vzorků je opět shodný s ukládáním vzorků do mrazu (4.6.1) a odebrány z prostředí byly opět v den zkoušek.



Obrázek 34 - Vzorky uložené na roštu ve vlhku

4.7.4 Nedostatečné množství přísady

Čtvrtá nekázeň byla zvolena v podobě špatného dávkování krystalizačních přísad. Celkem se jednalo o 3 záměsi (KRYSA 2, XYP 2 a SIKA 2) s polovičním množstvím přísady, než je doporučená minimální dávka. Krystol Mix koncentrát byl dávkován v množství 0,375 % z obsahu cementu, Xypex Admix C-1000NF v množství 0,25 % z hmotnosti cementu a Sika WT-200P v množství 0,5 % k hmotnostnímu obsahu cementu viz Tabulka 12. Pro tyto účely bylo vytvořeno z každé záměsi 5 krychlí a 3 trámce k následným zkouškám. Všechny tyto vzorky byly uloženy v běžném prostředí laboratoře bez působení negativních vlivů prostředí.

Teplota v laboratoři se pohybovala mezi $20 \pm 5^\circ\text{C}$. První dva dny byly vzorky pravidelně zvlhčovány postříkem vodou, aby nedošlo k jejich nežádoucímu vysušení, jak doporučují výrobci krystalizačních přísad.

Tabulka 12 - Hodnoty nedostatečného množství krystalizačních přísad

Krystalizační přísada	záměs o objemu 1 m ³			záměs objemu 20 l		
	KRYS 2	XYP 2	SIKA 2	KRYS 2	XYP 2	SIKA 2
Krystol Mix koncentrát [kg/záměs]	1,48	x	x	0,03	x	x
Xypex Admix C-1000NF [kg/záměs]	x	1	x	x	0,02	x
Sika WT-200 P [kg/záměs]	x	x	2	x	x	0,04

4.7.5 Tvrdnutí v běžných podmínkách laboratoře

Posledním prostředím bylo tvrdnutí za běžných podmínek, při kterých by správně betonáž a následné zrání mělo probíhat. Z každé záměsi KRYS 1, XYP 1 a SIKA 1 bylo do tohoto prostředí určeno 5 krychlí a 2 trámce. Celkem tedy bylo uloženo 15 krychlí a 6 trámců. Vzorky se opět musely první dva dny pravidelně vlhčit, aby bylo zajištěno aktivování krystalizace. Teplota vzduchu v laboratoři v místě uložení vzorků byla naměřena $20 \pm 5^\circ\text{C}$. Vzorky byly ukládány v den odbednění, tedy 14.11. 2018 KRYS 1 a XYP 1 a dne 17.11.2018 SIKA 1. V tomto prostředí byly zároveň uloženy i vzorky s přidáním nedostatečného množství přísady.



Obrázek 35 - Vzorky uložené v běžném prostředí laboratoře

5 ZKOUŠENÍ

5.1 Zkouška sednutím kužele

Pro klasifikování konzistence betonu byla zvolena zkouška sednutím kužele prováděná dle normy ČSN EN 12350-2 Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím [47]. Výsledná hodnota zkoušky se značí S (slump test) a číslem 1-5 dle hodnoty sednutí kužele viz Tabulka 13.

Tabulka 13 - Klasifikace konzistence čerstvého betonu dle zkoušky sednutím kužele [54]

Označení	Míra sednutí
S1	10–40 mm
S2	50–90 mm
S3	100–150 mm
S4	160–210 mm
S5	≥ 220 mm

S0 – směs velmi tuhá, S1 – směs tuhá, S2 – směs plastická, S3 – směs měkká, S4 – směs velmi měkká, S5 – směs tekutá

Zkouška stanovení konzistence byla prováděna u všech šesti záměsí čerstvého betonu stejným postupem. Pro vykonání zkoušky byla použita ocelová forma tvaru komolého kužele výšky 300 mm, o průměru horní základny 100 mm a dolní základny o průměru 200 mm, propichovací tyč kruhového průřezu s průměrem 15 mm a délkou 600 mm, pomocná násypka a nenasákavá podložka, na které byla zkouška prováděna (viz Obrázek 20). Po zvlhčení podkladu i formy pomocí vody z rozprašovače, byla forma postavena širší základnou na čistou vodorovně položenou podložku. Pomocí násypky byl kužel plněn betonovou směsí ve 3 třech vrstvách, každá vrstva byla zhutněna 25 vpichy tyčí. Po naplnění formy a třetím zhutnění byla odstraněna násypka, horní povrch zarovnan pomocí zednické lžice a forma pomocí postranních úchyťů byla jedním tahem bez přerušování, kroucení či usmýknutí vytahována svisle vzhůru. Celá zkouška zabrala přibližně 2 minuty. Po zvednutí formy byl pomocí posuvného metru (s nejmenším dílem 1 mm) změřen rozdíl mezi nejvyšším místem sednutého kužele a výškou formy, která byla přenesena pomocí položení propichovací tyče na formu.

Všechna měření probíhala přibližně po 2 minutách od namíchání směsi a všechna proběhla správně (bez usmýknutí), nebylo tedy zapotřebí některou zkoušku opakovat. Výsledky zkoušky jsou uvedeny v Tabulce 14.

Tabulka 14 – Výsledky klasifikace konzistence záměsí dle zkoušky sednutí kužele

Klasifikace konzistence podle sednutí kužele		
Záměs	Sednutí [mm]	Konzistence
KRYS 1	30	S1
KRYS 2	28	S1
XYP 1	28	S1
XYP 2	29	S1
SIKA 1	40	S1
SIKA 2	39	S1

Plánovaná konzistence pro všechny záměsi byla S2 – plastická. Podle výsledků naměřených po namíchání směsi byla všem směsím určena konzistence S1. Příčinou je skutečnost, že výrobci deklarují pozitivní vliv na zpracovatelnost, se kterým se uvažovalo. Konzistence byla ovlivněna téměř rovnocenně u přísad Krystol Mix koncentrát a Xypex Admix C-1000NF, u kterých se hodnoty sednutí kužele zásadně neliší. Viditelný rozdíl nastal až při použití přísady SIKA WT-200P. Již při míchání záměsi SIKA 1 bylo zřejmé, že konzistence je znatelně řidší než u předchozích a stejně tomu bylo i u záměsi SIKA 2. Z výsledku lze vyvodit, že krystalizační přísada SIKA WT-200P má jako jediná z použitých krystalizačních přísad znatelný vliv na zlepšení zpracovatelnosti betonové směsi. Je nutné brát v potaz, že výsledky souvisí s danou recepturou a objemem směsi.



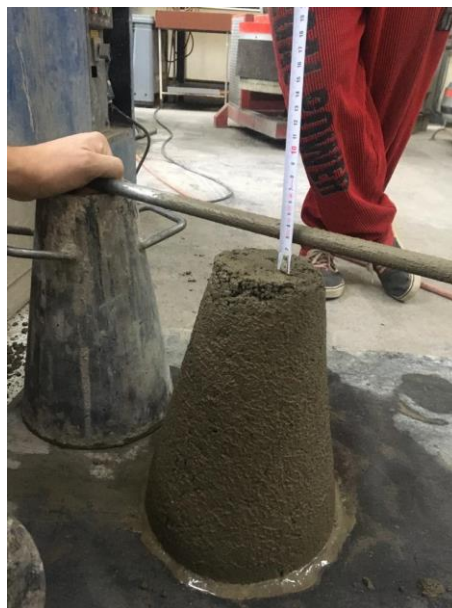
Obrázek 36 - Plnění kužele



Obrázek 37 - Propichování tyčí



Obrázek 38 - Vytahování formy



Obrázek 39 - Měření hodnoty sednutí kužele záměsi KRY5 1–30 mm



Obrázek 40 - Měření hodnoty sednutí kužele záměsi XYP 1–28 mm



Obrázek 41 - Měření hodnoty sednutí kužele záměsi SIK4 1–40 mm

5.2 Objemová hmotnost čerstvého betonu

Objemová hmotnost čerstvého betonu byla změřena a vypočtena pro všech 6 záměsí. Měření probíhalo dle normy ČSN EN 12350–6 Zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost [48]. Norma udává požadavek na objem použité nádoby při zkoušce, který musí být minimálně 5 litrů. Pro potřeby následných zkoušek ztvrdlého betonu byly využity formy o obsahu pouze 3,375 litrů a pro potřeby zkoušky objemové hmotnosti čerstvého betonu nebyla zajištěna žádná jiná zvláštní forma, i tak považují výsledky zkoušky za vhodné.

Pro každou záměs byly zvoleny 3 vzorky pro měření objemové hmotnosti (celkem 18 vzorků). Formy z plastu pro tyto vzorky byly před plněním čerstvým

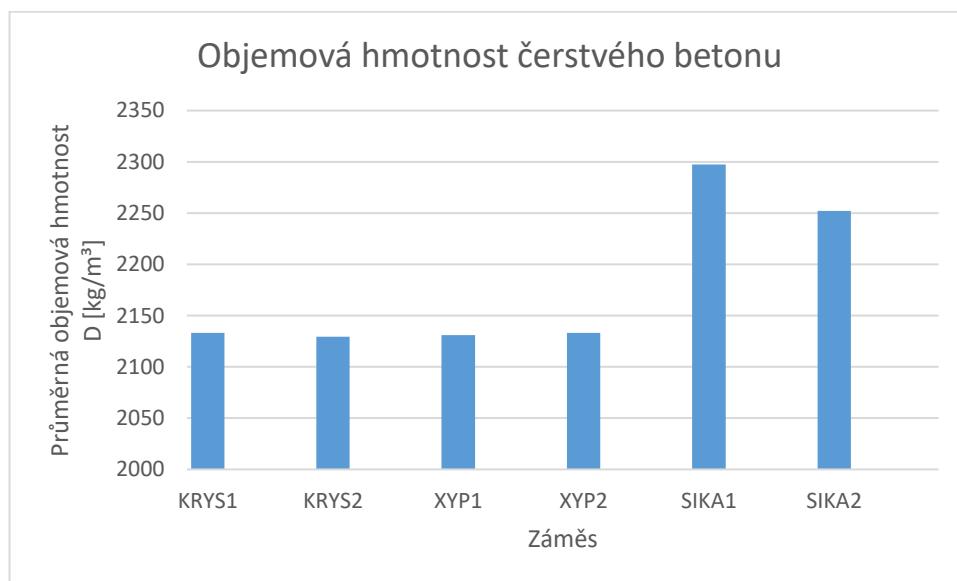
betonem zváženy. Pro vážení byla užívána laboratorní váha Oxalis EB SERIES. Následně byly formy uloženy na vibrační stůl a plněny po částech čerstvou betonovou směsí. Naplnily se zprvu pouze do poloviny svého objemu, následně krátce z vibrovaly (cca 10 sekund), poté se pokračovalo v plnění do plného objemu formy a vibrování se zopakovalo. Při vibrování byly formy přitlačovány ke stolu, aby nedošlo k jejich sesunutí a bylo zajištěno správné zhutnění. Přebytečná směs se na závěr odstranila zednickou lžící a povrch forem se z vnější strany očistil. Takto naplněné formy se opět zvážily.

Navážené hodnoty se využily k výpočtu objemové hmotnosti čerstvého betonu D [kg/m³] dle vzorce:

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

Hodnota m_2 [kg] představuje navážené množství naplněné formy zhutněným čerstvým betonem, hodnota m_1 [kg] značí hmotnost prázdné čisté formy. V [m³] je objem formy, který je v mém případě pro všechny formy stejný 0,003375 m³. S použitím vzorce a mnou naměřených hodnot byly vypočteny objemové hmotnosti vybraných vzorků jednotlivých záměsí a tyto hodnoty následně pro každou ze záměsí zprůměrovány viz Tabulka 15.

Graf 2 - Objemová hmotnost čerstvého betonu



Tabulka 15 - Vypočtená objemová hmotnost čerstvého betonu všech záměsí

Záměs	číslo vzorku	Hmotnost prázdné formy m1 [kg]	Hmotnost plné formy m2 [kg]	Objem nádoby V [m ³]	Objemová hmotnost čerstvého betonu D [kg/m ³]	Průměrná zaokrouhlená objemová hmotnost D [kg/m ³]
KRY51	1	1,087	8,285	0,003375	2132,74	2133
	2	1,081	8,305	0,003375	2140,44	
	3	1,091	8,267	0,003375	2126,22	
KRY52	1	1,082	8,261	0,003375	2127,11	2129
	2	1,084	8,294	0,003375	2136,30	
	3	1,081	8,252	0,003375	2124,74	
XYP1	1	1,082	8,301	0,003375	2138,96	2131
	2	1,081	8,251	0,003375	2124,44	
	3	1,087	8,273	0,003375	2129,19	
XYP2	1	1,085	8,269	0,003375	2128,59	2133
	2	1,090	8,314	0,003375	2140,44	
	3	1,081	8,272	0,003375	2130,67	
SIKA1	1	1,087	8,845	0,003375	2298,67	2297
	2	1,083	8,816	0,003375	2291,26	
	3	1,088	8,858	0,003375	2302,22	
SIKA2	1	1,082	8,684	0,003375	2252,44	2252
	2	1,088	8,671	0,003375	2246,81	
	3	1,100	8,699	0,003375	2257,48	

Z výsledků je patrné, že nejvyšší objemovou hmotnost čerstvého betonu měla nejřidší záměs SIKA 1 s hodnotou $D = 2297 \text{ kg/m}^3$. Záměsi s přísadou Xypex a Krystol mají objemovou hmotnost velmi podobnou, to se dalo očekávat, neboť i jejich konzistence byla téměř shodná. Lze tedy předpokládat, že tyto vzorky měly větší provzdušnění oproti záměsím s přísadou Sika.

5.3 Objemová hmotnost ztvrdlého betonu

Měření objemové hmotnosti ztvrdlého betonu probíhalo dle normy ČSN EN 12390-7 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu [49]. Objemová hmotnost se měřila vždy u 3 ztvrdlých vzorků z každé záměsi a z každého prostředí (např. 3 vzorky KRY5 1 uložené ve vlhku). Celkem se tedy jednalo o 45 vzorků tvaru krychle o hraně $a = 150 \text{ mm}$. Pro měření bylo použito digitální posuvné měřítko Kinex a laboratorní váha Oxalis EB SERIES (přesnost 0,1 g).

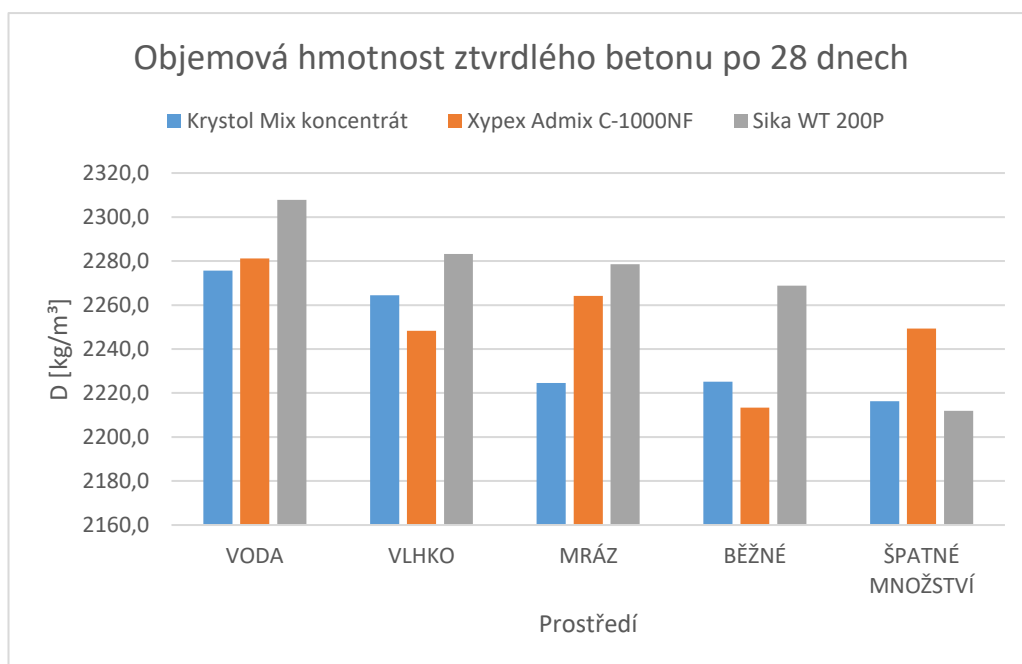
Měření bylo provedeno po 28 dnech od přípravy vzorků. První byly měřeny vzorky KRYŠ 1, XYP 1, KRYŠ 2 a XYP 2. Začalo se měřením vzorků uložených v běžném prostředí, poté uložených ve vlhku, v mrazu a poslední byly měřeny vzorky uložené ve vodě. Pomocí posuvného měřidla byly přeměřeny rozměry krychle pro stanovení přesného objemu vzorku a následně byl vzorek položen na váhu a zvážen. Takto se postupovalo u všech vzorků. Vzorky byly po provedení měření uloženy zpět do svého prostředí, aby se využily pro další zkoušky (vyjma vzorků pro stanovení nasákavosti viz 5.7). Při měření vzorků uložených ve vodě a v mrazu musely být nejprve povrchy otřeny suchým hadříkem a až poté váženy. Vážení vzorků KRYŠ 2 a XYP 2 probíhalo o den dříve, ale pro měření objemové hmotnosti je to zanedbatelné. Měření vzorků SIKA 1 a SIKA 2 probíhalo o 4 dny později naprosto shodným postupem.

Podle následujícího vzorce byly vypočteny jednotlivé objemové hmotnosti ztvrdlých vzorků D [kg/m³]:

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

Z naměřených hodnot rozměrů krychlí byly vypočteny přesné objemy V [m³]. Vážením zkušebních těles na vzduchu jsem získala hmotnost vzorků m [kg]. Veškeré naměřené hodnoty byly pro každou shodnou záměs se stejným prostředím zprůměrovány a z nich vypočtena dle vzorce výše objemová hmotnost viz Tabulka 16.

Graf 3 - Objemová hmotnost ztvrdlého betonu po 28 dnech



Tabulka 16 - Zprůměrované hodnoty objemových hmotností vzorků

Vzorek	Prostředí	Hmotnost ztvrdlého vzorku m [kg]	Objem vzorku V [m ³]	Objemová hmotnost D [kg/m ³]
KRYS1	VODA	7,614	0,003346	2275
KRYS1	VLHKO	7,581	0,003348	2264
KRYS1	MRÁZ	7,560	0,003398	2224
KRYS1	BĚŽNÉ	7,505	0,003373	2225
KRYS2		7,311	0,003299	2216
XYP1	VODA	7,694	0,003373	2281
XYP1	VLHKO	7,613	0,003386	2248
XYP1	MRÁZ	7,601	0,003357	2264
XYP1	BĚŽNÉ	7,589	0,003429	2213
XYP2		7,561	0,003362	2249
SIKA1	VODA	7,732	0,003350	2307
SIKA1	VLHKO	7,624	0,003339	2283
SIKA1	MRÁZ	7,562	0,003319	2278
SIKA1	BĚŽNÉ	7,601	0,003350	2268
SIKA2		7,620	0,003445	2211

V Tabulce 16 jsou zaznamenány výsledky měření objemové hmotnosti ztvrdlého betonu, které jsou přibližně stejně veliké. Hodnoty všech vzorků ztvrdlého betonu KRYS1, KRYS2, XYP1 a XYP2 se od objemové hmotnosti čerstvého betonu těchto záměsí zvýšily o cca 100 kg/m³ z důvodu úbytku vzduchových pórů během tvrdnutí. Objemové hmotnosti čerstvých a ztvrdlých vzorků u záměsí SIKA1 a SIKA2 se téměř neliší, příčinou je nižší provzdušnění čerstvého betonu.

Vzorky, které byly použity pro toto měření byly ještě dále využity pro další zkoušky.



Obrázek 42 - Vážení vzorků



Obrázek 43 - Měření přesných rozměrů vzorků

5.4 Měření pevnosti betonu v tlaku

Pevnost v tlaku zkušebních těles byla zkoušena dle normy ČSN EN 12390-3 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles [50]. Všechna tělesa byla zkoušena ve stáří 28 dnů. S ohledem na objem záměsí, celkový počet vzorků a množství zkoušek byly pro tuto zkoušku určeny 2 vzorky od každé záměsí a z každého prostředí. Výsledné naměřené hodnoty stejných vzorků se výrazně nelišily, a proto považuji všechny hodnoty za správné a přínosné. Zároveň u všech vzorků došlo ke správnému způsobu porušení a nebylo tedy nutné nějaké z měření vyřadit.

Zkušebními tělesy byly normové krychle o hraně $a = 150$ mm, jedná se tedy o stanovení krychelné pevnosti betonu v tlaku. Zkoušená tělesa byla v daných dnech vyjmuta ze svého prostředí, v případě mokrého povrchu otřena suchým hadříkem a převezena ke zkušebnímu lisu. Vzorky KRYS1 a XYP1 byly zkoušeny 10.12.2018, KRYS2 a XYP2 11.12.2018 a SIKA1, SIKA2 dne 14.12.2018. Krychle byla uložena na připravenou podložku o příslušném rozměru ($a = 150$ mm) tak, aby směr zatěžování byl kolmý na směr ukládání betonu. Správně uložená krychle byla zasunuta pod lis přímo na jeho střed. Lis plynule zatěžoval těleso až do jeho porušení, v okamžiku destrukce přístroj zaznamenal maximální dosažené zatížení v kN.

Výslednou pevnost v tlaku f_c [MPa] jsem získala z přepočtu dle vzorce:

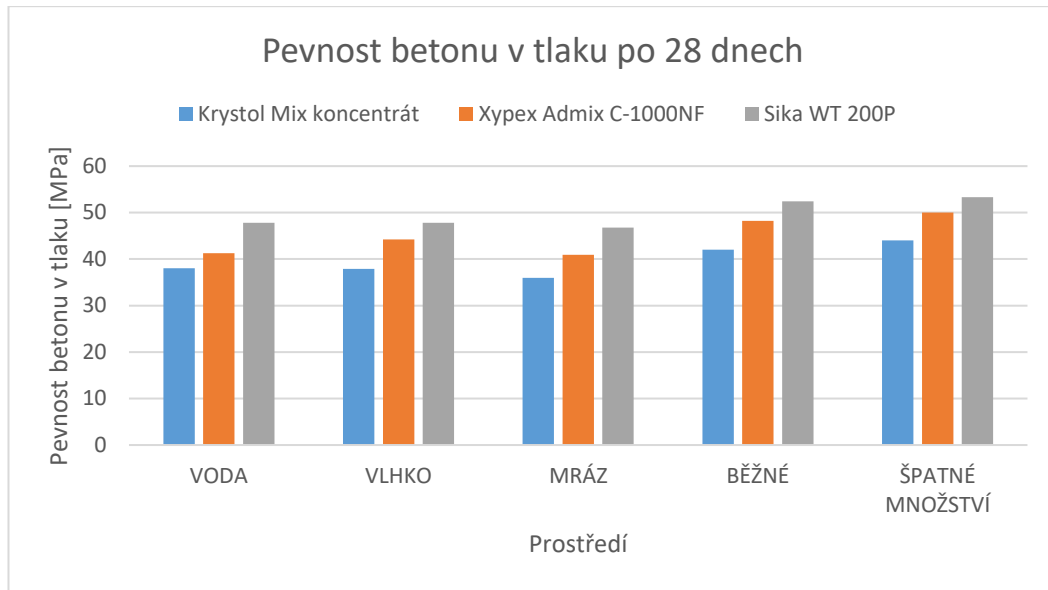
$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

F představuje maximální zatížení při porušení v [N] a A_c [mm²] je průřezová plocha zkušebního tělesa, na kterou působí zatížení v tlaku, v mém případě se jedná o neměnnou hodnotu 0,0225 mm². Přepočtem jsem získala krychelné pevnosti betonu v tlaku uvedené v Tabulce 17.

Tabulka 17 - Výsledné hodnoty naměřených pevností v tlaku

Záměs	Prostředí	Číslo vzorku	Pevnost betonu v tlaku [MPa]	
			Jednotlivé naměřené hodnoty	Průměr hodnot
KRY51	VODA	1	36,7	38,0
		2	39,4	
KRY51	VLHKO	1	37,1	37,9
		2	38,7	
KRY51	MRÁZ	1	34,5	36,0
		2	37,6	
KRY51	BĚŽNÉ	1	40,4	42,0
		2	43,6	
KRY52		1	43,8	44,1
		2	44,4	
XYP1	VODA	1	43,1	41,3
		2	39,6	
XYP1	VLHKO	1	44,9	44,2
		2	43,6	
XYP1	MRÁZ	1	40,0	40,9
		2	41,8	
XYP1	BĚŽNÉ	1	48,9	48,2
		2	47,6	
XYP2		1	48,9	50,0
		2	51,1	
SIKA1	VODA	1	48,4	47,8
		2	47,1	
SIKA1	VLHKO	1	48,7	47,8
		2	46,9	
SIKA1	MRÁZ	1	46,5	46,8
		2	47,1	
SIKA1	BĚŽNÉ	1	51,1	52,4
		2	53,8	
SIKA2		1	54,2	53,3
		2	52,4	

Graf 4 - Pevnost betonu v tlaku po 28 dnech



Srovnání pevností v tlaku bylo řešeno pouze v rámci vlivu jednotlivých přísad v závislosti na prostředí a nebylo porovnáno se vzorkem bez přísady, neboť tato problematika byla řešena již v řadě výzkumů (viz 2.1.4). Z výsledných průměrných hodnot naměřených pevností je na první pohled patrné, že nejvyšších pevností dosáhly zkušební tělesa s přísadou Sika WT-200P, a to ve všech prostředích, můžu tedy potvrdit vliv této přísady na pevnost betonu v tlaku. Naopak nejnižší hodnoty nabyly vzorky s přidáním přísady Krystol Mix koncentrát. Co se týká prostředí, obecně nejnižší hodnoty pevnosti vykázaly krychle uložené v mrazu, což bylo důsledkem nedostatečného procesu hydratace cementu. Dle očekávání nejvyšší krychelné pevnosti měla tělesa, která zrála v běžném prostředí laboratoře, byly tak zajištěny ideální podmínky pro zrání betonu. V tomto případě obsah krystalizační příměsi pevnost nikterak výrazně neovlivnil. Vzorky s nižším obsahem krystalizační přísady měly ve všech třech případech o ± 2 MPa vyšší pevnost, to ale vzhledem k počtu prováděných měření není zcela významné. Nabízí se ještě otázka, provést tuto zkoušku znova po 56 dnech a více. Vliv krystalizace by dle předpokladu měl být znatelnější, čímž by mělo dojít zároveň i k nárůstu pevnosti betonu v tlaku. Z časových důvodů tato skutečnost nemohla být prověřena.

5.5 Měření pevnosti betonu v tahu ohybem

Při měření pevnosti betonu v tahu ohybem se postupovalo podle normy ČSN EN 12390-5 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles [51]. Pro zkoušku byla vyrobena doprovodná tělesa – trámce

40 x 40 x 160 mm. Celkem bylo odzkoušeno 30 trámců. Hodnoty vycházely bez výrazných neočekávaných odchylek a všechna měření byla uznána za platná.

Zkouška byla prováděna ve staří vzorků 28 dnů, tedy vzorky KRYS1 a XYP1 byly zkoušeny dne 10.12.2018, KRYS2 a dne XYP2 11.12.2018 a SIKA1, SIKA2 dne 14.12.2018. Tělesa byla odebrána z prostředí případně osušena a převezena do zkušební laboratoře. Pro zkoušku byl zvolen zatěžovací lis se zatěžováním jedním břemenem. Jedná se o tříbodový ohyb, kdy zkušební trámec byl centricky uložen na dva podpěrné válečky a shora ve středu rozpětí trámce působil jeden váleček. Uložení bylo zvoleno tak, aby směr zatěžování byl kolmý na směr ukládání betonu. Po správném uložení bylo těleso plynule zatěžováno konstantní rychlostí až do porušení. K porušení docházelo ve středu trámce a nebyl zaznamenán žádný jev, kvůli kterému by bylo nutné považovat měření za neplatné. Při porušení byla zaznamenána maximální dosažená hodnota zatížení.

Výsledná hodnota pevnosti v tahu ohybem f_{cf} [MPa] byla vypočtena dle vzorce:

$$f_{cf} = \frac{3 * F * l}{2 * d_1 * d_2^2}$$

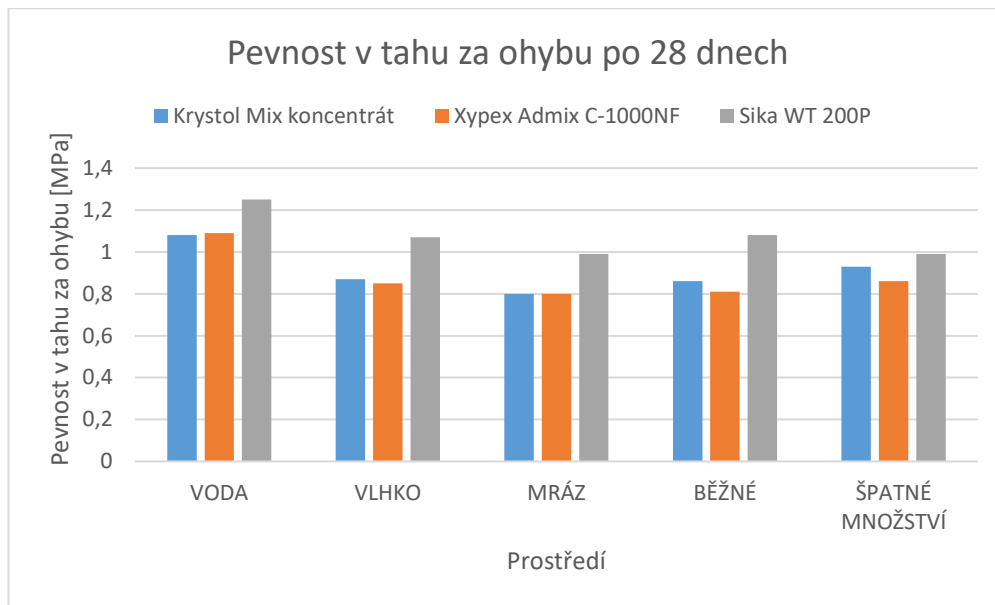
Síla F [N] je naměřená maximální hodnota zatížení. l [mm] zastupuje vzdálenost mezi podpěrnými válečky, v mém případě se jedná o konstantní hodnotu 100 mm. d_1 a d_2 [mm] jsou rozměry příčného řezu tělesa, v tomto případě jsou obě hodnoty rovny 40 mm.

Přepočtem dle vzorce výše jsem získala jednotlivé požadované hodnoty pevnosti v tahu ohybem, které jsem pro výsledné porovnání ještě zprůměrovala viz Tabulka 18.

Tabulka 18 - Výsledné hodnoty pevnosti v tahu ohybem

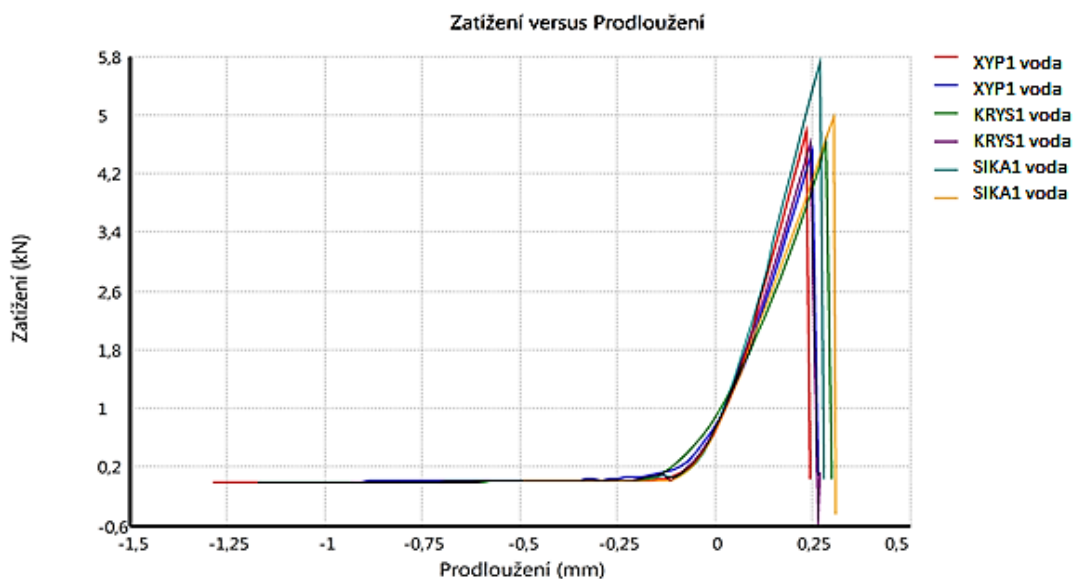
Záměs	Prostředí	Číslo vzorku	Jednotlivé naměřené hodnoty [MPa]	Průměr hodnot f_{cf} [MPa]
KRY1	VODA	1	1,09	1,08
		2	1,08	
KRY1	VLHKO	1	0,92	0,87
		2	0,82	
KRY1	MRÁZ	1	0,95	0,80
		2	0,66	
KRY1	BĚŽNÉ	1	0,78	0,86
		2	0,94	
KRY2		1	0,98	0,93
		2	0,89	
XYP1	VODA	1	1,12	1,09
		2	1,06	
XYP1	VLHKO	1	0,87	0,85
		2	0,84	
XYP1	MRÁZ	1	0,73	0,80
		2	0,87	
XYP1	BĚŽNÉ	1	0,75	0,81
		2	0,87	
XYP2		1	0,87	0,86
		2	0,86	
SIKA1	VODA	1	1,34	1,25
		2	1,16	
SIKA1	VLHKO	1	1,03	1,07
		2	1,11	
SIKA1	MRÁZ	1	0,93	0,99
		2	1,05	
SIKA1	BĚŽNÉ	1	1,07	1,08
		2	1,10	
SIKA2		1	0,96	0,99
		2	1,02	

Graf 5 - Pevnost v tahu za ohybu po 28 dnech

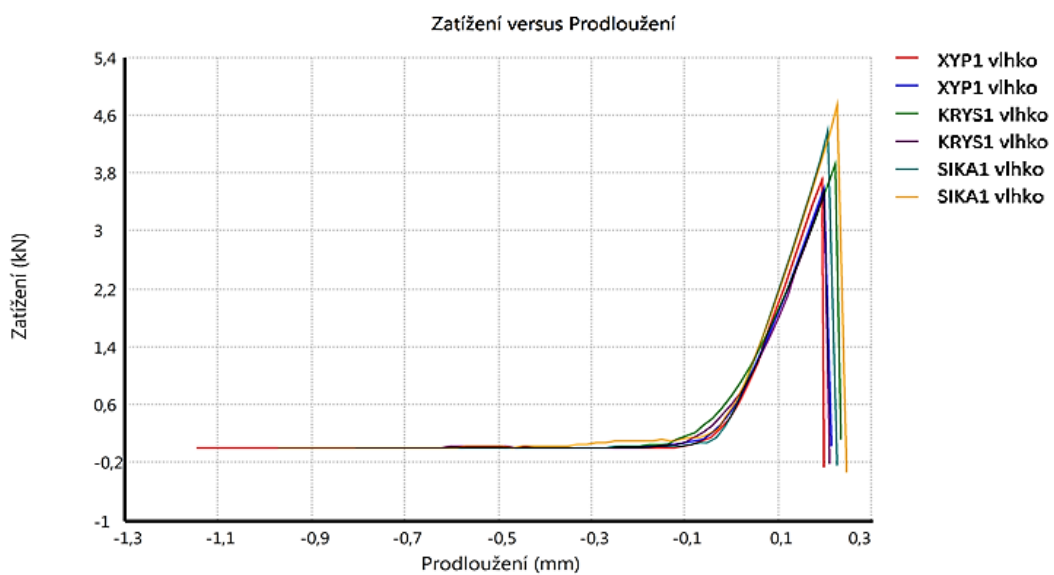


Výsledná nejvyšší hodnota pevnosti v tahu ohybem byla naměřena pro vzorky uložené ve vodě. Vzhledem k tomu, že vzorky uložené ve vodě i nejvíce vykrytalizovaly (byly naměřeny nejmenší hloubky průsaku tlakovou vodou), lze usoudit, že krystalizace má pozitivní vliv na zvýšení pevnosti v tahu ohybem. Nejvyšší hodnotu vykázal vzorek SIKAI voda, ale rozdíl od hodnot ostatních vzorků uložených ve vodě není natolik významný. Vliv všech přísad lze v tomto směru považovat za téměř shodný. Hodnoty pevností betonu v tahu ohybem u vzorků z ostatních prostředí se pohybují ve velmi podobných rozpětích. Vzorky s nejhorším výsledkem jsou obecně všechny uložené v mrazu, což bylo předpokládáno.

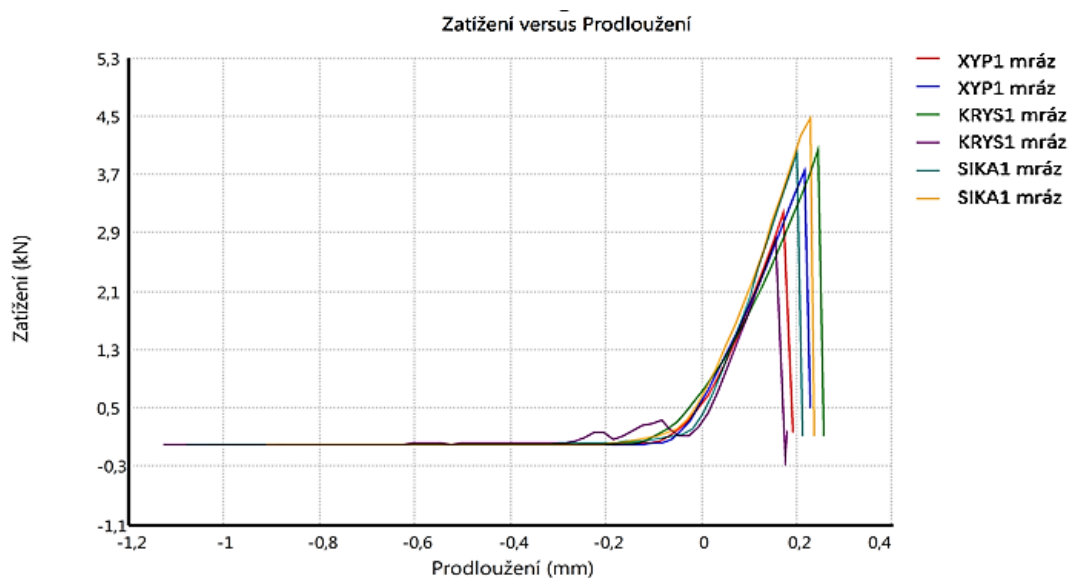
Graf 6 - Nárůst zatížení při zkoušce v tahu ohybem u těles uložených ve vodě



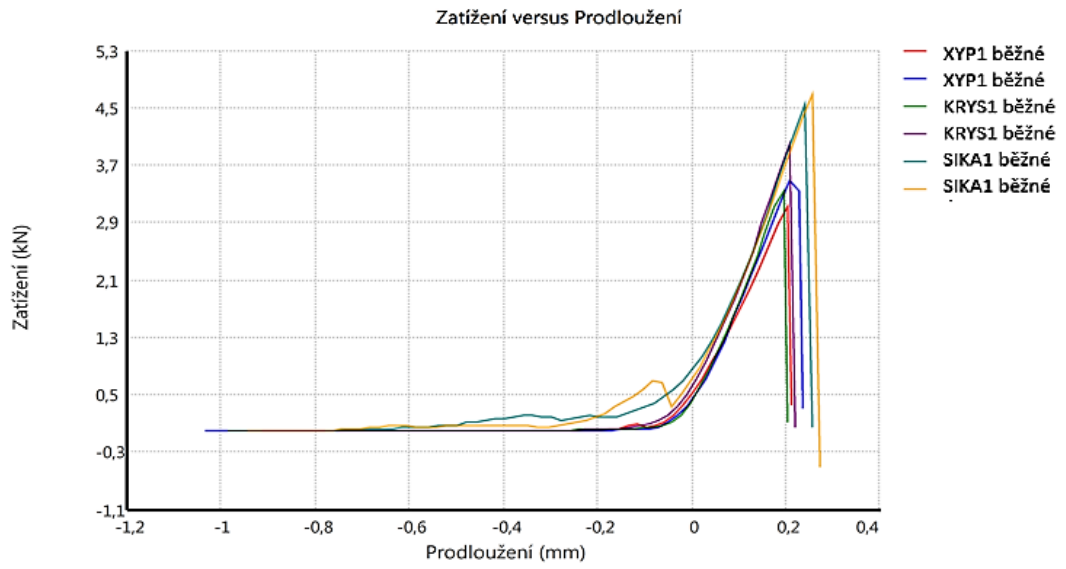
Graf 7 - Nárůst zatížení při zkoušce v tahu ohybem u těles uložených ve vlhku



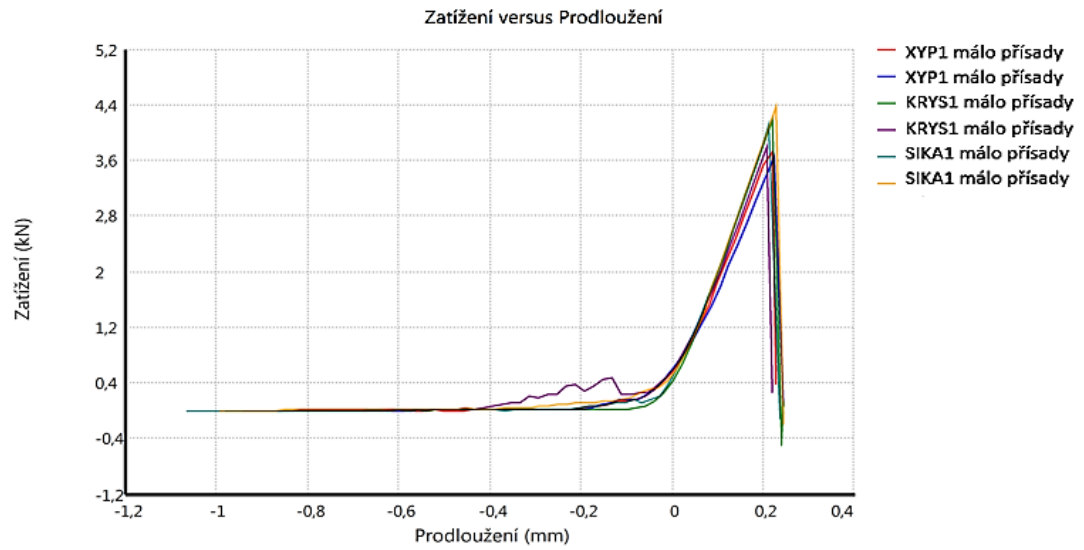
Graf 8 - Nárůst zatížení při zkoušce v tahu ohybem u těles uložených v mrazu



Graf 9 - Nárůst zatížení při zkoušce v tahu ohybem u těles uložených v běžném prostředí



Graf 10 - Nárůst zatížení při zkoušce v tahu ohybem u těles obsahujících snížené množství přísady





Obrázek 44 - Připravené trávce pro měření pevnosti v tahu ohybem



Obrázek 45 - Trávce v době porušení

5.6 Měření hloubky průsaku tlakovou vodou

Stanovení hloubky průsaku tlakovou vodou bylo prováděno dle normy ČSN EN 12390-8 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou [52]. Celkem bylo odzkoušeno 30 krychlových vzorků ($a = 150 \text{ mm}$). Opět bylo z časových důvodů možné provést zkoušku jen na 2 vzorcích od každé záměsi a z každého prostředí. Problémem při této zkoušce byla kapacita vodotlačné stolice a délka trvání zkoušky. Na vodotlačné stolici bylo možné umístění pouze 6 těles, z toho důvodu nebylo reálné provést zkoušku na všech vzorcích přesně po 28 dnech. Harmonogram byl rozvrhnut tak, aby prodleva mezi zkouškami nebyla natolik dlouhá a finální výsledky byly porovnatelné. Termíny ukládání vzorku do stolice viz Tabulka 19.

Tabulka 19 - Harmonogram ukládání vzorků do vodotlačné stolice a jejich stáří

07.12.2018	Stáří [dnů]	10.12.2018	Stáří [dnů]	14.12.2018	Stáří [dnů]
XYP1 mráz	25	XYP1 běžné	28	XYP1 mráz	32
XYP1 voda	25	KRYS1 běžné	28	KRYS1 mráz	32
XYP1 vlhko	25	XYP2	27	XYP2	31
KRYS1 mráz	25	KRYS2	27	SIKA2	31
KRYS1 voda	25	SIKA 1 mráz	24	SIKA1 vlhko	28
KRYS1 vlhko	25	SIKA 1 voda	24	SIKA1 běžné	28
17.12.2018	Stáří [dnů]	20.12.2018	Stáří [dnů]		
XYP1 voda	35	XYP1 vlhko	38		
KRYS1 voda	35	XYP1 běžné	38		
KRYS2	34	KRYS1 vlhko	38		
SIKA1 mráz	31	KRYS1 běžné	38		
SIKA1 voda	31	SIKA1 vlhko	34		
SIKA2	31	SIKA1 běžné	34		

V den plánované zkoušky byl vzorek vzatý z daného prostředí a v případě mokřých stěn byl usušen hadrem. Následně byl vložen směrem ukládání betonu kolmo na směr působení tlaku vody do připraveného zařízení – vodotlačné stolice a utěsněn pryží. Po uložení všech šesti vzorků byla započata zkouška. Na uložená tělesa byl po dobu 72 ± 2 hodin vyvočován neustálý vodní tlak 500 kPa zdola. Během zkoušení byla tělesa pravidelně kontrolována a nebyla nalezena žádná skutečnost, která by znemožnila použití výsledků. Po uplynutí požadované doby působení vodního tlaku byla tělesa vyjmuta z přístroje, osušena a působením příčného tahu rozlomena v polovině, kolmo k povrchu, který byl zatěžován vodním tlakem. Pomocí lihového fixu byla vyznačena hranice průsaku a změřena největší hloubka průsaku. Hodnoty průsaku a jejich průměr je uveden v Tabulce 21. Maximální povolené hloubky průsaku dle TP ČBS 02 – Bílé vany v závislosti na stupni vlivu prostředí jsou uvedeny v Tabulce 20.

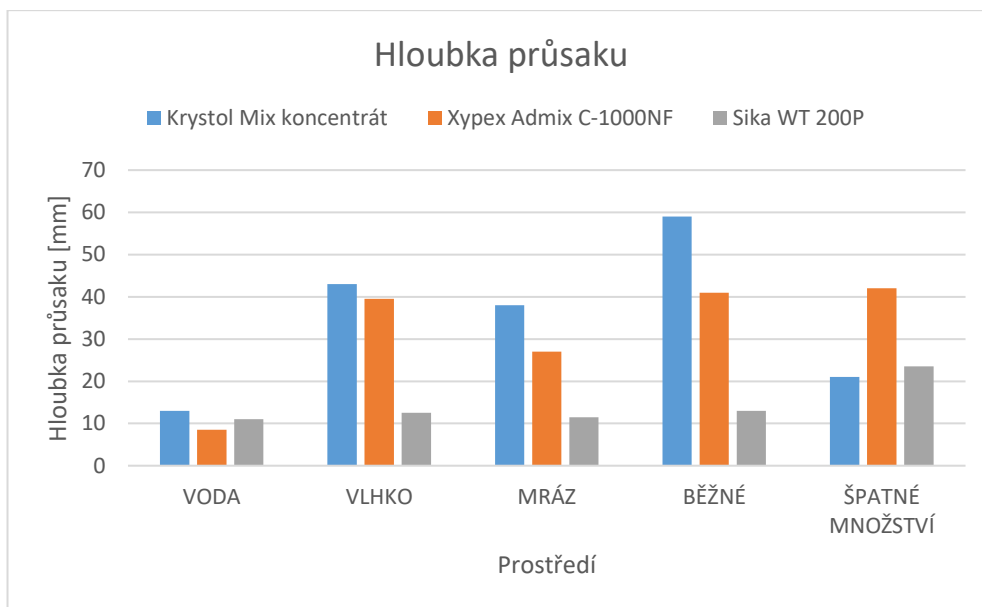
Tabulka 20 - Maximální povolené hloubky průsaku dle TP ČBS 02 – Bílé vany

Maximální povolená hloubka průsaku [mm]	Stupeň vlivu prostředí
50	XC3, XC4, XD1, XD2, XF1, XA1
35	XF2, XA2
20	XD3, XF3, XF4, XA3

Tabulka 21 - Hodnoty naměřených hloubek průsaků

Záměs	Prostředí	Číslo vzorku	Hloubka průsaku [mm]	
			Jednotlivé naměřené hodnoty [MPa]	Průměr hodnot
KRY51	VODA	1	11	13,0
		2	15	
KRY51	VLHKO	1	47	43,0
		2	39	
KRY51	MRÁZ	1	42	38,0
		2	34	
KRY51	BĚŽNÉ	1	67	59,0
		2	51	
KRY52		1	15	21,0
		2	27	
XYP1	VODA	1	7	8,5
		2	10	
XYP1	VLHKO	1	39	39,5
		2	40	
XYP1	MRÁZ	1	25	27,0
		2	29	
XYP1	BĚŽNÉ	1	44	41,0
		2	38	
XYP2		1	43	42,0
		2	41	
SIKA1	VODA	1	9	11,0
		2	13	
SIKA1	VLHKO	1	8	12,5
		2	17	
SIKA1	MRÁZ	1	8	11,5
		2	15	
SIKA1	BĚŽNÉ	1	12	13,0
		2	14	
SIKA2		1	26	23,5
		2	21	

Graf 11 - Hloubka průsaku tlakovou vodou



Hodnoty naměřených průsaků přinesly několik výsledků. K nejlepšímu zajištění funkce vodonepropustnosti došlo u všech krystalizačních přísad v případě uložení ve vodě. Zásadou neustálého působení vody na těleso byla zapříčiněná nepřetržitá krystalizace, díky níž jsou výsledné hodnoty průsaku velmi pozitivní. Celkově nejnižšího průsaku dosáhlo zkušební těleso XYP1 voda. Obecně nejhorší výsledky z hlediska hloubky průsaku byly u všech vzorků, uložených v běžném prostředí laboratoře. Na tělesa působila voda pouze v době prvních 2 dnů, kdy byla ošetřována a zároveň tato tělesa nejrychleji vysychala. Množství přísady v tomto případě nehrálo význačnou roli. Vzorek KRYS2 měl dokonce zdatně nižší průsak než vzorek KRYS1 v běžném prostředí. U vzorků XYP2 a XYP2 běžné prostředí nebyl téměř zdatně rozdíl. Z těchto výsledků soudím, že pro zajištění dostatečné krystalizace v případě běžných podmínek je doba pro zkoušku 28 dní nedostatečná a je zapotřebí tuto skutečnost ověřit dalšími experimenty po delší době, kdy by se množství přidané přísady a její kvalita spíše projeví. Nižších hodnot hloubky průsaku u vzorků v mrazu bylo dosaženo díky zpomalení procesu hydratace cementu a tím, byla ve vzorcích po delší dobu přítomna voda, která vyvolávala krystalizaci.

Při pohledu na celkové výsledky průsaků všech záměsí s rozdílnými přísadami vyplývá, že nejlepší funkce zajištění vodonepropustnosti betonu dosahuje přísada SIKA WT-200P. U této přísady vliv prostředí nehrál téměř žádnou roli. Za přísadu, která nejhůře plní požadovanou funkci bych zvolila přísadu Krystol mix koncentrát, která vykazovala zcela nevyhovující průsak v případě uložení v běžném prostředí.

Zároveň však musíme brát v potaz, že krystalizace je nepřetržitý proces v případě přítomnosti vody, a tak by se konečný závěr mohl lišit při zkoumání po delších obdobích. Dle TP ČBS 02 je doporučeno zkoumat hloubku průsaku každý 20. den od betonáže.



Obrázek 46 - Průsak tlakovou vodou KRYSI-voda



Obrázek 47 - Průsak tlakovou vodou KRYSI-vlhko



Obrázek 48 - Průsak tlakovou vodou KRYSI-mráz



Obrázek 49 - Průsak tlakovou vodou KRYSI-běžné (neuvažovaný výběžek – otisk mokrého prstu)



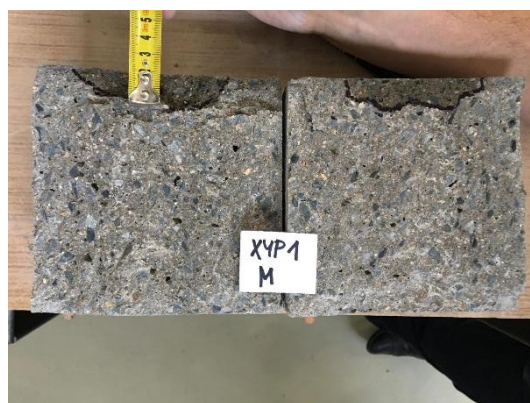
Obrázek 50 - Průsak tlakovou vodou KRY52



Obrázek 51 - Průsak tlakovou vodou XYP1-voda



Obrázek 52 - Průsak tlakovou vodou XYP1-vlhko



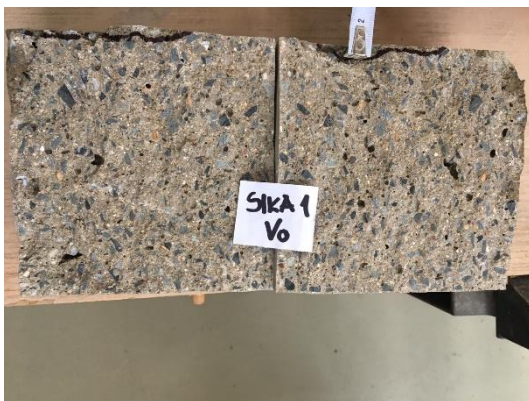
Obrázek 53 - Průsak tlakovou vodou XYP1-mráz



Obrázek 54 - Průsak tlakovou vodou XYP1-běžné



Obrázek 55 - Průsak tlakovou vodou XYP2



Obrázek 56 - Průsak tlakovou vodou SIKAI-voda



Obrázek 57 - Průsak tlakovou vodou SIKAI-vlhko



Obrázek 58 - Průsak tlakovou vodou SIKAI-mráz



Obrázek 59 - Průsak tlakovou vodou SIKAI-běžné



Obrázek 60 - Průsak tlakovou vodou SIKAI2

5.7 Měření nasákavosti

Měření nasákavosti betonových těles bylo prováděno na základě již zrušené normy ČSN 73 1316 Stanovení vlhkosti, nasákavosti a vzlínivosti betonu [53]. Tato norma nebyla nahrazena. Pro tuto zkoušku byl použit vždy 1 vzorek z každé záměsi

a z každého prostředí, celkem tedy 15 vzorků tvaru krychle s hranou $a = 150$ mm ve stáří 28 dnů.

Pro tuto zkoušku byla použita tělesa, na kterých bylo prováděno měření objemové hmotnosti ztvrdlého betonu. Hmotnost těles byla tedy již zaznamenána z tohoto měření. Po provedení měření vzorků pro stanovení objemové hmotnosti ztvrdlého betonu byly zvolené vzorky (15) uloženy do nádoby s vodou a ponořeny celým svým objemem. V následujících dnech byly krychle pravidelně váženy, dokud nedošlo k ustálení jejich hmotnosti a vzorek jsem tak mohla považovat za nasáklý. Pochopitelně vzorky, které tvrdly ve vodě, byly nasáklé okamžitě, ale ponechaly se zde do doby nasáknutí všech těles. K ustálení všech hmotností došlo po 68 hodinách. Hodnota hmotnosti nasáklých těles byla zaznamenána a vzorky byly převezeny do sušárny WSU 400. V sušárně byla předem nastavena teplota na 115°C . Sušení vzorků probíhalo opět za provádění pravidelných kontrolních měření až do ustálení hmotnosti po dobu 4 dnů.

Následoval výpočet nasákavosti betonu v [%] dle vzorce:

$$v = \frac{m_s - m_d}{m_d} * 100 \%$$

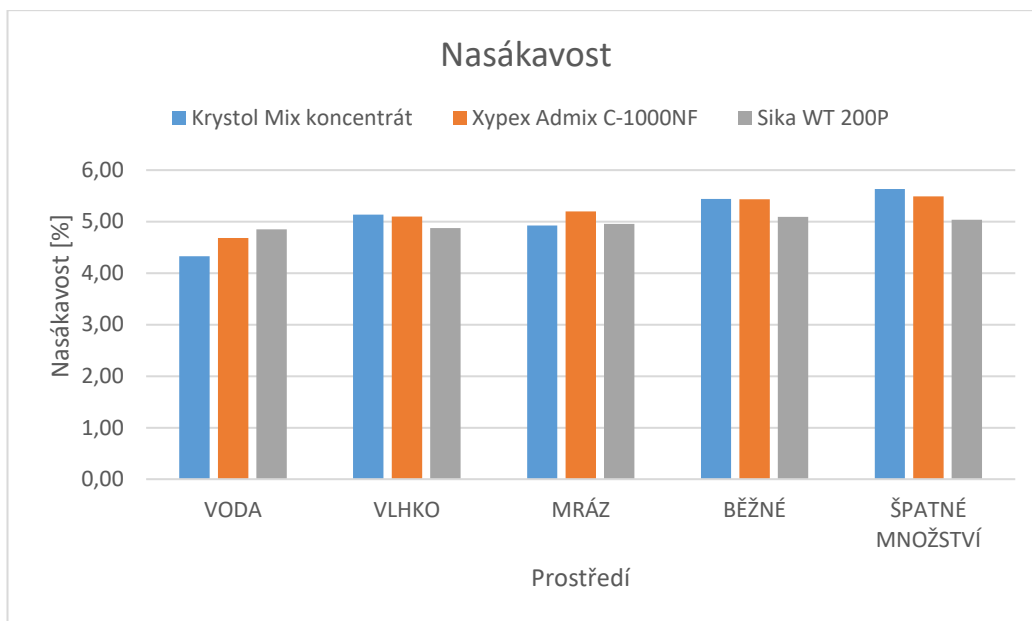
kde m_s je hmotnost zkušební tělesa nasáklého vodou v [g]

m_d je hmotnost zkušební vzorku vysušeného v [g]

Tabulka 22 - Finální navážené hmotnosti a vypočtená nasákavost

Nasákavost				
Záměs	Prostředí	Nasáklý [g]	Suchý [g]	Nasákavost [%]
KRYS1	VODA	7571	7257	4,33
KRYS1	VLHKO	7591	7220	5,14
KRYS1	MRÁZ	7563	7208	4,93
KRYS1	BĚŽNÉ	7574	7183	5,44
KRYS2		7504	7104	5,63
XYP1	VODA	7665	7322	4,68
XYP1	VLHKO	7646	7275	5,10
XYP1	MRÁZ	7649	7271	5,20
XYP1	BĚŽNÉ	7698	7301	5,44
XYP2		7650	7252	5,49
SIKA1	VODA	7699	7343	4,85
SIKA1	VLHKO	7618	7264	4,87
SIKA1	MRÁZ	7557	7200	4,96
SIKA1	BĚŽNÉ	7659	7288	5,09
SIKA2		7697	7328	5,04

Graf 12 - Nasákavost



Hodnoty nasákavosti všech zkušenných těles se pohybují v rozsahu $\pm 0,5$ %. Nejnížší hodnoty nasákavosti vyšly pro vzorky uložené ve vodě, které zároveň nejvíce vykrytalizovaly. Rozdíl od ostatních hodnot však není markantní, z čehož vyvozují, že krystalizační přísady nemají na nasákavost zásadní vliv.



Obrázek 61 - Použitá sušárna WSU 400

6 EKONOMICKÁ NÁROČNOST

Častým faktorem při výběru druhu krystalizační přísady a obecně způsobu zajištění vodonepropustnosti spodní stavby je cena. V této části jsem porovнала ekonomickou materiálovou náročnost betonů (neuvažuji náklady na pomocná zařízení a práci) v závislosti na zvoleném druhu krystalizační přísady a zároveň jsem provedla srovnání výsledných cen s alternativním řešením – betonem Permacrete. Uvažované ceny jsem přebírala z platných katalogových ceníků dodavatelů materiálů. Pro srovnatelnost výsledných nákladů jsem použila recepturu, která se běžně používá v betonárnách pro záměsi bílých van (nikoliv pro laboratorní účely této práce). Krystalizační přísady byly v tomto případě dávkovány jako střední hodnota doporučeného množství.

Cena cementu CEM I 42,5 R od výrobce Českomoravský cement za 25 kg balení je 97 Kč s DPH. Náklady na použité kamenivo – písek frakce 0/4, štěrk frakce 4/8, drť frakce 8/16 a drť frakce 11/22 se velmi liší dle zvoleného dodavatele. Po prozkoumání ceníků od několika možných dodavatelů jsem zvolila průměrné ceny: 1 tuna písku 0/4 za 270 Kč s DPH, 1 tuna drtě 4/8 za 600 Kč s DPH, 1 tuna drtě 8/16 za 480 Kč s DPH a 1 tuna drtě 11/22 též za 480 Kč s DPH. Cena za 1 kg použitého superplastifikátoru Sika ViscoCrete – 20 Gold CZ je 79 Kč s DPH. Náklady na krystalizační přísady se velmi liší. Obecně vyšší ceny mají koncentráty směsí s ohledem na nižší spotřebu. Nejdražší použitou přísadou (koncentrát) byl Xypex Admix C-1000NF, kde cena za 1 kg vychází na 417 Kč s DPH. Cena za Krystol Mix koncentrát je o něco nižší 320 Kč s DPH/kg. Nejlevnější přísadou byla Sika WT-200P, a to i z důvodu, že se nejednalo o koncentrované množství, 1 kg této přísady vyjde na 170 Kč s DPH (záleží na kupovaném množství). Celkové náklady za 1 m³ betonové směsi s přidanými krystalizačními jsou uvedeny v Tabulce 23-25. Značení BV znamená, že se jedná o složení směsi pro bílé vany např. SIKA – BV znamená betonová směs s recepturou pro bílé vany s obsahem krystalizační přísady Sika WT - 200P.

Tabulka 23 - Finanční náročnost s použitím přísady Xypex Admix C-1000NF

XYP – BV				
Složky		Množství	Cena s DPH	Cena za m ³
		[kg/m ³]	[Kč/kg]	[Kč/m ³]
CEM I 42,5 R		350	3,88	1358
Kamenivo	0/4	861	0,27	232,47
	4/8	220	0,6	132
	8/16	339	0,48	162,72
	11/22	254	0,48	121,92
Voda		186	0,09	16,74
Plastifikátor		2	79	158
Xypex Admix C – 1000NF		3,5	417	1459,5
Cena celkem			3641,35	Kč s DPH

Tabulka 24 - Finanční náročnost s použitím přísady Krystol Mix koncentrát

KRYŠ – BV				
Složky		Množství	Cena s DPH	Cena za m ³
		[kg/m ³]	[Kč/kg]	[Kč/m ³]
CEM I 42,5 R		350	3,88	1358
Kamenivo	0/4	861	0,27	232,47
	4/8	220	0,6	132
	8/16	339	0,48	162,72
	11/22	254	0,48	121,92
Voda		186	0,09	16,74
Plastifikátor		2	79	158
Krystol Mix koncentrát		3	320	960
Cena celkem			3141,85	Kč s DPH

Tabulka 25 - Finanční náročnost s použitím přísady Sika WT-200P

SIKA – BV				
Složky		Množství	Cena s DPH	Cena za m ³
		[kg/m ³]	[Kč/kg]	[Kč/m ³]
CEM I 42,5 R		350	3,88	1358
Kamenivo	0/4	861	0,27	232,47
	4/8	220	0,6	132
	8/16	339	0,48	162,72
	11/22	254	0,48	121,92
Voda		186	0,09	16,74
Plastifikátor		2	79	158
SIKA WT-200P		5,25	170	892,5
Cena celkem			3074,35	Kč s DPH

Z výsledných cen vyplývá, že nejdražší směsí je ta s přidáním přísady Xypex Admix C-1000NF. Na druhou stranu je zapotřebí uvažovat kvalitu této přísady, která je mnohem vyšší oproti nejlevnější variantě s přísadou Krystol Mix koncentrát. Za nejlepší variantu jak z hlediska ceny, tak kvality se v mém případě jeví aplikace přísady Sika WT-200P.

Pro výrobu bílé vany se u nás využívá značkový beton Permacrete (viz 2.1.3), kde se cena za 1 m³ tohoto betonu pohybuje v rozmezí 2904–3228 Kč s DPH dle požadované pevnostní třídy a odolnosti proti prostředí. Cena je téměř srovnatelná s náklady na záměs SIKA – BV a KRYS – BV, ale znatelně levnější oproti záměsi XYP – BV. Avšak ceny za betonové směsi s krystalizační přísadou mohou klesat dle objednaného množství a dodavatele. Nabízí se také otázka srovnání kvality betonu Permacrete s betony obsahujícími krystalizační příměsí.

Ekonomická materiálová srovnatelnost s povlakovými hydroizolacemi nebyla provedena, neboť tento způsob má jiné finanční nároky na potřebná zařízení a práci a konečné ceny za materiál by nemohly vypovídat o úspornějším řešení.

ZÁVĚR

Cílem mé diplomové práce bylo zjistit, jakou mírou může být ovlivněna vodonepropustnost a další mechanické vlastnosti betonu obsahující různé druhy krystalizačních přísad při simulaci několika technologických nekázní, které během výroby betonové směsi a při následné realizaci a zrání mohou nastat. Během vypracovávání experimentu byly postupně prováděny zkoušky na čerstvé betonové směsi a následně po vyzrání betonu provedeny destruktivní i nedestruktivní zkoušky na připravených zkušebních tělesech.

Při přípravě záměsí byly čerstvé betonové směsi podrobeny zkoušce sednutím kužele pro stanovení konzistence. Při této zkoušce jsem nejvýraznější vliv zaznamenala u dvou záměsí s aplikovanou přísadou Sika WT-200P, která měla sednutí o cca 10 mm vyšší oproti zbylým záměsím. Zároveň byla na čerstvých vzorcích testována objemová hmotnost, kde se projevil rozdíl konzistence směsí. S lepší zpracovatelností souviselo menší provzdušnění, které mělo za následek vyšší objemovou hmotnost čerstvého betonu. Záměsí SIK A1 a SIK A2 měly v průměru o 150 kg/m³ vyšší objemovou hmotnost.

Po 28 dnech, kdy tělesa zrála v rozdílných prostředích, bylo provedeno několik zkoušek. V první řadě byla měřena objemová hmotnost ztvrdlého betonu, která se u provzdušněnějších vzorků (KRYS1, KRYS2, XYP1 a XYP2) zvýšila o cca 100 kg/m³ oproti objemové hmotnosti čerstvé směsi. Výsledky dále dopadly dle předpokladu, kde nejvyšší objemová hmotnost ztvrdlého betonu byla u vzorků zrajících ve vodě a nižší hodnoty pak u vzorků ve vlhku, běžném prostředí a mrazu.

Zkouška pevnosti v tlaku dopadla nejlépe pro záměsí s přísadou Sika WT - 200P. Tyto vzorky ve všech prostředích vykázaly nejvyšší hodnoty pevnosti, vliv na to mohl mít i fakt, že vzorky měly nejnižší provzdušnění. Nejhorších pevností dosahovaly vzorky obsahující přísadu Krystol mix koncentrát. Ke znatelnému snížení všech pevností došlo vlivem zrání v nevyhovujících podmínkách – mráz, voda, vlhko. Nejnižších hodnot pevností v tlaku nabývaly vzorky zrající v mrazu, kdy nebyla možná dostatečná hydratace cementu.

Na doprovodných tělesech bylo provedeno měření pevnosti v tahu ohybem. Nejvyšších hodnot dosáhly vzorky uložené ve vodě, tyto vzorky zároveň i nejvíce vykrytalizovaly, z čehož vyplynul pozitivní vliv krystalizačních přísad na pevnost

betonu v tahu ohybem. Opět nejvyšších hodnot ve všech prostředích dosahovaly vzorky obsahující přísadu Sika WT-200P.

Pro zjištění funkčnosti krystalizačních přísad z hlediska zajištění vodonepropustnosti byla tělesa podrobena zkoušce působení tlakové vody a následně měřena hloubka průsaku. Nejnižší průsaky byly naměřeny u vzorků zrajících ve vodě, neboť díky neustálé přítomnosti vody mohly vzorky nejvíce vykristalizovat, ale je zapotřebí neopomenout fakt, že v tomto prostředí je zároveň snížena pevnost betonu v tlaku. U vzorků zrajících v běžném prostředí se krystalizace (s výjimkou přísady Sika WT-200P) zásadně neprojevila, nebyl ani zaznamenán negativní vliv aplikace nízkého obsahu přísady. Z tohoto hlediska by bylo zapotřebí vzorky zkoušet po uplynutí delší doby, což z časových důvodů a rozsahu práce nebylo možné. Nabízí se i otázka potřeby delšího pravidelného zvlhčování povrchu betonových vzorků. Z výsledků této zkoušky se nejlépe jeví přísada Sika WT - 200P.

Posledním prováděným měřením bylo stanovení nasákavosti těles. Veškeré naměřené hodnoty se vzájemně lišily o $\pm 0,5$ %. Vliv prostředí ani druhu přísady nebyl prokázán.

Je zapotřebí zvážit, že veškeré výsledky se vztahují ke dvěma podmínkám – receptuře a k časovému úseku, po který byl experiment prováděn. Výsledné hodnoty všech zkoušek se mohou v závislosti na změnách těchto podmínek lišit.

Z konečných výsledků všech provedených zkoušek bych za optimální řešení pro zajištění vodonepropustnosti spodní stavby pro betony s obsahem krystalizační přísady volila přísadu Sika WT-200 P. Tato přísada je dle mého názoru nejlepší kombinací poměru cena/kvalita.

Z konečných výsledků všech provedených zkoušek bych za optimální krystalizační přísadu do betonů spodních staveb volila Siku WT-200 P. Tato přísada se dle mého názoru jeví jako neoptimálnější v poměru cena/kvalita. Další vhodnou krystalizační přísadou je Xypex, který vykazoval taktéž pozitivní hodnoty. Nevýhodou je zde cena, která by se určitě při vyšším odběru množství dostala na cenu konkurence. Poslední přísada Krystol mix koncentrát vykazovala ve všech zkouškách nejhorší výsledky, a proto bych její implementaci do spodní stavby nevolila.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ

- [1] *Historie betonu. EBETON.* [online]. [cit. 2018-10-09].
Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/historie-betonu>
- [2] *Beton. Wikipedia: the free encyclopedia.* [online]. [cit. 2018-10-09].
Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Beton>
- [3] *Složení betonu. EBETON.* [online]. [cit. 2018-10-09].
Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/encyklopedie/z-ceho-je-beton>
- [4] HELA, Rudolf. *Technologie betonu: Modul M01, BJ04 Technologie betonu I.* Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2005
- [5] *ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA, Cement – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití: ČSN EN 197-1.* Praha: Výzkumný ústav maltovin Praha, s.r.o. 2012
- [6] *Druhy cementů. EBETON.* [online]. [cit. 2018-10-11].
Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/druhy-cementu>
- [7] HLAVÁČ, Jan. *Základy technologie silikátů.* Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1981, 516 s
- [8] *Ceník 2018. CEMEX.* [online]. [cit. 2018-10-11].
Dostupné z: https://www.cemex.cz/documents/46856796/46996285/Cenik_CEMEX_betonarna_Ledec_nad_Sazavou.pdf/97ad2359-339e-20f4-a575-4bc787879539
- [9] *ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA, Kamenivo do betonu: ČSN EN 12620+A1.* Praha. 2008
- [10] *Kamenivo v betonu. MujBeton.cz.* [online]. [cit. 2018-10-11].
Dostupné z: <http://www.mujsbeton.cz/kamenivo-v-betonu>
- [11] *Frakce kameniva. EBETON.* [online]. [cit. 2018-10-11].
Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/frakce-kameniva>
- [12] *Ceník kameniva. Realma pískovna Dolany.* [online]. [cit. 2018-10-11].
Dostupné z: <https://www.piskovnadolany.cz/cenik>
- [13] *Záměsová voda do betonu. MujBeton.cz.* [online]. [cit. 2018-10-14].
Dostupné z: <http://www.mujsbeton.cz/zamesova-voda-do-betonu>

- [14] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA, *Záměšová voda do betonu – Specifikace pro odběr vzorků, zkoušení a posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané při recyklaci v betonárně, jako záměšové vody do betonu: ČSN EN 1008. Opr.1.* Praha: STAVCERT s.r.o. 2004.
- [15] HELA, Rudolf. Příměsi do betonu. *Pozemní stavby*. Praha: Beton TKS, 2/2015, s. 4-10. ISSN 1213-3116
- [16] *Příměsi. EBETON*. [online]. [cit. 2018-10-14].
Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/primesi>
- [17] *Přísady do betonů a malt. MCT.cz*. [online]. [cit. 2018-10-14].
Dostupné z: <https://www.mct.cz/soubor/prisady-do-betonu-i/>
- [18] TÁBORSKÝ Tomáš a Petr Schlattauer. *Urychlovače tuhnutí a tvrdnutí betonu. ASB portál*. [online]. [cit. 2018-10-14].
Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/zaklady-a-hrubavstavba/cement-a-beton/urychlovace-tuhnuti-atvrdni-betonu>
- [19] *Betonové vodonepropustné konstrukce. Izolace.cz*. [online]. [cit. 2018-10-17].
Dostupné z: <https://www.isolace.cz/clanky/betonove-vodonepropustne-konstrukce/>
- [20] PAZDERKA, Jiří a Eva BURGETOVÁ. Krystalizační hydroizolace. *Stavitel*. 6/2008, Příloha. ISSN 1210-4825
- [21] PAZDERKA, Jiří. *Principy použití krystalizačních hydroizolací. ASB portál*. [online]. [cit. 2018-10-17].
Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/zaklady-a-hrubavstavba/cement-a-beton/principy-pouziti-krystalizacnich-hydroizolaci>
- [22] DROCHYTKA, Rostislav a Pavla Matulová a Pavel Dohnálek. *Současné hydroizolační krystalizační látky. ASB portál*. [online]. [cit. 2018-10-17].
- [23] PAZDERKA, Jiří. Jak nahlížet na krystalizační příměsi do betonu. *Pozemní stavby*. Praha: Beton TKS, 2/2016, s. 28-29. ISSN 1213-3116
- [24] KROPÁČEK, Michal a Jiří Šafrata. Vliv sekundární krystalizace na vlastnosti betonu. *Pozemní stavby*. Praha: Beton TKS, 2/2015, s. 52-54. ISSN 1213-3116

- [25] PAZDERKA, Jiří. *Bílé vany vs. povlakové hydroizolace – věčná rivalita*. *tzbinfo.cz*. [online]. [cit. 2018-10-18].
Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/izolace-proti-vode-a-radonu/9432-bile-vany-vs-povlakove-hydroizolace-vecna-rivalita>
- [26] COUFAL, Robert a Jan L. Vitek a Kristýna Chmelíková. *Technologie betonu pro vodonepropustné konstrukce – bílé vany*. *Pozemní stavby*. Praha: Beton TKS, 2/2015, s. 12-17. ISSN 1213-3116
- [27] COUFAL, Robert. *Permacrete – beton vyvinutý speciálně pro bílé vany*. *TGB – Metrostav*. [online]. [cit. 2018-10-18].
Dostupné z: http://www.tbgmestrovstav.cz/fileadmin/user_upload/napsali_o_nas/clanky_ke_stazeni/050_051_MAT09.pdf
- [28] SIKA CZ. *Sika WT-200 P, technický list*. Praha. 2013
- [29] SIKA CZ. *Sika WT, prospekt*. Praha. 2013
- [30] *Stránky společnosti Daradi Ceramic*. [online]. [cit. 2018-10-20].
Dostupné z: <https://www.doradiceramic.ro/sika-construction/aditivipentru-mortare-si-betoane/impermeabilizanti-betoane/sika-wt-200-p>
- [31] NEKAP s.r.o. *Xypex Admix C-100 (NF), technický list*. Praha
- [32] *Stránky společnosti Xypex.com* [online]. [cit. 2018-10-20].
Dostupné z: <https://www.xypex.com/>
- [33] *Aquacentrum Barrandov. Xypex.com*. [online]. [cit. 2018-10-20].
Dostupné z: <https://www.xypex.com/projects/projectsearch/Detail?projectid=9499>
- [34] *Stanice Tsuen Wan West MTR. Xypex.com*. [online]. [cit. 2018-10-20].
Dostupné z: <https://www.xypex.com/projects/projectsearch/Detail?projectid=5603>
- [35] *Budova Doha. Xypex.com*. [online]. [cit. 2018-10-20].
Dostupné z: <https://www.xypex.com/projects/projectsearch/Detail?projectid=17508>
- [36] Redrock construction. *Krystol Mix, koncentrát, technický list*. Praha
- [37] *Krystol Mix. Redrock-cz.com*. [online]. [cit. 2018-10-20].
Dostupné z: http://www.redrockcz.com/katalog/index.php?id_product=82&controller=product
- [38] *Akvatron. Akvatron 12, technický list*. Praha
- [39] *Balchem,s.r.o., Waretizol Admix, technický list*. Praha. 2013

- [40] *Drizoro Construction Products. Maxseal Super Admix.* Praha
- [41] *Artesa capillary dry s.r.o. H krystal mix.* Praha. 2013
- [42] *Hydroizolace spodní stavby. fast10.vsb.cz.* [online]. [cit. 2018-10-21].
Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/perina/ps1esf/hydroizolace.html>
- [43] *Sortiment. Stavebniny DEK.* [online]. [cit. 2018-10-21].
Dostupné z: https://www.dek.cz/produkty/detail/1010151220-elastek-40-special-mineral-role-7-5m2?tab_id=popis
- [44] KOLEKTIV PRACOVNÍKŮ DEK. *Fólie Alkorplan 35034 a hydroizolační systém duadlek, montážní návod.* Praha: DEK a.s., 2016, 56 s.
- [45] KRÄTSMAR-ŠMOGRIVIŠ, Juraj. *Izolace spodních staveb – použití bentonitových izolačních systémů.* izolac.cz. [online]. [cit. 2018-10-21].
Dostupné z: <https://www.isolace.cz/clanky/izolace-spodnich-staveb-pouziti-bentonitovych-izolacnich-systemu/>
- [46] *CEMto bent DS Double Seal. CEMto bent.* [online]. [cit. 2018-10-21].
Dostupné z: https://www.naulankanta.fi/files/cemtobent_ds_double_sealwaterproof.pdf
- [47] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA, *Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím. ČSN EN 12350-2.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2009.
- [48] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA, *Zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost: ČSN EN 12350-6.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2009.
- [49] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA, *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu: ČSN 12390-7.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2009.
- [50] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA, *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles: ČSN EN 12390-3.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2012.
- [51] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA, *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles: ČSN EN 12390-5.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2009.
- [52] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA, *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou: ČSN EN 12390-8.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2009.

- [53] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA, *Stanovení vlhkosti, nasákavosti a vzlínavosti betonu: ČSN 73 1316*. Federální úřad pro normalizaci a měření, 1989.
- [54] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA, *Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda: ČSN EN 206+A1*. 2018

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ČSN	Česká technická norma
ČSN EN	Česká technická norma, která zavádí do soustavy českých norem evropskou normu
DPH	Daň z přidané hodnoty
CHRL	Chemické rozmrazovací látky
ČOV	Čistírna odpadních vod
TP ČBS	Technická pravidla České betonářské společnosti
PVC – P	Měkčený polyvinylchlorid
SBS	Styren-butadien-styren
XPS	Extrudovaný polystyren

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1- Složení cementů	12
Obrázek 2-Sika WT - 200 P	24
Obrázek 3-Xypex Admix C–1000 NF	26
Obrázek 4-Aquacentru Barrandov.....	27
Obrázek 5- Mrakodrap Doha.....	28
Obrázek 6 - Redrock Krystol Mix	28
Obrázek 7 - Elastek 40 special mineral	33
Obrázek 8 - PVC - P Alkorplan 35034 1,5 mm	34
Obrázek 9- CEMtobent DS Double Seal.....	36
Obrázek 10 - použitý portlandský cement CEM I 42,5 R	40
Obrázek 11 - použité kamenivo rozdělené dle frakcí.....	41
Obrázek 12 - Zvolený superplastifikátor.....	41
Obrázek 13 - Váha Transporta	44
Obrázek 14 - Laboratorní váha Kern 572.....	44
Obrázek 15 - Použitá míchačka pro záměs 75 l	44
Obrázek 16 - Použitá míchačka pro záměs 20 l	45
Obrázek 17 - Vibrační stůl	45
Obrázek 18 - Ocelové formy – trámce 40x40x160 mm.....	45
Obrázek 19 - plastové formy – krychle a=150 mm.....	46
Obrázek 20 - Vybavení na zkoušku sednutí kužele	46
Obrázek 21 - Zatěžovací lis EDB 400 s maximální možnou silou v tlaku do 4000 kN.....	46
Obrázek 22 - Vodotlačná stolice	46
Obrázek 23 - Zatěžovací lis od firmy MTS.....	46
Obrázek 24 - Suroviny pro záměs XYP 2	49
Obrázek 25 - Přidávání přísady Krystol Mix pro záměs KRYS 1	49
Obrázek 26 - Míchání řídké směsi záměsové vody s přísadou Xypex Admix C – 1000NF pro záměs XYP 2.....	49
Obrázek 27 - Připravená záměs KRYS 2	49
Obrázek 28 – Betonáž záměsi KRYS 1 do plastových krychlových forem uložených na vibračním stole	50
Obrázek 29 - Překrytí vzorků fólií na 24 hodin pro zabránění vysušování....	50

Obrázek 30 - Vzorky SIKA 1 po 24 hodinách od betonáže připravené na odbedňování	50
Obrázek 31 - Pomůcky na odbedňování vzorku z plastových forem.....	50
Obrázek 32 - Popsané vzorky KRYŠ 1, připravené na uložení do rozdílných prostředí	51
Obrázek 33 - Část vzorků KRYŠ 1 ponořené do vody	52
Obrázek 34 - Vzorky uložené na roštu ve vlhku	53
Obrázek 35 - Vzorky uložené v běžném prostředí laboratoře.....	54
Obrázek 36 - Plnění kužele	56
Obrázek 37 - Propichování tyčí.....	56
Obrázek 38 - Vytahování formy.....	56
Obrázek 39 - Měření hodnoty sednutí kužele záměsi KRYŠ 1–30 mm	57
Obrázek 40 - Měření hodnoty sednutí kužele záměsi XYP 1–28 mm.....	57
Obrázek 41 - Měření hodnoty sednutí kužele záměsi SIKA 1–40 mm.....	57
Obrázek 42 - Vážení vzorků.....	61
Obrázek 43 - Měření přesných rozměrů vzorků.....	61
Obrázek 44 - Připravené trámce pro měření pevnosti v tahu ohybem	70
Obrázek 45 - Trámce v době porušení	70
Obrázek 46 - Průsak tlakovou vodou KRYŠ1-voda	74
Obrázek 47 - Průsak tlakovou vodou KRYŠ1-vlhko	74
Obrázek 48 - Průsak tlakovou vodou KRYŠ1-mráz	74
Obrázek 49 - Průsak tlakovou vodou KRYŠ1-běžné.....	74
Obrázek 50 - Průsak tlakovou vodou KRYŠ2	75
Obrázek 51 - Průsak tlakovou vodou XYP1-voda	75
Obrázek 52 - Průsak tlakovou vodou XYP1-vlhko.....	75
Obrázek 53 - Průsak tlakovou vodou XYP1-mráz.....	75
Obrázek 54 - Průsak tlakovou vodou XYP1-běžné	75
Obrázek 55 - Průsak tlakovou vodou XYP2	75
Obrázek 56 - Průsak tlakovou vodou SIKA1-voda.....	76
Obrázek 57 - Průsak tlakovou vodou SIKA1-vlhko	76
Obrázek 58 - Průsak tlakovou vodou SIKA1-mráz	76
Obrázek 59 - Průsak tlakovou vodou SIKA1-běžné	76
Obrázek 60 - Průsak tlakovou vodou SIKA2.....	76
Obrázek 61 - Použitá sušárna WSU 400	78

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1- Rozdělení cementů dle složení.....	11
Tabulka 2- Rozdělení cementu dle pevnostní třídy.....	12
Tabulka 3- Normové řady sít.....	14
Tabulka 4- Složení zkoušených betonových vzorků.....	23
Tabulka 5- Obsah krystalizačních přísad	23
Tabulka 6- Doporučený návrh receptury betonové směsi.....	25
Tabulka 7 - Označení připravovaných záměsí	38
Tabulka 8 - Počet uložených vzorků ve všech prostředích	38
Tabulka 9 - Počet potřebných zkušebních těles na zkoušky	39
Tabulka 10 - Složení betonových směsí na 1 m ³	42
Tabulka 11 - Složení betonových směsí na záměsí o objemu 75 a 20 litrů ...	43
Tabulka 12 - Hodnoty nedostatečného množství krystalizačních přísad	54
Tabulka 13 - Klasifikace konzistence čerstvého betonu dle zkoušky sednutím kužele.....	55
Tabulka 14 – Výsledky klasifikace konzistence	56
Tabulka 15 - Vypočtená objemová hmotnost čerstvého betonu všech záměsí.....	59
Tabulka 16 - Zprůměrované hodnoty objemových hmotností vzorků.....	61
Tabulka 17 - Výsledné hodnoty naměřených pevností v tlaku	63
Tabulka 18 - Výsledné hodnoty pevností v tahu ohybem	66
Tabulka 19 - Harmonogram ukládání vzorků do vodotlačné stolice a jejich stáří	71
Tabulka 20 - Maximální povolené hloubky průsaku dle TP ČBS 02 – Bílé vany	71
Tabulka 21 - Hodnoty naměřených hloubek průsaků	72
Tabulka 22 - Finální navážené hmotnosti a vypočtená nasákavost	77
Tabulka 23 - Finanční náročnost s použitím přísady Xypex Admix C-1000NF	80
Tabulka 24 - Finanční náročnost s použitím přísady Krystol Mix koncentrát.....	80
Tabulka 25 - Finanční náročnost s použitím přísady Sika WT-200P.....	80

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 - Srovnání pevností betonu v tlaku	23
Graf 2 - Objemová hmotnost čerstvého betonu	58
Graf 3 - Objemová hmotnost ztvrdlého betonu po 28 dnech	60
Graf 4 - Pevnost betonu v tlaku po 28 dnech	64
Graf 5 - Pevnost v tahu za ohybu po 28 dnech.....	67
Graf 6 - Nárůst zatížení při zkoušce v tahu ohybem u těles uložených ve vodě	67
Graf 7 - Nárůst zatížení při zkoušce v tahu ohybem u těles uložených ve vlhku	68
Graf 8 - Nárůst zatížení při zkoušce v tahu ohybem u těles uložených v mrazu.....	68
Graf 9 - Nárůst zatížení při zkoušce v tahu ohybem u těles uložených v běžném prostředí	69
Graf 10 - Nárůst zatížení při zkoušce v tahu ohybem u těles obsahujících snížené množství přísady	69
Graf 11 - Hloubka průsaku tlakovou vodou.....	73
Graf 12 - Nasákavost.....	78

SEZNAM PŘÍLOH

- | | |
|-----------|--|
| Příloha 1 | Technický list SIKA WT-200P |
| Příloha 2 | Technický list Xypex Admix C-1000NF |
| Příloha 3 | Technický list Krystol Mix, koncentrát |
| Příloha 4 | Technický list CEM I 42,5 R |
| Příloha 5 | Produktový list Sika ViscoCrete – 20 Gold CZ |