

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STAVEBNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2017**

**JAN KOVÁŘ**

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta stavební  
Katedra betonových a zděných konstrukcí

# **Krystalizační přísady a odolnost betonu proti působení tlakové vody**

## **Bakalářská práce**

Vypracoval: Jan Kovář  
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Bílý, Ph.D.  
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Praha 2017



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Kovář</u>	Jméno: <u>Jan</u>	Osobní číslo: <u>424355</u>
Zadávající katedra: <u>Katedra betonových a zděných konstrukcí</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Konstrukce pozemních staveb</u>		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Krystalizační přísady a odolnost betonu proti působení tlakové vody</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Crystalline waterproofing additives and the resistance of concrete to water under pressure</u>	
Pokyny pro vypracování: V rámci bakalářské práce vypracujte: - Přehled krystalizačních přísad nabízených na trhu, jejich charakteristiku, přehled možností využití. - Přehled alternativních řešení pro zajištění odolnosti betonu proti tlakové vodě. - Experiment, kterým se prokáže, jaký je vliv krystalizační přísady na odolnost betonu proti působení tlakové vody. - Experiment, kterým se prokáže, jaký je vliv zvýšeného obsahu cementu v betonu na odolnost betonu proti působení tlakové vody. - Porovnání vlivu krystalizační přísady s vlivem zvýšeného obsahu cementu z hlediska technologického i ekonomického	
Seznam doporučené literatury: - Skripta Fakulty stavební ČVUT z oblasti technologie a navrhování betonových konstrukcí a z oblasti konstrukcí pozemních staveb. - Odborný časopis Beton TKS. - Technické podklady výrobců krystalizačních přísad. - Impaktované časopisy pokrývající oblast technologie betonu (zejména Cement and Concrete Research, Cement and Concrete Composites).	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>Ing. Petr Bílý, Ph.D.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>20.2.2017</u>	Termín odevzdání bakalářské práce: <u>28.5.2017</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské 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“.*

Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)
-----------------------	---------------------

---

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně s využitím poskytnutých odborných konzultací. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Jsem si vědom toho, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., ve znění zákona č. 81/2005 Sb. (autorský zákon).

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Ústřední knihovně Fakulty stavební a Fakulty architektury ČVUT.

V Praze dne

.....  
*Jan Kovář*

---

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval panu Ing. Petru Bílému, Ph.D., vedoucímu mé bakalářské práce, za cenné rady a připomínky při konzultacích této bakalářské práce. Dále chci poděkovat panu Ing. Vladimíru Veselému a panu Ing. Stanislavovi Smiřinskému, za odborné konzultace a možnost provádět experiment v akreditované zkušební laboratoři Betotech, s.r.o.

---

## **Souhrn**

Tato bakalářská práce je zaměřena na otestování vlivu krystalizační přísady do betonu. Jejím obsahem je přehled dostupných krystalizačních přísad, které jsou nabízeny na trhu, jejich charakteristiky a možnosti využití. Dále jsou řešeny alternativní způsoby zajištění betonu proti tlakové vodě. Hlavním tématem je testování konkrétní přísady do betonu od firmy Xypex. Na betonu s přísadou je proveden experiment, který prokáže, jaký je její vliv na odolnost betonu proti působení tlakové vody a dále následuje porovnání výsledků na betonu s přidaným množstvím cementu. Vliv přidané přísady i přidaného cementu je vyhodnocen jak z hlediska ekonomického, tak z hlediska technologického.

## **Klíčová slova**

Beton, krystalizační, přísady, izolace, Xypex, pevnost, průsak

---

## **Summary**

This bachelor diploma thesis is focused on testing of influence of a crystalline waterproofing concrete additive. It contains overview of available crystalline waterproofing additives, which are offered on the market, their characteristics and possibilities of use. There are addressed alternative ways of insulation against pressured water. Main topic is testing of specific concrete additive from Xypex company. An experiment is carried out on concrete with the additive to demonstrate what is its impact on the durability of concrete against water under pressure. The results are compared with concrete containing increased amount of cement. Effects of added ingredients and added cement are evaluated both in economic terms and in terms of technology.

## **Keywords**

Concrete, crystallization, additives, isolation, Xypex, strength, depth of penetration of water

---

# Obsah

<b>1. Úvod .....</b>	<b>8</b>
<b>2. Přehled krystalizačních přísad nabízených na trhu, jejich charakteristika a možnosti využití .....</b>	<b>10</b>
2.1. Přísady, příměsi a jaký je mezi nimi vlastně rozdíl .....	10
2.2. Chemické složení krystalizačních přísad.....	10
2.3. Příklady využití krystalizačních přísad.....	11
2.4. Xypex Admix C - 1000.....	13
2.5. Výčet dalších výrobců nabízejících podobné krystalizační přísady .....	15
2.6. Možnosti využití krystalizačních přísad obecně dle technických listů a shrnutí vlastností .....	17
<b>3. Přehled alternativních řešení pro zajištění odolnosti betonu proti tlakové vodě ....</b>	<b>17</b>
3.1. Možnosti hydroizolace spodní stavby .....	18
3.2. Černá vana .....	18
3.3. Hnědá vana .....	18
3.4. Bílá vana .....	19
<b>4. Popis experimentu. Výroba a příprava vzorků. ....</b>	<b>19</b>
4.1. Cíl experimentu .....	19
4.2. Návrh receptur testovaných betonů .....	20
4.3. Plán experimentu .....	21
4.4. Použité přístroje .....	23
4.5. Příprava a míchání jednotlivých typů betonu .....	25
4.6. Ukládání krychlí v lomu Velká Amerika a první testování .....	28
4.7. První vytažení krychlí z vody v lomu a druhé testování vzorků .....	31
4.8. Druhé vytažení krychlí z vody v lomu a třetí testování vzorků.....	34
<b>5. Zkoušky připravených vzorků .....</b>	<b>35</b>
5.1. Zkouška sednutí kužele.....	35
5.2. Měření objemové hmotnosti čerstvého betonu.....	38
5.3. Měření objemové hmotnosti ztvrdlého betonu .....	40
5.4. Měření pevnosti v tlaku zkušebních těles .....	42
5.5. Měření hloubky průsaku tlakovou vodou .....	44
5.6. Měření nasákavosti betonových těles .....	50
<b>6. Ekonomická náročnost použití krystalizačních přísad .....</b>	<b>52</b>
<b>7. Závěr .....</b>	<b>54</b>
<b>8. Literatura .....</b>	<b>55</b>



---

# 1. Úvod

Beton, železobeton, ocel, zdivo a dřevo. Všechny tyto pojmy jsou velmi často skloňovány v oboru stavebnictví a ne jinak tomu bylo i ve stavební minulosti lidstva. Zatímco zdící prvky, zejména z přírodního kamene, byly používány od dob, kdy se lidé začali přesouvat z jeskyní do vlastních obydlí, beton a zejména železobeton má minulost oproti těmto materiálům poměrně krátkou. První zmínky o betonu coby materiálu s podobným charakterem odpovídajícím dnešnímu betonu se dají datovat k období starověku. Podobnou charakteristikou rozumíme, že se konstrukční prvek skládal z plniva (kameniva), pojiva (tehdy směsí vápna a moučky nebo sopečného tufu) a vody.

*„Řekové již ve 2. století př. n. l. navazovali na znalosti Féničanů a začali používat novou zdící techniku – masivní zdi byly tvořeny dvěma lícovými stěnami z tesaného kamene. Různě široká mezera mezi nimi byla vyplňována litou maltou, prokládanou lomovým kamenem. Tento druh zdiva, nazývaný Řeky „emplekton“, urychlil výstavbu a de facto zavedl systém ztraceného bednění.“ [1]*

Kromě emplektonu lze Řekům připsat i pravděpodobně první využití litého betonu, který byl použit pro známý Pantheon v Římě, jehož konstrukce kopule však byla navržena pouze pro tlakové namáhání. [28] Proto se způsob využití betonu u starých antických chrámů a dnešních budov nedá srovnat. Za vše můžeme být vděční možnosti doplnit funkčnost betonu pomocí vyztužení zejména výztuží z oceli. Beton jako stavební materiál zažil velký rozvoj především díky objevu výroby cementu.

*„Počátky moderního betonu jsou spjaty s poznáním technologie výroby hydraulických pojiv, zejména cementu. Objev potřeby pálení základní suroviny na mez slinutí byl patentován v polovině 19. století. Od Všeobecné světové výstavy v Paříži v roce 1900, se beton používá jako jeden ze základních konstrukčních materiálů.“ [1]*

Jak vyplývá z předchozího odstavce, tak beton, jak ho známe dnes, je používán zhruba 120 let. Díky zvýšení pevností pomocí kombinace kvalitního cementu a betonářské výztuže lze dnes z betonu stavět dříve nemyslitelné konstrukce velmi variabilních rozponů a tvarů.

Dalším problémem, se kterým se budovy jakéhokoliv typu vždy potýkaly, byly vlivy přírodních živlů, zejména potom vody. Rostoucí požadavky na kvalitu staveb a slušné podmínky pro život v budově jsou zcela neslučitelné se situací, kdy do domu zatéká. Dešťová voda vždy byla řešena stavbou střechy s rozličnou krytinou, či jakýmkoliv materiálem, který dokázal obstojně odvést vodu z povrchu střechy na požadované místo. Větším problémem je

---

voda podpovrchová, kterou lze z pravidla odvést jen dočasně, problémům lze předejít vhodným výběrem základových poměrů a reliéfu terénu.

Dříve se pro izolování spodní stavby používal jíl, který byl například hutněn do mezery ztraceného bednění podzemní zdi. S vývojem stavitelství přišly i nové možnosti jako bílá, hnědá či černá vana. O jednotlivých možnostech je více psáno později.

Nyní bude představen pojem bílá vana. Jedná se o železobetonovou konstrukci, jejíž betonová směs a vyztužení společně zajišťují vodonepropustnost železobetonové konstrukce tak, jak je to požadováno normou pro stavbu daného účelu. S čím dál tím častějším navrhováním železobetonových konstrukcí se začaly používat přísady a příměsi do betonu, které mají zajistit betonu potřebné vlastnosti, pokud například nechceme měnit základní složení poměru plniva, pojiva a vody. V celku novou přísadou je takzvaná krystalizační přísada do betonu. Jedná se o přísadu, která má za úkol vylepšit vodonepropustné vlastnosti betonu. Příklad funguje tak, že při působení vody na vybetonovanou konstrukci se přísada zaktivuje a začne v struktuře betonu krystalizovat – její krystalky by měly zajistit utěsnění velmi malých trhlin a pórů v betonu, a tím v konstrukci zabránit průsaku vody. O účinnosti a smysluplnosti použití těchto přísad se dlouhodobě vedou diskuse a názory jednotlivých odborníků se různí. Cílem práce je proto pomocí speciálně navrženého experimentu prakticky ověřit a vyzkoušet vliv krystalizační přísady na vodonepropustnost betonu a porovnat její účinnost s vlivem pouhého zvýšení množství cementu v betonové směsi.

Celý experiment byl prováděn v akreditované zkušební společnosti Betotech dle standardu ČSN EN ISO/IEC 17025 [29]. Konkrétně na pracovišti v Berouně v areálu Českomoravského cementu. Všechny zkoušky byly provedeny pod odborným dozorem zaměstnanců (pracovníků) a plán experimentu byl sestaven s pomocí vedoucích laboratoře.

---

## 2. Přehled krystalizačních přísad nabízených na trhu, jejich charakteristika a možnosti využití

### 2.1. Přísady, příměsi a jaký je mezi nimi vlastně rozdíl

S rostoucími požadavky na betonové konstrukce začaly do prodeje přicházet materiály, které měly za úkol vylepšit betonovou směs. Beton je tradiční stavební materiál se specifickými vlastnostmi, který má jak typické přednosti (pevnost v tlaku, odolnost) tak i svá omezení a nevýhody (nízkou pevnost v tahu, velkou objemovou hmotnost). I přes to je ale jedním z nejvýznamnějších doposud objevených stavebních materiálů. Účel jakékoliv přísady či příměsi je takový, aby usnadnila provádění samotné konstrukce (zpracovatelnost, čerpatelnost, probetonování detailů), nebo aby zajistila ztvrdlému betonu nějaké konkrétní vlastnosti dodatečně (odolnost proti vodě, mrazu, rozmrazovacím látkám, barevnost), případně kombinace obojího. Některé přísady jsou ve formě suchého jemného prášku a některé mohou být i tekuté nebo rozptýlené v suspenzi.

Jaké známe druhy přísad a k čemu nám slouží? Přísada je chemická látka, která upravuje některou z vlastností čerstvého nebo ztvrdlého betonu. Dávkování probíhá v malém množství maximálně několika jednotek procent hmotnosti cementu. Dle funkce rozeznáváme mnoho druhů: plastifikátory, superplastifikátory, zpomalovače a urychlovače tuhnutí a tvrdnutí, provzdušňující přísady a mnohé další. Jednou z takovýchto přísad je například i testovaná krystalizační přísada – Xypex. [2]

Příměsi jsou práškovité anorganické látky přidávané do betonu za účelem zlepšení některých vlastností čerstvého nebo ztvrdlého betonu. Mohou být buďto inertní – nezúčastňují se procesu hydratace, příkladem lze uvést jemně mleté kamenivo či pigment. Nebo mohou být takzvaně latentně hydraulické – tyto příměsi mají schopnost zúčastnit se hydratace a tvrdnou ve vodním prostředí, za zmínění zástupců stojí popílek či křemičitý úlet. [3]

### 2.2. Chemické složení krystalizačních přísad

O konkrétních chemických látkách v krystalizačních přísadách toho příliš veřejně známo není. Dle bezpečnostního listu pro Xypex Admix od firmy Xypex však lze říci, jaké jsou hlavní složky krystalizační přísady. Největší podíl ve složení má portlandský cement, který je v přísadě obsažen přibližně v množství 80–90 %. Druhou složkou s výrazným podílem je hydroxid vápenatý. Ten zabírá 10–20 % složení. Výhodou jeho přidání do betonové směsi je

---

zvýšení alkalického prostředí betonu, čímž se zvyšuje odolnost proti chemickým vlivům. Poslední známou složkou, která je ve velmi malém množství přidána do krystalizační přísady je redukční činidlo – to ale nemá na chemické složení betonu žádný vliv a je běžnou složkou pytlovaného cementu. [16]

### 2.3. Příklady využití krystalizačních přísad

První firmou, která začala vyrábět krystalizační materiály, je Xypex Chemical Corporation. Tato firma byla založena roku 1970 v Kanadě. V této části je uvedeno několik větších staveb, u kterých byla použita přímo přísada Xypex Admix.

Zajímavým projektem je stavba nesoucí název 313@Somerset. Jedná se o známé obchodní centrum v Singapuru. Zvláštností návrhu této stavby byl problém, že středem staveniště procházel kanál a v okolí staveniště bylo výrazně zvýšené množství síranů v půdách. Kanál musel být dočasně přesměrován, aby pro něj mohla být na stavbě vybetonována nová konstrukce. V novém kanále byla použita přísada Xypex Admix C – 1000 NF pro konstrukci betonové desky a stěn kanálu. V současnosti kanál prochází sklepní úrovní budovy. [4]



*Obr. 1, 2: Vlevo původní kanál, vpravo vybetonovaná konstrukce vedoucí podzemím obchodního centra (zdroj: [4])*

Další zajímavé uplatnění přísady bylo nalezeno při projektování stavby 409 and 499 Illinois. Jedná se o dvě kancelářské budovy v San Franciscu. Situované jsou přibližně 50 metrů od sanfranciského zálivu, který je zálivem Tichého oceánu. Nezbytnou částí projektu bylo vybudování podzemních garáží ve dvou podzemních podlažích. Pro podzemní garáže byl opět použit Xypex Admix C – 1000 NF, který měl za úkol zajistit jednak odolnost proti tlakové vodě a zároveň zvýšit odolnost betonu proti solím, které jsou v ní obsaženy. Přísada byla použita pro konstrukci bílé vany – pro základovou desku a podzemní obvodové stěny. [5]



Obr. 2,3: Vlevo vizualizace kancelářského komplexu, vpravo fotografie z výstavby (zdroj: [5])

Jiné využití krystalizačních přísad lze nalézt u objektů, u kterých je místo ochrany vnitřního prostoru před vodou naopak požadováno zadržení vody uvnitř objektu.

Příkladem lze zmínit Aquacentrum Barrandov v Praze. Zde byl použit Xypex Admix C – 1000 při betonování základové desky a stěn plaveckého bazénu. V detailech napojení betonových konstrukcí byl aplikován nátěr Xypex Patch'n Plug. [6]



Obr. 4, 5: Vlevo snímek hotového areálu, vpravo fotografie z výstavby (zdroj: [6])

Méně tradiční použití přísady nastalo v případě zoologické zahrady. Konkrétně se jednalo o výběh pro polární medvědy v buffalské zoo. Bylo potřeba zajistit, aby voda z konstrukce za žádných okolností neunikala, protože by bylo narušeno stanoviště polárních medvědů, což by mohlo vést k uzavření expozice. Pro zajištění správné funkce betonové konstrukce byl použit Xypex Admix C - 500 NF. [7]



Obr. 6, 7: Vlevo fotografie ze stavby výběhu, vpravo vizualizace celé expozice (zdroj: [7])

Po předchozích dvou využitích v základových konstrukcích a v konstrukcích zadržujících vodu je poslední zástupce z řad dopravních staveb – konkrétně tunelů. Řeč je o Mitchell Interchange Tunnels, které leží v USA ve Wisconsinu. Projekt zahrnuje tři tunely, z nichž nejkratší měří 178 metrů a minimální výška je 3,6 metru. Stěny tunelu jsou tvořeny z převrtávaných pilotových stěn v kombinaci se stříkaným betonem. Následně byl prostor mezi pilotovými stěnami vykopán a proběhla betonáž základové desky. Pro zajištění vodotěsnosti byla použita kombinace produktů Xypex Concentrate, který byl použit jako nátěr ve spojích betonových konstrukcích či v jiných potřebných místech, a Xypex Admix C – 500, ten byl přidán do stříkaného betonu. [8]



Obr. 8, 9: Vlevo převrtávaná pilotová stěna, vpravo stěna po aplikaci stříkaného betonu (zdroj: [8])

## 2.4. Xypex Admix C - 1000

Hlavní přísadou, na níž je koncipována bakalářská práce a na které bude založen experiment, je přísada od společnosti Xypex Chemical Corporation. Tato společnost nabízí rozvinutou řadu produktů se spoustou možných aplikací. Nabízí zároveň komplexní řešení provázáním jednotlivých výrobků s jejich vzájemnou podpůrnou funkcí. Pro různé výrobky firmy Xypex Chemical Corporation je společnou charakteristikou vysoká cena. O této

---

problematicke je pojednáno v kapitole 6. Firma původně vyráběla směs pro vytvoření nátěru s hydroizolační a sanační funkcí. Jako zástupce lze jmenovat například Xypex Concentrate. Tento produkt je směsí portlandského cementu s velmi jemným křemičitým pískem a aktivní chemickou bází Xypex Concentrate. Materiál tedy nefunguje jako přísada, ale po ošetření betonového podkladu se nanáší na vodorovné a svislé konstrukce za účelem zvýšení odolnosti proti průsaku vody. Příkladem jiného výrobku může být Xypex Patch'n Plug. Zde se jedná o směs přímo na rychlé opravy poruch betonových konstrukcí pro utěsnění prasklin a tím přísunu vody do konstrukce.

Společnost dále vyvinula novou směs s označením Admix C – 1000 NF. Jedná se o práškovou přísadu do betonu obsahující aktivní chemickou bází Xypex Admix. Tento výrobek se přidává přímo při výrobě pro dosažení vodonepropustnosti ztvrdlého betonu za současného pozitivního ovlivnění zpracovatelnosti čerstvého betonu a lehkého navýšení pevnosti betonu. Přísada Admix C – 1000 NF má stejnou chemickou účinnost ve struktuře betonu jako výše jmenované nátěrové hmoty. Řada Xypex Admix C – 1000 má doporučené dávkování 1 – 3 % hmotnosti cementu. Řada Xypex Admix C – 1000 NF má doporučené dávkování 0,5 – 1,5 % hmotnosti cementu, protože je nabízena jako koncentrovanější verze výrobku.

V technickém listu přísady je mimo jiné uvedeno: Vodotěsnost betonové konstrukce by měla být minimálně V12. Označení vodotěsnosti V12 je dle dnes již neplatné normy ČSN 73 1209: Vodostavebný beton [30]. Číslo 12 značí zatížení tlakem 1,2 MPa. Testování vzorku probíhalo postupným zatěžováním po 24 hodinách. Vzorek na otestování V12 byl nejprve zatížen 24 hodin tlakem 0,2 MPa, dalších 24 hodin hodnotou 0,4 MPa, následně 24 hodin hodnotou 0,8 MPa a posledních 24 hodin tlakem 1,2 MPa. Celkem testování probíhalo 96 hodin. Aby testovaný vzorek vyhověl vodotěsnosti V12, tak musel být jeho průsak po 96 hodinách menší než 80 mm. Měření nelze srovnávat s normou ČSN EN 12390–8 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou [22], která se používá v současnosti. Při doporučené dávce 2 % hmotnosti cementu se pevnost betonu zvýší minimálně o 15 %. Tato hodnota se vztahuje vzhledem k doporučenému dávkování na výrobek Xypex Admix C – 1000, ale z technického listu není zřejmé, jak dávkovat koncentrovanější verzi přísady. Dávkování pro Xypex Admix C – 1000 NF je určeno jako 0,5 – 1,5 %. Zpracování probíhá způsobem stejným jako pro běžný beton. Přísadu lze dávkovat buď v suchém stavu do směsi kameniva bez cementu, nebo se aktivuje v záměsové vodě při výrobě čerstvého betonu. Ošetřování povrchu má být zajištěno po dobu minimálně 48 hodin tak, aby byl povrch v trvale vlhkém stavu. Přísadu lze použít všude, kde jsou

---

kladeny vysoké nároky na odolnost proti působení vody a agresivních kapalných chemických látek. [9]

V celkovém pohledu na přísadu Xypex Admix a na její prezentaci produkt působí jako vodonepropustná přísada do betonu. Dle prohlášení o vlastnostech k produktu Xypex Admix [26] se však jedná o práškovou přísadu do betonu a malt zpomalující tuhnutí s bázi Xypex pro zvýšení vodotěsnosti betonu sekundární krystalickou reakcí. Dle normy ČSN EN 934-2+A1 Přísady do betonu, malty a injektážní malty – Část 2: Přísady do betonu – Definice, požadavky, shoda, označení a značení štítkem [27] je tato přísada zařazena jako přísada zpomalující tuhnutí s označením 3.2.8.

## **2.5. Výčet dalších výrobců nabízejících podobné krystalizační přísady**

Firma Xypex Chemical Corporation není jedinou, která vstoupila na trh s krystalizační přísadou a nyní budou uvedeny další podniky, které nabízejí podobný produkt.

Prvním výrobcem, který bude zmíněn, je firma Sika. Ta na trh uvedla produkt s názvem Sika WT – 200 P. Jedná se o těsnící a krystalizační přísadu. Výrobek s označením WT – 100 plní pouze těsnící funkci. Pro řadu výrobků Sika WT je v informačním listu přímo napsané doporučené složení betonové směsi. Za zmínění stojí jednotlivé položky. Lze použít jakékoliv plnivo, cement v množství minimálně  $350 \text{ kg/m}^3$ , vodní součinitel by měl být menší než 0,45 a samotné přísady Sika WT – 200 P je potřeba dodat 1 – 2 % hmotnosti cementu. Obě dvě přísady jsou dodávány ve formě šedého prášku. Zamíchání do betonu probíhá buď tak, že se WT – 200 P přidá přímo do záměsové vody nebo se přísada nejprve míchá minimálně 120 sekund s kamenivem před přidáním cementu a záměsové vody. Následně se vše domíchá po dobu minimálně 60 sekund. [10], [11]

Dalším zjištěným produktem je výrobek s názvem Waterizol ADMIX od firmy Balchem, s.r.o. Doporučení pro složení betonové směsi v technickém listu výrobku je následující. Výrobek je vhodný pro použití s portlandským cementem a aby byla zajištěna vodotěsnost, je doporučen obsah cementu minimálně  $340 \text{ kg/m}^3$  betonu a vodní součinitel nižší než 0,5. Dávkování přísady je 1,2 – 1,6 % hmotnosti cementu. Dávkuje se po přidání kameniva do míchačky, následují ostatní suché složky a nakonec voda. Po dokonalém promíchání všech složek se má upravit konzistence přidávkem vody, tak aby byl zohledněn a



---

využit plastifikační účinek, který přísada zároveň poskytuje. Nevhodná je samozřejmě kombinace s provzdušňovacími přísadami. [12]

Následující produkt nese název KRYSTOL Mix od firmy Redrock Construction s.r.o. U tohoto výrobku výrobce neudává v technickém listu vhodné složení betonové směsi pro zaručenou funkčnost krystalizační přísady. Dávkování probíhá jako obvykle v množství 1,5 – 2 % hmotnosti cementu. Příklad je dodávána v pytlích, které se před vysypáním mají několikrát obrátit, aby došlo k rozdužení obsahu. Lze přidávat jak do míchačky, tak do autodomíhače. Po přidání směsi do promíchávaného betonu je potřeba pokračovat v míchání ještě alespoň 10 minut, aby se směs plně zhomogenizovala. Čas uložení betonu není omezen směsí, ale po 45 minutách začíná přípravek ztrácet plastifikační účinky. [13]

Předposlední výrobek, který zde bude zmíněn, je od firmy ARTESA capillary dry s.r.o. Tato firma nabízí ve svém sortimentu krystalizační přísadu s názvem H krystal mix. I u této přísady jsou u výrobce udána doporučení pro betonovou směs. Ze základních charakteristik se jedná opět o minimální množství cementu, které nesmí být menší než 300 kg/m<sup>3</sup>. Dávkování samotné přísady se pohybuje mezi 1,2 % až 2 % v závislosti na agresivitě podzemní vody. Poměrné přidání vody není zmíněno. Příklad lze přidávat do míchačky či mixu zároveň s dodáním vody a je doporučeno minimálně 10 minut celou směs řádně míchat. [14]

Poslední produkt, který byl v rámci rešerše nalezen, nese název MAXSEAL SUPER ADMIX. Jedná se o výrobek společnosti DRIZORO, s.r.o. Tato společnost nabízí výrobek s názvem MAXSEAK SUPER ADMIX. Doporučení na složení betonové směsi s minimálním množstvím cementu výrobce neuvádí. Dávkování přísady udává jako 0,8 – 2,0 %. Pro kombinaci s jakoukoliv jinou přísadou je doporučeno předem provést zkoušky. Příklad lze přidat do hotové betonové směsi s následným mícháním po dobu minimálně 5 minut pro řádné promísení látek. [15]

---

## **2.6. Možnosti využití krystalizačních přísad obecně dle technických listů a shrnutí vlastností**

Nyní bude shrnuto několik společných charakteristik krystalizačních přísad do betonu bez ohledu na výrobce. Po prostudování technických listů a popisů zpravidla na internetových stránkách výrobců lze říci, co všeobecně pro krystalizační přísady platí a na jaké konstrukce je vhodné je použít.

Co se týká doporučeného množství cementu, tak navzdory tomu, že někteří výrobci neuvádí doporučené minimální množství cementu, jsou zpravidla doporučovány hodnoty v rozmezí 300 – 350 kg/m<sup>3</sup>. Nelze se domnívat, že krystalizační přísady bez doporučení minimálního množství cementu v betonu by dovoľovaly použít cementu výrazně méně, aby byla zajištěna jejich správná funkčnost. Otázkou je, zda je při takovémto doporučeném množství cementu v betonu nutné ještě z nějakého důvodu přidávat krystalizační přísadu. Podle praktických zkušeností je pro zajištění vodonepropustnosti betonu při zvolení správné receptury a navržení vhodného vyztužení dostačující dávka cementu kolem 300 – 320 kg/m<sup>3</sup>. Pro dávkování krystalizačních přísad platí, že se pohybuje na rozmezí všeobecně mezi 1 – 2% hmotnosti cementu.

Způsob přimíchání přísady je často rozdílný a požadavky se liší výrobce od výrobce. Dodatečné promíchání zhruba 15 minut je doporučeno u všech krystalizačních přísad. V technických listech a na internetových stránkách výrobců lze nalézt i údaje, které se týkají lepší zpracovatelnosti a zvýšení pevnosti minimálně o 15 % za předpokladu přidání 2 % krystalizační přísady. Přísada má snižovat nasákavost a propustnost a zvyšovat tím i odolnost betonu proti chemickým vlivům. Pokud se týká použití v konstrukci, tak dle výrobců omezení žádné není a využitelnost přísad je v podstatě možná ve všech případech, kdy je konstrukce ve stálém či častém kontaktu s vodou. Přísadu lze tedy přidat například do konstrukcí typu nádrží ČOV, kanálů, základů staveb – zejména konstrukcí bílých van či jímek.

## **3. Přehled alternativních řešení pro zajištění odolnosti betonu proti tlakové vodě**

V této části je naznačeno, jaké jsou další alternativy zajištění proti tlakové vodě z hlediska využití různých izolačních materiálů.

---

### 3.1. Možnosti hydroizolace spodní stavby

Jak jsem naznačil v úvodu, tak s problémem spodní vody se stavebnictví potýká od jeho počátků. V dnešní době známe 3 druhy zaizolování spodní stavby, a to: černá, hnědá a bílá vana. Z pohledu technologie provádění lze říci, že černá a hnědá vana jsou řešením tzv. povlakovým, bílá vana je řešením bezpovlakové. Zatímco s povlakovými izolacemi přichází složitější řešení návazností spojů a zaizolování prostupů, u bílé vany tyto problémy odpadají, ale na druhé straně přibývají jiné.

### 3.2. Černá vana

Hydroizolace typu černá vana je založena na principu povlakových izolací – spodní stavba je například vyžděna z cihel či jiného vodopropustného materiálu, který je potřeba dodatečně zaizolovat proti působení vody. Izolací černé vany jsou zpravidla asfaltové pásy a PVC folie. Problémy tohoto zaizolování stavby jsou kvalita natavení pásů přes sebe a řešení detailů, jako například prostupů spodní stěnou či návazností v rozích. Doplňkem tohoto systému jsou asfaltové nátěrové hmoty, které se dají aplikovat právě v místech složitějších detailů. Mezi výhody černých van lze zařadit to, že se jedná o známé řešení problému a návrh je jednodušší než v případě bílé vany. Nevýhodou lze spatřovat v komplikacích při návaznostech spojů a složitých detailech prostupů a dále v tom, že může být problém kontrolovat kvalitu provedení u staveb velkého rozsahu. Při ztrátě izolační funkce nelze prakticky nalézt místo porušení a oprava je složitá.

### 3.3. Hnědá vana

Hnědá vana je název pro povlakovou izolaci s využitím bentonitu a jeho izolačních vlastností. Pro komplexní izolaci spodní stavby se využívají bentonitové rohože. Jejich funkce spočívá v navázání okolní zemní vlhkosti, díky čemuž začíná bentonit bobtnat a izolovat spodní stavbu. Častější je použití bentonitových pásů v kombinaci s polyetylenovou (PE) fólií. Hlavním izolantem kombinace obou materiálů je PE fólie, která při narušení propustí vodu, kterou bentonit zastaví svým bobtnáním. Spojování pásů se zajišťuje nasypáním bentonitového prášku mezi přesah jednotlivých pásů a následným zatížením v podobě zásypu.

---

### **3.4. Bílá vana**

Bílá vana je založena na principu, který jsem naznačil v úvodu práce. Jedná se o monolitickou železobetonovou konstrukci, jejíž betonová směs a vyztužení společně zajišťuje vodonepropustnost železobetonové konstrukce tak, jak je to požadováno normou. Lze ji doplnit krystalizační přísadou pro jistotu plnění její funkce.

Pro správnou funkci musíme zajistit stejně jako u předchozích typů izolací několik věcí. Bílou vanu lze provést, pokud splníme podmínku vhodného složení betonu z dostatečně vysoké třídy, otestujeme maximální povolený průsak vody, vývoj hydratačního tepla, a maximální smrštění, dále omezíme šířku trhlin vhodným návrhem konstrukční výztuže, navrhujeme vodotěsné řízené smršťovací trhliny a při provádění dbáme na řádné ošetřování betonu. Výhodou bílých van je bezpochyby zajištění nepropustnosti konstrukce už jen samotnou betonáží spodní stavby bez nutnosti provádět další dodatečné vrstvy izolace. Rychlost a výhoda se projeví u větších staveb. V případě porušení izolační funkce je místo porušení snadno identifikovatelné (průsak vody, trhlina) a je k dispozici spolehlivá sanační metoda – tlaková injektáž.

Bílá vana je však na druhé straně konstrukcí vysoce náročnou na projekt a provedení, což je v jistém smyslu slova nevýhoda. Příprava konstrukce bílé vany je složitá a kázeň při provádění prostupů, styčných spár, při dělení konstrukce na dilatační či smršťovací celky musí být enormní. Návrh výztuží musí být proveden nejen z hlediska statické funkce, ale musí být řešen s ohledem na eliminaci délkových změn konstrukce vlivem smrštění a dotvarování betonu.

## **4. Popis experimentu. Výroba a příprava vzorků.**

### **4.1. Cíl experimentu**

Cílem experimentu bylo zejména ověřit vliv krystalizační přísady Xypex Admix C – 1000 NF na odolnost betonu proti působení tlakové vody ve srovnání s referenčním betonem a betonem se zvýšeným obsahem cementu, dále pak vyhodnotit pevnost betonu v tlaku, odolnost betonu proti průsaku tlakovou vodou a stanovení nasákavosti. Závěrem bylo provedeno srovnání variant z hlediska ekonomického.

## 4.2. Návrh receptur testovaných betonů

Pro experiment jsou navrženy celkem 3 různá složení betonu. Prvním složením je referenční beton – zkráceně REF, který slouží pro porovnání s dalšími modifikovanými recepturami. Druhé složení je REF s přidáním krystalizační přísady Xypex Admix C – 1000 NF, v práci označen jako XYP. Třetí vzorek je opět REF, ale s přidáním množství cementu, značen zkratkou CEM. Konkrétní receptury jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 1: Tabulka složení betonu na 1 m<sup>3</sup>

Návrh složení betonové směsi na 1 m <sup>3</sup>								
Název betonu	Kamenivo [kg]			Cement [kg]	Voda [kg]	Xypex [kg]	Plastifikátor [kg]	Vypočtená objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
	0/4	8/16	11/22					
REF	1000	571	343	287	175	0,000	1,148	2377
XYP	1000	571	343	287	175	2,870	1,148	2380
CEM	938	560	336	331	175	0,000	1,324	2341

Tab. 2: Tabulka složení betonu na 70 litrů (pro záměs v laboratorní míchačce)

Návrh složení betonové směsi na 0,07 m <sup>3</sup> ( 70 litrů)							
Název betonu	Kamenivo [kg]			Cement [kg]	Voda [kg]	Xypex [kg]	Plastifikátor [kg]
	0/4	8/16	11/22				
REF	70,00	40,00	24,00	20,09	12,25	0,00	0,080
XYP	70,00	40,00	24,00	20,09	12,25	0,201	0,080
CEM	65,66	39,20	23,52	23,17	12,25	0,00	0,093

### Použité kamenivo

Pro frakci 0/4 bylo použito drobné těžené kamenivo z pískovny v Zálezlicích. Pro frakce 8/16 a 11/22 bylo dovezeno hrubé drcené kamenivo z lomu v lokalitě Holý Vrch.

### Cement

Pro experiment byl použit cement CEM I 42,5 R z cementárny Radotín.

### Voda

Jako záměsová voda byla použita voda pitná.

### Krystalizační přísada

Testovaná krystalizační přísada má název Xypex Admix C – 1000 NF. Přísada byla přidána v množství 1 % hmotnosti cementu.

---

## Plastifikátor

Za účelem lepší zpracovatelnosti betonové směsi byla použita plastifikační přísada Sika ViscoCrete 1035. Jedná se o univerzální a velmi účinný ztekucovač pro vysoce pevnostní betony. Dávkována byla v množství 0,4 % hmotnosti cementu.

### 4.3. Plán experimentu

Hlavní myšlenkou pro otestování vlivu Xypexu ve výše zmíněných zkouškách betonu bylo vystavit beton s krystalizační přísadou Xypex působení tlakové vody po dostatečně dlouhou dobu, tím simulovat předpokládanou aktivaci krystalizačního procesu a ověřit zlepšení vlastností betonu deklarované dodavatelem. Experiment byl proveden během tří měsíců. Z každé záměsi bylo zhotoveno celkem 20 betonových krychlí. Záměsi byly tři.

Pro nasimulování podmínek bílé vany dvou podzemních podlaží, což je bezpečně 10 metrů hloubky, byl experiment rozdělen do dvou pracovních prostředí. První prostředí bylo vše, co se provádělo v laboratoři. V laboratorních podmínkách bylo ponecháno 30 vzorků betonu, tedy z každé záměsi polovina krychlí. Krychle v laboratoři byly testovány po 28 dnech a po 56 dnech zrání. Druhé prostředí se realizovalo v podmínkách, které simulovaly hydrostatickým tlakem předpokládané použití betonu v konstrukci bílé vany. Tyto podmínky byly přizpůsobeny možnosti aktivace Xypexu, jehož sekundární krystalizace probíhá lépe při zvýšeném tlaku vody a při výskytu vlhkosti uvnitř betonové konstrukce. Druhá část krychlí prvních 28 dní zrání v laboratoři a poté byla převezena na lom Velká Amerika v okrese Beroun. Zde byly krychle ponořeny do hloubky 10 m pro možnost měření parametrů po 28 a 56 dnech. Zkušební tělesa byla po celou dobu vystavena vodnímu tlaku cca 1 atm.

Pořadí testování vzorků bylo následující. Po 28 dnech byla testována první polovina krychlí z laboratoře. Po 56 dnech byla testována druhá polovina krychlí z laboratoře a první polovina krychlí zatížených hydrostatickým tlakem v lomu. Po 84 dnech byla testována druhá část krychlí z lomu.

Na všech záměsích byla provedena zkouška v tlaku 28 a 56 denním, hloubky průsaku 28 a 56 denní a nasákavosti 28 a 56 denní. Výše zmíněné zkoušky byly provedeny jak na vzorcích zatížených hydrostatickým tlakem v jezeře, tak na vzorcích zrajících pouze v laboratoři.

Tab. 3: Značení vzorků

ZNAČENÍ TESTOVANÝCH VZORKŮ	
Celý název	Zkratka
Referenční beton	REF
Referenční beton s přidaným Xypexem	XYP
Referenční beton s přidaným cementem	CEM
28 dní v laboratoři	A
28 dní v laboratoři + 28 dní v jezeře	B
56 dní v laboratoři	C
28 dní v laboratoři + 56 dní v jezeře	D

Příklad: Vzorek, který je ze záměsi referenčního betonu a zrál 56 dní v laboratoři, má označení REF C. Pokud je testováno víc vzorků od REF C, pak jsou vzorky číslovány arabskými číslicemi.

Tab. 4: Tabulka s počtem potřebných krychlí na zkoušky

	REF	XYP	CEM
<b><u>Zkušební tělesa</u></b>			
krychle na pevnost v tlaku	8	8	8
krychle na hloubku průsaku	8	8	8
krychle na nasákavost	4	4	4
<b><u>Celkem zkušebních těles</u></b>	<b><u>20</u></b>	<b><u>20</u></b>	<b><u>20</u></b>
<b><u>Zkoušky</u></b>			
konzistence 5 a 60 minut	1	1	1
objemová hmotnost čerstvého betonu	1	1	1
<b>I. Sada bez zatížení hydrostatickým tlakem</b>			
Zkouška pevnosti v tlaku po 28 dnech	2	2	2
Zkouška pevnosti v tlaku po 56 dnech	2	2	2
Zkouška hloubky průsaky po 28 dnech	2	2	2
Zkouška hloubky průsaky po 56 dnech	2	2	2
Zkouška nasákavosti po 28 dnech	1	1	1
Zkouška nasákavosti po 56 dnech	1	1	1
<b>II. Sada se zatížením hydrostatickým tlakem</b>			
Zkouška pevnosti v tlaku po 28 dnech	2	2	2
Zkouška pevnosti v tlaku po 56 dnech	2	2	2
Zkouška hloubky průsaky po 28 dnech	2	2	2
Zkouška hloubky průsaky po 56 dnech	2	2	2
Zkouška nasákavosti po 28 dnech	1	1	1
Zkouška nasákavosti po 56 dnech	1	1	1

---

Poznámky k tabulce č. 4 jsou následující. Zkoušky čerstvého betonu nejsou započteny do počtu vzorků, protože jejich zkoušení probíhalo na betonu, který byl později promíchán a uložen jako vzorek ztvrdlého betonu. Testování sady bez zatížení hydrostatickým tlakem trvá 56 dní. Testování sady se zatížením hydrostatickým tlakem trvá 28 dní zrání v laboratoři + 56 dní. Testování vzorků zatížených hydrostatickým tlakem tedy prodlužuje konání všech zkoušek experimentu celkem o jeden měsíc.

#### 4.4. Použité přístroje

Pro experiment byly využity následující laboratorní přístroje:

- Sušárna od firmy Memmert, díky které mohla být provedena zkouška nasákavosti.
- Zkušební stolice na zkoušky vodotěsnosti betonu (testování průsaků betonovými vzorky) s kalibrací do 5.10.2017. Váha značky Kern. Váha byla kalibrována 23.3.2017.
- Pro pevnostní zkoušky byl použit přístroj od firmy FORM + TEST s maximální možnou silou v tlaku 4 000 kN, typ Alpha 4 s platností kalibrace do 15.6.2017. Na zamísení betonu byla použita laboratorní míchačka betonu s obsahem 70 litrů.



Obr. 10, 11: Vlevo zkušební stolice pro zatížení hydrostatickým tlakem, vpravo sušárna





Obr. 12, 13: Vlevo je použitá váha, vpravo míchačka pro záměs 70 litrů betonu



Obr. 14,15: Vlevo použité plastové formy, vpravo přístroj použitý pro zkoušky pevnosti v tlaku

## 4.5. Příprava a míchání jednotlivých typů betonu

Betonáž normových krychlí proběhla dne 6.2.2017. Z každé záměsi bylo odlito 20 normových krychlí o hraně  $a = 150$  mm. Celkem tedy 20 krychlí pro REF, 20 krychlí pro XYP a 20 krychlí CEM.

Týden před betonáží byly do laboratoře navezeny všechny suroviny, aby se dalo pracovat se suchým materiálem. Postup betonáže a přidávání jednotlivých surovin byl pro zamísení Xypexu dle doporučení výrobce. Nejprve bylo vloženo kamenivo, do něhož byl přidán v suchém stavu Xypex. Oba materiály se důkladně promíchaly a poté byly přidány ostatní složky betonové směsi. Beton byl odlit do plastových forem vytřených odbedňovacím přípravkem. První záměs byla do míchačky přidána po 9. hodině. Postupné přidávání surovin proběhlo dle následující tabulky. Druhá záměs byla připravena přibližně v 11:15 a třetí záměs okolo 13:30.

Tab. 5: Tabulka postupu betonáže

Vzorek	1. minuta	2. minuta	3. minuta	4. minuta	5. minuta	6. minuta	14. minuta
REF	míchání kameniva + cementu + písku	míchání kameniva + cementu + písku	stroj vypnut a přidány 3/4 vody	stroj vypnut a přidán plastifikátor + 1/4 vody	míchání	zastavení míchání + kontrola konzistence	ukládání betonu
XYP	míchání Xypexu + kameniva	míchání Xypexu + kameniva	stroj vypnut a přidán cement + 3/4 vody	stroj vypnut a přidán plastifikátor + 1/4 vody	míchání	zastavení míchání + kontrola konzistence	ukládání betonu
CEM	míchání kameniva + cementu + písku	míchání kameniva + cementu + písku	stroj vypnut a přidány 3/4 vody	stroj vypnut a přidán plastifikátor + 1/4 vody	míchání	zastavení míchání + kontrola konzistence	ukládání betonu

Příprava betonu a výroba zkušebních těles trvala přibližně 4 hodiny a během této doby byly provedeny základní zkoušky čerstvého betonu. Konkrétně bylo změřeno sednutí kužele všech tří záměsí, a to po 5 minutách a po 60 minutách. Dále byla v této fázi naměřena objemová hmotnost čerstvého betonu. Výroba betonu proběhla v souladu s normou ČSN EN 12390-2 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 2: Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti [17]. Beton byl odebrán po řádném promísení směsi a zhutnění každého vzorku bylo zajištěno vibračním stolem. Odstranění přebytečného betonu bylo provedeno zednickou lžící. Tělesa byla uložena 24 hodin při teplotě splňující  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ . Místem jejich

uložení byla laboratoř. Tělesa nebyla zakryta folií proti vysychání. Po 24 hodinách byla odbedněna.



*Obr. 16: Příprava forem betonových vzorků – zleva pěnové ucpávky do otvoru ve formě, odbedňovací prostředek, plastová forma pro normovou krychli o hraně 150 mm*



*Obr. 17, 18, 19: Vlevo odebrání čerstvého betonu z míchačky, uprostřed ukázka provádění zkoušky sednutí kužele, vpravo odlitá a označená čerstvá záměs REF*



*Obr. 20: Všechny 3 záměsi uloženy do forem*

Odformování vzorků proběhlo dne 7.2.2017, a to po 24 hodinách od uložení čerstvé betonové směsi. Krychle byly z forem vytlačeny pomocí vzduchu stlačeného kompresorem. Při odformování byly krychle zároveň popisovány dle značení betonových záměsí.



*Obr. 21: Odformované betonové krychle připravené pro uložení do vodní lázně na 28 dní*



Obr. 22: Betonové krychle uložené ve vodní lázni

#### 4.6. Ukládání krychlí v lomu Velká Amerika a první testování

Odvoz poloviny vzorků na lom Velká Amerika proběhl dne 6.3.2017. V tento den byly též provedeny zkoušky betonu, který zrál 28 dní v laboratoři. Krychle a nářadí pro uložení do lomu byly naloženy v ranních hodinách, přičemž odjezd od laboratoře byl naplánován na 9:00. Ukládání krychlí se účastnily čtyři osoby.

Správce lomu Velká Amerika nám otevřel lom v 9:30. Pro uložení byly zkušební krychle spojeny po čtyřech pomocí sešroubovaných U profilů. Aby bylo zajištěno bezproblémové ponoření spojených krychlí do hloubky 10 metrů, byla navržena konstrukce přímo pro potápění vzorků. Skládala se ze středně velkého sudu, ke kterému byly pomocí ráčen a karabin připevněny dvě dřevěné tyče. Přes sud byla u břehu přehozena sešroubovaná soustava krychlí, která byla přivázána na laně, a sud byl s pomocí dvou dřevěných tyčí tlačěn co nejdál od břehu, aby bylo zajištěno co nejhlubší ponoření vzorků. Tento postup se však již při první soustavě vzorků ukázal jako nepoužitelný, protože čtyři kostky s U profily vážily přibližně 30 kg. Při odtlačování sudu od břehu vždy lano sklouzlo ke kraji sudu a celý sud se převrátil. Nakonec ponor dopadl tak, že byly soustavy přivázané lanem dvojicí přítomných pracovníků na „tři“ házeny do vody. Vzorky byly přivázány na lanech délky 15 m, tudíž nebylo těžké na břehu odhadnout, jak dlouhá část lana nebyla potopena, protože lano bylo plovoucí.

---

Celkem bylo ponořeno osm soustav a na každé byly čtyři krychle. Soustavy byly uloženy do lomu na dvou místech vzdálených od sebe přibližně 10 m. Na každém z těchto míst byly uloženy čtyři soustavy. Posunutá místa uložení byla ze dvou pouze praktických důvodů, jednak, aby se nepletlo dohromady 8 lan, ale jen čtyři, a jednak, aby byly vzorky rovnou rozděleny na uložení 28 a 56 dní.

Po uložení vzorků do lomu následoval návrat do laboratoře. Zde bylo na programu provedení prvních zkoušek 28 denního betonu, který zrál v laboratoři. Na vzorcích byla otestována pevnost betonu v tlaku. Další byly nasazeny na zkoušku odolnosti betonu proti průsaku tlakovou vodou na dobu 72 hodin a třetí zkouškou bylo uložení vzorků do sušárny kvůli stanovení nasákavosti. Zkoušky pevnosti betonu v tlaku byly provedeny okamžitě, na výsledky ostatních zkoušek se muselo čekat – na stanovení průsaku tři dny a na vysušení vzorku do ustálení jeho hmotnosti osm dní.



Obr. 23: Příprava na odjezd z laboratoře Betotech



*Obr. 24: Kolektivní snaha o otevření ocelových vrat do lomu*



*Obr. 25: Příprava krychlí na uložení do lomu Velká Amerika*



Obr. 26, 27: Vlevo příprava na potápění vzorků, vpravo uvázání lan od vzorků na břehu

#### **4.7. První vytažení krychlí z vody v lomu a druhé testování vzorků**

V pondělí 3.4.2017 proběhlo vytažení první poloviny vzorků z jezera. Vytaženo bylo 16 zkušebních krychlí, které byly zatíženy hydrostatickým tlakem v 10 metrech hloubky po dobu 28 dní. Přístup do lomu byl umožněn opět v dopoledních hodinách. Práce byly zahájeny kolem desáté hodiny.

Při příchodu na místo byl zjištěn nepříjemný fakt. Na břehu byla vytažena soustava čtyř betonových krychlí. Lano, na kterém byla upevněna vytažená soustava, bylo označeno a soustava byla uložena zpět do vody. Označení bylo provedeno proto, aby mohla být předmětná soustava identifikována, pokud by testování některých vzorků vykazovalo zvláštní hodnoty.



---

Pro vytažení soustav krychlí byla vymyšlena opět pomocná konstrukce, jejíž funkčnost se ukázala být oproti původní konstrukci na potápění vzorků skutečně užitečná. Konstrukce se skládala z ocelové podpory a lešenářské trubky zatížené autem. Na konci trubky, která byla nad vodou, byla přišroubována kladka. Kladkou se vždy provléklo lano od příslušné vytahované soustavy vzorků. Když byly vzorky vytaženy téměř na hladinu, bylo lano s pomocí dřevěné tyče s hákem taženo ke břehu, kde už nebyl problém vzorky zajistit. Lešenářská tyč byla k dodávce připevněna s pomocí lešenářské spojky, což vyhovělo na tři ze čtyř soustav. Poslední soustava krychlí se zadrhla a musela být vytažena o pár metrů vedle, čímž došlo i k přesunutí všech pomůcek. Na poslední soustavu byla tyč zatížena prknem, na kterém stálo auto a vše fungovalo úplně stejně dobře.

Po vytažení potřebných vzorků z jezera bylo vše přesunuto zpět do laboratoře. Zde byly provedeny další zkoušky. V tomto termínu byly testovány jak krychle, které byly uloženy 28 v laboratoři a následně 28 dní v lomu, tak krychle, které byly uloženy 56 dní v laboratoři. Tato časová kombinace vzorků je jedinou, kdy lze srovnat výsledky i v závislosti na místě uložení za stejné doby zrání betonu. Všechny vzorky byly opět zkoušeny na pevnost betonu v tlaku, nasazeny byly na zkoušku odolnosti betonu proti průsaku tlakovou vodou a do sušárny pro výpočet nasákavosti.



*Obr. 28: Část konstrukce pro vytahování vzorků – ocelová koza, lešenářská trubka a přišroubovaná kladka*



*Obr. 29: Praktická ukázka vytahování vzorků z vody v lomu*



*Obr. 30: Detail soustavy betonových krychlí*



*Obr. 31, 32: Vlevo připevnění lešenářské trubky k dodávce pomocí lešenářské spojky, vpravo jednodušší ale stejně funkční zatížení vlastní tíhou dodávky přes prkno*

#### **4.8. Druhé vytažení krychlí z vody v lomu a třetí testování vzorků**

V úterý 2.5.2017 od 9 hodin proběhlo druhé vytažení krychlí. Náplní této návštěvy lomu bylo vytažení 16 krychlí, které představovaly vzorky betonu v podmínkách uložení 28 dní v laboratoři a 56 dní v lomu. Jejich vytažení proběhlo bez problémů stejným způsobem jako u předchozí série. Krychle, které byly o měsíc dříve omylem vytaženy z vody, byly označeny, aby nedošlo k chybné interpretaci výsledků. Po návratu do laboratoře byly vzorky opět zkoušeny na pevnost betonu v tlaku, nasazeny byly na zkoušku odolnosti betonu proti průsaku tlakovou vodou a do sušárny pro výpočet nasákavosti.

Žádná zkouška u vytažených vzorků neukázala výraznou odchylku, a proto již tato skutečnost nebude v dalším textu zmiňována.

---

## 5. Zkoušky připravených vzorků

### 5.1. Zkouška sednutí kužele

V této kapitole jsou uvedeny výsledky zkoušky sednutí čerstvého betonu po 5 a 60 minutách. Zkouška sednutí je provedena v souladu s normou ČSN EN 12350-2 Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím [18]. Okrajové podmínky zkoušky omezují její použitelnost na vhodné naměřené hodnoty sednutí mezi 10 mm a 210 mm a dále omezují použití pro beton s maximální velikostí zrna 40 mm.

Průběh zkoušky probíhal dle následujícího postupu. Forma pro zkoušku sednutí kužele byla plněna v přesný čas dle měření 5-ti nebo 60-ti minutového sednutí. Přebytek betonu ve formě byl srovnán zednickou lžící a odstraněn z povrchu podkladní desky. Forma má tvar komolého kužele a beton v ní je v průběhu ukládání zhutňován ve třech vrstvách ocelovou propichovací tyčí. Zvedání formy proběhlo během přibližně tří vteřin bez jejího pootáčení. Změřenou hodnotou sednutí je vzdálenost, o kterou poklesl beton po zvednutí formy. Forma pro testování měla standardní rozměry. Průměr dolní základny byl 200 mm, průměr horní základny byl 100 mm a výška dutého komolého kužele byla 300 mm. Jako měřidlo byl použit metr s dělením 1 mm. Pro podklad byla použita deska z nenasákavého materiálu, která byla po každé zkoušce setřena vlhkým hadříkem.

Způsob sednutí kužele byl vyhodnocen jako správný, až na jeden vzorek XYP po pěti minutách, jehož způsob sednutí byl vyhodnocen jako usmýknutý. Opakování zkoušky proběhlo úspěšně a beton sesednul správně. Teplota REF a CEM byla 20 °C. Teplota XYP byla 19,5 °C. Teplota vody přidávané do všech betonů byla 13 °C.

Tab. 6: Výsledky zkoušky sednutí kužele

Název betonu	Hodnoty sednutí čerstvého betonu [mm]	
	Sednutí 5 minut	Sednutí 60 minut
REF	170	150
XYP	180	150
CEM	170	120

Podle výsledků změřených sednutí po 5 minutách se všechny směsi jevily jako rovnocenně zpracovatelné. V případě měření XYP po 5 minutách došlo ve směsi k sesednutí usmýknutím. Příčinou špatného sednutí bylo nejspíše úplné zachování referenční receptury včetně vodního součinitele a přidávaného plastifikátoru, protože Xypex Admix zlepšuje

---

zpracovatelnost betonu sám o sobě. Ze sednutí po 60 minutách lze vidět především fakt, že se již výrazně projevuje zvýšení obsahu cementu ve směsi.

Při mísení se projevovale běžně záměs REF a CEM, zatímco záměs XYP vizuálně působila více provzdušněně. Tento fakt se projevil později při měření objemové hmotnosti jednotlivých záměsí a také při měření pevností betonu v tlaku.



*Obr. 33, 34: Vlevo hutnění betonu ukládaného do formy pro zkoušku sednutí kužele, vpravo plná forma před zvednutím*



Obr. 35, 36: Sednutí REF – vlevo 5 minut 170 mm, vpravo 60 minut 150 mm



Obr. 37, 38: Sednutí XYP – vlevo 5 minut 180 mm, vpravo 60 minut 150 mm



Obr. 39, 40: Sednutí CEM – vlevo 5 minut 170 mm, vpravo 60 minut 120 mm

## 5.2. Měření objemové hmotnosti čerstvého betonu

Měření objemové hmotnosti proběhlo během ukládání betonů do forem. Toto měření proběhlo dle normy ČSN EN 12350-6 Zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost [19]. Měření betonu proběhlo po jeho uložení do formy s následným zhutněním na vibračním stole. Forma byla před vložením betonu zvlášť zvážena a na váze byla nastavena nulová hodnota pro odečtení její váhy.

Po zvážení formy proběhlo její plnění a krátké vibrování na desce. Při vibrování beton lehce sedl a forma byla poté doplněna až po okraj. Beton, který z formy přebýval, byl odstraněn zednickou lžící a okraje formy byly otřeny hadříkem. Následným vážením byla zjištěna hmotnost čerstvého betonu v nádobě. Jeho objem byl získán výpočtem objemu zkušební formy.

Celý postup byl proveden s jedinou odchylkou od normy. V normě je minimální požadavek na testovaný objem 5 litrů. Z praktických důvodů byla měřena objemová hmotnost ve formách na normové krychle, které mají objem 3,375 litru.

---

Výpočet čerstvé objemové hmotnosti betonu proběhl dle vzorce

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

kde je:

D – objemová hmotnost čerstvého betonu, v kg/m<sup>3</sup>

m – hmotnost betonu ve formě, v kg

V – objem formy, v m<sup>3</sup>

Jedinou proměnnou ve výpočtu jsou naměřené hmotnosti. Objem formy je konstantní. Pro každou záměs byly zváženy dvě hmotnosti pro výpočet čerstvé objemové hmotnosti, v tabulce popsán jako vzorek 1 a vzorek 2. Objemová hmotnost je vypočtena u všech vzorků a závěrem jsou průměry hodnot 1 a 2 zaokrouhleny na nejbližších 10 kg/m<sup>3</sup>.

Tab. 7: Tabulka naměřených hodnot a výpočet objemové hmotnosti čerstvého betonu

Vzorek		Hmotnost betonu ve formě [kg]	Objem nádoby [m <sup>3</sup> ]	Objemová hmotnost čerstvého betonu [kg/m <sup>3</sup> ]	Průměr 1 a 2	Průměrná a zaokrouhlená objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
REF	1	7,910	0,003375	2343,70	2342,07	2340
	2	7,899	0,003375	2340,44		
XYP	1	7,714	0,003375	2285,63	2284,00	2280
	2	7,703	0,003375	2282,37		
CEM	1	7,841	0,003375	2323,26	2299,11	2300
	2	7,678	0,003375	2274,96		

Vypočtené hodnoty objemových hmotností čerstvého betonu poukazují na následující. V tabulce č. 1 jsou vidět teoretické objemové hmotnosti jednotlivých směsí. Zatímco teoretická objemová hmotnost REF a XYP se liší pouze o přidaný Xypex, tedy o přibližně 0,2 kg, CEM má lehce upravené složení tím, že je v něm použito celkově méně kameniva na úkor přidaného cementu. Naměřené objemové hmotnosti v tabulce č. 7 lze tedy přesně srovnat jen u REF a XYP. Z výsledků je patrné, že přidáním Xypexu do betonu se beton stal vizuálně více provzdušněným a jeho objemová hmotnost poklesla z 2340 kg/m<sup>3</sup> na 2280 kg/m<sup>3</sup>, tedy o 60 kg/m<sup>3</sup>.



### 5.3. Měření objemové hmotnosti ztvrdlého betonu

Testování objemové hmotnosti ztvrdlého betonu proběhlo dle normy ČSN EN 12390 – 7 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu [20]. Měření bylo provedeno na 12 krychlich. Tři krychle ve stáří 28 dní z laboratoře (A), tři ve stáří 56 dní z laboratoře (C), tři ve stáří 28 dní z laboratoře a 28 dní z lomu (B) a tři ve stáří 28 dní z laboratoře a 56 dní z lomu (D). Vážení proběhlo měřením hmotnosti na vzduchu. Tělesa byla vyjmuta z vodní lázně a jejich strany byly povrchově osušeny suchým hadříkem. Následně byla tělesa zvážena a jejich hmotnost zaznamenána. Objem těles byl získán výpočtem z jmenovitých rozměrů. Pro testy byly použité normové krychle o hraně 150 mm, a tudíž je vycházeno z objemu formy, do které byla tělesa odlita.

Výpočet objemové hmotnosti ztvrdlého betonu proběhl dle vzorce

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

kde je:

D – objemová hmotnost zkušebního tělesa, jehož hmotnost byla měřena na vzduchu a objem byl dopočítán dle formy o hraně 150 mm, v  $\text{kg/m}^3$

m – hmotnost zkušebního tělesa měřená na vzduchu, v kg

V – objem zkušebního tělesa dopočítaný z rozměrů formy, v  $\text{m}^3$

Tab. 8: Tabulka naměřených hodnot a výpočet objemové hmotnosti ztvrdlého betonu v uložení A

Vzorek		Hmotnost betonu [kg]	Objem tělesa [ $\text{m}^3$ ]	Objemová hmotnost ztvrdlého betonu [ $\text{kg/m}^3$ ]	Zaokrouhlená objemová hmotnost [ $\text{kg/m}^3$ ]
REF	A	7,930	0,003375	2349,63	2350
XYP	A	7,770	0,003375	2302,22	2300
CEM	A	7,830	0,003375	2320,00	2320

Z vypočtených hodnot lze vidět, že rozdíl objemové hmotnosti REF a XYP zůstává téměř stejný jako u čerstvé objemové hmotnosti betonů –  $50 \text{ kg/m}^3$ . CEM má objemovou hmotnost mezi zbylými dvěma hodnotami. Hmotnosti zkušebních těles uložených ve vodním uložení v laboratoři zároveň slouží pro zkoušku nasákavosti. Objemová hmotnost vzorků REF A, XYP A a CEM A byla naměřena téměř stejná.

Tab. 9: Tabulka naměřených hodnot a výpočet objemové hmotnosti ztvrdlého betonu v uložení C a B

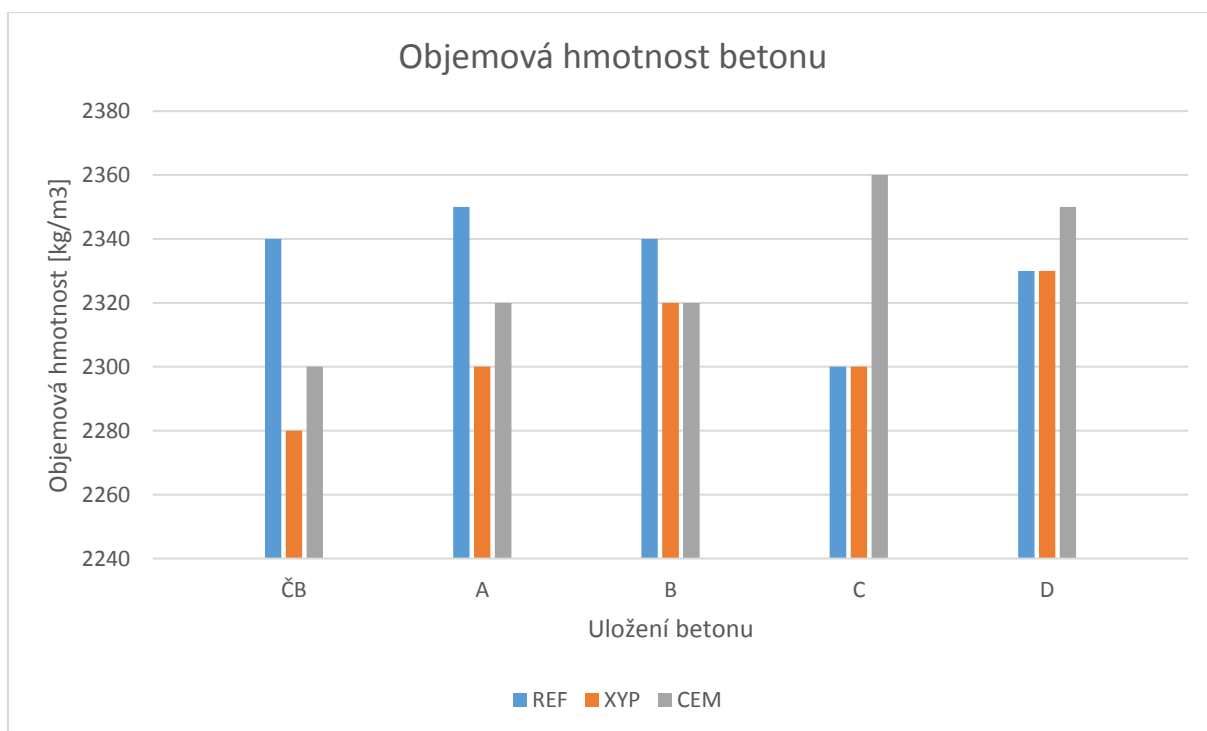
Vzorek		Hmotnost betonu [kg]	Objem tělesa [m <sup>3</sup> ]	Objemová hmotnost ztvrdlého betonu [kg/m <sup>3</sup> ]	Zaokrouhlená objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
REF	C	7,779	0,003375	2304,89	2300
REF	B	7,903	0,003375	2341,63	2340
XYP	C	7,765	0,003375	2300,74	2300
XYP	B	7,828	0,003375	2319,41	2320
CEM	C	7,957	0,003375	2357,63	2360
CEM	B	7,844	0,003375	2324,15	2320

Tab. 10: Tabulka naměřených hodnot a výpočet objemové hmotnosti ztvrdlého betonu v uložení D

Vzorek		Hmotnost betonu [kg]	Objem tělesa [m <sup>3</sup> ]	Objemová hmotnost ztvrdlého betonu [kg/m <sup>3</sup> ]	Zaokrouhlená objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
REF	D	7,870	0,003375	2331,85	2330
XYP	D	7,849	0,003375	2325,63	2330
CEM	D	7,937	0,003375	2351,70	2350

S ohledem na přesnost měření a způsob stanovení objemu měřených těles lze považovat výsledné objemové hmotnosti za téměř stejné.

Výše uvedené hmotnosti vzorků byly zároveň podkladem pro zkoušku nasákavosti.



Obr. 41: Graf porovnávající objemové hmotnosti betonů, ČB je zkratka čerstvého betonu a vzorky typů A, B, C, D byly měřeny při plném nasycení

Měření neukázalo prokazatelný vliv přidání Xypexu do betonové směsi na objemovou hmotnost ztvrdlého betonu.

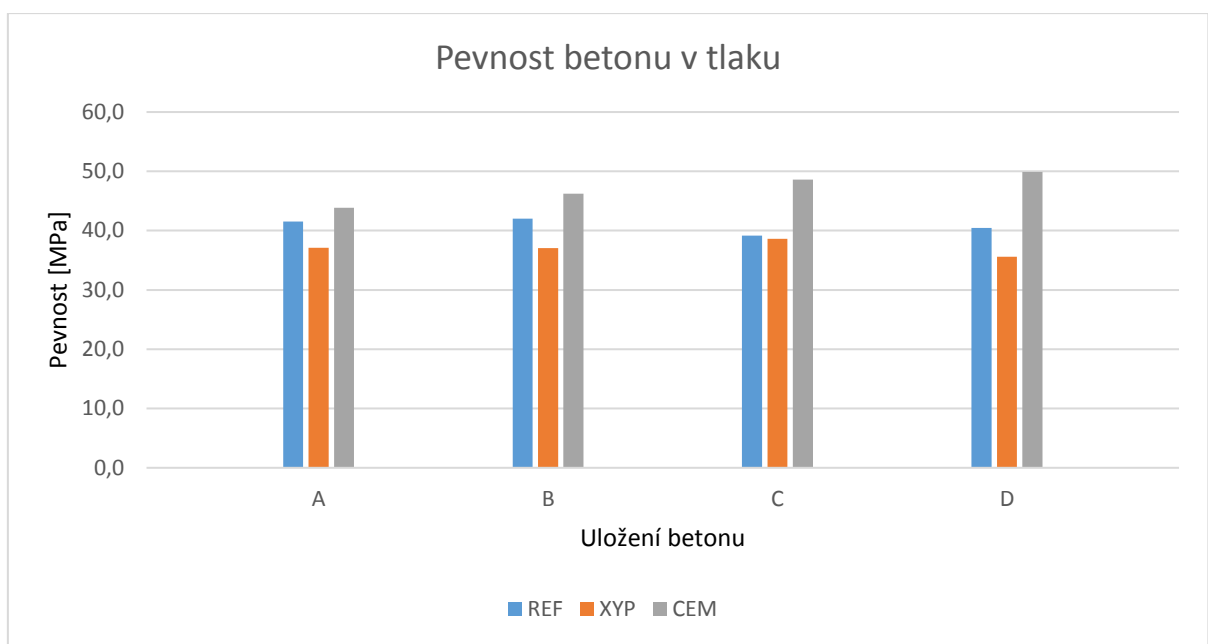
#### 5.4. Měření pevnosti v tlaku zkušebních těles

Stanovení pevnosti v tlaku ztvrdlého betonu proběhlo dle normy ČSN EN 12390–3 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles [21]. Stanovení bylo provedeno na 24 krychlích. Šest krychlí v uložení A, šest v uložení C, šest v uložení B a šest v uložení D. Zkušební tělesa byla zatěžována ve zkušebním lisu do porušení vzorků. Tvar těles pro zkoušky byl ve formě normových krychlí o straně 150 mm.

Před uložení vzorku do lisu byly otřeny hadříkem dotykové plochy tlačných desek a stejně tak byly očištěny plochy zkušebního tělesa, které se dotýkají při zkoušce ploch lisu. Krychle byla usazena tak, že směr zatěžování byl kolmý na směr ukládání betonu. Těleso se umístilo na střed lisu. Ve zkušebním lisu se předem nastavila velikost tlačné plochy testovaného tělesa a rychlost zatěžování. Při destrukci tělesa byla zaznamenána maximální síla v kN. Po přepočtu na velikost tlačné plochy byla stanovena pevnost v MPa. Zaznamenané hodnoty jsou zapsány s odchylkou na nejbližších 0,1 MPa. Rozměry těles vyhovovaly a nebylo potřeba je tvarově upravovat. Všechna porušení vzorků, ke kterým došlo, byla v pořádku a žádný nevyhovující způsob porušení nenastal. Lis byl digitální a bylo možné do něj přímo vložit tlačnou plochu testovaného tělesa.

Tab. 11: Tabulka naměřených hodnot pevností betonu v tlaku všech vzorků s rozdílnou dobou a místem uložení, ve druhém sloupci vždy zapsána průměrná hodnota vzorků 1 a 2:

Vzorek		Pevnost betonu [MPa]							
		A		B		C		D	
REF	1	40,4	41,6	40,9	42,0	36,5	39,2	41,5	40,5
	2	42,7		43,1		41,8		39,4	
XYP	1	37,0	37,1	38,0	37,1	38,7	38,6	34,9	35,6
	2	37,2		36,1		38,5		36,3	
CEM	1	45,2	43,9	44,2	46,3	49,2	48,6	50,8	49,9
	2	42,5		48,3		48,0		49,0	



Obr. 42: Graf zobrazující naměřené průměrné hodnoty pevností betonu v tlaku v závislosti na jejich místě a době uložení

Při jednoduchém pohledu na graf lze vidět, že ve všech případech vyšel XYP při zkoušce pevnosti betonu v tlaku jako nejhorší. To se jednoznačně vylučuje s informacemi výrobců, že Xypex zvyšuje pevnost betonu v tlaku minimálně o 15 %. U prvních dvou grafů se lze bavit dokonce o 10 % snížení pevnosti betonu v tlaku, což rozhodně není zanedbatelné.

V celkovém pohledu lze vidět časový nárůst pevnosti CEM a to, že se přidání cementu na pevnosti betonu v tlaku projevilo pozitivně.

Při dílčím pohledu na části B a C grafu lze srovnat beton, který je stejně starý, ale zrající v rozdílném uložení. Betony v uložení B a C mají pevnosti v tlaku rozdílné jen minimálně. U betonu B vyšla pevnost v tlaku oproti betonu C nižší na vzorcích XYP a CEM, naopak vyšší vyšla pevnost v tlaku vzorků REF. Rozdíly pevností jsou velmi malé a jediný důvod nižší pevnosti v tlaku vzorků B by mohl být pomalejší nárůst pevnosti z důvodu nižší teploty vody v jezeře. Vývoj pevnosti v tlaku REF dosáhl na hodnotu 42 MPa a v závislosti na čase u něj nebyl při daném množství cementu pozorován nárůst pevnosti v tlaku.

Vývoj pevnosti v tlaku XYP nabyl nejvyšší hodnoty 38,6 MPa. Jeho pevnost v tlaku byla stabilně nižší než pevnost v tlaku REF a v čase nebyly pozorovány výrazné pevnostní rozdíly. Tato informace je v přímém rozporu s informacemi uvedenými v technickém listu produktu Xypex Admix [25], ve kterém je psáno, že při dávce 2% Xypexu se pevnost betonu v tlaku navýší minimálně o 15 %. Z technického listu nelze vyčíst, zda je informace k produktu základnímu, který má dávkování 1 – 3 %, nebo k produktu s koncovkou „NF“,

---

jehož dávkování je doporučeno 0,5 – 1,5 %. V tomto případě není ale důležitá konkrétní dávka, jako spíše to, že by pevnost betonu v tlaku dle technického listu neměla klesat. Lze tedy říci, že se u zkoušky pevnosti betonu v tlaku nepotvrdily informace, které výrobce o produktu dodává.

Pevnost v tlaku CEM s postupem času viditelně nárůstá a pro vzorky B, C, D je rozdíl od REF a XYP dostatečně viditelný, přibližně o 10 MPa. Nejvyšší dosažená pevnost betonu v tlaku byla 49,9 MPa.



*Obr. 43: Pohled na zatěžovací lis, vlevo ovládací panel s naměřenými hodnotami, vpravo zatěžovací lis s vloženým betonovým vzorkem*

## **5.5. Měření hloubky průsaku tlakovou vodou**

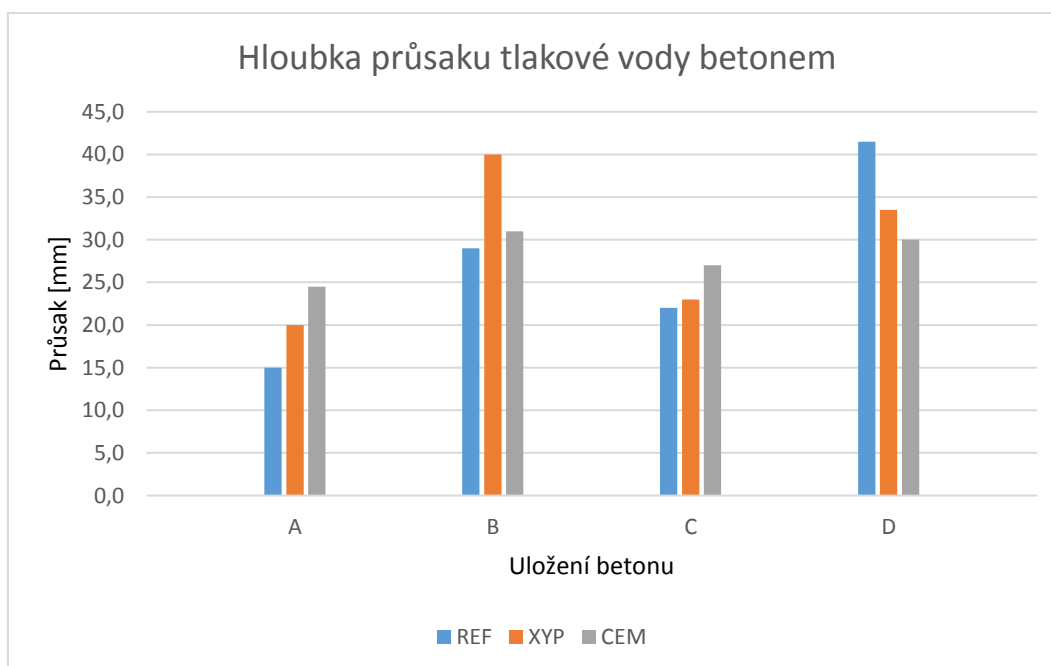
Měření hloubky průsaku betonových vzorků proběhlo dle normy ČSN EN 12390–8 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou [22]. Podstatou zkoušky je nechat působit tlakovou vodu na povrch ztvrdlého betonu. Následuje rozlomení zkušebního tělesa a změření hloubky průsaku vody. Použitým zařízením byla zkušební stolice, do které bylo těleso upnuto. K utěsnění kontaktní plochy byla použita těsnící pryžová podložka. Zkušebními tělesy byly betonové krychle o rozměru hrany 150 mm.

Měření průsaku tlakovou vodou probíhalo na tělesech, která byla stará 28 dnů a více. Zkušební těleso bylo upnuto do zařízení a po dobu 72 ±2 hodin na něj působil tlak 500 ±50 kPa. Na nezatěžovaných stěnách tělesa se po celou dobu testování neobjevila voda. Testování všech vzorků tedy lze považovat za platné. Po ukončení zkoušky bylo těleso vyjmuta ze

zatěžovací stolice a bylo otřeno od přebytečné vody ze zatěžované strany. Následně bylo rozlomeno v polovině, kolmo k povrchu zatěžovanému vodním tlakem. Po rozlomení byla označena hranice průsaku fixem a naměřené hodnoty největších průsaků byly zaznamenány na nejbližší milimetr.

Tab. 12: Tabulka naměřených hodnot hloubek průsaků tlakovou vodou všech betonových vzorků v uložení A, B, C a D

Vzorek		Průsak betonu [mm]							
		A		B		C		D	
REF	1	17	15	37	29	28	22	41	42
	2	13		21		16		42	
XYP	1	20	20	40	40	30	23	37	34
	2	20		40		16		30	
CEM	1	21	25	32	31	32	27	30	30
	2	28		30		22		30	



Obr. 44: Graf zobrazující naměřené průměrné hodnoty průsaků tlakovou vodou na betonových vzorcích v závislosti na jejich místě a době uložení

Z grafu lze vidět výsledky zkoušky průsaku tlakovou vodou. Jednotlivé typy uložení jsou značeny písmeny A, B, C a D. Pro každý typ uložení byly testovány dva vzorky REF, XYP, CEM. Předpokládané výsledné průsaky tlakovou vodou byly takové, že největší průsak bude naměřený u REF a dále se uvidí, zda dopadne lépe XYP nebo CEM. U uložení A, B, C

tento předpoklad nebyl splněn. Bez ohledu na uložení lze říci, že beton, který zral 28 (56) dní měl výsledky průsaku tlakovou vodou u směsi XYP větší než u směsi REF. Nejhuře dopadl CEM, který měl průsak dvakrát nejvyšší v uložení A a C. V uložení B vyšel jeho průsak mezi hodnoty REF a XYP. Jak velké byly rozdíly průsaků tlakovou vodou lze vidět z grafu.

Uložení vzorků D bylo posledním testovaným a zároveň jediným, jehož vzorky vyšly v souladu s předpokladem. Největšího průsaku nabyl REF, který má mít co nejmenší vodonepropustnost – 42 mm. O 8 mm méně prosákl XYP – 34 mm. Nejmenší průsak byl naměřen u CEM – 30 mm.

Rozdíly v naměřených průsacích u uložení A, B a C mezi betony REF a XYP nebyly výrazné, nebyla však ani prokázána zvýšená odolnost proti průsaku tlakovou vodou při přidání krystalizační přísady. K průkaznému zvýšení odolnosti došlo až u uložení D. V žádném dostupném materiálu o přísadě Xypex Admix není ovšem uvedeno, po jaké době a o kolik by měl být průsak tlakovou vodou menší pro XYP než pro REF. Je uvedeno pouze to, že průsak bude menší. Norma ukládá měření průsaků na vzorcích, které zrály minimálně 28 dní.

Závěrem lze tedy říci, že měření průsaků tlakovou vodou neprokázalo jejich snížení v případě krystalizační přísady, které výrobce deklaruje.



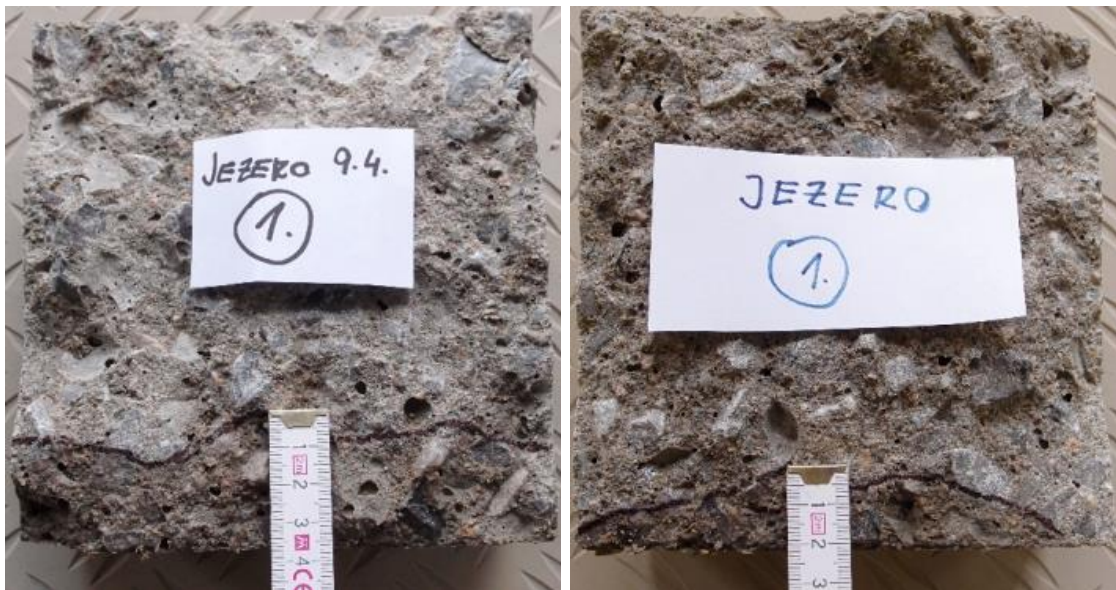
Obr. 45, 46: Průsaky tlakovou vodou dvou vzorků REF A – vlevo 17 mm, vpravo 13 mm



Obr. 47, 48: Průsaky tlakovou vodou dvou vzorků XYP A – vlevo 20 mm, vpravo 20 mm



Obr. 49, 50: Průsaky tlakovou vodou dvou vzorků CEM A – vlevo 21 mm, vpravo 28 mm



Obr. 51, 52: Průsaky tlakovou vodou dvou vzorků REF B – vlevo 37 mm, vpravo 21 mm

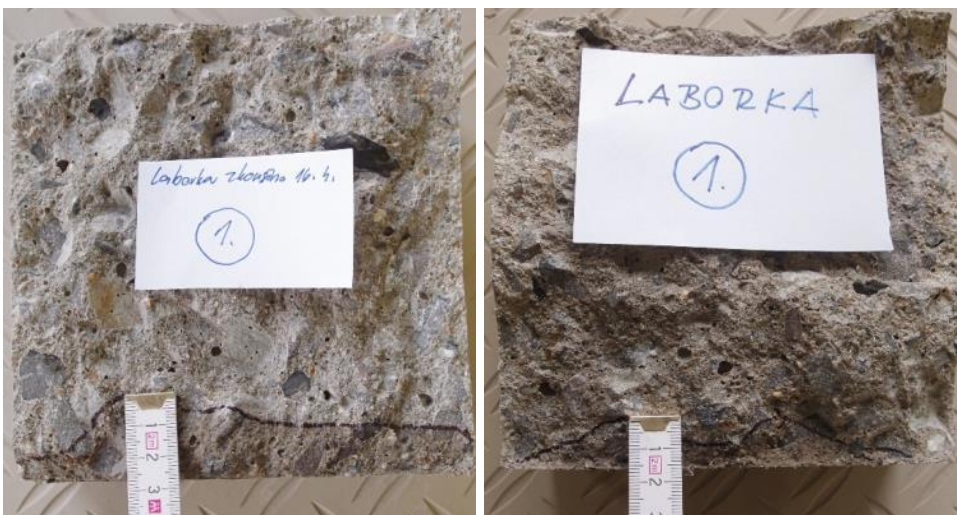




Obr. 53, 54: Průsaky tlakovou vodou dvou vzorků XYP B – vlevo 40 mm, vpravo 40 mm



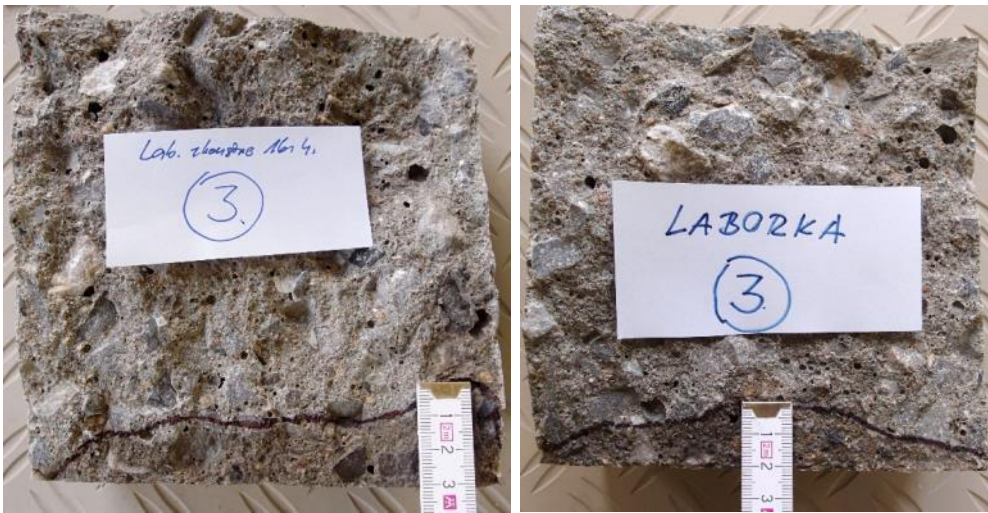
Obr. 55, 56: Průsaky tlakovou vodou dvou vzorků CEM B – vlevo 32 mm, vpravo 30 mm



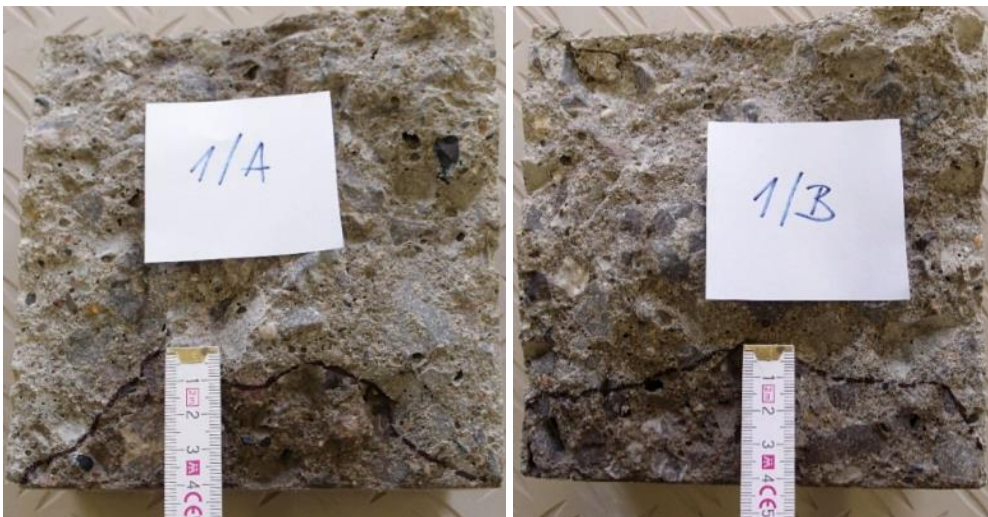
Obr. 57, 58: Průsaky tlakovou vodou dvou vzorků REF C – vlevo 28 mm, vpravo 16 mm



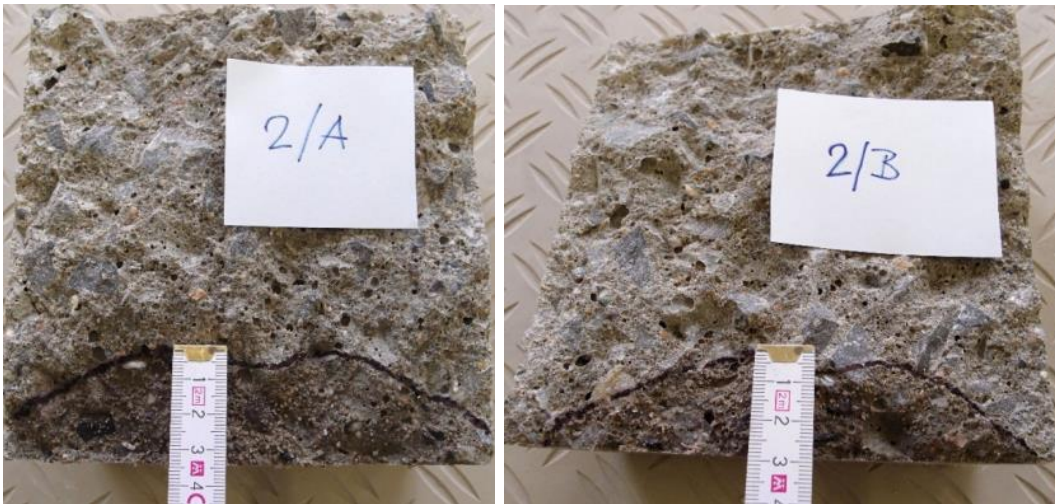
Obr. 59, 60: Průsaky tlakovou vodou dvou vzorků XYP C – vlevo 30 mm, vpravo 16 mm



Obr. 61, 62: Průsaky tlakovou vodou dvou vzorků CEM C – vlevo 32 mm, vpravo 22 mm



Obr. 63, 64: Průsaky tlakovou vodou dvou vzorků REF D – vlevo 41 mm, vpravo 42 mm



Obr. 65, 66: Průsaky tlakovou vodou dvou vzorků XYP D – vlevo 37 mm, vpravo 30 mm



Obr. 67, 68: Průsaky tlakovou vodou dvou vzorků CEM D – vlevo 30 mm, vpravo 30 mm

## 5.6. Měření nasákavosti betonových těles

Měření nasákavosti betonových vzorků proběhlo dle normy ČSN 73 1316 Stanovení vlhkosti, nasákavosti a vzlínivosti betonu [23]. Cílem zkoušky je zjistit v procentech nasákavost tělesa. Nasákavost byla zkoušena na krychlích o rozměru strany 150 mm. Stáří betonu bylo nejméně 28 dní. Nasákavost byla měřena na všech typech betonu v obou testovaných prostředích.

Všechny testované vzorky byly uloženy ve vodě v laboratoři, nebo v jezeře. Mimo vodní uložení byly vždy pouze po dobu nezbytnou k přesunu vzorků. V laboratoři nastalo vážení ihned po vytažení krychlí a osušení jejich stěn suchým hadříkem. Z jezera byly krychle přesouvány přibližně půl hodiny do laboratoře a jejich vytažení z jezera trvalo asi hodinu, celková doba vzorků na suchu byla 1,5 hodiny. Vzorky byly po prvotním zvážení vysoušeny

až do ustálení hmotnosti. Vysoušeny byly v sušárně při teplotě 110 °C a kontrolní vážení probíhalo jednou za dva dny. Pro nasákavost bylo celkem použito 12 vzorků.

Výpočet nasákavosti betonu  $v$  v % hmotnosti zkušebních vzorků byl proveden dle vzorce:

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

kde je:

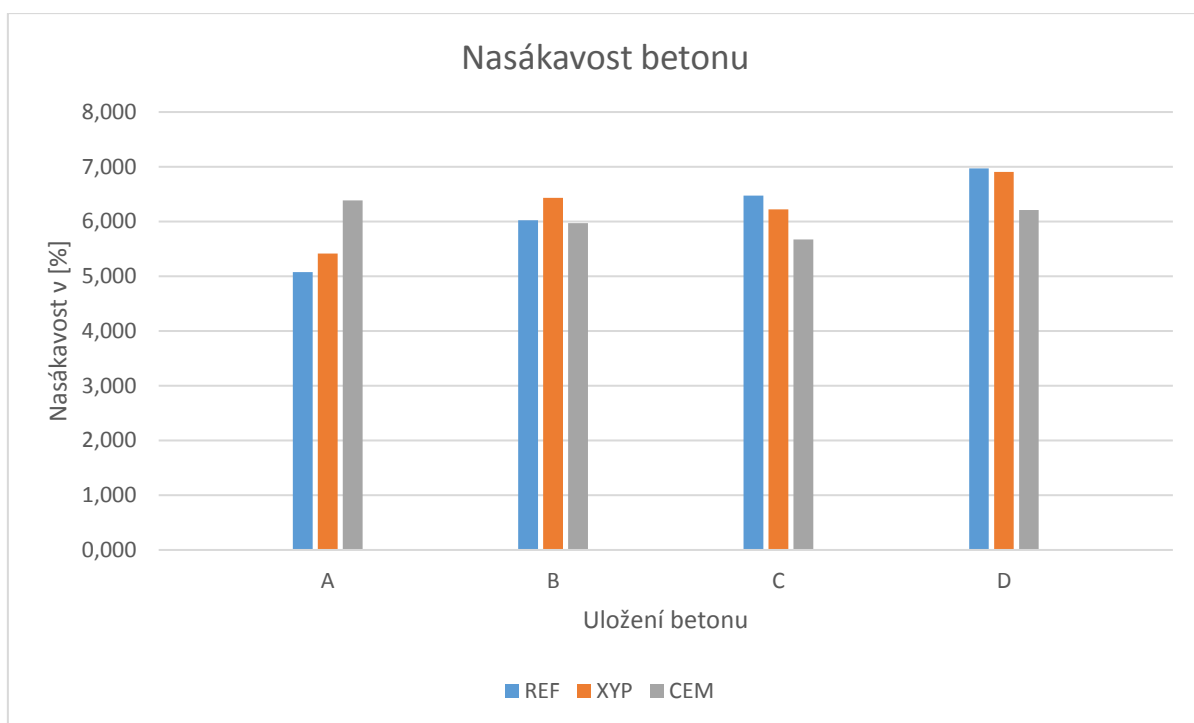
$m_s$  – hmotnost zkušebního vzorku nasáklého vodou, v g

$m_d$  – hmotnost zkušebního vzorku vysušeného, v g

$V$  – objem zkušebního tělesa dopočítaný z rozměrů formy, v m<sup>3</sup>

Tab. 13: Tabulka postupného vážení, úbytků hmotností a vypočtených nasákavostí

Vzorek betonu		Nasáklý vzorek $m_s$ [g]	Naměřené hmotnosti [g] ve dnech				Nasákavost $v$ [%]
			2	4	6	8 = $m_d$	
A	REF	<b>7,930</b>	7,624	7,557	7,548	<b>7,547</b>	<b>5,075</b>
	XYP	<b>7,770</b>	7,448	7,374	7,371	<b>7,371</b>	<b>5,413</b>
	CEM	<b>7,830</b>	7,445	7,376	7,361	<b>7,360</b>	<b>6,386</b>
B	REF	<b>7,903</b>	7,563	7,488	7,454	<b>7,454</b>	<b>6,024</b>
	XYP	<b>7,828</b>	7,467	7,359	7,355	<b>7,355</b>	<b>6,431</b>
	CEM	<b>7,844</b>	7,513	7,438	7,402	<b>7,402</b>	<b>5,971</b>
C	REF	<b>7,779</b>	7,414	7,377	7,306	<b>7,306</b>	<b>6,474</b>
	XYP	<b>7,765</b>	7,412	7,346	7,310	<b>7,310</b>	<b>6,224</b>
	CEM	<b>7,957</b>	7,642	7,544	7,530	<b>7,530</b>	<b>5,671</b>
D	REF	<b>7,870</b>	7,482	7,403	7,366	<b>7,357</b>	<b>6,973</b>
	XYP	<b>7,849</b>	7,543	7,462	7,348	<b>7,342</b>	<b>6,905</b>
	CEM	<b>7,937</b>	7,679	7,597	7,481	<b>7,473</b>	<b>6,209</b>



Obr. 69: Graf zobrazující naměřené hodnoty nasákavostí na betonových vzorcích v závislosti na jejich místě a době uložení

Z grafu je vidět, že nasákavost REF s dobou uložení rostla. Podobně dopadlo měření XYP, jehož nasákavost s dobou uložení stoupala také. Vliv na nasákavost nemělo ani přidání většího množství cementu u směsi CEM. Měřením tedy nebyl vyzorován příznivý vliv krystalizační přísady na nasákavost betonových těles.

## 6. Ekonomická náročnost použití krystalizačních přísad

Je vcelku známým faktem, že krystalizační přísady jsou poměrně drahou přísadou do betonu. V této části jsou uvedeny ceny testovaných betonů. Navíc je zde finančně porovnána, s ohledem na zjištěné chemické složení krystalizační přísady, varianta, kdy by se do betonové směsi přidalo v množství dávkované krystalizační přísady 80 % cementu a 20 % hydroxidu vápenatého.

S ohledem na výsledky průsaku tlakovou vodou lze těžko srovnávat efektivitu odolnosti betonu proti tlakové vodě přidáním cementu či krystalizační přísady. Lze ale zohlednit všeobecnou znalost složení betonu, kdy při obsahu  $350 \text{ kg/m}^3$  cementu by beton měl prokázat dostatečnou odolnost proti průsaku tlakovou vodou – k tomuto množství cementu se dále přidávají přísady na snížení vývoje hydratačního tepla a pro podchycení vzniku trhlin

v betonu. Pevnost betonu v tlaku v této části není zohledněna, protože není hlavní řešenou problematikou. Celé porovnání se týká průsaků. Použité ceny jsou z ceníku firmy ZAPA beton a.s. pro region Praha [24].

Pro stanovení základní ceny referenčního betonu je vycházeno z naměřené 28denní pevnosti. Po 28 dnech nabyl referenční beton pevnosti 41,6 MPa a tím ho lze zařadit do třídy C 30/37. Pro konzistenci S3 v kategorii C 30/37 je cena betonu 2 831 Kč/m<sup>3</sup>. Cena betonu s přidaným Xypexem je navýšena o cenu obsahu krystalizační přísady. Jako krystalizační přísada je použit produkt Xypex Admix C – 1000 NF. Cena za jeden kg je 400 Kč a použité dávkování je 1 % hmotnosti cementu. Beton s přidaným cementem má dle tabulky složení pozměněný obsah kameniva, aby byl dodržen objem 1 m<sup>3</sup> betonu. Tento faktor je zanedbán a pro typ betonu s přidaným cementem je cena navýšena pouze o hmotnost přidaného cementu. Cement o hmotnosti 25 kg typu CEM I 42,5 R stojí přibližně 95 Kč.

Na závěr je oceněna varianta, kdyby byl Xypex nahrazen odpovídajícím množstvím jeho dalších složek (80 % cementu a 20 % hydroxidu vápenatého). Cena hydroxidu vápenatého je ve výpočtu uvažována jako 400 Kč/kg.

Tab. 14: Tabulka shrnující finanční náročnost

Beton	Základní cena 1 m <sup>3</sup> [Kč]	Přidaná látka	Množství látky [kg]	Cena [Kč/kg]	Cena přidané látky [Kč]	Cena celkem [Kč]
REF	2831	-	-	-	0	2831
XYP	2831	Xypex	2,87	400	1148	3979
CEM 350	2831	cement	63	3,8	239,4	3070
Přidání složek Xypexu	2831	cement	2,296	3,8	8,7248	3069
		hydroxid vápenatý	0,574	400	229,6	

Z tabulky srovnání cen jsou vidět celkové ceny jednotlivých druhů betonů. Obsah cementu v referenčním betonu, který byl testován, je 287 kg/m<sup>3</sup>. CEM 350 je označení betonu, který má obsah cementu 350 kg/m<sup>3</sup>. Pro finanční srovnání je tedy posuzován beton s jiným přidaným množstvím cementu, než jaké bylo testováno, a to s ohledem na doporučené dávkování cementu pro zajištění vodonepropustnosti betonu. Konkrétně je přidáno do m<sup>3</sup> v tomto výpočtu 63 kg cementu.

Srovnání cen od referenčního betonu je následující. Při ceně referenčního betonu 2831 Kč se přidání 63 kg cementu projeví zdražením o 239 Kč na 1 m<sup>3</sup> betonu – tedy na částku 3 070 Kč, což je nárůst ceny o 8,5 %. Přidáním Xypexu se už na první pohled cena liší výrazněji. Zdražení oproti referenčnímu betonu je o 1 148 Kč na 1 m<sup>3</sup> betonu – tedy na částku

---

3 979 Kč, což je nárůst ceny o 40,5 %. Pokud bude přidán obsah Xypexu do betonu po jednotlivých složkách, pak se cena dostává prakticky na stejnou cenu jako při přidání cementu.

Pokud je uvažováno, že se Xypex skládá z 80 % cementu a z 20 % hydroxidu vápenatého, pak množství Xypexu v 1 m<sup>3</sup> stojí 1 148 Kč, ovšem základní látky obsažené v Xypexu jsou za cenu 230 Kč. Znamená to, že samotná hodnota Xypexu je při úvaze složení pouze z těchto dvou složek 5x nižší, než za kterou je prodáván. Nelze ale zanedbat případné další složky obsažené v Xypexu, technologický postup výroby, balení, dopravu a podobně. Po zvážení těchto nákladů lze říci, že hodnota Xypexu je nižší 3 – 4x než jeho finální cena.

Zároveň lze po dokončeném experimentu říci, že vliv Xypexu na průsak ani jiné vlastnosti ztvrdlého betonu nebyl shledán jako pozitivní oproti referenčnímu betonu. Cenové srovnání v kombinaci s výsledky experimentu tedy neposkytuje žádný argument ve prospěch použití této přísady. Z tohoto pohledu lze konstatovat, že pokud Xypex nebude použit, bude de facto každý čtvrtý kubík betonu zdarma. Při rozhodování však mohou hrát roli i jiné faktory, například zkušenosti projektanta nebo technologa s různými přísadami, typy betonů a konstrukčními řešeními. Je na každém, zda vyhodnotí konkrétní situaci jako vhodnou pro přidání Xypexu či nikoliv.

## 7. Závěr

Cílem této práce bylo otestovat vliv krystalizačních přísad do betonu. Za tímto účelem byl zrealizován promyšlený experiment, který porovnal různé receptury betonů a jejich rozdílné uložení v čase i místě. Postupně byly různé záměsi betonů testovány jednak zkouškami pro čerstvý beton a jednak zkouškami pro ztvrdlý beton.

U čerstvého betonu byla testována konzistence sednutím kužele a jeho objemová hmotnost. Sednutím kužele byla prokázána lepší zpracovatelnost betonu, ale zároveň s lepší zpracovatelností lehce poklesla objemová hmotnost betonu. Po stránce zpracovatelnosti byl Xypex Admix vyhodnocen jako pozitivně ovlivňující beton.

Pro ztvrdlý beton byly provedeny zkoušky měření objemové hmotnosti betonu, pevnosti v tlaku, hloubky průsaku a nasákavosti s následujícími výsledky:

- Měření objemové hmotnosti ztvrdlého betonu nepotvrdilo vliv krystalizační přísady Xypex.

- 
- Při měření pevnosti v tlaku byla pevnost referenčního betonu (REF) použita jako srovnávací hladina pro rozdíl pevnosti oproti betonu s přidaným Xypexem (XYP) a betonu s přidaným množstvím cementu (CEM). Pevnost betonu REF byla při všech měřeních vyšší než pevnost betonu XYP. Tato informace se neslučuje s informací výrobce, že beton s přidaným Xypexem Admix bude mít zvýšenou pevnost. Zásadní je, že pevnost nemá být nižší, což nebylo prokázáno a v tomto ohledu je vliv Xypexu Admix negativní. Beton CEM měl při všech zkouškách dle předpokladu pevnost vyšší.
  - Na naměřené hloubky průsaku Xypex Admix neměl pozitivní vliv během prvních dvou měsíců. Ke změně trendu došlo až ve třetím měsíci, kdy byl průsak betonu XYP naměřen nižší než u betonu REF. Za zmínění ale stojí i fakt, že při posledním měření měl beton CEM ještě menší průsak než beton XYP. Nelze jednoznačně říci, zda mělo přidání krystalizační přísady pozitivní vliv na průsaky, nicméně dle výsledků se v prvních dvou měsících pozitivní vliv nepotvrdil a je otázkou, co by se dělo na vzorcích, které zrají ještě déle než tři měsíce.
  - Posledním měřením nebyl vypořádan vliv krystalizační přísady na nasákavost betonových těles.

S ohledem na současný tlak investorů na minimalizaci cen staveb je otázkou, zda je použití krystalizačních přísad obhajitelné a zda nelze stejných technologických účinků dosáhnout i jinou, levnější cestou. S tímto problémem se musí každý projektant či investor vypořádat sám. Autor doufá, že tato práce jim bude moci posloužit jako prakticky využitelný podklad pro jejich rozhodování.

## 8. Literatura

- [1] Historie betonu. EBETON. <http://www.ebeton.cz/pojmy/historie-betonu>. Citováno dne 5.4.2017.
- [2] Přísady. EBETON. <http://www.ebeton.cz/pojmy/prisady>. Citováno dne 5.4.2017.
- [3] Latentně hydraulické příměsi. EBETON. <http://www.ebeton.cz/pojmy/latentne-hydraulicke-primesi>. Citováno dne 5.4.2017.



- 
- [4] ProjectSheet 313@Somerset. Xypex.  
<http://www.xypex.com/uploads/Projects/5702/Xypex%20-%20313@Somerset.pdf>.  
Citováno dne 5.4.2017.
- [5] ProjectSheet 409 and 499 Illinois. Xypex.  
<http://www.xypex.com/uploads/Projects/5702/Xypex%20-%20313@Somerset.pdf>.  
Citováno dne 5.4.2017.
- [6] Project detail Aquacentrum Barrandov. Xypex. <http://xypex.com/projects/project-search/Detail?projectid=9499>. Citováno dne 5.4.2017.
- [7] Project detail Buffalo Zoo Arctic Edge Exhibit. Xypex.  
<http://xypex.com/projects/project-search/Detail?projectid=6473>. Citováno dne 5.4.2017.
- [8] ProjectSheet Mitchell Interchange Tunnels. Xypex.  
<http://www.xypex.com/uploads/Projects/5630/Xypex%20-%20Mitchell%20Interchange%20Tunnels.pdf>. Citováno dne 5.4.2017.
- [9] *Technický list Xypex Admix C-1000 (NF)*; Xypex Chemical Corporation: Česká republika.
- [10] Technický list Sika WT-200 P, 2013. Sika.  
<http://cze.sika.com/dms/getdocument.get/a332c247-3123-340c-b93e-51dd3d1d8de4/Sika%20WT-200%20P.pdf>. Citováno dne 18.4.2017.
- [11] Prospekt řady Sika WT, 2013. Sika.  
<http://cze.sika.com/dms/getdocument.get/d37c11dd-4232-3aca-bc7a-a07d7267ae4e/rada%20Sika%20WT%20-%20prospekt.pdf>. Citováno dne 18.4.2017.
- [12] Technický list Balchem Waterizol Admix, 2013. Balchem.  
[http://www.balchem.cz/pdf/technicka\\_karta\\_waterizol\\_admix.pdf](http://www.balchem.cz/pdf/technicka_karta_waterizol_admix.pdf). Citováno dne 18.4.2017.
- [13] Technický list Redrock Krystol Mix. Redrock construction. [http://www.redrock-cz.com/katalog/produkty/pdf/Krystol\\_MIX.pdf](http://www.redrock-cz.com/katalog/produkty/pdf/Krystol_MIX.pdf). Citováno dne 18.4.2017.
- [14] Technické informace H krystal mix, 2013. ARTESA capillary dry.  
<http://www.artesacd.cz/produkty/h-krystal-mix>. Citováno dne 18.4.2017.
- [15] Technický list Maxseal Super Admix. DRIZORO CZ. [http://www.drizoro-cz.cz/documents/MAXSEAL\\_SUPER\\_ADMIX.pdf](http://www.drizoro-cz.cz/documents/MAXSEAL_SUPER_ADMIX.pdf). Citováno dne 18.4.2017.
- [16] *Bezpečnostní list Xypex Admix*; Xypex Chemical Corporation: Česká republika, 2009.  
Citováno dne 3.5.2017.

- 
- [17] ČSN EN 12390-2. *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 2: Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [18] ČSN EN 12350-2. *Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [19] ČSN EN 12350-6. *Zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [20] ČSN EN 12390-7. *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [21] ČSN EN 12390-3. *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [22] ČSN EN 12390-8. *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [23] ČSN 73 1316. *Stanovení vlhkosti, nasákavosti a vzlínivosti betonu*. Federální úřad pro normalizaci a měření, 1989.
- [24] Ceník betonárna Kačerov, 2017. ZAPA beton.  
<http://www.zapa.cz/media.php?a=file&id=2061> . Citováno dne 3.5.2017.
- [25] *Technický list Xypex Admix*; Xypex Chemical Corporation: Česká republika, 2009.
- [26] *Prohlášení o vlastnostech Xypex Admix*; Xypex Chemical Corporation: Česká republika, 2016.
- [27] ČSN EN 934-2+A1. *Přísady do betonu, malty a injektážní malty – Část 2: Přísady do betonu – Definice, požadavky, shoda, označení a značení štítkem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [28] Pantheon. Wikipedie. <https://cs.wikipedia.org/wiki/Pantheon>. Citováno dne 3.5.2017.
- [29] ČSN EN ISO/IEC 17025. *Posuzování shody – Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [30] ČSN 73 1209. *Vodostavebný beton*. Praha, 1998.