

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Zhodnocení vlivu příměsí a přísad na vlastnosti vodotěsného betonu

2022

Veronika Blovská

**Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a všechny použité prameny a literatura jsou uvedeny v seznamu citované literatury.

Nemám námitek proti použití tohoto díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne .....

.....

Podpis

### **Poděkování**

Chtěla bych poděkovat firmě SCHOMBURG a jejímu zástupci panu Pavlu Hiklovi za věnování vzorku přísady s krystalizačním a plastifikačním účinkem pro účely výroby zkušebních těles.

## Anotace:

Tato bakalářská práce se věnuje účinkům příměsí a přísad na pevnost, vodotěsnost a další vlastnosti betonu. Zaměřuje se na způsoby zajištění vodonepropustnosti staveb, princip funkce krystalizačních přísad a shrnuje zkušební metody k ověřování vodotěsnosti betonu. Hlavním tématem je výroba zkušebních těles s různými příměsemi a přísadami. Vzorky jsou v rámci experimentu podrobeny zkouškám tlakové pevnosti, vodotěsnosti a pevnosti v příčném tahu. Následuje porovnání výsledků a vyhodnocení.

## Klíčová slova:

Beton, vodonepropustnost, konstrukce spodní stavby, krystalizační přísada, tlaková pevnost, průsak.



## Annotation:

This bachelor thesis deals with the effects of admixtures on the strength, water resistance and other properties of concrete. It focuses on the methods of ensuring the watertightness of buildings, the principle of the function of crystallising admixtures and summarises test methods for determining the watertightness of concrete. The main topic is the production of specimens with various admixtures. The specimens are tested for compressive strength, watertightness and transverse tensile strength tests as part of the experiment. The results are then compared and evaluated.

## Keywords:

Concrete, waterproofing, substructure, crystalline admixture, compressive strength, seepage.

# Obsah

Obsah .....	7
Seznam použitých symbolů .....	9
Úvod .....	10
1. Teoretická část .....	11
1.1. Využití vodotěsného betonu ve stavebnictví .....	11
1.1.1. Bílá vana .....	13
1.1.2. Černá vana .....	14
1.1.3. Výhody a nevýhody bílých a černých van .....	14
1.1.4. Ukázky z praxe .....	16
1.2. Princip funkce krystalizačních přísad .....	18
1.2.1. Zhodnocení výhod a nevýhod jejich použití .....	18
1.3. Zkušební metody k ověřování vodotěsnosti betonu .....	19
1.4. Stupeň vlivu prostředí .....	20
2. Praktická část .....	21
2.1. Návrh receptury .....	21
2.2. Analýza vstupních surovin .....	25
2.2.1. Kamenivo .....	25
2.2.2. Voda .....	29
2.2.3. Cement .....	29
2.2.4. Přísady a příměsi .....	31
2.3. Zpracovatelnost .....	34
2.4. Tlaková pevnost .....	36
2.5. Hloubka průsaku .....	39
2.6. Vyhodnocení .....	42
2.6.1. Tlakové síly a pevnosti v tlaku .....	43
2.6.2. Průsaky .....	44
Závěr .....	46
Literatura .....	47
Seznam obrázků .....	51
Seznam tabulek .....	52

Přílohy.....	53
Příloha 1: Certifikát – Kámen Zbraslav .....	53
Příloha 2: Osvědčení o stálosti vlastností – Portlandský cement.....	54
Příloha 3: Prohlášení o shodě s technickou specifikací – STACHESIL S.....	55
Příloha 4: Prohlášení o vlastnostech – BETOCRETE-CL170-P .....	56
Příloha 5: Prohlášení o vlastnostech – STACHEMENT 787 .....	58

## Seznam použitých symbolů

ČSN	česká technická norma
EN	evropská norma
FIDIC	Fédération Internationale Des Ingénieurs-Conseils (Mezinárodní federace konzultačních inženýrů)
HDPE	high density polyethylene
ISO	mezinárodní norma
PVC	polyvinylchlorid
Q2002	ekvivalentní průtok povodní z roku 2002
ÚČOV	ústřední čistírna odpadních vod

## Úvod

V posledních desetiletích došlo k neobyčejnému rozvoji nejen v oboru stavebnictví a stavebních materiálů, mezi které patří i beton. Vstupní suroviny jsou nyní pečlivěji vybírány a zkoušeny a na vyšší technologické úrovni zpracovávány. Použitá mechanizace je v posledních letech výkonnější, přesnější a pracovníci zapojení do procesu často kvalifikovanější než dříve. Receptury betonových směsí jsou upravovány a optimalizovány pro dosažení vyšších pevností, zpracovatelností nebo odolností proti působení tlakové vody pro vodotěsné betony. Vlastnosti betonových směsí velkou měrou ovlivňují i přísady a příměsi, jejichž působením se budu ve své práci zabývat.

První část práce je rešerší využití vodotěsného betonu ve stavebnictví, věnuje se také principu funkce krystalizačních přísad nebo zkušebním metodám k ověřování vodotěsnosti. Použity byly české i zahraniční odborné publikace.

Druhá část práce se zabývá návrhem a provedením experimentu, který zkoumá vliv použitých příměsí a přísad na vlastnosti betonové směsi a betonu. V rámci experimentu bylo vyrobeno pět sad zkušebních krychlí s různými přísadami a příměsemi, krychle byly po dosažení pevnosti zkoušeny na pevnost v tlaku, průsak a pevnost v příčném tahu. Výsledky byly zpracovány do tabulek a grafů a vzájemně porovnány, následně bylo provedeno vyhodnocení a závěr.

Cílem práce je vyhodnocení nejvhodnější přísady nebo příměsi či jejich kombinace pro recepturu vodotěsného betonu. Hodnotí se zejména pevnost v tlaku a splnění požadavku na vodotěsnost.

# 1. Teoretická část

## 1.1. Využití vodotěsného betonu ve stavebnictví

Vlivem nedokonalého zpracování čerstvého betonu, odpařování přebytečné záměsové vody a strukturálních změn způsobených krystalizačními procesy vznikají v betonu diskontinuity, kvůli kterým nelze mluvit o vodotěsnosti betonu, alespoň ve fyzikálním smyslu. Při dodržení normových požadavků na receptury, technologii a provádění je však prakticky možné mluvit o vodonepropustnosti betonu [1].

Vodotěsnost betonu se zkouší podle ČSN EN 12390-8 (731302). Další požadavky na vodostavební beton uvádí podle účelu použití norma ČSN EN 206+A2 (732403), a sice vodotěsnost, odolnost proti korozi, mrazuvzdornost a odolnost proti abrazivním účinkům splavením. Nároky na materiál plynou z polohy konstrukce s ohledem na hladinu omývající vody, rozměru konstrukce a statické funkce konkrétního prvku [2].

Obecně musí betonová vodonepropustná konstrukce splňovat požadavky na únosnost, použitelnost a trvanlivost jako všechny ostatní konstrukce. Dále musí být zajištěna vodonepropustnost bez použití povlakových hydroizolací v případě konstrukcí tzv. bílých van. U tohoto typu betonových konstrukcí je kladen zvláštní důraz na detaily pracovních a dilatačních spár nebo těsnění prostupů. Podrobněji se věnuji bílým vanám v samostatné kapitole.

Druhým, historicky starším typem ochrany spodní stavby proti zemní vlhkosti je použití povlakových hydroizolací. Princip realizace spočívá v použití asfaltových pásů nebo folií, tkaných i netkaných polypropylenových tkanin nebo materiálů na bázi bentonitu, které se mechanicky kotví, lepí nebo natírají na vnější stranu konstrukce. Některé výrobky jsou speciálně upravené pro styk se slanou vodou, další mají zvýšenou odolnost proti protržení nebo nárazu [3].

V současné době je možné se kromě výše uvedených bílých a klasických černých van (technologie natavovaných asfaltových pásů) setkat s dalšími typy

vodonepropustných betonových konstrukcí. U tzv. hnědých van je vodonepropustnost betonu zvýšena předsazenou bentonitovou rohoží nebo matrací, variantně jsou použity modifikace s tuhými foliemi (HDPE). Pro zajištění vodonepropustnosti spodní stavby lze také navrhnout použití speciální patentované receptury betonu v kombinaci s ocelovými drátky, které omezují šířku trhlin, řešení tzv. oranžové vany. Dále je výrobcem krystalizací nabízená technologie tzv. modrých van, kdy je vodonepropustnost zvýšena patentovanou krystalizační přísadou přidávanou do čerstvého betonu během jeho výroby. U všech tří technologií je nutné dbát na utěsnění pracovních a dilatačních spár i prostupů, řešit problematiku trhlin a další, podobně jako u bílých van [4].

Kromě výše zmíněných izolací spodní stavby je vodotěsný beton ve stavebnictví používán ve vodohospodářské výstavbě. Zde je pro beton přítomnost vody obecně vhodná, vzhledem k technologii provádění monolitických konstrukcí není na překážku ani tvarově složitý hydraulicky vhodný objekt. Požadavky na betonovou směs zahrnují odolnost tlaku vodního sloupce, ale i počty zmrazovacích cyklů kvůli objemovým změnám ledu v pórech betonu při hladině vody na lici konstrukce v zimním období kvůli očekávané životnosti přehradních a dalších objektů [5].

V současné době dochází na našem území převážně k modernizaci a rekonstrukcím stávajících objektů. Různorodé projekty vodního stavitelství zahrnují mimo jiné tělesa jezů, plavební komory, nábrežní zdi, liniové stavby přivaděčů, věže vodojemů, vodní elektrárny, úpravní vod, čistírny odpadních vod nebo masivní přehrady a jejich přelivy [5].

Betonové konstrukce vodních staveb jsou zejména při povodňových událostech a přívalových deštích vystaveny mimořádnému zatížení. Jedná se o velké rychlosti a změny směru proudění v kanálech, potrubích a štolách, které je často spojeno s transportem pevných látek. U manipulačních objektů přehrad, spodních staveb jezů a dalších konstrukcí vodních staveb na tocích vznikají podtlaky a tlakové pulzace v místech imperfekcí, proto je nutno brát zřetel na namáhání konstrukčních prvků vibracemi způsobenými tlumením

kinetické energie. Pevné látky ve formě píscitých a štěrkovitých materiálů běžně porušují beton erozivními účinky, obvykle klasifikované jako abraze, nelze zanedbat ani velké vodou transportované materiály jako jsou vyvrácené stromy nebo ledové kry, které způsobují nárazy nebo nečekané hydrodynamické účinky. Ve všech takových případech zatížení je nejučinnějším prostředkem vysoká kvalita betonu s předepsanou třídou mechanické odolnosti, ověřené technologické zásady a dodržení tvaru konstrukčních prvků. Za těchto předpokladů a při využití nových technologií oprav je možno zajistit vysokou provozní spolehlivost i bezpečnost v kombinaci s vysokou odolností mimořádným namáháním po celou dobu životnosti díla [6].

### 1.1.1. Bílá vana

Bílá vana je vodonepropustná betonová konstrukce používaná pro technologii zakládání staveb. Konstrukce plní vlastní hmotou vedle statické funkce i hydroizolační funkci spodní stavby. Návrh konstrukce se provádí podle norem ČSN EN 206+A2 (732403), ČSN EN 12390-8, ČSN EN 1992-1-1 – Eurokód 2 a ČSN EN 480, v nichž je uvedeno mnoho požadavků na vodonepropustnost, povolené průsaky a další parametry konstrukce [7].

Tloušťky stěn bílé vany se odvozují z technických parametrů použité receptury, s ohledem na průsak z vnějšího a vysychání do vnitřního prostředí by teoreticky měla stačit tloušťka 150 mm, avšak s ohledem na nedokonalost výroby doporučuje Rakouská směrnice minimální tloušťku 250-300 mm pro běžné podmínky. Návrh s ohledem na pevnost betonu není směrodatný, po splnění požadavku vodotěsnosti a mrazuvzdornosti vyhoví pevnost betonu zpravidla násobně. Pro vodonepropustné konstrukce uvádí ČSN EN 206+A2 (732403) minimální pevnost třídy C 20/25. Nezanedbatelný vliv na vodotěsnost konstrukce bílé vany mají trhliny, je proto žádoucí zabránit jejich vzniku a rozvoji. Velikost trhlin ovlivňuje stupeň a způsob vyztužení, způsob provádění a ošetřování konstrukce. Vznik a následný rozvoj trhlin způsobuje zejména vysychání. Rozvoj trhlin je pak důsledkem složení a technologické správnosti procesu od ukládání po ošetřování. Jiným typem trhlin, které v betonu vznikají, jsou trhliny od objemových změn, zejména od smršťování a vlivem teploty.



Polohu trhlin od objemových změn lze na základě výpočtů předvídat a při vhodném vyztužení a správné volbě dilatačních celků se jim lze zcela vyhnout. V některých případech je nutné zahrnout do návrhu charakter vnějšího prostředí, například agresivitu zvodnělého prostředí, vliv bludných proudů na konstrukci nebo pro izolace spodní stavby i vliv radonu [1].

Důležitou součástí bílé vany je správné provedení pracovních a dilatačních spár. Pro spolehlivé utěsnění musí být spára očištěná, následně se do ní vkládají různé typy těsnicí prvky, které lze v obecné rovině dělit na pasivní a aktivní. Mezi pasivní prvky patří plechy a PVC pásy, dokonalým přibetonováním tvoří bariéru pronikající vodě. Aktivní prvky se při styku s vodou rozpínají a pracovní spáru dotěsňují, jedná se o bentonitové profily a expanzní profily. Dilatace se provádí obdobně jako u jiných železobetonových konstrukcí, nejčastěji jsou používány pásy z měkčeného PVC s podélnou komůrkou, která umožňuje pohyb dilatace [1].

### 1.1.2. Černá vana

Technologie černé vany spočívá v provedení nosné konstrukce z vodopropustného materiálu, který je následně ošetřen hydroizolací. Materiálové řešení konstrukce tak připouští kromě betonu i zdivo, keramické či pórobetonové tvárnice.

Kromě bezchybného provedení povlakové hydroizolace nejsou na černou vanu kladeny žádné speciální požadavky. V ČR se používají především asfaltové pásy, asfaltové hydroizolační nátěrové hmoty a fóliové hydroizolace. V případě návrhu nosné konstrukce z betonu resp. železobetonu je třeba omezit šířku trhlin, aby nedošlo k porušení konstrukce z hlediska její statické funkce, trvanlivosti nebo použitelnosti. Doporučené hodnoty maximální šířky trhlin lze nalézt v ČSN EN 1992-1-1 – Eurokód 2 [8].

### 1.1.3. Výhody a nevýhody bílých a černých van

Z hlediska sanací zatékání a trhlin je za základní výhodu bílých van možné považovat snadnou lokalizaci a technicky jednoduchou a finančně málo

nákladnou opravu poruch. Sanační zásah je často možné provést z interiéru, oproti tomu sanace poruchy povlakového hydroizolačního systému je obvykle spojena s prováděním výkopů. Významnou výhodou bílých van je také minimální riziko mechanického poškození hydroizolační obálky v průběhu výstavby. V případě systémů povlakových izolací je nutné důsledně dbát na technologickou kázeň a opatrnost při manipulaci s izolací i náradím všech pracovníků stavby. Černé vany vyžadují zručnost a pečlivost pracovníků stejně jako dodržení technologických postupů pro provádění spojů mezi izolačními pásy, problematika utěsnění prostupů technických zařízení je slabinou společnou oběma technologiím. Provedení bílé vany bývá oproti černým vanám finančně méně nákladné [9].

Pro funkci hydroizolace je zásadní správný návrh a bezchybné provedení spojů pracovních spár, které je v praxi ne vždy úspěšné. Při srovnání délky spojů hydroizolačních pásů a pracovních spár obalové konstrukce pro teoretický objekt je však patrné, že u bílé vany je mnohem méně běžných metrů slabých míst. Další nevýhodou bílých van je nebezpečí vzniku trhlin vlivem deformace, opět se ale jedná o poruchu vyskytující se i u málo elastických povlakových hydroizolací způsobenou například nerovnoměrným sedáním. Při provádění bílých van je nutno dbát na správné ošetřování nebo zhutnění betonové směsi, v závislosti na použitém materiálu. V případě nedodržení postupů dochází ke vzniku trhlin, selhání sekundární krystalizace nebo vzniku kavern, všechny tyto poruchy patří z hlediska vodonepropustnosti mezi závažné problémy konstrukce. Poslední nevýhodu bílých van zmíněnou v této práci je vyšší difuzní propustnost nevhodná pro použití na konstrukcích s nadměrnou koncentrací radonu [9].

Bez znalosti konkrétních podmínek pro danou realizaci nelze rozhodnout, které technologické řešení je objektivně lepší, vždy je třeba provést důkladnou analýzu a nestranně zhodnotit všechny výhody a nevýhody variant návrhu. Výběr technologie závisí také na možnostech prováděcí firmy, ekonomických a časových možnostech investora nebo lokality.

### 1.1.4. Ukázky z praxe

V následující kapitole uvádím některé zajímavé realizace nejen vodohospodářských staveb na území České republiky v posledních letech. Na prvním obrázku (obr. 1) je osmi ocelovými nosníky podchycená mostovka komunikace při sanaci betonů na projektu rekonstrukce přelivných polí vodního díla Nechranice. Do masivních konstrukcí bylo projektem předepsáno použití betonu C30/37 – XC4 (CZ), XF4 a na povrch přelivné plochy byl předepsán beton C35/45 – XC4 (CZ), XF4, XM3. Investorem byl pro omezení průniku vody z vnějšího prostředí požadován beton s příměsí zajišťující těsnící krystalizaci uvnitř betonu. Navržená přísada však nebyla součástí certifikovaných receptur a tak byl kvůli garanci zhotovitele použit beton bez této přísady [10].



Obrázek 1: Vodní dílo Nechranice – sanace [10]

Na dalším obrázku (obr. 2) je pohled na čerpadla a jeřáby z průběhu výstavby nové vodní linky ÚČOV, v Praze na Císařském ostrově. Na stavbě byl použit především beton C25/30 XC1-4 s požadavkem na maximální průsak 35 mm, s cementem CEM II/B-S 32,5 R. Pro dosažení požadovaných vlastností byl do betonové směsi přidán popílek a superplastifikátor Sika 1035. Využily se běžné i velmi speciální betony. Vyšší náročnost stavby byla způsobena (mimo jiné) skutečností, že objekt ÚČOV se nachází v zátopové oblasti, stavba je navržena na Q2002, realizace proběhla podle žlutého FIDICU [11].



Obrázek 2: Nová vodní linka ÚČOV [11]

Parkovací dům na Černém mostě je v podzemní části řešen jako bílá vana, v dalších podlažích přechází do železobetonového skeletu se ztužujícími stěnami. Jedná se o betonovou směs PERMACRETE® společnosti TBG METROSTAV, do směsi nebyla přidána žádná krystalizace. Na železobetonové konstrukce bylo spotřebováno 1 661 t betonářské výztuže a 11 900 m<sup>3</sup> betonu. Realizace železobetonových konstrukcí proběhla od listopadu 2020 do května 2021. Pohled na průběh výstavby je na následujícím obrázku (obr. 3) [12].



Obrázek 3: Nový parkovací dům na Černém mostě [12]

## 1.2. Princip funkce krystalizačních přísad

Krystalizační hydroizolace, ať už ve formě nátěru, přísady nebo vsypu, fungují na stejný princip. Chemická reakce spustí v pórovém systému betonu sekundární krystalizaci (katalytickou reakci), v jejímž důsledku dojde k zaplnění kapilárně aktivních pórů v hmotě betonu nově vzniklými krystaly. Krystaly rostou v kapilárách obsahujících vodu, kterou v průběhu chemické reakce na svůj růst spotřebují. Postupným růstem zcela zaplní pór, čímž znemožní další transport vody kapilárním systémem konstrukce. Nezbytným požadavkem na průběh reakce v dostatečném rozsahu je proto přítomnost volné vody v kapilárních pórech po určitou minimální dobu. Z tohoto důvodu je vhodné použít systém krystalizační hydroizolace u konstrukcí s dostatečným přísunem vody. Krystalizační izolace jsou používány pro sanace starších betonových konstrukcí i do čerstvých betonových směsí pro konstrukce bílých van a jiných aplikací vodohospodářských objektů [13].

### 1.2.1. Zhodnocení výhod a nevýhod jejich použití

Zpravidla bývá udáváno mnoho výhod, které krystalizační hydroizolace přináší, ne vždy se ale jedná o obecně platné skutečnosti a je proto třeba objektivně posoudit věrohodnost tvrzení anebo výrobek nezávisle vyzkoušet. Mezi často uváděné výhody patří izolace proti tlakové vodě až do sedmi atmosfér, zajištění odolnosti betonu proti ropným produktům, zacelení vlasových trhlin do 0,4 mm nebo použití ve formě nátěru, přísady či vsypu pro různé aplikace i pro póry zcela zaplněné vodou. Nezávislý výzkum z roku 2010 potvrdil samohojení trhlinek do velikosti asi 0,1 mm a podrobně popsal proces za různých okrajových podmínek [13], [14], [15], [16], [17].

Mezi nevýhody použití krystalizačních hydroizolací při sanacích trhlin patří neschopnost krystalů přizpůsobit se dalším pohybům ve spáře. Tmel na silikátové bázi je po zatvrdnutí nepružný, proto výrobci krystalizačních hydroizolací doporučují použít pro kritické detaily krystalizační tmel. Další nevýhodou je vysoká pevnost a modul pružnosti krystalizačních hydroizolací způsobující křehkost materiálu a při silových nebo nesilových účincích vznik

trhlin v sanovaných místech. Podle jiných zdrojů ale nebylo zvýšení pevnosti v tlaku při použití přísad prokázáno, výsledná čísla vyšla téměř shodně. Výsledek může být ovlivněn složením, ale výrobci často neuvádí specifické požadavky na složení směsi pro správnou funkci krystalizačních přísad, proto je i tato nevýhoda předmětem diskuse odborné veřejnosti. V případě poruchovosti bílých van je dále nutné oddělit nevýhody konstrukce a nevýhody materiálu. Například chybné provedení problematických pracovních spár a výsledná dysfunkce hydroizolační obálky by neměla být chápána jako závada krystalizační přísady. Beton s krystalizační přísadou je třeba i přes marketing výrobců chápat jako stavební materiál, nikoliv jako řešení všech problémů spodní stavby. Stejně jako u konstrukcí bez krystalizačních přísad je nutné těsnit pracovní spáry a prostupy technických zařízení obvyklým způsobem [13], [18], [19].

Z uvedených informací lze říci, že výhody použití krystalizačních přísad podle současných poznatků převáží nad jejich nevýhodami. Samotné použití krystalizačních přísad však může a nemusí být vhodné pro daný řešený projekt, protože je kromě technických parametrů nutné zvážit i ekonomické hledisko a další faktory ovlivňující návrh receptury betonové směsi. V rámci používání krystalizačních přísad je stále prostor pro výzkum, mnoho jejich vlastností a účinků (mimo nepopíratelnou vodotěsnost, které však lze dosáhnout i jinými způsoby) nebylo důkladněji nezávisle zkoušeno. V neposlední řadě je nutné pamatovat na fyzikální zákony a kriticky přistupovat k neověřeným informacím výrobců a prodejců.

### 1.3. Zkušební metody k ověřování vodotěsnosti betonu

Zkouška vodotěsnosti probíhá podle normy ČSN EN 12390-8 (731302) Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou. Zkušební tělesa mohou být hranoly nebo válce o délce hrany nebo průměru  $a = 150, 200, 300$  mm a s poměrem výšky ku průměru větším než 0,5 s výškou tělesa nejméně 100 mm. Vodní sloupec působí na plochu o průměru 75 mm v prvních čtyřiceti osmi hodinách tlakem 100 kPa, následujících dvacet čtyři hodin tlakem 300 kPa a na závěr dvacet čtyři hodin tlakem 700 kPa. Norma požaduje



jednotný tlak vody  $500 \pm 50$  kPa po dobu působení  $72 \pm 2$  hodiny. Beton je vodotěsný, pokud je průměrná hloubka průsaku menší než 20 mm a maximální hloubka průsaku nepřekročí hodnotu 50 mm [2].

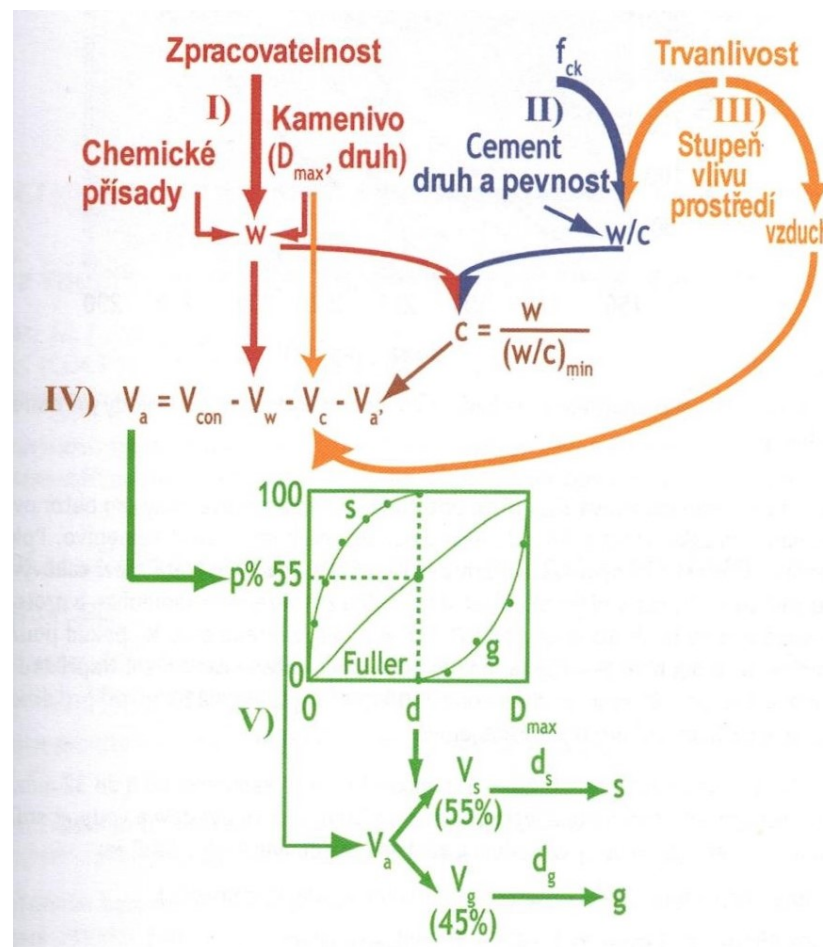
#### 1.4. Stupeň vlivu prostředí

Stupeň vlivu prostředí XM – Koroze vlivem mechanického působení – ohrus byl do ČSN EN 206-1 zaveden změnou Z3 v roce 2008. V roce 2021 byla norma ČSN EN 206+A1 nahrazena dokumentem ČSN EN 206+A2, který již tento stupeň vlivu prostředí neuvádí. V současně platných normách ČSN EN 206+A2 a ČSN P 73 2404 tak nově stupeň vlivu prostředí způsobený pohyblivým mechanickým zatížením není zahrnut. V problematice vodohospodářských objektů se typicky jedná o průmyslové podlahy pojižděné vozidly s pneumatikami, žlaby akvaduktů (dříve XM1), povrchy pojižděné vozidly s pneumatikami nebo celogumovými koly vysokozdvížných vozíků, stěny a dna kanálů nebo jezové pilíře a tělesa jezů (stupeň vlivu prostředí XM1) nebo povrchy pojižděné vozidly s ocelovými nebo umělohmotnými koly vysokozdvížných vozíků; plochy pojižděné pásovými vozidly; vodní stavby vystavené intenzivnímu proudění vody, např. vývařiště (označení XM3). Norma mimo požadavky na vodní součinitel, pevnostní třídu betonu a minimální obsah cementu specifikovala úpravu a zpracování povrchu [20].

## 2. Praktická část

### 2.1. Návrh receptury

Návrh složení betonové směsi je založen na experimentálních vztazích mezi složením betonu a vlastnostmi vstupních surovin. Nejprve je třeba určit potřebnou dávku záměsové vody, která je odvislá od požadované zpracovatelnosti a použitého kameniva, velikosti jeho největšího zrna a od použitých přísad. Následně je na základě vodního součinitele určeno množství cementu. Množství je určeno také v závislosti na požadované pevnosti ztvrdlého betonu a typu a třídě pevnosti použitého cementu, nebo s ohledem na požadovanou trvanlivost vzhledem k třídě agresivity prostředí. Dalším krokem je výpočet objemu kameniva odečtením objemu cementu, vody a vzduchu od objemu betonu. Celkový objem kameniva je poté rozdělen na objemy všech frakcí podle požadované křivky zrnitosti. Proces návrhu je znázorněn níže (obr. 4) [21].



Obrázek 4: Schematické znázornění procesu návrhu betonové směsi [21]



Dále na stránce uvádím příklady receptur (tab. 1) pro vodonepropustné betony, ze kterých vycházel návrh betonové směsi pro tuto práci. Návrhy složení byly nalezeny v literatuře, zejména v odborných pracích zabývajících se například odolností betonu proti působení tlakové vody nebo sanacemi s využitím krystalizačních přísad. Na následujících stranách jsou zaznamenané výsledné receptury (tab. 2, 3) použité pro výrobu pěti sad zkušebních těles v rámci této práce.

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	1,148	2377
XYP	1000	571	343	287	175	2,87	1,148	2380
CEM	938	560	336	331	175	0	1,324	2341

Složení použitého betonu [kg/m <sup>3</sup> ]	
Složení	Hmotnost [kg]
Cement CEM I 42,5	330
Kamenivo 0-4	860
Kamenivo 4-8	510
Kamenivo 8-16	455
Xypex Admix C1000	2,05
Voda	195,4

Složka	Množství (kg/m <sup>3</sup> )
Cement	479
Voda	230
Jemné kamenivo	625
Hrubé kamenivo	1066
Celkem	2400
<i>Vodní součinitel</i>	<i>0,48</i>

Složka	Množství (kg/m <sup>3</sup> )
Cement (CEM II/32,5 N; S <3,5 %, Cl <0,10 % a počáteční doba tuhnutí přibližně 1,25 h)	457
Voda	210
Jemné kamenivo (ostrý křemičitý písek, rovnoměrné zastoupení vel. zrn mezi 1 mm a 300 μm)	660
Hrubé kamenivo (drcené kameny s ostrými hranami o maximální velikosti 20 mm)	1073
Celkem	2400
<i>Vodní součinitel</i>	<i>0,46</i>

Návrh a složení cementové směsi	
Poměry složek [kg/m <sup>3</sup> ]	
Cement	736
Jemné kamenivo	2207
Voda	368

Tabulka 1: Receptury pro návrh směsi z literatury [22], [23], [24], [25], [26]

**receptura BV 1 - vyrobeno 14. 12. 2021 - ozn. "C"**

šest krychlí 150x150x150

materiál	specifikace	množství [kg/m <sup>3</sup> ]	potřebné množství [g]
cement	42,5 R	330	7 260
voda	-	175	3 850
<u>kamenivo</u>			
jemné	0 - 4	900	19 800
střední	4 - 8	500	11 000
hrubé	8 - 16	450	9 900
plastifikátor	Stachement 787 0,5%	1,65	36,3
		2356,65 kg	51846,30 g
vodní součinitel		0,53	

**receptura BV 2 - vyrobeno 14. 12. 2021 - ozn. "M"**

šest krychlí 150x150x150

materiál	specifikace	množství [kg/m <sup>3</sup> ]	potřebné množství [g]
cement	42,5 R	330	7 260
voda	-	208	3 870
<u>kamenivo</u>			
jemné	0 - 4	860	18 920
střední	4 - 8	470	10 340
hrubé	8 - 16	420	9 240
plastifikátor	Stachement 787 0,5%	1,65	36,3
	mikrosilika	30	660
		2319,65 kg	50326,30 g
vodní součinitel		0,45	

**receptura BV 3 - vyrobeno 31. 1. 2022 - ozn. "VÁP"**

šest krychlí 150x150x150

materiál	specifikace	množství [kg/m <sup>3</sup> ]	potřebné množství [g]
cement	42,5 R	330	7 260
voda	-	205	4 510
<u>kamenivo</u>			
jemné	0 - 4	860	18 920
střední	4 - 8	270	5 940
hrubé	8 - 16	420	9 240
plastifikátor	Stachement 787 0,5%	1,65	36,3
	vápenec	30	660
		2116,65 kg	46566,30 g
vodní součinitel		0,57	

Tabulka 2: Receptury použité pro výrobu zkušebních těles I

**receptura BV 4 - vyrobeno 31. 1. 2022 - ozn. "ST"**

šest krychlí 150x150x150

materiál	specifikace	množství [kg/m <sup>3</sup> ]	potřebné množství [g]
cement	42,5 R	330	7 260
voda	-	205	4 510
<u>kamenivo</u>			
jemné	0 - 4	860	18 920
střední	4 - 8	270	5 940
hrubé	8 - 16	420	9 240
plastifikátor	Stachment 787 0,5%	1,65	36,3
	struska	30	660
		2116,65 kg	46566,30 g
vodní součinitel	0,57		

**receptura BV 5 - vyrobeno 29. 3. 2022 - ozn. "KR"**

šest krychlí 150x150x150

materiál	specifikace	množství [kg/m <sup>3</sup> ]	potřebné množství [g]
cement	42,5 R	330	7 260
voda	-	216	4 750
<u>kamenivo</u>			
jemné	0 - 4	900	19 800
střední	4 - 8	500	11 000
hrubé	8 - 16	450	9 900
plastifikátor	Stachment 787 0,5%	1,65	36,3
	krystalizace	6,6	145
		2404,16 kg	52891,30 g
vodní součinitel	0,65		

**Tabulka 3: Receptury použité pro výrobu zkušebních těles II**

## 2.2. Analýza vstupních surovin

### 2.2.1. Kamenivo

Kamenivo je chemicky neaktivní zrnitý materiál zajišťující objemovou stabilitu a lepší trvanlivost, je důležité také z hlediska pevnosti betonu. V cementové matrici je použito také kvůli snížení ceny výsledné směsi. Termínem souhrnně označujeme jak jemné frakce jako je písek, tak hrubé kamenivo ve formě drtě nebo štěrku [21].

Kromě absence chloridů, síranů, reaktivních silik (z důvodu možné alkalicko-křemičité reakce), jílu a reaktivních látek musí kamenivo splňovat požadavky na mrazuvzdornost a dostatečné mechanické vlastnosti, zejména pevnost a trvanlivost. Pro betony s nižší pevností může být použito recyklované kamenivo, betony vodohospodářských objektů nesmí obsahovat kamenivo uhličitánových hornin. ČSN EN 1097-2 stanovuje požadavek na maximální otlukovost  $\leq 30$  pro vodohospodářské konstrukce. Z toho důvodu bylo použito certifikované kamenivo do betonu od firmy Kámen Zbraslav, kde se i těží. Certifikát je součástí příloh [20], [21].

Dalším ukazatelem kvality kameniva je jeho zrnitost, rozdělení zrn kameniva podle velikosti od nejjemnějších po největší částice. Zrnitost kameniva lze naměřit síťovým rozbořem, při kterém se reprezentativní vzorek kameniva proseje přes sadu normových sít. Síta lze uspořádat nad sebe, jednotlivé frakce se po ukončení zkoušky zváží. Pro účely zkoušky byla použita sada normových sít uvedená EN (obr. 5, 6) začínající na otvorech 0,063 mm. Pro zkoušku byla použita kameniva frakce 0/4 (jemná), 4/8 (střední) a 8/16 (hrubá frakce). Výstupem zkoušky jsou tabulky síťových rozborů (tab. 4, 5, 6) uvedené dále. Po vynesení celkových propadů pro jednotlivá síta vznikne křivka zrnitosti, na obrázku v logaritmickém měřítku (obr. 7).

Pro dosažení optimální skladby kameniva je vhodné smíchat několik frakcí, výsledná směs, v grafu křivky zrnitosti (obr. 7) je výsledná křivka znázorněná modrou barvou, se blíží ideální křivce zrnitosti daleko více, než jednotlivá

kameniva. V grafu je fialovou barvou vynesena ideální křivka zrnitosti pro použité kamenivo vyjádřena Füller-Thomsonovým vztahem. Pokud by bylo v systému dosaženo ideální zrnitosti, směs bude špatně zpracovatelná. Proto Bolomeyova rovnice modifikuje ideální křivku zrnitosti v závislosti na požadované zpracovatelnosti a kvalitě kameniva [21].



Obrázek 5: Normová síta



Obrázek 6: Síťový rozbor – vážení propadů

rozměr síta [mm]	jemná frakce			
	propady		nadsítné	podsítné
	[g]	[%]		
31,5	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
16	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
8	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
4	21,15	1,10%	1,10%	98,90%
2	86,55	4,48%	5,58%	94,42%
1	161,25	8,35%	13,94%	86,06%
0,5	556,15	28,82%	42,75%	57,25%
0,25	715,30	37,06%	79,81%	20,19%
0,125	208,75	10,82%	90,63%	9,37%
0,063	153,65	7,96%	98,59%	1,41%
podsítné	25,80	1,34%	99,93%	0,07%

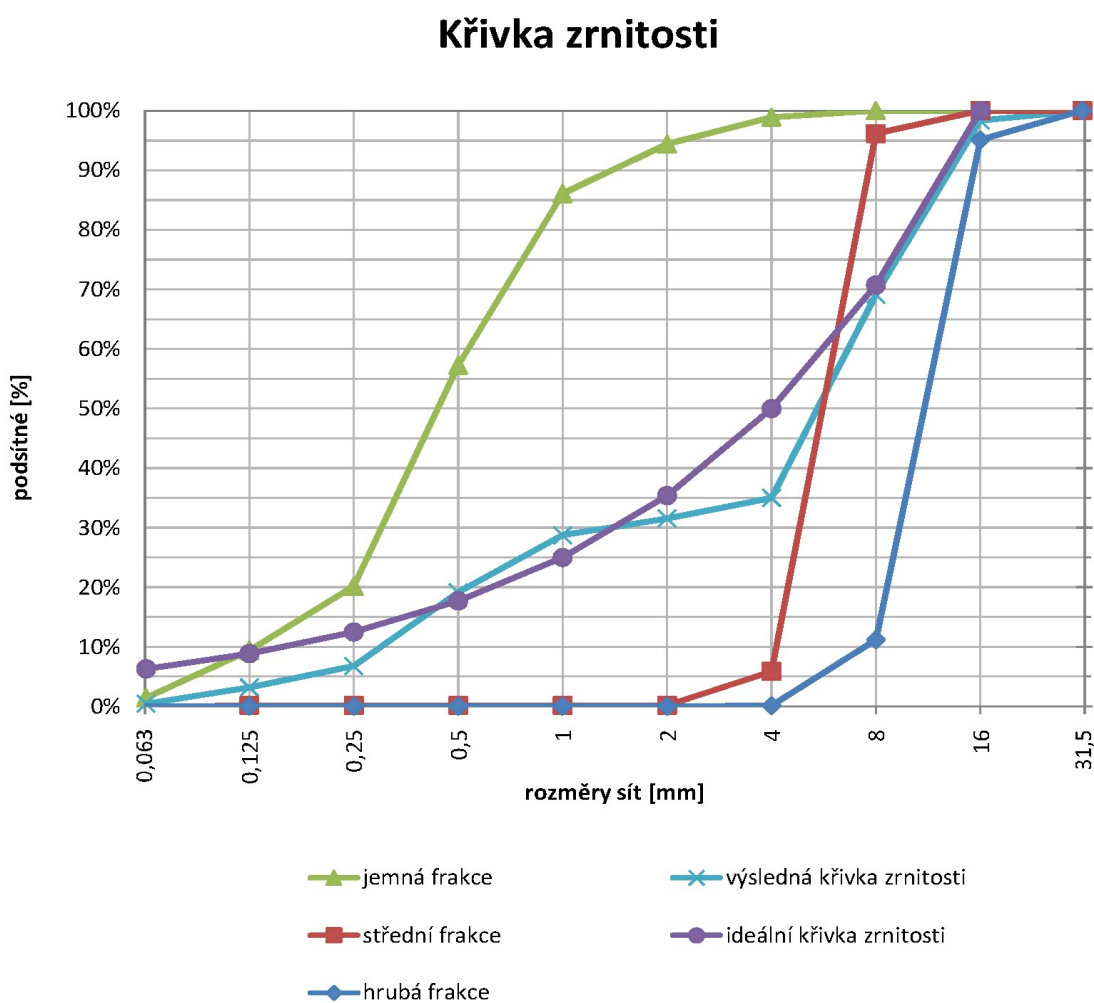
Tabulka 4: Síťový rozbor jemné frakce

rozměr síta [mm]	střední frakce			
	propady		nadsítné	podsítné
	[g]	[%]		
31,5	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
16	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
8	56,55	3,81%	3,81%	96,19%
4	1341,35	90,33%	94,13%	5,87%
2	84,70	5,70%	99,84%	0,16%
1	0,00	0,00%	99,84%	0,16%
0,5	0,00	0,00%	99,84%	0,16%
0,25	0,00	0,00%	99,84%	0,16%
0,125	0,00	0,00%	99,84%	0,16%
0,063	3,75	0,25%	100,09%	-0,09%
podsítné	1,85	0,12%	100,22%	-0,22%

Tabulka 5: Síťový rozbor hrubé frakce

rozměr síta [mm]	hrubá frakce			
	propady		nadsítné	podsítné
	[g]	[%]		
31,5	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
16	70,75	4,91%	4,91%	95,09%
8	1208,25	83,91%	88,82%	11,18%
4	159,00	11,04%	99,86%	0,14%
2	1,95	0,14%	100,00%	0,00%
1	0,05	0,00%	100,00%	0,00%
0,5	0,00	0,00%	100,00%	0,00%
0,25	0,00	0,00%	100,00%	0,00%
0,125	0,00	0,00%	100,00%	0,00%
0,063	0,25	0,02%	100,02%	-0,02%
podsítné	2,00	0,14%	100,16%	-0,16%

Tabulka 6: Síťový rozbor střední frakce



Obrázek 7: Křivka zrnitosti

### 2.2.2. Voda

Voda je jedna z hlavních složek pro výrobu betonu, díky ní cement hydratuje a tvrdne. Přebytek vody, respektive vysoký vodní součinitel, však může nepříznivě ovlivnit výslednou pevnost a trvanlivost, její nedostatek zhoršuje zpracovatelnost. Množství vody použité při výrobě betonu se obvykle navrhuje podle Lyseho pravidla nebo Abrahamsova zákona. Lyseho zákon udává množství záměsové vody podle třídy konzistence, Abrahamsův zákon říká, že pevnost betonu v tlaku v daném stáří při dané teplotě s daným cementem roste s klesajícím vodním součinitelem. Z rovnice je tak možné určit vodní součinitel pro návrh směsi [21].

Z hlediska technologie se voda rozděluje na záměsovou, přidávanou do směsi při mísení, a ošetřovací, dodávanou betonu po zatuhnutí po několik dnů pro udržení ve vlhku. Záměsová i ošetřovací musí vyhovovat kvalitativním požadavkům. Obecně lze říci, že po chemickém rozboru je možno použít nezávadnou recyklovanou, přírodní podzemní i povrchovou a průmyslovou odpadní vodu. Mořská voda je pro železobeton a předpjatý beton nevhodná, splašková voda je nepoužitelná. Pitnou vodu lze použít bez zkoušení, proto byla použita pro účely výroby [2].

### 2.2.3. Cement

Třetí základní složkou potřebnou pro výrobu betonu je cement. Kvalita celého kompozitu závisí ve vztahu k cementu zejména na vodním součiniteli, poměru záměsové vody ku obsahu cementu. Výsledné vlastnosti jsou však významně ovlivněny právě použitým cementem a to i při shodě všech ostatních parametrů pro dvě různé směsi. Z toho důvodu jsou cementy klasifikovány na základě jejich vlastností a složení, evropské normy znají 162 vyrobitelných nebo použitelných cementů [21].

Mezi sledované charakteristiky cementů patří počátek a doba tuhnutí (měřené Vicatovým přístrojem) a výsledná pevnost, která dělí cementy do tříd pevností. Podle složení se cementy dělí na pět typů: portlandský cement,



směsné portlandské cementy, vysokopecní cement, pucolánový cement a směsný cement [21].

Pro výrobu zkušebních krychlí byl použit certifikovaný cement CEM I 42,5 R ze závodu Mokrý – Horákov od firmy Českomoravský cement. Na obrázku (obr. 8) je společně s kamenivem naváženo pro výrobu první sady zkušebních krychlí. Podle prodejce se jedná o cement vysoké kvality pro nejnáročnější projekty. Ze značení podle evropské normy vyplývá, že se jedná o portlandský cement s obsahem slínku nejméně 95%, minimální tlakovou pevností 20 MPa po dvou dnech a 42,5 MPa po dvaceti osmi dnech zrání. Osvědčení o stálosti vlastností je součástí příloh. Při míchání směsi musely být připraveny formy (obr. 9) pro betonáž.



Obrázek 8: Kamenivo a cement navážené pro výrobu druhé sady



Obrázek 9: Formy pro výrobu zkušebních krychlí (první sada)

## 2.2.4. Přísady a příměši

Přísady a příměši jsou složky, které se mohou během výroby přidávat do betonů a malt pro zlepšení nebo vyvinutí některých jejich vlastností. Přísady jsou obvykle kapalné látky přidávané do betonové směsi během její výroby, ale v některých případech se používají i pro již ztvrdlý beton, např. formou stříkaných povlaků. Přísady jsou chemické látky přidávané v procentech hmotnosti cementu. Mohou mít urychlující nebo zpomalující účinky, může se jednat o provzdušňující nebo hydrofobizační přísady, inhibitory koroze nebo alkalicko-křemičité reakce a mnoho dalších. Minerální příměši se vyskytují v práškové podobě a přidávají se ve výrazně větším množství. Příměši jsou například popílký, křemičité úlety či jiné pucolánové látky. V dalších odstavcích jsou podrobněji zkoumány přísady a příměši použité pro výrobu zkušebních krychlí [21], [27], [28].

### Mikrosilika

Křemičité úlety, také mikrosilika, vznikají jako odpad hutnických provozů. Sestávají se z kuliček průměrné velikosti pod 0,1  $\mu\text{m}$ , které dokáží velmi dobře zaplnit mezery mezi zrny cementu. Používají se jako minerální příměši do betonů s požadavkem na vysokou pevnost nebo odolnost proti průsaku. Doporučuje se kombinovat mikrosilika se superplastifikátory, aby se vynahradila velká spotřeba vody způsobená jemností příměši [21].

Pro výrobu druhé sady zkušebních krychlí byla použita prášková bezchloridová příměš Stachesil S od výrobce Stachema. Prohlášení o shodě s technickou specifikací je součástí příloh práce.

### Vápenec

Vápenec je těžitelná jemnozrnná hornina složená z velké části z uhličitanu vápenatého. Podle ČSN EN 206+A2 je mletý vápenec považován za inertní příměš, několik výzkumů však potvrdilo, že mletý vápenec vstupuje do hydratace cementu. Podle těchto výzkumů mletý vápenec primárně reaguje s hydratovanými hlinitany vápenatými za vzniku monokarbonátu hlinitého, byly

popsány nové produkty hydratace. Mletý vápenec vedle hydratace doplňuje granulometrii a poskytuje prostor pro nukleaci hydrátů, což jsou běžné fyzikální efekty příměsí [29], [30].

Vápenec použitý pro výrobu třetí sady zkušebních krychlí pochází z Českých lupkových závodů.

### Struska

Jemně mletá vysokopeční struska je odpadem při výrobě železa. Pokud je při výrobě rychle ochlazená, vznikne granulovaná vysokopeční struska, která obsahuje víc vápna než pucolány a proto se chová bez vápna jako latentně hydraulická látka a v jeho přítomnosti jako plně hydraulická. Při výrobě a zušlechťování vzniká i ocelářská struska, kvůli její objemové nestabilitě je ale její používání ve stavebnictví nevhodné, případně po mnoha laboratorních zkouškách opatrné [21], [31].

Struska, která byla v rámci práce použita ve směsi čtvrté sady zkušebních těles, je odebírána z firmy Destrokladno s.r.o.

### Krystalizační přísady

Krystalizační hydroizolace ve formě přísady fungují na stejném principu jako ostatní formy krystalizací. Chemická reakce spustí v pórovém systému betonu sekundární krystalizaci, v jejímž důsledku dojde k zaplnění pórů v hmotě betonu krystaly. Krystaly rostou v kapilárách obsahujících vodu, kterou v průběhu chemické reakce na svůj růst spotřebují. Postupným růstem zcela zaplní pór, čímž znemožní další transport vody kapilárním systémem konstrukce. Podrobněji o krystalizačních hydroizolacích v samostatné kapitole výše [13].

Pátá sada zkušebních krychlí byla vyrobena s krystalizační přísadou Betocrete-CL170-P od firmy Schomburg. Těsnicí přísada v tekuté formě snižuje množství potřebné záměsové vody, zvyšuje odolnost betonu vůči mrazu a posypovým solím a měla by sanovat trhliny do 0,4 mm a snižovat migraci chloridů. Spotřeba je 1,75–2,25 % v závislosti na množství cementu.

## Superplastifikátory

Nejdůležitější chemické přísady mají dlouhý výčet přínosů. Pokud jsou použity pro snížení spotřeby vody při stejné zpracovatelnosti, dosáhne se zvýšení pevnosti a trvanlivosti ztvrdlého betonu, snížení kapilární pórovitosti a permeability. Se snížením obsahu cementu, další možností použití superplastifikátoru, se sníží i vývin hydratačního tepla nebo vliv smrštění a dotvarování díky vyššímu podílu kameniva k cementu. Asi nejpřínosnější způsob, používaný zejména u betonáží s hustou výztuží, je však zlepšení zpracovatelnosti bez snížení obsahu vody a cementu. Hlavními složkami superplastifikátorů jsou ve vodě rozpustné polymery, například sulfonovaný melaminformaldehyd kondenzát (SMF), sulfonovaný naftalenformaldehyd kondenzát (SNF) nebo modifikované lignosulfonáty bez obsahu cukrů (MLS). V současnosti jsou na trhu nové superplastifikátory na bázi polymerů polykarboxylátů (PC), které však potlačují ztrátu zpracovatelnosti [21].

Pro výrobu zkušebních těles byl použit superplastifikátor Stachement 787 (obr. 10), podle výrobce se jedná o přísadu na bázi polykarboxylátů s vysokým plastifikačním účinkem, který přetrvává delší dobu než u běžně používaných plastifikátorů. Prohlášení o vlastnostech je součástí příloh.



Obrázek 10: Superplastifikátor pro první a druhou sadu zkušebních těles

### 2.3. Zpracovatelnost

Zpracovatelnost betonové směsi je vlastnost, která udává její pohyblivost a zhutnitelnost. Nejpoužívanější metodou pro určení zpracovatelnosti betonové směsi je zkouška sednutí kužele podle ČSN EN 12350-2. Metoda spočívá v měření změny výšky vzorku betonu, který byl naplněn do normového Abramsova kužele o výšce 300 mm. Výsledné sednutí [mm] podle tabulky určuje třídu konzistence, S1 – S5, kde S5 je nejvyšší míra zpracovatelnosti [21].

Zpracovatelnost vyrobených betonových směsí, na obrázku (obr. 11) první sada zkušebních těles, byla určena normovou zkouškou sednutí kužele (obr. 12, 13). Výsledné hodnoty sednutí a stupně konzistence jsou zanesené v tabulce (tab. 7). Na posledním obrázku (obr. 14) je směs naplněna do forem.

	Sednutí [mm]	Stupeň konzistence
1. sada - ozn. "C"	185	S4
2. sada - ozn. "M"	58	S2
3. sada - ozn. "VÁP"	230	S5
4. sada - ozn. "ST"	238	S5
5. sada - ozn. "KR"	45	S2

Tabulka 7: Zkouška sednutí kužele



Obrázek 11: Stupeň konzistence S4 první sady





**Obrázek 12: Betonová směs na první sadu krychlí**



**Obrázek 13: Stupeň konzistence S5 čtvrté sady**



**Obrázek 14: Betonáž první sady krychlí**

## 2.4. Tlaková pevnost

Beton jako konstrukční materiál je namáhán kombinací tlakových, tahových a smykových napětí. Pevností se pak rozumí schopnost těmto napětím vzdorovat a mezním napětím se označuje zlom, při kterém dochází ke globálnímu porušení soudržnosti. Pro návrh bezpečné a efektivní betonové konstrukce je důležité znát pevnost betonu. Křehké materiály, mezi které beton patří, se vyznačují schopností odolávat napětím v tahu a ve smyku podstatně méně, než napětím v tlaku. Další odstavce se vzhledem k zaměření práce věnují zejména tlakovým pevnostem a jejich zkoušení [2].

Postupy pro zkoušení pevností jsou pro reprodukovatelnost a srovnatelnost popsány v mezinárodních a národních normách, vlastní zkoušení je destruktivní. Nedestruktivní zkoušení se připouští pouze pro odhad pevnosti za určitých podmínek. První fáze zkušebního procesu zahrnuje odběr vzorků a výrobu a ošetřování zkušebních těles podle ČSN EN 12390-2 (731302). Normou ČSN EN 12390-1 (731302) jsou stanoveny rozměry, mezní odchylky a použití zkušebních těles. Norma doporučuje pro zkoušení pevnosti v tlaku krychle o straně  $d = 150$  mm. Pro stanovení objemové hmotnosti zkušebního vzorku byl použit postup uvedený v normě ČSN EN 12390-7 [2].

Ve druhé fázi je stanovena pevnost v tlaku zkušebních těles. Norma ČSN EN 12390-4 uvádí požadavky na zkušební lis, který vzorky zatěžuje plynule s předem určenou rychlostí. Pevnost v tlaku je poměr síly na lisu odečtené při zlomu k tlačné ploše vzorku [2].

V rámci práce byly pro zkoušení tlakové pevnosti odebrány tři dílčí vzorky z čerstvého betonu pro každou betonovou směs. Po zkoušce sednutí kužele byly vzorky v nejkratší době uloženy do vodotěsných forem z nenasákavého materiálu. Plnění proběhlo ve dvou vrstvách, čerstvý beton byl zhutněn vibračním stolem. Druhý den po betonáži byly vzorky odbedněny (obr. 15) a uloženy do vody (obr. 16) při požadované teplotě prostředí  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .



Obrázek 15: Odbedněné vzorky první a druhé sady



Obrázek 16: Uložení vzorků do vodního prostředí

Po nárůstu pevnosti byly vzorky po 28 dnech zkoušeny, z vodního prostředí byly vyjmuty den před zkouškou. Vzorky byly změřeny a zváženy, poté byly umístěny do lisu (obr. 17) a zkoušeny na tlakovou pevnost. Na dalším obrázku (obr. 18) jsou zkušební krychle po destruktivní zkoušce tlakové pevnosti. Po fotografiích následují tabulky (tab. 8, 9) s naměřenými rozměry a váhou vzorků pro každou vyrobenou sadu zkušebních vzorků, čísla v prvním sloupci označují čísla vzorků, v posledních sloupcích je tlaková síla a vypočtená pevnost v tlaku.





Obrázek 17: Normový lis pro zkoušku pevnosti v tlaku



Obrázek 18: Vzorky první a druhé sady po zkoušení tlakové pevnosti

krychle "C"

	zatěžovaná plocha		výška	hmotnost [g]	tlaková síla [kN]	pevnost v tlaku [MPa]
	a [mm]	b [mm]	c [mm]			
4	150,16	149,46	149,85	7926,65	725,15	32,31
5	148,78	149,51	149,01	7727,50	855,92	38,48
6	149,59	149,50	149,36	7900,40	849,25	37,97

krychle "M"

	zatěžovaná plocha		výška	hmotnost [g]	tlaková síla [kN]	pevnost v tlaku [MPa]
	a [mm]	b [mm]	c [mm]			
4	149,32	147,39	149,25	7614,60	1095,42	49,77
5	150,45	151,24	150,46	7767,40	891,48	40,15
6	149,32	148,71	149,17	7644,20	941,12	41,36

Tabulka 8: Tlakové pevnosti I

krychle "VÁP"

	zatěžovaná plocha		výška	hmotnost [g]	tlaková síla [kN]	pevnost v tlaku [MPa]
	a [mm]	b [mm]	c [mm]			
1	149,93	148,59	149,54	7525,75	948,35	42,57
2	149,86	148,30	150,12	7672,30	824,43	37,10
3	149,48	149,94	149,56	7589,15	767,75	34,25

krychle "ST"

	zatěžovaná plocha		výška	hmotnost [g]	tlaková síla [kN]	pevnost v tlaku [MPa]
	a [mm]	b [mm]	c [mm]			
1	149,65	148,11	149,51	7368,20	770,53	34,76
2	150,27	150,81	150,86	7699,65	997,62	44,02
3	149,89	148,19	149,63	7657,75	738,67	33,26

krychle "KR"

	zatěžovaná plocha		výška	hmotnost [g]	tlaková síla [kN]	pevnost v tlaku [MPa]
	a [mm]	b [mm]	c [mm]			
1	147,3	150,6	150,5	7356,5	697,92	31,5
2	149,0	149,5	149,6	7356,5	540,67	24,3
3	149,2	149,5	149,6	7361,6	676,62	30,3

Tabulka 9: Tlakové pevnosti II

## 2.5. Hloubka průsaku

Vodotěsnost betonu je v normě ČSN EN 12390-8 (731302) definována požadavkem na maximální průsak 50 mm a průměrnou hloubku průsaku nepřesahující 20 mm. Zkušebními metodami k ověřování vodotěsnosti a požadavkům norem se věnuje kapitola v teoretické části práce.

Vzorky byly po betonáži, stejně jako vzorky pro zkoušku tlakové pevnosti, uskladněny ve vodě po dobu 28 dnů a den před zahájením zkoušky z vody vyjmuty. Z každé vyrobené sady krychlí byla trojice vzorků určena pro zkoušení na průsak. Zkoušení bylo provedeno na normové vodotlačné stolici (obr. 19), kam byly krychle umístěny. Zatíženy byly tlakem 500 kPa po dobu 72 hodin. Po vyjmutí z vodotlačné stolice byly vzorky změřeny a zváženy, při zkoušce pevnosti v příčném tahu rozlomeny (obr. 20) a posuvným měřítkem byla odečtena maximální hloubka průsaku z obou polovin (obr. 21). Hloubky průsaků jsou společně s naměřenými rozměry a váhou vzorků pro každou vyrobenou sadu zkušebních vzorků zpracovány v tabulkách (tab. 10) níže pod obrázky.



Obrázek 19: Normová vodotlačná stolice, první dvě sady vzorků



Obrázek 20: Rozlomení vzorků, první sada



Obrázek 21: Odečítání hloubky průsaku páté sady

## krychle "C"

	zatěžovaná plocha		výška	hmotnost [g]	maximální průsaky			síla [kN]
	a [mm]	b [mm]	c [mm]		1./2 [mm]	2./2 [mm]	∅ [mm]	
1	149,38	147,38	149,44	8720	19	18	18,5	126
2	149,68	150,26	150,22	8790	6	10	8	126
3	152,27	149,51	149,36	8790	12	15	13,5	148

## krychle "M"

	zatěžovaná plocha		výška	hmotnost [g]	maximální průsaky			síla [kN]
	a [mm]	b [mm]	c [mm]		1./2 [mm]	2./2 [mm]	∅ [mm]	
1	150,63	149,26	149,3	8670	13	11	12	138
2	148,13	149,42	149,2	7490	10	15	12,5	160
3	150,14	149,43	149,79	7620	12	18	15	138

## krychle "VÁP"

	zatěžovaná plocha		výška	hmotnost [g]	maximální průsaky			síla [kN]
	a [mm]	b [mm]	c [mm]		1./2 [mm]	2./2 [mm]	∅ [mm]	
4	149,6	148,6	149,63	7310,75	13	17	15	124
5	149,64	145,89	149,64	7659,05	11	20	15,5	115
6	149,64	147,37	149,86	7561,45	14	17	15,5	106

## krychle "ST"

	zatěžovaná plocha		výška	hmotnost [g]	maximální průsaky			síla [kN]
	a [mm]	b [mm]	c [mm]		1./2 [mm]	2./2 [mm]	∅ [mm]	
4	149,67	147,52	150,49	7643,85	17	22	19,5	121
5	149,74	151,76	149,9	7702,2	16	22	19	113
6	150,24	149,5	149,91	7715,75	21	21	21	122

## krychle "KR"

	zatěžovaná plocha		výška	hmotnost [g]	maximální průsaky			síla [kN]
	a [mm]	b [mm]	c [mm]		1./2 [mm]	2./2 [mm]	∅ [mm]	
4	148,90	149,40	149,50	7310	10	6,5	8,25	97
5	146,50	144,90	146,20	7290	21,65	24,93	23,29	111
6	145,50	150,00	145,50	7280	22,74	17,62	20,18	92

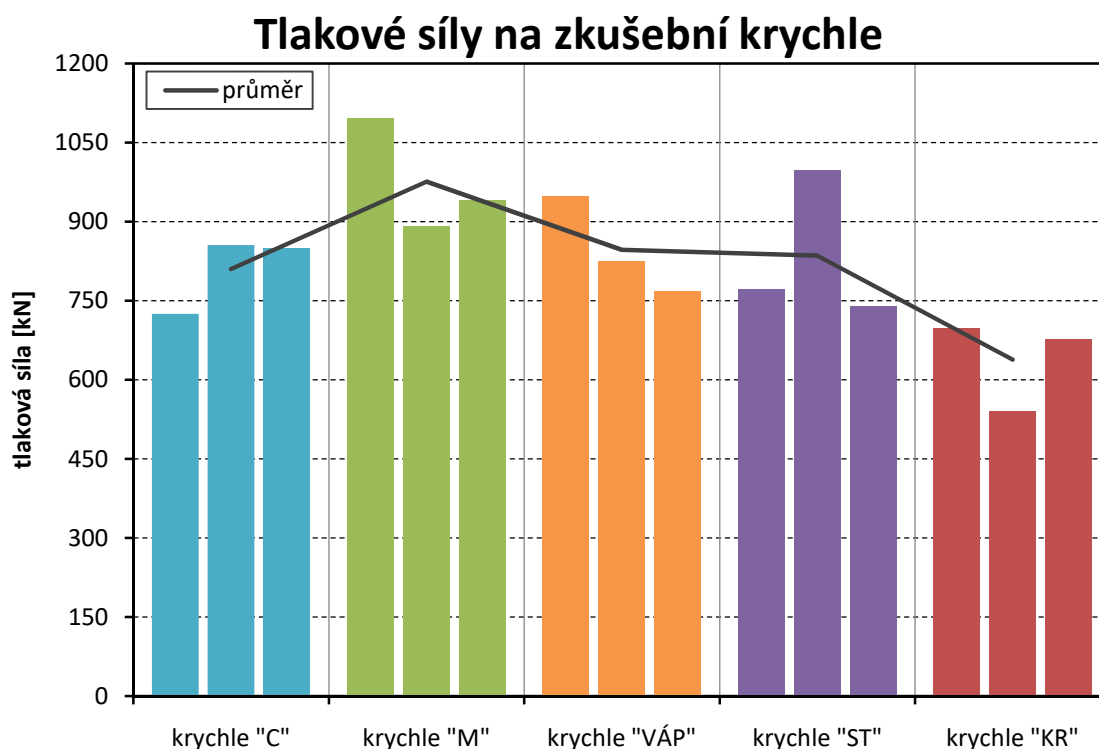
Tabulka 10: Průsaky

## 2.6. Vyhodnocení

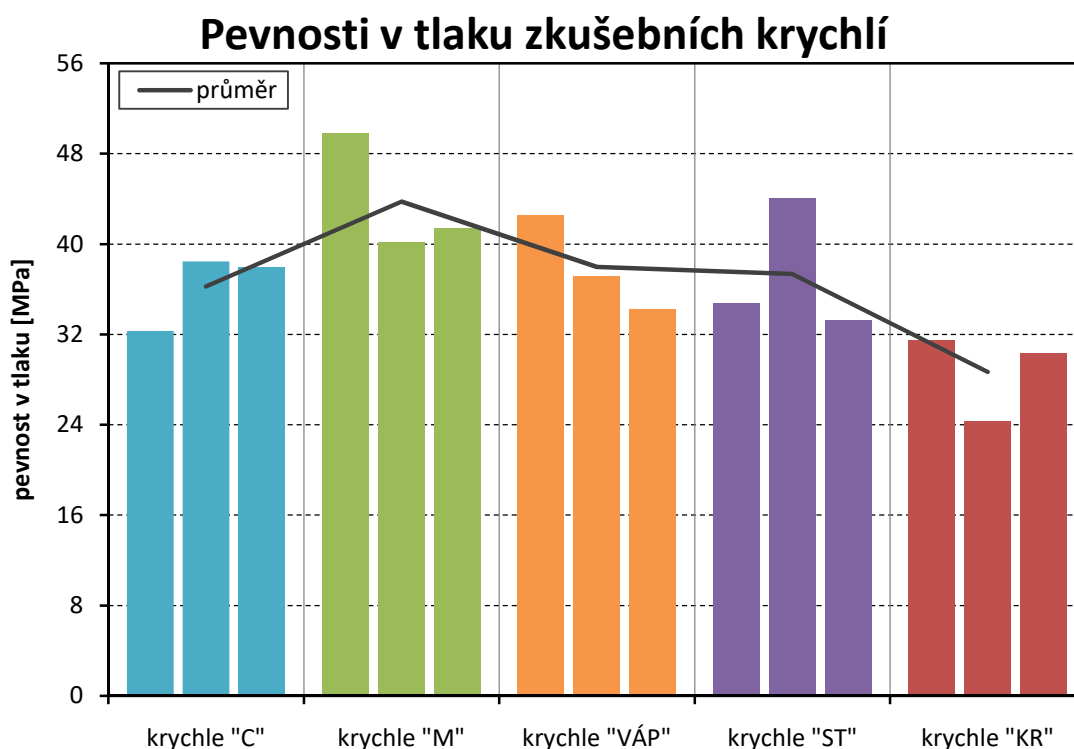
Na následujících stranách jsou zpracovány grafy (obr. 22, 23 a 24) zobrazující tlakové síly, pevnosti v tlaku a průsaky zkušebních krychlí. Vzorky jsou rozdělené barevně podle vyrobených sad. Černá linie znázorňuje spojnici aritmetických průměrů, průměr je počítán vždy pro trojici vzorků jedné sady.

Tyrkysovou barvou je zobrazena referenční sada bez příměsí a přísad (ozn. „C“), zelenou barvou sada s příměsí mikrosiliky (ozn. „M“), třetí sada v oranžové byla vyrobena s příměsí vápence (ozn. „VÁP“), fialová barva znázorňuje sadu s příměsí vysokopeční strusky (ozn. „ST“) a poslední, červená sada, je označená podle přidané krystalizační přísady (ozn. „KR“). Ve všech recepturách byl použit superplastifikátor stejné značky a ve stejném množství.

Na první pohled by se mohlo zdát, že některé sady vykazovaly výrazně vyšší tlakové síly a výslednou pevnost oproti jiným sadám anebo ve srovnání se sadou bez příměsí a přísad označenou „C“. Je však nutné vzít v úvahu několik dalších vlastností receptur a betonových směsí, aby bylo možné srovnat výsledky relevantně.



Obrázek 22: Tlakové síly na zkušební krychle



Obrázek 23: Pevnost v tlaku zkušebních krychlí

#### 2.6.1. Tlakové síly a pevnosti v tlaku

Předně je třeba zohlednit vodní součinitel. V takovém případě je možné dobře srovnat výsledky sady s příměsí vápence a sady s příměsí vysokopecní strusky, případně vodním součinitelem velmi podobnou sadu bez příměsí a přísad. Z naměřených dat lze říci, že přidání vápence má na pevnost betonu statisticky zlepšující účinek, přidání vysokopecní strusky se naopak až na výjimku neosvědčilo. Při určení třídy pevnosti v tlaku by byly všechny tři sady určeny jako C 25/30. Sady s příměsí mikrosiliky a s krystalizační přísadou mají pro srovnání výsledků podle kritéria vodních součinitelů hodnoty vodních součinitelů příliš rozdílné.

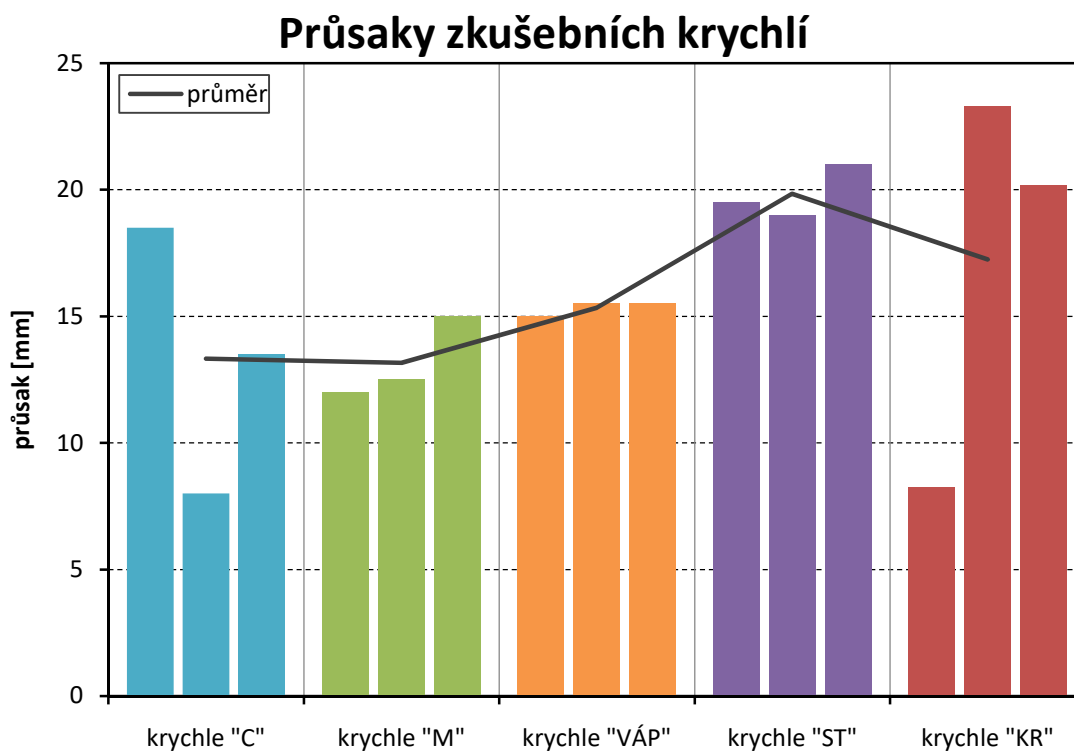
Druhým kritériem, které může pomoci při snaze porovnat výsledky, je zpracovatelnost betonové směsi před betonáží. Při zohlednění této vlastnosti lze porovnat sadu s příměsí vápence a sadu s příměsí vysokopecní strusky, dále sadu bez příměsí a přísad. Druhou srovnávací skupinu podle shodné konzistence tvoří sady s příměsí mikrosiliky a s krystalizační přísadou. Nejvyšších pevností v rámci druhé srovnávací skupiny i v porovnání se všemi

ostatními sadami dosahovala sada s mikrosilikou a nejnižší hodnoty byly naměřeny pro zkušební krychle s krystalizační přísadou. Zkušební krychle s příměsí mikrosiliky dosahují pevnosti třídy C 30/37, poslední sada s krystalizační přísadou pouze třídy C 16/20. Při tomto srovnání je ale nutno zohlednit právě vodní součinitel, který je u sady s mikrosilikou nejnižší a u poslední sady s krystalizační přísadou nejvyšší.

## 2.6.2. Průsaky

Druhá část vyhodnocení naměřených dat se věnuje porovnání průsaků. Níže je uveden graf (obr. 24) zobrazující hodnoty průsaků zkušebních krychlí. Porovnání je provedeno na základě stejných kritérií jako porovnání tlakových sil a pevností v tlaku výše.

Při porovnání sad s příměsí vápence a s příměsí vysokopecní strusky lze při vztažení na referenční sadu bez příměsí a přísad s jistotou říci, že struska není pro účely dosažení vodotěsnosti vhodná. Průměrný průsak se blíží dvaceti milimetrům, sada s příměsí vysokopecní strusky v porovnání s dalšími sadami vykazuje v průměru nejhorší výsledky. Přidání vápence, v grafu oranžovou



Obrázek 24: Průsaky zkušebních krychlí

barvou, má průměrně horší výsledky průsaku než sada bez přísad a příměsí. Sada s vápencem dosáhla průměrného průsaku 15,3 mm, referenční sada měla průměrný průsak jen 13,3 mm. V porovnání s příměsí vysokopecní strusky je však příměs vápence stále dosahuje lepších hodnot.

Zkušební krychle sady s příměsí mikrosiliky se jeví odolnější působení tlakové vody než referenční sada bez příměsí a přísad a výrazně lépe než poslední sada s krystalizační přísadou. U této sady byly naměřeny výrazné výkyvy v průsacích jednotlivých krychlích, průměrně se však jedná o druhé nejhorší hodnoty. Dvě z trojice zkušebních krychlí s krystalizační přísadou nevyhověly požadavku vodotěsnosti na hloubku maximálního průsaku do 20 mm. Z ostatních sad kromě krychle č. 6 ze sady s příměsí vysokopecní strusky vyhovují požadavku vodotěsnosti všechny.



## Závěr

V práci byla zpracována rešerše věnující se využití vodotěsného betonu ve stavebnictví, principu funkce krystalizačních přísad a v neposlední řadě zkušebními metodám k ověřování vodotěsnosti betonu. Obsahem druhé části byl návrh receptury vodotěsného betonu, analýza vstupních surovin a výroba pěti sad zkušebních krychlí s různými příměsemi a přísadami. Vzorky byly následně zkoušeny a výsledky zkoušek vyhodnocovány.

Z výsledků zkoušek vyplývá, že zkušební krychle s příměsí vápence nebo mikrosiliky vykazovaly vyšší pevnosti v tlaku, než referenční sada bez příměsí a přísad. Nejnižších pevností v tlaku dosáhly vzorky s krystalizační přísadou, data ale mohl ovlivnit vysoký vodní součinitel. Při zkoušení hloubky průsaku po působení tlakové vody na vodotlačné stolici byly nejvyšší průměrné průsaky naměřeny pro krychle s mikrosilikou, poté pro referenční sadu bez příměsí a přísad a následně pro sadu s vápencem. Nejhorší průměrnou odolnost proti tlakové vodě měla sada s příměsí granulované vysokopecní strusky.

Po celkovém zhodnocení pevností v tlaku a odolnosti proti tlakové vodě se jeví nejvhodnější příměsí vápenec. Z naměřených výsledků lze odvodit, že receptura s krystalizační přísadou je nejméně vhodná. Pro srovnání výsledků bylo vyrobeno a vyzkoušeno dostatečné množství vzorků. Pro úplné zavržení některých přísad a příměsí by však bylo třeba více vzorků, jejichž výroba a zkoušení by však přesahovala rozsah této práce.

V navazujícím výzkumu by bylo možné vyrobit šestou sadu zkušebních krychlí s příměsí mikrosiliky a sedmou sadu s krystalizační přísadou podobné konzistence a hodnoty vodního součinitele jakou měla první, třetí a čtvrtá sada v této práci. S odhlédnutím na další možné pokračování práce však byl vytyčený cíl dosažen.

## Literatura

- [1] KASAL, Pavel. Betonové vodonepropustné konstrukce: Spodní stavby. Izolace.cz [online]. Praha, 24. 5. 2006 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.isolace.cz/clanky/betonove-vodonepropustne-konstrukce/>
- [2] PYTLÍK, Petr. *Technologie betonu*. 2. vyd. Brno: VUTIUM, 2000. ISBN 80-214-1647-5.
- [3] SMITH, Kevin. BELOW GRADE WATERPROOFING 101. *Waterproof! Magazine* [online]. Mapleton, Utah, 2019 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.waterproofmag.com/2019/06/below-grade-waterproofing-101/>
- [4] HLAVSA, Zdeněk. *Beton pro vodonepropustné betonové konstrukce* [online]. Praha, 2020 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: [http://hdl.handle.net/10467/88563/F1-DP-2020-Hlavsa-Zdenek-DP-2020-HLAVSA-Zdenek-Beton\\_pro\\_vodonepropustne\\_betonov\\_e\\_konstrukce](http://hdl.handle.net/10467/88563/F1-DP-2020-Hlavsa-Zdenek-DP-2020-HLAVSA-Zdenek-Beton_pro_vodonepropustne_betonov_e_konstrukce) - online. Diplomová práce. FSv ČVUT v Praze. Vedoucí práce Prof. Ing. Jan L. Vitek, CSc., FEng.
- [5] SATRAPA, Ladislav, Vojtěch BROŽA a Miroslav BROUČEK. Vodohospodářská výstavba a beton. *Beton* [online]. Praha, 15. 12. 2016, (2016/6), 2 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.ebeton.cz/clanky/2016-6-02-vodohospodarska-vystavba-a-beton/>
- [6] BROŽA, Vojtěch. Betony ve vodním stavitelství vystavené mimořádným účinkům: Concretes exposed to extreme effects in water engineering. *Beton* [online]. Praha, 17. 2. 2003, (2003/1), 3 - 5 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.ebeton.cz/clanky/2003-1-03-betony-ve-vodnim-stavitelstvi-vystavene-mimoradnym-ucinkum/>
- [7] ČÍHAL, Bohumír. Krystalizační hydroizolace a bílá vana. *Stavební klub* [online]. Praha: Verlag Dashöfer, 30. 6. 2016 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: [https://www.stavebniklub.cz/33/krystalizacni-hydroizolace-a-bila-vana-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EhQIk2\\_9wLAXPauJSfzpaB-MB8q2Z8oGSQ/](https://www.stavebniklub.cz/33/krystalizacni-hydroizolace-a-bila-vana-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EhQIk2_9wLAXPauJSfzpaB-MB8q2Z8oGSQ/)
- [8] MAJEROVÁ, Dominika. *Variantní návrh podzemního podlaží objektu administrativní budovy radnice: Variant design of the underground floor of the town hall* [online]. Praha, 2018 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/77420/F1-BP-2018-Majerova-Dominika-Reserse.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Bakalářská práce. FSv ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Hana Hanzlová, CSc.
- [9] PAZDERKA, Jiří. Bílé vany vs. povlakové hydroizolace – věčná rivalita. *Tzbinfo* [online]. Praha, 31. 12. 2012 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/izolace-proti-vode-a-radonu/9432-bile-vany-vs-povlakove-hydroizolace-vecna-rivalita>
- [10] HAJDINA, Petr. Rekonstrukce přelivných polí vodního díla Nechanice: Během stavebních prací byla mostovka komunikace podchycena osmi ocelovými nosníky. *Beton* [online]. Praha, 15. 12. 2021 [cit. 2022-03-03].

Dostupné z: [https://www.ebeton.cz/clanky/2021\\_4\\_14\\_rekonstrukce-prelivnych-poli-vodniho-dila-nechranice/](https://www.ebeton.cz/clanky/2021_4_14_rekonstrukce-prelivnych-poli-vodniho-dila-nechranice/)

[11] SKUPINA ČESKOMORAVSKÝ BETON. Modernizace ústřední čistírny odpadních vod v Praze. ASB portál [online]. Praha, 18. 7. 2018 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/modernizace-ustredni-cistirny-odpadnich-vod-v-praze>

[12] METROSTAV A.S., DIVIZE 8, BAK STAVEBNÍ SPOLEČNOST, A.S. Betonáž stropu 3.PP: Nový parkovací dům v Praze – Černém Mostě. Časopis Stavebnictví [online]. Praha, 29. 11. 2021 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-novy-parkovaci-dum-v-praze-cernem-moste.html#&gid=1&pid=7>

[13] PAZDERKA, Jiří. Principy použití krystalizačních hydroizolací. ASB portál [online]. Praha, 13. 2. 2008 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/zaklady-a-hruba-stavba/cement-a-beton/principy-pouziti-krystalizacnich-hydroizolaci>

[14] ČÍHAL, Bohumír. Krystalizační hydroizolace. Stavební klub [online]. Praha: Verlag Dashöfer, 30. 6. 2016 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: [https://www.stavebniklub.cz/33/krystalizacni-hydroizolace-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EhQIk2\\_9wLAXP-CepZDVcVr2ZspOsA8wwA/](https://www.stavebniklub.cz/33/krystalizacni-hydroizolace-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EhQIk2_9wLAXP-CepZDVcVr2ZspOsA8wwA/)

[15] MANDELÍK, Jan. Izolování konstrukcí pomocí krystalické izolace Xypex. Povrchové úpravy [online]. Praha: PRESS AGENCY, 11/2016, 19.(4), 17 - 18 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <http://povrchoveupravy.cz/PDF/4-2016/mandelik.pdf>

[16] DOHNÁLEK, Pavel, Jan MANDELÍK a Roland MACHAČ. Technologie bílých van s využitím krystalizačních přísad. ASB portál [online]. Praha, 25. 3. 2010 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/zaklady-a-hruba-stavba/hydroizolace-zakladu/technologie-bilych-van-svyuzitim-krystalizacnich-prisad>

[17] ŽÁKOVÁ, Hana, Jiří PAZDERKA a Pavel REITERMAN. Textile Reinforced Concrete in Combination with Improved Self-Healing Ability Caused by Crystalline Admixture [online]. Praha, 2020 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ma13245787>. Disertace. FSv ČVUT v Praze. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Pazderka, Ph.D.

[18] KŘÍŽÁNKOVÁ, Tereza. Vliv technologické nekázně při aplikaci krystalizačních přísad na vodonepropustný beton [online]. Praha, 2019 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/81099/F1-DP-2019-Krizankova-Tereza-DP\\_final.pdf?sequence=-1&isAllowed=y](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/81099/F1-DP-2019-Krizankova-Tereza-DP_final.pdf?sequence=-1&isAllowed=y). Diplomová práce. FSv ČVUT v Praze. Vedoucí práce Doc. Ing. Pavel Svoboda, CSc.

[19] PAZDERKA, Jiří. Jak nahlížet na krystalizační příměsí do betonu?: How to understand crystalline admixtures in concrete?. Beton [online]. Praha, 15. 4. 2016, (2016/2), 28 - 29 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: [https://www.ebeton.cz/wp-content/uploads/2016-2-28\\_0.pdf](https://www.ebeton.cz/wp-content/uploads/2016-2-28_0.pdf)

- [20] PRŮVODCE BETONÁŘSKOU NORMOU ČSN EN 206+A1: Informace k aktuální verzi ČSN EN 206+A1 a ČSN P 73 2404. Svaz Výrobce Betonu ČR: Concrete Producers Association Of The Czech Republic [online]. Praha, březen 2008 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: [https://www.svb.cz/assets/pdf/pruvodce\\_4str\\_A3\\_web.pdf](https://www.svb.cz/assets/pdf/pruvodce_4str_A3_web.pdf)
- [21] COLLEPARDI, Mario. Moderní beton. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2009. Betonové stavitelství. ISBN 978-80-87093-75-7.
- [22] KOVÁŘ, Jan. Krystalizační přísady a odolnost betonu proti působení tlakové vody [online]. Praha, 2017 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/69325/F1-BP-2017-Kovar-Jan-Krystalizacni\\_prisady\\_a\\_odolnost\\_betonu\\_proti\\_pusobeni\\_tlakove\\_vody.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/69325/F1-BP-2017-Kovar-Jan-Krystalizacni_prisady_a_odolnost_betonu_proti_pusobeni_tlakove_vody.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Bakalářská práce. FSv ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Petr Bílý, Ph.D.
- [23] ŽÁKOVÁ, Hana. Metody sanace vlhkostních poruch betonových konstrukcí budov s využitím krystalizačních materiálů: Remediation methods of moisture-related failures of concrete structures in buildings using crystalline materials [online]. Praha, 2021 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/97803/F1-D-2021-Zakova-Hana-Disertacni\\_prace\\_Zakova\\_Hana.pdf?sequence=-1&isAllowed=y](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/97803/F1-D-2021-Zakova-Hana-Disertacni_prace_Zakova_Hana.pdf?sequence=-1&isAllowed=y). Disertační práce. FSv ČVUT v Praze. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Pazderka, Ph.D.
- [24] AL-KHEETAN, Mazen J., Mujib M. RAHMAN a Denis A. CHAMBERLAINA. Development of hydrophobic concrete by adding dual-crystalline admixture at mixing stage [online]. Londýn, 2018, 122 - 135 [cit. 2022-04-07]. ISSN 0950-0618. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/suco.201700254>. Brunel University London.
- [25] AL-KHEETAN, Mazen J., Mujib M. RAHMAN a Denis A. CHAMBERLAINA. Fundamental interaction of hydrophobic materials in concrete with different moisture contents in saline environment [online]. Londýn, 2019, 122 - 135 [cit. 2022-04-07]. ISSN 0950-0618. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061819304143>. Brunel University London.
- [26] AZARSA, Pejman; GUPTA, Rishi; BIPARVA, Alireza. Inventive microstructural and durability investigation of cementitious composites involving crystalline waterproofing admixtures and portland limestone cement. *Materials*, 2020, 13.6: 1425.
- [27] TRTÍK, Karel. PŘÍSADY A PŘÍMĚSI PRO VÝROBU BETONU: Betonové konstrukce 1- Technologie betonu I [online]. In: . 3/2017, 1 - 10 [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/21093502-Prisady-a-primesi-pro-vyrobu-betonu.html>
- [28] Přísady: Přísada (Admixture). *Beton: Encyklopedie* [online]. Praha [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: <https://www.ebeton.cz/pojmy/prisady/>

- [29] MERUŇKA, Milan, Martin ŤAŽKÝ a Rudolf HELA. Vliv kombinace vysokoteplotního popílku a inertních příměsí na fyzikálně-mechanické parametry betonového kompozitu. In: Beton [online]. Praha, 10. 6. 2021 [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: [https://www.ebeton.cz/clanky/2021\\_2\\_76\\_vliv-kombinace-vysokoteplotniho-popilku-a-inertnich-primesi-na-fyzikalne-mechanicke-parametry-betonoveho-kompozitu/](https://www.ebeton.cz/clanky/2021_2_76_vliv-kombinace-vysokoteplotniho-popilku-a-inertnich-primesi-na-fyzikalne-mechanicke-parametry-betonoveho-kompozitu/)
- [30] REITERMAN, Pavel. Význam minerálních příměsí pro zajištění dlouhodobé trvanlivosti betonu v dopravní infrastruktuře: Importance of Mineral Additives for Ensuring the Long-term Durability of Concrete in Transport Infrastructure [online]. Praha, 2020 [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: <https://portal.fsv.cvut.cz/vvc/hp/habilitace/reiterman/prace.pdf>. Habilitační práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Experimentální centrum.
- [31] ŠAFRATA, Jiří, Vojtěch VÁCLAVÍK a Petr MLČOCH. Ocelářská struska a její aktuální využití při výrobě betonu. In: Beton [online]. 17. 3. 2021 [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: [https://www.ebeton.cz/clanky/2021\\_1\\_41\\_ocelarenska-struska-a-jeji-aktualni-vyuziti-pri-vyrobe-betonu/](https://www.ebeton.cz/clanky/2021_1_41_ocelarenska-struska-a-jeji-aktualni-vyuziti-pri-vyrobe-betonu/)

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Vodní dílo Nechanice – sanace [10].....	16
Obrázek 2: Nová vodní linka ÚČOV [11].....	17
Obrázek 3: Nový parkovací dům na Černém mostě [12] .....	17
Obrázek 4: Schematické znázornění procesu návrhu betonové směsi [21].....	21
Obrázek 5: Normová síta .....	26
Obrázek 6: Sítový rozbor – vážení propadů.....	26
Obrázek 7: Křivka zrnitosti .....	28
Obrázek 8: Kamenivo a cement navážené pro výrobu druhé sady.....	30
Obrázek 9: Formy pro výrobu zkušebních krychlí (první sada).....	30
Obrázek 10: Superplastifikátor pro první a druhou sadu zkušebních těles .....	33
Obrázek 11: Stupeň konzistence S4 první sady .....	34
Obrázek 12: Betonová směs na první sadu krychlí.....	35
Obrázek 13: Stupeň konzistence S5 čtvrté sady.....	35
Obrázek 14: Betonáž první sady krychlí .....	35
Obrázek 15: Odbedněné vzorky první a druhé sady.....	37
Obrázek 16: Uložení vzorků do vodního prostředí.....	37
Obrázek 17: Normový lis pro zkoušku pevnosti v tlaku.....	38
Obrázek 18: Vzorky první a druhé sady po zkoušení tlakové pevnosti .....	38
Obrázek 19: Normová vodotlačná stolice, první dvě sady vzorků.....	40
Obrázek 20: Rozlomení vzorků, první sada .....	40
Obrázek 21: Odečítání hloubky průsaku páté sady .....	40
Obrázek 22: Tlakové síly na zkušební krychle .....	42
Obrázek 23: Pevnost v tlaku zkušebních krychlí.....	43
Obrázek 24: Průsaky zkušebních krychlí .....	44

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Receptury pro návrh směsi z literatury [22], [23], [24], [25], [26] .....	22
Tabulka 2: Receptury použité pro výrobu zkušebních těles I .....	23
Tabulka 3: Receptury použité pro výrobu zkušebních těles II .....	24
Tabulka 4: Síťový rozbor jemné frakce .....	27
Tabulka 5: Síťový rozbor hrubé frakce .....	27
Tabulka 6: Síťový rozbor střední frakce .....	27
Tabulka 7: Zkouška sednutí kužele .....	34
Tabulka 8: Tlakové pevnosti I .....	38
Tabulka 9: Tlakové pevnosti II .....	39
Tabulka 10: Průsaky .....	41

## Přílohy

### Příloha 1: Certifikát – Kámen Zbraslav

**CQS z.s.**  
**Prosecká 412/74, 190 00 Praha 9 - Prosek**  
**Česká republika**

CQS je certifikačním orgánem č. 3029 akreditovaným podle normy ČSN EN ISO/IEC 17021-1:2016 Českým institutem pro akreditaci, o.p.s. pro certifikaci systémů managementu



## CERTIFIKÁT

číslo: **CQS 2023/2019**

CQS na základě kladného výsledku certifikačního auditu  
 prohlašuje, že systém managementu kvality

**KÁMEN Zbraslav, a.s.**  
**Žitavského 1178, Zbraslav, 156 00 Praha 5, Česká republika**

byl prověřen a shledán v souladu s požadavky

**ČSN EN ISO 9001:2016**

Tento certifikát platí pro procesy:

- **Výroba a dodávání drceného kameniva na provozovně Zbraslav**

•••••

Platnost do: 01. 02. 2022  
 Rozhodnutí o certifikaci: 02. 02. 2019  
 Datum vydání: 02. 02. 2019  
 První certifikace udělena: 14. 02. 2007

  
**Ing. Jana Olšanská**  
 Vedoucí certifikačního orgánu




#### Členové CQS\*:

Elektrotechnický zkušební ústav, s.p., Fyzikálně technický zkušební ústav, s.p., Institut pro testování a certifikaci, a.s.,  
 Strojírenský zkušební ústav, s.p., Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p., Textilní zkušební ústav, s.p.

\* Seznam členů CQS platný v době vydání certifikátu. Aktuální seznam je k dispozici na [www.cqs.cz](http://www.cqs.cz).



## Příloha 2: Osvědčení o stálosti vlastností – Portlandský cement



**TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.**  
**Technical and Test Institute for Construction Prague, SOE**

Akreditovaná zkušební laboratoř, Autorizovaná osoba, Notifikovaná osoba, Oznámený subjekt, Subjekt pro technické posuzování, Certifikační orgán, Inspekční orgán • Accredited Testing Laboratory, Authorized Body, Notified Body, Technical Assessment Body, Certification Body, Inspection Body • Prosecká 811/76a, 190 00 Praha 9 - Prosek, Czech Republic

Oznámený subjekt 1020

## OSVĚDČENÍ O STÁLOSTI VLASTNOSTÍ

certificate of constancy of performance

**č. 1020 – CPR – 040 018255**

V souladu s nařízením Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011 ze dne 9. března 2011 (nařízení o stavebních výrobcích nebo CPR) se vydává toto osvědčení pro stavební výrobek:

**Portlandský cement EN 197-1 – CEM I 42,5 R**

**Výrobek je určen pro přípravu betonu, malt, injektážní malty a jiných směsí pro stavění a výrobu stavebních výrobků.**

uvedený na trh pod jménem nebo firmou nebo ochrannou známkou výrobce:

**Českomoravský cement, a. s.**

Mokrá 359, 664 04 Mokrá-Horákov  
IČO: 26 20 95 78

a vyrobený ve výrobním závodě:

**závod Mokrá**

Mokrá 359, 664 04 Mokrá-Horákov

Toto osvědčení prokazuje, že všechna ustanovení týkající se posuzování a ověřování stálosti vlastností popsaná v příloze ZA normy


**EN 197-1:2011**

podle systému 1+ pro vlastnosti uvedené v tomto osvědčení byla uplatněna a že řízení výroby u výrobce zajišťuje

**stálost vlastností stavebního výrobku**

Toto osvědčení bylo poprvé vydáno 1. dubna 2004 jako certifikát podle CPD a zůstává v platnosti, dokud se harmonizovaná norma, stavební výrobek, postupy posuzování a ověřování stálosti vlastností ani výrobní podmínky v místě výroby výrazně nezmění nebo pokud oznámený subjekt pro osvědčení výrobku nepozastaví nebo nezruší platnost tohoto osvědčení.

Teplice, 4. prosince 2017





Ing. Pavel Rubáš, Ph.D.  
zástupce vedoucího oznámeného subjektu

## Příloha 3: Prohlášení o shodě s technickou specifikací – STACHESIL S

### Prohlášení o shodě s technickou specifikací

**Výrobce:** STACHEMA CZ s.r.o., Hasičská 1, Zibohlavý, 280 02 Kolín, IČ : 46353747

**Výrobek:** STACHESIL S

**Popis a určení:** Prášková příměs do betonu

#### Způsob posouzení shody:

Shoda byla posouzena s využitím certifikačního schéma 3 podle ČSN EN ISO/IEC 17067 zahrnující odběr a zkoušení vzorků produktu spojené s posouzením systému řízení výroby a dozor nad systémem řízení výroby spojený se zkoušením vzorků odebraných v místě výroby a požadavky podnikové normy výrobce PN 020806, která stanovuje následující minimální požadavky na výrobek (porovnání s referenčním betonem):

Sledovaná vlastnost	Zkušební postup	Deklarovaná úroveň
Celkový obsah chlóru	ČSN EN ISO 1158 a ČSN EN 934-1 Tab. 1	≤ 0,30 %
Pevnost v tlaku – 28 dní	ČSN EN 12390-3	≥ 100%
Hloubka průsaku tlakovou vodou	ČSN EN 12350-8	≤ 85%
Odolnost povrchu betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek, metoda A	ČSN 73 1326	≤ 75%

Výsledkem posouzení shody bylo vydání certifikátu č. 060-049297 dne 12.8.2020. Certifikát byl vydán na základě Protokolu o výsledku certifikace produktu č. 060-049296 ze dne 16.8.2019 a zprávy o dozoru č. 060-051056 z 12.8.2020 vydaných TZÚS Praha s.p. – pobočkou Brno. Platnost certifikátu je podmíněna kladným vyhodnocením výsledků dozorů. Poslední Zpráva o dozoru č. 060-052957 byla vydána 27.10.2021.

#### Technické předpisy:

Seznam technických předpisů a norem použitých při posouzení shody:

ČSN EN 12390 – 3 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles

ČSN EN 12350 – 2 Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím

ČSN EN 12390 – 8 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou

ČSN 731326 Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek

Zákon č. 263/2016 Sb. – Atomový zákon v platném znění

#### Na posouzení shody se dále podílela:

Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p. pobočka 0600-Brno. IČO:000 15679.

Výrobce prohlašuje, že výrobek je za podmínek obvyklého použití bezpečný a že přijal opatření, kterými zabezpečuje shodu všech výrobků uváděných na trh s technickou dokumentací a se základními požadavky.



Zibohlavý 1.11.2021

Bc. Martin Váša – výrobní ředitel

## Příloha 4: Prohlášení o vlastnostech – BETOCRETE-CL170-P



# Prohlášení o vlastnostech

dle NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) č. 305/2011, Příloha III  
novelizovaného NAŘÍZENÍM EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) č. 574/2014

pro výrobek

**BETOCRETE-CL170-P**  
206443

- |  |  |
|--|--|
| <b>1. Zařazení typu výrobku:</b>   | DIN EN 934-2 : 2009 + A1 : 2012 : část 2   |
| <b>2. Použití:</b>   | Plastifikační přísada do betonu<br>dle EN 934-2: část 2  |
| <b>3. Výrobce:</b>   | Schomburg GmbH & Co. KG<br>Aquafinstrasse 2-8<br>32760 Detmold   |
| <b>4. Systém nebo systémy k posuzování a ověřování stálosti vlastností stavebního výrobku:</b> | Systém 2+  |
| <b>5. Harmonizovaná technická norma:</b>   | EN 934-2 : 2009 + A1 : 2012  |
| <b>6. Notifikovaná zkušební laboratoř:</b>   | Notifikovaná zkušební laboratoř MPA Bau Hannover, identifikační číslo 0764, provedla počáteční inspekci ve výrobním závodě, včetně jeho řízení výroby a průběžného dozoru, posouzení a hodnocení řízení výroby podle systému 2+ a vydala:<br><br><b>Osvědčení o shodě: 0764-CPD-0173</b> |



## 7. Deklarované vlastnosti:

Základní charakteristiky	Parametry	Systém posuzování a ověřování stálosti vlastností stavebního výrobku	Harmonizovaná technická norma
Obsah chloridů	max. 0,10 hmotn. %	Systém 2+	DIN EN 934-2 : 2009 + A1 : 2012
Obsah alkálií	max. 10,5 hmotn. %		
Korozní vlastnosti	Obsahuje pouze komponenty dle EN 934-1 : 2008, Příloha A1.		
Pevnost v tlaku	Po 7 dnech a po 28 dnech: testovaná směs $\geq 110$ % hodnoty kontrolní směsi.		
Redukce vody	U testované směsi $\geq 5$ % ve srovnání s kontrolní směsí.		
Obsah vzduchu	Objem. podíl u testované směsi vyšší o $\leq 2$ % než u kontrolní směsi.		
Nebezpečné látky	Nestanovuje se.		

Vlastnosti výrobku jsou v souladu s deklarovanými vlastnostmi.  
Toto prohlášení o vlastnostech je v souladu s Nařízením Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011 a je vydáno na výhradní odpovědnost výše uvedeného výrobce.

**Podepsán za a jménem výrobce:**

Beyer Thomas - technické služby  
(jméno a funkce)

V Detmoldu, 11. 01. 2017

***Toto Prohlášení o vlastnostech bylo vytvořeno elektronicky a je platné i bez vlastnoručního podpisu.***

Aktuální bezpečnostní listy a technické listy jsou k dispozici na internetové adrese:

<http://www.schomburg.com/de/de/downloads/datenblaetter>  
resp.  
<http://www.schomburg.com/cz/cs/ke-stazeni/datasheets>

**Přeloženo z originálního dokumentu výrobce:**

Ing. Jitka Tietjen  
Jednatelka  
Schomburg Čechy a Morava s. r. o.

## Příloha 5: Prohlášení o vlastnostech – STACHEMENT 787

### STACHEMENT 787

#### PROHLÁŠENÍ O VLASTNOSTECH

č. 30100123021/1

1. Jedinečný identifikační kód typu výrobku:

**EN 934-2: T 3.1/3.2 //96**

2. Zamýšlené použití nebo zamýšlená použití stavebního výrobku v souladu s příslušnou harmonizovanou technickou specifikací podle předpokladu výrobce:

**Superplastifikační přísada do betonu dle EN 934-2+A1:2012**

3. Jméno, firma nebo registrovaná obchodní známka a kontaktní adresa výrobce podle čl. 11 odst. 5:

**STACHEMA CZ s.r.o.  
Hasičská 1, Zibohlavý  
280 02 Kolín**

4. Případně jméno a kontaktní adresa zplnomocněného zástupce, jehož plná moc se vztahuje na úkoly uvedené v čl. 12 odst. 2:

**Nebyl ustanoven**

5. Systém nebo systémy posuzování a ověřování stálosti vlastností stavebních výrobků, jak je uvedeno v příloze V:

**Systém 2+**

6. Harmonizovaná norma a oznámený subjekt

Harmonizovaná norma: **ČSN EN 934-2 + A1:2012**

Oznámený subjekt: **Oznámený subjekt č. 0921- QDB se sídlem Mainzer Landstraße 55 D-60329 Frankfurt am Main provedl počáteční inspekci v místě výroby a řízení výroby ve výrobním závodě i průběžného dohledu, posuzování a schvalování řízení výroby u výrobce v souladu se systémem 2+ a vydal: Certifikát řízení výroby číslo 0921-CPR-2000.**



## 7. Vlastnosti uvedené v prohlášení

Základní charakteristiky	Vlastnost	Harmonizované technické specifikace
Obsah chloridových iontů	$\leq 0,1$ hm.%	EN 934-2
Obsah alkálií	$\leq 1,5$ %	EN 934-2
Korozivní vlastnosti	Výrobek obsahuje pouze složky uvedené v EN 934-1:2008 příloha A.1	EN 934-2
Redukce vody (při stejné konzistenci)	Ve zkušební směsi $\geq 12$ % ve srovnání s kontrolní směsí	EN 934-2
Pevnost v tlaku (při stejné konzistenci)	Po 1 dnu: Zkušební směs $\geq 140$ % kontrolní směsi Po 28 dnech: Zkušební směs $\geq 115$ % kontrolní směsi	EN 934-2
Obsah vzduchu v čerstvém betonu (při stejné konzistenci)	Ve zkušební směsi maximálně o 2 objemová % více než v kontrolní směsi	EN 934-2
Zvětšení konzistence (při stejném vodním součiniteli)	Zvětšení sednutí $\geq 120$ mm z původních ( $30 \pm 10$ ) mm Zvětšení rozliti $\geq 160$ mm z původních ( $350 \pm 20$ ) mm	EN 934-2
Zachování konzistence (při stejném vodním součiniteli)	30 minut po přidání přísady neklesne konzistence zkušební směsi pod hodnotu původní konzistence kontrolní směsi	EN 934-2
Pevnost v tlaku (při stejném vodním součiniteli)	Po 28 dnech: zkušební směs $\geq 90$ % kontrolní směsi	EN 934-2
Obsah vzduchu v čerstvém betonu (při stejné vodním součiniteli)	Ve zkušební směsi maximálně o 2 objemová % více než v kontrolní směsi	EN 934-2
Nebezpečné látky	Viz MSDS	EN 934-2

8. Příslušná technická dokumentace a/nebo specifická technická dokumentace (čl. 36 – 38 nařízení (EU) č.305/2011)

**Nevztahuje se**

Vlastnosti výše uvedeného výrobku jsou ve shodě se souborem deklarovaných vlastností. Toto prohlášení o vlastnostech se v souladu s nařízením (EU) č. 305/2011 vydává na výhradní odpovědnost výrobce uvedeného výše.

Bc. Martin Váša, výrobní ředitel

Zibohlavý, 9.9.2016

(místo a datum vydání)

(podpis)