

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra betonových a zděných konstrukcí



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Optimalizace návrhu bílé vany s uvážením vlivu
krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

2023

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Iva Broukalová, Ph.D.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6



SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Bc. Adam Silbrník

Název diplomové práce: Optimalizace návrhu bílé vany s uvážením vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Základní část: katedra betonových a zděných konstrukcí podíl: 100 %

Formulace úkolů: Diplomová práce bude obsahovat část rešeršní a praktickou. Další specifikace - viz zadání.

Při vypracování práce vycházejte z poznatků získaných v rámci bakalářské práce.

Podpis vedoucího DP: Datum:

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

3. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

4. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvažováním vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Tháškova 7, 166 29 Praha 6



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Silbrník	Jméno: Adam	Osobní číslo: 477295
Zadávající katedra: Katedra betonových a zděných konstrukcí		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor/specializace: Konstrukce pozemních staveb		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Optimalizace návrhu bílé vany s uvažováním vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu	
Název diplomové práce anglicky: Optimizing the proposal of watertight construction with consideration of the effect of crystallization additives on the properties of concrete	
Pokyny pro vypracování: Rešeršní část: - zásady návrhu a realizace vodonepropustné konstrukce - možnosti zkoumání krystalizačních přísad vycházející ze zkušeností z BP Praktická část: - optimalizace vodonepropustné suterénní konstrukce na konkrétním objektu, pomocí různých návrhových přístupů, založených na konkrétních experimentech prováděných v rámci této DP - realizace experimentů potvrzující funkčnost krystalizačních přísad a stanovení součinitelů zohledňující použití krystalizačních přísad - výkresy výtzuže pro různé varianty návrhu bílé vany	
Seznam doporučené literatury: Technická pravidla ČBS, bílé vany - vodonepropustné betonové konstrukce Skripta fakulty stavební ČVUT - navrhování betonových konstrukcí a konstrukce pozemních staveb Časopis beton TKS Odborné články o krystalizačních přísadách	
Jméno vedoucího diplomové práce: doc. Ing. Iva Broukalová, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 30.9.2022	Termín odevzdání DP v IS KOS: 9.1.2023 <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</small>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

30.9.2022	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, za pomoci konzultací s mým vedoucím práce a za použití uvedené literatury. Společně s tím prohlašuji, že tištěná verze je shodná s verzí elektronickou nahranou do IS KOS.

V Poděbradech dne 8. 1. 2023

Bc. Adam Silbrník

.....

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvážením vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

Poděkování

Tímto bych velice rád poděkoval vedoucí mé diplomové práce, paní doc. Ing. Ivě Broukalové, Ph.D., která se mi věnovala již během bakalářské práce. Děkuji za čas věnovaný mi při konzultacích, cenné rady a lidský přístup po celou dobu vytváření práce.

Poděkování patří také zaměstnancům firmy STA-CON s.r.o., kde pracuji již od 1. ročníku na VŠ. Dále pak musím zmínit zaměstnance Experimentálního centra ČVUT, konkrétně pana doc. Ing. Pavla Reitermana, Ph. D., který mi pomohl otestovat vzorky pro experimentální ověření.

Dále bych chtěl poděkovat celé mé rodině a přítelkyni, za obrovskou podporu během posledních náročných vysokoškolských studijních let.

Název diplomové práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvážením vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Anotace

Předložená diplomová práce má za cíl navázat na zkoumání krystalizačních přísad v bakalářské práci. V průběhu tvorby bakalářské práce a následujícího studia bylo zjištěno mnoho poznatků, které jsou aplikovány v rámci této práce. Hlavní náplní této práce je definování normových základů a materiálových koeficientů pro návrh vodonepropustných konstrukcí za použití krystalizačních přísad. Toho je dosaženo pomocí experimentů. Následně je proveden optimalizovaný návrh konstrukce spodní stavby vícepodlažní administrativní budovy RedCourt v porovnání s příručkami ČBS o vodonepropustných konstrukcích.

Klíčová slova

Beton, železobeton, vodonepropustný beton, hydroizolace spodní stavby, krystalizační přísady, krystalizace, H-Krystal MR

Title of bachelor thesis

Optimizing the proposal of watertight construction with consideration of the effect of crystallization additives on the properties of concrete

Annotation

The submitted diploma thesis aims to follow up on the investigation of crystallization additives in the bachelor's thesis. During the creation of the bachelor's thesis and the subsequent study, many findings were discovered, which are applied within the framework of this thesis. The main content of this work is the definition of standard foundations and material coefficients for the design of waterproof structures using crystallization additives. This is achieved through experiments. Subsequently, an optimized design of the structure of the substructure of the multi-storey administrative building RedCourt is carried out in comparison with the ČBS manuals on watertight structures.

Keywords

Concrete, reinforcedconcrete, watertightconcrete, hydroisolation of substructure, crystallizationadditives, crystallization, H – Krystal MR

Obsah

Úvod	9
Rešeršní část.....	10
Motivace k pokračování výzkumu.....	10
Charakteristika krystalizačních přísad	10
Očekávané chování betonu – přípustné vady	11
Vhodné použití krystalizace	15
Cementy pro vodonepropustné konstrukce	19
Normové značení cementů	20
Použití cementů v praxi.....	21
Vhodné podmínky laboratorního ověření	21
Výsledky dokončených experimentů z bakalářské práce.....	22
Opakovaný experiment účinnosti krystalizace – cementový potěr.....	27
Experiment – začátek funkčnosti krystalizace	29
Opakovaný experiment účinnosti krystalizace – beton C25/30	31
Mikroskopie.....	34
Vstupní podmínky experimentů.....	37
Závěr rešeršní části.....	37
Praktická část – experimentální část.....	38
Vývin hydratačního tepla	38
Vývin hydratačního tepla cementu	38
Popis experimentu	39
Výsledky experimentu.....	40
Vliv výsledků experimentu na návrh konstrukce bílé vany	41
Zkouška tlakovou vodou	44
Popis experimentu	44
Výsledky experimentu.....	45
Vliv výsledků experimentu na návrh konstrukce bílé vany	47
Závěr experimentální části	48
Praktická část– optimalizace návrhu konstrukce bílé vany.....	49
Popis objektu.....	49
Princip výpočtu.....	51

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvažováním vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

Návrh dimenzí suterénních konstrukcí.....	51
Konstrukce bez krystalizační přísady – model B.....	51
Konstrukce s krystalizační přísadou – model K	55
Definice okrajových podmínek + výpočet krycí vrstvy	56
Statický výpočet	58
Výpočet šířky trhlin – omezení trhlin od vynucených přetvoření – ČSN EN 1992-1-1	58
Trhliny od nesilových účinků – konstrukce bez krystalizace – model B	60
Trhliny od nesilových účinků – konstrukce s krystalizací – model K	72
Ověření minimálního množství nutné výztuže od silových účinků	89
Vyhodnocení vlivu krystalizační přísady na optimalizaci konstrukce.....	114
Vliv krystalizační přísady na výsledný objem betonu	114
Vliv krystalizační přísady na návrh výztuže na nesilové účinky	115
Vliv krystalizační přísady na silové účinky zatížení	118
Porovnání vlivu krystalizační přísady na celkové množství výztuže	120
Celková finanční úspora návrhu	123
Celkový závěr	125
Seznam příloh	126
Literatura	127
Obrázky.....	129

Úvod

Jako téma diplomové práce jsem si zvolil návrh a optimalizaci konstrukce bílé vany. Práce rozvíjí téma, kterým jsem se zabýval v mé bakalářské práci. Jedná se o zkoumání funkčnosti krystalizačních přísad a jejich následné použití v návrhu suterénní konstrukce budovy. V tomto případě jsem ale měl jasnou představu o vlastnostech, které chci ověřit, a jak k nim dojít.

Když jsem začínal před rokem a půl psát bakalářskou práci, měl jsem obavu, zda je téma krystalizačních přísad a vodonepropustných betonových konstrukcí dostatečně obsáhlé a vystačí na obsah práce, případně na další pokračování právě v diplomové práci. Po mnoha diskuzích jak se zastánci krystalizace, tak s jejich odpůrci jsem zjistil, že mé obavy byly zbytečné. Aspektů ke zkoumání a ověření je totiž skutečně mnoho. Za dobu od dokončení bakalářské práce, se mi podařilo nashromáždit mnoho materiálů jak tuzemských, tak zahraničních, které by zajisté stačily i na vytvoření práce další.

Největší problém, na který jsem narazil už v bakalářské práci, je úplná absence normových podkladů pro navrhování vodonepropustných betonových konstrukcí s použitím krystalizačních přísad. Návrh v dnešní době probíhá pouze na základě zkušeností projektanta a technických listů výrobců krystalizací. Jednou z hlavních výhod použití krystalizace je možnost zmenšení tloušťky konstrukcí díky zvýšení vodonepropustnosti, kterou je schopná vytvořit. To může výrazným způsobem pomoci s optimalizací a ušetřit tak nemalé výdaje. V experimentální části své práce jsem se proto rozhodl o stanovení materiálových součinitelů, které by bylo možné použít v rámci výpočtu šířky trhlin a návrhu tloušťky konstrukce. Tyto součinitele stanovuji v experimentální části práce pomocí zkoušky tlakové vody a měření množství hydratačního tepla.

V poslední výpočtové části, kde prakticky aplikuji poznatky získané z celého výzkumu, se věnuji návrhu suterénní stavby za pomoci materiálových součinitelů. Jako objekt pro tento účel jsem si vybral vícepodlažní administrativní budovu RedCourt v pražském Karlíně. Jedná se o budovu obdélníkového půdorysu se třemi podzemními a devíti nadzemními podlažními. Konstrukční systém je po celé výšce převážně sloupový, pouze se ztužujícími jádry. Proto je nutné řešit při návrhu také protlačení základové desky, protože sloupy procházejí nad sebou po celé výšce budovy. V rámci návrhového povodňového stavu stoleté vody se v místě stavby počítá až s 8 metry podzemní vody nad základovou spárou. To jsou podmínky, které se přibližují podmínkám při zkoušení vzorků na tlakovou vodu, kdy na vzorky působí tlak 500kPa, což odpovídá 5 metrům vodního sloupce.

Rešeršní část

Motivace k pokračování výzkumu

Během posledního roku a půl jsem aktivně shromažďoval materiály a náměty, pomocí kterých bych mohl objasnit mnou dosud ne zcela vyjasněné poznatky. Dva semestry jsem také pracoval v laboratoři katedry materiálového inženýrství a chemie na fakultě stavební ČVUT, kde jsem se naučil, jak postupovat při práci v laboratoři a čemu se vyhnout při experimentech.

Má bakalářská práce byla zároveň fakultou nominována jako jedna z šesti prací z celé fakulty, do celostátního kola soutěže České betonářské společnosti o nejlepší bakalářskou práci. To mi dalo jasný impuls, že pokračovat v rozpracovaném tématu je správný krok. V průběhu magisterského studia jsem byl také nominován se svým aktuálně probíhajícím výzkumem do mezinárodního kola SVOČ v kategorii materiálové inženýrství.

Při návštěvách staveb a při jednáních se stavebními firmami jsem zjistil, že krystalizační přísady se v dnešní době používají na drtivě většině novostaveb a dělníci mají správné pracovní postupy opravdu zažitě.

Naproti tomu jsem se setkal se skupinou odpůrců, kteří tvrdí, že krystalizace betonu pouze zbytečně prodražuje a je lepší investovat do kvalitnějšího betonu bez použití krystalizace. Pokud konstrukci navrhne bez znalosti funkčnosti krystalizace a neprovedeme optimalizaci, kterou nám krystalizace umožňuje, skutečně se jedná pouze o umělé navyšování ceny betonu. V následujících částech se pokouším argumenty, které mi tato skupina odpůrců dala, ověřit či vyvrátit.

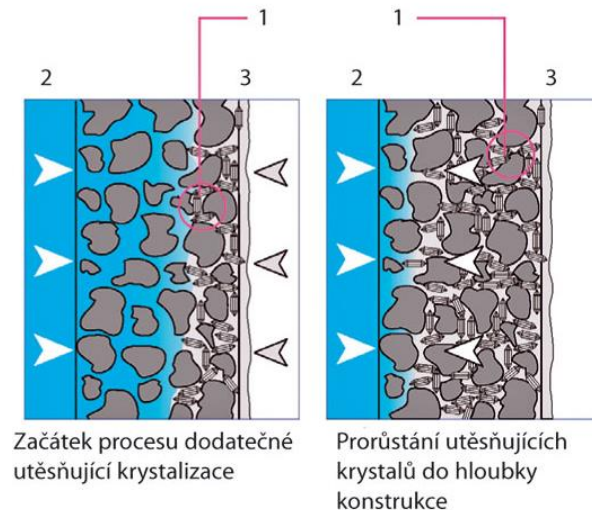
Posledním výrazným bodem diskuse, na který jsem narazil, je správné a reálné stanovení podmínek pro testování vzorků. Je jasné, že se nám v laboratoři nikdy nepodaří podmínky zcela přizpůsobit reálným podmínkám konstrukce. V dalších částech práce se alespoň pokouším shrnout poznatky které jsem získal, a jakými experimenty jsem dosáhl nejreálnějších výsledků. Zároveň uvádím i vlivy, které v laboratoři otestovat nejdu a které v některých případech budou hrát v neprospěch krystalizace.

Charakteristika krystalizačních přísad

Pro úplnost bych přeci jen zopakoval několik faktů o krystalizačních přísadách. Krystalizace se přidává do čerstvého betonu buď přímo v betonárně, nebo do autodomíchávače přímo na stavbě před zahájením betonáže. Toto rozhodnutí většinou záleží na rozsahu stavby a množství objednaného betonu, zda je výhodné v betonárně míchat celou várku betonu, nebo na dodavateli krystalizace, zda si chce dávkování na stavbě ohlídat sám. V obou případech je ale nutné brát v potaz, že krystalizace je suchá přísada přidávaná do betonu, ve kterém již započala hydratace, proto bude snižovat stupeň konzistence. Je proto nutné vždy zvolit stupeň konzistence o jeden vyšší, než který je požadován, nebo vhodně upravit recepturu betonu.

Krystalizační přísada se do betonu přidává za účelem aktivace opětovné krystalizace cementu. Po kontaktu betonu s vodou se v pórech a trhlinách, do kterých se voda dostane, začne

spotřebovává voda pro druhotnou hydrataci cementu a póry a trhliny se tak zacelí a konstrukce se stane vodonepropustnou. Efekt krystalizace tak není okamžitý, ale nastává až po čase, kdy se defekty konstrukce zacelí. Krystalizace má za úkol eliminovat vady betonu, které vznikají jeho přirozeným chováním a nelze je zcela odstranit, ale pouze omezit vhodným návrhem a ošetřováním. [1] [2]



Obr. 1 – princip funkčnosti krystalizace, 1 – krystaly, 2 – exteriér, 3 – interiér

Očekávané chování betonu – přípustné vady

Monolitický beton je materiál, který se skládá z více komponentů (kamenivo, cement, voda, přísady...) a jeho výsledný tvar vzniká až na stavbě. To z něj dělá materiál, jehož výsledný vzhled a kvalita závisí právě na způsobu ukládání a následném ošetřování.

I přes dodržení všech požadavků na návrh a provedení konstrukce se mohou v hotovém díle vyskytnout drobné poruchy, jako vlhká místa, trhliny, které nejsou v souladu s požadovanou konstrukční třídou. Tyto defekty lze však sanovat vhodným opatřením (např.: injektáž, krystalizační nátěry apod.), neboť místa poruch jsou přesně určitelná a jejich odstranění nepředstavuje žádné snížení kvality díla.

Protože v reálné železobetonové konstrukci se mohou vyskytnout trhliny, jejichž skutečná šířka od smrštění je větší než šířka prokázaná výpočtem, je potřeba předem počítat s jejich případnou sanací. Vznik trhlín v železobetonové konstrukci nelze považovat za vadu betonu, nýbrž za vlastnost betonu. Vhodným návrhem výztuže, ale především správným způsobem betonáže a vhodnou betonovou směsí, lze vznik trhlín omezit, ale nikoliv zcela vyloučit. Sanace je většinou prováděna injektážemi. Dodatečné injektáže tedy v rozumné míře nejsou ani chybou návrhu ani chybou provedení, ale součástí koncepce bílých van.

V každém případě je vhodné, pokud to okolnosti dovolují, se započítáním sanací počkat co nejdéle, zda nedojde k samovolnému uzavření trhlín (tzv. „samozhojení“). Obvykle k němu

Diplomová práce

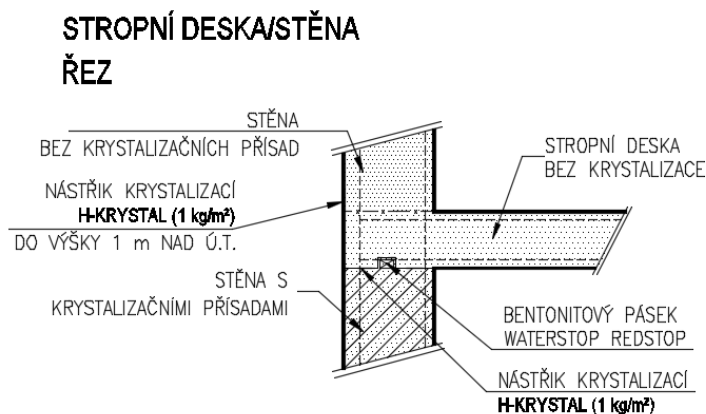
Optimalizace návrhu bílé vany s uvážením vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

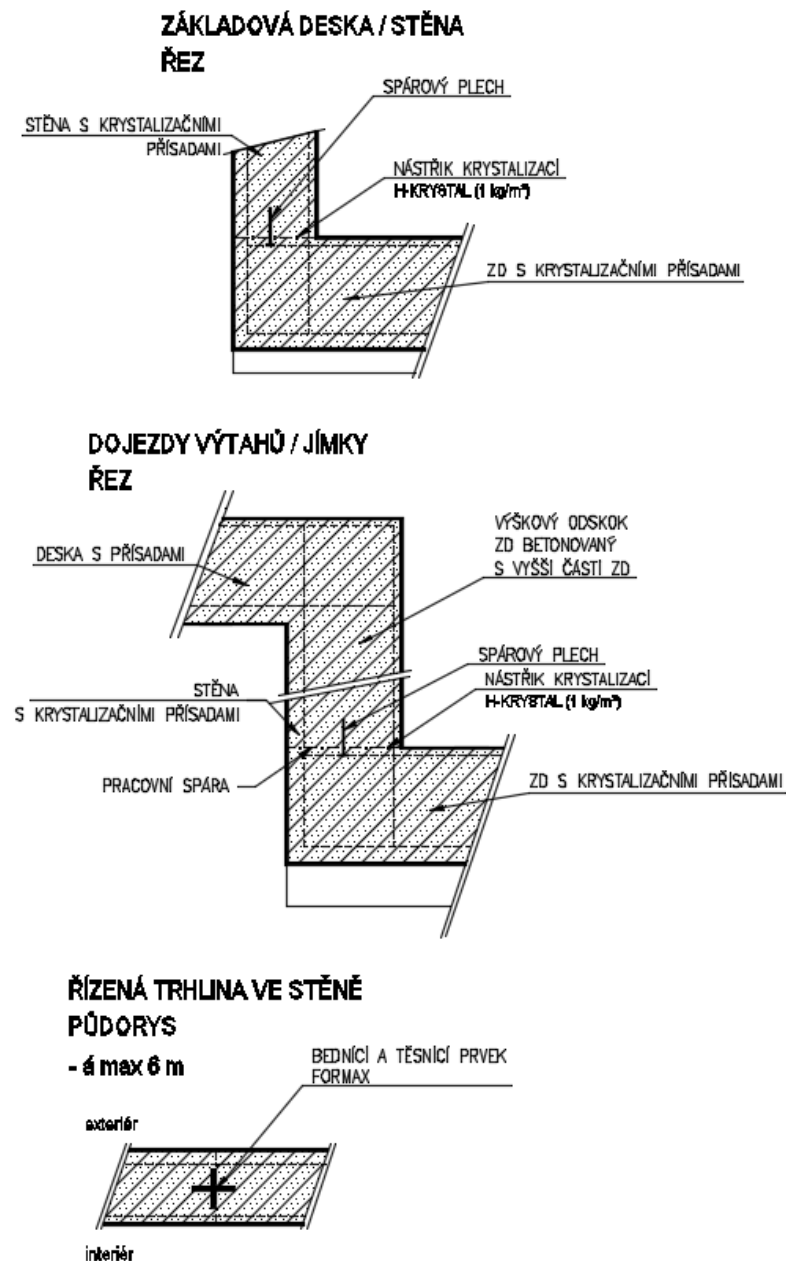
dochází v řádu několika dnů. Je závislé na okolních podmínkách, jako např. množství prosakující vody, velikosti trhlin, kvalitě provedení, atd.

Další možnosti sanace jsou závislé na charakteru poruchy (ohybové nebo smršťovací trhliny, pracovní spáry, dilatační spáry, plošné průsaky „hnízda“). Obecně se ale nabízejí aplikace krystalizačních nátěrů, injektáže umělou pryskyřicí nebo cementovým mlékem do již osazeného injektážního systému. Další možnosti jsou dodatečně navrtávané otvory zaplněné reprofilační maltou, nebo stříkaným betonem. Těsnící pásy lze opravit svářením apod. Podrobněji jsem popisoval tyto sanační metody v bakalářské práci.

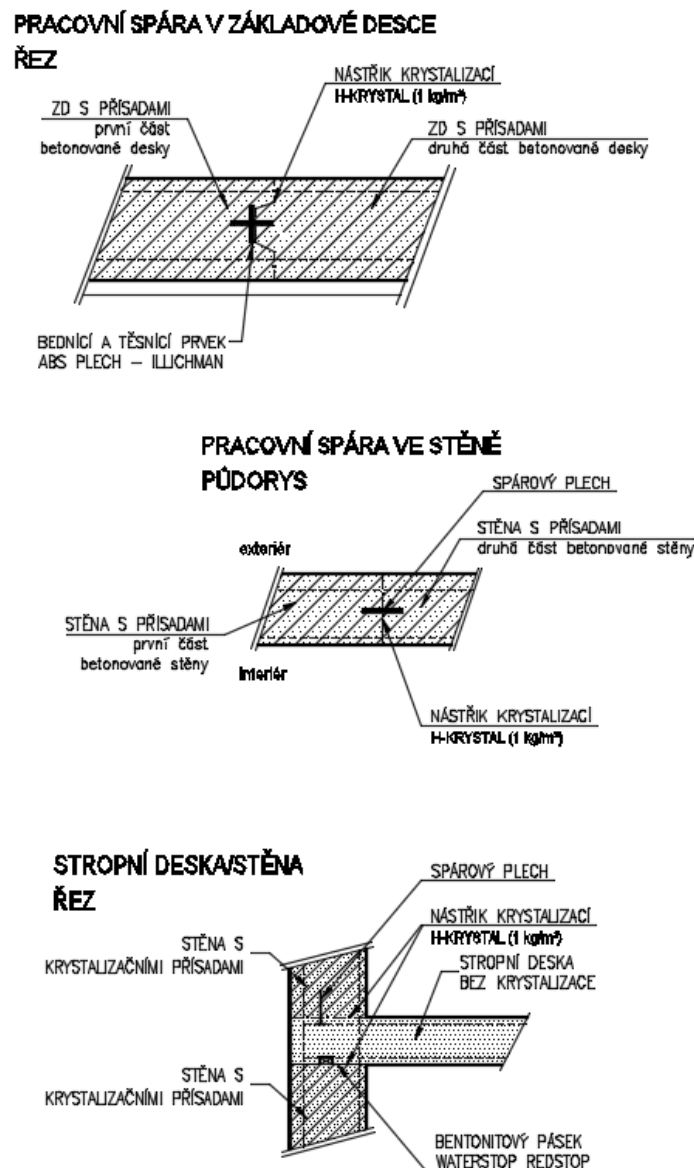
Konkrétní detaily řešení spodní stavby – pracovní a dilatační spáry – je nutné přizpůsobit konkrétnímu dodavateli. Veškeré konkrétní provedení detailů těsnění bílé vany je úkolem dodavatele betonové konstrukce, který si sám zvolí systém těsnění na základě dohody s dodavatelem přísad a nechá si je schválit statikem. Do projektu jsou vloženy návrhové detaily řešení používané delegovaným dodavatelem přísad. Nejběžněji používanými prvky pro těsnění pracovních spár jsou ocelové plechy a bentonitové pásy. Níže jsou uvedeny příklady možných provedení.



Obr. 2 – typické detaily těsněných spár



Obr. 3 – typické detaily těsněných spár



Obr. 4 – typické detaily těsněných spár [3]

Pro absolutní minimalizaci vzniku nežádoucích defektů je nutné kromě správného kladení výztuže a správného osazení bednění dodržet také následující postupy a zásady:

1. Betonáž ve vodě (ať už tekoucí nebo stojatá) je zakázána.
2. Beton smí být uložen jen na čistý, hladký podklad.
3. Veškeré pracovní spáry je nutné pečlivě vyčistit a předem dodatečně navlhčit.
4. Plastové a kovové distanční prvky se nesmí používat (použit lze betonové, vláknobetonové, apod.).

5. Ošetřování musí být zajištěno tak, aby byl beton chráněn min. 3 dny před náhlým ochlazením a min. 7 dní před silným vysušením. Nejlépe se toho dosáhne tak, že se stěny nechají co nejdéle zabeďněné a základová deska se pokryje geotextílií, navlhčí se a překryje fólií.

Vhodné použití krystalizace

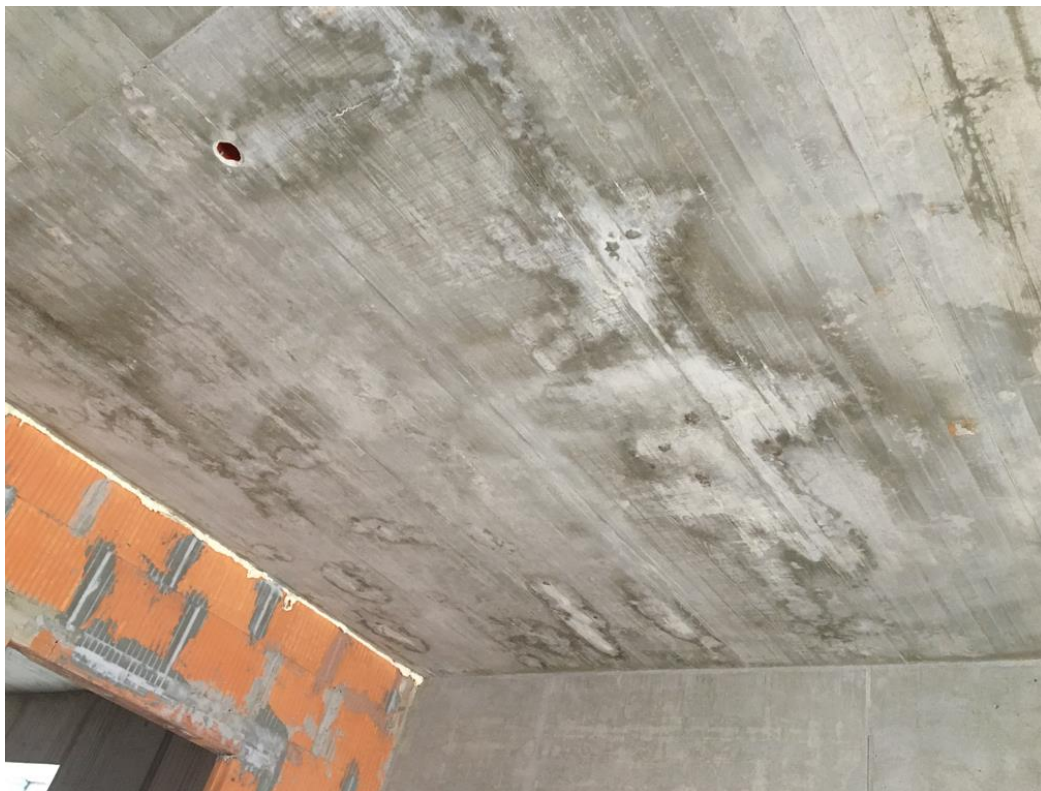
Z výše uvedených charakteristik vyplývá, že použití krystalizace není možné všude. Vlivem dotvarování a teplotní roztažnosti betonu je konstrukce stále v pohybu a objevují se nové trhliny, nebo se naopak zacelují ty staré. Nejběžněji se s použitím krystalizace setkáme při hydroizolaci spodní stavby, tedy suterénních stěn a základových desek. Toto použití je maximálně vhodné, protože je zde téměř stálá teplota a změny konstrukce od teplotní roztažnosti jsou tak minimální. Zároveň je konstrukce ve stálém styku s vodou, nebo alespoň se zemní vlhkostí a růst krystalů je tak neustále iniciován. Současně je základová deska podporována zeminou a zatížení způsobující neustálé dotvarování je tak eliminováno. Trhliny v suterénních stěnách jsou spíše zavírány tíhou horní stavby, a tak k otevírání nových trhlin vlivem dotvarování nedochází.

Častým omylem je tvrzení, že lze vytvořit vodostavební strop za použití krystalizace nebo vodonepropustného betonu. To opravdu možné není, jelikož stropní konstrukce, především v rané fázi, podléhá výraznému dotvarování a po celou dobu životnosti jsou namáhána zatížením proměnným v čase. Krystalizace tak nemá dostatek času pro zacelení defektů. Na následujících obrázcích (obr. 5, 6, 7) je stropní konstrukce posledního podlaží před položením hydroizolace na střeche. Krystalizační přísada byla v tomto případě použita pro zacelení smršťovacích trhlin a větší vizuální celistvosti betonu z důvodu požadavku na pohledový beton v interiéru. Na obrázku číslo 5 je vidět, jak trhliny v konstrukci zacelila krystalizace. Mohlo by se tak zdát, že je konstrukce vodonepropustná. Na dalším obrázku (obr. 6) je stejné místo konstrukce o dva týdny později. Teplota prostředí je přibližně o 15 °C vyšší a spadlo velké množství srážek. Voda opět prosakuje konstrukcí již zacelenými trhlínami. To je způsobeno pohybem v místech trhlin a jejich přetvořením. V tomto případě se jedná spíše o změny od teplotní roztažnosti než od proměnného zatížení, které v této fázi výstavby na strop působí minimálně.

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvažáním vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník



Obr. 5 – trhliny v suchém stropě zarostlé krystalizací



Obr. 6 – stejné místo po srážkách a změně teploty okolního prostředí



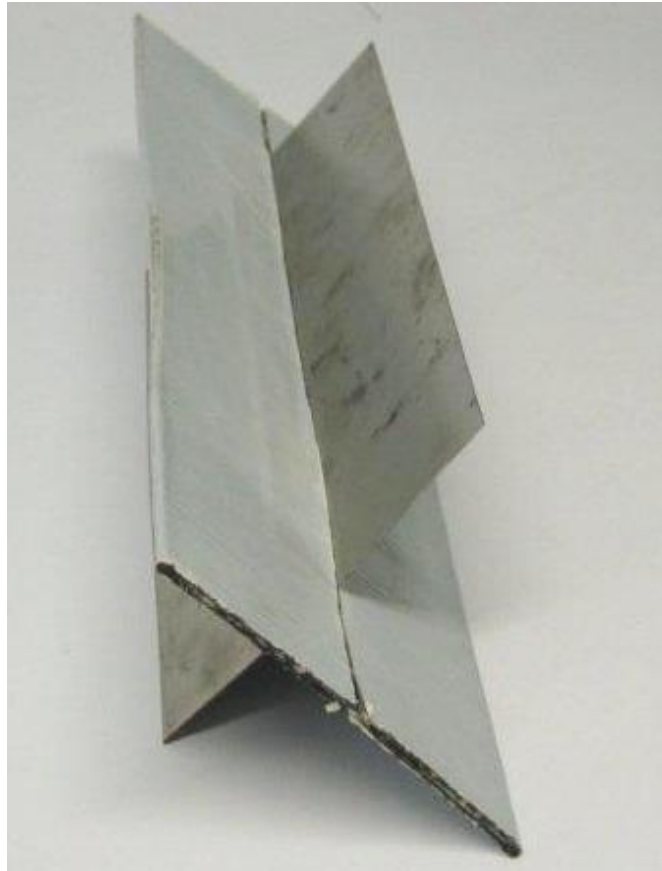
Obr. 7 – finální vzhled pohledového betonu po broušení a položení hydroizolace

Další, ne již tak běžnou a známou možností, je použití krystalizace pro exteriérové konstrukce. Jedná se hlavně o betonové fasádní pohledové stěny, opěrné zdi, ploty, atiky, pohledový beton obecně a jiné betonové konstrukce bez další ochranné vrstvy betonu. Krystalizace zde po kontaktu s vodou začíná zacelovat trhliny a póry, kterými by voda mohla pronikat do konstrukce a způsobit tak degradaci betonu, karbonataci výztuže nebo zcela znemožnit původní využití chráněných objektů. U těchto typů konstrukcí je ale nutné důsledněji dbát na dostatečnou dilataci, z důvodu přímého kontaktu s okolním prostředím a změnami teplot. Způsobů dilatací je několik, pokud nepožadujeme vodonepropustnost po délce konstrukce a krystalizaci používáme pouze z důvodu ochrany betonu a výztuže a vytvoření celistvosti povrchu, lze dilatace provádět běžnými způsoby. To je tedy rozdělením konstrukce na více celků a jejich vzájemným propojením, například pomocí smykových trnů, trvale pružných tmelů, nebo jiných výplňových hmot. Pokud je ale požadována vodonepropustnost, nebo by nám dilatace vadila například z estetického hlediska, používají se takzvané trhací lišty. Trhací lišta je tvarovaný tenký ocelový plech, který se vkládá do bednění společně s výztuží. Definuje místo vzniku trhliny, tam kde nám nejméně vadí. Svým tvarem trhlinu po jejím vzniku zároveň okamžitě utěšňuje. Eliminuje jak smršťovací trhliny, tak trhliny od změn teploty. Jejich použití je vhodné zejména na opěrných zdech a dlouhých fasádních stěnách.

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvážením vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník



Obr. 8 – trhací lišta

Lze je samozřejmě používat také v dlouhých suterénních stěnách. Jejich použití naopak není vhodné na balkonech nebo základových deskách, kde je lepší volit klasické dilatace. Použití na atikách nebo exteriérových konstrukcích záleží na posouzení aktuální návrhové situace. Konkrétní návrh dilatačních celků, jejich délky a umístění v konstrukci, vždy záleží na posouzení aktuální návrhové situace, možnostech ostatních stavařských profesí a přání investora na finální vzhled. Nelze jednotně předepisovat po jakých délkách konstrukci dilatovat, v jakých místech, či jakými způsoby. Návrh je ovlivněn mnoha faktory, jako např. podepření konstrukce, působení ostatních částí konstrukce na dané místo, závažnost problémů při vzniku trhlin apod.



Obr. 9 – fasádní stěna s krystalizací



Obr. 10 – plot s krystalizací

Cementy pro vodonepropustné konstrukce

Cement je v betonu složka, která plní funkci hydraulického pojiva. To znamená, že po smíchání s vodou vytvoří kaši a tuhne. Tvoří přibližně 10-15 % z celkového objemu betonové směsi. Na jeho výběr má vliv mnoho faktorů, jako např. pevnost, trvanlivost, odolnost vůči chemikáliím, zpracovatelnost, rychlost tuhnutí, množství hydratačního tepla atd. Vhodným výběrem

cementu tak můžeme předejít mnoha nežádoucím jevům, které nás mohou potkat během betonáže, nebo se mohou projevit až během užívání stavby.

Cement je směs, složená z různých složek anorganického původu. Různé množství těchto složek vytváří různé druhy cementů. Souhrnně se tyto směsné cementy pro stavební použití označují zkratkou CEM. Hlavními složkami cementu jsou portlandský slínek, granulovaná vysokopecní struska, pucolány, popílky, křemičitý úlet a vápenec. Každá z těchto složek má své výhody i nevýhody, proto je nutné jejich poměr vybalancovat tak, aby výsledné vlastnosti odpovídaly požadovanému použití. Například pucolány samy po kontaktu s vodou netvrdnou, zvyšují ale narůstající pevnosti, portlandský slínek zase výrazně zlepšuje hydraulické vlastnosti.

Normové značení cementů

Vzhledem k možné široké variabilitě, je zavedeno normové značení cementů podle normy ČSN EN 197-1.

- CEM I – Portlandský cement
- CEM II – Portlandský cement směsný
- CEM III – Vysokopecní cement
- CEM IV – Pucolánový cement
- CEM V – Směsný cement

Dalšími klíčovými vlastnostmi, které se u cementů definují, jsou: obsah hlavních složek, pevnostní třída, třída počáteční pevnosti, síranovzdornost a případně označení nízkého vývinu hydratačního tepla.

Normalizovaná pevnost je definovaná jako pevnost v tlaku po 28 dnech podle EN 196-1. Rozlišujeme tři pevnostní třídy – 32,5, 42,5 a 52,5 MPa. Za označením pevnostní třídy se uvádí ještě počáteční pevnost. Ta je udávána po 2 nebo po 7 dnech. Písmenem N se značí normální počáteční pevnost, písmenem L nízká počáteční pevnost a písmenem R vysoká počáteční pevnost. Třída počáteční pevnosti je provázána s množstvím vývinu hydratačního tepla. Cementy s vysokými počátečními pevnostmi mají vyšší hodnotu hydratačního tepla než betony s nízkými počátečními pevnostmi. Všechny požadované charakteristické hodnoty jsou shrnuty v tabulce níže, viz. obr. 11.

Toto je základní rozdělení cementů. Pokud je v cementu dominantněji zastoupena nějaká ze složek, například vysokopecní struska (S), křemičitý popílek (V) a vápenec (L), značení by vypadlo například takto:

CEM V/A (S-V) 32,5 N

Pevnostní třída	Pevnost v tlaku [MPa]			Počátek tuhnutí [min.]	Objemová stálost (rozepnutí) [mm]
	Počáteční pevnost		Normalizovaná pevnost		
	2 dny	7 dnů	28 dnů		
32,5 L	–	≥ 12,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75
32,5 N	–	≥ 16,0			
32,5 R	≥ 10,0	–			
42,5 L	–	≥ 16,0	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60
42,5 N	≥ 10,0	–			
42,5 R	≥ 20,0	–			
52,5 L	≥ 10,0	–	≥ 52,5	–	≥ 45
52,5 N	≥ 20,0	–			
52,5 R	≥ 30,0	–			

Obr. 11 – Požadavky na mechanické a fyzikální vlastnosti uvedené jako charakteristické hodnoty

I když je v praxi běžně používán cement R, není z hlediska vyššího vývinu hydratačního tepla zcela vhodný pro konstrukce bílých van, protože mohou při tuhnutí betonu vznikat větší smršťovací trhliny. To je řešeno dostatečným ošetřováním po dobu tuhnutí. Výrobce krystalizace udává, že krystalizační přísada snižuje vývin hydratačního tepla a tím prodlužuje dobu tuhnutí a prodlužuje zpracovatelnost. Tento jev se snažím ověřit v experimentální části této práce. [4]

Použití cementů v praxi

Během rozhovoru s výrobcem krystalizací a s vedoucími staveb jsem zjistil, že krystalizace nejlépe funguje s použitím portlandského cementu CEM I. Ten má sám o sobě určitou schopnost sám rekrystalizovat a v kombinaci s krystalizační přísadou tak konstrukci nejlépe utěsní. Běžně se ale používají cementy CEM II a i s těmi je dosahováno očekávaných výsledků.

Pro plnohodnotné ověření, že je krystalizace schopna izolovat konstrukci sama o sobě a vyloučení možnosti, že defekty vyplňuje pouze druhotná krystalizace portlandského cementu, jsem u některých experimentů použil cementy horší kvality (např. u experimentů na rekrystalizaci s Knauf BP1 – CEM III-IV). Je tak možné dokázat, že krystalizační přísada iniciuje druhotnou krystalizaci i u méně kvalitních cementů. V praxi jsem ale neměl možnost ověřit skutečnost, zda by byla spodní stavba stejně vodonepropustná jako v případě použití standardně používaných cementů, protože se tyto cementy na nosné konstrukce nepožívají.

Vhodné podmínky laboratorního ověření

I když existují normy (ČSN EN 12390) a předepsané postupy, jak vodonepropustný beton správně testovat, nikde není zahrnut vliv krystalizačních přísad. Z toho důvodu, jsem si musel postupným zkoumáním zjistit, jak nejlépe v laboratorních podmínkách pozorovat chování a funkčnost krystalizace. Vycházel jsem z experimentů v bakalářské práci, které jsem prováděl narychlo bez většího rozmyslu a v domácích podmínkách. Přesto byly výsledky příznivé. Z těchto poznatků jsem v této práci některé experimenty opakoval a již jsem se vyvaroval chyb,

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvážením vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

kterých jsem se dopustil v bakalářské práci. Zároveň jsem chtěl ověřit, že poznatky, které jsem získal z experimentů před dvěma lety, jsou opravdu platné. V této části chci shrnout výsledky a poznatky předchozích experimentů a za jakých podmínek a se kterými materiály, lze dosáhnout nejlepších výsledků, a kdy se dá chování krystalizace pozorovat co nejlépe v co nejkratším čase.

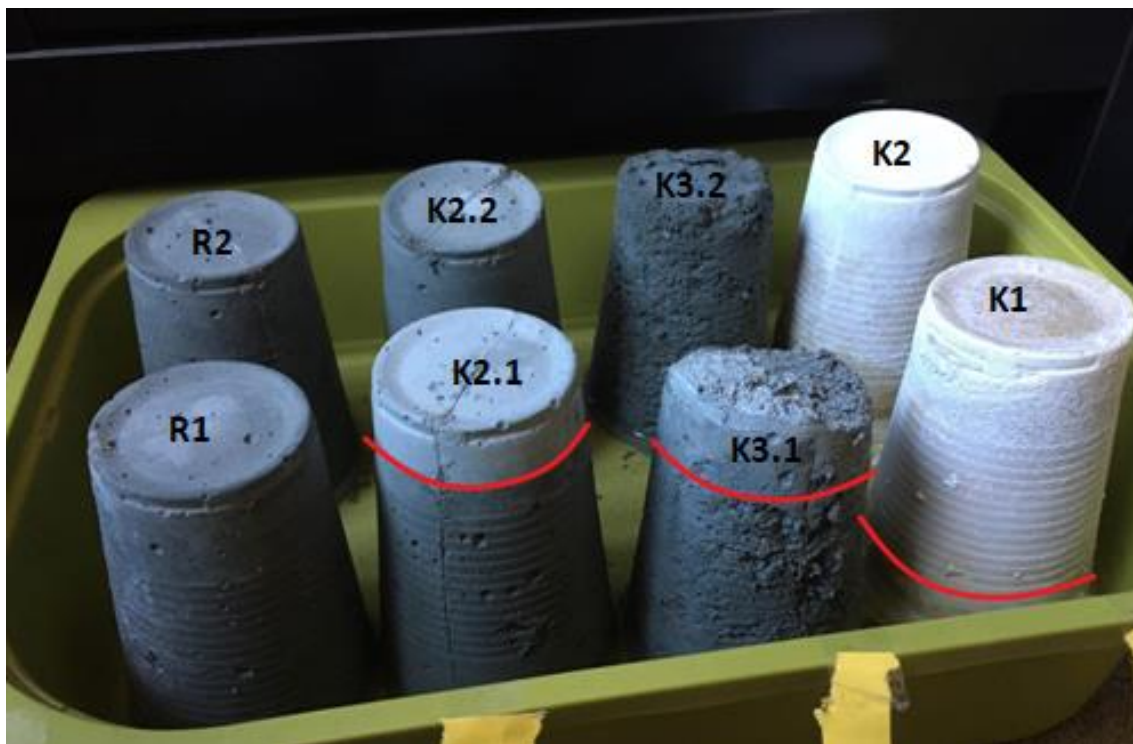
Dle normy ČSN EN 12390-1 je ošetřování vzorku definováno jako uložení ve vodě po dobu 28 dnů, nebo uložení v komoře se 100 % vlhkostí. Druhý způsob by se mohl zdát pro zkoušení krystalizace vhodný, podle mě ale stále dostatečně správně nereflektuje reálné podmínky. Proto jsem vzorky při všech experimentech ponořil do vody do jedné čtvrtiny až třetiny výšky vzorku. Dle mého názoru to nejvíce odpovídá podmínkám spodní stavby, kdy na konstrukci působí vlhkost z jedné strany. Vzniká tak možnost nechat krystalizaci zarůst póry a trhliny a vytvořit tak vodonepropustnou vrstvu (viz. obr. 1).

Tímto způsobem jsem v bakalářské práci zkoumal, zda krystalizace začne růst. V případě domácího experimentu byl výsledek nadprůměrný a krystaly rostly výrazně (viz. obr. 19). Materiál, který byl pro tyto vzorky použit byl cementový potěr Knauf BP1. Jak se ukázalo, tento materiál je velmi nasákavý a tak jsou reakce s krystalizací a vodou viditelné pouhým okem po několika dnech. Tím, že jsem všechny vzorky s různým množstvím přidané krystalizace ponořil do jedné nádoby s vodou, přenesla se krystalizace i do referenčních vzorků bez krystalizace. Tím jsem docílil i dalšího závěru. Krystalizace je schopná se transportovat vodním prostředím a dostávat se i do míst, kde je potřeba a není tam použita (např. složité detaily styků stropních desek a suterénních stěn). Výhody tohoto poznatku jsou podrobněji popsány v BP. Zároveň se nabídla otázka, zda ve vzorcích skutečně krystalizuje krystalizační přísada a ne pouze cement a zda by reakce nenastala i bez použití krystalizační přísady.

Výsledky dokončených experimentů z bakalářské práce

Vzorky vytvořené v bakalářské práci jsem se rozhodl použít pro ověření dalších vlastností krystalizace. V první řadě mě zajímala schopnost, do jaké míry je přísada schopná izolovat konstrukci před nasákavostí. Vzorky byly tři měsíce ponechány na suchu, aby zcela vyschly. Následně z nich byly seškrábány krystaly, aby měl vzorek původní tvar a dala se zároveň jednoduše pozorovat opětovná krystalizace.

Na přiložených obrázcích (obr. 13, obr.19) můžeme vidět vzorky při prvním ponoření do vody po 24 hodinách, a po přibližně šesti měsících při opakovaném pokusu opět po 24 hodinách ve vodě. Hranice vody, která vzlíná vzorkem, je výrazně nižší, v řádu několika centimetrů, což je u takto malého vzorku výrazný rozdíl.



Obr. 12 – vzorky z bakalářské práce po 24 hodinách ve vodě



Obr. 13 – očištěné vzorky po šesti měsících po 24 hodinách ve vodě

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvážením vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

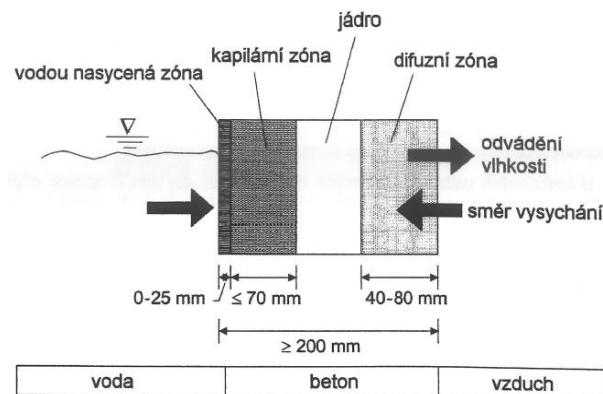
Dalším jevem, který se dal pozorovat, bylo, zda po opětovném kontaktu s vodou začnou krystaly opět růst, když byl vzorek ve vodě delší dobu a krystaly rostly výrazně. Dalo by se možná očekávat, že potenciál růstu byl již vyčerpán. Opak byl však pravdou, jelikož se už po 48 hodinách objevily na povrchu vzorků výrazné krystaly (obr. 14). Krystalizace je tedy schopna proces růstu opakovat. Tento postup byl poté opakován ještě jednou a opět bylo dosaženo stejného výsledku.



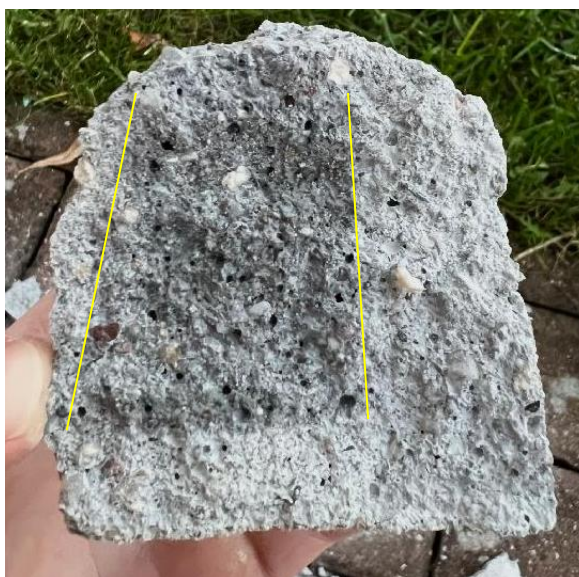
Obr. 14 – rekrystalizace na vzorcích po 48 hodinách

Tyto vzorky byly nakonec použity pro pozorování, kde ve vzorku vzniká hranice nasycené a suché části. Vzorky byly rozlomeny napůl a bylo zkoumáno, zda je skutečnost taková, jak popisuje obrázek z odborné literatury (obr.15).

Na obrázcích je jasně vidět středová tmavší kruhová část. Tudy voda stoupala vzorkem. Jedná se o nasycenou (kapilární) zónu, kde byly póry a trhliny nasyceny vodou a podmínky pro růst krystalizace nebyly ideální. V okolí mokrého válce prostupujícím vzorkem ale vidíme celistvější strukturu se zarostlými póry. To je jádrová oblast, kde jsou již podmínky pro samohojení betonu ideální. Vrstvy ve vzorku jsou podobné jako na obr. 15.



Obr. 15 – pracovní model podmínek vlhkosti v průřezu betonového prvku jednostranně vystaveného tlakové vodě – vodonepropustný beton C30/37, $v/c \leq 0,55$ [5]



Obr. 16 – rozlomený vzorek původně bez krystalizace

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvážením vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník



Obr. 17 – rozlomený vzorek s 2 kg/m^3 krystalizace



Obr. 18 – rozlomený vzorek s 3 kg/m^3 krystalizace

Opakovaný experiment účinnosti krystalizace – cementový potěr

Z výše uvedených důvodů jsem se rozhodl pokus zopakovat i v rámci této práce, ale s důrazem na vlivy, které vyloučí zmiňované pochybnosti. Při míchání jsem pečlivě dodržoval míchací postupy a vymýval všechny nádoby i míchací pomůcky, aby nedošlo ke kontaktu referenčních vzorků s krystalizací. Po vybetonování a odbednění, jsem nechal vzorky volně vyschnout na vzduchu při pokojové teplotě. Následně byly ponořeny do vody do oddělených nádob vzorky bez krystalizace a s krystalizací, abych předešel transportu krystalizace vodou.



Obr. 19 – vzorky v bakalářské práci po třech měsících ve vodě

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvažováním vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník



Obr. 20 – aktuální nové vzorky po odbednění a vyschnutí

Výsledky experimentů potvrdily mé předpoklady. Ani po pěti dnech se na referenčních vzorcích neukázal žádný náznak růstu krystalů (obr. 21). Zatímco na vzorcích s krystalizací byly krystaly na některých vzorcích viditelné už po 24 hodinách. Můžeme tedy říct, že krystaly začínají růst velmi brzy po prvotním kontaktu s vodou. Jeden ze vzorků (vzorek č. 11) byl vybetonován nižší a byl zcela nasáknut vodou, jelikož voda vystoupala po celé jeho výšce. Ani jeho hmotnost se během vážení neměnila (obr. 23). Na něm jako na jediném se neobjevily žádné krystaly, i když byl ve vodě po dobu celých pěti dnů. Opět se zde ukazuje, že krystalizační přísady nelze zkoumat při plném ponoření ve vodě, protože tento způsob správně nereflektuje reálné podmínky v konstrukci.



Obr. 21 – vzorky bez krystalizace po x dnech ve vodě



Obr. 22 – vzorky s krystalizací postupně vyjmuté z vody

Experiment – začátek funkčnosti krystalizace

V rámci tohoto pokusu jsem se rozhodl zároveň provést i druhý experiment. Vzorků s krystalizací jsem vytvořil více a provedl jsem na nich pozorování, kdy začne krystalizace růst. Všechny 10 vzorků jsem najednou ponořil do vody, a každých 24 hodin dva vyjmul z vody. Pozoroval jsem, kdy se na vzorcích objeví první krystaly. Od doby viditelnosti prvních krystalů, se dá předpokládat začátek funkčnosti krystalizační přísady.

Vzorky byly po odbednění během vysychání průběžně váženy a když se hmotnost všech vzorků ustálila, byly najednou ponořeny do vody o výšce 4,5 cm a každých 24 hodin zvaženy.

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvážením vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

Referenční vzorky bez krystalizace zůstaly ponořeny ve vodě po celou dobu experimentu. Po pěti dnech, kdy již byly všechny vzorky vyndány, se vzorky nechaly vyschnout tak dlouho, abychom se dostali minimálně na původní hodnotu. Poté byly všechny vzorky opět najednou ponořeny do vody o výšce hladiny 4,5 cm. Po 24 hodinách byly všechny vzorky najednou zváženy a porovnány hmotnosti při prvním ponoření po stejném čase. Výsledky jsou přehledně zobrazeny v tabulce (obr. 23). U referenčních vzorků jsou hodnoty podobné, což se očekávalo, protože použitý cement má jen minimální schopnost samohojení. U vzorků s krystalizací jsou hmotnosti nižší se stoupající dobou, kdy byly vzorky ponořeny ve vodě a měly tak možnost delšího hojení. Vzorky číslo 9 a 10 jsou horší kvality a jejich struktura je méně celistvá, proto jsou zde výsledky o trochu horší. To potvrzuje nutnost kvalitní betonáže a její stěžejní vliv na vodonepropustnost konstrukce. Na obr. 25 můžeme vidět dvě linie vyrostlých krystalů. To je způsobeno tím, že během prvního cyklu se hmota utěsnila a při druhém cyklu tak voda vystoupala o něco níž a vytvořila druhou linii krystalů.

Označení vzorku	suché vzorky [g]	1.cykus										2.cykus		
		po 24 hod	rozdíl po 24 hod	po 48 hod	rozdíl po 48 hod	po 72 hod	rozdíl po 72 hod	po 96 hod	rozdíl po 96 hod	po 120 hod	rozdíl po 120 hod	po 24 hod	rozdíl po 24 hod	Rozdíl mezi cykly [g]
R1	1238	1271	33	1273	35	1277	39	1277	39	1277	39	1276	38	5
R2	1259	1291	32	1291	32	1291	32	1294	35	1294	35	1292	33	1
K1	1290	1323	33	-	-	-	-	-	-	-	-	1322	32	-1
K2	1224	1252	28	-	-	-	-	-	-	-	-	1251	27	-1
K3	1290	1311	21	1315	25	-	-	-	-	-	-	1309	19	-2
K4	1320	1354	34	1357	37	-	-	-	-	-	-	1350	30	-4
K5	1250	1270	20	1276	26	1274	24	-	-	-	-	1270	20	0
K6	1280	1305	25	1309	29	1307	27	-	-	-	-	1300	20	-5
K7	1225	1249	24	1252	27	1251	26	1251	26	-	-	1244	19	-5
K8	1263	1282	19	1285	22	1284	21	1284	21	-	-	1276	13	-6
K9	1247	1282	35	1287	40	1288	41	1289	42	1289	42	1280	33	-2
K10	1269	1303	34	1309	40	1310	41	1313	44	1313	44	1299	30	-4
K11	939	975	36	975	36	976	37	977	38	977	38	975	36	0

Obr. 23 – tabulka s výsledky experimentu – počátek funkčnosti krystalizace



Obr. 24 – vzorky po druhém cyklu po 24 hodinách



Obr. 25 – suché vzorky po druhém cyklu

Opakovaný experiment účinnosti krystalizace – beton C25/30

Použití materiálu Knauf BP1 se ukázalo pro tento druh experimentu velmi vhodné. Materiál je velmi nasávkavý a růst krystalizace je viditelný pouhým okem po několika dnech. Stejný pokus jsem provedl s betonem, který jsem vybetonoval do transportních forem 7x7x7 cm přímo na stavbě. Jednalo se o beton C25/30 – XC1 z betonáren Cemex Poděbrady. Byly odlity 3 vzorky betonu bez krystalizace (R1-R3) a 3 vzorky betonu s krystalizací v množství 3 kg/m³(K1-K3). Tento klasický a běžně používaný beton je oproti cementovému potěru mnohem méně nasávkavý, a tak na vzorcích s krystalizací nebyly ani po třech měsících viditelné žádné výrazné krystaly. Nedochovalo zde k tak výrazné reakci s vodou. Po vytažení z vody a vyschnutí, byly ale na vzorcích „K“ viditelné zarostlé malé trhlinky (viz. obr. 29). Pravděpodobně se jedná o zarostlé smršťovací trhliny, které ale nejsou vidět pouhým okem. Tato domněnka byla dále zkoumána a výsledky jsou uvedeny v další kapitole mikroskopie. Důležitým poznatkem byl rozdíl mezi vzorky.

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvažáním vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník



Obr. 26 – vybetonované vzorky ve formách



Obr. 27 – vzorky po odbednění



Obr. 28 – vzorky po třech měsících ve vodě



Obr. 29 – detail vzorku s krystalizací (K)



Obr. 30 – detail vzorku bez krystalizace (R)

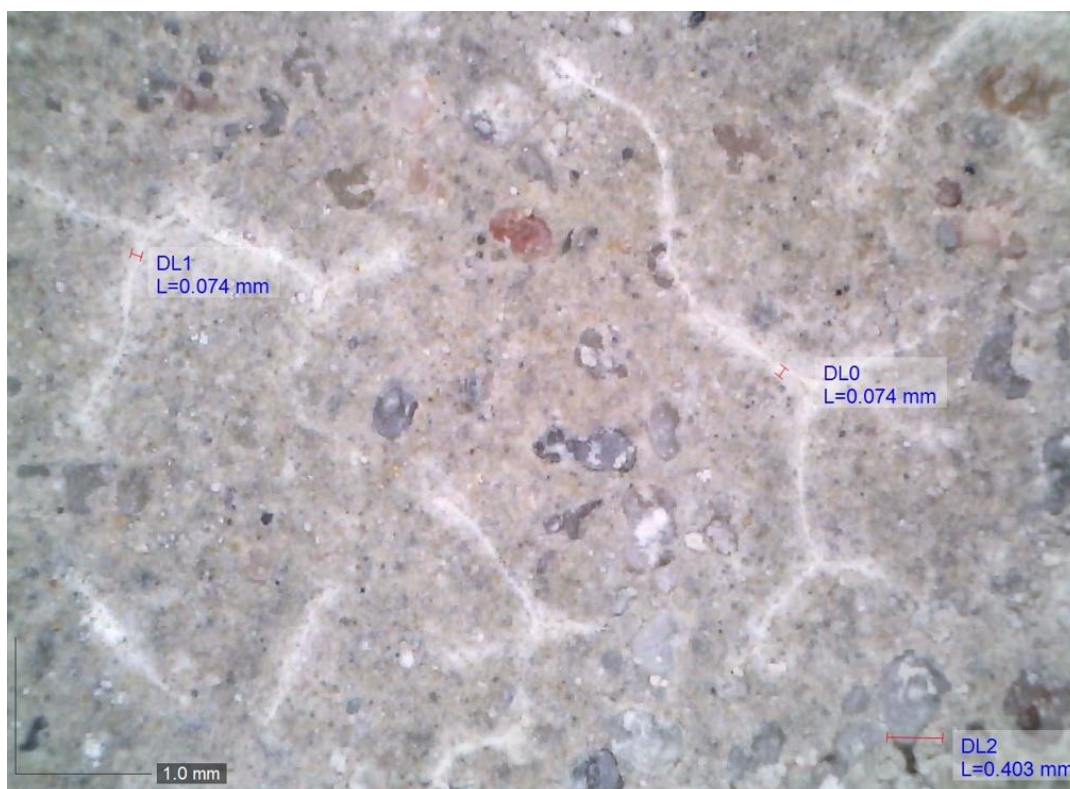
Nadměrný růst krystalů jako v případě cementového potěru Knauf BP1 je ale v praxi žádoucí. Není vhodné, aby nám na exteriérových nebo suterénních konstrukcích prorůstaly krystaly a kazily tak estetickou stránku konstrukce, nebo poničily například omítky a fasády. Konstrukce by měla být vodotěsná bez viditelných známek na exteriéru. Z těchto poznatků vyplývá, že pro testování krystalizace je nutné zvolit správný materiál. Pro test na tlakovou vodu nezvolíme cementový potěr, kdy je vzorek celý saturován po několika dnech. Na druhou stranu pro test na funkčnost krystalizace zase nezvolíme klasický beton, který je méně nasákavý a růst krystalů probíhá pouze uvnitř pórů a lze jej pozorovat pouze mikroskopem.

Mikroskopie

Abych zjistil, jak vypadá struktura vzorků betonovaných na stavbě z betonu C25/30 (K1-K3 a R1-R3), zkoumal jsem vzorky pod mikroskopem s padesátinásobným zvětšením. Pozorovány byly dva jevy. Jak se liší zarůstání pórů, a jak vypadá celková struktura, zejména pak drobné trhliny. Póry byly ve všech vzorcích vyplněny zhruba stejně. Zde poté záleží na tom, jak jsou výplně pórů kvalitní a odolné proti vodě. To bylo ověřeno v experimentální části této práce zkouškou tlakovou vodou. Rozdílné ale bylo zarůstání trhlín. Zatímco ve vzorcích R byly trhliny zarostlé v krátkých úsecích, ve vzorcích K byly výplně trhlín delší a širší.



Obr. 31 – detail vzorku pod mikroskopem s krystalizací (K)

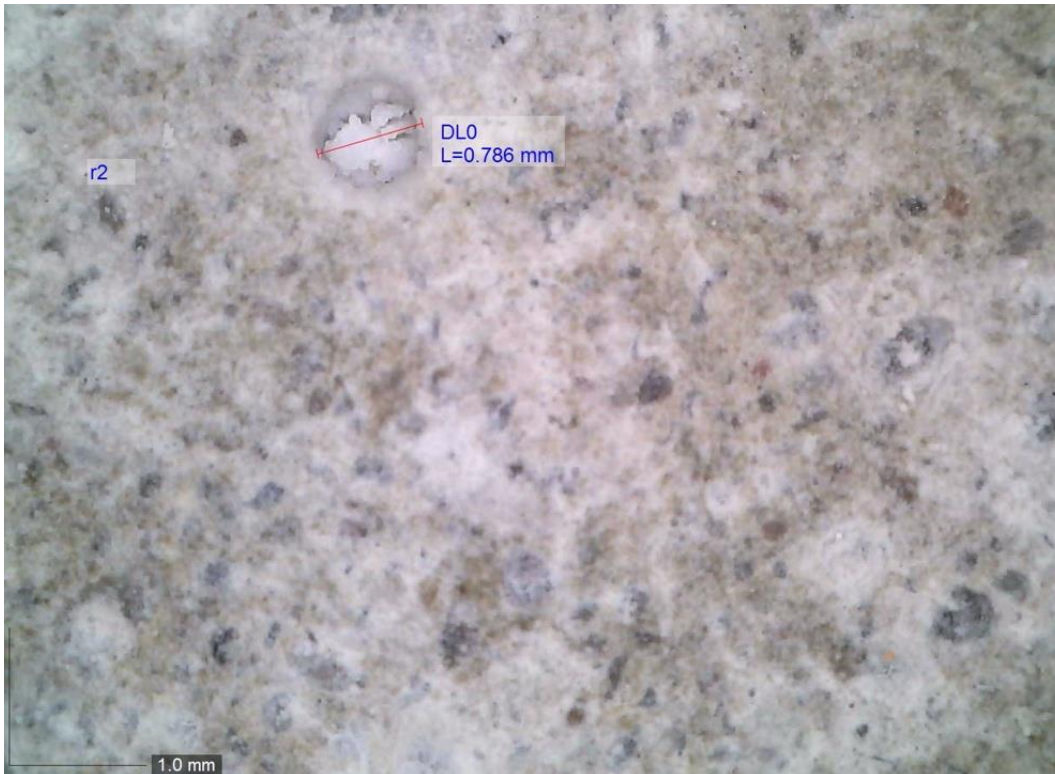


Obr. 32 – detail vzorku pod mikroskopem s krystalizací (K)

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvažáním vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník



Obr. 33 – detail vzorku pod mikroskopem bez krystalizace (R)



Obr. 34 – detail vzorku pod mikroskopem bez krystalizace (R)

V této fázi vždy vyvstává otázka, jestli se jedná skutečně o funkčnost krystalizace, nebo pouze o cementový výluh a schopnost cementu do určité míry rekrystalizovat. Zjištění není jednoduché, protože krystalizace iniciuje druhotnou krystalizaci cementu, ona sama krystaly netvoří. Proto by v chemických rozborech vždy vyšlo, že se jedná o cement. Důležitá je tedy výsledná funkčnost a odolnost vůči vnějším vlivům. To lze ověřit jinými typy zkoušek.

Vstupní podmínky experimentů

Mnoho odpůrců krystalizace argumentuje, že lepších výsledků vodonepropustnosti lze dosáhnout použitím lepšího betonu s větším množstvím cementu než použitím horšího betonu s krystalizací. Zde se dle mého dostáváme na tenkou hranici toho, zda se jedná o srovnatelné vstupní podmínky experimentu. Pokud testujeme krystalizační přísadu, měli bychom její funkčnost přeci testovat na stejném betonu a zjišťovat, jestli se vodonepropustnost zlepší. Pokud použijeme lepší beton s větším množstvím cementu, je skutečně možné, že výsledky budou lepší u vzorku bez krystalizace, protože rozměry normových laboratorních vzorků a dokonalé laboratorní podmínky téměř eliminují smrštění a nevznikají tak smršťovací trhliny.

Smršťovací trhliny jsou jednou z největších slabin bílých van. Je obecně známo, že větší množství cementu v betonu zvyšuje množství hydratačního tepla, a proto častěji vznikají smršťovací trhliny. To je důvod, proč na bílé vany nelze používat vysokohodnotný beton, který obsahuje velký podíl cementu. Tak velké množství cementu by způsobilo velký vývin hydratačního tepla, kvůli kterému by vznikly velké smršťovací trhliny. Tak velké chlazení, kterým bychom toto eliminovali, je ekonomicky absolutně nesmyslné. A protože reálné smrštění na velkých konstrukcích nelze laboratorně zkoumat, je velice odvážné tvrdit, že je vhodnější na konstrukci bílé vany použít raději beton s větším množstvím cementu a menším množstvím pórů, ale možná s větším množstvím smršťovacích trhlín než beton nižší třídy, ale s použitím krystalizace, která dává konstrukci možnost dotěsnit se v průběhu krátkého časového horizontu.

Závěr rešeršní části

Může být zvláštní, že jsem výsledky mnou realizovaných experimentů zahrnul do rešeršní části. Vzhledem k tomu, že jsem prováděné experimenty už jednou realizoval a pouze docházelo k ověření účinnosti a správnosti postupu, mohlo by se jednat o jakýsi námět na vytvoření koncepce zkoušení krystalizačních přísad. Mnou použité metody a postupy mají jasné výsledky a pokoušejí se co nejvěrohodněji simulovat reálné podmínky na stavbě. Proto si myslím, že by se z těchto poznatků získaných během posledních několika let daly čerpat cenné informace pro výzkum vlastností krystalizačních přísad.

Experiment pro ověření začátku funkčnosti krystalizace vycházel z poznatku, že při použití určitých typů materiálů můžeme pozorovat funkčnost krystalizace lépe a již v rané fázi. Poznatek o lepším pozorování na nasákových materiálech vychází z mého dřívějšího výzkumu, a proto byl do této části tento experiment také zařazen.

Praktická část – experimentální část

Vývin hydratačního tepla

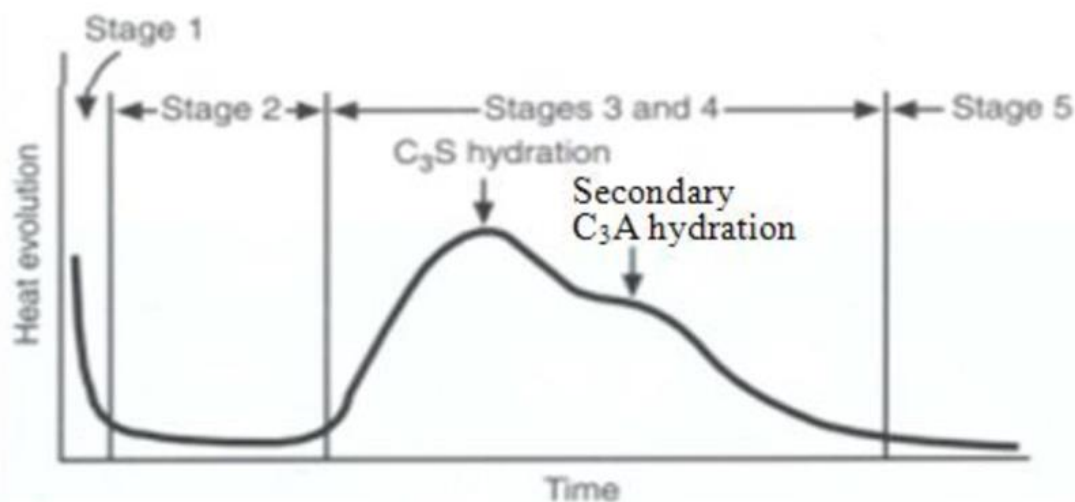
Vývin hydratačního tepla cementu

V této práci jsem se rozhodl zrealizovat dva experimenty. Jedním z nich je určení množství hydratačního tepla, respektive maximální teplota, dosažená při hydrataci.

Při kontaktu cementu s vodou dochází k exotermické reakci, při níž se uvolňuje hydratační teplo. To je produktem této reakce a jeho množství může výrazně ovlivnit finální kvalitu a funkčnost betonu.

Vývin hydratačního tepla cementu má několik fází. Jejich názvy, časy, ve kterých nastávají a rozdělení se v zahraniční literatuře často liší. Níže uvádím nejběžnější rozdělení. Předpokládané maximální dosažené teploty jsou znázorněny na grafu níže.

- Initial reaction (počáteční reakce)
- Induction period (indukční fáze)
- Acceleratory period (urychlovací fáze)
- Deceleratory period (zpomalující fáze)
- Period of slow continued reaction (fáze pomalu pokračující reakce)



Obr. 35 – křivka vývinu hydratačního tepla

Měření vývinu hydratačního tepla probíhá v laboratoři za pomoci kalorimetru. Kalorimetr je přístroj, který měří využitě teplo potřebné pro proběhnutí reakce. Nejčastěji rozlišujeme dva druhy. Kalorimetr adiabatický a izotermní. Adiabatický kalorimetr měří teplotní změnu obsahu vzorku a izometrický kalorimetr drží při experimentu stále stejnou teplotu a vzniklé teplo je odvedeno a spotřebováno na fázovou přeměnu čisté látky. [6]

Popis experimentu

Já jsem se v tomto experimentu zaměřil na ověření tvrzení, že krystalizační přísada snižuje hodnotu hydratačního tepla, respektive maximální teplotu dosaženou při hydrataci. Nepoužil jsem ale již zmíněnou kalorimetrickou metodu, ale teploty během hydratace jsem odečítal pomocí teploměru se záznamem teplot. Vzorek jsem umístil do izolovaného prostředí. Použil jsem k tomu dva kusy extrudovaného polystyrenu. Do jednoho z nich jsem vyhloubil díru, do které jsem vložil nádobku se vzorkem. Když jsem vzorek smíchal s vodou, vložil jsem do směsi sondu teploměru a spustil měření. Vzorek jsem překryl potravinářskou fólií a druhým kusem polystyrenu a zatížil, aby byl vzorek co nejvíce izolován od vnějšího prostředí (obr. 36). Měření probíhalo v místnosti se stálou pokojovou teplotou. I když tento způsob měření není tak přesný jako kalorimetrie, protože není dokonale izolován a stále dochází k únikům tepla do okolního prostředí, pro mé účely se ukázal jako dostačující a méně časově a finančně náročný. Zásadní pro mě byl rozdíl výsledků pro vzorek cementu s krystalizací a samotného cementu při stejných podmínkách měření.



Obr. 36 – měřící soustava s teploměrem se sondou se záznamem teplot

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvažáním vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník



Obr. 37 – měřící soustava s teploměrem se sondou se záznamem teplot

Měření probíhalo na třech směsích. Samotná krystalizační přísada (směs K), čistý portlandský cement CEM I 42,5R (směs C) a směs portlandského cementu CEM I 42,5R s krystalizací H-Krystal MR v množství v poměru 3 kg/m³ (směs CK). Množství vody bylo zvoleno tak, aby se vodní součinitel rovnal hodnotě 0,5 pro lepší zpracovatelnost při míchání a jistotě úplné hydratace všech cementových zrn. Pro vzorek K se pro výpočet vodního součinitele počítalo místo cementu s krystalizací.

Směs	Cement [g]	H-Krystal MR [g]	Voda [g]	Vodní součinitel - w
C	300	0	150	0,5
CK	300	9	150	0,5
K	0	300	150	0,5

Obr. 38 – složení záměsí pro experiment vývinu hydratačního tepla

Výsledky experimentu

Výsledky experimentu přinesly několik zajímavých závěrů. Samotná krystalizační přísada dosahuje v počátku hydratace mnohem vyšších teplot než ostatní dvě receptury. To vysvětluje, proč při prvotním kontaktu s vodou krystalizace někdy „odstřeluje“. Je to dáno prudkými nárůsty teplot. Zároveň samotná krystalizace charakterově vytváří úplně jinou křivku než cement. Můžeme proto téměř s jistotou vyloučit prohlášení některých odpůrců, že krystalizační přísada je složena pouze z kvalitního cementu. Měření této záměsi bylo zastaveno dříve než u dalších dvou záměsí, protože došlo k ustálení teploty a další měření by tak již bylo zbytečné.

Záměs samotného portlandského cementu zhruba odpovídá křivkám popsaným v odborné literatuře (obr. 35). Počáteční fáze není zachycena nejspíše vlivem nedokonalé těsnosti měřicí soustavy v prvotní fázi měření. Nejdůležitějším poznatkem z experimentu je skutečnost, že přidání krystalizační přísady v poměru množství 3 kg/m³ poměrně výrazně ovlivnilo křivku vývinu hydratačního tepla.

Teplotu v počáteční reakci hydratace snížila přibližně o 5 °C a růst teplot nebyl tak strmý jako v případě čistého cementu. Maximální teplota měla hodnotu přibližně o 3 °C nižší a bylo jí dosaženo o 2,5 hodiny později. Teplota receptury s krystalizací po dosažení maximální teploty klesala o něco rychleji než teplota záměsi čistého cementu. Z grafu tak můžeme vyčíst, že krystalizační přísada nejen že snižuje maximální teplotu hydratace, ale také prodlužuje dobu zpracovatelnosti, protože maximálních teplot je dosaženo později. Toto tvrzení by se muselo ještě ověřit samostatnou zkouškou Vicatovým přístrojem, ale počátek tuhnutí s dosažením maximálních teplot souvisí. Další závěr, který můžeme z experimentu vyvodit je, že při dosažení nižších hydratačních teplot bude menší tendence vzniku trhlin, což je pro konstrukci bílé vany žádoucí.

Receptura	Maximální hydratační teplota [°C]	Doba dosažení max. hydratační teploty [hod:min]
K	34,32	1:39
C	48,28	17:06
CK	45,82	19:45

Obr. 39 – hodnoty maximálních hydratačních teplot s časy dosáhnutí

Vliv výsledků experimentu na návrh konstrukce bílé vany

Výsledky experimentu se ukázali nad očekávání zajímavé. Přítomnost krystalizační přísady v záměsi má vliv na prodloužení zpracovatelnosti a účinně snižuje maximální hydratační teplotu. To bylo dokázáno také v práci [7] o betonech pro vodonepropustné konstrukce. V tomto případě ale byla použita přísada jiného výrobce v jiném dávkování, proto výsledky výzkumu nemůžeme stoprocentně porovnat.

Mým záměrem bylo, porovnat hydratační teplotu pro uvedenou záměs CK s hydratačními teplotami cementů s nižším vývinem tepla. Bohužel v EN 196-8 jsou uváděny pouze hodnoty hydratačního tepla získané kalorimetrickým měřením v J*g⁻¹. Tyto jednotky nejdou porovnávat s maximálními hydratačními teplotami a přepočítání na hydratační teplo není nikde definováno. Navíc by hodnoty vlivem měření v nedokonalé izolovaném prostředí, jakým je naproti tomu kalorimetr, byly velmi rozdílné.

Proto jsem se nakonec rozhodl hodnoty porovnat s obdobnými experimenty v jiných pracích. Výchozím zdrojem, ze kterého jsem vycházel, byla práce „Adiabatic temperature rise of

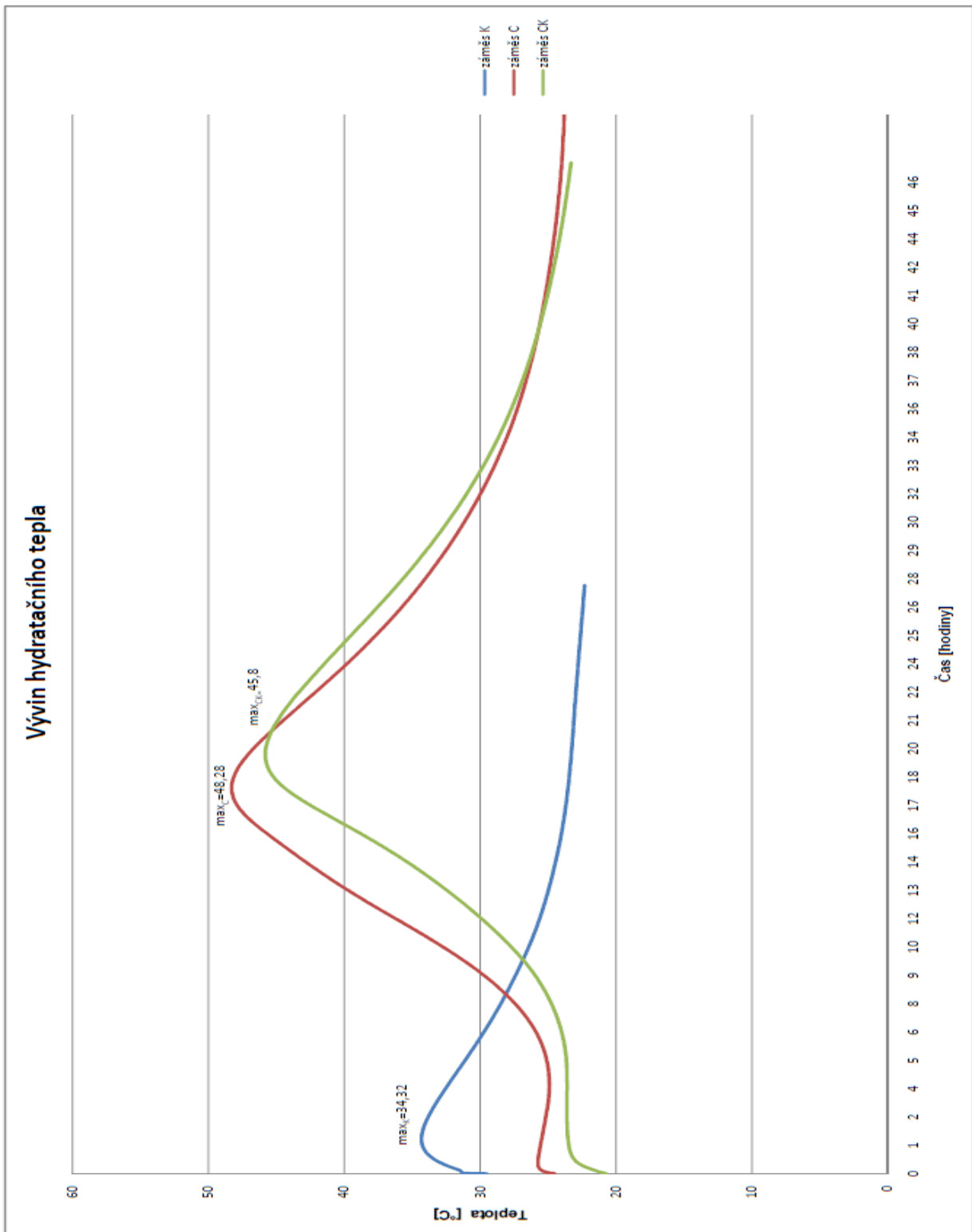
concrete with limestone fines added as a filler“ [8]. Autoři zde přidávají jemně mletý vápenec do betonu o různém vodním součiniteli a zkoumají jeho vliv na maximální hydratační teplotu a výslednou pevnost. Rozdíly mezi záměsmi o různých vodních součinitelích jsou značné. Při přimíchání 4 % plniva na množství cementu do betonu o stejném vodním součiniteli jako v této práci ($w=0,5$), se teplota snížila o 2,6 °C. V této práci se snížila o 2,5 °C při použití 3 % krystalizační přísady na množství cementu. Můžeme tak říct, že vliv krystalizační přísady je v tomto množství podobný jako jemně mletý vápenec. Experiment byl proveden obdobným způsobem jako v této práci.

Další zdroj, ze kterého je možné vyjít, je práce „Studium vývoje hydratačních teplot a redukce objemových změn v betonech“ [9]. V té autoři zkoumají vliv různých přísad na maximální hydratační teploty a smršťování. V tomto případě byl k cementu CEM I 42,5 R (stejný jako v této práci) přidán jemně mletý vápenec v množství 17 % z celkové hmotnosti pasty. Maximální hydratační teplota se snížila o 13 °C oproti cementu bez přísady. Tento údaj ovšem nemůžeme plně porovnat s předloženými výsledky, protože vápenec byl použit ve větším množství a při polovičním vodním součiniteli ($w=0,26$). To, že má vodní součinitel na měření vliv, je ukázáno v práci [10].

Mletý vápenec se do betonu přidává právě pro snížení maximální hydratační teploty a snaze eliminovat trhliny v prvotní fázi tuhnutí betonu. Cementy obsahující vápenec se označují třídou L (pro vápenec s obsahem organického uhlíku $\leq 0,5$ % hmotnosti) nebo LL (pro vápenec s obsahem organického uhlíku $\leq 0,2$ % hmotnosti). Pro tyto cementy je ve výpočtu pro „Omezení trhlin od vynucených přetvoření dle ČSN EN 1992-1-1“ uveden koeficient $s=0,38$. Pro cementy třídy R je uveden koeficient $s=0,2$. [11]

Autor si je plně vědom toho, že pro přesnou úpravu tohoto koeficientu by byly potřeba další experimenty např. kalorimetrickým měřením, a to pro různé vodní součinitele a pro různé množství přísady. Proto koeficient cementu R s krystalizací neupravíme na hodnotu cementu L, ale pouze na hodnotu cementu N. Koeficient pro cement N je $s=0,25$. Tím redukuje jistou nejistotu experimentu a jeho možný nedostatečný rozsah.

Cement R s 3 % krystalizace z hmotnosti cementu – $s=0,25$



Obr. 39 – graf vývinu hydratačního tepla jednotlivých záměsí

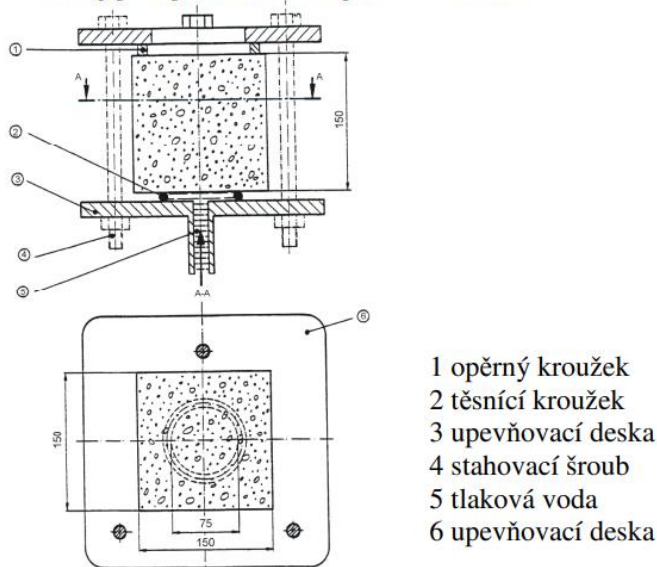
Zkouška tlakovou vodou

Popis experimentu

Zkouška ztvrdlého betonu tlakovou vodou se provádí podle normy ČSN EN 12390-8 Hloubka průsaku tlakovou vodou. Zkouška se provádí na vodotlačné stolici. Během této zkoušky na zkušební krychle o délce hrany 150 mm působí zesponu voda o vodním tlaku 500 ± 50 kPa po dobu 72 ± 2 hodiny. Vnitřní průměr těsnění, kterým je vzorek zatěžován vodou, má průměr 90-100 mm. Vzorky se poté rozlomí v polovině kolmo na povrch, na který působil vodní tlak a změří se nejhlubší průsak. [12]

Výpočet a vyjádření výsledků

Výsledek zkoušky je největší hloubka průsaku v mm.



Obrázek převzat z:
ČSN EN 12390-8. Zkoušení
ztvrdlého betonu – Část 8:
Hloubka průsaku tlakovou
vodou. Praha: ČNI, 2009.

Obr. 40 – schéma vodotlačné stolice

V tomto případě byly použity vzorky popsané v kapitole „Opakovaný experiment účinnosti krystalizace – beton C25/30“. Jelikož vzorky byly vybetonované přímo na stavbě do transportních forem, měly krychle hranu pouhých 7 cm. Nejedná se o normovou zkoušku. Pro naše potřeby, kdy zjišťujeme rozdíly mezi betonem s krystalizací a bez krystalizace na tomto rozdílu ale nezáleží. Bylo proto použito těsnění o vnitřním průměru 50 mm, aby voda neprosakovala okraji vzorku a byly našroubovány nástavce, aby bylo vzorky možné dostatečně utáhnout.

Během tohoto druhu zkoušky je běžné velké rozmezí naměřených hodnot. To je způsobeno nehomogenitou betonu, která je pro něj typická a extrémně velkého působení tlaku vody na malé ploše. Podle některých zdrojů může být opakovatelnost této zkoušky 73 %. [21]



Obr. 41 – vzorky upevněné do vodotlačné stolice – začátek experimentu

Výsledky experimentu

Vzorky byly vyndány po 71 hodinách a rozlomeny. Kromě velikosti krychlí tak byly dodrženy všechny normové postupy. Po rozlomení se nechaly krychle chvíli oschnout, dokud nebyla vidět ostrá hranice průsaku. Ta byla následně zvýrazněna fixou. Výsledky jsou uvedeny v tabulce a zobrazeny v grafu. V tabulce jsou uvedeny i síly potřebné k rozlomení krychlí. Tento údaj je ale pro tento experiment nepotřebný a je zde uveden pouze pro zajímavost.

Z výsledků je zřejmé, že žádná z hodnot vzorků K není větší než hodnoty průsaků vzorků R. I když jsou v některých případech rozdíly minimální, projevuje se zde vliv krystalizace. Průměrné hodnoty obou druhů vzorků se pak liší o 6 mm.

Jak bylo uvedeno v mé bakalářské práci, ukazuje se, že zkouška tlakovou vodou pro zjištění vodonepropustnosti betonu není zcela vhodná. Zkouška probíhá na velmi malém povrchu a defekty, které se mohou objevit zrovna ve zkoušeném místě, tak můžou výrazně ovlivnit výsledky. Výsledky zkoušky tak nemusí být plně odpovídající reálné kvalitě betonu. V praxi také vodní tlak většinou nepůsobí tak koncentrovaně, ale je rozložen po větší ploše. Nejvíce ovlivňujícím faktorem je ale absence smršťovacích trhlin na takto malých laboratorních

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvažáním vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

vzorcích. Tento jev krystalizačním přísadám škodí nejvíce, protože jejich schopnost zarůstat trhliny se ve výzkumech ukazuje jako jejich velká přednost. [13]



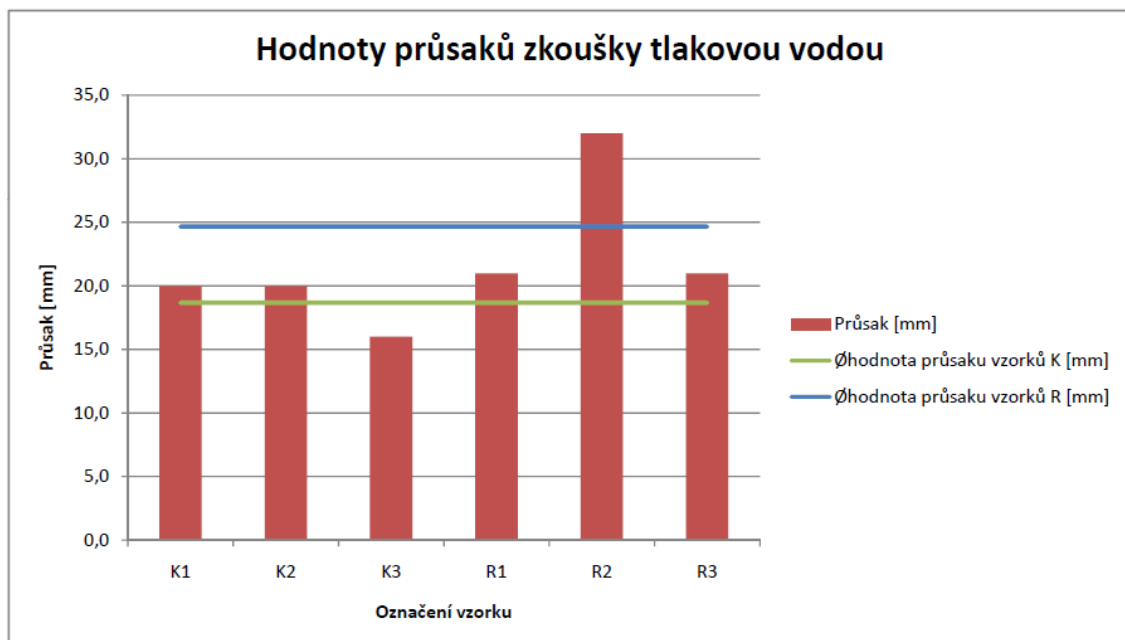
Obr. 42 – výsledný průsak vzorku K3



Obr. 43 – výsledný průsak vzorku R2

	F [kN]	Průsak [mm]	Průměrná hodnota průsaku jednotlivých záměsí [mm]
K1	21,0	20,0	18,667
K2	24,5	20,0	
K3	24,5	16,0	
R1	22,0	21,0	24,667
R2	28,5	32,0	
R3	21,5	21,0	

Obr. 44 – tabulka průsaku jednotlivých vzorků s průměrnými hodnotami a síly potřebné k rozlomení vzorků



Obr. 45 – graf průsaku jednotlivých vzorků s průměrnými hodnotami

Vliv výsledků experimentu na návrh konstrukce bílé vany

V této části bych chtěl vyhodnotit všechny experimenty, které jsem provedl a které se týkaly průsaků, nasákavosti a růstu krystalizace. Výsledkem tohoto vyhodnocení je materiálový součinitel, kterým lze redukovat minimální tloušťku konstrukce určené podle směrnice ČBS 02 „Vodonepropustné betonové konstrukce – bílé vany“.

Vezmeme-li v úvahu výsledky experimentu na průsak tlakovou vodou, průměrná hodnota vzorku s krystalizací je přibližně o 25 % menší než hodnota vzorku bez krystalizace. Zmenšovat tloušťky konstrukcí o čtvrtinu by bylo poměrně odvážné a pro toto tvrzení by bylo potřeba zajisté více vzorků. Pro stanovení součinitele budeme proto uvažovat s výsledky experimentů

pro pozorování vztlínivosti v rešeršní části práce. V potaz byly vzaty také zkušenosti s navrhováním vodonepropustných konstrukcí z praxe.

I když zkouška na tlakovou vodu není zcela vhodná, její výsledky nemůžeme zanedbat. Pokud přihlídneme k výsledkům nasákavosti, kdy hladina vzlínala do poloviční výšky oproti prvotnímu ponoření, možná bychom mohli účinek krystalizace uvážit ještě více, než zmiňovaných 25 %. Uvědomíme-li si ale, že volbu tloušťky konstrukce v často proměnných a nepředvídatelných podmínkách je nutné provádět velmi citlivě, je vhodné tuto hodnotu rozumně snížit. Výsledný materiálový součinitel proto volím **0,85** minimální tloušťky konstrukce dle ČBS 02.

Tloušťka stěny s krystalizací $\gamma_{tl.} = 0,85$ * tloušťka dimenze dle TP ČBS 02

Závěr experimentální části

Stanovení materiálových součinitelů v této práci nemá za cíl poskytovat univerzální návod pro návrh vodonepropustných betonových konstrukcí. Autor si uvědomuje, že pro stanovení takto důležitých bodů návrhu by bylo potřeba provést více experimentů, třeba i na vzorcích reálných rozměrů. Tento postup má sloužit jen jako jakýsi námět, jakým způsobem by mohlo být možné zavést vliv krystalizačních přísad do návrhu bílých van a nemuselo by se spoléhat pouze na zkušenosti projektantů.

Návrh bílých van je téma, které vyžaduje mnoho let praxe a zkušeností, protože okolní podmínky jsou často proměnné a nestálé a je nutné v návrhu uvážit všechna rizika. Proto není možné se stoprocentně spoléhat na normy a směrnice, protože ty nemohou nikdy obsáhnout všechny reálné případy. Stejně tak zavedení těchto materiálových součinitelů by mělo být pouze informativní a doporučené, protože za návrh a funkčnost konstrukce vždy spoléhá statik.

Praktická část– optimalizace návrhu konstrukce bílé vany

Popis objektu

Administrativní budova Red Court, kterou jsem zvolil pro optimalizaci návrhu pomocí zjištěných poznatků uvedených v předchozích částech práce, se nachází v Praze mezi ulicemi Voctářova, U Rustonky a Švábky. Jedná se o rychle se rozvíjející oblast s mnoha vícepodlažními budovami. Charakteristickým znakem této oblasti je poměrně vysoká hladina chemicky agresivní podzemní vody. Zmíněný objekt má tři podzemní podlaží a devět nadzemních podlaží. Nadzemní část má půdorysné rozměry 33,15x33,15 m a podzemní část je rozšířená na rozměry 43,6x38,375 m. Horní hrana základové desky je založena v úrovni -10,100 m a nejvyšší bod nosné konstrukce se nachází ve výšce 35,010 m. Konstruktivní výška 3. PP je 3,1 m, 2. PP je 3,05 m, 1. PP je 3,35 m, 1.NP je 4,5 m a ostatní podlaží (2.NP-9.NP) mají konstruktivní výšku 3,8 m. V podzemním podlaží jsou situovány garáže a technické zázemí objektu. V nadzemních podlažích se nachází komerční a administrativní prostory. Objekt je založen na ŽB desce a hlubinných velkopřůměrových pilotách. Nosný systém budovy je kombinovaný. Všechny nosné konstrukce jsou monolitické. Suterénní část je tvořena obvodovými stěnami a sloupy, nadzemní část je tvořena po obvodu modulově rozmístěnými sloupy a vnitřními nosnými sloupy. Stěnová ztužující jádra prochází celou výškou objektu. Objekt je řešen jako jeden dilatační celek.



Obr. 46 – vizualizace objektu, severní pohled

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvážením vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník



Obr. 47 – vizualizace objektu, jižní pohled

Z hlediska regionálně-geologického se území výstavby nachází v severovýchodní části pražské pánve, kterou tvoří sedimenty od ordoviku až do devonu. Geologický podklad zájmového území tvoří ordovické sedimenty zahořanského souvrství. Ty jsou překryty kvartérním pokryvem tvořeným fluviálními sedimenty řeky Vltavy a antropogenními navážkami. Sedimenty zahořanského souvrství jsou zastoupeny prachovitými břidlicemi, hrubě slídnatými, prachovci a také písčitymi prachovci. Obsahují i vločky vápnitých pískovců až písčitych vápenců a vápnité konkrece. Strop sedimentů zahořanského souvrství se v oblasti zájmového území pohybuje v hloubce cca 11–15 m pod terénem, tj. v nadmořské výšce kolem 169–173 m n. m. V závislosti na stupni zvětrávání pak mají sedimenty zahořanského souvrství charakter od zdravých, či jen mírně zvětralých břidlic až po rozložené břidlice. Dle výsledků předchozího podrobného inženýrskogeologického průzkumu (Nohejl a kol. 2008) se v zájmovém území pohybuje mocnost zvětralých břidlic v při povrchové zóně okolo 6-7 m, zdravé břidlice bez patrných znaků zvětrávání pak vystupují pod úrovní cca 163,5-166 m n.m.

Hladina podzemních vod je v zájmovém území v přímé souvislosti s povrchovou vodou v řece Vltavě a stav hladiny podzemních vod je zcela dominantním způsobem ovlivňován hydrologickým stavem Vltavy. Ustálená hladina podzemní vody se v průběhu průzkumných prací nacházela v hloubkové úrovni cca 180,5 m n.m. (tj. v úrovni 4,5 m pod terénem), resp. v době průzkumných prací 1. etapy v úrovni 179,15 – 180,35 m n.m. (tj. do úrovně cca 4,85 – 6,00 m pod úrovní terénu), tzn. že úroveň dna stavební jámy (základová spára) plánovaného objektu Red Court se nachází přibližně cca 3–4 m pod úrovní kolísání hladiny podzemní vody. Zároveň se objekt nachází v povodňovém území řeky Vltavy, proto je nutné v extrémním stavu počítat s tlakem vody po horní hranici podzemních pater, tzn. cca 8 m vodního sloupce. S tímto stavem je důležité počítat zejména kvůli možnému riziku vyplavání stavby. [14]

Princip výpočtu

Z důvodu řešení pouze suterénních konstrukcí objektu, byl model konstrukce zjednodušen pouze na jeho suterénní část. Zatížení z nadzemní části objektu bylo modelováno bodově nebo liniově jako suma zatížení z celé nadzemní části a umístěno na desku nad 1.PP. I když tento způsob modelování nemusí plně odpovídat realitě, pro potřeby tohoto výpočtu je dostatečný. Ve statickém výpočtu jsou řešeny pouze konstrukce v kontaktu se zemí, tzn. základová deska a obvodové stěny 3.PP až 1.PP.

Hodnota ostatního stálého zatížení v nadzemních patrech byla stanovena na 1 kN/m^2 , v podzemních patrech pak $0,1 \text{ kN/m}^2$ a na střeše 3 kN/m^2 . Užité zatížení v garážích bylo uvažováno hodnotou $2,5 \text{ kN/m}^2$, v administrativních prostorech 4 kN/m^2 a na střeše 4 kN/m^2 .

Model byl nejdříve vytvořen pro tloušťky konstrukcí dle TP ČBS 02 a spočten (model B). Následně byly mocnosti konstrukce redukovány dle určeného koeficientu v experimentální části práce (model K) a provedeno porovnání úspory materiálu.

Pomocí softwaru Dlubal byly vypočteny vnitřní síly a potřebné plochy výztuže od zatížení silovými účinky a bylo ověřeno, zda navržené dimenze prvků vyhovují z hlediska průhybů. Následně byl ručně proveden výpočet šířky trhlin od nesilových účinků (smrštění) v závislosti na průměru a roztečích výztužných prutů. Nakonec bylo ověřeno, zda navržená výztuž pro nesilové účinky vyhoví pro potřebné plochy výztuže vypočtené v softwaru Dlubal a zda nebudou vznikat trhliny od silových účinků. To bylo ověřeno metodou „Omezení trhlin bez přímého výpočtu šířky trhlin“. Také byl proveden výpočet protlačení základové desky kolem sloupů.

Návrh dimenzí suterénních konstrukcí

Konstrukce bez krystalizační přísady – model B

V této fázi navrhne dle TP ČBS 02 dimenze konstrukcí stýkajících se s okolním prostředím, konkrétně základovou desku a obvodové stěny 3.PP, 2.PP a 1.PP.

Určení konstrukční třídy a třídy požadavků je zde pro náš případ poměrně obtížné. Podle příkladů použití pro třídu požadavků by měla konstrukce garáží spadat do třídy A_2 . Ta ale povoluje vlhká místa v konstrukci. Při uvážení této třídy by tak konstrukce spadala do konstrukční třídy Kon_1 . Dodavatelé krystalizačních přísad ale vlhká místa v konstrukci nepřipouští a garantují při použití krystalizace konstrukci zcela suchou. Při uvážení těchto kritérií bychom se dostali do konstrukční třídy Kon_s , kde jsou kritéria pro návrh konstrukce o mnoho přísnější.

Ve výsledném návrhu proto v případě základové desky a obvodových stěn 3.PP navrhne dimenze o něco větší, než pro Kon_1 , ale nedosahující minimálních hodnot pro Kon_s . Ve výsledku na navržených dimenzích tolik nezáleží, protože nás bude zajímat úspora při použití materiálového součinitele (viz. experimentální část) a zmenšení dimenzí tak bude podobné.

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvážením vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

Tab. 3/1 Třídy požadavků na vodotěsnost vnějších stěn, základových desek a stropů

Třída požadavků	Zkrácené označení	Popis povrchu betonu	Posouzení vlhkých míst	Přípustná vadná místa (vlhká místa, trhliny atd.) na povrchu betonu	Dodatečná opatření	Příklady použití	Konstrukce
A ₅ Zvláštní třída	Zcela suché	Žádná vizuálně patrná vlhká místa (tmavé zabarvení)			Stavebně-fyzikální vyšetření a temperování/klimatizování prostoru je bezpodmínečně nutné	Skлады zboží, které je zvláště citlivé na vlhkost	2)
A ₄	Z větší části suché	Vizuálně patrná jednotlivá vlhká místa (max. matné zabarvení)	Po plošném dotyku suchou rukou nejsou patrné žádné stopy po vodě	Na 1 ‰ povrchu sledované konstrukce mohou být vlhká místa. Proužky vody vysychají po max. 20 cm	Je nutné stavebně-fyzikální vyšetření, v jeho důsledku může být potřebné temperování/klimatizace prostoru (např. při dlouhodobém pobytu lidí)	Dopravní stavby s vysokými požadavky, místnosti pobytu, sklady, domovní sklepy (skladovací prostory), domovní technické prostory se zvláštními požadavky	2), 3)
A ₂	Lehce vlhké	Vizuálně a dotykem patrná jednotlivá lesklá (vlhká) místa na povrchu	Není možné změřit množství odtékající vody. Po dotyku ruky jsou rozeznatelné stopy vody.	je přípustné 1 ‰ vlhkých míst na celém povrchu betonového dílu. Jednotlivé proužky vody, které na povrchu betonu vysychají.	Ve zvláštních případech může být potřebné temperování/klimatizování	Garáže, prostory s domovní technikou (např. kotelny, kolektory), dopravní stavby	2), 3)
A ₃	Vlhké	Kapkový výskyt vody s tvorbou proužků vody	Množství odtékající vody lze měřit v záchytných nádobách	Pro stěny, podlahové desky a podzemní stěny platí: max. množství vody na jedno chybné místo resp. běžný m pracovní spáry podzemní stěny nesmí překročit 0,2 l/h, přičemž průnik vody na 1 m ² stěny smí být v průměru max. 0,01 l/h ¹⁾	Uvažovat s odvodňovacími opatřeními	Garáže (s dodatečnými opatřeními, např. odvodňovací žlaby) atd.	2), 3)

A ₄	mokré	Jednotlivá mokvající místa s výskytem vody, pro podlahové desky, stěny a podzemní stěny	Množství odtékající vody lze měřit v záchytných nádobách.	Maximální množství vody na jedno vadné místo nesmí překročit 2 l/h, přičemž průnik vody na 1 m ² stěny nesmí v průměru překročit 1 l/h. ¹⁾	Uvažovat s odvodňovacími opatřeními	Vnější skořepina dvouplášťových konstrukcí.	3)
----------------	-------	---	---	--	-------------------------------------	---	----

¹⁾ Tento průměr se počítá jen z průniku vody z vnějšího smáčené plochy stěny mezi hladinou návrhového stavu vody a spodní hranou posuzované části konstrukce.

²⁾ Bílé vany ve smyslu této směrnice.

³⁾ Souvislé podzemní stěny podle ÖVBB-směrnice

Obr. 48 – Třídy požadavků na vodonepropustnost vnějších stěn, základových desek a stropů [3]

Tab. 3/2 Konstrukční třídy pro bedněné železobetonové stavební díly

Konstrukční třída	Min. tloušťka stavebního dílu ¹⁾ [m]	Dimenzování na vynucená namáhání	Dimenzování na zatížení	Normalizační beton	Další konstrukční požadavky
Kon ₅ zvláštní třída	≥ 0,45 ≥ 0,60 pro W ₂	viz Obr. 4/5	omezení šířky trhlin na ≤ 0,15 mm	BS 1	Max. délky konstrukčních částí ²⁾ : • vzdál. dilatačních/dělicích spár: ≤ 15 m • vzdál. pracovních spár ve stěnách: ≤ 10 m Je nezbytné zabudovat kluzné fólie pro separaci vnějšího a vnitřního pláště, eventuálně uvažovat o: • předepnutí • zdvojení těsnících pásů • eliminaci skokových změn tloušťky/výšky konstrukce • eliminaci překážek, které brání v pohybu konstrukce vůči okolnímu prostředí
Kon ₁	≥ 0,35 ≥ 0,60 pro W ₄	viz Obr. 4/6	omezení šířky trhlin na ≤ 0,20 mm	BS 1	Doporučené délky konstrukčních částí ²⁾ : • vzdál. dilatačních/dělicích spár: 15 až 30 m • vzdál. pracovních spár ve stěnách: ≤ 15 m Skokové změny tloušťky/výšky konstrukce nahradit náběhy se sklonem cca 30°. Doporučuje se určit teplotní pole. Pokud je konstrukční část provedena jako součást spřaženého systému (s těsným zazubením do vnější stěny), má být max. délka konstrukční části ≤ 40 m.
Kon ₂	≥ 0,30	viz Obr. 4/7	omezení šířky trhlin na < 0,25 mm ⁴⁾	BS 2	Doporučené délky konstrukčních částí ²⁾ : • vzdál. dilatačních/dělicích spár: 30 až 60 m • vzdál. pracovních spár ve stěnách: ≤ 15 m Těsný kontakt s okolním prostředím je přípustný, při změnách tvaru průřezu nebo tuhosti konstrukce je ale vhodné uvážit možnost jejího rozdělení na menší části. Skokové změny tloušťky/výšky konstrukce je vhodné eliminovat (náběhy se sklonem cca 30°, separací atd.). Doporučuje se určit teplotní pole.

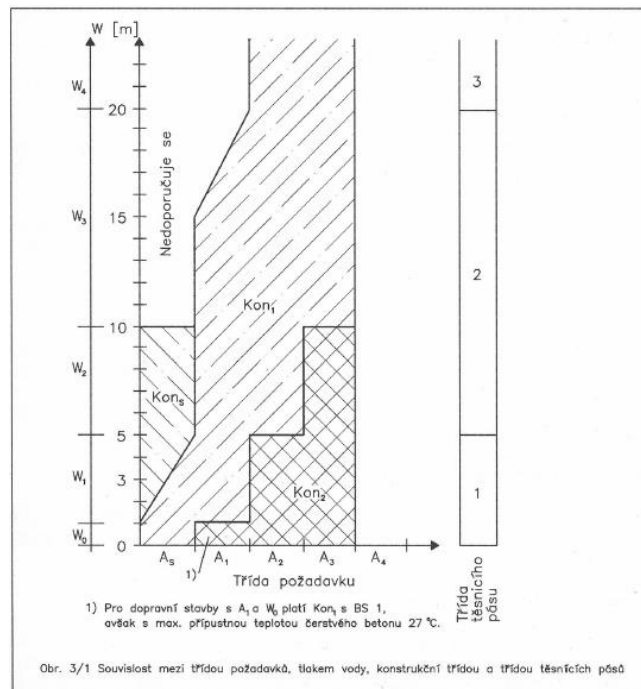
¹⁾ Bez zohlednění statických, výrobně-technických a konstrukčních požadavků (viz bod 4).

²⁾ W₁, W₂, ... = třídy tlaku vody podle Tab. 3/3

³⁾ Při zvláštních opatřeních (např. předepnutí, současném vybetonování základových desek a stěn) mohou být realizovány i větší délky konstrukčních částí.

⁴⁾ Šířka trhlin < 0,25 mm uvedená v Tab. 3/2 odpovídá podle ÖNORM A 6403 (zaokrouhlování čísel) až do hodnoty w = 0,249 mm hodnotě w ≤ 0,2 mm požadované ÖNORM B 4700 v bodě 4.2.1(3).

Obr. 49 – konstrukční třídy pro bedněné železobetonové stavební díly [3]



Obr. 50 – souvislost mezi třídou požadavků, tlakem vody, konstrukční třídou a třídou těsnících pásů [3]

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvážením vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

Tab. 3/3 Třídy tlaku vody

Třída tlaku vody ¹⁾	Popis
W ₀	Tlak vody 0,0 až 1,0 m
W ₁	Tlak vody > 1,0 až 5,0 m
W ₂	Tlak vody > 5,0 až 10,0 m
W ₃	Tlak vody > 10,0 až 20,0 m
W ₄	Tlak vody > 20,0 m

¹⁾ Ke stanovení třídy tlaku vody je třeba uvažovat tlak vody v úrovni spodní hrany posuzované konstrukční části. Za horní úroveň je třeba vzít hladinu návrhového stavu vody. U vysokých stěn je přípustné odstupňování tříd tlaku vody.

Obr. 51 – třídy tlaku vody [3]

Základová deska

Základová deska bude stále zatížena vodním tlakem, při povodňové situaci až 8 t/m². Spadá tedy do třídy tlaku vody w₂. Její tloušťka bude proto největší ze všech suterénních konstrukcí. Navrhujeme jakýsi kompromis mezi konstrukčními třídami Kon₁ a Kon₅.

Návrh: základová deska tloušťky 500 mm

Ověření ohybové štíhlosti:

$$\lambda = \frac{L}{d} \leq \lambda_d = \kappa_{c1} * \kappa_{c2} * \kappa_{c3} * \lambda_{d,tab} \rightarrow d \geq \frac{L}{\lambda_d} + c + \frac{\varnothing_s}{2}$$

$\kappa_{c1}=1$... obdelníkový průřez

$\kappa_{c2}=0,826$... rozhodující rozpětí desky $L > 7$ m ($L=8,475$ m) $\Rightarrow \kappa_{c2}=7/L \Rightarrow \kappa_{c2}=7/8,475=0,826$

$\kappa_{c3}=1,2$... odhad součinitele napětí tahové výztuže

- Předpokládaný stupeň vyztužení desky $\rho \leq 0,5\%$
- Předpokládaný profil výztuže: 12 mm
- Předpokládané krytí výztuže: 40 mm

$\lambda_{d,tab}=24,6$... pro lokálně podepřenou desku, beton C 30/37

Typ podepření	L[m]	$\lambda_{d,tab}$	λ_d	d[mm]
Lokálně podepřená deska	8,475	24,6	24,384	236,5

$$\lambda_d = \kappa_{c1} * \kappa_{c2} * \kappa_{c3} * \lambda_{d,tab} = 1 * 0,826 * 1,2 * 24,6 = 24,384$$

$$d \geq \frac{L}{\lambda_d} + c + \frac{\varnothing_s}{2} = \frac{8475}{24,384} + 40 + \frac{12}{2} = 393,56$$

393,56 mm < 500 mm \Rightarrow deska vyhoví na ohybovou štíhlost

Podrobné posouzení desky bude provedeno ve statickém výpočtu, viz. Příloha 1.

Stěny třetího podzemního podlaží

Obvodové stěny nejnižšího podzemního patra (3. PP) navrhujeme opět lehce přes minimální hranici Kon₁ a to tloušťky **400 mm**, místo minimálních 350 mm. Je to opět z důvodu velkého

tlaku vody a nestejných podmínek na požadavky klasického vodostavebního betonu a betonu s krystalizací.

Stěny druhého podzemního podlaží

Obvodové stěny druhého podzemního patra (2. PP) navrhne už v souladu s minimální tloušťkou pro konstrukční třídu Kon_1 a to **350 mm**. Stále je v tomto podlaží třída tlaku vody w_2 .

Stěny prvního podzemního podlaží

Obvodové stěny prvního podzemního patra (1. PP) už sice spadají do třídy vodního tlaku w_1 , ale pro konstrukční třídu Kon_1 stále platí minimální tloušťka stavebního dílu 350 mm. Proto i zde navrhujeme tloušťku obvodových stěn **350 mm**.

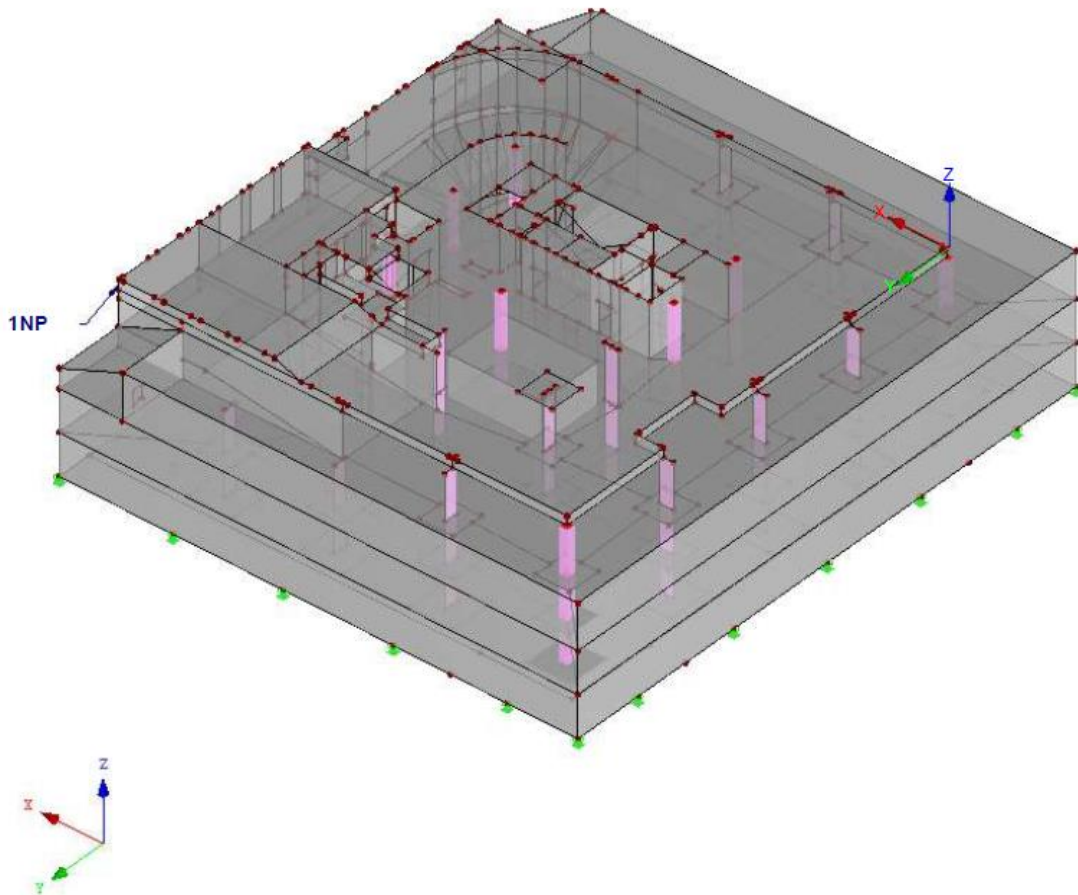
Konstrukce s krystalizační přísadou – model K

V této fázi budeme redukovat dimenze konstrukcí stýkajících se s okolním prostředím podle materiálového součinitele γ_{tl} , získaného v experimentální části této práce. Opět konkrétně základovou desku a obvodové stěny 3.PP, 2.PP a 1.PP. Výsledné redukce jsou uvedeny v následující tabulce (obr. 52).

Konstrukce	Dimenze konstrukce bez krystalizace [mm]	Materiálový součinitel γ_{tl}	Redukce dimenze materiálovým součinitelem [mm]	Navržená dimenze pro konstrukci s krystalizací [mm]
ZD	500	0,85	425	400
Obvodové stěny 3.PP	400	0,85	340	350
Obvodové stěny 2.PP	350	0,85	297,5	300
Obvodové stěny 1.PP	350	0,85	297,5	250

Obr. 52 – výsledky redukce suterénních konstrukcí

V tabulce je vidět, že navržené dimenze suterénních konstrukcí zhruba odpovídají dimenzím vypočteným pomocí materiálového součinitele γ_{tl} . V případě základové desky a stěn 1. PP bylo využito zkušeností z podobných projektů, a proto byly dimenze lehce sníženy oproti vypočteným hodnotám. Znovu je na místě zdůraznit, že vypočtený materiálový součinitel je pouze orientační a k jeho přesnému určení by bylo třeba větší množství experimentů a úvah. Proto je zde stále na místě konzultace s odborníky a využití předchozích zkušeností projektantů a výrobců krystalizačních přísad.



Obr. 53 – model suterénní konstrukce v softwaru Dlubal

Definice okrajových podmínek + výpočet krycí vrstvy

Pro správný a funkční návrh konstrukce je nutné správně definovat okrajové podmínky. Je potřebné určit stupně vlivu prostředí podle české normy ČSN EN 206+A2. Pro tento objekt navrhujeme stupeň XC3 (prostředí středně mokré, vlhké) a současně stupeň XA1 (slabě agresivní chemické prostředí) a XD1 (středně mokré, vlhké). Pro tyto stupně je minimální třída betonu definována jako C30/37. Při návrhu tedy musí být předepsán beton minimální třídy C30/37, s minimálním obsahem cementu 300 kg/m³ (pro XA1 a XD1, pro XC3 je minimální množství cementu 280 kg/m³). Maximální vodní součinitel pro všechny stupně vlivu prostředí je 0,55. Dále bude podle ČSN EN 1992-1-1 stanovena krycí vrstva betonu. Podle českých norem již nelze dále zjistit další parametry konstrukcí, např. dimenze prvků a doporučení na jejich vyztužení.

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

Pro povrch při exteriéru:

Δc_{dev} - návrhový přídavek na odchylku – monolit (10 mm)

$c_{min,b}$ - minimální krycí vrstva z hlediska soudržnosti = průměr prutu (12 mm)

$c_{min,dur}$ - minimální krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí = S3 (deska) – XD1 (30 mm)

$\Delta c_{dur,\gamma}$ - přídavná hodnota z hlediska spolehlivosti prvku (= 0)

$\Delta c_{dur,st}$ - redukce minimální krycí vrstvy při použití nerezové oceli (= 0)

$\Delta c_{dur,add}$ - redukce minimální krycí vrstvy při použití přídavné ochrany (= 0)

$$c_{min} = \max\{10; 30 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}\} = \underline{30 \text{ mm}}$$

$$c_{nom} = 30 + 10$$

$$c_{nom} = \underline{40 \text{ mm}}$$

Pro povrch při interiéru:

Δc_{dev} - návrhový přídavek na odchylku – monolit (10 mm)

$c_{min,b}$ - minimální krycí vrstva z hlediska soudržnosti = průměr prutu (12 mm)

$c_{min,dur}$ - minimální krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí = S4 – XC1 (15 mm)

$\Delta c_{dur,\gamma}$ - přídavná hodnota z hlediska spolehlivosti prvku (= 0)

$\Delta c_{dur,st}$ - redukce minimální krycí vrstvy při použití nerezové oceli (= 0)

$\Delta c_{dur,add}$ - redukce minimální krycí vrstvy při použití přídavné ochrany (= 0)

$$c_{min} = \max\{10; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}\} = \underline{15 \text{ mm}}$$

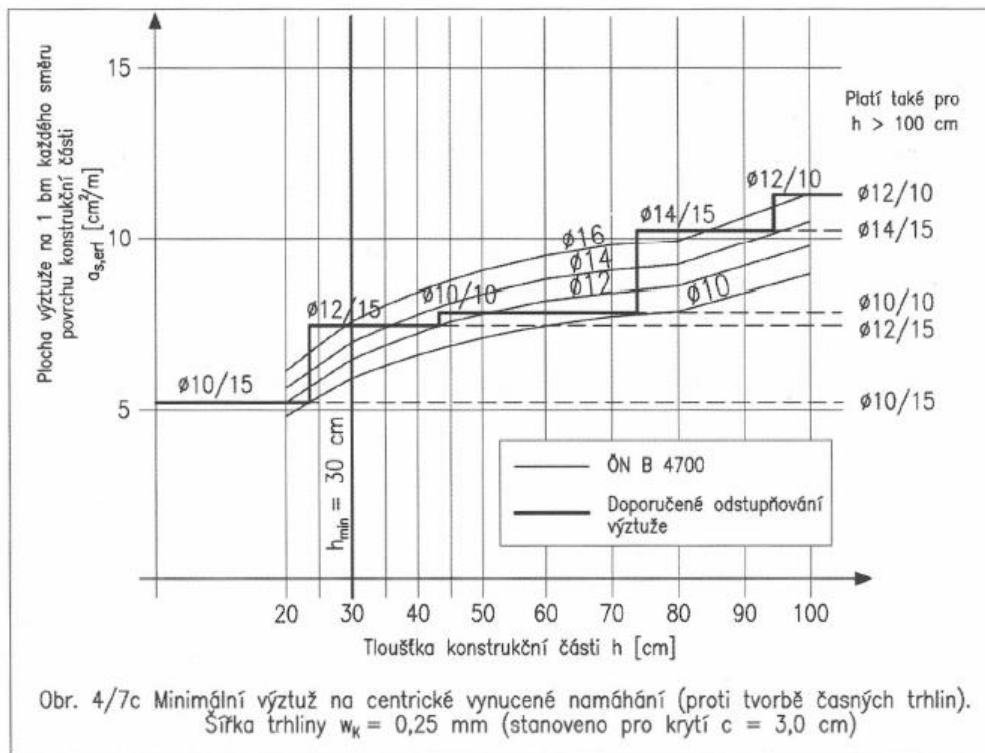
$$c_{nom} = 15 + 10$$

$$c_{nom} = \underline{25 \text{ mm}} [15]$$

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvážením vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník



Obr. 54 – minimální výztuž v závislosti na krytí a tloušťce prvku [3]

Statický výpočet

Použitý beton pro jednotlivé suterénní konstrukce:

- **Základová deska s krystalizační přísadou** – C30/37 XC3, XA1, XD1 Cl 0, 2 $D_{max}22$ S4 + přísady
- **Základová deska bez krystalizační přísady** – C30/37 XC3, XA1, XD1 Cl 0, 2 $D_{max}22$ S3
- **Suterénní stěny s krystalizační přísadou** – C30/37 XC3, XA1, XD1 Cl 0, 2 $D_{max}16$ S4 + přísady
- **Suterénní stěny bez krystalizační přísady** – C30/37 XC3, XA1, XD1 Cl 0, 2 $D_{max}16$ S3

Přísady: H – Krystal MR – 3 kg/m³

Materiálové charakteristiky: $f_{ctm} = 2,9$ MPa (pevnost betonu v tahu)

$E_{cm} = 33$ GPa (střední hodnota modulu pružnosti)

Výpočet šířky trhlin – omezení trhlin od vynucených přetvoření – ČSN EN 1992-1-1

$$w_k = s_{r,max}(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

w_k - charakteristická šířka trhlin

$s_{r,max}$ - maximální vzdálenost trhlin

ϵ_{sm} - průměrná hodnota poměrného přetvoření výztuže při příslušné kombinaci

ε_{cm} - průměrná hodnota přetvoření betonu mezi trhlinami

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s}$$

σ_s - napětí v tahové výztuži stanovené v průřezu porušeném trhlinou

k_t – součinitel závisící na době trvání zatížení ($k_t=0,6$ pro krátkodobé a $0,4$ pro dlouhodobé zatížení)

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

- $A_{c,eff}$ - plocha betonu v tažené oblasti průřezu
- $A_{c,eff} = A_{ct,eff} + A_{cb,eff}$
- $A_{ct,eff} = h_{c,eff} * b$ - účinná tažená plocha u horního povrchu
- $A_{cb,eff} = A_{ct,eff}$ - účinná tažená plocha u dolního povrchu
- $h_{c,eff} = \min\{2,5(h - d); h/2\}$

Výpočet hodnot pro výpočet ($\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$) vyžaduje výpočet a volbu mnoha součinitelů, proto je rozsáhlou částí celého výpočtu.

$$\sigma_s = \frac{k_c k f_{ct,eff} A_{ct}}{A_s} \leq 500 \text{ MPa}$$

k – součinitel vyjadřující účinek nerovnoměrného rozdělení vnitřních rovnovážných napětí (pro vodonepropustné konstrukce = 1)

A_{ct} – plocha betonu v tažené oblasti průřezu

A_s – průřezová plocha betonářské výztuže v tažené oblasti průřezu

k_c - součinitel zohledňující rozdělení napětí v průřezu bezprostředně před vznikem trhlin a změnou ramene vnitřních sil

- výpočet k_c pro obdélníkový průřez

$$k_c = 0,4 \left[1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \left(\frac{h}{h^*}\right) f_{ct,eff}} \right] \leq 1$$

- $\sigma_c = \frac{N_{kd}}{bh}$

N_{kd} - osová síla v MSP působící na uvažovanou oblast

- $h^* = h$ pro $h < 1$ m, pro $h \geq 1$ m je $h^* = 1$
- $k_1 = 1,5$ pro tlakovou sílu, pro tahovou sílu $k_1 = \frac{2h^*}{3h}$

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvažováním vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$

k_1 – součinitel zohledňující vlastnosti soudržné výztuže (žebírková betonářská výztuž = 0, 8)

k_2 – součinitel zohledňující poměrné přetvoření (ohyb = 0, 5; prostý tah = 1)

$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{c}\right)^{2/3} \geq 3,4$$

k_4 – uvažuje se roven 0, 425

c – betonová krycí vrstva podélné výztuže [16] [17] [18]

Trhliny od nesilových účinků – konstrukce bez krystalizace – model B

Při statickém návrhu konstrukce bílé vany je po ověření únosnosti všech prvků z hlediska průhybů v podrobném statickém výpočtu (viz. Příloha 1), nutné nejprve navrhnout výztuž na nesilové účinky, to je na smršťování. Posuzujeme maximální přípustnou šířku trhliny pro daný případ.

Výpočet $f_{ct,eff}$

Hodnota $f_{ct,eff}$ (průměrná hodnota pevnosti betonu v tahu v okamžiku prvního očekávaného vzniku trhlin) je pro návrh zcela zásadní. Okamžik prvního očekávaného vzniku trhlin budeme předpokládat v době třech dnů ($t=3$ dny), tedy v době odbednění. Uvažovaný cement je třídy R, konkrétně CEM 42, 5 R. V odborné literatuře se často uvažuje $f_{ct,eff} = 0,5f_{ctm}$. Podle ČSN EN 1992-1-1 je ale vhodné při betonáži na podkladový beton (tak jak tomu je u ZD) uvažovat $f_{ct,eff}$ v čase t . Pro stěny bude uvažování tohoto této hodnoty přesnější.

$$f_{ct,eff} = \beta_{cc}(t)^\alpha * f_{ctm}$$

$\beta_{cc}(t)$ – součinitel závisící na stáří betonu t ($t=3$ dny)

$$- \beta_{cc}(t) = s * \left(1 - \sqrt{\frac{28}{t}}\right)$$

$$- \beta_{cc}(t) = 0,2 * \left(1 - \sqrt{\frac{28}{3}}\right) = 0,663$$

s – koeficient cementu ($R=0,2$)

α – součinitel, který zohledňuje účinky na pevnost v tlaku, když $t \leq 28$ dní $\rightarrow 1$, jinak 0, 67 ($\alpha=1$)

$$f_{ct,eff} = 0,663^1 * 2,9$$

$$f_{ct,eff} = \underline{1,92 \text{ MPa}}$$

Ocel: B 500B

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 434,8 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

α_e – poměr pro výpočet veličin ideálního průřezu pro účinky krátkodobého zatížení

Namáhání od vynucených přetvoření se považuje za krátkodobé.

$$\alpha_e = \frac{200}{33}$$

$$\alpha_e = \underline{6,061}$$

Základová deska

Povrch blíže exteriéru

Vyztužení:

Průměr výztužných prutů:	$\varnothing = 16 \text{ mm}$
Vzdálenost prutů:	$s = 125 \text{ mm}$
Krytí podélné betonářské výztuže:	$c = 52 \text{ mm}$ (pro povrch vrstvy výztuže dále od bednění)
Plocha výztuže pro jednu vrstvu:	$A_{s1} = 1608 \text{ mm}^2$
Plocha výztuže pro jeden povrch:	$A_s = 3\,216 \text{ mm}^2$
Účinná výška:	$d = h - c - \frac{\varnothing}{2}$
	$d = 500 - 52 - \frac{16}{2}$
	$d = 440 \text{ mm}$

Výpočet šířky trhlin:

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(h - d); h/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(500 - 440); 500/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{150; 250\}$$

$$h_{c,eff} = 150 \text{ mm}$$

$$A_{ct,eff} = h_{c,eff} * b$$

$$A_{ct,eff} = 150 * 1000$$

$$A_{ct,eff} = 150\,000 \text{ mm}^2$$

$$A_{cb,eff} = A_{ct,eff}$$

$$A_{cb,eff} = 150\,000 \text{ mm}^2$$

$$A_{c,eff} = A_{ct,eff} + A_{cb,eff}$$

$$A_{c,eff} = 150\,000 + 150\,000$$

$$A_{c,eff} = 300\,000 \text{ mm}^2$$

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvažováním vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$
$$\rho_{p,eff} = \frac{300000}{3216}$$
$$\rho_{p,eff} = \underline{\underline{0,0107}}$$

$$\sigma_c = \frac{N_{kd}}{bh}$$
$$\sigma_c = \frac{2500}{1000 * 500}$$
$$\sigma_c = 0,005 \text{ MPa}$$

$$k_c = 0,4 \left[1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \left(\frac{h}{h^*}\right) f_{ct,eff}} \right] \leq 1$$
$$k_c = 0,4 \left[1 - \frac{0,005}{0,8 \left(\frac{500}{500}\right) 1,92} \right]$$
$$k_c = 0,4$$

$$A_{ct} = b * h$$
$$A_{ct} = 500 * 1000$$
$$A_{ct} = 500\,000 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_s = \frac{k_c k f_{ct,eff} A_{ct}}{A_s} \leq 500 \text{ MPa}$$
$$\sigma_s = \frac{0,4 * 1,0 * 1,92 * 500000}{3216}$$
$$\sigma_s = \underline{\underline{119,4 \text{ MPa}}}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s}$$
$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{119,4 - 0,6 \frac{1,92}{0,0107} (1 + 6,061 * 0,0107)}{200\,000}$$
$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \underline{\underline{0,000358}}$$

$$k_1 = 0,8$$
$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{c}\right)^{2/3} \geq 3,4$$
$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{52}\right)^{2/3}$$
$$k_3 = 2,087 \Rightarrow 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$

$$s_{r,max} = 3,4 * 52 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 14 / 0,0107$$

$$s_{r,max} = \underline{\underline{430,5 \text{ mm}}}$$

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$w_k = 430,5 * 0,000358$$

$$w_k = \underline{\underline{0,154 \text{ mm}}}$$

$$w_k = 0,154 \text{ mm} \leq w_{max} = 0,2 \text{ mm} \dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

Povrch blíže interiéru

Vyztužení:

Průměr výztužných prutů:	$\phi = 14 \text{ mm}$
Vzdálenost prutů:	$s = 150 \text{ mm}$
Krytí podélné betonářské výztuže:	$c = 32 \text{ mm}$ (pro povrch vrstvy výztuže dále od bednění)
Plocha výztuže pro jednu vrstvu:	$A_{s1} = 1026 \text{ mm}^2$
Plocha výztuže pro jeden povrch:	$A_s = 2052 \text{ mm}^2$
Účinná výška:	$d = h - c - \frac{\phi}{2}$
	$d = 500 - 32 - \frac{14}{2}$
	$d = 461 \text{ mm}$

Výpočet šířky trhlin:

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(h - d); h/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(500 - 461); 500/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{97,5; 250\}$$

$$h_{c,eff} = 97,5 \text{ mm}$$

$$A_{ct,eff} = h_{c,eff} * b$$

$$A_{ct,eff} = 97,5 * 1000$$

$$A_{ct,eff} = 97\,500 \text{ mm}^2$$

$$A_{cb,eff} = A_{ct,eff}$$

$$A_{cb,eff} = 97\,500 \text{ mm}^2$$

$$A_{c,eff} = A_{ct,eff} + A_{cb,eff}$$

$$A_{c,eff} = 97\,500 + 97\,500$$

$$A_{c,eff} = 195\,000 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{2052}{195000}$$

$$\rho_{p,eff} = \underline{\underline{0,0105}}$$

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvažováním vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

$$\sigma_c = \frac{N_{kd}}{bh}$$
$$\sigma_c = \frac{2500}{1000 * 500}$$
$$\sigma_c = 0,005 \text{ MPa}$$

$$k_c = 0,4 \left[1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \left(\frac{h}{h^*} \right) f_{ct,eff}} \right] \leq 1$$
$$k_c = 0,4 \left[1 - \frac{0,005}{0,8 \left(\frac{500}{500} \right) 1,92} \right]$$
$$k_c = 0,4$$

$$A_{ct} = b * h$$
$$A_{ct} = 500 * 1000$$
$$A_{ct} = 500\,000 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_s = \frac{k_c k f_{ct,eff} A_{ct}}{A_s} \leq 500 \text{ MPa}$$
$$\sigma_s = \frac{0,4 * 1,0 * 1,92 * 500\,000}{2052}$$
$$\sigma_s = \underline{\underline{187,1 \text{ MPa}}}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s}$$
$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{187,1 - 0,6 \frac{1,92}{0,0105} (1 + 6,061 * 0,0105)}{200\,000}$$
$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \mathbf{0,000561}$$

$$k_1 = 0,8$$
$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{c} \right)^{2/3} \geq 3,4$$

$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{32} \right)^{2/3}$$

$$k_3 = 2,88 \Rightarrow 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \Phi / \rho_{p,eff}$$
$$s_{r,max} = 3,4 * 32 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 12 / 0,0105$$
$$s_{r,max} = \underline{\underline{335 \text{ mm}}}$$

$$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$w_k = 335 * 0,000561$$

$$w_k = \underline{\underline{0,188 \text{ mm}}}$$

$$w_k = 0,188 \text{ mm} \leq w_{max} = 0,2 \text{ mm} \dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

Suterénní stěny 3. PP

Povrch blíže exteriéru

Vyztužení:

Průměr výztužných prutů:

$$\varnothing = 14 \text{ mm}$$

Vzdálenost prutů:

$$s = 125 \text{ mm}$$

Krytí podélné betonářské výztuže:

$$c = 52 \text{ mm (pro povrch vrstvy výztuže dále od bednění)}$$

Plocha výztuže pro jednu vrstvu:

$$A_{s1} = 1232 \text{ mm}^2$$

Plocha výztuže pro jeden povrch:

$$A_s = 2464 \text{ mm}^2$$

Účinná výška:

$$d = h - c - \frac{\varnothing}{2}$$

$$d = 400 - 52 - \frac{14}{2}$$

$$d = 341 \text{ mm}$$

Výpočet šířky trhlin:

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(h - d); h/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(400 - 341); 400/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{147,5; 200\}$$

$$h_{c,eff} = 147,5 \text{ mm}$$

$$A_{ct,eff} = h_{c,eff} * b$$

$$A_{ct,eff} = 147,5 * 1000$$

$$A_{ct,eff} = 147\,500 \text{ mm}^2$$

$$A_{cb,eff} = A_{ct,eff}$$

$$A_{cb,eff} = 147\,500 \text{ mm}^2$$

$$A_{c,eff} = A_{ct,eff} + A_{cb,eff}$$

$$A_{c,eff} = 147\,500 + 147\,500$$

$$A_{c,eff} = 295\,000 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{2464}{295000}$$

$$\rho_{p,eff} = \underline{\underline{0,0084}}$$

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvážením vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

$$\sigma_c = \frac{N_{kd}}{bh}$$
$$\sigma_c = \frac{512647}{1000 * 400}$$
$$\sigma_c = 1,282 \text{ MPa}$$

$$k_c = 0,4 \left[1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \left(\frac{h}{h^*} \right) f_{ct,eff}} \right] \leq 1$$
$$k_c = 0,4 \left[1 - \frac{1,282}{0,8 \left(\frac{400}{400} \right) 1,92} \right]$$
$$k_c = 0,07 \rightarrow \text{bezpečně opět } 0,4$$

$$A_{ct} = b * h$$
$$A_{ct} = 400 * 1000$$
$$A_{ct} = 400\,000 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_s = \frac{k_c k f_{ct,eff} A_{ct}}{A_s} \leq 500 \text{ MPa}$$
$$\sigma_s = \frac{0,4 * 1 * 1,92 * 400\,000}{2464}$$
$$\sigma_s = \underline{\underline{124,7 \text{ MPa}}}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s}$$
$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{124,7 - 0,6 \frac{1,92}{0,0084} (1 + 6,061 * 0,0084)}{200\,000}$$
$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \mathbf{0,000374}$$

$$k_1 = 0,8$$
$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{c} \right)^{2/3} \geq 3,4$$
$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{52} \right)^{2/3}$$
$$k_3 = 2,08 \Rightarrow 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$
$$s_{r,max} = 3,4 * 52 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 14 / 0,0084$$
$$s_{r,max} = \underline{\underline{461,7 \text{ mm}}}$$

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$
$$w_k = 461,7 * 0,000374$$
$$w_k = \underline{\underline{0,173 \text{ mm}}}$$

$$w_k = 0,173 \text{ mm} \leq w_{max} = 0,2 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

Povrch blíže interiéru

Vyztužení:

Průměr výztužných prutů:	$\varnothing = 12 \text{ mm}$
Vzdálenost prutů:	$s = 125 \text{ mm}$
Krytí podélné betonářské výztuže:	$c = 32 \text{ mm}$ (pro povrch vrstvy výztuže dále od bednění)
Plocha výztuže pro jednu vrstvu:	$A_{s1} = 905 \text{ mm}^2$
Plocha výztuže pro jeden povrch:	$A_s = 1810 \text{ mm}^2$
Účinná výška:	$d = h - c - \frac{\varnothing}{2}$
	$d = 400 - 32 - \frac{12}{2}$
	$d = 362 \text{ mm}$

Výpočet šířky trhlin:

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(h - d); h/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(400 - 362); 400/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{95; 200\}$$

$$h_{c,eff} = 95 \text{ mm}$$

$$A_{ct,eff} = h_{c,eff} * b$$

$$A_{ct,eff} = 95 * 1000$$

$$A_{ct,eff} = 95\,000 \text{ mm}^2$$

$$A_{cb,eff} = A_{ct,eff}$$

$$A_{cb,eff} = 95\,000 \text{ mm}^2$$

$$A_{c,eff} = A_{ct,eff} + A_{cb,eff}$$

$$A_{c,eff} = 95\,000 + 95\,000$$

$$A_{c,eff} = 190\,000 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{1810}{190000}$$

$$\rho_{p,eff} = \underline{\underline{0,0095}}$$

$$\sigma_c = \frac{N_{kd}}{bh}$$

$$\sigma_c = \frac{512647}{1000 * 400}$$

$$\sigma_c = 1,282 \text{ MPa}$$

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvažováním vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

$$k_c = 0,4 \left[1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \left(\frac{h}{h^*} \right) f_{ct,eff}} \right] \leq 1$$
$$k_c = 0,4 \left[1 - \frac{1,282}{0,8 \left(\frac{400}{400} \right) 1,92} \right]$$

$k_c = 0,07 \rightarrow$ bezpečně opět 0,4

$$A_{ct} = b * h$$
$$A_{ct} = 400 * 1000$$
$$A_{ct} = 400\,000 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_s = \frac{k_c k f_{ct,eff} A_{ct}}{A_s} \leq 500 \text{ MPa}$$
$$\sigma_s = \frac{0,4 * 1 * 1,92 * 400\,000}{1810}$$

$\sigma_s = \underline{\underline{169,7 \text{ MPa}}}$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s}$$
$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{169,7 - 0,6 \frac{1,92}{0,0095} (1 + 6,061 * 0,0095)}{200\,000}$$

$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \underline{\underline{0,000509}}$

$$k_1 = 0,8$$
$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{c} \right)^{2/3} \geq 3,4$$
$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{32} \right)^{2/3}$$
$$k_3 = 2,88 \Rightarrow 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$
$$s_{r,max} = 3,4 * 32 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 12 / 0,0095$$

$s_{r,max} = \underline{\underline{322,9 \text{ mm}}}$

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$
$$w_k = 322,9 * 0,000509$$

$w_k = \underline{\underline{0,164 \text{ mm}}}$

$$w_k = 0,164 \text{ mm} \leq w_{max} = 0,2 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

Suterénní stěny 2. PP + suterénní stěny 1.PP

Povrch blíže exteriéru

Vyztužení:

Průměr výztužných prutů:	$\varnothing = 14 \text{ mm}$
Vzdálenost prutů:	$s = 125 \text{ mm}$
Krytí podélné betonářské výztuže:	$c = 52 \text{ mm}$ (pro povrch vrstvy výztuže dále od bednění)
Plocha výztuže pro jednu vrstvu:	$A_{s1} = 1232 \text{ mm}^2$
Plocha výztuže pro jeden povrch:	$A_s = 2464 \text{ mm}^2$
Účinná výška:	$d = h - c - \frac{\varnothing}{2}$
	$d = 350 - 52 - \frac{14}{2}$
	$d = 291 \text{ mm}$

Výpočet šířky trhlin:

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(h - d); h/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(350 - 291); 350/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{147,5; 175\}$$

$$h_{c,eff} = 147,5 \text{ mm}$$

$$A_{ct,eff} = h_{c,eff} * b$$

$$A_{ct,eff} = 147,5 * 1000$$

$$A_{ct,eff} = 147\,500 \text{ mm}^2$$

$$A_{cb,eff} = A_{ct,eff}$$

$$A_{cb,eff} = 147\,500 \text{ mm}^2$$

$$A_{c,eff} = A_{ct,eff} + A_{cb,eff}$$

$$A_{c,eff} = 147\,500 + 147\,500$$

$$A_{c,eff} = 295\,000 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{2464}{295000}$$

$$\rho_{p,eff} = \underline{\underline{0,0084}}$$

$$\sigma_c = \frac{N_{kd}}{bh}$$

$$\sigma_c = \frac{414297}{1000 * 350}$$

$$\sigma_c = 1,184 \text{ MPa}$$

$$k_c = 0,4 \left[1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \left(\frac{h}{h^*} \right) f_{ct,eff}} \right] \leq 1$$

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvážením vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

$$k_c = 0,4 \left[1 - \frac{1,184}{0,8 \left(\frac{350}{350} \right) 1,92} \right]$$

$k_c = 0,09 \rightarrow$ bezpečně opět 0,4

$$A_{ct} = b * h$$
$$A_{ct} = 350 * 1000$$
$$A_{ct} = 350\,000 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_s = \frac{k_c k f_{ct,eff} A_{ct}}{A_s} \leq 500 \text{ MPa}$$
$$\sigma_s = \frac{0,4 * 1 * 1,92 * 35000}{2464}$$

$\sigma_s = \underline{\underline{109,1 \text{ MPa}}}$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s}$$
$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{109,1 - 0,6 \frac{1,92}{0,0084} (1 + 6,061 * 0,0084)}{200\,000}$$

$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \underline{\underline{0,000327}}$

$$k_1 = 0,8$$
$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{c} \right)^{2/3} \geq 3,4$$
$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{52} \right)^{2/3}$$
$$k_3 = 2,08 \Rightarrow 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$
$$s_{r,max} = 3,4 * 52 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 14 / 0,0084$$

$s_{r,max} = \underline{\underline{461,7 \text{ mm}}}$

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$
$$w_k = 461,7 * 0,000327$$

$w_k = \underline{\underline{0,151 \text{ mm}}}$

$$w_k = 0,151 \text{ mm} \leq w_{max} = 0,2 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

Povrch blíže interiéru

Vyztužení:

Průměr výztužných prutů: $\phi = 12 \text{ mm}$
Vzdálenost prutů: $s = 150 \text{ mm}$

Krytí podélné betonářské výztuže:	$c = 32 \text{ mm}$ (pro povrch vrstvy výztuže dále od bednění)
Plocha výztuže pro jednu vrstvu:	$A_{s1} = 754 \text{ mm}^2$
Plocha výztuže pro jeden povrch:	$A_s = 1508 \text{ mm}^2$
Účinná výška:	$d = h - c - \frac{\emptyset}{2}$
	$d = 350 - 32 - \frac{12}{2}$
	$d = 312 \text{ mm}$

Výpočet šířky trhlin:

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(h - d); h/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(350 - 362); 350/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{95; 175\}$$

$$h_{c,eff} = 95 \text{ mm}$$

$$A_{ct,eff} = h_{c,eff} * b$$

$$A_{ct,eff} = 95 * 1000$$

$$A_{ct,eff} = 95\,000 \text{ mm}^2$$

$$A_{cb,eff} = A_{ct,eff}$$

$$A_{cb,eff} = 95\,000 \text{ mm}^2$$

$$A_{c,eff} = A_{ct,eff} + A_{cb,eff}$$

$$A_{c,eff} = 95\,000 + 95\,000$$

$$A_{c,eff} = 190\,000 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{1810}{190000}$$

$$\rho_{p,eff} = \underline{\underline{0,0079}}$$

$$\sigma_c = \frac{N_{kd}}{bh}$$

$$\sigma_c = \frac{414297}{1000 * 350}$$

$$\sigma_c = 1,184 \text{ MPa}$$

$$k_c = 0,4 \left[1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \left(\frac{h}{h^*}\right) f_{ct,eff}} \right] \leq 1$$

$$k_c = 0,4 \left[1 - \frac{1,184}{0,8 \left(\frac{350}{350}\right) 1,92} \right]$$

$$k_c = 0,09 \rightarrow \text{bezpečně opět } 0,4$$

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvážením vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

$$\begin{aligned}A_{ct} &= b * h \\A_{ct} &= 350 * 1000 \\A_{ct} &= 350\,000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_s &= \frac{k_c k_f f_{ct,eff} A_{ct}}{A_s} \leq 500 \text{ MPa} \\ \sigma_s &= \frac{0,4 * 1 * 1,92 * 350\,000}{1508} \\ \sigma_s &= \underline{\underline{178,2 \text{ MPa}}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) &= \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \\ (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) &= \frac{178,2 - 0,6 \frac{1,92}{0,0079} (1 + 6,061 * 0,0079)}{200\,000} \\ (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) &= \underline{\underline{0,000535}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}k_1 &= 0,8 \\ k_2 &= 0,5\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}k_3 &= 3,4 * \left(\frac{25}{c}\right)^{2/3} \geq 3,4 \\ k_3 &= 3,4 * \left(\frac{25}{32}\right)^{2/3} \\ k_3 &= 2,88 \Rightarrow 3,4\end{aligned}$$

$$k_4 = 0,425$$

$$\begin{aligned}s_{r,max} &= k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff} \\ s_{r,max} &= 3,4 * 32 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 12 / 0,0079 \\ s_{r,max} &= \underline{\underline{365,8 \text{ mm}}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}w_k &= s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \\ w_k &= 365,8 * 0,000535 \\ w_k &= \underline{\underline{0,196 \text{ mm}}}\end{aligned}$$

$$w_k = 0,196 \text{ mm} \leq w_{max} = 0,2 \text{ mm} \dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

Trhliny od nesilových účinků – konstrukce s krystalizací – model K

V této variantě budeme postup opakovat stejně jako u předchozí varianty konstrukce bez krystalizace, ale již pro upravené dimenze jednotlivých prvků. Také zde při výpočtu $f_{ct,eff}$ využijeme druhý získaný koeficient z experimentální části, a to zvýšení koeficientu cementu na hodnotu 0,25.

V tomto případě si můžeme také dovolit ještě jednu výraznou úpravu, a to povolení maximální šířky trhliny na hodnotu 0,25 mm. Tuto úpravu si můžeme dovolit z důvodu, že výrobci krystalizace garantují vyplnění trhlin až do šířky 0,4 mm bez ohledu na tlak vody. V tomto

případě budeme ale konzervativnější a maximální šířku trhliny povolíme pouze na již zmiňovanou maximální hodnotu 0,25 mm.

Výpočet $f_{ct,eff}$

$$f_{ct,eff} = \beta_{cc}(t)^\alpha * f_{ctm}$$

$\beta_{cc}(t)$ – součinitel závisící na stáří betonu t (t=3 dny)

$$\begin{aligned} - \beta_{cc}(t) &= s * \left(1 - \sqrt{\frac{28}{t}}\right) \\ - \beta_{cc}(t) &= 0,25 * \left(1 - \sqrt{\frac{28}{3}}\right) = 0,598 \end{aligned}$$

s – koeficient cementu – použijeme redukovaný koeficient (hodnota pro cement N=0,25)

α – součinitel, který zohledňuje účinky na pevnost v tlaku, když $t \leq 28$ dní $\rightarrow 1$, jinak 0,67 ($\alpha=1$)

$$f_{ct,eff} = 0,598^1 * 2,9$$

$$f_{ct,eff} = \underline{\underline{1,73 \text{ MPa}}}$$

Ocel: B 500B

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 434,8 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

α_e – poměr pro výpočet veličin ideálního průřezu pro účinky krátkodobého zatížení

Namáhání od vynucených přetvoření se považuje za krátkodobé.

$$\alpha_e = \frac{200}{33}$$

$$\alpha_e = \underline{\underline{6,061}}$$

Základová deska

Povrch blíž exteriéru

Vyztužení:

Průměr výztužných prutů:

$$\varnothing = 12 \text{ mm}$$

Vzdálenost prutů:

$$s = 125 \text{ mm}$$

Krytí podélné betonářské výztuže:

$$c = 52 \text{ mm (pro povrch vrstvy výztuže dále od bednění)}$$

Plocha výztuže pro jednu vrstvu:

$$A_{s1} = 905 \text{ mm}^2$$

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvážením vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

$$\begin{aligned} \text{Plocha výztuže pro jeden povrch:} & \quad A_s = 1810 \text{ mm}^2 \\ \text{Účinná výška:} & \quad d = h - c - \frac{\emptyset}{2} \\ & \quad d = 400 - 52 - \frac{12}{2} \\ & \quad d = 342 \text{ mm} \end{aligned}$$

Výpočet šířky trhlin:

$$\begin{aligned} h_{c,eff} &= \min\{2,5(h - d); h/2\} \\ h_{c,eff} &= \min\{2,5(400 - 342); 400/2\} \\ h_{c,eff} &= \min\{145; 200\} \\ h_{c,eff} &= 145 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{ct,eff} &= h_{c,eff} * b \\ A_{ct,eff} &= 145 * 1000 \\ A_{ct,eff} &= 145\,000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{cb,eff} &= A_{ct,eff} \\ A_{cb,eff} &= 145\,000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{c,eff} &= A_{ct,eff} + A_{cb,eff} \\ A_{c,eff} &= 145\,000 + 145\,000 \\ A_{c,eff} &= 290\,000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{p,eff} &= \frac{A_s}{A_{c,eff}} \\ \rho_{p,eff} &= \frac{1810}{290000} \\ \rho_{p,eff} &= \underline{\underline{0,0062}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \frac{N_{kd}}{bh} \\ \sigma_c &= \frac{2500}{1000 * 400} \\ \sigma_c &= 0,00625 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_c &= 0,4 \left[1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \left(\frac{h}{h^*}\right) f_{ct,eff}} \right] \leq 1 \\ k_c &= 0,4 \left[1 - \frac{0,00625}{0,8 \left(\frac{400}{400}\right) 1,73} \right] \\ k_c &= 0,4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{ct} &= b * h \\ A_{ct} &= 400 * 1000 \\ A_{ct} &= 400\,000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma_s = \frac{k_c k f_{ct,eff} A_{ct}}{A_s} \leq 500 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = \frac{0,4 * 1,0 * 1,92 * 400000}{1810}$$

$$\sigma_s = \underline{\underline{152,9 \text{ MPa}}}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{152,9 - 0,6 \frac{1,73}{0,0062} (1 + 6,061 * 0,0062)}{200\,000}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \underline{\underline{0,000459}}$$

$$k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{c}\right)^{2/3} \geq 3,4$$

$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{52}\right)^{2/3}$$

$$k_3 = 2,087 \Rightarrow 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$

$$s_{r,max} = 3,4 * 52 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 12 / 0,0062$$

$$s_{r,max} = \underline{\underline{503,7 \text{ mm}}}$$

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$w_k = 503,7 * 0,000459$$

$$w_k = \underline{\underline{0,231 \text{ mm}}}$$

$$w_k = 0,231 \text{ mm} \leq w_{max} = 0,25 \text{ mm} \dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

Povrch blíže interiéru

Vyztužení:

Průměr výztužných prutů:

$$\phi = 12 \text{ mm}$$

Vzdálenost prutů:

$$s = 150 \text{ mm}$$

Krytí podélné betonářské výztuže:

$$c = 32 \text{ mm (pro povrch vrstvy výztuže dále od bednění)}$$

Plocha výztuže pro jednu vrstvu:

$$A_{s1} = 754 \text{ mm}^2$$

Plocha výztuže pro jeden povrch:

$$A_s = 1508 \text{ mm}^2$$

Účinná výška:

$$d = h - c - \frac{\phi}{2}$$

$$d = 400 - 32 - \frac{12}{2}$$

$$d = 362 \text{ mm}$$

Výpočet šířky trhlín:

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(h - d); h/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(400 - 362); 400/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{95; 200\}$$

$$h_{c,eff} = 95 \text{ mm}$$

$$A_{ct,eff} = h_{c,eff} * b$$

$$A_{ct,eff} = 95 * 1000$$

$$A_{ct,eff} = 95\,000 \text{ mm}^2$$

$$A_{cb,eff} = A_{ct,eff}$$

$$A_{cb,eff} = 95\,000 \text{ mm}^2$$

$$A_{c,eff} = A_{ct,eff} + A_{cb,eff}$$

$$A_{c,eff} = 95\,000 + 95\,000$$

$$A_{c,eff} = 190\,000 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{1508}{190000}$$

$$\rho_{p,eff} = \underline{\underline{0,0079}}$$

$$\sigma_c = \frac{N_{kd}}{bh}$$

$$\sigma_c = \frac{2500}{1000 * 400}$$

$$\sigma_c = 0,00625 \text{ MPa}$$

$$k_c = 0,4 \left[1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \left(\frac{h}{h^*}\right) f_{ct,eff}} \right] \leq 1$$

$$k_c = 0,4 \left[1 - \frac{0,00625}{0,8 \left(\frac{400}{400}\right) 1,73} \right]$$

$$k_c = 0,4$$

$$A_{ct} = b * h$$

$$A_{ct} = 400 * 1000$$

$$A_{ct} = 400\,000 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_s = \frac{k_c k f_{ct,eff} A_{ct}}{A_s} \leq 500 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = \frac{0,4 * 1,0 * 1,92 * 400000}{1508}$$

$$\sigma_s = \underline{\underline{183,6 \text{ MPa}}}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{183,6 - 0,6 \frac{1,73}{0,0079} (1 + 6,061 * 0,0079)}{200\ 000}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \mathbf{0,000551}$$

$$k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{c}\right)^{2/3} \geq 3,4$$

$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{32}\right)^{2/3}$$

$$k_3 = 2,88 \Rightarrow 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$

$$s_{r,max} = 3,4 * 32 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 12 / 0,0079$$

$$s_{r,max} = \mathbf{365,8\ mm}$$

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$w_k = 365,8 * 0,000551$$

$$w_k = \mathbf{0,201\ mm}$$

$$w_k = 0,201\ mm \leq w_{max} = 0,25\ mm \dots\dots\dots \mathbf{VYHOVUJE}$$

Suterénní stěny 3. PP

Povrch blíže exteriéru

Vyztužení:

Průměr výztužných prutů:	$\phi = 12\ mm$
Vzdálenost prutů:	$s = 125\ mm$
Krytí podélné betonářské výztuže:	$c = 52\ mm$ (pro povrch vrstvy výztuže dále od bednění)
Plocha výztuže pro jednu vrstvu:	$A_{s1} = 905\ mm^2$
Plocha výztuže pro jeden povrch:	$A_s = 1810\ mm^2$
Účinná výška:	$d = h - c - \frac{\phi}{2}$
	$d = 350 - 52 - \frac{12}{2}$
	$d = 292\ mm$

Výpočet šířky trhlin:

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(h - d); h/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(350 - 292); 350/2\}$$

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvážením vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

$$h_{c,eff} = \min\{145; 175\}$$

$$h_{c,eff} = 145 \text{ mm}$$

$$A_{ct,eff} = h_{c,eff} * b$$

$$A_{ct,eff} = 145 * 1000$$

$$A_{ct,eff} = 145\,000 \text{ mm}^2$$

$$A_{cb,eff} = A_{ct,eff}$$

$$A_{cb,eff} = 145\,000 \text{ mm}^2$$

$$A_{c,eff} = A_{ct,eff} + A_{cb,eff}$$

$$A_{c,eff} = 145\,000 + 145\,000$$

$$A_{c,eff} = 290\,000 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{1810}{290000}$$

$$\rho_{p,eff} = \underline{\underline{0,0062}}$$

$$\sigma_c = \frac{N_{kd}}{bh}$$

$$\sigma_c = \frac{512647}{1000 * 350}$$

$$\sigma_c = 1,465 \text{ MPa}$$

$$k_c = 0,4 \left[1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \left(\frac{h}{h^*} \right) f_{ct,eff}} \right] \leq 1$$

$$k_c = 0,4 \left[1 - \frac{1,465}{0,8 \left(\frac{350}{350} \right) 1,73} \right]$$

$$k_c = -0,023 \rightarrow \text{bezpečně opět } 0,4$$

$$A_{ct} = b * h$$

$$A_{ct} = 350 * 1000$$

$$A_{ct} = 350\,000 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_s = \frac{k_c k f_{ct,eff} A_{ct}}{A_s} \leq 500 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = \frac{0,4 * 1 * 1,73 * 350000}{1810}$$

$$\sigma_s = \underline{\underline{133,8 \text{ MPa}}}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{133,8 - 0,6 \frac{1,73}{0,0062} (1 + 6,061 * 0,0062)}{200\ 000}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \mathbf{0,000401}$$

$$k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{c}\right)^{2/3} \geq 3,4$$

$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{52}\right)^{2/3}$$

$$k_3 = 2,08 \Rightarrow 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$

$$s_{r,max} = 3,4 * 52 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 12 / 0,0062$$

$$s_{r,max} = \mathbf{503,7\ mm}$$

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$w_k = 503,7 * 0,000401$$

$$w_k = \mathbf{0,202\ mm}$$

$$w_k = \mathbf{0,202\ mm} \leq w_{max} = \mathbf{0,25\ mm} \dots\dots\dots \mathbf{VYHOVUJE}$$

Povrch blíže interiéru

Vyztužení:

Průměr výztužných prutů: $\phi = 12\ mm$

Vzdálenost prutů: $s = 175\ mm$

Krytí podélné betonářské výztuže: $c = 32\ mm$ (pro povrch vrstvy výztuže dále od bednění)

Plocha výztuže pro jednu vrstvu: $A_{s1} = 646\ mm^2$

Plocha výztuže pro jeden povrch: $A_s = 1292\ mm^2$

Účinná výška: $d = h - c - \frac{\phi}{2}$

$$d = 350 - 32 - \frac{12}{2}$$

$$d = 312\ mm$$

Výpočet šířky trhlin:

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(h - d); h/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(350 - 312); 350/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{95; 175\}$$

$$h_{c,eff} = 95\ mm$$

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvážením vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

$$\begin{aligned}A_{ct,eff} &= h_{c,eff} * b \\A_{ct,eff} &= 95 * 1000 \\A_{ct,eff} &= 95\,000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{cb,eff} &= A_{ct,eff} \\A_{cb,eff} &= 95\,000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{c,eff} &= A_{ct,eff} + A_{cb,eff} \\A_{c,eff} &= 95\,000 + 95\,000 \\A_{c,eff} &= 190\,000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{p,eff} &= \frac{A_s}{A_{c,eff}} \\ \rho_{p,eff} &= \frac{1292}{190000} \\ \rho_{p,eff} &= \underline{\underline{0,0068}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_c &= \frac{N_{kd}}{bh} \\ \sigma_c &= \frac{512647}{1000 * 350} \\ \sigma_c &= 1,465 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}k_c &= 0,4 \left[1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \left(\frac{h}{h^*} \right) f_{ct,eff}} \right] \leq 1 \\ k_c &= 0,4 \left[1 - \frac{1,465}{0,8 \left(\frac{350}{350} \right) 1,73} \right] \\ k_c &= -0,023 \rightarrow \text{bezpečně opět } 0,4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{ct} &= b * h \\ A_{ct} &= 350 * 1000 \\ A_{ct} &= 350\,000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_s &= \frac{k_c k f_{ct,eff} A_{ct}}{A_s} \leq 500 \text{ MPa} \\ \sigma_s &= \frac{0,4 * 1 * 1,92 * 350000}{1292} \\ \sigma_s &= \underline{\underline{187,5 \text{ MPa}}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) &= \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \\ (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) &= \frac{187,5 - 0,6 \frac{1,73}{0,0068} (1 + 6,061 * 0,0068)}{200\,000} \\ (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) &= \underline{\underline{0,000563}}\end{aligned}$$

$$k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{c}\right)^{2/3} \geq 3,4$$

$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{32}\right)^{2/3}$$

$$k_3 = 2,88 \Rightarrow 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$

$$s_{r,max} = 3,4 * 32 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 12 / 0,0068$$

$$s_{r,max} = \underline{\underline{408,8 \text{ mm}}}$$

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$w_k = 408,8 * 0,000563$$

$$w_k = \underline{\underline{0,23 \text{ mm}}}$$

$$w_k = 0,23 \text{ mm} \leq w_{max} = 0,25 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

Suterénní stěny 2. PP

Povrch blížie exteriéru

Vyztužení:

Průměr výztužných prutů:

$$\phi = 12 \text{ mm}$$

Vzdálenost prutů:

$$s = 150 \text{ mm}$$

Krytí podélné betonářské výztuže:

$$c = 52 \text{ mm (pro povrch vrstvy výztuže dále od bednění)}$$

Plocha výztuže pro jednu vrstvu:

$$A_{s1} = 754 \text{ mm}^2$$

Plocha výztuže pro jeden povrch:

$$A_s = 1508 \text{ mm}^2$$

Účinná výška:

$$d = h - c - \frac{\phi}{2}$$

$$d = 300 - 52 - \frac{12}{2}$$

$$d = 242 \text{ mm}$$

Výpočet šířky trhlin:

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(h - d); h/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(300 - 291); 300/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{145; 150\}$$

$$h_{c,eff} = 145 \text{ mm}$$

$$A_{ct,eff} = h_{c,eff} * b$$

$$A_{ct,eff} = 145 * 1000$$

$$A_{ct,eff} = 145 000 \text{ mm}^2$$

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvažováním vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

$$A_{cb,eff} = A_{ct,eff}$$

$$A_{cb,eff} = 145\,000 \text{ mm}^2$$

$$A_{c,eff} = A_{ct,eff} + A_{cb,eff}$$

$$A_{c,eff} = 145\,000 + 145\,000$$

$$A_{c,eff} = 290\,000 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{1508}{290000}$$

$$\rho_{p,eff} = \underline{\underline{0,0052}}$$

$$\sigma_c = \frac{N_{kd}}{bh}$$

$$\sigma_c = \frac{414297}{1000 * 300}$$

$$\sigma_c = 1,381 \text{ MPa}$$

$$k_c = 0,4 \left[1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \left(\frac{h}{h^*}\right) f_{ct,eff}} \right] \leq 1$$

$$k_c = 0,4 \left[1 - \frac{1,381}{0,8 \left(\frac{300}{300}\right) 1,73} \right]$$

$$k_c = 0,009 \rightarrow \text{bezpečně opět } 0,4$$

$$A_{ct} = b * h$$

$$A_{ct} = 300 * 1000$$

$$A_{ct} = 300\,000 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_s = \frac{k_c k f_{ct,eff} A_{ct}}{A_s} \leq 500 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = \frac{0,4 * 1 * 1,73 * 30000}{1508}$$

$$\sigma_s = \underline{\underline{137,7 \text{ MPa}}}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{137,7 - 0,6 \frac{1,73}{0,0052} (1 + 6,061 * 0,0052)}{200\,000}$$
$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \underline{\underline{0,000413}}$$

$$k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{c}\right)^{2/3} \geq 3,4$$

$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{52}\right)^{2/3}$$

$$k_3 = 2,08 \Rightarrow 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$

$$s_{r,max} = 3,4 * 52 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 12 / 0,0052$$

$$s_{r,max} = \underline{\underline{569,1 \text{ mm}}}$$

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$w_k = 569,1 * 0,000413$$

$$w_k = \underline{\underline{0,235 \text{ mm}}}$$

$$w_k = 0,235 \text{ mm} \leq w_{max} = 0,25 \text{ mm} \dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

Povrch blíže interiéru

Vyztužení:

Průměr výztužných prutů:

$$\phi = 10 \text{ mm}$$

Vzdálenost prutů:

$$s = 150 \text{ mm}$$

Krytí podélné betonářské výztuže:

$$c = 32 \text{ mm (pro povrch vrstvy výztuže dále od bednění)}$$

Plocha výztuže pro jednu vrstvu:

$$A_{s1} = 524 \text{ mm}^2$$

Plocha výztuže pro jeden povrch:

$$A_s = 1048 \text{ mm}^2$$

Účinná výška:

$$d = h - c - \frac{\phi}{2}$$

$$d = 300 - 32 - \frac{10}{2}$$

$$d = 263 \text{ mm}$$

Výpočet šířky trhlin:

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(h - d); h/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(300 - 263); 300/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{92,5; 150\}$$

$$h_{c,eff} = 92,5 \text{ mm}$$

$$A_{ct,eff} = h_{c,eff} * b$$

$$A_{ct,eff} = 92,5 * 1000$$

$$A_{ct,eff} = 92\,500 \text{ mm}^2$$

$$A_{cb,eff} = A_{ct,eff}$$

$$A_{cb,eff} = 92\,500 \text{ mm}^2$$

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvažováním vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

$$\begin{aligned}A_{c,eff} &= A_{ct,eff} + A_{cb,eff} \\A_{c,eff} &= 92\,500 + 92\,500 \\A_{c,eff} &= 185\,000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{p,eff} &= \frac{A_s}{A_{c,eff}} \\ \rho_{p,eff} &= \frac{1048}{185000} \\ \rho_{p,eff} &= \underline{\underline{0,0057}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_c &= \frac{N_{kd}}{bh} \\ \sigma_c &= \frac{414297}{1000 * 300} \\ \sigma_c &= 1,381 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}k_c &= 0,4 \left[1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \left(\frac{h}{h^*}\right) f_{ct,eff}} \right] \leq 1 \\ k_c &= 0,4 \left[1 - \frac{1,381}{0,8 \left(\frac{300}{300}\right) 1,73} \right] \\ k_c &= 0,009 \rightarrow \text{bezpečně opět } 0,4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{ct} &= b * h \\ A_{ct} &= 300 * 1000 \\ A_{ct} &= 300\,000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_s &= \frac{k_c k_f f_{ct,eff} A_{ct}}{A_s} \leq 500 \text{ MPa} \\ \sigma_s &= \frac{0,4 * 1 * 1,73 * 300000}{1048} \\ \sigma_s &= \underline{\underline{198,1 \text{ MPa}}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) &= \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \\ (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) &= \frac{198,1 - 0,6 \frac{1,73}{0,0057} (1 + 6,061 * 0,0057)}{200\,000} \\ (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) &= \underline{\underline{0,000594}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}k_1 &= 0,8 \\ k_2 &= 0,5\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}k_3 &= 3,4 * \left(\frac{25}{c}\right)^{2/3} \geq 3,4 \\ k_3 &= 3,4 * \left(\frac{25}{32}\right)^{2/3} \\ k_3 &= 2,88 \Rightarrow 3,4\end{aligned}$$

$$k_4 = 0,425$$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$

$$s_{r,max} = 3,4 * 32 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 10 / 0,0057$$

$$s_{r,max} = \underline{\underline{408,9 \text{ mm}}}$$

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$w_k = 408,9 * 0,000594$$

$$w_k = \underline{\underline{0,243 \text{ mm}}}$$

$$w_k = 0,243 \text{ mm} \leq w_{max} = 0,25 \text{ mm} \dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

Suterénní stěny 1. PP

Povrch blíže exteriéru

Vyztužení:

Průměr výztužných prutů:

$$\phi = 10 \text{ mm}$$

Vzdálenost prutů:

$$s = 125 \text{ mm}$$

Krytí podélné betonářské výztuže:

$$c = 52 \text{ mm (pro povrch vrstvy výztuže dále od bednění)}$$

Plocha výztuže pro jednu vrstvu:

$$A_{s1} = 628 \text{ mm}^2$$

Plocha výztuže pro jeden povrch:

$$A_s = 1256 \text{ mm}^2$$

Účinná výška:

$$d = h - c - \frac{\phi}{2}$$

$$d = 250 - 52 - \frac{10}{2}$$

$$d = 193 \text{ mm}$$

Výpočet šířky trhlin:

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(h - d); h/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(250 - 193); 250/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{142,5; 125\}$$

$$h_{c,eff} = 125 \text{ mm}$$

$$A_{ct,eff} = h_{c,eff} * b$$

$$A_{ct,eff} = 125 * 1000$$

$$A_{ct,eff} = 125\,000 \text{ mm}^2$$

$$A_{cb,eff} = A_{ct,eff}$$

$$A_{cb,eff} = 125\,000 \text{ mm}^2$$

$$A_{c,eff} = A_{ct,eff} + A_{cb,eff}$$

$$A_{c,eff} = 125\,000 + 125\,000$$

$$A_{c,eff} = 250\,000 \text{ mm}^2$$

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvažováním vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$
$$\rho_{p,eff} = \frac{1256}{250000}$$
$$\rho_{p,eff} = \underline{\underline{0,005}}$$

$$\sigma_c = \frac{N_{kd}}{bh}$$
$$\sigma_c = \frac{414297}{1000 * 250}$$
$$\sigma_c = 1,657 \text{ MPa}$$

$$k_c = 0,4 \left[1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \left(\frac{h}{h^*} \right) f_{ct,eff}} \right] \leq 1$$
$$k_c = 0,4 \left[1 - \frac{1,657}{0,8 \left(\frac{250}{250} \right) 1,73} \right]$$
$$k_c = -0,079 \rightarrow \text{bezpečně opět } 0,4$$

$$A_{ct} = b * h$$
$$A_{ct} = 250 * 1000$$
$$A_{ct} = 250\,000 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_s = \frac{k_c k f_{ct,eff} A_{ct}}{A_s} \leq 500 \text{ MPa}$$
$$\sigma_s = \frac{0,4 * 1 * 1,73 * 25000}{1256}$$
$$\sigma_s = \underline{\underline{137,7 \text{ MPa}}}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s}$$
$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{137,7 - 0,6 \frac{1,73}{0,005} (1 + 6,061 * 0,005)}{200\,000}$$
$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \underline{\underline{0,000413}}$$

$$k_1 = 0,8$$
$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{c} \right)^{2/3} \geq 3,4$$
$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{52} \right)^{2/3}$$
$$k_3 = 2,08 \Rightarrow 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$

$$s_{r,max} = 3,4 * 52 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 10 / 0,005$$

$$s_{r,max} = \underline{\underline{515,2 \text{ mm}}}$$

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$w_k = 515,2 * 0,000413$$

$$w_k = \underline{\underline{0,213 \text{ mm}}}$$

$$w_k = 0,213 \text{ mm} \leq w_{max} = 0,25 \text{ mm} \dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

Povrch blíže interiéru

Vyztužení:

Průměr výztužných prutů:	$\phi = 10 \text{ mm}$
Vzdálenost prutů:	$s = 150 \text{ mm}$
Krytí podélné betonářské výztuže:	$c = 32 \text{ mm}$ (pro povrch vrstvy výztuže dále od bednění)
Plocha výztuže pro jednu vrstvu:	$A_{s1} = 524 \text{ mm}^2$
Plocha výztuže pro jeden povrch:	$A_s = 1048 \text{ mm}^2$
Účinná výška:	$d = h - c - \frac{\phi}{2}$
	$d = 250 - 32 - \frac{10}{2}$
	$d = 213 \text{ mm}$

Výpočet šířky trhlín:

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(h - d); h/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(250 - 213); 250/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{92,5; 125\}$$

$$h_{c,eff} = 92,5 \text{ mm}$$

$$A_{ct,eff} = h_{c,eff} * b$$

$$A_{ct,eff} = 92,5 * 1000$$

$$A_{ct,eff} = 92\,500 \text{ mm}^2$$

$$A_{cb,eff} = A_{ct,eff}$$

$$A_{cb,eff} = 92\,500 \text{ mm}^2$$

$$A_{c,eff} = A_{ct,eff} + A_{cb,eff}$$

$$A_{c,eff} = 92\,500 + 92\,500$$

$$A_{c,eff} = 185\,000 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{1048}{185000}$$

$$\rho_{p,eff} = \underline{\underline{0,0057}}$$

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvážením vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

$$\sigma_c = \frac{N_{kd}}{bh}$$
$$\sigma_c = \frac{414297}{1000 * 250}$$
$$\sigma_c = 1,657 \text{ MPa}$$

$$k_c = 0,4 \left[1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \left(\frac{h}{h^*} \right) f_{ct,eff}} \right] \leq 1$$

$$k_c = 0,4 \left[1 - \frac{1,657}{0,8 \left(\frac{250}{250} \right) 1,73} \right]$$

$$k_c = 0,009 \rightarrow \text{bezpečně opět } 0,4$$

$$A_{ct} = b * h$$

$$A_{ct} = 250 * 1000$$

$$A_{ct} = 250\,000 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_s = \frac{k_c k f_{ct,eff} A_{ct}}{A_s} \leq 500 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = \frac{0,4 * 1 * 1,73 * 250000}{1048}$$

$$\sigma_s = \underline{\underline{165,1 \text{ MPa}}}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{165,1 - 0,6 \frac{1,73}{0,0057} (1 + 6,061 * 0,0057)}{200\,000}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \mathbf{0,000495}$$

$$k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{c} \right)^{2/3} \geq 3,4$$

$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{32} \right)^{2/3}$$

$$k_3 = 2,88 \Rightarrow 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$

$$s_{r,max} = 3,4 * 32 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 10 / 0,0057$$

$$s_{r,max} = \underline{\underline{408,9 \text{ mm}}}$$

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$w_k = 408,9 * 0,000495$$

$$w_k = \underline{\underline{0,203 \text{ mm}}}$$

$$w_k = 0,203 \text{ mm} \leq w_{max} = 0,25 \text{ mm} \dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

Ověření minimálního množství nutné výztuže od silových účinků

V této fázi ověříme, zda navržená výztuž na nesilové účinky vyhoví i na účinky silové. Pro každou tloušťku konstrukce spočteme maximální moment, při kterém nevznikají trhliny a navrheme potřebné zesílení výztuže. Výpočet bude proveden pouze pro několik typických míst, ostatní potřebná místa pro zesílení jsou řešena ve výkresech výztuže (přílohy číslo 10-21) adekvátním zvýšením plochy výztuže. Vnitřní síly jsou uvedeny ve statickém výpočtu (příloha 1), včetně minimálních potřebných ploch výztuže pro silové účinky navržených pomocí přídavného modulu RF – CONCRETE Surfaces.

Po zhodnocení výsledků můžeme konstatovat, že ve většině případů výztuž navržená na nesilové účinky vyhoví. Což je jev, který byl zjištěn už v bakalářské práci. Lokální extrémy, které při výpočtu metodou konečných prvků vznikají, jsou způsobeny nedostatečnou jemností sítě prvků v daném místě. Na chování konstrukce ani na návrh výztuže ale nebudou vliv.

Omezení trhlín bez přímého výpočtu šířky trhlín

Jako první se spočte kritický moment, při kterém vznikají trhliny. Pokud vzniknou, tak se následně ověří, zda nepřekročí námi definovanou maximální hodnotu (0,2/0,25 mm). Protože se jedná o MSP, uvažují se charakteristické hodnoty zatížení. Pro výpočet byla zvolena metoda „Omezení trhlín bez přímého výpočtu šířky trhlín“, která sice není tak přesná jako výpočet „Mezního přetvoření“, ale vzhledem k tomu, že výpočet šířky trhlín není reálně zcela přesný, je i tak velmi vhodný.

Nejprve se musí maximální moment porovnat s kritickým momentem, aby se zjistilo, zda trhliny vůbec vzniknou. Pokud tato podmínka nevyhoví, bude následně dopočítána konkrétní šířka trhliny. [16] [17] [18]

Parametry průřezu bez trhlín:

$$A_i = A_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} + A_{s2})$$

$$a_{gi} = [A_c a_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} d + A_{s2} d_2)] / A_i$$

$$I_i = I_c + A_c (a_{gi} - a_c)^2 + (\alpha_e - 1) [A_{s1} (d - a_{gi})^2 + A_{s2} (d - d_2)^2]$$

A_c - plocha betonového průřezu

A_{s1} - průřezová plocha dolní betonářské výztuže

A_{s2} - průřezová plocha horní betonářské výztuže

a_c - vzdálenost těžiště průřezu od okraje

I_c - moment setrvačnosti průřezu k těžišťové ose

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvažováním vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

$$\sigma_{c2} = -\frac{M_k}{I_i} a_{gi}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{M_k}{I_i} (h - a_{gi})$$

σ_{c1} - napětí v betonu v dolních vláknech

σ_{c2} - napětí v betonu v horních vláknech

$$M_{cr} = \frac{f_{ctm} * I_i}{h - a_{gi}}$$

M_{cr} – kritický moment, moment na vzniku trhlin

Pokud je $M_{cr} \leq M_k$, trhliny nevzniknou a není třeba pokračovat ve výpočtu průřezu s trhlínami.

Parametry průřezu s trhlínami:

- výška tlačené části průřezu

$$x = \frac{\alpha_e}{b} (A_{s1} + A_{s2}) \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2b A_{s1}d + A_{s2}d_2}{\alpha_e (A_{s1} + A_{s2})^2}} \right]$$

- moment setrvačnosti trhlínou oslabeného průřezu

$$I_{ir} = \frac{1}{3} b x^3 + \alpha_e [A_{s1} (d - x)^2 + A_{s2} (x - d_2)^2]$$

- napětí extrémně namáhaných vláken tlačeního betonu (výztuže)

$$\sigma_c = -\frac{M_k}{I_{ir}} x$$

$$\sigma_s = \alpha_e \frac{M_k}{I_{ir}} (d - x)$$

Výpočet šířky trhlín

$w_k = s_{r,max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$

w_k - charakteristická šířka trhlín

$s_{r,max}$ - maximální vzdálenost trhlín

ϵ_{sm} - průměrná hodnota poměrného přetvoření výztuže při příslušné kombinaci

ϵ_{cm} - průměrná hodnota přetvoření betonu mezi trhlínami

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s}$$

σ_s - napětí v tahové výztuži stanovené v průřezu porušeném trhlinou

k_t – součinitel závisící na době trvání zatížení ($k_t=0,6$ pro krátkodobé a $0,4$ pro dlouhodobé zatížení)

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

- $A_{c,eff}$ - plocha betonu v tažené oblasti průřezu
- $A_{c,eff} = h_{c,eff} * b$ - účinná tažená plocha u horního povrchu
- $h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5(h - d); \frac{h}{2}; \frac{h-x}{3} \right\}$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$

k_1 – součinitel zohledňující vlastnosti soudržné výztuže (žebírková betonářská výztuž = 0, 8)

k_2 – součinitel zohledňující poměrné přetvoření (ohyb = 0, 5; prostý tah = 1)

k_3 – uvažuje se roven 3, 4

k_4 – uvažuje se roven 0, 425

c – betonová krycí vrstva podélné výztuže [17]

Nyní je nutné pro všechny dimenze konstrukcí a jejich vyztužení spočítat hodnotu kritického momentu. Následně se hodnota kritického momentu porovná s hodnotami vypočtenými softwarem Dlubal. Pokud tato podmínka nevyhoví, ověří se následně velikost trhliny a případně se upraví vyztužení.

Konstrukce bez krystalizace – model B

Základová deska

Geometrie:

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$c_1 = 40 \text{ mm}$$

$$c_2 = 25 \text{ mm}$$

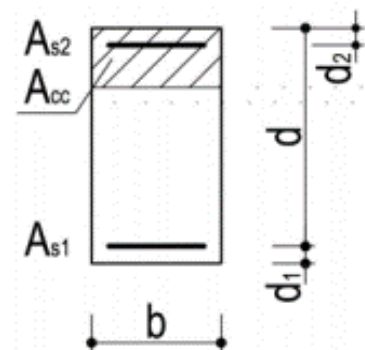
$$d_1 = 48 \text{ mm}$$

$$d_2 = 32 \text{ mm}$$

$$d = 452 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 1608 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 1026 \text{ mm}^2$$



Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvážením vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

Parametry průřezu bez trhlin:

$$A_i = A_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} + A_{s2})$$
$$A_i = 500 * 1000 + (6,061 - 1)(1608 + 1026)$$
$$A_i = 515\,964 \text{ mm}^2$$

$$a_{gi} = [A_c a_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} d + A_{s2} d_2)] / A_i$$
$$a_{gi} = \left[500 * 1000 * \frac{500}{2} + (6,061 - 1)(1608 * 452 + 1026 * 32) \right] / 515964$$
$$a_{gi} = 251,19 \text{ mm}$$

$$I_i = I_c + A_c (a_{gi} - a_c)^2 + (\alpha_e - 1) [A_{s1} (d - a_{gi})^2 + A_{s2} (d - d_2)^2]$$
$$I_i = \frac{1}{12} * 1000 * 500^3 + 500 * 1000 (251,19 - \frac{500}{2})^2$$
$$+ (6,061 - 1) [1608 (452 - 251,19)^2 + 1026 (452 - 32)^2]$$
$$I_i = 11109104738 \text{ mm}^3$$

$$M_{cr} = \frac{f_{ctm} * I_i}{h - a_{gi}}$$
$$M_{cr} = \frac{2,9 * 11109104738}{500 - 251,19}$$
$$M_{cr} = 129,48 \text{ kNm/m}$$

Stěny 3. PP

Geometrie:

$$h = 400 \text{ mm}$$
$$b = 1000 \text{ mm}$$
$$c_1 = 40 \text{ mm}$$
$$c_2 = 25 \text{ mm}$$
$$d_1 = 47 \text{ mm}$$
$$d_2 = 31 \text{ mm}$$
$$d = 353 \text{ mm}$$
$$A_{s1} = 1232 \text{ mm}^2$$
$$A_{s2} = 905 \text{ mm}^2$$

Parametry průřezu bez trhlin:

$$A_i = A_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} + A_{s2})$$
$$A_i = 400 * 1000 + (6,061 - 1)(1232 + 905)$$
$$A_i = 412\,939 \text{ mm}^2$$

$$a_{gi} = [A_c a_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} d + A_{s2} d_2)] / A_i$$
$$a_{gi} = \left[400 * 1000 * \frac{400}{2} + (6,061 - 1)(1232 * 353 + 905 * 32) \right] / 412939$$
$$a_{gi} = 200,52 \text{ mm}$$

$$I_i = I_c + A_c(a_{gi} - a_c)^2 + (\alpha_e - 1)[A_{s1}(d - a_{gi})^2 + A_{s2}(d - d_2)^2]$$

$$I_i = \frac{1}{12} * 1000 * 400^3 + 400 * 1000(200,52 - \frac{400}{2})^2 + (6,061 - 1)[1608(353 - 200,52)^2 + 905(353 - 32)^2]$$

$$I_i = 5664345798 \text{ mm}^3$$

$$M_{cr} = \frac{f_{ctm} * I_i}{h - a_{gi}}$$

$$M_{cr} = \frac{2,9 * 5664345798}{400 - 201,05}$$

$$M_{cr} = 82,35 \text{ kNm/m}$$

Stěny 2. PP + 1. PP

Geometrie:

$$h = 350 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$c_1 = 40 \text{ mm}$$

$$c_2 = 25 \text{ mm}$$

$$d_1 = 47 \text{ mm}$$

$$d_2 = 31 \text{ mm}$$

$$d = 303 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 1232 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 754 \text{ mm}^2$$

Parametry průřezu bez trhlin:

$$A_i = A_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} + A_{s2})$$

$$A_i = 350 * 1000 + (6,061 - 1)(1232 + 754)$$

$$A_i = 362024 \text{ mm}^2$$

$$a_{gi} = [A_c a_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} d + A_{s2} d_2)] / A_i$$

$$a_{gi} = \left[350 * 1000 * \frac{350}{2} + (6,061 - 1)(1232 * 303 + 754 * 31) \right] / 362024$$

$$a_{gi} = 175,82 \text{ mm}$$

$$I_i = I_c + A_c(a_{gi} - a_c)^2 + (\alpha_e - 1)[A_{s1}(d - a_{gi})^2 + A_{s2}(d - d_2)^2]$$

$$I_i = \frac{1}{12} * 1000 * 350^3 + 350 * 1000(175,82 - \frac{350}{2})^2 + (6,061 - 1)[1232(303 - 175,82)^2 + 754(303 - 31)^2]$$

$$I_i = 3789537841 \text{ mm}^3$$

$$M_{cr} = \frac{f_{ctm} * I_i}{h - a_{gi}}$$

$$M_{cr} = \frac{2,9 * 3789537841}{350 - 175,82}$$

$$M_{cr} = 63,09 \text{ kNm/m}$$

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvažováním vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

Konstrukce s krystalizací – model K

Základová deska

Geometrie:

$$\begin{aligned}h &= 400 \text{ mm} \\b &= 1000 \text{ mm} \\c_1 &= 40 \text{ mm} \\c_2 &= 25 \text{ mm} \\d_1 &= 46 \text{ mm} \\d_2 &= 31 \text{ mm} \\d &= 354 \text{ mm} \\A_{s1} &= 905 \text{ mm}^2 \\A_{s2} &= 754 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Parametry průřezu bez trhlin:

$$\begin{aligned}A_i &= A_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} + A_{s2}) \\A_i &= 400 * 1000 + (6,061 - 1)(905 + 754) \\A_i &= 410042 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a_{gi} &= [A_c a_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} d + A_{s2} d_2)] / A_i \\a_{gi} &= \left[400 * 1000 * \frac{400}{2} + (6,061 - 1)(905 * 354 + 754 * 31) \right] / 410042 \\a_{gi} &= 200,18 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I_i &= I_c + A_c (a_{gi} - a_c)^2 + (\alpha_e - 1) [A_{s1} (d - a_{gi})^2 + A_{s2} (d - d_2)^2] \\I_i &= \frac{1}{12} * 1000 * 400^3 + 400 * 1000 (200,18 - \frac{400}{2})^2 \\&\quad + (6,061 - 1) [905 (354 - 200,18)^2 + 754 (354 - 31)^2] \\I_i &= 5593597474 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{cr} &= \frac{f_{ctm} * I_i}{h - a_{gi}} \\M_{cr} &= \frac{2,9 * 5593597474}{400 - 200,18} \\M_{cr} &= 81,18 \text{ kNm/m}\end{aligned}$$

Stěny 3. PP

Geometrie:

$$\begin{aligned}h &= 350 \text{ mm} \\b &= 1000 \text{ mm} \\c_1 &= 40 \text{ mm} \\c_2 &= 25 \text{ mm} \\d_1 &= 46 \text{ mm} \\d_2 &= 31 \text{ mm} \\d &= 304 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$A_{s1} = 905 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 646 \text{ mm}^2$$

Parametry průřezu bez trhlin:

$$A_i = A_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} + A_{s2})$$

$$A_i = 350 * 1000 + (6,061 - 1)(905 + 646)$$

$$A_i = 359394 \text{ mm}^2$$

$$a_{gi} = [A_c a_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} d + A_{s2} d_2)] / A_i$$

$$a_{gi} = \left[350 * 1000 * \frac{350}{2} + (6,061 - 1)(905 * 304 + 646 * 31) \right] / 359394$$

$$a_{gi} = 175,4 \text{ mm}$$

$$I_i = I_c + A_c (a_{gi} - a_c)^2 + (\alpha_e - 1) [A_{s1} (d - a_{gi})^2 + A_{s2} (d - d_2)^2]$$

$$I_i = \frac{1}{12} * 1000 * 350^3 + 350 * 1000 \left(175,4 - \frac{350}{2} \right)^2 + (6,061 - 1) [905 (304 - 175,4)^2 + 646 (304 - 31)^2]$$

$$I_i = 3745216873 \text{ mm}^3$$

$$M_{cr} = \frac{f_{ctm} * I_i}{h - a_{gi}}$$

$$M_{cr} = \frac{2,9 * 3745216873}{350 - 175,4}$$

$$M_{cr} = 62,21 \text{ kNm/m}$$

Stěny 2. PP

Geometrie:

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$c_1 = 40 \text{ mm}$$

$$c_2 = 25 \text{ mm}$$

$$d_1 = 46 \text{ mm}$$

$$d_2 = 30 \text{ mm}$$

$$d = 254 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 754 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 524 \text{ mm}^2$$

Parametry průřezu bez trhlin:

$$A_i = A_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} + A_{s2})$$

$$A_i = 300 * 1000 + (6,061 - 1)(754 + 524)$$

$$A_i = 307733 \text{ mm}^2$$

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvážením vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

$$a_{gi} = [A_c a_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} d + A_{s2} d_2)] / A_i$$

$$a_{gi} = \left[300 * 1000 * \frac{300}{2} + (6,061 - 1)(754 * 254 + 524 * 30) \right] / 307733$$

$$a_{gi} = 150,31 \text{ mm}$$

$$I_i = I_c + A_c (a_{gi} - a_c)^2 + (\alpha_e - 1) [A_{s1} (d - a_{gi})^2 + A_{s2} (d - d_2)^2]$$

$$I_i = \frac{1}{12} * 1000 * 300^3 + 300 * 1000 (150,31 - \frac{300}{2})^2 + (6,061 - 1) [754 (254 - 150,31)^2 + 524 (254 - 30)^2]$$

$$I_i = 2344975058 \text{ mm}^3$$

$$M_{cr} = \frac{f_{ctm} * I_i}{h - a_{gi}}$$

$$M_{cr} = \frac{2,9 * 2344975058}{300 - 150,31}$$

$$M_{cr} = 45,43 \text{ kNm/m}$$

Stěny 1. PP

Geometrie:

$$h = 250 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$c_1 = 40 \text{ mm}$$

$$c_2 = 25 \text{ mm}$$

$$d_1 = 45 \text{ mm}$$

$$d_2 = 30 \text{ mm}$$

$$d = 205 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 628 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 524 \text{ mm}^2$$

Parametry průřezu bez trhlin:

$$A_i = A_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} + A_{s2})$$

$$A_i = 250 * 1000 + (6,061 - 1)(628 + 524)$$

$$A_i = 256976 \text{ mm}^2$$

$$a_{gi} = [A_c a_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} d + A_{s2} d_2)] / A_i$$

$$a_{gi} = \left[250 * 1000 * \frac{250}{2} + (6,061 - 1)(628 * 205 + 524 * 30) \right] / 256976$$

$$a_{gi} = 125,01 \text{ mm}$$

$$I_i = I_c + A_c (a_{gi} - a_c)^2 + (\alpha_e - 1) [A_{s1} (d - a_{gi})^2 + A_{s2} (d - d_2)^2]$$

$$I_i = \frac{1}{12} * 1000 * 250^3 + 250 * 1000 (125,01 - \frac{250}{2})^2 + (6,061 - 1) [628 (205 - 125,01)^2 + 524 (205 - 30)^2]$$

$$I_i = 1355048592 \text{ mm}^3$$

$$M_{cr} = \frac{f_{ctm} * I_i}{h - a_{gi}}$$

$$M_{cr} = \frac{2,9 * 1355048592}{250 - 125,01}$$

$$M_{cr} = 31,44 \text{ kNm/m}$$

Výpočtem jsme pro jednotlivé tloušťky konstrukce a jejich vyztužení zjistili maximální přípustné momenty, kdy nebudou vznikat trhliny. Tyto maximální přípustné hodnoty jsme poté porovnali s hodnotami z výpočtového modelu. Pokud se ve výsledcích objeví moment větší, je třeba ověřit, zda se nejedná o extrém, způsobený nedostatečnou jemností sítě prvků, který nebude mít na konstrukci vliv. V případě, že bude překročení hodnoty kritického momentu zásadní, je třeba postupovat podle uvedeného postupu pro výpočet šířky trhlin. [11]

Po analýze výsledků zjistíme, že ve většině případů navržená výztuž téměř vždy vyhoví. Maximální a minimální hodnoty stupnice výsledků nemůžeme brát vždy jako hodnoty pro návrh. Je třeba vždy ověřit, zda se nejedná o lokální extrémy způsobené stykem konstrukčních prvků nebo nedostatečně jemným modelováním výpočtového modelu.

Obvodové stěny obou variant modelu po zhodnocení výsledků vyhoví ve všech místech na navrženou výztuž na nesilové účinky. Drobné lokální extrémy ve stěnách 3. PP a 1. PP neovlivní návrh výztuže, protože se objevují na ploše několika centimetrů čtverečních nebo nad lokálně definovanými podporami. Stěny 2. PP nevykazují žádné extrémy.

Nejsložitější je situace v základové desce. Zde dochází kvůli navrženým hlavicím o tloušťce 900 mm k prudké změně průřezu a v těchto místech vznikají nelinearity. V tomto případě ale musíme vzít v úvahu, že se jedná o silně namáhaná místa a ověřit tak vznik trhlin při tomto namáhání a pravděpodobně zesílit vyztužení. Podobná je situace i v některých polích mezi sloupy. Byla vybrána tato kritická místa – hlavice sloupu na osách B-1, místo v poli pod stěnou na ose C-4 a místo nad pilotou mezi osami A a B a 1 a 2. Pro tyto případy bude provedeno ověření minimálního množství výztuže od silových účinků pro přípustnou šířku trhliny pro každé místo zvlášť. Zároveň bude porovnáno vyztužení potřebné pro stejná místa konstrukce a pro stejné momenty v závislosti na rozdílných dimenzích (pouze pro desku pod stěnou a pro místo nad pilotou, hlavice pod sloupem je v obou případech stejné tloušťky).

Hlavice sloupu na osách B-1 – model B

$$M_k = 680 \text{ kNm}$$

Pro toto místo byly k základnímu rastru výztuže na posuzované straně exteriéru ($\varnothing 16/125$) přiloženy příložky $\varnothing 20/125$ a bylo provedeno posouzení, zda vyhoví na maximální přípustnou šířku trhliny.

Geometrie:

$$h = 900 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvažováním vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

$$c_1 = 40 \text{ mm}$$

$$c_2 = 25 \text{ mm}$$

$$d_1 = 48 \text{ mm}$$

$$d_2 = 32 \text{ mm}$$

$$d = 852 \text{ mm}$$

$$\text{Základní rastr} - A_{s1,1} = 1608 \text{ mm}^2$$

$$\text{Příložky} - A_{s1,2} = 2513 \text{ mm}^2$$

$$\text{Celkem pro } A_{s1} = 4121 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 1026 \text{ mm}^2$$

Parametry průřezu bez trhlin:

$$A_i = A_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} + A_{s2})$$

$$A_i = 900 * 1000 + (6,061 - 1)(4121 + 1026)$$

$$A_i = 931\,194 \text{ mm}^2$$

$$a_{gi} = [A_c a_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} d + A_{s2} d_2)] / A_i$$

$$a_{gi} = \left[900 * 1000 * \frac{900}{2} + (6,061 - 1)(4121 * 852 + 1026 * 32) \right] / 931\,194$$

$$a_{gi} = 457,99 \text{ mm}$$

$$I_i = I_c + A_c (a_{gi} - a_c)^2 + (\alpha_e - 1) [A_{s1} (d - a_{gi})^2 + A_{s2} (d - d_2)^2]$$

$$I_i = \frac{1}{12} * 1000 * 900^3 + 900 * 1000 \left(457,99 - \frac{900}{2} \right)^2 + (6,061 - 1) [4121 (852 - 457,99)^2 + 1026 (852 - 32)^2]$$

$$I_i = 658\,131\,873\,89 \text{ mm}^3$$

$$M_{cr} = \frac{f_{ctm} * I_i}{h - a_{gi}}$$

$$M_{cr} = \frac{2,9 * 658\,131\,873\,89}{900 - 457,99}$$

$$M_{cr} = 431,80 \text{ kNm/m}$$

Parametry průřezu bez trhlin:

$$\sigma_{c2} = - \frac{M_k}{I_i} a_{gi}$$

$$\sigma_{c2} = - \frac{680}{658\,131\,873\,89} 457,99$$

$$\sigma_{c2} = -4,73 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{M_k}{I_i} (h - a_{gi})$$

$$\sigma_{c1} = \frac{680}{658\,131\,873\,89} (900 - 457,99)$$

$$\sigma_{c1} = 4,57 \text{ MPa}$$

Parametry průřezu s trhlinami:

$$x = \frac{\alpha_e}{b} (A_{s1} + A_{s2}) \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2b A_{s1}d + A_{s2}d_2}{\alpha_e (A_{s1} + A_{s2})^2}} \right]$$

$$x = \frac{6,061}{1000} (4121 + 1026) \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 * 1000}{6,061} * \frac{4121 * 852 + 1026 * 32}{(4121 + 1026)^2}} \right]$$

$$x = 178,4 \text{ mm}$$

$$I_{ir} = \frac{1}{3} b x^3 + \alpha_e [A_{s1} (d - x)^2 + A_{s2} (x - d_2)^2]$$

$$I_{ir} = \frac{1}{3} 1000 * 178,4^3 + 6,061 [4121 (852 - 178,4)^2 + 1026 (178,4 - 32)^2]$$

$$I_{ir} = 13358317793 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_c = -\frac{M_k}{I_{ir}} x$$

$$\sigma_c = -\frac{680}{13358317793} 178,4$$

$$\sigma_c = -9,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = \alpha_e \frac{M_k}{I_{ir}} (d - x)$$

$$\sigma_s = 6,061 \frac{680}{13358317793} (852 - 178,4)$$

$$\sigma_s = 207,8 \text{ MPa}$$

$$h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5(h - d); \frac{h}{2}; \frac{h - x}{3} \right\}$$

$$h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5(900 - 852); \frac{900}{2}; \frac{900 - 178,4}{3} \right\}$$

$$h_{c,eff} = \min \{ 120; 450; 240,533 \}$$

$$h_{c,eff} = 120 \text{ mm}$$

$$A_{c,eff} = h_{c,eff} * b$$

$$A_{c,eff} = 120 * 1000$$

$$A_{c,eff} = 120\,000 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_{s1}}{A_{c,eff}}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{4121}{120000}$$

$$\rho_{p,eff} = \underline{\underline{0,0343}}$$

$$k_t = 0,4$$

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvažováním vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s}$$
$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{207,8 - 0,4 \frac{2,9}{0,0343} (1 + 6,061 * 0,0343)}{200\,000}$$
$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \mathbf{0,835}$$

$$k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$

$$s_{r,max} = 3,4 * 40 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 16 / 0,0343$$

$$s_{r,max} = \mathbf{215\,mm}$$

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$w_k = 215 * 0,835$$

$$w_k = \mathbf{0,180\,mm}$$

$$w_k = 0,180\,mm \leq w_{max} = 0,2\,mm \dots\dots\dots \mathbf{VYHOVUJE}$$

Hlavice sloupu na osách B-1 – model K

$$M_k = 680\,kNm$$

Pro toto místo byly k základnímu rastru výztuže na posuzované straně exteriéru ($\phi 12/125$) přiloženy příložky $\phi 20/150$ a bylo provedeno posouzení, zda vyhoví na maximální přípustnou šířku trhliny.

Geometrie:

$$h = 900\,mm$$

$$b = 1000\,mm$$

$$c_1 = 40\,mm$$

$$c_2 = 25\,mm$$

$$d_1 = 46\,mm$$

$$d_2 = 31\,mm$$

$$d = 854\,mm$$

$$\text{Základní rastr} - A_{s1,1} = 905\,mm^2$$

$$\text{Příložky} - A_{s1,2} = 2095\,mm^2$$

$$\text{Celkem pro } A_{s1} = 2998\,mm^2$$

$$A_{s2} = 754\,mm^2$$

Parametry průřezu bez trhlin:

$$A_i = A_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} + A_{s2})$$

$$A_i = 900 * 1000 + (6,061 - 1)(2998 + 754)$$

$$A_i = 922\,733\text{ mm}^2$$

$$a_{gi} = [A_c a_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} d + A_{s2} d_2)] / A_i$$

$$a_{gi} = \left[900 * 1000 * \frac{900}{2} + (6,061 - 1)(2998 * 854 + 754 * 31) \right] / 922\,733$$

$$a_{gi} = 455,88\text{ mm}$$

$$I_i = I_c + A_c (a_{gi} - a_c)^2 + (\alpha_e - 1) [A_{s1} (d - a_{gi})^2 + A_{s2} (d - d_2)^2]$$

$$I_i = \frac{1}{12} * 1000 * 900^3 + 900 * 1000 (455,88 - \frac{900}{2})^2$$

$$+ (6,061 - 1) [2998 (854 - 455,88)^2 + 754 (854 - 31)^2]$$

$$I_i = 644\,848\,468\,55\text{ mm}^3$$

$$M_{cr} = \frac{f_{ctm} * I_i}{h - a_{gi}}$$

$$M_{cr} = \frac{2,9 * 644\,848\,468\,55}{900 - 455,88}$$

$$M_{cr} = 421,07\text{ kNm/m}$$

Parametry průřezu bez trhlin:

$$\sigma_{c2} = - \frac{M_k}{I_i} a_{gi}$$

$$\sigma_{c2} = - \frac{680}{644\,848\,468\,55} 455,88$$

$$\sigma_{c2} = -4,81\text{ MPa}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{M_k}{I_i} (h - a_{gi})$$

$$\sigma_{c1} = \frac{680}{644\,848\,468\,55} (900 - 455,88)$$

$$\sigma_{c1} = 4,68\text{ MPa}$$

Parametry průřezu s trhlinami:

$$x = \frac{\alpha_e}{b} (A_{s1} + A_{s2}) \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2b A_{s1} d + A_{s2} d_2}{\alpha_e (A_{s1} + A_{s2})^2}} \right]$$

$$x = \frac{6,061}{1000} (2998 + 754) \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 * 1000}{6,061} * \frac{2998 * 854 + 754 * 31}{(2998 + 754)^2}} \right]$$

$$x = 155,7\text{ mm}$$

$$I_{ir} = \frac{1}{3} b x^3 + \alpha_e [A_{s1} (d - x)^2 + A_{s2} (x - d_2)^2]$$

$$I_{ir} = \frac{1}{3} 1000 * 155,7^3 + 6,061 [2998 (854 - 155,7)^2 + 754 (155,7 - 31)^2]$$

$$I_{ir} = 101\,891\,103\,01\text{ mm}^3$$

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvažováním vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

$$\sigma_c = -\frac{M_k}{I_{ir}} x$$
$$\sigma_c = -\frac{680}{10189110301} 155,7$$
$$\sigma_c = -10,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = \alpha_e \frac{M_k}{I_{ir}} (d - x)$$
$$\sigma_s = 6,061 \frac{680}{10189110301} (854 - 155,7)$$
$$\sigma_s = 282,4 \text{ MPa}$$

$$h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5(h - d); \frac{h}{2}; \frac{h - x}{3} \right\}$$
$$h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5(900 - 854); \frac{900}{2}; \frac{900 - 155,7}{3} \right\}$$
$$h_{c,eff} = \min \{ 115; 450; 248,1 \}$$
$$h_{c,eff} = 115 \text{ mm}$$

$$A_{c,eff} = h_{c,eff} * b$$
$$A_{c,eff} = 115 * 1000$$
$$A_{ct,eff} = 115 000 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_{s1}}{A_{c,eff}}$$
$$\rho_{p,eff} = \frac{2998}{115000}$$
$$\rho_{p,eff} = \underline{\underline{0,0261}}$$

$$k_t = 0,4$$
$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s}$$
$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{282,4 - 0,4 \frac{2,9}{0,0261} (1 + 6,061 * 0,0261)}{200 000}$$
$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \underline{\underline{1,1546}}$$

$$k_1 = 0,8$$
$$k_2 = 0,5$$
$$k_3 = 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$
$$s_{r,max} = 3,4 * 40 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 12 / 0,0261$$

$$s_{r,max} = \underline{\underline{214 \text{ mm}}}$$

$$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$w_k = 214 * 1,1546$$

$$w_k = \underline{\underline{0,247 \text{ mm}}}$$

$$w_k = 0,247 \text{ mm} \leq w_{max} = 0,25 \text{ mm} \dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

Základová deska pod stěnou na osách C-4 - model B

$$M_k = 200 \text{ kNm}$$

Pro toto místo byly k základnímu rastru výztuže na posuzované straně exteriéru ($\varnothing 16/125$) přiloženy příložky $\varnothing 14/200$ a bylo provedeno posouzení, zda vyhoví na maximální přípustnou šířku trhliny.

Geometrie:

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$c_1 = 40 \text{ mm}$$

$$c_2 = 25 \text{ mm}$$

$$d_1 = 48 \text{ mm}$$

$$d_2 = 32 \text{ mm}$$

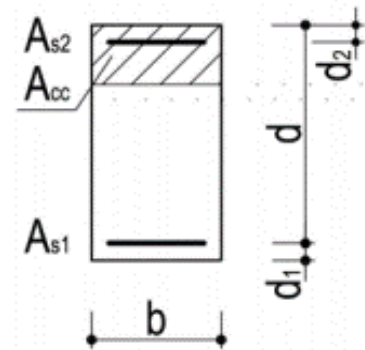
$$d = 452 \text{ mm}$$

$$\text{Základní rastr} - A_{s1,1} = 1608 \text{ mm}^2$$

$$\text{Příložky} - A_{s1,2} = 770 \text{ mm}^2$$

$$\text{Celkem pro } A_{s1} = 2377 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 1026 \text{ mm}^2$$



Parametry průřezu bez trhlin:

$$A_i = A_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} + A_{s2})$$

$$A_i = 500 * 1000 + (6,061 - 1)(2377 + 1026)$$

$$A_i = 520\,624 \text{ mm}^2$$

$$a_{gi} = [A_c a_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} d + A_{s2} d_2)] / A_i$$

$$a_{gi} = \left[500 * 1000 * \frac{500}{2} + (6,061 - 1)(2377 * 452 + 1026 * 32) \right] / 520624$$

$$a_{gi} = 252,99 \text{ mm}$$

$$I_i = I_c + A_c (a_{gi} - a_c)^2 + (\alpha_e - 1) [A_{s1} (d - a_{gi})^2 + A_{s2} (d - d_2)^2]$$

$$I_i = \frac{1}{12} * 1000 * 500^3 + 500 * 1000 \left(252,99 - \frac{500}{2} \right)^2$$

$$+ (6,061 - 1) [2377 (452 - 252,99)^2 + 1026 (452 - 32)^2]$$

$$I_i = 11295363185 \text{ mm}^3$$

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvažováním vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

$$M_{cr} = \frac{f_{ctm} * I_i}{h - a_{gi}}$$
$$M_{cr} = \frac{2,9 * 11295363185}{500 - 252,99}$$
$$M_{cr} = 132,61 \text{ kNm/m}$$

Parametry průřezu bez trhlin:

$$\sigma_{c2} = -\frac{M_k}{I_i} a_{gi}$$
$$\sigma_{c2} = -\frac{200}{11295363185} 252,99$$
$$\sigma_{c2} = -4,48 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{M_k}{I_i} (h - a_{gi})$$
$$\sigma_{c1} = \frac{200}{11295363185} (500 - 252,99)$$
$$\sigma_{c1} = 4,37 \text{ MPa}$$

Parametry průřezu s trhlinami:

$$x = \frac{\alpha_e}{b} (A_{s1} + A_{s2}) \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2b A_{s1} d + A_{s2} d_2}{\alpha_e (A_{s1} + A_{s2})^2}} \right]$$
$$x = \frac{6,061}{1000} (2377 + 1026) \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 * 1000 * 2377 * 452 + 1026 * 32}{6,061 * (2377 + 1026)^2}} \right]$$
$$x = 97 \text{ mm}$$
$$I_{ir} = \frac{1}{3} b x^3 + \alpha_e [A_{s1} (d - x)^2 + A_{s2} (x - d_2)^2]$$
$$I_{ir} = \frac{1}{3} 1000 * 97^3 + 6,061 [2377 (452 - 97)^2 + 1026 (97 - 32)^2]$$
$$I_{ir} = 2146019685 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_c = -\frac{M_k}{I_{ir}} x$$
$$\sigma_c = -\frac{200}{2146019685} 97$$
$$\sigma_c = -9,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = \alpha_e \frac{M_k}{I_{ir}} (d - x)$$
$$\sigma_s = 6,061 \frac{200}{2146019685} (452 - 97)$$
$$\sigma_s = 200,5 \text{ MPa}$$

$$h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5(h-d); \frac{h}{2}; \frac{h-x}{3} \right\}$$

$$h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5(500-452); \frac{500}{2}; \frac{500-97}{3} \right\}$$

$$h_{c,eff} = \min \{120; 250; 240,134,33\}$$

$$h_{c,eff} = 120 \text{ mm}$$

$$A_{c,eff} = h_{c,eff} * b$$

$$A_{c,eff} = 120 * 1000$$

$$A_{ct,eff} = 120\,000 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_{s1}}{A_{c,eff}}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{2377}{120000}$$

$$\rho_{p,eff} = \underline{\underline{0,0198}}$$

$$k_t = 0,4$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{200,5 - 0,4 \frac{2,9}{0,0198} (1 + 6,061 * 0,0198)}{200\,000}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \underline{\underline{0,6745}}$$

$$k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$

$$s_{r,max} = 3,4 * 40 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 16 / 0,0198$$

$$s_{r,max} = \underline{\underline{273 \text{ mm}}}$$

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$w_k = 273 * 0,6745$$

$$w_k = \underline{\underline{0,184 \text{ mm}}}$$

$$w_k = 0,184 \text{ mm} \leq w_{max} = 0,2 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

Základová deska pod stěnou na osách C-4 - model K

$$M_k = 200 \text{ kNm}$$

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvážením vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

Pro toto místo byly k základnímu rastru výztuže na posuzované straně exteriéru ($\emptyset 12/125$) přiloženy příložky $\emptyset 14/100$ a bylo provedeno posouzení, zda vyhoví na maximální přípustnou šířku trhliny.

Geometrie:

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$c_1 = 40 \text{ mm}$$

$$c_2 = 25 \text{ mm}$$

$$d_1 = 46 \text{ mm}$$

$$d_2 = 31 \text{ mm}$$

$$d = 354 \text{ mm}$$

$$\text{Základní rastr} - A_{s1,1} = 905 \text{ mm}^2$$

$$\text{Příložky} - A_{s1,2} = 1539 \text{ mm}^2$$

$$\text{Celkem pro } A_{s1} = 2443 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 754 \text{ mm}^2$$

Parametry průřezu bez trhlín:

$$A_i = A_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} + A_{s2})$$

$$A_i = 400 * 1000 + (6,061 - 1)(2443 + 754)$$

$$A_i = 419\,370 \text{ mm}^2$$

$$a_{gi} = [A_c a_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} d + A_{s2} d_2)] / A_i$$

$$a_{gi} = \left[400 * 1000 * \frac{400}{2} + (6,061 - 1)(2443 * 354 + 754 * 31) \right] / 419370$$

$$a_{gi} = 203,6 \text{ mm}$$

$$I_i = I_c + A_c (a_{gi} - a_c)^2 + (\alpha_e - 1) [A_{s1} (d - a_{gi})^2 + A_{s2} (d - d_2)^2]$$

$$I_i = \frac{1}{12} * 1000 * 400^3 + 400 * 1000 \left(203,6 - \frac{400}{2} \right)^2$$

$$+ (6,061 - 1) [2443 (354 - 203,6)^2 + 754 (354 - 31)^2]$$

$$I_i = 5809386987 \text{ mm}^3$$

$$M_{cr} = \frac{f_{ctm} * I_i}{h - a_{gi}}$$

$$M_{cr} = \frac{2,9 * 5809386987}{400 - 203,6}$$

$$M_{cr} = 85,78 \text{ kNm/m}$$

Parametry průřezu bez trhlín:

$$\sigma_{c2} = - \frac{M_k}{I_i} a_{gi}$$

$$\sigma_{c2} = - \frac{200}{5809386987} 203,6$$

$$\sigma_{c2} = -7,01 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{M_k}{I_i} (h - a_{gi})$$

$$\sigma_{c1} = \frac{200}{5809386987} (400 - 203,6)$$

$$\sigma_{c1} = 6,76 \text{ MPa}$$

Parametry průřezu s trhlinami:

$$x = \frac{\alpha_e}{b} (A_{s1} + A_{s2}) \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2b A_{s1}d + A_{s2}d_2}{\alpha_e (A_{s1} + A_{s2})^2}} \right]$$

$$x = \frac{6,061}{1000} (2443 + 754) \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 * 1000}{6,061} * \frac{2443 * 354 + 754 * 31}{(2443 + 754)^2}} \right]$$

$$x = 86,2 \text{ mm}$$

$$I_{ir} = \frac{1}{3} b x^3 + \alpha_e [A_{s1} (d - x)^2 + A_{s2} (x - d_2)^2]$$

$$I_{ir} = \frac{1}{3} 1000 * 86,2^3 + 6,061 [2443 (354 - 86,2)^2 + 754 (86,2 - 31)^2]$$

$$I_{ir} = 1289250731 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_c = -\frac{M_k}{I_{ir}} x$$

$$\sigma_c = -\frac{200}{1289250731} 86,2$$

$$\sigma_c = -10,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = \alpha_e \frac{M_k}{I_{ir}} (d - x)$$

$$\sigma_s = 6,061 \frac{200}{1289250731} (354 - 86,2)$$

$$\sigma_s = 251,8 \text{ MPa}$$

$$h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5(h - d); \frac{h}{2}; \frac{h - x}{3} \right\}$$

$$h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5(400 - 354); \frac{400}{2}; \frac{400 - 86,2}{3} \right\}$$

$$h_{c,eff} = \min \{ 115; 200; 104,6 \}$$

$$h_{c,eff} = 104,6 \text{ mm}$$

$$A_{c,eff} = h_{c,eff} * b$$

$$A_{c,eff} = 104,6 * 1000$$

$$A_{ct,eff} = 104 600 \text{ mm}^2$$

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvažováním vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_{s1}}{A_{c,eff}} = \frac{104600}{2443}$$
$$\rho_{p,eff} = 0,0234$$

$$k_t = 0,4$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s}$$
$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{251,8 - 0,4 \frac{2,9}{0,0234} (1 + 6,061 * 0,0234)}{200\,000}$$
$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 0,9755$$

$$k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$
$$s_{r,max} = 3,4 * 40 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 12 / 0,0234$$
$$s_{r,max} = 223 \text{ mm}$$

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$w_k = 223 * 0,9755$$

$$w_k = 0,218 \text{ mm}$$

$$w_k = 0,218 \text{ mm} \leq w_{max} = 0,25 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

Místo v základové desce nad pilotou mezi osami A a B a 1 a 2 – model B

$$M_k = 350 \text{ kNm}$$

Pro toto místo byly k základnímu rastru výztuže na posuzované straně exteriéru ($\phi 16/125$) přiloženy příložky $\phi 20/125$ a bylo provedeno posouzení, zda vyhoví na maximální přípustnou šířku trhliny.

Geometrie:

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$c_1 = 40 \text{ mm}$$

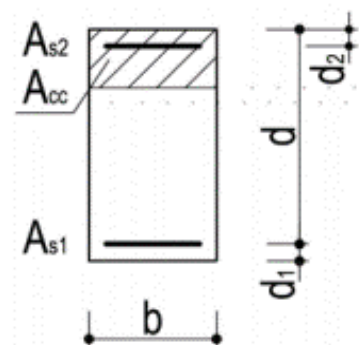
$$c_2 = 25 \text{ mm}$$

$$d_1 = 48 \text{ mm}$$

$$d_2 = 32 \text{ mm}$$

$$d = 452 \text{ mm}$$

$$\text{Základní rastr} - A_{s1,1} = 1608 \text{ mm}^2$$



$$\begin{aligned} \text{Příložky} - A_{s1,2} &= 2513 \text{ mm}^2 \\ \text{Celkem pro } A_{s1} &= 4121 \text{ mm}^2 \\ A_{s2} &= 1026 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parametry průřezu bez trhlin:

$$\begin{aligned} A_i &= A_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} + A_{s2}) \\ A_i &= 500 * 1000 + (6,061 - 1)(4121 + 1026) \\ A_i &= 531194 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{gi} &= [A_c a_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} d + A_{s2} d_2)] / A_i \\ a_{gi} &= \left[500 * 1000 * \frac{500}{2} + (6,061 - 1)(4121 * 452 + 1026 * 32) \right] / 531194 \\ a_{gi} &= 256,95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_i &= I_c + A_c (a_{gi} - a_c)^2 + (\alpha_e - 1) [A_{s1} (d - a_{gi})^2 + A_{s2} (d - d_2)^2] \\ I_i &= \frac{1}{12} * 1000 * 500^3 + 500 * 1000 (256,95 - \frac{500}{2})^2 \\ &\quad + (6,061 - 1) [4121 (452 - 256,95)^2 + 1026 (452 - 32)^2] \\ I_i &= 11705663740 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \frac{f_{ctm} * I_i}{h - a_{gi}} \\ M_{cr} &= \frac{2,9 * 11705663740}{500 - 256,95} \\ M_{cr} &= 139,67 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

Parametry průřezu bez trhlin:

$$\begin{aligned} \sigma_{c2} &= - \frac{M_k}{I_i} a_{gi} \\ \sigma_{c2} &= - \frac{200}{11705663740} 256,95 \\ \sigma_{c2} &= -7,68 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{c1} &= \frac{M_k}{I_i} (h - a_{gi}) \\ \sigma_{c1} &= \frac{200}{11705663740} (500 - 256,95) \\ \sigma_{c1} &= 7,27 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Parametry průřezu s trhlinami:

$$x = \frac{\alpha_e}{b} (A_{s1} + A_{s2}) \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2b A_{s1} d + A_{s2} d_2}{\alpha_e (A_{s1} + A_{s2})^2}} \right]$$

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvažováním vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

$$x = \frac{6,061}{1000} (4121 + 1026) \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 * 1000}{6,061} * \frac{4121 * 452 + 1026 * 32}{(4121 + 1026)^2}} \right]$$

$$x = 123,6 \text{ mm}$$

$$I_{ir} = \frac{1}{3} b x^3 + \alpha_e [A_{s1} (d - x)^2 + A_{s2} (x - d_2)^2]$$

$$I_{ir} = \frac{1}{3} 1000 * 123,6^3 + 6,061 [4121 (452 - 123,6)^2 + 1026 (123,6 - 32)^2]$$

$$I_{ir} = 3375134083 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_c = -\frac{M_k}{I_{ir}} x$$

$$\sigma_c = -\frac{200}{3375134083} 123,6$$

$$\sigma_c = -7,27 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = \alpha_e \frac{M_k}{I_{ir}} (d - x)$$

$$\sigma_s = 6,061 \frac{200}{3375134083} (452 - 123,6)$$

$$\sigma_s = 206,4 \text{ MPa}$$

$$h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5(h - d); \frac{h}{2}; \frac{h - x}{3} \right\}$$

$$h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5(500 - 452); \frac{500}{2}; \frac{500 - 123,6}{3} \right\}$$

$$h_{c,eff} = \min \{120; 250; 240,125,47\}$$

$$h_{c,eff} = 120 \text{ mm}$$

$$A_{c,eff} = h_{c,eff} * b$$

$$A_{c,eff} = 120 * 1000$$

$$A_{ct,eff} = 120 000 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_{s1}}{A_{c,eff}}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{4121}{120000}$$

$$\rho_{p,eff} = \underline{\underline{0,0343}}$$

$$k_t = 0,4$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{206,4 - 0,4 \frac{2,9}{0,0343} (1 + 6,061 * 0,0343)}{200 000}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \mathbf{0,828}$$

$$k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$

$$s_{r,max} = 3,4 * 40 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 16 / 0,0343$$

$$s_{r,max} = \underline{\underline{215 \text{ mm}}}$$

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$w_k = 215 * 0,828$$

$$w_k = \underline{\underline{0,178 \text{ mm}}}$$

$$w_k = 0,178 \text{ mm} \leq w_{max} = 0,2 \text{ mm} \dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

Místo v základové desce nad pilotou mezi osami A a B a 1 a 2 – model K

$$M_k = 350 \text{ kNm}$$

Pro toto místo byly k základnímu rastru výztuže na posuzované straně exteriéru ($\phi 12/125$) přiloženy příložky $\phi 22/125$ a bylo provedeno posouzení, zda vyhoví na maximální přípustnou šířku trhliny.

Geometrie:

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$c_1 = 40 \text{ mm}$$

$$c_2 = 25 \text{ mm}$$

$$d_1 = 46 \text{ mm}$$

$$d_2 = 31 \text{ mm}$$

$$d = 354 \text{ mm}$$

$$\text{Základní rastr} - A_{s1,1} = 905 \text{ mm}^2$$

$$\text{Příložky} - A_{s1,2} = 3041 \text{ mm}^2$$

$$\text{Celkem pro } A_{s1} = 3945 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 754 \text{ mm}^2$$

Parametry průřezu bez trhlin:

$$A_i = A_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} + A_{s2})$$

$$A_i = 400 * 1000 + (6,061 - 1)(3041 + 754)$$

$$A_i = 428\,473 \text{ mm}^2$$

$$a_{gi} = [A_c a_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} d + A_{s2} d_2)] / A_i$$

$$a_{gi} = \left[400 * 1000 * \frac{400}{2} + (6,061 - 1)(3945 * 354 + 754 * 31) \right] / 428473$$

$$a_{gi} = 206,79 \text{ mm}$$

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvážením vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

$$I_i = I_c + A_c(a_{gi} - a_c)^2 + (\alpha_e - 1)[A_{s1}(d - a_{gi})^2 + A_{s2}(d - d_2)^2]$$

$$I_i = \frac{1}{12} * 1000 * 400^3 + 400 * 1000(206,79 - \frac{400}{2})^2 + (6,061 - 1)[3945(354 - 206,79)^2 + 754(354 - 31)^2]$$

$$I_i = 6010929773 \text{ mm}^3$$

$$M_{cr} = \frac{f_{ctm} * I_i}{h - a_{gi}}$$

$$M_{cr} = \frac{2,9 * 6010929773}{400 - 206,79}$$

$$M_{cr} = 90,22 \text{ kNm/m}$$

Parametry průřezu bez trhlin:

$$\sigma_{c2} = -\frac{M_k}{I_i} a_{gi}$$

$$\sigma_{c2} = -\frac{350}{6010929773} 206,79$$

$$\sigma_{c2} = -12,04 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{M_k}{I_i} (h - a_{gi})$$

$$\sigma_{c1} = \frac{350}{6010929773} (400 - 206,79)$$

$$\sigma_{c1} = 11,25 \text{ MPa}$$

Parametry průřezu s trhlinami:

$$x = \frac{\alpha_e}{b} (A_{s1} + A_{s2}) \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2b A_{s1} d + A_{s2} d_2}{\alpha_e (A_{s1} + A_{s2})^2}} \right]$$

$$x = \frac{6,061}{1000} (3945 + 754) \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 * 1000}{6,061} * \frac{3945 * 354 + 754 * 31}{(3945 + 754)^2}} \right]$$

$$x = 105,8 \text{ mm}$$

$$I_{ir} = \frac{1}{3} b x^3 + \alpha_e [A_{s1}(d - x)^2 + A_{s2}(x - d_2)^2]$$

$$I_{ir} = \frac{1}{3} 1000 * 105,8^3 + 6,061 [3945(354 - 105,8)^2 + 754(105,8 - 31)^2]$$

$$I_{ir} = 1893173448 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_c = -\frac{M_k}{I_{ir}} x$$

$$\sigma_c = -\frac{350}{1893173448} 105,8$$

$$\sigma_c = -19,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = \alpha_e \frac{M_k}{I_{ir}} (d - x)$$

$$\sigma_s = 6,061 \frac{350}{1893173448} (354 - 105,8)$$

$$\sigma_s = 278,1 \text{ MPa}$$

$$h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5(h - d); \frac{h}{2}; \frac{h - x}{3} \right\}$$

$$h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5(400 - 354); \frac{400}{2}; \frac{400 - 105,8}{3} \right\}$$

$$h_{c,eff} = \min \{115; 200; 98,1\}$$

$$h_{c,eff} = 98,1 \text{ mm}$$

$$A_{c,eff} = h_{c,eff} * b$$

$$A_{c,eff} = 98,1 * 1000$$

$$A_{ct,eff} = 98 \text{ } 100 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_{s1}}{A_{c,eff}}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{3945}{98100}$$

$$\rho_{p,eff} = \underline{\underline{0,0402}}$$

$$k_t = 0,4$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{278,1 - 0,4 \frac{2,9}{0,0402} (1 + 6,061 * 0,0402)}{200 \text{ } 000}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \underline{\underline{1,2113}}$$

$$k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$

$$s_{r,max} = 3,4 * 40 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 12 / 0,0402$$

$$s_{r,max} = \underline{\underline{187 \text{ mm}}}$$

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$w_k = 187 * 1,2113$$

$$w_k = \underline{\underline{0,226 \text{ mm}}}$$

$$w_k = 0,226 \text{ mm} \leq w_{max} = 0,25 \text{ mm} \dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

Vyhodnocení vlivu krystalizační přísady na optimalizaci konstrukce

Vliv krystalizační přísady na výsledný objem betonu

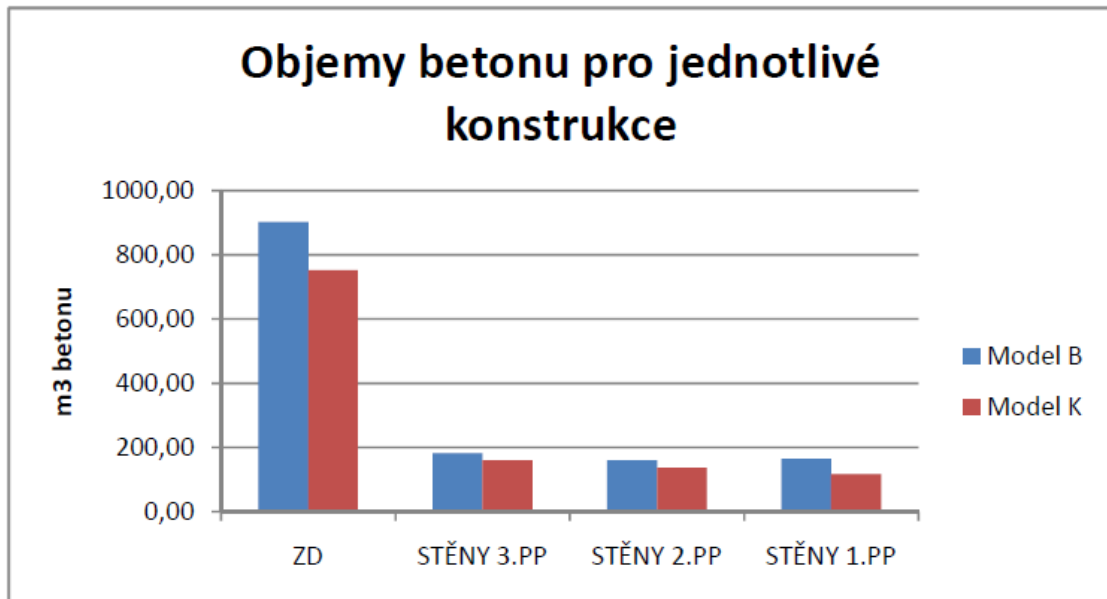
Úspora kubatury betonu je výrazným faktorem ovlivňující výslednou cenu konstrukce. Nelze pouze počítat s objemem spotřebovaného betonu, ale je důležité zahrnout i další režijní faktory. Jsou jimi například doprava na stavenišť, doba ukládání betonu, větší počet pracovníků atd. Proto je důležité navrhovat, pokud možno co nejúsporněji, a to neplatí samozřejmě pouze o návrhu dimenzí konstrukcí.

Je jasné, že pokud jsme redukovali všechny dimenze u modelu K, vyjde tento model úspornější oproti modelu B. Procentuálně se úspora u jednotlivých konstrukcích pohybuje okolo 15 %, pouze u stěn 1. PP je úspora z dříve uvedených důvodů větší, a to 28,7 %. Celková úspora pak činí 17,3 % oproti modelu bez krystalizace.

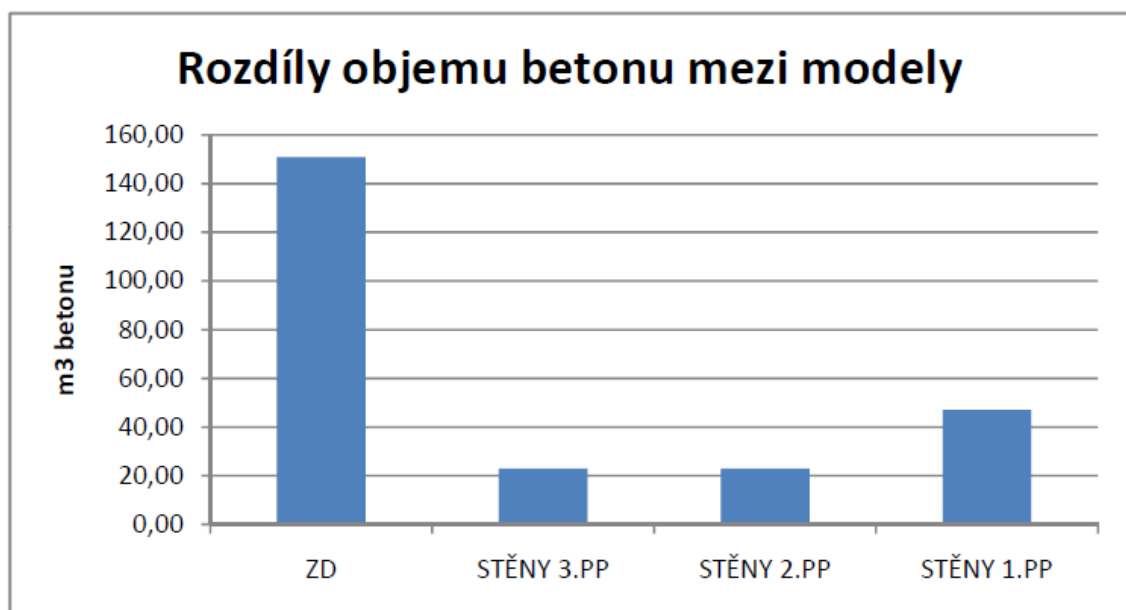
Pokud bychom chtěli určit hrubou finanční úsporu, záleželo by to na mnoha faktorech uvedených výše (doprava, mzda zaměstnanců...). V době tvorby této práce se cena betonu také velmi dynamicky mění. Pro určitou představu byl použit aktuální ceník betonárny Cemex [19], kde 1 m³ betonu C30/37 odpovídající našim stupňům vlivu prostředí, stojí **3045 Kč bez DPH**. Jednoduchým výpočtem tak zjistíme, že finanční úspora je přibližně 830 000 Kč.

Objem betonu			
	Model B [m ³]	Model K [m ³]	Rozdíl mezi modely [m ³]
ZD	902,11	751,18	150,93
STĚNY 3.PP	182,63	159,80	22,83
STĚNY 2.PP	159,80	136,97	22,83
STĚNY 1.PP	164,75	117,68	47,07
Celkem	1409,29	1165,63	243,66

Obr. 55 – tabulka objemu betonu pro jednotlivé konstrukce a modely



Obr. 56 – graf objemu betonu pro jednotlivé konstrukce a modely



Obr. 57 – rozdílový graf objemu betonu pro jednotlivé konstrukce

Vliv krystalizační přísady na návrh výztuže na nesilové účinky

Při návrhu výztuže omezující maximální šířku trhliny má významný vliv tloušťka posuzovaného prvku a krytí výztuže. Z těchto důvodů v každém návrhu lépe vychází model K, protože tloušťky jednotlivých konstrukcí jsou vždy menší. Krytí u obou modelů je stejné. Při použití krystalizační přísady také připouštíme maximální šířku trhliny o 0,05 mm širší, což výslednou plochu výztuže

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvážením vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

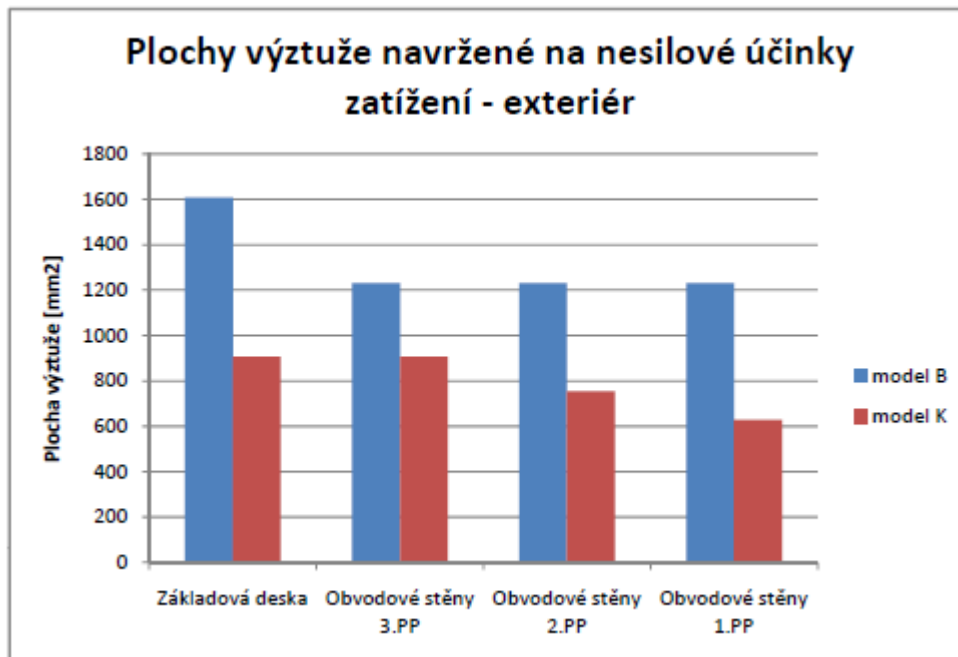
také významně ovlivní. Uvážení zvýšení koeficientu cementu „s“ na hodnotu 0,25 nehraje tak významnou roli, ale v návrhu se v některých případech také projeví.

Řešený prvek	Model B							
	Dimenze řešeného místa [mm]	Maximální přípustná šířka trhliny [mm]	Exteriér			Interiér		
			Výztuž navžená na nesilové účinky	Plocha výztuže navžená na nesilové účinky [mm ²]	Navržená šířka trhliny [mm]	Výztuž navžená na silové účinky	Plocha výztuže navžená na silové účinky [mm ²]	Navržená šířka trhliny [mm]
Základová deska	500	0,2	Ø16/125	1609	0,154	Ø14/150	1026	0,188
Obvodové stěny 3.PP	400	0,2	Ø14/125	1232	0,173	Ø12/125	905	0,164
Obvodové stěny 2.PP	350	0,2	Ø14/125	1232	0,151	Ø12/150	754	0,196
Obvodové stěny 1.PP	350	0,2	Ø14/125	1232	0,151	Ø12/150	754	0,196

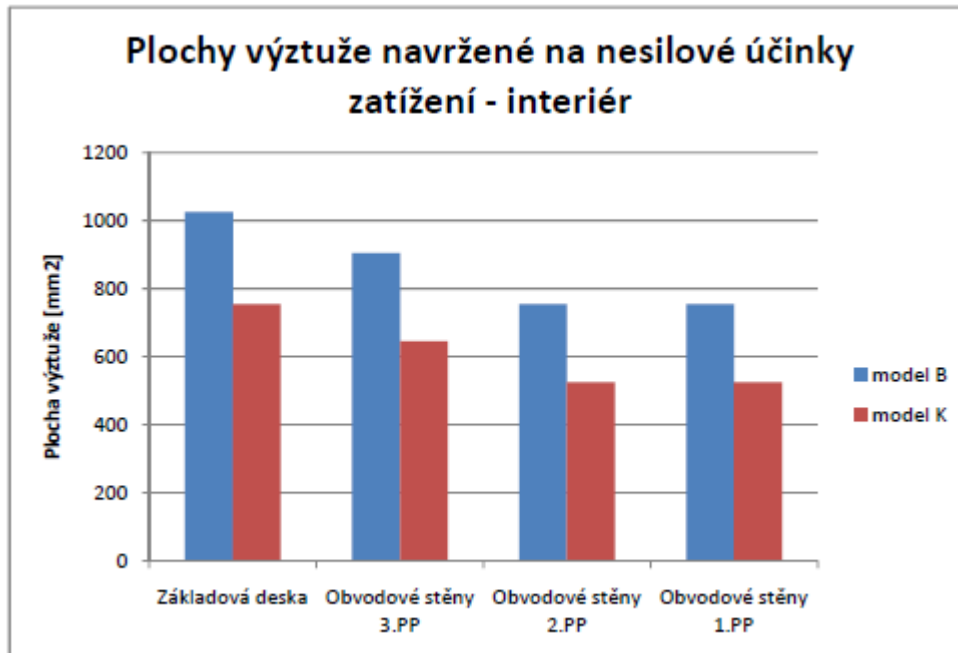
Obr. 58 – tabulka množství výztuže pro návrh na omezení šířky trhlin od nesilových účinků – model B

Řešený prvek	Model K							
	Dimenze řešeného místa [mm]	Maximální přípustná šířka trhliny [mm]	Exteriér			Interiér		
			Výztuž navžená na nesilové účinky	Plocha výztuže navžená na nesilové účinky [mm ²]	Navržená šířka trhliny [mm]	Výztuž navžená na silové účinky	Plocha výztuže navžená na silové účinky [mm ²]	Navržená šířka trhliny [mm]
Základová deska	400	0,25	Ø12/125	905	0,231	Ø12/150	754	0,201
Obvodové stěny 3.PP	350	0,25	Ø12/125	905	0,202	Ø12/175	646	0,23
Obvodové stěny 2.PP	300	0,25	Ø12/150	754	0,235	Ø10/150	524	0,243
Obvodové stěny 1.PP	250	0,25	Ø10/125	628	0,213	Ø10/150	524	0,203

Obr. 59 – tabulka množství výztuže pro návrh na omezení šířky trhlin od nesilových účinků – model K



Obr. 60 – graf množství výztuže pro návrh na omezení šířky trhlin od nesilových účinků – exteriér



Obr. 61 – graf množství výztuže pro návrh na omezení šířky trhlin od nesilových účinků – interiér

Vliv krystalizační přísady na silové účinky zatížení

Pro návrh na silové účinky zatížení pro konstrukci o stejné tloušťce (hlavice pod sloupem) bylo zjištěno, že pro dosažení požadované maximální šířky trhliny, musíme i přes vyšší vyztužení modelu B, přiložit větší množství výztuže než u modelu K. Ten je sice méně vyztužen, ale umožňujeme širší trhlinu 0,25 mm (u modelu B je maximální šířka trhliny 0,2 mm). Zde se ukazuje, že použití krystalizace bez redukce dimenze by nebylo zdaleka tak efektivní, zejména kvůli vyššímu množství výztuže na nesilové účinky u větších dimenzích.

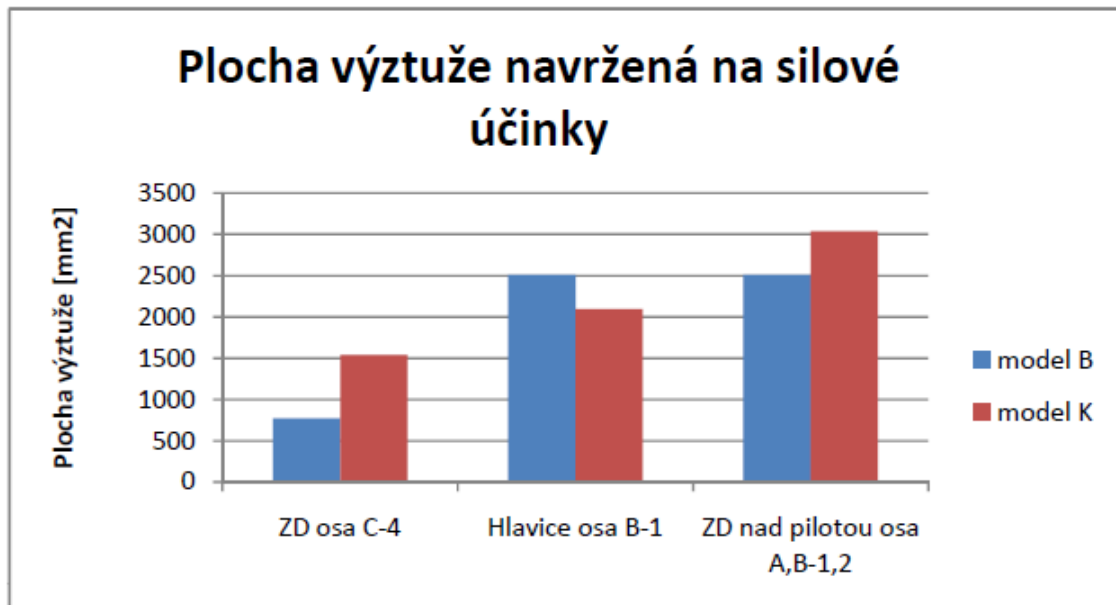
Při návrhu základové desky, je množství navržené výztuže pro model B přesně poloviční než u modelu K, a to při stejném momentovém zatížení. To je logicky dáno větší tloušťkou desky a vyšším vyztužením na nesilové účinky pro model B.

U posouzení základové desky nad pilotou se potvrdilo, že pro větší dimenze u modelu B nám pro omezení šířky trhliny, i když je její maximální šířka o 0,05 mm menší než v případě modelu K, stačí menší množství výztuže. Můžeme tedy konstatovat, že při návrhu výztuže na nesilové účinky vychází lépe model K, a naopak při návrhu na účinky silové navrhujeme menší množství výztuže u modelu B.

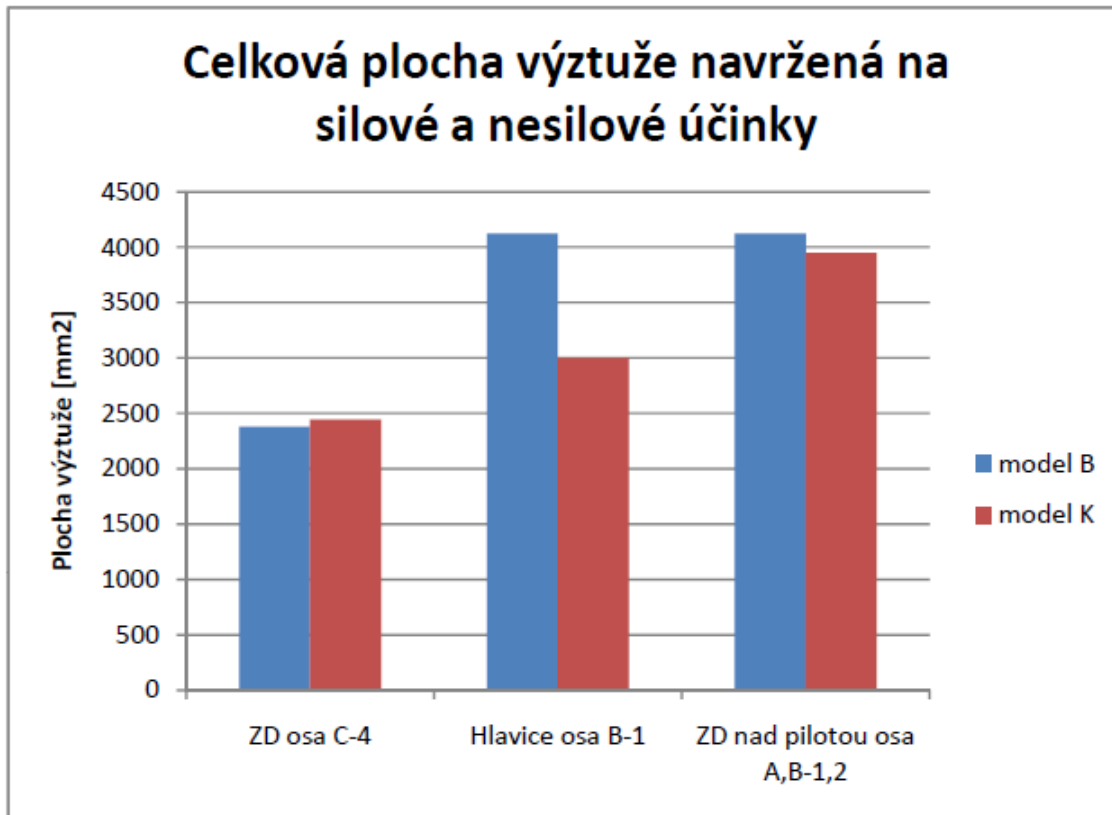
Při sečtení celkového množství výztuže zjistíme, že pro místo se stejnou dimenzí konstrukce vychází lépe model K. To je dáno připuštěním širší trhliny. U konstrukce s rozdílnými dimenzemi pro místo namáhané momentem 200 kNm, vychází celkový součet výztuže lépe pro model B. U místa namáhaného momentem o velikosti 350 kNm, už ale celkový součet vychází lépe pro model K. Nemůžeme tedy při takto definovaných podmínkách jednoznačně říct, že vyztužení při zvýšení dimenze bude menší než u menší tloušťky s použitím krystalizace. Vždy bude záležet na konkrétní situaci. Ve finále je ale vždy důležitá celková reálná hmotnost výztuže z celé konstrukce. Tato modelovaná situace uvažuje pouze pro tři malá místa a nedává nám celkový reálný pohled na věc.

Řešené místo	Řešený model	Dimenze řešeného místa [mm]	Návrhové zatížení [kNm]	Výztuž navržena na nesilové účinky	Plocha výztuže navržena na nesilové účinky [mm ²]	Výztuž navržena na silové účinky	Plocha výztuže navržena na silové účinky [mm ²]	Celková plocha výztuže [mm ²]	Maximální přípustná šířka trhliny [mm]
ZD osa C-4	model B	500	200	Ø16/125	1609	Ø14/200	770	2379	0,2
ZD osa C-4	model K	400	200	Ø12/125	905	Ø14/100	1539	2444	0,25
Hlavice osa B-1	model B	900	680	Ø16/125	1609	Ø20/125	2513	4122	0,2
Hlavice osa B-1	model K	900	680	Ø12/125	905	Ø20/150	2095	3000	0,25
ZD nad pilotou osa A,B-1,2	model B	500	350	Ø16/125	1609	Ø20/125	2513	4122	0,2
ZD nad pilotou osa A,B-1,2	model K	400	350	Ø12/125	905	Ø22/125	3041	3946	0,25

Obr. 62 – tabulka množství výztuže pro vybraná místa pro návrh na omezení šířky trhlin od silových účinků



Obr. 63 – graf množství výztuže pro vybraná místa pro návrh na omezení šířky trhlin od silových účinků



Obr. 64 – graf množství výztuže pro vybraná místa pro návrh na omezení šířky trhlin od silových a nesilových účinků

Porovnání vlivu krystalizační přísady na celkové množství výztuže

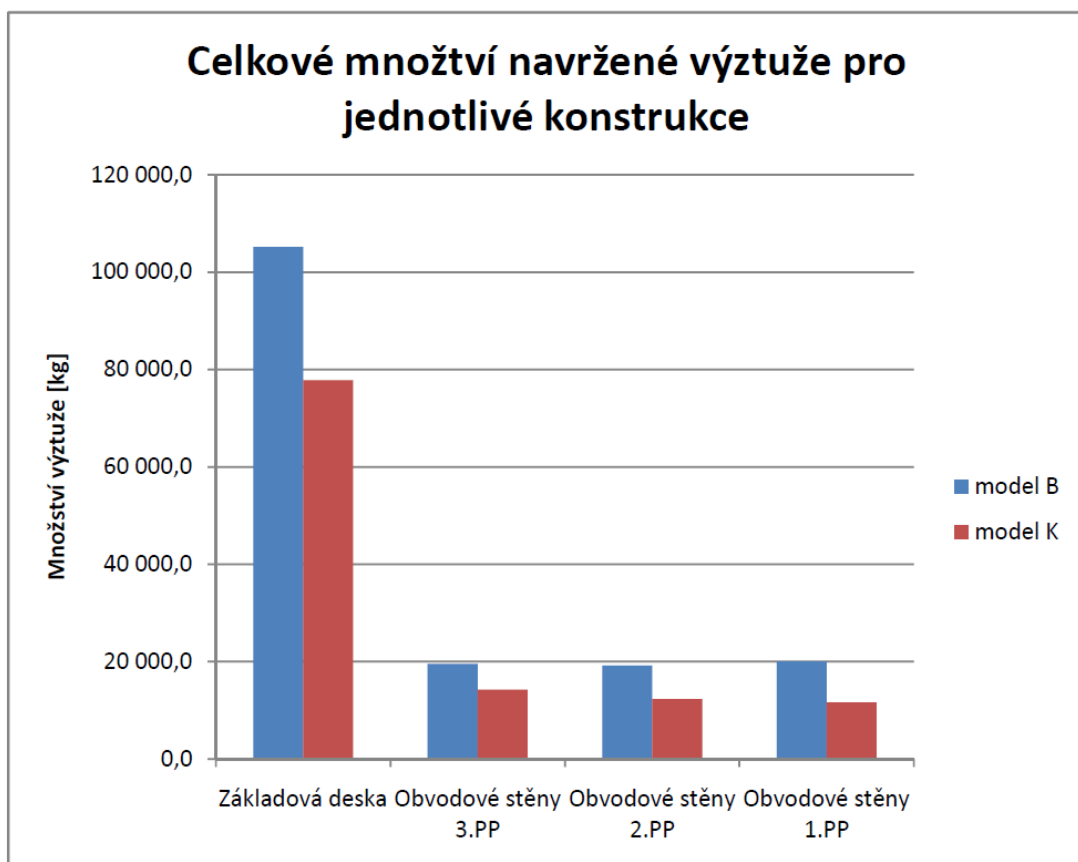
Nejpřesnějším údajem, který nám dá skutečnou představu o celkové úspoře výztuže, je celkové množství výztuže ze všech řešených konstrukcí. Proto bylo nutné zpracovat podrobné výkresy výztuže v softwaru RECOC, který je nadstavbou softwaru Autocad (viz. přílohy číslo 10-21).

Podle dílčích dřívějších závěrů je patrné, že lépe bude vycházet model K. To potvrdilo i celkové množství výztuže vyčtené z výkresů. Úspora a rozdíly mezi jednotlivými modely jsou uvedeny v tabulce a grafech níže (obr. 65, 66, 67, 68).

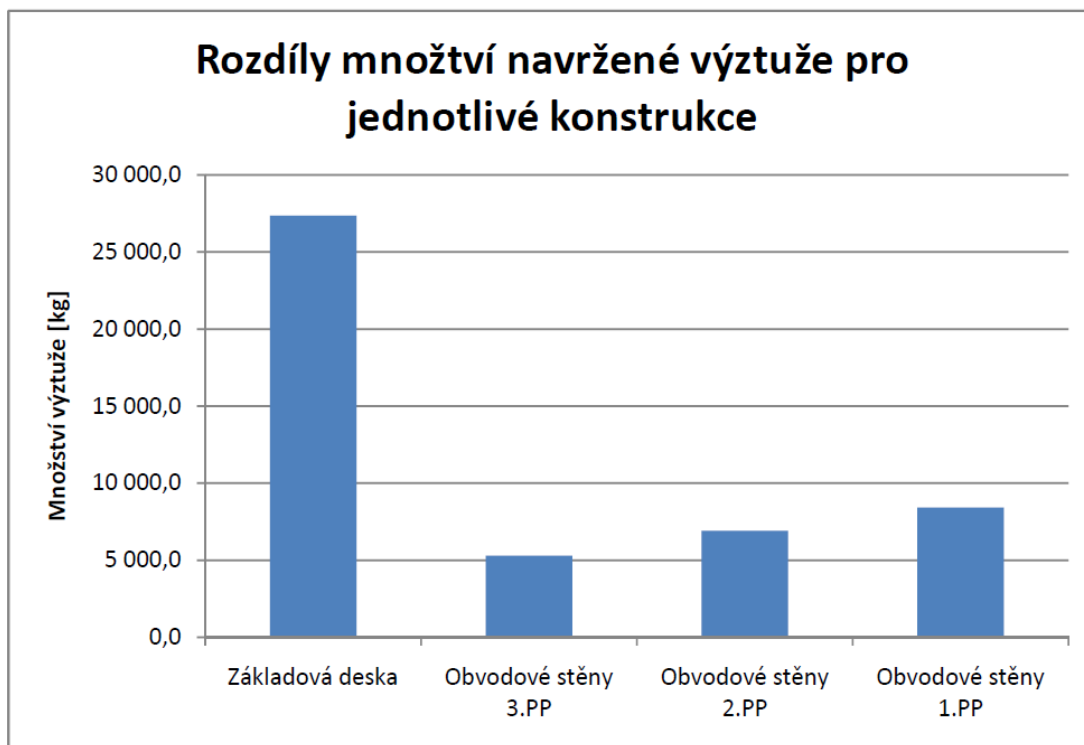
Nelze ale porovnávat velikost úspory pouze podle množství ušetřené výztuže. Vždy hraje roli plocha (objem) prvku, pro který úsporu počítáme. Z tohoto důvodu bude materiální úspora logicky největší pro ZD. Pokud se ale podíváme na procentuální úsporu, bude naopak nejmenší ze všech posuzovaných prvků. Největší procentuální úspora je dosažena u stěn 1. PP, a to hlavně z důvodu výrazného zmenšení dimenze a tím i menšího nutného vyztužení na nesilové účinky.

Řešený prvek		Množství výztuže - model B [kg]		Množství výztuže - model K [kg]		Rozdíl [kg]	Rozdíl [%]
Základová deska	Dolní výztuž	62 665,6	105 166,4	41 045,7	77 808,6	27 357,8	26,0
	Horní výztuž	30 115,0		24 857,1			
	Konstrukční výztuž	12 385,8		11 905,8			
Obvodové stěny 3.PP		19 548,4		14 252,8		5 295,6	27,1
Obvodové stěny 2.PP		19 242,0		12 339,4		6 902,6	35,9
Obvodové stěny 1.PP		20 060,7		11 642,4		8 418,3	42,0
Celkem		164 017,5		116 043,2		47 974,3	29,2

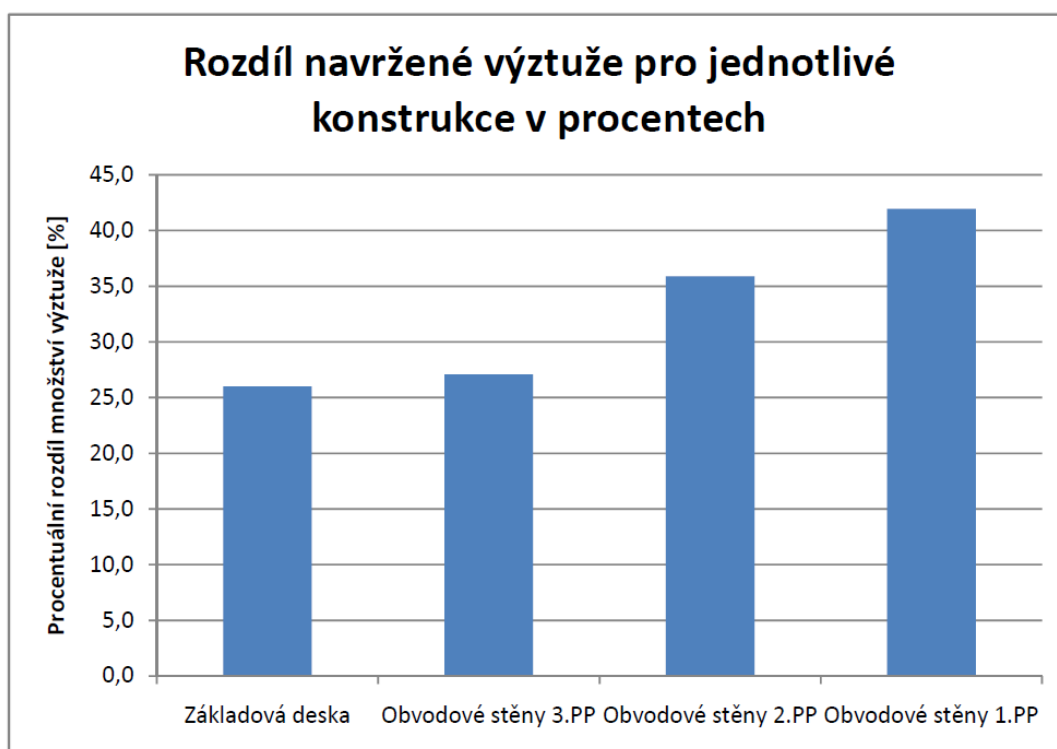
Obr. 65 – tabulka celkového množství navržené výztuže pro jednotlivé konstrukce



Obr. 66 – graf celkového množství navržené výztuže pro jednotlivé konstrukce



Obr. 67 – graf rozdílů v množství navržené výztuže pro jednotlivé konstrukce



Obr. 68 – graf rozdílů v množství navržené výztuže pro jednotlivé konstrukce v procentech

Celková finanční úspora návrhu

Jako poslední bod této práce si zde dovolím uvést cenové porovnání jednotlivých variant návrhu. Vzhledem k rychle se měnícím cenám v současné době, nemusí být toto porovnání za několik měsíců vůbec odpovídající. Poměrově by ale ceny měly odpovídat i do budoucna.

Do jednotkové ceny materiálů byla započtena pouze cena za samotný materiál, tj. bez ukládání, dopravy a dalších režijních poplatků. Pro představu můžeme uvést, že se v aktuální době cena za uložení 1 m³ betonu pohybuje okolo 500 Kč a cena za uložení 1 kg výztuže je cca 11 Kč. Tyto ceny jsou ale dány mnoha faktory (lokality stavby, aktuální poptávka, náročnost stavby, konkrétní firma...) a jsou velmi proměnné. Proto s nimi v následujícím porovnání není vůbec počítáno a uvažovány jsou pouze ceny samotných materiálů.

Řešený prvek	Model B						
	Množství betonu [m ³]	Cena betonu [Kč/m ³]	Celková cena betonu [Kč]	Hmotnost výztuže [kg]	Cena výztuže [Kč/kg]	Celková cena výztuže [Kč]	Celková cena [Kč]
Základová deska	902,1	3 045	2 746 928,0	105 166,4	27	2 839 492,8	5 586 420,8
Obvodové stěny 3.PP	182,6	3 045	556 117,9	19 548,4	27	527 806,8	1 083 924,7
Obvodové stěny 2.PP	159,8	3 045	486 603,2	19 242,0	27	519 534,0	1 006 137,2
Obvodové stěny 1.PP	164,7	3 045	501 652,8	20 060,7	27	541 638,9	1 043 291,7
Celkem	1 409,3		4 291 301,9	164 017,5		4 428 472,5	8 719 774,4

Obr. 69 – tabulka celkových nákladů pro model B

Řešený prvek	Model K									
	Množství betonu [m ³]	Cena betonu [Kč/m ³]	Celková cena betonu [Kč]	Hmotnost výztuže [kg]	Cena výztuže [Kč/kg]	Celková cena výztuže [Kč]	Množství krystalizace (3kg/m ³) [kg]	Cena krystalizace [Kč/kg]	Celková cena krystalizace [Kč]	Celková cena [Kč]
Základová deska	751,2	3 045	2 287 343,1	77 808,6	27	2 100 832,2	2 253,5	125	281 692,5	4 669 867,8
Obvodové stěny 3.PP	159,8	3 045	486 603,2	14 252,8	27	384 825,6	479,4	125	59 926,5	931 355,3
Obvodové stěny 2.PP	137,0	3 045	417 088,4	12 339,4	27	333 163,8	410,9	125	51 365,6	801 617,8
Obvodové stěny 1.PP	117,7	3 045	358 323,4	11 642,4	27	314 344,8	353,0	125	44 128,5	716 796,7
Celkem	1 165,6		3 549 358,1	116 043,2		3 133 166,4	3 496,9		437 113,1	7 119 637,6

Obr. 70 – tabulka celkových nákladů pro model K

Diplomová práce

Optimalizace návrhu bílé vany s uvažáním vlivu krystalizačních přísad na vlastnosti betonu

Bc. Adam Silbrník

Řešený prvek	Model B			Model K				Rozdíl celkových cen [Kč]
	Cena betonu [Kč]	Cena výztuže [Kč]	Celková cena [Kč]	Cena betonu [Kč]	Cena výztuže [Kč]	Cena krystalizace [Kč]	Celková cena [Kč]	
Základová deska	2 746 928,0	2 839 492,8	5 586 420,8	2 287 343,1	2 100 832,2	281 692,5	4 669 867,8	916 553,0
Obvodové stěny 3.PP	556 117,9	527 806,8	1 083 924,7	486 603,2	384 825,6	59 926,5	931 355,3	152 569,4
Obvodové stěny 2.PP	486 603,2	519 534,0	1 006 137,2	417 088,4	333 163,8	51 365,6	801 617,8	204 519,4
Obvodové stěny 1.PP	501 652,8	541 638,9	1 043 291,7	358 323,4	314 344,8	44 128,5	716 796,7	326 495,0
Celkem	4 291 301,9	4 428 472,5	8 719 774,4	3 549 358,1	3 133 166,4	437 113,1	7 119 637,6	1 600 136,8

Obr. 71 – rozdílová tabulka celkových nákladů a úspor [20]

Jak můžeme vyčíst z tabulek výše, celkově úspornější z hlediska financí je model K, tedy varianta s použitím krystalizační přísady. Při uvažování vstupních faktorů, uvažovaných v této práci, tedy krystalizační varianta neprodražuje monolitickou vodostavební konstrukci a je efektivní ve snížení celkových nákladů na výstavbu.

Celkový závěr

Diplomová práce navazuje na bakalářskou práci autora. Skládá se z rešeršní části, experimentální části a statického výpočtu. V praktické části jsou pro daný objekt navrženy dva modely řešení a je provedeno jejich porovnání.

V rešeršní části jsou kromě různých možností zkoumání a testování krystalizace, uvedeny také další možnosti použití než pouze suterénní stavby. V exteriérové konstrukcích je krystalizace s úspěchem používána, což dokazuje fotodokumentace z pozorování na stavbách. Zároveň je v této části také poukázáno na nevhodné způsoby použití krystalizace.

Dále je v rešeršní části uvedeno dokončení experimentů z bakalářské práce. Z důvodu chyb, kterých jsem se dopustil v bakalářské práci, jsem tentokrát některé experimenty zopakoval. Zařazení těchto experimentů do rešeršní části jsem zvolil proto, že už jsem experimenty jednou realizoval a jedná se tak podle mého názoru o nějaký fakt, který jsem pouze ověřil a důležitost výsledků prohloubil. V této části je také ukázka mikroskopických snímků vzorků s krystalizací a bez. Zároveň jsem v této části provedl rozbor používaných cementů, protože je tato znalost důležitá pro pochopení experimentální části.

Experimentální část měla za cíl jeden z hlavních bodů této práce, a to je stanovení materiálových součinitelů betonu při použití krystalizační přísady. Byly realizovány dva experimenty. Zkouška maximálního průsaku ztvrdlého betonu tlakovou vodou dle ČSN EN 12390-6 a měření maximální teploty při hydrataci cementu a cementu s krystalizační přísadou.

Pro měření maximální hodnoty hydratační teploty byly výsledky nadmíru uspokojivé. Bylo zjištěno, že krystalizační přísada snižuje hydratační teplotu cementu a bylo tak možné zvýšit hodnotu koeficientu cementu „s“ z hodnoty 0,2 na hodnotu 0,25, což se pozitivně projevilo ve statickém výpočtu. Zároveň se tak prodlužuje doba potřebná pro ukládání betonu, a to se pozitivně projeví na kvalitě jeho uložení. Kvalita uložení betonu je pro vodonepropustnost bílých van zásadním faktorem.

Maximální průsak tlakovou vodou potvrdil funkčnost krystalizace. Díky tomu bylo možné redukovat dimenze konstrukcí hodnotu 0,85 oproti hodnotám uvedených v TP 02 ČBS. Zároveň se také potvrdilo autorem navržené ošetřování betonu před zkouškou, které je popsáno v rešeršní části této práce a úspěšně bylo používáno i při všech ostatních experimentech v této práci.

Statický výpočet byl proveden pro administrativní budovu Red Court. Objekt se nachází v záplavové oblasti a hladina spodní vody zasahuje přibližně 4 metry nad základovou spáru. Byly řešeny pouze konstrukce ve styku s okolním prostředím. Celá suterénní konstrukce byla počítána pomocí dvou modelů. Model B, pro který byly konstrukce navrženy v souladu s TP02 ČBS a model K, kde byla použita krystalizace a provedena optimalizace pomocí materiálových součinitelů získaných v experimentální části této práce. Byla navržena výztuž pro nesilové i silové účinky a byly navrženy dimenze jednotlivých konstrukcí. Následně byl proveden podrobný rozbor a porovnání obou variant.

Dále byly vypracovány výkresy suterénních konstrukcí, konkrétně výkresy tvarů a výztuže (viz. přílohy číslo 2–21). Z nich byly odečteny m³ betonu a kilogramy výztuže. Bylo provedeno rozsáhlé porovnání a spočtena celková úspora v závislosti na aktuálních cenách v době tvorby této práce.

Stanovené cíle práce se podařilo splnit. Bylo zjištěno, že při použití krystalizační přísady dochází k úspoře materiálů i financí. Toho může být dosaženo ale pouze při vhodné úpravě dimenzí jednotlivých konstrukcí. K tomu je nutná znalost funkčnosti krystalizačních přísad a zvážení jejich vhodného použití pro konkrétní situaci.

Autor doufá, že tato práce přinesla další možný pohled na problematiku vodonepropustnosti betonových konstrukcí a možný základ pro normové předpisy, které by zohledňovaly použití krystalizační přísady při návrhu vodonepropustných konstrukcí. Je jasné, že tato práce je jen jakýmsi ukazatelem, kam by se mohlo navrhování vodonepropustných konstrukcí za použití krystalizační přísady ubírat. Rozhodně se nejedná o univerzální návod, jak navrhovat vodonepropustné konstrukce s použitím krystalizace. Materiálové součinitele byly určeny a následná optimalizace byla provedena pro konkrétní objekt. Pro jiné objekty již tato optimalizace být funkční nemusí. Zásadní je stále také zkušenost projektanta a technologa, která ale do žádných norem zahrnout obecně nejde. Pro přesné určení materiálových součinitelů by bylo nutné provést násobně více experimentů, třeba i na konkrétních reálných konstrukcích, aby bylo dosaženo přesné hodnoty pro obecné použití.

Dalším možným pokračováním této práce by mohly být další možnosti testování krystalizace, například schopnost zarůstání trhlin na reálných trhlinách v betonu vytvořených uměle v laboratoři, nebo zkoušení funkčnosti na vzorcích větších, možná až reálných rozměrů.

Seznam příloh

Příloha č. 1: D 0.1. – statický výpočet

Příloha č. 2: D 1.1. – tvar ZD – model B

Příloha č. 3: D 1.2. – tvar 3. PP – model B

Příloha č. 4: D 1.3. – tvar 2. PP – model B

Příloha č. 5: D 1.4. – tvar 1. PP – model B

Příloha č. 6: D 1.5. – tvar ZD – model K

Příloha č. 7: D 1.6. – tvar 3. PP – model K

Příloha č. 8: D 1.7. – tvar 2. PP – model K

Příloha č. 9: D 1.8. – tvar 1. PP – model K

- Příloha č. 10: D 2.1. – dolní výztuž ZD – model B
- Příloha č. 11: D 2.2. – horní výztuž ZD – model B
- Příloha č. 12: D 2.3. – konstrukční výztuž ZD – model B
- Příloha č. 13: D 2.4. – výztuž stěn 3. PP – model B
- Příloha č. 14: D 2.5. – výztuž stěn 2. PP – model B
- Příloha č. 15: D 2.6. – výztuž stěn 1. PP – model B
- Příloha č. 16: D 2.7. – dolní výztuž ZD – model K
- Příloha č. 17: D 2.8. – horní výztuž ZD – model K
- Příloha č. 18: D 2.9. – konstrukční výztuž ZD – model K
- Příloha č. 19: D 2.10. – výztuž stěn 3. PP – model K
- Příloha č. 20: D 2.11. – výztuž stěn 2. PP – model K
- Příloha č. 21: D 2.12. – výztuž stěn 1. PP – model K

Literatura

- [1] Jiří Pazderka: Principy použití krystalizačních hydroizolací, ASB – architektura stavebnictví byznys, 2018/2 [online]. Dostupné z <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/zaklady-a-hruba-stavba/cement-a-beton/principy-pouziti-krystalizacnich-hydroizolaci>
- [2] Jiří Pazderka: Bílé vany vs. Povlakové hydroizolace – věčná rivalita, tzbinfo, 2012/12 [online]. Dostupné z <https://stavba.tzb-info.cz/izolace-proti-vode-a-radonu/9432-bile-vany-vs-povlakove-hydroizolace-vecna-rivalita>
- [3] Bílé vany: vodonepropustné betonové konstrukce. 2., upr. vyd. [Praha]: ČBS Servis, 2007. Technická pravidla ČBS. ISBN 978-80-87158-03-6.
- [4] Druhy a složení cementů podle ČSN EN 197-1 ed. 2 (TP 2.2). [online]. Dostupné z: <https://profesis.ckait.cz/dokumenty-ckait/tp-2-2/>
- [5] Směrnice pro vodonepropustné betonové konstrukce: DAfStb-RichtliniewasserundurschlässigeBauwerkeaus Beton (WU-Richtlinie). Praha: Česká betonářská společnost ČSSI, [2015]. Technická pravidla ČBS. ISBN 978-80-903806-9-1.
- [6] Calorimeter, Chapter 6 – assessment and exploitation [online]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978044452875950006X>

- [7] HLAVSA, Zdeněk. Beton pro vodonepropustné betonové konstrukce. Praha, 2020. Diplomová práce. ČVUT v Praze. Fakulta stavební, katedra betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce: prof. Ing. Jan L. Víttek, CSc., FEng. [cit. 2022-12-20]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/88563>
- [8] NG, P.L., CHEN, J. J., KWAN, A. K. H. Adiabatic Temperature Rise of Concrete with Limestone Fines Added as a filler, 2017 [cit. 2022-12-15] [online]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817306276>
- [9] PIKNA, Ondřej, HELA, Rudolf, KŘÍŽOVÁ Klára. Studium vývoje hydratačních teplot a redukce objemových změn v betonech, 2020 [cit. 2022-12-17] [online]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/20566-studium-vyvoje-hydratacnich-teplot-a-redukce-objemovych-zmen-v-betonech>
- [10] ZAINAB, Hashim, Abbas, HASSEN, Shaker, Majdi, Study of heat of hydration of Portland cement used in Iraq, 2017 [cit. 2022-12-15] [online]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509517300608>
- [11] ČSN EN 1992-1-1. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Český normalizační institut, 2006, 210 s. Třídící znak 73 1201
- [12] Zkoušení ztvrdlého betonu – průsak tlakovou vodou. [online]. Dostupné z: dk.spsopava.cz:8080/docs/pdf/stavebni_laborator/cviceni/34_zkouseni_ztvrdleho_betonu_prusak_tlakovou_vodou.pdf
- [13] NEILL, James, MCGRATH, F., Patrick, NEILL, Jim. Evaluation of xypex crystalline products to block pores and seal cracks. North Vancouver, Canada. 1998. Technical report waterproofing materials evaluation.
- [14] SMOLAŘ, Jiří. Technická zpráva – Red Court Karlín, DPS. Praha, 2021
- [15] Stanovení krycí vrstvy betonu. [online]. Dostupné z: https://people.fsv.cvut.cz/~foglamar/Download/BEK3-Stanoveni_kryci_vrstvy_betonu.pdf
- [16] HANZLOVÁ, Hana a Jiří ŠMEJKAL. Betonové a zděné konstrukce 1: základy navrhování betonových konstrukcí. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 9788001053232.
- [17] PROCHÁZKA, Jaroslav. Navrhování betonových konstrukcí: příručka k ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1992-1-2. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. Technická knihovna (ČKAIT). ISBN 9788087438039.
- [18] SILBRNÍK, Adam. Vodonepropustné betonové konstrukce. Praha, 2021. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. Fakulta stavební, katedra betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce: doc.

Ing. Iva Broukalová, Ph. D. [cit. 2022-12-20]. Dostupné z:
<https://dspace.cvut.cz/handle/10467/95247>

[19] Betonové směsi a speciální produkty, Ceník 2022, Cemex Czech republic, s. r. o., [cit. 2022-12-28] [online]. Dostupné z:
https://www.cemex.cz/documents/46856796/52314713/Cenik_od_1.7.2022_betonarna_Benešov_Beroun_Melnik_NoveStraseci_Slany_Vlasim.pdf/b6983378-0c6a-f358-3b8f-708f040f7037?version=2.1&t=1657523389853

[20] Informace poskytla Jana PŘÍHODOVÁ, jednatelka firmy Artesacapillary dry, s.r.o. Praha 1. 12.2022.

[21] Kocáb, Dalibor. Vlastnosti betonu zkoušené v laboratoři nebo na konstrukci – systematizace. Plzeň, 2019.

Obrázky

Obr. 1 - Jiří Pazderka: Principy použití krystalizačních hydroizolací, ASB – architektura stavebnictví byznys, 2018/2 [online]. Dostupné z <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/zaklady-a-hruba-stavba/cement-a-beton/principy-pouziti-krystalizacnich-hydroizolaci>

Obr. 2, 3, 4, 48, 49, 50, 51, 54 - Bílé vany: vodonepropustné betonové konstrukce. 2., upr. vyd. [Praha]: ČBS Servis, 2007. Technická pravidla ČBS. ISBN 978-80-87158-03-6.

Obr. 8 – Ing Jiří Kotača – želez, speciální prvky pro stavebnictví. [online]. Dostupné z: <https://www.kotaca.cz/>

Obr. 11 – Druhy a složení cementů podle ČSN EN 197-1 ed. 2 (TP 2.2). [online]. Dostupné z: <https://profesis.ckait.cz/dokumenty-ckait/tp-2-2/>

[Obr. 15 - Směrnice pro vodonepropustné betonové konstrukce: DAfStb-RichtliniewasserundurschlässigeBauwerkeaus Beton (WU-Richtlinie). Praha: Česká betonářská společnost ČSSI, [2015]. Technická pravidla ČBS. ISBN 978-80-903806-9-1.

obr. 35 – Effect of heat generation from cement hydratation on mass concrete placement. [online]. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/Effect-of-heat-generation-from-cement-hydration-on-Kim/dc9359d76058ec5c2161c3e96479eaa36377d9e0>

obr. 40 – Zkoušení ztvrdlého betonu – průsak tlakovou vodou. [online]. Dostupné z: dk.spsopava.cz:8080/docs/pdf/stavebni_laborator/cviceni/34_zkouseni_ztvrdleho_betonu_prusak_tlakovou_vodou.pdf

obr. 46, 47 – Red Court. [online]. Dostupné z: <https://www.redcourt.cz/>