

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra betonových a zděných konstrukcí



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník

2021

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

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

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Vodonepropustné betonové konstrukce</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Watertight concrete structures</u>	
Pokyny pro vypracování: Rešeršní část: - zásady návrhu a realizace vodonepropustné konstrukce - vliv krystalizačních přísad na vodonepropustnost betonových konstrukcí Praktická část: - návrh vodonepropustné suterénní konstrukce: podrobný výpočet, schématický výkres tvaru, výkres výztuže - potvrzení funkčnosti krystalizačních přísad	
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 bakalářské práce: <u>doc. Ing. Iva Broukalová, Ph.D.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>11. 2. 2021</u>	Termín odevzdání bakalářské práce: <u>16. 5. 2021</u> <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 bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

11. 2. 2021

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou 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 15. 5. 2021

Adam Silbrník

.....

Poděkování

Tímto bych velice rád poděkoval vedoucí mé bakalářské práce, paní doc. Ing. Ivě Broukalové, Ph.D., za čas věnovaný mi při konzultacích, cenné rady a lidský přístup po celou dobu vytváření práce i v této nelehké pandemické době.

Poděkování patří také zaměstnancům firmy STA-CON s.r.o., kde jsem konal svou odbornou praxi a i díky nim jsem získal zájem dozvědět se víc o tématu, kterému se věnuji v této závěrečné práci. Dále pak musím zmínit zaměstnance katedry betonových a zděných konstrukcí a Experimentálního centra ČVUT, konkrétně pana Ing. Romana Chylíka a Ing. Pavla Reitermana, Ph. D., kteří vytvořili a otestovali vzorky pro experimentální ověření.

Dále bych chtěl poděkovat celé mé rodině za obrovskou podporu nejen během posledního semestru studia, ale také během posledních čtyř vysokoškolských studijních let.

Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník

Název bakalářské práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá statickým návrhem betonové vodonepropustné konstrukce spodní stavby bytového domu na pražském Chodově, za použití krystalizační přísady H-Krystal MR. Součástí návrhu jsou také výkresy tvaru a výkresy výztuže posuzovaných prvků. Účinnost konkrétní krystalizační přísady byla ověřena v laboratoři.

Klíčová slova

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

Title of bachelor thesis

Watertight concrete structures

Annotation

This bachelor's thesis deals with the static design of a concrete waterproof structure of the substructure of an apartment building in Prague's Chodov using the crystallization additive H-Krystal MR. The design also includes a drawing of the shape and drawings of the reinforcement of the assessed elements. The effectiveness of a particular crystallization additive was verified in the laboratory.

Key words

Concrete, reinforced concrete, watertight concrete, hydro isolation of substructure, crystallization additives, crystallization, H – Krystal MR

Obsah

Úvod	8
O vodonepropustnosti betonu	9
Vznik	9
Vodonepropustný beton v ČR	9
Další možnosti hydroizolace betonových konstrukcí	12
Povlakové hydroizolace	12
Injektáž	13
Krystalizace	14
Princip	14
H – Krystal MR	17
Bílá vana	18
Legislativa v ČR	18
Zahraniční legislativa	19
Prostupy a spáry	24
Ošetřování betonu	27
Referenční příklady staveb	28
Praxe vs. Teorie	31
Experimentální ověření účinnosti krystalizační přísady	32
Experimentální ověření – domácí část	32
Betonová směs	32
Výsledky	35
Závěr	37
Experimentální ověření – laboratorní část	37
Betonová směs	37
Výsledky	39
Závěr	44
Statický výpočet suterénní konstrukce	45
Popis objektu	45
Princip výpočtu	46
Definice okrajových podmínek	47
Statický výpočet	49

Trhliny od nesilových účinků.....	49
Ověření minimálního množství nutné výztuže od silových účinků	56
Omezení trhlin bez přímého výpočtu šířky trhlin.....	64
Závěr.....	80
Celkový závěr	80
Seznam příloh.....	81
Literatura.....	82
Obrázky	83

Úvod

Voda. Nejdůležitější kapalina v životě každého živého organismu. Neumíme si bez ní představit jediný den našeho života. Ne na všech místech je však užitečná a někdy může způsobit více škody než užitku. Jedním z příkladů mohou být konstrukce objektů, které se nachází v přímém styku právě s vodou. V takových případech musíme konstrukce chránit různými hydroizolačními opatřeními.

Ve své závěrečné bakalářské práci se budu zabývat výhradně hydroizolací betonových konstrukcí. Toto téma mě provází již od mého nástupu na fakultu před čtyřmi lety, kdy jsem také začal pracovat v projekční kanceláři se specializací na nosné konstrukce, kde se v projektech často navrhoval beton s krystalizací. V té době jsem pořádně nevěděl, o co se jedná, ale měl jsem touhu tomu přijít na kloub. V průběhu studia jsem navíc postupně zjišťoval, že názory na použití krystalizačních přísad v betonu se velice různí, ať už v praxi, či mezi členy akademické obce. Postupně jsem také zjistil, že oproti výpočtu „běžné“ konstrukce, u které není požadována vodonepropustnost, se musíme také velice pečlivě zabývat předpokládanou velikostí vzniklých trhlin, a tu následně porovnat s vlastnostmi konkrétní krystalizace. Má zvědavost, která je hnacím motorem ve studiu nejednoho studenta, mě tedy dovedla k výběru tohoto tématu, kdy jsem si chtěl zkusit návrh vodonepropustné suterénní konstrukce za použití krystalizačních přísad ještě před mým plným nástupem do praxe.

V rámci své závěrečné práce jsem plynule navázal na návrh objektu, který jsem zpracovával v projektu 2 (133P02C), kdy jsem se věnoval celkovému statickému návrhu bytového domu na pražském Chodově. Nyní se již věnuji konkrétně podrobnému návrhu suterénních konstrukcí, s určením šířky trhlin v závislosti na dimenzích a vyztužení jednotlivých prvků. Vedle výkresů tvaru jsem také vytvořil výkresy vyztuže všech suterénních konstrukcí v kontaktu s terénem. Protože se názory na funkčnost krystalizace různí, rozhodl jsem se ověřit její funkčnost experimentálně v laboratoři. Experimenty byly provedeny v laboratoři K133 ČVUT, a jelikož jsem se jich nemohl kvůli koronavirovým opatřením osobně zúčastnit, provedli je za mě zaměstnanci katedry na základě zadání, které jsem jim předložil. Z důvodu mé absence při experimentech, jsem se rozhodl vyzkoušet si nějaké pokusy také doma. I když je mi jasné, že výstupům z nich se nemůže přikládat příliš velká váha, myslím si, že osobní zkušenost je to nejlepší. A právě proto jsem se tyto „domácí“ experimenty rozhodl realizovat.

O vodonepropustnosti betonu

Vznik

Hydroizolace stavebních konstrukcí je velmi diskutovaným tématem již od starověku. Jednu z prvních zmínek, kdy byla požadována vodonepropustnost betonu, můžeme zmínit akvadukty ve starověkém Římě. Jednalo se o stavby, které dopravovaly vodu do městských lázní, kašen, či soukromých domů. Voda v nich tekla v potrubích o velmi malých sklonech (1:4800) naplněných do 2/3 vodou. Potrubí byla nejdříve vyzdívaná, ale od období římské první republiky (přibližně roku 200 př.n.l.) se začal pro jeho výrobu hojně používat beton. [1]

Princip využití hydraulických pojiv se nezměnil prakticky do dnes. Již tehdy můžeme mluvit o využití portlandského cementu, ale především se používal pucolán. Jedná se o jemný sopečný popel, kterého byl v okolí Říma díky vysoké sopečné aktivitě dostatek. Jeho jemná konzistence zajišťovala dobrou reakci s vodou a spolehlivé spojení všech kompozitních materiálů. Díky tomu měl beton i poměrně dobré hydroizolační vlastnosti, které se využívaly právě při stavbě akvaduktů. Za použití pucolánového cementu byl také postaven římský Pantheon, což je až do dnes největší nevyztužená betonová kopule. [2]

Dřívější technologie neumožňovaly mletí portlandského cementu na požadovanou jemnost nebo pálení cementu za vysokých teplot. Tím pádem nebyl schopný dostatečně reagovat a hydratovat. Pucolán byl tedy, na rozdíl od současnosti, velice dobrou variantou. Je důležité si také uvědomit, že nebyla ani možnost vibrování uložené betonové směsi, či rovnoměrné strojní míchání. Technologie provádění byla a je velice důležitá a se vzrůstajícími požadavky na betonové konstrukce je stále komplikovanější. [3]

Moderní použití portlandského cementu, který je hlavní složkou právě dnešních krystalizačních přísad, je datováno roku 1756, kdy jej použil britský inženýr John Smeaton. Patent na něj získal ale až roku 1824 britský zedník Joseph Aspdin. [3]

Do dvacátých let 20. století se nepoužívaly míchačky a k míchání betonu se jako levná pracovní síla využívaly ženy. V takovém případě bylo nutné do betonu přidávat více cementu, protože se muselo počítat s nedokonalou ruční prací. Zavedení strojního míchání byl velký posun k přesnějšímu dávkování jednotlivých složek betonu a k dosažení lepších vlastností. S nepřesností během míchání betonu se počítá i dnes a je započítána v bezpečnostních koeficientech. [2]

Různé poměry složení betonových směsí byly cílem zkoumání nejenom konstruktérů ve starověkém Římě, ale vášnivé debaty o využití vodostavebního betonu bez dalších přísad a izolací, se vedou až do dnes. Snad ještě větší vášně vzbuzují právě krystalizační přísady do betonu.

Vodonepropustný beton v ČR

V České republice je legislativa ohledně vodonepropustnosti betonových konstrukcí poměrně nejasná a složitá. Pro návrh vodonepropustného betonu neexistuje norma, všechny betony

Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník

navrhujeme podle normy ČSN EN 206-1+A1. Z této normy je ale požadavek na průsak tlakovou vodou uváděn jako požadavek pro daný stupeň trvanlivosti v daném prostředí z hlediska teplot a chemizmu prostředí. Nemůžeme z návrhu betonu podle této normy poznat, že se jedná o beton navržený pro vodonepropustnou betonovou konstrukci. Z hlediska nepropustnosti je zde definována pouze maximální hloubka průsaku podle normy ČSN EN 12390-8 k určitému stupni vlivu prostředí. Pro návrh vodonepropustné konstrukce je nutné zohlednit několik dalších důležitých faktorů, které tato norma neřeší. Jedná se například o omezení vývinu hydratačního tepla během hydratace a tím pádem menší smrštění betonu.

Stupeň vlivu prostředí	Popis prostředí	Maximální w/c	Minimální pevnostní třída	Minimální obsah cementu [kg/m ³]	Max. průsak vody při zkoušce dle ČSN EN 12390-8 [mm]
X0	bez nebezpečí koroze nebo narušení; všechny vlivy s výjimkou zmrazování a rozmrazování; obrusu nebo chemicky agresivního prostředí; pro beton s výztuží nebo se zabudovanými kovovými vložkami; velmi suché	-	C12/15	-	-
XC	Koroze vlivem karbonátace; beton obsahující výztuž nebo jiné zabudované kovové vložky vystavený ovzduší a vlhkosti				
XC1	suché nebo stále mokré	0,65	C16/20	260	-
XC2	mokré, občas suché	0,6	C16/20	280	-
XC3	středně mokré, vlhké	0,55	C20/25	280	-
XC4	střídavě mokré a suché	0,5	C25/30	300	50
XD	Koroze způsobená chloridy jinými než z mořské soli; beton obsahující výztuž nebo jiné zabudované kovové vložky ve styku s vodou obsahující chloridy, včetně rozmrazovacích solí, ze zdrojů jiných než z mořské vody				
XD1	středně mokré, vlhké	0,55	C25/30	300	-
XD2	mokré, občas suché	0,55	C25/30	300	50
XD3	střídavě mokré a suché	0,45	C30/37	320	35
XF	Působení mrazu a rozmrazování (mrazové cykly), s rozmrazovacími prostředky nebo bez nich; mokřý beton vystaven významnému působení střídavého mrazu a rozmrazování				
XF1	mírně nasycen vodou bez rozmrazovacích prostředků	0,55	C25/30	300	50
XF2	mírně nasycen vodou s rozmrazovacími prostředky	0,55	C25/30	300	50
XF3	značně nasycen vodou bez rozmrazovacích prostředků	0,5	C25/30	320	35
XF4	značně nasycen vodou s rozmrazovacími prostředky nebo mořskou vodou	0,45	C30/37	340	35
XA	Chemicky agresivní prostředí; beton vystaven chemickému působení rostlé zeminy a podzemní vody				
XA1	slabě agresivní chemické prostředí	0,55	C25/30	300	50
XA2	středně agresivní chemické prostředí	0,5	C25/30	320	35
XA3	silně agresivní chemické prostředí	0,45	C30/37	360	20

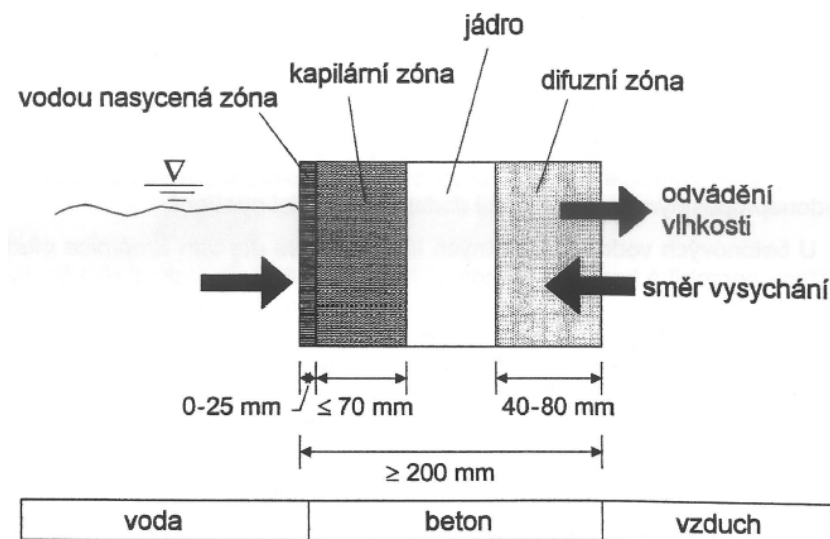
Obr. 1 – výňatek z průvodce k ČSN EN 206+A1 (vydání páté, březen 2020)

K tomuto účelu by se mohla použít například publikace České betonářské společnosti – Technická pravidla ČBS 02 (Bílé vany-vodonepropustné betonové konstrukce). Jedná se o překlad rakouské směrnice, kde jsou specifikovány požadavky na vodonepropustnost vnějších stěn, stropů a základových desek. Jsou zde detailně popsány normalizované betony (BS1 A-E a BS2 A, C), nicméně protože se jedná o směrnici pro Rakousko, je v ČR obtížně použitelná. Jeden z nejdůležitějších rozdílů je minimální množství cementu, které je podle TP ČBS 02 nižší než podle ČSN EN 206+A1. V ČR také nejsou k dispozici některé druhy cementů, které jsou v předepsaných normalizovaných betonech (např. bez C3A). [4]

	Požadavky kladené na beton BS1 A		
	dle TP ČBS 02	vzhledem k svp dle ČSN EN 206	vzhledem k svp dle ČSN EN 206-1/Z4
Typové označení	BS1 A	-	-
Stupeň vlivu prostředí	XC3, XD2, XF3, XA1	XC3, XD2, XF3, XA1	XC3, XD2, XF3, XA1
Pevnostní třída	C25/30 – 56 dní	min. C30/37	min. C25/30
Cement podle ÖNORM B 3327-1	max. WT33 bez C3A	-	-
Nárůst teploty v betonu [K]	max. 13	-	-
Obsah vzduchu [%]	2,5 až 5	min. 4	min. 4
Celkový obsah vody [l/m ³]	max 170	-	-
Voda/pojivo	max. 0,6	-	-
Vodní součinitel	-	max 0,5	max 0,5
Teplota čerstvého betonu [°C]	max. 22	-	-
Maximální přípustná teplota betonového dílu [°C]	45	-	-
Obsah cementu [kg/m ³]	240 až 260	min. 320	min. 320
Maximální průsak při kontrolních zkouškách [mm]	50	-	35
Odolnost betonu vůči zmrazování a rozmrazování, při zkoušce dle ČSN 73 1326 – metoda/počet cyklů/odpad [g/m ²]	-	-	A/100/ 1 250, C/75/ 1 250

Obr. 2 – Porovnání požadavků na normalizovaný beton BS1 dle TP ČBS 02, ČSN EN 206 A ČSN EN 206-1/Z4

Dříve v ČR norma na požadavky pro vodonepropustný beton byla. Jednalo se o normu ČSN 73 1209 – *Vodostavebný betón*. Ta byla v roce 1992 zrušena. V ní byly poměrně přesně, kromě jiného, definovány požadavky na průsaky tlakovou vodou podle masivnosti konstrukce. Testování se provádělo tak, že v případě klasického zkušební vzorku (krychle hrany 150 mm), mohl být maximální průsak 80 mm, maximálně však polovina tloušťky tělesa, v případě menšího vzorku. Výsledné betony se označovaly V2, V4, V8 a V12, kdy písmeno V označovalo vodonepropustnost a číslo za ním pak tlak vody v atmosférách (1 atm = 0,1 MPa), při kterém byl vzorek zkoušen. U těchto betonů se dále zkoušela odolnost vůči karbonataci, mrazuvzdornost a houževnatost. Všechny tyto požadavky dnes nahradily stupně vlivu prostředí, které ale mnohdy nejsou dostatečné pro definici vodonepropustnosti. [4]



Obr. 3 – pracovní model podmínek vlhkosti v průřezu betonového prvku jednostranně vystaveného tlakové vodě – vodonepropustný beton C30/37, $v/c \leq 0,55$ [14]

Samotný vodonepropustný beton však vyžaduje velké tloušťky monolitických konstrukcí, což není problém splnit u některých inženýrských konstrukcích. Zde je masivnost konstrukce dána mnohdy už jejími statickými požadavky, není tedy problém podmínky nepropustnosti splnit pouze za pomoci úpravy množství základních složek betonu. Pokud ale chceme izolovat suterénní stěnu bytového objektu, kde se tloušťky pohybují mezi 200 – 300 mm, nemusí být samotná masivnost konstrukce k hydroizolaci dostačující. Pokud nechceme zvyšovat mocnost obvodových konstrukcí, musíme si pomoci jinými způsoby, například povlakovými hydroizolacemi nebo přísadami zvyšující vodonepropustnost betonové směsi – krystalizací.

Další možnosti hydroizolace betonových konstrukcí

Povlakové hydroizolace

Vznik povlakových hydroizolací se datuje až do období Babylonské říše a starověkého Řecka a Říma (3400 – 200 př. n. l.). Zde se objevují hydroizolační materiály jako včelí vosk, jíl vyztužený proutím, či později přírodní asfalty. Druh hydroizolace opět určen geografickou polohou civilizací, na rozdíl od současnosti, kdy je možné materiály běžně převážet napříč kontinenty. Ve 20. letech 20. století jsou papírové lepenky a uhelný dehet, které byly vyvinuty v 18., resp. 19. století, doplněny oxidovaným asfaltem, ale v roce 1969 byla výroba dehtu oficiálně ukončena. V 50. letech minulého století vznikají povlakové hydroizolace, jaké známe dnes. Jsou to těžké asfaltové pásy a fólie z umělých hmot (PVC).

Povlakové hydroizolace se těší velké oblibě zejména při použití na plochých střeších. Používají se však také na hydroizolaci spodních staveb. Jejich aplikace je silně závislá na správném vyřešení stavebních detailů, zejména spojů. V případě fóliových hydroizolací pak může lehce dojít k protržení. Dá se říci, že všechny povlakové hydroizolace pak mají omezenou

životnost. Některé studie uvádějí, že až 80% budov s plochými střechami jsou v předhavarijním, nebo havarijním stavu. Většina těchto poruch je spojena s nevhodnou volbou materiálu, nebo nesprávným provedením konstrukčních detailů. [5]

Hydroizolace používané pro spodní stavby mají své výhody i nevýhody. Technologie provádění vodonepropustných betonů je poměrně vyspělá, proto mnoho výhod povlakové hydroizolace oproti nim nemají. Zmiňme ale některé, které jim nejde upřít. Jednou z nich je jednodušší těsnění pracovních spár. U dilatačních spár je jejich utěsnění technologicky komplikovanou záležitostí jak u vodonepropustných betonů, tak u povlakových hydroizolací, u pracovních spár mají povlakové hydroizolace výhodu. Můžeme je totiž vést průběžně a nepřerušovat je bez ohledu na přerušení betonáže. Tento postup lze aplikovat u desek i stěn. Je vhodné naplánovat spoje hydroizolace mimo oblast pracovní spáry. Další výhoda se dá využít v oblastech s nadměrnou koncentrací radonu, kdy je nutná izolace kontaktního podlaží. Vodonepropustné betony jsou difúzně propustné, povlaková izolace by se musela provádět i tak. Celkové náklady by byly zbytečně vyšší a vodonepropustnost betonové konstrukce by sloužila spíše jako pojistka. [6] [7] [12]

Nevýhod mají povlakové hydroizolace více. Společným jevem je hlavně to, jak jednoduše může závada vzniknout vlivem technologické nekázně. Zmiňme například náchylnost fóliových hydroizolací k protržení. Po položení fólie pod budoucí betonovou desku, může dojít snadno k protržení od geodetické trojnožky, či se může snadno zachytit o výztuž při jejím vázání, nebo při chůzi pracovníků po ní. Asfaltové pásy jsou sice odolnější proti mechanickému namáhání, ale díky jejich tuhosti je mnohem složitější kvalitně provádět jejich spoje. U fóliových povlakových hydroizolací hrozí také nebezpečí, že při jejich shrnutí způsobeném neopatrnou manipulací, může vzniknout nestejně tlustý beton. Jednou z největších nevýhod tohoto druhu hydroizolace je velice náročná a složitá lokalizace místa poruch. Protože povlaková hydroizolace není součástí nosné konstrukce, kterou chceme před vodou chránit, vzniká mezi betonem a hydroizolací mezera, ve které se voda může hromadit. Voda pak prochází skrz betonovou konstrukci nejjednodušší cestou, a to nemusí být vždy přímo v místě poruchy. Nezřídka se tak stává, že netěsnost hydroizolace může být i několik metrů od místa průsaku v interiéru. Následná složitá lokalizace problému pak spočívá v odkopání zeminy od vnější strany konstrukce, což mnohdy spočívá v rozsáhlé likvidaci nákladných terénních úprav (chodníky, záhony, okrasné keře a stromy, atd.).

Injektáž

V rámci hydroizolace se tato metoda řadí spíše k sanačním opatřením. Pomocí sond, které jsou do konstrukce vloženy do vrtů v konstrukci a utěsněny, se aplikuje směs, která vyplňuje trhliny a zvyšuje tak pevnost a vodonepropustnost betonu. Typickými injektážemi směsmi jsou polyuretanové pryskyřice, epoxidové pryskyřice a cementy. Vzhledem k vyšší viskozitě směsi, není možné vyplnit póry, kterými voda následně může pronikat. Souhrnně tak lze říci, že použití této metody je vhodné spíše pro trhliny, které ohrožují nosnou funkci konstrukce. [15]

Krystalizace

Jedno z prvních použití krystalizačních přísad, datuje firma Xypex roku 1969 ve Vancouveru. Právě od geografické polohy místa vzniku pochází pojem krystalizace kanadského typu. Jednalo se o směs portlandského cementu, jemného křemičitého písku a přísady, které zajišťují sekundární krystalizaci betonu a které jsou jakýmsi know-how každého výrobce krystalizace. Toto složení je prakticky neměnné až dodnes. [8]

Princip

Princip funkčnosti krystalizačních přísad spočívá v jejich schopnosti sekundární krystalizace. Použití krystalizací je možné do běžných typů betonu, mnohdy je omezeno minimálním množstvím cementu. Praxe je však v tomto ohledu mnohdy poněkud benevolentnější a její funkčnost je prokázána i při menším množství cementu, než je požadováno výrobcem přísad.

Krystalizační přísady je možné aplikovat několika různými způsoby. Jedním z nich je sanační opatření, tzv. krystalizační ucpávka. V místě průsaku je beton odkopán a na toto místo je aplikována čistá krystalizace, která je zahlazena. Dalším možným použitím je nástřik či nátěr, většinou z interiéru stavby. Těmito způsoby aplikace se však v této práci zabývat nebudu. [6]

Způsob aplikace, který je nejvhodnější pro novostavby a tím pádem i pro můj návrh spodní stavby bytového domu, je vsyp krystalizace přímo do čerstvého betonu přímo v betonárně v míchačce. Někteří výrobci již vyrábí balení, uzpůsobené pro aplikaci do autodomíhávače přímo na stavbě před betonáží, avšak za dodržení předepsaných technologických postupů. Vždy je nutné dodržet pečlivě předepsané množství určené výrobcem, protože příliš velké množství může být až škodlivé, jak ostatně dokazují experimenty, které budou zmíněny dále.

Základní funkční princip krystalizace není složitý. Jedná se o přísadu, která po kontaktu vody a ztvrdlého betonu způsobuje sekundární krystalizaci. Krystalizaci můžeme nazvat katalyzátorem v betonové směsi. Katalyzátor lze nazvat jako látku, která přispívá k uskutečnění nějakého děje. Z reakce přitom vystupuje chemicky nezměněná, i když v tomto případě se mění jeho struktura, ale chemické složení zůstane stejné. Ke správnému pochopení a popsání všech vlastností krystalizace, je nutné popsat průběh hydratace cementu. [6] [7]

Hydratace cementu byla v minulosti popisována pomocí několika různých teorií (LeChatelier, Michaelis), v dnešní době ale vycházíme z předpokladu, že reakce probíhá na principu gelové-krystalové teorie. Můžeme ji rozdělit do tří period. [9]

- Indukční perioda hydratace cementu

Tuto periodu rozdělujeme do dvou fází. První fáze je z hlediska celkového vývoje hydratace nejkratší, trvá přibližně 10 – 15 minut. Začíná, když je k cementu přidána voda a zrna cementu se začnou hydratovat. V této fázi vzniká hydrosilikátový gel a portlandit. [9]

Ve druhé fázi této periody, která trvá přibližně 1 – 2 hodiny po prvotním kontaktu cementu s vodou, vzniká ettringit. Při přítomnosti menšího množství síranu vápenatého v čerstvém

betonu pak monosulfát. Ettringit může následně také přecházet na monosulfát. Výsledkem tohoto procesu je, že čerstvý beton začne být viskózní a tím pádem hůře zpracovatelný. Začínají se tvořit zárodky krystalů (které prostupují výsledným ztvrdlým betonem) a dochází k dalšímu vzniku ettringitu. Na konci této fáze by tak měl být čerstvý beton již uložen do bednění, protože další manipulace s ním by mohla ovlivnit jeho výsledné vlastnosti. Výrobci betonů garantují dobu pro uložení betonu obvykle tři hodiny. Vše záleží na aktuálních, nejen klimatických podmínkách. [9]

- Druhá perioda hydratace cementu

Další dvě periody již nejdou tak přesně časově označit. Souhrnně můžeme říci, že probíhají několik dalších let, možná i po celou dobu životnosti betonu. V této fázi dochází k tzv. tuhnutí čerstvého betonu a dosahování pevností blížících se požadovaným pevnostem. Děje se to kvůli vzniku dlouhovláknitého kalciumhydrosilikátu a zvětšujících se krystalům portlandského cementu, které do sebe navzájem prorůstají. V praxi bychom mohli říci, že tato fáze je dokončena přibližně v době, kdy konstrukce odbedňujeme. Pro úplnost tedy uvedme dobu mezi 24 až 48 hodinami. V odborné literatuře se však časové ohraničení této fáze výrazně liší. [9]

- Třetí perioda hydratace cementu

V této periodě dochází pouze k růstu pevnosti ztvrdlého betonu (zrání). Ettringit přechází na monosulfát a nehydratovaná cementová zrna při přítomnosti vody hydratují. Kvůli přesnému časovému ohraničení uvažujeme s dobou trvání 28 dní, ale konec této fáze nelze prakticky určit, protože beton může podle některých zdrojů zrát i „celý život“. [9]

Protože téma hydratace cementu není hlavním tématem této práce, nebylo popsáno příliš podrobně. Pro následnou charakteristiku krystalizačních přísad je ale alespoň elementární znalost nutným předpokladem.

Zjednodušeně celý proces krystalizace lze shrnout takto: Pokud beton není v kontaktu s vodou, nelze účinky krystalizace nijak pozorovat. Po kontaktu s vodou proběhne chemická reakce, díky které začne probíhat reakce katalytická. Jejím výsledkem je růst krystalů. Celému tomuto procesu říkáme sekundární krystalizace betonu. Od tohoto jevu, kdy pórovitou strukturu betonu začnou vyplňovat nové krystaly, je odvozen pojem krystalizace. Krystaly trvale utěsní kapilární systém a to v celé hmotě betonu.

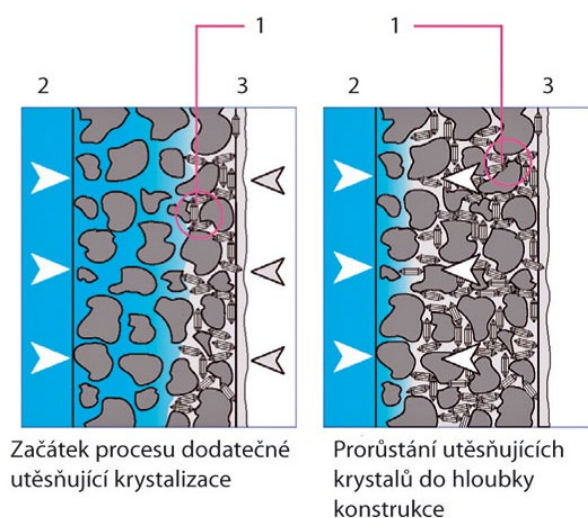
I když je krystalizace přidána do betonové směsi v indukční periodě hydratace cementu, její vlastnosti se začnou projevat až ve třetí periodě hydratace cementu. V první periodě je voda v čerstvém betonu spotřebována na hydrataci cementu v základní betonové směsi a přebytečná voda odteče. Krystalizační přísada je sice hydratována a vpravena do čerstvého betonu, ale růst krystalů v této fázi neprobíhá. Krystaly začínají růst, (obr. 4) až po kontaktu s vodou na vnitřních stěnách technologických a kapilárních pórů (póry dostatečně velké pro průnik vody). Růst probíhá od nejzazšího místa kontaktu vody a konstrukce. Voda je postupně

Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník

spotřebovávána na růst krystalů a ty tak vodu z konstrukce postupně vytlačují. Krystaly prostupují celou konstrukcí, což je hlavní rozdíl oproti povlakovým hydroizolacím, kdy je izolace umístěna pouze na jednom okraji konstrukce. Nositelem hydroizolace je celá konstrukce. Vzhledem k tomu, že krystalizace reaguje s vodou pouze v kapilárních a technologických pórech, gelové póry (malé póry, do kterých neproniká voda) zůstávají pro plyny propustné a beton tak zůstává difúzně propustný. [10]



Obr. 4 – princip funkčnosti krystalizace, 1 – krystaly, 2 – exteriér, 3 - interiér

Otázka však je, jak dlouhodobý je proces růstu krystalů. Tento proces nejde opět přesně časově ohraničit a plné nepropustnosti konstrukce lze dosáhnout v závislosti na okolních podmínkách, protože pro růst krystalů je vždy nutná přítomnost vody. Obecně lze říci, že krystaly začnou růst, jakmile beton vyschne a začne mít typicky šedou barvu. Od té doby je veškerá voda, co je v kontaktu s konstrukcí, spotřebována na růst krystalů. Můžeme tak tvrdit, že konstrukce je vodonepropustná prakticky okamžitě poté, co začne plnit svou nosnou funkci. [10]

Další otázkou je schopnost opětovné krystalizace. Představme si situaci, kdy je z nějakého důvodu tato hydroizolační metoda použita na betonové konstrukci namáhané momentem proměnlivým v čase. Ke konstrukci se dostane voda, krystaly se vytvoří a konstrukce se stane vodonepropustnou. Následně je ale konstrukce opětovně zatížena a vzniknou nové trhliny, které bez přítomnosti vody nezarostou. Je experimentálně dokázáno, že se opětovná krystalizace opakuje minimálně dvakrát, ale zkušenosti z praxe začínají ukazovat, že tento efekt má pravděpodobně neomezenou životnost. Musíme vzít v úvahu, že laboratorní podmínky se nikdy nevyrovnají podmínkám přírodním přímo na staveništi, a tak budou závěry experimentů v laboratoři a v praxi často rozporuplné. [10]

H – Krystal MR

Pro svůj návrh spodní stavby bytového domu a pro experimentální zjištění vlastností jsem si zvolil konkrétní produkt. Jedná se o krystalizační příměs od společnosti ARTESA Capillary Dry s. r. o., konkrétně o jejich produkt H – Krystal MR. Tento produkt jsem zvolil, protože jsem s ním měl možnost pracovat na stavbě při betonáži, podílel jsem se na několika projektech, kde byl předepisován a měl jsem tak možnost vidět výsledný vodonepropustný beton. Díky těmto zkušenostem se mi podařilo získat mnoho informací přímo od majitelů firmy a zároveň vývojářů této přísady, včetně výsledků experimentů prováděných pražským TZUsem (Technický a zkušební ústav stavební Praha, s. p.). Těmito experimenty bylo zjištěno mnoho dalších příznivých jevů, které krystalizace betonu propůjčuje.

Pří sada se dává v množství 2 – 3 kg/m³, přičemž 3 kg se používají obvykle v agresivním prostředí ve stálém kontaktu s vodou. Výrobce udává, že množství cementu nesmí být menší než 300 kg/m³. Ideální je aplikovat přísadu na betonárce do skypu, aby se doba přepravy na staveniště využila k dostatečnému promíchání a rozpuštění směsi. Pokud budeme krystalizaci z nějakého důvodu přidávat až na stavbě přímo do autodomíchávače těsně před betonáží, je třeba nechat betonovou směs promíchat minimálně 10 minut na plný výkon. Výrobce udává, že je nutné ještě pro tuto aplikaci přidat vodu, aby zpracovatelnost betonu zůstala stejná. [11]

Nejdůležitějším sledovaným jevem je, do jaké velikosti trhlin jsou krystaly schopné vytvořit vodonepropustnou konstrukci. Tato schopnost byla definována vysoko nad limitní hodnoty normy. Při zátěži vodním sloupcem o výšce 0,5 m a ideálních teplotních podmínkách, je krystalizace schopná překlenout trhlinky v betonu do šířky 0,5 mm. Jako rozumnou hodnotu a s ohledem na zahrnutí rezervy, výrobce v technických listech udává schopnost zarůstání trhlin do 0,4 mm. Vzhledem k tomu, že beton je materiál složený z heterogenních částí a jeho výsledná kvalita závisí na úrovni zhomogenizování jednotlivých částí, stává se výpočet velikosti trhlin mnohokrát poměrně nepřesný a tato rezerva je tak adekvátní. Při znalosti těchto skutečností však nemůžeme snižovat požadavky na beton z hlediska průsaku a vlivu prostředí podle normy ČSN EN 206-1+A1. Návrhové šířky trhlin by měly vždy vycházet z normových požadavků na vodostavební betony bez povlakových hydroizolací a v závislosti na intenzitě působení a agresivitě vody.

Jako další zmiňme nárůst pevnosti betonu v tlaku. Tento jev je doprovázen prvotním zpomalením náběhu pevnosti (začátek tuhnutí po 7 hodinách od prvotní hydratace), který umožňuje prodloužení maximální možné doby pro ukládání betonu. Pevnost po jednom dni je snížena přibližně o 25%, třídní pevnost je s použitím H - Krystal MR až o 10% vyšší oproti pevnosti betonu bez krystalizace. I při použití menšího množství cementu je následně nárůst krychelné pevnosti po sedmi dnech 18%, po 28 dnech pak 15%.

Trhliny v betonu nemusejí vznikat pouze od zatížení. Jejich původ může být také od příliš velkého smrštění betonu. To může mít více důvodů. Jedním z nich je vysoký vývin hydratačního tepla. Vývin hydratačního tepla a smrštění je sníženo přibližně o 25 – 27 %, oproti betonu bez přísady. To má na výslednou vodonepropustnost konstrukce zásadní vliv. [10]

Z těchto vlastností je zřejmé, že krystalizační přísady k vodonepropustnosti nepřispívají pouze zarůstáním trhlin, ale také podporou vlastností (zmenšení smrštění, snížení hydratačního tepla,...), které jsou typické i pro vodonepropustné betony bez krystalizace. Ve zkratce tak lze říci, že z klasického betonu, definovaného podle české normy ČSN EN 206+A1, lze přidáním krystalizace udělat beton vodonepropustný a to nejen na základě vyplnění trhlin a pórů krystaly, ale i na základě zlepšení vlastností pro zrání betonu a tím pádem značného snížení vzniku smršťovacích trhlin.

Bílá vana

Všechny tyto zmíněné vlastnosti, kdy monolitická železobetonová konstrukce, kromě nosné funkce plní ještě funkci hydroizolační, lze shrnout do odborného názvu „bílá vana“. Kromě suterénních konstrukcí je toto využití typické pro dopravní stavby, nádrže a průmyslové stavby. Obecně (např. pro dopravní stavby) pro správnou funkci bílé vany je zapotřebí dodržet tyto zásady – vodonepropustnost betonu, zamezení vzniku trhlin, rozdělení vzniklých trhlin (zajištění malých šířek), sanace trhlin. Ovlivnit chování trhlin lze množstvím a roztečí použité výztuže. Tonáž výztuže se může výrazně lišit v závislosti na vstupních parametrech výpočtu a požadavcích investora. S vysokými požadavky náklady na navrženou výztuž prudce rostou, je proto na dohodě projektanta s investorem, jaké požadavky jsou pro konkrétní konstrukci dostatečné. Vyšší stupeň vyztužení riziko vzniku trhlin snižuje, i tak ho ale nemůže s jistotou vyloučit. Cílem projektanta by proto měl být rozumný návrh s ohledem na velikost a šířku vzniklých trhlin a na výslednou cenu.

U suterénních konstrukcí obytných staveb bude kladen důraz také na detaily typické pro tyto objekty. Především se jedná o těsnění prostupů (např. TZB) a pracovních a dilatačních spár. Právě správný návrh a provedení těchto detailů, hraje u obytných staveb stěžejní roli v bezchybné funkčnosti bílých van. Nezbytnou roli při návrhu hraje také uvážení podmínek, které budou na konstrukci působit – agresivita prostředí, přítomnost mrazu a rozmrazovacích prostředků a stálost působení vody. [13] [14]

Legislativa v ČR

V kapitole „vodonepropustný beton v ČR“ je podrobně zmíněno (obr. č. 1), jaké maximální průsaky konstrukcí jsou povoleny v závislosti na stupni vlivu prostředí. Znovu připomeňme, že se jedná o jedinou normu v ČR, která definuje vodonepropustnost betonových konstrukcí. Velkou nevýhodou je, že z označení stupně vlivu prostředí není možné poznat, že se jedná o vodonepropustnou konstrukci, tedy o bílou vanu. Pro lepší pochopení uveďme příklad monolitické suterénní stěny, na kterou působí stupeň vlivu prostředí XA3. Zde je podle normy ČSN EN 12390-8 požadován maximální průsak 20 mm. Z tohoto označení není zřejmé, zda se jedná o suterénní stavbu provedenou jako bílou vanu, nebo za použití povlakové hydroizolace. To je zásadní při provádění detailů spár a otvorů. Nejsou zde pro bílé vany uvedeny také žádné další důležité požadavky (nutná dodatečná opatření, příklady použití, tloušťka konstrukce, omezení trhlin, atd.). V tomto směru se proto můžeme inspirovat například u našich rakouských a německých kolegů.

Zahraniční legislativa

Rakouská směrnice „Vodonepropustné betonové konstrukce – bílé vany“, vznikla v roce 2002 jako reakce na nové technologické možnosti a zkušenosti získané při provádění bílých van. Následně byla přeložena Českou betonářskou společností a vydána jako „Technická pravidla ČBS 02“. Rakouská směrnice rozlišuje situace, které mohou nastat, již o poznání podrobněji. Projektant při návrhu definuje třídu požadavků, která rozlišuje intenzitu průsaku vody na interiérové straně konstrukce a konstrukční třídu, ve které jsou uvedeny minimální tloušťky konstrukcí, stupeň vyztužení, maximální šířky trhlin a určení normalizovaného vodonepropustného betonu. (obr. 5, 6, 7, 9, 10). Je nutné najít mezi všemi faktory rozumnou rovnováhu (obr. 8). [13]

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	Sklady zboží, které je zvláště citlivé na vlhkost	2)
A ₁	Z větší části suché	Vizuálně patrná jednotlivá vlhká místa (max. matné tmavé 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	Kapkovitý výskyt vody s tvorbou proužků vody	Množství odtékající vody lze měřit v zachytných 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)

Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník

A ₄	mokrě	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. 5 – Třídy požadavků na vodonepropustnost vnějších stěn, základových desek a stropů [13]

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

Konstrukční třída	Min. tloušťka stavebního dílu ¹⁾²⁾ [m]	Dimenzování na vynucená namáhání	Dimenzování na zatížení	Normalizovaný 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 ³⁾ : • 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: • předeprnutí • 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 ³⁾ : • 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 vložit separačních fólií. 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 ³⁾ : • 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. předeprnutí, 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).

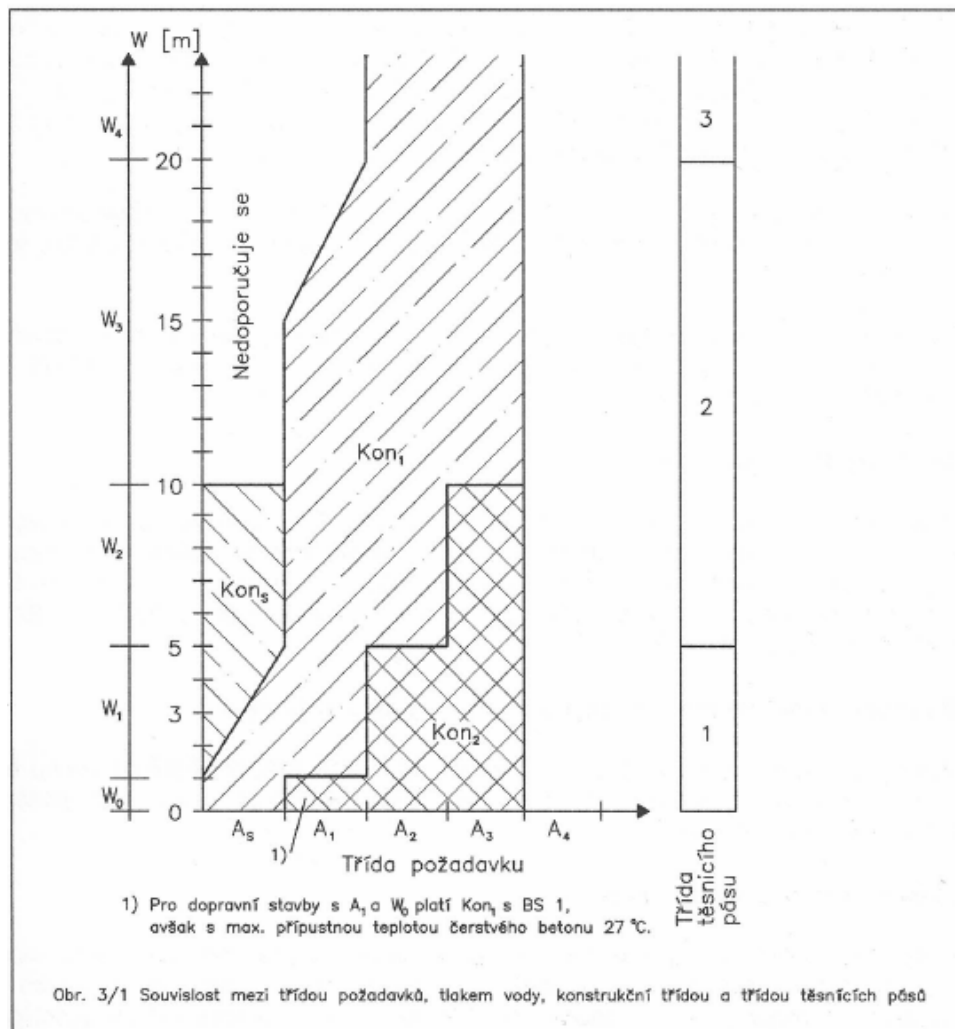
Obr. 6 – konstrukční třídy pro bedněné železobetonové stavební díly [13]

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. 7 – třídy tlaku vody [13]



Obr. 8 – souvislost mezi třídou požadavků, tlakem vody, konstrukční třídou a třídou těsnících pásů [13]

Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník

Profily pro vnitřní pásy dilatačních spár				
Třída tlaku vody	Třída těsnicího pásu	Materiál	Minimální šířka [mm]	Minimální tloušťka [mm]
W ₀	1	PVC; PVC/NBR	240	4
		Elastomer	240	9
W ₁ / W ₂ / W ₃	2	PVC; PVC/NBR	320	5
		Elastomer	320	12
		Elastomer/ těsnicí plech	320	10/1
W ₄	3	PVC; PVC/NBR	500	6
		Elastomer	500	13
		Elastomer/ těsnicí plech	500	12/1

Obr. 9 – třídy těsnících pásů dilatačních spár [13]

Profily pro vnitřní pásy pracovních spár				
Třída tlaku vody	Třída těsnicího pásu	Materiál	Minimální šířka [mm]	Minimální tloušťka [mm]
W ₀ /W ₁	1	PVC; PVC/NBR	240	3,5
		Elastomer	240	8
		Těsnicí plech ¹⁾	300	2
		Bobtnavý profil	20	7
W ₂ / W ₃	2	PVC; PVC/NBR	320	4,5
		Elastomer	320	8
		Těsnicí plech	350	2
W ₄	3	PVC; PVC/NBR	500	6
		Elastomer	500	10
		Těsnicí plech	500	2

¹⁾ Těsnicí plechy spár potažené butylkaučukem (šířka ≥ 150 mm, tloušťka 1,8 mm) jsou přípustné pro třídu tlaku vody W₀, pokud je při zabudování zajištěna minimální spojovací hloubka 30 mm.

Obr. 10 – třídy těsnících pásů pracovních spár [13]

Německá směrnice, která byla také přeložena Českou betonářskou společností, upřesňuje podmínky o vodonepropustných konstrukcích, které dříve nebyly přesně definovány v DIN 1045 – 1. Překlad je pojmenován „Technická pravidla ČBS 04 – Vodonepropustné betonové konstrukce – překlad německé směrnice a komentáře“ a jak je ze samotného názvu zřejmé, je každá kapitola doplněna komentářem, který text připodobňuje k českému prostředí. Hned v úvodu němečtí autoři poukazují na nutnost dodržení všech požadavků, které jsou nutné ke komplexní funkčnosti bílých van. Podobně jako u rakouské směrnice probíhá návrh na základě dvou tříd. Třída namáhání (obr. 11) rozlišuje, zda je konstrukce vystavena stálému kontaktu s vodou, nebo kontaktu se zemní vlhkostí. Podle třídy namáhání pro danou konstrukci je následně určena její tloušťka a dovolená šířka trhliny (obr. 12 a 13). Třída užívání definuje dovolený průsak, vzhledem k budoucímu využití chráněného prostoru (obr. 14). [14]

Třída namáhání 1	Třída namáhání 1
1	2
Trvalý kontakt konstrukce s vodou dle 3.6 a 3.18: <ul style="list-style-type: none"> - podzemní voda, záplava, dočasná tlaková voda (viz kap. 3.6.2), - dočasně vzdutá prosakující voda (viz kap. 3.6.1), - netlaková voda, výhradně na vodorovných a ukloněných plochách (viz kap. 3.18). 	Kontakt konstrukce s vlhkostí nebo prosakující vodou: <ul style="list-style-type: none"> - vlhká zemina, - nevzdutá prosakující voda (viz kap. 3.19), jen u silně propustné zeminy nebo u trvale průtočné drenáže dle DIN 4095.

Obr. 11 – porovnání tříd namáhání [14]

	Konstrukční část	Třída namáhání	1	2	3
			Způsob provádění		
			monolit	filigránové stěny	prefabrikáty
1	stěny	1 ¹	240	240	200
2		2 ²	200	240 ³⁾	100
3	základové desky	1 ¹	250	X	200
4		2 ²	150		100
¹ třída namáhání 1:			tlaková a netlaková voda, dočasně vzdutá prosakující voda		
² třída namáhání 2:			zemní vlhkost a nevzdutá prosakující voda		
³ za zvláštních technologických a prováděcích podmínek je možné snížení na 200 mm					

Obr. 12 – doporučené minimální tloušťky konstrukcí (údaje v mm) [14]

	1	2
	Tlakový spád h_v/h_b ¹	Dovolená šířka trhliny w v mm (návrhová hodnota) ²
1	≤ 10	0.20
2	> 10 až ≤ 15	0.15
3	> 15 až ≤ 25	0.10
¹ h_v = výška vodního sloupce v m; h_b = tloušťka konstrukce v m ² Pro agresivní vodu s koncentrací > 40 mg/l CO_2 (odvápňující kyselina uhličitá) a $pH < 5,5$ se nesmí uvažovat samotěsnící schopnost trhlín.		

Obr. 13 – návrhové šířky průběžných trhlin dle DIN 1045-1v závislosti na tlakovém spádu, při využití průsaku vody samotěsnící schopností [14]

Třída užívání A	Třída užívání B
1	2
<p>Průsak kapalné vody nepřipustný:</p> <ul style="list-style-type: none"> - žádné vlhké skvrny vlivem průsaku vody^{1), 2), 3)}, - žádné – ani dočasné – zavodněné trhliny a spáry. 	<p>Omezený průsak vody přípustný:</p> <ul style="list-style-type: none"> - vlhké skvrny přípustné, - do nástupu samotěsnicí schopnosti dočasně zavodněné trhliny⁴⁾, - dlouhodobě vlhká povrchová kresba trhlín, avšak bez hromadění vody na volné (vnitřní) straně konstrukce¹⁾.
<p>Příklady použití:</p> <ul style="list-style-type: none"> - standard pro bytové objekty, - sklady s vysokými užitnými požadavky. 	<p>Příklady použití:</p> <ul style="list-style-type: none"> - samostatné a hromadné garáže, - instalační a zásobovací šachty a kolektory, - sklady s nižšími užitnými požadavky.
<p>¹⁾ V případě vodních kapek na povrchu dílců je třeba zjistit, zda se nejedná o kondenzát (viz níže).</p> <p>²⁾ Pod instalovanou vnitřní parozábranou se může vytvořit vlivem tlakových poměrů páry vysoká vyrovnávací vlhkost betonu, která se po odstranění parozábrany projeví tmavým zabarvením povrchu. Důvodem je zamezený odvod vlhkosti a nesouvisí se zvoleným způsobem těsnění konstrukce.</p> <p>³⁾ Pomocí „pijákového testu“ lze spolehlivě zjistit, zda se jedná u tmavých skvrn o pronikající vlhkost: volně položený sací papír nebo savý novinový papír na povrchu betonu se nesmí v důsledku svého zvlhčení zabarvit tmavě.</p> <p>⁴⁾ Čas ukončení procesu samotěsnění musí být v souladu s užitnými požadavky na konstrukci.</p>	

Obr. 14 – porovnání tříd užívání [14]

Prostupy a spáry

V místě, kde je betonáž přerušena, hrozí největší riziko prostupu vody skrz konstrukci. U bytových staveb se jedná především o prostupy pro TZB, pracovní a dilatační spáry. Možných návrhů těchto detailů je mnoho a záleží na uvážení projektanta, k jakému z nich se na základě svých zkušeností a cenových možností investora rozhodne.

Pracovní spáry jsou nejčastěji vyskytující se spárou v monolitických konstrukcích. Provádějí se při každém přerušení betonáže. Je vhodné je navrhovat v místě nulového momentu, pokud to situace dovolí. Přesah výztuže musí být vždy ponechán, aby bylo možné dostatečné její nastykování při další etapě betonáže. Její těsnění lze rozdělit na dva základní typy – vnější a vnitřní. Vnější těsnění se provádí na exteriérové straně konstrukce a mohou se buď vkládat do bednění, nebo dodatečně lepit. Typickými materiály pro tato těsnění jsou bitumenové KMB pásy (asfaltové pásy), elastomerové pásy a bobtnající pásy přitěsněné přitlačnými lištami. U vnějšího těsnění je vždy důležité dodržet dostatečný přesah těsnících pásů přes těsněnou spáru. Pro vnitřní těsnění se nejčastěji používají těsnící plechy, které se vkládají do středu tloušťky konstrukce. Je vždy nutné zajistit jejich dokonalou soudržnost s betonem, aby kolem nich nemohla protékat voda. I u vnitřních těsnění pracovních spár se používají bobtnající pásy, výjimečně je možné použití injektáže pomocí injektážní hadičky. Tato varianta je však vzhledem k technologické náročnosti ne příliš častá.[13] [14]

	Pracovní spára deska–stěna	Pracovní spára deska–deska nebo stěna–stěna	Řízená spára nebo stykovací spára filigránové stěny	Dilatační spára
těsnící plech bez povrstvení tlak vody a rozměry dle [10.2]			 Křížový těsnící plech Třída namáhání 1: jen třída užívání B Třída namáhání 2: jen třída užívání A a B	
těsnící plech s povrstvením oblast použití dle abP		 Pouze pro spáry ve stěnách!	 Křížový těsnící plech	
vnitřní těsnící pás oblast použití dle DINV 18197		 Zalomení pro případ spáry deska-deska	 lišta do řízené spáry	
těsnící trubka oblast použití dle abP			 těsnící plech nebo pás ve spáře deska-stěna	

Obr. 15 – vnitřní těsnění [14]

Dilatační spáry se objevují v konstrukcích s rozměry, které při změnách teplot vykazují značné délkové změny a je proto nutné je kompenzovat. Z důvodu, že těsnění musí být pružné, je volba těsnících materiálů omezenější oproti těsnění pracovních spár. Omezujeme se prakticky pouze na bitumenové KMB pásy a elastomerové pásy. Pokud chceme použít těsnící plechy, musíme do místa dilatační spáry vložit elastický prvek (např. elastomer), který ale musí být vodotěsně spojen s těsnícím plechem (např. navařením).

Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník



Obr. 16 – těsnění pracovní spáry těsnícími plechy

	Pracovní spára deska–stěna	Pracovní spára deska–deska nebo stěna–stěna	Řízená spára nebo stykovací spára filigránové stěny	Dilatační spára
vnější těsnicí pás oblast použití dle DINV 18197				

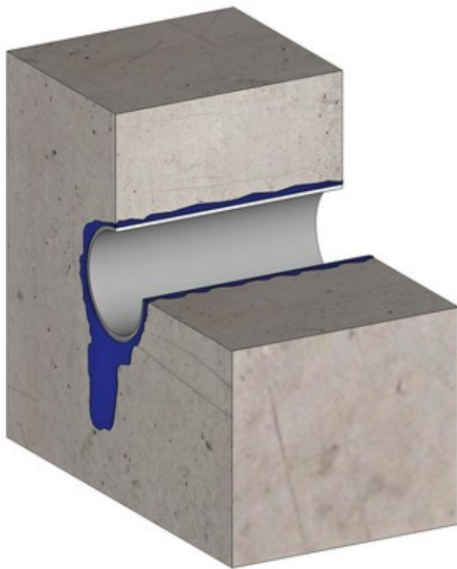
Obr. 17 – vnější těsnění (TP ČBS 04)

	Pracovní spára deska–stěna	Pracovní spára deska–deska nebo stěna–stěna	Řízená spára nebo stykovací spára filigránové stěny	Dilatační spára
bitumenový pás KMB nebo jiné lepené těs- nění oblast použi- tí dle abP				

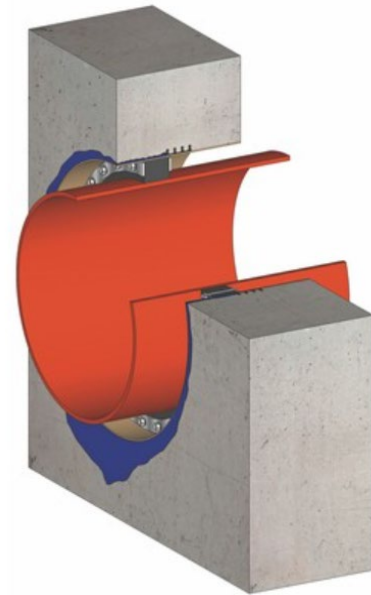
Obr. 18 – lepená těsnění (TP ČBS 04)

Prostupy nejen pro vedení TZB jsou mnohdy opomíjené a jejich návrhu není věnována dostatečná pozornost. Jejich těsnění se musí provádět mezi chráničkou, i mezi potrubím procházejícím chráničkou. Je důležité si uvědomit, že plastové potrubí má jinou tepelnou roztažnost než beton, proto je možné, že velikost těsněného prostoru se bude v čase měnit, a zvolené těsnění by na to mělo být schopné reagovat. Ideální těsnění by tedy mělo vypadat takto: Do bednění před betonáží se vloží pažnice neboli chránička. Ta může být z PVC,

vláknocementová, pozinkovaná, nebo nerezová. Její cena přímo úměrně roste s její životností. Po jejím obvodě je umístěna těsnicí vložka, která zajišťuje těsnění v případě smrštění pažnice. Pažnicí prochází trubka, která musí být izolována další těsnicí vložkou. Ideálním těsnícím prvkem je bentonitový pásek, který při styku s vodou bobtná a utěsni tak netěsnosti v případě pohybu nebo smrštění trubky. Pokud se jedná o prostup určený pro vedení kabelů, je možné použít speciální kabelovou tvarovku, která každý kabel izoluje zvlášť. [17]



Obr. 19 – špatné provedení pažnice prostupu bez těsnicí vložky



Obr. 20 – správné provedení pažnice prostupu s těsnicí vložkou a bentonitovým těsněním

Ošetřování betonu

Jedním z nejdůležitějších faktorů zajišťujících správnou nosnou i hydroizolační funkci bílé vany, je správné ukládání betonu během betonáže a jeho následné ošetřování během tuhnutí. Naším cílem je dobře ztuhlý beton bez velkých kapilárních pórů a trhlin. Betonáž je optimální provádět při teplotách 10 – 25°C. Při nižších nebo vyšších teplotách je pak nutné provést opatření, která minimalizují rozdíly mezi teplotou betonu a okolního prostředí. Vývin hydratačního tepla a velké teplotní rozdíly mezi okolním prostředím a konstrukcí, během tuhnutí betonu, může při nedostatečném ošetření konstrukce způsobit vznik trhlin, které znatelně snižují vodonepropustnost bílých van.

Místem častých vad bílých van, je styk základové desky a obvodové stěny. V tomto místě často dochází ke vzniku kaveren (obr. 21), což jsou místa nedostatečně dobetonovaná. V těchto oblastech často dochází k průsaku vody do objektu. Příčina vzniku obvykle spočívá v ukládání betonu z příliš velké výšky, kdy kamenivo nezůstane rovnoměrně promícháno, ale propadne dolů do dobetonované konstrukce, kde vytvoří „prázdné místo“. Nelze se sem často dostat ponorným vibrátorem, který by nedokonale probetonované místo ztuhlil. Použití ponorných vibrátorů je nutné ke správnému rovnoměrnému ztuhnutí a odstranění vzduchu z betonové směsi (obr. 22), který by vytvořil aktivní póry, kterými by mohla pronikat voda.



Obr. 21 – kaverny na styku základové konstrukce a obvodové stěny z exteriéru



Obr. 22 – správně zhutněný beton, vlevo otlučená část pomocí hydraulického kladiva – rovnoměrné rozložení kameniva

Během tuhnutí je nutné minimalizovat teplotní rozdíl povrchu konstrukce a okolního prostředí. V případě velkých teplotních rozdílů mohou vzniknout smršťovací trhliny, které znamenají hydroizolační problém. Ideálním řešením při teplotách 5-25°C, je kropení vodní mlhou, která chladí povrch tuhnoucího betonu, který je hlavně v prvotních fázích tuhnutí vlivem hydratačního tepla výrazně teplejší než okolní prostředí. Při teplotách vyšších než 25°C je riziko popraskání povrchu betonu během kropení studenou vodou, kvůli rychlé změně teploty povrchu. Při teplotách nižších než 5°C, je nezbytné betonovanou konstrukci překrýt např. geotextilií, která zamezí promrznutí tuhnoucího betonu a jeho roztrhání nezhydratovanou vodou. [16]

Referenční příklady staveb

V ČR se technologie bílých van používá přes dvacet let a těší se rostoucí oblibě. Její použití je možné i v agresivním prostředí nebo hluboko pod hladinou podzemní vody. V této kapitole budou uvedeny stavby, jejichž spodní stavba je provedena za použití krystalických přísad v suterénních konstrukcích. Zástupci uvedených budov doposud u projektantů nereklamovali žádnou poruchu spodní stavby, která by byla způsobena nedostatečnou hydroizolací. [11]

- Slovanský dům

Ve Slovanském domě docházelo v letech 1999 - 2000 k dodatečné výstavbě podzemních podlaží. Základová spára se nachází 10 m pod HPV a konstrukce je vystavena agresivnímu prostředí obsahujícímu velké množství síranů.



Obr. 23 – nová podzemní podlaží



Obr. 24 – nová podzemní podlaží

- Hotel Four Season

Stavba na břehu Vltavy, kdy se základová spára nachází 6,5 m pod hladinou Vltavy.



Obr. 25 – pohled na budovu ve výstavbě



Obr. 26 – sanace těsněných spár

- Polyfunkční dům Na Příkopě 14

Na rohu ulic Panská a Na Příkopě byla provedena demolice zadní části objektu kromě fasádní stěny do Panské ulice. Následně byl proveden návrh nového objektu, což obnášelo výrazné změny statického působení na přední objekt. Základová spára se nachází 5 metrů pod HPV. Voda je zde silně agresivní s obsahem síranů, nízkým pH a významnou přítomností CO₂. Všechny suterénní konstrukce byly hydroizolovány pomocí krystalizačních přísad.

Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník



Obr. 27 – obvodové stěny 1. PP



Obr. 28 – stropní deska 2. PP

- **Mayhouse**

Polyfunkční budova Mayhouse se nachází v ulici 5. května v Praze. Během inženýrsko-geologického průzkumu byla zjištěna přítomnost silně rozpukaných hornin, kterými často a nepravidelně prosakuje voda. Přirozený vodní horizont podzemní vody nebyl nalezen. Krystalizační přísada použitá v suterénních konstrukcích v tomto případě nemá k dispozici stálou přítomnost vody potřebnou pro růst krystalů, ale i tak je při krátkodobé přítomnosti vody prokázána její účinnost.



Obr. 29 – základová jáma



Obr. 30 – vizualizace objektu

- **Tribuna fotbalového stadionu Opava**

V tomto případě byla krystalizační přísada použita do prefabrikované konstrukce, vystavené vlivům venkovního prostředí. Hlavním důvodem použití byla snaha snížit, nejlépe úplně zamezit, průniku vody do konstrukce, která by vlivem mrazu mohla být poškozena.



Obr. 31 – pohled na konstrukci tribuny



Obr. 32 – pohled na konstrukci tribuny

Praxe vs. Teorie

Po uvedení referenčních budov, kdy se základová spára nachází nejednou pod úrovní HPV, můžeme vznést otázku, jak se při návrhu vypořádat s normou ČSN P 73 0606 – Hydroizolace staveb – Povlakové hydroizolace – Základní ustanovení, ČSNi, Praha 2000. Ta říká, že při založení stavby je nutné pro konstrukci bílé vany provést minimálně jeden další hydroizolační povlak s pasivním kontrolním systémem, nejlépe však dvojitý hydroizolační povlak s aktivním systémem. Jak je ale vidět, v praxi se již mnoho let úspěšně používají bílé vany bez dalších hydroizolací. Výrobci krystalizačních přísad dokonce tvrdí, že stálý tlak vody na konstrukci je pro růst krystalů lepší a zajišťuje tak lepší vodonepropustnost konstrukce. Nelze asi jednoznačně na základě zkušeností z praxe určit, jaký způsob návrhu je ten správný, ale selský rozum mi přeci jenom říká, že není úplně logické, aby podmínky pro bílé vany určovala norma definující podmínky návrhu povlakových hydroizolací. [7]

Experimentální ověření účinnosti krystalizační přísady

V odborné literatuře a článkách jsem během získávání informací o problematice krystalizačních přísad narazil na dva protichůdné tábory. Na jejich vyhraněné zastánce a odpůrce. I když je funkčnost krystalizace v ČR ověřená 20 lety praktického využívání a její obliba roste, tábor odpůrců je stále velmi rozsáhlý. Nejčastěji je krystalizaci vytýkána nedostatečná hydroizolační schopnost za nepřiměřeně velkou cenu. Proto jsem se rozhodl, že než užití této hydroizolační přísady do konstrukce předepíšu, chtěl bych s ní mít nějakou osobní praktickou zkušenost a nespolehat se pouze na technické listy dodavatele. Protože mi nebylo umožněno kvůli současným epidemiologickým opatřením osobně realizovat experimenty přímo v laboratoři katedry betonových a zděných konstrukcí, provedli je za mě její zaměstnanci, za což jim ještě jednou děkuji. Jelikož tímto úplně odpadla možnost s krystalizací osobně pracovat, rozhodl jsem se další experimenty zrealizovat v domácích podmínkách.

Experimentální ověření – domácí část

V domácích podmínkách jsem se rozhodl zkoumat vztlínavost vody zkušebních těles. Později se ukázalo, že tyto pokusy ozřejmily další vlastnosti krystalizace, které jsou následně použitelné i v praktickém návrhu konstrukce.

Betonová směs

Pro realizaci experimentu jsem se rozhodl použít jemný cementový potěr Knauf BP1. Nejedná se sice o typickou betonovou směs, ale obsah drobného kameniva (zrnitost 0- 4 mm) a cementu je vzhledem k povaze domácího experimentu dostačující. Značnou roli při výběru tohoto materiálu hrála i cena a malé minimální množství, které bylo možné zakoupit. Jako bednění mi posloužily plastové kelímky o objemu 0,5 litru o výšce 14 cm, průměru dna 6 cm a průměru horního okraje 9, 5 cm. Pro zkoumání byly zvoleny 4 směsi. Jedna referenční bez přísad, dvě s různým množstvím přísady (2 a 3 kg/m³) a poté jedna jako čistá přísada. Přesné složení směsi viz. obr. 33. Domácí vybavení mi nedovolilo přesné vážení dávkovaných přísad, což se projevilo i na výsledných vzorcích. V rámci experimentu se nakonec ukázalo, že tyto odchylky nakonec neměly na výsledky přílišný vliv.

Návrh složení betonové směsi			
Název betonu	Knauf BP1 [kg]	Voda [kg]	H-Krystal MR [kg]
Dom0	10	1	0
Dom2	10	1	0,02
Dom3	10	1	0,03
DomK	0	0,5	0,965

Obr. 33 – složení betonových směsí

Zkušební tělesa byla vybetonována v pondělí 22. 2. 2021 při 7 °C, od každé zkoušené směsi dvě. Při ukládání betonu do kelímků byly jasně rozpoznatelné některé vlastnosti udávané výrobcem. Nejviditelnější bylo zhuštění betonové směsi po přidání krystalizace, zpomalení doby tuhnutí a omezení vývinu hydratačního tepla. Zatímco vzorek Dom0 byl přibližně hodinu

po uložení do kelímku tvrdý, vzorky Dom2 a Dom3 byly stále měkké. Vzorek Dom3 byl i dvě hodiny po uložení téměř stejné konzistence jako při ukládání. Zcela jiné vlastnosti měla čistá krystalizace. Ačkoliv bych očekával vlastnosti podobné těm, které deklaruje výrobce při použití v betonu, byly naprosto opačné. Samotná krystalizace úplně ztvrdla přibližně po 10 minutách. Podobně se vzorky chovaly i při pozorování vývinu hydratačního tepla. Vzorek Dom0 byl na omak teplý, vzorek Dom2 méně a u vzorku Dom3 jsem žádné teplo nepozoroval. Naopak samotná krystalizace byla extrémně teplá a při přidávání vody se zdálo, jako by se voda při prvotním kontaktu s krystalizací začala vařit.



Obr. 34 – čerstvě vybetonované vzorky (ze shora: Dom0, Dom2, Dom3, DomK)

Všechny vzorky byly následně uloženy po dobu tří dnů při teplotě 15 °C a ve čtvrtek 25. 2. 2021 vyjmuty z forem. Jejich povrch byl během uložení ve formách pravidelně ošetřován vodou. Aby bylo možné pozorovat vztlínavost vody, bylo nutné nechat vzorky vyschnout. Tělesa byla ponechána 14 dní při pokojové teplotě a následně byla uložena do bedny s dvěma centimetry vody (11. 3. 2021). Po 24 hodinách byla zdokumentována výška, do které voda vystoupala.

Při vyjmutí těles z forem bylo možné pozorovat nepřesnosti, které vznikly během míchání jednotlivých betonových směsí. Kromě vzorku Dom3, byly všechny ostatní vzorky ztvrdlé a jejich vyjmutí z forem bylo jednoduché a bezproblémové. Vzorek Dom3 byl při vyjmutí stále měkký a při manipulaci došlo k odlomení jeho spodní části. Povrch tohoto vzorku byl nespojitý a drsný, vlivem zvýšené přilnavosti k formě při odbedňování. Nejpravděpodobnější příčinou špatné kvality tohoto vzorku je příliš velké množství krystalizační přísady přidané do směsi způsobené nepřesným vážením. To zapříčinilo extrémní retardaci tuhnutí a zhoršenou kvalitu betonu při odbednění po třech dnech. Těžko odhadovat, zda by beton při ponechání v bedně

Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník

delší dobu ztvrdl, nebo se proces tuhnutí zcela zastavil. Tato zkušenost ukazuje, že není možné překračovat maximální možné dávkování a že větší než povolené množství může kvalitu betonu výrazně zhoršit.



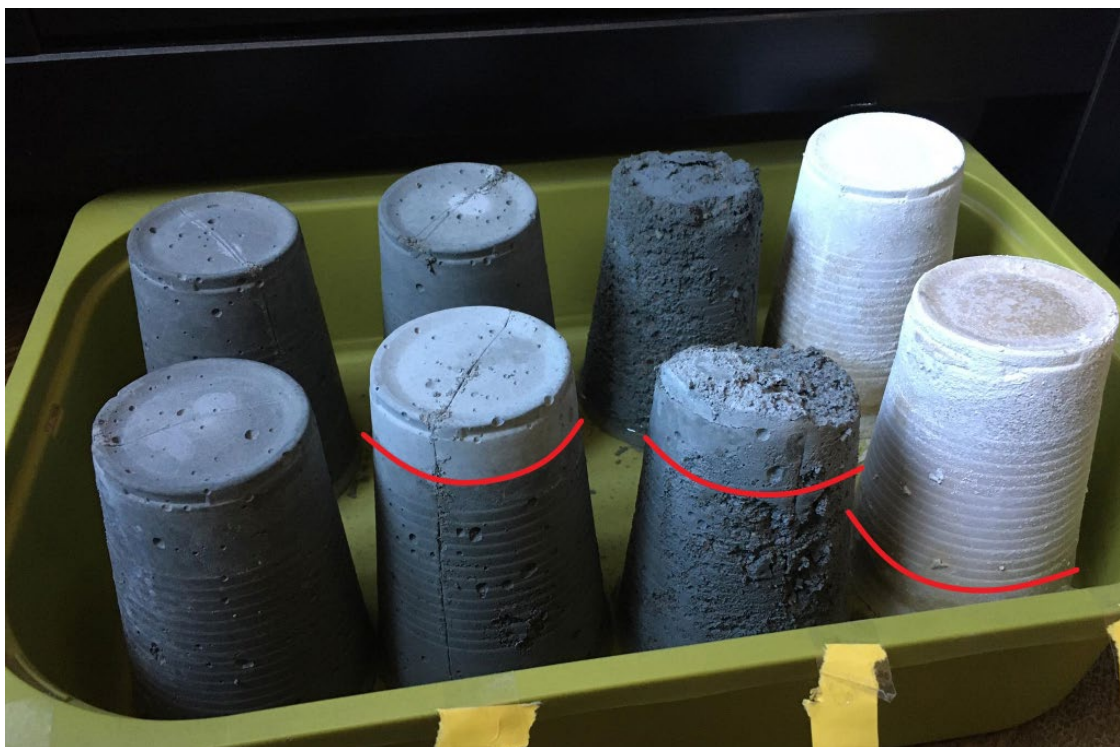
Obr. 35 – vzorky čerstvě po odbednění (zleva: Dom0, Dom2, Dom3, DomK)



Obr. 36 – vyschlé vzorky po uložení do vody (zleva: Dom0, Dom2, Dom3, DomK)

Výsledky

Zkouška vztlínivosti dopadla naprosto podle očekávání. Se vzrůstajícím množstvím krystalické přísady ve směsi se maximální hladina vztlínající vody snižovala, zatímco vzorek bez krystalizace byl plně nasáknut vodou (obr. 37). U vzorku Dom3 i přes špatnou kvalitu betonu, byla pozorována nižší hladina vztlínání než u vzorku Dom2. U vzorku DomK, bylo pozorované vztlínání prakticky nulové, nicméně tento případ, kdy by byla konstrukce čistě z krystalizační přísady, je v praxi jen těžko použitelný. Ukazuje nám ale, že hydroizolační vlastnosti krystalizace jsou opravdu silné. Vzorky byly ve vodě ponechány i nadále a v další fázi experimentu byl pozorován růst krystalů na jejich povrchu. Voda byla průběžně doplňována, aby byla udržena stálá dvoucentimetrová hladina.



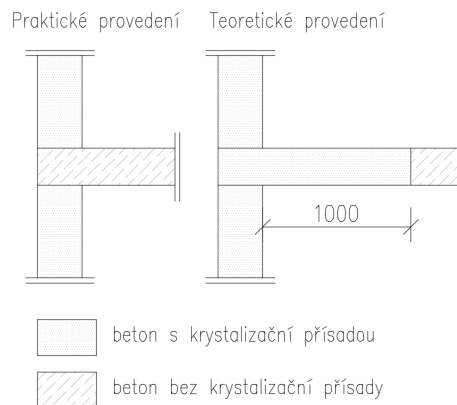
Obr. 37 – vzorky 24 hodin po přidání vody s vyznačenými hladinami vztlínání (zleva: Dom0, Dom2, Dom3, DomK)

První krystaly se objevily po čtyřech dnech od vložení vyschlých těles do vody, tedy 15. 3. 2021 a to na povrchu vzorku Dom2 (obr. 38). Dalo by se očekávat, že jako první se krystaly objeví u vzorku DomK, ale zde se ukazuje, že správné množství přísady přidané dle pokynů výrobce do betonové směsi, vede k očekávaným výsledkům. Následně se krystaly začaly objevovat na površích všech vzorků s obsahem krystalizace. Zde se ukázalo, že krystaly se v betonu tvoří přesně podle obr. 4, kdy je voda v betonu postupně spotřebovávána na růst krystalů. Se vzrůstajícím množstvím krystalizace ve vzorcích byla hranice růstu krystalů nižší. Prakticky se dá říci, že kopírovala hranici vztlínání vody po 24 hodinách (Obr. 40).



Obr. 38 – vzorek směsi Dom2 po 4 dnech ve vodě – růst krystalů

Neočekávané bylo chování vzorku Dom0. Ten byl ve společné nádobě s vodou ponechán spolu s ostatními vzorky. Po 14 dnech od vložení do nádoby s vodou na jeho povrchu začaly růst krystaly také v poměrně velkém množství, srovnatelném se vzorkem Dom2. Tento jev lze vysvětlit tak, že voda v nádobě krystalizaci v ostatních vzorcích rozpustila a transportovala do vzorku Dom0. I když bylo toto pozorování zprvu neplánované, nakonec se jeví jako nejdůležitější zjištění z celého experimentu. V praxi ho můžeme použít při návrhu detailu styku stropní desky a suterénních stěn. Teorie říká, že od líce suterénní stěny, by se mělo přibližně 1 metr stropní desky provádět z betonu s krystalizací, stejného jako pro suterénní stěny (obr. 39). Po mém zjištění během experimentu jsem se informoval v projekční kanceláři, kde jsem vykonával odbornou praxi, jak se návrh takového detailu v praxi řeší. Bylo mi řečeno, že se stropní desky provádí celé z betonu bez krystalizace (obr. 39), protože krystalizace je schopná prorůst ze suterénních stěn a místo styku desky a stěn tak vodotěsně zaizolovat. Toto zjištění mi pomohlo v konkrétním návrhu detailu v bytovém domě, navrhovaném v této práci.



Obr. 39 – detail styku suterénní stěny a stropní desky

Závěr

Na závěr této části bych chtěl dodat, že cílem tohoto domácího experimentu bylo hlavně praktické poznání krystalizace a jejího chování při různých dávkách a podmínkách. Záměrně nebyly dodrženy normové předpoklady pro zkoušení betonu (zrání 28 dní, uchovávání ve vodní lázni...). Mým zájmem bylo ověřit chování krystalizace v co možná nejpodobnějších podmínkách použití ve stavební praxi, kdy odbedněná konstrukce není chráněna před vnějšími vlivy (déšť, sníh, vítr...) a hydroizolační funkčnost je tak požadována mnohdy dříve než po 28 dnech.



Obr. 40 – vzorky po 3 měsících ve vodě – 11. 5. 2021 (zleva: Dom0, Dom2, Dom3, DomK)

Experimentální ověření – laboratorní část

V rámci ověřování vlivu krystalizační přísady na výsledné vlastnosti betonu, byly některé experimenty provedeny v laboratoři katedry betonových a zděných konstrukcí FSv ČVUT v Praze. Konkrétně byla zjišťována pevnost v tlaku, pevnost v příčném tahu a průsak tlakovou vodou. Průsak tlakovou vodou byl měřen v Experimentálním centru FSv ČVUT v Praze. Z důvodu koronavirových opatření mi nebylo umožněno se experimentů osobně zúčastnit, proto je za mě provedli zaměstnanci těchto pracovišť, za což jim ještě jednou děkuji.

Betonová směs

Pro experiment byla zvolena referenční betonová směs (vzorky Lab0), která byla porovnávána se směsí, do které byla navíc přidána krystalizační přísada H-Krystal MR v množství 3 kg/m^3 (vzorky Lab3). Nijak jinak se složení betonové směsi neměnilo, nebyla přidána ani voda, jak doporučuje výrobce krystalizace pro lepší zpracovatelnost. Betonová směs byla namíchána v množství 22 litrů a zhotoveno bylo 6 krychlí o hraně 150 mm od každé směsi. Vzorky byly vybetonovány 3. 3. 2021 a odbedněny byly o dva dny později. Při betonáži byly hutněny po třetinách výšky formy na vibračním stole s frekvencí 55 Hz. Po dobu zrání byly uchovávány při teplotě 25°C a relativní vlhkosti vzduchu 40 %.

Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník

Návrh složení betonové směsi na 1m ³						
Název betonu	Kamenivo [kg]			Cement 42,5 R [kg]	Voda [kg]	H-Krystal MR [kg]
	0-4 mm	8-16 mm	4-16 mm			
Lab0	890	650	360	290	180	0
Lab3	890	650	360	290	180	3,0000

Obr. 41 – složení betonové směsi na 1 m³

Návrh složení betonové směsi na 0,022m ³ (22 l)						
Název betonu	Kamenivo [kg]			Cement 42,5 R [kg]	Voda [kg]	H-Krystal MR [kg]
	0-4 mm	8-16 mm	4-16 mm			
Lab0	19,58	14,3	7,92	6,38	3,96	0
Lab3	19,58	14,3	7,92	6,38	3,96	0,0660

Obr. 42 – složení betonové směsi na 0,022 m³



Obr. 43 – navážené suroviny



Obr. 44 – čerstvý beton po uložení do forem

Složení betonové směsi podle online programu SloBOn, by mělo zhruba odpovídat betonu C30/37 D_{\max} 16 mm S3. Program SloBOn používá jako referenční podklad „Příručka technologa BETON“ od firmy Českomoravský beton. [18]

Základní informace		Hmotnost cementu:	277.2	kg
Požadovaná charakt. krych. pevnost v tlaku po 28 dnech $f_{c,cube}$:	37	Objem vody:	184.4	l
Objem vzduchu v betonu:	0	Hmotnost kameniva frakce 0/0.25:	107.2	kg
Typ cementu:	CEM 42,5	Hmotnost kameniva frakce 0.25/1:	321.7	kg
Objemová hmotnost cementu ρ_c :	3100	Hmotnost kameniva frakce 1/2:	186.9	kg
Objemová hmotnost kameniva ρ_k :	2700	Hmotnost kameniva frakce 2/4:	285.9	kg
Požadovaná konzistence:	S3	Hmotnost kameniva frakce 4/8:	434.3	kg
Křivka zrnitosti použitého kameniva:	ideální	Hmotnost kameniva frakce 8/16:	633.9	kg
Maximální velikost zrna kameniva:	16	Hmotnost kameniva frakce 16/32:	0.0	kg
Jedná se o drcené kamenivo?	Ne	Hmotnost kameniva frakce 32/64:	0.0	kg
		Celková hmotnost 1 m ³ čerstvého betonu:	2431.5	kg

Obr. 45 – výstup z programu SloBOn

Výsledky

Zkouška pevnosti v tlaku

Tlaková zkouška byla provedena na 3 krychlích od každé směsi. Bylo prokázáno, že přidání krystalizace nijak zásadně neovlivňuje výslednou pevnost v tlaku oproti stejné směsi bez krystalizace. Výsledné tlakové pevnosti se pohybovaly v rozmezí od 36 do 42, 4 MPa. U dvou vzorků Lab3, byla pevnost v tlaku na spodní hranici rozmezí a u dvou vzorků Lab0 na horní hranici. U každé směsi se ale objevil jeden vzorek, jehož pevnost byla výrazně vyšší (Lab3, č. vzorku 3) nebo nižší (Lab0, č. vzorku 1). Nelze tedy s jistotou říci, že by krystalizační směs snižovala tlakovou pevnost.



Obr. 46, 47, 48 – zkouška pevnosti v tlaku

Bakalářská práce

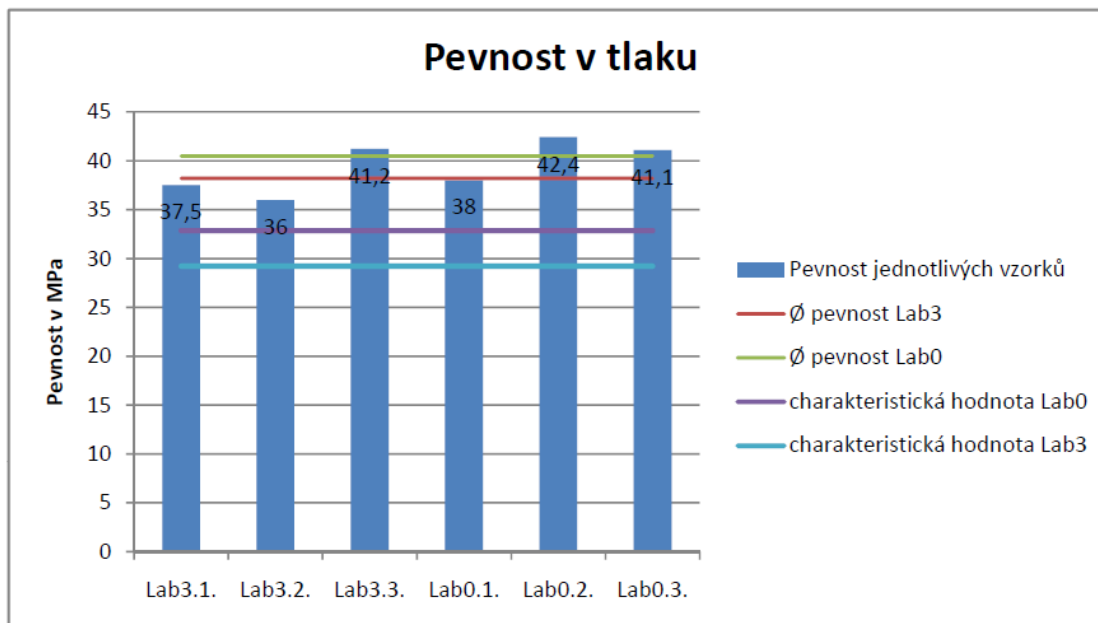
Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník

Porovnáme-li výsledky tohoto měření s výsledky zkoušky provedené TZÚS, zjistíme, že výsledky jsou velice podobné. Jediný rozdíl ve vstupních podmínkách oproti naší zkoušce byl ten, že vzorky v TZÚS byly po dobu 28 dní uchovávány ve vodě. Při zprůměrování jednotlivých výsledků (průměrná pevnost v tlaku - Lab0 = 40, 5 MPa, Lab3 = 38,2 MPa) jsme naměřili 94, 32% pevnost v tlaku směsi Lab3 oproti směsi Lab0. V TZÚS byla naměřena 97, 3% pevnost v tlaku směsi s přísadou oproti směsi bez přísady. Závěry naší zkoušky jsou velice podobné. Následně jsme provedli statistické vyhodnocení, abychom zjistili výslednou pevnost tlaku a zjistili tak, zda navržená směs odpovídá pevnosti C30/37. Předpokládané pevnosti v tlaku nebylo podle navržené receptury dosaženo.

Výsledky laboratorních zkoušek											
Číslo vzorku	Ozn. betonové směsi	Rozměry tělesa			Hmot. tělesa g	Objem. hmot. kg/m ³	Datum		Stáří vzorku dny	Tlak	
		Délka mm	Šířka mm	Výška mm			výroby d.m.r.	zkoušky d.m.r.		síla kN	pevnost MPa
1	Lab3	149,5	145,5	149,0	7490,0	2311	03.03.21	12.04.21	40	815,54	37,5
2	Lab3	149,6	147,9	149,1	7650,0	2320	03.03.21	12.04.21	40	796,65	36,0
3	Lab3	149,1	144,8	148,6	7475,0	2329	03.03.21	12.04.21	40	888,52	41,2
1	Lab0	149,2	150,1	149,2	7725,0	2314	03.03.21	12.04.21	40	851,29	38,0
2	Lab0	149,4	149,0	149,2	7620,0	2294	03.03.21	12.04.21	40	943,72	42,4
3	Lab0	149,4	149,7	149,2	7720,0	2314	03.03.21	12.04.21	40	920,19	41,1

Obr. 49 – výsledky zkoušky pevnosti v tlaku



Obr. 50a – graf s výsledky zkoušky pevnosti v tlaku

naměřené hodnoty [MPa]		
38,00	42,40	41,10

Popisné charakteristiky	
počet hodnot	3
aritmetický průměr [MPa]	40,50
medián [MPa]	41,10
minimální hodnota [MPa]	38,00
maximální hodnota [MPa]	42,40
variální rozpětí	4,40
směrodatná odchylka	1,84572
rozptyl	3,40667
variální součinitel	0,04557
charakteristická hodnota [MPa]	32,8781

naměřené hodnoty [MPa]		
37,50	36,00	41,20

Popisné charakteristiky	
počet hodnot	3
aritmetický průměr [MPa]	38,23
medián [MPa]	37,50
minimální hodnota [MPa]	36,00
maximální hodnota [MPa]	41,20
variální rozpětí	5,20
směrodatná odchylka	2,1853
rozptyl	4,77556
variální součinitel	0,05716
charakteristická hodnota [MPa]	29,2092

Obr. 50b – statistické vyhodnocení výsledků zkoušky pevnosti v tlaku

Zkouška v příčném tahu

Zkouška v příčném tahu byla realizována na vzorcích, které byly před tím podrobeny zkoušce tlakovou vodou. Krychle se po zkoušce tlakovou vodou musí rozlomit, aby se dal měřit průsak. Při této příležitosti byla rovnou změřena pevnost v příčném tahu. To, že byly vzorky předtím vystaveny působení tlakové vody, jejich pevnost určitě snížilo. Protože ale na všechny vzorky působily stejné podmínky, výsledné rozdíly měřené u jednotlivých betonových směsí nebyly ovlivněny. Experiment byl opět realizován na 3 krychlích od každé směsi.



Obr. 51, 52 – zkouška pevnosti v příčném tahu

Bakalářská práce

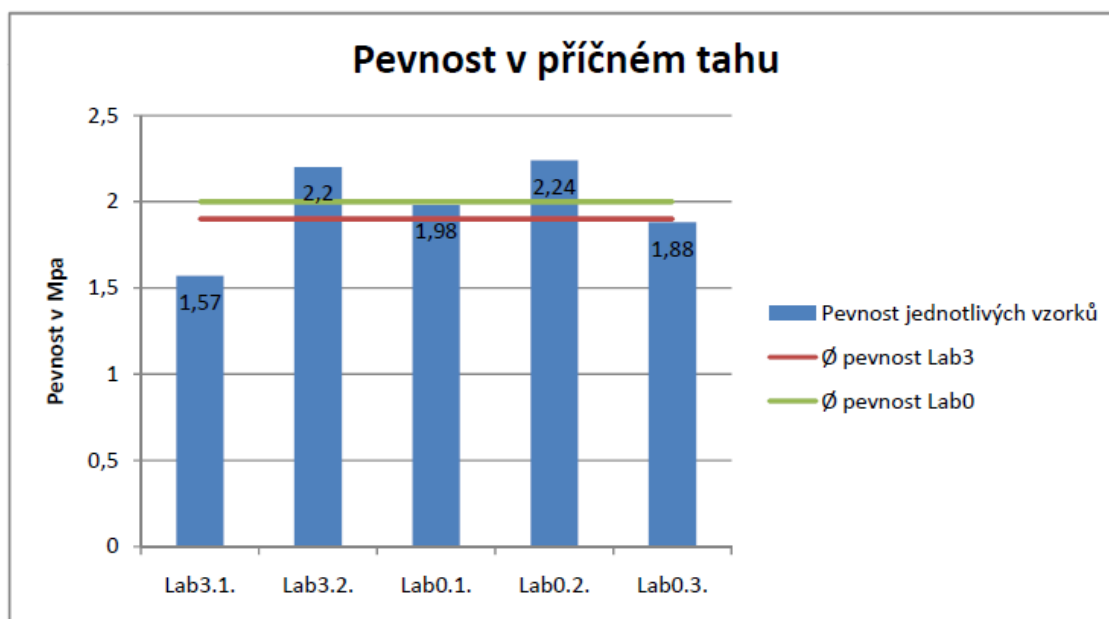
Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník

Při této zkoušce měřicí program zaznamenal u směsi Lab3 pouze dva vzorky ze tří, průměrná hodnota tak není plně vypovídající. Pro porovnání vlastností je ale měření stále dostačující. Pražský TZÚS tuto zkoušku neprováděl, k porovnání v procentuální rovině můžeme použít zkoušku pevnosti v tlaku. I v tomto případě po zprůměrování výsledků (průměrná pevnost v příčném tahu - Lab0 = 2 MPa, Lab3 = 1,9 MPa) zjistíme, že pevnost v příčném tahu směsi Lab3 je oproti směsi Lab0 95 %. Tato zkouška tak ověřila výsledek zkoušky pevnosti v tlaku, kdy byl výsledek téměř shodný (94,32 %).

Výsledky laboratorních zkoušek											
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	Rozměry tělesa			Hmot. tělesa g	Objem. hmot. kg/m ³	Datum		Stáří vzorku dny	Příčný tah	
		Délka mm	Šířka mm	Výška mm			výroby d.m.r.	zkoušky d.m.r.		síla kN	pevnost MPa
1	Lab0	149,8	146,2	149,4	7735,0	2364	03.03.21	12.04.21	40	68,03	1,98
2	Lab0	149,8	147,2	149,4	7835,0	2378	03.03.21	12.04.21	40	77,30	2,24
3	Lab0	149,9	151,4	149,1	7785,0	2301	03.03.21	12.04.21	40	66,53	1,88
1	Lab3	149,8	151,4	149,1	7845,0	2320	03.03.21	12.04.21	40	55,69	1,57
2	Lab3	149,3	145,7	149,4	7655,0	2355	03.03.21	12.04.21	40	75,34	2,20

Obr. 53 – výsledky zkoušky pevnosti v příčném tahu



Obr. 54 – graf s výsledky zkoušky pevnosti v příčném tahu

Zkouška tlakovou vodou

Zkouška tlakovou vodou se provádí na vodotlačné stolici podle normy ČSN EN 12390 – 8, kdy jsou vzorky po dobu 72 hodin zatíženy vodním tlakem 500 kPa (to odpovídá 50 m vodního sloupce). Po uplynutí této doby jsou vzorky rozlomeny napůl ve směru působení vodního tlaku a změřena hloubka průsaku. Zkouška byla opět provedena na 3 krychlích od každé směsi. Nejen pro krystalizační přísady se tato zkouška ve výsledku jeví jako nevhodná, protože za takto krátkou dobu nestihnou krystaly vyrůst a rozdíl ve vodonepropustnosti od referenčních směsí jsou jen nepatrné. Bylo by proto podle mnohých odborníků vhodnější stanovovat

koeficient filtrace. Takto definovat vodopropustnost betonových konstrukcí ale podle české legislativy (ČSN EN 206 – 1) nejde. Opět zde tedy narážíme na nedokonalosti, kterých je v české legislativě týkající se vodonepropustnosti betonu dostatek. [7]



Obr. 55 – zkouška tlakovou vodou na vodotlačné stolici

U této zkoušky nebylo možné naměřit žádné výsledky. Průsak u všech zkoušených těles byl skrze celý vzorek. Důvodem tohoto neúspěchu je nejspíše vysoká pórovitost zkoušených vzorků. Její vznik je důsledkem buď nevhodného složení betonu, nebo nesprávným ukládáním do forem. Jelikož se ale složení betonové směsi shodovalo se složením betonu v programu SloBOn a během ukládání docházelo k dostatečnému hutnění na vibračním stole, neumím si výslednou nadměrnou pórovitost betonu odůvodnit. Dalším důvodem nezdaru této zkoušky je pravděpodobně zrání betonu na vzduchu. Pokud není beton s krystalizací v kontaktu s vodou, není možný růst krystalů. Vzniklé póry tak neměla krystalizace šanci vyplnit a ani u vzorků Lab3 nebyl pokus úspěšný, jak by se dalo očekávat.



Obr. 56 – vzorek Lab0 po zkoušce tlakovou vodou



Obr. 57 – vzorek Lab3 po zkoušce tlakovou vodou

Závěr

I když se nejzásadnější experiment laboratorního ověření nezdařil, ostatní experimenty dopadly podle očekávání. Bylo prokázáno, že přidání krystalizace nemá téměř žádný vliv na tlakovou a tahovou pevnost betonu. Není proto nutné její použití zohledňovat ve statickém výpočtu, například zvýšením materiálových součinitelů spolehlivosti. Naproti tomu vyvrací skutečnost, kterou výrobce krystalizace uvádí, že pevnost v tlaku je s použitím krystalizační přísady vyšší. Tento efekt se může projevit déle než po 28 dnech stáří, vlastnosti vzorků po delší době ale nebyly zkoumány.

Statický výpočet suterénní konstrukce

Popis objektu

Předmětem statického návrhu, konkrétně jeho suterénních konstrukcí, je bytový dům pravidelného obdélníkového půdorysu s plochou střechou, s šesti nadzemními a dvěma podzemními podlažími. Objekt je umístěn ve svahu. Celkové půdorysné rozměry nosné konstrukce objektu jsou 42,2 x 15,6 m, nejvyšší bod nosné konstrukce se nachází 18,5 m nad úrovní okolního terénu. Základová spára se nachází 3,5 m pod původní úrovní terénu. Konstruktivní výška 2. PP je 2,85 m, 1. PP je 3,25 m, 1.NP je 3,115m a ostatní podlaží (2.NP-6.NP) mají konstruktivní výšku 3,075 m. V podzemním podlaží jsou situovány garáže a technické zázemí objektu. V 1. NP se nachází vstupní část bytového domu. V 1. NP až 6. NP jsou umístěny bytové jednotky. Objekt je založen na ŽB pasech a ŽB patkách. Na kontaktu s terénem je navržena základová ŽB deska. Nosný systém budovy je kombinovaný. Stropní konstrukce jsou monolitické železobetonové, v nadzemních podlažích jsou umístěny na kratších okrajích desky průvlaky. Hlavní schodiště je řešeno jako železobetonové prefa-monolitické dvouramenné. Ztužení objektu je zajištěno železobetonovým schodišťovým jádrem v kombinaci s nosnými stěnami.



Obr. 58 – vizualizace objektu, severní pohled

Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník



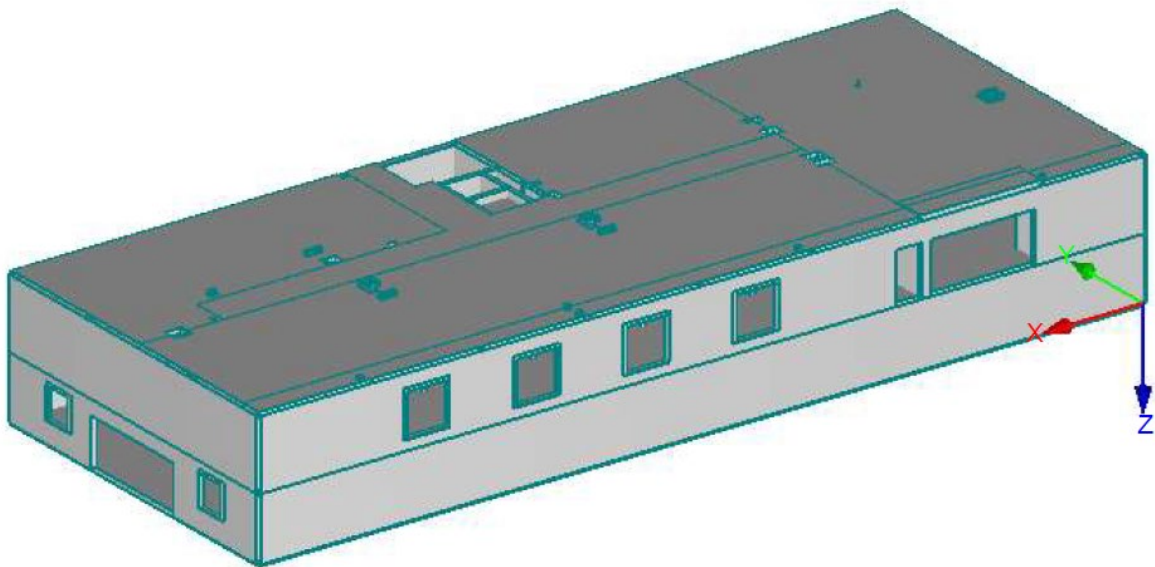
Obr. 59 – vizualizace objektu, jižní pohled

Při inženýrsko geologickém průzkumu, byl v hloubce 1, 5 – 3 m pod původním povrchem zastížen skalní podklad, v zvětřalém a rozpukaném stavu. Svrchní vrstvy byly tvořeny deluvioelickými sedimenty, konkrétně sprašovými a písčitymi hlínami a navátými písky. Hladina podzemní vody se pohybuje mezi 5 – 7 metry pod původním terénem, suterénní konstrukce tedy nebudou s vodou v přímém kontaktu a za normálních podmínek budou v kontaktu s vodou pouze od zemní vlhkosti a srážkové vody.

Princip výpočtu

Celý objekt byl podrobně řešen v rámci předmětu K133P02C (Projekt 2) v předchozím semestru. Nebudu se proto v rámci této práce zabývat statickým návrhem a dimenzí jiných konstrukcí než suterénních a veškerá zatížení byla převzata z tohoto návrhu. Suterénní konstrukce byla namodelována jako 3D model v softwaru Dlubal. Zatížení z vyšších pater bylo do modelu zaneseno jako suma zatížení. Pod sloupy jako osamělé síly a pod stěnami jako liniové zatížení. Hodnota zatížení od skladeb podlahy v nadzemních patrech byla stanovena na 1, 475 kN/m², v podzemních patrech pak 1, 89 kN/m². Užité zatížení v garážích bylo uvažováno hodnotou 2, 5 kN/m², v obytných prostorech 2 kN/m² a na nepochozí střeše 1, 5 kN/m². Ve shromažďovacích prostorech (chodby, terasy) pak 3 kN/m².

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“.



Obr. 60 – model suterénní konstrukce v softwaru Dlubal

Definice okrajových podmínek

Pro správný a funkční návrh konstrukce je nutné správně definovat okrajové podmínky. Je potřebné určit stupeň vlivu prostředí podle české normy ČSN EN 206+A1. Pro tento objekt navrheme stupeň XC2 (prostředí mokré, občas suché) a současně stupeň XA2 (středně agresivní chemické prostředí) z důvodu přítomnosti velkého množství sedimentů obsahujících sírany. Pro stupeň XC2 je minimální třída betonu definována jako C16/20 a pro XA2 jako C25/30. Při návrhu tedy musí být předepsán beton minimální třídy C25/30. 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 výztužení.

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

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

Δc_{dev} - návrhový přírůstek 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 - XC2 (25 mm)

Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník

$\Delta c_{dur,y}$ - 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)

$$c_{min} = \max\{10; 25 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}\} = \underline{25 \text{ mm}}$$

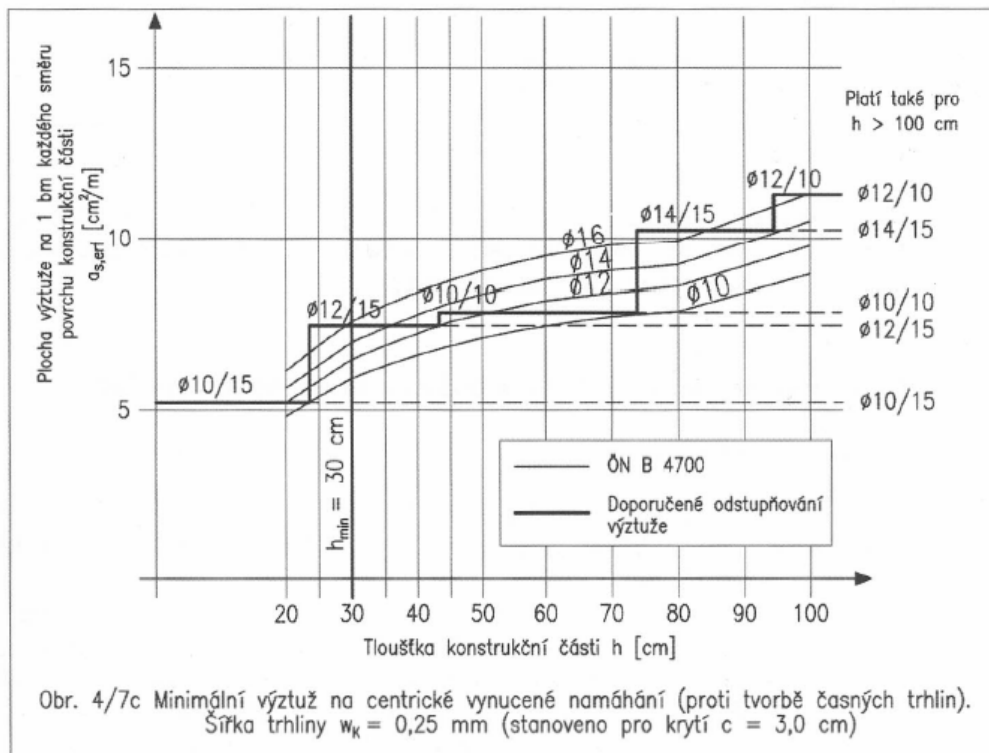
$$c_{nom} = 25 + 10$$

$$c_{nom} = \underline{35 \text{ mm}}$$

Dále proto budeme provádět návrh podle překladu rakouské směrnice ČBS TP 02. V té jsou definovány právě armovací a další konstrukční zásady. V německé směrnici ČBS TP 04 armovací zásady a pravidla výpočtů nejsou definovány tak přesně, naproti rakouské směrnici jsou zde velmi podrobně řešeny detaily prostupů a spár.

Podle obr. 7 určíme třídu tlaku vody. Protože objekt není v přímém kontaktu s podzemní vodou, zvolíme třídu w_0 . Dále určíme třídu požadavků (obr. 5), podle nároků, které na konstrukci máme. Volíme třídu A_1 (z větší části suché), která povoluje místy vizuálně vlhká místa. Z důvodu, že se jedná o podzemní garáže, jsou tyto vlhká místa přípustné. Po určení těchto dvou parametrů podle obr. 8 určíme konstrukční třídu a třídu těsnících pásů. Konstrukční třída je Kon_2 a třída těsnícího pásu 1 . Konstrukční třída (obr. 6) definuje minimální tloušťku prvku 300 mm a maximální šířku trhliny 0,25 mm. Normalizovaný beton je BS 2, který ale nesplňuje podmínky podle naší ČSN EN 206+A1, proto jeho vlastnosti budeme nahrazovat přidáním krystalizační přísady H-Krystal MR v množství 2 kg/m³ do betonu normalizovaného podle českých norem. Podle konstrukční třídy nemusí být v objektu provedena dilatační spára, proto nás volba těsnícího pásu bude zajímat pouze pro spáru pracovní. Podle obr. 10 zvolíme těsnící plech o minimální šířce 300 mm a tloušťce 2 mm.

Protože se jedná o objekt, jehož délka nepřesahuje hodnotu 60 m (obr. 6), nebude navržena dilatační spára. Pracovní spáry by měly být podle ČBS TP 02 provedeny dvě, protože ale budeme provádět podrobný výpočet šířky trhlin a na konstrukci nepůsobí stálý vodní tlak, dovolíme si navrhnout pracovní spáru pouze jednu.



Obr. 61 – minimální výztuž v závislosti na krytí a tloušťce prvku

Jelikož se objekt nachází ve svahu, není působení zemního tlaku a vnějších vlivů všude stejné, proto byla i na základě doporučení rakouské směrnice zvolena rozdílná tloušťka suterénních stěn. Na SV a SZ straně byla navržena tloušťka 250 mm a na JZ a JV tloušťka 300 mm. Tloušťka základové desky byla zvolena 250 mm. Podle vypočteného potřebného krytí a určené dimenze prvků lze podle rakouské směrnice lehce zjistit předpokládané vyztužení (obr. 61). Menší tloušťka některých prvků byla zvolena po konzultaci s odborníky se zkušenostmi s navrhováním bílých van a za předpokladu použití krystalizační přísady.

Statický výpočet

Trhliny od nesilových účinků

Na trhliny vzniklé od nesilových účinků má vliv dimenze prvku, použitý beton, použitá ocel, její průměr, rozteč a krycí vrstva betonu.

Použitý beton pro všechny suterénní konstrukce:

C25/30 XC2, XA2 CI 0, 2 $D_{\max}22$ S4 + přísady

Přísady: H – Krystal MR – 2 kg/m³

Materiálové charakteristiky: $f_{ctm} = 2,6$ MPa (pevnost betonu v tahu)

$E_{cm} = 31$ GPa (střední hodnota modulu pružnosti)

Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník

$$f_{ct, \text{eff}} = 1,72 \text{ MPa}$$

- výpočet $f_{ct, \text{eff}}$

Hodnota $f_{ct, \text{eff}}$ (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 $f_{ct, \text{eff}} = 0,5f_{ctm}$. Podle ČSN EN 1992-1-1 je ale vhodné při betonáži na podkladový beton (tak jak tomu je u ZD) uvažovat $f_{ct, \text{eff}}$ v čase t . Pro stěny bude uvažování tohoto této hodnoty přesnější.

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

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

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

s – koeficient cementu ($R=0,2$)

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

$$f_{ct, \text{eff}} = 0,663^1 * 2,6$$

$$f_{ct, \text{eff}} = \underline{1,72 \text{ MPa}}$$

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.

$$\alpha_e = \frac{200}{31}$$

$$\alpha_e = \underline{6,45}$$

Tyto parametry budou pro všechny navrhované konstrukce stejné, protože bude všude použit stejný beton a ocel. Následující výpočet se ale musí provést pro každou konstrukci zvlášť.

Výpočet šířky trhlin

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

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 $h \leq 300 \text{ mm} = 1$)

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

Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník

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

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

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

$$- h^* = h \text{ pro } h < 1 \text{ m, pro } h \geq 1 \text{ m je } h^* = 1$$

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

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

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 [19]

Základová deska

Vyztužení:

Průměr výztužných prutů:	$\varnothing = 12 \text{ mm}$
Vzdálenost prutů:	$s = 150 \text{ mm}$
Krytí podélné betonářské výztuže:	$c = 35 \text{ mm}$
Plocha výztuže pro jednu vrstvu:	$A_{s1} = 754 \text{ mm}^2$
Plocha výztuže pro jeden povrch:	$A_s = 1508 \text{ mm}^2$
Účinná výška:	$d = h - c - \frac{\varnothing}{2}$
	$d = 250 - 35 - \frac{12}{2}$
	$d = 209 \text{ mm}$

Výpočet šířky trhlin:

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

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(250 - 209); 250/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{102,5; 125\}$$

$$h_{c,eff} = 102,5 \text{ mm}$$

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

$$A_{ct,eff} = 102,5 * 1000$$

$$A_{ct,eff} = 102\,500 \text{ mm}^2$$

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

$$A_{cb,eff} = 102\,500 \text{ mm}^2$$

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

$$A_{c,eff} = 102\,500 + 102\,500$$

$$A_{c,eff} = 205\,000 \text{ mm}^2$$

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

$$\rho_{p,eff} = \frac{1508}{205000}$$

$$\rho_{p,eff} = \underline{\underline{0,0074}}$$

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

$$\sigma_c = \frac{3975}{1000 * 250}$$

$$\sigma_c = 0,0159 \text{ MPa}$$

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

$$k_c = 0,4 \left[1 - \frac{0,0159}{1,5 \left(\frac{250}{250} \right) 1,72} \right]$$

$$k_c = 0,4$$

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

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

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

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

$$\sigma_s = \frac{0,4 * 1 * 1,72 * 250000}{1508}$$

$$\sigma_s = \underline{\underline{114,1 \text{ MPa}}}$$

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

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{114,1 - 0,6 \frac{1,72}{0,0074} (1 + 6,452 * 0,0074)}{200\,000}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \underline{\underline{0,000342}}$$

$$k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 0,5$$

Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník

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

$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{35}\right)^{2/3}$$

$$k_3 = 2,72$$

$$k_4 = 0,425$$

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

$$s_{r,max} = 2,72 * 35 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 12 / 0,0074$$

$$s_{r,max} = \underline{\underline{372,5 \text{ mm}}}$$

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

$$w_k = 372,5 * 0,000342$$

$$w_k = \underline{\underline{0,128 \text{ mm}}}$$

$$w_k = 0,128 \text{ mm} \leq w_{max} = 0,25 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

Suterénní stěna na SZ a SV straně

Výpočet pro stěny na SZ a SV straně by byl stejný, lišil by se pouze výpočet koeficientu k_c , kdy by se uvažovalo jiné σ_c , vlivem jiné osové síly N_{kd} působící na konstrukci. Tato změna by se ve výpočtu projevila zcela minimálně a vzhledem k vysoké rezervě u výpočtu ZD můžeme konstatovat, že navržená výztuž i v tomto případě vyhoví.

Suterénní stěna na JZ a JV straně

Vyztužení:

Průměr výztužných prutů:	$\phi = 12 \text{ mm}$
Vzdálenost prutů:	$s = 150 \text{ mm}$
Krytí podélné betonářské výztuže:	$c = 35 \text{ mm}$
Plocha výztuže pro jednu vrstvu:	$A_{s1} = 754 \text{ mm}^2$
Plocha výztuže pro jeden povrch:	$A_s = 1\,508 \text{ mm}^2$
Účinná výška:	$d = h - c - \frac{\phi}{2}$
	$d = 300 - 35 - \frac{12}{2}$
	$d = 259 \text{ mm}$

Výpočet šířky trhlin:

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(h - d); h/2\}$$
$$h_{c,eff} = \min\{2,5(300 - 259); 300/2\}$$
$$h_{c,eff} = \min\{102,5; 150\}$$
$$h_{c,eff} = 102,5 \text{ mm}$$

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

$$A_{ct,eff} = 102,5 * 1000$$

$$A_{ct,eff} = 102\,500 \text{ mm}^2$$

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

$$A_{cb,eff} = 102\,500 \text{ mm}^2$$

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

$$A_{c,eff} = 102\,500 + 102\,500$$

$$A_{c,eff} = 205\,000 \text{ mm}^2$$

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

$$\rho_{p,eff} = \frac{1508}{205000}$$

$$\rho_{p,eff} = \underline{\underline{0,0074}}$$

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

$$\sigma_c = \frac{616940}{1000 * 300}$$

$$\sigma_c = 2,056 \text{ MPa}$$

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

$$k_c = 0,4 \left[1 - \frac{2,056}{1,5 \left(\frac{250}{250} \right) 1,72} \right]$$

$$k_c = 0,08 \rightarrow \text{bezpečně opět } 0,4$$

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

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

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

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

$$\sigma_s = \frac{0,4 * 1 * 1,72 * 300000}{1508}$$

$$\sigma_s = \underline{\underline{136,9 \text{ MPa}}}$$

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

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{136,9 - 0,6 \frac{1,72}{0,0074} (1 + 6,452 * 0,0074)}{200\,000}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \underline{\underline{0,000411}}$$

Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník

$$k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 0,5$$

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

$$k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{35}\right)^{2/3}$$

$$k_3 = 2,72$$

$$k_4 = 0,425$$

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

$$s_{r,max} = 2,72 * 35 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 12 / 0,0074$$

$$s_{r,max} = \underline{\underline{372,5 \text{ mm}}}$$

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

$$w_k = 372,5 * 0,000411$$

$$w_k = \underline{\underline{0,153 \text{ mm}}}$$

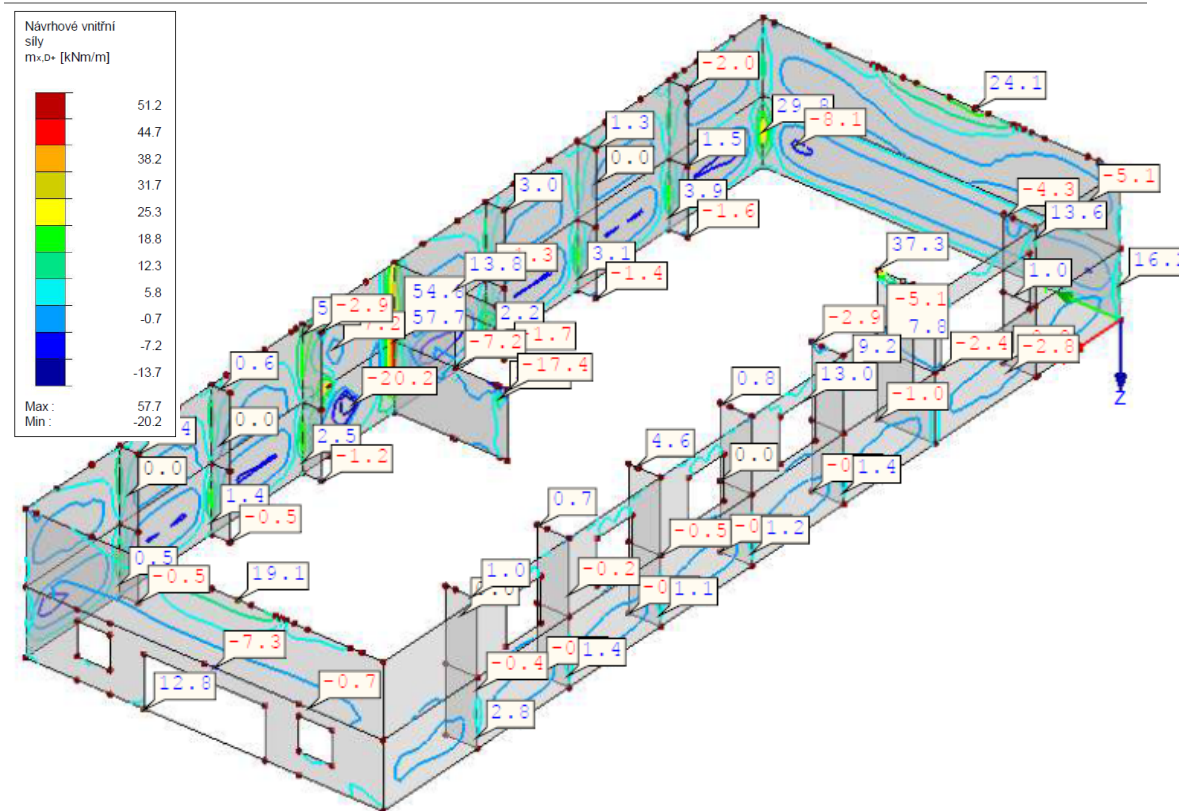
$$w_k = 0,153 \text{ mm} \leq w_{max} = 0,25 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

Ověření minimálního množství nutné výztuže od silových účinků

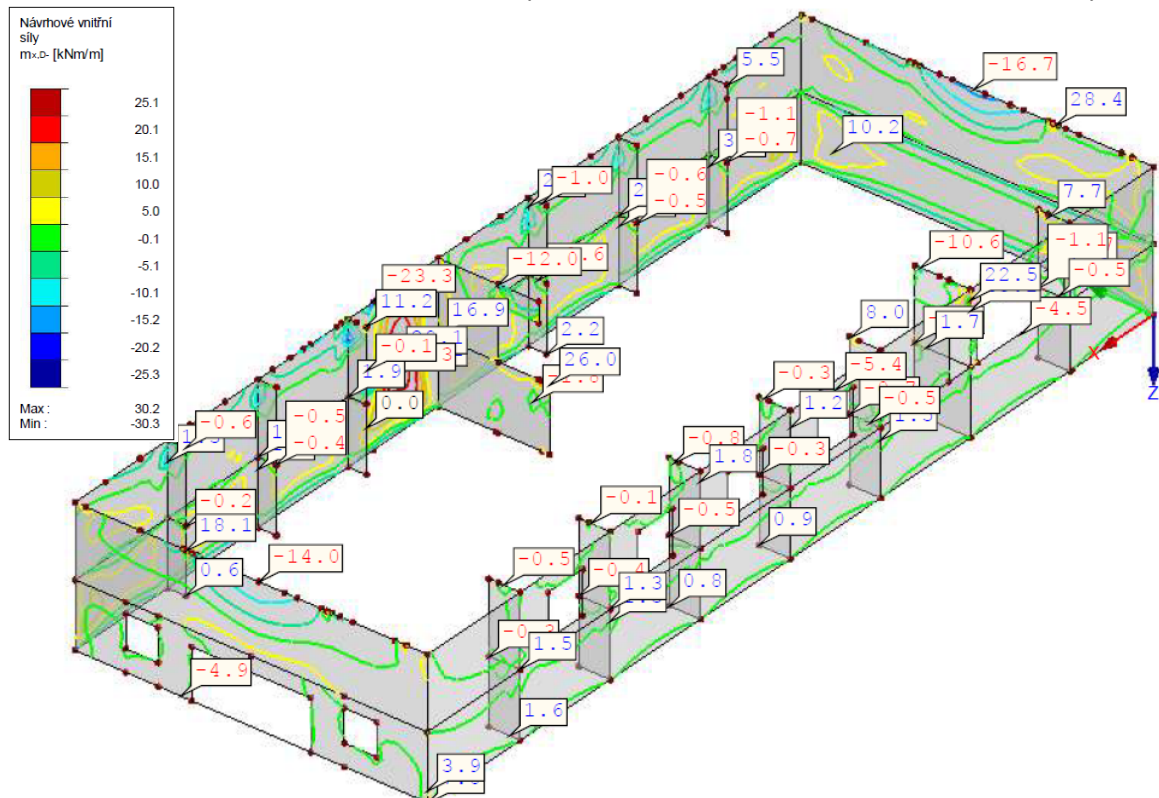
V tomto kroku bude ověřeno, zda výztuž navržená pro působení od nesilových účinků vyhoví pro účinky silové. K výpočtu potřebných ploch výztuže byly použity momenty od návrhových hodnot zatížení a z nich v softwaru Dlubal pomocí přídatného modulu RF – CONCRETE Surfaces vypočteny potřebné plochy výztuže.

Hodnoty m_x a m_y jsou momenty působící ve směru lokálních os jednotlivých prvků. Hodnoty + a – pak značí povrch, při kterém je hodnota počítána. Pro hodnotu + je moment počítán při povrchu v kladném směru lokální osy z daného prvku, pro hodnotu – pak v záporném směru lokální osy z.

Hodnoty pro konkrétní plochy potřebné výztuže jsou poté rozděleny na jednotlivé vrstvy. Hodnota $a_{s,1,-z}$, je potřebná plocha výztuže ve vodorovném směru blíže k exteriéru. Hodnota $a_{s,1,-z}$, je pak potřebná plocha výztuže ve svislém směru blíže k exteriéru. Hodnoty, u kterých je v indexu uvedeno +z, jsou pak hodnoty pro povrch blíže k interiéru.



Obr. 62 – m_{x+} suterénních stěn od návrhových hodnot zatížení v kladném směru lokální osy z

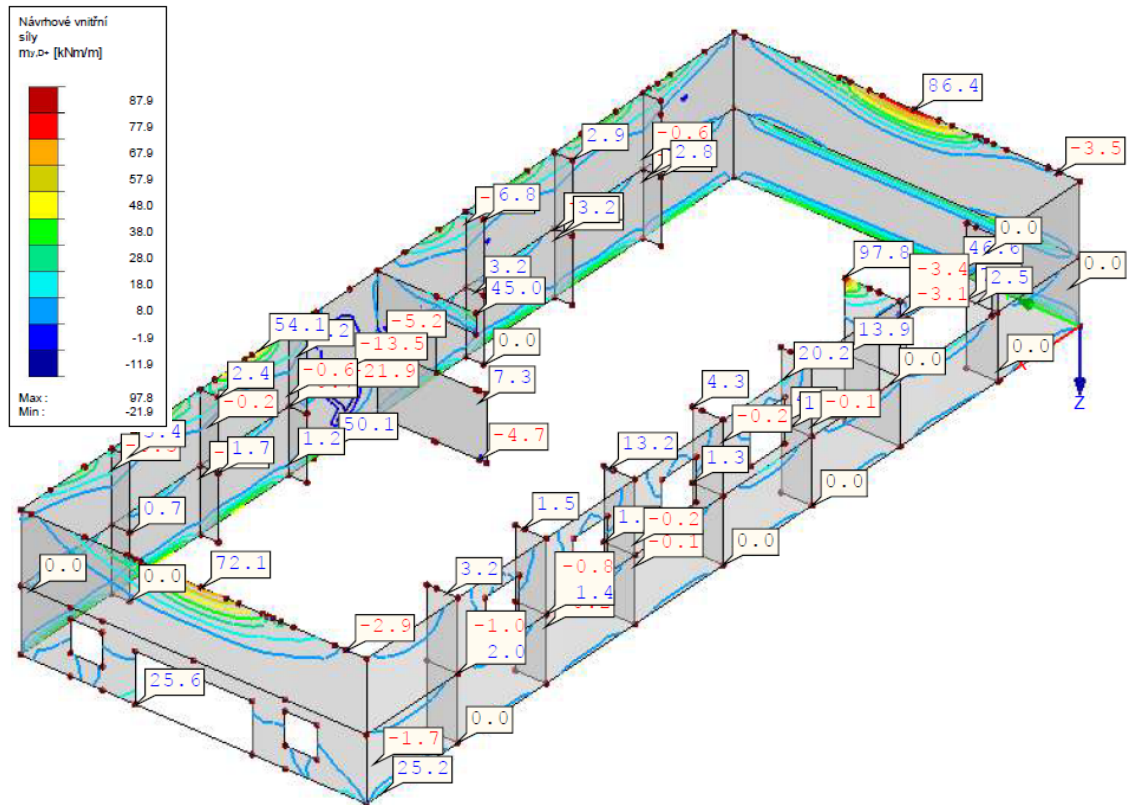


Obr. 63 – m_{x-} suterénních stěn od návrhových hodnot zatížení v záporném směru lokální osy z

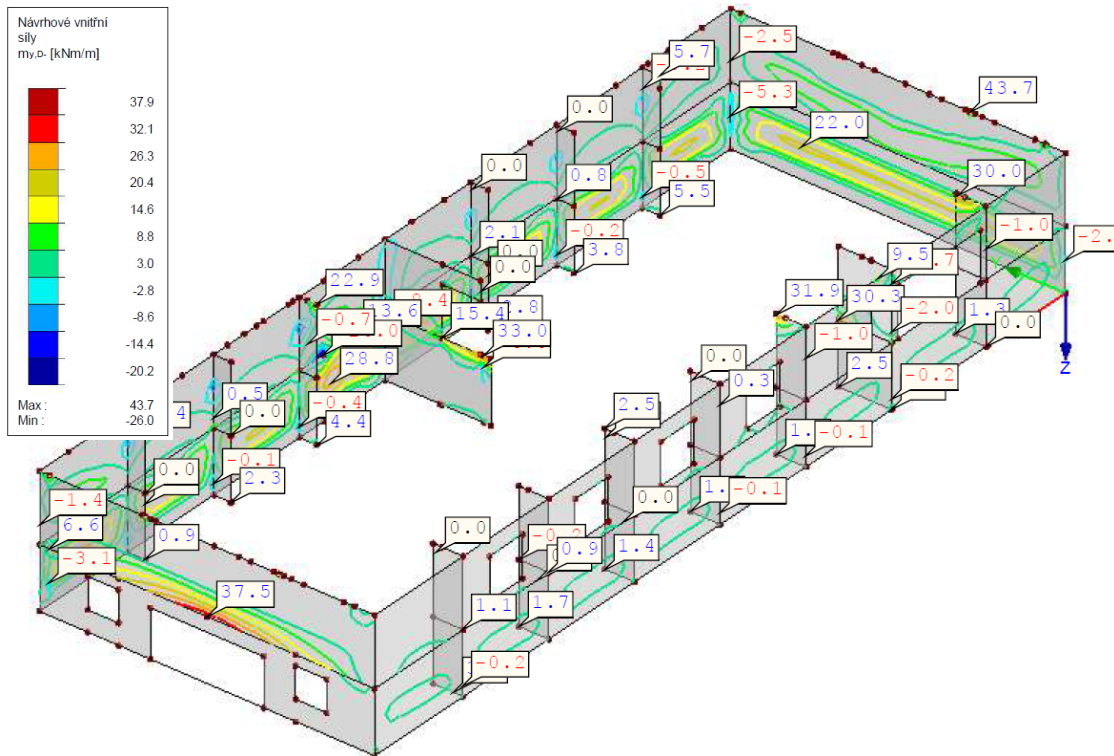
Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

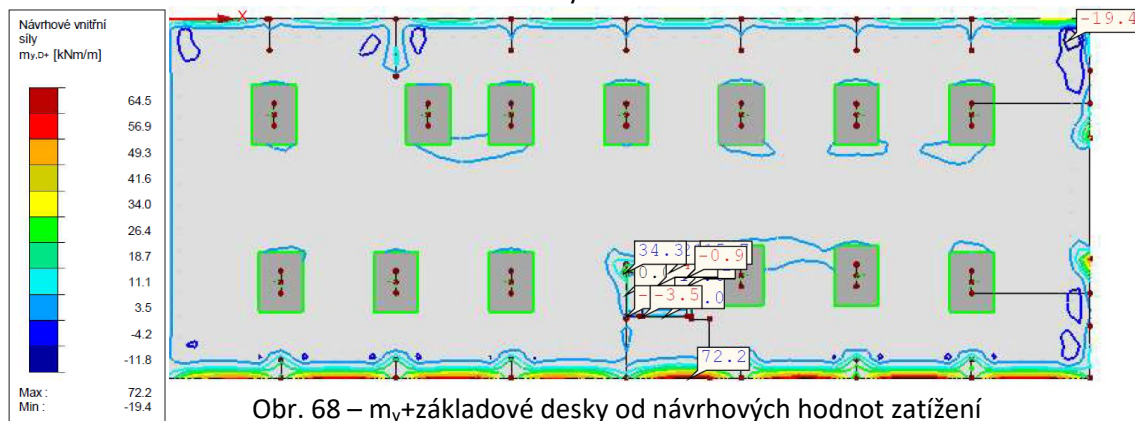
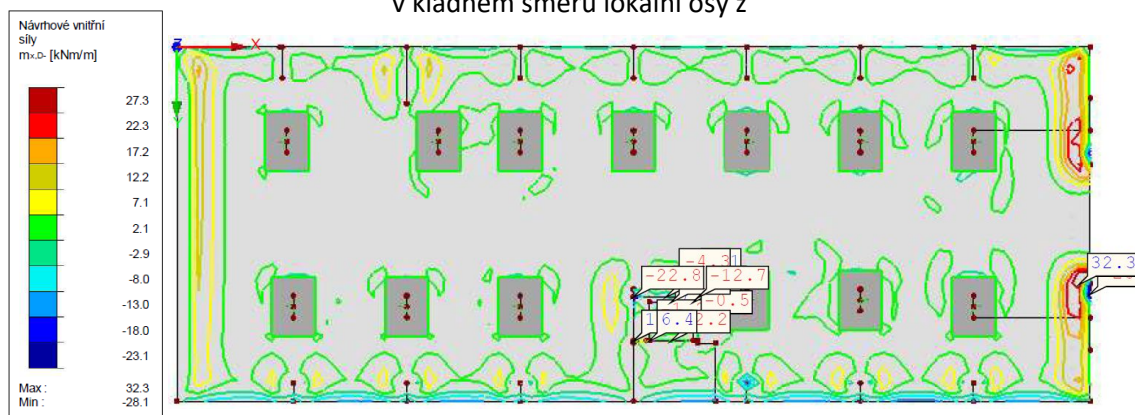
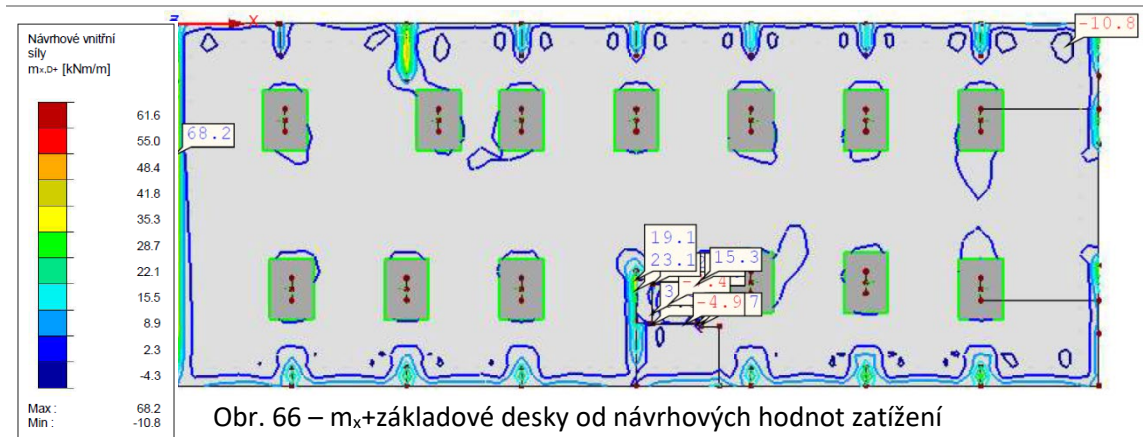
Adam Silbrník



Obr. 64 – m_y+ suterénních stěn od návrhových hodnot zatížení v kladném směru lokální osy z



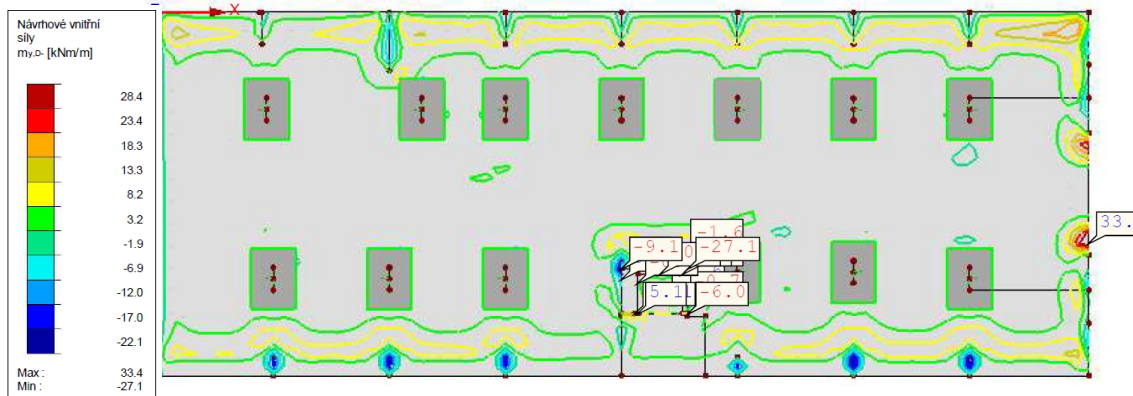
Obr. 65 – m_y- suterénních stěn od návrhových hodnot zatížení v záporném směru lokální osy z



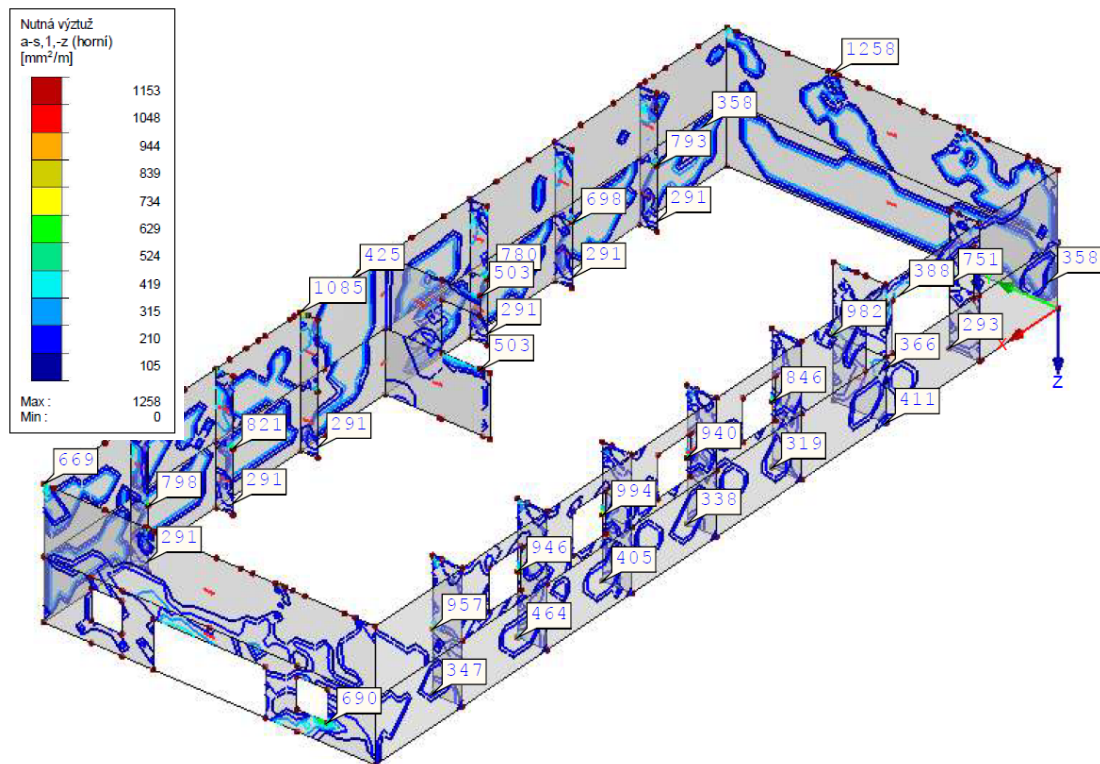
Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

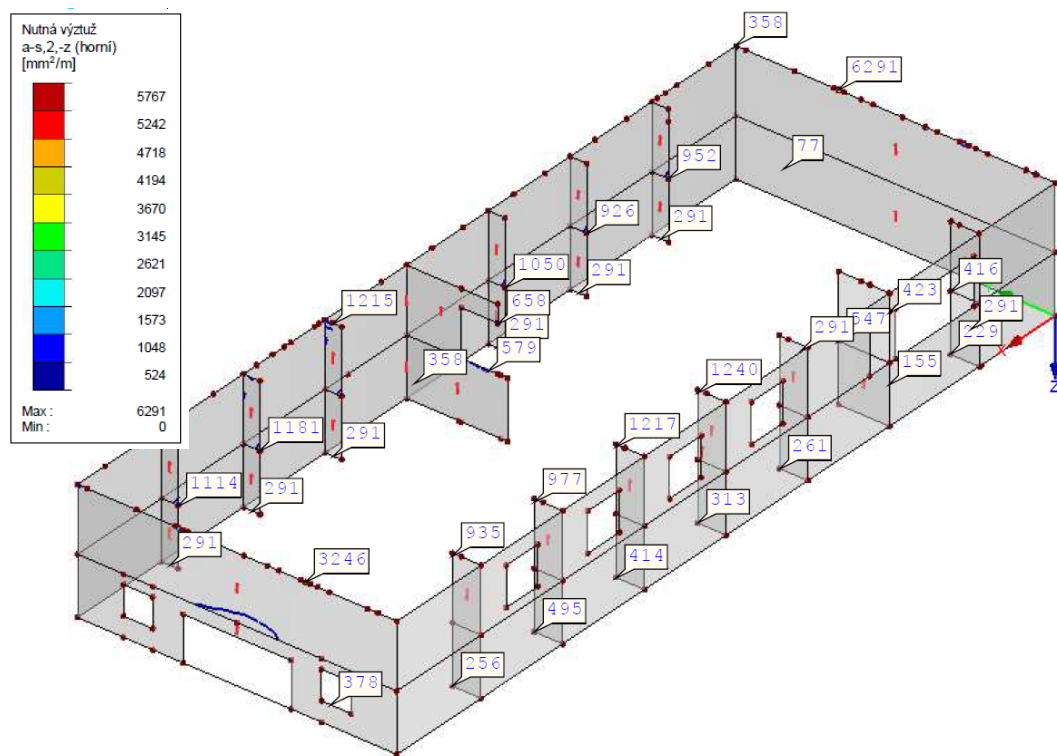
Adam Silbrník



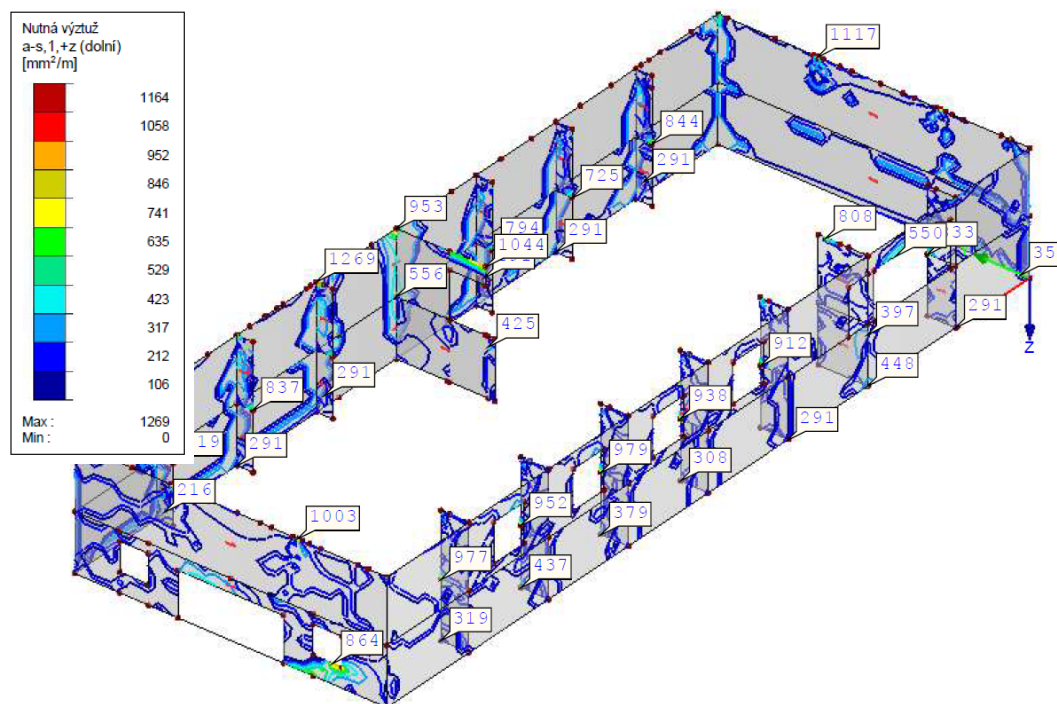
Obr. 69 – m_y -základové desky od návrhových hodnot zatížení v záporném směru lokální osy z



Obr. 70 – potřebné plochy výztuže suterénních stěn pro vodorovný směr při povrchu interiéru



Obr. 71 – potřebné plochy výztuže suterénních stěn pro svislý směr při povrchu interiéru

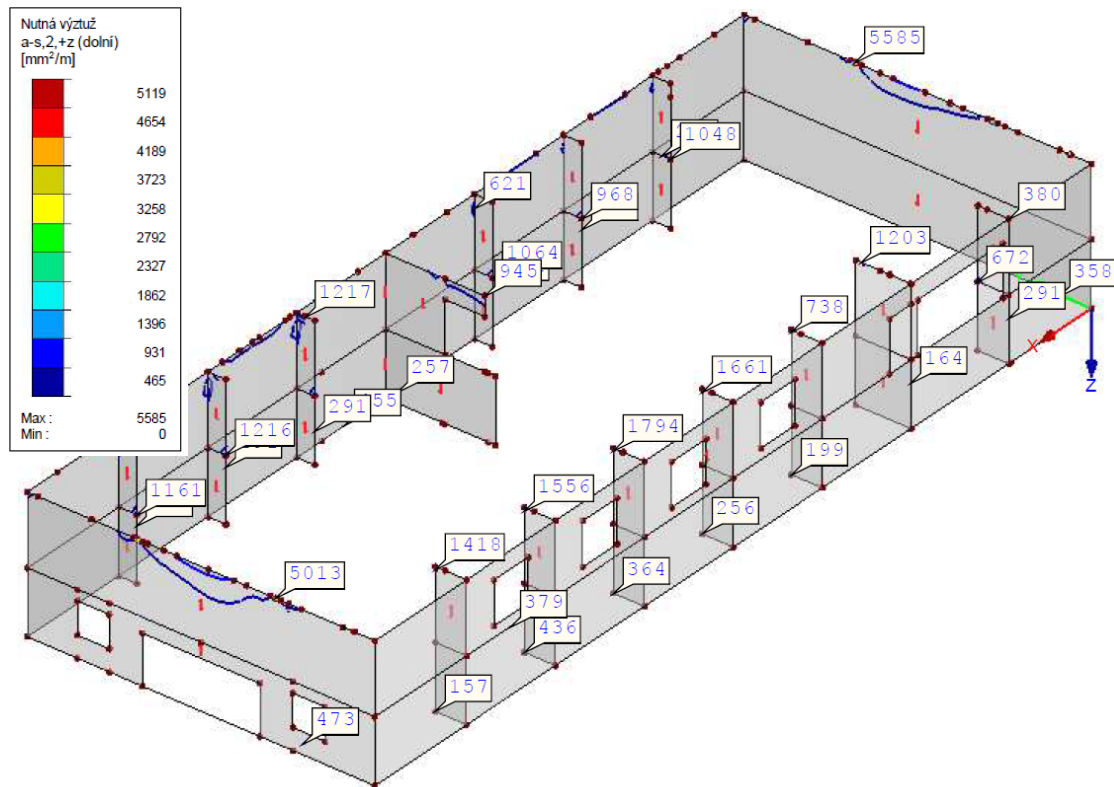


Obr. 72 – potřebné plochy výztuže suterénních stěn pro vodorovný směr při povrchu exteriéru

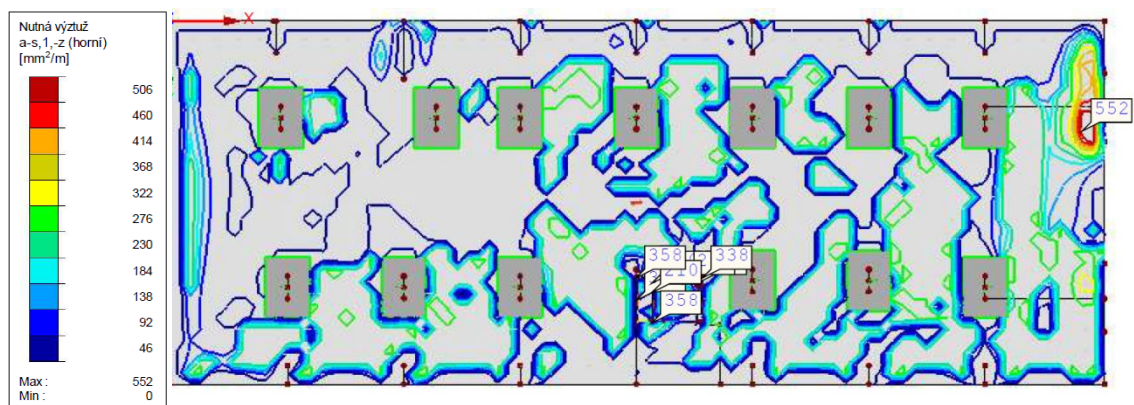
Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

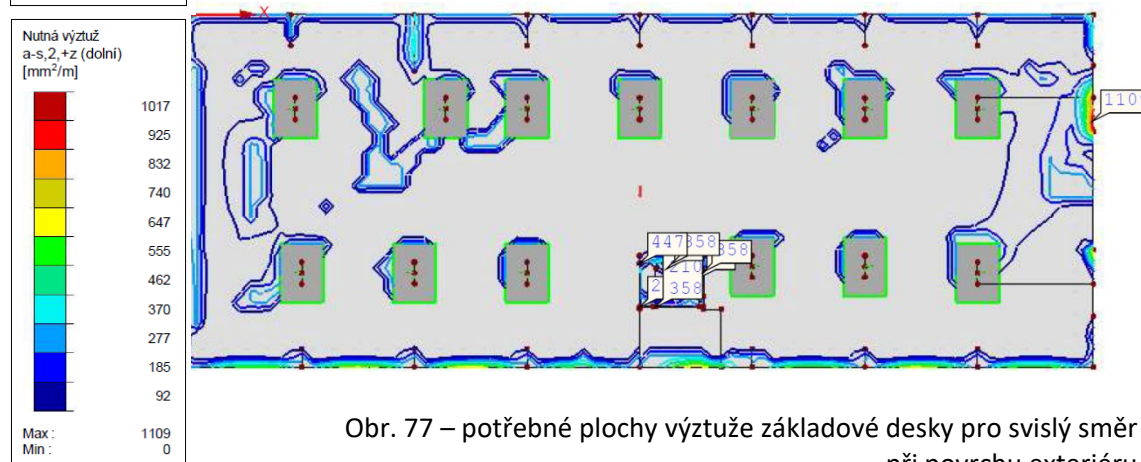
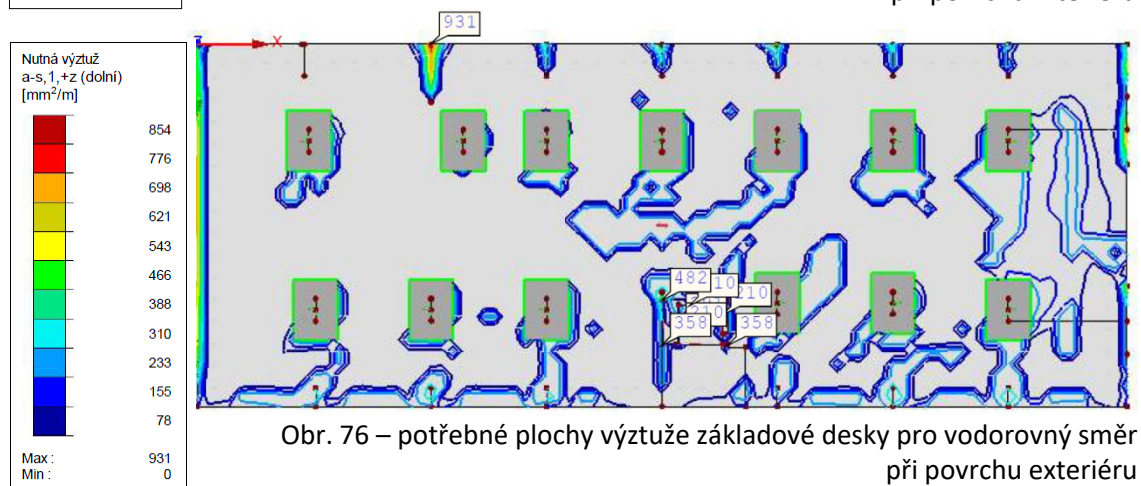
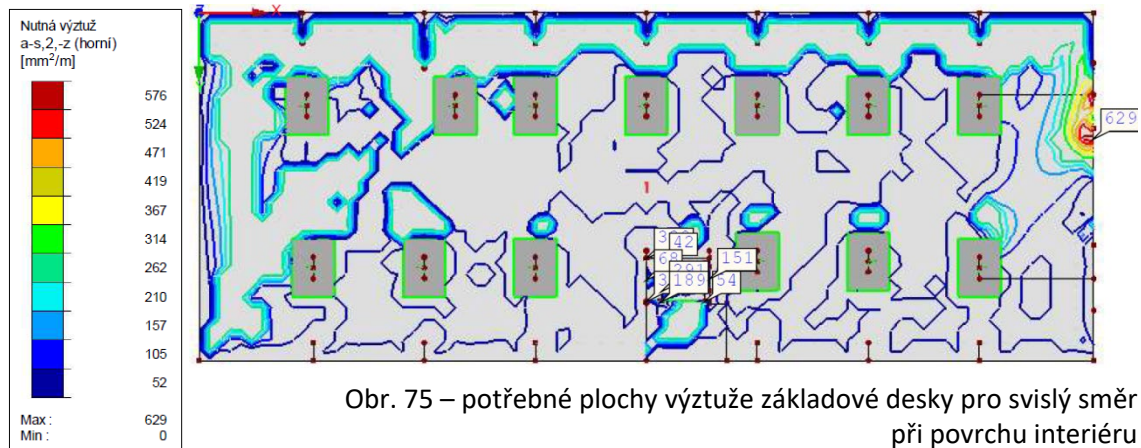
Adam Silbrník



Obr. 73 – potřebné plochy výztuže suterénních stěn pro svislý směr při povrchu exteriéru



Obr. 74 – potřebné plochy výztuže základové desky pro vodorovný směr při povrchu interiéru



Po analýze výsledků můžeme konstatovat, že navržená výztuž $\varnothing 12/150$ mm, která má na 1 m pro jednu vrstvu průřezovou plochu 753 mm^2 , ve většině míst vyhoví. 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. Případná potřeba většího množství výztuže bude řešena ve výkresu výztuže zhuštěním vložek, nebo zvolením většího průměru vložky, viz. přílohy číslo 4, 5, 6, 7, 8.

Omezení trhlin bez přímého výpočtu šířky trhlin

V této závěrečné části výpočtu se ověří, zda výztuž navržená na působení od nesilových účinků a na návrhové momenty od zatížení bude dostatečná, aby nevznikly trhliny od silových účinků. Pokud vzniknou, tak se následně ověří, zda nepřekročí námi definovanou maximální hodnotu (0, 25 mm). Protože se jedná o MSP, uvažují se charakteristické hodnoty zatížení. Pro výpočet byla zvolena metoda „Omezení trhlin bez přímého výpočtu šířky trhlin“, která sice není tak přesná jako výpočet „Mezního přetvoření“, ale vzhledem k tomu, že výpočet šířky trhlin 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.

Parametry průřezu bez trhlin:

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

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

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

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

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

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

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 trhlinami:

- 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 trhlinou oslabeného průřezu

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

- napětí extrémně namáhaných vláken tlačného betonu (výztuže)

$$\sigma_c = -\frac{M_k}{I_{ir}}x$$

$$\sigma_s = \alpha_e \frac{M_k}{I_{ir}}(d-x)$$

Výpočet šířky trhlin

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

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

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

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
- $h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5(h-d); \frac{h}{2}; \frac{h-x}{3} \right\}$

$$s_{r,max} = k_3c + k_1k_2k_4\phi/\rho_{p,eff}$$

Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník

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 [20]

Nyní je nutné pro dvě tloušťky našich konstrukcí (250 a 300 mm) vyztužených základním rastrem ($\emptyset 12/150$) 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 tloušťky 250 mm

Geometrie:

$$h = 250 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$c_1 = 35 \text{ mm}$$

$$c_2 = 35 \text{ mm}$$

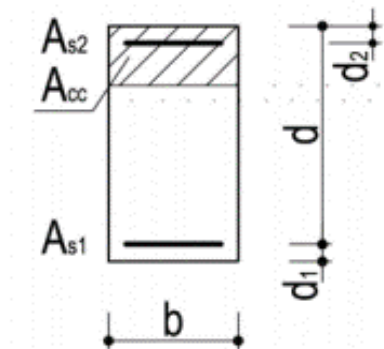
$$d_1 = 41 \text{ mm}$$

$$d_2 = 41 \text{ mm}$$

$$d = 209 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 753 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 753 \text{ mm}^2$$



Parametry průřezu bez trhlin:

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

$$A_i = 250 * 1000 + (6,452 - 1)(753 + 753)$$

$$A_i = 258\,210 \text{ mm}^2$$

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

$$a_{gi} = \left[250 * 1000 * \frac{250}{2} + (6,452 - 1)(753 * 209 + 753 * 41) \right] / 258210$$

$$a_{gi} = 125 \text{ mm}$$

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

$$I_i = \frac{1}{12} * 1000 * 250^3 + 250 * 1000 \left(125 - \frac{250}{2} \right)^2 + (6,452 - 1) [753 (209 - 125)^2 + 753 (209 - 41)^2]$$

$$I_i = 1360014004 \text{ mm}^3$$

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

$$M_{cr} = \frac{2,6 * 1360014004}{250 - 125}$$

$$M_{cr} = 28,29 \text{ kNm/m}$$

Konstrukce tloušťky 300 mm

Geometrie:

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$c_1 = 35 \text{ mm}$$

$$c_2 = 35 \text{ mm}$$

$$d_1 = 41 \text{ mm}$$

$$d_2 = 41 \text{ mm}$$

$$d = 259 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 753 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 753 \text{ mm}^2$$

Parametry průřezu bez trhlin:

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

$$A_i = 300 * 1000 + (6,452 - 1)(753 + 753)$$

$$A_i = 308\,210 \text{ mm}^2$$

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

$$a_{gi} = \left[300 * 1000 * \frac{300}{2} + (6,452 - 1)(753 * 259 + 753 * 41) \right] / 308210$$

$$a_{gi} = 150 \text{ mm}$$

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

$$I_i = \frac{1}{12} * 1000 * 300^3 + 300 * 1000 (150 - \frac{300}{2})^2 + (6,452 - 1) [753(259 - 150)^2 + 753(259 - 41)^2]$$

$$I_i = 2347544543 \text{ mm}^3$$

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

$$M_{cr} = \frac{2,6 * 2347544543}{300 - 150}$$

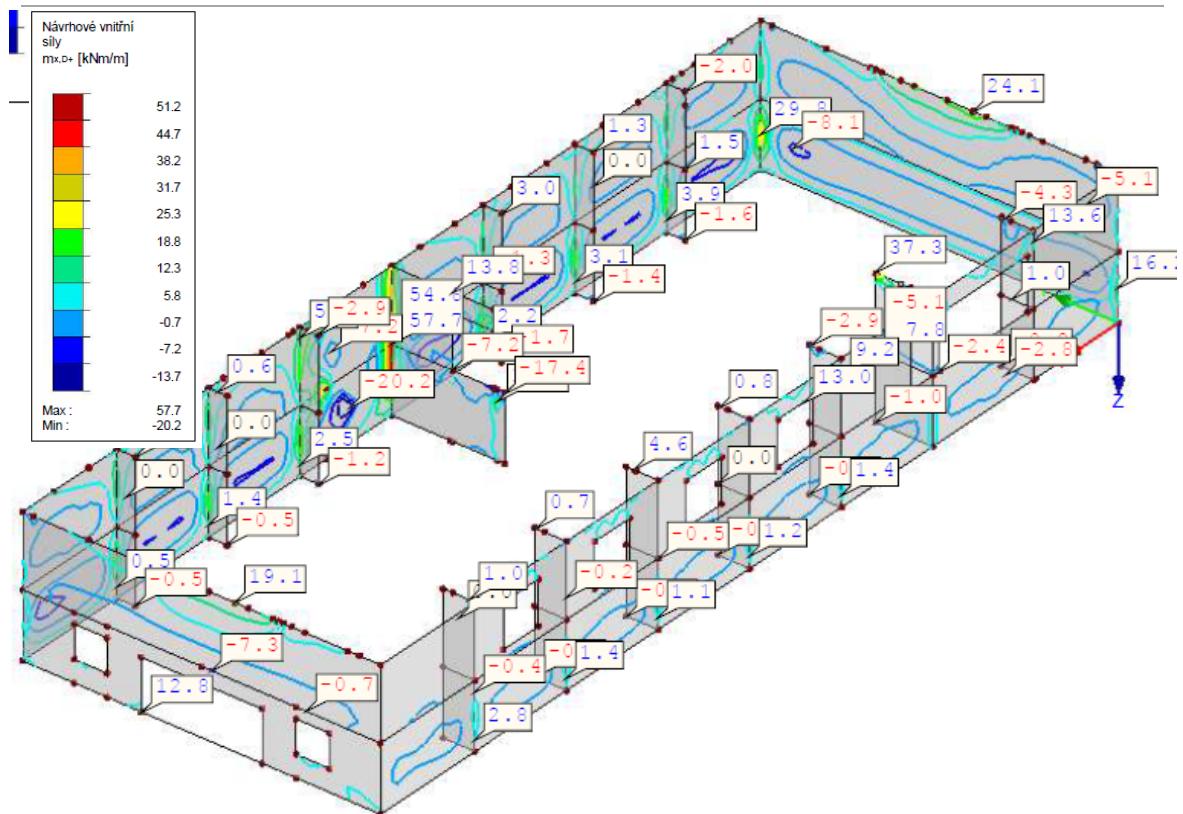
$$M_{cr} = 40,69 \text{ kNm/m}$$

Výpočtem jsme zjistili, že pro tloušťku konstrukce 250 mm (ZD a SZ + SV stěny) je maximální přípustný moment kdy nebudou vznikat trhliny 28, 29 kNm/m. Pro konstrukce tloušťky 300 mm (JV+JZ stěny) je pak kritický moment 40, 69 kNm/m. Pokud se v následujících 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 výraznější, je třeba postupovat podle uvedeného postupu pro výpočet šířky trhlin. [21]

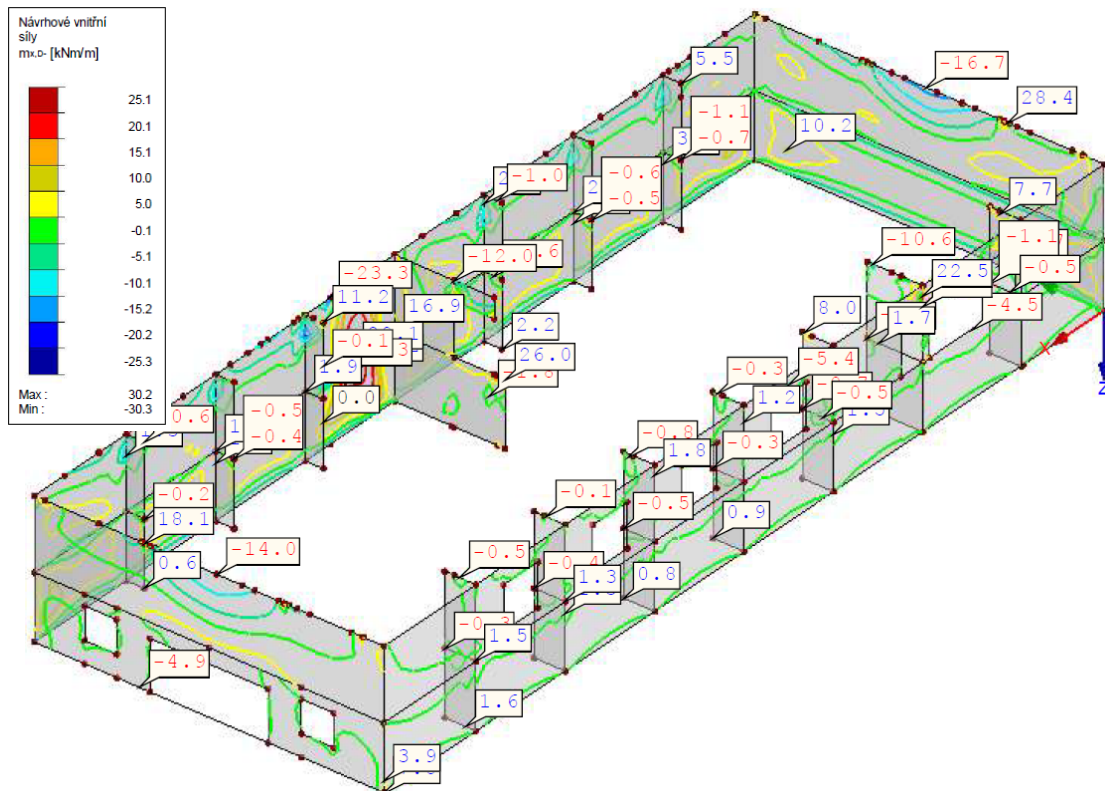
Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník

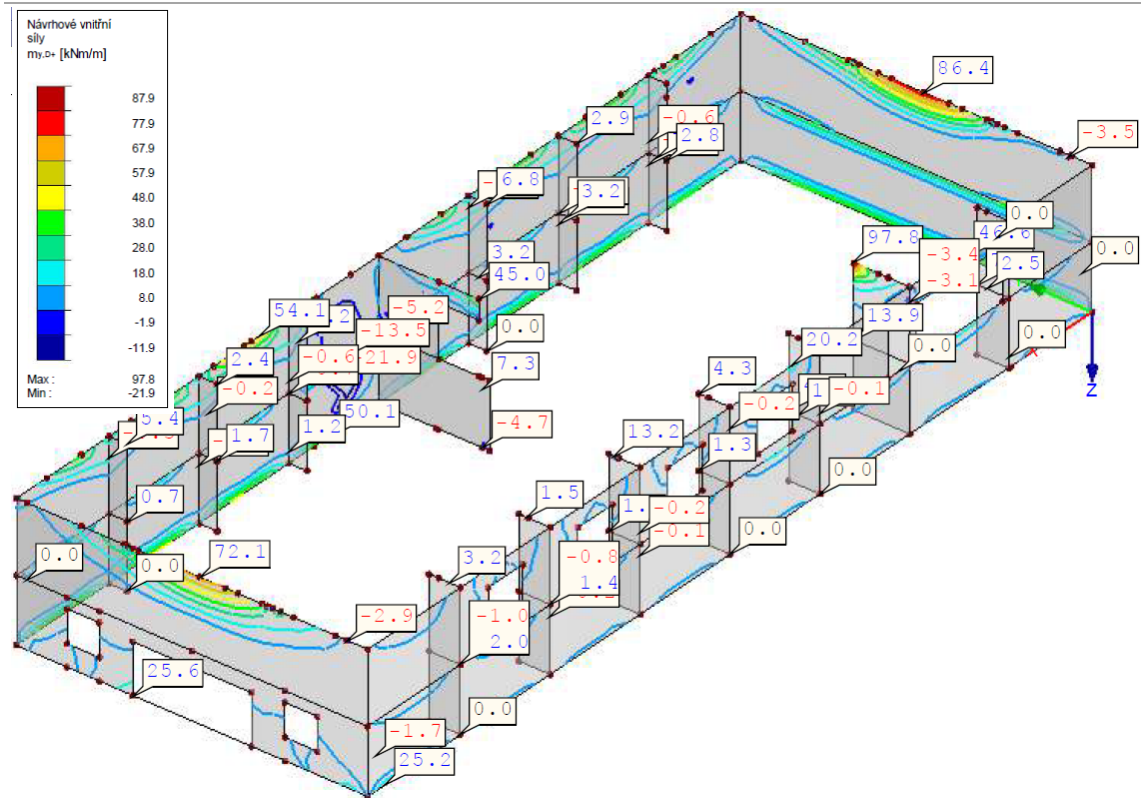


Obr. 78 – m_{x+} suterénních stěn od charakteristických hodnot zatížení v kladném směru lokální osy z

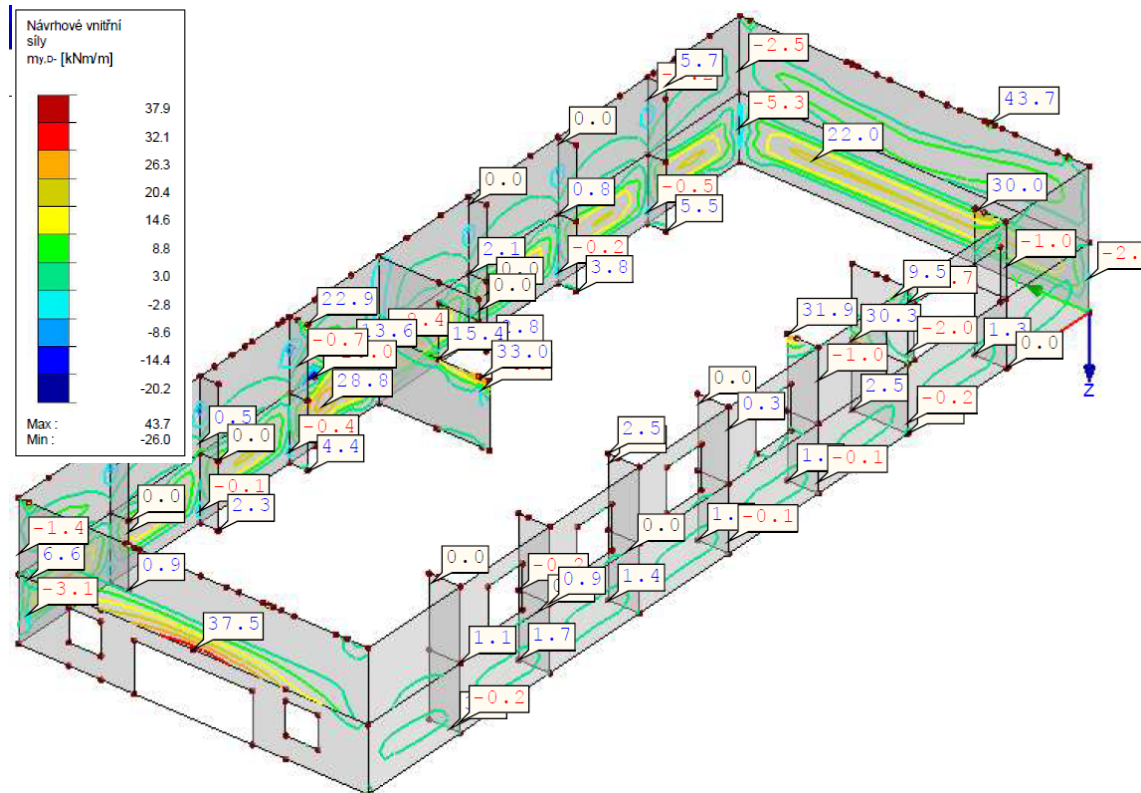


Obr. 79 – m_{x-} suterénních stěn od charakteristických hodnot zatížení v záporném směru lokální osy

z



Obr. 80 – m_{y+} suterénních stěn od charakteristických hodnot zatížení v kladném směru lokální osy z



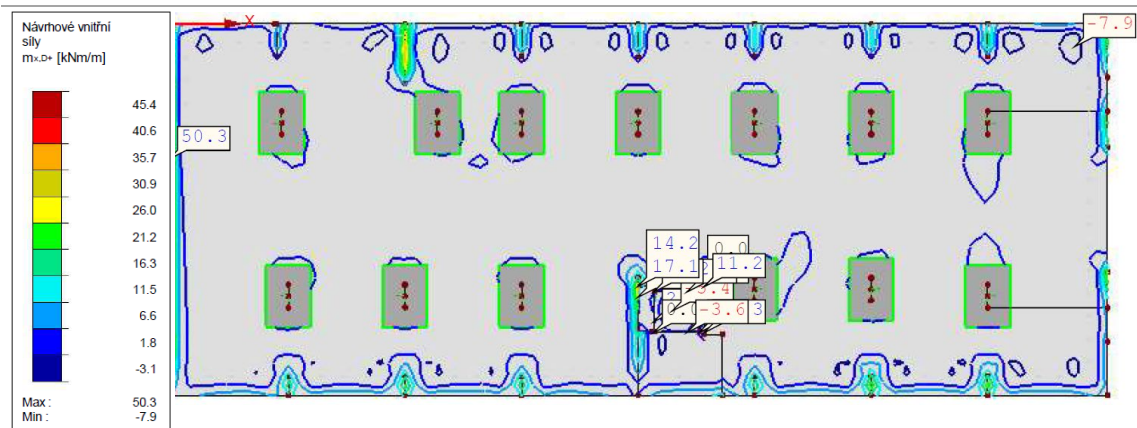
Obr. 81 – m_{y-} suterénních stěn od charakteristických hodnot zatížení v záporném směru lokální osy z

z

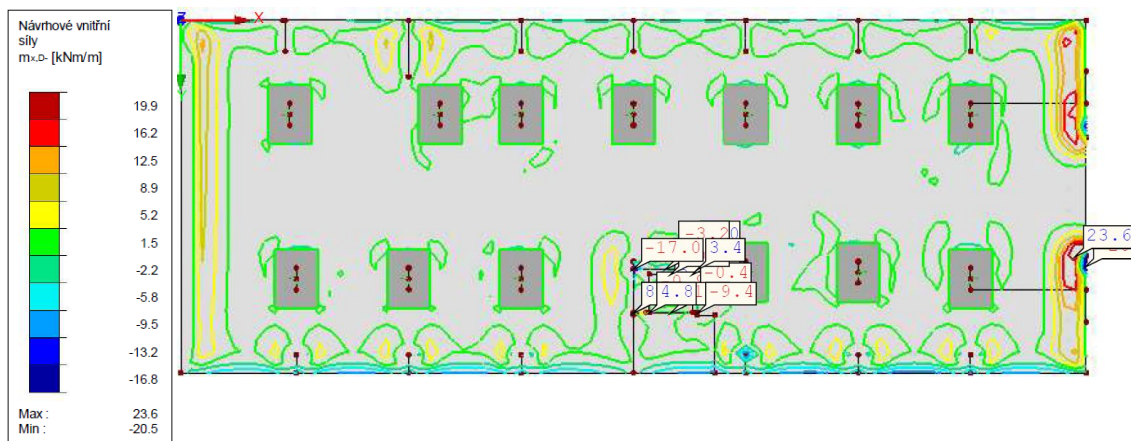
Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník



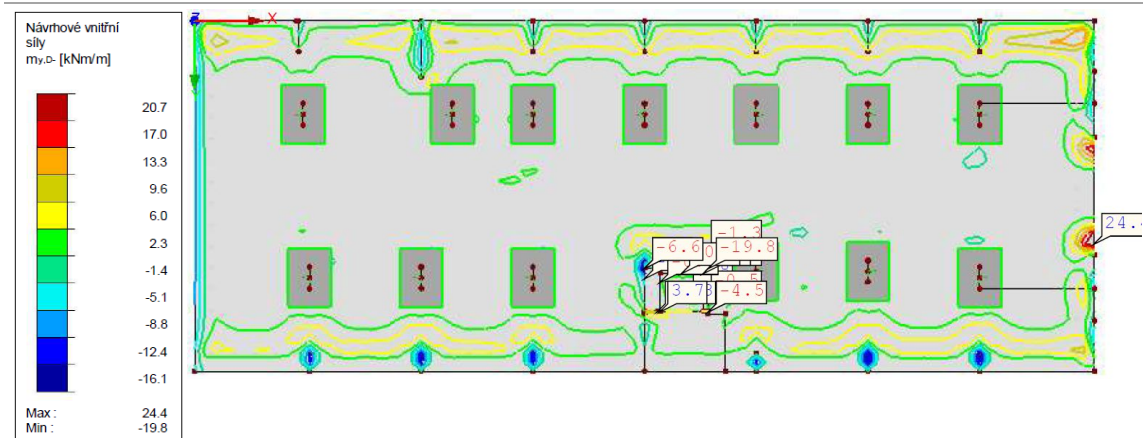
Obr. 82 – m_{x+} základové desky od charakteristických hodnot zatížení v kladném směru lokální osy z



Obr. 83 – m_{x-} základové desky od charakteristických hodnot zatížení v záporném směru lokální osy z



Obr. 84 – m_{y+} základové desky od charakteristických hodnot zatížení v kladném směru lokální osy z



Obr. 85 – m_y - základové desky od charakteristických hodnot zatížení v záporném směru lokální osy z

Po analýze výsledků zjistíme, že ve většině případů navržená výztuž téměř vždy vyhoví. Maximální a minimální hodnoty u barevné stupnice výsledků nemůžeme brát vždy jako hodnoty pro ověření, protože se ne vždy nachází v suterénních konstrukcích v kontaktu se zemínou. U stěn se jedná většinou o lokální maxima, která můžeme z výpočtu vyloučit. Jediný moment, kdy musíme ověřit velikost trhlin, je m_{y+} (obr. 80) u JZ a SV stěny. U základové desky se objevují hodnoty momentů překračující hodnoty momentu kritického pouze u m_{x+} a m_{y+} . Pokud budeme ale v rámci redukce momentu u podpory uvažovat hodnotu 20 cm od okraje desky, hodnoty nepřekročí hranici kritického momentu.

JZ stěna tl. 300 mm

$$M_k = 67,9 \text{ kNm/m}$$

Parametry průřezu bez trhlin:

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

$$\sigma_{c2} = -\frac{67,9}{2347544543} 150$$

$$\sigma_{c2} = -4,34 \text{ MPa}$$

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

$$\sigma_{c1} = \frac{67,9}{2347544543} (300 - 150)$$

$$\sigma_{c1} = 4,34 \text{ MPa}$$

Parametry průřezu s trhlinami:

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

$$x = \frac{6,452}{1000} (753 + 753) \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 * 1000}{6,452} * \frac{753 * 259 + 753 * 41}{(753 + 753)^2}} \right]$$

$$x = 45,1 \text{ mm}$$

Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník

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

$$I_{ir} = \frac{1}{3}1000 * 45,1^3 + 6,452[753(259 - 45,1)^2 + 753(45,1 - 41)^2]$$

$$I_{ir} = 252931571 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_c = -\frac{M_k}{I_{ir}} x$$

$$\sigma_c = -\frac{67,9}{252931571} 45,1$$

$$\sigma_c = -12,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = \alpha_e \frac{M_k}{I_{ir}} (d-x)$$

$$\sigma_s = 6,452 \frac{67,9}{252931571} (259 - 45,1)$$

$$\sigma_s = 370,9 \text{ MPa}$$

$$h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5(h-d); \frac{h}{2}; \frac{h-x}{3} \right\}$$

$$h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5(300 - 259); \frac{300}{2}; \frac{300 - 45,1}{3} \right\}$$

$$h_{c,eff} = \min \{ 102,5; 150; 85 \}$$

$$h_{c,eff} = 85 \text{ mm}$$

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

$$A_{c,eff} = 85 * 1000$$

$$A_{ct,eff} = 84\,953 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_{s1}}{A_{c,eff}}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{753}{84953}$$

$$\rho_{p,eff} = \underline{\underline{0,0089}}$$

$$k_t = 0,4$$

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

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{370,9 - 0,4 \frac{2,6}{0,0089} (1 + 6,452 * 0,0089)}{200\,000}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \mathbf{1,2345}$$

$$k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

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

$$s_{r,max} = 3,4 * 35 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 12 / 0,0089$$

$$s_{r,max} = \underline{\underline{0,349 \text{ mm}}}$$

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

$$w_k = 0,349 * 1,2345$$

$$w_k = \underline{\underline{0,431 \text{ mm}}}$$

$$w_k = 0,431 \text{ mm} \leq w_{max} = 0,25 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{NEVYHOVUJE}$$

Navržené vyztužení nevyhovělo, u povrchu A_{s1} zvětšíme průměr vložek na **16 mma** výpočet zopakujeme.

Geometrie:

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$c_1 = 35 \text{ mm}$$

$$c_2 = 35 \text{ mm}$$

$$d_1 = 43 \text{ mm}$$

$$d_2 = 41 \text{ mm}$$

$$d = 257 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 1340 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 753 \text{ mm}^2$$

Parametry průřezu bez trhlin:

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

$$A_i = 300 * 1000 + (6,452 - 1)(1340 + 753)$$

$$A_i = 311\,410 \text{ mm}^2$$

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

$$a_{gi} = \left[300 * 1000 * \frac{300}{2} + (6,452 - 1)(1340 * 257 + 753 * 41) \right] / 311\,410$$

$$a_{gi} = 151,07 \text{ mm}$$

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

$$I_i = \frac{1}{12} * 1000 * 300^3 + 300 * 1000 (151,07 - \frac{300}{2})^2 + (6,452 - 1) [1340 (257 - 151,07)^2 + 753 (257 - 41)^2]$$

$$I_i = 238\,205\,040\,5 \text{ mm}^3$$

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

Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník

$$M_{cr} = \frac{2,6 * 2382050405}{300 - 151,07}$$

$$M_{cr} = 41,59 \text{ kNm/m}$$

$$M_k = 67,9 \text{ kNm/m}$$

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

$$\sigma_{c2} = -\frac{67,9}{2382050405} 151,07$$

$$\sigma_{c2} = -4,31 \text{ MPa}$$

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

$$\sigma_{c1} = \frac{67,9}{2382050405} (300 - 151,07)$$

$$\sigma_{c1} = 4,25 \text{ MPa}$$

Parametry průřezu s trhlinami:

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

$$x = \frac{6,452}{1000} (1340 + 753) \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 * 1000 * 1340 * 257 + 753 * 41}{6,452 * (1340 + 753)^2}} \right]$$

$$x = 57,4 \text{ mm}$$

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

$$I_{ir} = \frac{1}{3} 1000 * 57,4^3 + 6,452 [1340 (257 - 57,4)^2 + 753 (57,4 - 41)^2]$$

$$I_{ir} = 408770945 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_c = -\frac{M_k}{I_{ir}} x$$

$$\sigma_c = -\frac{67,9}{408770945} 57,4$$

$$\sigma_c = -9,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = \alpha_e \frac{M_k}{I_{ir}} (d - x)$$

$$\sigma_s = 6,452 \frac{67,9}{408770945} (257 - 57,4)$$

$$\sigma_s = 214,2 \text{ MPa}$$

$$h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5(h - d); \frac{h}{2}; \frac{h - x}{3} \right\}$$

$$h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5(300 - 257); \frac{300}{2}; \frac{300 - 57,4}{3} \right\}$$

$$h_{c,eff} = \min \{107,5; 150; 80,9\}$$

$$h_{c,eff} = 80,9 \text{ mm}$$

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

$$A_{c,eff} = 80,9 * 1000$$

$$A_{c,eff} = 80874 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_{s1}}{A_{c,eff}}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{1340}{80874}$$

$$\rho_{p,eff} = 0,0166$$

$$\rho_{p,eff} = \underline{\underline{0,0166}}$$

$$k_t = 0,4$$

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

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{214,2 - 0,4 \frac{2,6}{0,0166} (1 + 6,452 * 0,0166)}{200\,000}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \underline{\underline{0,7238}}$$

$$k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

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

$$s_{r,max} = 3,4 * 35 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 16 / 0,0166$$

$$s_{r,max} = \underline{\underline{0,283 \text{ mm}}}$$

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

$$w_k = 0,283 * 0,7238$$

$$w_k = \underline{\underline{0,205 \text{ mm}}}$$

$$w_k = 0,205 \text{ mm} \leq w_{max} = 0,25 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

SV stěna tl. 250 mm

$$M_k = 48 \text{ kNm/m}$$

Parametry průřezu bez trhlin:

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

Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník

$$\sigma_{c2} = -\frac{48}{1360014004} 150$$
$$\sigma_{c2} = -4,41 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{M_k}{I_i} (h - a_{gi})$$
$$\sigma_{c1} = \frac{48}{2347544543} (250 - 125)$$
$$\sigma_{c1} = 4,41 \text{ MPa}$$

Parametry průřezu s trhlinami:

$$x = \frac{\alpha_e}{b} (A_{s1} + A_{s2}) \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2b A_{s1} d + A_{s2} d_2}{\alpha_e (A_{s1} + A_{s2})^2}} \right]$$
$$x = \frac{6,452}{1000} (753 + 753) \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 * 1000 * 753 * 209 + 753 * 41}{6,452 * (753 + 753)^2}} \right]$$
$$x = 40,5 \text{ mm}$$

$$I_{ir} = \frac{1}{3} b x^3 + \alpha_e [A_{s1} (d - x)^2 + A_{s2} (x - d_2)^2]$$
$$I_{ir} = \frac{1}{3} 1000 * 40,5^3 + 6,452 [753 (209 - 40,5)^2 + 753 (40,5 - 41)^2]$$
$$I_{ir} = 160075956 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_c = -\frac{M_k}{I_{ir}} x$$
$$\sigma_c = -\frac{48}{160075956} 40,5$$
$$\sigma_c = -12,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = \alpha_e \frac{M_k}{I_{ir}} (d - x)$$
$$\sigma_s = 6,452 \frac{48}{160075956} (209 - 40,5)$$
$$\sigma_s = 325,9 \text{ MPa}$$

$$h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5(h - d); \frac{h}{2}; \frac{h - x}{3} \right\}$$
$$h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5(250 - 209); \frac{250}{2}; \frac{250 - 40,5}{3} \right\}$$
$$h_{c,eff} = \min \{ 102,5; 125; 69,8 \}$$
$$h_{c,eff} = 69,8 \text{ mm}$$

$$A_{c,eff} = h_{c,eff} * b$$
$$A_{c,eff} = 69,8 * 1000$$
$$A_{ct,eff} = 69827 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_{s1}}{A_{c,eff}}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{753}{69827}$$

$$\rho_{p,eff} = \underline{\underline{0,0108}}$$

$$k_t = 0,4$$

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

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{325,9 - 0,4 \frac{2,6}{0,0108} (1 + 6,452 * 0,0108)}{200\ 000}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \underline{\underline{1,1139}}$$

$$k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

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

$$s_{r,max} = 3,4 * 35 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 12 / 0,0108$$

$$s_{r,max} = \underline{\underline{0,308\ mm}}$$

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

$$w_k = 0,308 * 1,1139$$

$$w_k = \underline{\underline{0,343\ mm}}$$

$$w_k = 0,343\ mm \leq w_{max} = 0,25\ mm \dots\dots\dots \text{NEVYHOVUJE}$$

Navržené vyztužení nevyhovělo, u povrchu A_{s1} zvětšíme průměr vložek na **14 mm** a výpočet zopakujeme.

Geometrie:

$$h = 250\ mm$$

$$b = 1000\ mm$$

$$c_1 = 35\ mm$$

$$c_2 = 35\ mm$$

$$d_1 = 42\ mm$$

$$d_2 = 41\ mm$$

$$d = 208\ mm$$

$$A_{s1} = 1026\ mm^2$$

$$A_{s2} = 753\ mm^2$$

Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník

Parametry průřezu bez trhlin:

$$\begin{aligned}A_i &= A_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} + A_{s2}) \\A_i &= 250 * 1000 + (6,452 - 1)(1026 + 753) \\A_i &= 259\,698 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a_{gi} &= [A_c a_c + (\alpha_e - 1)(A_{s1} d + A_{s2} d_2)] / A_i \\a_{gi} &= \left[250 * 1000 * \frac{250}{2} + (6,452 - 1)(1026 * 208 + 753 * 41) \right] / 259698 \\a_{gi} &= 125,46 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I_i &= I_c + A_c (a_{gi} - a_c)^2 + (\alpha_e - 1) [A_{s1} (d - a_{gi})^2 + A_{s2} (d - d_2)^2] \\I_i &= \frac{1}{12} * 1000 * 250^3 + 250 * 1000 (125,46 - \frac{250}{2})^2 + (6,452 - 1) [1026 (208 - 125,46)^2 + 753 (208 - 41)^2] \\I_i &= 1369526373 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{cr} &= \frac{f_{ctm} * I_i}{h - a_{gi}} \\M_{cr} &= \frac{2,6 * 1369526373}{250 - 125,46} \\M_{cr} &= 28,59 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$M_k = 48 \text{ kNm/m}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{c2} &= -\frac{M_k}{I_i} a_{gi} \\ \sigma_{c2} &= -\frac{48}{1369526373} 125,46 \\ \sigma_{c2} &= -4,4 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{c1} &= \frac{M_k}{I_i} (h - a_{gi}) \\ \sigma_{c1} &= \frac{48}{1369526373} (250 - 125,46) \\ \sigma_{c1} &= 4,36 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Parametry průřezu s trhlinami:

$$\begin{aligned}x &= \frac{\alpha_e}{b} (A_{s1} + A_{s2}) \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2b A_{s1} d + A_{s2} d_2}{\alpha_e (A_{s1} + A_{s2})^2}} \right] \\ x &= \frac{6,452}{1000} (1026 + 753) \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 * 1000}{6,452} * \frac{1026 * 208 + 753 * 41}{(1026 + 753)^2}} \right] \\ x &= 45,8 \text{ mm}\end{aligned}$$

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

$$I_{ir} = \frac{1}{3} 1000 * 45,8^3 + 6,452[1026(208 - 45,8)^2 + 753(45,8 - 41)^2]$$

$$I_{ir} = 206283407 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_c = -\frac{M_k}{I_{ir}} x$$

$$\sigma_c = -\frac{48}{206283407} 45,8$$

$$\sigma_c = -10,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = \alpha_e \frac{M_k}{I_{ir}} (d - x)$$

$$\sigma_s = 6,452 \frac{67,9}{206283407} (208 - 45,8)$$

$$\sigma_s = 243,5 \text{ MPa}$$

$$h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5(h - d); \frac{h}{2}; \frac{h - x}{3} \right\}$$

$$h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5(250 - 208); \frac{250}{2}; \frac{250 - 45,8}{3} \right\}$$

$$h_{c,eff} = \min \{105; 125; 68,1\}$$

$$h_{c,eff} = 68,1 \text{ mm}$$

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

$$A_{c,eff} = 68,1 * 1000$$

$$A_{ct,eff} = 68058 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_{s1}}{A_{c,eff}}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{1026}{68058}$$

$$\rho_{p,eff} = \underline{\underline{0,0151}}$$

$$k_t = 0,4$$

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

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{243,5 - 0,4 \frac{2,6}{0,0151} (1 + 6,452 * 0,0151)}{200\,000}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \mathbf{0,8388}$$

$$k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník

$$s_{r,max} = k_3c + k_1k_2k_4\phi/\rho_{p,eff}$$
$$s_{r,max} = 3,4 * 35 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 14/0,0151$$
$$s_{r,max} = \underline{\underline{0,277 \text{ mm}}}$$

$$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$
$$w_k = 0,277 * 0,8388$$
$$w_k = \underline{\underline{0,232 \text{ mm}}}$$

$$w_k = 0,232 \text{ mm} \leq w_{max} = 0,25 \text{ mm} \dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

Závěr

Statickým výpočtem vyšlo najevo, že při výpočtu šířky trhlin je u konstrukcí jednoduchého typu, jako je zde předkládaný bytový dům, rozhodující výpočet šířky trhlin od nesilových účinků (smršťování). Následná nutná výztuž potřebná pro namáhání od silových účinků vyhoví téměř vždy. Vyztužení pro redukci trhlin od silových účinků až na některá místa vyhovělo také všude. Tyto extrémní jsme vyřešili pouze drobnou úpravou průměru výztuže v místě extrému. Pokud bychom tyto extrémní přehlédli, pravděpodobně by to na celkové chování konstrukce nemělo žádný vliv. Místa s většími trhlinami, která by narušovala hydroizolační funkci suterénu, by se dala jednoduše zasanovat například pomocí krystalizační zátky nebo injektáže.

Celkový závěr

Cílem práce bylo navrhnout suterénní konstrukce obytného domu v kontaktu se zemí podle dostupných norem a příruček a ověření funkčnosti a vlastností krystalizační přísady, která je navržena jako součást složení betonu. Nosné konstrukce v kontaktu se zemí byly navrženy jako bílá vana, podle Technických pravidel ČBS 02 – překlad rakouské směrnice. Experimentální část byla rozdělena na laboratorní a domácí část a pokaždé byly zkoumány jiné vlastnosti.

Při statickém výpočtu se ukázalo, že u jednoduchých konstrukcí, kde nevznikají staticky náročná místa, je rozhodujícím faktorem pro návrh výztuže s ohledem na minimalizaci trhlin výpočet pro působení od nesilových účinků. Pro výztuž, která je potřebná pro působení od silových účinků, je pak výztuž navržena na působení od nesilových účinků téměř vždy dostačující. Při posouzení šířky trhliny od silových účinků, je výztuž navržena v prvním kroku nedostačující jen výjimečně. I když výrobce této konkrétní krystalizační přísady uvádí dorůstání trhlin do šířky 0,4 mm, je nutné vždy konstrukci navrhnout podle platných norem a směrnice jako vodonepropustnou, bez uvážení použití krystalizace. Krystalizační přísada pomůže eliminovat případné technologické chyby, při kterých mohou vznikat trhliny větší, než je stanoveno výpočtem. Důležité je si uvědomit, že výpočet není zcela přesný vlivem nehomogenity betonové směsi a jejímu rozdílnému chování v různých místech konstrukce, i proto je použití krystalizace vhodným řešením.

V domácí části experimentů byl jasně prokázán vznik krystalů, pokud se do betonové konstrukce dostane voda, a to při různých množstvích přidané přísady. Na základě těchto

zkušeností bylo následně zvoleno konkrétní množství přísady, použité v betonu pro suterénní konstrukci. Zároveň bylo pozorováním zjištěno, že krystalizace zpomaluje hydrataci betonu a snižuje množství hydratačního tepla, což může mít kladný vliv na betonáž při vyšších teplotách a může značně snížit výskyt smršťovacích trhlin.

Experimenty prováděné v laboratoři ukázaly, že při použití krystalizační přísady nedochází k nárůstu pevnosti po 30 dnech, jak uvádí výrobce. Zároveň byly ale výsledky měření téměř shodné s výsledky pražského TZÚS. Při zkoušce vzorků na působení tlakové vody se ukázalo, že nejdůležitější částí návrhu bílé vany, je její správná realizace a vhodně zvolený beton. Vzorky byly bohužel příliš pórovité, a tak jejich hydroizolační schopnost byla nulová bez ohledu na použití krystalizace či nikoliv. To bylo způsobeno buď špatně zvoleným složením betonu, nebo nedostatečným hutněním.

Při návrhu bílé vany je důležitý její návrh jako vodonepropustné, i když je plánováno použití krystalizačních přísad. Protože je jejich realizace složitá na technologický postup, je krystalizační přísad vhodným řešením, vytvářející jakousi pojistku, která je schopná eliminovat technologické chyby a nehomogenity betonu. Klasické vodonepropustné betony jsou velice náchylné na vznik příliš širokých smršťovacích trhlin, které jsou příčinou špatné hydroizolační funkce a které jsou charakteristickým jevem pro všechny betonové konstrukce. Zde není ale nijak zajištěna druhotná hydratace. V obou případech je ale výhodou jejich snadná oprava. Nezanedbatelnou částí je také návrh detailů spár a otvorů.

Cíl práce se podařilo splnit, statickým návrhem bylo dosaženo maximální přípustné šířky trhlin. Ověření funkčnosti krystalizace bylo dokázáno zejména na základě domácích experimentů a návštěvy některých referenčních budov, uvedených v rešeršní části. Autor doufá, že tato práce poskytne další možný pohled, na tuto rozporuplnou problematiku hydroizolace betonových konstrukcí.

Seznam příloh

Příloha č. 1: D 1.1. – tvar ZD

Příloha č. 2: D 1.2. – tvar 2. PP

Příloha č. 3: D 1.3. – tvar 1. PP

Příloha č. 4: D 2.1. – dolní výztuž ZD

Příloha č. 5: D 2.2. – horní výztuž ZD

Příloha č. 6: D 2.3. – konstrukční výztuž ZD

Příloha č. 7: D 2.4. – výztuž stěn 2. PP

Příloha č. 8: D 2.5. – výztuž stěn 1. PP

Literatura

- [1] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Římské akvadukty [online]. c2021 [citováno 20. 02. 2021]. Dostupný z https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98%C3%ADmsk%C3%A9_akvadukty#PI%C3%A1nov%C3%A1n%C3%AD
- [2] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Beton [online]. c2021 [citováno 25. 02. 2021]. Dostupný z <https://cs.wikipedia.org/wiki/Beton#Historie>
- [3] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Portlandský cement [online]. c2021 [citováno 26. 02. 2021]. Dostupný z https://cs.wikipedia.org/wiki/Portlandsk%C3%BD_cement
- [4] Robert Coufal: Betony pro vodonepropustné a masivní konstrukce, In Materiály pro stavbu, 2013/8 [online]. Dostupné z http://www.tbgmestrostav.cz/fileadmin/user_upload/napsali_o_nas/clanky_ke_stazeni/2013_MPS_08_2013.pdf
- [5] Milan Olšavský: Povlakové hydroizolace v střešních konstrukcích - historie, Stavební komunita, 2012/7 [online]. Dostupné z <http://stavebnikomunita.cz/profiles/blogs/povlakove-hydroizolace-v-stresnich-konstrukcich-historie>
- [6] Jiří Pazderka: Principy použití krystalizačních hydroizolací, ASB – architektura stavebnictví byznys, 2018/2 [online]. Dostupné z <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/zaklady-a-hrubastavba/cement-a-beton/principy-pouziti-krystalizacnich-hydroizolaci>
- [7] Jiří Pazderka: Bílé vany vs. Povlakové hydroizolace – věčná rivalita, tzb info, 2012/12 [online]. Dostupné z <https://stavba.tzb-info.cz/izolace-proti-vode-a-radonu/9432-bile-vany-vs-povlakove-hydroizolace-vecna-rivalita>
- [8] About Xypex, Concrete Waterproofing, Concrete Repair Company. Xypex | Concrete Waterproofing using Crystalline Technology [online]. Dostupné z: <https://www.xypex.com/about/our-company>
- [9] PAVLÍKOVÁ, Milena, Zbyšek PAVLÍK a Jiří HOŠEK. Materiálové inženýrství I. 2., přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04932-7.
- [10] Informace poskytla Jana PŘÍHODOVÁ, jednatelka firmy Artesacapillary dry, s.r.o. Praha 17. 2. 2021.
- [11] Krystalizace kanadského typu | ACD. Krystalizace kanadského typu | ACD [online]. Copyright ©2013 [cit. 10. 03. 2021]. Dostupné z: <http://www.artesacd.cz/>
- [12] Krystalizace jako ochrana proti radonu – ANO či NE?, RealSan, 2019/7 [online]. Dostupné z <https://realsan.cz/Krystalizace-jako-ochrana-proti-radonu---ANO-ci-NE-n53262.htm>

- [13] Bílé vany: vodotěsné betonové konstrukce. 2., upr. vyd. [Praha]: ČBS Servis, 2007. Technická pravidla ČBS. ISBN 978-80-87158-03-6.
- [14] Směrnice pro vodonepropustné betonové konstrukce: DAfStb-Richtlinie wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie). Praha: Česká betonářská společnost ČSSI, [2015]. Technická pravidla ČBS. ISBN 978-80-903806-9-1.
- [15] Nízkotlaké injektáže – TESAN. TESAN – Speciální stavební technologie [online]. Dostupné z: <https://www.tesan.cz/nizkotlake-injektazni-systemy/>
- [16] Milan Fenyk: Zásady práce s betonovou směsí, ASB – architektura stavebnictví byznys, 2007/12 [online]. Dostupné z <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/zaklady-a-hruba-stavba/podkladovy-beton/zasady-prace-s-betonovou-smesi>
- [17] Prostupy potrubí a kabelové průchodky | Prostupy.cz. Prostupy.cz - průchodky na kabely a potrubí [online]. Dostupné z: <https://www.prostupy.cz/vodotesne-plynotesne-prostupy-pro-kabely-a-potrubí>
- [18] Jakub Holan. SloBOOn – složení betonu online [software]. 2019 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://people.fsv.cvut.cz/~holanjak/software/slobon/program/>
- [19] HANZLOVÁ, Hana a Jiří ŠMEJKAL. Betonové a zděné konstrukce 1: základy navrhování betonových konstrukcí. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 9788001053232.
- [20] 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.
- [21] 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

Obrázky

Obr. 2 - Robert Coufal, Jan L. Vítek, Kristýna Chmelíková: Technologie betonu pro vodonepropustné konstrukce – bílé vany, časopis BETON, 2015/2 [online]. Dostupné z http://www.tbg-metrostav.cz/fileadmin/user_upload/napsali_o_nas/clanky_ke_stazeni/BETON_2-15_COUFAL_technologie-betonu.pdf

Obr. 4 - 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>

Bakalářská práce

Vodonepropustné betonové konstrukce

Adam Silbrník

obr. 30 - Mayhouse office. Kanceláře k pronájmu na Praze 4. [online]. Dostupné z: https://www.mayhouse.cz/cs/default.aspx?gclid=Cj0KCQjwse-DBhC7ARIsAI8YcWLSZejo9x2pgq574I7iJbLGOKMwQkArQI9SPxCdJDkRvLeGfHjYwgYaAilbEALw_wcB#intro

obr 58+59 - Regard - Chodov 2018. Regard [online]. Dostupné z: <https://regard.cz/cz/chodov-2018>