



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra betonových a zděných konstrukcí

Návrh vyztužení krátké konzoly a jeho experimentální ověření

Design of reinforcement of corbel and its experimental verification

Bakalářská práce

Studijní program: STAVEBNÍ INŽENÝRSTVÍ
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb
Vedoucí práce: Ing. Michaela Frantová, Ph.D.

Michal Piksa

Praha 2017



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Tháškova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Piksa</u>	Jméno: <u>Michal</u>	Osobní číslo: <u>410167</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: Návrh vyztužení krátké konzoly a jeho experimentální ověření

Název bakalářské práce anglicky: Design of reinforcement of corbel and its experimental verification


Pokyny pro vypracování:

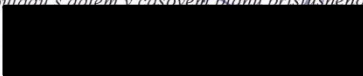
- návrh rozměrů modelu konzoly pro experimentální ověření
- návrh vyztužení bez předpětí a s předpětím
- experimentální ověření
- vyhodnocení experimentu

Seznam doporučené literatury:
Kohoutková A., Procházka J., Šmejkal J.; Modelování a vyztužování betonových prvků; ČVUT v Praze, Praha 2013

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Michaela Frantová, Ph.D.


Datum zadání bakalářské práce: 24. 2. 2017 Termín odevzdání bakalářské práce: 28. 5. 2017
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

 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“.

24. 2. 2017 

Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Návrh vyztužení krátké konzoly a jeho experimentální ověření“ zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny informační zdroje.

V Praze 29. 5. 2017

Michal Piksa

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji své vedoucí práce Ing. Michaele Frantové, Ph.D. za její odborné vedení a užitečné rady. Dále děkuji doc. Ing. Petru Štemberkovi, Ph.D. za rady k experimentální části a za pomoc při vypracování bakalářské práce. Díky patří také Ing. Jakubu Žákovi za rady ke zhotovení experimentu, praktickou pomoc při přípravě betonové směsi, ukládání směsi do bednění a zapůjčení nářadí. Děkuji Ing. Josefu Fládrovi, Ph.D. za poskytnutí receptury betonové směsi, pomoc při předpínání výztuže a obsluhu lisu při zkouškách vzorků.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat svým rodičům, kteří mě psychicky i hmotně podporovali ve studiu na Fakultě stavební.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem modelů krátkých dvojkonzol vyztužených bez předpětí a s předpětím. Pro modely krátkých dvojkonzol byly navrženy rozměry a vyztužení podle normy ČSN EN 1992-1-1. Navržené modely krátkých dvojkonzol byly následně odlity společně se vzorky betonových těles válců a krychlí. Na odlitých modelech krátkých dvojkonzol vyztužených bez předpětí a s předpětím byly provedeny zkoušky únosnosti, zatímco betonová tělesa válců a krychlí byla testována v tlaku.

Pro modely krátkých dvojkonzol byly provedeny výpočty únosnosti podle normy ČSN EN 1992-1-1 a dále byl proveden zjednodušený výpočet únosnosti modelů krátkých dvojkonzol s použitím modelů náhradní příhradoviny se zahrnutím třmínek na výsledné únosnosti vzorků.

Výsledky této práce ukazují, jaké jsou odchylky mezi výpočty krátkých dvojkonzol podle normy ČSN EN 1992-1-1, zjednodušeného výpočtu pomocí modelů náhradní příhradoviny a skutečné únosnosti krátkých dvojkonzol.

KLÍČOVÁ SLOVA

Krátká konzola, dvojkonzola, model náhradní příhradoviny, betonářská výztuž, předpjatá výztuž, pevnost betonu v tlaku

ABSTRACT

This bachelor work deals with design of models of pre-stressed and non-pre-stressed reinforced double corbels. The dimensions and reinforcements of the models of double corbels were designed according to the standard ČSN EN 1992-1-1. The designed models of double corbels were afterwards poured off concrete together with samples of figures of cylinders and cubes. The models of pre-stressed and non-pre-stressed reinforced double corbels were tested for their load capacity meanwhile the samples of concrete figures of cylinders and cubes were tested for compression.

The load capacities of the models of double corbels were calculated according to the standard ČSN EN 1992-1-1 and also a simplified calculation by using strut-and-tie models with the inclusion of stirrups on the resulting load capacity of the samples was done.

The results of this work demonstrates the deviations among the calculation of double corbels according to the standard ČSN EN 1992-1-1, the simplified calculation using strut-and-tie models and the actual carrying capacity of corbels.

KEY WORDS

Corbel, double corbel, strut-and-tie model, steel reinforcement, prestressed steel, compressive strength of concrete

OBSAH

1. ÚVOD	1
2. CÍL PRÁCE	3
3. TEORETICKÁ ČÁST	4
3.1 <i>Idealizace konstrukce</i>	4
3.2 <i>Poruchové oblasti</i>	4
3.2 <i>Prvky modelu náhradní příhradoviny</i>	5
3.3 <i>Krátké konzoly obecně</i>	7
3.4 <i>Návrh krátké konzoly podle ČSN EN 1992-1-1</i>	9
3.5 <i>Principy vyztužení krátkých konzol</i>	9
3.6 <i>Předpínání krátkých konzol</i>	10
4. NUMERICKÁ ANALÝZA KRÁTKÉ DVOJKONZOLY	12
5. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	15
5.1 <i>Návrh rozměrů modelu dvojkonzoly</i>	15
5.2 <i>Výroba bednění</i>	16
5.3 <i>Ohýbání a vázání výztuže</i>	16
5.4 <i>Výroba čerstvého betonu</i>	20
5.5 <i>Plnění bednění, hutnění, ošetřování vzorků</i>	21
5.6 <i>Odbednění a označení vzorků</i>	23
5.7 <i>Předpínání výztuže</i>	24
5.8 <i>Zkoušky vzorků</i>	25
5.8.1 <i>Zkoušky betonu v tlaku těles krychlí a válců</i>	25
5.8.2 <i>Zkoušky vzorků konzol</i>	28
5.9 <i>Porovnání výsledků zkoušek modelů s výpočty</i>	33
6. ZÁVĚR	35
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	37
SEZNAM OBRÁZKŮ	38
SEZNAM TABULEK	39

SEZNAM GRAFŮ.....	40
SEZNAM PŘÍLOH	40
PŘÍLOHY.....	41

1. ÚVOD

Železobeton patří v dnešní době k hojně užívaným stavebním materiálům pro výstavbu nosných konstrukcí kvůli svým pozitivním vlastnostem. Jedná se o nehomogenní materiál složený z kombinace betonu a ocelové výztuže. Ocelová výztuž se do betonu vkládá kvůli výborné tahové pevnosti. Beton totiž odolává pouze vysoké pevnosti v tlaku.

Železobetonové konzoly jsou extrémně namáhané nosné prvky vyložené ze sloupu nebo stěny. Jejich funkcí je přenášet zatížení stropní konstrukce skeletového systému staveb do sloupů, ze kterých je zatížení rozneseno základovou konstrukcí do podloží (obrázek 1.1). V halových konstrukcích se tyto konzoly využívají hlavně k podporám jeřábových drah. Železobetonové sloupy s konzolami je možné technologicky provést jako monolitické nebo prefabrikované. Pro efektivitu výstavby se setkáváme převážně s prefabrikáty dopravovanými na stavbu jako hotové. Mezi velké výhody prefabrikace patří: rychlá výstavba, možnost zatížit konstrukci ihned po osazení prvků, vyšší jakost konstrukčních prvků, lepší povrch betonu, odpadá mokrá proces na staveništi a úspora skladovacích prostorů na staveništi.

Prefabrikace s sebou přináší také problémy při výrobě konzoly na sloup nebo stěnu. Sloupy se zpravidla betonují do ocelového bednění v horizontální poloze. Na sloup je možné v jedné výškové úrovni umístit více konzol. V takovém případě musí být zajištěn přístup pro vázání výztuže ze všech stran bednění, kde se vyskytují konzoly. Proto nezbyvá jiná možnost, než upravit drahé stávající ocelové bednění a tím ho značně znehodnotit. Tento problém mnohdy způsobuje časovou prodlevu a finanční náročnost na zhotovení bednění. Protože se u hal či skeletových konstrukcí vyrábí více totožných sloupů s konzolami, vyplatí se vyrobit bednění na míru i přes vyšší počáteční investici. Jednodušším řešením může být betonování sloupu nebo stěny v prvním záběru a v dalším záběru betonovat konzolu, tím odpadá výroba komplikovaného bednění. Výztuž pro dodatečně betonovanou konzolu je možné řešit více způsoby, jako je šroubové spojení výztuže pomocí spojky nebo použít výztuž se zpětným ohnutím. [1]

V první kapitole teoretické části je popsána idealizace konstrukce, poruchové oblasti, prvky modelu náhradní příhradoviny, obecný popis krátkých konzol, návrh krátké konzoly podle normy ČSN EN 1992-1-1, principy vyztužení krátkých konzol a předpínání krátkých konzol.

Druhá kapitola se zabývá numerickou analýzou modelů krátkých dvojkonzol bez předpětí a s předpjatou výztuží.

Třetí kapitola je věnována experimentální části, ve které je popsána výroba modelů krátkých dvojkonzol a zkušebních těles válců a krychlí. Kapitola také obsahuje zkoušení vzorků a výsledky zkoušek.



Obr. 1.1.: Příklad prefabrikované skeletové konstrukce [2]

2. CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce je navrhnout modely krátkých dvojkonzol a způsob, jakým se budou modely zatěžovat. Pro modely krátkých dvojkonzol byly navrženy rozměry a vyztužení bez předpětí i s předpětím podle normy ČSN EN 1992-1-1. Vyztužené modely krátkých dvojkonzol byly vyrobeny a zároveň byla odlita betonová tělesa válců a krychlí. Také byly provedeny zkoušky únosnosti modelů krátkých dvojkonzol pro obě varianty vyztužení a zkoušky betonových těles válců a krychlí v tlaku.

Dále byl proveden výpočet únosnosti modelů krátkých dvojkonzol podle normy ČSN EN 1992-1-1. Druhý výpočet modelů krátkých dvojkonzol byl proveden zjednodušeně s použitím modelu náhradní příhradoviny se zahrnutím třmínek na výsledné únosnosti vzorků.

Hlavním cílem bakalářské práce bylo porovnat únosnost vyrobených modelů krátkých dvojkonzol s únosností stanovenou výpočtem podle normy ČSN EN 1992-1-1, podle které se tyto konzoly často navrhují. Skutečná únosnost vyrobených modelů krátkých dvojkonzol byla také porovnána se zjednodušenými výpočty modelů náhradní příhradoviny.

Únosnost vyrobených modelů krátkých dvojkonzol byla vyhodnocena pro výztuž bez předpětí a s předpětím. Průběh experimentu je ukázán na obrázku 2.1.

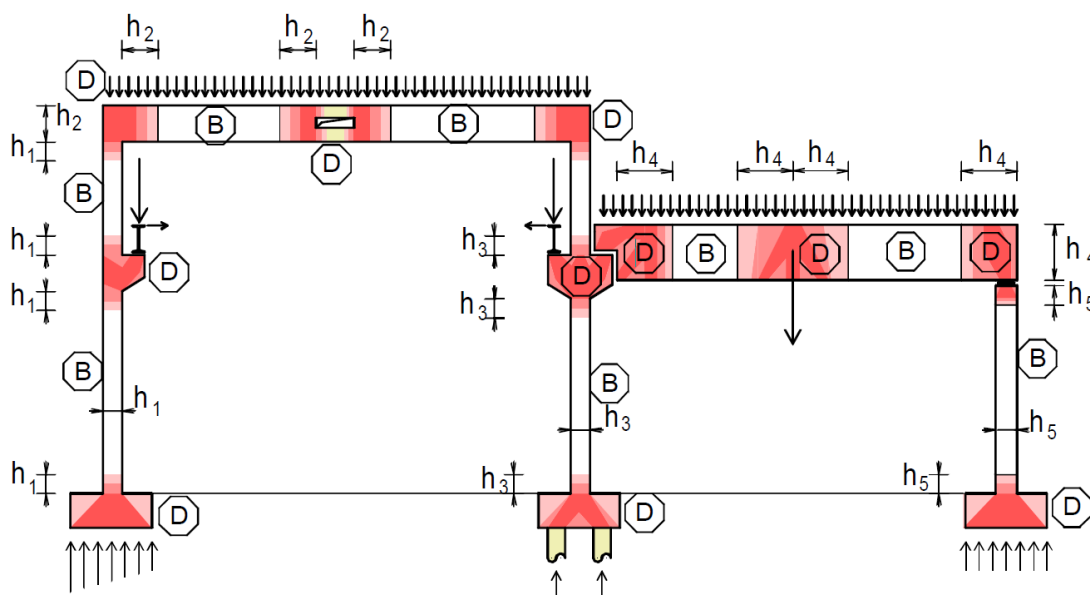


Obr. 2.1.: Zatěžování modelu krátké dvojkonzoly

3. TEORETICKÁ ČÁST

3.1 Idealizace konstrukce

Nosnou železobetonovou konstrukci jako celek je možné pro výpočet chápat jako globální model. Dílčí části a detaily nosné konstrukce jsou modely lokální. Na konstrukci rozeznáváme D oblasti a B oblasti. U oblastí D není lineárně rozděleno poměrné přetvoření, proto v těchto oblastech dochází k poruchám. V oblasti B platí předpoklad zachování rovinnosti průřezu podle Bernoulliovy hypotézy. Model náhradní příhradoviny lze použít pro návrh poruchových D oblastí. Na obrázku 3.1 je znázorněn výskyt D a B oblastí. [3,4]



Obr. 3.1.: Rozdělení konstrukce na B a D oblastí [4]

3.2 Poruchové oblasti

V poruchových oblastech používáme pro návrh výztuže v mezním stavu únosnosti modely náhradní příhradoviny. Modely náhradní příhradoviny skládáme z prutů tažených (výztuž), prutů tlačných (beton) a spojovacích uzlů (styčníky). Síly v prvcích náhradní příhradoviny se stanovují z podmínek rovnováhy. Je nezbytné, aby poloha výztuže v modelu souhlasila se směrem a polohou tažených prutů. [3,4]

Při tvorbě modelů se vychází z předpokladů:

- v táhlech dochází k mezi kluzu před vyčerpáním pevnosti betonových vzpěr
- tahové síly v betonu jsou zanedbány
- síly v táhlech a vzpěrách jsou pouze osové
- v každém styčnicku je rovnováha
- výztuž se aktivuje po vzniku trhlin v betonu

[3,4]

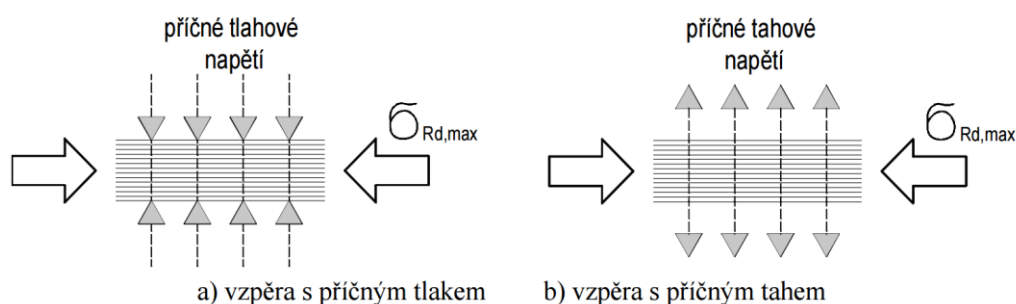
3.2 Prvky modelu náhradní příhradoviny

Táhla

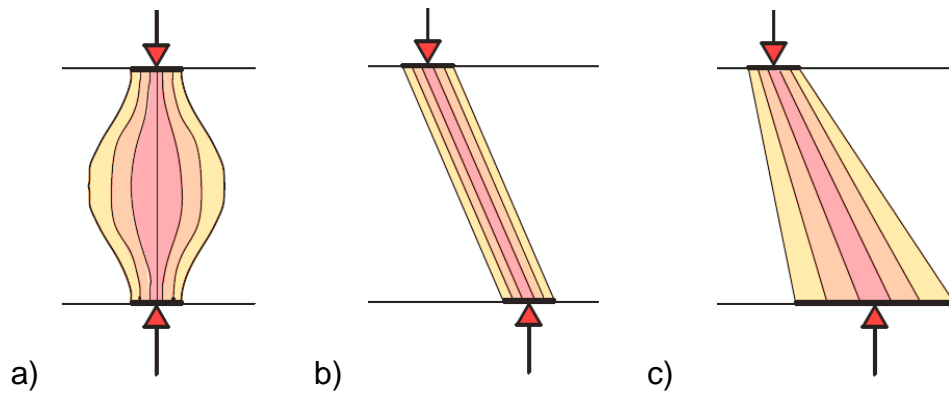
V modelu náhradní příhradoviny jsou táhla reprezentována výztuží, která musí být zakotvena ve styčnicku. Návrh tahové únosnosti táhla souvisí s dosažením meze kluzu výztuže. Tlakové porušení betonových vzpěr by nemělo předcházet porušení výztuže na mezi kluzu. [3,4]

Vzpěry

Vzpěry v modelu náhradní příhradoviny představuje beton namáhaný v tlaku. Podle příčného namáhání rozlišujeme vzpěry s příčným tlakem a vzpěry s příčným tahem. V betonovém prvku vzniká průběh trhlin rovnoběžně s diagonální vzpěrrou. Na obrázku 3.2 a 3.3 jsou znázorněny typy a tvary betonových vzpěr. [3,4]



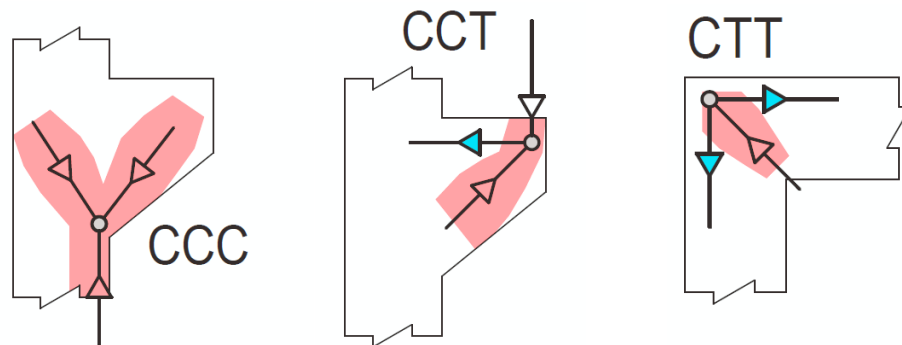
Obr. 3.2.: Betonové vzpěry [4]



Obr. 3.3.: Základní tvary betonových vzpěr, a) baňkovitá vzpěra, b) vzpěra s rovnoběžnými vlákny, c) vějířová vzpěra [3]

Styčníky

Oblasti, ve kterých se setkávají vzpěry a táhla nazýváme v modelu náhradní příhradoviny styčníky. Ve styčnicích musí být všechny síly v rovnováze. Styčníky mohou být typu **CCC**, kde působí tři tlakové síly. Ve styčniku typu **CTT** působí tlaková síla a dvě síly tahové. Styčník **CCT** je namáhán silou tahovou a dvěma silami tlakovými. Příklady míst, kde se nachází styčníky v konstrukci jsou: podpory, místa soustředného zatížení, kotevní oblasti, spoje a rohy prvků a místa ohybu výztuže. Obrázek 3.4 ukazuje příklady styčniců. [3,4]

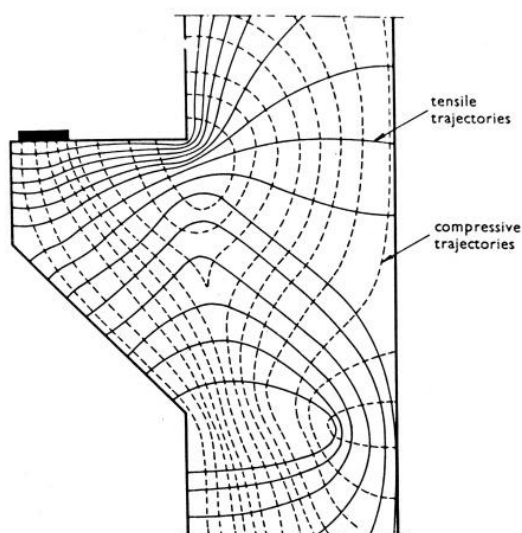


Obr. 3.4.: Příklady styčniců CCC, CCT a CTT na konzole a rámovém rohu [3]

3.3 Krátké konzoly obecně

Princip návrhu konzol vychází z lokálního modelování poruchových oblastí pomocí náhradní příhradoviny (D oblasti). Průběh napětí v krátké konzole je na obrázku 3.5. Konzoly se podle poměrného vyložení rozdělují na tři základní typy a to krátké $a/z \leq 0,5$ a dlouhé $0,5 < a/z < 2$ a velmi krátké s úhlem sklonu tlačené diagonály větším než 68° . Podle působení zatížení je možné konzoly rozdělit na přímo nebo nepřímo zatížené. [5]

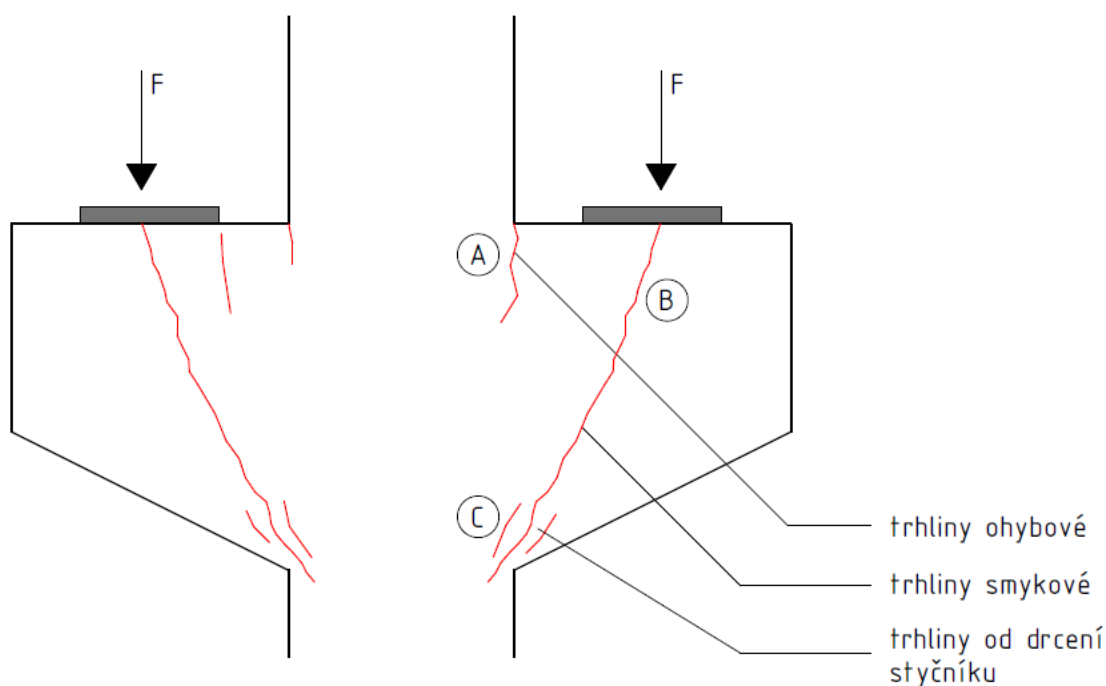
Přímo zatížené krátké konzoly jsou nosné prvky vyložené ze sloupu nebo ze stěny zatížené koncentrovaně na horním povrchu. Do sloupu, případně stěny, tyto konzoly přenáší posouvající sílu a moment. Konzoly se využívají pro instalaci jeřábových drah v halách nebo jako podpory pro nosníky u skeletových konstrukcí. Konzoly jsou navrhovány na přenesení svislých sil, pokud nejsou v konstrukci speciální opatření, tak je nutné uvažovat i s vodorovným zatížením. Vodorovná síla vzniká smrštěním betonu nebo teplotními změnami. Mezi konzolu a další nosný prvek se obvykle ukládá ocelové ložisko pro roznesení síly působící na horním povrchu konzoly. Tento styk může být proveden jako pevný nebo posuvný kloub. [5,6]



Obr. 3.5.: Průběh napětí – tahové a tlakové trajektorie [7]

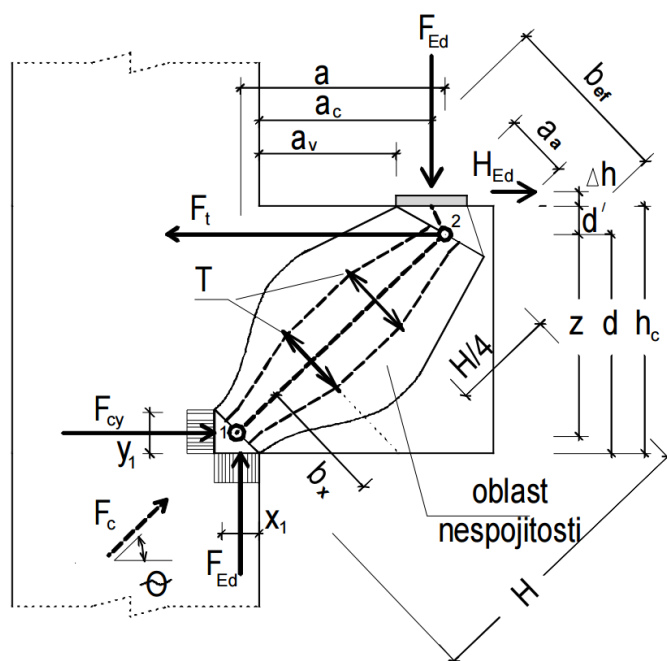
Schéma porušení krátké dvojkonzoly je na obrázku 3.6. Při zatěžování krátké konzoly vzniká v první fázi ohybová trhлина v napojení konzoly na sloup ("A" na obrázku 3.6). Na vzniku ohybových trhlin se podílí ohybový moment. Tato trhлина ukazuje, že beton u horního povrchu ztrácí svou tahovou pevnost. Pokud je hlavní

ohybová výztuž dostatečně únosná, potom ohybové trhliny nerozhodují o únosnosti konzoly. V další fázi vznikají trhliny na diagonální vzpěře pod zatěžovaným roznášecím ložiskem, nazývají se smykové trhliny. Smykové trhliny vznikají vlivem příčných v tlačené betonové vzpěře, lze je eliminovat smykovou výztuží ("B" na obrázku 3.6). Při dalším zatěžování dojde buď ke kolapsu usmýknutím části konzoly, nebo se začne drtit beton ve styčnicku CCC ve spodní části konzoly a následkem drcení betonu ve styčnicku a ztrátou únosnosti výztuže dochází ke kolapsu ("C" na obrázku 3.6). [8]



Obr. 3.6.: Schéma porušení krátké dvojkonzoly

3.4 Návrh krátké konzoly podle ČSN EN 1992-1-1



Obr. 3.7.: Model příhradoviny pro konzoly [4]

Hlavní tlačená betonová diagonála přenáší zatížení z konzoly do styčníku 1 a současně tahová vodorovná výztuž toto zatížení přenáší do sloupu. Na obrázku 3.7 je model náhradní příhradoviny. Norma doporučuje uvažovat minimální vodorovnou sílu $H_{Ed} = 0,2 \cdot F_{Ed}$. Tato vodorovná síla zvyšuje plochu tahové výztuže. Při výrobě a montáži stavebního díla je doporučeno uvažovat excentricitu e zatížení F_{Ed} . Při posouzení je potřeba zkontrolovat zakotvení tahové výztuže při horním líci konzoly. Hlavní tahovou výztuž je možné ohýbat do smyček, kde je pro zakotvení rozhodující vnitřní průměr zakřivení smyček. Kotvení se měří od vnitřního líce roznášecí ložiskové desky a započítává se obvod smyčky a délky nezakřivené výztuže. Ve sloupu se délka zakotvení uvažuje při vzdálenějším líci sloupu. Kotvení konzol je na obrázku 3.8. V tlačené betonové vzpěře vznikají příčné tahy, které jsou zachyceny konstrukčními vodorovnými a svislými třmínky. [4]

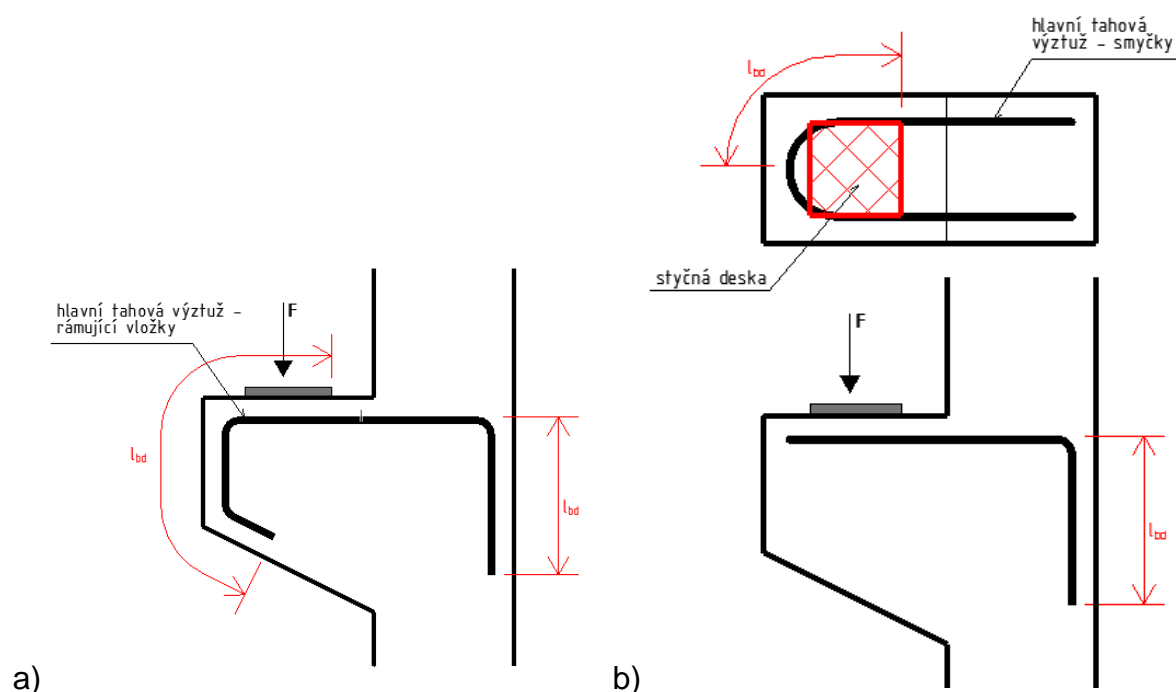
3.5 Principy vyztužení krátkých konzol

Krátké konzoly je nutné vyztužit vodorovnou výztuží.

Zásady vyztužení jsou:

- Horní tahová výztuž má být maximálně ve dvou řadách
- U smyček hlavní tahové výztuže uvažovat větší průměr zakřivení
- Použít minimálně dva vodorovné třmínky menšího průměru s plochou větší než 25 % hlavní tahové výztuže
- Používat pouze betonářskou výztuž s tažností třídy B
- Hlavní podélnou výztuž sloupu stykovat mimo oblast napojení konzoly na sloup
- Zvýšit počet třmínků ve sloupu pod a nad konzolou
- Roznášecí deska nesmí přesahovat obrys výztuže pod úhlem 45°

[4,5]



Obr. 3.8.: Kotevní délky hlavní tahové výztuže pro a) ohyby, b) smyčky

3.6 Předpínání krátkých konzol

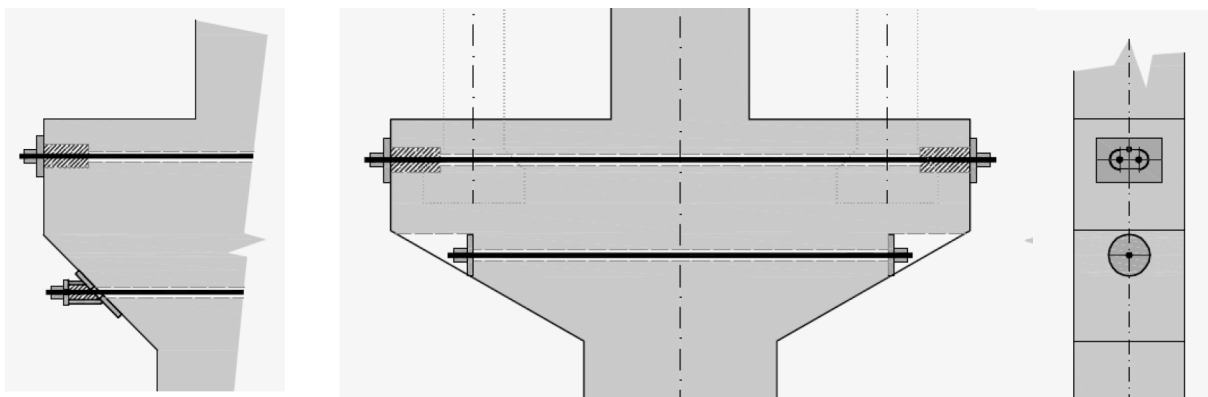
Předpjatá výztuž vnáší do betonu přídatná tlaková napětí a tím eliminuje tahová napětí. Konstrukce s předpjatou výztuží vzdoruje tahovému zatížení spodních vláken svou tlakovou rezervou. Při vyčerpání tlakové únosnosti dochází k otevírání trhlin. Tlaková rezerva oddaluje vznik trhlin, a proto je konstrukce z předpjatého betonu schopna vzdorovat většímu tahovému zatížení před vznikem trhlin oproti běžnému železobetonu. Trhliny se při správném návrhu předpětí v konstrukci vůbec

nevyskytují, nebo je jich méně a mají menší šířku, proto jsou tyto konstrukce trvanlivější. Předpjatá konstrukce má větší tuhost než železobetonová a proto je možné dosáhnout větších únosností nebo úspory materiálu. Předpínací výztuž musí mít násobně větší pevnost, než běžná betonářská výztuž. Ztráty předpětí jsou způsobeny smrštěním a dotvarováním betonové konstrukce nebo ztrátami okamžitými, mezi které patří ztráty třením, pokluzem, pružným přetvořením betonu, postupným předpínáním, krátkodobou relaxací, přetvořením napínacího zařízení, otláčením betonu, rozdílem teploty opěrného zařízení a předpínací výztuže a jiné. [9]

Spolupůsobení předpínací výztuže s konstrukcí může být se soudržností (bez prokluzu) a předpětí bez soudržnosti (umožňuje posun výztuže). Způsob vnášení předpínací síly může být před betonáží, dodatečně po betonáži nebo jejich kombinací. Umístění předpínací výztuže je buď uvnitř konstrukce nebo vně konstrukce. [9]

U předpínaných konstrukcí se používá zpravidla vysokopevnostní beton, který má menší dotvarování a smršťování. Jako výztuž pro předpínání se používají dráty, lana nebo tyče. Předpínací tyče dosahují pevnosti v tahu mezi 1030 – 1230 MPa a užívají se při rekonstrukcích a zesilování stávajících staveb. Předpínací lana mají pevnost v tahu 1770 – 1860 MPa. [9]

Dodatečným předpětím stávajících konzol lze výrazně zvýšit jejich únosnost. Princip spočívá ve snížení hlavního napětí v tahu v konzole. Neboť vhodným vodorovným předepnutím výztuže se oddálí kolaps konstrukce. Předpětí se navrhuje tak, aby po zatížení konstrukce provozním zatížením nebylo vyčerpáno. Hlavní tahové napětí se převádí na tlakové napětí, proto se při zesilování stávajících konzol nepočítá s vlivem původní betonářské výztuže. Předpětí v konzolách zvyšuje smykovou únosnost. [8]



Obr. 3.9.: Konstruktivní provedení horizontálního předpínání krátkých konzol [8]

4. NUMERICKÁ ANALÝZA KRÁTKÉ DVOJKONZOLY

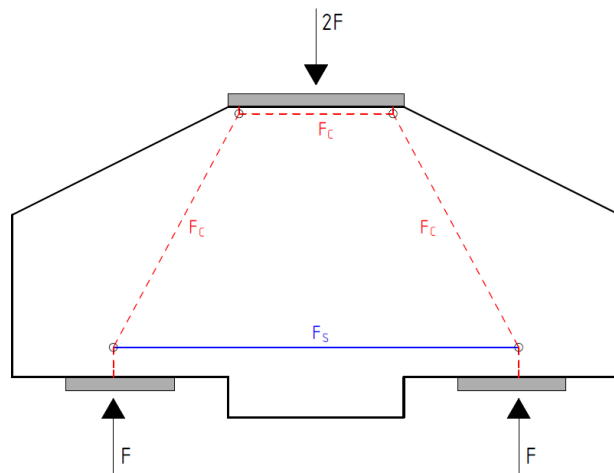
Návrh a posouzení krátké dvojkonzoly byl proveden na charakteristické hodnoty materiálů získané pro beton zkouškami těles válců a krychlí. Pro ocel byly charakteristické hodnoty získány z tabulek. Doporučené vodorovné síly podle normy nebyly při výpočtu a experimentálních zkouškách vzorků z důvodu zjednodušení uvažovány.

Návrh rozměrů krátké dvojkonzoly je popsán v kapitole 5.2. Návrh výztuže do modelů krátkých dvojkonzol bez předpětí podle normy ČSN EN 1992-1-1 je v příloze 1 (použitý model náhradní příhradoviny na obrázku 4.1) a schéma vyztužení v příloze 2.

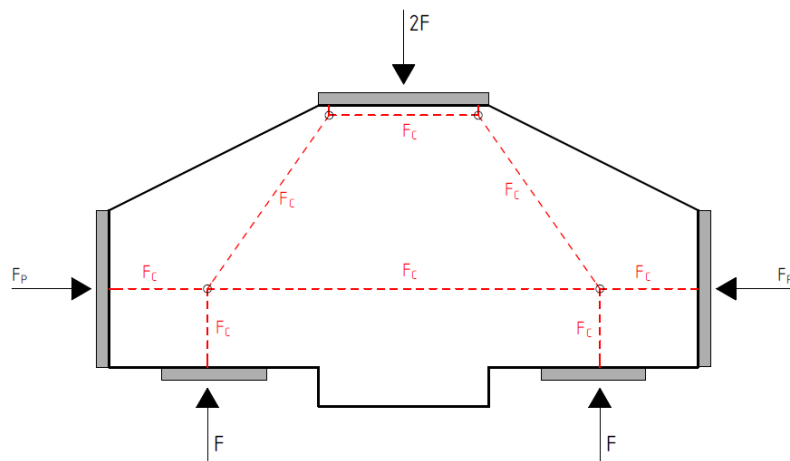
Model náhradní příhradoviny pro model vyztužen s předpětím zatížen malou svislou silou je uveden na obrázku 4.2. Návrh výztuže do modelů krátkých dvojkonzol s předpětím podle normy ČSN EN 1992-1-1 je v příloze 3 (použitý model náhradní příhradoviny na obrázku 4.3 a 4.4) a schéma vyztužení v příloze 4. Třmínky do modelů krátkých dvojkonzol s předpětím byly použity stejné jako u vzorků bez předpětí a nebyly ve výpočtu posuzovány.

Výpočet podle normy ČSN EN 1992-1-1 zanedbává při výpočtu únosnosti vliv smykové výztuže (třmínků). Proto byl pro porovnání s výpočtem podle normy proveden další výpočet pomocí modelu náhradní příhradoviny, který zjednodušeně uvažuje s vlivem smykové výztuže. Výpočet byl proveden pomocí momentové podmínky, kde síly ve výztuži smykové i hlavní nosné byly uvažovány s maximálním využitím na mezi kluzu.

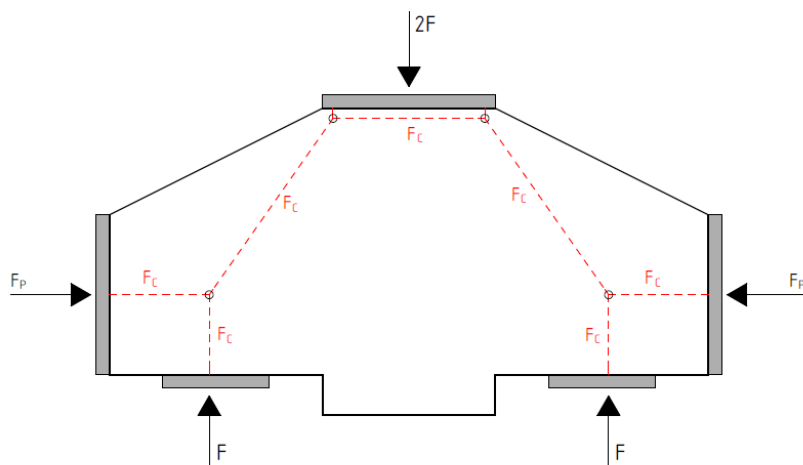
Zjednodušený výpočet únosnosti modelů krátkých dvojkonzol bez předpětí je uveden v příloze 5 (použitý model náhradní příhradoviny na obrázku 4.5) a s předpjatou výztuží po vyčerpání tlakové rezervy předpětí v příloze 6 (použitý model náhradní příhradoviny na obrázku 4.6).



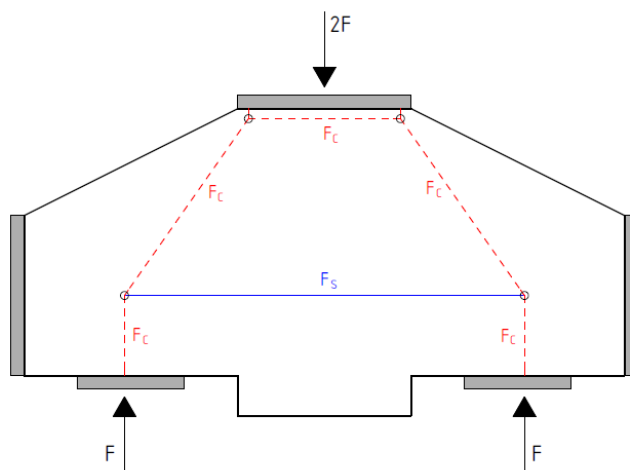
Obr. 4.1.: Model náhradní příhradoviny pro nepředpjatý vzorek bez uvažování třmínků



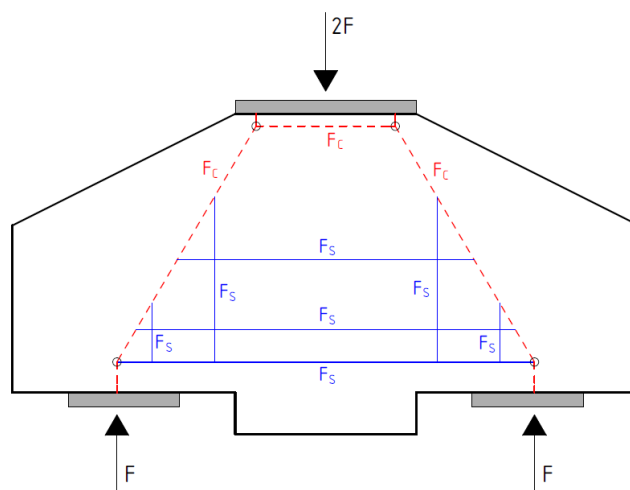
Obr. 4.2.: Model náhradní příhradoviny pro předpjatý vzorek zatížený malou silou



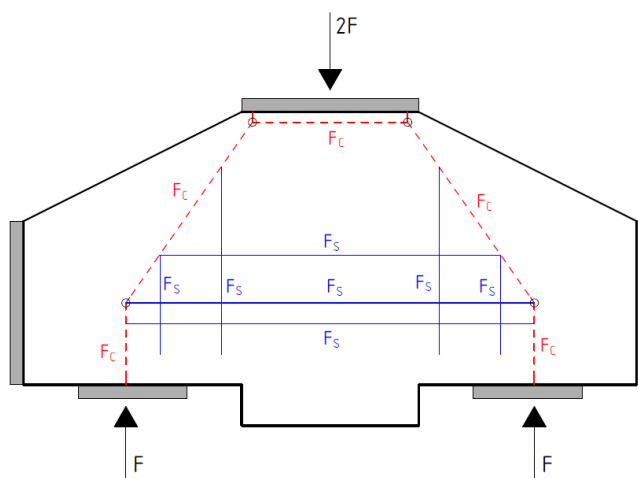
Obr. 4.3.: Model náhradní příhradoviny pro předpjatý vzorek v okamžiku plného využití předpětí



Obr. 4.4.: Model náhradní příhradoviny pro předpjatý vzorek po vyčerpání předpětí bez uvažování třmínků



Obr. 4.5.: Model náhradní příhradoviny pro nepředpjatý vzorek s třmínky



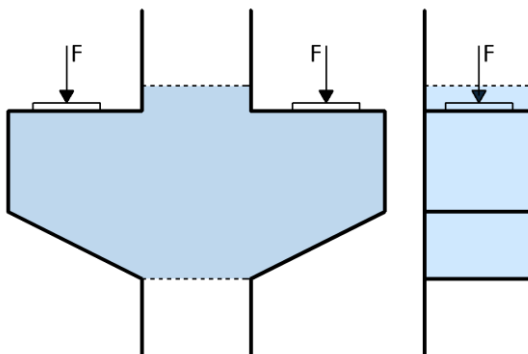
Obr. 4.6.: Model náhradní příhradoviny pro předpjatý vzorek po vyčerpání předpětí s třmínky

5. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

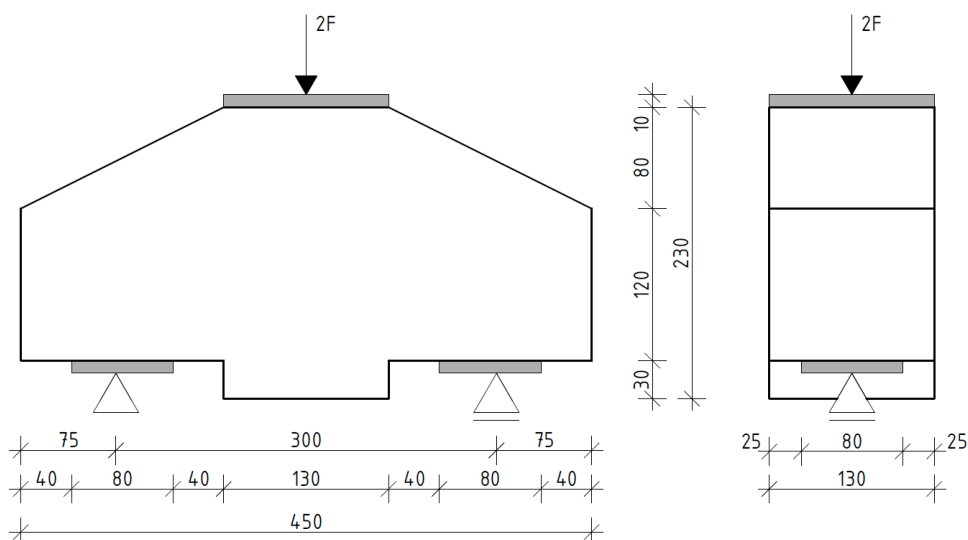
5.1 Návrh rozměrů modelu dvojkonzoly

Pro zkoušení únosnosti modelu dvojkonzoly byl vzorek vyroben jako výsek konstrukce a při zkouškách byl otočen o 180 stupňů. Výsek je ukázán na obrázku 5.1. V zatěžovacích zkouškách byla dvojkonzola podepřena dvěma ocelovými válci vzdálenými od sebe 300 mm a zatěžována svislou silou roznesenou na plochu jako prostý nosník viz obrázek 5.2.

Rozměry vzorků konzol byly zvoleny s ohledem na velikost zkušebního lisu. V praxi se vyrábí sloupy ze želozobetonu o minimálním průřezu čtverce 200 x 200 milimetrů a to z důvodu zajištění správného probetonování sloupu. Průřez sloupu byl po uvážení zmenšen na 130 milimetrů. Pro menší rozměry vzorků se práce snaží popisovat chování konstrukce reálných rozměrů. Geometrie vzorků je na obrázku 5.2.



Obr. 5.1.: Výsek zkoušených vzorků konzoly



Obr. 5.2.: Geometrie vzorku a statické schéma zatěžování

5.2 Výroba bednění

Bednění bylo zhotoveno z dřevotřískových desek vzájemně spojených vruty do dřeva. Odolnost proti vsakování vody do bednění či úniku vody z bednění byla zvýšena nátěrem desek barvou na dřevo a utěsněním spojů plastelínou. Touto úpravou bylo dosaženo udržení vody v bednění pro správnou hydrataci cementových zrn. Obrázek 5.3 ukazuje hotové bednění.



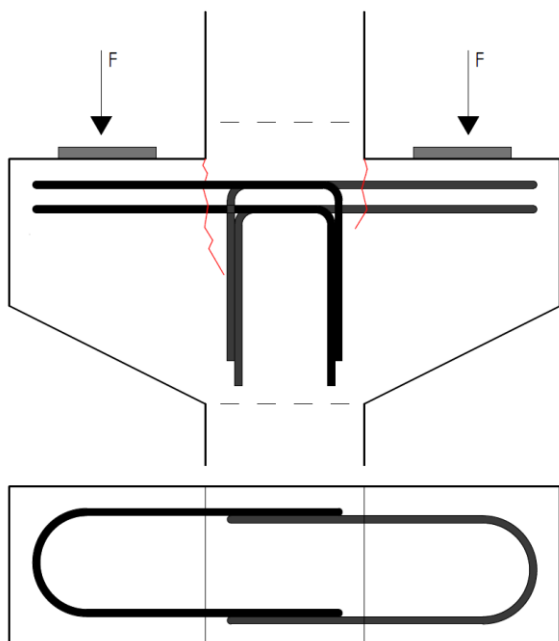
Obr. 5.3.: Hotové bednění pro následnou betonáž

5.3 Ohýbání a vázání výztuže

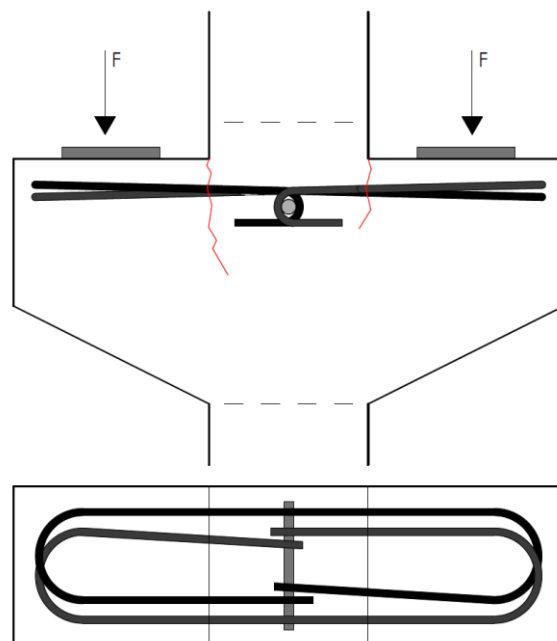
U nepředpjatých vzorků byla použita hlavní tahová výztuž jakosti B500A o průměru 6 mm a třmínky průměru 4 mm jakosti B550A. Do předpjatých vzorků byla jako hlavní výztuž použita závitová tyč M12 (metrický závit, průměr tyče 12 mm) jakosti 12.9 a třmínky průměru 4 mm jakosti B550A. Výztuž byla ohýbána ručně ve svěráku a svázána vázacím drátem. Poloměr zakřivení neodpovídá normě, která uvádí, že minimální průměr ohybu prutu je 5 profilů výztuže. Na modelu byly poloměry zakřivení zhruba 2 profily výztuže. Pro vytvoření krycí vrstvy o mocnosti 15 mm byl ke svázané výztuži připevněn drát průměru 4 mm a plastové distanční podložky vlastní výroby.

Následující 4 obrázky a popis variant vyztužení nepředpjatých vzorků ukazuje, jak se došlo ke konečnému vyztužení modelů krátkých dvojkonzol. Kritériem pro výběr vhodného vyztužení byla jednoduchost provedení a přiblížení se skutečnému chování na reálné konstrukci při zatěžovacích zkouškách.

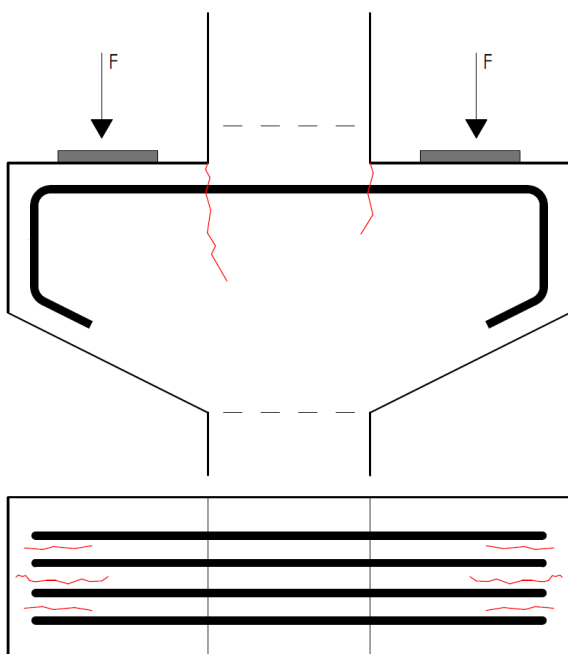
Návrh uspořádání hlavní výztuže v nepředpjatých vzorcích



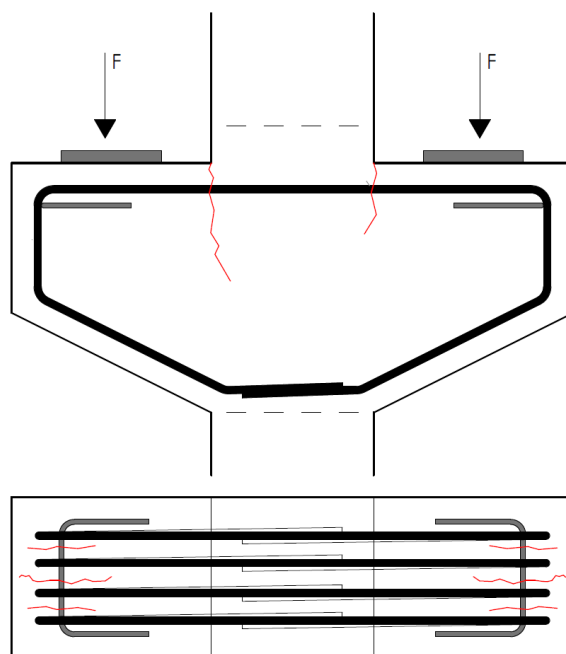
Obr. 5.4.: Smyčky ve dvou řadách, kotvení ve sloupu



Obr. 5.5.: Smyčky v jedné řadě, kotvení smyček přes příčný prut



Obr. 5.6.: Rámující výztuž ukončená v tlačené oblasti



Obr. 5.7.: Rámující výztuž protažená po obvodě s přídavnou příčnou výztuží "U"

Obr. 5.4

Nevhodné vyztužení modelu – při porušení konzoly působí navíc v trhlíně vyztuž zakotvená do sloupu. Výsledky zkoušek by neodpovídaly návrhu vyztuže – předdimenzování průřezu.

Obr. 5.5

Náročné na přesnost ohýbání, z toho důvodu bylo zvoleno jiné uspořádání vyztuže. Výsledky zkoušek by odpovídaly návrhu vyztuže.

Obr. 5.6

Nevhodné ukončení vyztuže – konce vyztuže tlačí do uzlu CCC. Dále vznikají trhliny pod roznášecí deskou, proto je nutné použít příčnou vyztuž.

Obr 5.7

Poslední varianta vyztužení řeší nedostatky předchozích. Kotvení vyztuže bylo protaženo do styčníku CCC. Hlavní vyztuž byla doplněna příčnou vyztuží.

Toto uspořádání hlavní vyztuže bylo použito při vyztužování modelů konzol.

Návrh uspořádání předpínací vyztuže

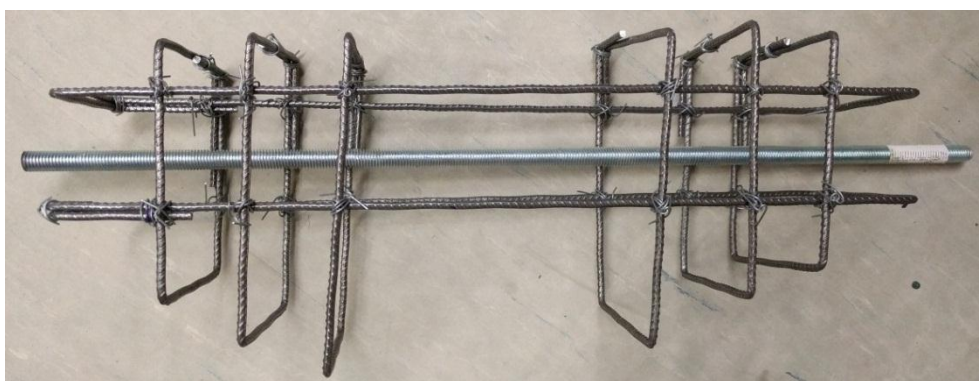
Do vzorků konzol byla použita běžně dostupná závitová tyč průměru M12 jakosti oceli 12.9. Nevýhodou této závitové tyče je to, že po předepnutí a následném zatížení nelze poznat okamžik, při kterém byla tlaková rezerva vložená předpětím vyčerpána. Další nevýhodou je, že po vyčerpání předpětí začne závitová tyč přenášet tahy v ohýbaném vzorku a chová se jako běžná betonářská vyztuž. I přes tyto nedostatky byla závitová tyč použita, protože laboratoř není vybavena předpínací pistolí na předpínací lana, která by vyřešila výše uvedené problémy. Výhodou lan je možnost dosáhnout výrazně většího předpětí. Následující obrázky 5.8 a 5.9 ukazují svázanou vyztuž do nepředpjatých vzorků dvojkonzol podle varianty vyztužení na obrázku 5.7. Pro předpjaté konzoly je na obrázku 5.10 a 5.11 ukázána svázaná vyztuž třmíneků a umístění závitové tyče pro následné předpínání.



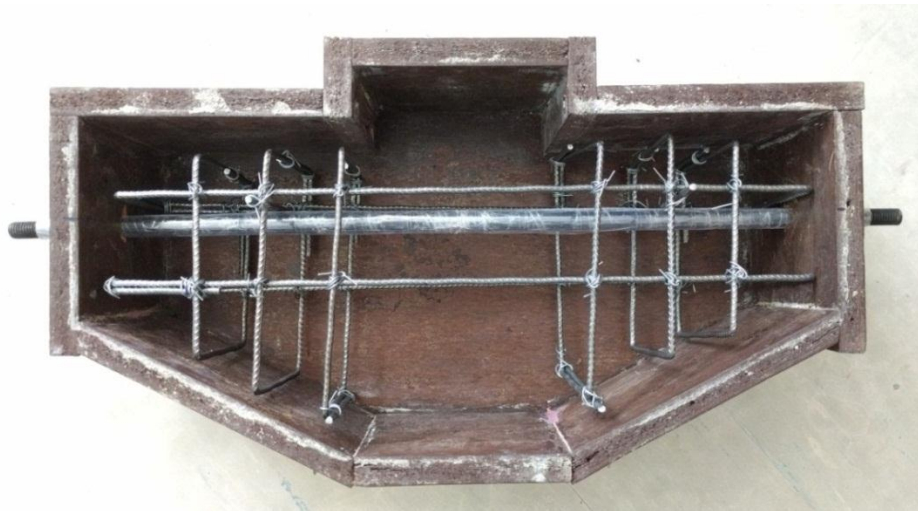
Obr. 5.8.: Svázaná výztuž do nepředpjatých vzorků



Obr. 5.9.: Svázaná výztuž do nepředpjatých vzorků a osazená v bedně



Obr. 5.10.: Svázaná výztuž do předpjatých vzorků



Obr. 5.11.: Svázaná výztuž do předpjatých vzorků a osazená v bedně

5.4 Výroba čerstvého betonu

První dvě záměsi betonáže byly provedeny 4. dubna 2017. Druhé dvě záměsi proběhly 6. dubna 2017. Složky byly dávkovány dle předepsané receptury v tabulce 1. K míchání betonu byla použita horizontální míchačka o objemu 35 litrů. Na obrázku 5.12 je ukázána konzistence směsi



Obr. 5.12.: Hotová betonová směs připravená pro betonáž

Receptura betonové směsi

Výsledky odzkoušené betonové směsi namíchané podle receptury poskytnuté od pana Ing. Josefa Fládra, Ph.D. na tělesech válců a krychlí byly popsány v kapitole 5.8.1.

SLOŽKA SMĚSI	m [kg]	POMĚR [%]
Portlandský cement CEM I 42,5 R	470,0	19,9
Pitná voda	188,0	8,0
Kamenivo frakce 4 - 8	500,0	21,2
Kamenivo frakce 0 - 4	1200,0	50,8
Plastifikátor GLENIUM ACE 442	4,5	0,2
CELKEM	2362,5	100,0

Tab. 1.: Množství složek pro výrobu 1 m³ betonové směsi

5.5 Plnění bednění, hutnění, ošetřování vzorků

V prvních dvou záměsích byly vybetonovány tři nepředpjaté železobetonové vzorky konzol a pro zkoušky pevnosti betonu v tlaku tři krychle o hraně 150 mm a tři válce o průměru podstavy 100 mm a výšce 200 mm. V druhých dvou záměsích byly vybetonovány tři konzoly se závitovou tyčí M12, kde tyč byla chráněna PVC folií proti zabetonování. Pro zkoušky pevnosti betonu v tlaku byly odlity tři krychle o hraně 150 mm a 3 válce o průměru podstavy 100 mm a výšce 200 mm.

Formy a bednění byly vymazány odbedňovacím olejem. Vzorky byly zhutněny na vibračním stole a horní povrch zarovnan zednickou lžící. Ošetření vzorků bylo provedeno překrytím PE folie ihned po zarovnání betonové směsi v bednění. Folie byla odstraněna následný den při odbedňování. Obrázky 5.13 až 5.17 ukazují výrobu vzorků.



Obr. 5.13.: Plnění bednění předpjatých vzorků a hutnění na vibračním stole



Obr. 5.14.: Plnění bednění nepředpjatých vzorků a hutnění na vibračním stole



Obr. 5.15.: Plnění forem krychle a válce a hutnění na vibračním stole



Obr. 5.16.: Překrytí vzorků PE folií



Obr. 5.17.: Odbedněné vzorky

5.6 Odbednění a označení vzorků

Odbednění vzorků bylo provedeno po 24 hodinách od betonáže. K odbednění krychlí byl použit stlačený vzduch, který vytlačil vzorky krychlí z plastových forem. Ocelové formy k výrobě válců byly rozebrány. Dřevěné bednění vzorků konzol bylo rozebráno.

5.7 Předpínání výztuže

Závitová tyč byla v předpjatých vzorcích konzol předepnuta 27. den od betonáže, tyč byla předpínána dodatečně bez soudržnosti s betonem. Předpínání bylo provedeno v jednoosé trhačce pro kovovou výztuž. Bylo dosaženo tahové síly v závitové tyči 75 kN, při této síle byly utaženy matice na koncích závitové tyče, aby nedošlo ke ztrátě předpětí. Na obrázku 5.18 je ukázáno předpínání vzorku.



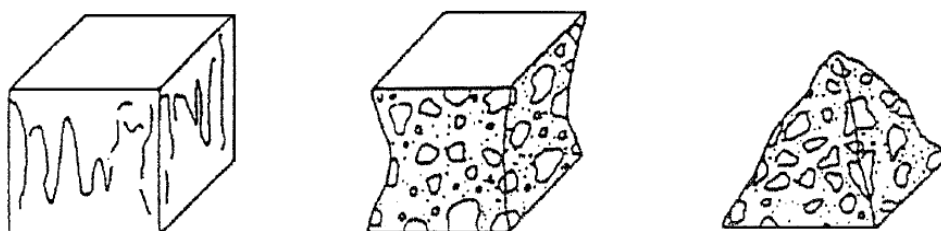
Obr. 5.18.: Předpínání závitové tyče v jednoosé trhačce

5.8 Zkoušky vzorků

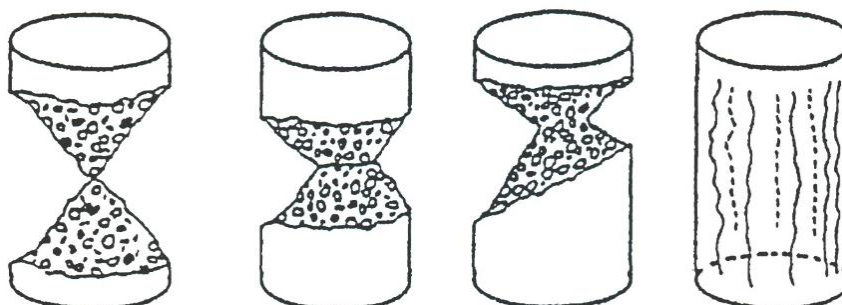
Zkoušky vzorků konzol a těles válců a krychlí proběhly 4. května 2017 (po 30 dnech od betonáže prvních dvou záměsí a 28 dnech od betonáže třetí a čtvrté záměsí).

5.8.1 Zkoušky betonu v tlaku těles krychlí a válců

Zkoušky byly provedeny na tělesech stáří 28 a 30 dní. Tělesa byla zatěžována ve zkušebním lisu až do porušení. Zkušební tělesa válců byla před zkoušením koncována sádrou na podstavě plnění. Krychle byly do lisu osazeny kolmo na směr plnění. Zkoušky probíhaly dle normy ČSN EN 12390 - 3 *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*. Obrázek 5.19 a 5.20 ukazuje vyhovující způsoby porušení těles válců a krychlí. [10]



Obr. 5.19.: Vyhovující způsoby porušení zkušebních těles krychlí [10]



Obr. 5.20.: Vyhovující způsoby porušení zkušebních těles válců [10]

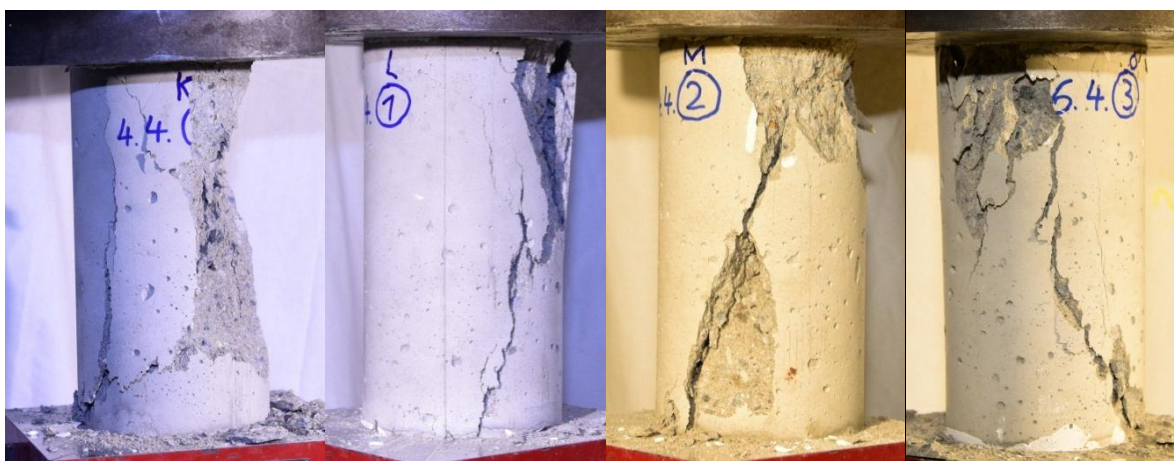
Pevnost v tlaku [MPa; N/mm²]:

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

F maximální zatížení při porušení [N]

A_c průřezová plocha zkušebního tělesa [mm²]

Na zkušebních tělesech válců po provedení zkoušek v tlaku nebyly vyhovující způsoby porušení. Příčinou bylo pravděpodobně nekvalitní koncování podstavy a nerovnoběžnost podstav válců. Porušení zkušebních těles krychlí proběhlo vyhovujícím způsobem, ale výsledky ukázaly nejnižší hodnotu pevnosti v tlaku u krychle s označením A1 vyrobené z první záměsi betonové směsi. Příčinou podezřelého výsledku bylo nepřesné osazení ocelové desky pod vzorek v hydraulickém lisu, proto byla první záměs vyloučena k určení třídy betonu. Hodnoty pevnosti těles válců v tlaku nebyly kvůli výše popsaným nedostatkům použity pro vyhodnocení. Místo válcových hodnot byly použity krychelné hodnoty vynásobené součinitelem 0,8. Třída betonu byla stanovena jako C 45/55. Obrázky 5.21, 5.22 a 5.23 ukazují porušená tělesa válců a krychlí. V tabulce 1 jsou pevnosti těles krychlí a z nich vypočítané teoretické hodnoty pro válce. Graf 1 ukazuje hodnoty pevností betonu C 45/55. Graf 2 a 3 ukazují pracovní diagramy betonu pro tělesa válců a krychlí. V příloze 7 a 8 jsou tabulky s pevnostmi těles válců a krychlí v tlaku.



Obr. 5.21.: Porušená zkušební tělesa válců



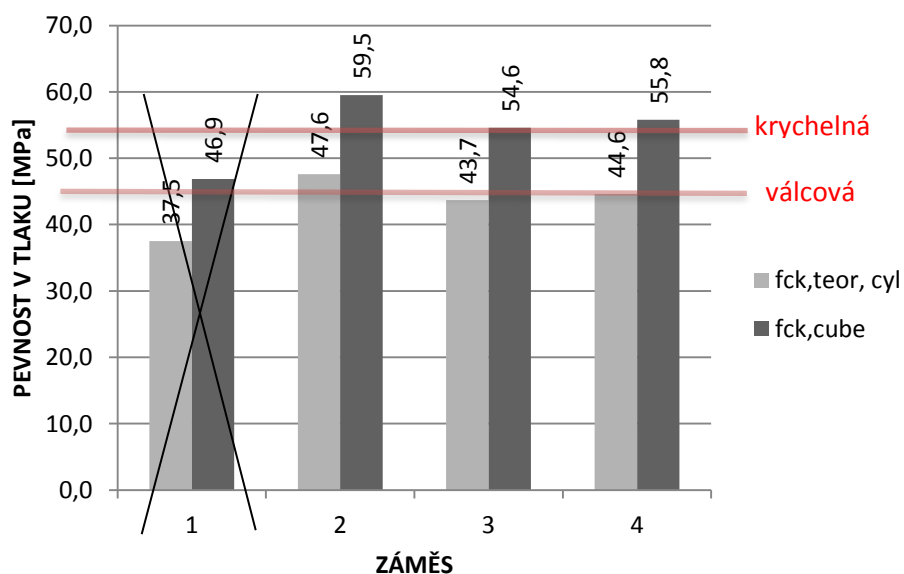
Obr. 5.22.: Porušená zkušební tělesa krychlí



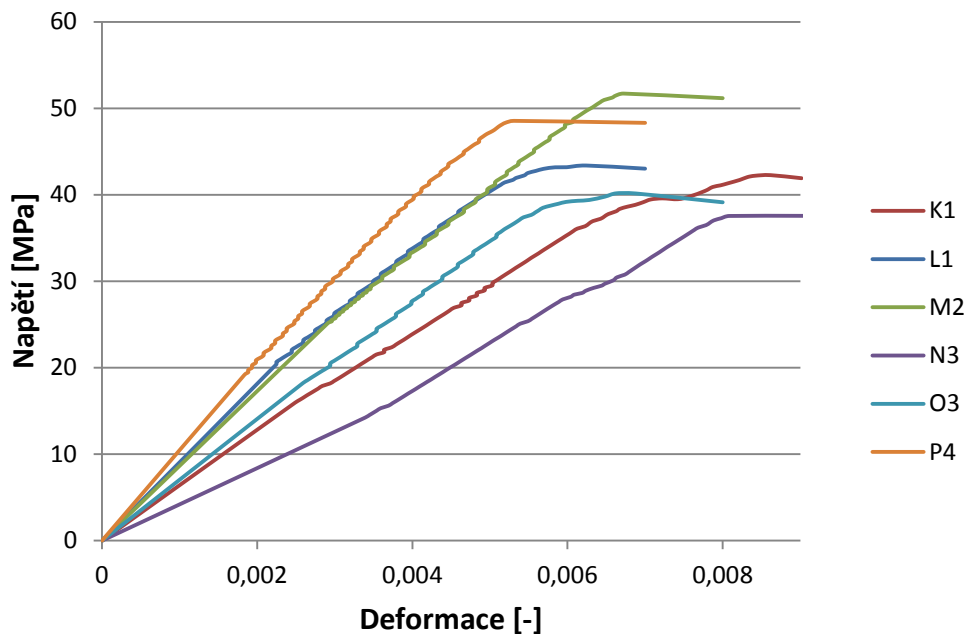
Obr. 5.23.: Porušená zkušební tělesa válců a krychlí

ZÁMĚŠ	$f_{ck,cyl}/f_{ck,cube}$	$f_{ck,teor,cyl}$	$f_{ck,cube}$
	-	Mpa	Mpa
1	0,80	37,5	46,9
2	0,80	47,6	59,5
3	0,80	43,7	54,6
4	0,80	44,6	55,8
PRŮMĚR	0,80	45,3	56,6

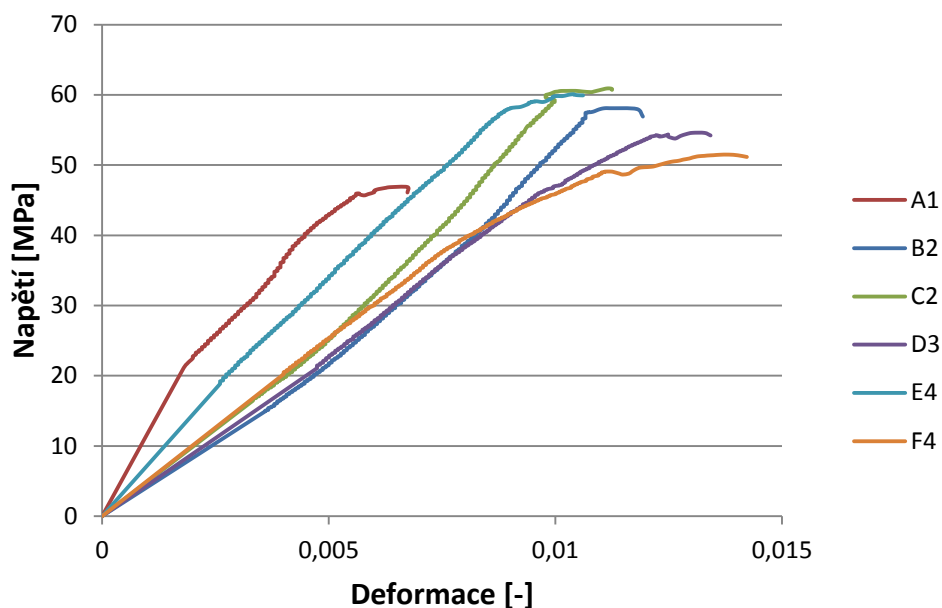
Tab. 2.: Porovnání průměrných pevností betonu v tlaku pro jednotlivé záměsi na tělesech krychlí a teoretických hodnotách válců



Graf. 1.: Grafické porovnání průměrných pevností betonu v tlaku pro jednotlivé záměsi na tělesech krychlí a teoretických hodnotách válců



Graf. 2.: Pracovní diagram betonu pro tělesa válců



Graf. 3.: Pracovní diagram betonu pro tělesa krychlí

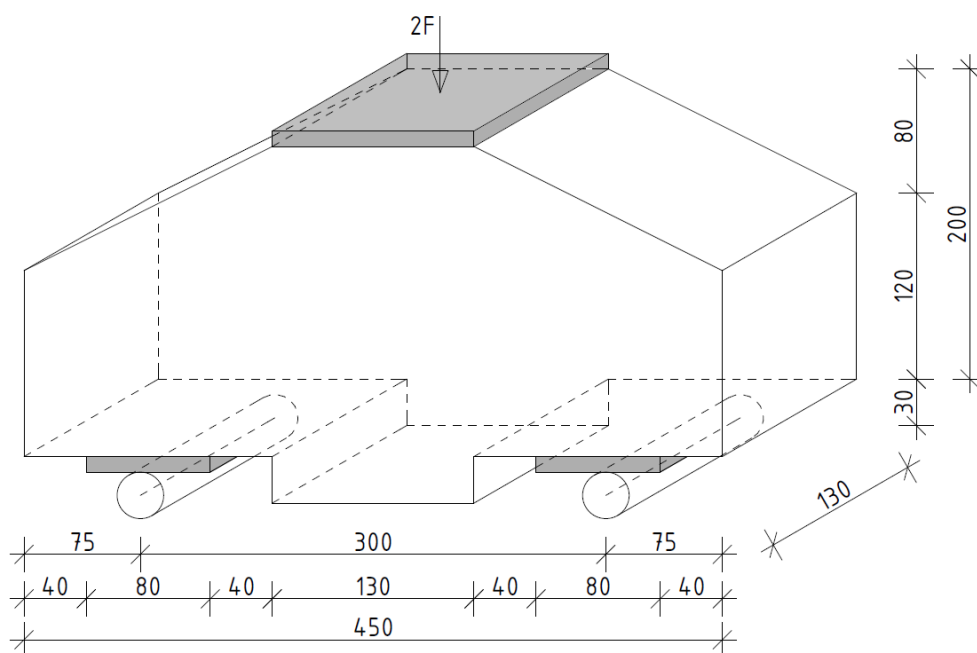
5.8.2 Zkoušky vzorků konzol

Při zkouškách únosnosti vzorků konzol nebyla vodorovná síla doporučená v normě uvažována. Ocelové roznášecí ložiskové desky byly použity pouze při zkoušce prvního vzorku konzoly, kdy se ložiska zdeformovala (obrázek 5.24). Proto při zkouškách zbylých konzol nebyly roznášecí desky použity. Konzoly byly

podepřeny liniovou podporou ocelového válečku, pod kterým docházelo k drcení betonu. Na obrázku 5.25 je schéma zatěžování modelů dvojkonzol v hydraulickém lisu. Tabulka 3 a grafy 4,5,6 a 7 ukazují výsledky zatěžování modelů krátkých dvojkonzol. Obrázky 5.26 až 5.32 ukazují jednotlivé fáze trhlin na zatěžovaných modelech krátkých dvojkonzol.



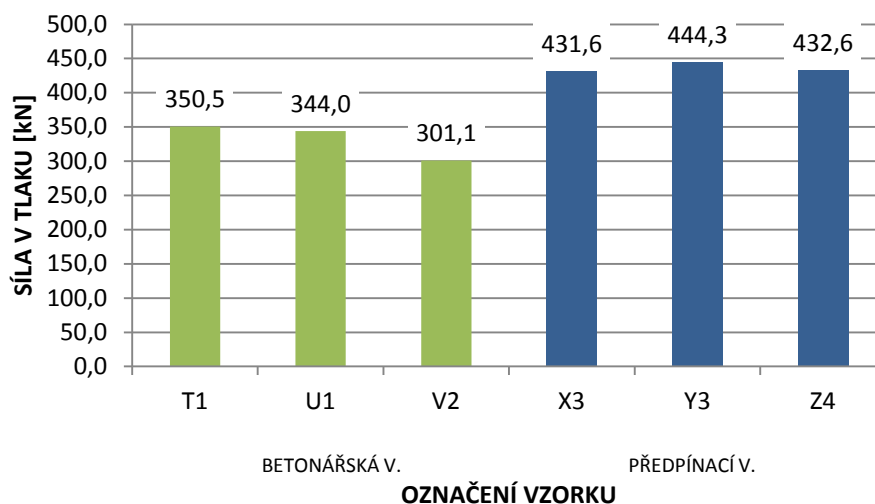
Obr. 5.24.: Zdeformovaná roznášecí deska



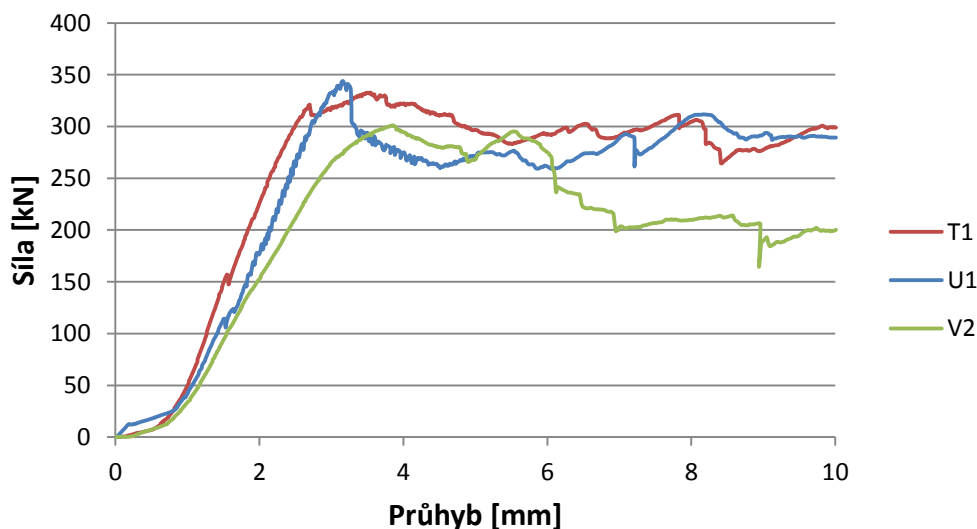
Obr. 5.25.: Geometrie vzorku a schéma zatěžování v lisu

OZN.	ZÁMĚS	VÝZTUŽ	STÁŘÍ	TLAK
			VZORKU	SÍLA
			DNY	kN
T1	1	BETONÁŘSKÁ	30	350,5
U1	1	BETONÁŘSKÁ	30	344,0
V2	2	BETONÁŘSKÁ	30	301,1
PRŮMĚRNÁ ÚNOSNOST KONZOL				331,9
X3	3	PŘEDPÍNACÍ	28	431,6
Y3	3	PŘEDPÍNACÍ	28	444,3
Z4	4	PŘEDPÍNACÍ	28	432,6
PRŮMĚRNÁ ÚNOSNOST KONZOL				436,2

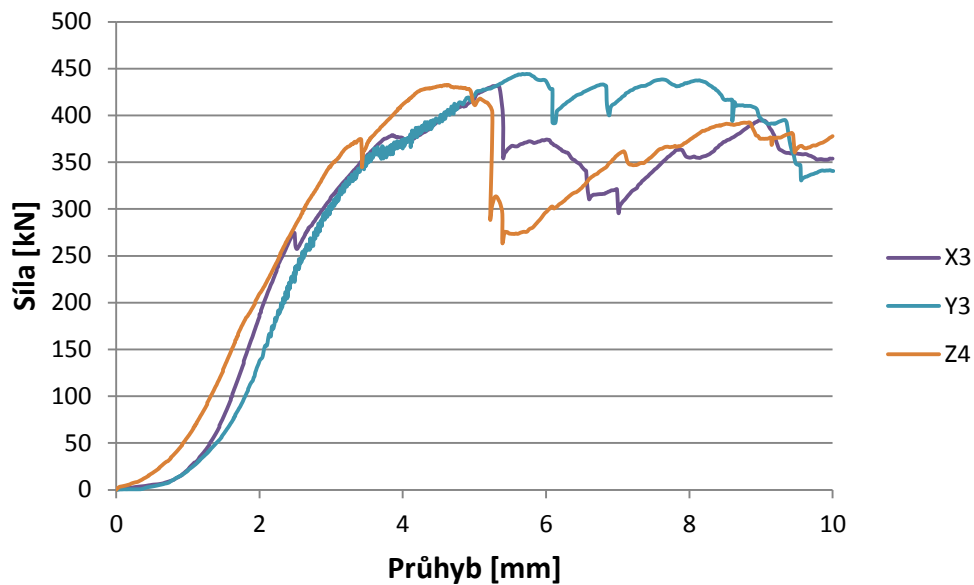
Tab. 3.: Únosnost modelů krátkých dvojkonzol bez předpětí a s předpětím



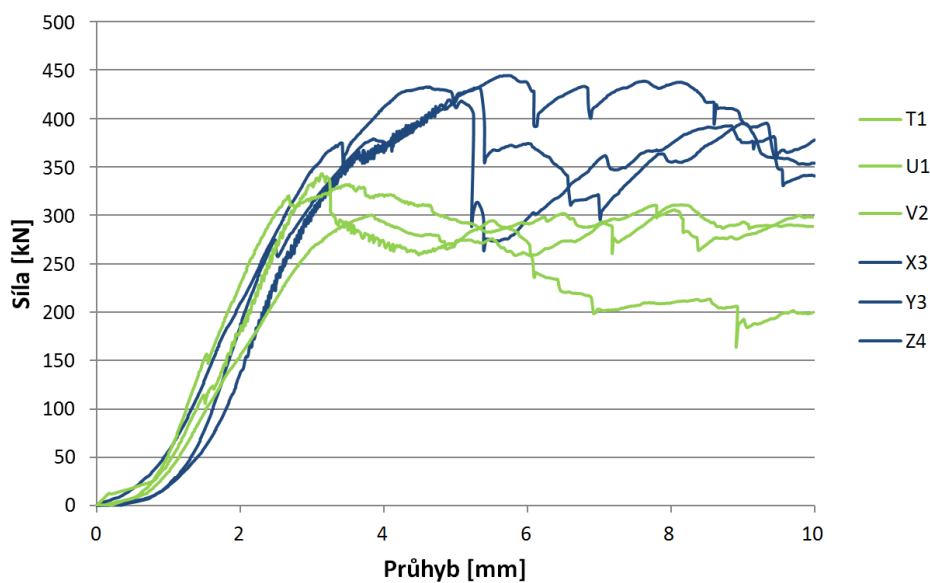
Graf. 4.: Únosnost modelů krátkých dvojkonzol bez předpětí a s předpětím



Graf. 5.: Únosnost modelů krátkých dvojkonzol bez předpětí



Graf. 6.: Únosnost modelů krátkých dvojkonzol s předpětím



Graf. 7.: Únosnost modelů krátkých dvojkonzol bez předpětí a s předpětím



Obr. 5.26.: První trhliny ve vzorku vyztuženého betonářskou výztuží



Obr. 5.27.: Zdeformovaný vzorek vyztužený betonářskou výztuží



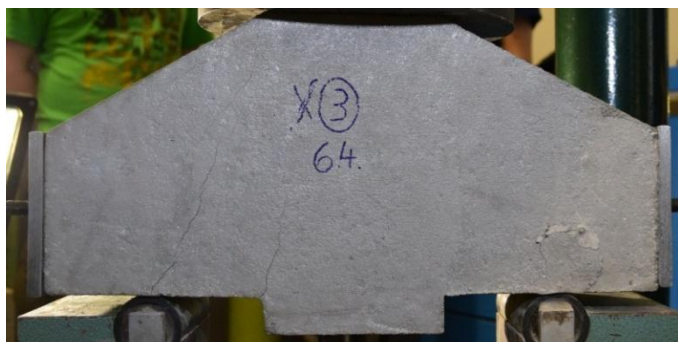
Obr. 5.28.: Zdeformovaný vzorek vyztužený betonářskou výztuží



Obr. 5.29.: Zdeformovaný vzorek vyztužený betonářskou výztuží



Obr. 5.30.: Zdeformovaný vzorek vyztužený betonářskou výztuží



Obr. 5.31.: První trhliny ve vzorku vyztuženého předpjatou výztuží



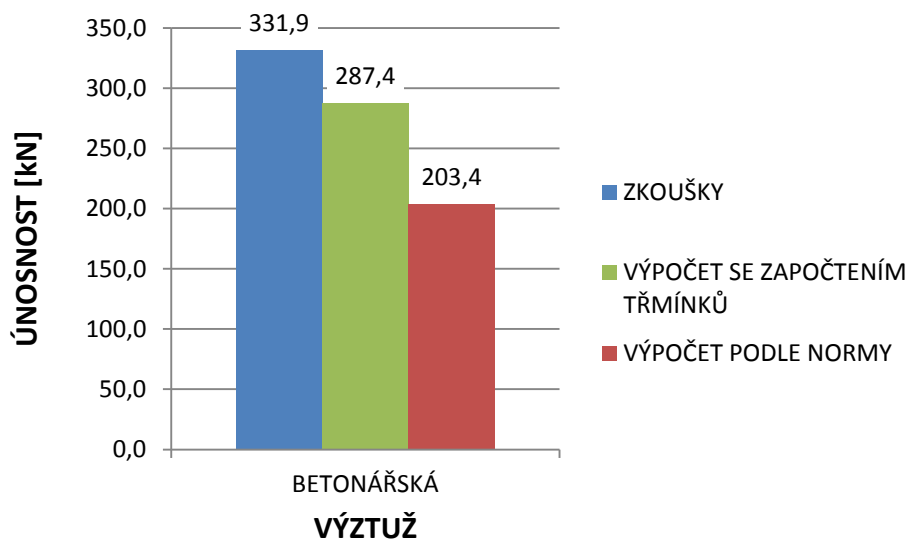
Obr. 5.32.: Zdeformovaný vzorek vyztužený předpjatou výztuží

5.9 Porovnání výsledků zkoušek modelů s výpočty

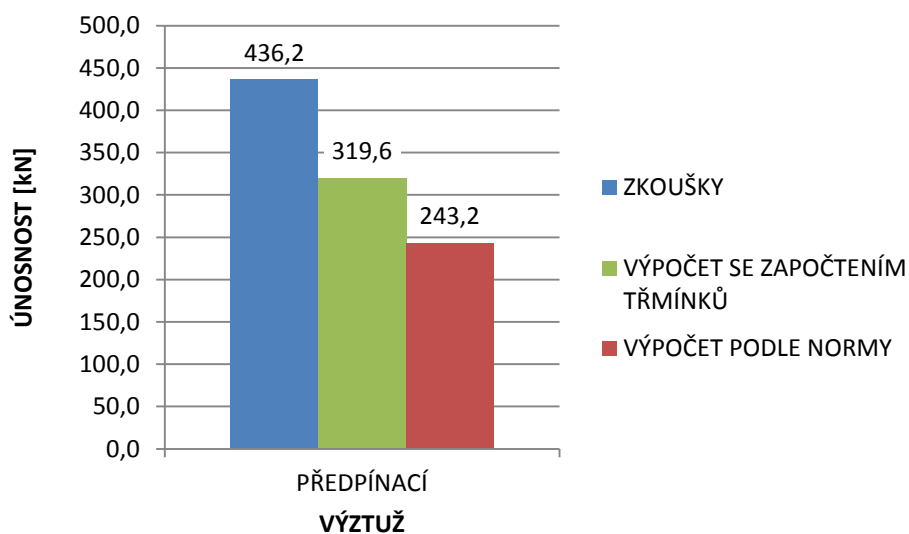
Svislé zatížení konzoly u výpočtu bylo násobeno dvěma, aby bylo možné porovnat výpočet se zkouškami vzorků konzol zatíženými jako prostý nosník. Norma ČSN EN 1992-1-1 neřeší vliv smykové výztuže (třmínek) na celkové únosnosti konzoly a proto byl výpočet únosnosti dvojkonzoly proveden zjednodušeně momentovou podmínkou s vlivem smykové výztuže. Výpočet bez předpětí je uveden v příloze 5 a s předpjatou výztuží po vyčerpání tlakové rezervy v příloze 6. Tabulka 3 a grafy 8 a 9 ukazují, jak se od sebe liší výpočty podle normy ČSN EN 1992-1-1, zjednodušené výpočty modelů náhradní příhradoviny s vlivem smykové výztuže a experimentální zkoušky na vzorcích krátkých dvojkonzol.

VÝZTUŽ	ZKOUŠKY	VÝPOČET PODLE NORMY	ROZDÍL PŘI POROVNÁNÍ SE ZKOUŠKAMI	VÝPOČET SE ZAPOČTENÍM TŘMÍNKŮ	ROZDÍL
	ÚNOSNOST	ÚNOSNOST		ÚNOSNOST	
	kN	kN		kN	
BETONÁŘSKÁ	331,9	203,4	128,5	287,4	44,5
PŘEDPÍNACÍ	436,2	243,2	193,0	319,6	116,6

Tab. 4.: Porovnání průměrných hodnot únosnosti krátkých dvojkonzol dle zkoušek a dle výpočtů



Graf. 8.: Porovnání průměrných hodnot únosnosti krátkých dvojkonzol dle zkoušek a výpočtů s betonářskou výztuží



Graf. 9.: Porovnání průměrných hodnot únosnosti krátkých dvojkonzol dle zkoušek a výpočtů s předpínací výztuží

6. ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce byly navrženy rozměry vzorků krátkých dvojkonzol a způsob zatěžování, bylo navrženo vyztužení bez předpětí i s předpětím vzorků. Byly vyrobeny tři modely krátkých dvojkonzol bez předpětí a tři modely s předpětím. Také byla vybetonována zkušební tělesa válců a krychlí. Na modelech krátkých dvojkonzol byly úspěšně provedeny experimentální zkoušky. Zkoušky pevnosti betonu v tlaku na zkušebních tělesech krychlí dopadly úspěšně. Zkušební tělesa válců byla nevyhovujícím způsobem porušena při zkouškách pevnosti betonu v tlaku. Únosnost modelů krátkých dvojkonzol byla stanovena dvěma výpočty. První výpočet je podle normy ČSN EN 1992-1-1. Druhý výpočet byl se zjednodušeným uvažováním smykové výztuže na celkové únosnosti, pro tento výpočet byly navrženy modely náhradní příhradoviny.

Hlavním cílem bakalářské práce bylo porovnat únosnost vyrobených modelů krátkých dvojkonzol s vypočtenou únosností podle normy ČSN EN 1992-1-1, podle kterého se často tyto konzoly navrhují. Experiment ukázal, že norma vede k bezpečnému návrhu, přestože bylo v této práci počítáno s charakteristickými hodnotami materiálů. Výpočet podle normy se velmi málo blíží skutečné únosnosti dvojkonzoly. Rozdíl mezi výpočtem podle normy a únosností vzorků dvojkonzol s výztuží bez předepnutí je 63,2 %. Důvodem takového rozdílu výsledků je to, že norma zanedbává vliv smykové výztuže na celkové únosnosti. Výsledky zkoušek u modelů krátkých dvojkonzol s předpjetou výztuží ukázaly, že na výsledné únosnosti se předpětí nepodílelo, tlaková rezerva, která do vzorků vnesla předpětí, byla brzy vyčerpána a následně začala závitová tyč plnit roli běžné betonářské výztuže bez předpětí. I přes snahu dosáhnout kolapsu předpjeté konzoly hned po vyčerpání tlakové rezervy od předpětí se tohoto ideálního stavu nedosáhlo. Příčinou je velká únosnost závitové tyče v ohybu. Závitová tyč M12 jakosti 12.9 je sama o sobě bez předpětí únosnější než betonářská výztuž, která byla použita v nepředpjetých vzorcích konzol (4 ϕ 6 mm). Navzdory tomuto faktu byly reálné modely se závitovou tyčí únosnější o 31,4 %, než u varianty s betonářskou výztuží. Rozdíl mezi výpočtem podle normy a únosností vzorků dvojkonzol s výztuží s předpětím je 79,4 %.

Dalším cílem práce bylo porovnání únosností vyrobených modelů krátkých dvojkonzol se zjednodušenými výpočty únosnosti krátkých konzol pomocí modelu náhradní příhradoviny. Rozdíl mezi zjednodušeným výpočtem únosnosti krátkých konzol pomocí modelu náhradní příhradoviny a únosností vzorků dvojkonzol s výztuží bez předpětí je 15,5 %. Jednoduchým modelem náhradní příhradoviny se

povedlo docílit uspokojivých výsledků, které postačují pro běžné statické posudky. Rozdíl mezi zjednodušeným výpočtem únosnosti krátkých dvojkonzol pomocí modelu náhradní příhradoviny a únosností vzorků dvojkonzol s výztuží s předpětím je 36,5 %.

Pro větší přiblížení výpočetního modelu ke skutečné únosnosti krátkých dvojkonzol by bylo vhodné použít přesnější metodu, jako je například metodu konečných prvků, která detailněji zohledňuje vliv jednotlivých prvků konzoly.

Věřím, že dosažené poznatky a navržená řešení použiji ve svém dalším studiu a práci.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LŐWITOVÁ, O. Nekomplikovaná výztuž pro krátké monolitické a prefabrikované konzoly, *Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. Praha: Česká betonářská společnost, 2012, **2012**(1). ISSN 12133116.
- [2] *Precast columns in a modular structure* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: http://img.archiexpo.com/images_ae/photo-g/89366-3594235.jpg
- [3] ŠMEJKAL, J.; PROCHÁZKA, J. *Navrhování s použitím modelů náhradní příhradoviny*, *Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. Praha: Česká betonářská společnost, 2009, **2009**(5). ISSN 12133116.
- [4] PROCHÁZKA, J. *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 knihnice (ČKAIT). ISBN 9788087438039.
- [5] ŠMEJKAL, J.; PROCHÁZKA, J. *Navrhování konzol s použitím modelů náhradní příhradoviny*, *Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. Praha: Česká betonářská společnost, 2009, **2009**(6). ISSN 12133116.
- [6] YASSIN, L., A., GH.; SAYHOOD, E., K.; HASAN, Q., A., M. "Reinforced Concrete Corbels – State of the Art.." *Journal of Materials and Engineering Structures* « JMES » [Online], 2.4 (2015): 180-205. Web. 22 Apr. 2017
- [7] SOMERVILLE, G. *The behaviour and design of reinforced concrete corbels*. London 1972: Cement and Concrete Association, 1972. ISBN 0721008747.
- [8] KLUSÁČEK, L. *Zesilování konstrukcí dodatečným předpínáním kabely v náhradních kanálcích a drážkách: Strengthening of structures using post-tensioning by cables in substituted cable ducts and slots : teze habilitační práce*. Brno: VUTIUM, 2009. ISBN 9788021439672.
- [9] FOGLAR, M.; FRANTOVÁ, M.; JIŘÍČEK, P. *Betonové konstrukce 3: navrhování betonových konstrukcí na MSP, úvod do předpjatého betonu*. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 9788001049433.
- [10] ČSN EN 12390-3. Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles. Praha: ČNI, 2009.

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1.1.: Příklad prefabrikované skeletové konstrukce [2]
- Obr. 2.1.: Zatěžování modelu krátké dvojkonzoly
- Obr. 3.1.: Rozdělení konstrukce na B a D oblasti [4]
- Obr. 3.2.: Betonové vzpěry [4]
- Obr. 3.3.: Základní tvary betonových vzpěr, a) baňkovitá vzpěra, b) vzpěra s rovnoběžnými vlákny, c) vějířová vzpěra [3]
- Obr. 3.4.: Příklady styčnicku CCC, CCT a CTT na konzole a rámovém rohu [3]
- Obr. 3.5.: Průběh napětí – tahové a tlakové trajektorie [7]
- Obr. 3.6.: Schéma porušení krátké dvojkonzoly
- Obr. 3.7.: Model příhradoviny pro konzoly [4]
- Obr. 3.8.: Kotevní délky hlavní tahové výztuže pro a) ohyby, b) smyčky
- Obr. 3.9.: Konstrukční provedení horizontálního předpínání krátkých konzol [8]
- Obr. 4.1.: Model náhradní příhradoviny pro nepředpjatý vzorek bez uvažování třmínků
- Obr. 4.2.: Model náhradní příhradoviny pro předpjatý vzorek zatížený malou silou
- Obr. 4.3.: Model náhradní příhradoviny pro předpjatý vzorek v okamžiku plného využití předpětí
- Obr. 4.4.: Model náhradní příhradoviny pro předpjatý vzorek po vyčerpání předpětí bez uvažování třmínků
- Obr. 5.1.: Výsek zkoušených vzorků konzoly
- Obr. 5.2.: Geometrie vzorku a statické schéma zatěžování
- Obr. 5.3.: Hotové bednění pro následnou betonáž
- Obr. 5.4.: Smyčky ve dvou řadách, kotvení ve sloupu
- Obr. 5.5.: Smyčky v jedné řadě, kotvení smyček přes příčný prut
- Obr. 5.6.: Rámující výztuž ukončená v tlačené oblasti
- Obr. 5.7.: Rámující výztuž protažená po obvodě s přídatnou příčnou výztuží “U“
- Obr. 5.8.: Svázaná výztuž do nepředpjatých vzorků
- Obr. 5.9.: Svázaná výztuž do nepředpjatých vzorků a osazená v bednění
- Obr. 5.10.: Svázaná výztuž do předpjatých vzorků
- Obr. 5.11.: Svázaná výztuž do předpjatých vzorků a osazená v bednění
- Obr. 5.12.: Hotová betonová směs připravená pro betonáž

Obr. 5.13.: Plnění bednění předpjatých vzorků a hutnění na vibračním stole
Obr. 5.14.: Plnění bednění nepředpjatých vzorků a hutnění na vibračním stole
Obr. 5.15.: Plnění forem krychle a válce a hutnění na vibračním stole
Obr. 5.16.: Překrytí vzorků PE folií
Obr. 5.17.: Odbedněné vzorky
Obr. 5.18.: Předpínání závitové tyče v jednoosé trhačce
Obr. 5.19.: Vyhovující způsoby porušení zkušebních těles krychlí [10]
Obr. 5.20.: Vyhovující způsoby porušení zkušebních těles válců [10]
Obr. 5.21.: Porušená zkušební tělesa válců
Obr. 5.22.: Porušená zkušební tělesa krychlí
Obr. 5.23.: Porušená zkušební tělesa válců a krychlí
Obr. 5.24.: Zdeformovaná roznášecí deska
Obr. 5.25.: Geometrie vzorku a schéma zatěžování v lisu
Obr. 5.26.: První trhliny ve vzorku vyztuženého betonářskou výztuží
Obr. 5.27.: Zdeformovaný vzorek vyztužený betonářskou výztuží
Obr. 5.28.: Zdeformovaný vzorek vyztužený betonářskou výztuží
Obr. 5.29.: Zdeformovaný vzorek vyztužený betonářskou výztuží
Obr. 5.30.: Zdeformovaný vzorek vyztužený betonářskou výztuží
Obr. 5.31.: První trhliny ve vzorku vyztuženého předpjatou výztuží
Obr. 5.32.: Zdeformovaný vzorek vyztužený předpjatou výztuží

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.: Množství složek pro výrobu 1 m³ betonové směsi

Tab. 2.: Porovnání průměrných pevností betonu v tlaku pro jednotlivé záměsi na tělesech krychlí a teoretických hodnotách válců

Tab. 3.: Únosnost modelů krátkých dvojkonzol bez předpětí a s předpětím

Tab. 4.: Porovnání průměrných hodnot únosnosti krátkých dvojkonzol dle zkoušek a dle výpočtů

SEZNAM GRAFŮ

Graf. 1.: Grafické porovnání průměrných pevností betonu v tlaku pro jednotlivé záměsi na tělesech krychlí a teoretických hodnotách válců

Graf. 2.: Pracovní diagram betonu pro tělesa válců

Graf. 3.: Pracovní diagram betonu pro tělesa krychlí

Graf. 4.: Únosnost modelů krátkých dvojkonzol bez předpětí a s předpětím

Graf. 5.: Únosnost modelů krátkých dvojkonzol bez předpětí

Graf. 6.: Únosnost modelů krátkých dvojkonzol s předpětím

Graf. 7.: Únosnost modelů krátkých dvojkonzol bez předpětí a s předpětím

Graf. 8.: Porovnání průměrných hodnot únosnosti krátkých dvojkonzol dle zkoušek a výpočtů s betonářskou výztuží

Graf. 9.: Porovnání průměrných hodnot únosnosti krátkých dvojkonzol dle zkoušek a výpočtů s předpínací výztuží

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1 - Návrh a posouzení železobetonové konzoly dle ČSN 1992-1-1

Příloha č.2 – Schéma výztuže konzoly vyztužené betonářskou výztuží

Příloha č.3 - Návrh a posouzení železobetonové konzoly s využitím předpětí výztuže dle ČSN 1992-1-1

Příloha č.4 – Schéma výztuže konzoly vyztužené předpjetou výztuží

Příloha č.5 – Výpočet krátké konzoly vyztužené betonářskou výztuží pomocí momentové podmínky

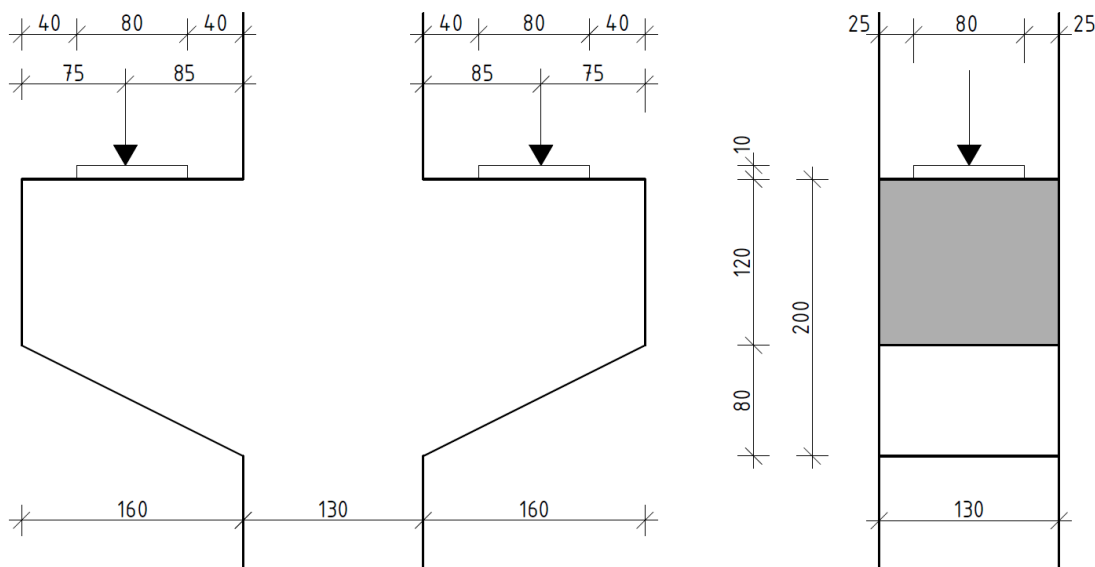
Příloha č.6 – Výpočet krátké konzoly vyztužené závitovou tyčí a betonářskou výztuží pro třmínky pomocí momentové podmínky

Příloha č.7 - Tabulka pevností betonu v tlaku těles krychlí

Příloha č.8 - Tabulka pevností betonu v tlaku těles válců

PŘÍLOHY

Příloha č.1 - Návrh a posouzení železobetonové konzoly dle ČSN 1992-1-1



Obr. 8.: Geometrie nepředpjatých krátkých konzol

MATERIÁLY:

Beton třídy C45/55 $f_{ck} = 45 \text{ MPa}$, $f_{ctk,0,05} = 2,7 \text{ MPa}$

Betonářská ocel – hlavní tahová výztuž B500A $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

Betonářská ocel – třmínky B550A $f_{yk} = 550 \text{ MPa}$

Svislé zatížení konzoly $F_{Ek} = 101,7 \text{ kN}$

Vodorovné zatížení konzoly $H_{Ek} = 0 \text{ kN}$

Součinitel ν' $\nu' = 1 - \frac{f_{ck}}{250} = 1 - \frac{45}{250} = 0,82$

Styčnick s tlakovými silami CCC $\sigma_{Rk,max} = 1,0 \cdot \nu' \cdot f_{ck} = 1,0 \cdot 0,82 \cdot 45 = 36,9 \text{ MPa}$

Styčnick s táhlem CCT $\sigma_{Rk,max} = 0,85 \cdot \nu' \cdot f_{ck} = 0,85 \cdot 0,82 \cdot 45 = 31,37 \text{ MPa}$

Betonová vzpěra se vznikem trhlin $\sigma_{Rk,max} = 0,6 \cdot \nu' \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 0,82 \cdot 45 = 22,14 \text{ MPa}$

Ložisko ocel S235, $t = 10 \text{ mm}$ $\sigma_{ck} = \frac{F_{Ek}}{A_{desky}} = \frac{101,7 \cdot 10^3}{80 \cdot 80} = 15,9 \text{ MPa}$

NÁVRH HLAVNÍ TAHOVÉ VÝZTUŽE

Předpokládám jednu vrstvu výztuže, vzdálenost těžiště hlavní tahové výztuže od horního líce konzoly odhaduji na $d' = 22 \text{ mm}$.

$$\text{Účinná výška průřezu} \quad d = h_c - d' = 200 - 22 = 178 \text{ mm}$$

$$\text{Šířka tlačené oblasti ve sloupu} \quad x_1 = \frac{F_{Ek}}{\sigma_{Rk,max} \cdot b} = \frac{101,7 \cdot 10^3}{36,9 \cdot 130} = 21,2 \text{ mm}$$

$$\text{Rameno vnější síly} \quad a = a_c + 0,5 \cdot x_1 + \frac{H_{Ed}}{F_{Ed}} \cdot (d' + \Delta h) = 85 + 0,5 \cdot 21,2 = 95,6 \text{ mm}$$

$$\text{Výška tlačené oblasti} \quad y_1 = d - \sqrt{d^2 - 2 \cdot x_1 \cdot \left(a + \frac{H_{Ed}}{F_{Ed}} \cdot (d' + \Delta h) \right)} = 178 -$$

$$\sqrt{178^2 - 2 \cdot 21,2 \cdot (95,6 + 0)} = 11,8 \text{ mm}$$

$$\text{Rameno vnitřních sil} \quad z = d - 0,5 \cdot y_1 = 178 - 0,5 \cdot 11,8 = 172,1 \text{ mm}$$

$$\text{Úhel sklonu tlačené diagonály} \quad \theta = \arctg \frac{z}{a} = \arctg \frac{172,1}{95,6} = 60,9^\circ$$

$$\text{Tahová síla při horním líci konzoly} \quad F_t = F_{Ed} \cdot \frac{a}{z} + H_{Ed} = 101,7 \cdot \frac{95,6}{172,1} = 56,5 \text{ kN}$$

$$\text{Hlavní tahová výztuž} \quad A_{s,req} = \frac{F_t}{f_{yk}} = \frac{56,5 \cdot 10^3}{500} = 113,0 \text{ mm}^2$$

NÁVRH: 4 ϕ 6 mm ($A_{s,prov} = 113,1 \text{ mm}^2$)

$$\text{Využití výztuže} \quad 100 \cdot \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} = 100 \cdot \frac{113,0}{113,1} = 100 \%$$

$$A_{s,prov} = 113,1 \text{ mm}^2 > A_{s,req} = 113,0 \text{ mm}^2 \quad \text{VYHOHUJE}$$

$$\text{Základní kotevní délka} \quad l_{b,req} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{6 \cdot 434,3}{4 \cdot 3,99} = 163,5 \text{ mm}$$

$$\text{Návrhová kotevní délka} \quad l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,req} = 0,7 \cdot 163,5 = 114,4 \text{ mm} > l_{b,min} = 100 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Minimální průměr zakřivení pro třmínky a hlavní rámuující vložky je 5 ϕ

Posouzení tlačené betonové diagonály:

$$\text{Síla v betonové diagonální vzpěře} \quad F_c = \frac{F_{Ek}}{\sin \theta} = \frac{101,7}{\sin 60,9^\circ} = 116,3 \text{ kN}$$

$$\text{Délka diagonály} \quad H = \sqrt{a^2 + z^2} = \sqrt{95,6^2 + 172,1^2} = 196,9 \text{ mm}$$

$$\text{Šířka diagonály} \quad b_{ef} = 0,5 \cdot H + 0,65 \cdot \sqrt{x_1^2 + y_1^2} = 0,5 \cdot 196,9 + 0,65 \cdot \sqrt{21,2^2 + 11,8^2} = 114,2 \text{ mm}$$

$$\text{Napětí v tlačené diagonále } \sigma_c = \frac{F_c}{b_{ef} \cdot b} = \frac{116,3 \cdot 10^3}{114,2 \cdot 130} = 7,84 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = 7,84 \text{ MPa} \leq 0,6 \cdot v' \cdot f_{ck} = 22,14 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

NÁVRH SVISLÉ A VODOROVNÉ VÝZTUŽE

$$\text{Omezení pro krátkou konzolu} \quad a_v \leq 0,5 \cdot d$$

$$40 \leq 89 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{a_c}{h_c} = \frac{85}{200} = 0,43 \leq 0,5 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Jedná se o krátkou konzolu.

Vyztužení podle konstrukčních kritérií:

$$\text{Plocha vodorovné výztuže } A_{swh} = 0,25 \cdot A_{s,req} = 0,25 \cdot 113,0 = 28,2 \text{ mm}^2$$

Použít minimálně 2 vodorovné třmínky.

$$\text{Příčný tah v tlačené diagonále } T = 2 \cdot 0,22 \cdot F_c = 2 \cdot 0,22 \cdot 116,3 = 51,2 \text{ kN}$$

$$\text{Plocha vodorovné výztuže } A_{swh} = \frac{T \cdot \cos \theta}{f_{yk}} = \frac{51,2 \cdot 10^3 \cdot \cos 60,9^\circ}{550} = 45,2 \text{ mm}^2$$

NÁVRH: 2 dvoustřížné třmínky ϕ 4 mm ($A_{swh,prov} = 50,3 \text{ mm}^2$)

$$\text{Plocha svislé výztuže } A_{swv} = \frac{T \cdot \sin \theta}{f_{yk}} = \frac{51,2 \cdot 10^3 \cdot \sin 60,9^\circ}{550} = 72,3 \text{ mm}^2$$

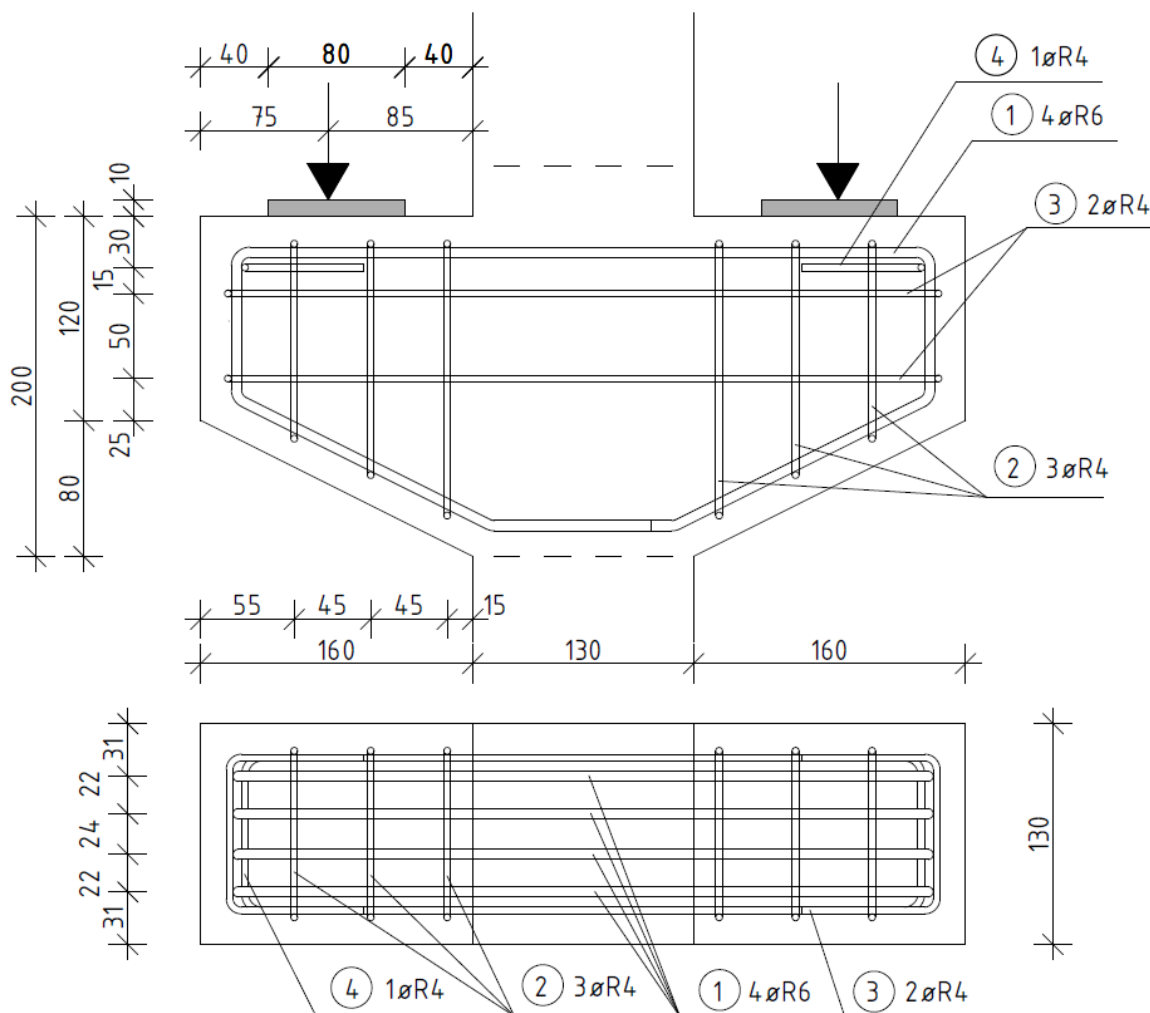
NÁVRH: 3 dvoustřížné třmínky ϕ 4 mm ($A_{swv,prov} = 75,4 \text{ mm}^2$)

Navržená výztuž vyhovuje.

$$\text{Napětí betonu pod styčnou deskou} \quad \sigma_c = \frac{F_{Ed}}{A_{desky}} = \frac{101,7 \cdot 10^3}{80 \cdot 80} = 15,9 \text{ MPa}$$

Vzorce převzaty z [4].

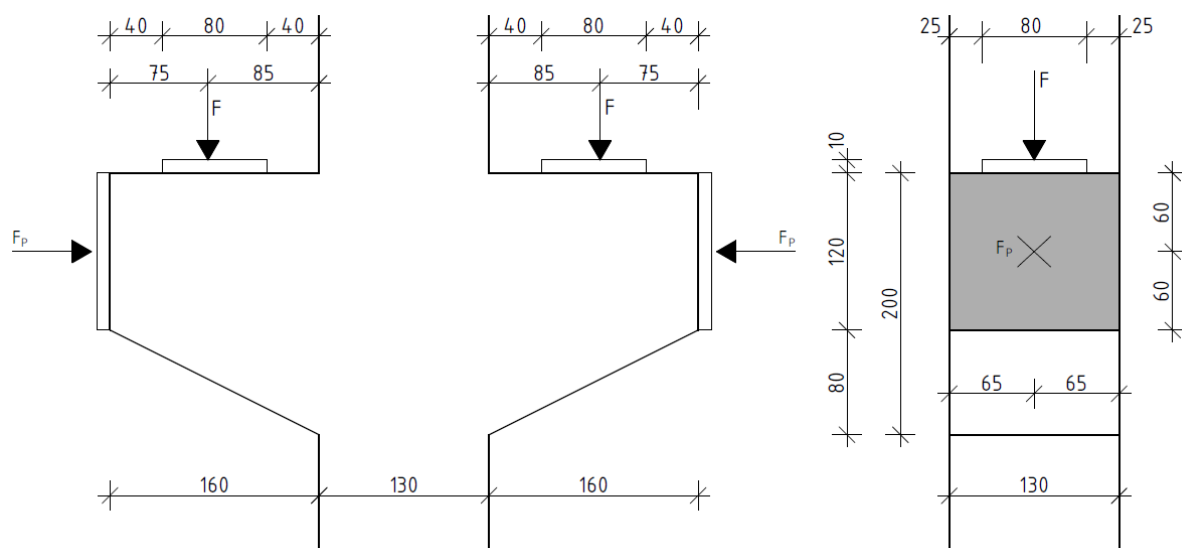
Příloha č.2 – Schéma výztuže konzoly vyztužené betonářskou výztuží



MATERIÁLY:

BETON: C45/55-XC1-S4
 OCEL - HLAVNÍ TAHOVÁ: B500A
 OCEL - TRMINKY: B550A
 KRYTÍ VÝZTUŽE: $C_{nom} = 15\text{mm}$

Příloha č.3 - Návrh a posouzení železobetonové konzoly s využitím předpětí výztuže dle ČSN 1992-1-1



Obr. 8.: Geometrie předpjatých krátkých konzol

MATERIÁLY:

Beton třídy C45/55 $f_{ck} = 45 \text{ MPa}$, $f_{ctk,0,05} = 2,7 \text{ MPa}$

Předpínací ocel – závitová tyč M12 jakosti 12.9 $f_{yk} = 1080 \text{ MPa}$

Betonářská ocel – třmínky B550A $f_{yk} = 550 \text{ MPa}$

Svislé zatížení konzoly $F_{Ek} = 103,5 \text{ kN}$

Vodorovné zatížení konzoly $H_{Ek} = 0 \text{ kN}$

Součinitel ν' $\nu' = 1 - \frac{f_{ck}}{250} = 1 - \frac{45}{250} = 0,82$

Styčnick s tlakovými silami CCC $\sigma_{Rk,max} = 1,0 \cdot \nu' \cdot f_{ck} = 1,0 \cdot 0,82 \cdot 45 = 36,9 \text{ MPa}$

Styčnick s táhlem CCT $\sigma_{Rk,max} = 0,85 \cdot \nu' \cdot f_{ck} = 0,85 \cdot 0,82 \cdot 45 = 31,37 \text{ MPa}$

Betonová vzpěra se vznikem trhlin $\sigma_{Rk,max} = 0,6 \cdot \nu' \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 0,82 \cdot 45 = 22,14 \text{ MPa}$

Ložisko ocel S235, $t = 10 \text{ mm}$ $\sigma_{ck} = \frac{F_{Ek}}{A_{desky}} = \frac{101,7 \cdot 10^3}{80 \cdot 80} = 15,9 \text{ MPa}$

NÁVRH HLAVNÍ PŘEDPÍNAČÍ VÝZTUŽE

Předpokládám jednu závitovou tyč, vzdálenost těžiště hlavní předpínací výztuže od horního líce konzoly odhaduji na $d' = 60 \text{ mm}$.

Účinná výška průřezu $d = h_c - d' = 200 - 60 = 140 \text{ mm}$

Šířka tlačené oblasti ve sloupu $x_1 = \frac{F_{Ek}}{\sigma_{Rk,max} \cdot b} = \frac{103,5 \cdot 10^3}{36,9 \cdot 130} = 21,6 \text{ mm}$

Rameno vnější síly $a = a_c + 0,5 \cdot x_1 + \frac{H_{Ed}}{F_{Ed}} \cdot (d' + \Delta h) = 85 + 0,5 \cdot 21,6 = 95,8 \text{ mm}$

Výška tlačené oblasti $y_1 = d - \sqrt{d^2 - 2 \cdot x_1 \cdot \left(a + \frac{H_{Ed}}{F_{Ed}} \cdot (d' + \Delta h)\right)} = 140 - \sqrt{140^2 - 2 \cdot 21,6 \cdot (95,8 + 0)} = 15,6 \text{ mm}$

Rameno vnitřních sil $z = d - 0,5 \cdot y_1 = 140 - 0,5 \cdot 15,6 = 132,2 \text{ mm}$

Úhel sklonu tlačené diagonály $\theta = \arctg \frac{z}{a} = \arctg \frac{132,2}{95,8} = 54,1^\circ$

Předpínací síla $F_P = F_{Ed} \cdot \frac{a}{z} + H_{Ed} = 103,5 \cdot \frac{95,8}{132,2} = 75,0 \text{ kN}$

Hlavní tahová výztuž $A_{s,req} = \frac{F_P}{f_{yk}} = \frac{75,0 \cdot 10^3}{1080} = 69,4 \text{ mm}^2$

NÁVRH: 1 ϕ 12 mm ($A_{s,prov} = 84,3 \text{ mm}^2$)

Využití výztuže $100 \cdot \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} = 100 \cdot \frac{69,4}{84,3} = 82,4 \%$

$A_{s,prov} = 84,3 \text{ mm}^2 > A_{s,req} = 69,4 \text{ mm}^2$ **VYHOHUJE**

Při zatížení předpjaté konzoly silou F_{Ek} bude v konzole tato síla přenesena předpětím. Po větším zatížení, než je síla F_{Ek} , dojde k vyčerpání normálové síly od předpětí a výztuž začne působit jako nepředpjatá. Po zatížení silou 121,6 kN dojde k mezi kluzu ve výztuži a rozevírání trhlin.

Třmínky vodorovné a svislé nebyly podrobně navrhovány, budou použity stejné jako u nepředpjatého vzorku.

VÝPOČET ÚNOSNOSTI PO VYČERPÁNÍ NORMÁLOVÉ SÍLY OD PŘEDPĚTÍ

Svislé zatížení konzoly $F_{Ek} = 121,6 \text{ kN}$

Vzdálenost těžiště hlavní předpínací výztuže od horního líce konzoly odhaduji na $d' = 60 \text{ mm}$

Účinná výška průřezu $d = h_c - d' = 200 - 60 = 140 \text{ mm}$

Šířka tlačené oblasti ve sloupu $x_1 = \frac{F_{Ek}}{\sigma_{Rk,max} \cdot b} = \frac{121,6 \cdot 10^3}{36,9 \cdot 130} = 25,3 \text{ mm}$

Rameno vnější síly $a = a_c + 0,5 \cdot x_1 + \frac{H_{Ed}}{F_{Ed}} \cdot (d' + \Delta h) = 85 + 0,5 \cdot 25,3 = 97,7 \text{ mm}$

Výška tlačené oblasti $y_1 = d - \sqrt{d^2 - 2 \cdot x_1 \cdot \left(a + \frac{H_{Ed}}{F_{Ed}} \cdot (d' + \Delta h) \right)} = 140 -$

$$\sqrt{140^2 - 2 \cdot 25,3 \cdot (97,7 + 0)} = 19,0 \text{ mm}$$

Rameno vnitřních sil $z = d - 0,5 \cdot y_1 = 140 - 0,5 \cdot 19,0 = 130,5 \text{ mm}$

Úhel sklonu tlačené diagonály $\theta = \arctg \frac{z}{a} = \arctg \frac{130,5}{97,7} = 53,2^\circ$

Tahová síla $F_t = F_{Ed} \cdot \frac{a}{z} + H_{Ed} = 121,6 \cdot \frac{97,7}{130,5} = 91,0 \text{ kN}$

Hlavní tahová výztuž $A_{s,req} = \frac{F_t}{f_{yk}} = \frac{91,0 \cdot 10^3}{1080} = 84,3 \text{ mm}^2$

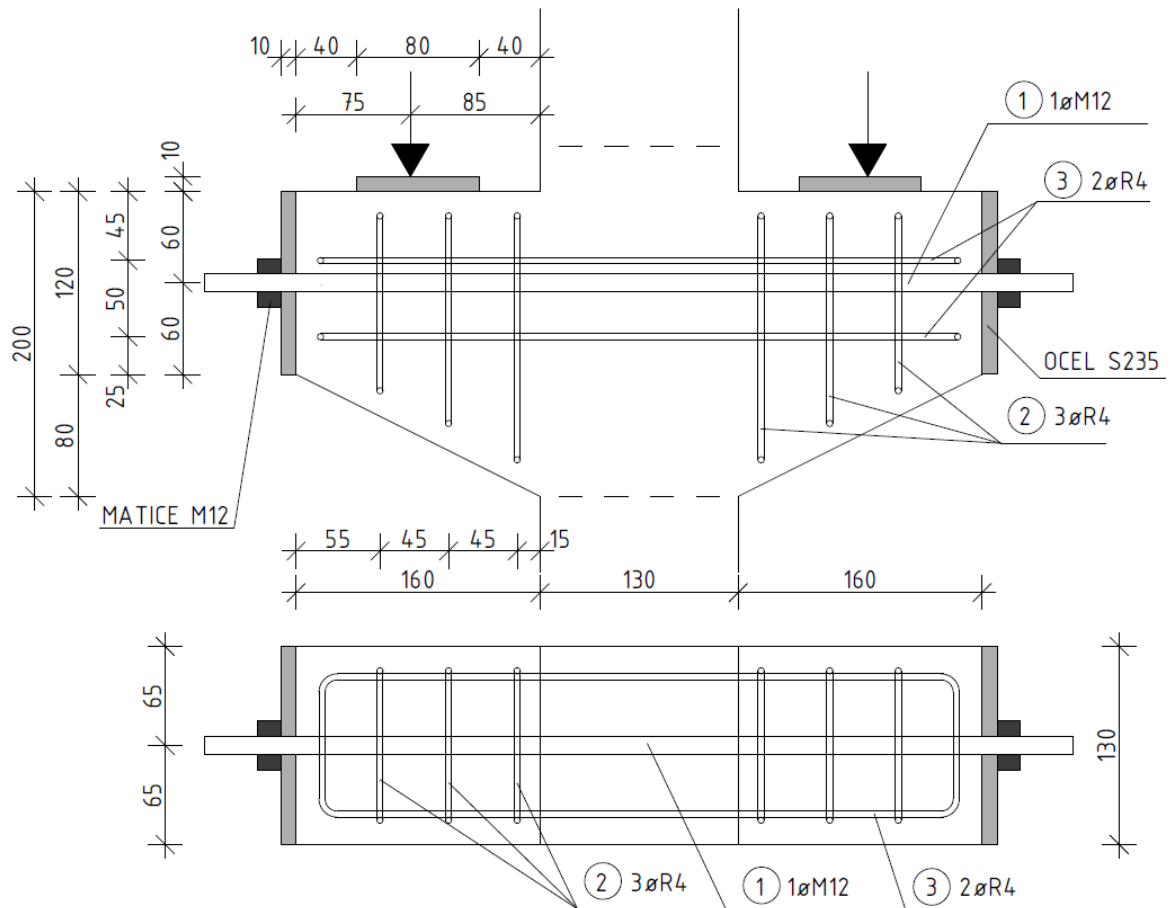
NÁVRH: 1 ϕ 12 mm ($A_{s,prov} = 84,3 \text{ mm}^2$)

Využití výztuže $100 \cdot \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} = 100 \cdot \frac{84,3}{84,3} = 100,0 \%$

$A_{s,prov} = 84,3 \text{ mm}^2 \geq A_{s,req} = 84,3 \text{ mm}^2$ **VYHOHUJE**

Vzorce převzaty z [4].

Příloha č.4 – Schéma výztuže konzoly vyztužené předpjatou výztuží

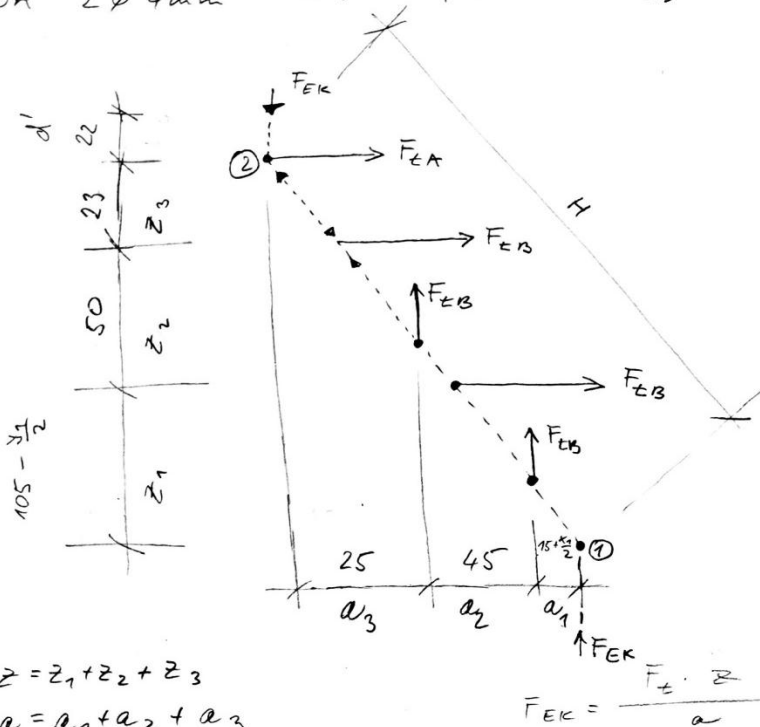


MATERIÁLY:

BETON: C45/55- χ C1-S4
 OCEL - TRMINKY: B550A
 OCEL - ZAVITOVÁ TYČ: 12.9
 KRYTÍ VÝZTUŽE: $c_{nom} = 15\text{mm}$

Příloha č.5 – Výpočet krátké konzoly vyztužené betonářskou výztuží pomocí momentové podmínky

B500A 4 ϕ 6 mm $A_s = 113,1 \text{ mm}^2$ $F_{tA} = f_{yk} \cdot A_s = 56,55 \text{ kN}$
 B550A 2 ϕ 4 mm $A_s = 25,13 \text{ mm}^2$ $F_{tB} = 13,82 \text{ kN}$



$$z = z_1 + z_2 + z_3$$

$$a = a_1 + a_2 + a_3$$

$$F_{EK} = \frac{F_{tA} \cdot z}{a}$$

$$\textcircled{1} \quad F_{tA} \cdot z + F_{tB} \cdot (z_1 + z_2) + F_{tB} \cdot z_1 + F_{tB} \cdot (a_1 + a_2) + F_{tB} \cdot a_1 = F_{EK} \cdot a$$

$$F_{EK} = \frac{F_{tA} \cdot z + F_{tB} \cdot (z_1 + z_2) + F_{tB} \cdot z_1 + F_{tB} \cdot (a_1 + a_2) + F_{tB} \cdot a_1}{a}$$

Odhad : $x_1 = 30 \text{ mm}$

$y_1 = 17,9 \text{ mm}$

$a = a_0 + 0,5 \cdot x_1 = 85 + 0,5 \cdot 30 = 100 \text{ mm}$

$$F_{EK} = \frac{56,55 \cdot 169,2 + 13,82 \cdot 146,2 + 13,82 \cdot 96,2 + 13,82 \cdot 75 + 13,82 \cdot 30}{100}$$

$$F_{EK} = 143,7 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow 2F = 287,4 \text{ kN}$$

ZKOUSKY $2F = 332 \text{ kN}$

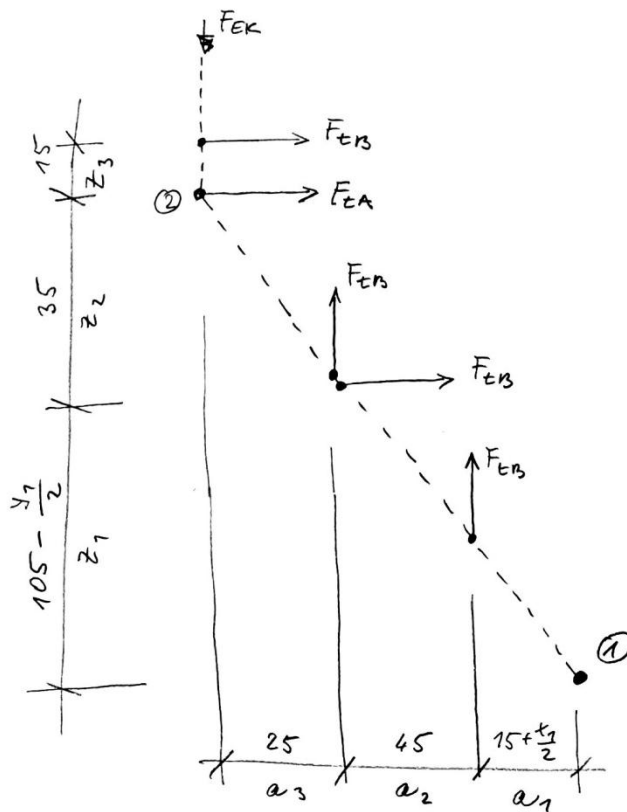
ČSN EN 1992-1 $2F = 203,4 \text{ kN}$

} rozdíl 45 kN

Příloha č.6 – Výpočet krátké konzoly vyztužené závitovou tyčí a betonářskou výztuží pro třmínky pomocí momentové podmínky

OCEL 12.9 $1 \phi 12$ $A_s = 84,3 \text{ mm}^2$ $F_{tA} = f_{yk} \cdot A_s = 91,0 \text{ kN}$

OCEL B550A $2 \phi 4 \text{ mm}$ $A_s = 25,13 \text{ mm}^2$ $F_{tB} = f_{yk} \cdot A_s = 13,8 \text{ kN}$



$z = z_1 + z_2$
 $a = a_1 + a_2 + a_3$

① $F_{tB} \cdot (z_1 + z_2 + z_3) + F_{tA} \cdot (z_1 + z_2) + F_{tB} \cdot z_1 + F_{tB} \cdot (a_1 + a_2) + F_{tB} \cdot a_1 = F_{tA} \cdot a$

$F_{tA} = \frac{F_{tB} \cdot (z_1 + z_2 + z_3) + F_{tA} \cdot (z_1 + z_2) + F_{tB} \cdot z_1 + F_{tB} \cdot (a_1 + a_2) + F_{tB} \cdot a_1}{a}$

Odhad: $x_1 = 33,4 \text{ mm}$

$y_1 = 26,8 \text{ mm}$

$a = a_e + 0,5 \cdot x_1 = 85 + 0,5 \cdot 33,4 = 101,7 \text{ mm}$

$F_{tA} = \frac{13,8(91,6 + 35 + 15) + 91(91,6 + 35) + 13,8 \cdot 91,6 + 13,8(37,7 + 45) + 13,8 \cdot 37,7}{101,7}$

$F_{tA} = 159,8 \text{ kN} \Rightarrow 2F = 319,6 \text{ kN}$

ZKOUŠKY $2F = 436,2 \text{ kN}$ } ROZDÍL 116,6 kN

ČSN EN 1992-1-1 $2F = 243,2 \text{ kN}$

Příloha č.7 - Tabulka pevností betonu v tlaku těles krychlí

OZN.	ZÁMĚS	ROZMĚR TĚLESA			HMOTNOST	OBJEMOVÁ HMOTNOST	STÁŘÍ VZORKU	TLAK	
		b	h	v				SÍLA	PEVNOST
		mm	mm	mm	g	kg/m ³	DNY	kN	Mpa
A1	1	151,4	149,6	149,9	7619,7	2244,1	30	1061,6	46,9
B2	2	149,4	149,6	150,0	7642,4	2279,6	30	1298,8	58,1
C2	2	150,8	149,7	150,2	7636,8	2252,3	30	1375,2	60,9
D3	3	152,1	149,4	149,7	7768,2	2283,6	28	1240,4	54,6
E4	4	149,9	149,6	149,8	7637,5	2273,5	28	1347,3	60,1
F4	4	151,2	149,6	149,7	7577,3	2237,7	28	1164,6	51,5

Příloha č.8 - Tabulka pevností betonu v tlaku těles válců

OZN.	ZÁMĚS	ROZMĚR TĚLESA		HMOTNOST	OBJEMOVÁ HMOTNOST	STÁŘÍ VZORKU	TLAK	
		d	h				SÍLA	PEVNOST
		mm	mm	g	kg/m ³	DNY	kN	Mpa
K1	1	99,9	200,7	3586,6	2278,1	30	331,5	42,3
L1	1	100,0	200,3	3568,1	2266,7	30	340,9	43,4
M2	2	100,0	199,3	3563,2	2274,1	30	406,4	51,7
N3	3	100,2	200,4	3579,1	2263,4	28	296,4	37,6
O3	3	99,8	200,6	3575,8	2276,9	28	314,5	40,2
P4	4	100,0	201,6	3609,5	2279,8	28	381,2	48,5