

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných staveb



Bakalářská práce

NAVRHOVÁNÍ KRÁTKÝCH KONZOL PREFABRIKOVANÉHO SLOUPU

DESIGN OF CORBELS OF PRECAST COLUMN

Vypracoval: Tomáš Janoušek

Vedoucí práce: Ing. Michaela Frantová, Ph.D.

Rok: 2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Janoušek Jméno: Tomáš Osobní číslo: 494183
Zadávající katedra: K133 - Katedra betonových a zděných konstrukcí
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor/specializace: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Navrhování krátkých konzol prefabrikovaného sloupu

Název bakalářské práce anglicky: Design of corbels of precast column

Pokyny pro vypracování:

- Výběr analyzovaných variant krátkých konzol
- Identifikace rizikových parametrů
- Volba výpočetního modelu - STM, MKP
- Vyhodnocení a porovnání různých variant
- Schémata vyztužení konzol


Seznam doporučené literatury:


prof. Ing. Jaroslav Procházka, CSc., Ing. Jiří Šmejkal, CSc.: Modelování a vyztužování železobetonových konstrukcí
prof. Ing. Jaroslav Procházka, CSc., Ing. Jiří Šmejkal, CSc.: Betonové vícepodlažní a halové konstrukce

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

Datum zadání bakalářské práce: 22.2.2023

Termín odevzdání BP v IS KOS: 22.5.2023
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“.

23.2.2023
Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně na základě odborného vedení a konzultací s vedoucím mé bakalářské práce. Dále prohlašuji, že jsem uvedl všechny použité informační zdroje v seznamu citované literatury.

V Praze dne

.....

Tomáš Janoušek

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Michaele Frantové, Ph.D. za odborné vedení, poskytnutí cenných rad, trpělivost a pomoc při řešení různých úskalí během zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a kamarádům za neustálou podporu po celou dobu studia.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem krátkých konzol výrobní prefabrikované haly zatížené jeřábovou drahou. Pro navržené varianty konzol bylo provedeno vyztužení podle metody náhradní příhradové analogie, které bylo porovnáno s vyztužením podle normy ČSN EN 1992 1-1. Pro navržené varianty byl zkoumán vliv náběhu na únosnosti a byl porovnán rozdíl chování krátké a dlouhé konzoly. Zkoumána byla také limitní zatížení, pro které lze konzoly vyztužit běžnou betonářskou výztuží.

Výsledky této práce ukazují rozdíly v navrhování různými metodami, vliv náběhu na únosnosti a spotřebě materiálu, limitní možnosti vyztužení a rozdílné chování konzol.

KLÍČOVÁ SLOVA

Krátká konzola, model náhradní příhradoviny, dlouhá konzola, únosnost, výztuž

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the design of short corbels of a precast production hall loaded with a crane track. For the designed variants of the corbels, the reinforcement was performed according to the method of strut and tie modelling, which was compared with the reinforcement according to ČSN EN 1992 1-1. For the proposed variants, the effect of gradually increasing section of corbel towards the column on its load-bearing capacity was investigated and the difference in behaviour of the short and long corbel was compared. The limit loads for which the cantilevers can be reinforced were also investigated.

The results of this work show the differences in the design using different methods, the effect of gradually increasing section of corbel towards the column on load capacity and material consumption, the limiting possibilities of reinforcement and the different behaviour of the cantilevers.

KEY WORDS

Short corbel, strut and tie method, long corbel, load capacity, reinforcement

OBSAH

1. Úvod	8
2. Metoda příhradové analogie (STM)	10
2.1. Idealizace konstrukce	10
2.2. Vzpěry.....	11
2.3. Táhla.....	13
2.4. Styčníky	13
3. Krátké konzoly.....	17
3.1. Popis krátkých konzol.....	17
3.2. Rozdělení krátkých konzol.....	18
3.3. Porušení krátkých konzol	19
3.4. Vyztužování krátkých konzol.....	20
3.5. Návrh podle ČSN EN 1992 1-1.....	21
4. Analýza krátkých konzol pro konkrétní případy.....	23
4.1. Výrobní hala Lanškroun.....	23
4.2. Varianty řešení konzoly.....	25
4.3. Statické posouzení podle příhradové analogie	26
4.4. Statické posouzení podle ČSN EN 1992-1-1	33
4.5. Porovnání krátké a dlouhé konzoly pro stejné vyztužení	37
4.6. Maximální vyztužení krátké a dlouhé konzoly	43
4.7. Posouzení vlivu náběhu na únosnosti a spotřebě materiálu	47
5. Závěr.....	48
Použitá literatura:	50
Použité programy:.....	51
Seznam příloh:.....	52

1. Úvod

Železobetonové krátké konzoly jsou často používaný prvek v nosných konstrukcích, který slouží k přenosu působících sil do zbylé části konstrukce. Můžeme se s nimi setkat u monolitických, ale i u prefabrikovaných konstrukcí. Tyto prvky jsou označovány jako poruchové oblasti, protože u nich nedochází k lineárnímu rozdělení poměrného přetvoření po průřezu, a proto je nelze navrhovat běžnými postupy. Výpočet krátkých konzol se většinou provádí pomocí metody náhradní příhradoviny, kdy je potřeba vytvořit model, který nejlépe vystihuje chování konstrukce.

Cílem bakalářské práce je rozšířit si znalosti v rámci řešení a navrhování konzol betonových konstrukcí. Pro příklad stavby výrobní haly navrhnout konzolu metodou náhradní příhradové analogie a porovnat s návrhem konzoly podle normy ČSN EN 1992 1-1. Ruční výpočty byly porovnány s výpočty a posudky z výpočetních softwarů, které řešily konzolu metodou konečných prvků nebo metodou příhradové analogie. Pro jednotlivé varianty bylo stanoveno limitní zatížení, na které lze vzhledem ke konstrukčním zásadám ještě vyztužit konzoly. U navržených konzol byl porovnán vliv náběhu na únosnosti a porovnán rozdíl v chování konzoly pro variantu krátké a dlouhé konzoly. Bakalářská práce se skládá ze tří částí.

První část se zabývá idealizací konstrukce, popisem metody a jednotlivých prvků příhradové analogie pro výpočet D oblastí nosných konstrukcí.

Druhá část je zaměřena na obecný popis krátkých konzol, jejich rozdělení, způsoby porušení, principy vyztužení a návrh podle ČSN EN 1992 1-1.

Ve třetí části je popsána referenční stavba výrobní haly v Lanškrouně, pro kterou jsou krátké konzoly navrhovány a posuzovány. Dále se tato část zabývá variantními možnostmi řešení návrhu konzoly pro referenční stavbu metodou náhradní příhradoviny, návrhem konzoly pomocí normy ČSN EN 1992-1-1 a hledáním maximálního možného zatížení. Nakonec tato část obsahuje posouzení vlivu náběhu na únosnost a porovnání limitního zatížení pro krátkou a dlouhou konzolu při stejném vyztužení.



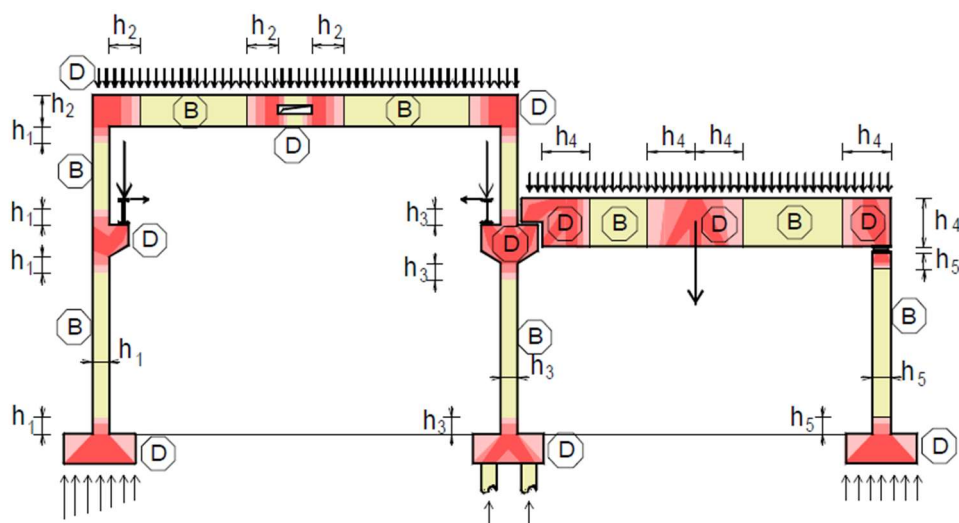
Obr. 1.1: Příklad prefabrikované konstrukce s konzolami [10]

2. Metoda příhradové analogie (STM)

2.1. Idealizace konstrukce

Při analýze konstrukcí se sestavují globální nebo lokální modely nosných systémů. Modely nosných konstrukcí mohou být jednorozměrné, dvourozměrné nebo trojrozměrné v závislosti na požadavcích, které potřebujeme vystihnout. Globální model se využívá, když potřebujeme vystihnout chování konstrukce jako celku. Zatímco pokud chceme vystihnout chování pouze určitých částí konstrukce, volíme lokální modely prvků. Pro řešení modelů konstrukcí je potřeba idealizovat jednotlivé prvky konstrukce a jejich chování, vhodně zvolit způsob spojení mezi nosnými prvky a typ podepření konstrukce. Jednotlivé části nosných železobetonových konstrukcí jsou tvořeny B oblastmi a D oblastmi (viz obr. 2.1). B oblasti jsou části, u kterých je zachován předpoklad rovinnosti průřezu podle Bernoulliovy hypotézy. D oblasti jsou označovány jako poruchové oblasti, u kterých rozdělení poměrného přetvoření po průřezu není lineární. Proto návrh a posouzení B a D oblastí je zcela odlišný. K návrhu D oblastí se využívá metoda příhradové analogie, kdy je navrhovaný prvek idealizován modelem náhradní příhradoviny. Model náhradní příhradoviny je tvořen tlačеныmi pruty (vzpěry) a taženými pruty (táhly). Tyto pruty jsou spojovány ve společných uzlech (styčnicích). Síly ve styčnicích se pro modely příhradoviny určují z podmínky rovnováhy s působícím zatížením. Umístění výztuže v konstrukci musí odpovídat poloze a směru táhla v modelu.

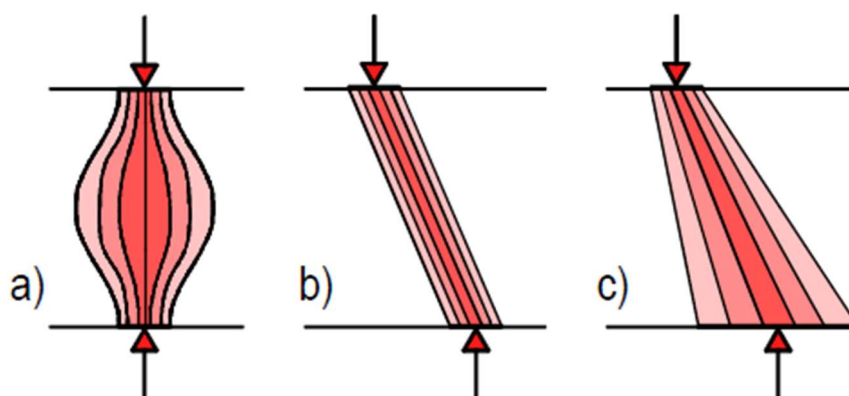
[2]



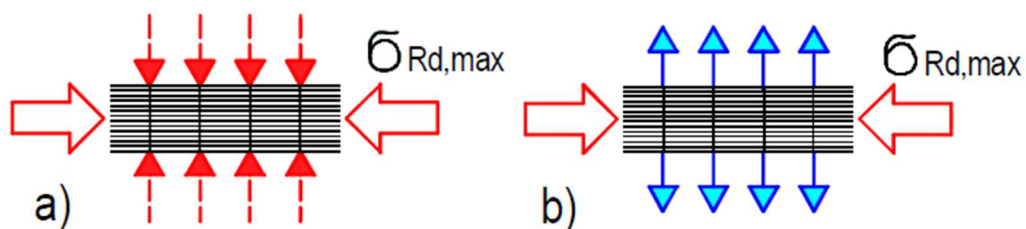
Obr. 2.1: Rozdělení konstrukce na B a D oblasti [3]

2.2. Vzpěry

Vzpěry jsou v modelu náhradní příhradoviny tlačené pruty, které reprezentují beton namáhaný tlakem. Podle tvaru tlačných prutů a změně šířky je rozdělujeme na základní tři typy (viz obr. 2.2). Jedná se o vzpěry vějířovité, vzpěry s rovnoběžnými vlákny a na vzpěry s baňkovitým tvarem. Dále se rozdělují podle působení napětí v příčném směru (viz obr 2.3) na vzpěry, kde působí příčné tlakové napětí, kde nepůsobí příčné tlakové napětí a kde působí příčné tahové napětí. [1]



Obr. 2.2: Základní geometrické tvary vzpěr a) baňkovitý tvar, b) vzpěra s rovnoběžnými vlákny, c) vějířovitá vzpěra [1]



Obr. 2.3: Rozdělení betonových vzpěr podle působení příčného napětí a) působící příčné tlakové napětí, b) působící příčné tahové napětí [1]

Napětí, které působí ve vzpěře, je dáno vztahem:

$$\sigma_c = \frac{N_c}{b * d_c}$$

kde N_c normálová síla ve vzpěře

d_c tloušťka vzpěry

b šířka vzpěry

Pro vzpěry s působícím příčným tlakovým napětím i bez působícího příčného tlakového napětí se návrhové napětí na mezi únosnosti vypočítá ze vztahu:

$$\sigma_{Rd,max} = f_{cd}$$

kde f_{cd} návrhová hodnota pevnosti betonu v tlaku

Pro vzpěry s působícím příčným tlakovým napětím, kde se nachází trhliny v betonu, se redukuje návrhové napětí na mezi únosnosti podle vztahu:

$$\sigma_{Rd,max} = 0,6 * v' * f_{cd}$$

kde v' redukční součinitel $v' = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$

f_{cd} návrhová hodnota pevnosti betonu v tlaku

f_{ck} charakteristická hodnota pevnosti betonu v tlaku

Velikost příčné tahové síly vzpěry se vypočítá podle vztahu:

a) částečně nespojitě oblasti

$$T = \frac{1}{4} * \frac{b - a}{b} * F$$

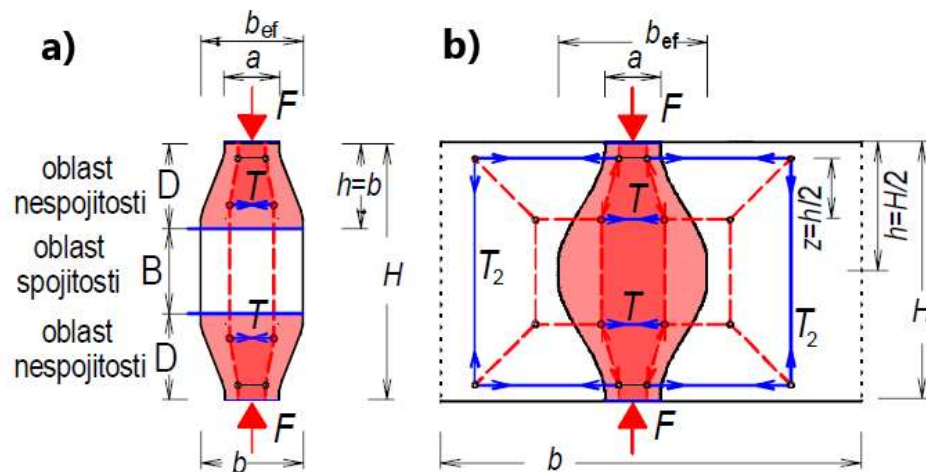
kde $b \leq H/2$ a $b_{ef} = b$ podle obr. 2.4a

b) úplně nespojitě oblasti

$$T = \frac{1}{4} * \left(1 - 0,7 * \frac{a}{h}\right) * F$$

kde $b > H/2$ a $b_{ef} = 0,5 * H + 0,65 * a$ podle obr. 2.4b

[1]



Obr. 2.4: Oblasti příčné tahové síly a) částečně nespojitá, b) úplně nespojitá [1]

2.3. Táhla

Reprezentují betonářskou výztuž v modelu náhradní příhradoviny, kdy táhlo nemusí být tvořeno pouze jedním prutem, ale i více pruty ve vrstvách. Táhlo je umístěno v ose skutečné výztuže. Důležité je dodržet minimální kotevní délku výztuže, aby byla výztuž dostatečně zakotvena ve styčnicku. Zakotvení lze provést přímým zakotvením, ohybem, smyčkou, nebo pomocí kotevní desky. Pro návrh táhla se počítá s předpokladem, že meze kluzu oceli je dosaženo před porušením betonových vzpěr v tlaku a že ve většině případů je i zanedbán tah v betonu. Návrh táhla také souvisí s jeho šířkou. Zpravidla bereme celou teoretickou šířku, která se vypočítá pro krajní pruty jako průměr profilu prutu a šířka krycí vrstvy. A pro ostatní pruty se připočítá k průměru profilu prutu ještě polovina vzdáleností od sousedních prutů. [3]

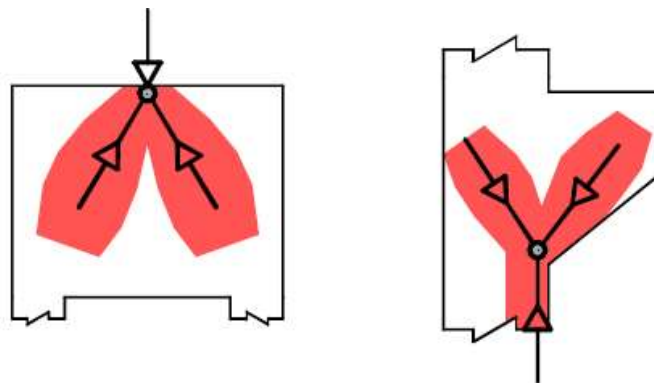
2.4. Styčníky

Styčníky jsou oblasti, kde dochází v modelu ke spojení prutů vzpěr a táhel. Jedná se o oblasti kolem podpor, v ohybech výztužných prutů a kolem působíště koncentrovaných zatížení. Ve styčnicích platí podmínka rovnováhy sil, které do něho z táhel a vzpěr

vstupují. Styčníky se podle orientace sil působících na ně dělí na tři typy, a to na styky CCC, CCT a CTT (příklady jednotlivých typů styčnicků viz obr. 2.4, 2.5 a 2.6). [1]

CCC styčníky

Do CCC styčnicků vstupují pouze tlačené pruty. Platí pro ně dva předpoklady. První, kdy musí být dosažena únosnost betonu v tlaku. Druhý předpoklad, kdy působí stejné napětí na všech hranách styčnicku. Tato oblast styčnicku se stejným napětím se označuje jako hydrostatická uzlová – styčnicková zóna. S takovýmto typem styčnicku se můžeme setkat například u krátkých konzol. [1]



Obr. 2.5: Příklady CCC styčnicků [1]

Maximální napětí na hraně styčnicku vychází ze vztahu:

$$\sigma_{Rd,max} = 1,0 * v' * f_{cd}$$

kde v' redukční součinitel $v' = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$

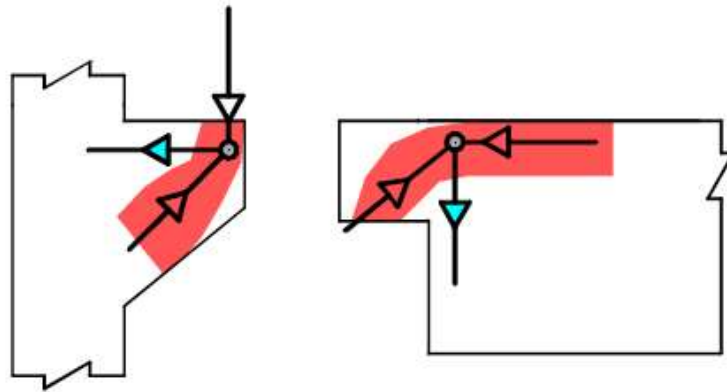
f_{cd} návrhová hodnota pevnosti betonu v tlaku

f_{ck} charakteristická hodnota pevnosti betonu v tlaku

[1]

CCT styčníky

Skládá se z tlačných prutů a tažených prutů kotvených v jednom směru. Tento styčník se vyskytuje například v místech uložení nosníku, v místě přímého zatížení konzoly, nebo u nepřímě uložených konzol. Velikost CCT styčníků se oproti CCC styčníkům rozšiřuje a označuje se jako rozšířená styčníková zóna. Velikost je dána šířkou táhla, popřípadě velikostí podpory. [1]



Obr. 2.6: Příklady CCT styčníků [1]

Maximální napětí na hraně styčníku vychází ze vztahu:

$$\sigma_{Rd,max} = 0,85 * v' * f_{cd}$$

kde v' redukční součinitel $v' = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$

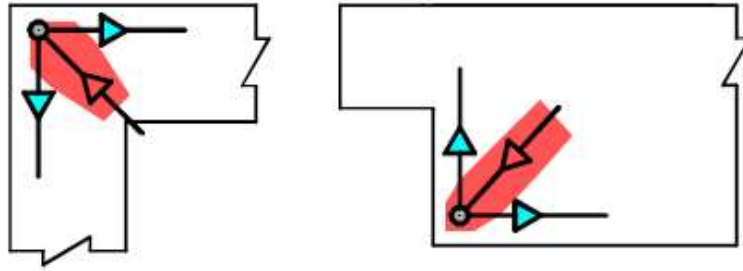
f_{cd} návrhová hodnota pevnosti betonu v tlaku

f_{ck} charakteristická hodnota pevnosti betonu v tlaku

[1]

CTT styčníky

Skládá se z tlačných prutů a tažených prutů kotvených ve více směrech na rozdíl od CCT styčník, které jsou kotveny v jednom směru. Jedná se například o styčník v rámových rozích. Velikost CTT styčníku je jako u CCT styčníku také rozšířena a dána šířkou táhla, nebo průměrem ohybu táhla. [1]



Obr. 2.7: Příkladů CTT styčnicků [1]

Maximální napětí na hraně styčnicku vychází ze vztahu:

$$\sigma_{Rd,max} = 0,75 * v' * f_{cd}$$

kde v' redukční součinitel $v' = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$

f_{cd} návrhová hodnota pevnosti betonu v tlaku

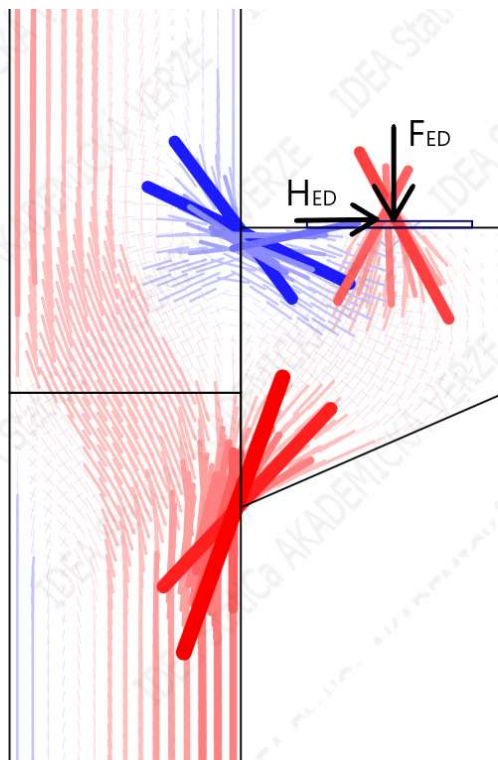
f_{ck} charakteristická hodnota pevnosti betonu v tlaku

[1]

3. Krátké konzoly

3.1. Popis krátkých konzol

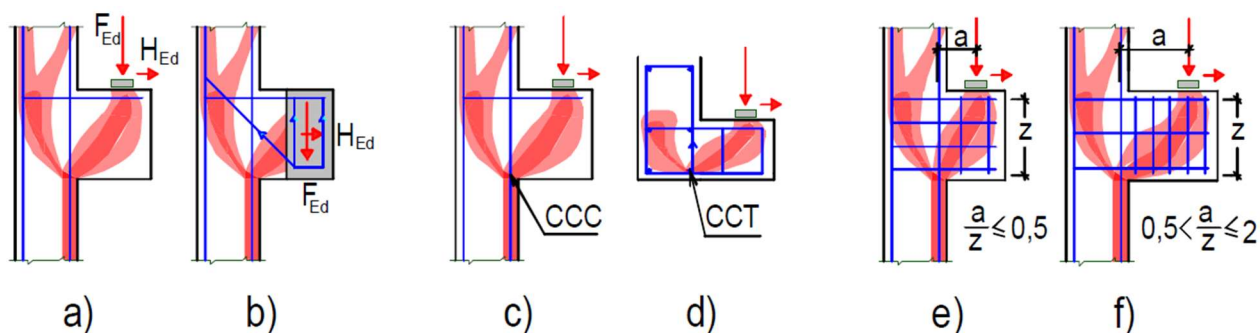
S krátkými konzolami se v dnešní době běžně setkáváme, jedná se o široce využívaný detail při navrhování průmyslových budov, mostních konstrukcí a prefabrikovaných komerčních budovách. Krátká konzola je krátký konstrukční prvek, který vystupuje ze stěny nebo sloupu. Účelem krátké konzoly je přenos vertikálních a horizontálních sil z konstrukcí osazených na konzolách do stěn a sloupů. K roznesení působících zatížení na horním povrchu krátké konzoly se využívají roznášecí desky a pro spojení styků konzoly a dalšího prvku se používají spojovací trny, ocelová ložiska, pryžové destičky nebo speciální spojovací prostředky. Vlivem působení zatížení vznikají v konstrukci napětí, jejichž tok je znázorněn na obrázku 3.1 (tah – modře značen, tlak – červeně značen). [4]



Obr. 3.1: Tok napětí na krátké konzole

3.2. Rozdělení krátkých konzol

Krátké konzoly se dělí podle působícího zatížení na přímo a nepřímo zatížené a podle způsobu uložení na konstrukci na přímo a nepřímo uložené (viz obr. 3.2). [4]

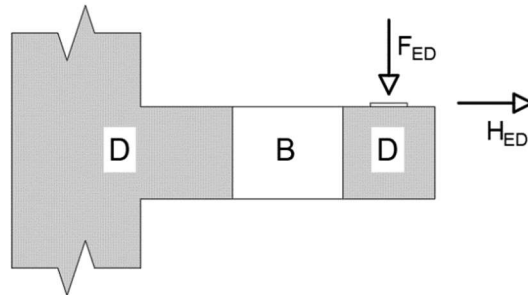


Obr. 3.2: Základní typy konzol a) přímo zatížená, b) nepřímo zatížená, c) přímo uložená, d) nepřímo uložená, e) krátká konzola, d) dlouhá konzola [4]

U přímo zatížených konzol působí zatížení u horního okraje, kde se přímo přenáší tlačnou betonovou diagonálou a vodorovnou výztuží do sloupu nebo stěny. Nepřímo zatížené konzoly jsou na rozdíl od přímo zatížených konzol zatíženy u spodního povrchu, kde je zatížení přeneseno šikmou tahovou výztuží přímo do stěny nebo sloupu a svislou výztuží k hornímu povrchu a dále do stěny nebo sloupu stejně jako pro variantu přímo zatížené konzoly. [4]

Přímo uložené konzoly jsou konzoly přímo podporovány pod spodním okrajem sloupem nebo stěnou a zatížení je přeneseno rovnou do konstrukce. Zatímco nepřímo uložené konzoly bývají při spodním okraji trámu a jsou buď bodové, průběžné, nebo vícenásobné. Nepřímo uložené konzoly bývají označovány také jako zavěšené konzoly, protože větve třmínků vynášejí působící zatížení k hornímu okraji prvku. Návrh nepřímých konzol je komplikovanější než pro varianty přímo uložené, protože je nutno vynést působící zatížení k hornímu líci podporujícího prvku. [1]

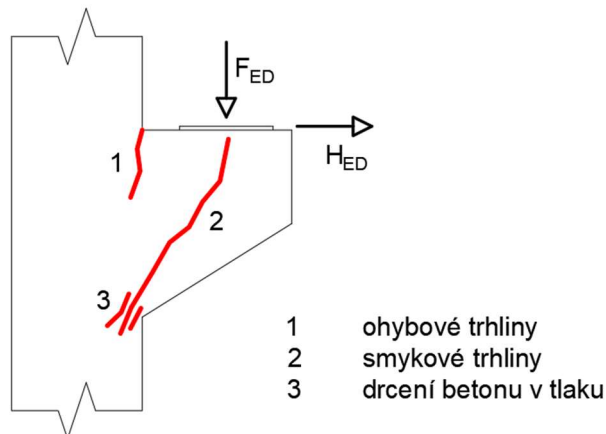
Dále se krátké konzoly dělí podle poměru vyložení ramena vnější síly (a) ku ramenu vnitřní síly (z). Pokud je poměr $a/z \leq 0,5$, jedná se o krátké konzoly, když je poměr $0,5 < a/z \leq 2,0$, mluvíme o dlouhých konzolách. A jestli je $a/z > 2,0$, jedná se o konzolový nosník se dvěma D-oblastmi, mezi kterými leží B-oblast (viz obr. 3.3) – styk sloupu s konzolou se pak řeší jako rámový roh. [1]



Obr. 3.3: Konzolový nosník

3.3. Porušení krátkých konzol

Působením svislé a vodorovné síly dochází k namáhání krátké konzoly posouvající silou a ohybovým momentem. Vlivem působení zatížení dochází ke vzniku ohybové trhliny (viz oblast 1 obr. 3.2), kdy u betonu je vyčerpána únosnost v tahu a přenos zatížení zajišťuje hlavní tahová výztuž. Smykové trhliny (viz oblast 2 obr. 3.2) vznikají v důsledku namáhání posouvající silou vlivem příčných tahů v betonové vzpěře. Nakonec při dalším přitěžování dochází v oblasti styčnicku 1 ke koncentraci napětí (viz oblast 3 obr. 3.2) a následnému drcení betonu. Po vyčerpání únosnosti materiálů a postupným rozvojem trhlin v konstrukci dochází ke kolapsu konzoly. [1,2]



Obr. 3.4: Schéma porušení krátké konzoly

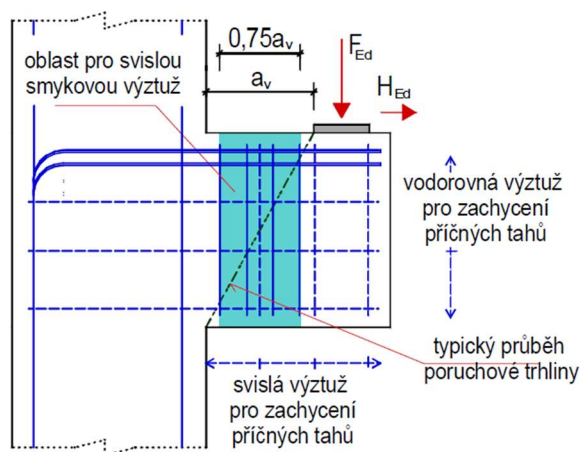
3.4. Vyztužování krátkých konzol

Pro vyztužení krátké konzoly je důležité zjistit, jestli se jedná o variantu dlouhé, nebo krátké konzoly. Určení typu je podstatné kurčení množství vodorovné a svislé konstrukční výztuže. Pro krátkou konzolu je potřeba vyztužit konstrukci hlavně vodorovnou výztuží (viz obr. 3.6), ale pro dlouhé konzoly je naopak potřeba hlavně svislá výztuž (viz obr. 2.7), tento předpoklad vychází ze směru příčných tahů v tlačené betonové vzpěře. [9]

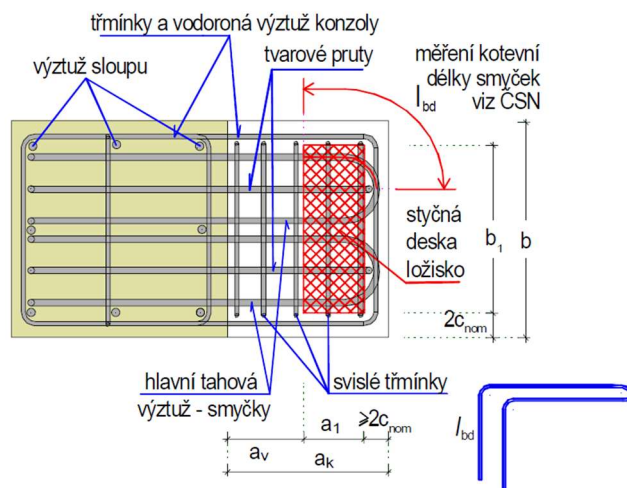
Obecně jsou pro krátké konzoly dány zásady:

- Horní tahová výztuž se ukládá maximálně ve dvou vrstvách – při uložení ve více vrstvách se znatelně zmenšuje rameno vnitřních sil
- Volit větší průměr zakřivení smyček hlavní tahové výztuže
- Vyztužovat minimálně třemi svislými třmínky o průměru 6 až 10 mm, pro dlouhé konzoly se navrhuje únosnost svislých třmínku na sílu minimálně $0,5 \cdot F_{ED}$
- Vyztužovat minimálně dvěma vodorovnými třmínky o průměru 6 až 10 mm, pro krátké konzoly by plocha vodorovných třmínků měla být aspoň 25% plochy hlavní tahové výztuže
- Třmínky sloupu zhustit v oblastech nad a pod konzolou, v oblasti konzoly nestykovat podélnou výztuž sloupu
- Pro vyztužování uplatňovat výztuž třídy tažnosti B

[9]



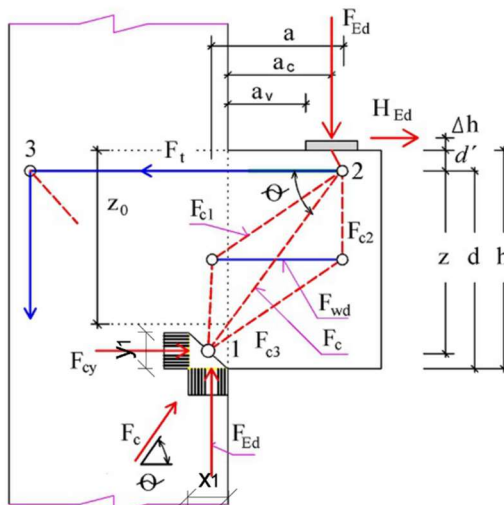
Obr. 3.5: Schéma vyztužení konzol svislou a vodorovnou výztuží [4]



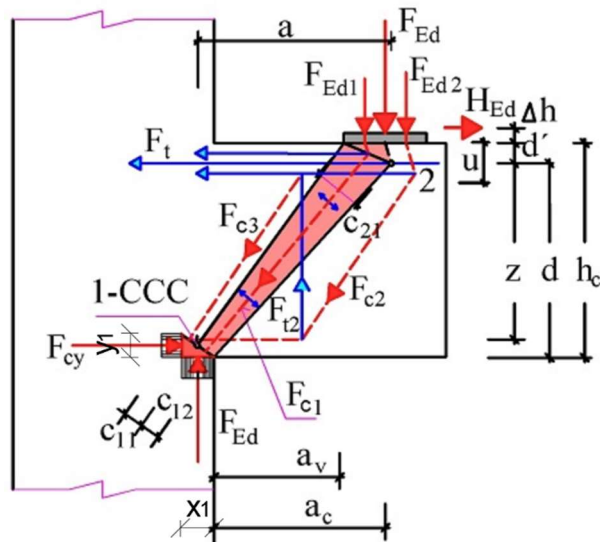
Obr. 3.6: Schéma vyztužení konzoly hlavní tahovou výztuží [4]

3.5. Návrh podle ČSN EN 1992 1-1

Základní model vychází z přímo zatížené a přímo uložené varianty krátké konzoly, u kterého je zatížení přenášeno tlačnou betonovou diagonálou do oblasti styčnicku 1 a vodorovnou výztuží přímo do sloupu. Podle normy ČSN EN 1992 1-1 není velikost vodorovné síly nikterak blíže upřesněna a je pouze na zvážení statika, jak velkou silu bude uvažovat, ale doporučuje se brát vodorovnou působící sílu na konzolu o velikosti minimálně 20 % svislé působící síly. Kde působící vodorovná síla ovlivňuje množství hlavní tahové výztuže, které se s větší působící silou bude zvětšovat. Vlivem výrobních a montážních tolerancí může vzniknout excentricita od svislého zatížení, se kterou se doporučuje při návrhu výztuže počítat. Postup návrhu výztuže poruchové oblasti konzoly podle normy ČSN EN 1992 1-1 je založen na rovnováze působících sil ve styčnicích 1 a 2. [4,6]



Obr. 3.7: Model krátké konzoly podle ČSN EN 1992 1-1 [9]



Obr. 3.8: Model dlouhé konzoly podle ČSN EN 1992 1-1 [9]

Nejprve se stanoví velikost styčnicku 1 a vzdálenosti ramen působících sil. Šířka tlačené oblasti styčnicku 1 se vypočítá z podmínky rovnováhy ve styčnicku 1. Díky známé šířce tlačené oblasti se dopočítá rameno vnějších sil. Výška tlačené oblasti styčnicku 1 se zjistí z momentové podmínky rovnováhy ve styčnicku 1. A z vypočítané výšky tlačené oblasti se určí rameno vnitřních sil. Ze zjištěných parametrů se již dopočítá hlavní tahová síla při horním okraji konzoly a stanoví se síla v betonové vzpěře. Podle daných vztahů (viz příloha č. 1) se navrhne hlavní výztuž, která se doplní o konstrukční svislou a vodorovnou výztuž pro zachycení příčných tahů v tlačené betonové vzpěře. Provede se kontrola napětí betonu ve vzpěře a oblastech styčnicků, zkontrolují se konstrukční zásady pro vyztužování železobetonových prvků a provede se ověření kotevních délek. Po dokončení výpočtu se zkontroluje geometrie modelu náhradní příhradoviny – při zjištění nesrovnalostí se znovu posoudí navržená výztuž. [4,6]

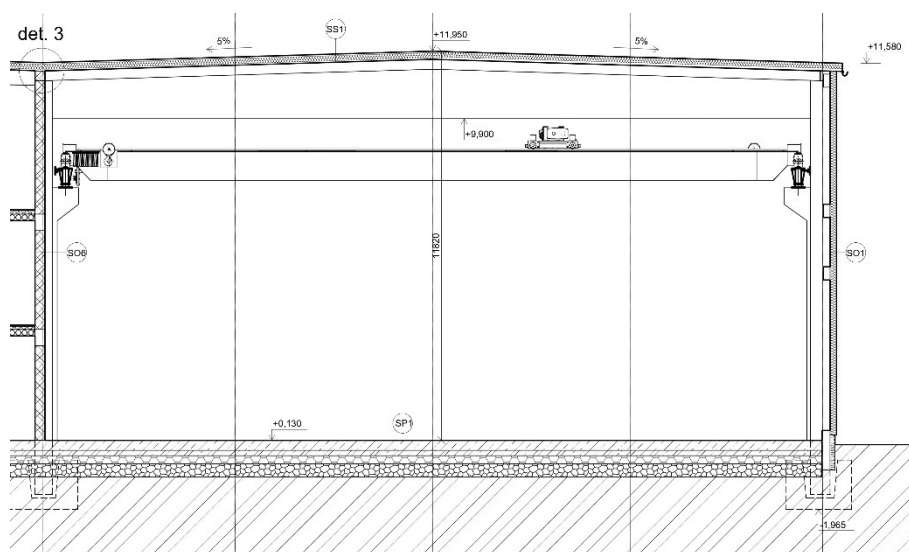
4. Analýza krátkých konzol pro konkrétní případy

K analýze krátkých konzol byla jako podklad použita výrobní hala v Lanškrouně, která byla zpracovávána v rámci předmětu P02C. Navržené rozměry sloupů a vypočítaná zatížení od jeřábové dráhy byly použity k vytvoření jednotlivých variant řešení krátkých konzol, které byly dále analyzovány.

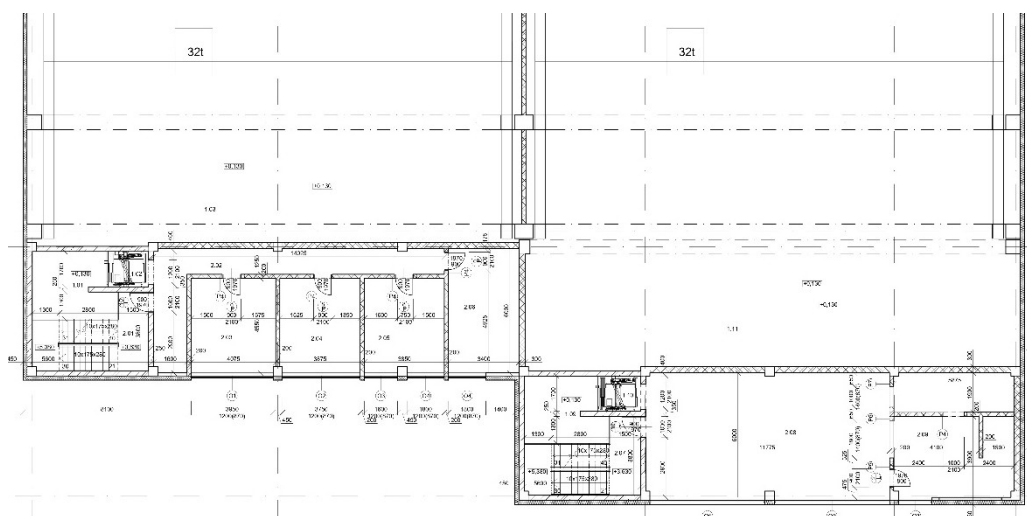
4.1. Výrobní hala Lanškroun

Popis objektu

Řešený objekt je dvoulodní výrobní hala obdélníkového půdorysu se sedlovou střechou. Součástí objektu je i administrativní část se třemi nadzemními podlažími. Celkové půdorysné rozměry nosné konstrukce objektu jsou 127 x 48,25 m. Nejvyšší bod nosné konstrukce se nachází 11,95 m nad úrovní okolního terénu. Konstrukční výška nadzemních podlaží je 3,5 m. Fasáda a skladba zastřešení je řešena pomocí sendvičových panelů.



Obr. 4.1: Řez jednou lodí výrobní haly v Lanškrouně



Obr. 4.2: Půdorys části výrobní haly a administrativní části

Materiálové řešení

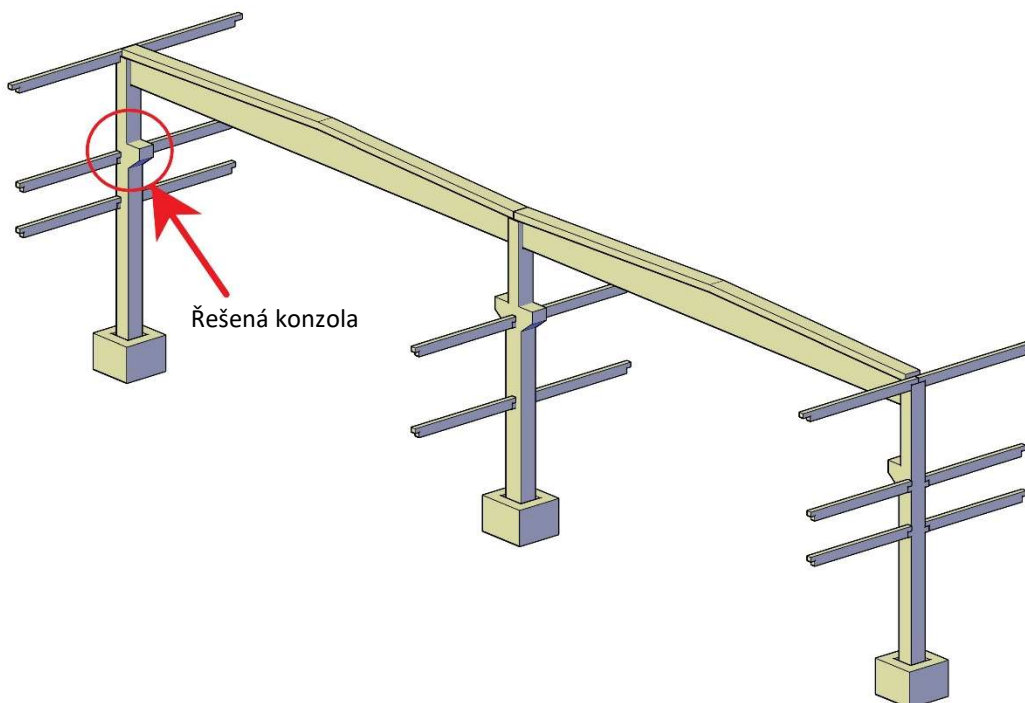
Na nosné konstrukce sloupů je navrhnut beton C 40/50 – XC3 – Cl 0,2 – Dmax 16 – S3 s výztuží z betonářské ocele B500B.

Působící zatížení

Na konzolu působí zatížení od jeřábové dráhy, které bylo spočítáno v rámci předmětu P02C. Svislé stálé zatížení od jeřábové dráhy působí silou 3,93 kN, svislé proměnné zatížení působí silou 292 kN a vodorovné proměnné zatížení působí silou 12 kN. Pro výpočty bude uvažována vodorovné zatížení jako 20% svislého zatížení. Uvažované vodorovné proměnné zatížení pro výpočty bude 59,2 kN. Všechny zatížení jsou uvedeny v charakteristických hodnotách. Pro získání hodnot návrhových je nutné provést vynásobení charakteristických hodnot patřičnými součiniteli bezpečnosti. Pro stálé i proměnné zatížení od jeřábové dráhy se uvažuje hodnota součinitele 1,35.

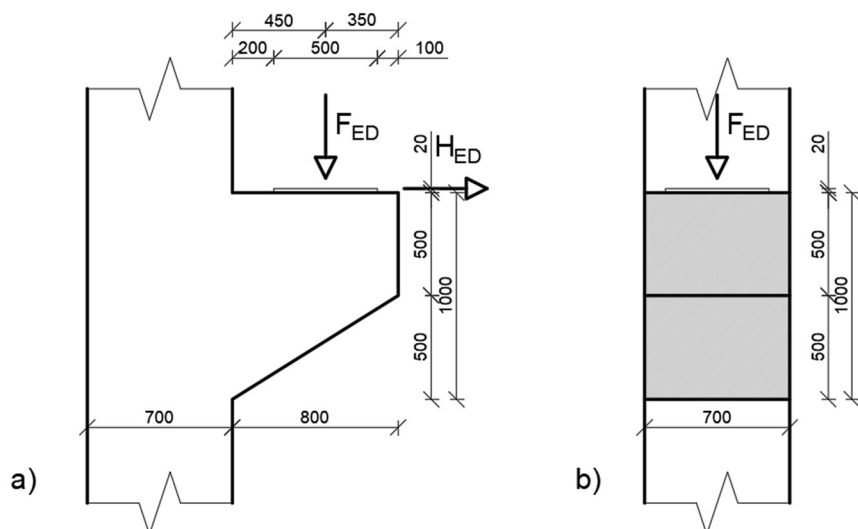
4.2. Varianty řešení konzoly

V reálném objektu výrobní haly v Lanškrouně se nachází dvě jeřábové dráhy ve stejné výškové úrovni. Pro každou loď haly funguje samostatně jedna jeřábová dráha, která je uložena na krajním a středovém sloupu. Krajní prefabrikované sloupy jsou navrženy s jednoduchou betonovou konzolou a střední sloup je vyroben s dvojkonzolou. V rámci analýzy krátkých konzol se řešil návrh, posudky a porovnání krátké konzoly na krajním sloupu haly.

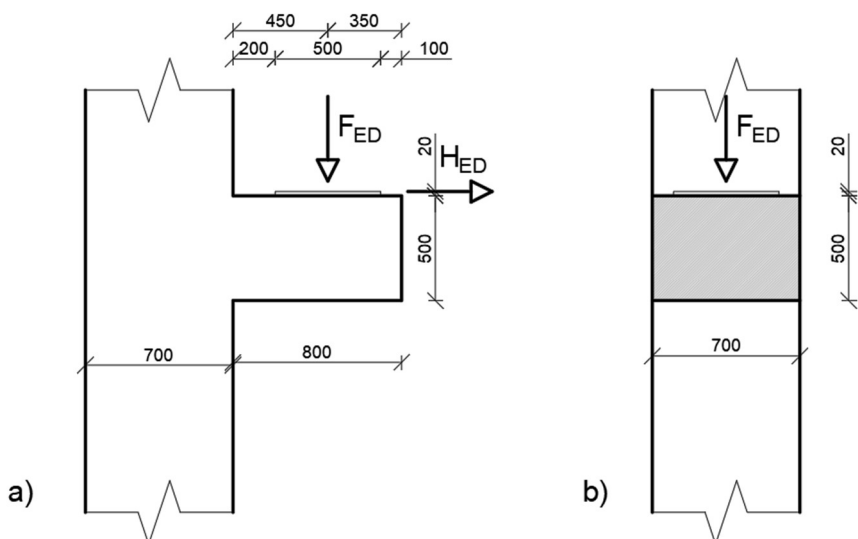


Obr. 4.3: Jednoduchý 3D model konstrukce výrobní haly s vyznačením řešené konzoly

Pro krajní sloupy byly navrženy dvě varianty krátkých konzol (viz obr. 4.5 a 4.6) s rozdílným chováním. První varianta A konzoly byla navržena jako krátká konzola a druhá varianta B jako dlouhá konzola. Rozdíl mezi geometrií dlouhé a krátké konzoly byl pouze v její výšce. Obě varianty byly zvoleny se shodnou délkou a šířkou konzoly, rozměry roznášecí desky a vzdálenosti působících zatížení byly také stejné. Varianta krátké konzoly byla doplněna o náběh stejné výšky, jako byla výška dlouhé konzoly.



Obr. 4.4: Geometrie varianty A (krátká konzola) a) boční pohled, b) přední pohled



Obr. 4.5: Geometrie varianty B (dlouhá konzola) a) boční pohled, b) přední pohled

4.3. Statické posouzení podle příhradové analogie

Tato kapitola se zabývá návrhem výztuže metodou náhradní příhradoviny pro řešení varianty krátké konzoly.

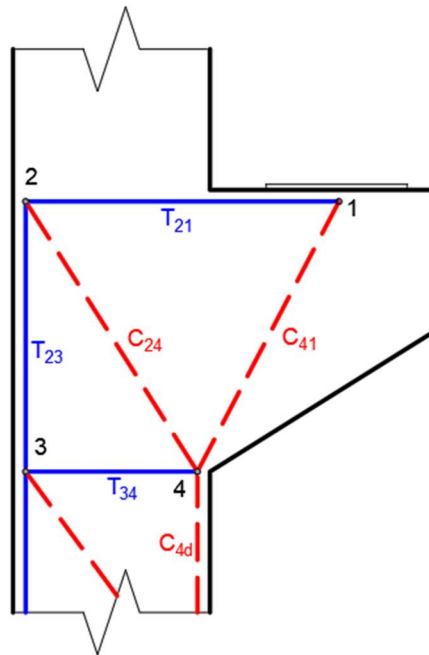
Varianta A – krátká konzola ruční výpočet

Pro část sloupu s krátkou konzolou znázorněného na obrázku 4.4 byl vytvořen jednoduchý model náhradní příhradoviny s vyznačenými táhly a vzpěrami (viz obr. 4.6)

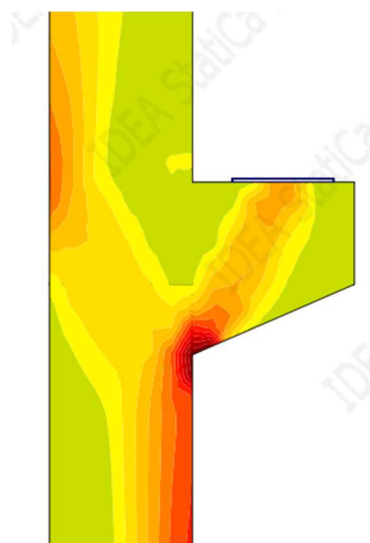
pro ruční výpočet, který odpovídá průběhům hlavních napětí betonu na konstrukci vypočtených programem IDEA StatiCa Detail (viz obr. 4.7). Model byl vytvořen v programu AStrutTie 2017, na modelu bylo zadáno působící zatížení od jeřábové dráhy. Program si optimalizoval geometrii a vzdálenosti táhel, vzpěr a styčníků.

IDEA StatiCa Detail je program k navrhování oblastí diskontinuity.

AStrutTie je program pro analýzu a návrh modelů náhradní příhradoviny betonových prvků v poruchových oblastech.



Obr. 4.6: Zjednodušený model náhradní příhradoviny pro ruční výpočet



Obr. 4.7: Průběh hlavních napětí

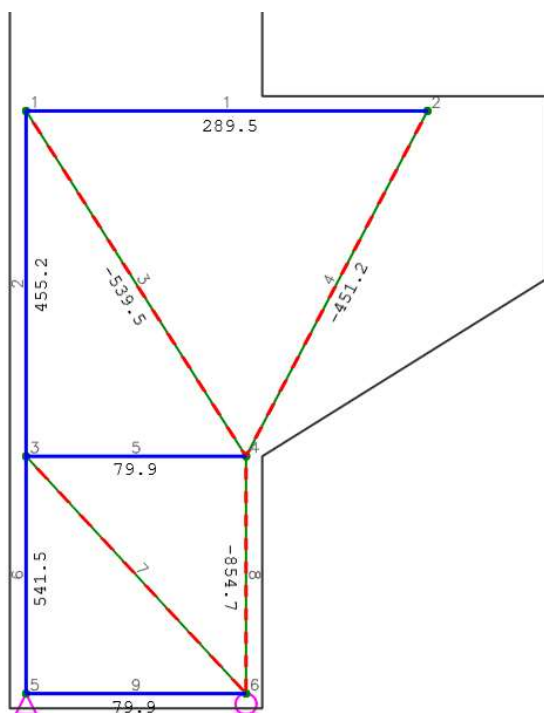
Hodnoty vnitřních sil jednotlivých táhel a vzpěr byly ručně vypočítány pomocí programu Microsoft Excel (podrobný výpočet viz příloha č. 2). Dále byly stanoveny šířky táhel a vzpěr pro jednotlivé uzly a bylo posouzeno dovolené namáhání jednotlivých uzlů. Po provedení ověření, zda táhla, vzpěry a styčníky vyhovují kritériím (viz kapitola 2.2 a 2.4), byla navržena výztuž na působící síly a byly ověřeny konstrukční zásady. Na sílu v táhle T_{21} byly navrženy 3 smyčky v jedné vrstvě o průměru profilu 12 mm. Dále byly navrženy svislé a vodorovné třmínky na zachycení příčných tahů vznikajících od síly ve vzpěře C_{41} . Na svislou složku příčných tahů byly navrženy 3 svislé čtyřstřížné třmínky o průměru profilu 6 mm a na vodorovnou složku byly navrženy 4 vodorovné čtyřstřížné třmínky o průměru profilu 6 mm.

Shrnutí navržené a posouzené výztuže metodou náhradní příhradoviny v následující tabulce 4.1.

NÁVRH A POSOUZENÍ VÝZTUŽE						
Typ výztuže	působící síla [kN]	$A_{s,req}$ [mm ²]	počet [ks]	průměr [mm]	$A_{s,prov}$ [mm ²]	využití [%]
hlavní tahová výztuž	289,5	666	6	12	679	98%
svislé třmínky	92,2	212	12	6	339	62%
vodorovné třmínky	175,8	404	16	6	452	89%

Tabulka 4.1: Návrh a posouzení výztuže varianty A stanovené metodou náhradní příhradoviny

K ověření správnosti ručního výpočtu byl spočten vytvořený model v programu AStrutTie 2017. Po ukončení výpočtu byly obdrženy výsledky vnitřních sil ve vzpěrách a táhlech, které jsou zobrazeny na obrázku 4.8 společně s modelem náhradní příhradoviny.



Obr. 4.8: Model náhradní příhradoviny a výsledky programu AStrutTie 2017

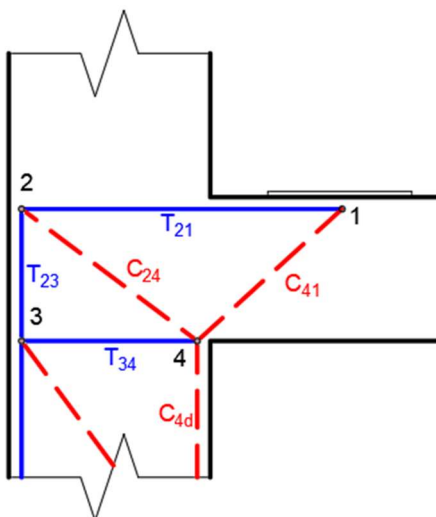
Pro jednotlivé způsoby výpočtu jsou v následující tabulce 4.2 uvedeny hodnoty vnitřních sil vzpěr a táhel pro model náhradní příhradoviny krátké konzoly. Z porovnání výsledků vnitřních sil je zřejmé, že se hodnoty téměř shodují, a ruční výpočet lze tedy uvažovat jako správný.

POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ VARIANTY A		
prvek	ruční výpočet EXCEL	program AStrutTie 2017
	síla [kN]	síla [kN]
táhlo T ₂₁	289,52	289,5
táhlo T ₂₃	455,17	455,2
táhlo T ₃₄	79,90	79,9
vzpěra C ₄₁	451,16	451,2
vzpěra C ₂₄	539,45	539,5
vzpěra C _{4d}	854,67	854,7

Tabulka 4.2: Porovnání výsledků vnitřních sil varianty A

Varianta B – dlouhá konzola

Pro stejný výsek sloupu jako u předchozího řešení, ale pro variantu dlouhé konzoly vyobrazené na obrázku 4.5 byl vytvořen zjednodušený model náhradní příhradoviny s vyznačenými táhly a vzpěrami (viz obr. 4.9) pro ruční výpočet, který odpovídá průběhům hlavních napětí betonu na konstrukci vypočtených pomocí programu IDEA StatiCa Detail (viz obr. 4.10). Model byl opět vytvořen v programu AStrutTie 2017 a na model bylo zadáno působící zatížení od jeřábové dráhy. Program si optimalizoval geometrii a vzdálenosti táhel, vzpěr a styčnicků.



Obr. 4.9: Zjednodušený model náhradní příhradoviny pro ruční výpočet



Obr. 4.10: Průběh hlavních napětí

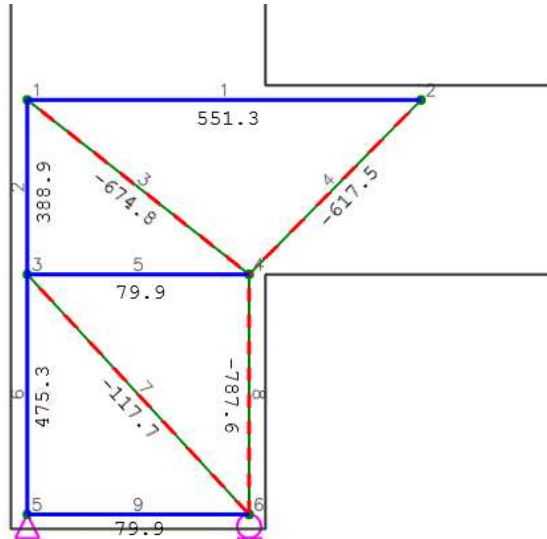
Hodnoty vnitřních sil jednotlivých táhel a vzpěr byly ručně vypočítány pomocí programu Microsoft Excel (podrobný výpočet viz příloha č. 3). Dále byly stanoveny šířky táhel a vzpěr pro jednotlivé uzly a bylo posouzeno dovolené namáhání jednotlivých uzlů. Po provedení ověření, zda táhla, vzpěry a styčníky vyhovují kritériím (viz kapitola 2.2 a 2.4), byla navržena výztuž na působící síly a byly ověřeny konstrukční zásady. Na sílu v táhle T_{21} byly navrhnuty 3 smyčky ve dvou vrstvách o průměru profilu 12 mm. Dále byly navrženy svislé a vodorovné třmínky na zachycení příčných tahů vznikajících od síly ve vzpěře C_{41} . Na svislou složku příčných tahů bylo navrženo 5 svislých čtyřstřížných třmínků o průměru profilu 6 mm a na vodorovnou složku byly navrženy 4 vodorovné čtyřstřížné třmínky o průměru profilu 6 mm.

Shrnutí a posouzení navržené výztuže metodou náhradní příhradoviny v následující tabulce 4.3.

NÁVRH A POSOUZENÍ VÝZTUŽE						
Typ výztuže	působící síla [kN]	$A_{s,req}$ [mm ²]	počet [ks]	průměr [mm]	$A_{s,prov}$ [mm ²]	využití [%]
hlavní tahová výztuž	552,8	1271	12	12	1357	94%
svislé třmínky	208,1	478	20	6	565	85%
vodorovné třmínky	175,8	404	16	6	452	89%

Tabulka 4.3: Návrh a posouzení výztuže varianty B stanovené metodou náhradní příhradoviny

K ověření správnosti ručního výpočtu byl vypočten vytvořený model v programu AStrutTie 2017. Po ukončení výpočtu byly obdrženy výsledky vnitřních sil ve vzpěrách a táhlech, které jsou zobrazeny na obrázku 4.11 společně s modelem náhradní příhradoviny.



Obr. 4.11: Model náhradní příhradoviny a výsledky programu AStrutTie 2017

Pro jednotlivé způsoby výpočtu jsou v následující tabulce 4.4 uvedeny hodnoty vnitřních sil vzpěr a táhel pro model náhradní příhradoviny dlouhé konzoly. Z porovnání výsledků vnitřních sil je zřejmé, že hodnoty jsou téměř stejné jako u varianty A, a ruční výpočet lze tedy uvažovat jako správný.

POROVNÁNÍ VÝLEDKŮ VARIANTY B		
prvek	ruční výpočet EXCEL	program AStrutTie 2017
	síla [kN]	síla [kN]
táhlo T_{21}	552,80	551,3
táhlo T_{23}	389,68	388,9
táhlo T_{34}	79,90	79,9
vzpěra C_{41}	619,06	617,5
vzpěra C_{24}	676,34	674,8
vzpěra C_{4d}	789,18	787,6

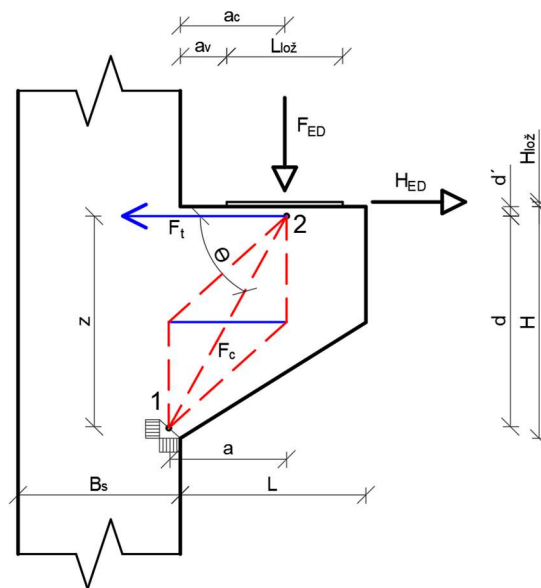
Tabulka 4.4: Porovnání výsledků vnitřních sil varianta B

4.4. Statické posouzení podle ČSN EN 1992-1-1

Tato kapitola se zabývá návrhem výztuže obou řešených variant krátké konzoly podle normy ČSN EN 1992 1-1.

Varianta A – krátká konzola

Krátká konzola krajního sloupu byla navržena podle normy ČSN EN 1992 1-1 podle postupu popsaného v kapitole 3.5. Na začátku návrhu byly vypočítány vzdálenosti ramen vnitřních a vnějších sil a velikost tlačené oblasti ve styčnicku 1. Ze zjištěných rozměrů se stanovila hlavní tahová síla pro návrh hlavní tahové výztuže, u které byly ověřeny konstrukční zásady. Po návrhu hlavní tahové výztuže byly navrženy i svislé a vodorovné třmínky na zachycení příčných tahů vzniklých působící silou v tlačené diagonále. Podrobný výpočet se schématem navržené výztuže je popsán v příloze č. 4.



Obr. 4.12: Geometrie posuzované krátké konzoly podle ČSN EN 1992 1-1

Na zachycení hlavní tahové síly byly navrženy 3 smyčky průměru profilu 12 mm v jedné řadě. Na svislou složku příčných tahů byly navrženy 3 čtyřstřížné třmínky o průměru profilu 6 mm a na vodorovnou složku 5 čtyřstřížných třmínků o průměru profilu 6 mm. Shrnutí navržené výztuže s posouzením je popsáno v tabulce 4.5.

NÁVRH A POSOUZENÍ VÝZTUŽE					
Typ výztuže	$A_{s,req}$ [mm ²]	počet [ks]	průměr [mm]	$A_{s,prov}$ [mm ²]	využití [%]
hlavní tahová výztuž	642	6	12	679	95%
svislé třmínky	230	12	6	339	68%
vodorovné třmínky	451	20	6	565	80%

Tabulka 4.5: Návrh a posouzení výztuže varianty A vypočítané podle normy ČSN EN 1922 1-1

Navržená výztuž byla ještě posouzena v programu FIN EC 2023 (podrobný výpočet viz příloha č. 6), který po zadání geometrie a vložení navržené výztuže ověřil únosnost krátké konzoly podle normy ČSN EN 1992 1-1 (viz obrázek 4.13).

FIN EC je program, který slouží k návrhu a posouzení konstrukcí, prvků a detailů.

Typ konzoly	$a/z = 0,5 \leq 0,5 \Rightarrow$ krátká konzola
Hlavní tahová síla	$F_t = 284,2$ kN
Požadovaná plocha hlavní výztuže	$A_{sl,req} = 653,6$ mm ²
Zadaná plocha hlavní výztuže	$A_{sl} = 678,6$ mm ² $\geq A_{sl,req} = 653,6$ mm ² \Rightarrow VYHOVUJE 96,3 %
Únosnost bez smykové výztuže - 1	$\beta \times F_{Ed} = 99,88$ kN $\leq V_{Rdc} = 249,8$ kN
Únosnost bez smykové výztuže - 2	$F_{Ed} = 399,5$ kN $\leq V_{Rdc,max} = 4\ 511$ kN \Rightarrow JE POTŘEBA POUZE KONSTRUKČNÍ VÝZTUŽ 40,0 %
Požadovaná plocha vodorovné výztuže	$A_{sh,req} = 530,7$ mm ²
Zadaná plocha vodorovné výztuže	$A_{sh} = 565,5$ mm ² $\geq A_{sh,req} = 530,7$ mm ² \Rightarrow VYHOVUJE 93,8 %
Napětí pod styčnou deskou	$\sigma = 1,598$ MPa $\leq f_{cd} = 26,67$ MPa \Rightarrow VYHOVUJE 6,0 %

Obr 4.13: Ověření únosnosti navržené výztuže varianty A programem FIN EC 23

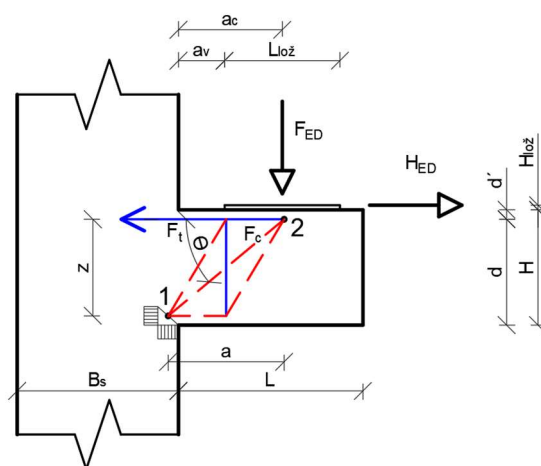
Porovnání výsledků působících sil v konstrukci a požadované plochy hlavní výztuže spočítaných ručním výpočtem a programem FIN EC 2023 je uveden v tabulce 4.6. Z tabulky je zřejmé, že porovnávané výsledky se liší jen v řádu jednotek, a můžeme tedy hodnoty brát jako odpovídající. Rozdíl ve vypočtených hodnotách bude pravděpodobně zapříčiněn zaokrouhlováním, v některých případech zřejmě také využitím zjednodušených vzorců pro ruční výpočet.

POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ			
porovnávaná veličina	ruční výpočet EXCEL		program FIN EC 23
hlavní tahová síla	279,1	kN	284,2 kN
síla v tlačené diagonále	446,4	kN	446,4 kN
příčná tahová síla	219,0	kN	214,8 kN
požadovaná plocha hlavní výztuže	641,6	mm ²	653,6 mm ²

Tabulka 4.6: Porovnání výsledků pro variantu A

Varianta B – dlouhá konzola

Stejným způsobem jako varianta A byla navržena i varianta B dlouhé konzoly podle normy ČSN EN 1992 1-1. Nejdříve byly stanoveny rozměry geometrie modelu a následně byla stanovena hlavní tahová síla a příčný tah od tlačené diagonály. Na tyto síly byly navrženy jednotlivé typy výztuže. Podrobný výpočet se schématem navržené výztuže je popsán v příloze č. 5.



Obr. 4.14: Geometrie posuzované dlouhé konzoly podle ČSN EN 1992 1-1

Na zachycení hlavní tahové síly byly navrženy 3 smyčky průměru profilu 12 mm ve dvou vrstvách. Na svislou složku příčných tahů bylo navrženo 5 čtyřstřížných třmínků o průměru profilu 6 mm a na vodorovnou složku bylo navrženo také 5 čtyřstřížných třmínků o průměru profilu 6 mm. Navržená výztuž a její posouzení je shrnuto v tabulce 4.7.

NÁVRH A POSOUZENÍ VÝZTUŽE					
Typ výztuže	$A_{s,req}$ [mm ²]	počet [ks]	průměr [mm]	$A_{s,prov}$ [mm ²]	využití [%]
hlavní tahová výztuž	1248	12	12	1357	92%
svislé třmínky	509	20	6	565	90%
vodorovné třmínky	439	20	6	565	78%

Tabulka 4.7: Návrh a posouzení výztuže varianty B vypočítané podle normy ČSN EN 1992 1-1

Navržená výztuž byla znovu posouzena v programu FIN EC 2023 (podrobný výpočet viz příloha č. 7), který po zadání geometrie a vložení navržené výztuže ověřil únosnost krátké konzoly podle normy ČSN EN 1992 1-1 (viz obr. 4.15).

Typ konzoly	$0,5 < a/z = 1,16 \leq 2,0 \Rightarrow$ dlouhá konzola
Hlavní tahová síla	$F_t = 559,7$ kN
Požadovaná plocha hlavní výztuže	$A_{sl,req} = 1\,287$ mm ²
Zadaná plocha hlavní výztuže	$A_{sl} = 1\,357$ mm ² $\geq A_{sl,req} = 1\,287$ mm ² \Rightarrow VYHOVUJE 94,9 %
Únosnost bez smykové výztuže - 1	$\beta \times F_{Ed} = 99,88$ kN $\leq V_{Rdc} = 149$ kN
Únosnost bez smykové výztuže - 2	$F_{Ed} = 399,5$ kN $\leq V_{Rdc,max} = 2\,023$ kN \Rightarrow JE POTŘEBA POUZE KONSTRUKČNÍ VÝZTUŽ 67,0 %
Požadovaná plocha svislé výztuže	$A_{sv,req} = 583,4$ mm ²
Zadaná plocha svislé výztuže	$A_{sv} = 565,5$ mm ² $\geq A_{sv,req} = 583,4$ mm ² \Rightarrow VYHOVUJE 81,2 %
Je požadováno alespoň 229,7 mm ² (3× třímínek) umístit do středních třech čtvrtin oblasti mezi sloupem a úložnou deskou	
Požadovaná plocha vodorovné výztuže	$A_{sh,req} = 504$ mm ²
Zadaná plocha vodorovné výztuže	$A_{sh} = 565,5$ mm ² $\geq A_{sh,req} = 504$ mm ² \Rightarrow VYHOVUJE 89,1 %
Napětí pod styčnou deskou	$\sigma = 1,598$ MPa $\leq f_{cd} = 26,67$ MPa \Rightarrow VYHOVUJE 6,0 %

Obr. 4.15: Ověření únosnosti navržené výztuže varianty B programem FIN EC 23

Porovnání výsledků působících sil v konstrukci a požadované plochy hlavní výztuže je uvedeno v tabulce 4.8 pro variantu B ručního výpočtu a výpočtu programem FIN EC 2023. Z tabulky je zřejmé, že porovnávané výsledky se liší jen v řádu jednotek jako u předchozí varianty A, a můžeme tedy hodnoty brát jako správné. Rozdíl ve vypočtených hodnotách bude nejspíše opět způsoben zaokrouhlováním, v některých případech zřejmě také využitím zjednodušených vzorců pro ruční výpočet.

POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ		
porovnávaná veličina	ruční výpočet EXCEL	program FIN EC 23
hlavní tahová síla	543,0 kN	559,7 kN
síla v tlačené diagonále	611,6 kN	611,2 kN
příčná tahová síla	292,4 kN	279,4 kN
požadovaná plocha hlavní výztuže	1248,4 mm ²	1287 mm ²

Tabulka 4.8: Porovnání výsledků pro variantu B

4.5. Porovnání krátké a dlouhé konzoly pro stejné vyztužení

Pro variantu A a variantu B řešené konzoly byla navrhována výztuž metodou náhradní příhradoviny a podle normy ČSN EN 1992 1-1 na zatížení od jeřábové dráhy (viz kapitola 4.1). Shrnutí a porovnání navržené výztuže jednotlivými metodami je zobrazeno v tabulce 4.9, následně byla stanovena jednotná výztuž (schéma viz příloha č. 8 a č. 9). Pro stejně vyztužené varianty bylo hledáno limitní zatížení, které bude konstrukce schopna přenést.

porovnávaná veličina		hlavní tahová výztuž	svislé třmínky	vodorovné třmínky
návrh metodou STM	krátká	$A_{s,req} = 666 \text{ mm}^2$	$A_{s,req} = 212 \text{ mm}^2$	$A_{s,req} = 404 \text{ mm}^2$
		3 smyčky $\varnothing 12$ v 1 vrstvě	3 tř. čtyřstř. $\varnothing 6$	4 tř. čtyřstř. $\varnothing 6$
		$A_{s,prov} = 679 \text{ mm}^2$	$A_{s,prov} = 339 \text{ mm}^2$	$A_{s,prov} = 452 \text{ mm}^2$
		využití 98%	využití 62%	využití 89%
	dlouhá	$A_{s,req} = 1270,8 \text{ mm}^2$	$A_{s,req} = 478 \text{ mm}^2$	$A_{s,req} = 404 \text{ mm}^2$
		3 smyčky $\varnothing 12$ ve 2 vrs.	5 tř. čtyřstř. $\varnothing 6$	4 tř. čtyřstř. $\varnothing 6$
		$A_{s,prov} = 1357 \text{ mm}^2$	$A_{s,prov} = 565 \text{ mm}^2$	$A_{s,prov} = 452 \text{ mm}^2$
		využití 94%	využití 85%	využití 89%
návrh podle ČSN EN 1992 1-1	krátká	$A_{s,req} = 642 \text{ mm}^2$	$A_{s,req} = 230 \text{ mm}^2$	$A_{s,req} = 451 \text{ mm}^2$
		3 smyčky $\varnothing 12$ v 1 vrstvě	3 tř. čtyřstř. $\varnothing 6$	5 tř. čtyřstř. $\varnothing 6$
		$A_{s,prov} = 679 \text{ mm}^2$	$A_{s,prov} = 339 \text{ mm}^2$	$A_{s,prov} = 565 \text{ mm}^2$
		využití 95%	využití 68%	využití 80%
	dlouhá	$A_{s,req} = 1248 \text{ mm}^2$	$A_{s,req} = 509 \text{ mm}^2$	$A_{s,req} = 439 \text{ mm}^2$
		3 smyčky $\varnothing 12$ ve 2 vrs.	5 tř. čtyřstř. $\varnothing 6$	5 tř. čtyřstř. $\varnothing 6$
		$A_{s,prov} = 1357 \text{ mm}^2$	$A_{s,prov} = 565 \text{ mm}^2$	$A_{s,prov} = 565 \text{ mm}^2$
		využití 92%	využití 90%	využití 78%
návrh stejného vyztužení		3 smyčky $\varnothing 12$ ve 2 vrs.	5 tř. čtyřstř. $\varnothing 6$	5 tř. čtyřstř. $\varnothing 6$

Tabulka 4.9: Porovnání navržené výztuže metodou STM a podle normy ČSN EN 1992 1-1 s návrhem jednotného vyztužení pro obě varianty

Porovnání limitního zatížení s programem FIN EC 2023

Nejprve bylo stanoveno limitní zatížení pro obě varianty metodou náhradní příhradoviny (viz tabulka 4.10), které bylo následně porovnáno s výsledky z programu FIN EC 2023 (viz tabulka 4.11 a 4.12). Ortogonální výztuž není kolmá na směr trhlin v tlačené diagonále,

proto byla výztuž vodorovných třmínků pro porovnání s programem FIN EC 2023 zvětšena o 20 %, se kterým program také počítá.

HLEDÁNÍ LIMITNÍHO ZATÍŽENÍ POMOCÍ STM METODY								
typ výztuže	zatížení [kN]		krátká			dlouhá		
	F _{ED}	H _{ED}	A _{s,req} [mm ²]	A _{s,prov} [mm ²]	využití [%]	A _{s,req} [mm ²]	A _{s,prov} [mm ²]	využití [%]
hlavní tahová výztuž	399,5	79,9	686,3	1357,2	51%	1270,8	1357,2	94%
svislé třmínky			221,2	565,5	39%	478,3	565,5	85%
vodorovné třmínky			484,9	565,5	86%	484,9	565,5	86%
hlavní tahová výztuž	426,6	85,32	732,9	1357,2	54%	1357,0	1357,2	100%
svislé třmínky			236,2	565,5	42%	510,8	565,5	90%
vodorovné třmínky			517,8	565,5	92%	517,8	565,5	92%
hlavní tahová výztuž	465	93	798,9	1357,2	59%	1479,1	1357,2	109%
svislé třmínky			257,4	565,5	46%	556,8	565,5	98%
vodorovné třmínky			564,4	565,5	100%	564,4	565,5	100%

Tabulka 4.10: Hledání limitního zatížení metodou náhradní příhradoviny se zvětšením výztuže vodorovných třmínků o 20 %

Z tabulky 4.10 je patrné vidět, že pro krátkou konzolu bylo nalezeno limitní zatížení svislé síly 465 kN, u kterého bylo dosaženo 100 % využití vodorovných třmínků. U dlouhé konzoly bylo dosaženo 100 % využití hlavní tahové výztuže pro svislou sílu 426,6 kN.

POROVNÁNÍ LIMITNÍHO ZATÍŽENÍ VARIANTY A				
typ výztuže	zatížení [kN]		STM	FIN EC 23
	F _{ED}	H _{ED}	využití [%]	využití [%]
hlavní tahová výztuž	399,5	79,9	50,6%	50,1%
svislé třmínky			39,1%	40,9%
vodorovné třmínky			85,8%	93,7%
hlavní tahová výztuž	426,6	85,32	54,0%	53,6%
svislé třmínky			41,8%	43,8%
vodorovné třmínky			91,6%	99,8%
hlavní tahová výztuž	465	93	58,9%	58,6%
svislé třmínky			45,5%	48,0%
vodorovné třmínky			99,8%	108,4%

Tabulka 4.11: Porovnání limitního zatížení krátké konzoly s programem FIN EC 2023

Z porovnání výsledků limitního zatížení krátké konzoly s programem FIN EC 2023 znázorněného v tabulce 4.11 je patrné, že výsledky využití pro hlavní tahovou výztuž a výsledky využití pro svislé třmínky jsou velmi podobné. Ale hodnoty pro vodorovné třmínky se liší v řádu jednotek. Tento rozdíl může být způsoben rozdílným přístupem ve výpočtu příčných tahů, protože pro ruční výpočet byl využit zjednodušený vztah.

POROVNÁNÍ LIMITNÍHO ZATÍŽENÍ VARIANTY B				
typ výztuže	zatížení [kN]		STM	FIN EC 23
	F_{ED}	H_{ED}	využití [%]	využití [%]
hlavní tahová výztuž	399,5	79,9	93,6%	94,9%
svislé třmínky			84,6%	81,2%
vodorovné třmínky			85,8%	89,1%
hlavní tahová výztuž	420	93	98,4%	99,9%
svislé třmínky			88,9%	85,4%
vodorovné třmínky			75,1%	93,2%
hlavní tahová výztuž	426,6	85,32	100,0%	101,7%
svislé třmínky			90,3%	86,8%
vodorovné třmínky			91,6%	94,5%

Tabulka 4.12: Porovnání limitního zatížení dlouhé konzoly s programem FIN EC 2023

U porovnání výsledků pro dlouho konzolu s programem FIN EC 2023 v tabulce 4.12 si lze všimnout podobných výsledků pro hlavní tahovou výztuž. Ale hodnot u svislých a vodorovných třmínku se již liší o pár jednotek procent. Tento rozdíl bude nejspíše opět způsoben rozdílným přístupem ve výpočtu příčných tahů.

Porovnání limitního zatížení s programem IDEA StatiCa

Pro porovnání výsledků s programem IDEA StatiCa už nebylo uvažováno se zvětšením výztuže vodorovných třmínků o 20 %. Výsledky vypočítané metodou náhradní příhradoviny (viz tabulka 4.13) byly porovnávány s výsledky z programu IDEA StatiCa. Hodnoty využití označené IDEA jsou brány jako poměr napětí a pevnosti výztuže.

HLEDÁNÍ LIMITNÍHO ZATÍŽENÍ POMOCÍ STM METODY								
typ výztuže	zatížení [kN]		krátká			dlouhá		
	F _{ED}	H _{ED}	A _{s,req} [mm ²]	A _{s,prov} [mm ²]	využití [%]	A _{s,req} [mm ²]	A _{s,prov} [mm ²]	využití [%]
hlavní tahová výztuž	399,5	79,9	686,3	1357,2	51%	1270,8	1357,2	94%
svislé třmínky			221,2	565,5	39%	478,3	565,5	85%
vodorovné třmínky			404,1	565,5	71%	404,1	565,5	71%
hlavní tahová výztuž	426,6	85,32	732,9	1357,2	54%	1357,0	1357,2	100%
svislé třmínky			236,2	565,5	42%	510,8	565,5	90%
vodorovné třmínky			431,5	565,5	76%	431,5	565,5	76%
hlavní tahová výztuž	559	111,8	960,3	1357,2	71%	1778,2	1357,2	131%
svislé třmínky			309,5	565,5	55%	669,3	565,5	118%
vodorovné třmínky			565,4	565,5	100%	565,4	565,5	100%

Tabulka 4.13: Hledání limitního zatížení metodou náhradní příhradoviny bez uvažování zvětšení výztuže vodorovných třmínků o 20 %

Z tabulky 4.13 vyplývá, že pro krátkou konzolu bylo nalezeno limitní zatížení svislé síly 559 kN, u kterého bylo dosaženo 100 % využití vodorovných třmínků. U dlouhé konzoly bylo dosaženo 100 % využití hlavní tahové výztuže pro svislou sílu 426,6 kN.

POROVNÁNÍ LIMITNÍHO ZATÍŽENÍ VARIANTY A				
typ výztuže	zatížení [kN]		STM	IDEA
	F _{ED}	H _{ED}	využití [%]	využití [%]
hlavní tahová výztuž	399,5	79,9	50,6%	30,3%
svislé třmínky			39,1%	50,0%
vodorovné třmínky			71,5%	52,4%
hlavní tahová výztuž	559	111,8	70,8%	71,7%
svislé třmínky			54,7%	41,3%
vodorovné třmínky			100,0%	70,4%
hlavní tahová výztuž	730	146	92,4%	92,5%
svislé třmínky			71,5%	55,5%
vodorovné třmínky			130,6%	86,9%
hlavní tahová výztuž	945	189	119,6%	98,4%
svislé třmínky			92,5%	84,5%
vodorovné třmínky			169,0%	99,6%

Tabulka 4.14: Porovnání limitního zatížení krátké konzoly s programem IDEA StatiCa

Z porovnání výsledků limitního zatížení krátké konzoly s programem IDEA StatiCa znázorněného v tabulce 4.14 je patrné, že se výsledky využití navržené výztuže výrazně liší. Únosnost krátké konzoly vychází v programu výrazně větší než ručním výpočtem. Tento rozdíl může být způsoben rozdílnými metodami výpočtu.

POROVNÁNÍ LIMITNÍHO ZATÍŽENÍ VARIANTY B				
typ výztuže	zatížení [kN]		STM	IDEA
	F _{ED}	H _{ED}	využití [%]	využití [%]
hlavní tahová výztuž	399,5	79,9	93,6%	77,3%
svislé třmínky			84,6%	66,8%
vodorovné třmínky			71,5%	81,8%
hlavní tahová výztuž	426,6	85,32	100,0%	83,1%
svislé třmínky			90,3%	70,7%
vodorovné třmínky			76,3%	87,4%
hlavní tahová výztuž	450	90	105,5%	88,1%
svislé třmínky			95,3%	74,1%
vodorovné třmínky			80,5%	92,3%
hlavní tahová výztuž	600	120	140,6%	97,3%
svislé třmínky			127,0%	93,3%
vodorovné třmínky			107,3%	99,9%

Tabulka 4.15: Porovnání limitního zatížení dlouhé konzoly s programem IDEA StatiCa

U porovnání výsledků pro dlouhou konzolu s programem IDEA StatiCa v tabulce 4.15 si lze opět všimnout rozdílných výsledků jako u krátké konzoly. Únosnost dlouhé konzoly vychází opět výrazně větší při výpočtu programem oproti ručnímu výpočtu.

Porovnání limitního zatížení pro hlavní tahovou výztuž

Pro lepší přehlednost bylo samostatně porovnáno limitní zatížení hlavní tahové výztuže vypočítané programem FIN EC 2023, programem IDEA StatiCa a ručním výpočtem metodou náhradní příhradoviny.

POROVNÁNÍ LIMITNÍHO ZATÍŽENÍ VARIANTY A					
typ výztuže	zatížení [kN]		STM	FIN EC 23	IDEA
	F _{ED}	H _{ED}	využití [%]	využití [%]	využití [%]
hlavní tahová výztuž	399,5	79,9	50,6%	50,1%	30,3%
hlavní tahová výztuž	705	141	89,2%	90,1%	92,5%
hlavní tahová výztuž	778	155,6	98,5%	99,8%	93,5%
hlavní tahová výztuž	789	157,8	99,9%	101,3%	93,7%
hlavní tahová výztuž	945	189	119,6%	122,5%	98,4%

Tabulka 4.16: Porovnání limitního zatížení hlavní tahové výztuže krátké konzoly

U porovnání krátké konzoly (viz tabulka 4.16) lze vidět, že výsledky ručním výpočtem a programem FIN EC 2023 jsou velmi podobné. Ale výsledky z programu IDEA StatiCa se už značně liší.

POROVNÁNÍ LIMITNÍHO ZATÍŽENÍ VARIANTY B					
typ výztuže	zatížení [kN]		STM	FIN EC 23	IDEA
	F _{ED}	H _{ED}	využití [%]	využití [%]	využití [%]
hlavní tahová výztuž	399,5	79,9	93,6%	94,9%	77,3%
hlavní tahová výztuž	420	84	98,4%	99,9%	81,7%
hlavní tahová výztuž	426,6	85,32	100,0%	101,7%	83,1%
hlavní tahová výztuž	450	90	105,5%	107,6%	88,1%
hlavní tahová výztuž	600	120	140,6%	146,5%	97,3%

Tabulka 4.17: Porovnání limitního zatížení hlavní tahové výztuže dlouhé konzoly

Jako u porovnání krátké konzoly i u porovnání dlouhé konzoly jsou výsledky pro ruční výpočet a výsledky z programu FIN EC 2023 podobné (viz tabulka 4.17), ale výsledky únosnosti z programu IDEA StatiCa se opět výrazně liší.

4.6. Maximální vyztužení krátké a dlouhé konzoly

Pro variantu A i variantu B řešené konzoly bylo hledáno maximální zatížení, na které lze dané konzoly vyztužit, aby splňovaly konstrukční zásady. Nejprve byly ověřeny konstrukční zásady pro maximální zatížení hlavní tahové výztuže. Pro stejná zatížení byly dále ověřeny konstrukční zásady i svislých a vodorovných třmínků.

Varianta A – krátká konzola

HLAVNÍ TAHOVÁ VÝZTUŽ						
návrh výztuže a posouzení						
F _{ED} [kN]	T ₂₁ [kN]	A _{s,req} [mm ²]	počet [ks]	průměr [mm]	A _{s,prov} [mm ²]	využití [%]
399,5	298,55	686,3	12	12	1357,2	51%
450	336,29	773,1	12	12	1357,2	57%
600	450,32	1035,2	12	16	2412,7	43%
800	600,43	1380,3	12	16	2412,7	57%
1000	750,54	1725,4	12	16	2412,7	72%
1200	900,65	2070,5	12	16	2412,7	86%
1800	1368,71	3146,5	8	28	4926,0	64%
1840	1399,12	3216,4	8	28	4926,0	65%
konstrukční zásady zakřivení						
F _{ED} [kN]	φ _{m,min} [mm]	zakřivení [mm]	posudek	uložení [mm]	B _{konzoly} [mm]	posudek
399,5	61,6	120	0,51	502	700	0,72
450	69,4	120	0,58	502	700	0,72
600	76,7	160	0,48	646	700	0,92
800	102,3	160	0,64	646	700	0,92
1000	127,8	160	0,80	646	700	0,92
1200	153,4	160	0,96	646	700	0,92
1800	245,5	252	0,97	686	700	0,98
1840	251,0	252	1,00	686	700	0,98
konstrukční zásady kotvení						
F _{ED} [kN]	l _{b,min} [mm]	l _{bd} [mm]	l _b [mm]	posudek		
399,5	120	123,2	607	0,20		
450	120	138,8	607	0,23		
600	160	139,4	607	0,23		
800	160	185,8	607	0,31		
1000	160	232,3	607	0,38		
1200	160	278,7	607	0,46		
1800	280	363,1	607	0,60		
1840	280	371,1	607	0,61		

Tabulka 4.18: Limitní zatížení hlavní tahové výztuže krátké konzoly, které lze vyztužit

SVISLÉ TŘMÍNKY									
návrh výztuže a posouzení									
F _{ED} [kN]	C ₄₁ [kN]	průměr [mm]	T [kN]	T _{st} [kN]	A _{s,req} [mm ²]	počet [ks]	průměr [mm]	A _{s,prov} [mm ²]	využití [%]
399,5	455,4	12	200,4	96,2	221,2	20	6	565,5	39%
600	684,9	16	301,4	145,3	334,1	20	6	565,5	59%
800	913,2	16	401,8	193,8	445,5	20	6	565,5	79%
1200	1369,8	16	602,7	290,7	668,2	24	6	678,6	98%
1840	2109,2	28	928,1	453,7	1043,0	24	8	1206,4	86%
konstrukční zásady									
F _{ED} [kN]	C ₄₁ [kN]	průměr [mm]	T [kN]	S _{min} [mm]	s [mm]	posudek	S _{t,min} [mm]	S _t [mm]	posudek
399,5	455,4	12	200,4	400	127,3	0,32	600,0	210,0	0,35
600	684,9	16	301,4	400	127,5	0,32	600,0	210,0	0,35
800	913,2	16	401,8	400	127,5	0,32	600,0	210,0	0,35
1200	1369,8	16	602,7	400	102,0	0,25	600,0	210,0	0,35
1840	2109,2	28	928,1	400	102,4	0,26	600,0	210,0	0,35

Tabulka 4.19: Ověření konstrukčních zásad svislých třmínku krátké konzoly pro limitní zatížení

VODOROVNÉ TŘMÍNKY									
návrh výztuže a posouzení									
F _{ED} [kN]	C ₄₁ [kN]	průměr [mm]	T [kN]	T _{vt} [kN]	A _{s,req} [mm ²]	počet [ks]	průměr [mm]	A _{s,prov} [mm ²]	využití [%]
399,5	455,4	12	200,4	175,8	404,1	20	6	565,5	71%
600	684,9	16	301,4	264,0	606,9	24	6	678,6	89%
800	913,2	16	401,8	352,0	809,2	20	8	1005,3	80%
1200	1369,8	16	602,7	528,0	1213,8	20	10	1570,8	77%
1840	2109,2	28	928,1	809,6	1861,1	24	10	1885,0	99%
konstrukční zásady									
F _{ED} [kN]	C ₄₁ [kN]	průměr [mm]	T [kN]	S _{min} [mm]	s [mm]	posudek	S _{t,min} [mm]	S _t [mm]	posudek
399,5	455,4	12	200,4	400	250,0	0,63	600,0	216,7	0,36
600	684,9	16	301,4	400	200,0	0,50	600,0	216,7	0,36
800	913,2	16	401,8	400	250,0	0,63	600,0	216,7	0,36
1200	1369,8	16	602,7	400	250,0	0,63	600,0	216,7	0,36
1840	2109,2	28	928,1	400	200,0	0,50	600,0	216,7	0,36

Tabulka 4.20: Ověření konstrukčních zásad vodorovných třmínku krátké konzoly pro limitní zatížení

Pro variantu A krátké konzoly bylo metodou náhradní příhradoviny zjištěno limitní zatížení 1840 kN (viz tabulka 4.18), pro které lze konstrukci ještě vyztužit běžnou výztuží, aby byly splněny konstrukční zásady.

Varianta B – dlouhá konzola

HLAVNÍ TAHOVÁ VÝZTUŽ						
návrh výztuže a posouzení						
F_{ED} [kN]	T_{21} [kN]	$A_{s,req}$ [mm ²]	počet [ks]	průměr [mm]	$A_{s,prov}$ [mm ²]	využití [%]
399,5	552,8	1270,8	12	12	1357,2	94%
450	628,5	1444,9	12	16	2412,7	60%
600	838,0	1926,5	12	16	2412,7	80%
800	1133,3	2605,4	8	22	3041,1	86%
975	1401,3	3221,3	8	28	4926,0	65%
konstrukční zásady zakřivení						
F_{ED} [kN]	$\phi_{m,min}$ [mm]	zakřivení [mm]	posudek	uložení [mm]	$B_{konzoly}$ [mm]	posudek
399,5	114,1	120	0,95	502	700	0,72
450	107,1	160	0,67	646	700	0,92
600	142,7	160	0,89	646	700	0,92
800	236,2	242	0,98	642	700	0,92
975	251,3	252	1,00	686	700	0,98
konstrukční zásady kotvení						
F_{ED} [kN]	$l_{b,min}$ [mm]	l_{bd} [mm]	l_b [mm]	posudek		
399,5	120	228,1	607	0,38		
450	160	194,5	607	0,32		
600	160	259,3	607	0,43		
800	220	382,6	607	0,63		
975	280	371,7	607	0,61		

Tabulka 4.21: Limitní zatížení hlavní tahové výztuže dlouhé konzoly, které lze vyztužit

SVISLÉ TŘMÍNKY									
návrh výztuže a posouzení									
F _{ED} [kN]	C ₄₁ [kN]	průměr [mm]	T [kN]	T _{st} [kN]	A _{s,req} [mm ²]	počet [ks]	průměr [mm]	A _{s,prov} [mm ²]	využití [%]
399,5	619,1	12	272,4	208,1	478,3	20	6	565,5	85%
450	701,8	16	308,8	236,9	544,7	20	6	565,5	96%
600	935,7	16	411,7	315,9	726,3	20	8	1005,3	72%
800	1259,9	22	554,4	428,3	984,5	20	8	1005,3	98%
975	1551,0	28	682,5	530,8	1220,1	16	10	1256,6	97%
konstrukční zásady									
F _{ED} [kN]	C ₄₁ [kN]	průměr [mm]	T [kN]	S _{min} [mm]	s [mm]	posudek	S _{t,min} [mm]	S _t [mm]	posudek
399,5	619,1	12	272,4	322,5	127,3	0,39	322,5	210,0	0,65
450	701,8	16	308,8	319,5	127,5	0,40	319,5	210,0	0,66
600	935,7	16	411,7	319,5	127,5	0,40	319,5	210,0	0,66
800	1259,9	22	554,4	315	127,8	0,41	315,0	210,0	0,67
975	1551,0	28	682,5	310,5	170,7	0,55	310,5	210,0	0,68

Tabulka 4.22: Ověření konstrukčních zásad svislých třmínku dlouhé konzoly pro limitní zatížení

VODOROVNÉ TŘMÍNKY									
návrh výztuže a posouzení									
F _{ED} [kN]	C ₄₁ [kN]	průměr [mm]	T [kN]	T _{vt} [kN]	A _{s,req} [mm ²]	počet [ks]	průměr [mm]	A _{s,prov} [mm ²]	využití [%]
399,5	619,1	12	272,4	175,8	404,1	20	6	565,5	71%
450	701,8	16	308,8	198,0	455,2	20	6	565,5	80%
600	935,7	16	411,7	264,0	606,9	24	6	678,6	89%
800	1259,9	22	554,4	352,0	809,2	20	8	1005,3	80%
975	1551,0	28	682,5	429,0	986,2	20	8	1005,3	98%
konstrukční zásady									
F _{ED} [kN]	C ₄₁ [kN]	průměr [mm]	T [kN]	S _{min} [mm]	s [mm]	posudek	S _{t,min} [mm]	S _t [mm]	posudek
399,5	619,1	12	272,4	322,5	125	0,39	322,5	216,7	0,67
450	701,8	16	308,8	319,5	125	0,39	319,5	216,7	0,68
600	935,7	16	411,7	319,5	100	0,31	319,5	216,7	0,68
800	1259,9	22	554,4	315	125	0,40	315,0	216,7	0,69
975	1551,0	28	682,5	310,5	125	0,40	310,5	216,7	0,70

Tabulka 4.23: Ověření konstrukčních zásad vodorovných třmínku dlouhé konzoly pro limitní zatížení

Pro variantu B dlouhé konzoly bylo metodou náhradní příhradoviny zjištěno limitní zatížení 975 kN (viz tabulka 4.21), pro které lze konstrukci ještě vyztužit běžnou výztuží, aby byly splněny konstrukční zásady.

4.7. Posouzení vlivu náběhu na únosnosti a spotřebě materiálu

Při porovnávání vlivu únosnosti varianty A oproti variantě B pro spotřebu materiálu a limitní únosnost bylo uvažováno stejné vyztužení viz schéma v příloze č. 8 a č. 9.

Spotřeba výztuže na vyztužení krátké konzoly byla výpočtem stanovena na 0,00492 m³ oceli a na vyztužení dlouhé konzoly na 0,00485 m³ oceli. Z porovnání spotřeby výztuže vychází, že bylo potřeba téměř stejné množství výztuže pro obě varianty. Na zhotovení krátké konzoly s náběhem bude potřeba o 0,140 m³ více betonu oproti dlouhé konzole.

Únosnost krátké konzoly vychází pro ruční výpočet metodou náhradní příhradoviny s uvažováním zvětšení výztuže vodorovných třmíneků o 9 % větší než u dlouhé konzoly (viz tabulka 4.24). Bez uvažování zvětšení výztuže vodorovných třmíneků vychází únosnost krátké konzoly až o 31 % větší než pro dlouhou konzolu (viz tabulka 4.25).

POROVNÁNÍ VLIVU ÚNOSNOSTI				
PARAMETR	KRÁTKÁ	DLOUHÁ	ROZDÍL	ROZDÍL V %
spotřeba oceli [m ³]	0,00492	0,00485	0,00007	101%
spotřeba betonu [m ³]	0,415	0,275	0,140	151%
únosnost [kN]	465	426,6	38,4	109%

Tabulka 4.24: Porovnání vlivu únosnosti s uvažováním zvětšení vodorovné výztuže o 20 %

POROVNÁNÍ VLIVU ÚNOSNOSTI				
PARAMETR	KRÁTKÁ	DLOUHÁ	ROZDÍL	ROZDÍL V %
spotřeba oceli [m ³]	0,00492	0,00485	0,00007	101%
spotřeba betonu [m ³]	0,415	0,275	0,140	151%
únosnost [kN]	559	426,6	132,4	131%

Tabulka 4.25: Porovnání vlivu únosnosti bez uvažováním zvětšení vodorovné výztuže o 20 %

5. Závěr

Předkládaná bakalářská práce se zabývá problematikou krátkých konzol, jejich návrhem a vyztužením. V rámci práce je vysvětlen princip porušení krátkých konzol, rozdělení krátkých konzol a popsán způsob jejich návrhu. Detailněji je v práci popsán přístup pomocí metody příhradové analogie (strut and tie model) a postup podle normy ČSN EN 1992 1-1. Jednotlivé přístupy jsou aplikovány na konkrétním příkladu v praktické části.

Praktická část práce se zabývala řešením a analýzou konkrétních variant krátkých konzol. Byly vypracovány dvě varianty řešení krátké konzoly, a to pro typ krátké konzoly a dlouhé konzoly, jejichž návrh se stanovil na základě podkladů výrobní haly v Lanškrouně. Pro tyto varianty byl proveden ruční výpočet metodou náhradní příhradoviny. Modely pro výpočet byly navrženy v programu AStrutTie 2017. Správnost vypočtených hodnot vnitřních sil byla ověřena porovnáním s hodnotami z programu AStrutTie 2017. Na tyto síly byla navržena hlavní tahová výztuž a konstrukční výztuž na zachycení příčných tahů. Podle postupu z normy ČSN EN 1992 1-1 byla opět navržena výztuž pro obě varianty krátkých konzol na působící zatížení. Výsledky při návrhu podle normy byly porovnány s programem FIN EC 2023, u kterých bylo dosaženo také velmi podobných hodnot.

Cílem návrhu výztuže podle normy ČSN a pomocí vlastního modelu náhradní příhradoviny bylo zjistit, jak se budou návrhy lišit. Z výsledků bylo zřejmé, že obě varianty návrhu výztuže se téměř nelišily.

Dále byla pro obě varianty navržena stejná výztuž a bylo hledáno limitní zatížení, které bude navržena výztuž schopna přenést. Vypočítané limitní zatížení metodou náhradní příhradoviny bylo porovnáno s výsledky z programu FIN EC 2023 a IDEA StatiCa. Vypočítané limitní zatížení porovnané se zatížením z programu FIN EN 2023 vycházelo velmi podobně, ale při porovnání s programem IDEA StatiCa se již výrazně lišilo. Rozdíly byly nejspíše zapříčiněné rozdílnými metodami výpočtu jednotlivých programů, protože

FIN EC 2023 počítá podle normy ČSN EN 1992 1-1 a IDEA StatiCa nelineárním výpočtem metodou konečných prvků.

Pro obě varianty bylo také hledáno maximální zatížení, na které lze dané konzoly vyztužit běžnou betonářskou výztuží, aby splňovaly konstrukční zásady. Pro variantu krátké konzoly bylo vypočítáno limitní zatížení o téměř 89 % větší než pro variantu dlouhé konzoly.

Zjištění limitního zatížení pro stejně vyztužené konzoly a hledání maximálního zatížení, pro které lze konzolu vyztužit, bylo prováděno s cílem porovnání vlivu náběhu. Z těchto porovnání je patrné, že pro větší zatížení je vždy výhodné navrhovat variantu krátké konzoly.

Nakonec byl posouzen vliv náběhu na únosnosti a spotřebě materiálu. Z porovnání bylo zjištěno, že náběh, díky kterému se z dlouhé konzoly stane krátká, má velmi pozitivní vliv na únosnost. Přičemž spotřeba oceli na zhotovení výztuže krátké konzoly s náběhem je téměř totožná se spotřebou pro dlouhou konzolu, ale spotřeba betonu je o 51 % větší. Tento rozdíl spotřeby betonu při návrhu celého sloupu je zanedbatelný vzhledem ke zvýšené únosnosti.

Výpočty byl potvrzen předpoklad lepší únosnosti varianty konzoly s náběhem oproti variantě bez náběhu s malým rozdílem ve spotřebě materiálu. Při projektování se tedy vyplatí navrhovat konzoly, které vychází jako krátké, pokud to dispozice a možnost řešení konstrukce dovolí.

Prací na bakalářské práci jsem si prohloubil znalosti v oblasti krátkých konzol a jejich řešení, blíže jsem se seznámil s tvorbou a návrhem modelů náhradní příhradoviny a naučil jsem se pracovat v programech Idea StatiCa, FIN EC 2023 a AStrutTie 2017.

Použitá literatura:

- [1] KOHOUTKOVÁ, Alena, Jaroslav PROCHÁZKA a Jiří ŠMEJKAL. *Modelování a vyztužování betonových prvků: lokální modely železobetonových konstrukcí*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2013. ISBN 978-80-01-05340-9.
- [2] PROCHÁZKA, Jaroslav, Jiří ŠMEJKAL a Jiří ŠMEJKAL. *Betonové vícepodlažní a halové konstrukce: lokální modely železobetonových konstrukcí*. 2. přepracované vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2022. ISBN 978-80-01-06949-3.
- [3] ŠMEJKAL, Jiří a Jaroslav PROCHÁZKA. Navrhování s použitím modelů náhradní příhradoviny. *Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. Praha: BETON TKS, 2009, **9**(5). ISSN 1213-3116.
- [4] ŠMEJKAL, Jiří a Jaroslav PROCHÁZKA. Navrhování konzol s použitím modelů náhradní příhradoviny. *Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. Praha: BETON TKS, 2009, **9**(6). ISSN 1213-3116.
- [5] ŠMEJKAL, Jiří a Jaroslav PROCHÁZKA. Navrhování nepřímo uložených a složených konzol s použitím modelů náhradní příhradoviny. *Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. Praha: BETON TKS, 2010, **10**(1). ISSN 1213-3116.
- [6] ČSN EN 1992-1-1 (731201): Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ÚNMZ, 2006.
- [7] SEMRÁD, Karel a Csaba SZÜCS. *Řešené příklady betonových konstrukcí pomocí příhradové analogie – projekt FRVŠ 2311/2009/G1* [online]. Praha: ČVUT, 2009 [cit. 2023-04-20]. Dostupné z:
https://concrete.fsv.cvut.cz/projekty/pdf/frvs2009/Prihradova_analogie_a_resene_prikklady.pdf
- [8] LÖWITOVÁ, Olga. Nekomplikovaná výztuž pro krátké monolitické a prefabrikované konzoly. *Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. Praha: BETON TKS, 2012, **12**(1). ISSN 1213-3116.

- [9] ŠMEJKAL, Jiří a Jaroslav PROCHÁZKA. *Poruchové oblasti železobetonových konstrukcí (TP 1.13.1)*. PROFESIS: Profesní informační systém ČKAIT [online]. Praha: ČKAIT, 2015 [cit. 2023-04-20]. Dostupné z: <https://profesis.ckait.cz/dokumenty-ckait/tp-1-13-1/>
- [10] *Hala - Agema Holešov* [online]. In: . [cit. 2023-04-20]. Dostupné z: <https://www.prefa.cz/wp-content/gallery/Typov%C3%A1-hala/Hala-Agema-Hole%C5%A1ov.png>
- [11] PUTRI, Mutmainnah Rahman, Djoko SULISTYO a Andreas TRIWIYONO. Reinforced Concrete Corbel's Behavior using Strut and Tie Model. *Journal of the Civil Engineering Forum* [online]. 2018 [cit. 2023-05-08].

Použité programy:

- [12] AutoCAD 2022 – studentská verze
- [13] SCIA Engineer 22 – studentská verze
- [14] IDEA StatiCa – studentská verze
- [15] AStrutTie 2017 – zkušební verze
- [16] FIN EC 2023 – demoverze
- [17] Microsoft Excel
- [18] Microsoft Word

Seznam příloh:

PŘÍLOHA č. 1 – rovnice k výpočtu podle ČSN EN 1992 1-1

PŘÍLOHA č. 2 - návrh varianty A pomocí STM

PŘÍLOHA č. 3 - návrh varianty B pomocí STM

PŘÍLOHA č. 4 - návrh varianty A podle ČSN EN 1992 1-1

PŘÍLOHA č. 5 - návrh varianty B podle ČSN EN 1992 1-1

PŘÍLOHA č. 6 - návrh varianty A programem FIN EC

PŘÍLOHA č. 7 - návrh varianty B programem FIN EC

PŘÍLOHA č. 8 – schéma varianty A pro stejné vyztužení

PŘÍLOHA č. 9 – schéma varianty B pro stejné vyztužení

PŘÍLOHA č. 1 – rovnice k výpočtu podle ČSN EN 1992 1-1

Šířka tlačené oblasti při okraji sloupu ve styčnicku 1 se vypočítá z podmínky rovnováhy pro styčnick 1:

$$x_1 = \frac{F_{ED}}{\sigma_{Rd,max} * b}$$

kde F_{ED} velikost svislé síly

b šířka konzoly

$\sigma_{Rd,max}$ únosnost betonu v tlaku podle typu styčnicku

Rameno vnějších sil vychází ze vztahu:

$$a = a_c + 0,5 * x_1 + \frac{H_{ED}}{F_{ED}} * (d' + \Delta h)$$

kde a_c vzdálenost působící síly od líce sloupu

x_1 šířka tlačené oblasti

H_{ED} velikost vodorovné síly

F_{ED} velikost svislé síly

d' vzdálenost osy hlavní tahové výztuže od okraje konzoly

Δh výška ložiska

Výška tlačené oblasti při okraji sloupu ve styčnicku 1 vychází z momentové podmínky ve styčnicku 1:

$$y_1 = d - \sqrt{d^2 - 2 * x_1 * \left(a + \frac{H_{ED}}{F_{ED}} * (d' + \Delta h) \right)}$$

kde d účinná výška průřezu

x_1 šířka tlačené oblasti

a rameno vnějších sil

H_{ED} velikost vodorovné síly

F_{ED} velikost svislé síly

d' vzdálenost osy hlavní tahové výztuže od okraje konzoly

Δh výška ložiska

Rameno vnitřních sil se vypočítá podle vztahu:

$$z = d - 0,5 * y_1$$

kde y_1 výška tlačené oblasti

d účinná výška průřezu

Dále se stanoví hlavní tahová síla při horním okraji konzoly, ze které se stanoví průřezová plocha hlavní tahové výztuže:

$$F_t = F_{ED} * \frac{a}{z} + H_{ED}$$

kde a rameno vnějších sil

H_{ED} velikost vodorovné síly

F_{ED} velikost svislé síly

z rameno vnitřních sil

$$A_{s,main} = \frac{F_t}{f_{yd}}$$

kde F_t velikost hlavní tahové síly

f_{yd} návrhová hodnota meze kluzu oceli

Síla v betonové vzpěře vychází ze vztahu:

$$F_c = \frac{F_{ED}}{\sin \theta}$$

kde F_{ED} velikost svislé síly

θ úhel sklonu tlačené diagonály

Výpočet svislé výztuže konzoly:

$$A_{s,v} = \beta * \frac{F_{ED}}{f_{yd}}$$

kde F_{ED} velikost svislé síly

f_{yd} návrhová hodnota meze kluzu oceli

β redukční součinitel $\beta = \frac{a_v}{2*d}$ nejméně $\beta = 0,25$

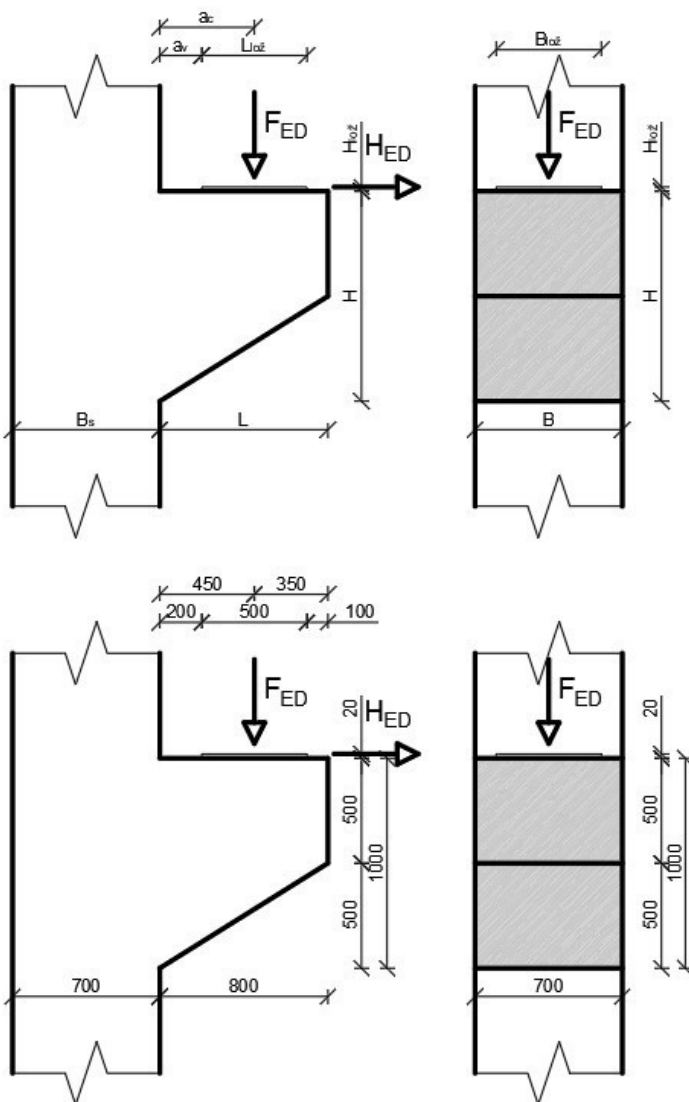
d účinná výška průřezu

a_v vzdálenost líce sloupu od ložiska

PŘÍLOHA č. 2 - návrh varianty A pomocí STM

KRÁTKÁ KONZOLA S NÁBĚHEM - VARIANTA A

GEOMETRIE:



šířka sloupu	$B_s =$	700	mm
délka konzoly	$L =$	800	mm
výška konzoly	$H =$	1000	mm
šířka konzoly	$B =$	700	mm
ložisko délka	$L_{lož} =$	500	mm
ložisko šířka	$B_{lož} =$	500	mm
ložisko výška	$H_{lož} =$	20	mm
vzd. lož. od hrany		100	mm
vzd. lož. od sloupu	$a_v =$	200	mm

ZATÍŽENÍ:

svislá síla	$F_{ED} =$	399,5	kN
vodorovná síla	$H_{ED} =$	16,2	kN
	$\min H_{ED} =$	$F_{ED} * 0,2 = 399,5 * 0,2 =$	79,9 kN

MATERIÁLY:

BETON C40/50	$f_{ck} =$	40	MPa
	$f_{cd} =$	26,67	MPa
	$f_{ctd} =$	1,67	MPa
	$f_{bd} =$	$2,25 * 1 * 1 * 1,67 =$	3,75
OCEL	$f_{yk} =$	500	MPa
	$f_{yd} =$	435	MPa

KRYTÍ:

stupeň vlivu prostředí:	XC3
návrhová životnost:	50 let
třída konstrukce:	S4

úprava klasifikace:

$$S4 - 2 \text{ (pevnostní třída betonu, kontrola kvality)} = S2$$

$$c_{\min, \text{dur}} = 15 \text{ mm}$$

odhad průměru výztuže: $\phi_s =$ 12 mm

$$c_{\min} = \max(c_{\min, b}; c_{\min, \text{dur}}; 10 \text{ mm}) = \max(12; 15; 10) = 15 \text{ mm}$$

$$Dc_{\text{dev}} = 5 \text{ mm}$$

$$c_{\text{nom}} = c_{\min} + Dc_{\text{dev}} = 15 + 5 = 20 \text{ mm}$$

VOLÍM KRYTÍ $c =$ 25 mm

MAXIMALNÍ NAPĚTÍ:

$$\nu = 1 - \frac{f_{ck}}{250} = 1 - \frac{40}{250} = 0,84$$

styčnick s tlakovými silami CCC

$$\sigma_{RD, \text{MAX}, 1} = k_1 * \nu * f_{cd} = 1 * 0,84 * 26,67 = 22,4 \text{ MPa}$$

styčnick s táhlem CCT

$$\sigma_{RD, \text{MAX}, 2} = k_1 * \nu * f_{cd} = 0,85 * 0,84 * 26,67 = 19,04 \text{ MPa}$$

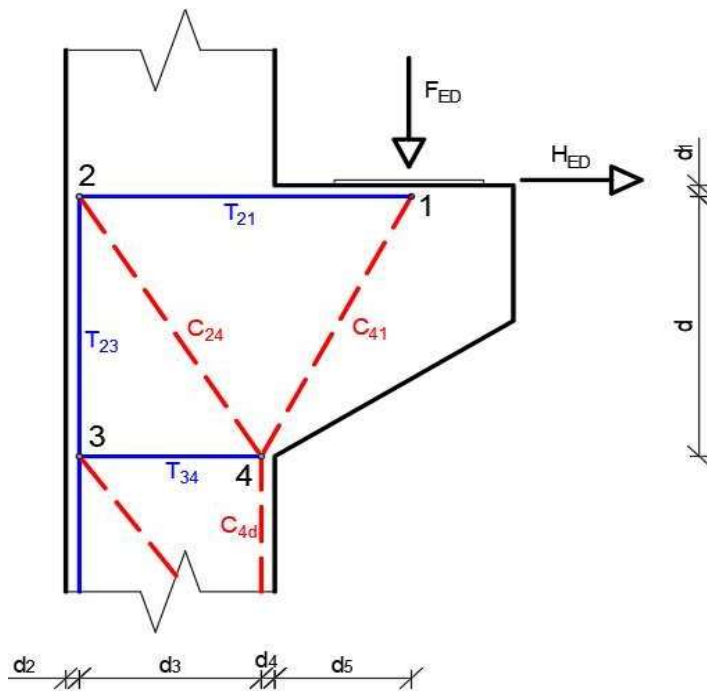
styčník s táhlem CTT

$$\sigma_{RD,MAX,3} = k_1 * \nu * f_{cd} = 0,75 * 0,84 * 26,67 = 16,8 \text{ MPa}$$

betonová vzpěra se vznikem trhlin

$$\sigma_{RD,MAX} = k_1 * \nu * f_{cd} = 0,6 * 0,84 * 26,67 = 13,44 \text{ MPa}$$

MODEL:



odhad:

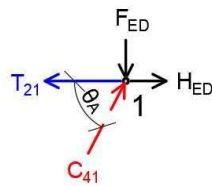
$\phi_{tr} =$	10	mm
$\phi_s =$	12	mm
$\phi_{s,sl} =$	20	mm

určení vzdáleností:

$d = H - c - \phi_{tr} - \frac{\phi_s}{2} =$	959	mm
$d_1 = c + \phi_{tr} + \frac{\phi_s}{2} =$	41	mm
$d_2 = d_4 = d_4 = c + \phi_{tr} + \frac{\phi_{s,sl}}{2} =$	45	mm
$d_3 = B_s - d_2 - d_4 =$	610	mm
$d_5 = a_c + d_1 * \frac{H_{ED}}{F_{ED}} =$	458	mm

VNITŘNÍ SÍLY:

UZEL 1:



$$\theta_A = \tan^{-1}\left(\frac{d}{d_4+d_5}\right) = 62,3 \text{ }^\circ$$

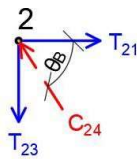
$$\downarrow: F_{ED} - \sin \theta_A * C_{41} = 0$$

$$C_{41} = 451,2 \text{ kN}$$

$$\rightarrow: H_{ED} + \cos \theta_A * C_{41} - T_{21} = 0$$

$$T_{21} = 289,5 \text{ kN}$$

UZEL 2:



$$\theta_B = \tan^{-1}\left(\frac{d}{d_3}\right) = 57,5 \text{ }^\circ$$

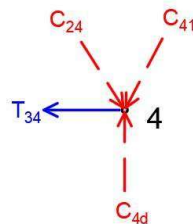
$$\rightarrow: T_{21} - \cos \theta_B * C_{24} = 0$$

$$C_{24} = 539,4 \text{ kN}$$

$$\downarrow: T_{23} - \sin \theta_B * C_{24} = 0$$

$$T_{23} = 455,2 \text{ kN}$$

UZEL 4:



$$\rightarrow: C_{24} * \cos \theta_B - C_{41} * \cos \theta_A - T_{34} = 0$$

$$T_{34} = 79,9 \text{ kN}$$

$$\downarrow: C_{24} * \sin \theta_B + C_{41} * \sin \theta_A - C_{4d} = 0$$

$$C_{4d} = 854,7 \text{ kN}$$

KAPACITA UZLŮ:

UZEL 1 - CCT:

šířka táhla T_{21} : $a_{12} = 82 \text{ mm}$

šířka vzpěry C_{41} : $a_{41} = 480,9 \text{ mm}$

napětí:

$$\sigma_{21} = \frac{T_{21}}{a_{12} * B} = 5,0 \text{ MPa} < \sigma_{RD,MAX,2} = 19,04 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{41} = \frac{C_{41}}{a_{41} * B} = 1,3 \text{ MPa} < \sigma_{RD,MAX,2} = 19,04 \text{ MPa}$$

UZEL 2 - CTT:

$$\text{šířka táhla } T_{21}: \quad a_{21} = 82 \quad \text{mm}$$

$$\text{šířka táhla } T_{23}: \quad a_{23} = 90 \quad \text{mm}$$

$$\text{šířka vzpěry } C_{24}: \quad a_{24} = 121,8 \quad \text{mm}$$

napětí:

$$\sigma_{21} = \frac{T_{21}}{a_{12} * B} = 5,0 \quad \text{MPa} < \sigma_{RD,MAX,3} = 16,8 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_{23} = \frac{T_{23}}{a_{23} * B} = 7,2 \quad \text{MPa} < \sigma_{RD,MAX,3} = 16,8 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_{24} = \frac{C_{24}}{a_{24} * B} = 6,3 \quad \text{MPa} < \sigma_{RD,MAX,3} = 16,8 \quad \text{MPa}$$

UZEL 4 - CCT:

$$\text{šířka táhla } T_{34}: \quad a_{34} = 62 \quad \text{mm}$$

$$\text{šířka vzpěry } C_{41}: \quad a_{41} = 42,7 \quad \text{mm}$$

$$\text{šířka vzpěry } C_{24}: \quad a_{24} = 100,6 \quad \text{mm}$$

$$\text{šířka vzpěry } C_{4d}: \quad a_{4d} = 90 \quad \text{mm}$$

napětí:

$$\sigma_{34} = \frac{T_{34}}{a_{34} * B} = 1,8 \quad \text{MPa} < \sigma_{RD,MAX,2} = 19,04 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_{41} = \frac{C_{41}}{a_{41} * B} = 15,1 \quad \text{MPa} < \sigma_{RD,MAX,2} = 19,04 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_{24} = \frac{C_{24}}{a_{24} * B} = 7,7 \quad \text{MPa} < \sigma_{RD,MAX,2} = 19,04 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_{4d} = \frac{C_{4d}}{a_{4d} * B} = 13,6 \quad \text{MPa} < \sigma_{RD,MAX,2} = 19,04 \quad \text{MPa}$$

HLAVNÍ TAHOVÁ VÝZTUŽ - TÁHLO T_{21} :

$$A_s = \frac{T_{21}}{f_{yd}} = 665,6 \text{ mm}^2$$

NÁVRH 3 SMYČKY \emptyset 12 V 1 VRSTVĚ

$$A_{s,prov} = 679 \text{ mm}^2$$

KONSTRUKČNÍ ZÁSADY - ZAKŘIVENÍ:

tah v jedné větvi

$$F_{bt} = \frac{T_{21}}{n} = 48,3 \text{ kN}$$

vzdálenost osy prutu

$$a_b = c + \emptyset_{tr} + \frac{\emptyset_s}{2} = 41 \text{ mm}$$

$$\phi_{m,min} = \frac{F_{bt}}{f_{cd}} * \left(\frac{1}{a_b} + \frac{1}{2 * \emptyset_s} \right) = 119,5 \text{ mm}$$

ZAKŘIVENÍ 10 x \emptyset 12 (120 mm)

KONTROLA 502 mm < 700 mm

KONSTRUKČNÍ ZÁSADY - KOTVENÍ:

základní kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset_s * \sigma_{sd}}{4 * f_{bd}} = 341,3 \text{ mm}$$

návrhová kotevní délka

$$l_{bd} = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * l_{b,rqd} = 0,7 * l_{b,rqd} = 238,9 \text{ mm}$$

minimální kotevní délka

$$l_{b,min} = \max[0,3 * l_{b,rqd}; 10 * \emptyset; 100 \text{ mm}] = 120 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 238,9 \text{ mm} > l_{b,min} = 120 \text{ mm}$$

$$l_b = 607 \text{ mm} > l_{bd} = 238,9 \text{ mm}$$

VÝZTUŽ NA PŘÍČNÝ TAH:

příčný tah: $T = 2 * 0,22 * C_{41} = 198,5 \quad \text{kN}$

svislá složka: $T_{st} = T * \cos \theta_A = 92,2 \quad \text{kN}$

$$A_{s,req,s} = \frac{T_{st}}{f_{yd}} = 212 \quad \text{mm}^2$$

NÁVRH 3 x ČTYŘSTŘIŽNÉ TŘMÍNKY Ø 6 mm

$$A_{s,prov} = 339 \quad \text{mm}^2$$

vodorovná složka: $T_{vt} = T * \sin \theta_A = 175,78 \quad \text{kN}$

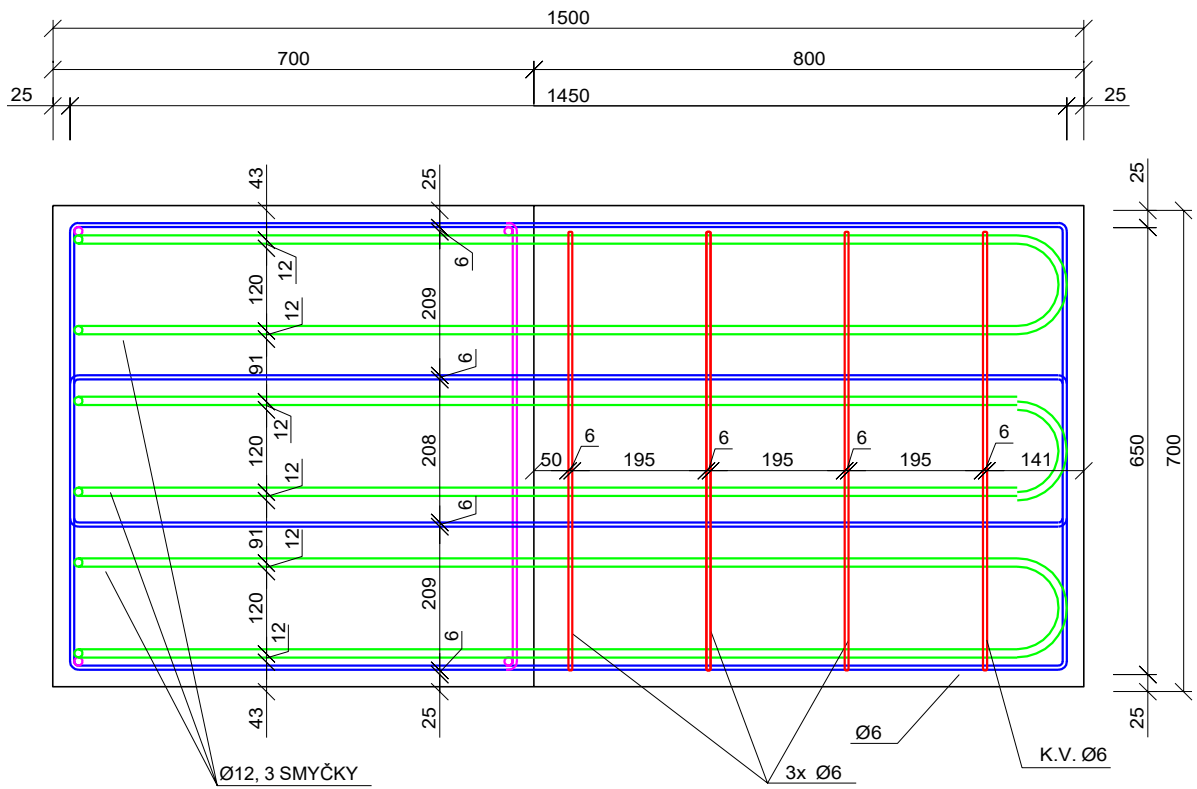
$$A_{s,req,v} = \frac{T_{vt}}{f_{yd}} = 404 \quad \text{mm}^2$$

NÁVRH 4 x ČTYŘSTŘIŽNÉ TŘMÍNKY Ø 6 mm

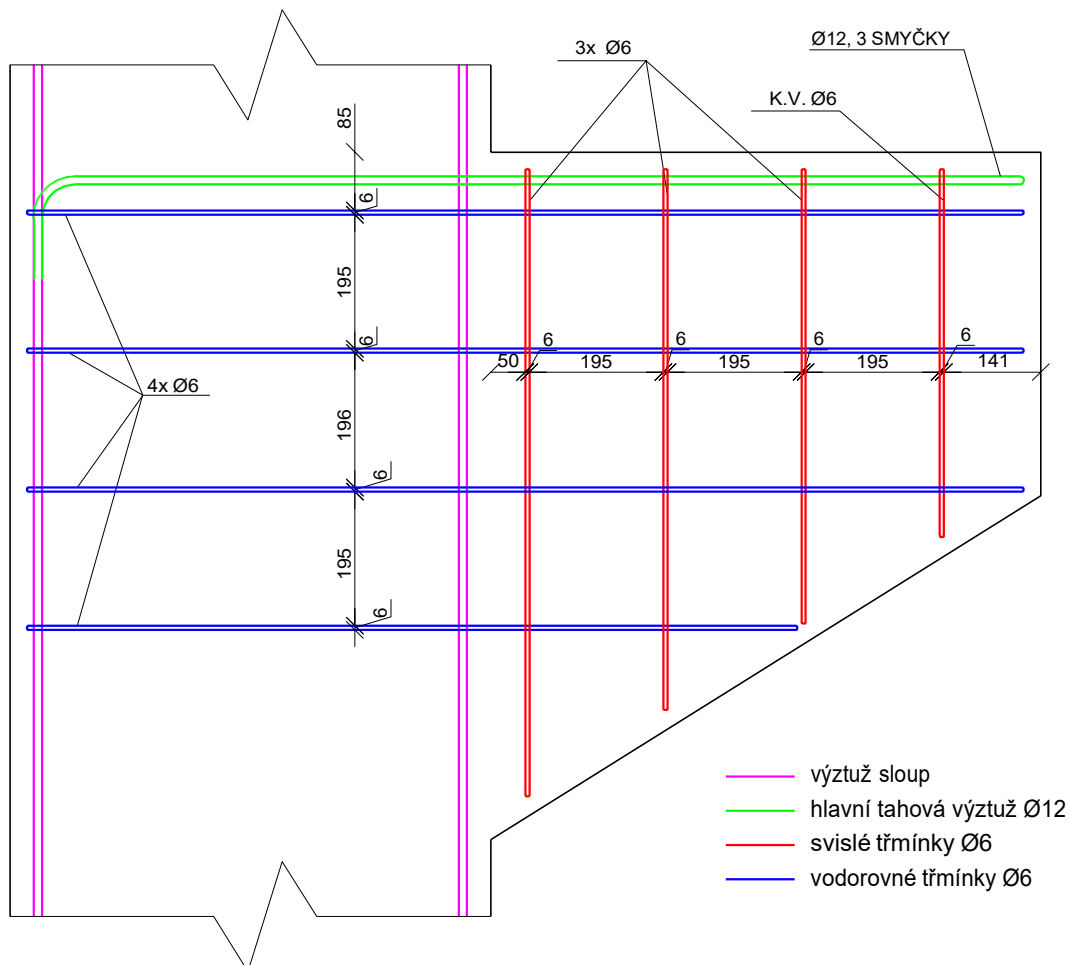
$$A_{s,prov} = 452 \quad \text{mm}^2$$

SCHÉMA NAVRŽENÉ VÝZTUŽE:

PŮDORYS



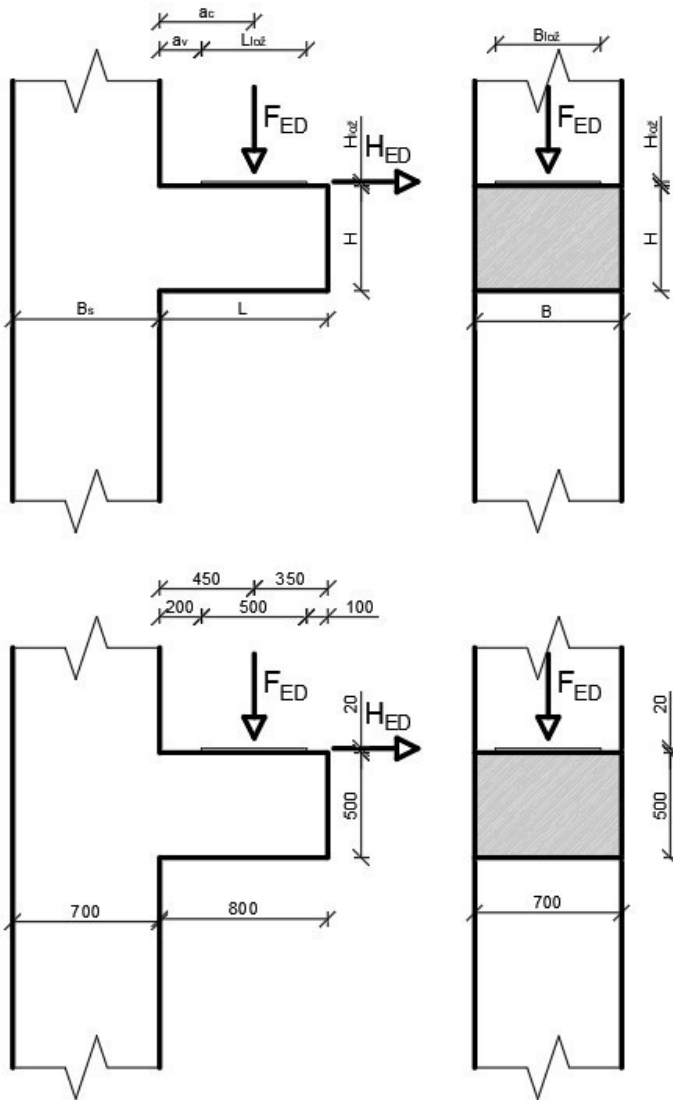
BOČNÍ POHLED



PŘÍLOHA č. 3 - návrh varianty B pomocí STM

DLOUHÁ KONZOLA - VARIANTA B

GEOMETRIE:



šířka sloupu	$B_s =$	700	mm
délka konzoly	$L =$	800	mm
výška konzoly	$H =$	500	mm
šířka konzoly	$B =$	700	mm
ložisko délka	$L_{lož} =$	500	mm
ložisko šířka	$B_{lož} =$	500	mm
ložisko výška	$H_{lož} =$	20	mm
vzd. lož. od hrany		100	mm
vzd. lož. od sloupu	$a_v =$	200	mm

ZATÍŽENÍ:

svíslá síla	$F_{ED} =$	399,5	kN
vodorovná síla	$H_{ED} =$	16,2	kN
	$\min H_{ED} = F_{ED} * 0,2 =$	$399,5 * 0,2 =$	79,9 kN

MATERIÁLY:

BETON C40/50	$f_{ck} =$	40	MPa
	$f_{cd} =$	26,67	MPa
	$f_{ctd} =$	1,67	MPa
	$f_{bd} = 2,25 * 1 * 1 * 1,67 =$	3,75	MPa
OCEL	$f_{yk} =$	500	MPa
	$f_{yd} =$	435	MPa

KRYTÍ:

stupeň vlivu prostředí:	XC3
návrhová životnost:	50 let
třída konstrukce:	S4

úprava klasifikace:

S4 - 2 (pevnostní třída betonu, kontrola kvality) = S2

$c_{min,dur} = 15$ mm

odhad průměru výztuže: $\phi_s = 12$ mm

$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}) = \max(12; 15; 10) = 15$ mm

$Dc_{dev} = 5$ mm

$c_{nom} = c_{min} + Dc_{dev} = 15 + 5 = 20$ mm

VOLÍM KRYTÍ $c = 25$ mm

MAXIMALNÍ NAPĚTÍ:

$$\nu = 1 - \frac{f_{ck}}{250} = 1 - \frac{40}{250} = 0,84$$

styčnick s tlakovými silami CCC

$$\sigma_{RD,MAX,1} = k_1 * \nu * f_{cd} = 1 * 0,84 * 26,67 = 22,4 \text{ MPa}$$

styčnick s táhlem CCT

$$\sigma_{RD,MAX,2} = k_1 * \nu * f_{cd} = 0,85 * 0,84 * 26,67 = 19,04 \text{ MPa}$$

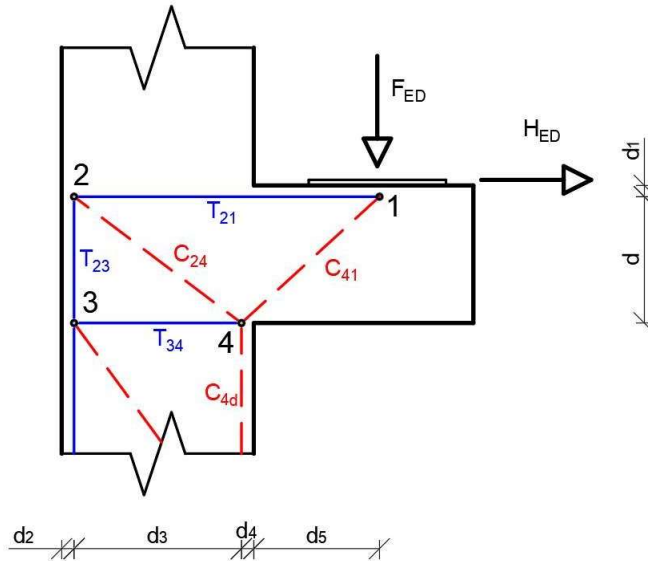
styčník s táhlem CTT

$$\sigma_{RD,MAX,2} = k_1 * \nu * f_{cd} = 0,75 * 0,84 * 26,67 = 16,8 \quad \text{MPa}$$

betonová vzpěra se vznikem trhlin

$$\sigma_{RD,MAX} = k_1 * \nu * f_{cd} = 0,6 * 0,84 * 26,67 = 13,44 \quad \text{MPa}$$

MODEL:



odhad:

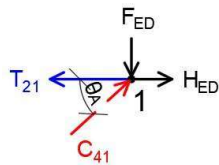
$\varnothing_{tř} =$	10	mm
$\varnothing_s =$	12	mm
$\varnothing_{s,sl} =$	20	mm

určení vzdáleností:

$d = H - d_1 =$	430	mm
$d_1 = c + \varnothing_{tř} + \varnothing_s + x =$	70	mm
$d_2 = d_4 = d_4 = c + \varnothing_{tř} + \frac{\varnothing_{s,sl}}{2} =$	45	mm
$d_3 = B_s - d_2 - d_4 =$	610	mm
$d_5 = a_c + d_1 * \frac{H_{ED}}{F_{ED}} =$	464	mm

VNITŘNÍ SÍLY:

UZEL 1:



$$\theta_A = \tan^{-1} \left(\frac{d}{d_4 + d_5} \right) = 40,2 \text{ } ^\circ$$

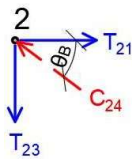
$$\downarrow: F_{ED} - \sin \theta_A * C_{41} = 0$$

$$C_{41} = 619,1 \text{ kN}$$

$$\rightarrow: H_{ED} + \cos \theta_A * C_{41} - T_{21} = 0$$

$$T_{21} = 552,8 \text{ kN}$$

UZEL 2:



$$\theta_B = \tan^{-1} \left(\frac{d}{d_3} \right) = 35,2 \text{ } ^\circ$$

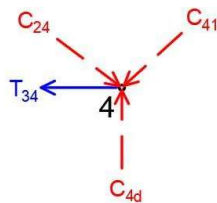
$$\rightarrow: T_{21} - \cos \theta_B * C_{24} = 0$$

$$C_{24} = 676,3 \text{ kN}$$

$$\downarrow: T_{23} - \sin \theta_B * C_{24} = 0$$

$$T_{23} = 389,7 \text{ kN}$$

UZEL 4:



$$\rightarrow: C_{24} * \cos \theta_B - C_{41} * \cos \theta_A - T_{34} = 0$$

$$T_{34} = 79,9 \text{ kN}$$

$$\downarrow: C_{24} * \sin \theta_B + C_{41} * \sin \theta_A - C_{4d} = 0$$

$$C_{4d} = 789,2 \text{ kN}$$

KAPACITA UZLŮ:

UZEL 1 - CCT:

šířka táhla T_{21} : $a_{12} = 140 \text{ mm}$

šířka vzpěry C_{41} : $a_{41} = 429,6 \text{ mm}$

napětí:

$$\sigma_{21} = \frac{T_{21}}{a_{12} * B} = 5,6 \text{ MPa} < \sigma_{RD,MAX,2} = 19,04 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{41} = \frac{C_{41}}{a_{41} * B} = 2,1 \text{ MPa} < \sigma_{RD,MAX,2} = 19,04 \text{ MPa}$$

UZEL 2 - CTT:

šířka táhla T_{21} : $a_{21} = 140$ mm

šířka táhla T_{23} : $a_{23} = 90$ mm

šířka vzpěry C_{24} : $a_{24} = 166,4$ mm

napětí:

$$\sigma_{21} = \frac{T_{21}}{a_{12} * B} = 5,6 \text{ MPa} < \sigma_{RD,MAX,3} = 16,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{23} = \frac{T_{23}}{a_{23} * B} = 6,2 \text{ MPa} < \sigma_{RD,MAX,3} = 16,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{24} = \frac{C_{24}}{a_{24} * B} = 5,8 \text{ MPa} < \sigma_{RD,MAX,3} = 16,8 \text{ MPa}$$

UZEL 4 - CCT:

šířka táhla T_{34} : $a_{34} = 12$ mm

šířka vzpěry C_{41} : $a_{41} = 47,0$ mm

šířka vzpěry C_{24} : $a_{24} = 80,5$ mm

šířka vzpěry C_{4d} : $a_{4d} = 90$ mm

napětí:

$$\sigma_{34} = \frac{T_{34}}{a_{34} * B} = 9,5 \text{ MPa} < \sigma_{RD,MAX,2} = 19,04 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{41} = \frac{C_{41}}{a_{41} * B} = 18,8 \text{ MPa} < \sigma_{RD,MAX,2} = 19,04 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{24} = \frac{C_{24}}{a_{24} * B} = 12,0 \text{ MPa} < \sigma_{RD,MAX,2} = 19,04 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{4d} = \frac{C_{4d}}{a_{4d} * B} = 12,5 \text{ MPa} < \sigma_{RD,MAX,2} = 19,04 \text{ MPa}$$

HLAVNÍ TAHOVÁ VÝZTUŽ - TÁHLO T_{21} :

$$A_s = \frac{T_{21}}{f_{yd}} = 1270,8 \text{ mm}^2$$

NÁVRH 3 SMYČKY \emptyset 12 VE 2 VRSTVÁCH

$$A_{s,prov} = 1357 \text{ mm}^2$$

KONSTRUKČNÍ ZÁSADY - ZAKŘIVENÍ:

tah v jedné větvi

$$F_{bt} = \frac{T_{21}}{n} = 46,1 \text{ kN}$$

vzdálenost osy prutu

$$a_b = c + \emptyset_{tr} + \frac{\emptyset_s}{2} = 41 \text{ mm}$$

$$\phi_{m,min} = \frac{F_{bt}}{f_{cd}} * \left(\frac{1}{a_b} + \frac{1}{2 * \emptyset_s} \right) = 114,1 \text{ mm}$$

ZAKŘIVENÍ 10 x \emptyset 12 (120 mm)

KONTROLA 502 mm < 700 mm

KONSTRUKČNÍ ZÁSADY - KOTVENÍ:

základní kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset_s * \sigma_{sd}}{4 * f_{bd}} = 325,9 \text{ mm}$$

návrhová kotevní délka

$$l_{bd} = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * l_{b,rqd} = 0,7 * l_{b,rqd} = 228,1 \text{ mm}$$

minimální kotevní délka

$$l_{b,min} = \max[0,3 * l_{b,rqd}; 10 * \emptyset; 100 \text{ mm}] = 120 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 228,1 \text{ mm} > l_{b,min} = 120 \text{ mm}$$

$$l_b = 607 \text{ mm} > l_{bd} = 228,1 \text{ mm}$$

VÝZTUŽ NA PŘÍČNÝ TAH:

příčný tah: $T = 2 * 0,22 * C_{41} = 272,4 \quad \text{kN}$

svislá složka: $T_{st} = T * \cos \theta_A = 208,1 \quad \text{kN}$

$$A_{s,req,s} = \frac{T_{st}}{f_{yd}} = 478 \quad \text{mm}^2$$

NÁVRH 5 x ČTYŘSTŘIŽNÉ TŘMÍNKY Ø 6 mm

$$A_{s,prov} = 565 \quad \text{mm}^2$$

vodorovná složka: $T_{vt} = T * \sin \theta_A = 175,78 \quad \text{kN}$

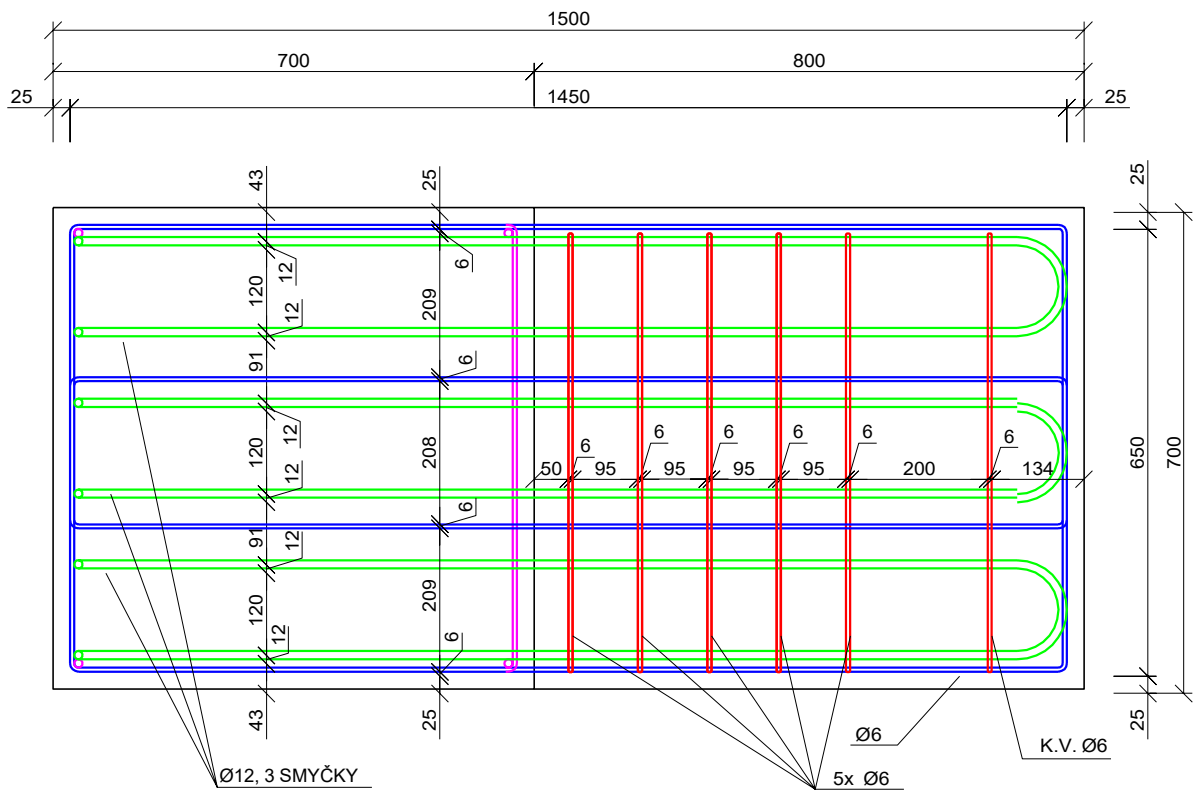
$$A_{s,req,v} = \frac{T_{vt}}{f_{yd}} = 404 \quad \text{mm}^2$$

NÁVRH 4 x ČTYŘSTŘIŽNÉ TŘMÍNKY Ø 6 mm

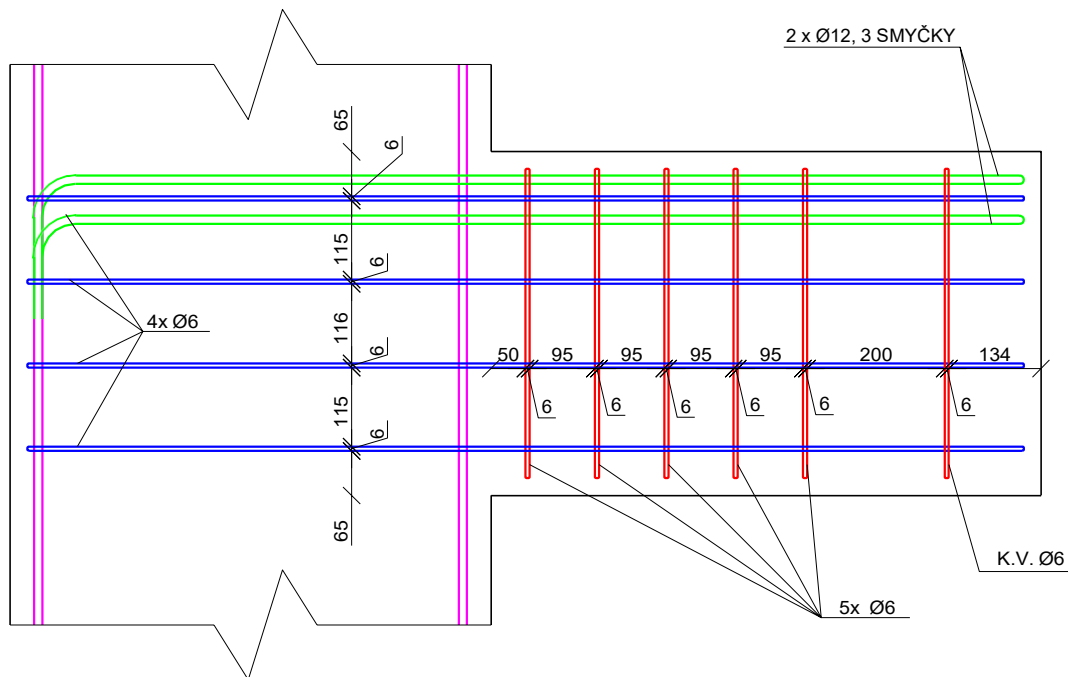
$$A_{s,prov} = 452 \quad \text{mm}^2$$

SCHÉMA NAVRŽENÉ VÝZTUŽE:

PŮDORYS



BOČNÍ POHLED

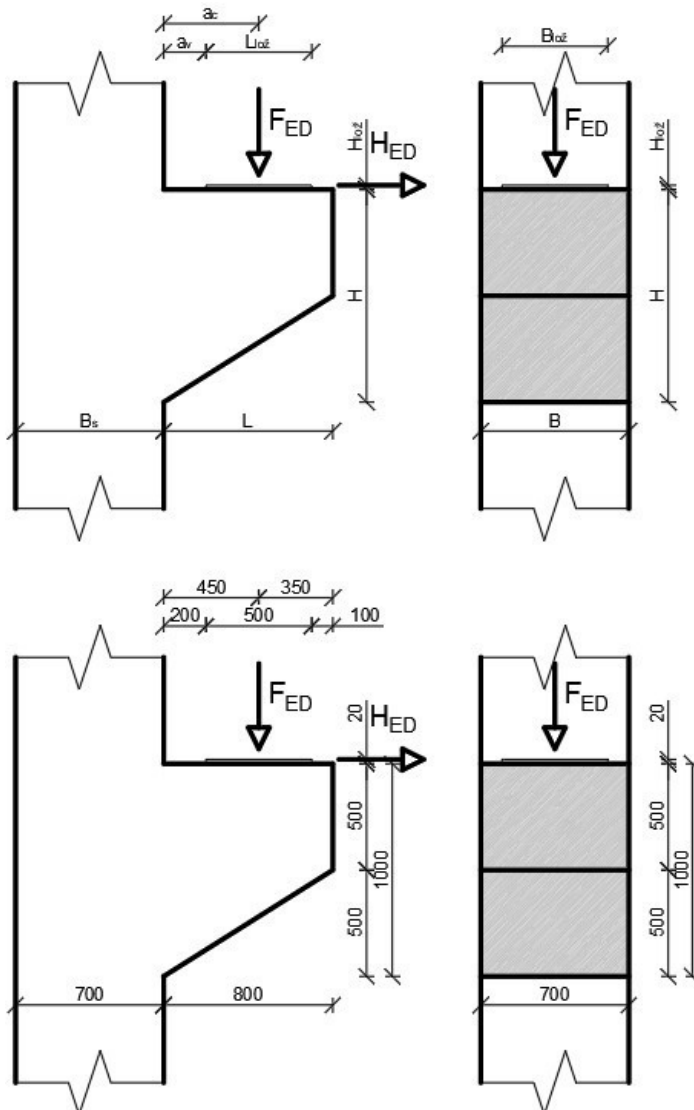


- výztuž sloup
- hlavní tahová výztuž Ø12
- svislé třmínky Ø6
- vodorovné třmínky Ø6

PŘÍLOHA č. 4 - návrh varianty A podle ČSN EN 1992 1-1

KRÁTKÁ KONZOLA S NÁBĚHEM - VARIANTA A

GEOMETRIE:



šířka sloupu	$B_s =$	0,7	m
délka konzoly	$L =$	0,8	m
výška konzoly	$H =$	1	m
šířka konzoly	$B =$	0,7	m
ložisko délka	$L_{lož} =$	0,5	m
ložisko šířka	$B_{lož} =$	0,5	m
ložisko výška	$H_{lož} =$	0,02	m
vzd. lož. od hrany		0,1	m
vzd. lož. od sloupu	$a_v =$	0,2	m

ZATÍŽENÍ:

$$\begin{aligned} \text{svislá síla} & F_{ED} = 399,5 \text{ kN} \\ \text{vodorovná síla} & H_{ED} = 16,2 \text{ kN} \\ \text{min } H_{ED} & = F_{ED} * 0,2 = 399,5 * 0,2 = 79,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

MATERIÁLY:

$$\begin{aligned} \text{BETON C40/50} & f_{ck} = 40 \text{ MPa} \\ & f_{cd} = 26,67 \text{ MPa} \\ & f_{ctd} = 1,67 \text{ MPa} \\ & f_{bd} = 2,25 * 1 * 1 * 1,67 = 3,75 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{OCEL} & f_{yk} = 500 \text{ MPa} \\ & f_{yd} = 435 \text{ MPa} \end{aligned}$$

KRYTÍ:

$$\begin{aligned} \text{stupeň vlivu prostředí} & \text{XC3} \\ \text{návrhová životnost} & 50 \text{ let} \\ \text{třída konstrukce} & \text{S4} \end{aligned}$$

úprava klasifikace:

$$\text{S4 - 2 (pevnostní třída betonu, kontrola kvality) = S2}$$

$$c_{\min, \text{dur}} = 15 \text{ mm}$$

$$\text{odhad průměru výztuže: } \varnothing_s = 12 \text{ mm}$$

$$c_{\min} = \max(c_{\min, b}; c_{\min, \text{dur}}; 10 \text{ mm}) = \max(12; 15; 10) = 15 \text{ mm}$$

$$D_{c_{\text{dev}}} = 5 \text{ mm}$$

$$c_{\text{nom}} = c_{\min} + D_{c_{\text{dev}}} = 15 + 5 = 20 \text{ mm}$$

$$\text{VOLÍM KRYTÍ } c = 25 \text{ mm}$$

OVĚŘENÍ KRÁTKÉ KONZOLY:

$$\frac{a}{H} = \frac{200 + \frac{500}{2}}{1000} = 0,45 < 0,5 \text{ KRÁTKÁ KONZOLA}$$

HODNOTY PRO VZPĚRU 1:

$$\nu = 1 - \frac{f_{ck}}{250} = 1 - \frac{40}{250} = 0,84$$

styčnick s tlakovými silami CCC

$$\sigma_{RD, \text{MAX}, 1} = k_1 * \nu * f_{cd} = 1 * 0,84 * 26,67 = 22,4 \text{ MPa}$$

styčník s táhlem CCT

$$\sigma_{RD,MAX,2} = k_1 * \nu * f_{cd} = 0,85 * 0,84 * 26,67 = 19,04 \text{ MPa}$$

betonová vzpěra se vznikem trhlin

$$\sigma_{RD,MAX} = k_1 * \nu * f_{cd} = 0,6 * 0,84 * 26,67 = 13,44 \text{ MPa}$$

KONTROLA NAPĚTÍ V MÍSTĚ LOŽISKA 2:

$$\sigma_{cd} = \frac{F_{ED}}{L_{lož} * B_{lož}} = \frac{399,5}{0,5 * 0,5} = 1,6 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{0,1}{L_{lož} * B_{lož}} = \frac{0,1}{0,5 * 0,5} = 0,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cd} = 1,6 \text{ MPa} < \sigma_{RD,MAX,2} = 19,04 \text{ MPa}$$

ODHAD VZDÁLENOSTI VÝZTUŽE U H.P.:

$$\text{odhad } \emptyset_{tř} = 10 \text{ mm}$$

předpoklad 1 vrstva výztuže

$$d' = 41 \text{ mm}$$

účinná výška průřezu

$$d = H - d' = 1000 - 41 = 959 \text{ mm}$$

VÝŠKA TLAČENÉ OBLASTI:

šířka tlačené oblasti

$$x_1 = \frac{F_{ED}}{B * \sigma_{RD,MAK,1}} = \frac{399,5}{0,7 * 22,4} = 25,5 \text{ mm}$$

rameno vnějších sil

$$\begin{aligned} a &= a_c + 0,5 * x_1 + \frac{H_{ED}}{F_{ED}} * (d' + H_{lož}) = \\ &= 0,45 + 0,5 * 0,0255 + \frac{79,9}{399,5} * (0,041 + 0,02) = 0,475 \text{ m} \end{aligned}$$

výška tlačené oblasti

$$y_1 = d - \sqrt{d^2 - 2 * x_1 * \left(a + \frac{H_{ED}}{F_{ED}} * (d' + H_{lož})\right)} =$$
$$= 0,959 - \sqrt{0,959^2 - 2 * 0,0255 * \left(0,475 + \frac{79,9}{399,5} * (0,041 + 0,02)\right)} = 0,013 \text{ m}$$

rameno vnitřních sil

$$z = d - 0,5 * y_1 = 0,959 - 0,5 * 0,013 = 0,952 \text{ m}$$

TAHOVÁ SÍLA VE VÝZTUŽI:

úhel sklonu tlačené diagonály

$$\Theta = \arctg\left(\frac{z}{a}\right) = \arctg\left(\frac{0,952}{0,475}\right) = 63,5^\circ$$

vodorovná tahová síla

$$F_t = F_{ED} * \frac{a}{z} + H_{ED} = 399,5 * \frac{0,475}{0,952} + 79,9 = 279,1 \text{ kN}$$

hlavní tahová výztuž při horním okraji

$$A_{s,req} = \frac{F_t}{f_{yd}} = \frac{279,1}{435} = 642 \text{ mm}^2$$

NÁVRH 3 SMYČKY Ø 12 V 1 VRSTVĚ

$$A_{s,prov} = 679 \text{ mm}^2$$

KONSTRUKČNÍ ZÁSADY - ZAKŘIVENÍ:

tah v jedné větvi

$$F_{bt} = \frac{F_t}{n} = \frac{279,1}{6} = 46,5 \text{ kN}$$

vzdálenost osy prutu

$$a_b = c + \frac{\emptyset_s}{2} = 25 + 10 + \frac{12}{2} = 41 \text{ mm}$$

$$\phi_{m,min} = \frac{F_{bt}}{f_{cd}} * \left(\frac{1}{a_b} + \frac{1}{2 * \emptyset_s}\right) = \frac{46,5}{26,67} * \left(\frac{1}{0,041} + \frac{1}{2 * 0,012}\right) = 115,2 \text{ mm}$$

ZAKŘIVENÍ 10 x Ø 12 (120 mm)

$$\text{KONTROLA } 2 * 25 + 2 * 10 + 6 * 12 + 3 * 120 = 502 \text{ mm}$$
$$502 \text{ mm} < 700 \text{ mm}$$

KONSTRUKČNÍ ZÁSADY - KOTVENÍ:

základní kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\sigma_s}{4} * \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{12}{4} * \frac{435 * \frac{642}{679}}{3,75} = 329,0 \text{ mm}$$

návrhová kotevní délka

$$l_{bd} = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * l_{b,rqd} = 0,7 * 329 = 230,3 \text{ mm}$$

minimální kotevní délka

$$l_{b,min} = \max[0,3 * l_{b,rqd}; 10 * \varnothing; 100 \text{ mm}] = 120 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 230,3 \text{ mm} > l_{b,min} = 120 \text{ mm}$$

$$l_b = 607 \text{ mm} > l_{bd} = 230,3 \text{ mm}$$

TLAČENÁ DIAGONÁLA:

síla v tlačené diagonále

$$F_c = \frac{F_{ED}}{\sin \theta} = \frac{399,5}{\sin 63,5} = 446,4 \text{ kN}$$

délka diagonály

$$L_d = \frac{a}{\cos \theta} = \frac{475}{\cos 63,5} = 1064,3 \text{ mm}$$

šířka diagonály

$$B_d = 0,5 * L_d + 0,65 * \frac{x_1}{\sin \theta} = 0,5 * 1064,3 + 0,65 * \frac{25,5}{\sin 63,5} = 550,7 \text{ mm}$$

napětí v tl. diagonále

$$\sigma_T = \frac{F_c}{B_d * B} = \frac{446,4}{0,5507 * 0,7} = 1,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_T = 1,2 \text{ MPa} < \sigma_{RD,MAX} = 13,44 \text{ MPa}$$

příčný tah

$$T = \frac{1}{4} * \left(1 - 0,7 * \frac{a_a}{L_d}\right) * F_c = \frac{1}{4} * \left(1 - 0,7 * \frac{\sqrt{0,0255^2 + 0,013^2}}{1,0643}\right) * 446,4 = 109,5 \text{ kN}$$

$$2 * T = 2 * 109,5 = 219,0 \text{ kN}$$

TŘMÍNKY SVISLÉ:

$$F_{st} = 2 * T * \cos \theta = 2 * 109,5 * \cos 63,5 = 97,7 \text{ kN}$$

$$A_{s,req,s} = \frac{F_{st}}{f_{yd}} = \frac{97,7}{435} = 225 \text{ mm}^2$$

smyková výztuž:

$$V_{ED} = \beta * F_{ED} = 0,25 * 399,5 = 99,9 \text{ kN}$$

$$\beta = \frac{a_v}{2 * d} = \frac{200}{2 * 959} = 0,104 < 0,25 \quad \beta = 0,25$$

$$A_{s,req,sm} = \frac{V_{ED}}{f_{yd}} = \frac{99,9}{435} = 230 \text{ mm}^2$$

návrh výztuže:

$$A_{s,req} = \text{MAX}(A_{s,req,s}; A_{s,req,sm}) = \text{MAX}(225; 230) = 230 \text{ mm}^2$$

NÁVRH 3 x ČTYŘSTŘIŽNÉ TŘMÍNKY Ø 6 mm

$$A_{s,prov} = 339 \text{ mm}^2$$

TŘMÍNKY VODOROVNÉ:

$$F_{vt} = 2 * T * \sin \theta = 2 * 109,5 * \sin 63,5 = 196 \text{ kN}$$

$$A_{s,req,v} = \frac{F_{vt}}{f_{yd}} = \frac{196}{435} = 451 \text{ mm}^2$$

$$A_{swh} = 0,25 * 679 = 170 \text{ mm}^2$$

návrh výztuže:

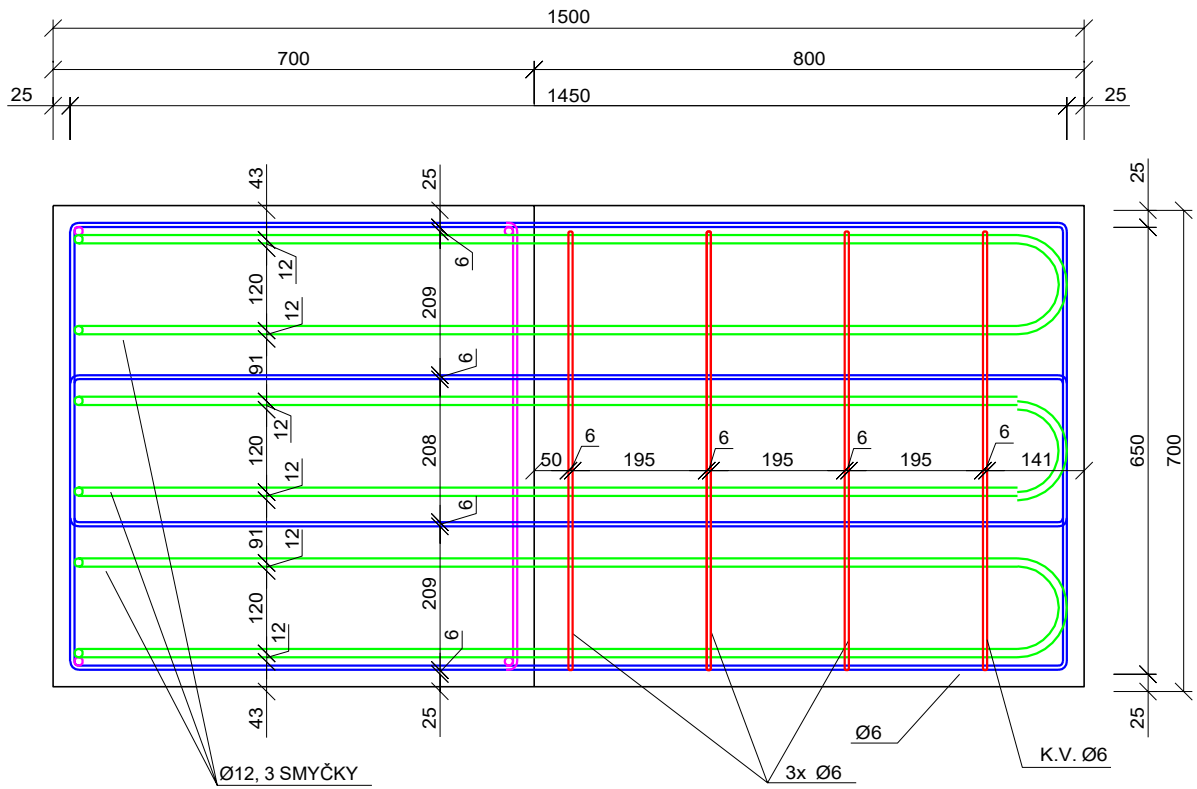
$$A_{s,req} = \text{MAX}(A_{s,req,v}; A_{swh}) = \text{MAX}(451; 170) = 451 \text{ mm}^2$$

NÁVRH 5 x ČTYŘSTŘIŽNÉ TŘMÍNKY Ø 6 mm

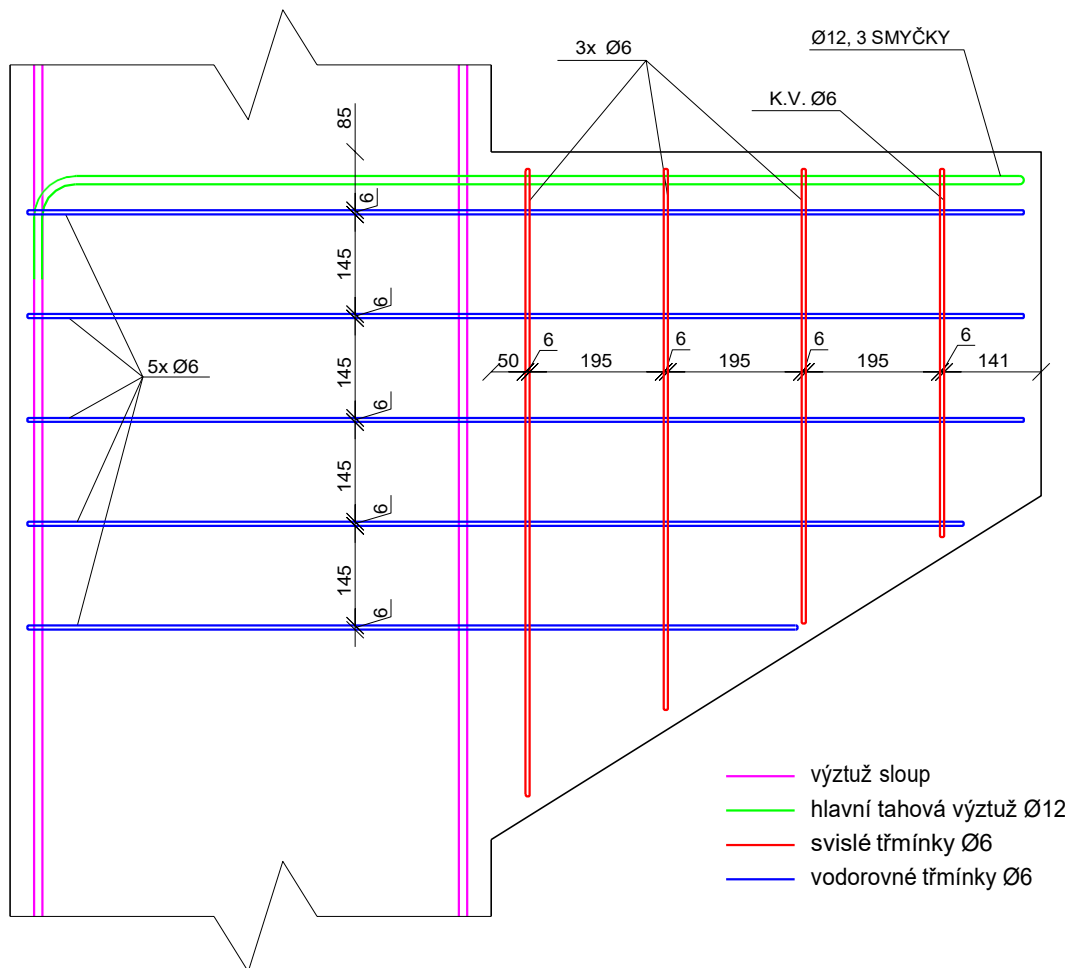
$$A_{s,prov} = 565 \text{ mm}^2$$

SCHÉMA NAVRŽENÉ VÝZTUŽE:

PŮDORYS



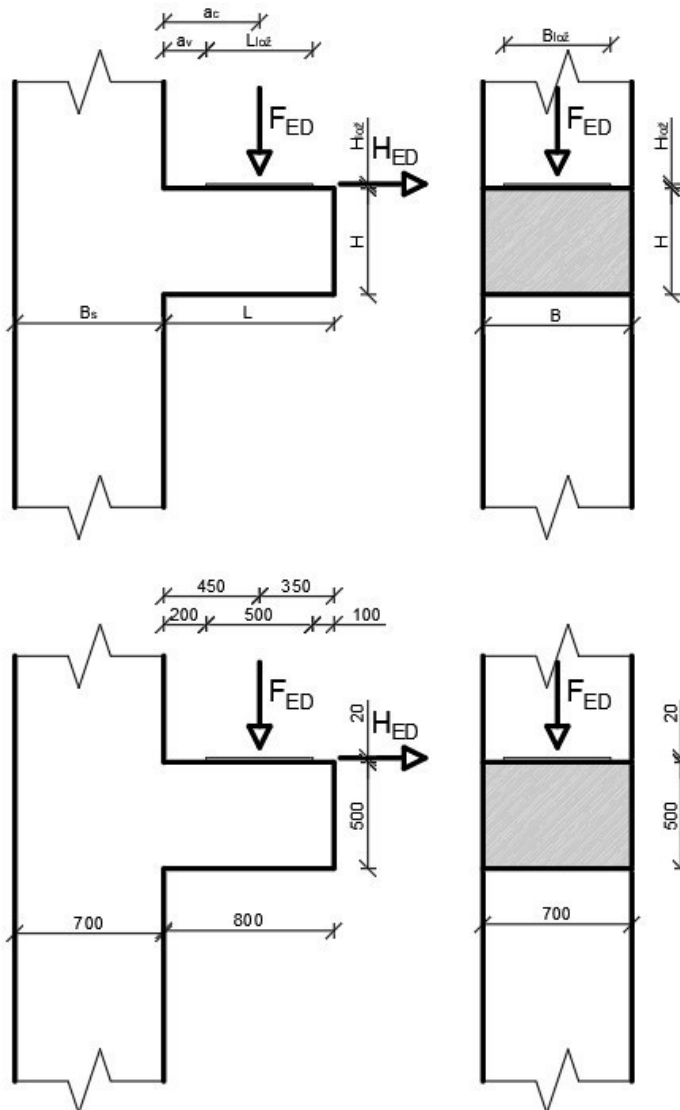
BOČNÍ POHLED



PŘÍLOHA č. 5 - návrh varianty B podle ČSN EN 1992 1-1

DLOUHÁ KONZOLA - VARIANTA B

GEOMETRIE:



šířka sloupu	$B_s =$	0,7	m
délka konzoly	$L =$	0,8	m
výška konzoly	$H =$	0,5	m
šířka konzoly	$B =$	0,7	m
ložisko délka	$L_{lož} =$	0,5	m
ložisko šířka	$B_{lož} =$	0,5	m
ložisko výška	$H_{lož} =$	0,02	m
vzd. lož. od hrany		0,1	m
vzd. lož. od sloupu	$a_v =$	0,2	m

ZATÍŽENÍ:

svislá síla $F_{ED} = 399,5 \text{ kN}$

vodorovná síla $H_{ED} = 16,2 \text{ kN}$

$$\min H_{ED} = F_{ED} * 0,2 = 399,5 * 0,2 = 79,9 \text{ kN}$$

MATERIÁLY:

BETON C40/50 $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$

$f_{cd} = 26,67 \text{ MPa}$

$f_{ctd} = 1,67 \text{ MPa}$

$f_{bd} = 2,25 * 1 * 1 * 1,67 = 3,75 \text{ MPa}$

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

$f_{yd} = 435 \text{ MPa}$

KRYTÍ:

stupeň vlivu prostředí: XC3

návrhová životnost: 50 let

třída konstrukce: S4

úprava klasifikace:

S4 - 2 (pevnostní třída betonu, kontrola kvality) = S2

$c_{\min, \text{dur}} = 15 \text{ mm}$

odhad průměru výztuže: $\varnothing_s = 12 \text{ mm}$

$c_{\min} = \max(c_{\min, b}; c_{\min, \text{dur}}; 10 \text{ mm}) = \max(12; 15; 10) = 15 \text{ mm}$

$D_{c_{\text{dev}}} = 5 \text{ mm}$

$c_{\text{nom}} = c_{\min} + D_{c_{\text{dev}}} = 15 + 5 = 20 \text{ mm}$

VOLÍM KRYTÍ $c = 25 \text{ mm}$ **OVĚŘENÍ KRÁTKÉ KONZOLY:**

$$\frac{a}{H} = \frac{200 + \frac{500}{2}}{500} = 0,9 > 0,5 \text{ DLOUHÁ KONZOLA}$$

HODNOTY PRO VZPĚRU 1:

$$\nu = 1 - \frac{f_{ck}}{250} = 1 - \frac{40}{250} = 0,84$$

styčník s tlakovými silami CCC

$$\sigma_{RD, \text{MAX}, 1} = k_1 * \nu * f_{cd} = 1 * 0,84 * 26,67 = 22,4 \text{ MPa}$$

styčník s táhlem CCT

$$\sigma_{RD,MAX,2} = k_1 * \nu * f_{cd} = 0,85 * 0,84 * 26,67 = 19,04 \text{ MPa}$$

betonová vzpěra se vznikem trhlin

$$\sigma_{RD,MAX} = k_1 * \nu * f_{cd} = 0,6 * 0,84 * 26,67 = 13,44 \text{ MPa}$$

KONTROLA NAPĚTÍ V MÍSTĚ LOŽISKA 2:

$$\sigma_{cd} = \frac{F_{ED}}{L_{lož} * B_{lož}} = \frac{399,5}{0,5 * 0,5} = 1,6 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{0,1}{L_{lož} * B_{lož}} = \frac{0,1}{0,5 * 0,5} = 0,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cd} = 1,6 \text{ MPa} < \sigma_{RD,MAX,2} = 19,04 \text{ MPa}$$

ODHAD VZDÁLENOSTI VÝZTUŽE U H.P.:

$$\text{odhad } \varnothing_{tř} = 10 \text{ mm}$$

předpoklad 2 vrstvy výztuže

$$d' = 70 \text{ mm}$$

účinná výška průřezu

$$d = H - d' = 500 - 70 = 430 \text{ mm}$$

VÝŠKA TLAČENÉ OBLASTI:

šířka tlačené oblasti

$$x_1 = \frac{F_{ED}}{B * \sigma_{RD,MAK,1}} = \frac{399,5}{0,7 * 22,4} = 25,5 \text{ mm}$$

rameno vnějších sil

$$\begin{aligned} a &= a_c + 0,5 * x_1 + \frac{H_{ED}}{F_{ED}} * (d' + H_{lož}) = \\ &= 0,45 + 0,5 * 0,0255 + \frac{79,9}{399,5} * (0,07 + 0,02) = 0,481 \text{ m} \end{aligned}$$

výška tlačené oblasti

$$y_1 = d - \sqrt{d^2 - 2 * x_1 * \left(a + \frac{H_{ED}}{F_{ED}} * (d' + H_{lož})\right)} =$$
$$= 0,43 - \sqrt{0,43^2 - 2 * 0,0255 * \left(0,481 + \frac{79,9}{399,5} * (0,07 + 0,02)\right)} = 0,031 \text{ m}$$

rameno vnitřních sil

$$z = d - 0,5 * y_1 = 0,43 - 0,5 * 0,031 = 0,415 \text{ m}$$

TAHOVÁ SÍLA VE VÝZTUŽI:

úhel sklonu tlačené diagonály

$$\Theta = \arctg\left(\frac{z}{a}\right) = \arctg\left(\frac{0,415}{0,481}\right) = 40,8^\circ$$

vodorovná tahová síla

$$F_t = F_{ED} * \frac{a}{z} + H_{ED} = 399,5 * \frac{0,481}{0,415} + 79,9 = 543,0 \text{ kN}$$

hlavní tahová výztuž při horním okraji

$$A_{s,req} = \frac{F_t}{f_{yd}} = \frac{543}{435} = 1248 \text{ mm}^2$$

NÁVRH 3 SMYČKY Ø 12 VE 2 VRSTVÁCH

$$A_{s,prov} = 1357 \text{ mm}^2$$

KONSTRUKČNÍ ZÁSADY - ZAKŘIVENÍ:

tah v jedné větvi

$$F_{bt} = \frac{F_t}{n} = \frac{543}{12} = 45,3 \text{ kN}$$

vzdálenost osy prutu

$$a_b = c + \frac{\emptyset_{tř}}{2} + \frac{\emptyset_s}{2} = 25 + 10 + \frac{12}{2} = 41 \text{ mm}$$

$$\phi_{m,min} = \frac{F_{bt}}{f_{cd}} * \left(\frac{1}{a_b} + \frac{1}{2 * \emptyset_s}\right) = \frac{45,3}{26,67} * \left(\frac{1}{0,041} + \frac{1}{2 * 0,012}\right) = 112,1 \text{ mm}$$

ZAKŘIVENÍ 10 x Ø 12 (120 mm)

$$\text{KONTROLA } 2 * 25 + 2 * 10 + 6 * 12 + 3 * 120 = 502 \text{ mm}$$
$$502 \text{ mm} < 700 \text{ mm}$$

KONSTRUKČNÍ ZÁSADY - KOTVENÍ:

základní kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\sigma_s}{4} * \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{12}{4} * \frac{435 * \frac{1248}{1357}}{3,75} = 320,1 \text{ mm}$$

návrhová kotevní délka

$$l_{bd} = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * l_{b,rqd} = 0,7 * 320,1 = 224 \text{ mm}$$

minimální kotevní délka

$$l_{b,min} = \max[0,3 * l_{b,rqd}; 10 * \varnothing; 100 \text{ mm}] = 120 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 224,1 \text{ mm} > l_{b,min} = 120 \text{ mm}$$

$$l_b = 607 \text{ mm} > l_{bd} = 224,1 \text{ mm}$$

TLAČENÁ DIAGONÁLA:

síla v tlačené diagonále

$$F_c = \frac{F_{ED}}{\sin \theta} = \frac{399,5}{\sin 40,8} = 611,6 \text{ kN}$$

délka diagonály

$$L_d = \frac{a}{\cos \theta} = \frac{481}{\cos 40,8} = 634,9 \text{ mm}$$

šířka diagonály

$$B_d = 0,5 * L_d + 0,65 * \frac{x_1}{\sin \theta} = 0,5 * 634,9 + 0,65 * \frac{25,5}{\sin 40,8} = 342,8 \text{ mm}$$

napětí v tl. diagonále

$$\sigma_T = \frac{F_c}{B_d * B} = \frac{611,6}{0,3428 * 0,7} = 2,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_T = 2,5 \text{ MPa} < \sigma_{RD,MAX} = 13,44 \text{ MPa}$$

příčný tah

$$T = \frac{1}{4} * \left(1 - 0,7 * \frac{a_d}{L_d}\right) * F_c = \frac{1}{4} * \left(1 - 0,7 * \frac{\sqrt{0,0255^2 + 0,031^2}}{0,6349}\right) * 611,6 = 146,2 \text{ kN}$$

$$2 * T = 2 * 146,2 = 292 \text{ kN}$$

TŘMÍNKY SVISLÉ:

$$F_{st} = 2 * T * \cos \theta = 2 * 146,2 * \cos 40,8 = 221 \text{ kN}$$

$$A_{s,req,s} = \frac{F_{st}}{f_{yd}} = \frac{221}{435} = 509 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,sww} = \frac{0,5 * F_{ED}}{f_{yd}} = \frac{0,5 * 399,5}{435} = 459 \text{ mm}^2$$

smyková výztuž:

$$V_{ED} = \beta * F_{ED} = 0,523 * 399,5 = 99,9 \text{ kN}$$

$$\beta = \frac{a_v}{2 * d} = \frac{200}{2 * 430} = 0,233 < 0,25 \quad \beta = 0,25$$

$$A_{s,req,sm} = \frac{V_{ED}}{f_{yd}} = \frac{209}{435} = 230 \text{ mm}^2$$

návrh výztuže:

$$A_{s,req} = \text{MAX}(A_{s,req,s}; A_{s,req,sm}; A_{s,sww}) = \text{MAX}(509; 230; 459) = 509 \text{ mm}^2$$

NÁVRH 5 x ČTYŘSTŘIŽNÉ TŘMÍNKY \emptyset 6 mm

$$A_{s,prov} = 565 \text{ mm}^2$$

TŘMÍNKY VODOROVNÉ:

$$F_{vt} = 2 * T * \sin \theta = 2 * 146,2 * \sin 40,8 = 191,0 \text{ kN}$$

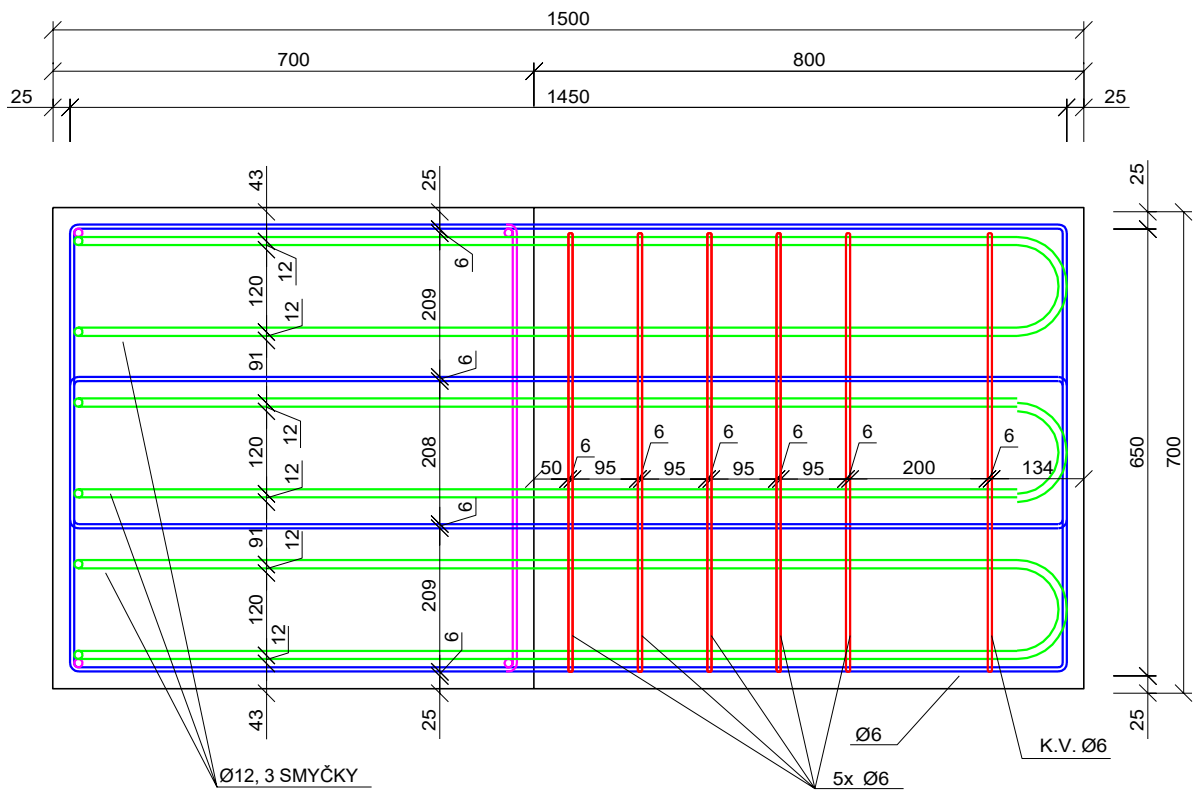
$$A_{s,req,v} = \frac{F_{vt}}{f_{yd}} = \frac{191}{435} = 439 \text{ mm}^2$$

NÁVRH 5 x ČTYŘSTŘIŽNÉ TŘMÍNKY \emptyset 6 mm

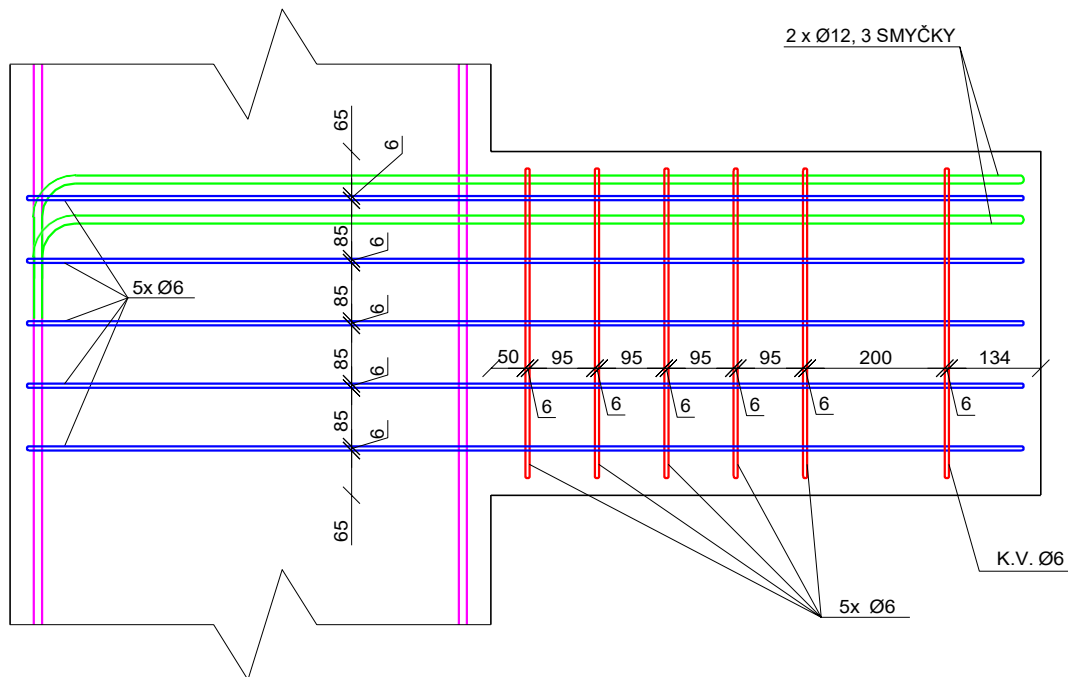
$$A_{s,prov} = 565 \text{ mm}^2$$

SCHÉMA NAVRŽENÉ VÝZTUŽE:

PŮDORYS



BOČNÍ POHLED



- výztuž sloup
- hlavní tahová výztuž $\varnothing 12$
- svislé třmínky $\varnothing 6$
- vodorovné třmínky $\varnothing 6$

PŘÍLOHA č. 6 – návrh krátké konzoly program FIN EC:

Norma

Norma EN 1992-1-1/Česko

Únosnost betonu - základní kombinace zatížení	: $\gamma_c = 1,5$
Únosnost výztuže - základní kombinace zatížení	: $\gamma_s = 1,15$
Maximální napětí ve styčniku CCC	: $k_1 = 1,0$
Maximální napětí ve styčniku CCT	: $k_2 = 0,85$

1 Krátká konzola

1.1 Vstupní data

Materiály

Prostředí :	XC3
Beton :	C 40/50
Válcová pevnost v tlaku	$f_{ck} = 40,0$ MPa
Podélná výztuž :	B500B
Mez kluzu	$f_{yk} = 500,0$ MPa
Smyková výztuž :	B500B
Mez kluzu	$f_{yk} = 500,0$ MPa

Rozměry

Délka konzoly :	$l_c = 800,0$ mm
Výška konzoly :	$h_c = 1000,0$ mm
Výška konzoly přední :	$h_1 = 500,0$ mm
Šířka sloupu :	$l = 700,0$ mm
Šířka :	$b = 700,0$ mm

Uložná deska

Výška :	$\Delta h = 20,0$ mm
Délka :	$l_p = 500,0$ mm
Šířka :	$b_p = 500,0$ mm

Vyztužení

6 × Profil 12 mm - Krytí 35 mm

Svislé třminky

3 × Profil 6 mm - Počet stříhů 4

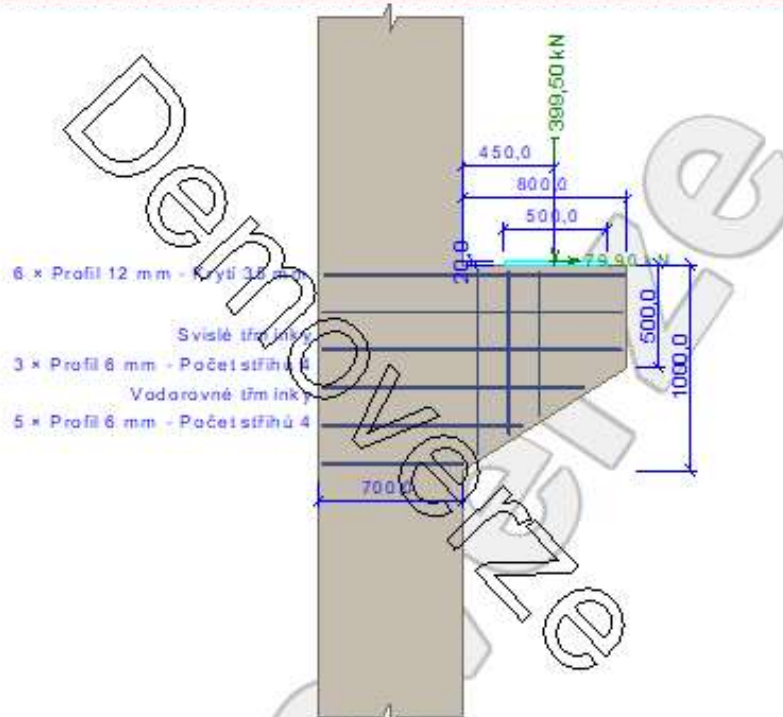
Vodorovné třminky

5 × Profil 6 mm - Počet stříhů 4

Zatížení

Svislá síla :	$F_{Ed} = 399,50$ kN
Vodorovná síla :	$H_{Ed} = 79,90$ kN
Excentricita :	$a_c = 450,0$ mm

Schéma



1.2 Výsledky

	$\gamma = 1 - f_{ck} / 250 = 1 - 40 / 250 = 0,84$
	$f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_C = 1 \times 40 / 1,5 = 26,67 \text{ MPa}$
Maximální napětí ve styčniku typu CCC	$\sigma_{Rd,max} = k_t \times \gamma \times f_{cd} = 1 \times 0,84 \times 26,67 = 22,4 \text{ MPa}$
Šířka tlačené oblasti	$x_1 = F_{Ed} / b \times \sigma_{Rd,max} = 399,5 / 700 / 22,4 = 25,48 \text{ mm}$
Rameno vnější síly	$d' = c + 0,5 \times \varnothing = 35 + 0,5 \times 12 = 41 \text{ mm}$ $a = a_c + 0,5 \times x_1 + H_{Ed} / F_{Ed} \times (d' + \Delta h) = 450 + 0,5 \times 25,48 + 0,2 \times (41 + 20) = 474,9 \text{ mm}$ $d = h - d' = 1000 - 41 = 959 \text{ mm}$
Výška tlačené oblasti	$y_1 = d - \sqrt{(d^2 - 2 \times x_1 \times a)} = 959 - \sqrt{(959^2 - 2 \times 25,48 \times 474,9)} = 12,7 \text{ mm}$
Rameno vnitřních sil	$z = d - 0,5 \times y_1 = 959 - 0,5 \times 12,7 = 952,6 \text{ mm}$
Typ konzoly	$a/z = 0,5 \leq 0,5 \Rightarrow$ krátká konzola
Hlavní tahová síla	$F_t = F_{Ed} \times a / z + H_{Ed} \times [1 + (d' + \Delta h) / z] = 399,5 \times 474,9 / 952,6 + 79,9 \times [1 + (41 + 20) / 952,6] = 284,2 \text{ kN}$ $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S = 500 / 1,15 = 434,8 \text{ MPa}$
Požadovaná plocha hlavní výztuže	$A_{sl,req} = F_t / f_{yd} = 284,2 / 434,8 = 653,6 \text{ mm}^2$
Zadaná plocha hlavní výztuže	$A_{sl} = 678,6 \text{ mm}^2 \geq A_{sl,req} = 653,6 \text{ mm}^2 \Rightarrow$ VYHOVUJE 96,3 %
Sklon tlačené diagonály	$\theta = 63,5^\circ$
Síla v tlačené diagonále	$F = F_{Ed} / \sin(\theta) = 399,5 / \sin(63,5) = 446,4 \text{ kN}$ $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_C = 0,18 / 1,5 = 0,12$ $k = \min(1 + \sqrt{(200 / d)}; 2) = \min(1 + \sqrt{(200 / 959)}; 2) = \min(1,457; 2) = 1,457$ $p_t = \min(A_{sl} / (b \times d); 0,02) = \min(678,6 / (700 \times 959); 0,02) = \min(0,00101; 0,02) = 0,00101$ $v_{min} = 0,035 \times k^{1,5} \times \sqrt{f_{ck}} = 0,035 \times 1,457^{1,5} \times \sqrt{40} = 0,389 \text{ MPa}$

Únosnost bez smykové výztuže	$\sigma_{cp} = \min(-H_{Ed} / (h \times b); 0,2 \times f_{cd}) = \min(-79,9 / (1\,000 \times 700); 0,2 \times 26,67) = \min(-114,10^3; 5,33 \cdot 10^6) = -0,114 \text{ MPa}$ $V_{Rdc} = (\max(C_{Rd,c} \times k \times \sqrt[3]{100 \times \rho_l \times f_{ck}}; v_{min}) + k_1 \times \sigma_{cp}) \times b \times d = (\max(0,12 \times 1,457 \times \sqrt[3]{100 \times 0,00101 \times 40}; 0,389) + 0,15 \times (-0,114)) \times 700 \times 959 = 249,8 \text{ kN}$
Únosnost bez smykové výztuže - 1	$\beta \times F_{Ed} = 99,88 \text{ kN} \leq V_{Rdc} = 249,8 \text{ kN}$
Únosnost bez smykové výztuže - 2	$F_{Ed} = 399,5 \text{ kN} \leq V_{Rdc,max} = 4\,511 \text{ kN} \Rightarrow$ JE POTŘEBA POUZE KONSTRUKČNÍ VÝZTUŽ 40,0 %
Vodorovná složka tahové síly	$l = \sqrt{a^2 + z^2} = \sqrt{474,9^2 + 952,6^2} = 1\,064 \text{ mm}$
Požadavek dle kapitoly 6.5	$T = 1/4 \times [1 - 0,7 \times \sqrt{(x_1^2 + y_1^2) / (0,5 \times J)}] \times F = 0,25 \times [1 - 0,7 \times \sqrt{25,48^2 + 12,7^2} / (0,5 \times 1\,064)] \times 446,4 = 107,4 \text{ kN}$
Požadavek dle přílohy J	$T_{horz} = 1,2 \times 2 \times T \times \sin(\theta) = 1,2 \times 2 \times 107,4 \times \sin(63,5) = 230,7 \text{ kN}$
Zadaná plocha vodorovné výztuže	$A_{sh,req} = T_{horz} / f_{yd} = 230,7 / 434,8 = 530,7 \text{ mm}^2$
Napětí pod styčnou deskou	$A_{sh,req} = k_1 \times A_{sl} = 0,25 \times 678,6 = 169,6 \text{ mm}^2$ $A_{sh} = 565,5 \text{ mm}^2 \geq A_{sh,req} = 530,7 \text{ mm}^2 \Rightarrow$ VYHOVUJE 93,8 % $\sigma = 1,598 \text{ MPa} \leq f_{cd} = 26,67 \text{ MPa} \Rightarrow$ VYHOVUJE 6,0 %

PŘÍLOHA č. 7 – návrh dlouhé konzoly programem FIN EC:

Norma

Norma **EN 1992-1-1/Česko**

Únosnost betonu - základní kombinace zatížení	: $\gamma_c = 1,5$
Únosnost výztuže - základní kombinace zatížení	: $\gamma_s = 1,15$
Maximální napětí ve styčniku CCC	: $k_1 = 1,0$
Maximální napětí ve styčniku CCT	: $k_2 = 0,85$

1 Varianta B - dlouhá konzola

1.1 Vstupní data

Materiály

Prostředí :	XC3
Beton :	C 40/50
Válcová pevnost v tlaku f_{ck}	= 40,0 MPa
Podélná výztuž :	B500B
Mez kluzu f_{yk}	= 500,0 MPa
Smyková výztuž :	B500B
Mez kluzu f_{yk}	= 500,0 MPa

Rozměry

Délka konzoly : l_c	= 800,0 mm
Výška konzoly : h_c	= 500,0 mm
Šířka sloupu : l	= 700,0 mm
Šířka : b	= 700,0 mm

Úložná deska

Výška : Δh	= 20,0 mm
Délka : l_p	= 500,0 mm
Šířka : b_p	= 500,0 mm

Vyztužení

první vrstva: 6 × Profil 12 mm - Krytí 35 mm
druhá vrstva: 6 × Profil 12 mm - Umístění středu 99 mm

Svislé třmínky

5 × Profil 6 mm - Počet stříhů 4

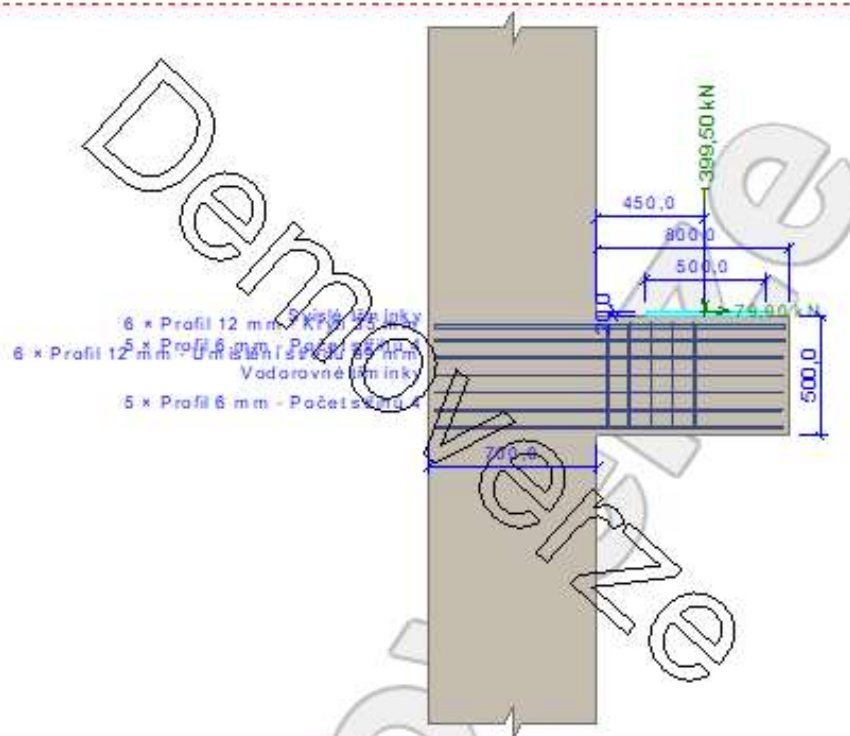
Vodorovné třmínky

5 × Profil 6 mm - Počet stříhů 4

Zatížení

Svislá síla :	$F_{Ed} = 399,50$ kN
Vodorovná síla :	$H_{Ed} = 79,90$ kN
Excentricita :	$a_c = 450,0$ mm

Schéma



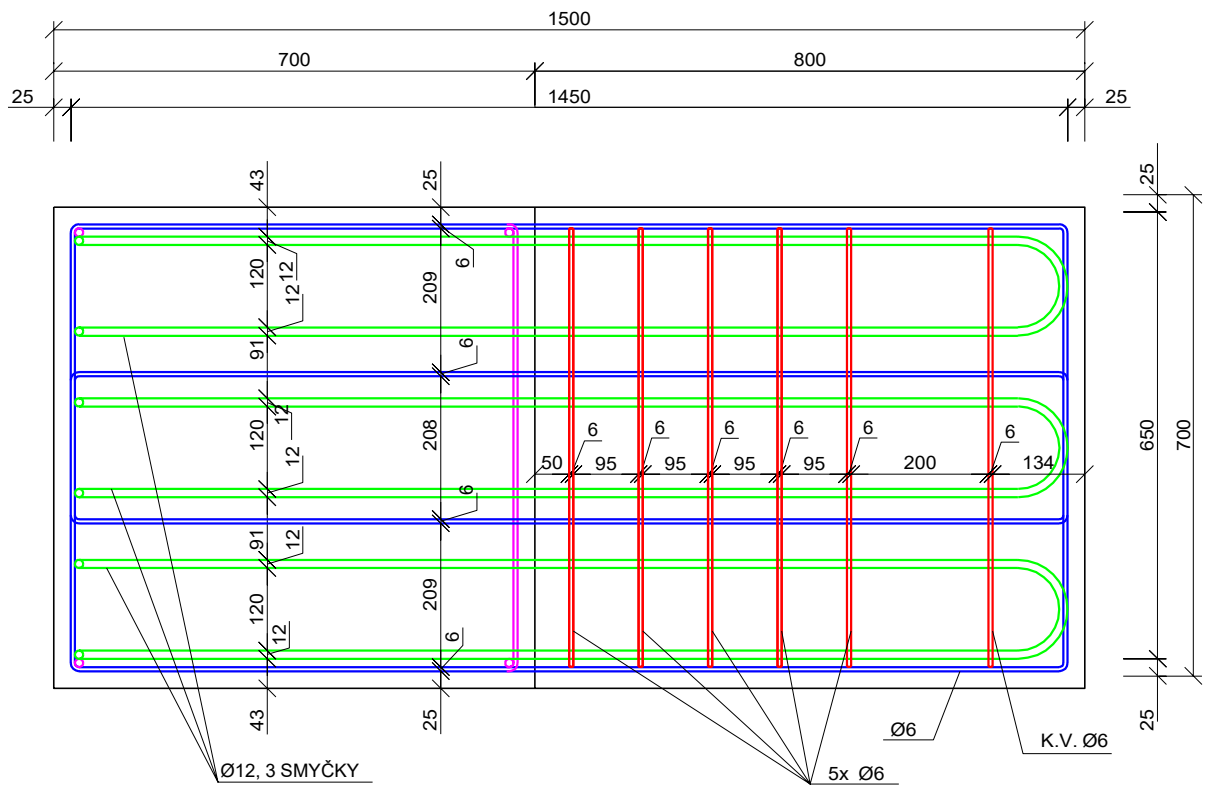
1.2 Výsledky

	$v = 1 - f_{ck} / 250 = 1 - 40 / 250 = 0.84$
	$f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_C = 1 \times 40 / 1.5 = 26.67 \text{ MPa}$
Maximální napětí ve styčniku typu CCC	$\sigma_{Rd,max} = k_1 \times v \times f_{cd} = 1 \times 0.84 \times 26.67 = 22.4 \text{ MPa}$
Šířka tlačené oblasti	$x_1 = F_{Ed} / b \times \sigma_{Rd,max} = 399.5 / 700 / 22.4 = 25.48 \text{ mm}$
Rameno vnější síly	$a = a_c + 0.5 \times x_1 + H_{Ed} / F_{Ed} \times (d' + \Delta h) = 450 + 0.5 \times 25.48 + 0.2 \times (70 + 20) = 480.7 \text{ mm}$
	$d = h - d' = 500 - 70 = 430 \text{ mm}$
Výška tlačené oblasti	$y_1 = d - \sqrt{d^2 - 2 \times x_1 \times a} = 430 - \sqrt{430^2 - 2 \times 25.48 \times 480.7} = 29.5 \text{ mm}$
Rameno vnitřních sil	$z = d - 0.5 \times y_1 = 430 - 0.5 \times 29.5 = 415.3 \text{ mm}$
Typ konzoly	$0.5 < a/z = 1.16 \leq 2.0 \Rightarrow$ dlouhá konzola
Hlavní tahová síla	$F_t = F_{Ed} \times a / z + H_{Ed} \times [1 + (d' + \Delta h) / z] = 399.5 \times 480.7 / 415.3 + 79.9 \times [1 + (70 + 20) / 415.3] = 559.7 \text{ kN}$
	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1.15 = 434.8 \text{ MPa}$
Požadovaná plocha hlavní výztuže	$A_{s1,req} = F_t / f_{yd} = 559.7 / 434.8 = 1.287 \text{ mm}^2$
Zadaná plocha hlavní výztuže	$A_{s1} = 1.357 \text{ mm}^2 \geq A_{s1,req} = 1.287 \text{ mm}^2 \Rightarrow$ VYHOVUJE 94,9 %
Sklon tlačené diagonály	$\theta = 40,82^\circ$
Síla v tlačené diagonále	$F = F_{Ed} / \sin(\theta) = 399.5 / \sin(40,82) = 611,2 \text{ kN}$
	$C_{Rd,c} = 0.18 / \gamma_C = 0.18 / 1.5 = 0.12$
	$k = \min(1 + \sqrt{(200 / d)}; 2) = \min(1 + \sqrt{(200 / 430)}; 2) = \min(1,682; 2) = 1,682$
	$\rho_1 = \min(A_{s1} / (b \times d); 0,02) = \min(1.357 / (700 \times 430); 0,02) = \min(0,00451; 0,02) = 0,00451$
	$v_{min} = 0.035 \times k^{1.5} \times \sqrt{f_{ck}} = 0.035 \times 1,682^{1.5} \times \sqrt{40} = 0,483 \text{ MPa}$

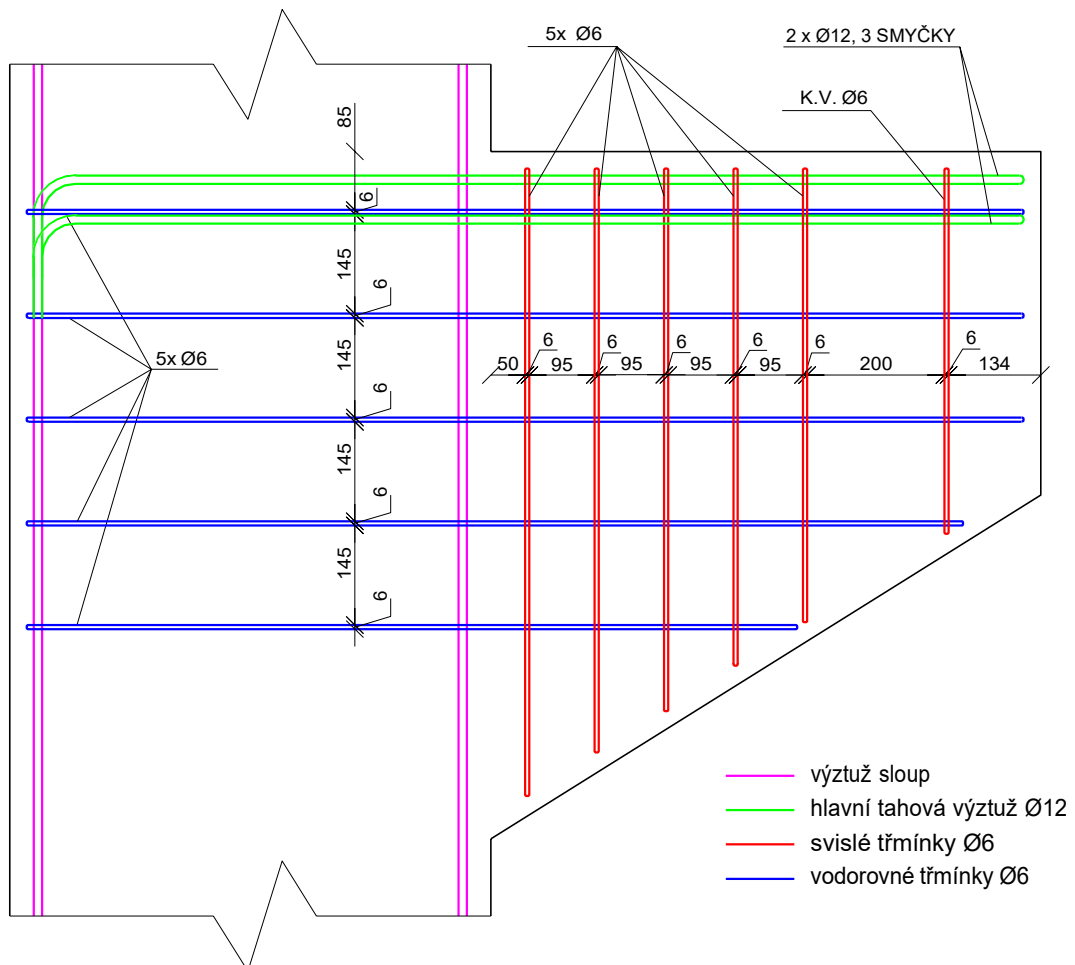
	$\sigma_{cp} = \min(-H_{Ed} / (h \times b); 0,2 \times f_{cd}) = \min(-79,9 / (500 \times 700); 0,2 \times 26,67)$ $= \min(-228,10^3; 5,33 \cdot 10^6) = -0,228 \text{ MPa}$
Únosnost bez smykové výztuže	$V_{Rdc} = (\max(C_{Rd,c} \times k \times \sqrt[3]{100 \times \rho_l \times f_{ck}}; v_{min}) + k_1 \times \sigma_{cp}) \times b \times d =$ $(\max(0,12 \times 1,682 \times \sqrt[3]{100 \times 0,00451 \times 40}; 0,483) + 0,15 \times (-0,228)) \times$ $700 \times 430 = 149 \text{ kN}$
Únosnost bez smykové výztuže - 1	$\beta \times F_{Ed} = 99,88 \text{ kN} \leq V_{Rdc} = 149 \text{ kN}$
Únosnost bez smykové výztuže - 2	$F_{Ed} = 399,5 \text{ kN} \leq V_{Rdc,max} = 2 \text{ 023 kN} \Rightarrow \text{JE POTŘEBA POUZE}$ <p>KONSTRUKČNÍ VÝZTUŽ 67,0 %</p>
Příčná tahová síla	$l = \sqrt{a^2 + z^2} = \sqrt{480,7^2 + 415,3^2} = 635,3 \text{ mm}$ $T = 1 / 4 \times [1 - 0,7 \times \sqrt{(x_1^2 + y_1^2) / (0,5 \times l)}] \times F = 0,25 \times [1 - 0,7 \times$ $\sqrt{25,48^2 + 29,5^2} / (0,5 \times 635,3)] \times 611,2 = 139,7 \text{ kN}$
Požadavek dle kapitoly 6.2	$A_{sv,req} = \beta \times F_{Ed} / f_{yd} = 0,25 \times 399,5 / 434,8 = 229,7 \text{ mm}^2$
Svislá složka tahové síly	$T_{vert} = 1,2 \times 2 \times T \times \cos(\theta) = 1,2 \times 2 \times 139,7 \times \cos(40,82) = 253,7 \text{ kN}$
Požadavek dle kapitoly 6.5	$A_{sv,req} = T_{vert} / f_{yd} = 253,7 / 434,8 = 583,4 \text{ mm}^2$
Požadavek dle přílohy J	$A_{sv,req} = k_2 \times F_{Ed} / f_{yd} = 0,5 \times 399,5 / 434,8 = 459,4 \text{ mm}^2$
Zadaná plocha svislé výztuže	$A_{sv} = 565,5 \text{ mm}^2 \geq A_{sv,req} = 583,4 \text{ mm}^2 \Rightarrow \text{VYHOVUJE } 81,2 \%$
Je požadováno alespoň 229,7 mm ² (3× třmínek) umístit do středních třech čtvrtin oblasti mezi sloupem a úložnou deskou	
Vodorovná složka tahové síly	$T_{horz} = 1,2 \times 2 \times T \times \sin(\theta) = 1,2 \times 2 \times 139,7 \times \sin(40,82) = 219,1 \text{ kN}$
Požadavek dle kapitoly 6.5	$A_{sh,req} = T_{horz} / f_{yd} = 219,1 / 434,8 = 504 \text{ mm}^2$
Zadaná plocha vodorovné výztuže	$A_{sh} = 565,5 \text{ mm}^2 \geq A_{sh,req} = 504 \text{ mm}^2 \Rightarrow \text{VYHOVUJE } 89,1 \%$
Napětí pod styčnou deskou	$\sigma = 1,598 \text{ MPa} \leq f_{cd} = 26,67 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE } 6,0 \%$

Příloha č. 8 - schéma krátké konzoly pro stejné vyztužení

PŮDORYS

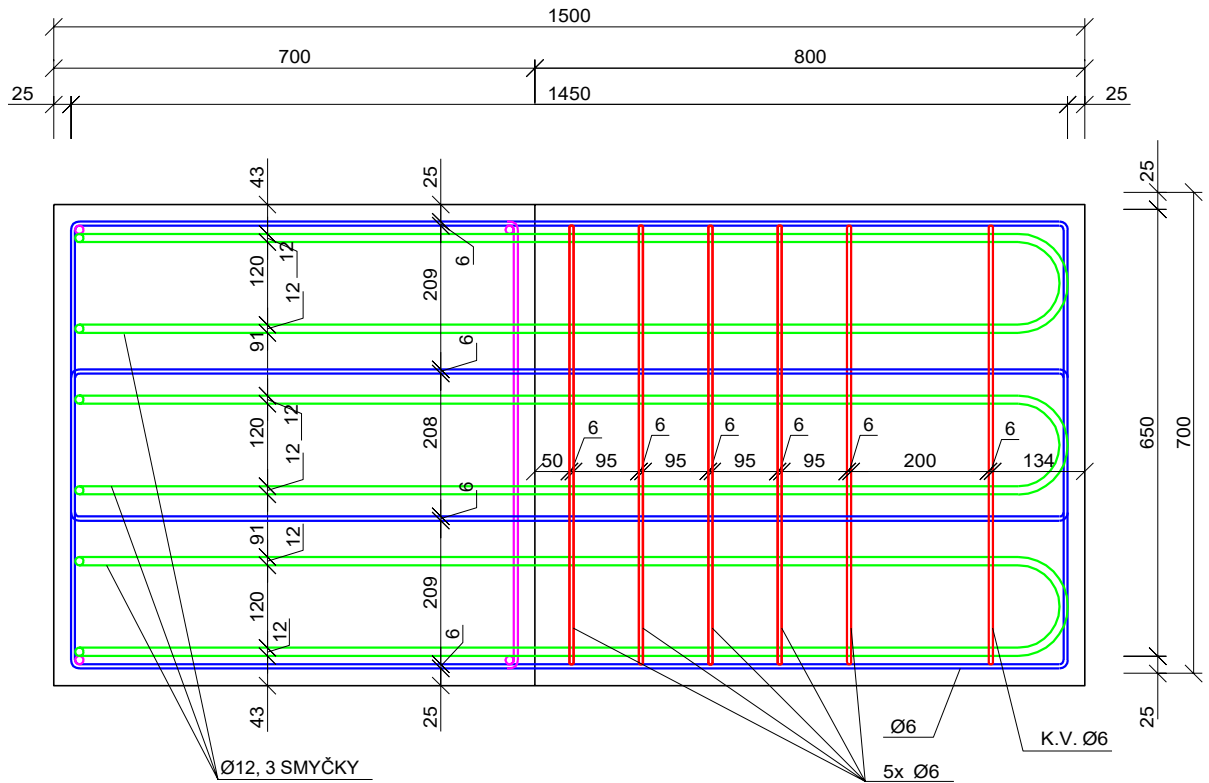


BOČNÍ POHLED

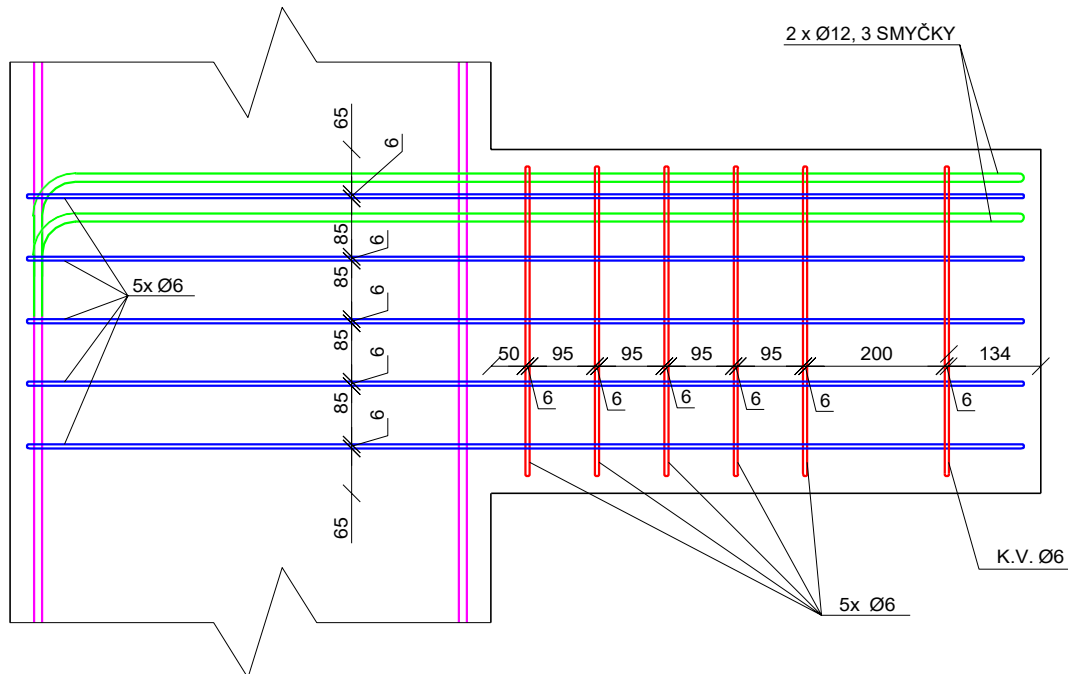


Příloha č. 9 - schéma dlouhé konzoly pro stejné vyztužení

PŮDORYS



BOČNÍ POHLED



- výztuž sloup
- hlavní tahová výztuž Ø12
- svislé třmínky Ø6
- vodorovné třmínky Ø6