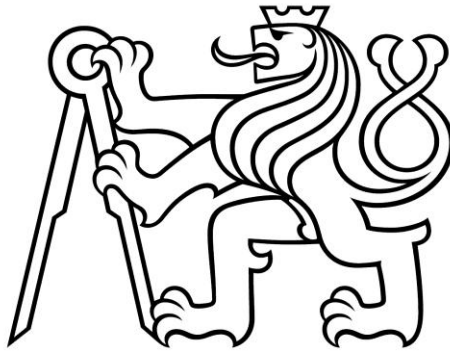


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta Stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



**POROVNÁNÍ PŘÍSTUPŮ K NÁVRHU VÝZTUŽE
ŽELEZOBETONOVÉ STĚNY**

COMPARISON OF APPROACHES TO THE
REINFORCEMENT DESIGN FOR REINFORCED
CONCRETE WALL

Bakalářská práce

Autor práce: Radim Čermák

Vedoucí práce: Ing. Josef Novák, Ph.D

Praha 2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: _____ Jméno: _____ Osobní číslo: _____
Zadávací katedra: _____
Studijní program: _____
Studijní obor: _____

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: _____
Název bakalářské práce anglicky: _____
Pokyny pro vypracování:

Seznam doporučené literatury:

Jméno vedoucího bakalářské práce: _____

Datum zadání bakalářské práce: _____ Termín odevzdání BP v IS KOS _____
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“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně za použití literatury a zdrojů uvedených v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací a s využitím informací z konzultací s vedoucím práce Ing. Josefem Novákem, Ph.D.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, která byla vložena do IS KOS.

V Praze dne 12.5.2023

Čermák Radim

Poděkování

Tímto chci poděkovat Ing. Josefu Novákovi, Ph.D. za vstřícný přístup při konzultacích a za odborné rady. Vážím si jeho stráveného času při vedení této závěrečné práce. Dále děkuji své rodině, mé přítelkyni a blízkým přátelům za podporu a stálou motivaci ke studiu.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá porovnáním přístupů k návrhu výztuže železobetonové stěny. V práci jsou obsaženy návrhy a posouzení výztuže, které se liší v předpokladech chování a v idealizaci stěnového prvku. Presentované poznatky a informace byly převzaty z odborných zdrojů. Výpočetní modely byly zpracovány ve vybraných výpočetních nástrojích a spočteny metodou konečných prvků. K práci je přiložen předběžný statický výpočet, výkresy konstrukčního řešení objektu, výkresy tvaru a výkresy výztuže stěny.

Klíčová slova

Vierendeelův nosník, stěnový nosník, železobeton, lineární analýza, nelineární analýza, výztuž

Annotation

The bachelor thesis deals with the comparison of approaches to the reinforcement design for a reinforced concrete wall. It includes designs and assessments of reinforcement that differ in assumptions about the behaviour and idealization of the wall element. The presented information were taken over from official sources, computational models were processed using selected computational tools and calculated using the finite element method. The thesis contains a preliminary static analysis, structural solution drawings, formwork drawings and reinforcement drawings of the wall.

Keywords

Vierendeel girder, deep beam, reinforced concrete, linear analysis, non-linear analysis, reinforcement

Obsah

1	Úvod.....	8
1.1	Vierendeelův nosník.....	9
1.2	Statická analýza nosníku.....	9
1.3	Použití Vierendeelova nosníku.....	12
1.4	Příklady realizací.....	13
2	Úvod do praktické části.....	15
2.1	Řešený objekt.....	16
2.1.1	Dispoziční řešení objektu.....	17
2.1.2	Konstrukční řešení objektu.....	19
2.2	Řešený stěnový prvek.....	21
3	Analýza konstrukce.....	22
3.1	Lineárně pružná analýza.....	23
3.2	Nelineární analýza.....	24
4	Návrh výztuže stěnového prvku.....	25
4.1	Sestavení 3D modelu.....	25
4.2	Návrh dle předpokládaných ploch výztuže.....	26
4.2.1	Konstrukční zásady.....	30
4.2.2	Rozmístění prutů.....	31
4.2.3	Zhodnocení návrhu.....	32
4.3	Návrh dle FIN EC.....	33
4.3.1	Idealizace stěny.....	33
4.3.2	Návrh výztuže.....	34
4.3.3	Rozmístění prutů.....	41
4.4	Porovnání výsledků.....	42
4.5	Nelineární výpočet.....	43
4.5.1	Sestavení 2D modelu.....	43

4.5.2	Zadávání zatížení	44
4.5.3	Topologická optimalizace	48
4.5.4	Zadávání výztuže	49
4.5.5	Posudek pro výztuž ze SCII Engineer.....	49
4.5.6	Posudek pro výztuž z FIN EC.....	51
4.6	Úprava návrhu	52
4.6.1	Posudek MSÚ	53
4.6.2	Posudek MSP	54
4.6.3	Souhrnný posudek.....	56
5	Závěr.....	58
	Reference.....	60
	Seznam obrázků	63
	Seznam tabulek	66
	Přílohy výsledků.....	67
	Příloha A – Návrh dle požadovaných ploch výztuže	67
	Rastr 8/250	67
	Rastr 8/150	68
	Rastr 10/150	69
	Příloha B – Návrh dle FIN EC	70
	Okrajové sloupy 8/250	70
	Vnitřní sloupy 8/250	71
	Vnitřní sloupy 8/125	72
	Vnitřní sloupy 8/110	73
	Spodní trám	74
	Horní trám	75

1 Úvod

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem stěnového prvku při uplatnění různých návrhových metod a stupňů idealizace konstrukce.

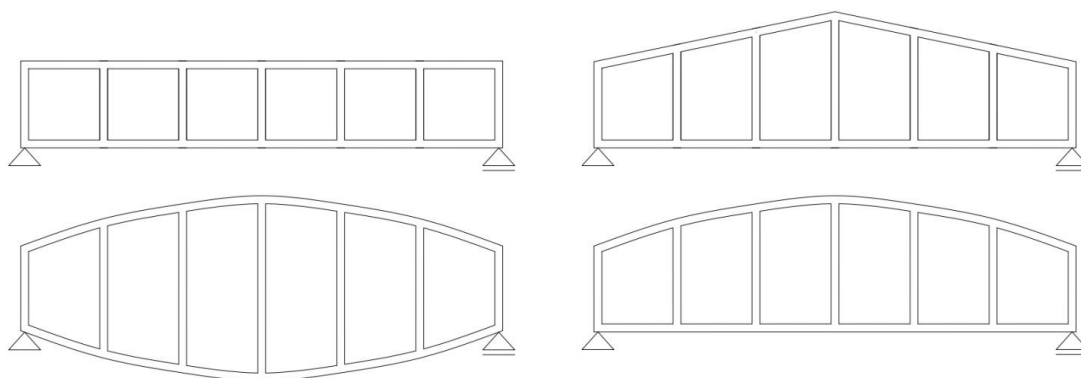
V úvodní části bakalářské práce byl zpracován souhrn informací k Vierendeelovu typu nosníků. Informace převzaté z odborných publikací popisují základní podstatu chování prvku včetně reálných příkladů z praxe.

Ve druhé praktické části byl nejdříve zpracován návrh konstrukčního řešení objektu, poté předběžný návrh nosných prvků a na základě toho byly vytvořeny výkresy s konstrukčními schématy a výkresy tvaru. Následně největší pozornost byla věnována přístupům k návrhu konkrétního vybraného prvku. K návrhu byly vybrány výpočetní programy, které pracují s metodou konečných prvků. Lineární výpočet proběhl v programu SCIA Engineer, který byl následně doplněn výpočtem v programu FIN EC. S uplatněním nelineární analýzy byl konstrukční prvek navržen v programu IDEA StatiCa. V práci byl kladen důraz na porovnání výsledného vyztužení nosné konstrukce v závislosti na tom, jakým způsobem je při návrhu idealizováno její chování.

Aby bylo možné návrhy provést a interpretovat jejich případné odlišnosti, bylo nejdříve potřeba provést studii způsobů, jakými lze v současnosti analýza železobetonových konstrukcí provádět a hlouběji porozumět teoretickému pozadí výpočetních nástrojů. Prohloubení znalostí v dané problematice bylo hlavní motivací k tvorbě této závěrečné práce.

1.1 Vierendeelův nosník

Ke konci 19. století belgický inženýr Jules Arthur Vierendeel získal patent na nový typ nosníku, který se vyznačoval tím, že se skládal jen ze svislých a vodorovných prvků. V minulosti do této doby byly známé a často používané jiné typy nosníků, využívající kromě svislých a vodorovných prvků také prvky diagonální. Do té doby byly nejčastěji konstruované příhradové nosníky Prattovy, Warrenovy nebo Howeovy, které jsou konstrukčně a vzhledově vzájemně odlišeny orientací a uspořádáním diagonál.

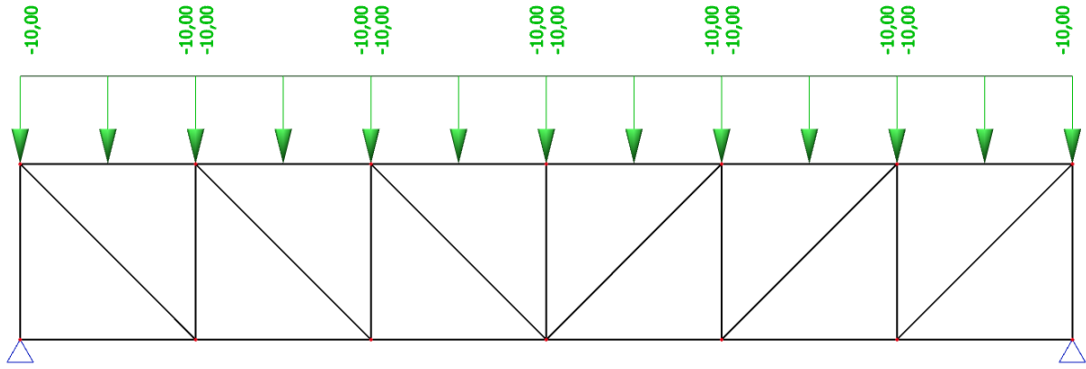


Obr. 1.1 - Možné typy Vierendeelova nosníku [4]

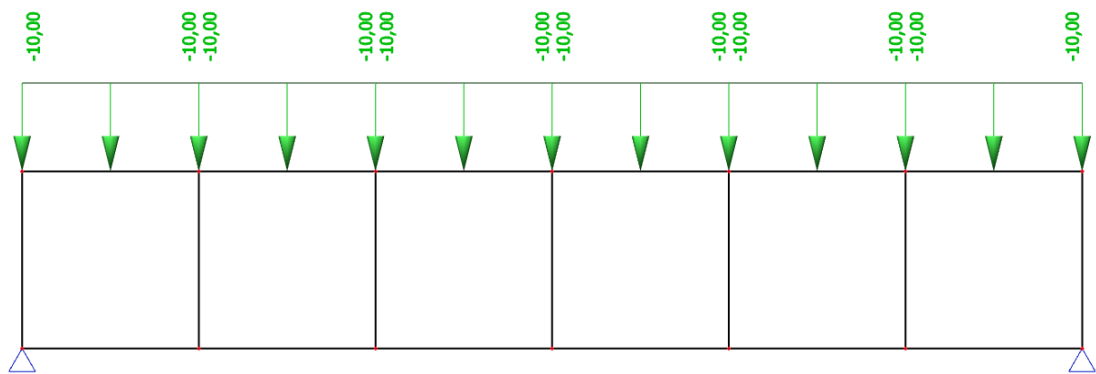
1.2 Statická analýza nosníku

Zatímco nosníky s diagonálami jsou navrhovány převážně na normálové působení sil, jsou navíc svislé a vodorovné prvky Vierendeelova nosníku namáhány poměrně velkými ohybovými momenty a smykovými silami [15]. Vierendeelův typ nosníku, také kvůli absenci diagonálních prvků, vykazuje při stejném svislém zatížení, rozponu nosníku a konstrukčním profilu oproti častěji používaným nosníkům s diagonálami značně vyšší průhyb [1].

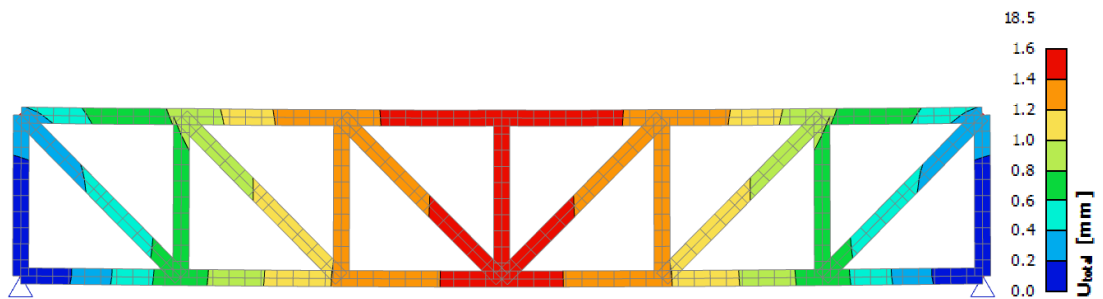
Pro ukázkou a porovnání byly vytvořeny jednoduché modely Prattova a Vierendeelova nosníku ve SCII Engineer (Obr. 1.2, Obr. 1.3). Nosníky mají stejný rozpon, stejná rozpětí polí a jsou zatíženy stejným liniovým zatížením. Rozdíl deformací obou nosníků je patrný z výsledků průhybů obou nosníků (Obr. 1.4, Obr. 1.4).



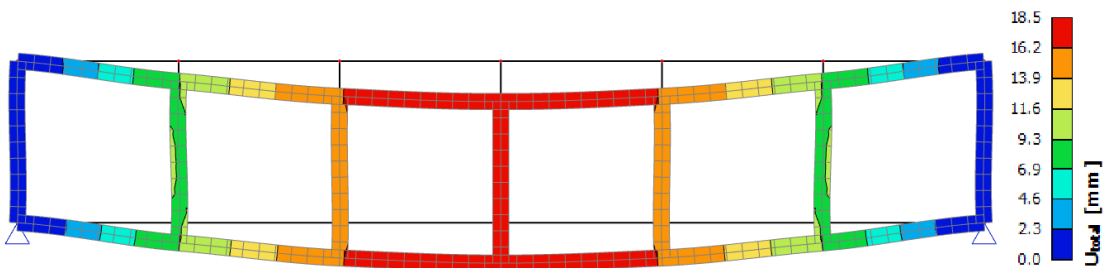
Obr. 1.2 - Zatížení Prattova nosníku [kN/m]



Obr. 1.3 - Zatížení Vierendeelova nosníku [kN/m]



Obr. 1.4 - Průhyb Prattova nosníku



Obr. 1.5 - Průhyb Vierendeelova nosníku

Pro jeho realizaci je tedy vyžadována větší ohybová a smyková tuhost konstrukčních prvků, což vede k potřebě zesílení průřezů a tedy i ke zvýšení realizačních nákladů [2].

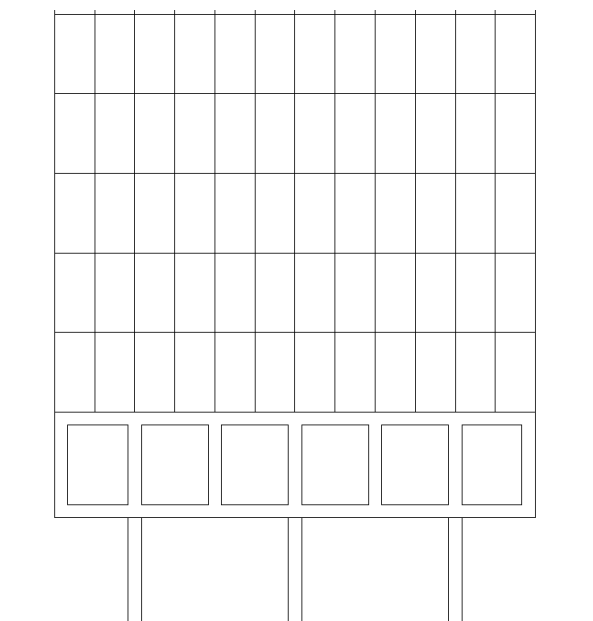
Vierendeelův nosník je vnitřně staticky neurčitá konstrukce, pro jejíž analýzu a hodnocení jejího chování používáme principiálně podobné metody jako u tuhých rámových konstrukcí. V současnosti jsou tyto metody výpočtů již známé a kvůli pokroku technologií poměrně nenáročné, nicméně v době Vierendeelova života si návrh jeho nosníku vyžadoval mnohem komplexnější přístup, než v té době bylo zvykem [15]. Stejně jako u tuhých rámu je i u Vierendeelova nosníku chování konstrukce ovlivněno tuhostí jeho konstrukčních prvků [2]. Proto také je nejvýhodnější, pokud je to vyžadováno z estetických nebo funkčních důvodů, realizovat právě Vierendeelův nosník na delší rozpony, použít materiál s velkou smykovou a ohybovou tuhostí. To je důvod, proč inženýři v takové situaci při návrhu raději upřednostní ocel oproti železobetonu.

Návrh železobetonového Vierendeelova nosníku může být problematický, především u návrhu nosníku na delší rozpony. V takovém případě bude pravděpodobně potřeba konstrukci předepnout přidanou normálovou silou, která vnáší do betonu tlakovou rezervu vzdorující tahovému zatížení. Takové řešení je z hlediska potřeby vyšší pracovní a kvality použitých materiálů spíše neefektivní.

1.3 Použití Vierendeelova nosníku

V souvislosti s tím, že je realizace Vierendeelova nosníku pro běžné použití nákladná, najde svoje využití převážně na místech, kde je potřeba otevřený prostor pro dveře, chodby, okna nebo vedení instalací technických zařízení budov [3]. Vierendeelovy nosníky lze v současnosti navrhovat pro mostní konstrukce nebo pro pozemní stavby. Jsou obvykle konstruovány na výšku jednoho nebo více podlaží jako obvodová konstrukce s okenními výplněmi v jejich otvorech.

U výškových budov lze Vierendeelův nosník využít jako přechodové podlaží, které umožňuje změnu konstrukčního systému nad přízemním podlažím (Obr.1.6) [8]. To platí všude tam, kde je požadavek na vnitřní dispozici objektu odlišný pro přízemí a pro navazující horní podlaží. Typickým příkladem jsou objekty, kde musí být v prvním nadzemním podlaží otevřený prostor pro parkovací stání a kde navazují další podlaží s dispozicí pro komerční nebo obytný účel.



Obr. 1.6 - Schéma přechodového podlaží jako Vierendeelův nosník [8]

1.4 Příklady realizací

Příkladem užití Vierendeelova nosníku může být budova The American Zinc Building, postavená v roce 1967 v St. Louis, Missouri. Obvodová nosná konstrukce budovy je realizovaná jako Vierendeelovy nosníky z nerezové oceli na výšku jednoho podlaží. Podporou pro Vierendeelovu nosnou konstrukci dlouhou přes 37 metrů jsou dva ocelové sloupky v exteriéru (Obr. 1.7) [11].



Obr. 1.7 - The American Zinc Building, St. Louis, Missouri [5]

Jako příklad pozemní stavby z tuzemska lze uvést bývalou Budovu Federálního shromáždění (Nová Budova Národního muzea v Praze). Nadstavba čtvrtého a pátého patra původního třípatrového objektu je konstrukčně řešena pomocí čtyř ocelových svařovaných Vierendeelových nosníků dlouhých 80 metrů. Zatížení z nosníků je přenášeno do čtyřech vnějších sloupů [6]. Tato nadstavba byla realizována od roku 1966 do roku 1973. Konstrukce vážící kolem čtyř set tun byla nejdříve svařena a v celku vyzvednuta na pylony do výšky 22 metrů [12].



Obr. 1.8 - Nová budova Národního muzea [7]

Zajímavé použití Vierendeelova nosníku můžeme vidět na projektu renovace lávky pro pěší a cyklisty ze sousedního Německa. Samotný statický návrh a realizaci má na starosti stavební firma dopravních staveb Verkehrs und Ingenieurbau Consult GmbH. Lávka se zakřiveným půdorysem překonává rozpětí 35 metrů. Jako materiál pro horní a spodní pás Vierendeelova nosníku a skříňový nosník mostovky byly použity duté ocelové profily s jakostí S 235, pro svislice S 355. Vzhledem k účelu stavby a jejímu atypickému řešení bylo nutné použitelnost konstrukce posoudit i z hlediska kmitání [14].



Obr. 1.9 - Realizovaný projekt pěší lávky [13]

2 Úvod do praktické části

Cílem práce je provést studii dvou návrhových přístupů, podle kterých bude navržena výztuž v obvodovém železobetonovém stěnovém prvku (kap. 2.2).

V prvním z nich bude cílem využít lineární analýzu v programu SCIA Engineer. Ve SCIE Engineer budou využity některé moduly, určené pro přímý návrh výztuže a zároveň pro vykreslení výstupů, které budou následně použity pro posudek v doplňujícím programu FIN EC.

Druhý přístup využívá složitější nelineární analýzu stěnového nosníku, který ve skutečnosti spadá do poruchových oblastí diskontinuit. S využitím programu IDEA StatiCa budou ve dvourozměrném modelu stěny dílčí návrhy ověřeny z hlediska použitelnosti nebo efektivnosti.

Aby bylo možné výsledky porovnávat, budou všechny návrhy provedeny tak, aby vyhověly na mezní stav únosnosti (dále jen MSÚ), ve kterém bude vyhodnocena pevnost a únosnost materiálů a na mezní stavy použitelnosti (dále jen MSP), ve kterých se vyšetřuje omezení napětí a šířky trhlin. Lze očekávat značné rozdíly výsledků lineárního a nelineárního výpočtu.

Jeden z cílů praktické části je propojení globálního numerického modelu objektu s dvourozměrným modelem řešené stěny tak, aby jeho vstupy co nejlépe reprezentovaly chování stěny ve spolupůsobení navazujících konstrukcí objektu. Je tedy potřeba vhodně zvolit geometrii, zatížení a podepření dvourozměrného modelu, a tím co nejlépe odhadnout skutečné chování konstrukce.

2.1 Řešený objekt

K řešení praktické části bakalářské práce byla zvolena administrativní budova společnosti Geoindustrie v průmyslovém areálu ve Velkém Oseku.



Obr. 2.1 - Řešená administrativní budova [9]

Objekt byl realizován v roce 2021 a pro účely bakalářské práce byl oproti původnímu návrhu v některých jeho částech změněn. Zachovány byly veškeré rozměry budovy, rozměry otvorů a větší část vnitřní dispozice. Oproti již realizované stavbě je v bakalářské práci uvažována prosklená jihozápadní fasáda v prvním nadzemním podlaží, která vytváří problematiku návrhu stěnového nosníku. Proto byly v dispozici sloučeny některé původně oddělené kancelářské místnosti do jedné větší kanceláře. Zároveň byl změněn konstrukční systém z prefabrikovaného železobetonového na monolitický železobetonový.

2.1.1 Dispoziční řešení objektu

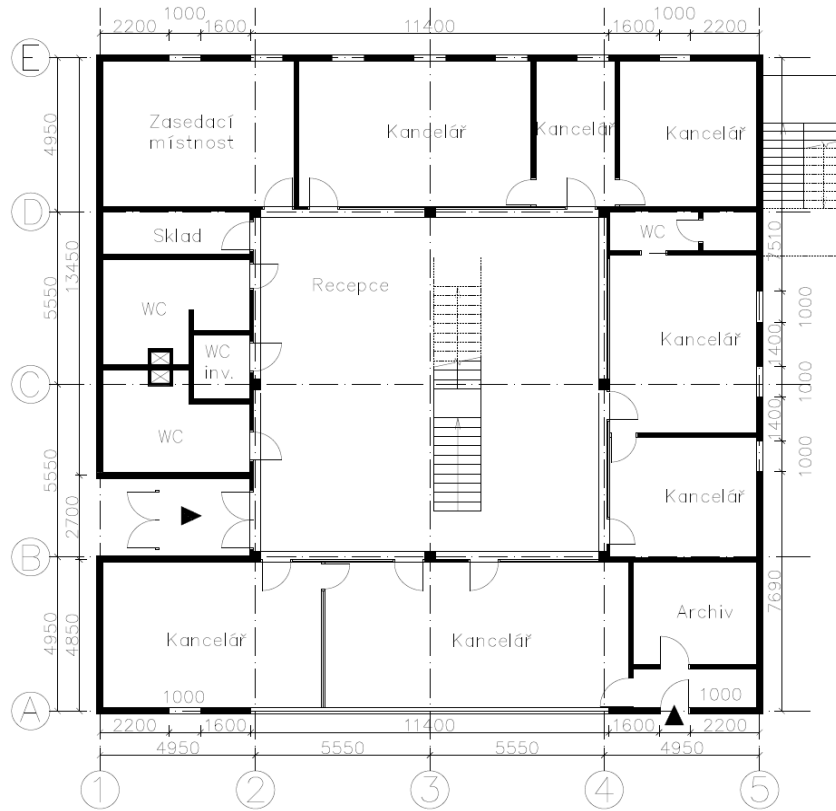
Dispozice budovy a konstrukční systém je zvolen s důrazem na prosvětlenost vnitřních prostorů. Na střeše jsou umístěny šedové světlíky s orientací na východ, které do objektu dodávají světlo přes celou jeho výšku. To umožňuje hlavně otevřený prostor ve stropní desce.

Jednotlivé kanceláře jsou odděleny od prostorů chodby a ostatních místností lehkými dřevěno-skleněnými příčkami Miltwood. Těžké pórobetonové příčky Ytong jsou použity pouze na místech, kde jsou kladeny přísnější normové požadavky na akustiku [9].

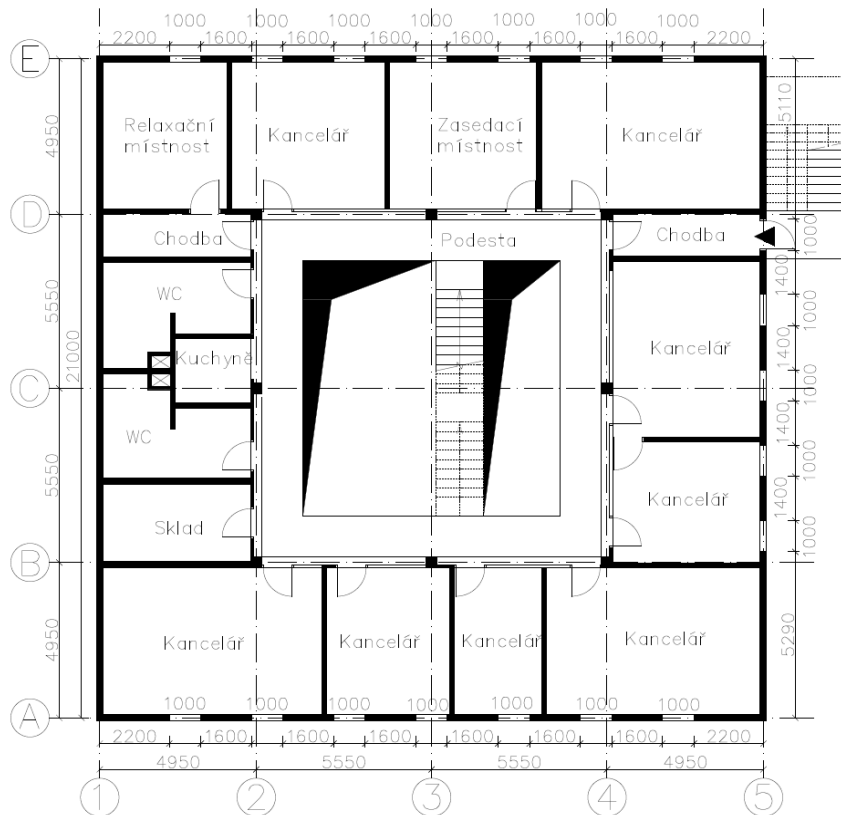
Do objektu vedou tři vstupy, z nichž dva jsou bezbariérové. Bezbariérovost objektu je uvažována jen pro první nadzemní podlaží.



Obr. 2.2 - Pohled do interiéru budovy [9]



Obr. 2.3 - Stavební schéma 1. NP



Obr. 2.4 - Stavební schéma 2.NP

2.1.2 Konstrukční řešení objektu

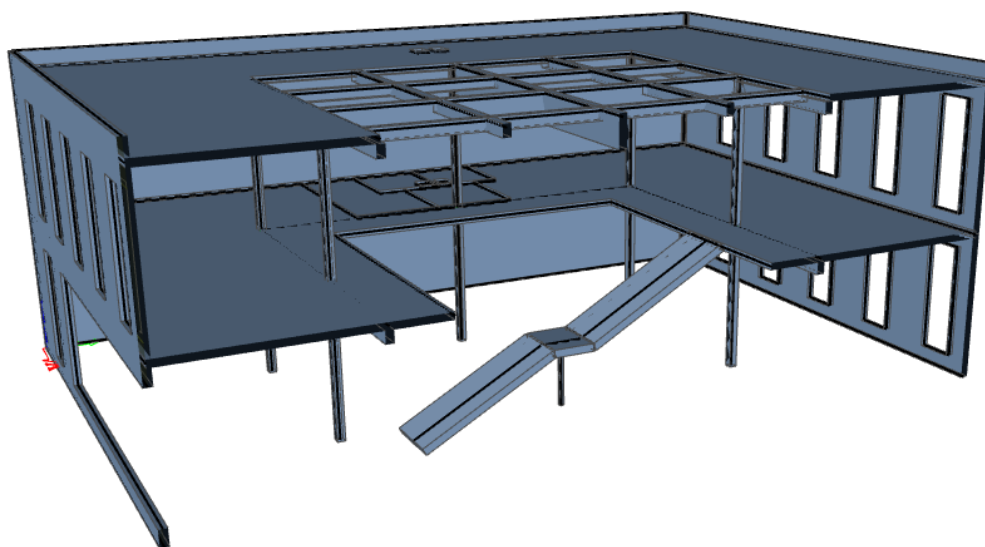
Administrativní budova je dvoupodlažní objekt čtvercového půdorysu s vnějšími rozměry hrubé stavby 21,2 x 21,2 m s konstrukční výškou 3,9 m.

Nosný systém je železobetonový monolitický smíšený. Uvnitř převažuje skelet se symetricky rozmístěnými sloupy a průvlaky, který uzavírají obvodové nosné stěny.

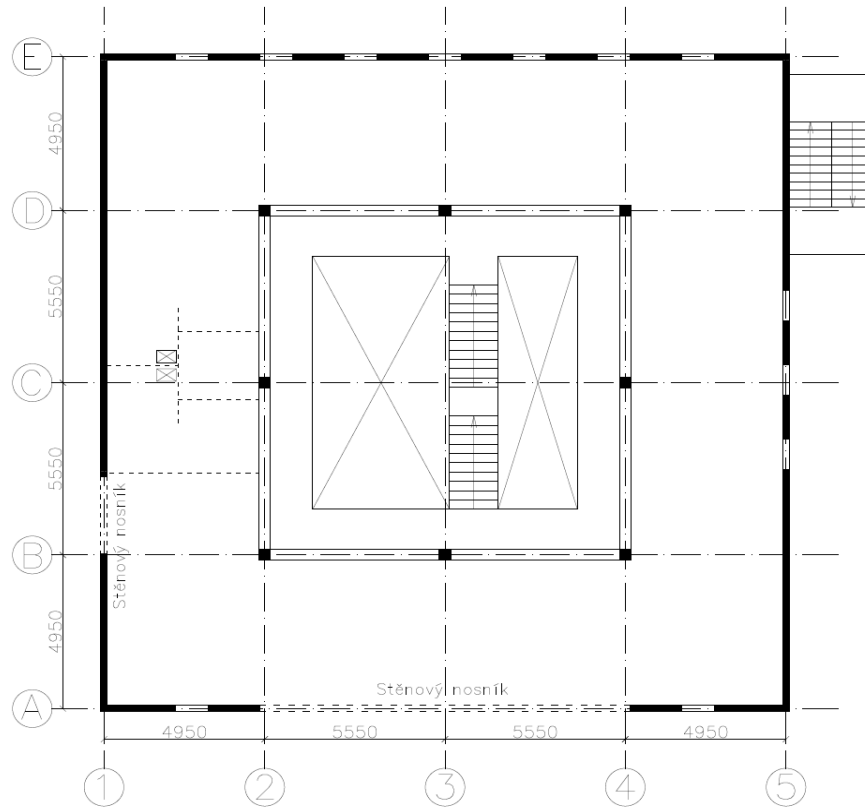
Stropní desky prvního a druhého nadzemního podlaží s převislým koncem působí převážně jednosměrně a tvoří prstenec po obvodu objektu.

Interiérové schodiště je prefabrikované železobetonové, přímé, dvouramenné. První schodišťové rameno je podepřeno na sloupku, druhé je napojeno na první rameno a stropní desku ozubem. V exteriéru se nachází samonosné ocelové schodiště, umožňující přístup do druhého nadzemního podlaží a na střechu. Ta je uvažována jako klasická, nepochozí s výjimkou údržby a oprav a je přitížená kačírkiem.

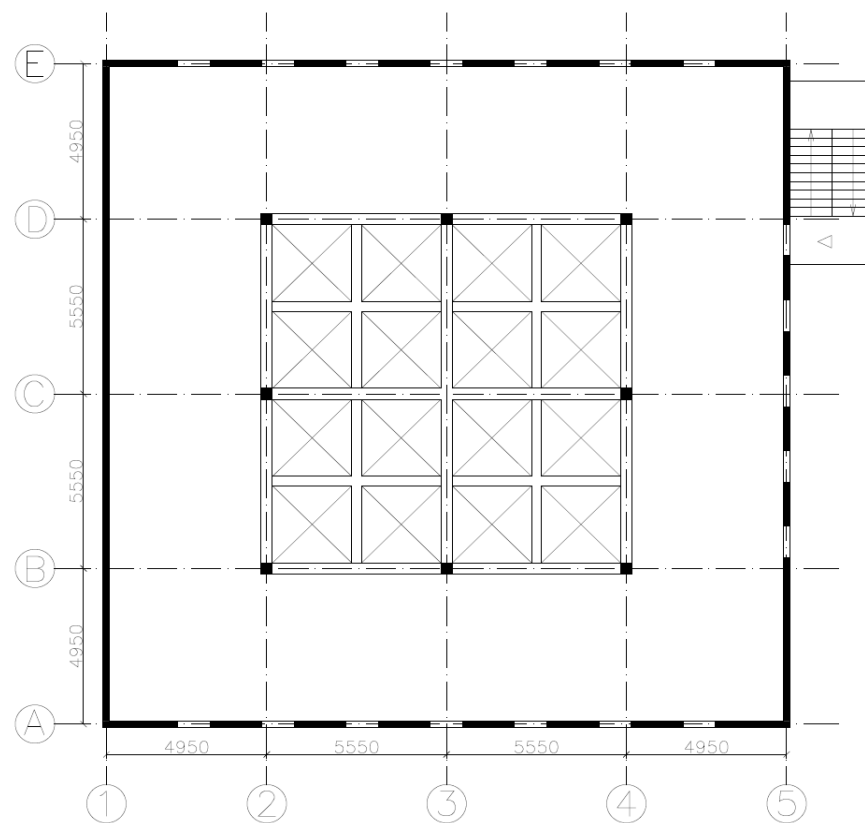
Vzhledem k návaznosti obou podlaží není konstrukční řešení budovy komplikované.



Obr. 2.5 - Řez globálním numerickým modelem



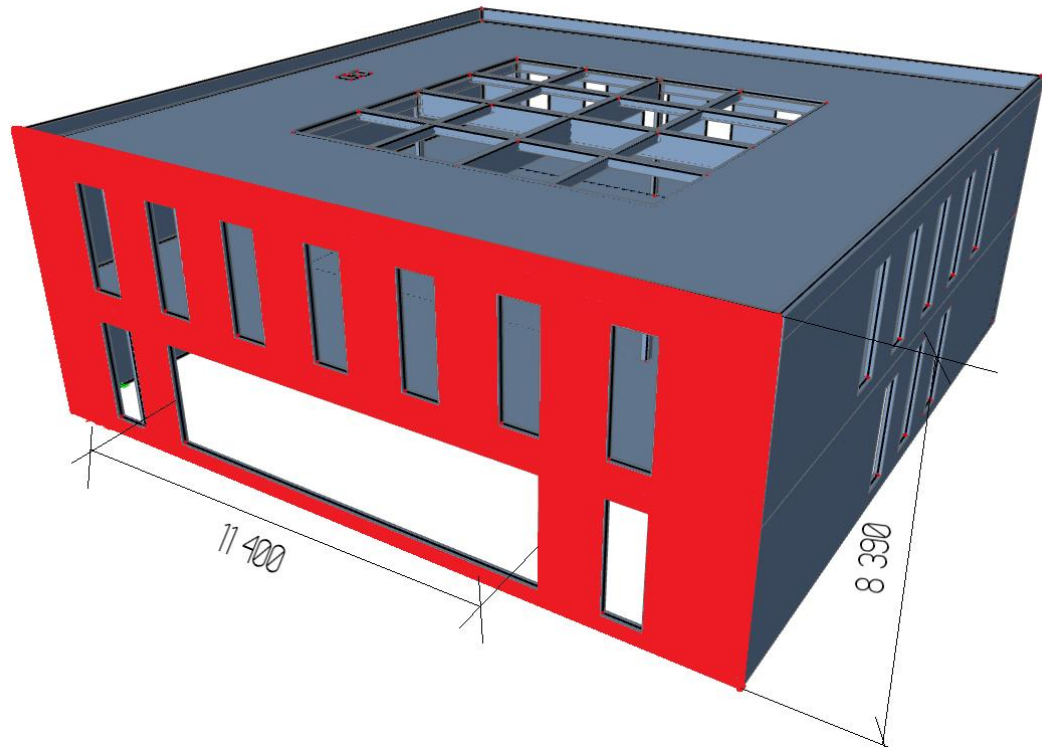
Obr. 2.6 - Konstrukční schéma 1. NP



Obr. 2.7 - Konstrukční schéma 2. NP

2.2 Řešený stěnový prvek

Stěnový nosník o tvaru Vierendeelova nosníku a o tloušťce 200 mm ve 2. NP překonává světlé rozpětí otvoru 11,4 m.



Obr. 2.8 - Globální numerický model ze SCIA Engineer s vyznačenou řešenou stěnou

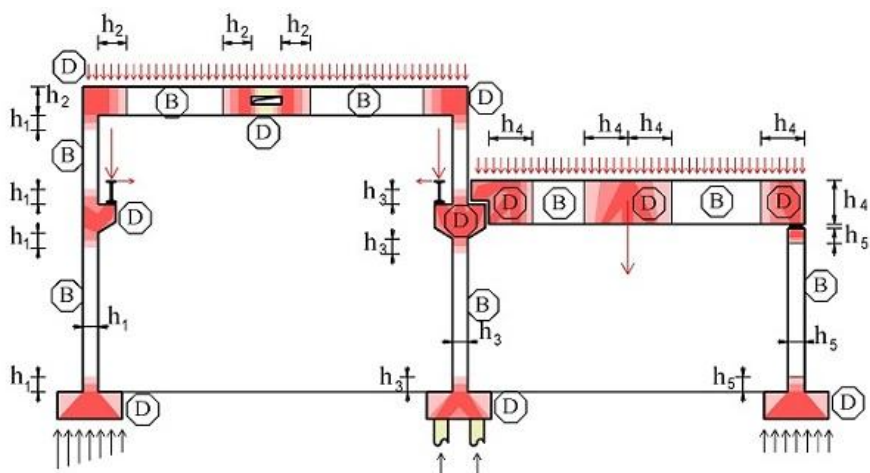
3 Analýza konstrukce

Při vyšetřování železobetonových konstrukcí se běžně používá globální analýza, spočívající v sestavení výpočetního modelu. Ten má reprezentovat idealizovanou konstrukci nebo její určitou část a hodnotit její chování při zatížení. Globální model je užitečný hlavně pro stanovení rozměrů jednotlivých prvků a ověření tuhosti a stability objektu jako celku.

Globální analýza s sebou nese několik výhod, i když jsou její možnosti omezené. Pro výpočet je potřeba zadat jen málo vstupů, zadání geometrie je jednoduché a výpočet probíhá relativně rychle. Z jednoduchosti potom vyplývá i méně prostoru pro chyby v zadávání nebo pro desinterpretace výsledků [19].

Aby však bylo možné využívat globální analýzu, musí platit předpoklad, že průřez setrvává rovinný po jeho deformaci (tzv. B-oblasti). Je známo, že tento předpoklad není pro některá místa konstrukcí dodržen a proto je důležité tato místa rozlišovat. V případě, kdy pro specifická místa, ve kterých neplatí rovinnost průřezu (D-oblasti), se použije globální analýza, může výsledný návrh vést k nepřesným výsledkům z hlediska poddimenzování, nebo naopak nehospodárnosti konstrukce [22] [17].

Mezi D-oblasti (poruchové oblasti) patří místa v blízkosti podpor, se soustředěným zatížením, se změnou průřezu, dále také průřezy s otvory nebo stěnové nosníky (Obr. 3.1) [21].



Obr. 3.1 - Rozdělení konstrukce na D a B oblasti [17]

Abychom se nevhodným výsledkům vyhnuli, je někdy potřeba návrh doplnit lokálním výpočtem, pracující se sofistikovanějšími výpočetními metodami. Pro tyto případy je možné využít metodu příhradové analogie nebo složitější nelineární numerické metody, které jsou z hlediska vystižení skutečného chování konstrukcí nejpřesnější. [22]

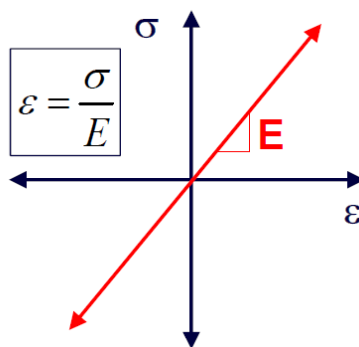
Kromě toho, že se volí vhodná idealizace geometrie konstrukce, ať už pro lokální nebo globální výpočet je potřebná volba idealizace chování [17]. Chování lze idealizovat jako:

- Lineárně pružné
- Lineárně pružné s omezenou redistribucí
- Plastické
- Nelineární

Pro praktickou část bakalářské práce jsou důležitá zejména chování lineárně pružné a nelineární.

3.1 Lineárně pružná analýza

Dnes hojně využívaný a konzervativní přístup k návrhu konstrukcí vychází z lineární pružné analýzy. Předpokládá se, že je vztah mezi napětím a deformací v materiálovém bodě lineární podle Hookova zákona [16].



Obr. 3.2 - Vyjádření přetvoření dle Hookova zákona [19]

Lineární výpočet je vhodný pro globální analýzu konstrukcí a k určení průběhů vnitřních sil. Ty jsou dále využity jako průběhy zatížení pro oddělený návrh

a posouzení průřezů v kritických oblastech ať už ručně nebo za pomoci dalších programů.

Předpoklad lineárního chování lze stanovit pro vyšetření mezních stavů únosnosti (MSÚ) i mezních stavů použitelnosti (MSP) [17]. V lineární analýze není definována mez pevnosti materiálů, proto průřezy nejsou porušeny trhlinami [19]. Tím není zohledněna reálná nevratná ztráta tuhosti průřezu v místě trhlín a přerozdělení vnitřních sil do únosnějších částí bez trhlín. Zohledněny nejsou ani reologické procesy betonu jako smršťování a dotvarování.

3.2 Nelineární analýza

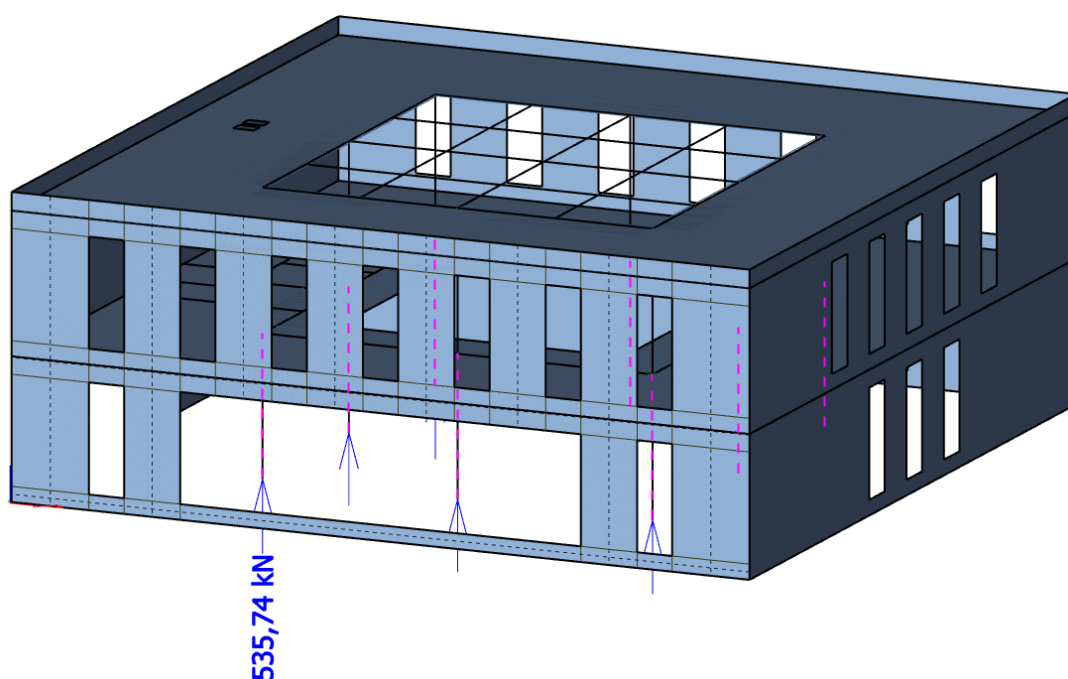
Pokud je cílem návrh složitějších prvků, jak už bylo řečeno, nemusí být výsledky lineární analýzy přesné a dostatečně vystihovat jejich reálné chování. Nelineární výpočet pracuje s geometrickým, fyzikálním a lokálním typem nelinearity.

Geometrická a lokální nelinearita zohledňuje změnu geometrie konstrukce v průběhu zatěžování, čímž vznikají dodatečná namáhání. Fyzikální (materiálová) nelinearita vychází z omezené platnosti Hookova zákona, plastického přetváření a trvalých deformací. Užívá obecné pracovní diagramy materiálů a umožňuje vznik trhlín. [19][22].

4 Návrh výztuže stěnového prvku

4.1 Sestavení 3D modelu

Po předběžném statickém výpočtu byl sestaven globální numerický model v programu SCIA Engineer, ve kterém byly ověřeny dimenze a správnost předběžného ručního výpočtu. Základní způsob, jak ověřit správnost ručního výpočtu nebo odhalit hrubé chyby v sestavení modelu, je zobrazení reakcí v podporách. Reakce v podporách z modelu se bude pravděpodobně od reakcí z ručního výpočtu lišit. Jejich rozdíl ale s přihlédnutím na složitost objektu nesmí být moc velký.



Obr. 4.1 - Zobrazení největší reakce v podporách sloupů pro porovnání s ručním výpočtem

Reakce v kombinaci MSÚ v podpoře sloupu z 3D modelu $R_z = 535,74$ kN přijatelně odpovídá zatížení v patě sloupu z ručního výpočtu $F_d = 561,26$ kN. (Příloha C, str. 15)

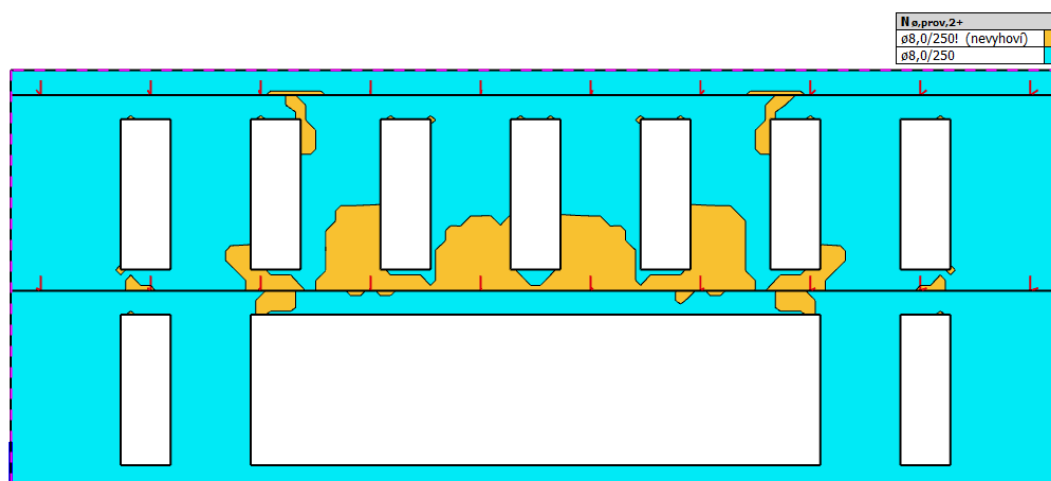
4.2 Návrh dle předpokládaných ploch výztuže

V tomto návrhu bylo vycházeno jen z modulu „Návrh výztuže 2D“. Cílem je vypracovat návrh výztuže postupem, který je využitelný pro klasické stěny. V nastavení pro betonové konstrukce byla upravována šablona předpokládané výztuže, následně vykresleno předpokládané vyztužení pro svislý směr $N_{\emptyset,prov,2}$ a vodorovný směr $N_{\emptyset,prov,1}$. Na postupném procesu upravování této šablony vzniklo vyztužení vyhovující pro všechny oblasti stěny.

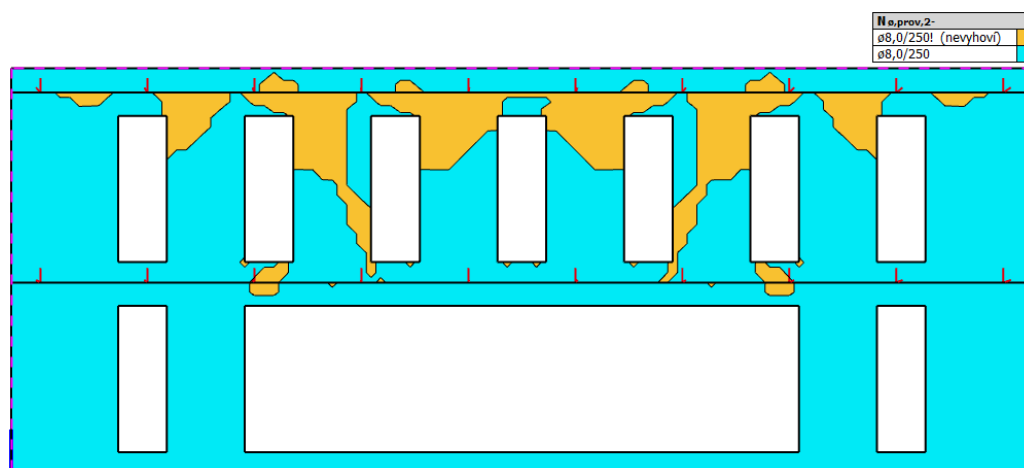
Bylo vycházeno ze základního rastru, který pokrývá minimální vyztužení stěny podle konstrukčních zásad $A_{s,req} = 200 \text{ mm}^2/\text{m}$ pro každý z povrchů a směrů a to:

$$\text{Ø } 8 \text{ mm po } 250 \text{ mm, } A_{s,prov} = 201 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Rastr 8/250



Obr. 4.2 - 8/250 Svislý směr (2) – zadní povrch (-)

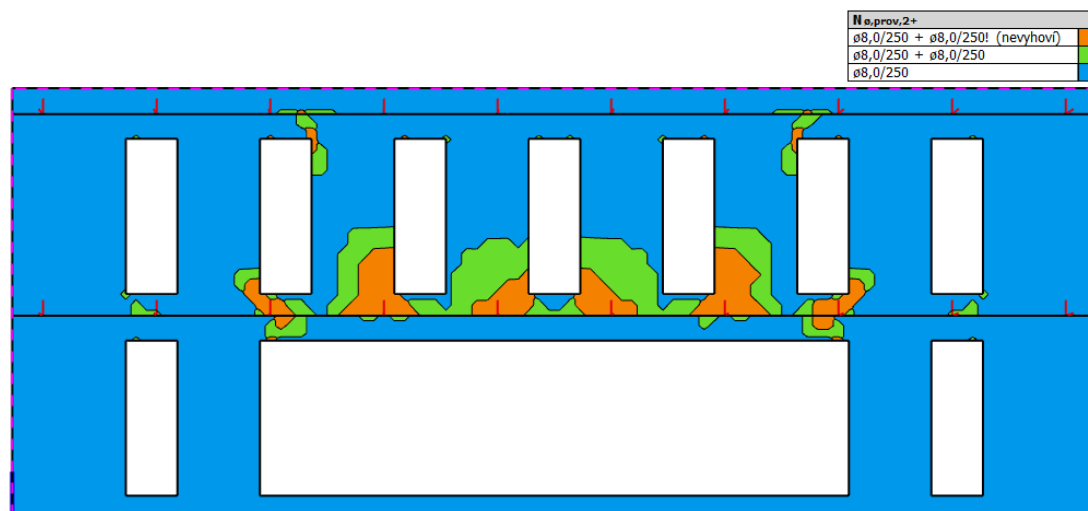


Obr. 4.3 - 8/250 Svislý směr (2) – přední povrch (+)

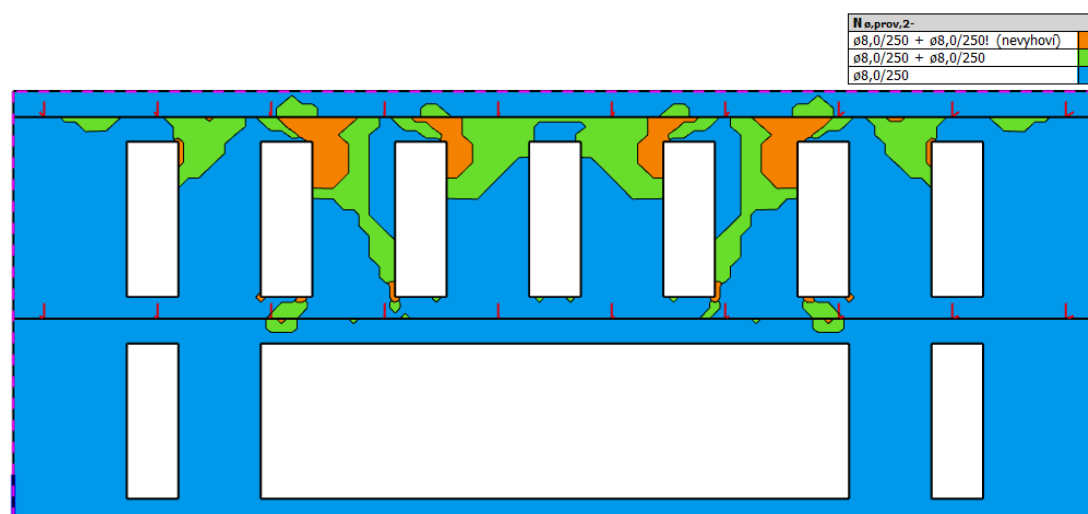
Na oranžových oblastech je vidět, kde výztuž ze šablony nepokryje požadovanou plochu vyztužení a kde je potřeba vyztužení zesílit.

Rastr s přídatnou výztuží 8+8/250

Dále bylo vykresleno vyztužení $\varnothing 8$ po 125 mm a zobrazeno, kde je dostačující (zelená barva).



Obr. 4.4 - 8+8/250 Svislý směr (2) – zadní povrch (-)

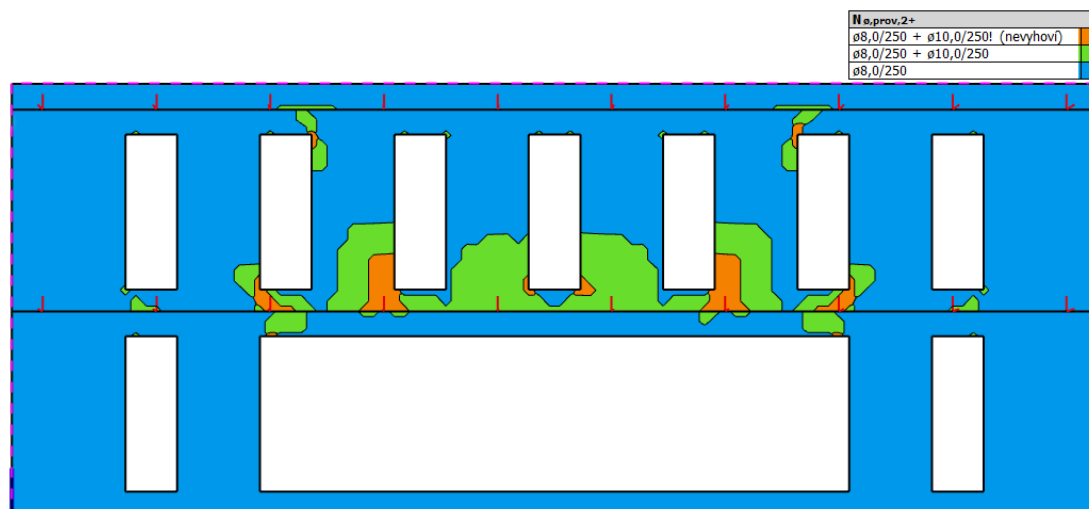


Obr. 4.5 - 8+8/250 Svislý směr (2) – přední povrch (+)

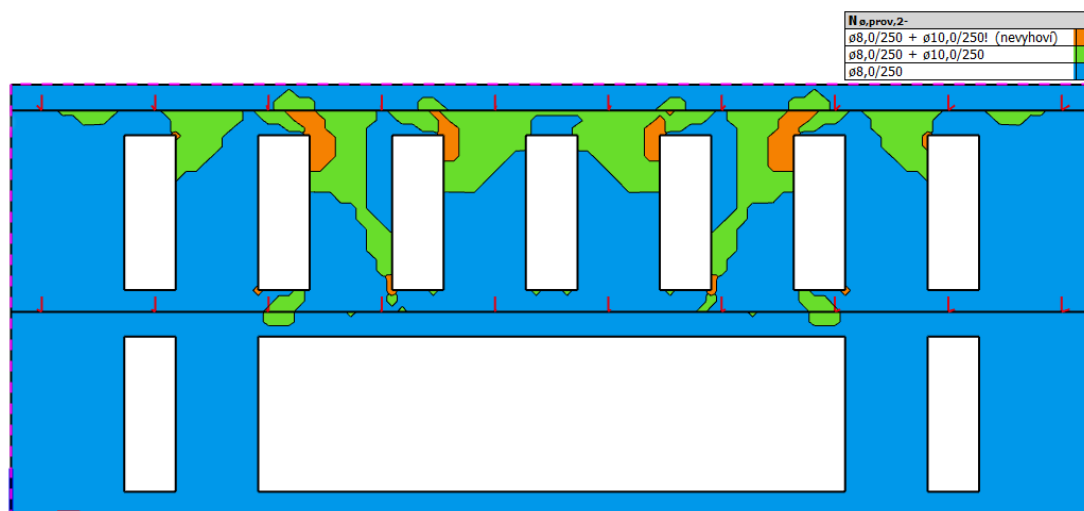
V oranžových oblastech je vyztužení opět zesíleno.

Rastr s přidanou výztuží 8+10/250

V nejnamáhanějších oblastech byl vytvořen rastr $\varnothing 8$ po 250 mm s přidanou výztuží $\varnothing 10$ po 250 mm



Obr. 4.6 - 8+10/250 Svislý směr (2) – zadní povrch (-)



Obr. 4.7 - 8+10/250 Svislý směr (2) – přední povrch (+)

Obdobným způsobem byla navržena výztuž pro vodorovný směr. Výsledky vykreslení viz. příloha A, str. 67 - 69

4.2.1 Konstrukční zásady

$$A_{s,min} = 0,002 * A_c = 0,002 * 200 * 1000 = 400 \text{ mm}^2/m \text{ tj. pro oba povrchy}$$

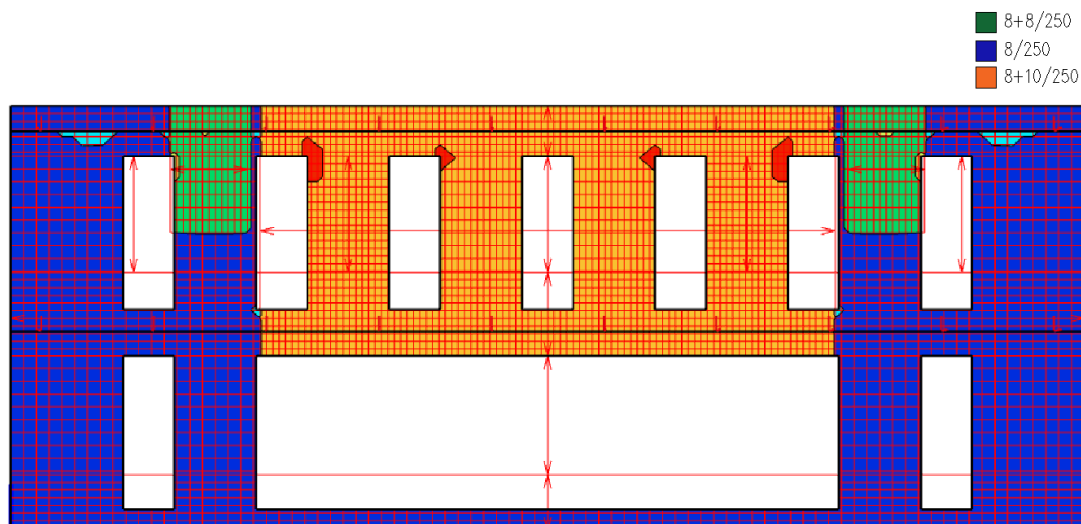
$$A_{s,max} = 0,04 * A_c = 0,04 * 200 * 1000 = 8000 \text{ mm}^2/m \text{ tj. pro oba povrchy}$$

$$s_{min} = \max(1,2 * \emptyset; D_{max} + 5; 20) = 21 \text{ mm} \leq s_1 = 250 \text{ mm} \leq s_{max} = 400 \text{ mm}, A_{s,prov1} = 201 \text{ mm}^2/m \text{ pro podélnou nosnou výztuž.}$$

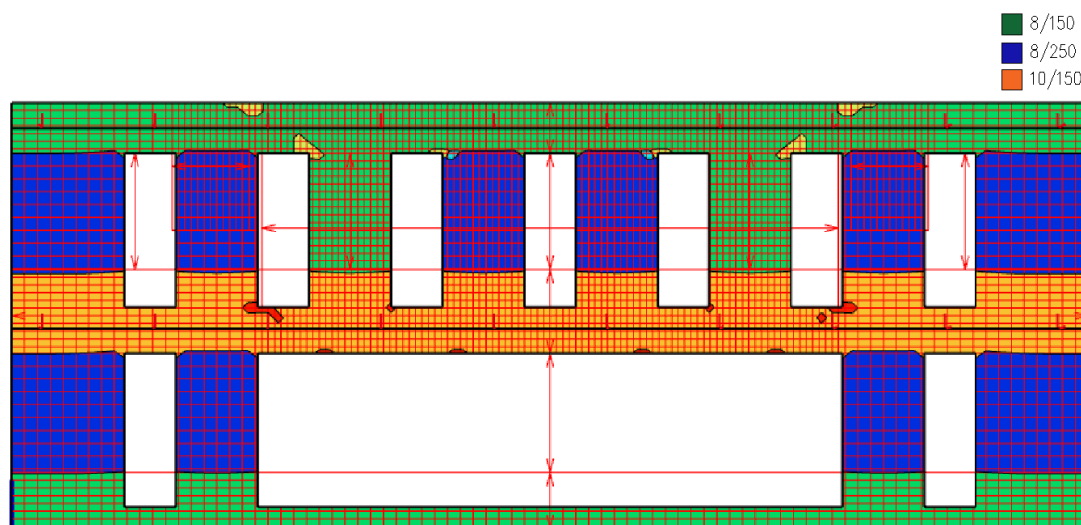
$$s_2 = 100 \text{ mm}, A_{s,prov2} = 462 \frac{\text{mm}^2}{m} \geq 0,25 * A_{s,prov1} = 0,25 * 201 = 50 \frac{\text{mm}^2}{m} \text{ pro vodorovnou výztuž.}$$

4.2.2 Rozmístění prutů

Navržená výztuž byla ručně vymodelována do stěnového prvku dle schémat. Vymodelovaná výztuž byla potřebná k posudkům s uživatelským typem výztuže.



Obr. 4.8 - Schéma rozmístění svislé výztuže

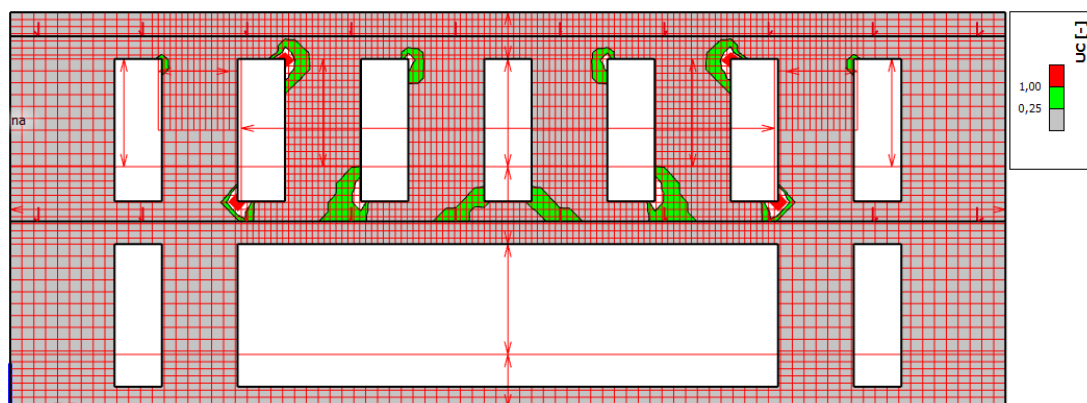


Obr. 4.9 - Schéma rozmístění vodorovné výztuže

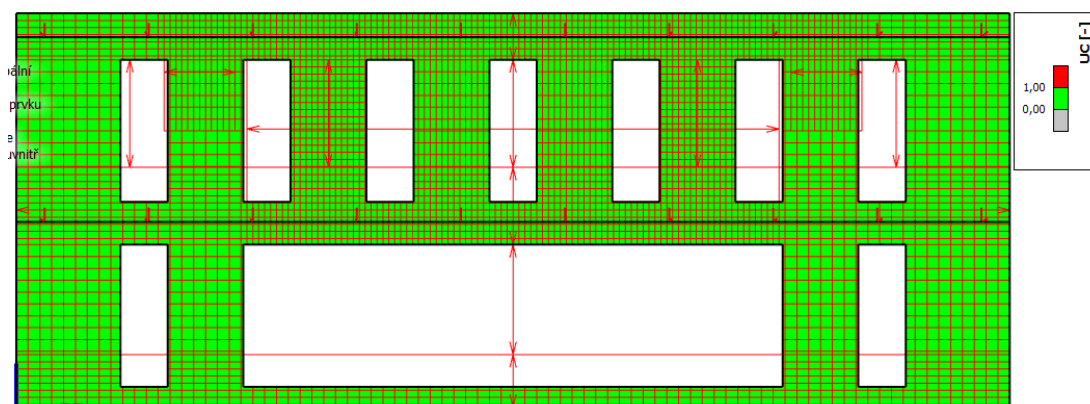
4.2.3 Zhodnocení návrhu

Pro ověření MSP byly v modulu “beton 2D posudek šířky trhlin MSP” stanoveny jednotkové posudky UC (Unit Checks – podíl vypočtené a limitní hodnoty) pro šířku trhlin a v modulu “normově závislý průhyb” byly stanoveny UC pro průhyb. Šířka trhlin byla posuzována pro kvazistálou kombinaci MSP a průhyb pro charakteristickou kombinaci MSP. Posudek byl vytvořen na základě předem vymodelované výztuže, tedy typ hodnot byl změněn na “uživatelská”.

Navržená výztuž vyhovuje pro MSÚ i pro MSP s přihlédnutím na to, že dle posudku trhlin UC převyšuje využití 100 % v oblastech rohů otvorů s extrémními hodnotami, se kterými záměrně nebylo počítáno. Celé vyztužení je tedy nutno posoudit ještě nelineárně a případně poupravit.



Obr. 4.10 - Posudek šířky trhlin

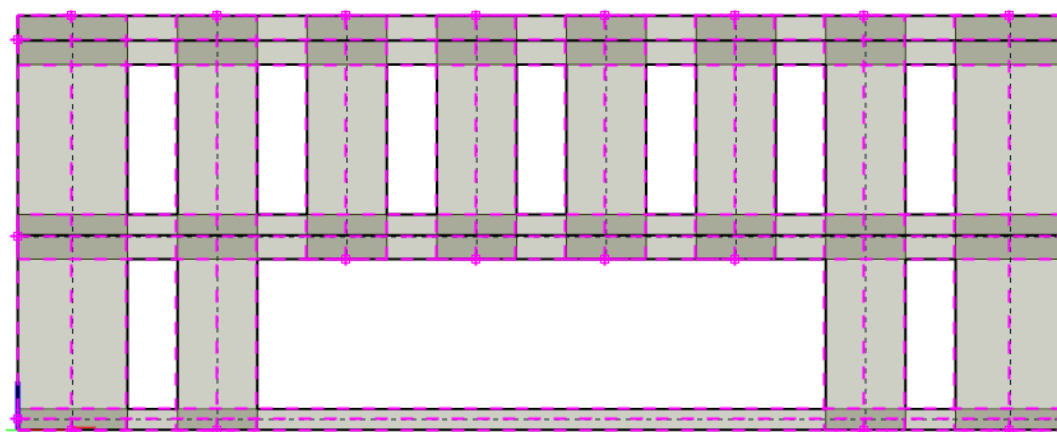


Obr. 4.11 - Posudek normově závislého průhybu

4.3 Návrh dle FIN EC

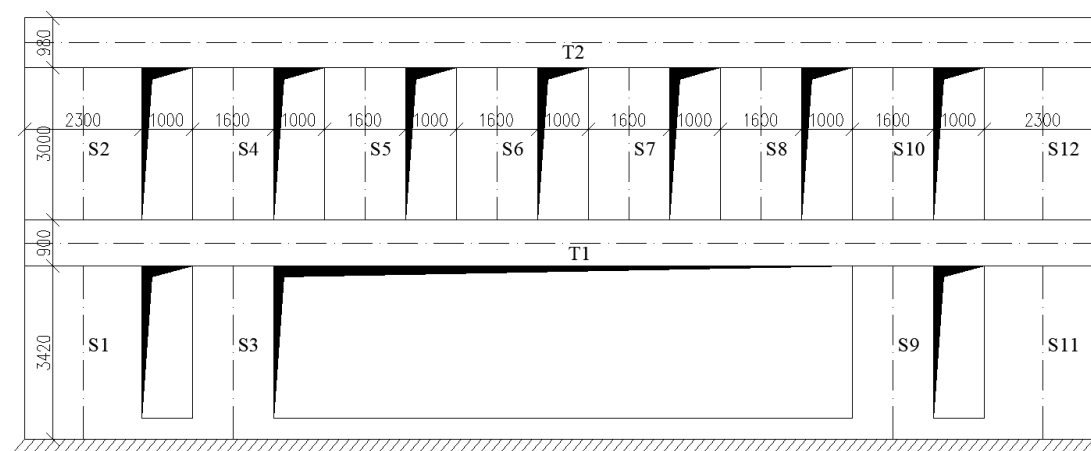
4.3.1 Idealizace stěny

V následujícím návrhovém přístupu byla zvolena idealizace stěny do prutových prvků. K tomuto účelu byla použita funkce integrační pás. Integrační pásy byly vloženy vodorovně v úrovních nadpraží a parapetů, a svisle v částech stěny mezi jednotlivými otvory. Integrační pás sečte určitou vnitřní sílu na námi zvolené části plošného prvku do prvku prutového. Z důvodu správného fungování integračních pásů byla řešená stěna vymodelována jako jeden plošný prvek na celou výšku objektu včetně atiky.



Obr. 4.12 - Umístění integračních pásů na stěně

Svislé prutové prvky byly idealizovány jako sloupy S a vodorovné jako trámy T (Obr. 4.13).



Obr. 4.13 - Idealizace stěny na prutové prvky S a T

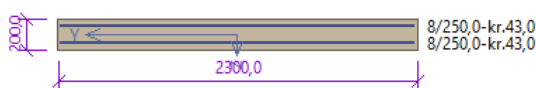
4.3.2 Návrh výztuže

4.3.2.1 Svislé prvky

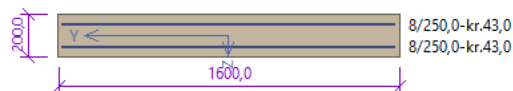
Ve SCIE Engineer byly v modulu „Beton 2D návrh výztuže“ vykresleny požadované plochy výztuže včetně požadavků na konstrukční zásady. Pro každý z povrchů a směrů vychází minimální vyztužení $A_{s,rqd} = 200 \text{ mm}^2/\text{m}$. Z těchto výsledků byl zvolen základní rastr svislých prutů, ze kterého bylo vycházeno. Na většině plochy stěny tento rastr požadované vyztužení pokrývá.

$$\text{Ø } 8 \text{ mm po } 250 \text{ mm, } A_{s,prov} = 201 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Pro ověření základního rastru byly průřezy sloupů zadány do programu FIN EC Beton. Zvlášť byly vytvořeny okrajové sloupce (S1, S2, S11, S12) s průřezem 2300 x 200 mm a vnitřní sloupce 1600 x 200 mm.

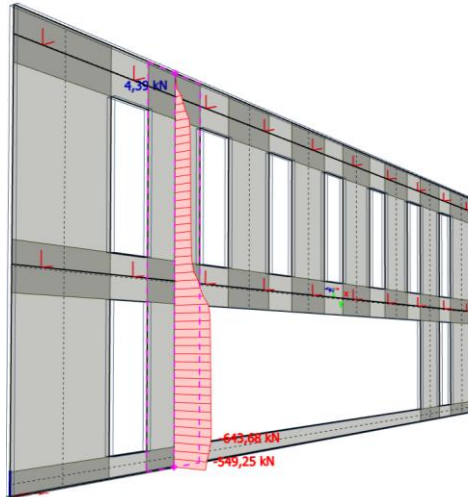


Obr. 4.14 - Průřez krajních sloupů FIN EC

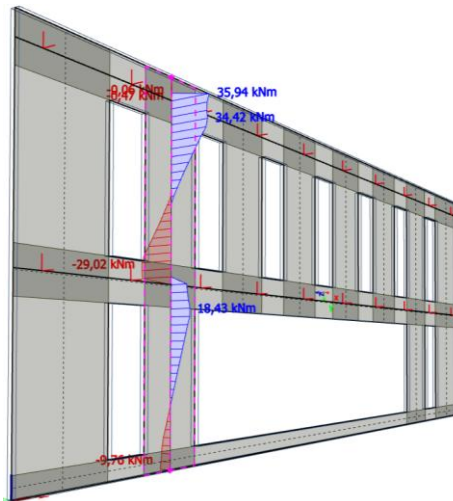


Obr. 4.15 - Průřez vnitřních sloupů FIN EC

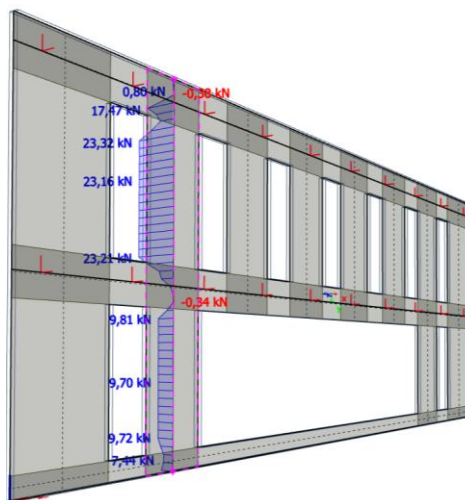
Průřezy byly následně zatíženy dle vnitřních sil na integračních pásech pro kombinace MSÚ, MSP_ch a MSP_kv. Konkrétně to jsou normálové síly N, ohybové momenty M_y a smykové síly V_z ze SCII Engineer.



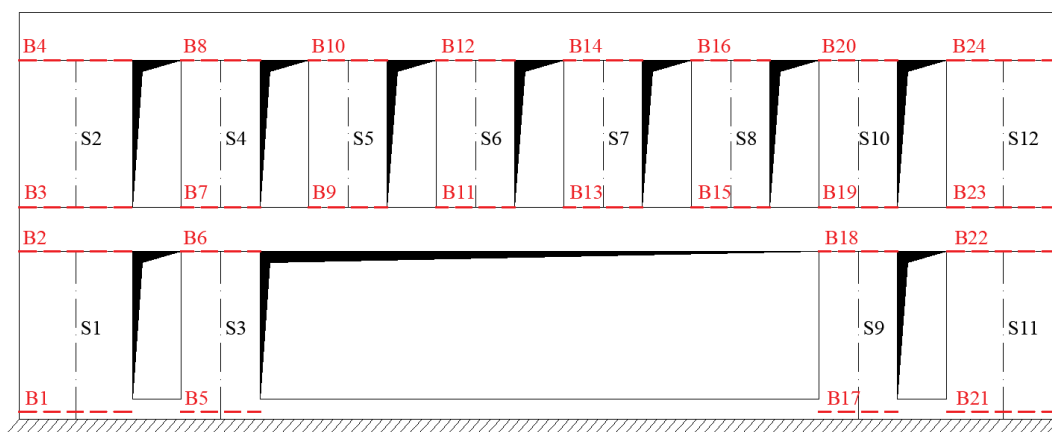
Obr. 4.16 - Průběh normálové síly N na sloupu S3-S4 (MSÚ)



Obr. 4.17 - Průběh ohybového momentu M_y na sloupu S3-S4 (MSÚ)



Obr. 4.18 - Průběh smykové síly V_z na sloupu S3-S4 (MSÚ)



Obr. 4.19 - Označení posuzovaných průřezů sloupů B_i

Průřez B_i	Sloup S_i	MSÚ			MSP_ch		MSP_kv	
		N [kN]	M_v [kNm]	V_z [kN]	N [kN]	M_y [kNm]	N [kN]	M_y [kNm]
1	1	-252,8	-2,4	2,6	-192,7	-1,9	-178,9	-1,6
2	1	-244,2	8,6	9,40	-186,2	6,8	-169,4	5,5
3	2	-150,1	-11,8	12,80	-113,6	-9,2	-105,9	-7,7
4	2	-75,0	16,3	18,6	-57,1	12,5	-52,2	11,1
5	3	-616,7	-8,2	9,8	-473,0	-6,5	-443,9	-5,2
6	3	-579,8	18,7	9,8	-444,2	14,7	-398,0	11,6
7	4	-297,3	-29,1	23,4	-226,1	-22,7	-206,5	-19,1
8	4	-240,4	34,4	23,2	-183,8	26,5	-165,8	23,4
9	5	-52,1	-36,8	27,8	-47,5	-28,8	-45,7	-23,9
10	5	-40,6	38,7	27,7	-30,8	29,8	-28,5	26,2
11	6	8,1	-38,2	28,1	-5,5	-29,9	-4,4	-24,7
12	6	25,9	37,9	27,9	20,6	29,2	16,2	25,7
13	7	8,2	-38,2	28,1	-5,4	-30,0	-4,3	-24,7
14	7	25,7	37,9	27,9	20,6	29,2	16,2	25,7
15	8	-51,8	-37,0	27,8	-47,3	-29,0	-45,4	-24,0
16	8	-40,3	38,6	27,7	-30,6	29,7	-28,3	26,2
17	9	-616,0	-8,3	9,8	-492,5	-6,5	-443,3	-5,2
18	9	-579,1	18,6	9,9	-443,7	14,8	-397,4	11,7
19	10	-292,7	-29,2	23,4	-226,7	-22,8	-207,0	-19,1
20	10	-239,8	34,4	23,3	-183,3	26,5	-165,4	23,4
21	11	-237,5	-2,3	2,4	-180,0	-1,9	-167,1	-1,5
22	11	-239,1	8,6	9,3	-182,3	6,8	-166,0	5,4
23	12	-144,9	-11,8	12,7	-109,7	-9,2	-102,3	-7,7
24	12	-77,7	16,4	16,8	-59,2	12,6	-54,1	11,2

Tab. 4.1 - Vnitřní síly na průřezích B_i posuzované ve FIN EC

Základní rastr vyztužení 8/250 se dle výpočtu ve FIN EC ukázal pro krajní sloupy jako vyhovující. V některých řezech vnitřních sloupů musí být hlavní nosná výztuž zhuštěna, kvůli požadavkům na omezení šířky trhlin. (výsledky posudku z FIN EC viz. příloha B, str. 70-76)

Rozteč vodorovných prutů byla zvolena s ohledem na konstrukční zásady pro sloupy jako:

$$\varnothing = 8 \text{ mm} \geq \varnothing_{\min} = 6 \text{ mm}$$

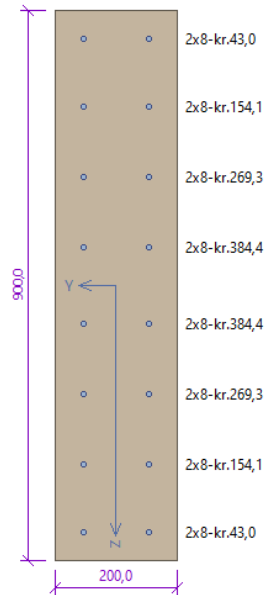
$$s_{\max} = \min[\varnothing_{\max} * 15; \min(b; h)] = \min[8 * 15; \min(1600; 200)] = \\ = 120 \text{ mm}$$

$$\mathbf{2 \times \varnothing 8 \text{ mm po } 120 \text{ mm, } A_{s,\text{prov}} = 837,8 \text{ mm}^2/\text{m}}$$

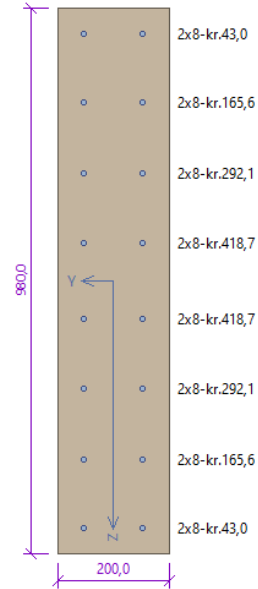
a bude v oblastech přesahů hlavní nosné výztuže zhuštěna na rozteč 100 mm s $\varnothing 10$ mm.

4.3.2.2 Vodorovné prvky

Obdobným způsobem, jakým byla posouzena výztuž pro svislé prvky idealizované jako sloupy, byla ověřena výztuž vodorovných trámů. Byly vytvořeny dva průřezy pro trámy, které tvoří nadpraží otvorů v 1. NP a 2. NP.



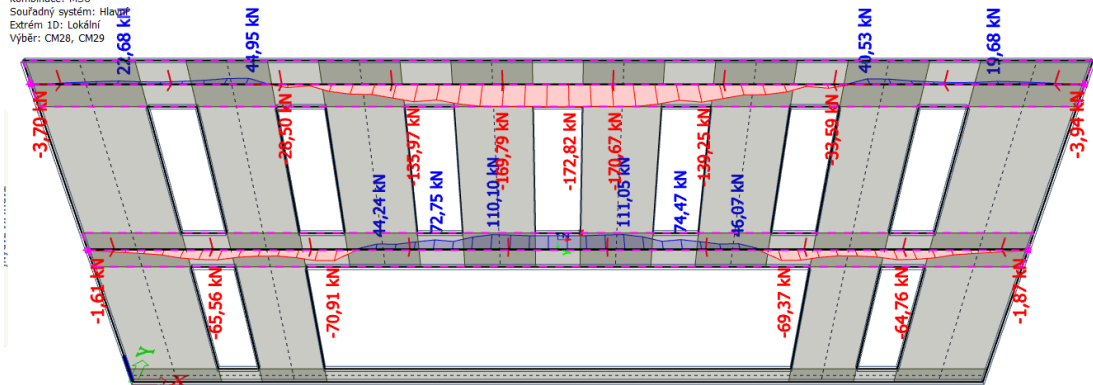
Obr. 4.20 - Průřez spodního trámu
200 x 900 mm



Obr. 4.21 - Průřez horního trámu
200 x 980 mm

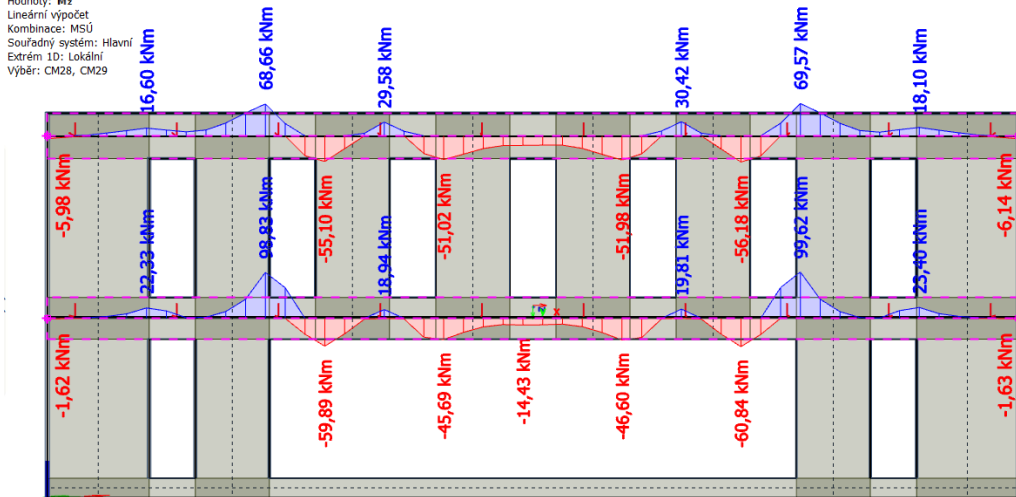
Pro zatížení průřezů byly potřebné průběhy normálových sil N , ohybových momentů M_z a posouvajících sil V_y ze SCII Engineer pro kombinace MSÚ, MSP_ch a MSP_kv.

1D vnitřní síly
 Hodnoty: N
 Lineární výpočet
 Kombinace: MSÚ
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Lokální
 Výběr: CM28, CM29



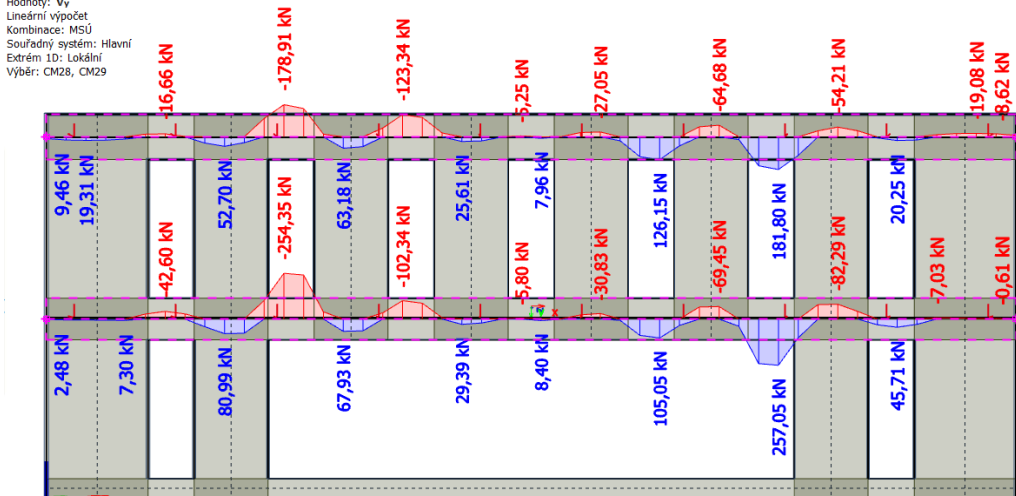
Obr. 4.22 - Průběh normálové síly N na trámech (MSÚ)

1D vnitřní síly
 Hodnoty: Mz
 Lineární výpočet
 Kombinace: MSÚ
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Lokální
 Výběr: CM28, CM29

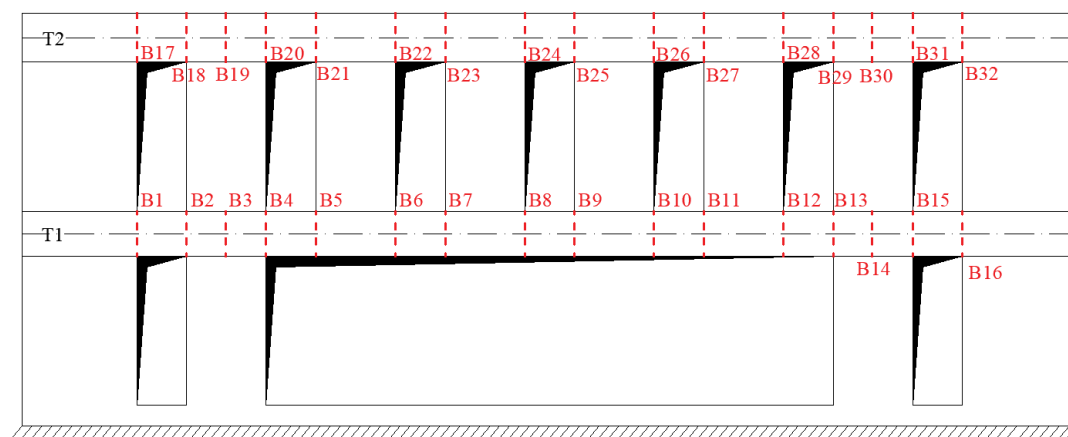


Obr. 4.23 - Průběh ohybového momentu M_z na trámech (MSÚ)

1D vnitřní síly
 Hodnoty: Vy
 Lineární výpočet
 Kombinace: MSÚ
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Lokální
 Výběr: CM28, CM29



Obr. 4.24 - Průběh smykové síly V_y na trámech (MSÚ)



Obr. 4.25 - Označení posuzovaných průřezů trámů B_i

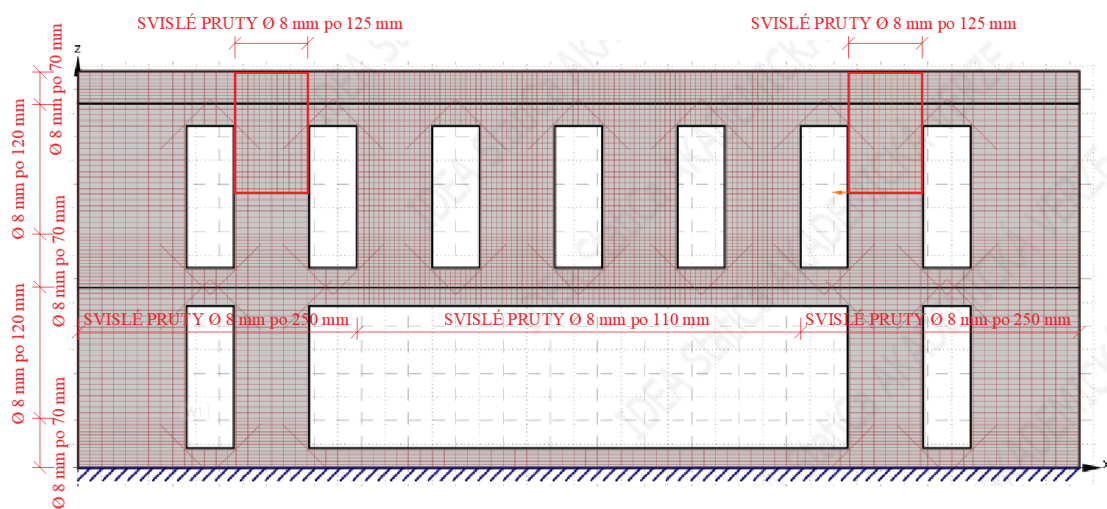
Aby výztuž trámu, která byla zadaná k posudku do FIN EC, respektovala skutečné vyztužení stěny, byla rozteč hlavních nosných a smykových prutů zvolena s ohledem na předchozí návrh.

Po výšce průřezu jsou rozmístěny podélné pruty **Ø 8 mm po vzdálenosti 120 mm**. Ve FIN EC bylo zanedbáno zhuštění horních prutů na rozteč 100 mm, což je na straně bezpečné.

Smyková výztuž trámů je navržena **jako Ø 8 mm po vzdálenosti 110 mm, resp. 125 mm, resp. 250 mm** dle schématu (Obr. 4.26).

Takto navržená výztuž na MSÚ a MSP vyhovuje. (Příloha B, str. 70-76)

4.3.3 Rozmístění prutů



Obr. 4.26 - Schéma rozmístění navržené výztuže na stěně

4.4 Porovnání výsledků

V následující tabulce lze vidět výsledný návrh hlavní nosné výztuže, vyhovující pro MSÚ i MSP pro jednotlivé návrhové přístupy. Tabulka slouží i pro porovnání výsledků obou předešlých návrhů.

Ve sloupcích průměrů prutů \varnothing 8+8 znamená, že je daná oblast řešená pomocí přidavných prutů. Výztuž 8+8, kde $s = 250$ mm (např. průřez 20), je ve skutečnosti vyztužení $\varnothing 8$ po 125 mm.

Průřez B_i	Návrh ve FIN EC			Návrh ve SCIA Engineer		
	\varnothing [mm]	s [mm]	$A_{s,prov1}$ [mm ² /m]	\varnothing [mm]	s [mm]	$A_{s,prov1}$ [mm ² /m]
1	8	250	201	8	250	201
2	8	250	201	8	250	201
3	8	250	201	8	250	201
4	8	250	201	8	250	201
5	8	250	201	8	250	201
6	8	250	201	8	250	201
7	8	250	201	8	250	201
8	8+8	250	402	8+8	250	402
9	8	110	457	8+10	250	515
10	8	110	457	8+10	250	515
11	8	110	457	8+10	250	515
12	8	110	457	8+10	250	515
13	8	110	457	8+10	250	515
14	8	110	457	8+10	250	515
15	8	110	457	8+10	250	515
16	8	110	457	8+10	250	515
17	8	250	201	8	250	201
18	8	250	201	8	250	201
19	8	250	201	8	250	201
20	8+8	250	402	8+8	250	402
21	8	250	201	8	250	201
22	8	250	201	8	250	201
23	8	250	201	8	250	201
24	8	250	201	8	250	201

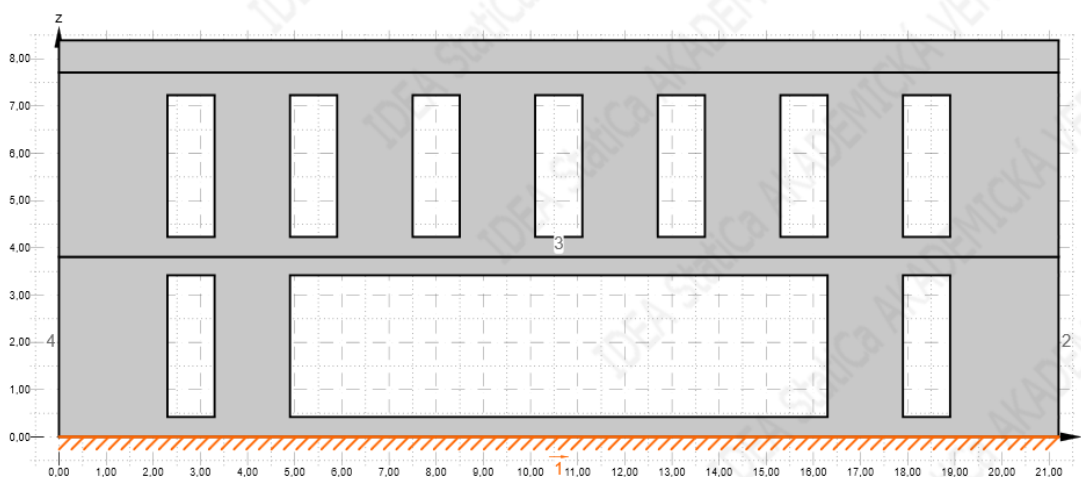
Tab. 4.2 - Návrh výztuže v řezech B_i

4.5 Nelineární výpočet

Za předpokladu, že se stěnový prvek chová jako stěnový nosník, doporučuje se provést nelineární analýzu prvku, která je schopna vystihnout skutečné chování konstrukce. K tomuto účelu byl výpočet proveden pomocí softwaru IDEA StatiCa. Program pracuje na základě metody konečných prvků, zohledňuje nelinearity materiálů a geometrie konstrukce, a reologické vlivy betonu. Stěnový nosník ve skutečnosti spadá do poruchových D-oblastí, a proto by mohl být v praxi návrh stěnového nosníku jen pomocí globální analýzy příliš konzervativní a nevhodný.

4.5.1 Sestavení 2D modelu

Stěnový prvek byl vymodelován jako 3 stěny na sobě, které jsou rozděleny v místech střednic navazujících stropních desek jako stěna v 1.NP, stěna ve 2.NP a atika. Toto řešení bylo zvoleno s ohledem na to, jakým způsobem je v programu zadáváno zatížení, které je ve výpočtu nutné zohlednit. Aby byl model přesnější, mezi rozhraní jednotlivých stěn se mohl vložit další prvek, který by simuloval spolupůsobící část stropní desky. S přihlédnutím na složitost zadávání okrajových podmínek v tomto případě a předpoklad, že v opačném případě tím návrh nebude nijak znatelně ovlivněn, byl ale tento krok opomenut.



Obr. 4.27 - Geometrie modelu IDEA StatiCa

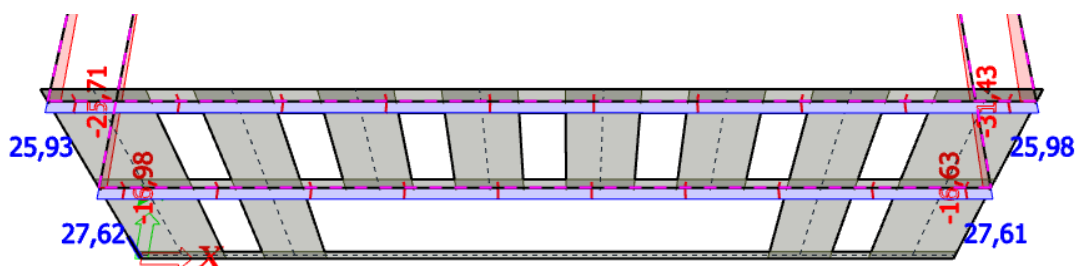
4.5.2 Zadávání zatížení

Pro zatížení modelu byly využity průběhy vnitřních sil ze SCII Engineer. Konkrétně byly vykresleny 2D vnitřní síly s náhradním lichoběžníkovým průběhem a to: normálové síly n_x a smykové síly n_{xy} od stěn, a posouvající síly V_y a smykové síly n_{xy} od stropních desek. Všechny uvedené vnitřní síly, které reprezentují zatížení 2D modelu musí být vykresleny a do modelu zadány pro všechny kombinace:

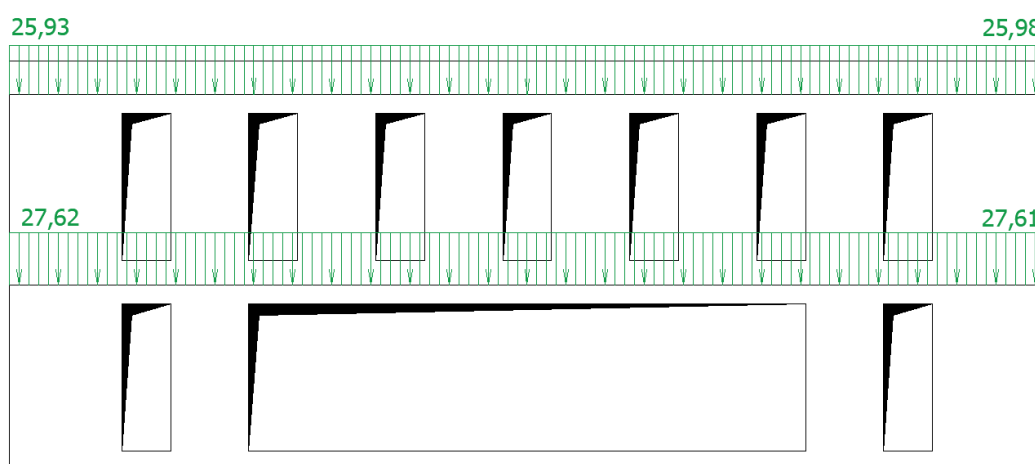
Kombinace mezního stavu únosnosti (dále jen MSÚ), kvazistálá a charakteristická kombinace mezního stavu použitelnosti.

Jakým způsobem byly výstupy ze SCII zadány do 2D modelu, je ukázáno pro kombinaci MSÚ na následujících obrázcích.

Posouvající síly V_y od desky:

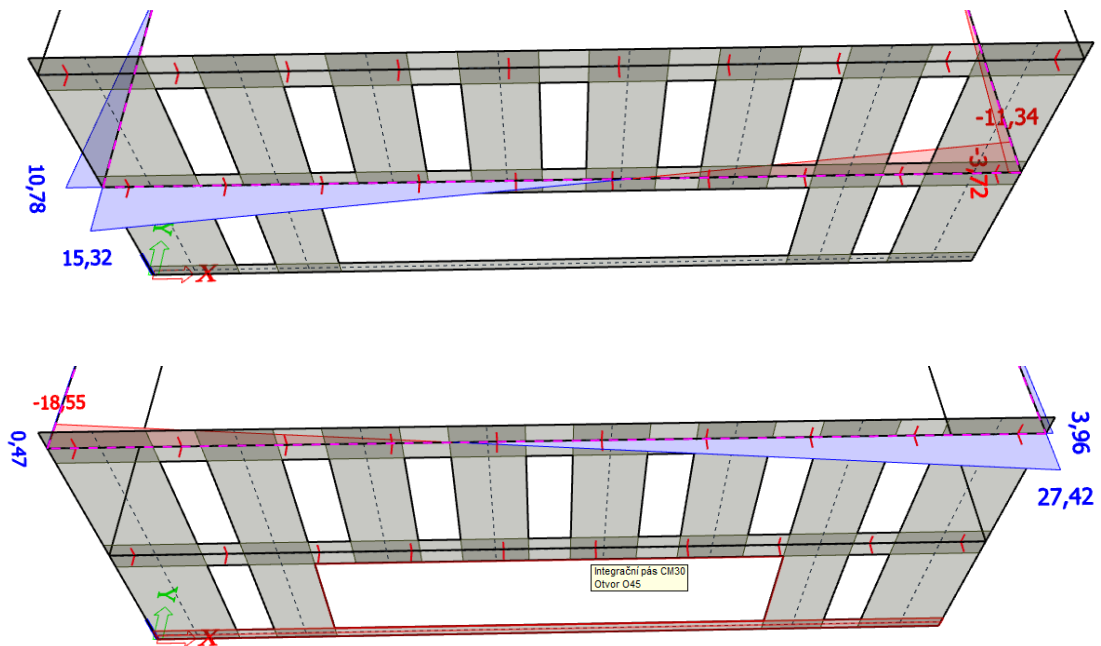


Obr. 4.28 - SCIA posouvající síly V_y [kN/m]

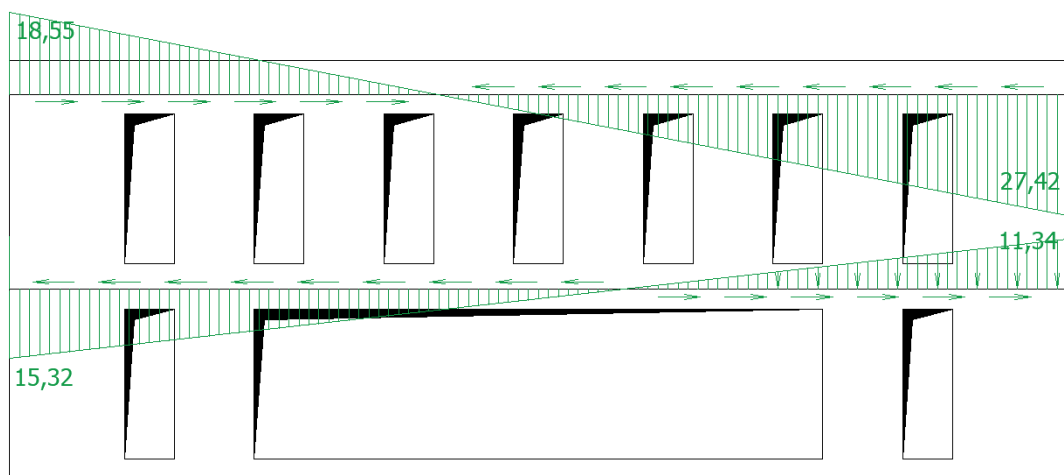


Obr. 4.29 - Zatížení od desky v IDEA StatiCa [kN/m]

Smykové síly n_{xy} od desky:

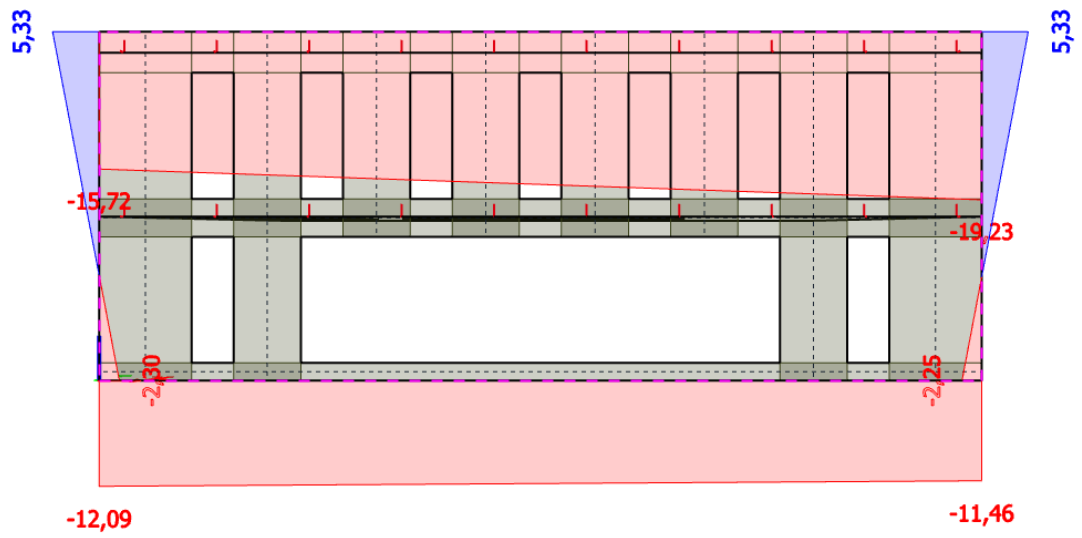


Obr. 4.30, Obr. 4.31 - SCIA smykové síly n_{xy} [kN/m]

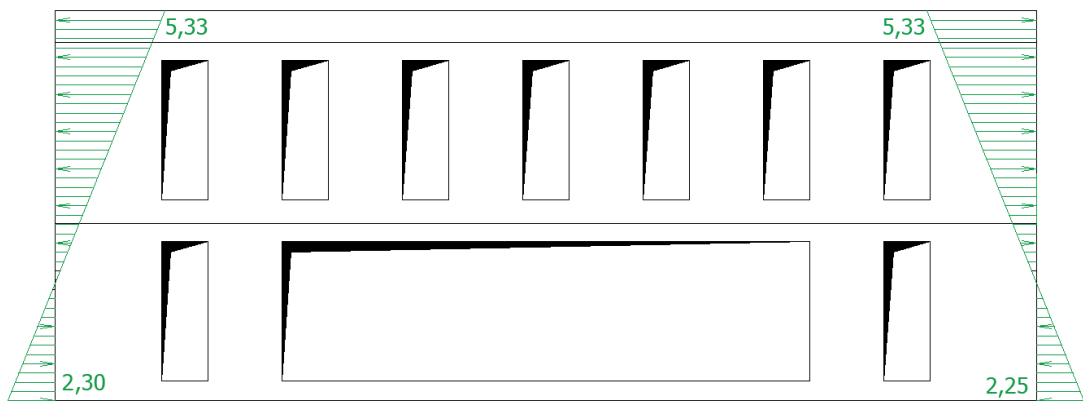


Obr. 4.32 - Zatížení od desky IDEA StatiCa [kN/m]

Normálové síly n_x od stěny:

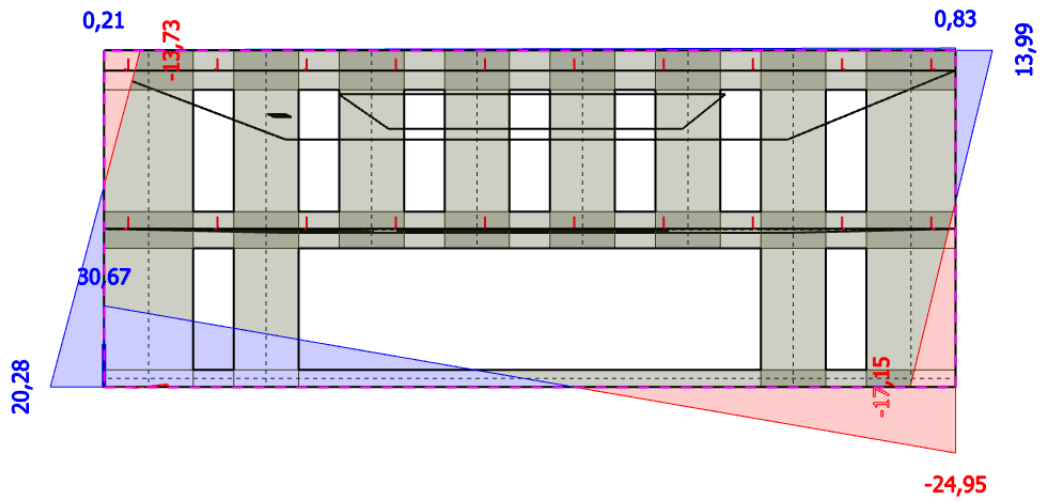


Obr. 4.33 - SCIA normálové síly n_x [kN/m]

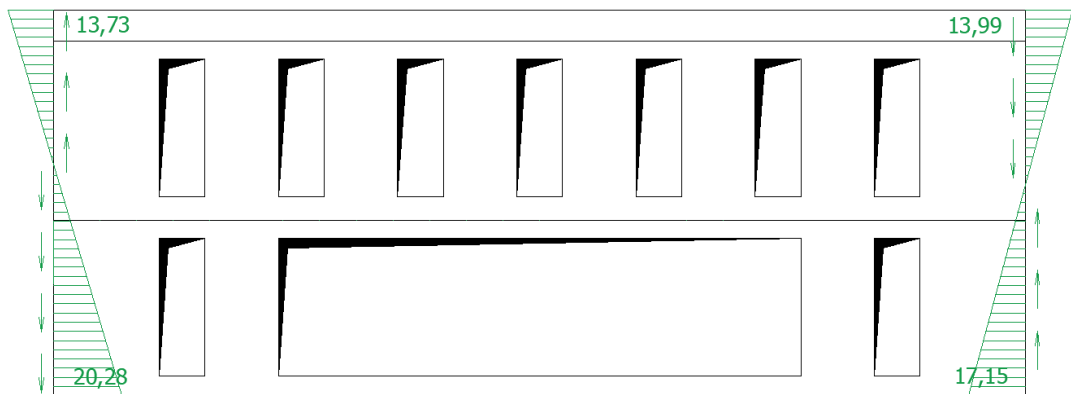


Obr. 4.34 - Zatížení od stěny IDEA StatiCa [kN/m]

Smykové síly n_{xy} od stěny:



Obr. 4.35 - SCIA smykové síly n_{xy} [kN/m]



Obr. 4.36 - Zatížení od stěny IDEA StatiCa [kN/m]

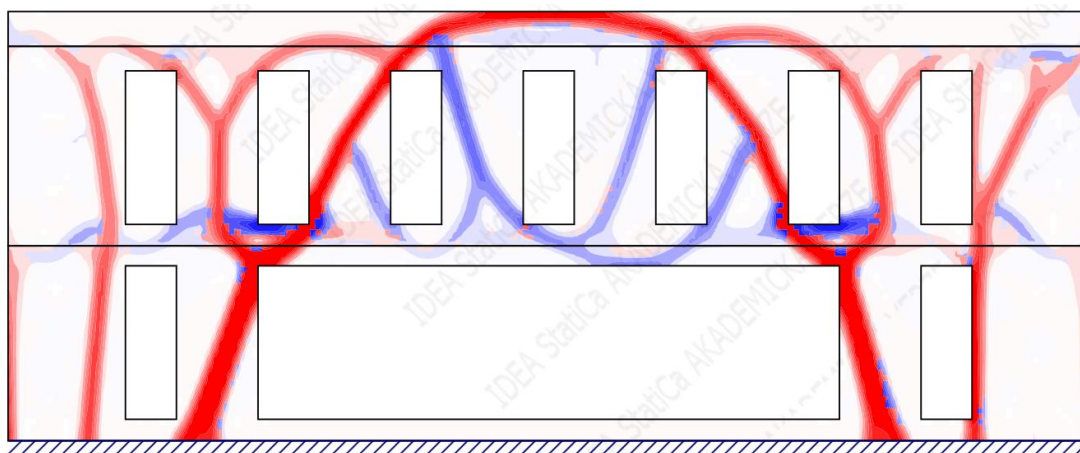
Vykreslené hodnoty zatížení vychází z normové kombinace MSÚ. V programu IDEA StatiCa byly jednotlivě zadány jako zatěžovací impulzy zatěžovacího stavu MSÚ. Protože program IDEA StatiCa nepočítá automaticky s vlastní tíhou konstrukce, jako tomu je v programu SCIA Engineer, je nutné vlastní tíhu konstrukce zadat ručně jako zatěžovací impulz. Obdobným způsobem byly zadány zatěžovací stavy MSP_charakteristická a MSP_kvazistálá, pomocí kterých byly vytvořeny kombinace MSÚ a MSP potřebné pro posudek. Součinitelé pro tvorbu kombinací byly zohledněny v normových kombinacích ve SCIA Engineer, proto byly na hlavní diagonále nelineární kombinace ručně přepsány dílčí součinitelé zatěžovacích stavů na hodnotu 1.

Kombinace	Typ	MSÚ [-]	MSP_ch [-]	MSP_kv [-]
> MSÚ	MSÚ	1,00	-	-
MSP_ch	Charakteristická	-	1,00	-
MSP_k	Kvazistálá	-	-	1,00

Obr. 4.37 - Nelineární kombinace (zatěžovací stavy s dílčími součiniteli)

4.5.3 Topologická optimalizace

Na topologické optimalizaci lze zobrazit hlavní tlaková (červená) a tahová (modrá) pole na konstrukci.

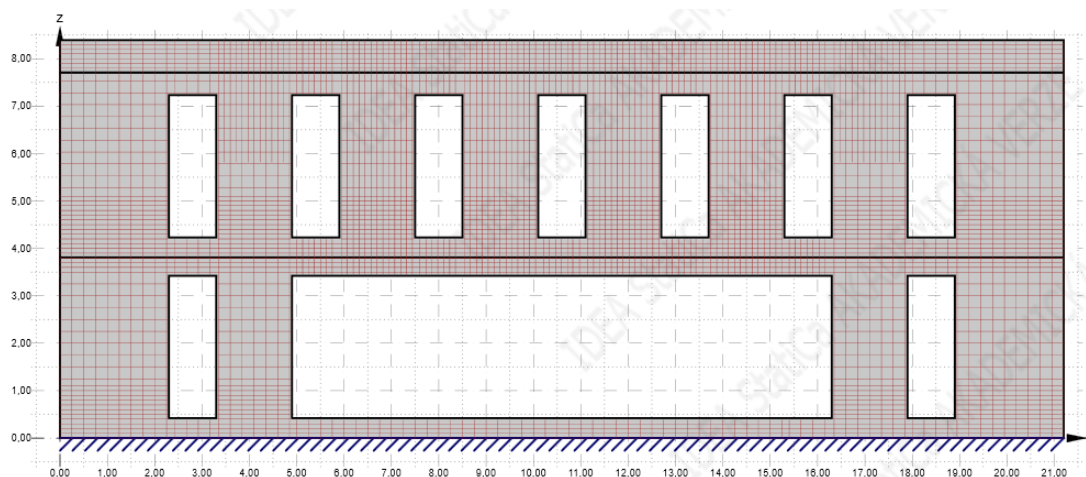


Obr. 4.38 - Topologická optimalizace stěny

4.5.4 Zadávání výztuže

V dalším kroku proběhlo ověření předešlých návrhů. Tedy již navržené pruty byly vymodelovány do stěnového 2D modelu dle schémat rozmístění. Výztuž podle SCII Engineer a podle FINU EC je ve svém principu velmi podobná. Liší se pouze ve stylu vyztužení, kde v prvním případě (SCIA) byly dodrženy konstrukční zásady vodorovných prutů jako na stěně. Zároveň byly exponované oblasti hlavní nosné výztuže stěny řešeny pomocí příložek, aby byl dodržen jednotný rastr roztečí 250 mm a 125 mm. Ve druhém návrhu (FIN) byly prvky idealizovány jako sloupy a trámy, tudíž byly respektovány jejich konstrukční zásady a v exponovaných oblastech nosná výztuž nebyla řešena s příložkami, ale jako samostatná oblast s rozdílnou roztečí. Navržená hlavní nosná výztuž obou přístupů lze vidět na tabulce 4.2.

4.5.5 Posudek pro výztuž ze SCII Engineer



Obr. 4.39 - Rozmístění výztuže, viz. také Obr. 4.8 a Obr. 4.9

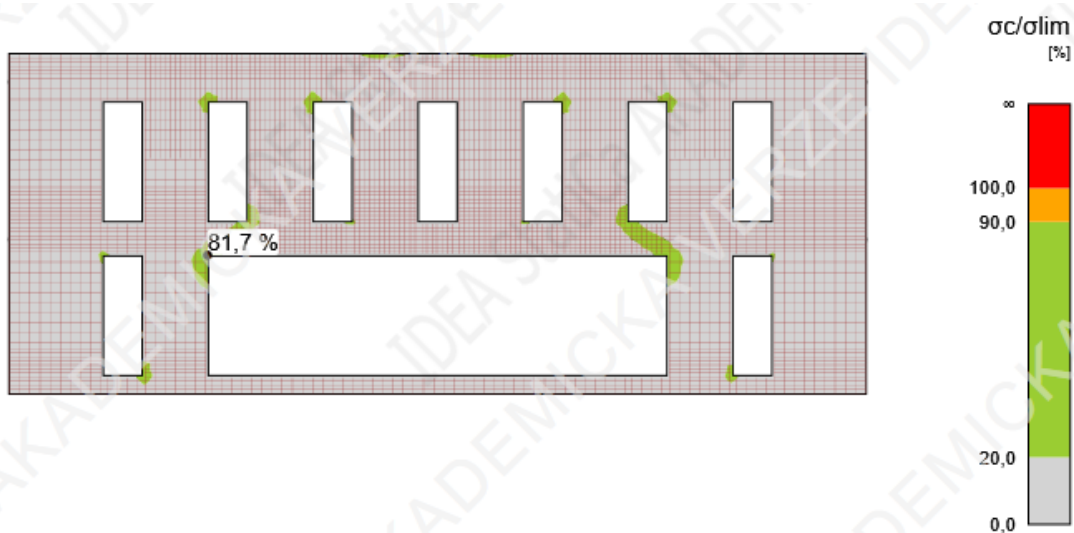
Souhrn

Celková tabulka

Položka posudku	Kombinace	Přirůstek	Položka			
MSÚ	MSÚ	G100,0%	Pevnost výztuže	✓		
Položka posudku	Položka	Využití				
Pevnost betonu	W1	σ/σ_{lim} : 67,6%		✓		
Pevnost výztuže	GB13	$\epsilon_s/\epsilon_{s,lim}$: 9,9%, $\sigma_s/\sigma_{s,lim}$: 59,4%		✓		
Kotevní délka	GB5	$l_b/f_b d$: 99,5%		✓		
MSP	MSP_k (LT)	G100,0%	Šířka trhlín	✓		
Položka posudku	Kombinace	Přirůstek	Kritický posudek	Položka	Využití	
Omezení napětí	MSP_k (ST)	G100,0%	7.2(3)	W1	81,7%	✓
Šířka trhlín	MSP_k (LT)	G100,0%	w/w _{lim}	GB16	87,4%	✓

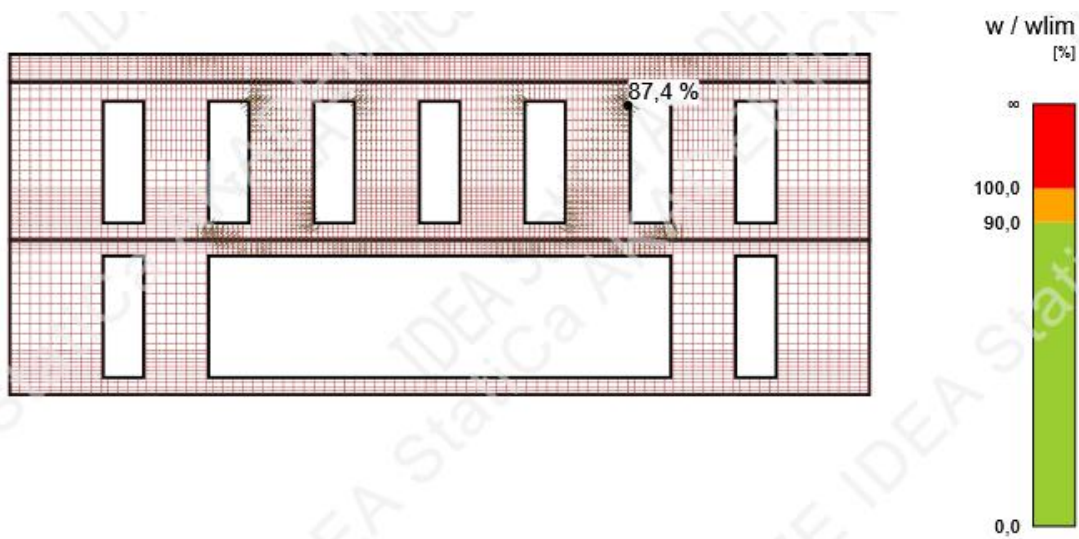
Obr. 4.40 - Souhrnný posudek MSÚ a MSP

Výztuž ze SCII v nelineárním výpočtu vyhovuje na MSÚ i MSP.



Obr. 4.41 - Posudek napětí betonu MSP

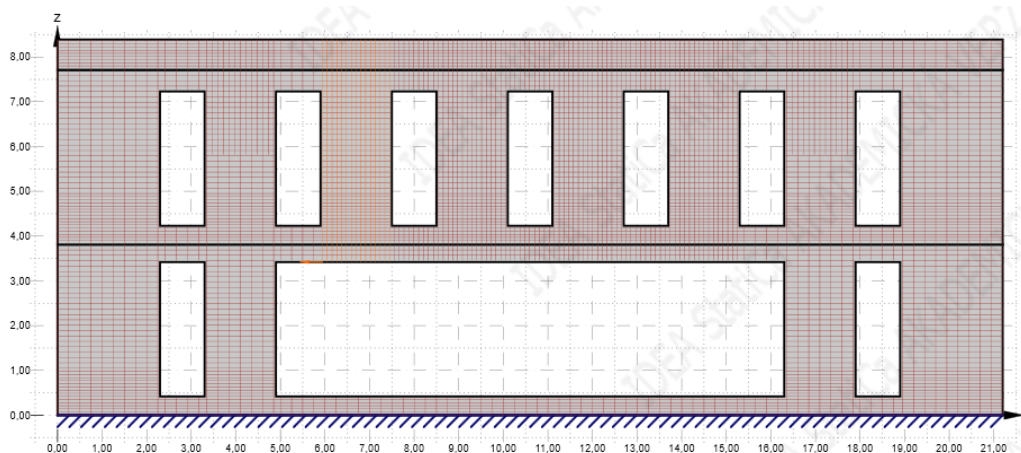
Extrémní hodnoty napětí v betonu se nachází v rozích podpory stěnového nosníku.



Obr. 4.42 - Posudek šířky trhlin MSP

Polohy největších trhlin na konstrukci se shodují s očekávanými polohami podle SCII Engineer (Obr. 4.10), což značí, že byl 2D model v IDEE vhodně zatížen podle 2D vnitřních sil ze SCII Engineer.

4.5.6 Posudek pro výztuž z FIN EC



Obr. 4.43 - Rozmístění výztuže, viz. také obr. 4.26

Souhrn

Celková tabulka

Položka posudku	Kombinace	Přírůstek	Položka			
MSÚ	MSÚ	G100,0%	Pevnost výztuže	✓		
Položka posudku	Položka	Využití				
Pevnost betonu	W1	σ/σ_{lim} : 68,0%		✓		
Pevnost výztuže	GB5	$\epsilon_s/\epsilon_{s,lim}$: 10,7%, $\sigma_s/\sigma_{s,lim}$: 63,6%		✓		
Kotevní délka	GB12	t_b/f_{bd} : 99,8%		✓		
MSP	MSP_k (LT)	G100,0%	Šířka trhlin	✓		
Položka posudku	Kombinace	Přírůstek	Kritický posudek	Položka	Využití	
Omezení napětí	MSP_ch (LT)	G100,0%	7.2(5)	GB5	85,3%	✓
Šířka trhlin	MSP_k (LT)	G100,0%	w/wlim	GB5	85,4%	✓

Obr. 4.44 - Souhrnný posudek MSÚ a MSP

Pro konstrukci se ukázaly jako rozhodující mezní stavy použitelnosti. Využití na MSP obou návrhů se zdá být v rozumných mezích. V IDEA StatiCa je možné ještě vyztužení z hlediska hospodárnosti optimalizovat a v některých oblastech stěny výztuž zeslabit, naopak v kritických oblastech vyztužení zesílit.

4.6 Úprava návrhu

S ohledem na posudky předešlých návrhů byla výztuž v IDEE upravena na ekonomický návrh tak, aby se dílčí posudek, který v návrhu rozhoduje (v tomto případě MSP), pohyboval v rozumných mezích využití.

Ukázalo se, že je pro konstrukci rozhodující omezení šířky trhlín v oblastech kolem rohů okenních otvorů a omezení napětí v betonu v rozích podpor stěnového nosníku.

Svislá výztuž

Do IDEI byla vložena po většině plochy stěny svislá výztuž při obou površích:

Ø 8 po 250 mm, $A_{s,prov} = 201 \text{ mm}^2/\text{m}$

V některých oblastech byly pruty zesíleny a zkrácena jejich rozteč:

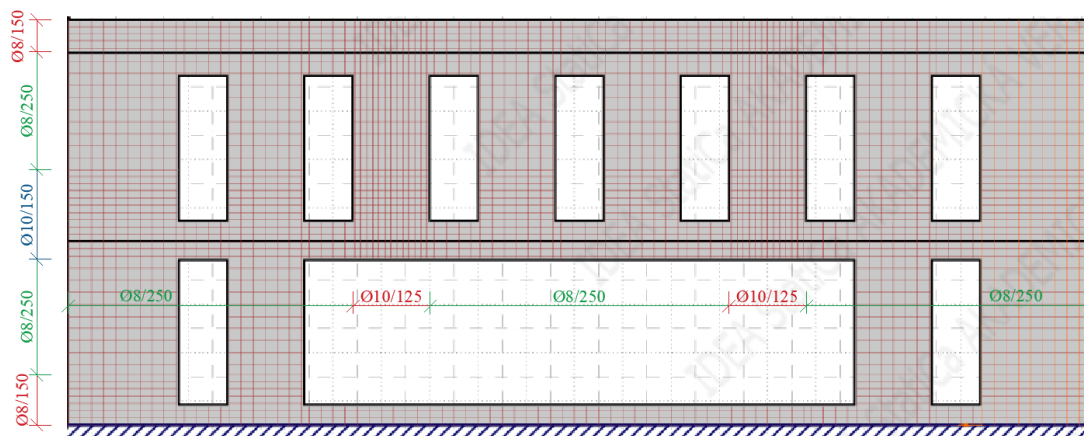
Ø 10 po 125 mm, $A_{s,prov} = 628 \text{ mm}^2/\text{m}$

Vodorovná výztuž

Vodorovná výztuž při obou površích je navržena jako:

Ø 8 po 250 mm, $A_{s,prov} = 201 \text{ mm}^2/\text{m}$

a je zhuštěna na rozteč 150 mm v oblastech stykování prutů přesahem.

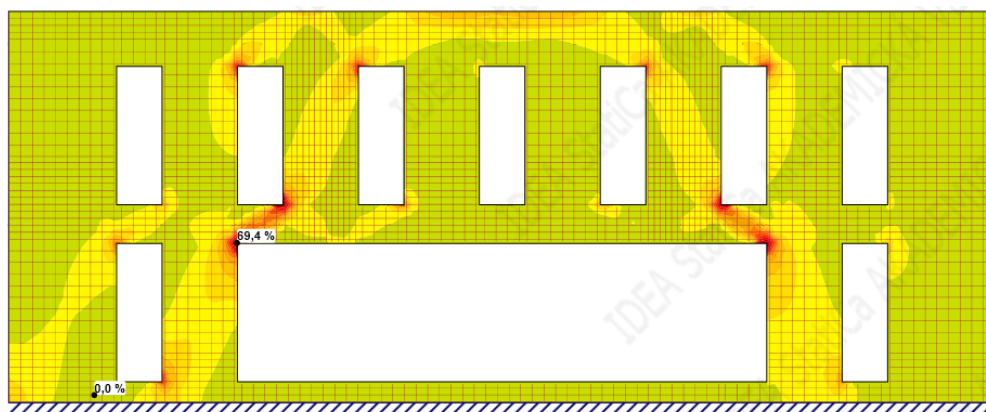


Obr. 4.45 - Schéma rozmístění výztuže

4.6.1 Posudek MSÚ

Pevnost betonu

Extrémy tlakových napětí lze pozorovat v rozích otvorů. Globální extrém $\sigma_c = -13,9$ MPa vyhoví s využitím $\sigma_c / \sigma_{c,lim} = 69,4$ %



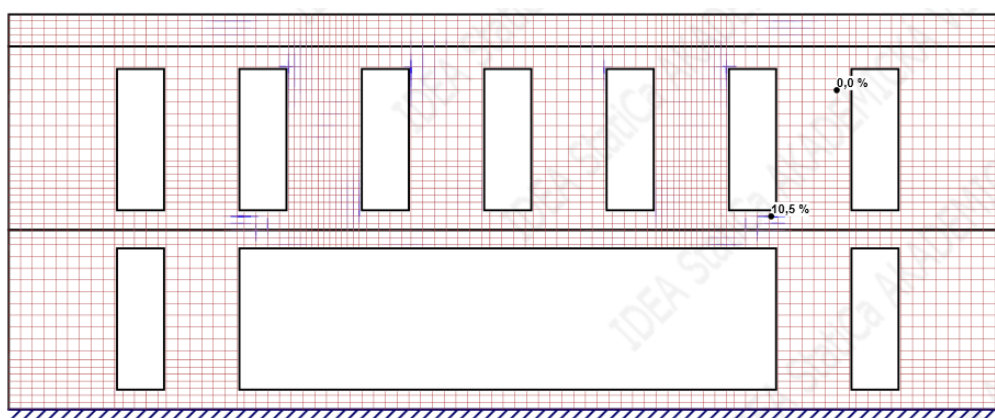
Obr. 4.46 - Pevnost betonu MSÚ

Pevnost oceli

Globální extrém pro napětí ve výztuži $\sigma_s = 292,1$ MPa, maximální přetvoření po délce výztužné vložky $\varepsilon_s = 9,1 \cdot 10^{-4}$.

poměr napětí a pevnosti výztuže $\sigma_s / \sigma_{s,lim} = 62,2$ %

poměr přetvoření a mezního přetvoření výztuže $\varepsilon_s / \varepsilon_{s,lim} = 10,5$ %

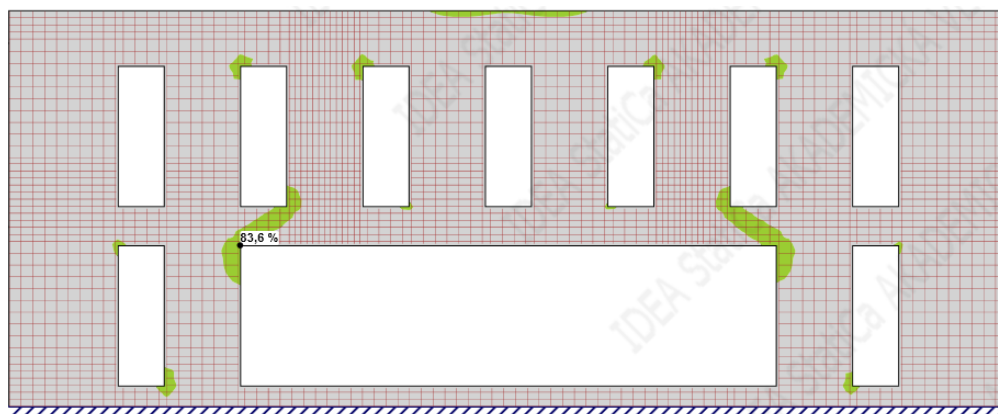


Obr. 4.47 - Pevnost oceli MSÚ

4.6.2 Posudek MSP

Omezení napětí v betonu

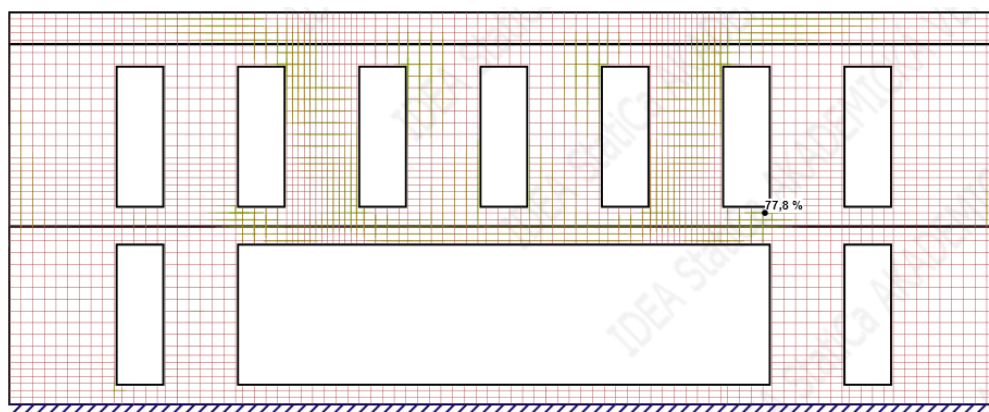
Pro kvazistálou kombinaci MSP bylo vypočteno omezení napětí v betonu. Extrémní hodnota, vycházející z krátkodobých účinků, vyhovuje s využitím 83,6 %.



Obr. 4.48 - Omezení napětí v betonu MSP

Omezení napětí na výztuži

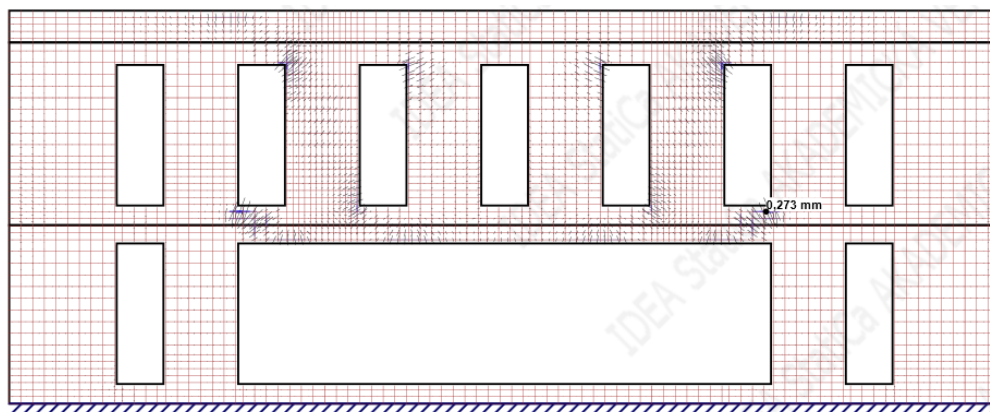
Pro charakteristickou kombinaci MSP bylo stanoveno omezení napětí na výztuži. Extrémní hodnota pro krátkodobé účinky vyhovuje s využitím 77,8 %.



Obr. 4.49 - Omezení napětí ve výztuži MSP

Omezení šířky trhlin

Pro kvazistálou kombinaci byly vypočteny šířky trhlin s extrémem $w = 0,273 \text{ mm}$. Limitní hodnotou pro třídu prostředí betonu XC3 je $w_{\text{lim}} = 0,3 \text{ mm}$.

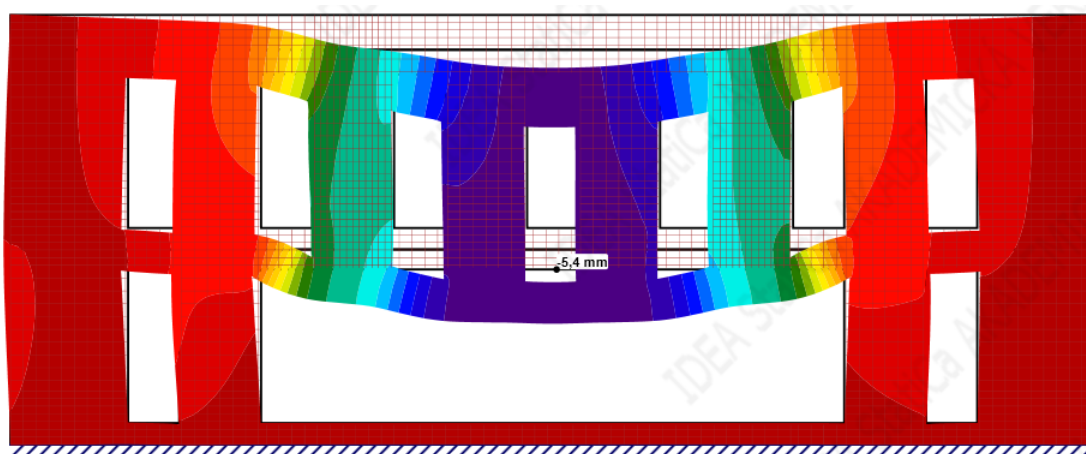


Obr. 4.50 - Šířka trhlin MSP

Průhyb

Pro charakteristickou kombinaci MSP byl stanoven maximální dlouhodobý průhyb $u_{z,\text{tot}} = -5,4 \text{ mm}$. Limitní průhyb byl vypočten jako:

$$u_{z,\text{lim}} = \frac{L}{250} = \frac{11400}{250} = 45,6 \text{ mm}$$



Obr. 4.51 - Průhyb s deformovaným stavem konstrukce

4.6.3 Souhrnný posudek

Navržená výztuž vyhověla ve všech mezních stavech. Rozhodující pro konstrukci je mezní stav použitelnosti. Aktuální návrh je bezpečný, vhodně navržený z hlediska použitelnosti a je ekonomický.

Souhrn

Celková tabulka

Položka posudku	Kombinace	Přírůstek	Položka			
MSÚ	MSÚ	G100,0%	Pevnost výztuže	✓		
Položka posudku	Položka	Využití				
Pevnost betonu	W1	$\sigma_c/\sigma_c, \text{lim: } 69,4\%$			✓	
Pevnost výztuže	GB5	$\epsilon_s/\epsilon_s, \text{lim: } 10,5\%, \sigma_s/\sigma_s, \text{lim: } 62,2\%$			✓	
Kotevní délka	GB11	$t_b/f_{bd}: 99,8\%$			✓	
MSP	MSP_k (LT)	G100,0%	Šířka trhlin	✓		
Položka posudku	Kombinace	Přírůstek	Kritický posudek	Položka	Využití	
Omezení napětí	MSP_k (ST)	G100,0%	7.2(3)	W1	83,6%	✓
Šířka trhlin	MSP_k (LT)	G100,0%	w/w _{lim}	GB5	90,9%	✓

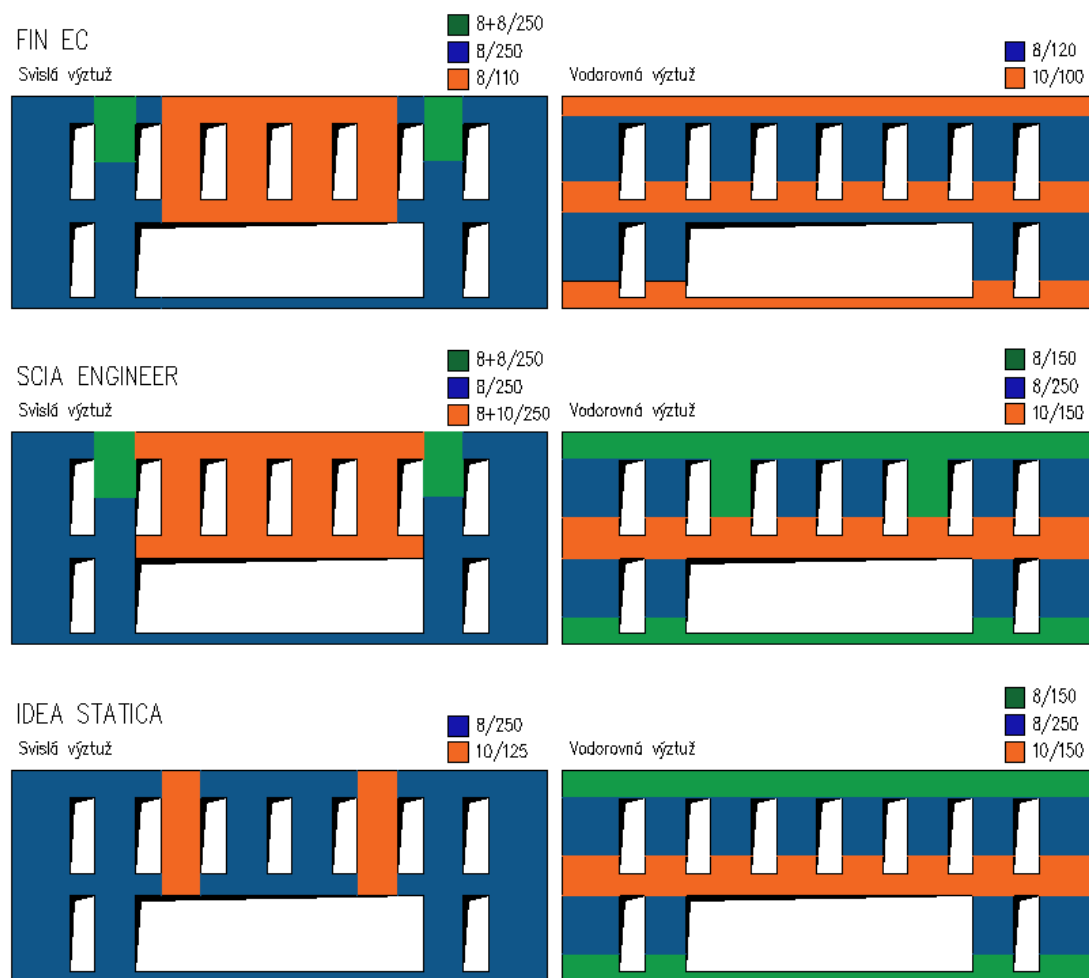
Obr. 4.52 - Souhrnný posudek MSÚ a MSP

V následující tabulce lze vidět závěrečné srovnání všech výsledků dílčích návrhů.

Průřez B _i	FIN EC			SCIA Engineer			IDEA StatiCa		
	Ø [mm]	s [mm]	A _{s,prov1} [mm ² /m]	Ø [mm]	s [mm]	A _{s,prov1} [mm ² /m]	Ø [mm]	s [mm]	A _{s,prov1} [mm ² /m]
1	8	250	201	8	250	201	8	250	201
2	8	250	201	8	250	201	8	250	201
3	8	250	201	8	250	201	8	250	201
4	8	250	201	8	250	201	8	250	201
5	8	250	201	8	250	201	8	250	201
6	8	250	201	8	250	201	8	250	201
7	8	250	201	8	250	201	8	250	201
8	8+8	250	402	8+8	250	402	8	250	201
9	8	110	457	8+10	250	515	10+10	250	201
10	8	110	457	8+10	250	515	10+10	250	201
11	8	110	457	8+10	250	515	8	250	201
12	8	110	457	8+10	250	515	8	250	201
13	8	110	457	8+10	250	515	8	250	201
14	8	110	457	8+10	250	515	8	250	201
15	8	110	457	8+10	250	515	10+10	250	201
16	8	110	457	8+10	250	515	10+10	250	201
17	8	250	201	8	250	201	8	250	201
18	8	250	201	8	250	201	8	250	201
19	8	250	201	8	250	201	8	250	201
20	8+8	250	402	8+8	250	402	8	250	201
21	8	250	201	8	250	201	8	250	201
22	8	250	201	8	250	201	8	250	201
23	8	250	201	8	250	201	8	250	201
24	8	250	201	8	250	201	8	250	201

Tab. 4.3 - Srovnání výsledků dílčích návrhů pro hlavní nosnou výztuž

Na závěr bylo zobrazeno na barevných schématech vyztužení, jaké bylo pro dílčí návrhy uvažováno.



Obr. 4.53 - Rozmístění výztuže dílčích návrhů na barevných schématech

5 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo provést návrh výztuže pro stěnový prvek za použití odlišných návrhových metod a osvojit si postupy návrhu při různých předpokladech chování nosné konstrukce. Kvůli geometrii stěny, která nahrává k návrhu Vierendeelova nosníku, byla zvolena vhodná idealizace řešené oblasti a proveden výpočet za pomoci programů SCIA Engineer a FIN EC, využívající lineární analýzu.

S předpokladem, že je řešená stěna poruchovou D-oblastí a chová se jako stěnový nosník, byl následně proveden návrh nelineární analýzou v programu IDEA StatiCa, který je schopen lépe vystihnout reálné chování konstrukce. Ve dvourozměrném modelu programu IDEA StatiCa nejprve proběhlo ověření výztuže z lineárního výpočtu, následně byl pak návrh upraven do jeho finální podoby.

Při porovnání výsledků lineárního a nelineárního výpočtu je možné pozorovat značné rozdíly. V některých oblastech, kde podle lineárního výpočtu musely být pro splnění požadavků MSP na omezení šířky trhlin pruty zhuštěny příložkami, se v nelineárním výpočtu ukázaly z hlediska šířky trhlin jako nadhodnocené. V tomto případě se výsledky lineárního výpočtu ukázaly jako bezpečné a příliš konzervativní. Nemělo by se ale na zjednodušenou lineární analýzu nahlížet vždy jako na bezpečný návrh. Při nevhodném odhadu chování konstrukce za použití lineární analýzy vyvstává naopak riziko jejího podhodnocení.

Při optimalizaci konstrukce se ukázala hlavní výhoda programu IDEA StatiCa, kde je možné vytvořit bezpečný a ekonomický návrh přímo na míru konkrétně zatížené nosné konstrukce. V exponovaných oblastech, kde vznikaly nejširší trhliny byly zesíleny průměry prutů a zhuštěna jejich rozteč, naopak na většině plochy stěny vyhověl jen základní rastr, splňující konstrukční zásady minimálního vyztužení. IDEA StatiCa také nabízí modelovat diagonální výztužné pruty, které se běžně nenavrhují, ale automaticky se vkládají do rohů otvorů kvůli omezení šířky trhlin. Pro účel porovnání návrhových přístupů s nimi nebylo počítáno. Při jejich použití v modelu lze ale návrh optimalizovat ještě lépe.

Naopak nevýhodou programu je jeho časová náročnost a složitost zadávání okrajových podmínek. Zvláště obtížné se zdá být přenesení vnitřních sil z globálního numerického modelu do dvourozměrného modelu v programu IDEA StatiCa

a vystižení skutečného zatížení, které se zadává jen v rovině tohoto dvourozměrného prvku. Při nevhodně zvolené geometrii modelu nebo nesprávném uvážení, kde konkrétně a v jakém směru zatížení zadat, dojde ke kompletnímu znehodnocení návrhu, a proto práce s programem vyžaduje pokročilé zkušenosti a schopnosti jeho uživatele. Model stěny v bakalářské práci byl v zadávání geometrie zjednodušen a nebyly vytvořeny dílce, které by reprezentovaly spolupůsobení se stropními deskami. Hlubší analýzou, do jaké míry tím došlo ke znehodnocení výsledku návrhu, se bakalářská práce nezabývala. Lze ale předpokládat, že toto zjednodušení nemělo na výsledky výrazný vliv.

Co se týče jednoduchosti a časové nenáročnosti výpočtů, je jednoznačně lineární analýza oproti nelineární vhodnější, je však otázkou do jaké míry uspokojí trend moderní projekce, kde je snahou konstrukce optimalizovat a návrh provádět ekonomicky a co nejefektivněji. Navíc se lineární analýza v některých případech, kdy se navrhuje poruchová D-oblast, používat přímo nedoporučuje.

Reference

- [1] PONS POBLET, Josep Maria. The Vierendeel truss: past and present of an innovative typology. *Arquitetura revista*, 2019, 15.1: 193-211.
- [2] AMBROSE, James. *Building structures*. John Wiley & Sons, 1993
- [3] DAVISON, Buick; OWENS, Graham W. (ed.). *Steel designers' manual*. John Wiley & Sons, 2012.]
- [4] Almaliki, Hadi & Saeed, Jamal & Abdul, Mustafa. (2017). *STRUCTURAL BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE VIERENDEEL TRUSS TO USE IN PRECAST CONSTRUCTION.*]
- [5] *Roadside Architecture* [online]. [cit. 2023-04-24].
Dostupné z: <https://roadarch.com/modarch/mooffice.html>
- [6] Národní památkový ústav: Památkový katalog [online]. [cit. 2023-04-24].
Dostupné z: <https://pamatkovykatalog.cz/budova-federalniho-shromazdeni-14912145>
- [7] Památkový katalog: Metainformační systém [online]. [cit. 2023-04-24].
Dostupné z: https://iispp.npu.cz/mis_public/documentDetail.htm?id=1373971
- [8] GATTERMAYEROVÁ, Hana. *Konstrukční systémy vícepodlažních budov: Stabilita a prostorová tuhost budov [přednáška]*. Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2013.
- [9] *Archiweb: Administrativní budova Geoindustrie* [online]. [cit. 2023-04-24].
Dostupné z: <https://www.archiweb.cz/b/administrativni-budova-geoindustrie>
- [10] *Profesní informační systém ČKAIT: Tabulky pro navrhování pozemních staveb. Železobetonové konstrukce (TP 1.13.2)* [online]. [cit. 2023-04-24].
Dostupné z: <https://profesis.ckait.cz/dokumenty-ckait/tp-1-13-2>
- [11] *The Historical Marker Database: American Zinc Building* [online]. [cit. 2023-04-24].
Dostupné z: <https://www.hmdb.org/m.asp?m=151978>
- [12] *StavbaWEB: Budova Federálního shromáždění je unikátní kulturní památkou* [online]. [cit. 2023-04-24].

Dostupné z: <https://www.stavbaweb.cz/budova-federalniho-shromazdni-je-unikatni-kulturni-pamatkou-6013/clanek.html>

- [13] Dlubal: Lávka pro pěší Freischutz [online]. [cit. 2023-04-24].
Dostupné z: <https://www.dlubal.com/cs/stahovani-a-informace/reference/projekty-zakazniku/001260>
- [14] Verkehrs- und Ingenieurbau Consult GmbH: Bundesstraße (B) 236, Fußgängerbrücke Freischütz [online]. [cit. 2023-04-24].
Dostupné z: <https://www.vic-gmbh.de/vic-potsdam/project/4-streifigen-erweiterung-der-b-236/>
- [15] VERSWIJVER, Koen, et al. Development of the Vierendeel: calculation, aesthetics, welding, concrete. *International Journal of Sustainable Construction and Design*, 2010, 1.1.
- [16] Jirásek, Milan & Zeman, Jan. (2006). Přetváření a porušování materiálů : dotvarování, plasticita, lom a poškození.
- [17] Profesní informační systém ČKAIT: Poruchové oblasti železobetonových konstrukcí (TP 1.13.1) [online]. [cit. 2023-04-24].
Dostupné z: <https://profesis.ckait.cz/dokumenty-ckait/tp-1-13-1/>
- [18] IDEA StatiCa: Posouzení stěn a stěnových nosníků [webinář]. [cit. 2023-04-24].
Dostupné z: <https://www.ideastatica.com/cz/webinars/posouzeni-sten-a-stenovych-nosniku>
- [19] BÍLÝ, Petr. Nelineární analýza železobetonových konstrukcí: Úvod do problematiky [přednáška]. *Fakulta stavební ČVUT v Praze: Modelování a vyztužování betonových prvků (133YMVB)*.
- [20] Darwin David Charles W. Dolan and Arthur H. Nilson. 2016. *Design of Concrete Structures*. Fifteenth ed. New York NY: McGraw-Hill Education.
- [21] HANZLOVÁ, Hana a Jiří ŠMEJKAL. *B e t o n o v é a z d ě n é k o n s t r u k c e z á k l a d y n a v r h o v á n í V P r a z e : Č e s k é v y s o k é u č e n í k o n s t r u k c e t e c h n i c k é*, 2013. ISBN 978-80-01-05323-2.
- [22] TIPKA, Martin. Základní principy navrhování železobetonových konstrukcí a jejich kritických oblastí. *Fakulta stavební ČVUT v Praze*

- [23] ČSN 73 0532. Akustika: *Ochrana proti hluku v budovách a akustických vlastností - požadavky českých kons*
Technická Norma, 2020.
- [24] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1 : Zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb.*
Česká Technická Norma, 2004.
- [25] ČSN EN 1991-1-3. *Eurokód 1 : Zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb.*
Zatížení – Zatížení sněhem. Česká Technická Norma, 2005.
- [26] ČSN EN 1992-1-1. *Eurokód 2 : Navrhování - Členské tlo novy*
Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Česká Technická Norma,
2006.

Seznam obrázků

Obr. 1.1 - Možné typy Vierendeelova nosníku [4]	9
Obr. 1.2 - Zatížení Prattova nosníku [kN/m]	10
Obr. 1.3 - Zatížení Vierendeelova nosníku [kN/m]	10
Obr. 1.4 - Průhyb Prattova nosníku.....	10
Obr. 1.5 - Průhyb Vierendeelova nosníku.....	10
Obr. 1.6 - Schéma přechodového podlaží jako Vierendeelův nosník [8]	12
Obr. 1.7 - The American Zinc Building, St. Louis, Missouri [5]	13
Obr. 1.8 - Nová budova Národního muzea [7].....	13
Obr. 1.9 - Realizovaný projekt pěší lávky [13].....	14
Obr. 2.1 - Řešená administrativní budova [9].....	16
Obr. 2.2 - Pohled do interiéru budovy [9].....	17
Obr. 2.3 - Stavební schéma 1. NP	18
Obr. 2.4 - Stavební schéma 2.NP	18
Obr. 2.5 - Řez globálním numerickým modelem.....	19
Obr. 2.6 - Konstrukční schéma 1. NP	20
Obr. 2.7 - Konstrukční schéma 2. NP	20
Obr. 2.8 - Globální numerický model ze SCIA Engineer s vyznačenou řešenou stěnou	21
Obr. 3.1 - Rozdělení konstrukce na D a B oblasti [17].....	22
Obr. 3.2 - Vyjádření přetvoření dle Hookova zákona [19]	23
Obr. 4.1 - Zobrazení největší reakce v podporách sloupů pro porovnání s ručním výpočtem.....	25
Obr. 4.2 - 8/250 Svislý směr (2) – zadní povrch (-).....	27
Obr. 4.3 - 8/250 Svislý směr (2) – přední povrch (+)	27

Obr. 4.4 - 8+8/250 Svislý směr (2) – zadní povrch (-).....	28
Obr. 4.5 - 8+8/250 Svislý směr (2) – přední povrch (+)	28
Obr. 4.6 - 8+10/250 Svislý směr (2) – zadní povrch (-).....	29
Obr. 4.7 - 8+10/250 Svislý směr (2) – přední povrch (+)	29
Obr. 4.8 - Schéma rozmístění svislé výztuže	31
Obr. 4.9 - Schéma rozmístění vodorovné výztuže	31
Obr. 4.10 - Posudek šířky trhlin	32
Obr. 4.11 - Posudek normově závislého průhybu	32
Obr. 4.12 - Umístění integračních pásů na stěně	33
Obr. 4.13 - Idealizace stěny na prutové prvky S a T	33
Obr. 4.14 - Průřez krajních sloupů FIN EC	34
Obr. 4.15 - Průřez vnitřních sloupů FIN EC	34
Obr. 4.16 - Průběh normálové síly N na sloupu S3-S4 (MSÚ).....	35
Obr. 4.17 - Průběh ohybového momentu M_y na sloupu S3-S4 (MSÚ)	35
Obr. 4.18 - Průběh smykové síly V_z na sloupu S3-S4 (MSÚ).....	35
Obr. 4.19 - Označení posuzovaných průřezů sloupů B_i	36
Obr. 4.20 - Průřez spodního trámu 200 x 900 mm	38
Obr. 4.21 - Průřez horního trámu 200 x 980 mm.....	38
Obr. 4.22 - Průběh normálové síly N na trámech (MSÚ)	39
Obr. 4.23 - Průběh ohybového momentu M_z na trámech (MSÚ)	39
Obr. 4.24 - Průběh smykové síly V_y na trámech (MSÚ)	39
Obr. 4.25 - Označení posuzovaných průřezů trámů B_i	40
Obr. 4.26 - Schéma rozmístění navržené výztuže na stěně.....	41
Obr. 4.27 - Geometrie modelu IDEA StatiCa	43
Obr. 4.28 - SCIA posouvající síly V_y [kN/m].....	44
Obr. 4.29 - Zatížení od desky v IDEA StatiCa [kN/m].....	44

Obr. 4.30, Obr. 4.31 - SCIA smykové síly n_{xy} [kN/m]	45
Obr. 4.32 - Zatížení od desky IDEA StatiCa [kN/m].....	45
Obr. 4.33 - SCIA normálové síly n_x [kN/m]	46
Obr. 4.34 - Zatížení od stěny IDEA StatiCa [kN/m].....	46
Obr. 4.35 - SCIA smykové síly n_{xy} [kN/m]	47
Obr. 4.36 - Zatížení od stěny IDEA StatiCa [kN/m].....	47
Obr. 4.37 - Nelineární kombinace (zatěžovací stavy s dílčími součiniteli)	48
Obr. 4.38 - Topologická optimalizace stěny	48
Obr. 4.39 - Rozmístění výztuže, viz. také Obr. 4.8 a Obr. 4.9.....	49
Obr. 4.40 - Souhrnný posudek MSÚ a MSP	49
Obr. 4.41 - Posudek napětí betonu MSP	50
Obr. 4.42 - Posudek šířky trhlin MSP	50
Obr. 4.43 - Rozmístění výztuže, viz. také obr. 4.26.....	51
Obr. 4.44 - Souhrnný posudek MSÚ a MSP	51
Obr. 4.45 - Schéma rozmístění výztuže	52
Obr. 4.46 - Pevnost betonu MSÚ	53
Obr. 4.47 - Pevnost oceli MSÚ	53
Obr. 4.48 - Omezení napětí v betonu MSP	54
Obr. 4.49 - Omezení napětí ve výztuži MSP	54
Obr. 4.50 - Šířka trhlin MSP	55
Obr. 4.51 - Průhyb s deformovaným stavem konstrukce.....	55
Obr. 4.52 - Souhrnný posudek MSÚ a MSP	56
Obr. 4.53 - Rozmístění výztuže dílčích návrhů na barevných schématech	57

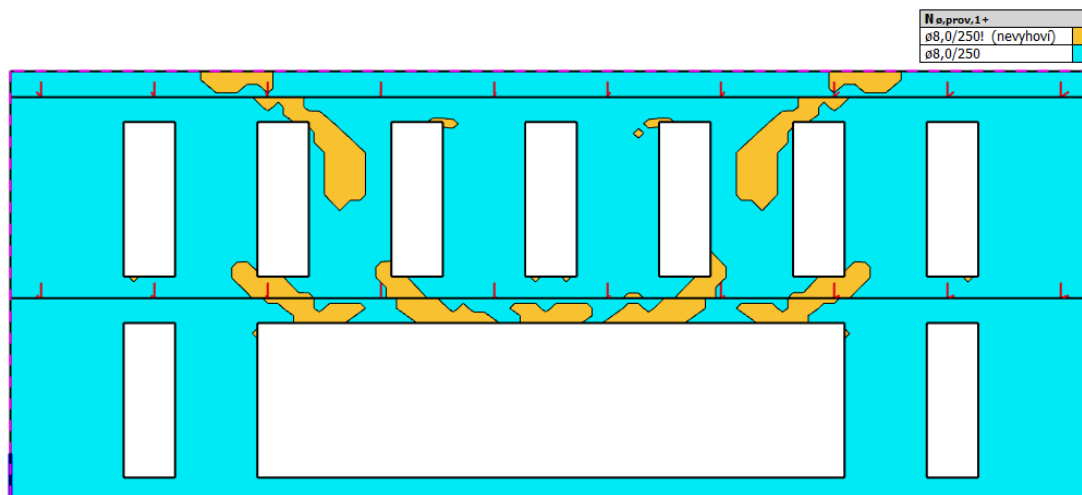
Seznam tabulek

Tab. 4.1 - Vnitřní síly na průřezech B_i posuzované ve FIN EC.....	366
Tab. 4.2 - Návrh výztuže v řezech B_i	422
Tab. 4.3 - Srovnání výsledků dílčích návrhů pro hlavní nosnou výztuž.....	566

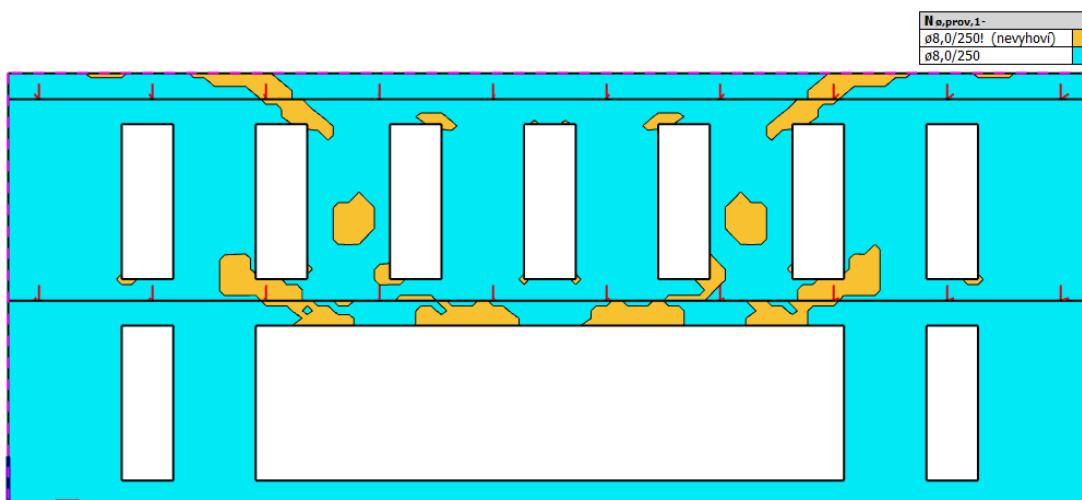
Přílohy výsledků

Příloha A – Návrh dle požadovaných ploch výztuže

Rastr 8/250

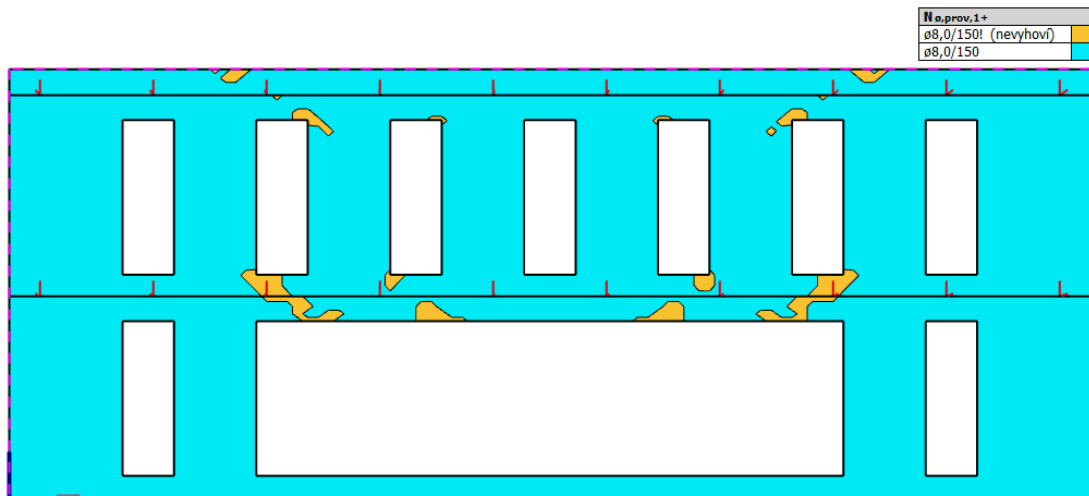


Vodorovný směr – zadní povrch

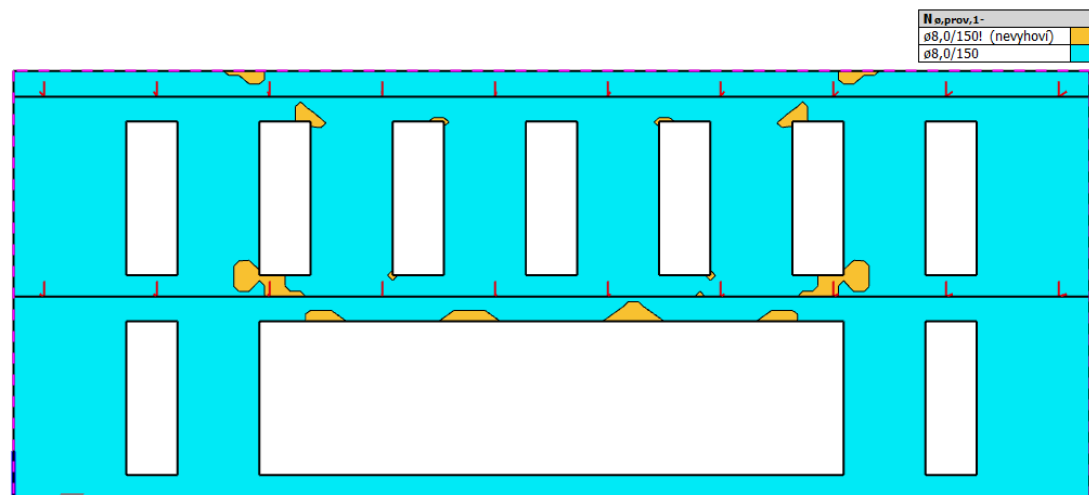


Vodorovný směr – přední povrch

Rastr 8/150

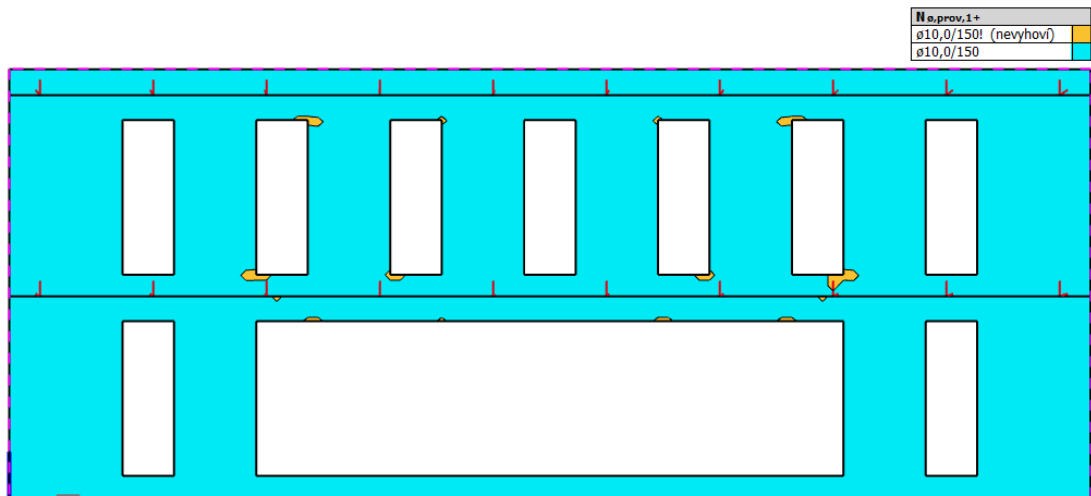


Vodorovný směr – zadní povrch

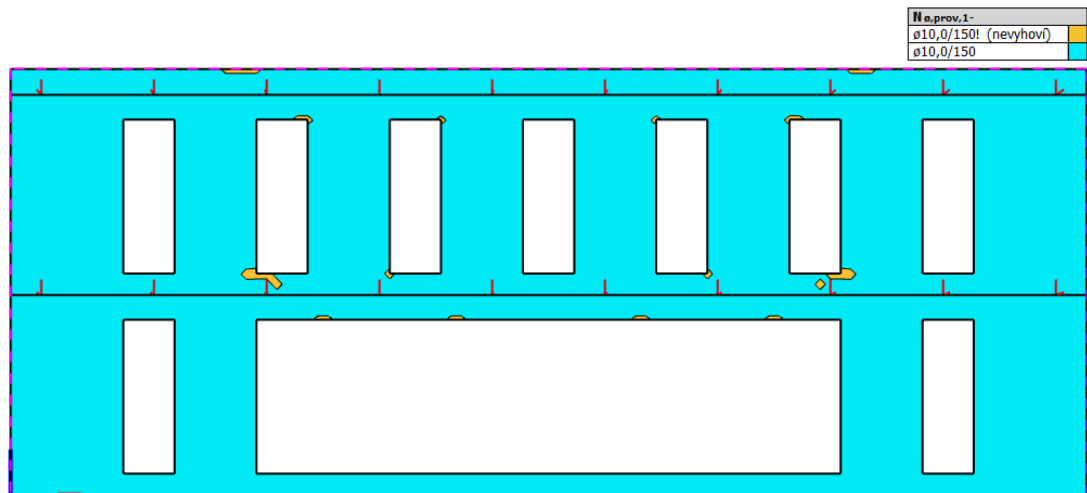


Vodorovný směr – přední povrch

Rastr 10/150



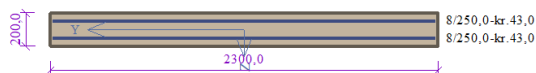
Vodorovný směr – zadní povrch



Vodorovný směr – přední povrch

Příloha B – Návrh dle FIN EC

Okrajové sloupy 8/250



Typ prvku: sloup

Prostředí: XC3

Beton: C 30/37

$f_{ck} = 30,0$ MPa; $f_{ctm} = 2,9$ MPa; $E_{cm} = 33000$ MPa

Ocel podélná: B500B ($f_{yk} = 500,0$ MPa; $E_s = 200000$ MPa)

Ocel příčná: B500B ($f_{yk} = 500,0$ MPa; $E_s = 200000$ MPa)

Vzpěr

Vzpěr není uvažován

S tlačnou výztuží je počítáno.

Obvodové třmínky

Profil: 8 mm; Vzdálenost: 120,0 mm

Posouzení min. a max. stupně vyztužení

Sloup (celková výztuž):

$\rho_s = 0,00201 \geq \rho_{s,min} = 0,002 \Rightarrow$ Vyhovuje

$\rho_s = 0,00201 \leq \rho_{s,max} = 0,04 \Rightarrow$ Vyhovuje

Posouzení konstrukčních zásad třmínků

Minimální průměr třmínků $d = 6$ mm ≤ 8 mm \Rightarrow Vyhovuje

Maximální vzdálenost třmínků $s_{cl,max} = 120,0$ mm $\geq 120,0$ mm \Rightarrow Vyhovuje

Posouzení mezního stavu únosnosti

č.	Název	N_{Ed} [kN]	N_{Rd} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	Posouzení
1	B1	-252,84	-9569,95	-2,43	-61,81	2,60	219,82	Vyhovuje
2	B2	-244,20	-9569,95	8,63	61,09	9,43	218,83	Vyhovuje
3	B3	-150,10	-9569,95	-11,80	-53,25	12,84	208,03	Vyhovuje
4	B4	-75,03	-9569,95	16,26	46,89	18,63	199,42	Vyhovuje
5	B21	-237,50	-9569,95	-2,34	-60,54	2,40	218,06	Vyhovuje
6	B22	-239,11	-9569,95	8,55	60,68	9,28	218,24	Vyhovuje
7	B23	-144,89	-9569,95	16,39	52,81	16,80	207,43	Vyhovuje
8	B24	-77,72	-9569,95	16,39	47,12	16,80	199,72	Vyhovuje

Mezní stav únosnosti VYHOVUJE

Posouzení mezního stavu použitelnosti

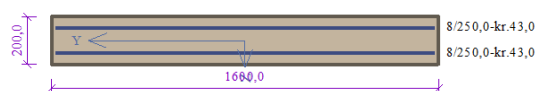
Mezní stav omezení napětí

č.	Název	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	σ_c [MPa]	$\sigma_{s,max}$ [MPa]	$\sigma_{s,min}$ [MPa]	Posouzení
1	B1	-192,69	-1,91	0,54	-2,11	2,90	Vyhovuje
2	B2	-186,22	6,83	0,84	-0,99	3,84	Vyhovuje
3	B3	-113,63	-9,24	1,43	10,01	2,93	Vyhovuje
4	B4	-57,14	12,47	3,67	104,66	-16,73	Vyhovuje
5	B21	-180,04	-1,85	0,51	-1,96	2,73	Vyhovuje
6	B22	-182,30	6,76	0,83	-0,95	3,78	Vyhovuje
7	B23	-109,65	-9,23	1,49	11,85	2,63	Vyhovuje
8	B24	-59,21	12,57	3,68	103,59	-16,37	Vyhovuje
Limitní hodnoty $k_3 \times f_{yk}$					400,00		

č.	Název	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	$\Delta\epsilon$ [-]	$s_{r,max}$ [m]	w [mm]	Posouzení
1	B1	-178,92	-1,56	-	-	0,000	Vyhovuje
2	B2	-169,43	5,46	-	-	0,000	Vyhovuje
3	B3	-105,94	-7,67	$13,4 \cdot 10^{-6}$	0,452	0,006	Vyhovuje
4	B4	-52,21	11,13	$276 \cdot 10^{-6}$	0,779	0,215	Vyhovuje
5	B21	-167,07	-1,50	-	-	0,000	Vyhovuje
6	B22	-165,98	5,40	-	-	0,000	Vyhovuje
7	B23	-102,33	-7,66	$16,1 \cdot 10^{-6}$	0,452	0,007	Vyhovuje
8	B24	-54,06	11,21	$273 \cdot 10^{-6}$	0,779	0,212	Vyhovuje
Maximální povolená šířka w_{max}						0,300	

Mezní stav použitelnosti VYHOVUJE

Vnitřní sloupy 8/250



Typ prvku: sloup
Prostředí: XC3

Beton: C 30/37

$f_{ck} = 30,0$ MPa; $f_{ctm} = 2,9$ MPa; $E_{cm} = 33000$ MPa

Ocel podélná: B500B ($f_{yk} = 500,0$ MPa; $E_s = 200000$ MPa)

Ocel příčná: B500B ($f_{yk} = 500,0$ MPa; $E_s = 200000$ MPa)

Vzpěr

Vzpěr není uvažován

S tlačnou výztuží je počítáno.

Obvodové třmínky

Profil: 8 mm; Vzdálenost: 120,0 mm

Posouzení mezního stavu únosnosti

č.	Název	N_{Ed} [kN]	N_{Rd} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	Posouzení
1	B5	-616,67	-6657,36	-8,23	-76,17	9,76	203,50	Vyhovuje
2	B6	-579,80	-6657,36	18,70	73,63	9,80	199,27	Vyhovuje
3	B7	-279,30	-6657,36	-29,10	-51,41	23,40	164,78	Vyhovuje
4	B8	-240,38	-6657,36	34,39	48,30	23,21	160,32	Vyhovuje
5	B9	-52,11	-6657,36	-36,83	-32,61	27,81	138,71	Nevyhovuje
6	B10	-40,63	-6657,36	38,69	31,64	27,65	137,40	Nevyhovuje
7	B11	8,13	299,78	-38,15	-27,48	28,05	131,80	Nevyhovuje
8	B12	25,87	299,78	37,92	25,87	27,87	129,77	Nevyhovuje
9	B13	8,18	299,78	-38,24	-27,48	28,06	131,80	Nevyhovuje
10	B14	25,65	299,78	37,87	25,89	27,88	129,79	Nevyhovuje
11	B15	-51,75	-6657,36	-36,99	-32,58	27,84	138,67	Nevyhovuje
12	B16	-40,34	-6657,36	38,61	31,62	27,68	137,36	Nevyhovuje
13	B17	-616,01	-6657,36	-8,25	-76,13	9,80	203,42	Vyhovuje
14	B18	-579,14	-6657,36	18,60	73,58	9,85	199,19	Vyhovuje
15	B19	-292,70	-6657,36	-29,16	-52,41	23,41	166,32	Vyhovuje
16	B20	-239,80	-6657,36	34,43	48,26	23,25	160,25	Vyhovuje

Mezní stav únosnosti NEVYHOVUJE

Posouzení mezního stavu použitelnosti

Mezní stav omezení napětí

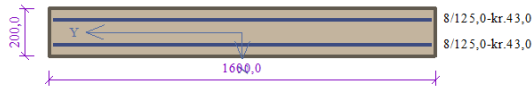
č.	Název	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	σ_c [MPa]	$\sigma_{s,max}$ [MPa]	$\sigma_{s,min}$ [MPa]	Posouzení
1	B5	-472,95	-6,52	2,07	-6,91	10,79	Vyhovuje
2	B6	-444,15	14,68	2,73	-3,93	12,69	Vyhovuje
3	B7	-226,05	-22,70	6,53	85,37	1,19	Vyhovuje
4	B8	-183,77	26,45	9,83	215,04	-24,79	Vyhovuje
5	B9	-47,50	-28,84	13,60	495,33	-95,06	Nevyhovuje
6	B10	-30,84	29,79	14,29	543,89	-107,08	Nevyhovuje
7	B11	-5,49	-29,88	14,64	590,75	-119,98	Nevyhovuje
8	B12	20,56	29,21	14,60	623,78	-130,31	Nevyhovuje
9	B13	-5,39	-30,00	14,70	593,34	-120,52	Nevyhovuje
10	B14	20,66	29,17	14,58	623,16	-130,20	Nevyhovuje
11	B15	-47,28	-28,96	13,66	498,13	-95,66	Nevyhovuje
12	B16	-30,62	29,72	14,26	542,87	-106,90	Nevyhovuje
13	B17	-492,46	-6,54	2,13	-7,27	11,16	Vyhovuje
14	B18	-443,67	14,75	2,74	-3,91	12,70	Vyhovuje
15	B19	-226,70	-22,75	6,54	85,37	1,23	Vyhovuje
16	B20	-183,33	26,48	9,86	216,33	-25,07	Vyhovuje
Limitní hodnoty $k_3 \times f_{yk}$					400,00		

Mezní stav omezení šířky trhlin

č.	Název	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	$\Delta\epsilon$ [-]	$s_{r,max}$ [m]	w [mm]	Posouzení
1	B5	-443,85	-5,18	-	-	0,000	Vyhovuje
2	B6	-397,97	11,62	-	-	0,000	Vyhovuje
3	B7	-206,54	-19,08	$159 \cdot 10^{-6}$	0,453	0,072	Vyhovuje
4	B8	-165,79	23,38	$554 \cdot 10^{-6}$	0,779	0,432	Nevyhovuje
5	B9	-45,66	-23,92	0,00120	0,779	0,935	Nevyhovuje
6	B10	-28,49	26,23	0,00143	0,779	1,114	Nevyhovuje
7	B11	-4,36	-24,67	0,00146	0,779	1,141	Nevyhovuje
8	B12	16,16	25,68	0,00163	0,779	1,274	Nevyhovuje
9	B13	-4,26	-24,73	0,00147	0,779	1,144	Nevyhovuje
10	B14	16,26	25,65	0,00163	0,779	1,273	Nevyhovuje
11	B15	-45,44	-24,05	0,00121	0,779	0,942	Nevyhovuje
12	B16	-28,31	26,18	0,00143	0,779	1,113	Nevyhovuje
13	B17	-443,30	-5,20	-	-	0,000	Vyhovuje
14	B18	-397,43	11,69	-	-	0,000	Vyhovuje
15	B19	-206,97	-19,14	$160 \cdot 10^{-6}$	0,453	0,073	Vyhovuje
16	B20	-165,38	23,41	$558 \cdot 10^{-6}$	0,779	0,435	Nevyhovuje
Maximální povolená šířka w_{max}						0,300	

Mezní stav použitelnosti **NEVYHOVUJE**

Vnitřní sloupy 8/125



Typ prvku: sloup
Prostředí: XC3

Beton: C 30/37

$f_{ck} = 30,0$ MPa; $f_{ctm} = 2,9$ MPa; $E_{cm} = 33000$ MPa

Ocel podélná: B500B ($f_{yk} = 500,0$ MPa; $E_s = 200000$ MPa)

Ocel příčná: B500B ($f_{yk} = 500,0$ MPa; $E_s = 200000$ MPa)

Vzpěr

Vzpěr není uvažován

S tlačnou výztuží je počítáno.

Obvodové těminky

Profil: 8 mm; Vzdálenost: 120,0 mm

Posouzení mezního stavu únosnosti

č.	Název	N_{Ed} [kN]	N_{Rd} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	Posouzení
1	B5	-616,67	-6914,72	-8,23	-93,62	9,76	203,50	Vyhovuje
2	B6	-579,80	-6914,72	18,70	91,34	9,80	199,27	Vyhovuje
3	B7	-279,30	-6914,72	-29,10	-72,17	23,40	164,78	Vyhovuje
4	B8	-240,38	-6914,72	34,39	69,56	23,21	160,32	Vyhovuje
5	B9	-52,11	-6914,72	-36,83	-56,15	27,81	138,71	Vyhovuje
6	B10	-40,63	-6914,72	38,69	55,26	27,65	137,40	Vyhovuje
7	B11	8,13	599,56	-38,15	-51,46	28,05	131,80	Vyhovuje
8	B12	25,87	599,56	37,92	50,05	27,87	129,77	Vyhovuje
9	B13	8,18	599,56	-38,24	-51,45	28,06	131,80	Vyhovuje
10	B14	25,65	599,56	37,87	50,07	27,88	129,79	Vyhovuje
11	B15	-51,75	-6914,72	-36,99	-56,12	27,84	138,67	Vyhovuje
12	B16	-40,34	-6914,72	38,61	55,24	27,68	137,36	Vyhovuje
13	B17	-616,01	-6914,72	-8,25	-93,58	9,80	203,42	Vyhovuje
14	B18	-579,14	-6914,72	18,60	91,30	9,85	199,19	Vyhovuje
15	B19	-292,70	-6914,72	-29,16	-73,06	23,41	166,32	Vyhovuje
16	B20	-239,80	-6914,72	34,43	69,52	23,25	160,25	Vyhovuje

Mezní stav únosnosti **VYHOVUJE**

Posouzení mezního stavu použitelnosti

Mezní stav omezení napětí

č.	Název	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	σ_c [MPa]	$\sigma_{s,max}$ [MPa]	$\sigma_{s,min}$ [MPa]	Posouzení
1	B5	-472,95	-6,52	2,04	-6,82	10,67	Vyhovuje
2	B6	-444,15	14,68	2,70	-3,88	12,54	Vyhovuje
3	B7	-226,05	-22,70	5,48	53,71	6,52	Vyhovuje

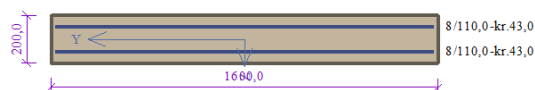
4	B8	-183,77	26,45	7,66	118,91	-4,37	Vyhovuje
5	B9	-47,50	-28,84	10,07	256,95	-36,66	Vyhovuje
6	B10	-30,84	29,79	10,54	281,26	-42,12	Vyhovuje
7	B11	-5,49	-29,88	10,76	304,35	-48,31	Vyhovuje
8	B12	20,56	29,21	10,69	320,33	-53,53	Vyhovuje
9	B13	-5,39	-30,00	10,81	305,68	-48,53	Vyhovuje
10	B14	20,66	29,17	10,67	320,01	-53,48	Vyhovuje
11	B15	-47,28	-28,96	10,11	258,38	-36,91	Vyhovuje
12	B16	-30,62	29,72	10,52	280,72	-42,06	Vyhovuje
13	B17	-492,46	-6,54	2,10	-7,18	11,03	Vyhovuje
14	B18	-443,67	14,75	2,71	-3,85	12,56	Vyhovuje
15	B19	-226,70	-22,75	5,49	53,74	6,55	Vyhovuje
16	B20	-183,33	26,48	7,68	119,55	-4,49	Vyhovuje
Limitní hodnoty $k_3 \times f_{yk}$					400,00		

Mezní stav omezení šířky trhlín

č.	Název	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	$\Delta\epsilon$ [-]	$s_{r,max}$ [m]	w [mm]	Posouzení
1	B5	-443,85	-5,18	-	-	0,000	Vyhovuje
2	B6	-397,97	11,62	-	-	0,000	Vyhovuje
3	B7	-206,54	-19,08	107.10 ⁻⁶	0,277	0,030	Vyhovuje
4	B8	-165,79	23,38	308.10 ⁻⁶	0,440	0,135	Vyhovuje
5	B9	-45,66	-23,92	623.10 ⁻⁶	0,440	0,274	Vyhovuje
6	B10	-28,49	26,23	739.10 ⁻⁶	0,440	0,326	Nevyhovuje
7	B11	-4,36	-24,67	754.10 ⁻⁶	0,440	0,332	Nevyhovuje
8	B12	16,16	25,68	840.10 ⁻⁶	0,440	0,370	Nevyhovuje
9	B13	-4,26	-24,73	756.10 ⁻⁶	0,440	0,333	Nevyhovuje
10	B14	16,26	25,65	839.10 ⁻⁶	0,440	0,370	Nevyhovuje
11	B15	-45,44	-24,05	628.10 ⁻⁶	0,440	0,276	Vyhovuje
12	B16	-28,31	26,18	738.10 ⁻⁶	0,440	0,325	Nevyhovuje
13	B17	-443,30	-5,20	-	-	0,000	Vyhovuje
14	B18	-397,43	11,69	-	-	0,000	Vyhovuje
15	B19	-206,97	-19,14	108.10 ⁻⁶	0,277	0,030	Vyhovuje
16	B20	-165,38	23,41	309.10 ⁻⁶	0,440	0,136	Vyhovuje
Maximální povolená šířka w_{max}						0,300	

Mezní stav použitelnosti NEVYHOVUJE

Vnitřní sloupy 8/110



Typ prvku: sloup
Prostředí: XC3

Beton: C 30/37

$f_{ck} = 30,0$ MPa; $f_{ctm} = 2,9$ MPa; $E_{cm} = 33000$ MPa

Ocel podélná: B500B ($f_{yk} = 500,0$ MPa; $E_s = 200000$ MPa)

Ocel příčná: B500B ($f_{yk} = 500,0$ MPa; $E_s = 200000$ MPa)

Vzpěr

Vzpěr není uvažován

S tlačanou výztuží je počítáno.

Obvodové těmínky

Profil: 8 mm; Vzdálenost: 120,0 mm

Posouzení mezního stavu únosnosti

č.	Název	N_{Ed} [kN]	N_{Rd} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	Posouzení
1	B5	-616,67	-6984,91	-8,23	-98,08	9,76	203,50	Vyhovuje
2	B6	-579,80	-6984,91	18,70	95,79	9,80	199,27	Vyhovuje
3	B7	-279,30	-6984,91	-29,10	-77,15	23,40	164,78	Vyhovuje
4	B8	-240,38	-6984,91	34,39	74,62	23,21	160,32	Vyhovuje
5	B9	-52,11	-6984,91	-36,83	-62,00	27,81	138,71	Vyhovuje
6	B10	-40,63	-6984,91	38,69	61,16	27,65	137,40	Vyhovuje
7	B11	8,13	681,31	-38,15	-57,53	28,05	131,80	Vyhovuje
8	B12	25,87	681,31	37,92	56,16	27,87	129,77	Vyhovuje
9	B13	8,18	681,31	-38,24	-57,53	28,06	131,80	Vyhovuje
10	B14	25,65	681,31	37,87	56,18	27,88	129,79	Vyhovuje
11	B15	-51,75	-6984,91	-36,99	-61,98	27,84	138,67	Vyhovuje
12	B16	-40,34	-6984,91	38,61	61,14	27,68	137,36	Vyhovuje
13	B17	-616,01	-6984,91	-8,25	-98,04	9,80	203,42	Vyhovuje
14	B18	-579,14	-6984,91	18,60	95,75	9,85	199,19	Vyhovuje
15	B19	-292,70	-6984,91	-29,16	-77,99	23,41	166,32	Vyhovuje
16	B20	-239,80	-6984,91	34,43	74,58	23,25	160,25	Vyhovuje

Mezní stav únosnosti VYHOVUJE

Posouzení mezního stavu použitelnosti

Mezní stav omezení napětí

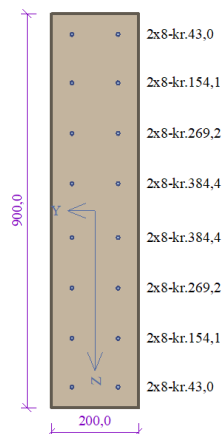
č.	Název	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	σ_c [MPa]	$\sigma_{s,max}$ [MPa]	$\sigma_{s,min}$ [MPa]	Posouzení
1	B5	-472,95	-6,52	2,04	-6,80	10,63	Vyhovuje
2	B6	-444,15	14,68	2,70	-3,87	12,51	Vyhovuje
3	B7	-226,05	-22,70	5,31	49,30	7,16	Vyhovuje
4	B8	-183,77	26,45	7,33	106,79	-2,04	Vyhovuje
5	B9	-47,50	-28,84	9,54	227,91	-29,97	Vyhovuje
6	B10	-30,84	29,79	9,98	249,31	-34,68	Vyhovuje
7	B11	-5,49	-29,88	10,18	269,57	-40,08	Vyhovuje
8	B12	20,56	29,21	10,10	283,53	-44,69	Vyhovuje
9	B13	-5,39	-30,00	10,22	270,75	-40,27	Vyhovuje
10	B14	20,66	29,17	10,09	283,24	-44,66	Vyhovuje
11	B15	-47,28	-28,96	9,58	229,17	-30,18	Vyhovuje
12	B16	-30,62	29,72	9,96	248,83	-34,63	Vyhovuje
13	B17	-492,46	-6,54	2,10	-7,15	11,00	Vyhovuje
14	B18	-443,67	14,75	2,70	-3,84	12,52	Vyhovuje
15	B19	-226,70	-22,75	5,32	49,33	7,19	Vyhovuje
16	B20	-183,33	26,48	7,34	107,35	-2,14	Vyhovuje
Limitní hodnoty $k_3 \times f_{yk}$					400,00		

Mezní stav omezení šířky trhlin

č.	Název	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	$\Delta\epsilon$ [-]	$s_{r,max}$ [m]	w [mm]	Posouzení
1	B5	-443,85	-5,18	-	-	0,000	Vyhovuje
2	B6	-397,97	11,62	-	-	0,000	Vyhovuje
3	B7	-206,54	-19,08	$99,1 \cdot 10^{-6}$	0,257	0,025	Vyhovuje
4	B8	-165,79	23,38	$276 \cdot 10^{-6}$	0,400	0,111	Vyhovuje
5	B9	-45,66	-23,92	$553 \cdot 10^{-6}$	0,400	0,221	Vyhovuje
6	B10	-28,49	26,23	$655 \cdot 10^{-6}$	0,400	0,262	Vyhovuje
7	B11	-4,36	-24,67	$668 \cdot 10^{-6}$	0,400	0,267	Vyhovuje
8	B12	16,16	25,68	$743 \cdot 10^{-6}$	0,400	0,298	Vyhovuje
9	B13	-4,26	-24,73	$670 \cdot 10^{-6}$	0,400	0,268	Vyhovuje
10	B14	16,26	25,65	$743 \cdot 10^{-6}$	0,400	0,297	Vyhovuje
11	B15	-45,44	-24,05	$557 \cdot 10^{-6}$	0,400	0,223	Vyhovuje
12	B16	-28,31	26,18	$655 \cdot 10^{-6}$	0,400	0,262	Vyhovuje
13	B17	-443,30	-5,20	-	-	0,000	Vyhovuje
14	B18	-397,43	11,69	-	-	0,000	Vyhovuje
15	B19	-206,97	-19,14	$99,7 \cdot 10^{-6}$	0,257	0,026	Vyhovuje
16	B20	-165,38	23,41	$278 \cdot 10^{-6}$	0,400	0,111	Vyhovuje
Maximální povolená šířka w_{max}						0,300	

Mezní stav použitelnosti **VYHOVUJE**

Spodní trám



Typ prvku: nosník
Prostředí: XC3

Beton: C 30/37

$f_{ck} = 30,0$ MPa; $f_{ctm} = 2,9$ MPa; $E_{cm} = 33000$ MPa

Ocel podélná: B500B ($f_{yk} = 500,0$ MPa; $E_s = 200000$ MPa)

Ocel příčná: B500B ($f_{yk} = 500,0$ MPa; $E_s = 200000$ MPa)

Vzpěr

Vzpěr není uvažován

S tlačnou výztuží je počítáno.

Obvodové těminky

Profil: 8 mm; Vzdálenost: 125,0 mm

Posouzení min. a max. stupně vyztužení

Nosník (tažená výztuž - minimum, celková výztuž - maximum):

$\rho_{s,t} = 0,00294 \geq \rho_{s,min} = 0,00151 \Rightarrow$ **Vyhovuje**

$\rho_s = 0,00447 \leq \rho_{s,max} = 0,04 \Rightarrow$ **Vyhovuje**

Stupeň vyztužení smykovou výztuží

$\rho_{w,min} = 0,000876 \leq \rho_w = 0,00402 \Rightarrow$ **Vyhovuje**

Maximální vzdálenost třmíneků $s_{l,max} = 400,0 \text{ mm} \geq 125,0 \text{ mm} \Rightarrow$ **Vyhovuje**

Maximální vzdálenost větví třmíneků $s_{t,max} = 512,5 \text{ mm} \geq 122,0 \text{ mm} \Rightarrow$ **Vyhovuje**

Posouzení mezního stavu únosnosti

č.	Název	N_{Ed} [kN]	N_{Rd} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	Posouzení
1	B1	-52,62	-3921,70	-22,33	-166,91	-27,67	-392,11	Vyhovuje
2	B2	-47,43	-3921,70	0,00	165,13	-28,70	-392,40	Vyhovuje
3	B3	-40,50	-3921,70	-35,00	-162,75	80,99	392,79	Vyhovuje
4	B4	-51,21	-3921,70	-98,83	-166,43	-102,87	-392,19	Vyhovuje
5	B5	-70,91	-3921,70	59,89	173,19	-120,00	-391,09	Vyhovuje
6	B6	58,07	374,72	-18,94	-127,30	-33,42	-227,82	Vyhovuje
7	B7	61,59	374,72	45,69	126,00	-40,00	-227,93	Vyhovuje
8	B8	102,73	374,72	14,43	110,68	0,00	0,00	Vyhovuje
9	B9	102,74	374,72	14,43	110,67	0,00	0,00	Vyhovuje
10	B10	62,47	374,72	46,60	125,68	40,00	227,96	Vyhovuje
11	B11	59,66	374,72	-19,81	-126,71	50,00	227,87	Vyhovuje
12	B12	10,00	374,72	60,84	144,89	120,00	395,81	Vyhovuje
13	B13	-69,37	-3921,70	-99,62	-172,66	103,00	391,18	Vyhovuje
14	B14	-38,40	-3921,70	-30,00	-162,02	-81,00	-392,91	Vyhovuje
15	B15	-64,76	-3921,70	0,00	171,08	31,00	391,43	Vyhovuje
16	B16	-51,17	-3921,70	-23,40	-166,41	29,37	392,19	Vyhovuje
17	Největší smyk	-65,90	-3921,70	-65,90	-171,47	-254,35	-391,37	Vyhovuje

Mezní stav únosnosti **VYHOVUJE**

Posouzení mezního stavu použitelnosti

Mezní stav omezení napětí

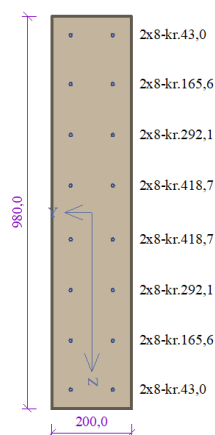
č.	Název	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	σ_c [MPa]	$\sigma_{s,max}$ [MPa]	$\sigma_{s,min}$ [MPa]	Posouzení
1	Největší ohyb	-35,00	-75,75	9,29	280,24	37,75	Vyhovuje
2	Největší tah	85,15	17,00	1,38	218,33	-4,15	Vyhovuje
3	Největší tlak	-54,29	25,00	2,27	29,41	11,36	Vyhovuje
Limitní hodnoty $k_3 \times f_{yk}$					400,00		

Mezní stav omezení šířky trhlin

č.	Název	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	$\Delta\epsilon$ [-]	$s_{r,max}$ [m]	w [mm]	Posouzení
1	Největší tah	75,97	12,00	$431 \cdot 10^{-6}$	0,406	0,175	Vyhovuje
2	Největší tlak	-48,73	20,00	$47,8 \cdot 10^{-6}$	0,367	0,018	Vyhovuje
3	Největší ohyb	-30,00	-67,74	$577 \cdot 10^{-6}$	0,406	0,234	Vyhovuje
Maximální povolená šířka w_{max}						0,300	

Mezní stav použitelnosti **VYHOVUJE**

Horní trám



Typ prvku: nosník
Prostředí: XC3

Beton: C 30/37

$f_{ck} = 30,0 \text{ MPa}$; $f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$; $E_{cm} = 33000 \text{ MPa}$

Ocel podélná: B500B ($f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}$; $E_s = 200000 \text{ MPa}$)

Ocel příčná: B500B ($f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}$; $E_s = 200000 \text{ MPa}$)

Vzpěr

Vzpěr není uvažován

S tlačnou výztuží je počítáno.

Obvodové třmínky

Profil: 8 mm; Vzdálenost: 110,0 mm

Posouzení mezního stavu únosnosti

č.	Název	N_{Ed} [kN]	N_{Rd} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	Posouzení
1	B17	22,68	374,72	-16,60	-154,47	-15,11	-494,34	Vyhovuje
2	B18	15,00	374,72	-8,00	-157,55	0,00	0,00	Vyhovuje
3	B19	44,95	374,72	-35,00	-145,50	52,70	283,26	Vyhovuje
4	B20	-3,26	-4241,70	-68,66	-164,83	-101,97	-492,51	Vyhovuje
5	B21	-15,20	-4241,70	55,10	169,59	-75,00	-491,72	Vyhovuje
6	B22	-108,79	-4241,70	-29,58	-205,29	-75,00	-485,34	Vyhovuje
7	B23	-151,28	-4241,70	51,02	221,18	-50,00	-482,93	Vyhovuje
8	B24	-169,54	-4241,70	25,00	228,01	0,00	0,00	Vyhovuje
9	B25	-170,00	-4241,70	25,00	228,18	0,00	0,00	Vyhovuje
10	B26	-153,33	-4241,70	51,98	221,95	75,00	482,83	Vyhovuje
11	B27	-112,05	-4241,70	-30,42	-206,51	75,00	485,14	Vyhovuje
12	B28	-62,29	-4241,70	56,18	187,88	80,00	488,46	Vyhovuje
13	B29	-8,22	-4241,70	-69,57	-166,81	103,16	492,18	Vyhovuje
14	B30	-33,59	-4241,70	-35,00	-176,91	-54,21	-490,50	Vyhovuje
15	B31	38,16	374,72	-9,00	-148,23	0,00	0,00	Vyhovuje
16	B32	15,68	374,72	-18,10	-157,28	17,33	493,89	Vyhovuje

Mezní stav únosnosti VYHOVUJE

Posouzení mezního stavu použitelnosti

Mezní stav omezení napětí

č.	Název	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	σ_c [MPa]	$\sigma_{s,max}$ [MPa]	$\sigma_{s,min}$ [MPa]	Posouzení
1	B17	17,34	-12,77	1,46	80,88	4,33	Vyhovuje
2	B18	12,00	-6,59	0,74	46,88	1,92	Vyhovuje
3	B19	34,35	-30,00	3,44	179,28	10,76	Vyhovuje
4	B20	-2,57	-52,60	5,80	209,67	22,82	Vyhovuje
5	B21	-11,68	42,23	4,57	152,56	18,62	Vyhovuje
6	B22	-83,30	-22,67	1,23	2,98	6,91	Vyhovuje
7	B23	-115,74	39,10	2,29	11,88	12,61	Vyhovuje
8	B24	-129,62	15,95	1,13	-1,25	6,57	Vyhovuje
9	B25	-130,08	15,28	1,11	-1,38	6,47	Vyhovuje
10	B26	-117,31	39,83	2,34	12,33	12,87	Vyhovuje
11	B27	-85,80	-23,31	1,26	3,05	7,11	Vyhovuje
12	B28	-47,76	43,06	4,17	98,41	19,07	Vyhovuje
13	B29	-25,79	-53,29	5,65	174,54	23,72	Vyhovuje
14	B30	-6,37	-30,00	3,27	111,53	13,18	Vyhovuje
15	B31	30,97	-6,04	0,29	76,38	-2,17	Vyhovuje
16	B32	9,08	-13,92	1,59	71,70	5,53	Vyhovuje
Limitní hodnoty $k_3 \times f_{yk}$					400,00		

Mezní stav omezení šířky trhlin

č.	Název	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	$\Delta\epsilon$ [-]	$s_{r,max}$ [m]	w [mm]	Posouzení
1	B17	15,57	-11,26	168.10 ⁻⁶	0,433	0,073	Vyhovuje
2	B18	10,31	-5,90	96,5.10 ⁻⁶	0,433	0,042	Vyhovuje
3	B19	31,04	-25,00	358.10 ⁻⁶	0,433	0,155	Vyhovuje
4	B20	-2,09	-47,12	433.10 ⁻⁶	0,433	0,187	Vyhovuje
5	B21	-10,35	37,77	313.10 ⁻⁶	0,433	0,136	Vyhovuje
6	B22	-74,75	-20,29	7,93.10 ⁻⁶	0,383	0,003	Vyhovuje
7	B23	-104,15	34,98	31,2.10 ⁻⁶	0,528	0,016	Vyhovuje
8	B24	-116,90	14,27	-	-	0,000	Vyhovuje
9	B25	-117,50	35,64	21,5.10 ⁻⁶	0,459	0,010	Vyhovuje
10	B26	-105,56	35,66	32,5.10 ⁻⁶	0,532	0,017	Vyhovuje
11	B27	-76,98	-20,86	8,09.10 ⁻⁶	0,382	0,003	Vyhovuje
12	B28	-42,65	38,50	198.10 ⁻⁶	0,391	0,077	Vyhovuje
13	B29	-22,93	-47,74	357.10 ⁻⁶	0,433	0,155	Vyhovuje
14	B30	-5,49	-25,00	212.10 ⁻⁶	0,433	0,092	Vyhovuje
15	B31	28,00	-5,41	164.10 ⁻⁶	0,433	0,071	Vyhovuje
16	B32	8,20	-12,29	147.10 ⁻⁶	0,433	0,064	Vyhovuje
Maximální povolená šířka w_{max}						0,300	

Mezní stav použitelnosti VYHOVUJE

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta Stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



**POROVNÁNÍ PŘÍSTUPŮ K NÁVRHU VÝZTUŽE
ŽELEZOBETONOVÉ STĚNY**

COMPARISON OF APPROACHES TO THE
REINFORCEMENT DESIGN FOR REINFORCED
CONCRETE WALL

Výpočetní přílohy

Autor práce: Radim Čermák

Vedoucí práce: Ing. Josef Novák, Ph.D

Praha 2023

Seznam výpočetních příloh

C Předběžný statický výpočet

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta Stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



**POROVNÁNÍ PŘÍSTUPŮ K NÁVRHU VÝZTUŽE
ŽELEZOBETONOVÉ STĚNY**

COMPARISON OF APPROACHES TO THE
REINFORCEMENT DESIGN FOR REINFORCED
CONCRETE WALL

Výkresové přílohy

Autor práce: Radim Čermák

Vedoucí práce: Ing. Josef Novák, Ph.D

Praha 2023

Seznam výkresových příloh

- D.1 Konstrukční schéma 1. NP
- D.2 Konstrukční schéma 2. NP
- E.1 Výkres tvaru 1. NP
- E.2 Výkres tvaru 2. NP
- F.1 Výkres výztuže stěny 1.NP
- F.2 Výkres výztuže stěny 2.NP