

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

NÁVRH ŽELEZOBETONOVÉ STROPNÍ KONSTRUKCE TANEČNÍHO SÁLU

VYPRACOVAL: JAN KONEČNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE: ING. MICHAELA FRANTOVÁ, PH. D.

PRAHA 2024

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Konečný** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **502286**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra betonových a zděných konstrukcí**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Specializace: **Pozemní stavby**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh železobetonové stropní konstrukce tanečního sálu

Název bakalářské práce anglicky:

Design of RC ceiling slab of dancing hall

Pokyny pro vypracování:

- rozbor vlivu umístění tanečního sálu v rámci budovy na nosnou konstrukci
- výběr referenční stavby a porovnání různých variant konstrukčního řešení (prefa x monolit)
- návrh a posouzení tvaru, případně skladby stropu nad tanečním sálem pro vybrané řešení (MSÚ, MSP)
- zhodnocení efektivity návrhu

Seznam doporučené literatury:

- [1] ČSN EN 1992 - Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí
- [2] PROCHÁZKA, J., ŠMEJKAL, J. 2021. Betonové stropní a schodištvé konstrukce. ČVUT v Praze.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Michaela Frantová, Ph.D. katedra betonových a zděných konstrukcí FSv

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **21.02.2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20.05.2024**

Platnost zadání bakalářské práce:

Ing. Michaela Frantová, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Lukáš Vráblík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

7.3.-02-2024
Datum převzetí zadání

[Podpis]
Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Návrh železobetonové stropní konstrukce tanečního sálu zpracoval sám. Veškeré parametry a zdroje informací, které jsem použil k sepsání této práce, byly citovány a jsou uvedeny v seznamu použitých pramenů literatury.

V Praze dne 17.5.2024

Jan Konečný

Poděkování

Rád bych poděkoval paní Ing. Michaele Frantové, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce, za užitečné rady a připomínky, za čas strávený konzultací a navedení správným směrem. Dále bych rád poděkoval za ukázání nového pohledu na problematiku železobetonových konstrukcí.

Také bych rád poděkoval své rodině, která mě podporuje jak ve studiu, tak ve sportu. Díky jejich podpoře vše zvládám bez větších problémů.

NÁVRH ŽELEZOBETONOVÉ STROPNÍ KONSTRUKCE TANEČNÍHO SÁLU

DESIGN OF REINFORCED CONCRETE CEILING OF A DANCE HALL

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem železobetonové stropní konstrukce většího rozponu nad tanečními sály tanečního studia Místa tance. Byly zvoleny dvě staticky odlišné varianty. Pro porovnání obou variant byl vypracován předběžný návrh a posouzení z hlediska mezních stavů. Také byla provedena optimalizace rozměrů sloupu v případě návrhu rámové konstrukce a optimalizace polohy podpůrných ráků v rámci kazetové desky.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Rámová konstrukce, kazetová deska, železobeton, rámový roh, vyztužení

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the design of reinforced concrete ceiling structure with a larger span above the dance halls of the dance studio Místo tance. Two structurally different variants were chosen. For comparison of both types, a preliminary design and assessment in terms of limit states were elaborated. Optimization of column dimensions in the case of frame structure and optimization of supporting frames within the cassette slab were also carried out.

KEYWORDS:

Frame structure, cassette slab, reinforced concrete, frame corner, reinforcement

Obsah

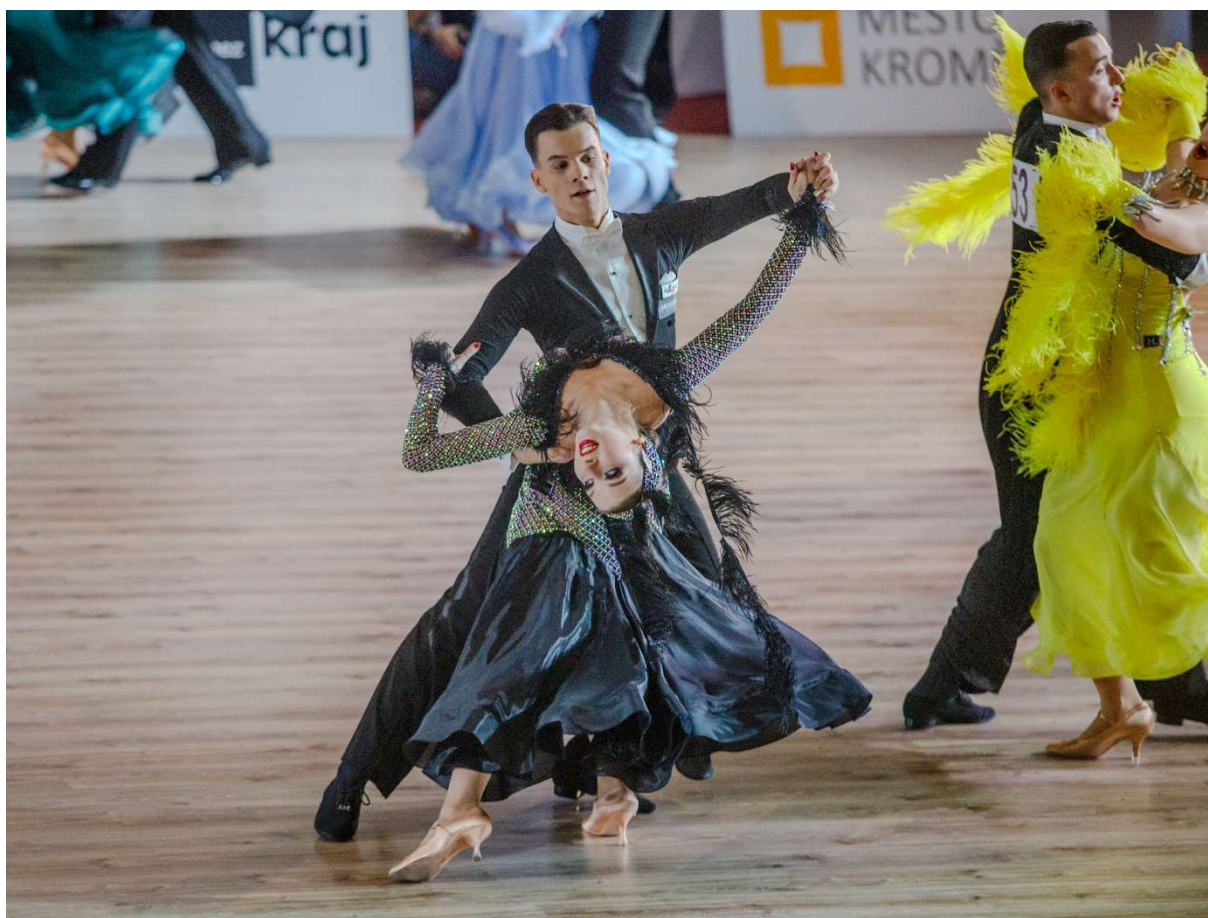
1. Úvod	8
2. Požadavky na sály	9
2.1. Obecné	9
2.2. Požadavky na větrání	10
2.3. Požadavky na akustiku	10
2.4. Požadavky, které vnímám já jako tanečník	11
3. Referenční stavba	12
3.1. Popis	12
3.2. Umístění sálů v budově z pohledu statiky	13
4. Návrh rámové stropní konstrukce	14
4.1. Optimalizace rozměrů sloupu	14
4.2. Stanovení vnitřních sil	19
4.2.1. Průvlak	19
4.2.2. Deska	20
4.3. Mezní stav únosnosti	21
4.4. Mezní stav použitelnosti	21
5. Kazetový strop	23
5.1. Optimalizace polohy rámu	23
5.2. Mezní stav únosnosti	26
5.3. Mezní stav použitelnosti	26
6. Porovnání rámové konstrukce a kazetové desky	28
7. Závěr	29
8. Citovaná literatura	30
9. Seznam příloh	31

1. Úvod

Jako téma bakalářské práce jsem si vybral návrh stropní konstrukci nad tanečním sálem. K tomuto tématu mě vedl fakt, že jsem profesionální tanečník standardních a latinskoamerických tanců a na tanečních sálech trávím značnou část svého volného času. Také jsem se chtěl seznámit s problémy, které je potřeba během takového návrhu řešit a s čím je třeba počítat při návrhu tanečních studií.

Stropní konstrukce pro taneční sály mají obecně velký rozpon, a to z jednoduchého důvodu. Je potřeba zajistit dostatečnou parketovou plochu, na které je možné se volně pohybovat i v případě, že se na sále nachází více osob. Konstrukce s velkými rozpony jsou náchylnější na průhyb, se kterým je potřeba počítat při navrhování přílehlých konstrukcí a skladeb v kontaktu se stropní konstrukcí.

Bakalářská práce je rozdělena tematicky do dvou částí. V první teoretické části se věnuji požadavkům na taneční sály a jakou mají důležitost pro sportovní výkon. Ve druhé části se věnuji návrhu konkrétní stropní konstrukci ve dvou variantách.



2. Požadavky na sály

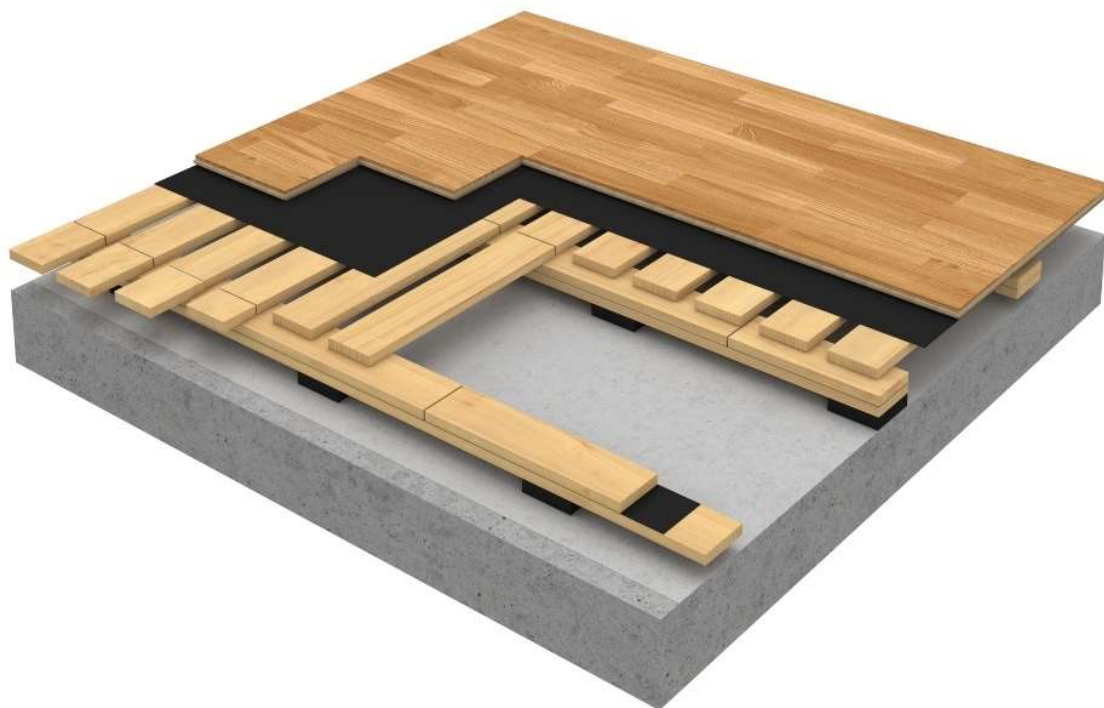
2.1. Obecné

Jedná se primárně o taneční sál, z čehož plyne doporučená světlá výška místnosti 3 metry [1]. Z vlastní zkušenosti pohybu na sálech jsou 3 metry málo, jelikož je malý objem vzduchu v místnosti. Navrhl jsem světlou výšku 3,5 metru, abych tento problém částečně eliminoval.

Pro případ pořádání taneční soutěže na tomto sále je potřeba dodržet určité požadavky týkající se parketové plochy. Konkrétně je požadováno minimálně 15 m² na jeden taneční pár pro konání postupových soutěží, nebo 18 m² na jeden taneční pár pro konání mistrovství ČR a tanečních lig [2].

Skladba podlahy pro sportovní účely by měla být pružná pro zjemnění a tlumení nárazu od výskoků. Využívají se systémy pružné v ploše, které jsou vhodné právě pro balet a společenský tanec. Tyto podlahy využívají systémy dřevěných roštů, mezi které se aplikuje sypaný polystyren jako zvuková izolace. Rošty jsou uloženy na hrubou podlahu na pružné destičky [3].

Nášlapná vrstva podlahy sálů určených pro společenský tanec by měla být z tradičních materiálů a zároveň materiálů odolných proti otěru. Jako tradiční nášlapná vrstva se používají dubové vlysy s požadovanou povrchovou úpravou kvalitními vosky v několika vrstvách. Pro nově vznikající studia se používá nášlapná vrstva z dřevěných lamel s velkou odolností proti otěru.



Obrázek 2.1_ Ilustrační obrázek skladby podlahy tanečního sálu [11]

2.2. Požadavky na větrání

Pro sportovní zařízení je potřeba splnit požadavky na větrání $60 \text{ m}^3/\text{hodina}/\text{sportovec}$ [4]. Jako ukazatel kvality vnitřního vzduchu slouží koncentrace oxidu uhličitého, která nesmí překročit hodnotu 1500 ppm a doporučená úroveň je 1000 ppm [5]. Optimální teplota na sálech by se měla pohybovat okolo $20 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ [5], relativní vlhkost 30 – 65 % [5] a rychlost proudění vzduchu $0,13 - 0,25 \text{ m/s}$ [5]. Na základě těchto údajů je potřeba navrhnout vzduchotechnickou jednotku a rozvody vzduchu.

2.3. Požadavky na akustiku

Akustika je jedním z hlavních kritérií pro pohodlné užívání tanečního sálu. Řeší se doba dozvuku, difúze, absorpce, izolace a rovnoměrné rozložení zvuku.

Pro zlepšení absorpce se pro taneční sály navrhuje akustický podhled, který zároveň zakryje vzduchotechniku pod stropní konstrukcí a rozvody elektroinstalací. Jelikož tento podhled není protipožární, nebude jeho kvalita ovlivněna průhybem navrhované stropní konstrukce [6].



Obrázek 2.2_Ilustrační obrázek podhledu [12]

Při návrhu aparatury do tanečních sálů je potřeba zohlednit veškeré výše uvedené vlastnosti a dále nepřekročit hladinu akustického tlaku 100 dB [7].

Obvodové konstrukce sálu je potřeba navrhnout tak, aby nebyla překročena hodnota vážené stavební neprůzvučnosti R_w , která činí 60 dB pro stropy a 57 dB pro stěny [8]. Vzhledem k tomu, že šíření zvuku konstrukcí je velmi ovlivněno kmitočtem zvuku a materiálem, kterým se zvuk šíří, je potřeba podrobné posouzení obvodových konstrukcí [7].

2.4. Požadavky, které vnímám já jako tanečník

Jakožto profesionální tanečník, který na tanečních sálech tráví i 6 hodin denně, jsem si všiml některých nedostatků současných tanečních sálů, které značně omezují moji výkonnost jako sportovce, tak i příjemný pobyt na sále v momentech, kdy nepodávám sportovní výkon. Jde o několik vlastností, které však nemají stejnou váhu a je potřeba najít správný balanc.

Nejdůležitější vlastností, kterou by měl sál splňovat, je adekvátní kvalita vzduchu na sále. Toto je aspekt, který nejvíce ovlivní výkon sportovce. Je potřeba navrhnout vzduchotechnickou jednotku a rozvody vzduchotechniky s dostatečnou kapacitou a s možností úpravy teploty a relativní vlhkosti. Dostatečné větrání sníží koncentraci oxidu uhličitého na sále a díky tomu se bude moci mozek soustředit na příjem a zpracování nových informací. Pokud se koncentrace oxidu uhličitého dostane na hodnotu 1500 ppm, využití získaných informací se u člověka klesne až na polovinu, než je tomu při koncentraci 600 ppm [9]. Větrací systém také napomůže menšímu kolísání teploty vzduchu v letních a zimních dnech, nebo v případech větší či menší obsazenosti sálu. Trénoval jsem v letních dnech ve špatně větraném a tepelně-izolovaném sále a nebyl jsem schopen se koncentrovat na dané věci tak dobře, jako když jsem trénoval v jarních dnech na stejném sále či na sále, který byl vybaven vzduchotechnikou.

Pro kvalitní trénink a výkon je potřeba i dostatečná podlahová plocha se skladbou podlahy ideálně určenou pro sportovní aktivity. Mám srovnání pružné dřevěné podlahy s dřevěnými vlasy a betonové podlahy s nášlapnou vrstvou z PVC. Rozdíl mezi těmito podlahami byl velmi znatelný, kdy pružná podlaha tlumila mé dopady a veškeré nášlapy byly jemnější než u podlahy betonové.

K tanci je potřeba hudba, bez ní by tanečník vytvářel jen nějaké pohyby, které by bez sluchového vjemu nedávaly velký smysl a tanečník by měl problém s udržení stejného rytmu po celou dobu trvání tance. Absorpční vlastnosti materiálů okolních konstrukcí sálu je potřeba navrhnout tak, aby nevznikla ozvěna a aby hudba byla čitelná.

Výše zmíněné vlastnosti jsem seřadil dle svého vnímání od nejdůležitějšího a podle toho bych i navrhoval taneční sál či taneční studio.

3. Referenční stavba

3.1. Popis

V rámci bakalářské práce se zabývám návrhem stropní konstrukce nad sály polyfunkčního objektu, který se nachází v ulici Na Petřinách 82 v Praze. Konstrukční návrh celé budovy jsem řešil během předmětu Projekt 2.



Obrázek 3.1_Pohled na průčelí s hlavním vchodem [12]

Jedná se o objekt se třemi nadzemními podlažími, který je částečně podsklepený. Půdorys 1.PP a 1.NP má tvar písmene L a vyšší podlaží pak mají půdorys tvaru obdélníku. Konstrukčním systémem budovy je skeletový systém se ztužujícím jádrem. Objekt má plochou nepochozí střechu, na které se nachází vzduchotechnická jednotka. Přes celou délku jižního průčelí je v 2.NP a 3.NP umístěn balkón se stínícími prvky.



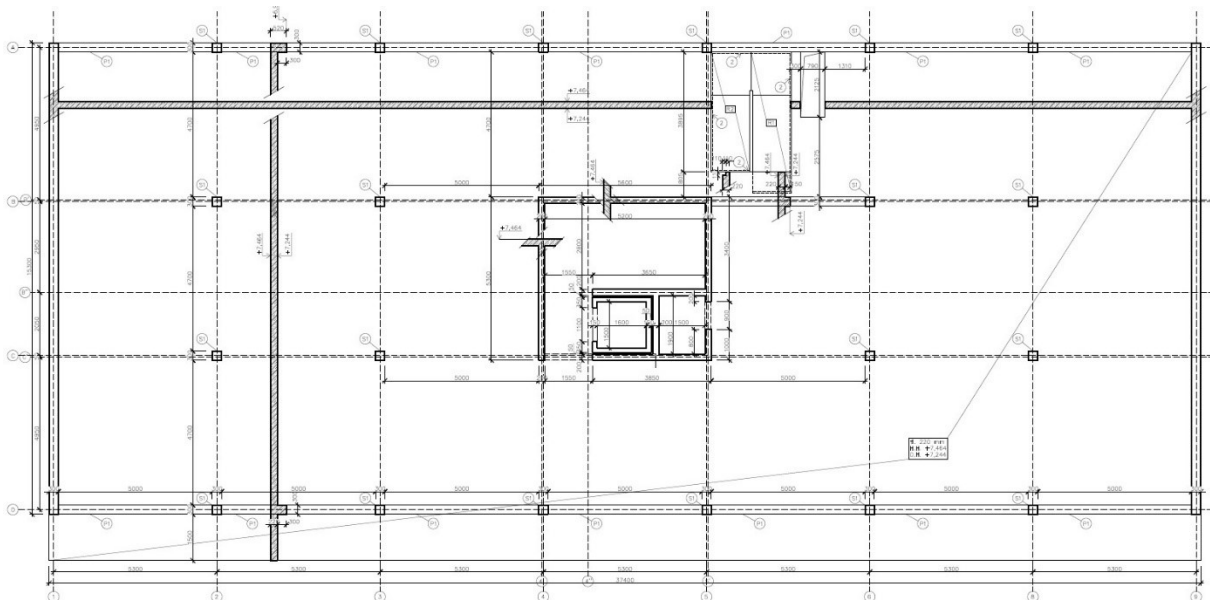
V 1.NP se nachází čtyři obchody a hlavní vstup do objektu. Vstupy do obchodů a hlavní vstup do objektu nejsou jednotné a jsou součástí jižní fasády. Kanceláře a zázemí tanečního studia jsou umístěny v 2.NP společně s jedním ze čtyř sálů. Zbývající tři sály nalezneme ve 3.NP, kde zaujímají celou půdorysnou plochu. V 1.PP je pak situován sklad jednoho z obchodů a technické zázemí objektu včetně kotelny.

3.2. Umístění sálů v budově z pohledu statiky

Umístění sálů v posledním nadzemním podlaží sebou nese několik výhod.

Ta nejpodstatnější výhoda je, že stropní konstrukce nad sály nemusí vynášet nosný systém vyšších podlaží. Kdyby tomu tak nebylo, znamenalo by to pro stropní konstrukci velká lokální zatížení v místě pat sloupů. Tento problém by bylo možné odstranit upravením konstrukčního systému po vzoru konstrukčního systému tanečního sálu. Toto řešení by ale zdatelně zvětšilo rozpon stropních konstrukcí ve vyšších podlažích a zároveň by stropní konstrukce ve všech podlažích měly větší tloušťku, tedy by se zvětšila konstrukční výška všech podlaží a tím i celková výška objektu. Také by se zvětšila vlastní tíha celého nosného systému, což by bylo neekonomické. Větší momentové namáhání by mělo také negativní vliv na sloupce, které by byly náchylnější na vybičení.

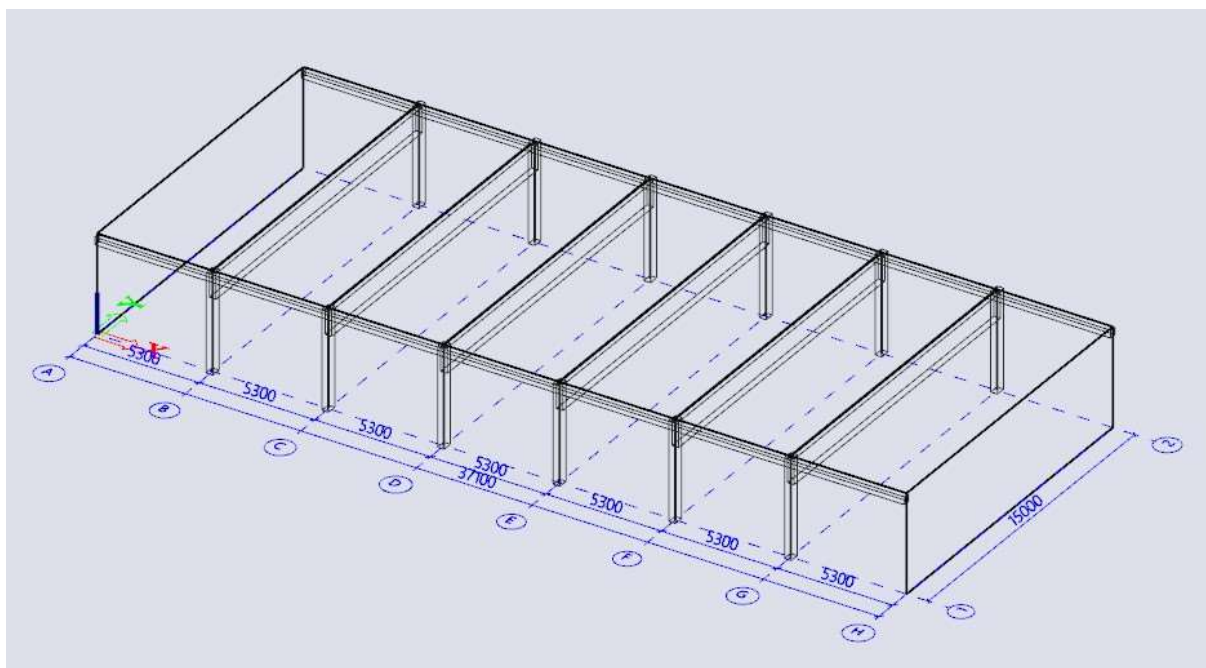
Pro variantu sálů ve 3.NP jsem dále navrhl dva typy stropní konstrukce. Jako první jsem se věnoval návrhu monolitického rámu, který podporuje železobetonovou desku. Druhá varianta návrhu je kazetová deska pnutá ve dvou směrech.



Obrázek 3.3_Výkres tvaru 2.NP

4. Návrh rámové stropní konstrukce

Jako první navrhuji nosnou konstrukci tvořenou železobetonovými rámy a stropní deskou. Rozpon rámu je požadován 15 metrů se snahou zajistit co největší světlé rozpětí rámu. Světlá výška rámu je 3,5 metru. Rámy jsou rozmístěny po vzdálenosti 5,3 metru v podélném směru. Dále je navržena stropní deska uložena na železobetonové rámy a vetknutá do okrajových železobetonových stěn.

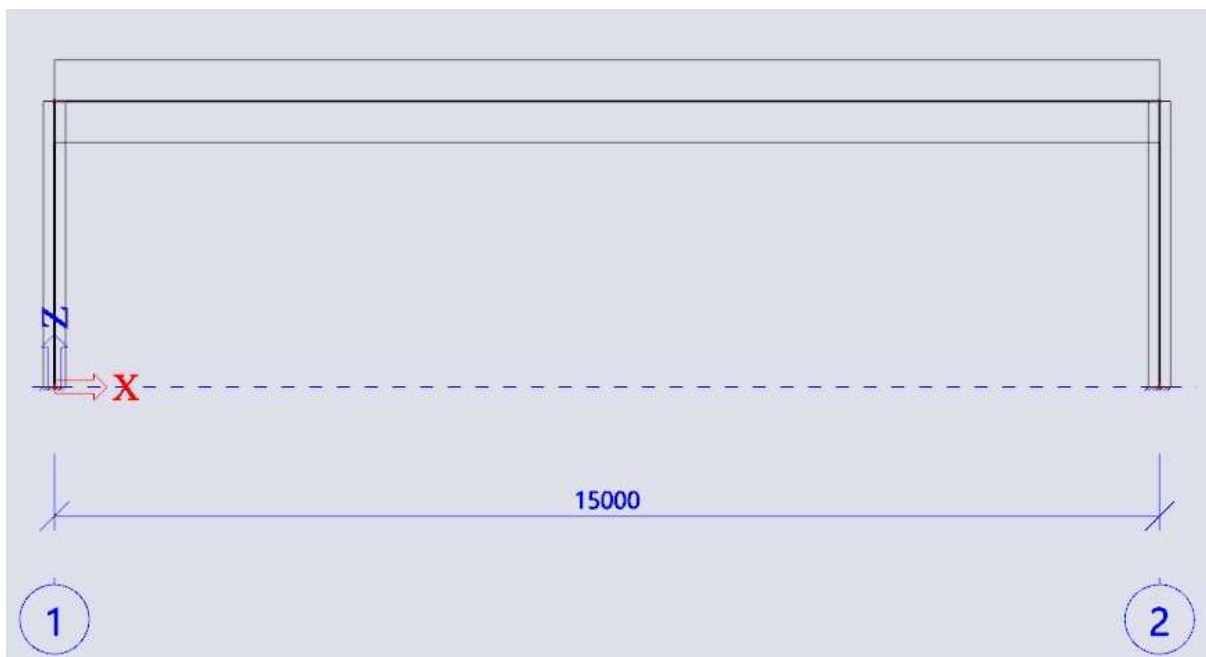


Obrázek 4.1_Axonometrie rámového stropu

Rozměry desky a průvlaku jsou navrženy s ohledem na ohybovou štíhlost a nevycházejí z empirických vzorců. Tloušťku desky jsem stanovil z těchto výpočtů na 180 mm. Rozměr průvlaku navrhuji výšky 1130 mm a šířky 300 mm. Šířku průvlaku jsem navrhl totožnou, jako je šířka sloupu. Stanovení rozměrů viz příloha 1.1.

4.1. Optimalizace rozměrů sloupu

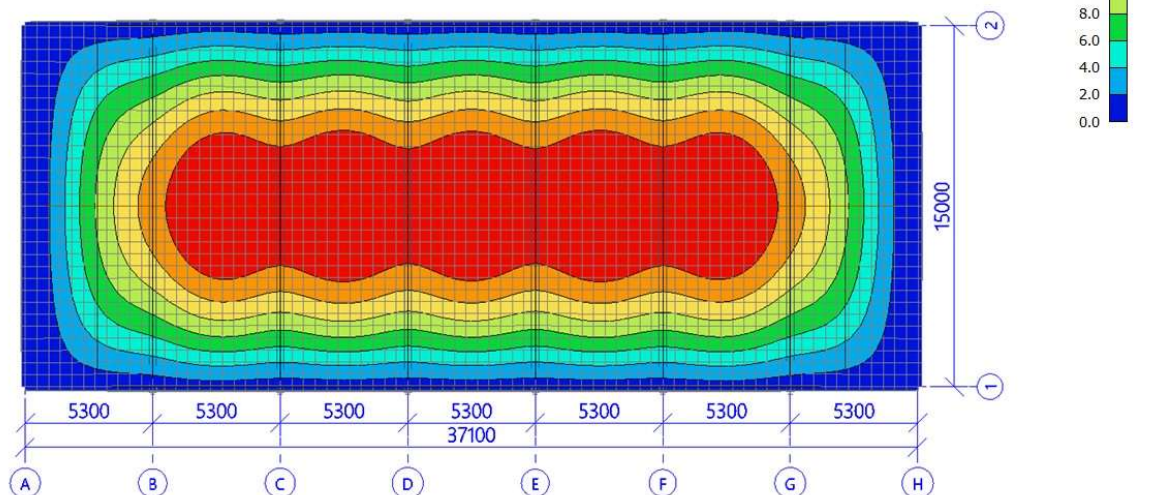
Jelikož jsem nosný systém budovy řešil během předmětu P02C, kde jsem navrhl sloupy o průřezu 300x300 mm, tak jsem musel zvážit, jaký bude mít takový sloup vliv na vytvoření rámového rohu společně s průvlakem, který má průřez 1130x300 mm. Vlivem velkého rozdílu rozměrů jednotlivých prvků v rovině rámu by mi průvlak staticky působil spíše jako prostě podepřený nosník a výhoda rámového rohu by se vytratila. Z toho důvodu jsem se rozhodl rozměr sloupu v rovině rámu zvětšit. Jako měřítko toho, jak moc mi zvětšení rozměru sloupu v rovině rámu pomůže, jsem použil hodnoty okamžitých průhybů, které jsem získal ze softwaru SCIA Engineer, na celé konstrukci.



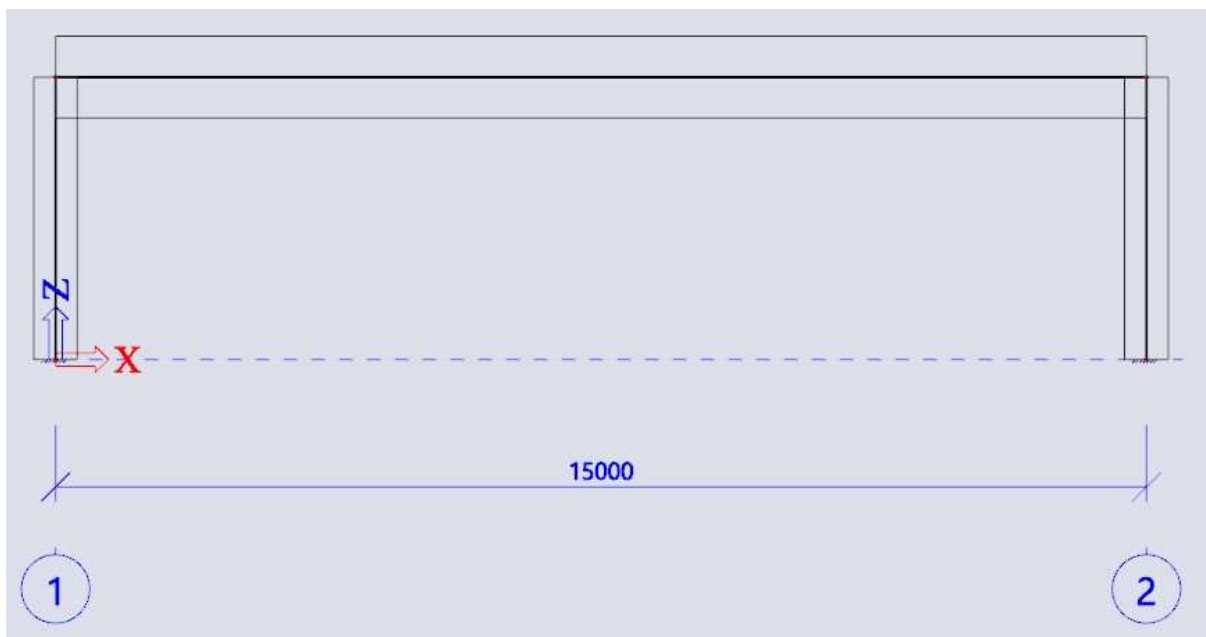
Obrázek 4.2_ Rám se sloupy 300x300 mm

Jako první jsem si vymodeloval konstrukci se sloupy 300x300 mm, abych měl výchozí hodnoty okamžitých průhybů, se kterými pak mohu porovnávat další varianty návrhu. Při rozměru sloupu 300x300 mm jsem získal okamžitý průhyb 17,2 mm. Vykreslení okamžitých průhybů mi dávalo smysl vzhledem k ohybovým tuhostem desky a průvlaku.

Hodnoty: U_{total}
 Lineární výpočet
 Kombinace: MSÚ-obálka
 Výběr: Vše
 Poloha: V uzlech s průměrováním na makro. Systém: LSS prvku síť



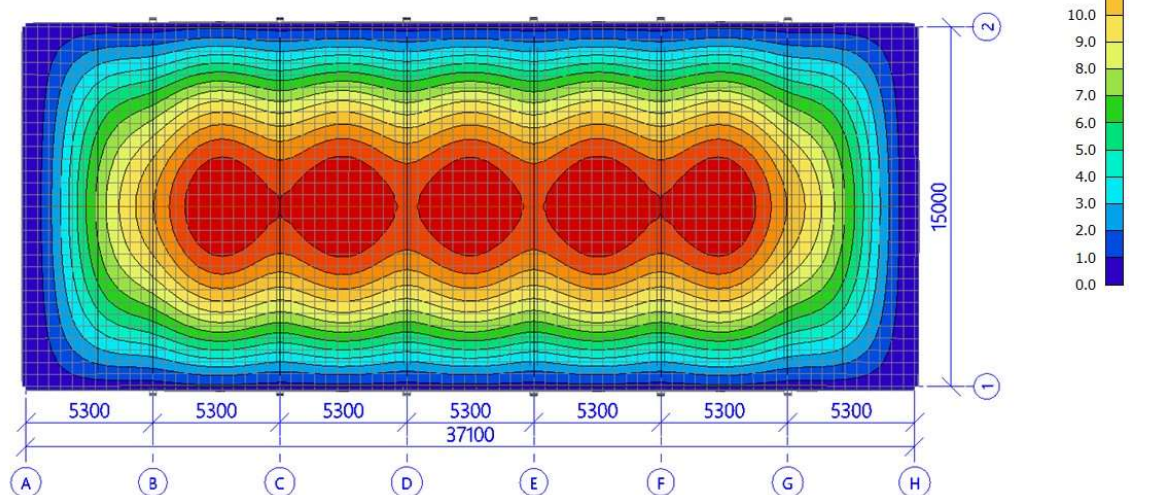
Obrázek 4.3_ Okamžité deformace stropní konstrukce se sloupy 300x300 mm



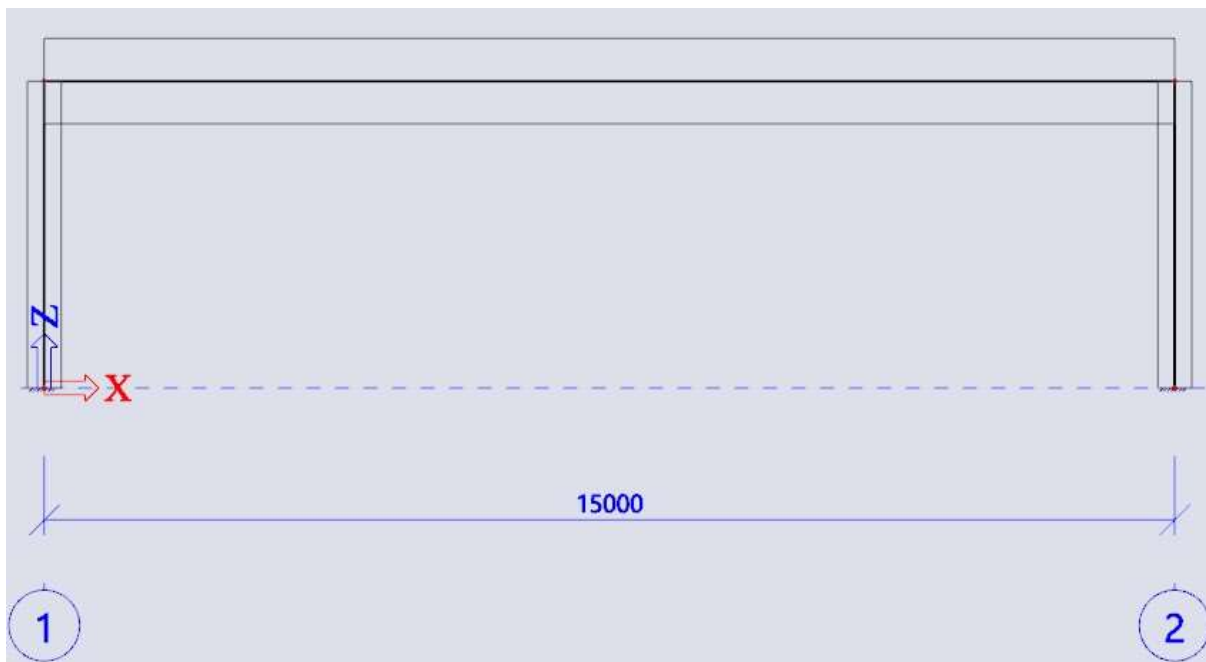
Obrázek 4.4_Rám se sloupy 300x600 mm

Následně jsem se rozhodl zkusit variantu rámu se sloupy 300x600 mm, kdy se ohybová tuhost sloupu dostala na 8násobek ohybové tuhosti sloupu o průřezu 300x300 mm. Díky tomu se také zmenšil okamžitý průhyb stropní konstrukce a jeho hodnota činila 14,2 mm. Okamžitý průhyb se zmenšil o necelých 20 %.

Hodnoty: U_{total}
 Lineární výpočet
 Kombinace: MSÚ-obálka
 Výběr: Vše
 Poloha: V uzlech s průměrováním na makro. Systém: LSS prvku síť



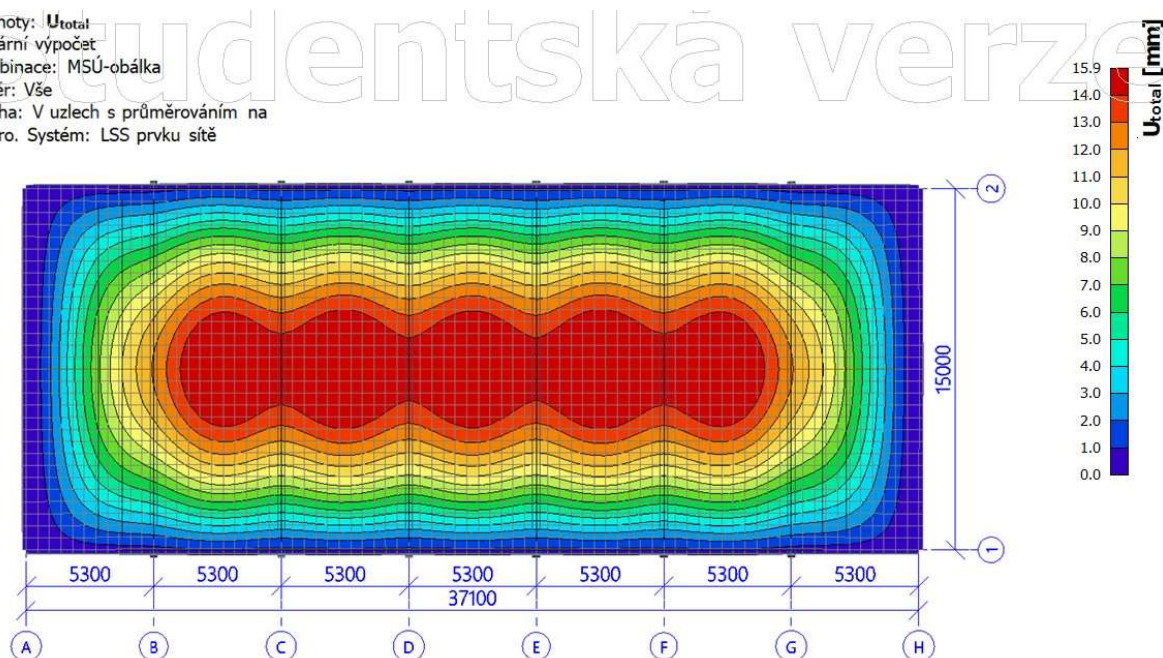
Obrázek 4.5_ Okamžité deformace stropní konstrukce se sloupy 300x600 mm



Obrázek 4.6_ Rám se sloupy 300x450 mm

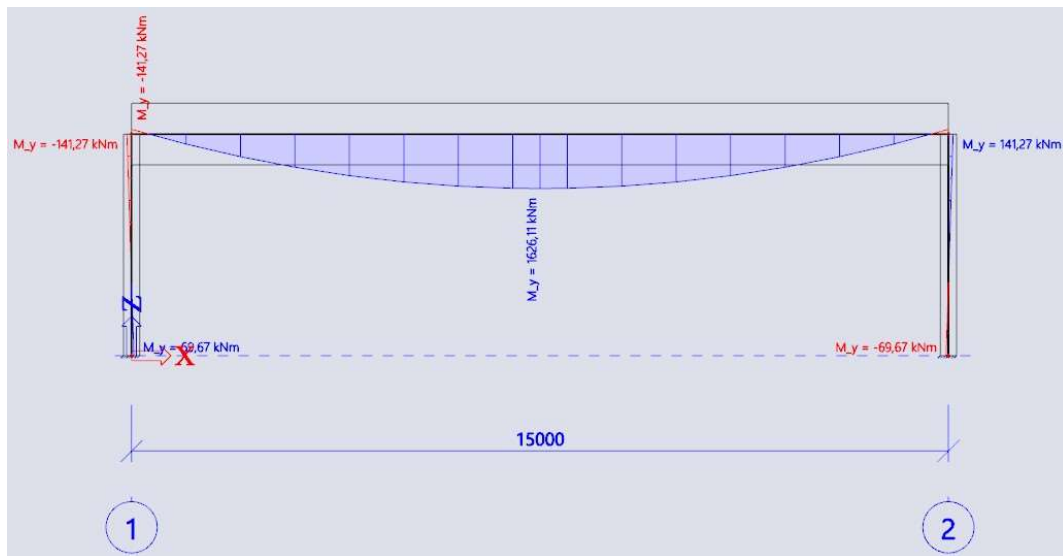
Jelikož k tanci je potřeba ideálně co největší možný prostor, tak jsem chtěl zkusit, jak se bude stejná konstrukce chovat se sloupem o průřezu 300x450 mm. Tento sloup bude mít ohybovou tuhost 3,4násobnou v porovnání se sloupem o průřezu 300x300 mm. Okamžité průhyby stropní konstrukce se sloupy 300x450 mm pak vycházely 15,9 mm. Okamžitý průhyb se tedy zredukoval o necelých 10 % v porovnání s průhybem stropní konstrukce se sloupy 300x300 mm.

Hodnoty: U_{total}
 Lineární výpočet
 Kombinace: MSÚ-obálka
 Výběr: Vše
 Poloha: V uzlech s průměrováním na makro. Systém: LSS prvku sítě

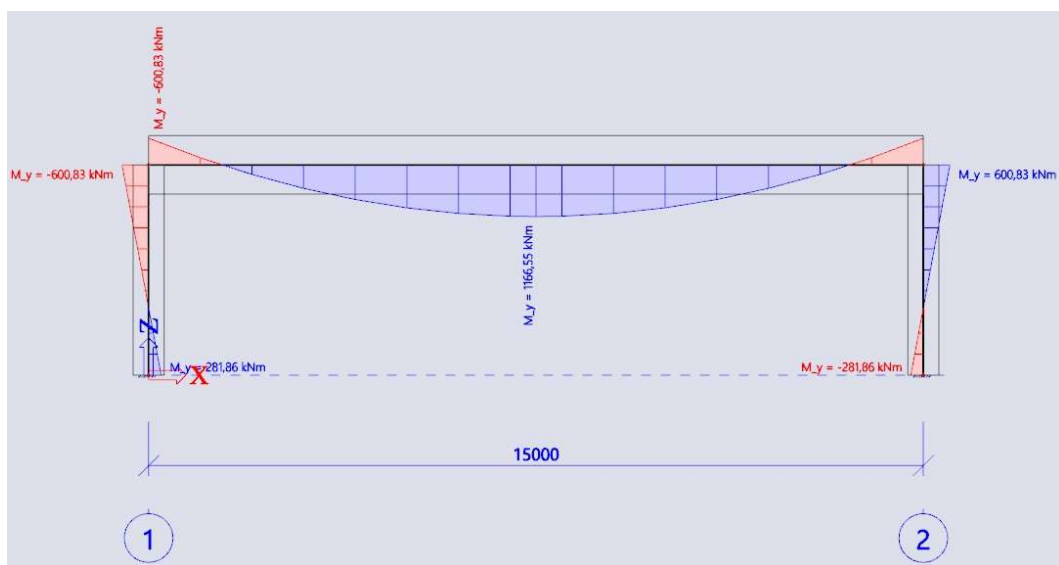


Obrázek 4.7_ Okamžité deformace stropní konstrukce se sloupy 300x450 mm

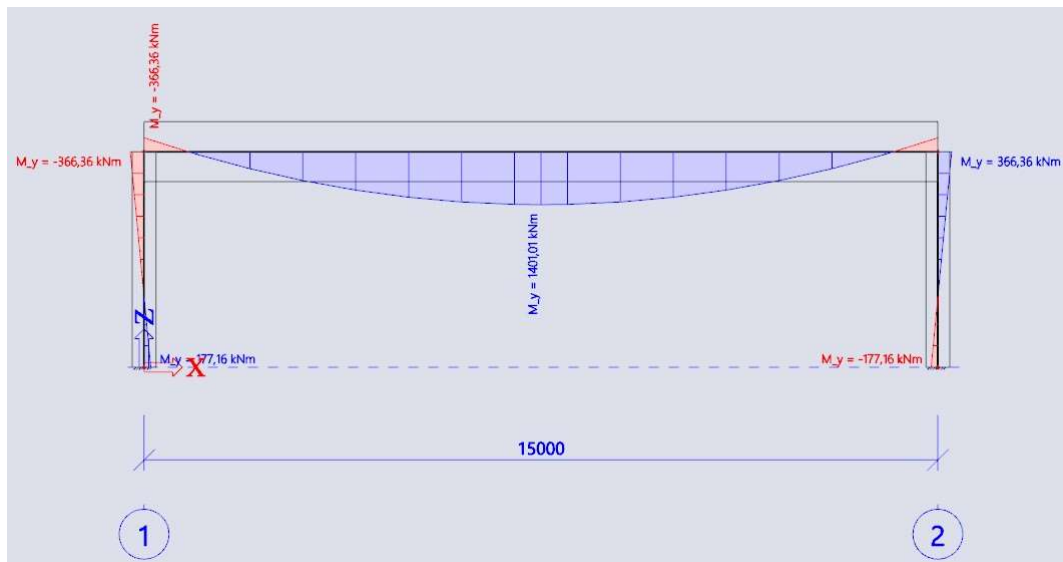
Následně jsem porovnal ohybové momenty, které budou na jednotlivé rámy působit, abych měl představu, jak moc mi upravený rozměr sloupů pomůže s přenesením ohybového momentu skrz rámový roh.



Obrázek 4.8_Přůběh ohybového momentu na rámu se sloupem 300x300 mm



Obrázek 4.9_Přůběh ohybového momentu na rámu se sloupem 300x600 mm



Obrázek 4.10_Průběh ohybového momentu na rámu se sloupem 300x450 mm

Na základě těchto výsledků jsem se rozhodl navrhnout sloup o rozměru 300x450 mm, aby bylo dosaženo co největšího světlého rozpětí a také aby se částečně vytvořil rámový roh v místě styku sloupu a průvlaku.

4.2. Stanovení vnitřních sil

4.2.1. Průvlak

Abych mohl lépe kontrolovat správnost vypočtených vnitřních sil, tak jsem v softwaru SCIA Engineer vymodeloval samotný rám. Model tohoto rámu je na Obrázku 4.11.

Ohybové momenty jsem chtěl stanovit jak pomocí softwaru SCIA Engineer, tak ručním výpočtem. Pro ruční výpočet ohybových momentů jsem nemohl použít statické tabulky a stanovit ohybový moment nad podporou dle rovnice 1 a v poli dle rovnice 2 kvůli tomu, že nedojde k vytvoření dokonalého rámového rohu, který by zajistil, že by se průvlak choval jako oboustranně vetknutý nosník. Z toho důvodu jsem zatížil rám ve SCIA Engineer cvičným zatížením 100 kN/m a získal jsem průběh ohybových momentů od tohoto zatížení. Díky znalosti zatížení $f = 100$ kN/m, rozpětí $L = 15$ m a ohybových momentů M jsem zpětně stanovil, jaká bude hodnota součinitelů k . Nové součinitele jsem použil pro ruční výpočet ohybových momentů, které mi vyšly nad podporou 384,5 kNm a v poli 1384,2 kNm.

$$M = \frac{1}{k_{sup}} * f * L^2 = \frac{1}{12} * f * L^2$$

Rovnice 1_Vztah pro výpočet ohybového momentu ve vetknutí pro obou straně vetknutý nosník

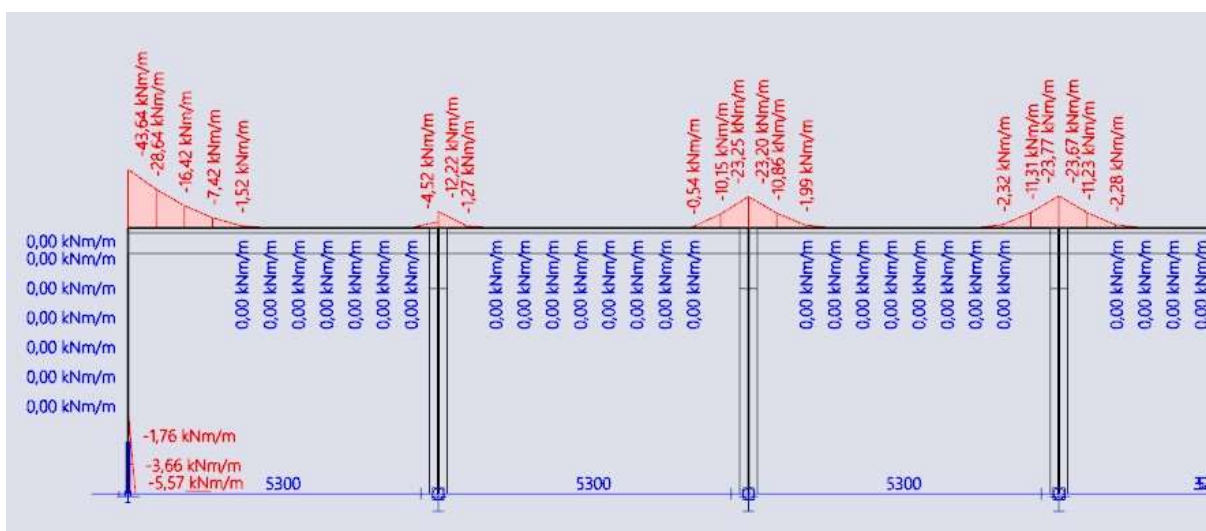
$$M = \frac{1}{k_{pole}} * f * L^2 = \frac{1}{24} * f * L^2$$

Rovnice 2_Vztah pro výpočet ohybového momentu v poli pro obou straně vetknutý nosník

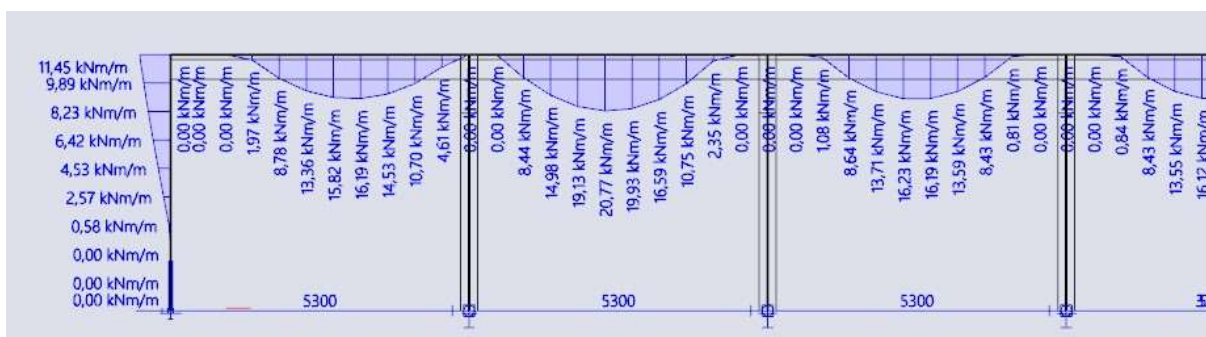
Po zadání skutečného zatížení na rám v softwaru SCIA Engineer jsem získal hodnoty ohybových momentů 368,36 kNm nad podporou a 1401,01 kNm v poli. Jelikož se mi ohybové momenty vypočtené různými metodami lišily, zvolil jsem pro návrh vždy větší hodnotu. Důvod takto rozdílných hodnot je proto, že jsem součinitel k zaokrouhlil pouze na jedno desetinné místo. Průvlak jsem tedy navrhl na ohybový moment v poli roven 1401,01 kNm a nad podporou roven 384,5 kNm.

4.2.2. Deska

Pro stanovení vnitřních sil na desce jsem nemohl použít zjednodušený model, jelikož průvlaky, které desku podporují, se budou deformovat. Díky tomu by bylo velice složité vymodelovat si samostatný model desky v jakémkoli programu, protože by bylo potřeba zadat posuny podpor. Z toho důvodu jsem ohybové momenty na desce stanovil z celkového modelu stropní konstrukce, který můžete vidět na Obrázku 4.1. Návrhové hodnoty ohybových momentů jsem pak získal vytvořením řezu v polovině rozpětí rámu. V místě vetknutí desky do železobetonové stěny vznikaly špičky v ohybových momentech. Tyto špičky jsem pomocí funkce průměrovací pás zprůměroval.



Obrázek 4.11_ Záporné ohybové momenty na desce



Obrázek 4.12_ Kladné ohybové momenty na desce

4.3. Mezní stav únosnosti

Ohybovou výztuž u spodního líce průvlaku jsem navrhl do dvou vrstev z důvodu, že bylo potřeba zajistit dostatečnou mezeru mezi jednotlivými pruty. Kdyby byla výztuž příliš blízko u sebe, způsobilo by to nekvalitní betonáž a špatné spolupůsobení betonu s výztuží. Spodní ohybová výztuž činí celkem šest prutů průměru 28 mm a délky 15260 mm. Horní ohybovou výztuž tvoří čtyři profily 18 mm v jedné vrstvě. Smyková výztuž trámu je navržena z dvou střižných třmínků průměru 12 mm. Nad sloupy jsem navrhl dva třmínky po 225 mm, třetí třmínek se nachází 50 mm za lícem podpory a další třmínky mají osovou vzdálenost 340 mm a zasahují 1410 mm za líc podpory. Do zbylé části průvlaku jsem navrhl konstrukční třmínky se stejným průměrem a osovou vzdáleností 400 mm.

Výztuž v desce jsem navrhl v poli a nad nosníky o průměru 10 mm a osové vzdálenosti 200 mm. Výztuž ve vetknutí desky do stěny jsem navrhl se stejným průměrem jako výztuž v poli a nad podporou, osovou vzdálenost prutů jsem upravil na 110 mm. Díky výztuži o průměru 10 mm nebude problém při zhotovování, jelikož výztuž desky bude kladena mezi třmínky trámu. Podrobný postup návrhu je v příloze 1.2.

4.4. Mezní stav použitelnosti

Pro posouzení mezního stavu použitelnosti jsem si nejdříve stanovil další zatěžovací kombinace, a to kombinaci charakteristickou, častou a kvazi-stálou. Z těchto zatěžovacích kombinací jsem pomocí softwaru určil ohybové momenty, které následně používám v posouzení. Průřez jsem posuzoval jako průřez s trhlinami, jelikož ohybový moment na vzniku trhlin byl menší než ohybový moment od charakteristického zatížení.

Při posouzení průvlaku s průřezem 1130x300 mm mi nevyhověla podmínka maximálního napětí v oblasti tláčeného betonu. Z tohoto důvodu jsem byl nucen upravit průřez průvlaku tak, že jsem jeho výšku zvětšil o 100 mm. Pro nový průřez 1230x300 mm jsem pak přepočítal hodnoty ohybových momentů pro jednotlivé zatěžovací kombinace a průřez znovu posoudil. Tentokrát už posouzení z hlediska napětí vyhověla všechna. Posouzení z hlediska trhlin jsem udělal nepřímo, na základě redukováného napětí v oceli, které pak bylo menší než přípustná hodnota napětí ve výztuži se vzdáleností 89 mm dle tabulky 1. Podrobný návrh v příloze 1.5.

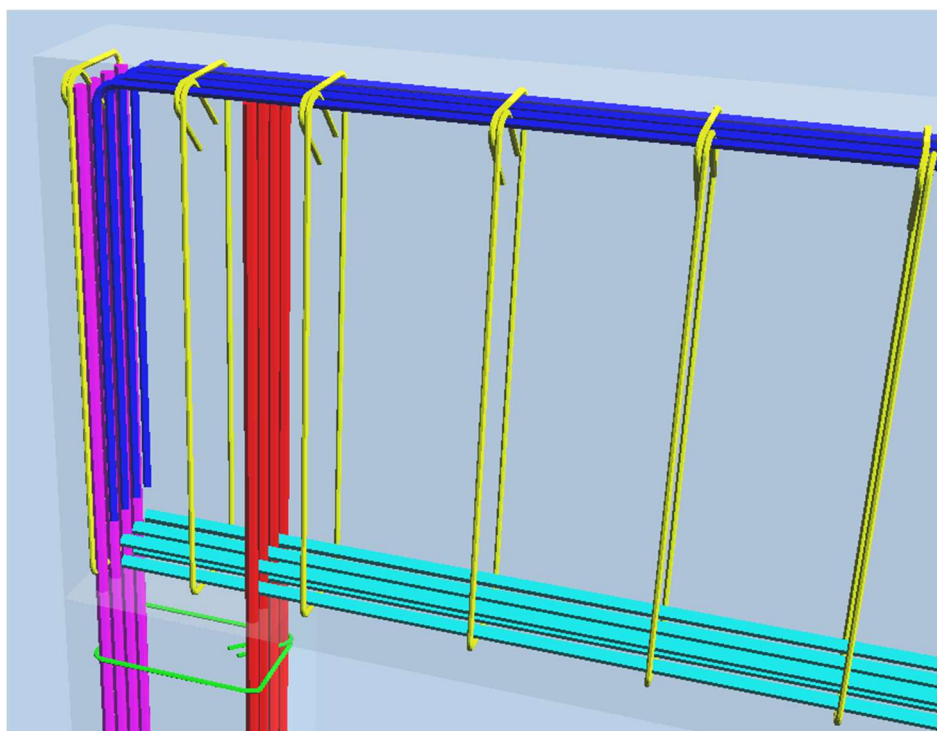
Napětí ve výztuži ²⁾ [MPa]	Maximální vzdálenost prutů [mm]		
	$w_k=0,4$ mm	$w_k=0,3$ mm	$w_k=0,2$ mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

1) Hodnoty v tabulce vycházejí z následujících předpokladů:
 $c = 25$ mm; $f_{ct,eff} = 2,9$ MPa; $h_{cr} = 0,5$; $(h-d) = 0,1h$; $k_1 = 0,8$;
 $k_2 = 0,5$; $k_c = 0,4$; $k = 1,0$; $k_t = 0,4$ a $k' = 1,0$

2) Při odpovídající kombinaci účinků zatížení.

Tabulka 1_Maximální vzdálenost prutů pro omezení trhlin [13]

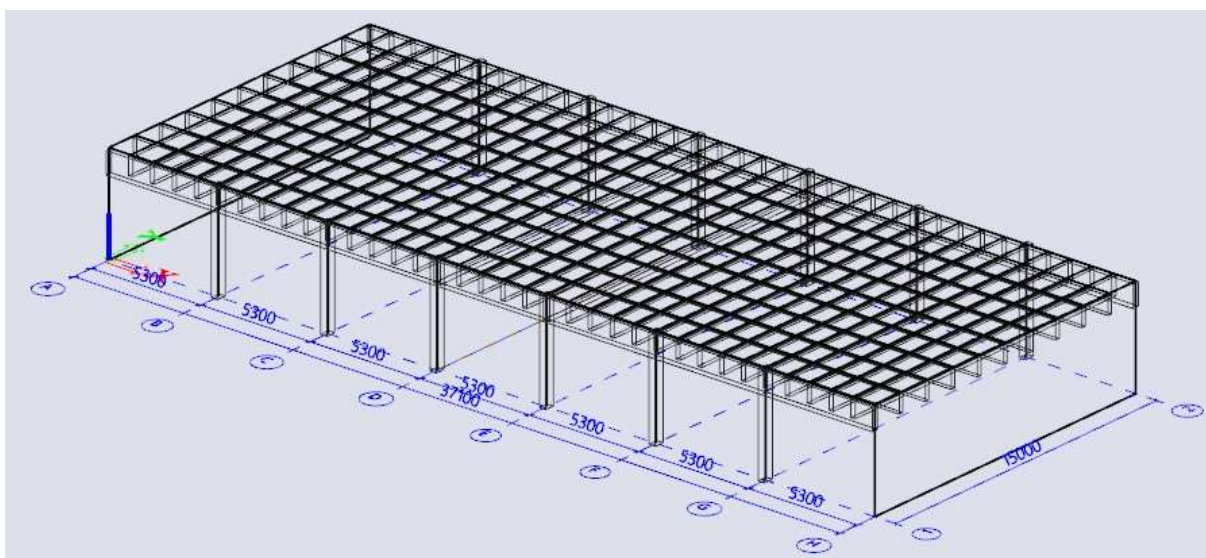
Zvětšení průřezu bude mít vliv na mezní stav únosnosti takový, že se mírně zvýší zatížení a ohybový moment, kterým je průvlak namáhán, což působí negativně. Pozitivně mi bude působit zvýšení účinné výšky průřezu, která se zvětší o 100 mm. Tím se mi výrazně zvětší i rameno vnitřních sil v průřezu a moment únosnosti se zvětší přibližně o 10 %. Zatížení průvlaku se však zvedne pouze o 2 % a o 2 % se zvýší i ohybový moment, kterým bude průvlak namáhán. Výztuž průvlaku je rovněž navržena s využitím 85 %. Z těchto důvodů jsem znovu nekontroloval mezní stav únosnosti, jelikož únosnost bude zajištěna.



Obrázek 4.13_3D výztuž rámového rohu

5. Kazetový strop

Kazetová stropní deska byla druhá varianta, kterou jsem navrhoval. Při návrhu celkové tloušťky desky jsem vycházel z podmínek pro ohybovou štíhlost. Z toho důvodu jsem navrhl celkovou tloušťku desky 930 mm. Rozměry žebér jsem pak navrhl s ohledem na podmínky pro výpočet žebříkové desky a s ohledem na geometrii. Rozměry žebírek jsem navrhl 930x200 mm a jejich osovou vzdálenost 1060 mm ve směru x a 1500 mm ve směru y. Tloušťku desky nad žebírky jsem navrhl 130 mm, aby bylo možné desku snadno vybednit. Světlý rozměr vylehčujících dutin jsem navrhl 860x1300x800 mm (X*Y*Z). Návrh rozměrů viz příloha 2.1.



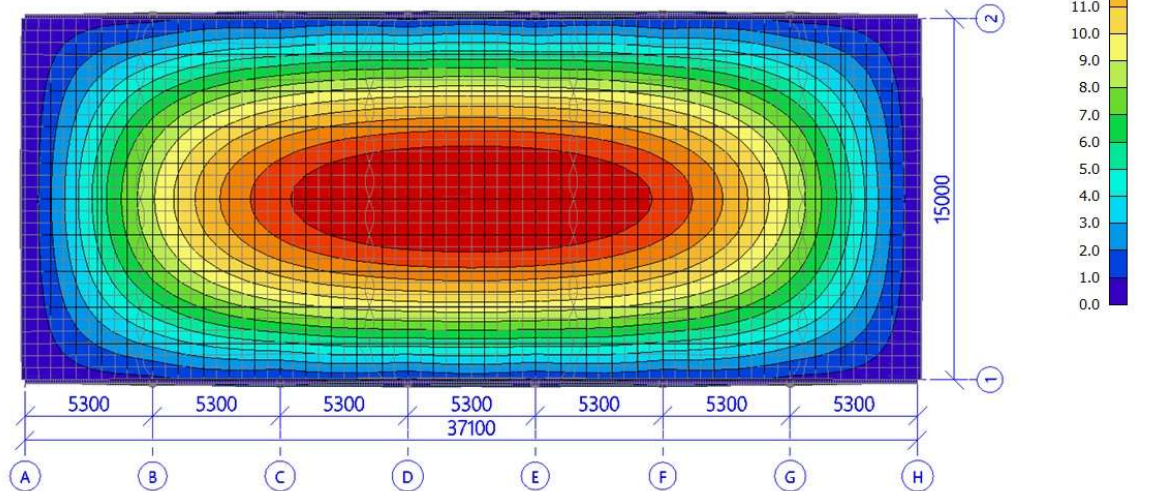
Obrázek 5.1_Axonometrie kazetové desky

Problém při návrhu rozměrů byl, že ve směru x bylo rozpětí desky více jak dvojnásobné než ve směru y. Tento problém jsem vyřešil vložením rámu z předchozího návrhu.

5.1. Optimalizace polohy rámu

Pomocí rámu jsem chtěl docílit snížení rozponu desky ve směru x. Rámy jsem postupně vkládal do jednotlivých sloupových řad, abych omezil průhyb a více se přiblížil k působení kazetové desky v obou směrech. Pro optimalizaci polohy rámu jsem sledoval okamžité průhyby, které jsem získal ze softwaru SCIA Engineer. Abych měl dobré porovnání s výchozí variantou bez průvlaků, bylo nejdříve potřeba zjistit okamžité průhyby na desce bez rámu. Ty činily 15,5 mm.

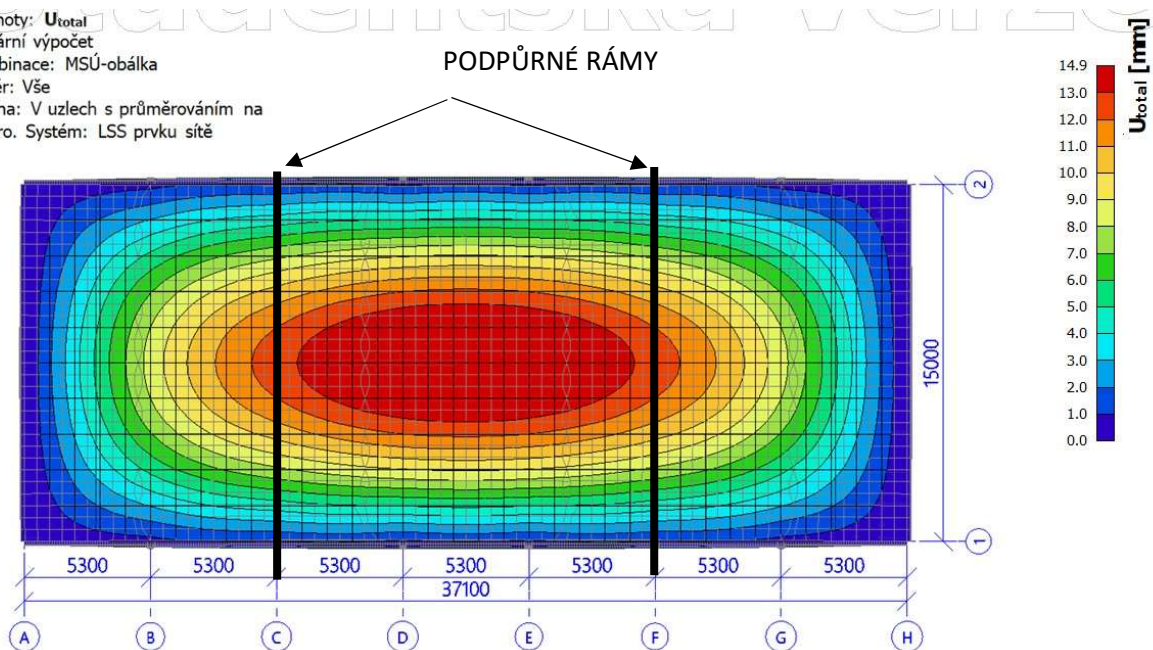
Hodnoty: U_{total}
 Lineární výpočet
 Kombinace: MSÚ-obálka
 Výběr: Vše
 Poloha: V uzlech s průměrováním na makro. Systém: LSS prvku sítě



Obrázek 5.3_Okamžité deformace desky bez rámy

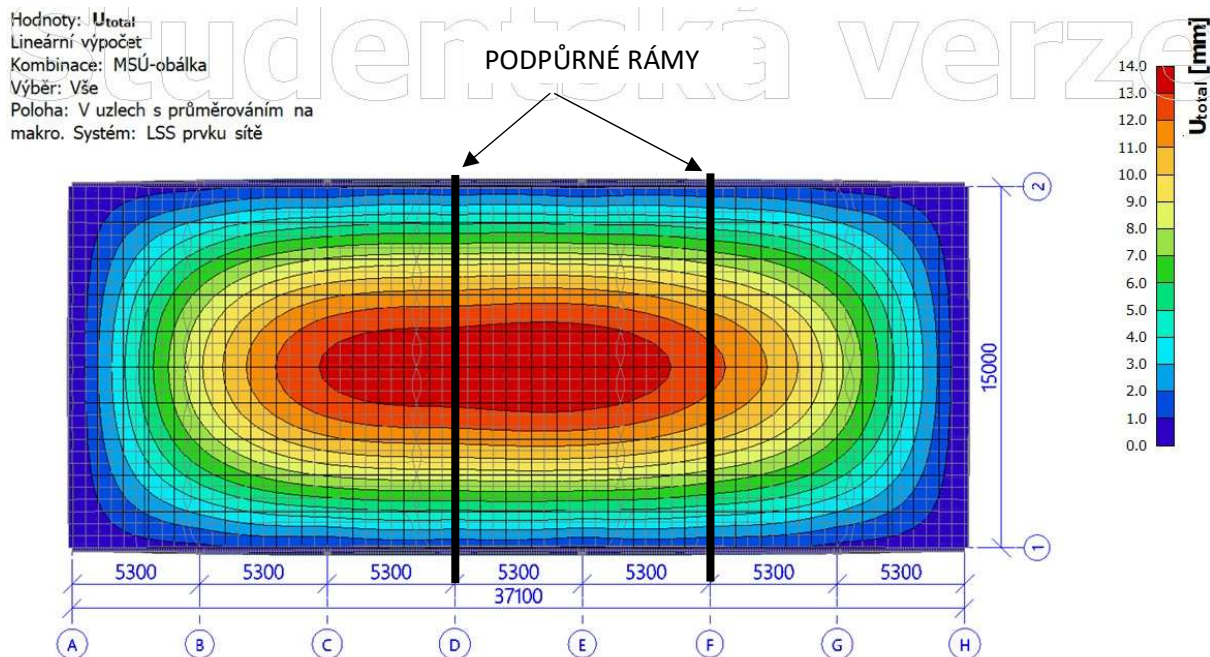
První varianta návrhu byla vložit rámy do sloupové řady C a F. Tato varianta nebyla tak efektivní, jak jsem se domníval, a to z důvodu že rámy byly příliš blízko stěnám. Okamžité deformace tímto opatřením klesly pouze na hodnotu 14,9 mm.

Hodnoty: U_{total}
 Lineární výpočet
 Kombinace: MSÚ-obálka
 Výběr: Vše
 Poloha: V uzlech s průměrováním na makro. Systém: LSS prvku sítě



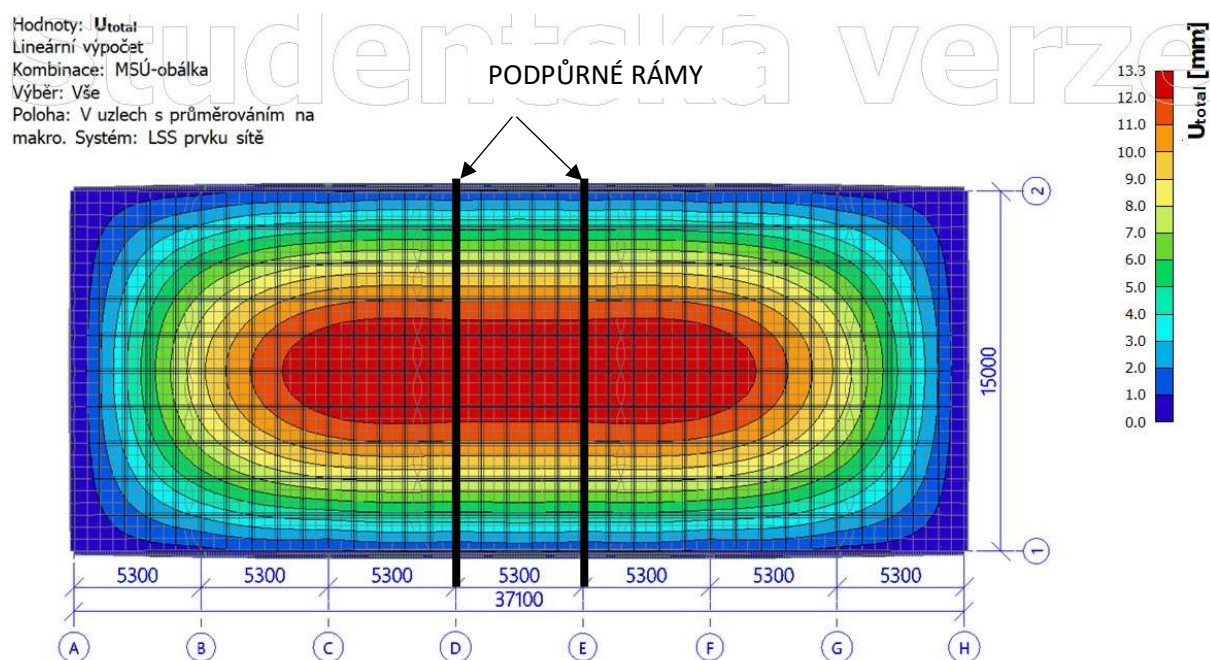
Obrázek 5.2_Okamžité deformace desky s rámy ve sloupových řadách C a F

V polích mezi A a C, obdobně pak v polích F a H, docházelo k tomu, že se zatížení roznášelo oběma směry relativně ve stejné míře. Čím dále jsem se nacházel od stěn, začínalo se zatížení přenášet spíše jen ve směru y. Proto jsem umístění rámy ve sloupové řadě C a F zahrhl.



Obrázek 5.4_Okamžité deformace desky s rámy ve sloupových řadách D a F

Jako další možnost jsem zkusil umístění rámy asymetricky do sloupových řad D a F. Tato možnost mi pomohla s okamžitými průhyby, jejichž velikost byla 14,0 mm. Při vytváření této varianty mě napadla ještě jedna další varianty, která by mi mohla pomoci zlepšit chování desky.



Obrázek 5.5_Okamžité deformace desky s rámy ve sloupových řadách D a E

Jako poslední variantu jsem tedy vymodeloval kazetovou desku, kde rámy budou ve sloupových řadách D a E. Díky tomu jsem dosáhl snížení okamžitých průhybů na 13,3 mm a podpořil kazetovou desku v místech, kde bude působení zatížení nejhorší. Tedy v místech, kde zatížení bude mít tendenci se přenášet primárně ve směru y .

Pro další navrhování jsem tedy vycházel z varianty ráků ve sloupových řadách D a E a s touto úvahou jsem navrhl rozměry kazetové desky, které jsem zmínil v kapitole 5.

5.2. Mezní stav únosnosti

Pro návrh výztuže jsem použil ohybové momenty, které jsem získal pomocí softwaru SCIA Engineer, na celé konstrukci. Při vykreslení ohybových momentů v žebrech bylo patrné, že se stále většina zatížení uprostřed desky přenáší v kratším směru. V delším směru rozpětí se zatížení přenášelo primárně v krajních polích desky.

Ohybovou výztuž ve směru x a ve směru y jsem byl nucen navrhnout s ohledem na konstrukční zásady. Díky tomu ve směru y byly navrženy ke spodnímu líci tři profily 28 mm a k hornímu líci do desky profil 16 mm po 130 mm. Ve směru x pak bylo ke spodnímu líci navrženo pět profilů 25 mm a k hornímu líci profily 20 mm po 215 mm. Veškerá výztuž ve směru y se nachází blíže k povrchu desky. Toto rozvržení jsem zvolil z toho důvodu, že více zatížení se přenáší ve směru y .

Smykové posouzení žeber bez výztuže mi nevyhovělo a z toho důvodu jsem navrhl ve směru y jednostřížný třmínek profilu 12 mm po 250 mm do minimální vzdálenosti 1170 mm od podpory. Zbylá délka žebra je vyztužena konstrukčními třmínky stejného profilu a osovou vzdáleností 400 mm. Ve směru x jsem navrhl pouze konstrukční třmínky rovněž profilu 12 mm a osovou vzdáleností 400 mm. Návrh výztuže a posouzení na mezní stav únosnosti viz příloha 2.2.

5.3. Mezní stav použitelnosti

Mezní stav použitelnosti jsem ve směru y spočítal ručním výpočtem. V průřezu vyhoví posouzení z hlediska napětí i z hlediska trhlin. Posouzení z hlediska trhlin jsem provedl nepřímo, za pomoci posouzení skutečného redukováného napětí s napětím ve výztuži se vzdáleností 53 mm dle Tabulky 1, viz příloha 2.3. Tento výpočet jsem si ověřil programem Crack width calculatorn CwC [10] a výsledky napětí v tlačené části betonu a v tažené výztuži se lišily o 2 % v případě napětí v tažené výztuži a o 15 % v případě napětí v tlačěném betonu. Obě hodnoty napětí mi vyšly ručním výpočtem větší, tudíž můj výpočet je na straně bezpečné. Odchylka byla, dle mého, ve velkém zaokrouhlování čísel v případě ručního výpočtu. Výsledky vypočtené programem jsou v příloze 2.4.

Pro posouzení mezního stavu použitelnosti ve směru x jsem použil výpočetní program Crack width calculator [10], který jsem stáhl z webových stránek pana doktora Štefana. Dle zkušenosti s použitím programu pro kontrolu napětí a trhlin ve směru y jsem usoudil, že za pomoci programu dostanu velmi přesné a správné výsledky. Na základě zadání rozměrů, krytí, třídy betonu a výztuže, profilů výztuže, počtu profilů a ohybového momentu jsem získal hodnoty napětí vyhovující kritériím a charakteristickou

šířku trhliny $w_k = 0,042$ mm. To splní požadavek $w_{\max} = 0,3$ mm pro prvky v prostředí XD1, viz. příloha 2.5.

6. Porovnání rámové konstrukce a kazetové desky

Obě varianty stropní konstrukce byly navrženy s ohledem na ohybovou štíhlost a se snahou vytvořit maximální využití průřezů. Porovnání jednotlivých variant jsem se rozhodl udělat na základě množství spotřebovaného betonu a množství výztuže. Porovnávám mezi sebou rámovou konstrukci se sloupy 300x450 mm a průvlaky 1230x300 mm s kazetovou deskou, která má podpůrné rámy ve sloupových řadách D a E. Hodnoty objemu betonu a hmotnosti výztuže jsou uvedeny bez sloupů.

		Rámová konstrukce	Kazetová deska
Objem betonu	m ³	128,52	213,811
Hmotnost výztuže	t	8,661	27,55

Tabulka 2_Porovnání objemu betonu a hmotnosti výztuže

Z tabulky je patrné, že výhodnější by bylo použít rámovou konstrukci. Důvod, proč kazetová deska vychází v porovnání s rámovou konstrukcí tak špatně, je velký půdorysný rozměr desky ve směru x. Ten je více jak dvojnásobný. Problémem je také relativně malé zatížení a tím malé využití výztuže kazetové desky, která je navržena na konstrukční zásady. Pokud by se zvětšilo zatížení, využití kazetové desky by se dostalo na přibližně 85 %, byl bych nucen navrhnout více výztuže do rámové konstrukce. Tento fakt by pak zvýšil hmotnost výztuže rámové konstrukce, ale hmotnost výztuže kazetové desky by se nezměnila. I v tomto případě bych si troufl tvrdit, že by rámová konstrukce byla ekonomičtější. Kazetová deska má také nevýhodu větší pracnosti při výrobě.

V mém případě každopádně lépe vychází rámová varianta.

7. Závěr

Bakalářská práce se zabývá návrhem dvou různých variant stropní konstrukce pro taneční sály tanečního studia s názvem Místo tance. Během návrhu jsem se soustředil na optimalizaci rozměrů a pozici rámu v prostoru. Sledoval jsem, jak různé varianty ovlivní okamžité průhyby a ohybové momenty a na základě nejpříjemnějšího výsledku jsem navrhl tvar nebo rozměry prvků.

Zajímavé bylo uvažovat o rozměrech sloupu v souvislosti s vytvořením rámového rohu a zredukováním ohybového momentu v poli rámu.

Dále jsem modeloval různé varianty konstrukcí v programu SCIA Engineer a zamýšlel se nad výsledky, které jsem dostal. Uvažoval jsem například o tom, čím může být ovlivněn přenos zatížení v jednotlivých směrech u kazetového stropu, nebo jak souvisí obrazce okamžitých průhybů desky nad rámy s tuhostí sloupů.

Díky této práci jsem se velice dobře naučil používat software SCIA Engineer. Pomocí tohoto programu jsem modeloval jednotlivé varianty stropních konstrukcí a zkoumal, jak mi pomůže změna jednotlivých parametrů s působením konstrukce. Rovněž jsem se naučil základní modelování v programu ALLPLAN, díky kterému jsem vymodeloval 3D model vyztužení rámového rohu. Pro výpočet šířky trhlin a napětí v průřezu jsem se rovněž naučil používat program Crack width calculator [10] a díky němu jsem lépe pochopil, jak výpočet šířky trhlin funguje.

Cílem mé práce bylo navrhnout dvě různé varianty stropní konstrukce pro taneční sál, což se mi povedlo. Obě varianty by bylo možné realizovat, ale realizace kazetové desky by byla v porovnání s rámovou konstrukcí neekonomická. Kazetová deska by se vyplatila, pokud by na stropní konstrukci působilo větší zatížení.

8. Citovaná literatura

- [1] I. J. Klečka a P. Ing. Linda Veselá, „Profesis,“ 2018. [Online]. Available: <https://profesis.ckait.cz/dokumenty-ckait/ts-01/>. [Přístup získán 28 03 2024].
- [2] VK ČSTS, „Český svaz tanečního sportu,“ 2024. [Online]. Available: <https://www.csts.cz/cs/Files/GetFile/5119>. [Přístup získán 14 04 2024].
- [3] TRISPORT, „Podlahy pro sport,“ [Online]. Available: <http://www.podlahyprosport.cz/sportovni-podlahy#drevene-palubovky>. [Přístup získán 01 04 2024].
- [4] Hoval spol. s.r.o., „TZB-info,“ 08 12 2015. [Online]. Available: <https://vetrani.tzb-info.cz/prumyslova-vzduchotechnika/13551-jak-vetrat-sportovni-a-viceucelove-haly-bez-pruvanu-a-hluku>. [Přístup získán 28 03 2024].
- [5] I. Z. Mathauserová, „TZB-info,“ 25 02 2013. [Online]. Available: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/9595-hygienicke-pozadavky-na-vnitri-prostredi-staveb>. [Přístup získán 28 03 2024].
- [6] Knauf Praha, spol. s.r.o., „Knauf,“ 08 2019. [Online]. Available: <https://www.knauf.cz/file/4476-d12-knauf-cleaneo-akusticke-podhledy.pdf>. [Přístup získán 15 03 2024].
- [7] P. doc. Ing. Jan Kaňka a P. doc. Ing. Iveta Skotnicová, „Profesis,“ 2019. [Online]. Available: <https://profesis.ckait.cz/dokumenty-ckait/tp-1-8-3/>. [Přístup získán 01 04 2024].
- [8] Akustické centrum, „Akustické centrum,“ [Online]. Available: <https://www.akustickecentrum.cz/legislativa/tabulka1-normy-csn-73-0532.pdf>. [Přístup získán 01 04 2024].
- [9] J. G. Allen, P. MacNaughton, U. Satish, S. Santanam, J. Vallarino a J. D. Spengler, „EHP publishing,“ 26 11 2015. [Online]. Available: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.1510037>. [Přístup získán 01 04 2024].
- [10] I. J. Holan a P. Ing. Radek Štefan, „Radek Štefan,“ 2019. [Online]. Available: <https://people.fsv.cvut.cz/www/stefarad/vyzkum.html>. [Přístup získán 30 04 2024].
- [11] SCHENK, sportovní povrchy, „Schenk-sport,“ [Online]. Available: <https://schenk-sport.cz/sportovni-podlahy/drevene-sportovni-podlahy/>. [Přístup získán 01 04 2024].
- [12] I. a. L. Němcová, „Lucie Němcová,“ 01 2021. [Online]. Available: <https://www.lucienemcova.com/polyfunctional-building-pet%C5%99iny82>. [Přístup získán 01 03 2024].
- [13] C. Prof. Ing. Alena Kohoutová, C. Prof. Ing. Jaroslav Procházka a C. Doc. Ing. Jitka Vašková, Navrhování železobetonových konstrukcí, Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014.
- [14] ČSN EN 1992-1-1 ed. 2, Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, 2019.

9. Seznam příloh

- 1.1 Zatížení a předběžný návrh rámové konstrukce
- 1.2 Návrh výztuže a posouzení MSÚ průvlaku
- 1.3 Návrh výztuže a posouzení MSÚ desky
- 1.4 Návrh výztuže a posouzení MSÚ sloupu
- 1.5 Posouzení MSP průvlaku

- 2.1. Předběžný návrh a ověření podmínek pro kazetové desky
- 2.2. Návrh výztuže a posouzení MSÚ desky
- 2.3. Posouzení MSP ve směru y
- 2.4. Velikost trhlin ve směru y
- 2.5. Velikost trhlin ve směru x