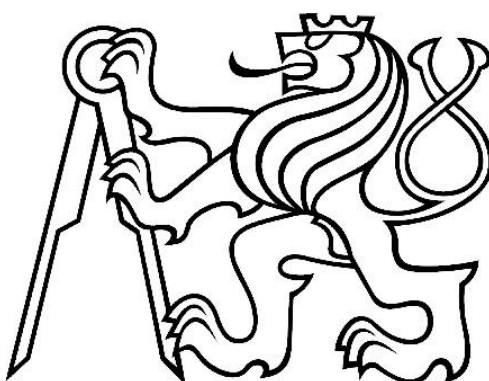


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Analýza stěnového nosníku s otvory ve sportovní
hale**

Vypracoval: Marek Minda

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

Květen, 2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Minda Jméno: Marek Osobní číslo: 493663
Zadávací katedra: K133 - Katedra betonových a zděných konstrukcí
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor/specializace: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Analýza stěnového nosníku s otvory ve sportovní hale

Název bakalářské práce anglicky: Analysis of a deep beam with openings in the sports hall

Pokyny pro vypracování:

- popis referenční stavby,
- popis metod pro analýzu stěnových nosníků o více polích,
- analýza vybraného stěnového nosníku pomocí různých přístupů - STM, MKP (2D nebo 3D),
- možnosti vhodného rozmístění otvorů - varianty řešení (optimální rozmístění, velikost),
- skica výztuže vybraného řešení

Seznam doporučené literatury:

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

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

Datum zadání bakalářské práce: 20.02.2023

Termín odevzdání BP v IS KOS: 22.05.2023

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému **Analýza stenového nosníku s otvormi v športovej hale** spracoval samostatne za použitia uvedenej literatúry a zdrojov.

Ďalej prehlasujem, že nemám závažný dôvod proti užitiu tohoto školského diela v zmysle § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon).

V Prahe, dňa 22. 5. 2023

.....
Marek Minda

Podakovanie

Rád by som poďakoval Ing. Michaele Frantovej, Ph.D. za jej odborné vedenie a užitočné rady pri spracovávaní tejto bakalárskej práce. V neposlednej rade chcem taktiež poďakovať mojej rodine za neustálu podporu, nielen popri písaní tejto práce, ale aj behom celého môjho štúdia.

**ANALÝZA STENOVÉHO NOSNÍKU S OTVORMI
V ŠPORTOVEJ HALE**

ANALYSIS OF DEEP BEAM WITH OPENINGS IN
SPORTS HALL

Abstrakt

Témou a riešenou problematikou tejto bakalárskej práce sú stenové nosníky. Na bežných typoch stenových nosníkov sú ukázané príslušné varianty modelov náhradnej priehradoviny.

Cieľom tejto bakalárskej práce je pochopiť a rozobrať problematiku predovšetkým spojitých stenových nosníkov s a bez otvorov, pri použití rôznych prístupových metód. Pomocou analýzy jednotlivých napätí zostaviť vhodný model náhradnej priehradoviny pre zvolený stenový nosník nachádzajúci sa v objekte športovej haly.

Ďalej je to zistenie, či daný stavebný prvok s navrhnutými rozmermi dokáže preniesť príslušné zaťaženia s dostatočnou kapacitou jednotlivých podpôr.

Klíúčové slová

Stenový nosník, B-oblasť, D-oblasť, tlakové a ťahové napätia, strut and tie model, uzol, vzpery, ťahadlá

Abstract

The topic and the solved problem of this bachelor thesis are deep beams. The corresponding variants of the replacement truss beam models are shown for common types of deep beams.

The aim of this bachelor thesis is to understand and analyze the problem of mainly continuous deep beams with and without openings, using different access methods. Using the individual stress analysis, construct an appropriate replacement truss beam model for the selected deep beam in the sports hall building.

Furthermore, it is to determine whether a given structural element with the designed dimensions can carry the relevant loads with sufficient capacity of the individual supports.

Key words

Deep beam, B-region, D-region, compressive and tensile stresses, strut and tie model, node, truss, ties

Obsah:

1 ÚVOD	8
2 STENOVÉ NOSNÍKY	9
2.1 História a experimentálne skúmanie	9
2.2 Spojité stenové nosníky	11
2.3 Stenové nosníky s otvormi	13
2.4 Metóda priehradovej analógie	16
3 ŠPORTOVÁ HALA V ČERNOŠICIACH	21
3.1 Základné údaje o stavbe	21
3.2 Geometria konštrukcie	22
4 ANALÝZA VYBRANÉHO STENOVÉHO NOSNÍKU BEZ OTVOROV	25
4.1 Popis riešenej problematiky	25
4.2 Metóda konečných prvkov	27
4.3 Porovnanie a vyhodnotenie Modelov M1 – M4 pre MKP	33
4.4 Tvorba priehradového modelu – STM.....	34
4.5 Porovnanie a vyhodnotenie STM M1 – M4	42
5 ANALÝZA VYBRANÉHO STENOVÉHO NOSNÍKU S OTVORMI	43
5.1 Ideálne rozmery a počet otvorov v nosníku	43
5.2 Pôvodné otvory	48
5.3 Vyhodnotenie stenového nosníku s otvormi.....	51
6 ZÁVER	52
7 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	53
ZOZNAM OBRÁZKOV	55
ZOZNAM TABULIEK	57
ZOZNAM POUŽITÝCH PROGRAMOV	58
ZOZNAM PRÍLOH	58

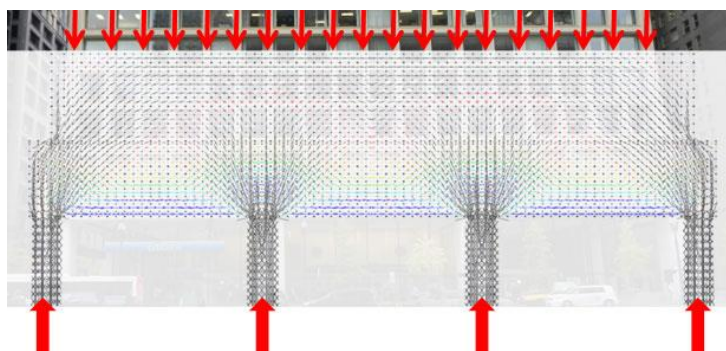
1 ÚVOD

V dnešnej dobe sa v oblasti pozemných stavieb stretávame s návrhmi nosného systému vyšších poschodí nad voľnú dispozíciu (viď obrázok číslo 1.1). Takéto riešenie dispozície práve umožňujú stenové nosníky s nosnými stĺpmi, keď v nadzemných poschodiach potrebujeme nosný stenový systém.



Obrázok číslo 1.1 – stenový nosník vyznačený červenou farbou v rámci budovy Brunswick v Chicagu. [1]

Vzhľadom k množstvu kombinácií tvarov stenového nosníku, pôsobiacich zaťažení, veľkostí a tvarov otvorov, je nutné pri návrhu a vystužovaní pristupovať ku každému nosníku individuálne (viď obrázok číslo 1.2), aby boli postihnuté všetky kritické miesta na stenových nosníkoch. Nedostatočné venovanie pozornosti týmto miestam vedie k neskorším poruchám, ktoré sú nákladné na opravu a v extrémnych prípadoch by mohlo dôjsť ku kolapsu konštrukcie.



Obrázok číslo 1.2 – prenos zaťaženia z hornej časti budovy cez stenový nosník do podporných stĺpov. [1]

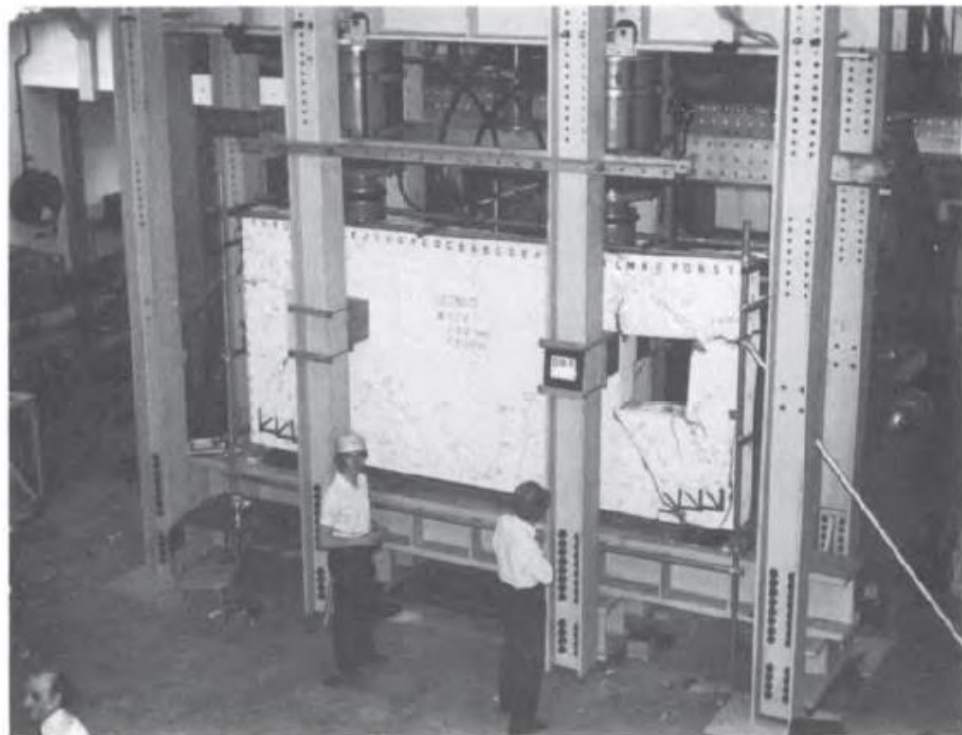
Vo svojej bakalárskej práci sa zaoberám touto problematikou stenových nosníkov, popisom možných metód pre ich návrh, a ďalej aplikáciou pre riešený objekt. Motiváciou k uskutočneniu tejto práce bolo nielen získanie výsledkov či daný prvok vyhovie zaťaženiu, ale hlavne pochopiť chovanie stenového nosníka a správne vedieť určiť podobu Strut and Tie modelu (metóda náhradnej priehradoviny) na základe trajektórií napätí.

2 STENOVÉ NOSNÍKY

2.1 História a experimentálne skúmanie

Do 60. rokov minulého storočia sa návrhy stenových nosníkov uskutočňovali najmä na základe pružného chovania materiálu. Vážnym problémom a nevýhodou tohto návrhu je obvyklý predpoklad izotropných materiálov, ktoré sa riadia Hookovým zákonom, a preto neposkytuje dostatočné usmernenie pre praktické navrhovanie.

Systematické skúšky únosnosti sa začali vykonávať až v 60. rokoch 20. storočia. Tieto skúšky boli významným krokom vpred vo výskume stenových nosníkov. Koncom 60. rokov 20. storočia bol založený rozsiahly dlhodobý program, ktorý sa zaoberá skúškami stenových nosníkov až do ich porušenia. Tento program zahŕňa skúšky na veľkých vzorkách (každá váži 4,5 t) a stále pokračuje na univerzite v Newcastli nad Tynem (viď obrázok číslo 2.1). Testy až do porušenia sa doteraz vykonali na viac ako 490 stenových nosníkoch. [2]



Obrázok číslo 2.1 – zaťažovacia skúška stenového nosníku z roku 1991. [2]

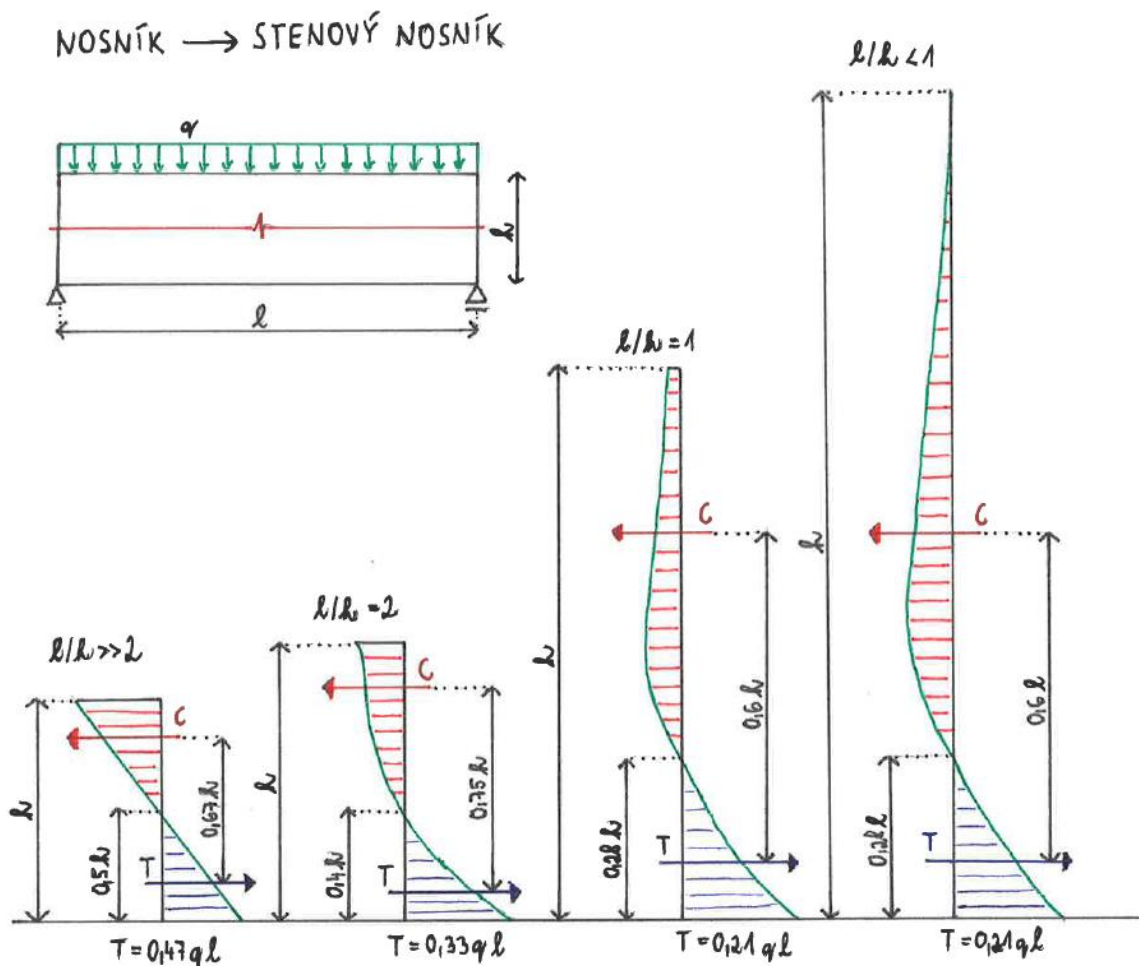
Združenie pre výskum a informácie v stavebníctve „CIRIA“, ktorá je zameraná na zlepšenie efektívnosti projektovania, výstavby a riadenia, ako aj efektívnosti a prevádzkyschopnosti budov a zariadení, vydala v roku 1977 príručku „CIRIA GUIDE 2“, ktorá poskytuje jednoduché pravidlá na navrhovanie železobetónových stenových nosníkov s pomerom dĺžky a výšky menším ako 2 pre prosté spojité nosníky alebo 2,5 pre spojité nosníky s viacerými poľami.

Ďalšie doplňujúce pravidlá sa zaoberajú prípadmi, keď únosnosť stenového nosníku môže byť ovplyvnená pružnou nestabilitou, ak je zaťažovaný osamelými bremenami, alebo v prípadoch, keď môžu otvory v stenovom nosníku výrazne znížiť jeho únosnosť. [3]

V dnešnej praxi sa navrhujú železobetónové konštrukcie podľa novej európskej normy EN 1992–1-1, ktorá bola prevzatá do sústavy českých noriem ako ČSN EN 1992–1-1. [4]

Stenové nosníky sú plošné prvky pôsobiace prevažne vo svojej strednicovej rovine, keď nad hrúbkou prevládajú ostatné 2 rozmery, teda výška h a dĺžka (rozpätie) l sú výrazne väčšie než hrúbka. Konštrukcia sa dá nazývať stenovým nosníkom, pokiaľ trojnásobok výšky nosníku (steny) je väčší alebo rovný dĺžke (rozpätia) nosníku, teda musí platiť $3h \geq l$. [4]

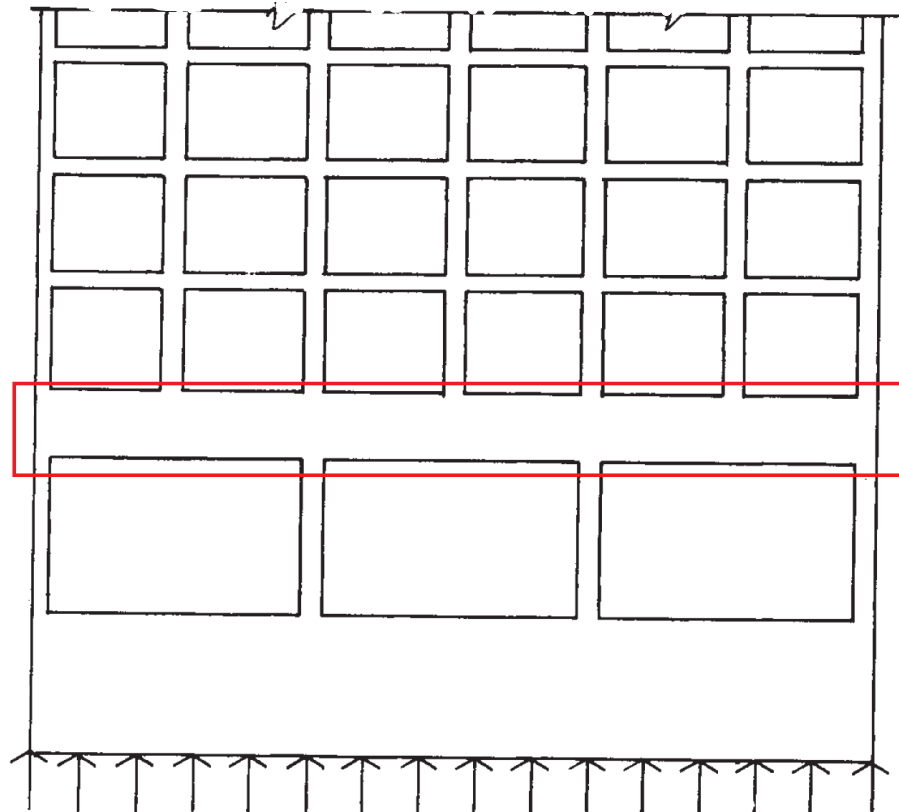
Rozdielny priebeh vodorovného napätia je viditeľný na obrázku číslo 2.2. Pre výpočet a návrh stenových nosníkov sa využíva metóda priehradovej analógie alebo metóda konečných prvkov.



Obrázok číslo 2.2 – rozdielny priebeh vodorovného napätia medzi bežným nosníkom a stenovým nosníkom

2.2 Spojité stenové nosníky

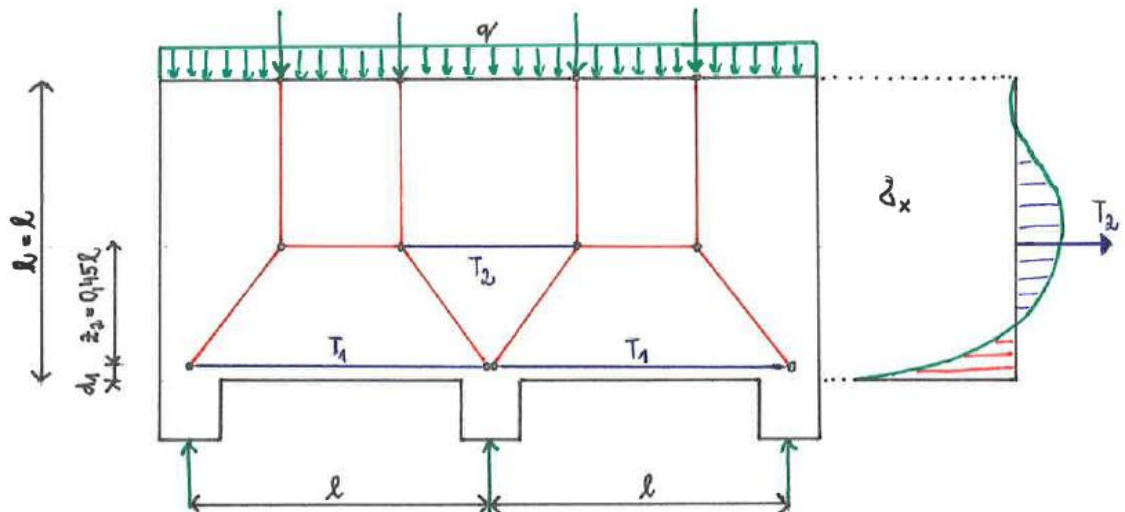
Vo svojej bakalárskej práci sa zaoberám spojitými stenovými nosníkmi a ich analýzou. Na obrázku číslo 2.3 je zobrazený možný prípad využitia spojitého stenového nosníku, pre redukcii počtu stĺpov z nadzemných poschodí do suterénu, a tým uvoľneniu dispozície.



Obrázok číslo 2.3 – prípady spojitých stenových nosníkov v typickej viacposchodovej budove. [2]

- červená farba znázorňuje spojitý stenový nosník

Spojité stenový nosník je nosník pôsobiaci cez dve alebo viacero polí. Vnútorne sily stenového nosníku sa odvíjajú od typu podoprenia. Pri výpočte reakcií sa vychádza buď z lineárne pružného 2D výpočtu steny, alebo sa získajú pri využití priehradovej analógie. Pokiaľ je stenový nosník považovaný za vysoký, teda spĺňa podmienku $h/l > 1$, musí sa zredukovať jeho výška na hodnotu $h = l$. Na obrázku číslo 2.4 je zobrazený spojitý stenový nosník s príslušným Strut and Tie modelom.



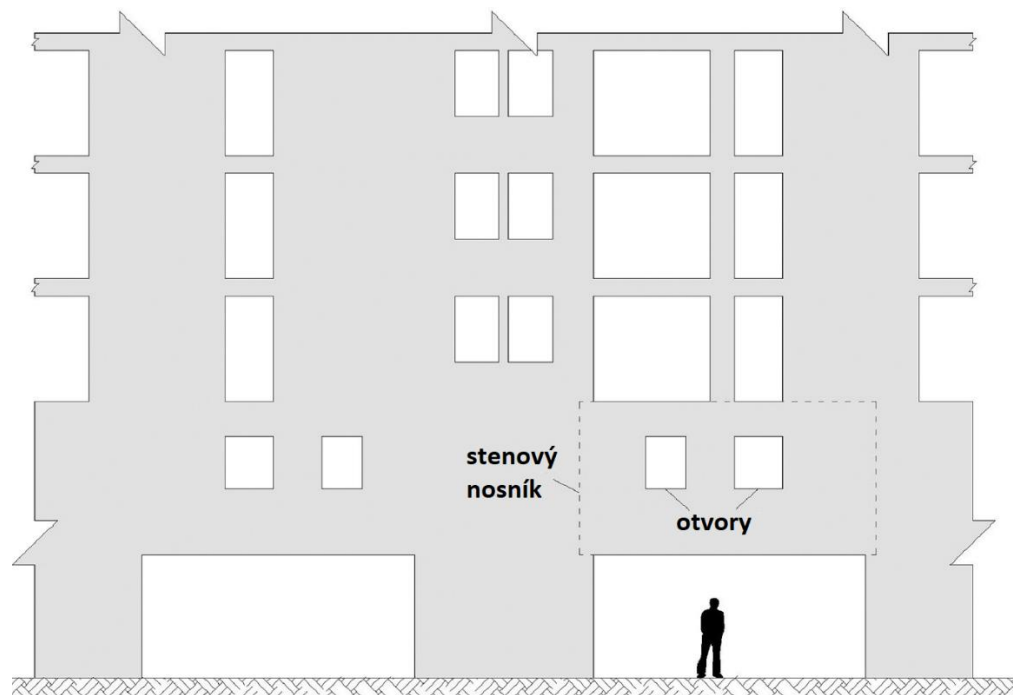
Obrázok číslo 2.4 – priebeh napätí σ_x nad podporou od priameho spojitého zaťaženia a jemu odpovedajúci Strut and Tie model

Jedna z možných výpočtových metód pre stenové nosníky je nelineárna metóda s použitím metódy konečných prvkov (MKP). Princíp spočíva v rozdelení stenového nosníku na „veľký“ počet prvkov. Nevýhodou je náročnosť výpočtu, naopak výhodou je riešenie aj veľmi náročných (atypických) konštrukcií.

Ďalší spôsob riešenia spočíva vo vytvorení modelu náhradnej priehradoviny. Pre vytvorenie modelu môžeme vychádzať z lineárne pružného 2D riešenia, teda z priebehu hlavných napätí na nosníku (ťah a tlak). Priebeh napätí nám pomôže s umiestnením vzpier a ťahadiel v konštrukcii.

2.3 Stenové nosníky s otvormi

V rôznych konštrukciách sú niekedy požadované otvory v oblastiach stenových nosníkov určené pre základné služby a prístupnosť (napr. vedenie vzduchotechniky a iných inštalácií). Na obrázku číslo 2.5 je v rámci budovy znázornený stenový nosník s otvorom. V takejto situácii je veľmi dôležité poznať chovanie a medznú únosnosť daného stenového nosníku.



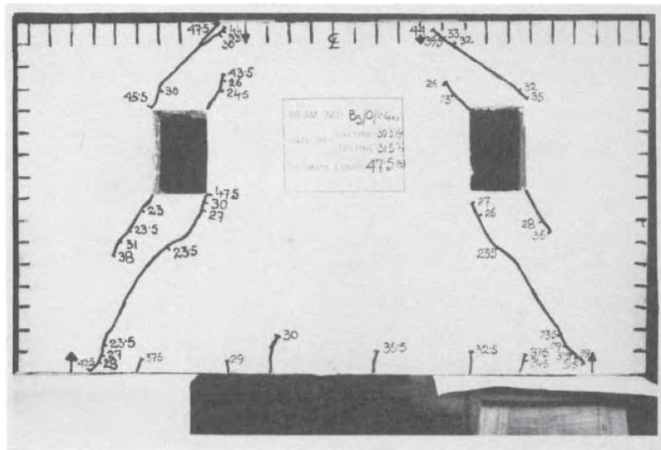
Obrázok číslo 2.5 – stenový nosník s otvormi zabudovaný v rámci budovy nad voľnou dispozíciou.

Hlavné faktory ovplyvňujúce chovanie stenových nosníkov s otvormi sú:

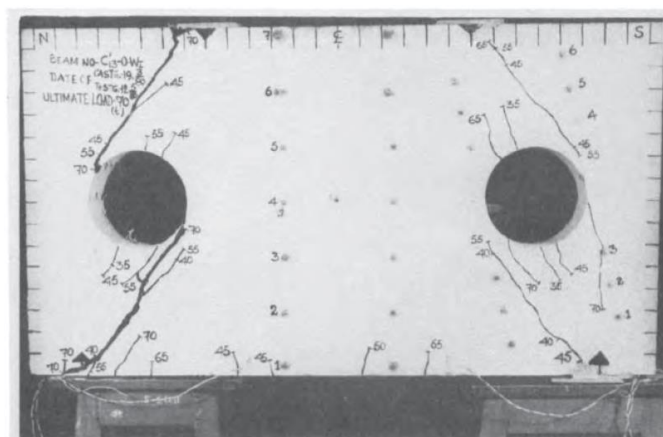
- pomer dĺžky k výške otvoru
- prierezové vlastnosti stenového nosníku
- vlastnosti betónu a výstuže
- množstvo a umiestnenie hlavnej pozdĺžnej výstuže
- typ a poloha zaťaženia
- veľkosť, tvar a umiestnenie otvoru

Medzinárodný časopis pre vedecký a technický výskum (International Journal of Scientific & Engineering Research) v októbri roku 2016 vydal štúdiu zaoberajúcu sa otvormi v stenových nosníkoch. [6] Výsledky tejto štúdie ukazujú, že najlepšia veľkosť otvoru, kde je šmykové napätie minimálne, je približne 1-5 % celkovej plochy stenového nosníku.

Na obrázku číslo 2.6 je zobrazený stenový nosník po záťažovej skúške s obdĺžnikovými otvormi a na obrázku číslo 2.7 s kruhovými otvormi. Ďalej na obrázkoch sú viditeľné vzniknuté šmykové trhliny po vnesení daného zaťaženia.



Obrázok číslo 2.6 – trhliny po zaťažovacej skúške stenového nosníku s obdĺžnikovými otvormi. [2]



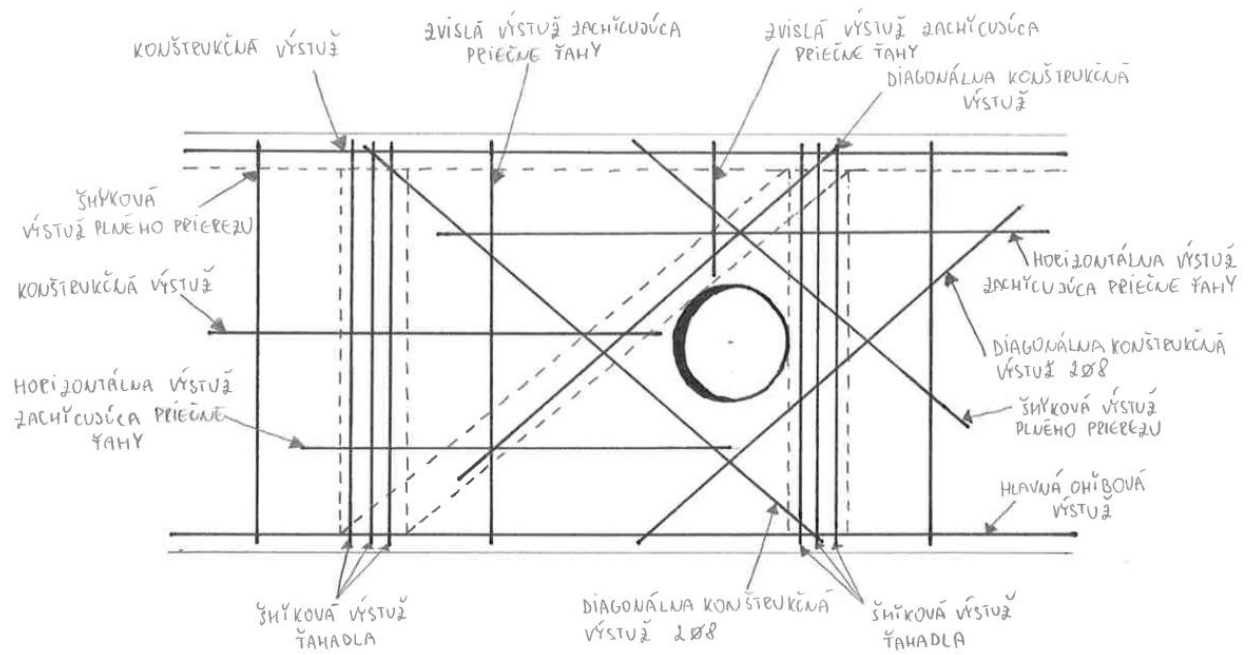
Obrázok číslo 2.7 – trhliny po zaťažovacej skúške stenového nosníku s kruhovými otvormi. [2]

Z týchto dvoch tvarov otvoru v stenovom nosníku sa kruhový typ javí ako vhodnejší pri prenášaní zaťaženia. Otvory by sa nemali nachádzať príliš blízko zvislého okraju nosníku, pretože pri vyššom zaťažení by sa mohli objaviť sekundárne trhliny a spôsobiť tak poruchu nosníku. Otvory by mali byť vždy vybavené príslušnou výstužou po ich obvodu, aby sa zabránilo nožnej koncentrácii napätia.

2.3.1 Tvary výstuže v okolí otvoru v stenovom nosníku

Ako už bolo spomenuté, otvory v stenových nosníkoch by mali byť po ich obvodu vystužené k zabráneniu koncentrácií napätia a taktiež k zachyteniu priečnych ťahov (zabránenie vzniku priečnych ťahových trhlín).

Na obrázku číslo 2.8 je zobrazený možný spôsob vystuženia oblasti okolo kruhového otvoru v nosníku s popisom jednotlivých výstuží.



Obrázok číslo 2.8 – schéma vystuženia nosníku s kruhovým otvorom.

2.4 Metóda prihradovej analógie

Bežné železobetónové konštrukcie (ŽB) a ich časti je možné riešiť pomocou globálnej analýzy. Globálna analýza sa používa hlavne pre stanovenie rozmerov prvkov, návrhy základnej výstuže a overenie celkovej tuhosti a priestorovej stability konštrukcie.

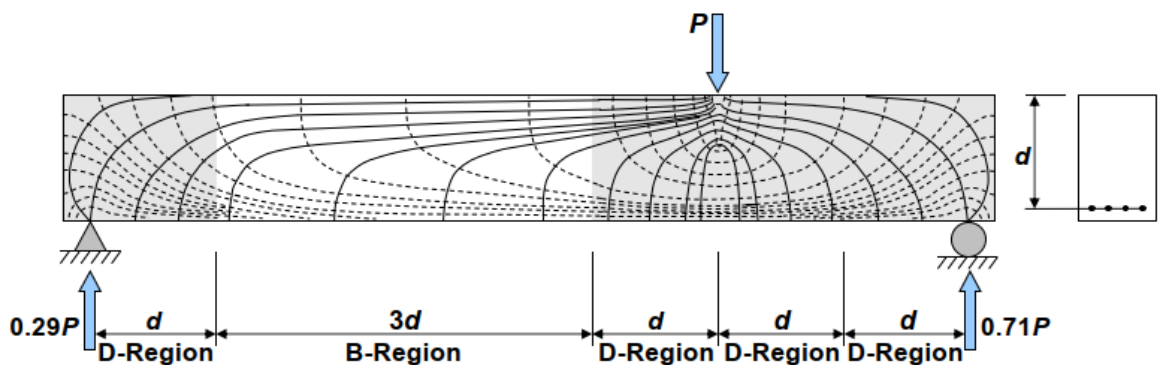
V určitých častiach konštrukcie, kde globálny výpočet nie je úplne výstižný, je potreba analýzu doplniť lokálnym výpočtom. Použitie konvenčných metód návrhu by viedlo k častým výskytom chýb a porúch ŽB konštrukcií.

Pri navrhovaní je tak vhodné u konštrukcie rozlišovať 2 typy oblastí: (viď obrázok číslo 2.9)

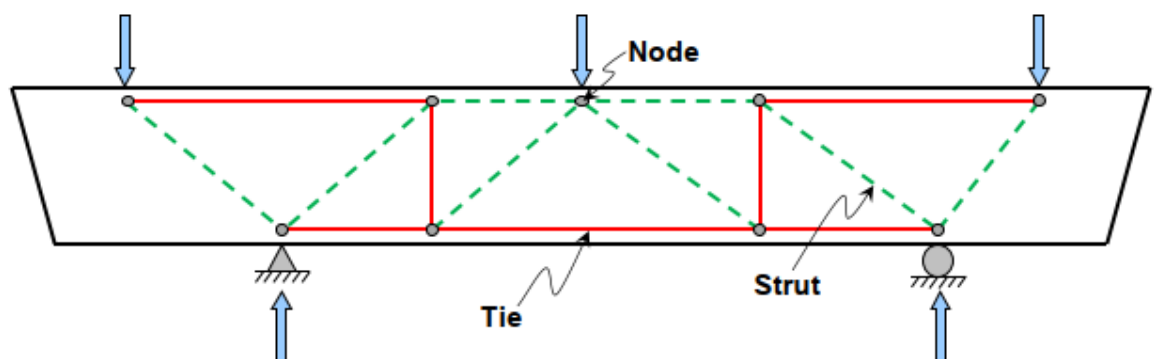
a) **B-oblasti:** oblasti s bežným chovaním, v ktorých je možné použiť štandardné postupy pre dimenzovanie - globálna analýza.

b) **D-oblasti:** poruchové oblasti (oblasti diskontinuit), v ktorých je porušený ustálený tok vnútorných síl a dochádza k statickej alebo geometrickej nespojitosti. Pre ich návrh je nutné použiť špeciálne návrhové postupy – lokálna analýza. [7]

Modelovanie pomocou „STM - strut and tie modelu“ vzpery a ťahadla sa používa predovšetkým na navrhovanie D-oblastí, ktoré sa vyskytujú v blízkosti zaťaženia alebo geometrických diskontinuit. Je jednou z najbežnejšie používaných metód pre výpočet poruchových D-oblastí. Na obrázku číslo 2.10 je znázornená možná podoba STM a jeho popis.



Obrázok číslo 2.9 – trajektórie napätí v B a D oblastiach v bežnom nosníku. [5]

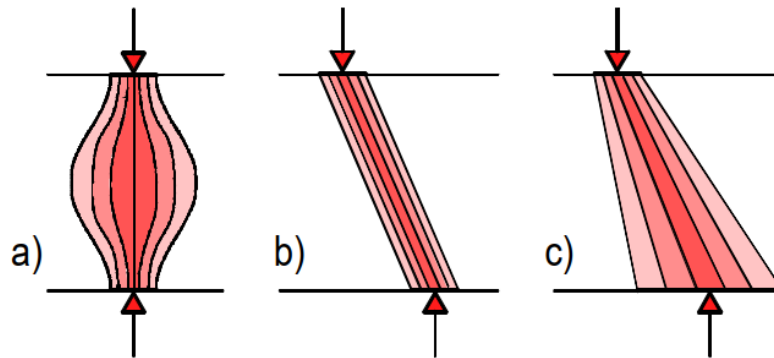


Obrázok číslo 2.10 – vzpery (Struts), ťahadlá (Ties) a uzly (Nodes) v rámci STM. [5]

2.4.1 Tlačené prúty – betónové vzpery (Struts)

Vzpery predstavujú tlačené prúty priehradového modelu. Tvoria ich pás betónu na spojnici susedných uzlov. Vzpery môžu mať rôznu šírku aj tvar (viď obrázok číslo 2.11).

Únosnosť vzpery je daná jej šírkou, sklonom, pozdĺžnym a priečnym tvarom a prípustným napätím v betóne (redukovaná tlaková pevnosť). Pri výpočte únosnosti vzpery sa zohľadňuje vplyv priečneho ťahového napätia.



Obrázok číslo 2.11 – základné možné geometrické tvary betónových vzpier v priehradovom modele. a) bankovitá vzpera, b) vzpera s rovnobežnými vláknami, c) vejárovitá vzpera. [4]

2.4.2 Ťahané prúty – ťahadlá (Ties)

Ťahadlo v modeli náhradnej priehradoviny predstavuje výstuž. Ťahadlo môže byť tvorené niekoľkými vrstvami výstužných prútov. Šírka ťahadla sa stanoví tak, že sa ku krajným prútom pripočíta hrúbka betónovej krycej vrstvy alebo polovica vzdialenosti medzi ďalšou výstužou. Výstuž musí byť vždy odpoďajúcim spôsobom zakotvená v styčníku.

Pri návrhu ťahadla sa uvažuje dosiahnutie medze klzu výstuže v ťahadle pred tlakovým porušením betónovej vzpery. Ťahové sily v betóne sa až na výnimky zanedbávajú (betónové ťahadlá sú niekedy uvažované napríklad pri rámových rohoch, ozuboch dosiek a podobne). Pri návrhu ťahadla je nutné vždy zohľadniť jeho skutočnú šírku. Najčastejšie sa uvažuje celá teoretická šírka ťahadla.

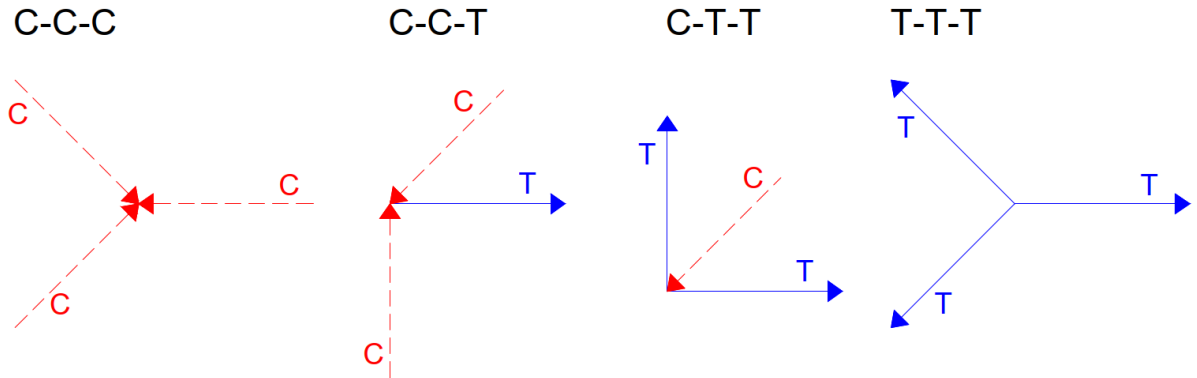
Zvyčajne nie je vhodné skoncentrovať ťahadlo len do miesta teoretickej osy ťahadla podľa modelu náhradnej priehradoviny, pretože model predstavuje len náhradu skutočného prenosu vnútorných síl v oblasti. Konkretované ťahadlá sa uvažujú pri líci zmien prierezov alebo prestupov, v ostatných prípadoch sa výstuž ťahadla rovnomerne rozdeľuje po celej šírke ťahadla.

2.4.3 Uzly – styčníky (Nodes)

Uzly predstavujú ohraničenú časť betónu, v ktorej dochádza k stykovaniu jednotlivých prútov priehradového modelu - stykovanie vzpier a ťahadiel, odklon prútov vplyvom kotvenia a stykovania výstuže, pôsobisko zaťaženia, podopretie. Jednotlivé varianty uzlov sú zobrazené na obrázku číslo 2.12. V rámci značenia uzlov "C" znamená tlak a "T" znamená ťah.

V uzloch musí byť splnená podmienka rovnováhy síl. Veľkosť uzlu vychádza z podmienok návrhu pre konkrétny typ uzlu. Zohľadňuje sa šírka vzpier, prípadne kotviaca dĺžka ťahadiel.

Únosnosť uzlu je daná jeho veľkosťou a prípustným napätím vychádzajúcim zo spôsobu namáhania uzlu.



Obrázok číslo 2.12 – možné varianty uzlov v priehradovom modele

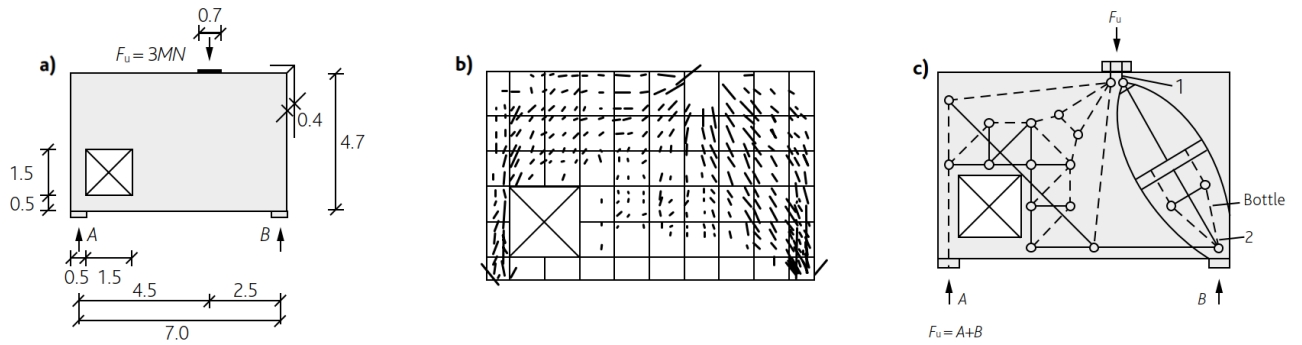
- CCC: uzol, v ktorých sa stykujú iba vzpery
- CCT: uzol, v ktorých sa ťahadlá stykujú len v jednom smere
- CTT: uzol, v ktorých sa ťahadlá stykujú v dvoch rôznych smeroch
- TTT: uzol, v ktorých sa stykujú iba ťahadlá

2.4.4 Tvorba modelu STM

Pri tvorbe STM by umiestnenie vzpier a ťahadiel malo v ideálnom prípade odpovedať toku tlakových a ťahových napätí. Umiestnenie vzpier a väzieb v súlade s tokom napätí zaisťuje bezpečný návrh s minimálnym výskytom trhlin pri prevádzkovom zaťažení.

Princípy, ktoré tvoria základ modelovania vzpier a ťahadiel, zaručujú, že výsledný konštrukčný návrh je konzervatívny (tzn. naklonený k strane väčšej bezpečnosti). Pri návrhu STM sa dodržiavajú zásady, ak (1) model priehradovej konštrukcie je v rovnováhe s vonkajšími silami a (2) betónový prvok má dostatočnú deformačnú kapacitu, aby sa prispôbil predpokladanému rozloženiu síl. Správne ukotvenie výstuže je implicitnou požiadavkou druhej podmienky. Okrem toho, tlakové sily v betóne, ako vyplýva z analýzy, nesmú prekročiť vypočítanú pevnosť betónu a ťahové sily nesmú prekročiť pevnosť betónu, ktorá bola vypočítaná na základe analýzy modelu vzpery a ťahadla. V rámci STM nesmú prekročiť skutočné únosnosti ťahadiel. Ak sú splnené všetky uvedené požiadavky bude výsledkom pri použití postupu STM konzervatívny návrh. [5]

Obrázok číslo 2.13 zobrazuje ideálny postup návrhu tvorby STM stenového nosníku s jedným poľom a otvorom pri ľavej spodnej podpore.

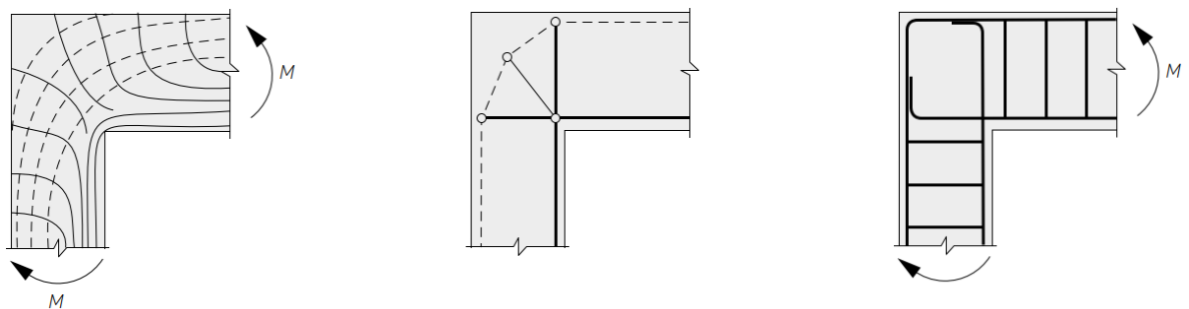


Obrázok číslo 2.13 – postup návrhu stenového nosníku s otvorom od (a) zadania zaťaženia a podpôr cez (b) vykreslenie trajektórií napätia až do (c) finálneho návrhu STM. [8]

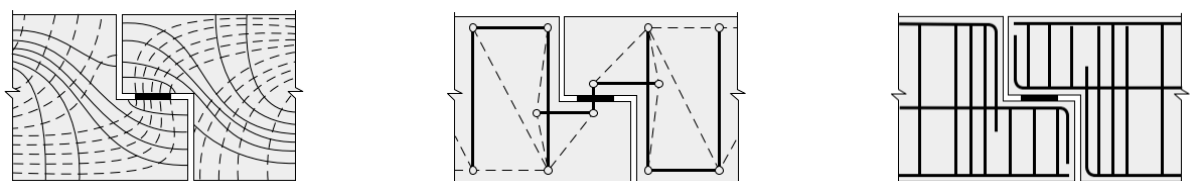
Každý STM sa skladá z troch komponentov: vzpier, ťahadiel a uzlov. Základný STM reprezentujúci tok síl cez jednoducho podopretý nosník je znázornený na obrázku číslo 2.10. Prútové tlakové prvky sa označujú ako vzpery, a ťahové prvky sa označujú ako ťahadlá. Vzpery a ťahadlá sa pretínajú v oblastiach označovaných ako uzly. Vzhľadom na koncentráciu napätí z pretínajúcich sa vzpier a ťahadiel sú uzly najviac namáhanými oblasťami konštrukčného prvku.

Všestrannosť modelovania vzpier a ťahadiel umožňuje použiť tento návrh na akékoľvek D-oblasti a prispôbiť sa rôznym prípadom zaťaženia a mechanizmom prenosu zaťaženia. Táto univerzálnosť sa súčasne považuje za hlavnú výhodu, ako aj hlavnú výzvu aplikácie STM. Flexibilita, s ktorou sa dá modelovanie vzpier a ťahadiel použiť, často vedie k neistotám a nejasnostiam pre projektantov, pretože pre žiadnu konkrétnu konštrukciu neexistuje jeden konkrétne "správny" STM.

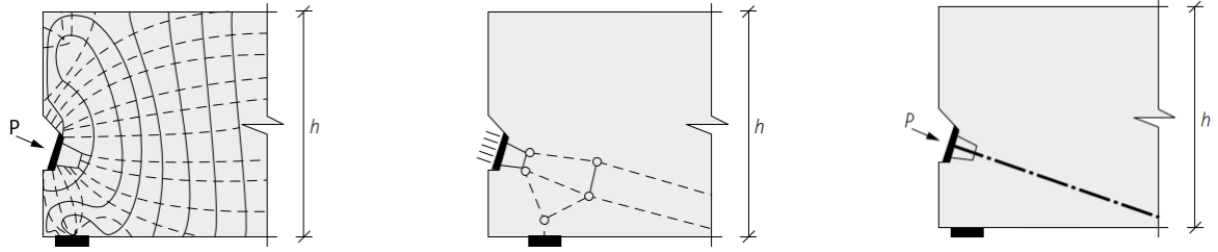
2.4.5 Príklady D-oblastí



Obrázok číslo 2.17 – zadanie – trajektórie napätí – STM zobrazený na rámovom rohu. [8]



Obrázok číslo 2.18 – zadanie – trajektórie napätí – STM zobrazený na ozube dvoch nosníkoch. [8]



Obrázok číslo 2.19 – zadanie – trajektórie napätí – STM zobrazený v mieste kotvenia. [8]

3 ŠPORTOVÁ HALA V ČERNOŠICIACH

3.1 Základné údaje o stavbe

- **Názov stavby:**

Výstavba Športovej haly pri ZŠ Černošice – Mokropsy

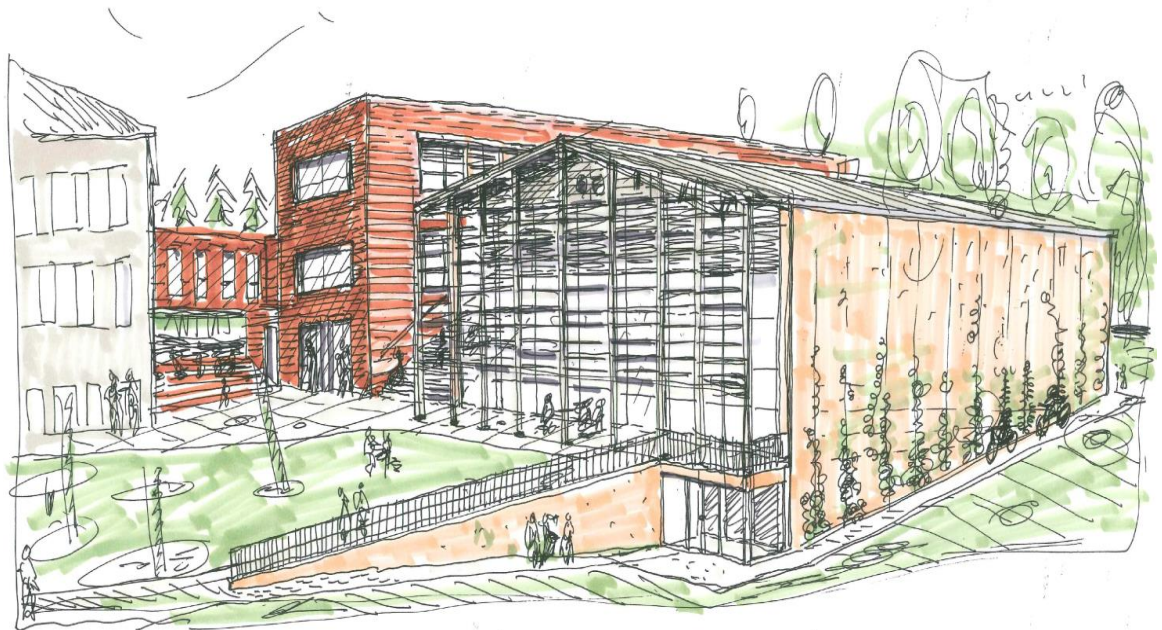
- **Miesto stavby (adresa, čísla popisné, katastrálne územie)**

Adresa: Pod Školou 447, 252 28 Černošice

Obec: Černošice

Okres: Praha – západ

Katastrálne územie: Černošice 620386



Obrázok číslo 3.1 – architektonická vizualizácia danej športovej haly. [9]

- **Popis stavby:**

Jedná sa o výstavbu športovej haly bezprostredne nadväzujúcu na existujúcu budovu školy. Stavba doplní areál troch existujúcich školských budov (základná a stredná škola). S najmladšou budovou školy bude priamo prepojená spoločným 1NP (nadzemným poschodím). Prístup do objektu bude zaistený z priestranstva pred školou, a bezbariérový prístup pomocou chodníku z južnej a zo severnej strany na úrovni športovej plochy. V prípade využívania haly pre potreby školy bude umožnený prístup po vnútornom schodisku z existujúcej školskej budovy.

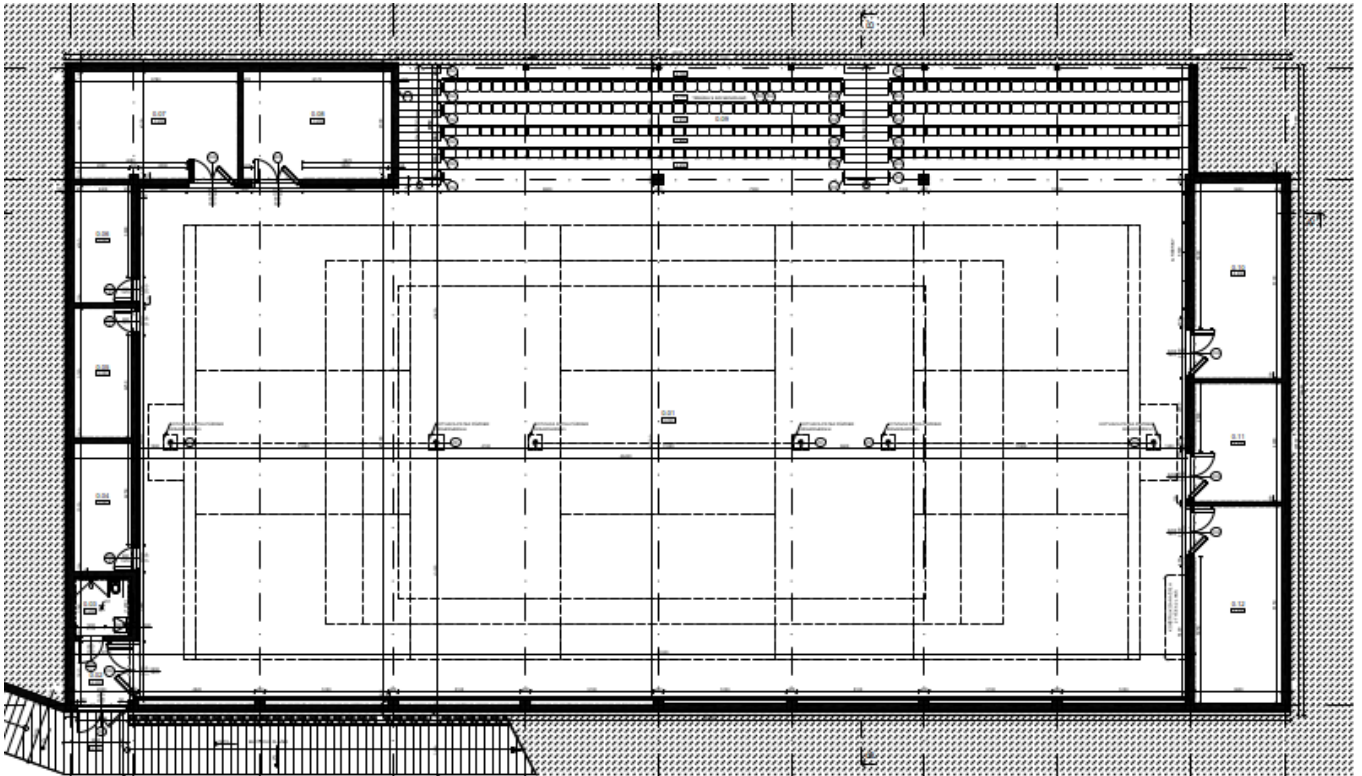
Ide o tvarovo jednoduchý objekt s dvomi nadzemnými a jedným podzemným poschodím. Strecha objektu je rozdelená do dvoch rovnakých častí, takzvaných obrátených sedlových, so sklonom cca. 5% a odvodom dažďovej vody do strešných vpustí. Obvodový plášť je tvorený monolitickými železobetónovými stenami a kontaktným zatepľovacím systémom.

Na západnej strane dominuje hliníková presklená stena krytá žalúziami z perforovaného plechu.

3.2 Geometria konštrukcie

- **Tvar a rozmery konštrukcie:**

Budova športovej haly je koncipovaná ako tvarovo jednoduchá stavba na pôdoryse obdĺžniku o rozmeroch približne 50,8 m x 22,1 m (viď obrázok číslo 3.2). Objekt má jedno podzemné a dve nadzemné poschodia. Podlaha športovej haly sa nachádza na úrovni 1PP.



Obrázok číslo 3.2 – výkres (pôdorys) skladby 1.PP športovej haly v Černošiciach

- **Konštrukčný systém:**

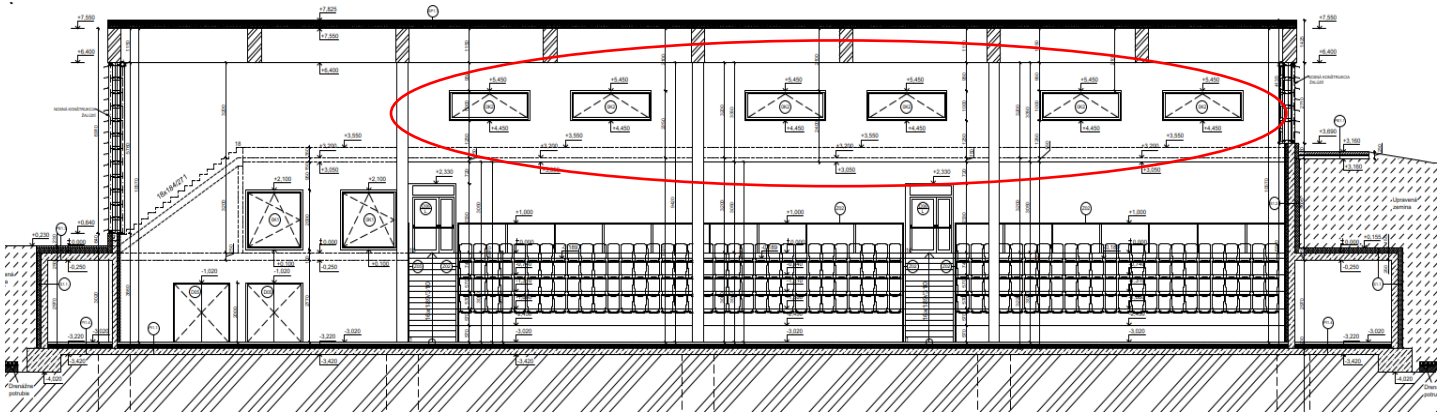
Všetky zvislé konštrukcie sú prevedené z monolitického betónu vrátane stĺpov. Obvodové steny podzemných priestorov prístavkov majú vo svojej západnej časti hrúbku 200 mm a vo východnej 300 mm. Ich vnútorné rebrá tvorené betónovými stenami majú hrúbku 200 mm.

Hrúbka pozdĺžnej obvodovej steny na južnej časti objektu sa postupne od západu smerom na východ zväčšuje. Zmena hrúbky steny korešponduje s výškou spätného zásypu. Počiatočná hrúbka steny začína na 200 mm a končí na 400 mm. Vnútorné rebrá danej steny majú rozmer 400 na 600 mm.

Vodorovné konštrukcie, či už sa jedná o stropy priestorovo tuhých krabíc prístavkov alebo konštrukcie dokončujúce súčasný koridor pri existujúcej budove školy, sú navrhnuté ako monolitické železobetónové. Prístupové schodisko na koridor je navrhnuté ako zalomená doska hrúbky 200 mm.

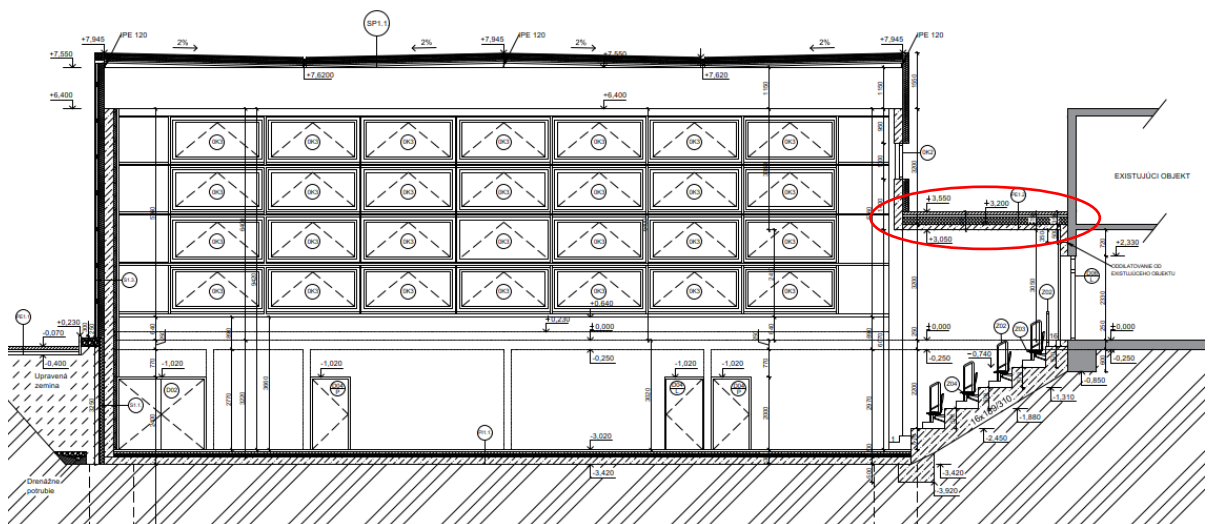
- **Základové konštrukcie:**

Objekt športovej haly je založený na kruhových pilotách dlhých 7,6 m a priemeru 1,2 m. V priestore športovej haly je prevedená priemyslová podlaha hrúbky 200 mm z betónu vystuženého oceľovými vláknami. Hydroizolačné súvrstvia sú vedené na podkladovom betóne. Všetky základové konštrukcie boli zhutnené a spracované podľa príslušných ČSN.



Obrázok číslo 3.3 – komplexný pozdĺžny rez športovou halou v Černošiciach

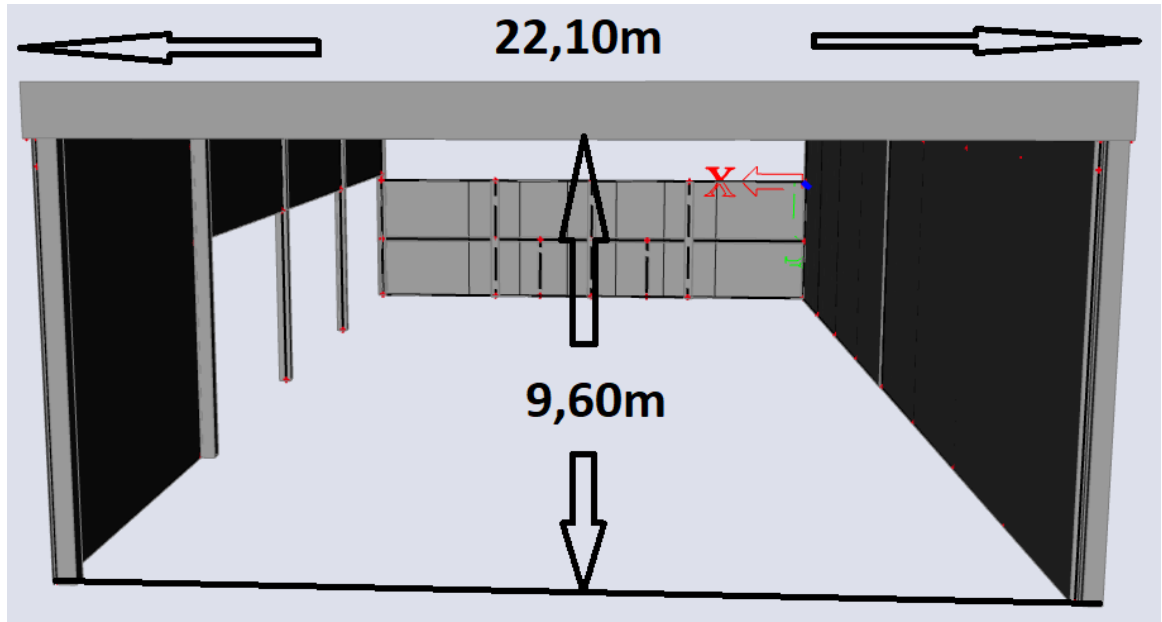
Na obrázku číslo 3.3 je pozdĺžny rez danej haly, na ktorom je zobrazený riešený stenový nosník s otvormi, umiestnený nad tribúnou (vyznačený červeno). Nosník je pravidelne zaťažovaný strešnými trámami, skladbou strechy a príslušným úžitkovým zaťažením. Ďalej je vidno, že východná a západná časť objektu (náradovne, sklady, kabinety, atď.) je zapustená pod úroveň terénu.



Obrázok číslo 3.4 – komplexný priečny rez športovou halou v Černošiciach

Na priečnom reze danej haly (viď obrázok číslo 3.4) je vidno už spomínaná hliníková presklená stena krytá žalúziami z perforovaného plechu. Ďalej, takisto je vidieť napojenie na existujúci objekt, ktorý sa nachádza za tribúnou športovej haly, prevedenie príslušnej dilatácie a umiestnenie koridoru nad tribúnou (vznačené červeno).

Taktiež ďalej bol vytvorený 3D model športovej haly v programe SCIA Engineer 22. Daný model bol vytvorený k pozorovaniu a overovaniu ručného výpočtu na jednotlivých prvkoch. Obrázok číslo 3.5 slúži k zobrazeniu rozpätia (22,10 m) navrhnutého strešného trámu a svetlej výšky (9,60 m) športovej haly.



Obrázok číslo 3.5 – 3D model športovej haly v SCIA Engineer 22

4 ANALÝZA VYBRANÉHO STENOVÉHO NOSNÍKU BEZ OTVOROV

4.1 Popis riešenej problematiky

Jedná sa o tvarovo jednoduchý, symetrický stenový nosník s tromi poľami podopretý štyrmi priebežnými stĺpmi pravidelne osovo vzdialených. Nosník je zabudovaný v rámci zvolenej športovej haly nad tribúnou, kvôli dosiahnutiu čo najväčšej novej dispozície pre vybudovanie už zmienenej tribúny a priestorov pre športovú plochu.

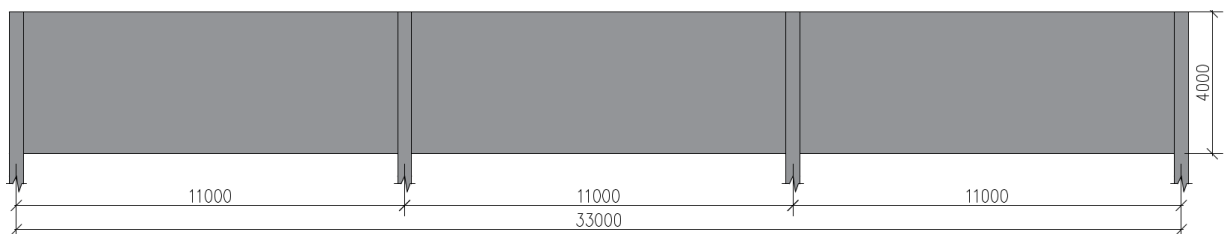
Tento stavebný prvok je v hornej časti pravidelne zaťažovaný osamelými bremenami, ktoré predstavujú zaťažovaciu silu od strešných trávov a konštrukcie strešného plášťa. Ďalej taktiež naň v spodnej časti pôsobí rovnomerné spojité zaťaženie od stropnej dosky a jej skladby, ktorá je k tomuto prvku pripojená.

Rozmery jednotlivých prvkov, ktoré sú uvažované, boli stanovené v rámci predmetu Projekt 2, ktorý sa uskutočnil v zimnom semestri tohto školského roku 2022/2023. Pôvodne je tento riešený nosník uvažovaný s otvormi, ale keďže sa jedná o moju prvú prácu so stenovým nosníkom a modelovaním Strut and Tie modelov, rozhodol som sa najskôr postupovať so zanedbaním tohto faktu, pre získanie základných skúseností a overenie ručného výpočtu, a následne ich aplikáciu už na pôvodne uvažovaný spojité stenový nosník s otvormi (viď kapitola číslo 5).

- Stĺpy: 400 x 400 mm
- Stenový nosník hrúbky 250 mm

Materiálové charakteristiky:

- Betón: C30/37
- Oceľ: B500B



Obrázok číslo 4.1 – schéma riešeného spojitého stenového nosníku s tromi poľami

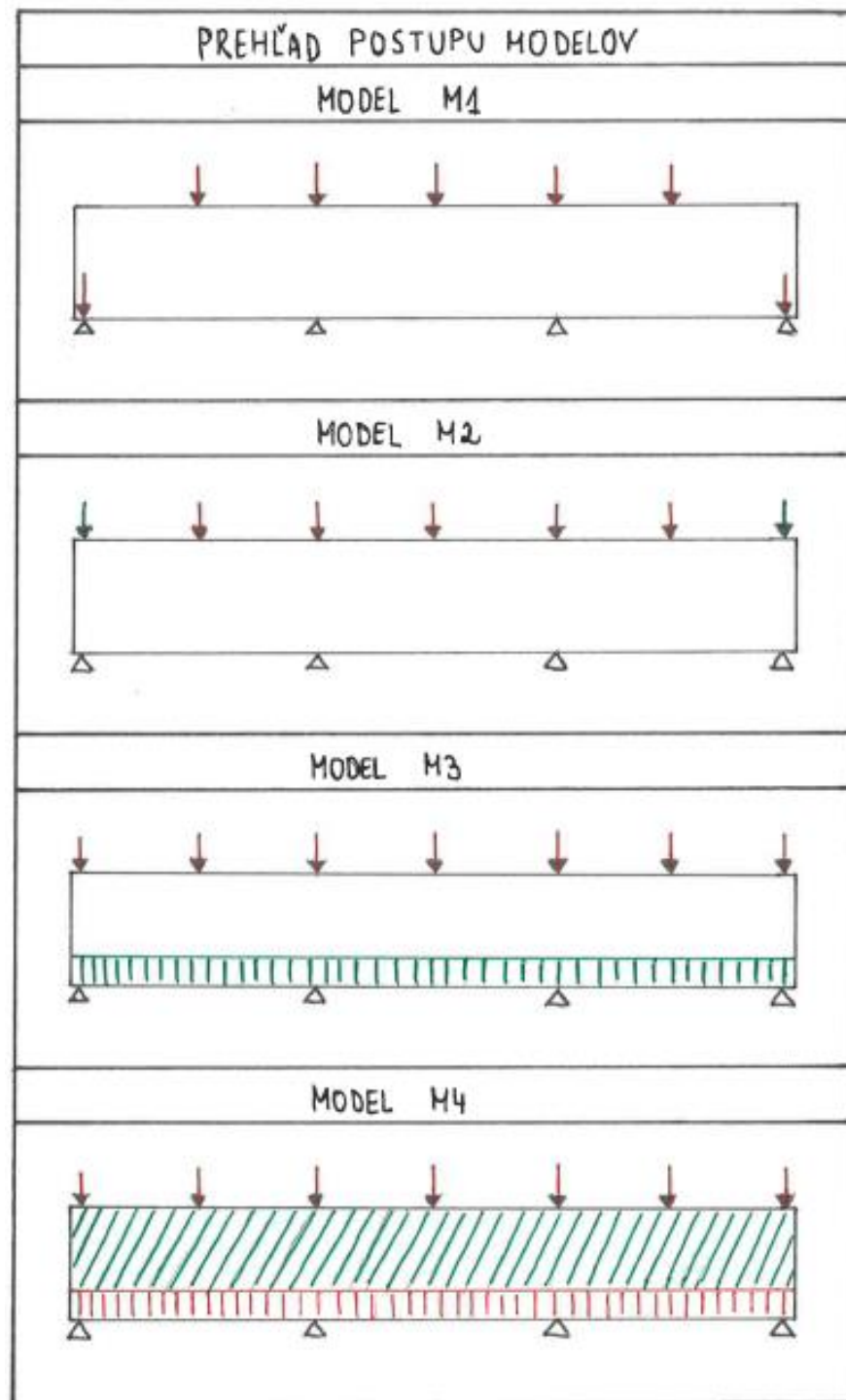
4.1.1 Postup analýzy spojitého stenového nosníku

Keďže sa jedná o spojité stenový nosník o troch poliach, tak celý tento prvok je považovaný za D-oblasť (oblasť diskontinuity).

Postup riešenia daného spojitého nosníku bol zvolený na základe doterajších poznatkov o tejto problematike. Postup vychádza od najzákladnejších možných úvah až po postupné pridávanie ďalších premenných, a získavanie tak predstavy o správaní sa daného prvku pomocou dvoch hlavných prístupových metód, a to sú:

- numerická metóda založená na nelineárnej analýze – metóda konečných prvkov
- metóda prihradovej analógie = Strut and Tie Method

Prehľad postupu a tvorby jednotlivých modelov M1 – M4, ktoré sú bližšie popísané v nasledujúcej kapitole 4.2, je zobrazený na obrázku číslo 4.2. Červenou farbou sú znázornené zaťaženia prebrané z predchádzajúceho modelu bez zmeny, zatiaľ čo zelenou farbou sú zvýraznené novo pridané alebo premiestnené zaťaženia oproti predchádzajúcemu modelu.



Obrázok číslo 4.2 – prehľad postupu tvorby modelov M1 – M4

4.2 Metóda konečných prvkov

4.2.1 Stanovenie priebehu ťahových a tlakových napätí

Skôr než bola navrhnutá možná podoba Strut and Tie modelu (modelu náhradnej priehradoviny) bolo vhodné si zistiť trajektórie ťahových a tlakových napätí na danom stenovom nosníku, podľa ktorých následne je možné odvodiť tvar modelu náhradnej priehradoviny. Je to vhodné nielen pre jeho tvorbu, ale taktiež aj pre kontrolu.

Je množstvo spôsobov a prístupov ako stanoviť ťahové a tlakové napätia, či už inžinierskym odhadom, ručným výpočtom alebo pomocou programov. Keďže sa jedná o tvarovo jednoduchý, symetrický stenový nosník, tak boli zvolené viaceré postupy.

Najskôr to bol ručný odhad trajektórií napätí a následne kontrola s využitím programov „SCIA Engineer 22“ a „IDEA StatiCa“, kde bol daný stenový nosník vymodelovaný a zaťažený príslušnými silami. Ako bolo už spomenuté, postup vychádza od najzákladnejších možných úvah, a preto boli vytvorené 4 rôzne modely od najjednoduchšieho po najzložitejší.

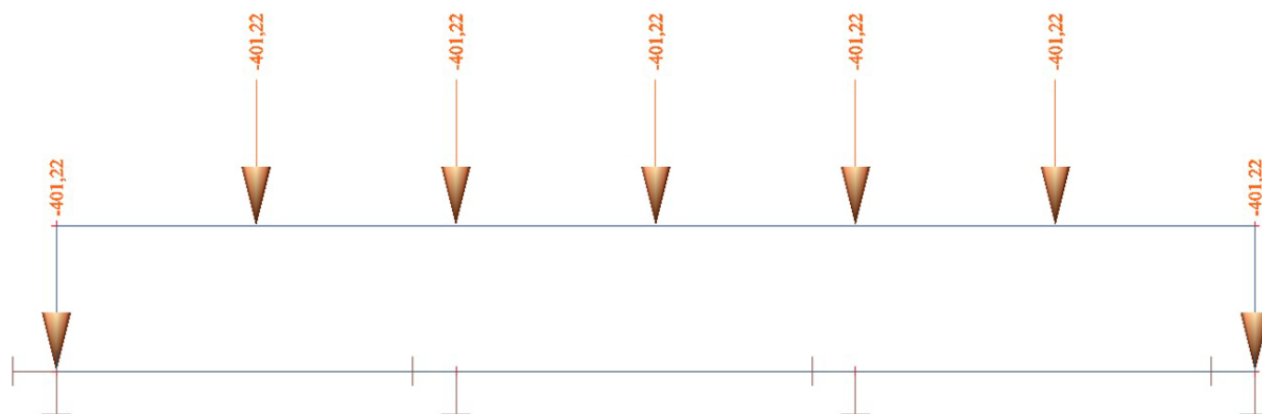
4.2.2 Model M1

Jedná sa o najjednoduchší z modelov s uvažovaním všetkých podpôr ako kĺbových neposuvných a automatickým prevzatím dvojice krajných síl, do príslušných podpôr bez vzniku dvojice krajných vzpier, a bez uvažovania vlastnej tiaže (viď obrázok číslo 4.3).

Jednotlivé zaťaženia v nasledujúcej tabuľke (tabuľka číslo 1) boli stanovené taktiež v rámci predmetu Projekt 2.

TYP ZAŤAŽENIA:	CHAR. ZAŤ. [kN/m']	CHAR. ZAŤ. [kN]	γ [-]	NÁVRH. ZAŤ. [kN/m']	NÁVRH. ZAŤ. [kN]
STÁLÉ					
Strešný trám	14,38	155,97	1,35	19,41	210,56
Strešný plášť	3,85	41,77	1,35	5,20	56,39
CELKOM				24,61	266,95
UŽITNÉ					
Sneh	8,25	89,51	1,50	12,38	134,27
CELKOM				12,38	134,27
SPOLU				36,99	401,22

Tabuľka číslo 1 – prehľad zaťažení pôsobiacich na „hornom líci“ stenového nosníku

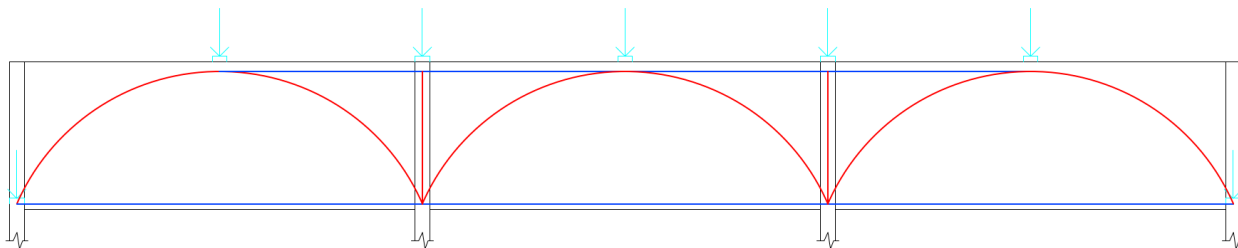


Obrázok číslo 4.3 – výpočtový model M1 v programe SCIA Engineer 22

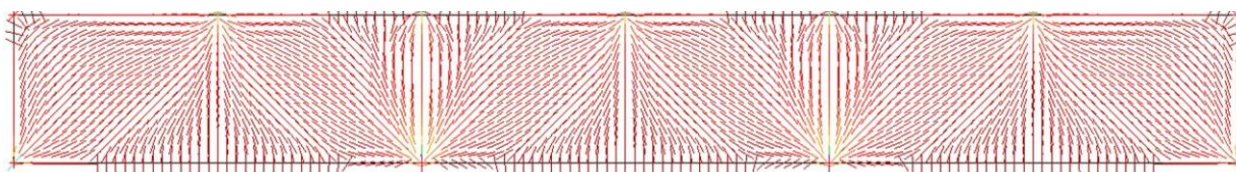
Ako už bolo spomenuté, pre každý model bol vytvorený odhad trajektórií napätia (obrázok číslo 4.4) a následne porovnanie s dvomi počítačovými programami SCIA Engineer 22 (obrázok číslo 4.5 a 4.6) a IDEA StatiCa (obrázok číslo 4.7). Hlavný rozdiel medzi týmito programami je, že program IDEA StatiCa nevykresľuje nulové hodnoty jednotlivých napätí, tak ako to robí program SCIA Engineer 22.

Pre každý z nasledujúcich obrázkov platí:

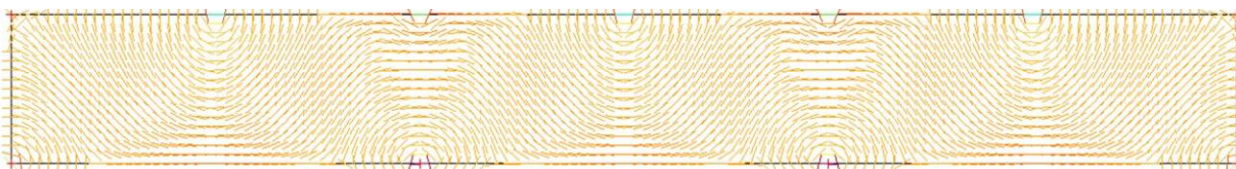
- červená farba znázorňuje predpokladanú trajektóriu tlakových napätí
- modrá farba znázorňuje predpokladanú trajektóriu ťahových napätí



Obrázok číslo 4.4 – odhadovaný priebeh trajektórií ťahového a tlakového napätia pre model M1



Obrázok číslo 4.5 – trajektórie tlakových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre model M1



Obrázok číslo 4.6 – trajektórie ťahových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre model M1



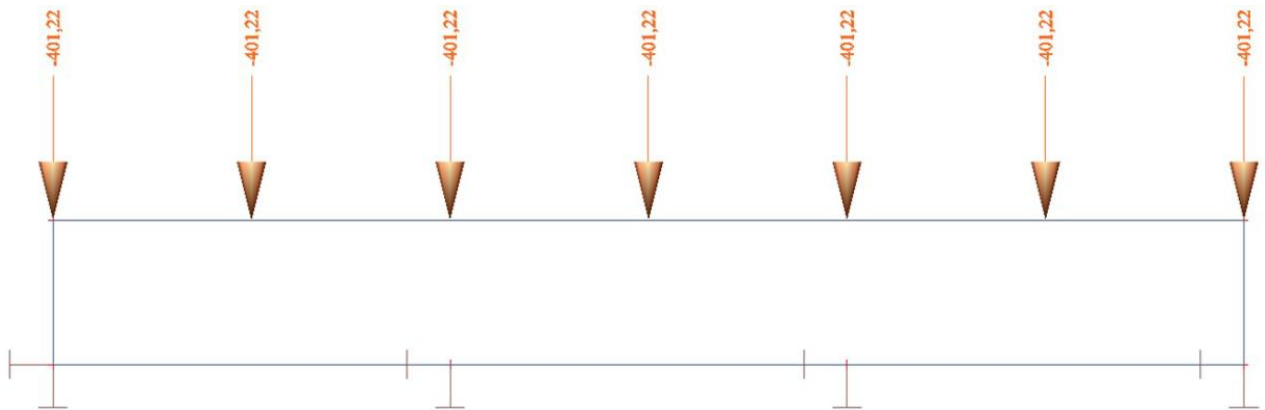
Obrázok číslo 4.7 – trajektórie tlakových a ťahových napätí z programu IDEA StatiCa pre model M1

Predpokladané priebehy napätí sa približne zhodujú s trajektóriami získanými z programov a tak ho môžeme označiť za správny.

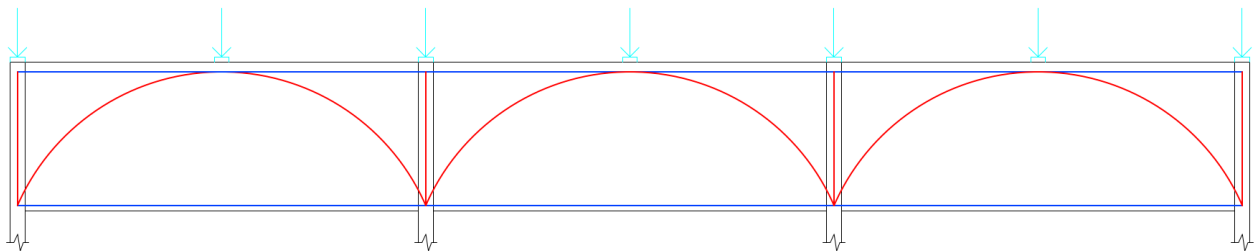
4.2.3 Model M2

Model M2 sa líši od predchádzajúceho modelu len minimálne. Jedná sa o zmenu dvojice krajných síl, ktoré už nie sú automaticky prevzaté do podpôr bez vytvorenia krajných vzpier. Ostatné predpoklady zostávajú rovnaké (viď kapitolu 4.2.2 Model M1).

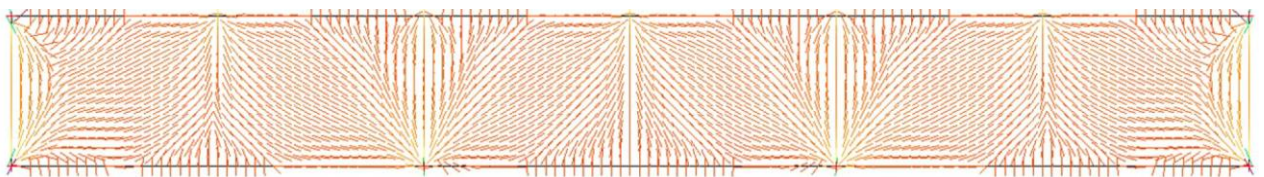
Jednotlivé zaťaženia, viď Tabuľka číslo 1.



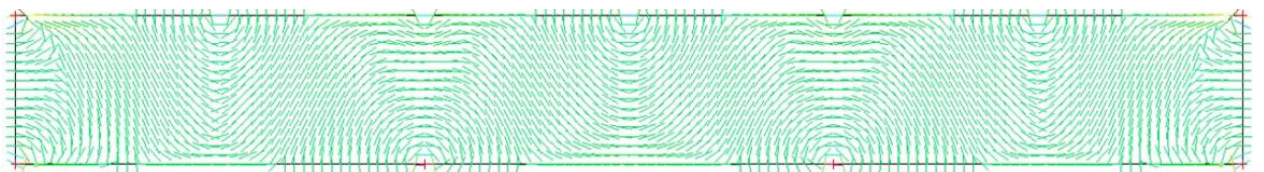
Obrázok číslo 4.8 – výpočtový model M2 v programe SCIA Engineer 22



Obrázok číslo 4.9 – odhadovaný priebeh trajektórií ťahového a tlakového napätia pre model M2



Obrázok číslo 4.10 – trajektórie tlakových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre model M2



Obrázok číslo 4.11 – trajektórie ťahových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre model M2



Obrázok číslo 4.12 – trajektórie tlakových a ťahových napätí z programu IDEA StatiCa pre model M2

Premiestnením krajných síl z podpory na ich pôvodné miesto (horná časť stenového nosníku) som si overil, že očakávaný predpoklad z Modelu M1 je správny. Síce vznikli dve nové vzpery, ale pôsobia priamo do podpôr.

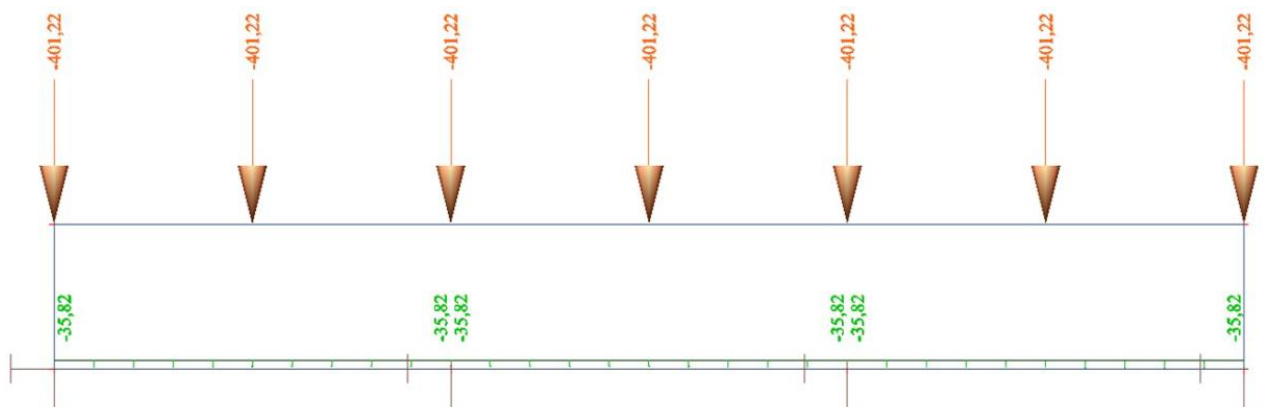
4.2.4 Model M3

Model M3 bol na rozdiel od predchádzajúcich modelov doplnený o zaťaženie stropnej dosky koridoru (viď Tabuľka číslo 2), ktorá doteraz nebola braná do úvahy. S touto zmenou došlo aj k výraznej zmene trajektórií jednotlivých napätí. Ostatné predpoklady zostali rovnaké (viď kapitolu 4.2.3 Model M2).

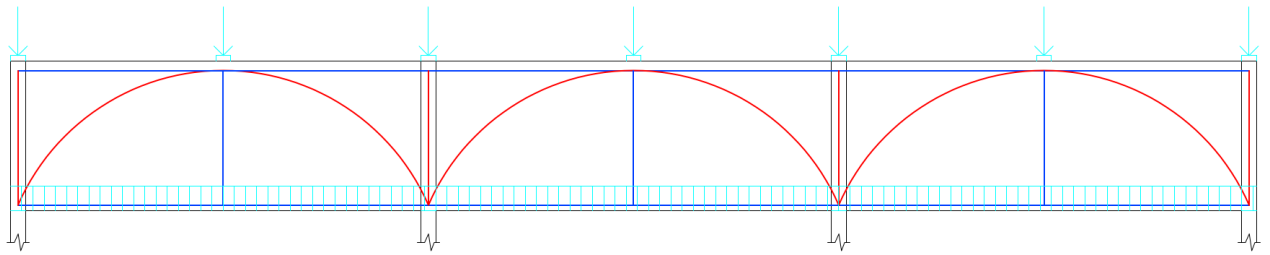
Jednotlivé zaťaženia pre modely M1 a M2, viď Tabuľka číslo 1.

TYP ZAŤAŽENIA:	CHAR. ZAŤ. [kN/m']	γ [-]	NÁVRH. ZAŤ. [kN/m']
STÁLÉ			
Doska koridor	8,81	1,35	11,90
Skladba	2,99	1,35	4,04
CELKOM			15,94
UŽITNÉ			
Sneh	8,25	1,50	12,38
Ľudia	5,00	1,50	7,50
CELKOM			19,88
SPOLU			35,82

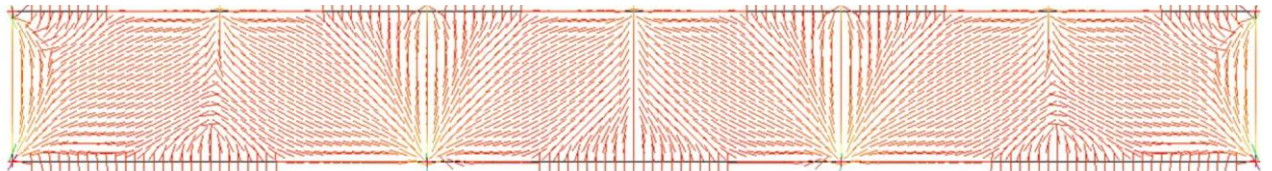
Tabuľka číslo 2 – prehľad zaťažení pôsobiacich na „dolnom líci“ stenového nosníku



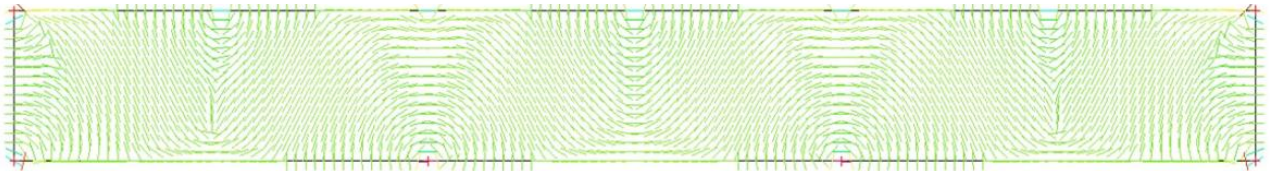
Obrázok číslo 4.13 – výpočtový model M3 v programe SCIA Engineer 22



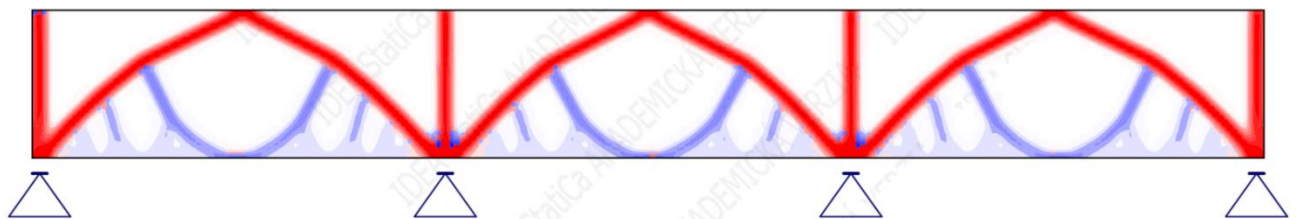
Obrázok číslo 4.14 – odhadovaný priebeh trajektórií ťahového a tlakového napätia pre model M3



Obrázok číslo 4.15 – trajektórie tlakových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre model M3



Obrázok číslo 4.16 – trajektórie ťahových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre model M3



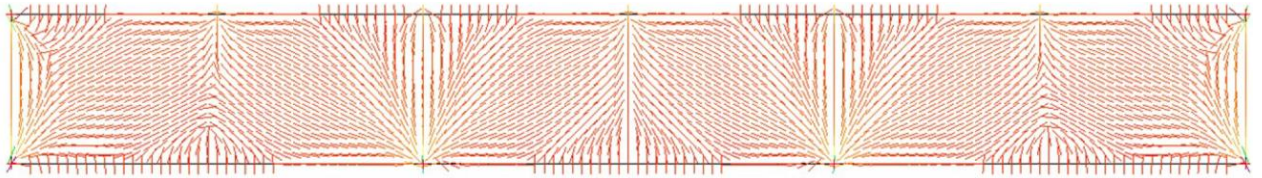
Obrázok číslo 4.17 – trajektórie tlakových a ťahových napätí z programu IDEA StatiCa pre model M3

4.2.5 Model M4

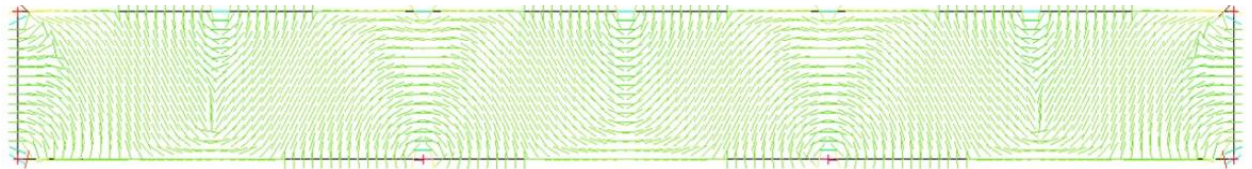
Model M4 sa dá považovať oproti predchádzajúcim za najviac odpovedajúci model skutočnosti, pretože v danom modele je braná v úvahe aj vlastná tiaž spojitého nosníku. Vlastná tiaž môže významne ovplyvniť priebehy jednotlivých napätí.

Jednotlivé zaťaženia modelov M1 – 3, vid' Tabuľku číslo 1 a Tabuľku číslo 2.

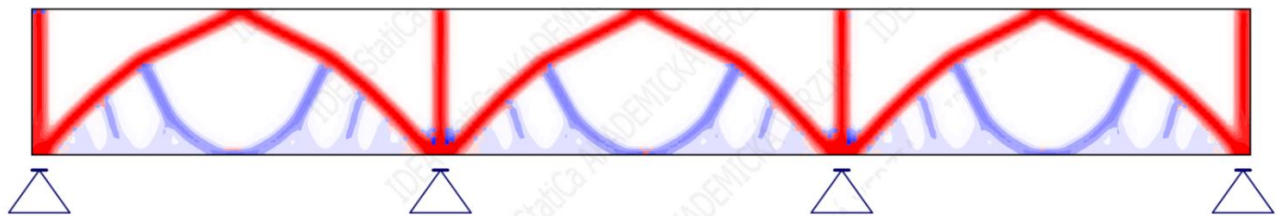
Výpočtový model z programu SCIA Engineer 22 je zhodný ako pre model M3 (vid' obrázok číslo 4.13), len doplnený o vlastnú tiaž. Taktiež ručný odhadovaný priebeh napätí je rovnaký s modelom M3 (vid' obrázok číslo 4.14).



Obrázok číslo 4.18 – trajektórie tlakových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre model M3



Obrázok číslo 4.19 – trajektórie ťahových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre model M3



Obrázok číslo 4.20 – trajektórie tlakových a ťahových napätí z programu IDEA StatiCa pre model M3

Na prvý pohľad sa zdá, že rozdiely v trajektóriách napätí medzi modelmi M3 a M4 vôbec nie sú. Je to z dôvodu, že sa jedná o pomerne malú hodnotu vlastnej tiaže, ktorá výrazne nezmenila ich priebeh, ale zmenila hodnoty napätí, ktoré sú dôležité pre výpočet.

4.3 Porovnanie a vyhodnotenie Modelov M1 – M4 pre MKP

Postupným pridávaním jednotlivých zaťažení a zmenou ich polohy môžeme konštatovať, že zmeny trajektórií jednotlivých napätí neboli až tak výrazné. Prvé výraznejšie odlišnosti nastali až pri modeli M3. Jedná sa o výraznejšie ťahové namáhanie, ktoré bolo spôsobené pridaním líniového zaťaženia od stropnej dosky koridoru a jej skladby (viď Tabuľka číslo 2).

Čo sa týka zmien u vzpier, tak tie boli najviac výrazné iba zmenou polohy dvoch krajných zaťažení (z modelu M1 na model M2) a to viedlo k vzniku dvoch „nových“ vzpier.

Ako už bolo spomenuté, model M4 sa dá považovať za najviac odpovedajúci skutočnému priebehu jednotlivých napätí a takisto aj chovaniu. Podrobný postup s ručným výpočtom a popisom jednotlivých krokov pre modely M1 – M4 je súčasťou Prílohy číslo 1.

4.4 Tvorba priehradového modelu – STM

Napätie alebo vnútorné sily v konštrukcii môžu byť znázornené vo forme trajektorií hlavných napätí. Toky síl smerujúce od zaťaženého okraja konštrukcie k podpore sú účinným nástrojom pre porozumenie chovania konštrukcie. Pokiaľ poznáme takéto toky alebo trajektórie napätí, môžeme ich lokalizovať a napriamiť vo forme tlačných a ťahaných prvkov priehradového modelu. Hovorí sa im modely strut-and-tie (modely vzpera - ťahadlo).

Modelovanie železobetónových konštrukcií pomocou priehradových analogických modelov má širšie použitie ako len v poruchových oblastiach. Tradične sú tieto modely používané k výpočtu konštrukcií a rovinných prvkov zaťažených vo vlastnej rovine a hlavne v takých oblastiach, pri ktorých neplatia jednoduché geometrické predpoklady pre stanovenie deformácií.

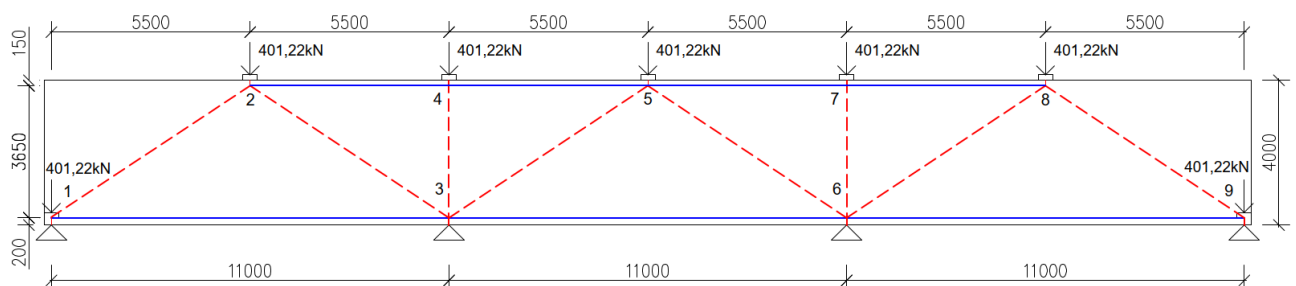
4.4.1 STM pre Model M1

Na základe výsledkov a porovnaní trajektorií tlakových a ťahových napätí bola vytvorená podoba STM. Keďže STM sa skladá z uzlov, ktoré sú spájané buď vzperami, ťahadlami alebo ich kombináciou, tak bolo nutné stanoviť ich jednotlivé polohy.

Ďalším dôležitým kritériom pre STM je, že všetky zaťaženia (či už sa jedná o bodové alebo líniové) môžu byť umiestnené, resp. sústredené len do uzlu daného modelu.

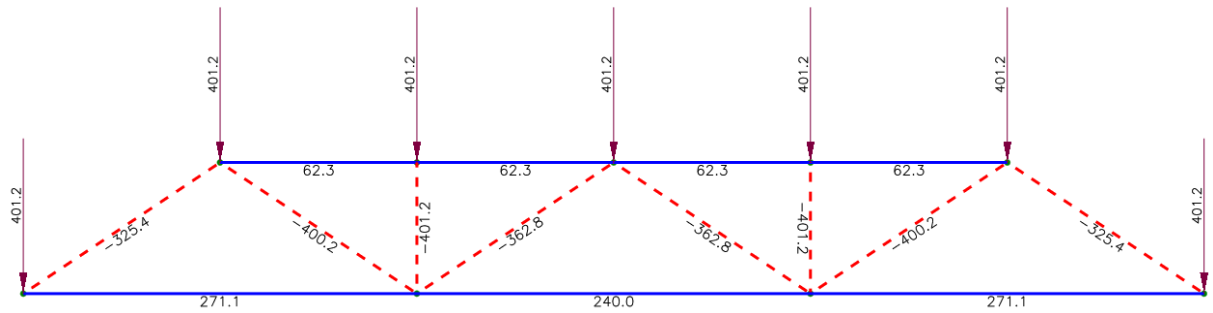
Šírky horných a dolných ťahadiel boli zvolené na základe výpočtu (viď Príloha číslo 1) a to na nasledujúce hodnoty (pre všetky modely rovnaké):

- Šírka horného ťahadla = 300 mm
- Šírka dolného ťahadla = 400 mm



Obrázok číslo 4.21 – navrhnutý STM pre Model M1

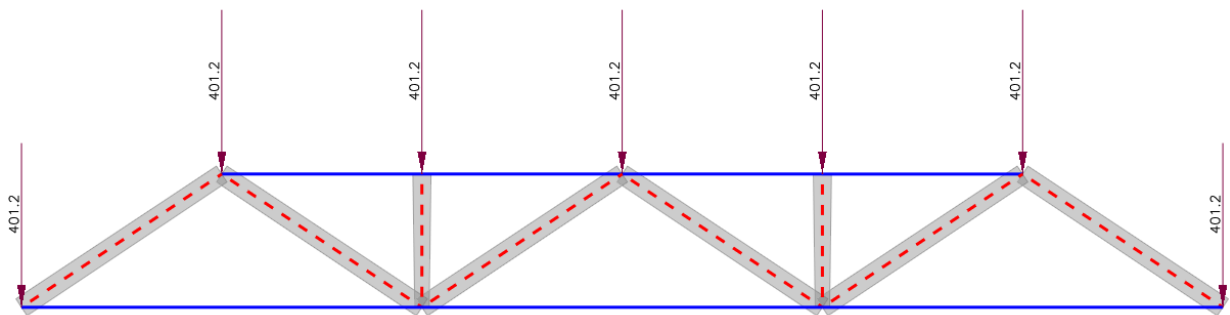
STM pre Model M1 pozostáva z deviatich uzlov, ôsmich vzpier a siedmych ťahadiel. Popri ručnom výpočte bol na overenie použitý program „AStrutTie 2017“, pomocou ktorého boli overené nielen prúťové sily, ale aj jednotlivé maximálne šírky vzpier, napätia v uzloch a ich daná kapacita.



Obrázok číslo 4.22 – STM pre Model M1

Hodnoty prútových síl, vzpier a ťahadiel, sa s ručným výpočtom líšili minimálne. Keďže sa jedná o pravidelne symetrický STM, ručný výpočet bol vždy uskutočnený na polovici modelu (platí pre každý z modelov).

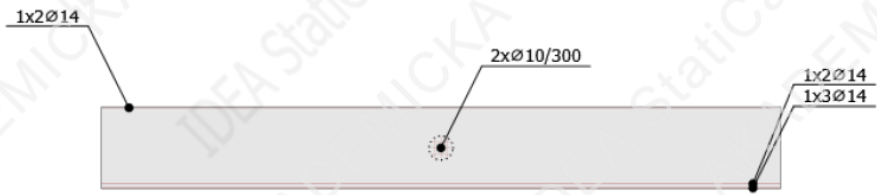
Po stanovení prútových síl nasledovalo určenie maximálnej možnej šírky jednotlivých vzpier.



Obrázok číslo 4.23 – schéma šírky vzpier v rámci STM pre Model M1

V danom modele boli splnené predpoklady týkajúce sa maximálneho napätia v uzloch a ich kapacity. Taktiež bola navrhnutá výstuž jednotlivých ťahadiel, jej zakotvenie, spolu s konštrukčnou výstužou, ktorá je zobrazená na obrázku číslo 4.24.

Taktiež súčasťou obrázku číslo 4.24 je aj zhrnutie výsledkov MSÚ (medzný stav únosnosti) a MSP (medzný stav použiteľnosti) formou tabuľky vytvorenej v programe IDEA StatiCa.



Betón: C30/37; Oceľ : B 500B

Výsledky

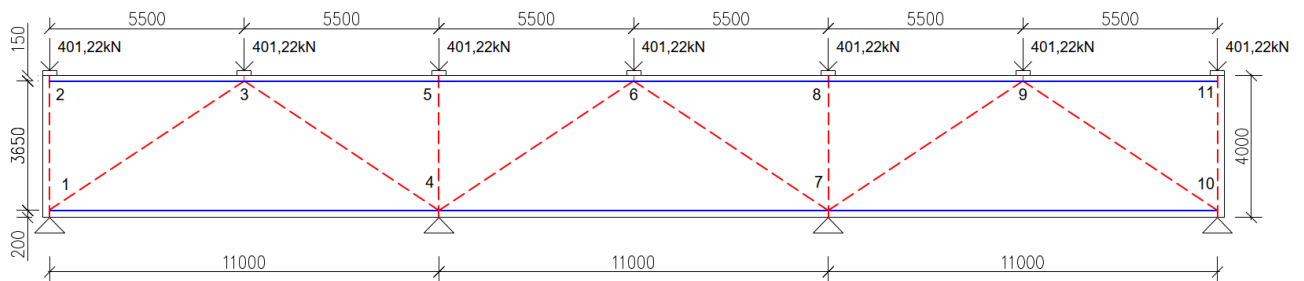
Zhrnutie

Celková tabuľka

Položka posudku	Kombinácie	Prírastok	Položka			
MSÚ	LC1	100,0%	Pevnosť výztuže	✓		
Položka posudku	Položka	Využití				
Pevnosť betonu	W1	$\sigma_c/\sigma_{c,lim}$: 42,0%				
Pevnosť výztuže	WF1	$\epsilon_s/\epsilon_{s,lim}$: 1,9%, $\sigma_s/\sigma_{s,lim}$: 30,4%				
Kotevná dĺžka	WF1	tb/fbd: 99,8%				
MSP	C2 (ST)	G100,0%	Obmedzenia napätia	✓		
Položka posudku	Kombinácie	Prírastok	Kritický posudek	Položka	Využití	
Obmedzenia napätia	C2 (ST)	G100,0%	7.2(2)	W1	50,6%	✓

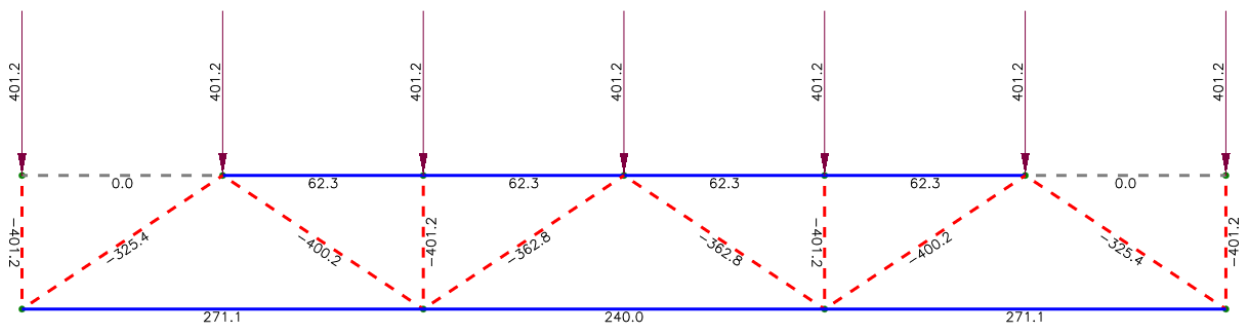
Obrázok číslo 4.24 – schéma vystuženia a zhrnutie výsledkov MSÚ, MSP pre Model M1

4.4.2 STM pre Model M2



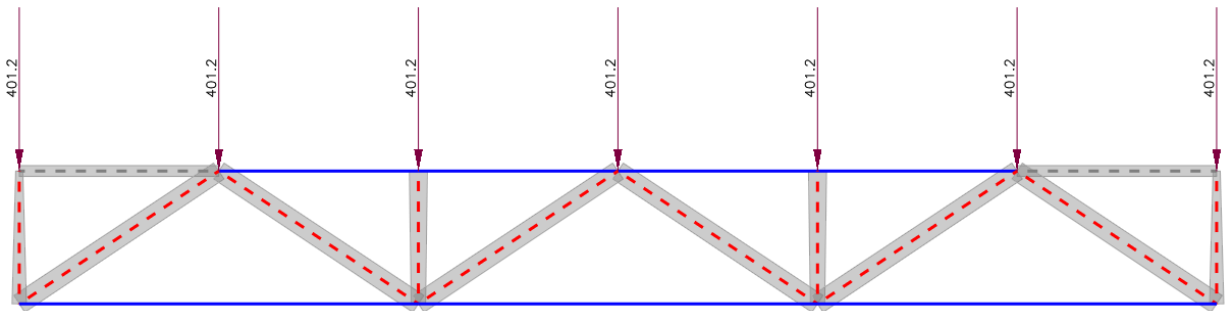
Obrázok číslo 4.25 – navrhnutý STM pre Model M2

STM pre Model M2 pozostáva z jedenástich uzlov, desiatich vzpier a siedmich ťahadiel (ťahadlá T2-3 a T9-11 sa nezapočítavajú). Síce ťahadlá medzi uzlami 2-3 a 9-11 boli namodelované, ale predpokladalo sa s ich nulovou hodnotou, kvôli priamemu preneseniu zaťaženia do podpory.



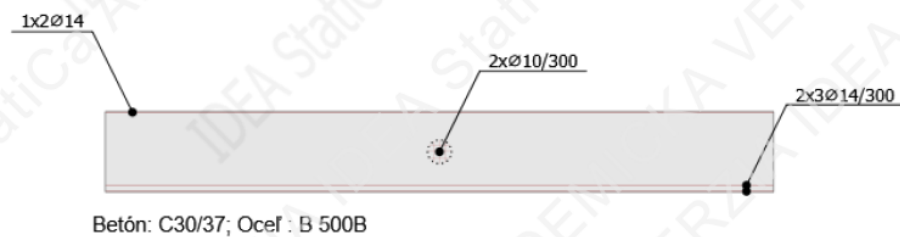
Obrázok číslo 4.26 – STM pre Model M2

Prúťové sily z modelu M2 sú zhodné s predchádzajúcim modelom M1. Môžeme konštatovať, že úvaha prenesenia síl priamo do podpory bola správna a nemá vplyv na ostatné sily v prútoch. Jedinou zmenou oproti modelu M1 sú tvary uzlov 1 a 10, z ktorých sa stali uzly CCT.



Obrázok číslo 4.27 – schéma šírky vzpier v rámci STM pre Model M2

Výstuž pre model M2, ktorá je zobrazená na obrázku číslo 4.28 sa líši oproti predchádzajúcemu vystuženiu modelu M1 v pridaní jedného prútu profilu 14 mm na spodnej hrane stenového nosníku. Pretože žiadne nové zaťaženie nebolo pridané, len sa zmenila poloha dvoch krajných zaťažovacích síl, tak z tohto dôvodu sa aj znížila hodnota využitia z 50,6% na 47,3%.



Výsledky

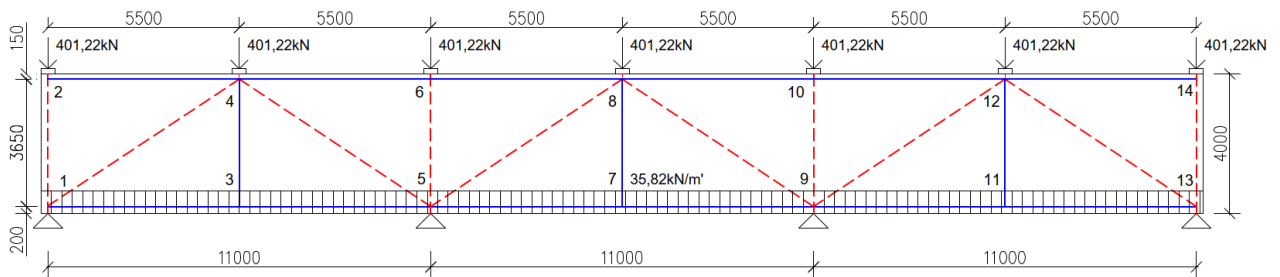
Zhrnutie

Celková tabuľka

Položka posudku	Kombinácie	Prírastok	Položka			
MSÚ	LC1	100,0%	Pevnosť výztuže	✓		
Položka posudku	Položka	Využití				
Pevnosť betonu	W1	$\sigma_c/\sigma_{c,lim}$: 40,8%		✓		
Pevnosť výztuže	WF1	$\epsilon_s/\epsilon_{s,lim}$: 0,7%, $\sigma_s/\sigma_{s,lim}$: 25,0%		✓		
Kotevná dĺžka	WF1	t_b/f_{bd} : 77,3%		✓		
MSP	C2 (ST)	G100,0%	Obmedzenia napätia	✓		
Položka posudku	Kombinácie	Prírastok	Kritický posudek	Položka	Využití	
Obmedzenia napätia	C2 (ST)	G100,0%	7.2(2)	W1	47,3%	✓

Obrázok číslo 4.28 – schéma vystuženia a zhrnutie výsledkov MSÚ, MSP pre Model M2

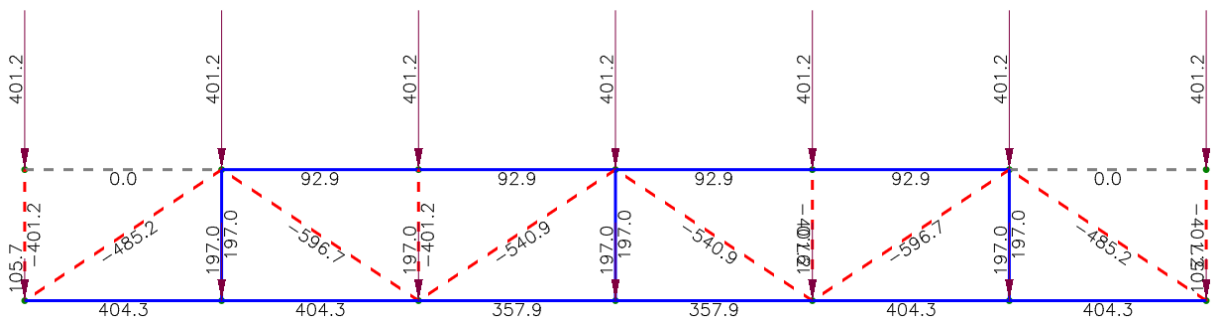
4.4.3 STM pre Model M3



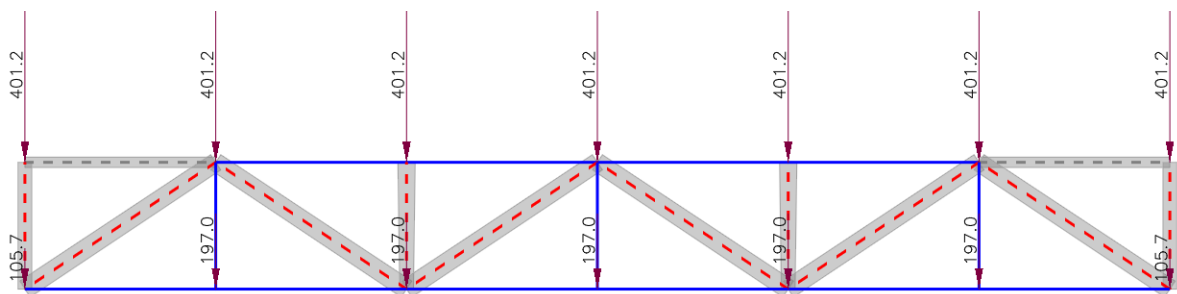
Obrázok číslo 4.29 – navrhnutý STM pre Model M3

STM pre Model M3 pozostáva z trinástich uzlov, desiatich vzpier a trinástich ťahadiel (ťahadlá T2-4 a T12-14 sa nezapočítavajú). Taktiež ako pri predchádzajúcom modeli, ťahadlá medzi uzlami 2-4 a 12-14 boli namodelované, ale predpokladalo sa s ich nulovou hodnotou, kvôli priamemu preneseniu zaťaženia do podpory.

Model M3 sa od predchádzajúcich modelov výrazne líši pridaním líniového zaťaženia formou bodových síl do všetkých nepárnych uzlov na spodnom líci nosníku. Toto líniové zaťaženie bolo prepočítané na bodové pomocou príslušnej zaťažovacej šírky.

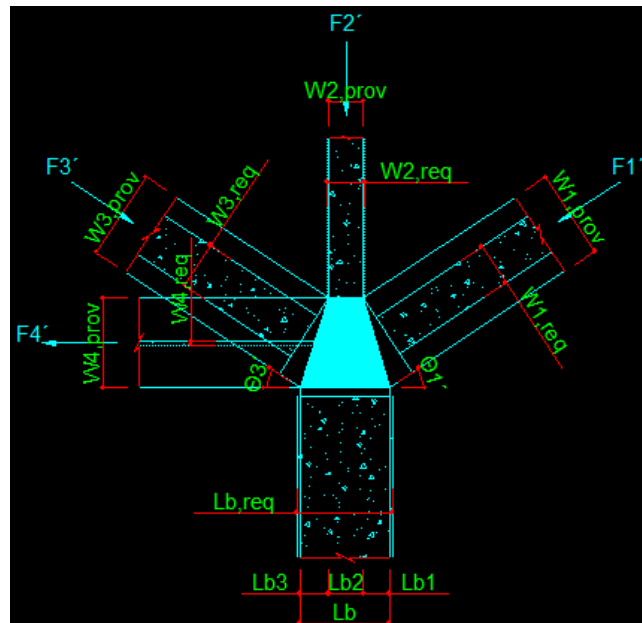


Obrázok číslo 4.30 – STM pre Model M3



Obrázok číslo 4.31 – schéma šírky vzpier v rámci STM pre Model M3

V tomto modeli došlo po prvýkrát pri overovaní s ručným výpočtom k nevyhovujúcim hodnotám kapacity uzlov a požadovanej šírky vzpier. Jedná sa konkrétne o uzly 5 a 9, a vzpery medzi uzlami 5-6 a 9-10.



Obrázok číslo 4.32 – uzol 5 v rámci STM M3

K nevyhovujúcim hodnotám v týchto uzloch došlo z dôvodu, že do tohto momentu boli postačujúce podpory o rozmeroch 400 x 250 mm. V programe bola zadaná konštantná hodnota hrúbky nosníku 250 mm bez uvažovania rozšírenia práve v tomto mieste podpory na 400 x 400 mm, ako je prevedené pomocou ručného výpočtu, kde kapacity uzlov a šírky vzpier vyhoveli.

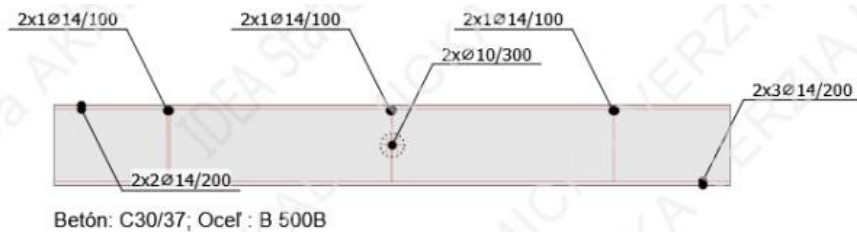
Jedná sa o nasledujúce hodnoty a podmienky:

- $L_b \geq L_{b,req}$
- $w_{2,prov} \geq w_{2,req}$

L_b – šírka podpory, $L_{b,req}$ – požadovaná šírka podpory, $w_{2,prov}$ – návrhová šírka vzpery, $w_{2,req}$ – požadovaná šírka vzpery

Týmto faktom sa dá konštatovať, že prierez stĺpu 400 x 250 mm by nevyhovel. Podrobnejší popis a výpočet vid'. v prílohe číslo 1.

Na nasledujúcom obrázku, číslo 4.33, je zobrazená výstuž pre model M3. V tomto modele sa nachádza na rozdiel od predchádzajúcich dvoch modelov už aj zvislá výstuž ťahadiel. Využitie rapidne vzrástlo vďaka pridaniu zaťaženia od stropnej dosky koridoru od predchádzajúcej hodnoty z modelu M2 z 47,3 % na 74,4 % čo je 27,1 % nárast.



Výsledky

Zhrnutie

Celková tabuľka

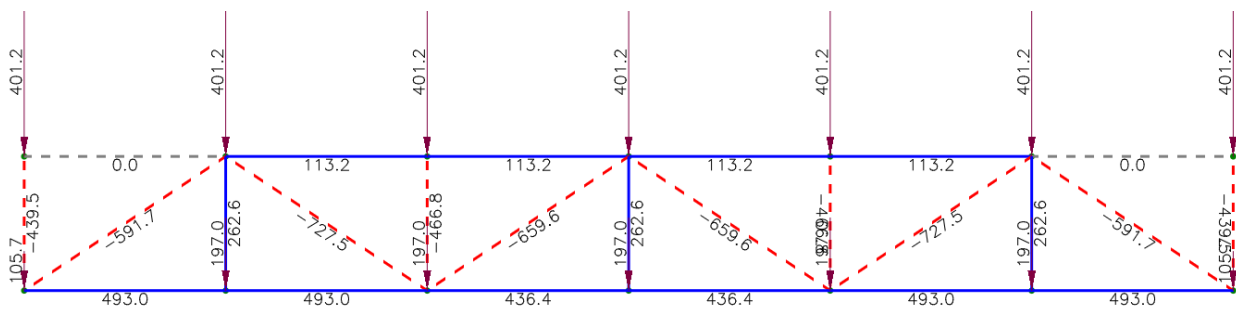
Položka posudku	Kombinácie	Prírastok	Položka		
MSÚ	LC1	100,0%	Pevnosť výztuže	✓	
Položka posudku	Položka	Využití			
Pevnosť betonu	W1	σc/σc,lim: 61,6%			
Pevnosť výztuže	WF1	εs/εs,lim: 1,3%, σs/σs,lim: 23,6%			
Kotevná dĺžka	WF1	tb/fbd: 99,8%			
MSP	C2 (ST)	G100,0%	Obmedzenia napätia	✓	
Položka posudku	Kombinácie	Prírastok	Kritický posudek	Položka	Využití
Obmedzenia napätia	C2 (ST)	G100,0%	7.2(2)	W1	74,4%

Obrázok číslo 4.33 – schéma vystuženia a zhrnutie výsledkov MSÚ, MSP pre Model M3

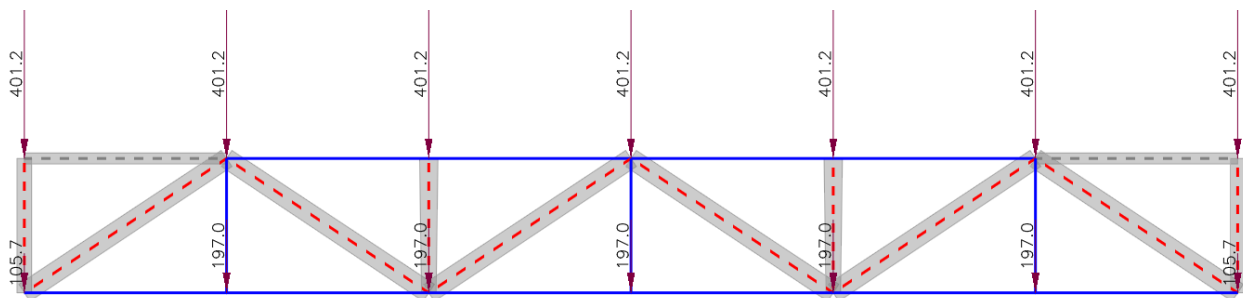
4.4.4 STM pre Model M4

STM pre Model M4 sa zhoduje s predchádzajúcim modelom až na výnimku, ktorou je pridanie vlastnej tiaže. Takisto ako pri predchádzajúcich MKP modeloch je aj pri STM v poradí štvrtý model najviac odpovedajúcim modelom skutočnému chovaniu.

Keďže sa jedná o najviac zaťažený model, tak aj prútové sily majú najväčšie hodnoty tlakových a ťahových síl v jednotlivých vzperách a ťahadlách.

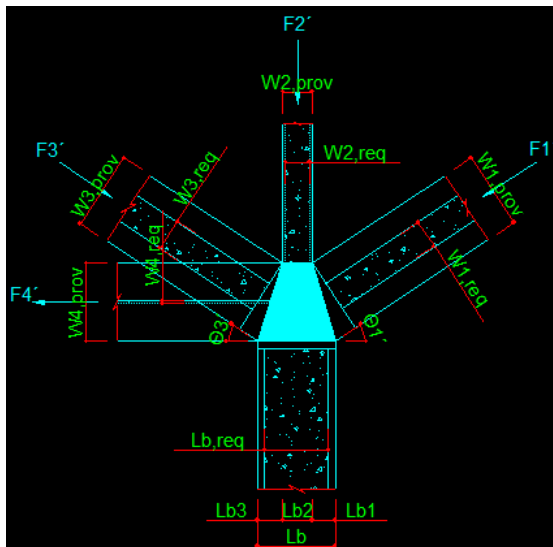


Obrázok číslo 4.34 – STM pre Model M4



Obrázok číslo 4.35 – schéma šírky vzpier v rámci STM pre Model M4

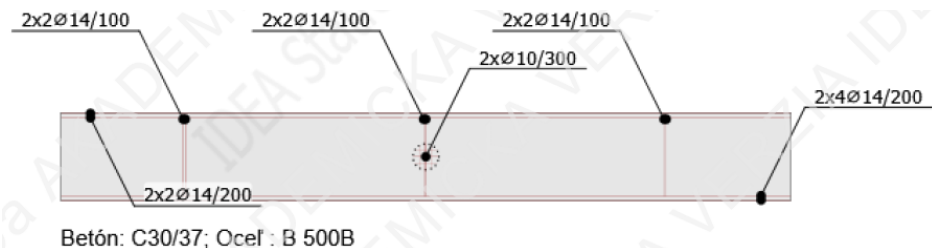
Bolo uskutočnené špecifické overenie kapacity najkritickejšieho uzlu 5 z dôvodu obavy, či bola šírka, respektíve prierez podpory (stípu) dostatočne nadimenzovaná.



Obrázok číslo 4.36 – uzol 5 v rámci STM M4

- $L_b \geq L_{b,req}$
- $L_b = 400 \text{ mm} \geq L_{b,req} = 326 \text{ mm}$ OK
- $w_{2,prov} = 125 \text{ mm} \geq w_{2,req} = 102 \text{ mm}$ OK

Všetky podmienky v danom uzle vyhoveli. Prierez stípu o rozmeroch 400 x 400 mm bol navrhnutý správne a optimálne bez zbytočného predimenzovania.



Výsledky

Zhrnutie

Celková tabuľka

Položka posudku	Kombinácie	Prírastok	Položka			
MSÚ	LC1	100,0%	Pevnosť výstuže	✓		
Položka posudku	Položka	Využití				
Pevnosť betonu	W1	σc/σc,lim: 75,1%		✓		
Pevnosť výstuže	WF1	εs/εs,lim: 2,2%, σs/σs,lim: 28,0%		✓		
Kotevná dĺžka	WF1	tb/fbd: 99,8%		✓		
MSP	C2 (ST)	G100,0%	Obmedzenia napätia	✓		
Položka posudku	Kombinácie	Prírastok	Kritický posudek	Položka	Využití	
Obmedzenia napätia	C2 (ST)	G100,0%	7.2(2)	W1	89,6%	✓

Obrázok číslo 4.37 – schéma vystuženia a zhrnutie výsledkov MSÚ, MSP pre Model M4

Na obrázku číslo 4.37 je zobrazené vystuženie pre model M4, ktoré sa líši od predchádzajúceho zdvojnásobením zvislej výstuže ťahadiel a pridaním jedného profilu 14 mm na spodnej strane stenového nosníku. Hodnota využitia pridaním vlastnej tiaže stenového nosníku vzrástla zo 74,4% na 89,6%.

4.5 Porovnanie a vyhodnotenie STM M1 – M4

Hodnoty prútových síl z modelu M1 sa zhodujú s hodnotami z modelu M2. Jediným rozdielom je vznik dvoch krajných vzpier, ktoré ako bolo správne predpokladané sa priamo prenesú do príslušných podpôr.

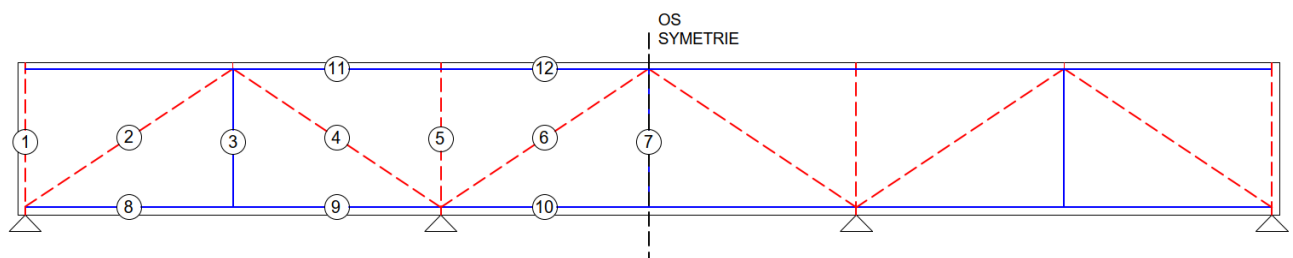
K výraznému nárastu hodnôt prútových síl a vzniku nových vzpier a ťahadiel dochádza pri modeli M3. Je to z dôvodu pridania líniového zaťaženia od stropnej dosky koridoru.

V nasledujúcej tabuľke (Tabuľka číslo 4) sú porovnané jednotlivé hodnoty z MKP modelov s hodnotami STM.

Č. prútu	Typ prútu	MKP pre M1	STM pre M1	MKP pre M2	STM pre M2	MKP pre M3	STM pre M3	MKP pre M4	STM pre M4
-	-	[kN]							
1	vzpera	-	-	-421,20	-401,22	-421,20	-401,22	-535,13	-439,50
2	vzpera	-356,70	-325,40	-356,70	-325,40	-501,12	-485,20	-632,19	-591,70
3	ťahadlo	-	-	-	-	215,14	197,01	293,12	262,60
4	vzpera	-417,62	-400,20	-417,62	-400,20	-619,34	-596,70	-753,21	-727,50
5	vzpera	-421,20	-401,22	-421,20	-401,22	-421,20	-401,22	-485,14	-466,80
6	vzpera	-381,35	-362,80	-381,35	-362,80	-569,25	-540,90	-688,46	-659,60
7	ťahadlo	-	-	-	-	215,14	197,01	284,44	262,60
8	ťahadlo	307,51	271,10	307,51	271,10	427,22	404,30	531,15	493,00
9	ťahadlo					427,22	404,30	531,15	493,00
10	ťahadlo	264,43	240,00	264,43	240,00	379,81	357,90	467,84	436,40
11	ťahadlo	84,52	62,30	84,52	62,30	115,17	92,90	141,57	113,20
12	ťahadlo	84,52	62,30	84,52	62,30	115,17	92,90	141,57	113,20

Tabuľka číslo 3 – porovnanie hodnôt medzi MKP/STM na prútových silách v jednotlivých modeloch M1 – M4

Výsledky v Tabuľke číslo 4 boli stanovené na symetrickej polovici nosníku (jednotlivé čísla prútov sú znázornené na obrázku číslo 4.38). Z výsledkov je vidno, že hodnoty stanovené pomocou MKP sú o 5 až 10% vyššie oproti hodnotám stanovených pomocou STM.



Obrázok číslo 4.38 – označenie prútov na modele

Podrobný výpočet stanovenia reakcií v podporách, prútových síl priehradového modelu, výstuže ťahadiel, overenia napätia v uzloch a ich kapacity je súčasťou Prílohy číslo 1.

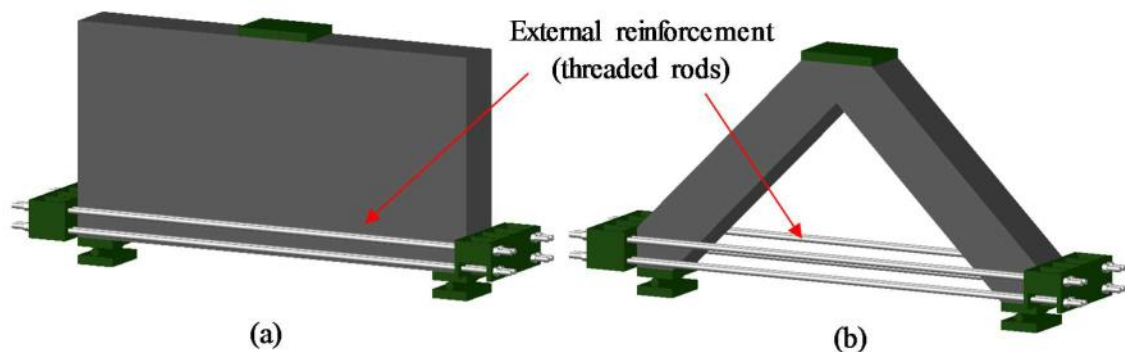
5 ANALÝZA VYBRANÉHO STENOVÉHO NOSNÍKU S OTVORMI

5.1 Ideálne rozmery a počet otvorov v nosníku

Jednými z hlavných faktorov ovplyvňujúcich chovanie stenových nosníkov s otvormi sú: veľkosť, tvar a umiestnenie daného otvoru.

Na Obrázku číslo 5.1 sú znázornené dve skúšobné vzorky, na ktorých bol uskutočnený záťažový test. Jedná sa o: (a) bežný stenový nosník obdĺžnikového prierezu a (b) model náhradnej priehradoviny stenového nosníku (a), ktorý sa skladá z dvojicou vzpier a jedným ťahadlom.

Vonkajšia neviazaná výstuž (závitové tyče) predstavuje ťahadlo.



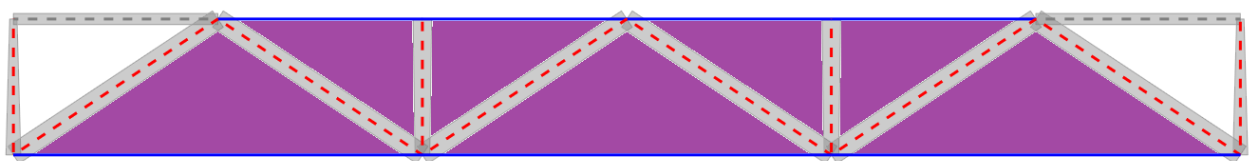
Obrázok číslo 5.1 – vzorky s vonkajšou neviazanou výstužou (závitové tyče):
(a) obdĺžnikový nosník, (b) priehradový nosník [11]

Na základe výsledkov tejto skúšky, kde obe vzorky dosiahli pomerne rovnakej únosnosti (vzorka (b) dosiahla väčšej únosnosti), bol vytvorený návrh a možnosti otvorov v riešenom spojitom stenovom nosníku tejto bakalárskej práce.

Jedná sa o optimalizáciu umiestnenia otvorov voči architektonickej štúdii, respektíve druhá varianta, ktorá by bola jednoduchšie uskutočniteľná a menej finančne náročná z hľadiska potreby výstuže ťahadiel.

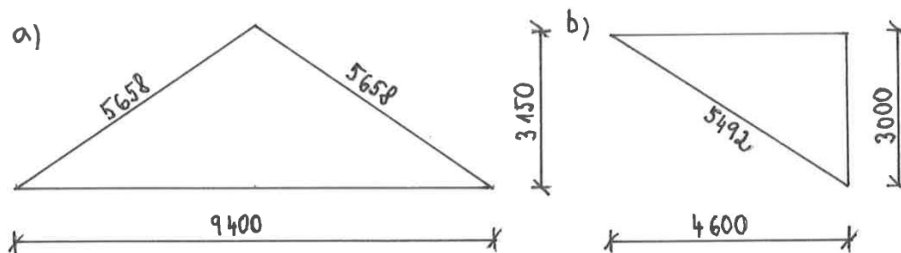
5.1.1 Ideálne rozmery a počet otvorov pre Model M2

Možnosti uskutočnenia ideálnych otvorov sú také, aby nezasahovali do oblastí vzpier a ťahadiel. V tomto prípade pre Model M2, sú to jasne dané oblasti, vždy medzi dvojicou vzpier a jedným ťahadlom, ako je znázornené fialovou farbou na Obrázku číslo 5.2.



Obrázok číslo 5.2 – fialovo vyznačené oblasti vhodné pre umiestnenie ideálnych otvorov pre M2

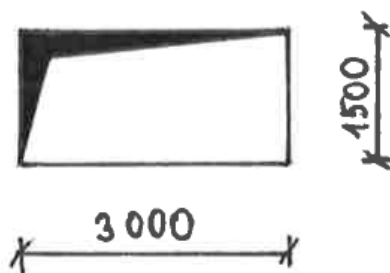
Rozmery týchto trojuholníkov, ktoré sú k dispozícii, k využitiu na prevedenie otvorov boli stanovené nasledovne (viď obrázok číslo 5.3a,b), s prihliadnutím na rezervu dostatočnej šírky horného a spodného ťahadla.



Obrázok číslo 5.3a,b – rozmery pre prevedenie možných otvorov pre M2

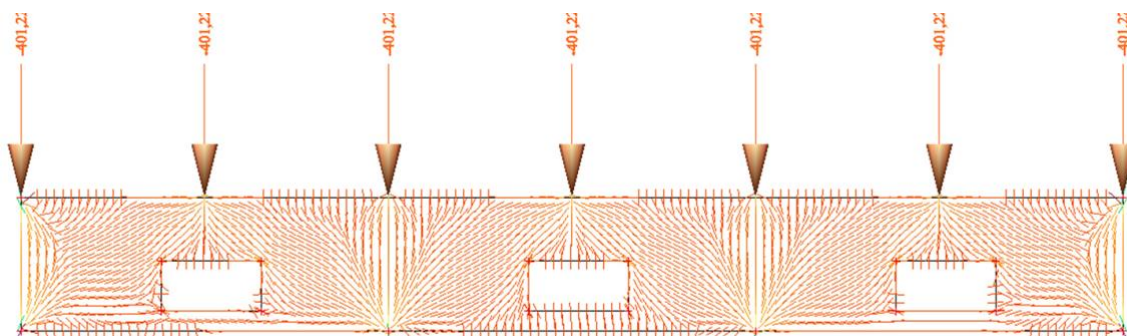
Keďže z architektonickej štúdie vyplýva, že otvory sú obdĺžnikového tvaru s približne dvakrát tak väčšou šírkou oproti výške, boli trojuholníkové tvary upravené tejto požiadavke. Taktiež, síce sú k dispozícii viaceré oblasti k prevedeniu otvorov v danom stenovom nosníku, ale z dôvodu výšky parapetu, ktorá bola stanovená na 900 mm, tak tieto oblasti (viď obrázok 5.3b) nie sú pre otvory použiteľné.

Na nasledujúcom obrázku číslo 5.4 sú stanovené ideálne rozmery obdĺžnikového otvoru pre trojuholníkovú oblasť z obrázku číslo 5.3a.

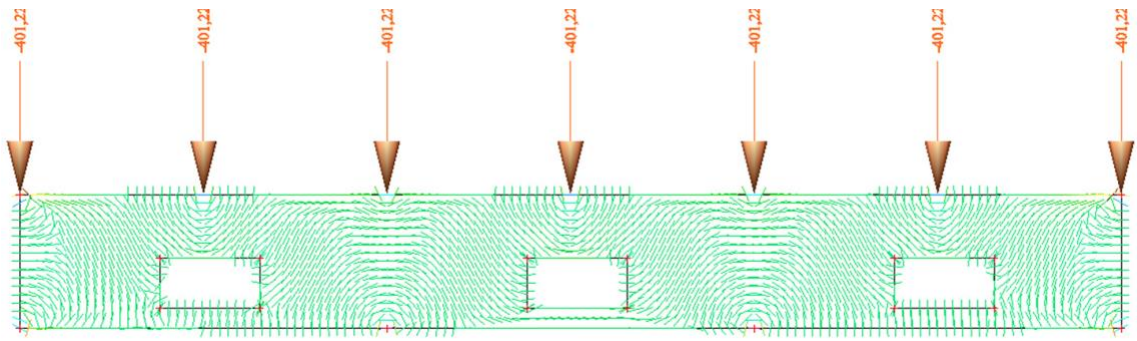


Obrázok číslo 5.4 – ideálny rozmer pre prevedenie obdĺžnikového otvoru pre M2

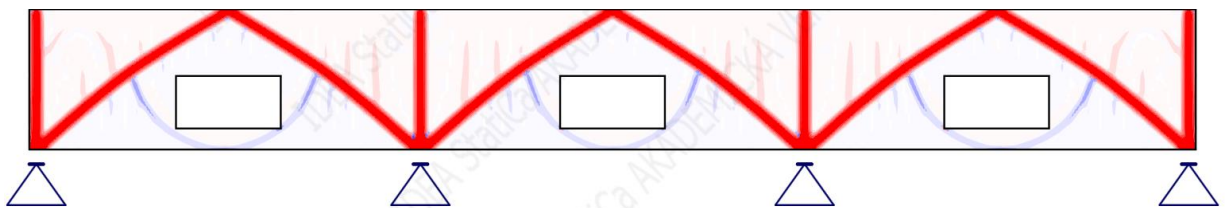
Vytvorené otvory v stenovom nosníku boli následne taktiež vymodelované v programe SCIA Engineer 22 a IDEA StatiCa, pre zistenie a overenie či nedošlo k výrazne nečakaným zmenám trajektórií tlakových (viď obrázok číslo 5.5 a 5.7) alebo ťahových (viď obrázok číslo 5.6 a číslo 5.7) napätí.



Obrázok číslo 5.5 – trajektórie tlakových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre model M2 s otvormi



Obrázok číslo 5.6 – trajektórie ťahových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre model M2 s otvormi



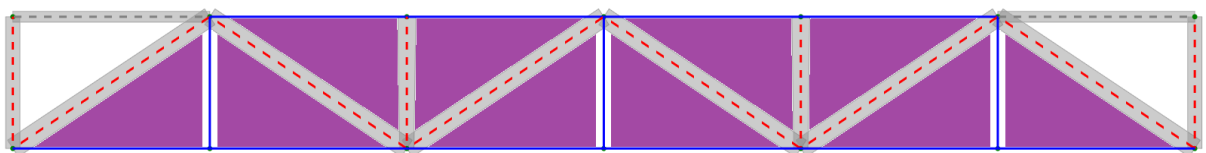
Obrázok číslo 5.7 – trajektórie tlakových a ťahových napätí z programu IDEA StatiCa pre model M2 s otvormi

Z trajektórií napätí z programu SCIA Engineer 22 (viď obrázky číslo 5.5 a 5.6), sú viditeľné minimálne zmeny spôsobené novo vytvorenými otvormi, avšak z programu IDEA StatiCa (viď obrázok číslo 5.7) zmeny nie sú vôbec značné a trajektórie pôsobia rovnako ako pri stenovom nosníku bez otvorov.

Overenie, že vytvorené otvory, ktoré nezasahujú do oblastí vzpier a ťahadiel nemajú vplyv na trajektórie jednotlivých napätí vyšiel správne. Síce určitý minimálny vplyv tam vždy bude, ale nie je nijako rozhodujúci a ovplyvňujúci pre návrh vzpier, ťahadiel a ich výstuže.

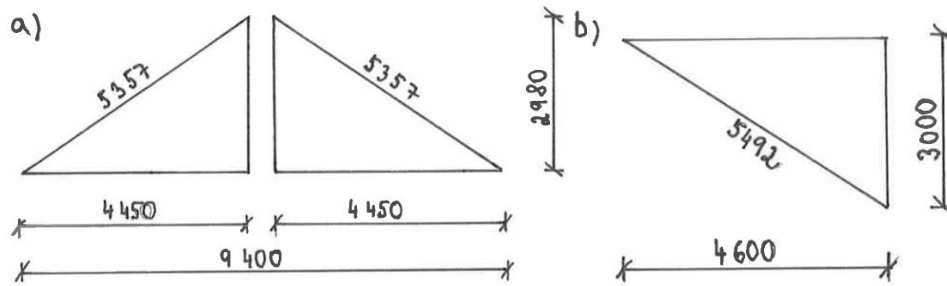
5.1.2 Ideálne rozmery a počet otvorov pre Model M4

Možnosti prevedenia ideálnych otvorov pre Model M4, sú menej tak benevolentné ako boli v predchádzajúcom Modele M2. Je to z dôvodu pribudnutia vertikálnych ťahadiel umiestnených v stere každého poľa spojitého stenového nosníku.

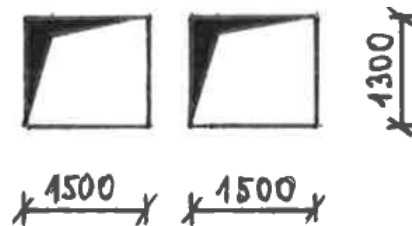


Obrázok číslo 5.8 – fialovo vyznačené oblasti vhodné pre umiestnenie ideálnych otvorov pre M4

Rovnaký postup ako pri predchádzajúcom modele M2 s otvormi, bol prevedený aj pre model M4 s otvormi. Po stanovení možných oblastí (viď obrázok číslo 5.8), boli vykreslené jednotlivé oblasti trojuholníkových tvarov (viď obrázok číslo 5.9a,b), do ktorých je možné vkladať otvory bez zásahu a nutnosti zmeny príslušného STM.

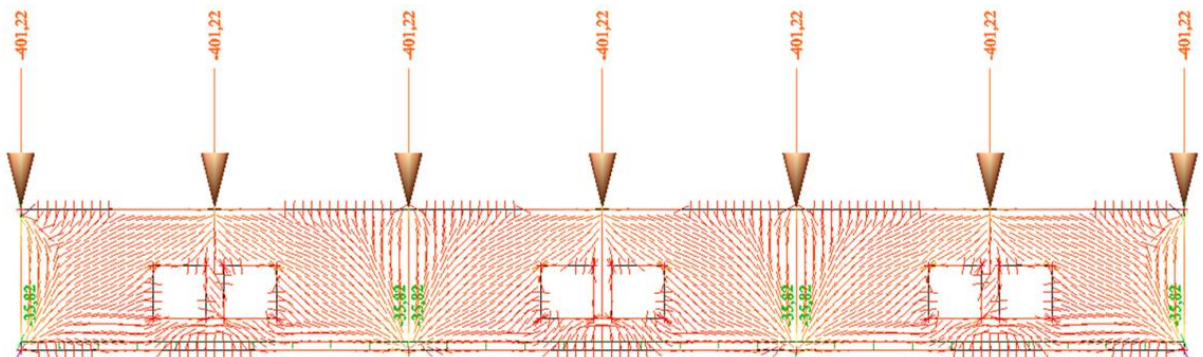


Obrázok číslo 5.9a,b – rozmery pre prevedenie možných otvorov pre M4

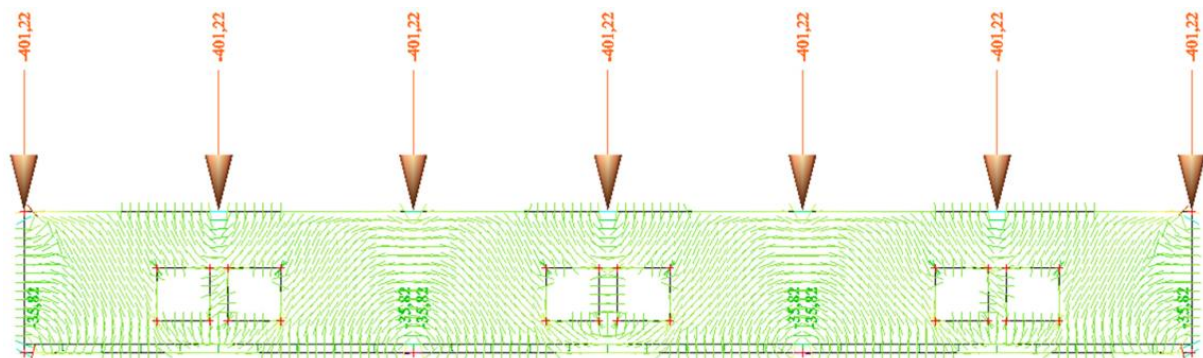


Obrázok číslo 5.10 – ideálne rozmery pre prevedenie obdĺžnikových otvorov pre M4

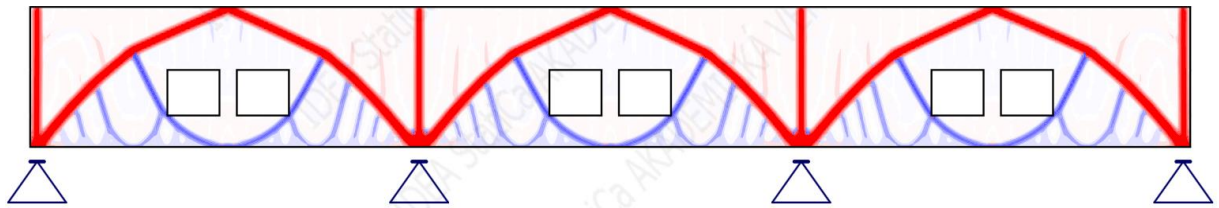
Hneď na prvý pohľad je viditeľný rozdiel nielen v počte, ale aj v rozmeroch s predchádzajúcim otvorom modelu M2. Vďaka pridaniu zvislých ťahadiel nebolo možné spraviť len jeden otvor v danej oblasti, ale bolo nutné ho rozdeliť do dvoch, čo má za následok aj zmenšenie jednotlivých trojuholníkových oblastí (viď obrázok číslo 5.9a) a takisto aj zmenšenie rozmerov otvorov (viď obrázok číslo 5.10).



Obrázok číslo 5.11 – trajektórie tlakových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre model M4 s otvormi



Obrázok číslo 5.12 – trajektórie tlakových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre model M4 s otvormi



Obrázok číslo 5.13 – trajektórie tlakových a ťahových napätí z programu IDEA StatiCa pre model M4 s otvormi

Pri tomto modele boli otvory umiestnené nielen vzhľadom k braniu do úvahy novo pribudnuté ťahadlá, ale hlavne aj stropnú dosku koridoru a jej skladbu podlahy. To znamená, že výška otvoru od spodnej hrany stenového nosníku, ako aj pri predchádzajúcom modele, bola stanovená na 900 mm, ako výška parapetu. Bolo to nie len z dôvodu dostatočnej šírky výstuže ťahadla, ale taktiež aj pre dostatočné miesto na previazanie výstuže stropnej dosky so stenovým nosníkom.

Rovnako ako pri predchádzajúcom modele sú z trajektórií napätí z programu SCIA Engineer 22 (viď obrázky číslo 5.11 a 5.12) viditeľné minimálne zmeny spôsobené novo vytvorenými otvormi, avšak z programu IDEA StatiCa (viď obrázok číslo 5.13) zmeny nie sú vôbec značné, a trajektórie pôsobia rovnako ako pri stenovom nosníku bez otvorov.

Č. prútu	Typ prútu	STM pre model M4 bez otvorov	STM pre model M4 s otvormi
-	-		
1	vzpera	-439,50	-429,50
2	vzpera	-591,70	-579,80
3	ťahadlo	262,60	255,30
4	vzpera	-727,50	-713,00
5	vzpera	-466,80	-459,50
6	vzpera	-659,60	-646,40
7	ťahadlo	262,60	255,30
8	ťahadlo	493,00	483,10
9	ťahadlo	493,00	483,10
10	ťahadlo	436,40	427,60
11	ťahadlo	113,20	111,00
12	ťahadlo	113,20	111,00

Tabuľka číslo 4 – porovnanie hodnôt medzi STM M4 bez a s otvormi na jednotlivých prútoch silách

V tabuľke číslo 4 je zobrazený pokles jednotlivých prútochých síl vplyvom odľahčenia vlastnej tiaže stenového nosníku, ktoré je spôsobené prevedením dvojice otvorov v každom z troch polí. Označenie jednotlivých prútochých síl v STM viď Obrázok číslo 4.38. STM pre M4 s otvormi je súčasťou prílohy číslo 2.

- Otvor o rozmeroch: 1,50 x 1,30 m (dva v jednom poli)
- Objemová tiaž betónu uvažovaná na: 25 kN/m³
- Hrúbka stenového nosníku: 0,25 m
- Zníženie vlastnej tiaže jedným otvorom: $1,50 \cdot 1,30 \cdot 25 \cdot 0,25 = 12,19 \text{ kN}$
- Celkové zníženie vlastnej tiaže: $1,50 \cdot 1,30 \cdot 2 \cdot 0,25 \cdot 0,25 = 73,13 \text{ kN}$

5.2 Pôvodné otvory

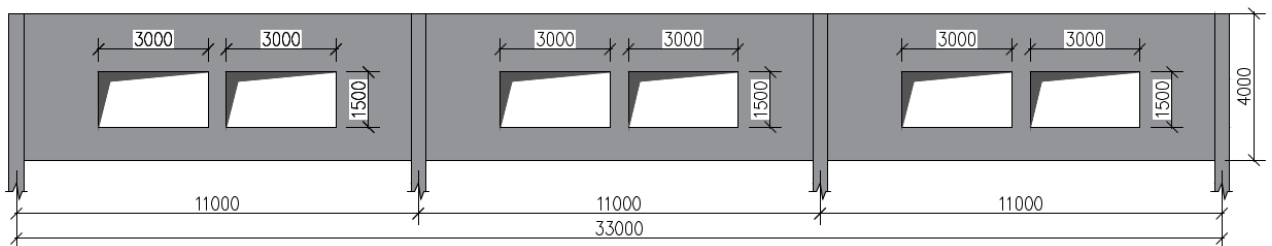
Pôvodné otvory, ktoré vychádzajú z architektonickej štúdie, ako už bolo spomenuté, zasahujú do oblastí jednotlivých vzpier a ťahadiel. Z tohto dôvodu bolo nutné zmeniť STM, a to tak, aby cez otvory neprechádzali žiadne tlakové či ťahové pruhy prihradového modelu a taktiež aby bola zabezpečená ich dostatočná šírka.

Do každého poľa spojitého stenového nosníku boli umiestnené dva otvory o šírke 3 m a výške 1,5 m (viď obrázok číslo 5.14).

- Stĺpy: 400 x 400 mm
- Stenový nosník hrúbky 250 mm
- Výška parapetu: 900 mm
- Rozmery otvorov: 3000x1500 mm

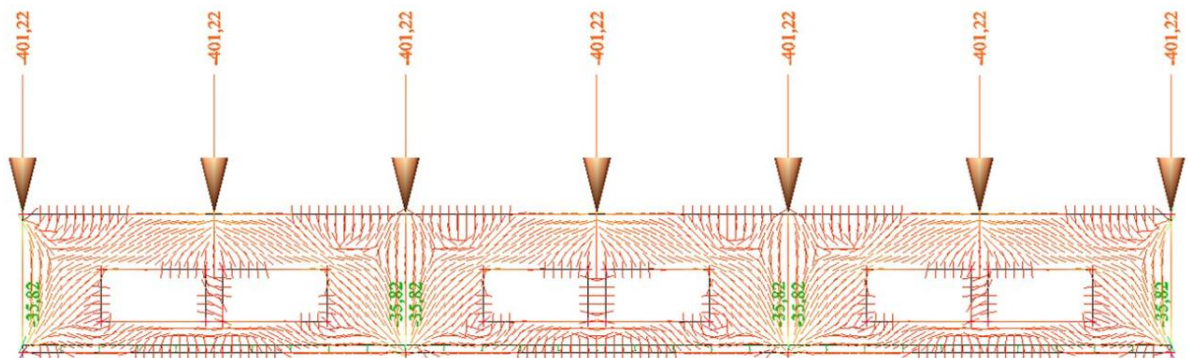
Materiálové charakteristiky:

- Betón: C30/37
- Oceľ: B500B

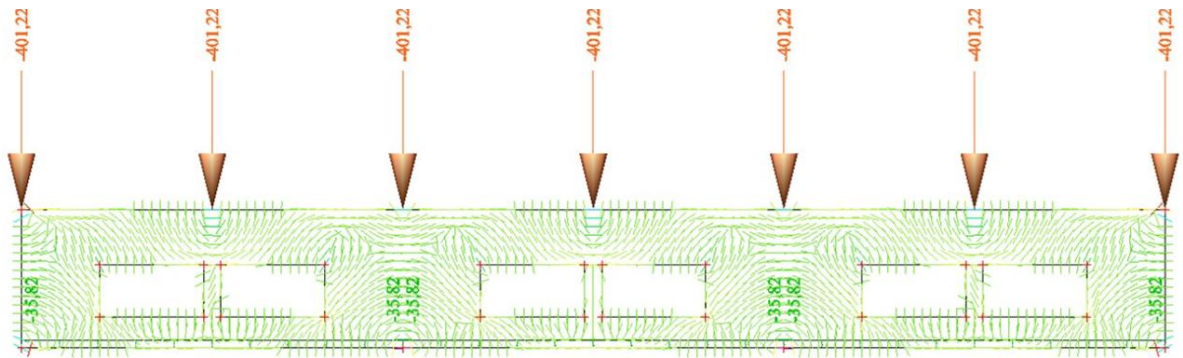


Obrázok číslo 5.14 – schéma riešeného spojitého stenového nosníku s otvormi

Postup tvorby STM je rovnaký ako pri modeloch bez otvorov (viď kapitolu číslo 4.2). V priebehu tlakových (viď obrázok číslo 5.15) a ťahových (viď obrázok číslo 5.16) napätí z programu SCIA Engineer 22, sú už značné zmeny trajektórií oproti predchádzajúcim modelom, ktoré sú spôsobené pridaním otvorov.

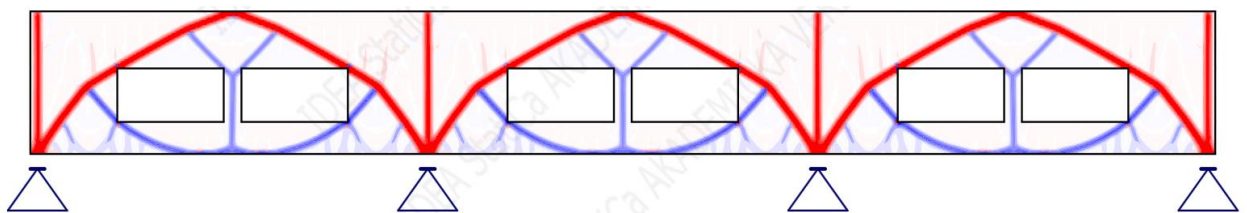


Obrázok číslo 5.15 – trajektórie tlakových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre pôvodné otvory

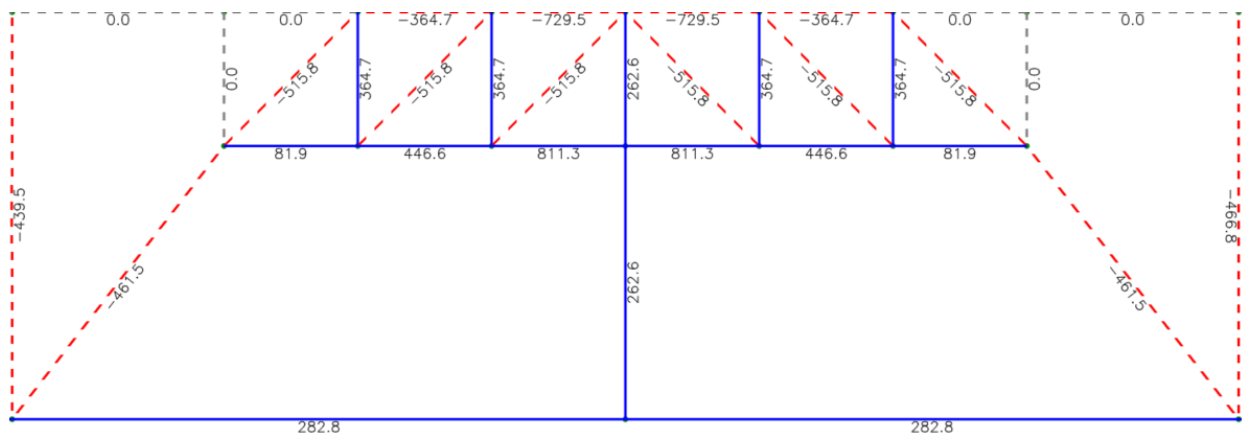


Obrázok číslo 5.16 – trajektórie ťahových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre pôvodné otvory

Najviac rizikové oblasti z hľadiska vzniku priečnych ťahových napätí sú rohy otvorov, cez ktoré, ako je vidieť na obrázku číslo 5.17, prechádzajú najväčšie trajektórie napätí.



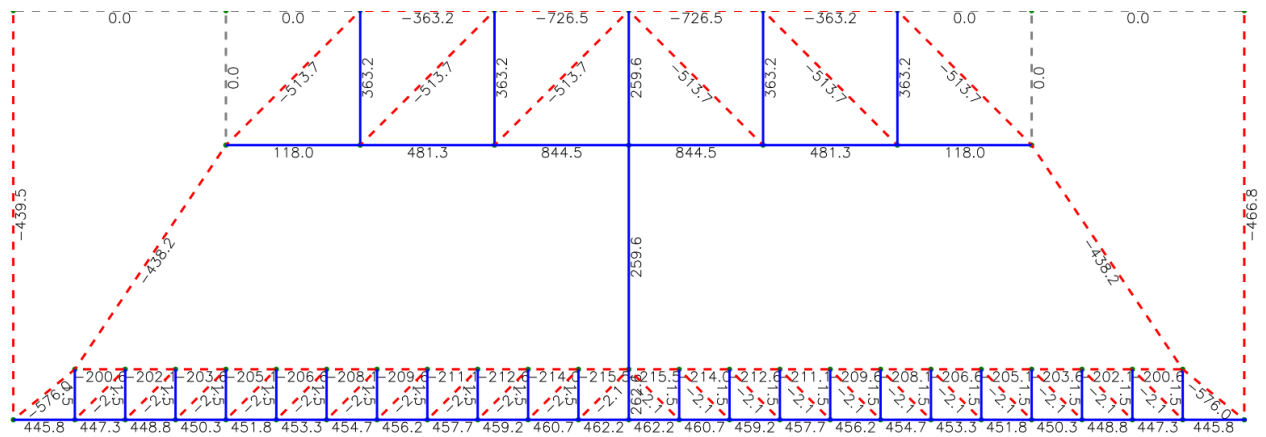
Obrázok číslo 5.17 – trajektórie tlakových a ťahových napätí z programu IDEA StatiCa pre pôvodné otvory



Obrázok číslo 5.18 – STM pre model s pôvodnými otvormi, prvý krok – vytvorenie priehradovej konštrukcií v oblasti nad otvormi

Prvým krokom pri tvorbe tohto STM, bolo vytvorenie priehradovej konštrukcie v oblasti nad otvormi v stenovom nosníku (viď obrázok číslo 5.18). Keďže sa jedná o symetrickú konštrukciu, tak na obrázkoch číslo 5.18 a 5.19 je pre prehľadnosť zobrazené len jedno pole z celkových troch daného spojitého stenového nosníku.

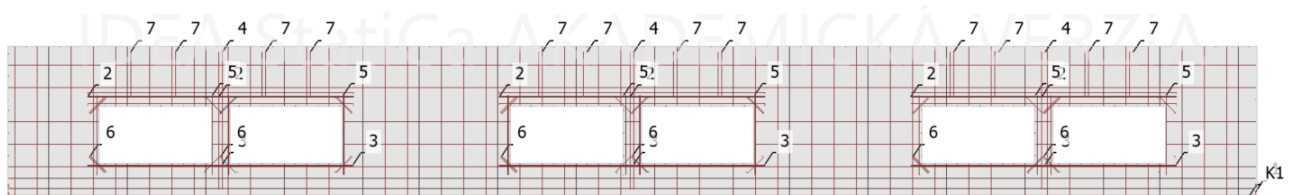
Ďalším, v poradí druhým krokom bolo taktiež vytvorenie priehradovej konštrukcie, ale tentokrát v oblasti pod otvormi. Celková výsledná podoba STM pre dané pôvodné otvory (pre jedno pole) je zobrazená na obrázku číslo 5.19.



Obrázok číslo 5.19 – finálna podoba STM pre model s pôvodnými otvormi

Podoba vytvoreného STM najbližšie odpovedá trajektóriám napätí z obrázku číslo 5.17. Došlo k významnému zakriveniu dvojici tlakových vzpier, ktoré v predchádzajúcich modelov boli priamo vedené od miesta zaťaženia do príslušnej podpory.

V STM nad a pod otvormi boli pomocou metódy priehradovej konštrukcie prevedené napätia do podpôr tak, aby nezasahovali do oblastí otvorov. Uhol v týchto priehradových konštrukciách bol stanovený na 45°. Tento STM obsahuje v jednom poli (ktoré je zobrazené na obrázku číslo 5.19) celkom 62 uzlov, ktoré spája 60 vzpier a 59 ťahadiel.



Index	Φ [mm]	Materiál
1	14	B 500B
2	22	B 500B
3	8	B 500B
4	14	B 500B
5	8	B 500B
6	8	B 500B
7	14	B 500B

Obrázok číslo 5.20 – schéma vystuženia pre Model s pôvodnými otvormi

Obrázok číslo 5.20 zobrazuje príslušné vystuženie modelu s pôvodnými otvormi. Hodnota využitia 86,0% je považovaná za veľmi prívetivú a poukazuje na to, že výstuž navrhnutá podľa vytvoreného STM je správne nadimenzovaná.

Podrobnejšie postupy výpočtov a vystuženie modelu s pôvodnými otvormi sú súčasťou prílohy číslo 2.

5.3 Vyhodnotenie stenového nosníku s otvormi

V prípadoch stenového nosníku s ideálnymi rozmermi a polohou otvorov pre modely M2 a M4, bolo overené tvrdenie, že otvory nachádzajúce sa v miestach kde nezasahujú do prútových oblastí jednotlivých vzpier a ťahadiel, nijako významne nemenia svoje chovanie a trajektórie napätí. Dalo by sa teda konštatovať, že rozdiely medzi plnými stenovými nosníkmi a stenovými nosníkmi s otvormi nezasahujúcimi do už spomínaných oblastí pre modely M2 a M4, nie sú z hľadiska únosnosti žiadne.

Iný prípad nastal pri riešení požiadavky umiestnenia pôvodných otvorov tak, že svojou polohou bránia priamemu toku trajektórií jednotlivých napätí. Preto k tejto požiadavke bol vytvorený príslušný STM, ktorý tieto zmeny trajektórií zahŕňa. Oproti predchádzajúcim STM je na prvý pohľad značne komplikovanejší. Je to z dôvodu, že v hornej a spodnej oblasti stenového nosníku (nad a pod otvormi), boli pre účinné prenesenie napätí do podpôr vytvorené ako keby vlastné modely náhradnej priehradoviny lámajúce sa pod 45° uhlom.

Takto zvolený STM s pôvodnými otvormi a vstupnými predpokladmi pri výpočte vyhovel jednotlivým požiadavkám. Navrhnutá hrúbka stenového nosníku 250 mm je dostačujúca aj pri prevedení pôvodných otvorov ako aj kapacita jednotlivých uzlov. S týmto výsledkom sa dá považovať STM s pôvodnými otvormi za správne vytvorený a vyhovujúci.

6 ZÁVER

Táto bakalárska práca sa zaoberá analýzou stenových nosníkov, ktoré sú v poslednej dobe veľmi hojne využívanými stavebnými konštrukciami. Vďaka uvoľneniu dispozície v najnižších poschodiach vzniká voľný priestor, napríklad pre využitie podzemného parkovania alebo pre krytú tribúnu športovej haly, ako je riešené v tejto práci.

Prvá časť tejto práce je venovaná histórii a stručnému popisu stenových nosníkov s a bez otvorov. Druhá časť sa venuje metóde priehradovej analógie, teda jednému zo spôsobov výpočtu stenového nosníku. Sú tu predstavené jednotlivé prvky modelu, vrátane vzpier, ťahadiel a uzlov.

Nasledujúca časť práce prechádza z teoretickej do praktickej časti, kde je najskôr predstavená referenčná stavba športovej haly a riešený stavebný prvok – spojitý stenový nosník. Tento stenový nosník je vzhľadom k mojej prvej práci so *Strut and Tie* modelmi a celkovo so stenovými nosníkmi riešený najskôr, konzervatívne a zjednodušene, ako stenový nosník bez otvorov a následne s danými pôvodnými otvormi.

Pre zjednodušený stenový nosník bez otvorov boli vytvorené celkom štyri modely v programoch *SCIA Engineer* a *IDEA StatiCa*, z ktorých následne boli získané a porovnávané hlavné tlakové a ťahové napätia, a ich trajektórie. Následne pre každý z týchto štyroch modelov bol zostavený príslušný model náhradnej priehradoviny (STM). Jednotlivé prvky z týchto modelov, teda vzpery, ťahadlá a uzly sú navrhnuté a posúdené v Prílohe číslo 1.

Obdobný postup bol taktiež použitý aj pri stenovom nosníku s pôvodnými otvormi. Najskôr, ale než boli prevedené pôvodné otvory, tak boli vytvorené otvory v dvoch z predchádzajúcich štyroch modelov a to takým spôsobom, aby nezasahovali do jednotlivých prútoch priehradového modelu. Bola uskutočnená optimalizácia umiestnenia otvorov voči architektonickej štúdie a to takým spôsobom, že by bola jednoduchšie uskutočniteľná a menej finančne náročná z hľadiska potreby výstuže ťahadiel. Na záver bol vytvorený posledný STM s pôvodnými otvormi, ktorý sa oproti ostatným modelom výrazne líši vďaka pôvodným otvorom, ktoré zasahujú do priamych trajektórií jednotlivých napätí.

Vďaka získaným vnútorným silám v jednotlivých prútoch bola navrhnutá hlavná ťahová výstuž a konštrukčná výstuž na priečne ťahy.

Cieľom tejto práce bolo nie len vyskúšať si návrh stenového nosníku pomocou modelu náhradnej priehradoviny (STM), ale hlavne pochopiť chovanie jednotlivých napätí meniacich sa pri rôznych spôsoboch zaťaženia a taktiež pri zmenách veľkostí, počtu a polohy otvorov. Pre tento účel bol vybraný projekt športovej haly v Černošiciach, v ktorej sa nachádza tento riešený stavebný prvok. Pri výpočte bolo zistené, že navrhnutá hrúbka, výstuž, napätie a kapacita jednotlivých uzlov v spojitom stenovom nosníku je vyhovujúca.

Osobným prínosom pri spracovaní tejto práce považujem získanie vedomostí ohľadne tvorby modelov náhradnej priehradoviny (STM), ktoré budú veľmi užitočné v mojom nasledujúcom magisterskom štúdiu. Zároveň práca vo výpočtových programoch ako *IDEA StatiCa* a *AStrutTie*, priniesla môjmu odbornému vzdelávaniu nový pohľad na danú problematiku a obohatila moje znalosti v tejto oblasti.

7 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] <http://khan.princeton.edu/khan/khanBrunswick.html>
[14.04.2023]
- [2] Structural components: Deep reinforced concrete beams. Design I. Kong, F.K. (Fung Kew) 1935-624.1'83423 ISBN 0-216-92695-5
Dostupné z:
<https://books-library.net/files/download-pdf-ebooks.org-1494093691Fe4G7.pdf>
- [3] CIRIA GUIDE 2 - The design of deep beams in reinforced concrete - OVE ARUP & PARTNERS
Dostupné z:
https://kupdf.net/download/ciria-guide-2-design-of-deep-beams-in-rc_5975e563dc0d60bf7e043370_pdf
- [4] ŠMEJKAL, J., PROCHÁZKA, J., Navrhování stěnových nosníků s použitím modelů náhradní příhradoviny
Dostupné z:
https://www.ebeton.cz/wp-content/uploads/2010-6-52_0.pdf
- [5] 5-5253-01-1-October 2011, Rev. June 2012, Strut-and-Tie Model Design Examples for Bridges Center for Transportation Research at The University of Texas at Austin
Dostupné z:
<https://library.ctr.utexas.edu/ctr-publications/5-5253-01-1.pdf>
- [6] International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 7, Issue 10, October-2016 ISSN 2229-5518
Dostupné z:
<https://www.ijser.org/researchpaper/Study-OnDeep-Beam-With-Web-Openings.pdf>
- [7] Modelování a vyztužování betonových prvků, Alena Kohoutková, Jaroslav Procházka, Jiří Šmejkal, 2013 ISBN 978-80-01-05340-9
- [8] How to design concrete members using strut-and-tie models in accordance with Eurocode 2, CCIP-057-Published December 2014-ISBN 978-1-908257-08-6
Dostupné z:
http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/87977/64/kupdf.net_ccip-strut-and-tie-feb15.pdf
- [9] <http://www.grido.cz/cz/projekt/telocvicna-v-mokropsech/>
[14.04.2023]
- [10] Study on Strut and Node Behavior in Strut-and-Tie Modeling, DOI: 10.25148/etd.FIDC006887
Dostupné z:
<https://digitalcommons.fiu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=5060&context=etd>
- [11] <https://docplayer.cz/43718618-Navrhovani-stenovych-nosniku-s-pouzitim-modelu-nahradni-prihradoviny-design-of-deep-beams-using-strut-and-tie-models.html>
[25.04.2023]
- [12] https://iccae.journals.ekb.eg/article_44083_7d5f607d5ecfea921bfcdea1ede5d523.pdf
[25.04.2023]

- [13] https://concrete.fsv.cvut.cz/projekty/pdf/frvs2009/Prihradova_analogie_a_resene_prikklady.pdf
[25.04.2023]
- [14] https://iccae.journals.ekb.eg/article_44083_7d5f607d5ecfea921bfcdea1ede5d523.pdf
[27.04.2023]
- [15] International Science Index, Civil and Environmental Engineering Vol:7, No:6, 2013
Dostupné z:
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiTh6vKzuD-AhUBgP0HHUzABnoQFnoECBQQAQ&url=https%3A%2F%2Fzenodo.org%2Frecord%2F1076092%2Ffiles%2F10878.pdf&usg=AOvVaw2Ua_QxIO4zmJkOhS3tKKnw
- [16] Strut-and-Tie Modeling (STM) for Concrete Structures, Publication No. FHWA-NHI-17-071
Dostupné z:
<https://www.fhwa.dot.gov/bridge/concrete/nhi17071.pdf>
- [17] Application of nonlinear link in strut and tie model for joint planar expansion, School of Engineering, University of Phayao, Tumbol Maeka Muang Phayao 56000
Dostupné z:
<https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/eit-researchjournal/article/view/85155>
- [18] Jaroslav Procházka; Jiří Šmejkal ; Vydavateľstvo: CVUT Praha ; Rok vydania: 2019 ; EAN: 9788001065181
- [19] <http://people.fsv.cvut.cz/www/bilypet1/vyuka/YMVB/YMVB02.pdf>
[27.04.2023]
- [20] <http://people.fsv.cvut.cz/www/bilypet1/vyuka/YMVB/YMVB04.pdf>
[27.04.2023]

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok číslo 1.1 – stenový nosník vyznačený červenou farbou v rámci budovy Brunswick v Chicagu. [1]	8
Obrázok číslo 1.2 – prenos zaťaženia z hornej časti budovy cez stenový nosník do podporových stĺpov. [1]	8
Obrázok číslo 2.1 – zaťažovacia skúška stenového nosníku z roku 1991. [2]	9
Obrázok číslo 2.2 – rozdielny priebeh vodorovného napätia medzi bežným nosníkom a stenovým nosníkom.....	10
Obrázok číslo 2.3 – prípady spojitých stenových nosníkov v typickej viacposchodovej budove. [2]	11
Obrázok číslo 2.4 – priebeh napätí σ_x nad podporou od priameho spojitého zaťaženia a jemu odpovedajúci Strut and Tie model.	12
Obrázok číslo 2.5 – stenový nosník s otvormi zabudovaný v rámci budovy nad voľnou dispozíciou.	13
Obrázok číslo 2.6 – trhliny po zaťažovacej skúške stenového nosníku s obdĺžnikovými otvormi. [2]	14
Obrázok číslo 2.7 – trhliny po zaťažovacej skúške stenového nosníku s kruhovými otvormi. [2] ..	14
Obrázok číslo 2.8 – schéma vystuženia nosníku s kruhovým otvorom.	15
Obrázok číslo 2.9 – trajektórie napätí v B a D oblastiach v bežnom nosníku. [5]	16
Obrázok číslo 2.10 – vzpery (Struts), ťahadlá (Ties) a uzly (Nodes) v rámci STM. [5]	16
Obrázok číslo 2.11 – základné možné geometrické tvary betónových vzpier v priehradovom modele. a) bankovitá vzpera, b) vzpera s rovnobežnými vláknami, c) vejárovitá vzpera. [4]	17
Obrázok číslo 2.12 – možné varianty uzlov v priehradovom modele.	18
Obrázok číslo 2.13 – postup návrhu stenového nosníku s otvorom od (a) zadania zaťaženia a podpôr cez (b) vykreslenie trajektórií napätia až do (c) finálneho návrhu STM. [8]	19
Obrázok číslo 2.17 – zadanie – trajektórie napätí – STM zobrazený na rámovom rohu. [8]	19
Obrázok číslo 2.18 – zadanie – trajektórie napätí – STM zobrazený na ozube dvoch nosníkoch. [8]	19
Obrázok číslo 2.19 – zadanie – trajektórie napätí – STM zobrazený v mieste kotvenia. [8]	20
Obrázok číslo 3.1 – architektonická vizualizácia danej športovej haly. [9]	21
Obrázok číslo 3.2 – výkres (pôdorys) skladby 1.PP športovej haly v Černošiciach.	22
Obrázok číslo 3.3 – komplexný pozdĺžny rez športovou halou v Černošiciach.	23
Obrázok číslo 3.4 – komplexný priečny rez športovou halou v Černošiciach.	23
Obrázok číslo 3.5 – 3D model športovej haly v SCIA Engineer 22.	24
Obrázok číslo 4.1 – schéma riešeného spojitého stenového nosníku s tromi poľami.	25
Obrázok číslo 4.2 – prehľad postupu tvorby modelov M1 – M4.	26
Obrázok číslo 4.3 – výpočtový model M1 v programe SCIA Engineer 22.	27
Obrázok číslo 4.4 – odhadovaný priebeh trajektórií ťahového a tlakového napätia pre model M1.	28

Obrázok číslo 4.5 – trajektórie tlakových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre model M1.	28
Obrázok číslo 4.6 – trajektórie ťahových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre model M1.	28
Obrázok číslo 4.7 – trajektórie tlakových a ťahových napätí z programu IDEA StatiCa pre model M1.	28
Obrázok číslo 4.8 – výpočtový model M2 v programe SCIA Engineer 22.	29
Obrázok číslo 4.9 – odhadovaný priebeh trajektórií ťahového a tlakového napätia pre model M2.	29
Obrázok číslo 4.10 – trajektórie tlakových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre model M2..	29
Obrázok číslo 4.11 – trajektórie ťahových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre model M2...	29
Obrázok číslo 4.12 – trajektórie tlakových a ťahových napätí z programu IDEA StatiCa pre model M2.	30
Obrázok číslo 4.13 – výpočtový model M3 v programe SCIA Engineer 22.	30
Obrázok číslo 4.14 – odhadovaný priebeh trajektórií ťahového a tlakového napätia pre model M3.	31
Obrázok číslo 4.15 – trajektórie tlakových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre model M3..	31
Obrázok číslo 4.16 – trajektórie ťahových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre model M3...	31
Obrázok číslo 4.17 – trajektórie tlakových a ťahových napätí z programu IDEA StatiCa pre model M3.	31
Obrázok číslo 4.18 – trajektórie tlakových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre model M3..	32
Obrázok číslo 4.19 – trajektórie ťahových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre model M3...	32
Obrázok číslo 4.20 – trajektórie tlakových a ťahových napätí z programu IDEA StatiCa pre model M3.	32
Obrázok číslo 4.21 – navrhnutý STM pre Model M1.	34
Obrázok číslo 4.22 – STM pre Model M1.	35
Obrázok číslo 4.23 – schéma šírky vzpier v rámci STM pre Model M1.	35
Obrázok číslo 4.24 – schéma vystuženia a zhrnutie výsledkov MSÚ, MSP pre Model M1.	36
Obrázok číslo 4.25 – navrhnutý STM pre Model M2.	36
Obrázok číslo 4.26 – STM pre Model M2.	36
Obrázok číslo 4.27 – schéma šírky vzpier v rámci STM pre Model M2.	37
Obrázok číslo 4.28 – schéma vystuženia a zhrnutie výsledkov MSÚ, MSP pre Model M2.	37
Obrázok číslo 4.29 – navrhnutý STM pre Model M3.	38
Obrázok číslo 4.30 – STM pre Model M3.	38
Obrázok číslo 4.31 – schéma šírky vzpier v rámci STM pre Model M3.	38
Obrázok číslo 4.32 – uzol 5 v rámci STM M3.	39
Obrázok číslo 4.33 – schéma vystuženia a zhrnutie výsledkov MSÚ, MSP pre Model M3.	40
Obrázok číslo 4.34 – STM pre Model M4.	40
Obrázok číslo 4.35 – schéma šírky vzpier v rámci STM pre Model M4.	40
Obrázok číslo 4.36 – uzol 5 v rámci STM M4.	41
Obrázok číslo 4.37 – schéma vystuženia a zhrnutie výsledkov MSÚ, MSP pre Model M4.	41
Obrázok číslo 4.38 – označenie prútov na modele.	42

Obrázok číslo 5.1 – vzorky s vonkajšou neviazanou výstužou (závitové tyče): (a) obdĺžnikový nosník, (b) priehradový nosník [11].	43
Obrázok číslo 5.2 – fialovo vyznačené oblasti vhodné pre umiestnenie ideálnych otvorov pre M2	43
Obrázok číslo 5.3a,b – rozmery pre prevedenie možných otvorov pre M2.	44
Obrázok číslo 5.4 – ideálny rozmer pre prevedenie obdĺžnikového otvoru pre M2.	44
Obrázok číslo 5.5 – trajektórie tlakových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre model M2 s otvormi.	44
Obrázok číslo 5.6 – trajektórie ťahových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre model M2 s otvormi.	45
Obrázok číslo 5.7 – trajektórie tlakových a ťahových napätí z programu IDEA StatiCa pre model M2 s otvormi.	45
Obrázok číslo 5.8 – fialovo vyznačené oblasti vhodné pre umiestnenie ideálnych otvorov pre M4.	45
Obrázok číslo 5.9a,b – rozmery pre prevedenie možných otvorov pre M4.	46
Obrázok číslo 5.10 – ideálne rozmery pre prevedenie obdĺžnikových otvorov pre M4.	46
Obrázok číslo 5.11 – trajektórie tlakových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre model M4 s otvormi.	46
Obrázok číslo 5.12 – trajektórie tlakových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre model M4 s otvormi.	46
Obrázok číslo 5.13 – trajektórie tlakových a ťahových napätí z programu IDEA StatiCa pre model M4 s otvormi.	47
Obrázok číslo 5.14 – schéma riešeného spojitého stenového nosníku s otvormi.	48
Obrázok číslo 5.15 – trajektórie tlakových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre pôvodné otvory.	48
Obrázok číslo 5.16 – trajektórie ťahových napätí z programu SCIA Engineer 22 pre pôvodné otvory.	49
Obrázok číslo 5.17 – trajektórie tlakových a ťahových napätí z programu IDEA StatiCa pre pôvodné otvory.	49
Obrázok číslo 5.18 – STM pre model s pôvodnými otvormi, prvý krok – vytvorenie priehradovej konštrukcii v oblasti nad otvormi.	49
Obrázok číslo 5.19 – finálna podoba STM pre model s pôvodnými otvormi.	50
Obrázok číslo 5.20 – schéma vystuženia pre Model s pôvodnými otvormi.	50

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka číslo 1 – prehľad zaťaženi pôsobiacich na „hornom líci“ stenového nosníku.	27
Tabuľka číslo 2 – prehľad zaťaženi pôsobiacich na „dolnom líci“ stenového nosníku.	30
Tabuľka číslo 3 – porovnanie hodnôt medzi MKP/STM na prútoých silách v jednotlivých modeloch M1 – M4.	42
Tabuľka číslo 4 – porovnanie hodnôt medzi STM M4 bez a s otvormi na jednotlivých prútoých silách.	47

ZOZNAM POUŽITÝCH PROGRAMOV

- *SCIA Engineer 22.0*
- *Autodesk AutoCAD 2023*
- *IDEA StatiCa 22.1*
- *AStrutTie 2017*

ZOZNAM PRÍLOH

- *Príloha číslo 1 – výpočet modelov M1 – M4 bez otvorov*
- *Príloha číslo 2 – výpočet modelu s pôvodnými otvormi*

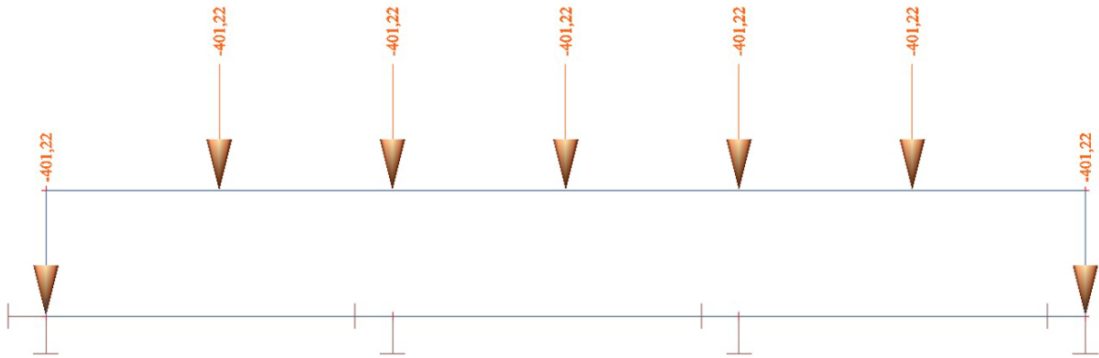
Príloha číslo 1.

• Výpočet modelu M1

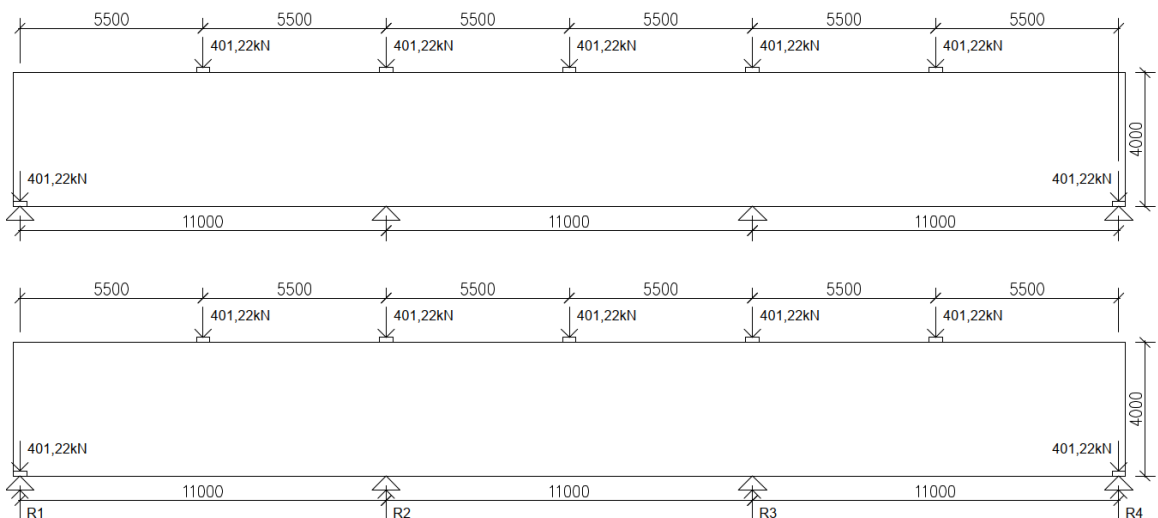
Lokálne pôsobenie osamelého bremena:

Najväčšie ťahové napätie vzniká pod sústredeným bremenom v blízkosti povrchu, kde môžeme pripustiť len veľmi úzke trhliny, pretože inak by sa zmenila napätosť celej roznášanej oblasti.

Schéma riešenej (výpočtovej) konštrukcie:



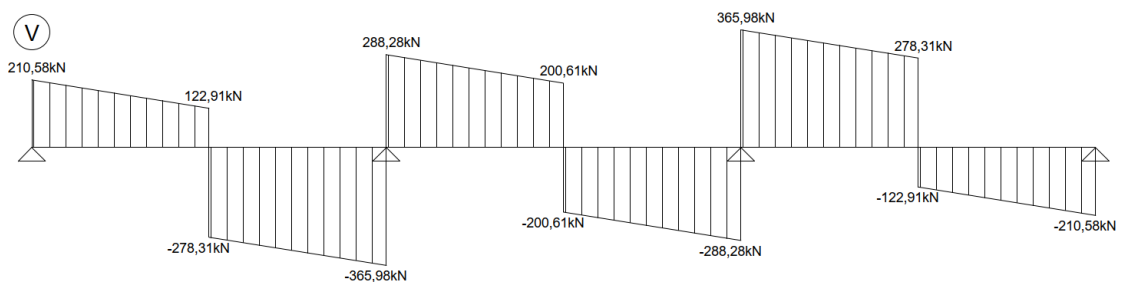
Stanovenie reakcií v podporách:

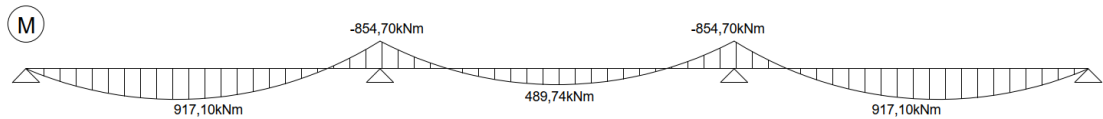


$$R1 = R4 = 579,74 \text{ kN}$$

$$R2 = R3 = 824,53 \text{ kN}$$

Výpočet vnútorných síl:





$$M_{ed,pole,max} = 917,10 \text{ kNm}$$

$$M_{ed,pole,min} = 489,74 \text{ kNm}$$

$$M_{ed,podpora} = 854,70 \text{ kNm}$$

Materiálové charakteristiky:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{Y_c}$$

Betón C0/37: $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$; $f_{cd} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{Y_s}$$

Výstuž B500B: $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$; $f_{yd} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$

• Návrh priehradového modelu

Pre stanovenie priehradového modelu je najskôr potrebné určiť polohy uzlov.

Efektívna výška prierezu:

$$d = h - c - \phi_{tr} - \phi_{sw} - s$$

s - vzdialenosť prútov

Odhad: $\phi_{tr} = 10 \text{ mm}$

$$\phi_{sw} = 14 \text{ mm}$$

$$d = 4000 - 25 - 10 - 14 - 50 = 3901 \text{ mm}$$

Potrebná plocha výstuže spodného ťahadla pre maximálny moment v poli:

$$z = 0,9d = 0,9 \cdot 3901 = 3510,90 \text{ mm}$$

$$A_{s,req} = \frac{M_{ed}}{z \cdot f_{yd}} = \frac{917,10 \cdot 10^6}{3511 \cdot 435} = 600,48 \text{ mm}^2$$

Návrh 5 ϕ 14; $A_{s,prov} = 769,69 \text{ mm}^2$ (VYUŽITIE 78,02%)

Výška spodného ťahadla:

$$t = 2 \cdot c + 2 \cdot \phi_{tr} + 2 \cdot \phi_{sw} + s = 2 \cdot 25 + 2 \cdot 10 + 5 \cdot 14 + 50 = 190 \text{ mm}$$

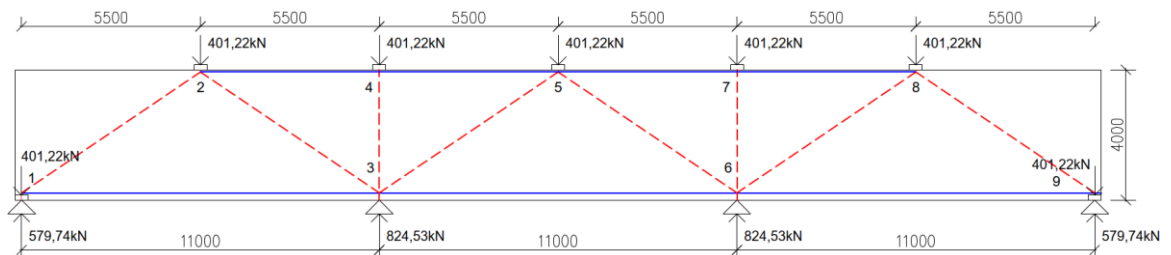
Kvôli lepšiemu overeniu napätia v uzloch volím väčšiu výšku spodného ťahadla na 200 mm.

Výška tlačenej oblasti:

$$x = \frac{A_s f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{769,69 \cdot 435}{0,8 \cdot 250 \cdot 20} = 83,70 \text{ mm}$$

Kvôli lepšiemu overeniu napätia v uzloch volím väčšiu výšku horného tlačeneho pásu na 150 mm.

Geometria priehradového modelu:



• Výpočet prútových síl na priehradovom modele

Uzol 1:

C12 = -322,85 kN

T13 = 269,00 kN

Uzol 2:

C23 = -402,75 kN

T24 = 66,57 kN

Uzol 4:

C43 = 402,75 kN

T45 = 66,57 kN

Uzol 3:

C35 = -362,80 kN

T36 = 235,72 kN

Uzol 5:

C56 = -362,80 kN

T57 = 66,57 kN

• **Návrh výstuže ťahadiel**

T13 =	As,req =	618,7063	mm ²	Profil	14	mm	As1	153,94	mm ²	Počet	5	As,prov	769,69	mm ²
T24 =	As,req =	153,117	mm ²	Profil	14	mm	As1	153,94	mm ²	Počet	2	As,prov	307,88	mm ²
T36 =	As,req =	542,1478	mm ²	Profil	14	mm	As1	153,94	mm ²	Počet	4	As,prov	615,75	mm ²

• **Overenie napätia v uzloch**

Maximálne napätia:

- pre uzol typu C-C-C:

$$\sigma_{Rd,CCC} = 1,0 \cdot v \cdot f_{cd} = 1,0 \cdot 0,88 \cdot 20 = 17,60 \text{ MPa}$$

- pre uzol typu C-C-T:

$$\sigma_{Rd,CCT} = 0,85 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,85 \cdot 0,88 \cdot 20 = 14,96 \text{ MPa}$$

- pre uzol typu C-T-T:

$$\sigma_{Rd,CTT} = 0,75 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,75 \cdot 0,88 \cdot 20 = 13,20 \text{ MPa}$$

- vzpera v tiahnutej oblasti:

$$\sigma_{Rd,str} = 0,6 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,6 \cdot 0,88 \cdot 20 = 10,56 \text{ MPa}$$

Overenie napätia v uzloch:**Uzol 1: Typu CCT**

lr =	400 mm		
wt =	400 mm		
Šírka tlačenej diagonály:			
wc = wt*cos alfa+lr*sir	554,47 mm		
Sigma C12 = C12*10 ³ /b*wc	2,33 MPa	<	14,96 MPa OK
Sigma T13 = T13*10 ³ /b*wt	2,69 MPa	<	14,96 MPa OK

Zakotvenie výstuže v uzle 1:

Základná kotviaca dĺžka: fbd = 2,25.η1.η2.fct0,05d	3,0 MPa
η1 =	1,0
η2 =	1,0
fct0,05d =	1,33
sigma sd = s,req/As,prov*fyd	349,5 MPa
lb,rqd = profil*sigma sd/4*fbd	407,7 mm
Návrhová kotviaca dĺžka lbd =	410 mm

Uzol 2: Typu CCT

lr =	500 mm		
wt =	300 mm		
Šírka tlačenej diagonály C21:			
C12*sin alfa/401,22*500	222,47 mm		
wc =	372,98 mm		
Šírka tlačenej diagonály C23:			
C23*sin alfa/401,22*500	277,53 mm		
wc =	403,42 mm		
Sigma C21 = C21*10 ³ /b*wc	3,46 MPa	<	14,96 MPa OK
Sigma C23 = C23*10 ³ /b*wc	5,80 MPa	<	14,96 MPa OK
Sigma T24 = T24*10 ³ /b*wt	0,89 MPa	<	14,96 MPa OK

Zakotvenie výstuže v uzle 2:

Základná kotviaca dĺžka: fbd = 2,25.η1.η2.fct0,05d	3,0 MPa
η1 =	1,0
η2 =	1,0
fct0,05d =	1,33
sigma sd = s,req/As,prov*fyd	216,2 MPa
lb,rqd = profil*sigma sd/4*fbd	252,3 mm
Návrhová kotviaca dĺžka lbd =	260 mm

Uzol 3: Typu CCCTT

lr =	400 mm		
wt =	400 mm		
Šírka tlačenej diagonály C32:			
C32*sin alfa/824,53*400	108,04 mm		
wc =	393,02 mm		
Šírka tlačenej diagonály C34:			
C34/824,53*400	194,64 mm		
wc =	194,64 mm		
Šírka tlačenej diagonály C35:			
C35*sin alfa/824,53*400	97,32 mm		
wc =	387,10 mm		
Sigma C32 = C32*10 ³ /b*wc	3,71 MPa	<	13,20 MPa OK
Sigma C34 = C34*10 ³ /b*wc	3,69 MPa	<	13,20 MPa OK
Sigma C35 = C35*10 ³ /b*wc	3,34 MPa	<	13,20 MPa OK
Sigma T31 = T31*10 ³ /b*wt	2,47 MPa	<	13,20 MPa OK
Sigma T36 = T36*10 ³ /b*wt	2,17 MPa	<	13,20 MPa OK

Uzol 4: Typu CTT

lr =	500 mm		
wt =	300 mm		
Šírka tlačenej diagonály C43:			
C43/401,22*500	500,00 mm		

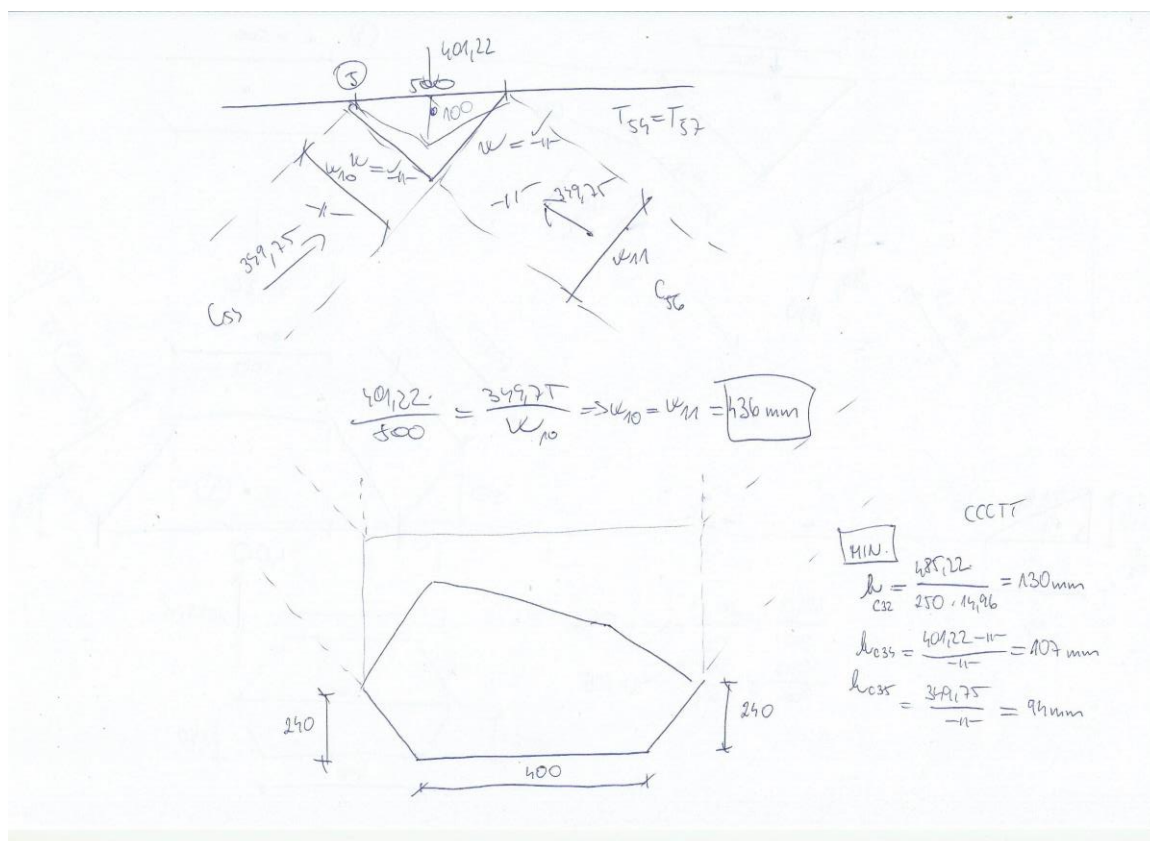
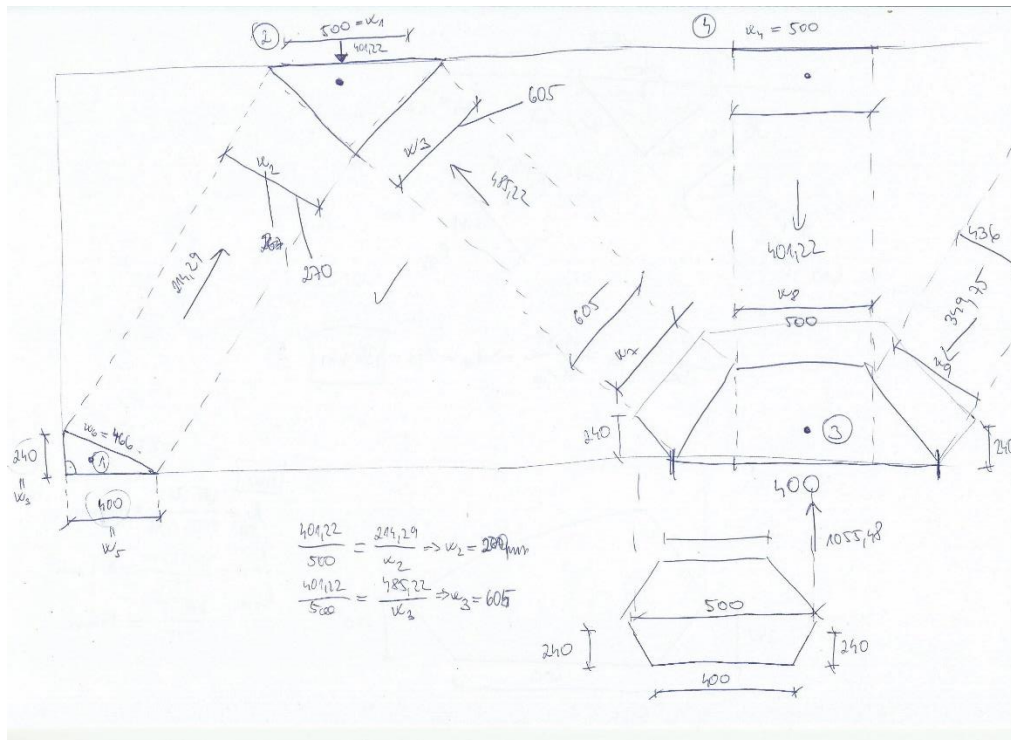
	wc =	500,00 mm		
Sigma C43 =	$C43 \cdot 10^3 / b \cdot wc$	3,69 MPa	<	13,20 MPa OK
Sigma T42 =	$T42 \cdot 10^3 / b \cdot wt$	0,61 MPa	<	13,20 MPa OK
Sigma T45 =	$T45 \cdot 10^3 / b \cdot wt$	0,61 MPa	<	13,20 MPa OK

Uzol 5: Typu CCTT

lr =	500 mm		
wt =	300 mm		
Šírka tlačenej diagonály C53:			
C53 * sin alfa / 401,22 * 500	250,00 mm		
	wc =	388,20 mm	
Šírka tlačenej diagonály C56:			
C56 * sin alfa / 401,22 * 500	250,00 mm		
	wc =	388,20 mm	
Sigma C53 =	$C53 \cdot 10^3 / b \cdot wc$	3,34 MPa	< 13,20 MPa OK
Sigma C56 =	$C56 \cdot 10^3 / b \cdot wc$	3,34 MPa	< 13,20 MPa OK
Sigma T54 =	$T54 \cdot 10^3 / b \cdot wt$	0,61 MPa	< 13,20 MPa OK
Sigma T57 =	$T57 \cdot 10^3 / b \cdot wt$	0,61 MPa	< 13,20 MPa OK

Pre každý z modelov M1 – M4 bol použitý rovnaký postup výpočtu. Kvôli neustálemu opakovaniu rovnakých vzorcov bol vytvorený, pre urýchlenie a automatizáciu, excelovský súbor s výpočtom.

Ručný výpočet a predpokladaný tvar STM a jednotlivých uzlov:



CCCT

$$h_{c32} = \frac{485,22}{250 \cdot 14,96} = 130 \text{ mm}$$

$$h_{c35} = \frac{401,22 - 11}{-11} = 107 \text{ mm}$$

$$h_{c35} = \frac{349,75}{-11} = 94 \text{ mm}$$

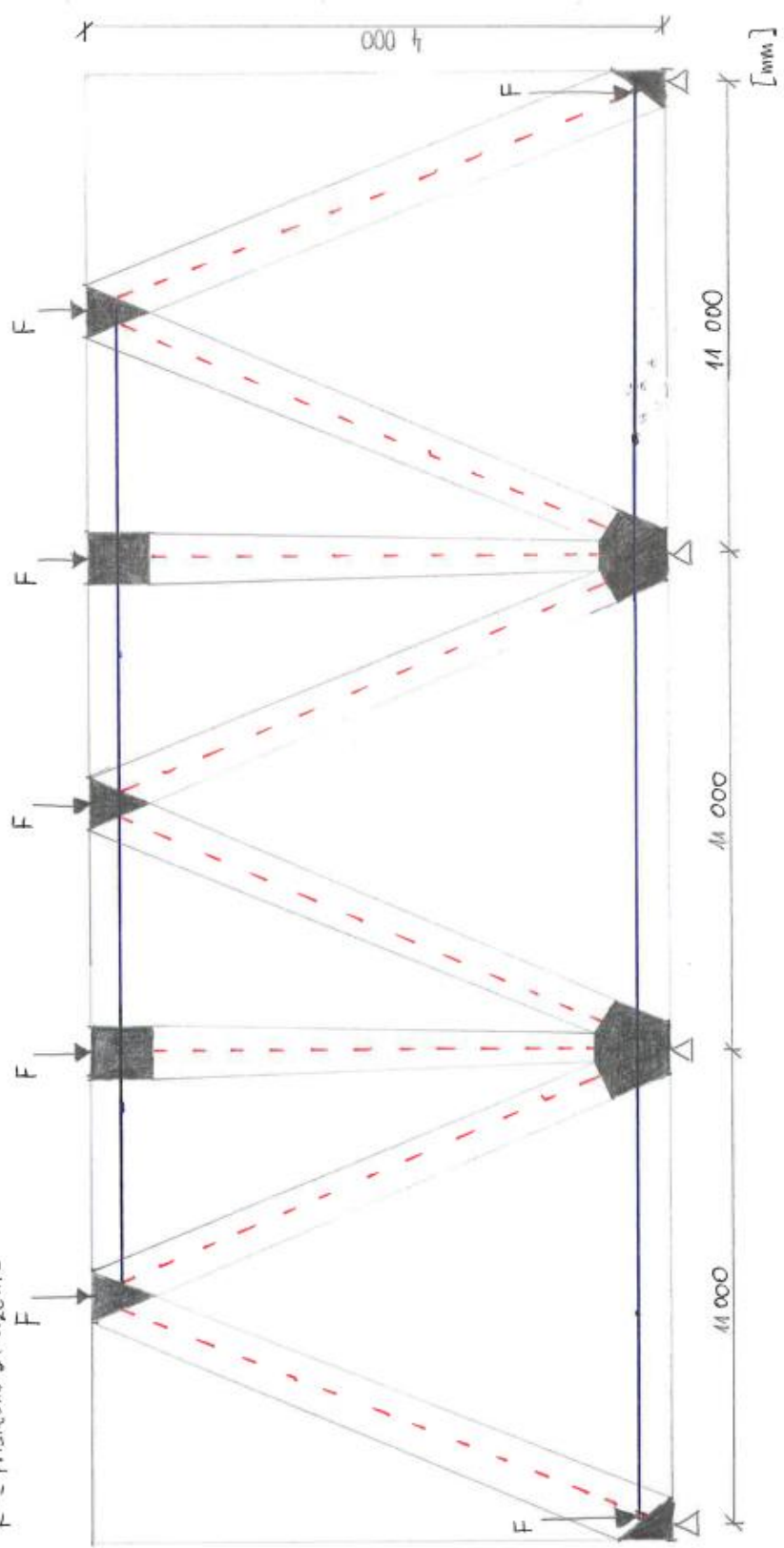
• Schéma predpokladanej podoby STH

LEGENDA:

- - - výpeva
 — fatadlo

▲ uhol

F - príslušné zaťaženie



• Výpočet modelu M2

Popis:

Jedná sa o základný najzjednodušenejší model, bez uvažovaní spojitého zaťaženia.
Všetky podpory sú kĺbové neposuvné.
Všetky bodové sily sú na hornej hrane.

Základné údaje:

Šírka stenového nosníku: $\xi = 33400$ mm
Výška nosníku: $h = 4000$ mm
Hrúbka nosníku: $b = 250$ mm
Šírka jedného poľa na osu: $\xi_p = 11000$ mm
Obecné overenie či sa jedná o stenový nosník:
 $3h > l$ v mojom prípade beriem za l šírku jedného poľa = ξ_p
 $12000 > 11000$ SPLŇUJE

Materiálové charakteristiky:

Betón	C30/37	$f_{ck} = 30$
		$f_{cd} = 20$ MPa
Výstuž	B500B	$f_{yk} = 500$
		$f_{yd} = 435$ MPa
$v = 1 - f_{ck} / 250$		$v = 0,88$
Krytie výstuže		$c = 25$ mm
Uzol typu CCC $k_1 = 1,0 \cdot v \cdot f_{cd}$		$k_1 = 17,6$ MPa
Uzol typu CCT $k_2 = 0,85 \cdot v \cdot f_{cd}$		$k_2 = 14,96$ MPa
Uzol typu CTT $k_3 = 0,75 \cdot v \cdot f_{cd}$		$k_3 = 13,2$ MPa

Stanovenie vnútorných síl:

Celá konštrukcia stenového nosníku je uvažovaná ako D-oblasť.
Všetky podpory v uzloch 1,3,6,9 sú uvažované ako kĺbové neposuvné.
Počítané so stálym zaťažením, bez vlastnej tiahy.

$R_{1y} = 584,08$ kN
 $R_{4y} = 820,19$ kN
 $R_{7y} = 820,19$ kN
 $R_{10y} = 584,08$ kN

Kontrola rovnováhy: $7 \cdot 401,22 - (2 \cdot 820,19 + 2 \cdot 584,08) = 0$ OK

$F = 401,22$ kN

Voľba priehradového modelu:

Odhad polohy horného a spodného ťahadla
Osová vzdialenosť ťahadla od spodnej hrany: 200 mm
Osová vzdialenosť ťahadla od hornej hrany: 150 mm
Šírka: 5500 mm
Výška: 3650 mm
Prepona: 6601 mm
Uhol alfa: $33,57^\circ$
sin alfa: $0,553$
cos alfa: $0,833$

Výpočet prútových síl na priehradovom modeli:

Uzol 1:

$C_{13} = -330,70$ kN
 $T_{14} = 275,54$ kN

Uzol 2:

$C_{21} = -401,22$ kN
 $T_{23} = 0,00$ kN

Uzol 3:

$C_{34} = -394,90$ kN
 $T_{35} = 53,49$ kN

Uzol 5:

$C_{54} = -401,22$ kN
 $T_{56} = 53,49$ kN

Uzol 4:

C46 = -362,80 kN
T47 = 248,80 kN

Uzol 6:

C67 = -362,80 kN
T68 = 53,49 kN

Návrh výstuže ťahadiel:

T14 =	As,req = 633,7477 mm ²	Profil	14 mm	As1 = 153,94 mm ²	Počet	5	As,prov = 769,69 mm ²
T24 =	As,req = 123,0342 mm ²	Profil	14 mm	As1 = 153,94 mm ²	Počet	2	As,prov = 307,88 mm ²
T36 =	As,req = 572,2305 mm ²	Profil	14 mm	As1 = 153,94 mm ²	Počet	4	As,prov = 615,75 mm ²

Overenie napätia v uzloch:

Uzol 1: Typu CCT

lr =	400 mm			
wt =	400 mm			
Šírka tlačenej diagonály C12:				
C12*sin alfa/584,08*400	151,93 mm			
	wc = 417,30 mm			
Šírka tlačenej diagonály C13:				
C13*sin alfa/584,08*400	125,23 mm			
	wc = 402,53 mm			
Sigma C12 = C12*10 ³ /b*wc	3,85 MPa	<	14,96 MPa	OK
Sigma C13 = C13*10 ³ /b*wc	3,29 MPa	<	14,96 MPa	OK
Sigma T14 = T14*10 ³ /b*wt	2,76 MPa	<	14,96 MPa	OK

Zakotvenie výstuže v uzle 1:

Základná kotviaca dĺžka: fbd = 2,25.η1.η2.fct0,05d 3,0 MPa

η1 =	1,0
η2 =	1,0
fct0,05d =	1,33
sigma sd = As,req/As,prov*fyd	358 MPa
lb,rqd = profil*sigma sd/4*fbd	417,7 mm
Návrhová kotviaca dĺžka lbd =	420 mm

Uzol 2: Typu C

lr =	500 mm			
wt =	300 mm			
Šírka tlačenej diagonály C21:				
C21/401,22*500	500,00 mm			
	wc = 500,00 mm			
Sigma C21 = C21*10 ³ /b*wc	3,21 MPa	<	17,60 MPa	OK

Uzol 3: Typu CCT

lr =	500 mm			
wt =	300 mm			
Šírka tlačenej diagonály C31:				
C31*sin alfa/401,22*500	227,88 mm			
	wc = 542,61 mm			
Šírka tlačenej diagonály C34:				
C34*sin alfa/401,22*500	272,12 mm			
	wc = 567,08 mm			
Sigma C31 = C31*10 ³ /b*wc	2,44 MPa	<	14,96 MPa	OK
Sigma C34 = C34*10 ³ /b*wc	2,79 MPa	<	14,96 MPa	OK
Sigma T35 = T35*10 ³ /b*wt	0,71 MPa	<	14,96 MPa	OK

Uzol 4: Typu CCCTT

lr =	400 mm			
wt =	400 mm			
Šírka tlačenej diagonály C43:				
C43*sin alfa/820,19*400	106,49 mm			
	wc = 392,17 mm			
Šírka tlačenej diagonály C45:				
C45/820,19*400	195,67 mm			
	wc = 195,67 mm			
Šírka tlačenej diagonály C46:				
C46*sin alfa/820,19*400	97,84 mm			

	wc =	387,38 mm			
Sigma C43 =	$C43 \cdot 10^3 / b \cdot wc$	4,03 MPa	<	13,20 MPa	OK
Sigma C45 =	$C45 \cdot 10^3 / b \cdot wc$	8,20 MPa	<	13,20 MPa	OK
Sigma C46 =	$C46 \cdot 10^3 / b \cdot wc$	3,75 MPa	<	13,20 MPa	OK
Sigma T41 =	$T42 \cdot 10^3 / b \cdot wt$	2,76 MPa	<	13,20 MPa	OK
Sigma T47 =	$T45 \cdot 10^3 / b \cdot wt$	2,49 MPa	<	13,20 MPa	OK

Uzol 5: Typu CTT

lr =	500 mm				
wt =	300 mm				
Šírka tlačenej diagonály C54:					
C54/401,22*500	500,00 mm				
	wc =	500,00 mm			
Sigma C54 =	$C54 \cdot 10^3 / b \cdot wc$	3,21 MPa	<	13,20 MPa	OK
Sigma T53 =	$T53 \cdot 10^3 / b \cdot wt$	0,71 MPa	<	13,20 MPa	OK
Sigma T56 =	$T56 \cdot 10^3 / b \cdot wt$	0,71 MPa	<	13,20 MPa	OK

Uzol 6: Typu CCTT

lr =	500 mm				
wt =	300 mm				
Šírka tlačenej diagonály C64:					
C64*sin alfa/401,22*500	250,00 mm				
	wc =	388,20 mm			
Šírka tlačenej diagonály C67:					
C67*sin alfa/401,22*500	250,00 mm				
	wc =	388,20 mm			
Sigma C64 =	$C64 \cdot 10^3 / b \cdot wc$	3,74 MPa	<	13,20 MPa	OK
Sigma C67 =	$C67 \cdot 10^3 / b \cdot wc$	3,74 MPa	<	13,20 MPa	OK
Sigma T65 =	$T65 \cdot 10^3 / b \cdot wt$	0,71 MPa	<	13,20 MPa	OK
Sigma T68 =	$T68 \cdot 10^3 / b \cdot wt$	0,71 MPa	<	13,20 MPa	OK

• **Výpočet modelu M3**

Popis:

Jedná sa o základný najjednoduchší model s uvažovaním spojitého zaťaženia.
 Všetky podpory sú kĺbové neposuvné.
 Všetky bodové sily sú na hornej hrane.
 Spojité zaťaženie na dolnej hrane.

Základné údaje:

Šírka stenového nosníku: $\check{s} = 33400 \text{ mm}$
 Výška nosníku: $h = 4000 \text{ mm}$
 Hrúbka nosníku: $b = 250 \text{ mm}$
 Šírka jedného poľa na osu: $\check{s}p = 11000 \text{ mm}$
 Obecné overenie či sa jedná o stenový nosník:
 $3h > l$ v mojom prípade beriem za l šírku jedného poľa = $\check{s}p$
 $12000 > 11000$ SPLŇUJE

Materiálové charakteristiky:

Betón	C30/37	fck =	30
		fcd =	20 MPa
Výstuž	B500B	fyk =	500
		fyd =	435 MPa
		$v = 1 - fck / 250$	$v = 0,88$
		Krytie výstuže	$c = 25 \text{ mm}$
Uzol typu CCC	$k1 = 1,0 \cdot v \cdot fcd$	$k1 =$	17,6 MPa
Uzol typu CCT	$k2 = 0,85 \cdot v \cdot fcd$	$k2 =$	14,96 MPa
Uzol typu CTT	$k3 = 0,75 \cdot v \cdot fcd$	$k3 =$	13,2 MPa

Stanovenie vnútorných síl:

Celá konštrukcia stenového nosníku je uvažovaná ako D-oblasť.
 Všetky podpory v uzloch 1,3,6,9 sú uvažované ako kĺbové neposuvné.
 Počítané so stálym zaťažením, bez vlastnej tiahy.

R1y = 662,43 kN
 R5y = 1004,85 kN
 R9y = 1004,85 kN
 R13y = 662,43 kN
 Kontrola rovnováhy: $7 \cdot 401,22 + 15,94 \cdot 33 - (2 \cdot 1004,85 + 2 \cdot 662,43) = 0$ OK

F = 401,22 kN
 F spojité = 15,94 kN/m
 F spojité krajné dve = 47,023 kN
 F spojité stredné = 87,67 kN
 Kontrola: $15,94 \cdot 33,4 - 2 \cdot 47,023 - 5 \cdot 87,67 = 0$ OK

Vofba priehradového modelu:

Odhad polohy horného a spodného ťahadla
 Osová vzdialenosť ťahadla od spodnej hrany: 200 mm
 Osová vzdialenosť ťahadla od hornej hrany: 150 mm
 Šírka: 5500 mm
 Výška: 3650 mm
 Prepona: 6601 mm
 Uhol alfa: 33,57 °
 sin alfa: 0,553 °
 cos alfa: 0,833 °

Výpočet prútových síl na priehradovom modeli:

Uzol 1:
 C14 = -387,35 kN
 T13 = 322,75 kN

Uzol 2:
 C21 = -401,22 kN
 T24 = 0,00 kN

Uzol 3:
 T34 = 87,67 kN
 T35 = 322,75 kN

Uzol 5:
 C58 = -436,31 kN
 T57 = 272,35 kN

Uzol 4:
 C45 = -496,79 kN
 T46 = 91,19 kN

Uzol 6:
 C65 = -401,22 kN
 T68 = 91,19 kN

Uzol 7:
 T78 = 87,67 kN
 T79 = 272,35 kN

Uzol 8:
 C89 = -436,31 kN
 T810 = 91,19 kN

Návrh výstuže ťahadiel:

T13 =	As,req =	742,32 mm ²	Profil	14 mm	As1 = 153,94 mm ²	Počet	6	As,prov = 923,63 mm ²
T24 =	As,req =	201,64 mm ²	Profil	14 mm	As1 = 153,94 mm ²	Počet	2	As,prov = 307,88 mm ²
T35 =	As,req =	209,73 mm ²	Profil	14 mm	As1 = 153,94 mm ²	Počet	4	As,prov = 615,75 mm ²
T46 =	As,req =	626,40 mm ²	Profil	14 mm	As1 = 153,94 mm ²	Počet	5	As,prov = 769,69 mm ²

Overenie napätia v uzloch:

<u>Uzol 1:</u>	Typu CCT	
lr =		400 mm
wt =		400 mm
Šírka tlačenej diagonály C12:		
$C12 \cdot \sin \alpha / 662,43 \cdot 400$		133,96 mm
	wc =	407,36 mm
Šírka tlačenej diagonály C14:		
$C14 \cdot \sin \alpha / 662,43 \cdot 400$		129,33 mm

	wc =	404,80 mm		
Sigma C12 = $C12 \cdot 10^3 / b \cdot wc$		3,94 MPa	<	14,96 MPa OK
Sigma C14 = $C14 \cdot 10^3 / b \cdot wc$		3,83 MPa	<	14,96 MPa OK
Sigma T13 = $T13 \cdot 10^3 / b \cdot wt$		3,23 MPa	<	14,96 MPa OK

Zakotvenie výstuže v uzle 1:

Základná kotviaca dĺžka: $fbd = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot fct0,05d$		3,0 MPa
$\eta_1 =$	1,0	
$\eta_2 =$	1,0	
$fct0,05d =$	1,33	
$\sigma_{sd} = A_{s,req} / A_{s,prov} \cdot f_{yd}$		349,4 MPa
$l_{b,rqd} = profil \cdot \sigma_{sd} / 4 \cdot fbd$		407,7 mm
Návrhová kotviaca dĺžka $l_{bd} =$		490 mm

Uzol 2: Typu C

$l_r =$	500 mm	
$wt =$	300 mm	
Šírka tlačenej diagonály C21: $C21 / 401,22 \cdot 500$	500,00 mm	
	wc = 500,00 mm	
Sigma C21 = $C21 \cdot 10^3 / b \cdot wc$	3,21 MPa	< 17,60 MPa OK

Uzol 3: Typu TTT

$wt =$	400 mm	
Sigma T31 = $T31 \cdot 10^3 / b \cdot wt$	3,23 MPa	< 13,20 MPa OK
Sigma T34 = $T34 \cdot 10^3 / b \cdot wt$	0,88 MPa	< 13,20 MPa OK
Sigma T35 = $T35 \cdot 10^3 / b \cdot wt$	3,23 MPa	< 13,20 MPa OK

Uzol 4: Typu CCTT

$l_r =$	500 mm	
$wt =$	300 mm	
Šírka tlačenej diagonály C41: $C41 \cdot \sin \alpha / 401,22 \cdot 500$	266,92 mm	
	wc = 397,56 mm	
Šírka tlačenej diagonály C45: $C45 \cdot \sin \alpha / 401,22 \cdot 500$	342,33 mm	
	wc = 439,26 mm	
Sigma C41 = $C41 \cdot 10^3 / b \cdot wc$	3,90 MPa	< 13,20 MPa OK
Sigma C45 = $C45 \cdot 10^3 / b \cdot wc$	4,52 MPa	< 13,20 MPa OK
Sigma T43 = $T43 \cdot 10^3 / b \cdot wt$	1,17 MPa	< 13,20 MPa OK
Sigma T46 = $T46 \cdot 10^3 / b \cdot wt$	1,22 MPa	< 13,20 MPa OK

Uzol 5: Typu CCCTT

$l_r =$	400 mm	
$wt =$	400 mm	
Šírka tlačenej diagonály C54: $C54 \cdot \sin \alpha / 1004,85 \cdot 400$	109,35 mm	
	wc = 393,75 mm	
Šírka tlačenej diagonály C56: $C56 / 1004,85 \cdot 400$	159,71 mm	
	wc = 159,71 mm	
Šírka tlačenej diagonály C58: $C58 \cdot \sin \alpha / 1004,85 \cdot 400$	96,04 mm	
	wc = 386,39 mm	
Sigma C54 = $C54 \cdot 10^3 / b \cdot wc$	5,05 MPa	< 13,20 MPa OK
Sigma C56 = $C56 \cdot 10^3 / b \cdot wc$	10,05 MPa	< 13,20 MPa OK
Sigma C58 = $C58 \cdot 10^3 / b \cdot wc$	4,52 MPa	< 13,20 MPa OK
STM Sigma T53 = $T53 \cdot 10^3 / b \cdot wt$	3,23 MPa	< 13,20 MPa OK
STM Sigma T57 = $T57 \cdot 10^3 / b \cdot wt$	2,72 MPa	< 13,20 MPa OK

Uzol 6: Typu CTT

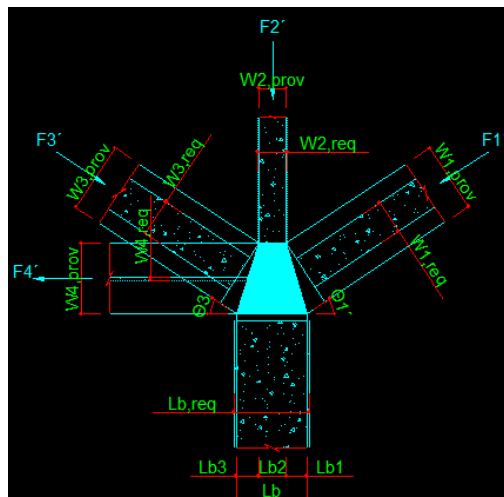
$l_r =$	500 mm	
$wt =$	300 mm	
Šírka tlačenej diagonály C65: $C65 / 401,22 \cdot 500$	500,00 mm	
	wc = 500,00 mm	

$\sigma_{C65} = C65 \cdot 10^3 / b \cdot w_c$	3,21 MPa <	13,20 MPa	OK
$\sigma_{T64} = T64 \cdot 10^3 / b \cdot w_t$	1,22 MPa <	13,20 MPa	OK
$\sigma_{T68} = T68 \cdot 10^3 / b \cdot w_t$	1,22 MPa <	13,20 MPa	OK

Uzol 7: Typu TTT	
wt =	400 mm
$\sigma_{T75} = C75 \cdot 10^3 / b \cdot w_t$	2,72 MPa < 13,20 MPa OK
$\sigma_{T78} = T78 \cdot 10^3 / b \cdot w_t$	0,88 MPa < 13,20 MPa OK
$\sigma_{T79} = T79 \cdot 10^3 / b \cdot w_t$	2,72 MPa < 13,20 MPa OK

Uzol 8: Typu CCTTT	
lr =	500 mm
wt =	300 mm
Šírka tlačenej diagonály C85: $C85 \cdot \sin \alpha / 401,22 \cdot 500$	300,65 mm
wc =	416,21 mm
Šírka tlačenej diagonály C89: $C89 \cdot \sin \alpha / 401,22 \cdot 500$	300,65 mm
wc =	416,21 mm
$\sigma_{C85} = C85 \cdot 10^3 / b \cdot w_c$	4,19 MPa < 13,20 MPa OK
$\sigma_{C89} = C89 \cdot 10^3 / b \cdot w_c$	4,19 MPa < 13,20 MPa OK
$\sigma_{T86} = T86 \cdot 10^3 / b \cdot w_t$	1,22 MPa < 13,20 MPa OK
$\sigma_{T810} = T810 \cdot 10^3 / b \cdot w_t$	1,22 MPa < 13,20 MPa OK

Kapacita uzlu v M3:



$$L_b = 400.0 \text{ mm}$$

$$h_a = 400.0 \text{ mm}$$

$$P = 1227.27 \text{ kN}$$

$$L_{b1} = P_1 / P \times L_b = [F_{12} \times \sin(\theta_{12})] / P \times L_b = [540.94 \times \sin(33.6)] / 1227.27 \times 400.0 = 97.5 \text{ mm}$$

$$F_{1'} = \{ [F_{12} \times \cos(\theta_{12})]^2 + [F_{12} \times \sin(\theta_{12})]^2 \}^{0.5}$$

$$= \{ [540.94 \times \cos(33.6)]^2 + [540.94 \times \sin(33.6)]^2 \}^{0.5} = 540.94 \text{ kN}$$

$$\theta_{1'} = \tan^{-1}([F_{12} \times \sin(\theta_{12})] / [F_{12} \times \cos(\theta_{12})])$$

$$= \tan^{-1}([540.94 \times \sin(33.6)] / [540.94 \times \cos(33.6)]) = 33.6 \text{ deg.}$$

$$L_{b2} = P_2 / P \times L_b = [F_{11} \times \sin(\theta_{11})] / P \times L_b = [401.22 \times \sin(90.0)] / 1227.27 \times 400.0 = 130.8 \text{ mm}$$

$$F_{2'} = \{ [F_{11} \times \cos(\theta_{11})]^2 + [F_{11} \times \sin(\theta_{11})]^2 \}^{0.5}$$

$$= \{ [401.22 \times \cos(90.0)]^2 + [401.22 \times \sin(90.0)]^2 \}^{0.5} = 401.22 \text{ kN}$$

$$\theta_{2'} = \tan^{-1}([F_{11} \times \sin(\theta_{11})] / [F_{11} \times \cos(\theta_{11})])$$

$$= \tan^{-1}([401.22 \times \sin(90.0)] / [401.22 \times \cos(90.0)]) = 90.0 \text{ deg.}$$

$$Lb3 = P3 / P \times Lb = [F10 \times \sin(\Theta10)] / P \times Lb$$

$$= [596.67 \times \sin(33.6)] / 1227.27 \times 400.0 = 107.5 \text{ mm}$$

$$F3' = \{ [F10 \times \cos(\Theta10)]^2 + [F(10) \times \sin(\Theta10)]^2 \}^{0.5}$$

$$= \{ [596.67 \times \cos(33.6)]^2 + [596.67 \times \sin(33.6)]^2 \}^{0.5} = 596.67 \text{ kN}$$

$$\Theta3' = \tan^{-1}([F10 \times \sin(\Theta10)] / [F10 \times \cos(\Theta10)])$$

$$= \tan^{-1}([596.67 \times \sin(33.6)] / [596.67 \times \cos(33.6)]) = 33.6 \text{ deg.}$$

$$F4' = F21 - F22 = 404.29 - 357.86 = 46.43 \text{ kN}$$

$$W1,prov = Lb1 \times \sin(\Theta1') + ha \times \cos(\Theta1') = 97.49 \times \sin(33.6) + 400.00 \times \cos(33.6) = 387.2 \text{ mm}$$

$$W2,prov = Lb2 \times \sin(\Theta2') + ha \times \cos(\Theta2') = 130.77 \times \sin(90.0) + 400.00 \times \cos(90.0) = 130.8 \text{ mm}$$

$$W3,prov = Lb3 \times \sin(\Theta3') + ha \times \cos(\Theta3') = 107.53 \times \sin(33.6) + 400.00 \times \cos(33.6) = 392.7 \text{ mm}$$

$$W4,prov = ha = 400.0 \text{ mm}$$

$$W1,req = F1' / [\Phi \times 0.85 \times \beta \times f(ck) \times b] = (540.94 \times 1000) / [0.75 \times 0.85 \times 0.60 \times 30.0 \times 250.00]$$

$$= 188.6 \text{ mm} \leq W(1,prov) = 387.2 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

$$W2,req = F2' / [\Phi \times 0.85 \times \beta \times f(ck) \times b] = (401.22 \times 1000) / [0.75 \times 0.85 \times 0.60 \times 30.0 \times 250.00]$$

$$= 139.9 \text{ mm} > W2,prov = 130.8 \text{ mm} \text{ (NEVYHOVUJE)}$$

$$W3,req = F3' / [\Phi \times 0.85 \times \beta \times f(ck) \times b] = (596.67 \times 1000) / [0.75 \times 0.85 \times 0.60 \times 30.0 \times 250.00]$$

$$= 208.0 \text{ mm} \leq W(3,prov) = 392.7 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

$$W4,req = F4' / [\Phi \times 0.85 \times \beta \times f(ck) \times b]$$

$$= (46.43 \times 1000) / [0.75 \times 0.85 \times 0.60 \times 30.0 \times 250.00] = 16.2 \text{ mm} \leq W(4,prov) = 400.0 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

$$Lb,req = P / [\Phi \times 0.85 \times \beta \times f(ck) \times b]$$

$$= (1227.27 \times 1000) / [0.75 \times 0.85 \times 0.60 \times 30.0 \times 250.00]$$

$$= 427.8 \text{ mm} > L(b,req) = 400.0 \text{ mm} \text{ (NEVYHOVUJE)}$$

Týmto faktom sa dá konštatovať, že prierez stĺpu 400x250 mm by nevyhovel – výpočet uskutočnený vyššie je pre stĺp respektíve uzol o kapacite 400x400 mm, ktorý vyhovel.

- Výpočet modelu M4

Výpočet prútových síl na priehradovom modeli:

Uzol 1:

C14 = -591,70 kN

T13 = 493,00 kN

Uzol 2:

C21 = -439,50 kN

T24 = 0,00 kN

Uzol 3:

T34 = 262,60 kN

T35 = 493,00 kN

Uzol 5:

C58 = -659,60 kN

T57 = 436,40 kN

Uzol 4:

C45 = -727,50 kN

T46 = 113,20 kN

Uzol 6:

C65 = -466,80 kN

T68 = 113,20 kN

Uzol 7:

T78 = 262,60 kN

T79 = 436,40 kN

Uzol 8:

C89 = -659,60 kN

T810 = 113,20 kN

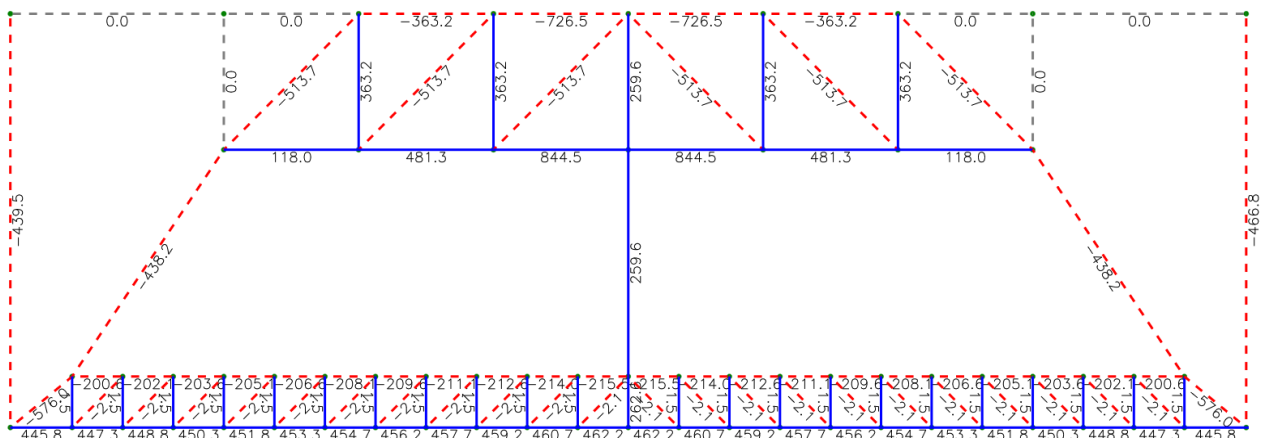
Návrh výstuže táhadiel:

T13 =	As,req =	1133,90 mm ²	Profil	14 mm	As1 =	153,94 mm ²	Počet	8	As,prov =	1231,50 mm ²
T34 =	As,req =	603,98 mm ²	Profil	14 mm	As1 =	153,94 mm ²	Počet	4	As,prov =	615,75 mm ²
T46 =	As,req =	260,36 mm ²	Profil	14 mm	As1 =	153,94 mm ²	Počet	4	As,prov =	615,75 mm ²
T57 =	As,req =	1003,72 mm ²	Profil	14 mm	As1 =	153,94 mm ²	Počet	7	As,prov =	1077,57 mm ²

Príloha číslo 2.

- Výpočet modelu s pôvodnými otvormi

Vytvorený STM s pôvodnými otvormi:



Prútové (ťahadlové) sily pre dimenzovanie výstuže:Horná časť priehradového modelu (z prava):

T1 =	118,00 kN	vodorovne
T2 =	481,30 kN	vodorovne
T3 =	844,50 kN	vodorovne
T1 =	363,20 kN	zvislo
T2 =	259,60 kN	zvislo

Spodná časť priehradového modelu (z prava):

T1 =	445,80 kN	vodorovne
T2 =	447,30 kN	vodorovne
T3 =	448,80 kN	vodorovne
T4 =	450,30 kN	vodorovne
T5 =	451,80 kN	vodorovne
T6 =	453,30 kN	vodorovne
T7 =	454,70 kN	vodorovne
T8 =	456,20 kN	vodorovne
T9 =	457,70 kN	vodorovne
T10 =	459,20 kN	vodorovne
T11 =	460,70 kN	vodorovne
T12 =	462,20 kN	vodorovne
T1 =	1,50 kN	zvislo
T2 =	1,50 kN	zvislo
T3 =	1,50 kN	zvislo
T4 =	1,50 kN	zvislo
T5 =	1,50 kN	zvislo
T6 =	1,50 kN	zvislo
T7 =	1,50 kN	zvislo
T8 =	1,50 kN	zvislo
T9 =	1,50 kN	zvislo
T10 =	1,50 kN	zvislo
T11 =	1,50 kN	zvislo
T12 =	262,60 kN	zvislo

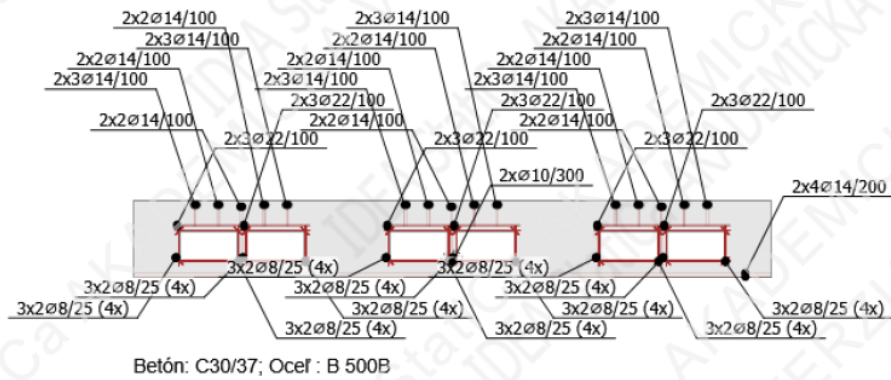
Návrh výstuže ťahadiel pre hornú časť priehradového modelu

T1 =	As,req =	271,40 mm ²	Profil	14 mm	As1 =	153,94 mm ²	Počet	2	As,prov =	307,88 mm ²
T2 =	As,req =	1106,99 mm ²	Profil	14 mm	As1 =	153,94 mm ²	Počet	8	As,prov =	1231,50 mm ²
T3 =	As,req =	1942,35 mm ²	Profil	22 mm	As1 =	380,13 mm ²	Počet	6	As,prov =	2280,80 mm ²
T1 =	As,req =	835,36 mm ²	Profil	14 mm	As1 =	153,94 mm ²	Počet	6	As,prov =	923,63 mm ²
T2 =	As,req =	597,08 mm ³	Profil	14 mm	As1 =	153,94 mm ³	Počet	4	As,prov =	615,75 mm ³

Návrh výstuže ťahadiel pre spodnú časť priehradového modelu

T1 =	As,req =	1025,34 mm ²	Profil	14 mm	As1 =	153,94 mm ²	Počet	8	As,prov =	1231,50 mm ²
T2 =	As,req =	1028,79 mm ²	Profil	14 mm	As1 =	153,94 mm ²	Počet	8	As,prov =	1231,50 mm ²
T3 =	As,req =	1032,24 mm ²	Profil	14 mm	As1 =	153,94 mm ²	Počet	7	As,prov =	1077,57 mm ²
T4 =	As,req =	1035,69 mm ²	Profil	14 mm	As1 =	153,94 mm ²	Počet	7	As,prov =	1077,57 mm ²
T5 =	As,req =	1039,14 mm ³	Profil	14 mm	As1 =	153,94 mm ³	Počet	7	As,prov =	1077,57 mm ³
T6 =	As,req =	1042,59 mm ²	Profil	14 mm	As1 =	153,94 mm ²	Počet	7	As,prov =	1077,57 mm ²
T7 =	As,req =	1045,81 mm ²	Profil	14 mm	As1 =	153,94 mm ²	Počet	7	As,prov =	1077,57 mm ²
T8 =	As,req =	1049,26 mm ²	Profil	14 mm	As1 =	153,94 mm ²	Počet	7	As,prov =	1077,57 mm ²
T9 =	As,req =	1052,71 mm ²	Profil	14 mm	As1 =	153,94 mm ²	Počet	7	As,prov =	1077,57 mm ²
T10 =	As,req =	1056,16 mm ³	Profil	14 mm	As1 =	153,94 mm ³	Počet	7	As,prov =	1077,57 mm ³
T11 =	As,req =	1059,61 mm ²	Profil	14 mm	As1 =	153,94 mm ²	Počet	7	As,prov =	1077,57 mm ²
T12 =	As,req =	1063,06 mm ²	Profil	14 mm	As1 =	153,94 mm ²	Počet	7	As,prov =	1077,57 mm ²
T12 =	As,req =	603,98 mm ²	Profil	14 mm	As1 =	153,94 mm ²	Počet	4	As,prov =	615,75 mm ²

Schéma výstuže:



Výsledky

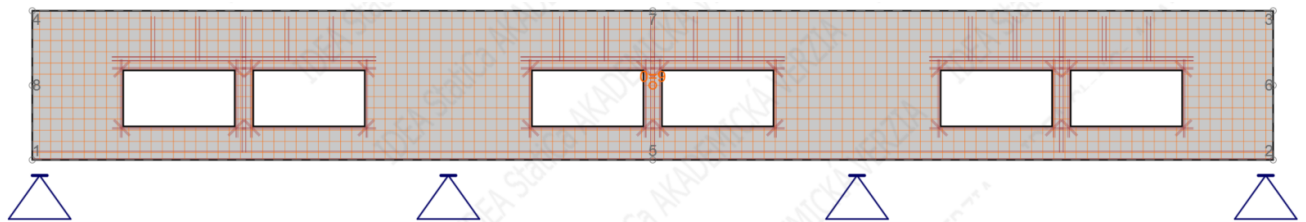
Zhrnutie

Celková tabuľka

Položka posudku	Kombinácie	Prírastok	Položka		
MSÚ	LC1	100,0%	Pevnosť výstuže	✓	
Položka posudku	Položka	Využití			
Pevnosť betónu	W1	σ/σ_{lim} : 71,4%		✓	
Pevnosť výstuže	WF1	$\epsilon_s/\epsilon_{s,lim}$: 5,5%, $\sigma_s/\sigma_{s,lim}$: 43,3%		✓	
Kotevná dĺžka	WF1	t_b/f_{bd} : 99,8%		✓	
MSP	C2 (ST)	G100,0%	Obmedzenia napätia	✓	
Položka posudku	Kombinácie	Prírastok	Kritický posudek	Položka	Využití
Obmedzenia napätia	C2 (ST)	G100,0%	7.2(2)	W1	86,0%

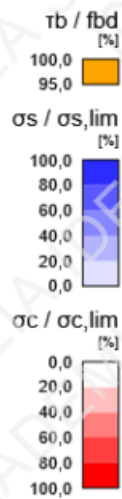
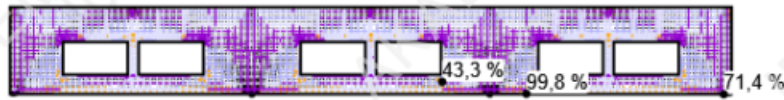
Schéma výstuže:

Podrobnejšia schéma výstuže:



MSÚ - Zhrnutie

Tok napětí



Nad mezí kluzu	Tlak	Vysvetlenie
		Tloušťka úměrná k síle

Souhrn reakcí a aplikovaných zatížení: LC1, Přírůstek zatížení: 100,0%

Typ	F_x [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]
Souhrn reakcí	0,0	4658,8	77801,7
Souhr aplikovaných zatížení	0,0	-4658,5	-77797,3
Kontrola rovnováhy	0,0	0,3	4,4

• STM pre M4 s otvormi

