

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD
KATEDRA MECHANIKY
OBOR STAVITELSTVÍ
AKADEMICKÝ ROK 2016/2017

DIPLOMOVÁ PRÁCE

TÉMA DIPLOMOVÉ PRÁCE:

**ANALÝZA VIERENDEELOVA NOSNÍKU, ŘEŠENÉHO DLE EC S
MODELOVOU PODOBNOSTÍ**

Vypracoval:
Vedoucí diplomové práce

Bc. Luboš Bischof
Ing. Petr Kesl

V Plzni 2017

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že diplomovou práci na téma “Analýza Vierendeelova nosníku, řešeného dle EC s modelovou podobností“ jsem vypracoval samostatně s použitím uvedených zdrojů a pod odborným dohledem vedoucího práce Ing. Petra Kesla.

V Plzni dne 10.1.2017

.....

Podpis

Poděkování

Tímto chci poděkovat Ing. Petru Keslovi za vedení mé bakalářské práce, za cenné rady a připomínky, za konzultace, které mi pomáhaly při vypracování této bakalářské práce. Dále chci poděkovat Ing. Vlastimilu Vackovi, CSc., že nám umožnil provést potřebné měření pro diplomovou práci v laboratoři na katedře mechaniky. Též chci poděkovat své rodině a blízkým přátelům za podporu.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá Vierendeelovým nosníkem a jeho analýzou. V práci je popsána v krátkosti historie Vierendelova nosníku a příklady použití nosníků na pozemních a dopravních konstrukcích. Dále je provedena analýza Vierendeelova nosníku pomocí výpočtového modelu. Výsledky z analýzy jsou následně porovnány s výsledky z modelové podobnosti nosníku, u které byla měřená veličina deformace nosníku při určitém zatížení nosníku.

Pro výpočet vnitřních silových účinků, vyvolaných statickým zatížením, byl použit software Scia Engineer. Zatížení a kombinace zatížení byli provedeny při analýze dle norem ČSN EN.

Klíčová slova: Vierendeelův nosník, analýza, modelová podobnost

Abstract

This thesis deal with the Vierendeels truss and its analysis. In the thesis is written history of Vierendeels truss and example of its use. This truss is usually used in civil and transportation construction. Furthermore there is done analysis of the Vierendeels truss by calculation model. Result from analysis are compared with results from similitude model of truss, where was measured a deflection of truss under load.

For calculation internal forces effects was used Scia Engineer software. Loads and combination of loads was done in accordance with ČSN EN standards in the analysis.

Key words: Vierendeels truss, analysis, similitude of model.

Obsah

Prohlášení	2
Poděkování	3
Anotace	4
Abstract	5
Úvod	7
A. Vierendeelův nosník	8
1. Popis konstrukce.....	8
2. Historie Vierendeelova nosníku.....	9
3. Vierendeelův nosník v dnešní době.....	15
4. Druhy Vierendeelova nosníku.....	17
B. Analýza Vierendeelova nosníku	19
1. Obecná analýza Vierendeelova nosníku.....	19
2. Návrh a analýza Vierendeelova nosníku pro zadání.....	53
3. Modelová podobnost.....	67
4. Porovnání Vierendeelova nosníku s příhradovým.....	82
C. Závěr	83
D. Seznam použité literatury, zdrojů a softwaru	84
E. Přílohy – Výstupy ze Scia Engineer	88
1. Lávky z Vierendeelových nosníků bez kloubů.....	88
2. Lávky z Vierendeelových nosníků s klouby.....	102
3. Lávky z příhradových nosníků.....	116

Úvod

Úkolem této diplomové práce je seznámit se s konstrukcí Vierendeelova nosníku. Bude popsána jeho historie a jeho využití v historii ve stavebnictví. Dále bude popsáno, jak na tom je v dnešní době Vierendeelův nosník ve stavebnictví a kde všude ho lze ještě stále nalézt, i když jenom ojediněle.

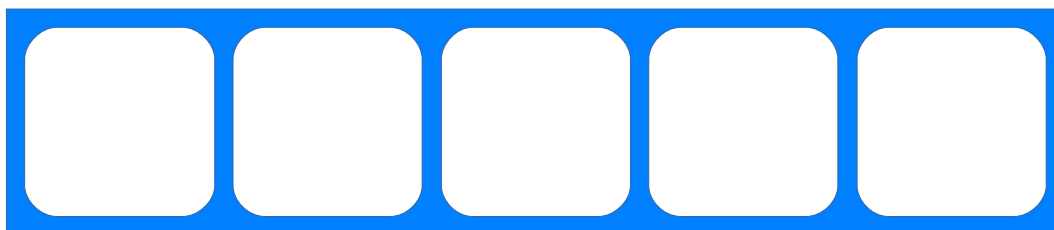
Další část diplomové práce se bude zabývat analýzou Vierendeelova nosníku a to jak obecnou, tak analyzování nosníku navrženého dle EC pro určitou situaci. V obecné analýze budou porovnávány průběhy vnitřních sil na Vierendeelových nosnících o různé konfiguraci.

Pro navržený Vierendeelův nosník bude provedena nakonec i modelová podobnost, kde budeme porovnávat měřený model nosníku v měřítku 1:100 ku výpočtovému modelu nosníku.

A. Vierendeelův nosník

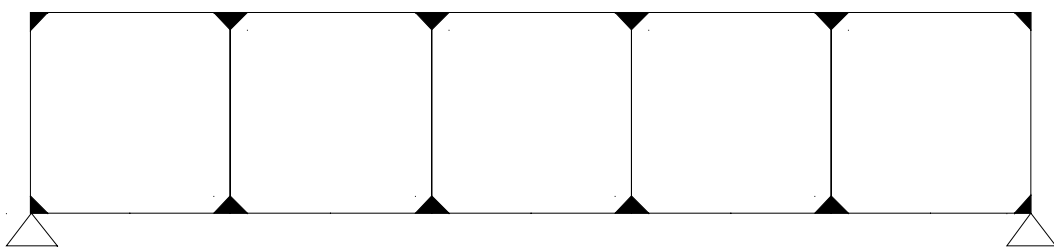
1. Popis konstrukce

Vierendeelův nosník je konstrukce, která se vyznačuje tím, že se skládá pouze ze spodní a horní pásnice, které jsou propojeny svislými prvky. Jednotlivé prvky jsou mezi sebou propojeny tuhými rámovými rohy. Na rozdíl od příhradové konstrukce, prvky ve vierendeelově nosníku přenášejí jak normálové síly, tak i posouvající síly a ohybový moment.



Obrázek 1: Příklad tvaru vierendeelova nosníku

Vierendeelův nosník je tedy rámová konstrukce s tuhými rámovými rohy. Tím pádem pokud vierendeelův nosník podepřeme jako prostý nosník, je pak nosník vnějšně staticky určitý, ale vnitřně staticky neurčitý.



Obrázek 2: Statické schéma vierendeelova nosníku

Prvky ve Vierendeelově nosníku jsou oproti příhradové konstrukci mnohem masivnější tj. mají větší profily průřezu. Ve většině případů má Vierendeelův nosník prvky z profilů, které mají průřez tvaru H, I a nebo také trubky.

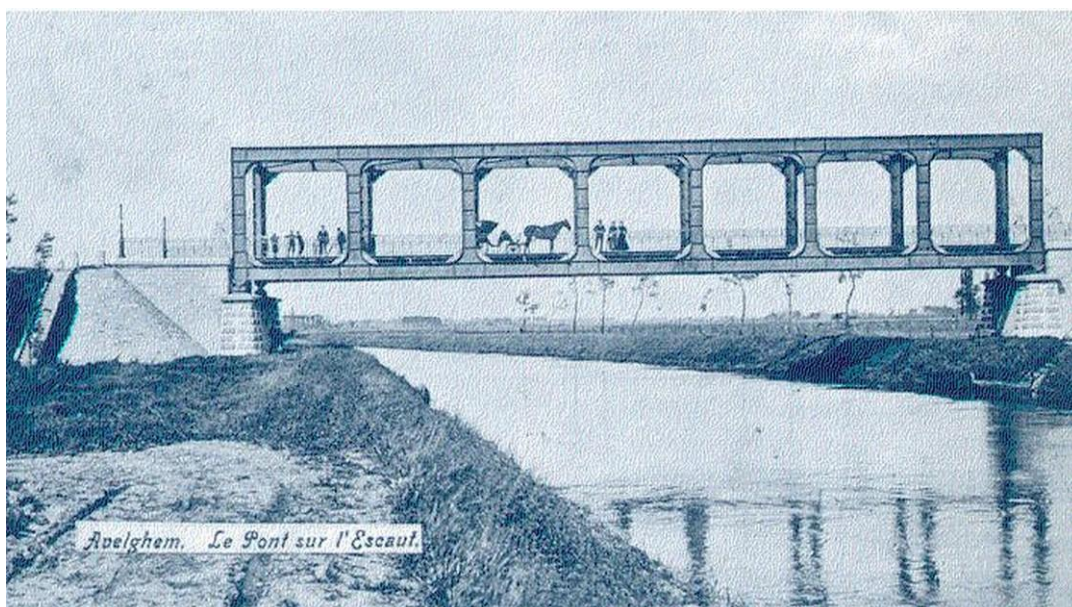
Dalším znakem Vierendeelova nosníku je jeho výška. Ta může být od desítek centimetrů až do výšky několika metrů. Velice často se v zahraničí v budovách objevují nosníky o výšce jednoho podlaží. Asi nejpodstatnějším znakem Vierendeelova nosníku jsou otvory po celé délce nosníku. Ty mohou mít tvar čtvercový, obdélníkový, mnohoúhelníkový a také i kruhový. Kruhové a mnohoúhelníkové otvory najdeme spíše u prolamovaných nosníků, které se dají brát za jeden typ Vierendeelova nosníku.

2. Historie Vierendeelova nosníku

Vierendeelův nosník poprvé navrhl a nechal si patentovat belgický inženýr Arthur Vierendeel. Jeho první použití bylo pro mostní konstrukce. Myšlenka na návrh mostní konstrukce bez použití příhradové konstrukce Arthura Vierendeela napadla poprvé v roce 1895. První most s touto konstrukcí postavil pro mezinárodní výstavu v Bruselu, která se konala v roce 1897. Most byl dlouhý 31,5 m. Ten pak nechal zatížit, aby ukázal srovnání mezi měřením konstrukce a jeho numerickou analýzou. Svoji konstrukci mostu a nosníku si nechal v roce 1899 patentovat.

2.1. Mostní konstrukce

První most, který byl zhotoven podle Vierendeelova návrhu, byl postaven v belgickém městě Avelgem přes řeku Schelde v roce 1904 a byl dlouhý 42 metrů. Rozměry otvorů v nosnících byly přibližně 6×6 m.



Obrázek 3: Vierendeelův most v městě Avelgem 1904

Díky tomu, že Arthur Vierendeel pocházel z Belgie, najdeme v Belgii největší koncentraci Vierendeelových mostů na světě. Většina mostů s touto konstrukcí byla nejdříve stavěna pro železniční tratě, pak se začali používat i pro silniční dopravu. Do dneška se v Belgii dochoval celkem velký počet mostů s vierendeelovou konstrukcí z původního počtu. Mnoho Vierendeelových mostů bylo už nahrazeno novodobými mostními konstrukcemi a to hlavně pro silniční dopravu. Některé mosty byly zrušeny bez náhrady. Většina původních Vierendeelových mostů měly tvar obloukového mostu, jak je na obrázku 4.



Obrázek 4: Ukázka tvaru Vierendeelových mostů

Prvky v prvotních konstrukcích byli spojovány pomocí nýťovaných spojů. Tento typ spojování byl hlavní způsob spojování ocelových konstrukcí do poloviny 20. století. Pak se začalo využívat svařované a šroubové spoje. Proto většina dochovaných ocelových Vierendeelových mostů v Belgii jsou zhotovena pomocí nýťových spojů.

2.2. Pozemní konstrukce

Vierendeelův nosník se také začal používat pro výstavbu budov. Nejčastěji se využíval pro obvodové konstrukce objektu, kde do jeho otvorů se dávali třeba výplně fasády. Většinou se dělal tak, aby byl na celou výšku jednoho podlaží. Asi nejlépe je to patrné na dalším obrázku. Jedná se o budovu American Zinc, která byla postavena v roce 1967 v St. Louis.



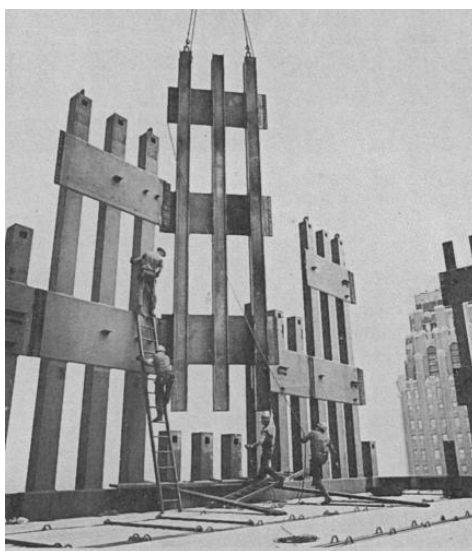
Obrázek 5: American Zinc, St. Louis

Budova byla určena pro kancelářské prostory. Na této budově je velmi dobře vidět Vierendeelův nosník, který měl délku 37,2 m a výška jednoho podlaží, která byla 3,1 m. Celková výška Vierendeelova nosníku tedy byla přibližně 9,3 m. Vierendeelův nosník byl zhotoven z ocele. V zadní části budovy byla železobetonová konstrukce, ve které byli umístěny výtahy, dvě schodiště a zázemí pro zaměstnance. Šířka budovy mezi Vierendeelovým nosníkem a železobetonovou konstrukcí je 15,6 m. Zatížení z tohoto prostoru se přenášelo pouze do železobetonové konstrukce a Vierendeelova nosníku. V devadesátých letech byla tato budova zbourána.



Obrázek 6: American Zinc, St. Louis;

Konstrukce na způsob Vierendeelova nosníku byla také použita u World Trade Center 1 a 2. Tato konstrukce tvořila nosnou obvodovou konstrukci budovy. Konstrukce se skládala z velmi hustě rozmístěných sloupů po obvodu objektu. Sloupy ve vyšších podlažích, kde byly hustší, měli průměr 0,6×1,06 m a osová vzdálenost mezi nimi byla 1 m. Tyto sloupy byly propojeny mezi sebou masivním vodorovným prvkem, který byl 1,3 m vysoký a dokázal přenášet momenty. Tato konstrukce je vidět na obrázku č.7 a 8.



*Obrázek 7: World Trade Center,
konstrukce nosného pláště*



*Obrázek 8: World Trade Center,
konstrukce nosného pláště*

Z obrázku č.7 je vidět, že obvodové sloupy byly provedeny jako prefabrikovaný dílec, který se následně spojoval s ostatními dílci sloupů. Pokud se na dílec podíváme, vidíme na něm

základní rysy Vierendeelova nosníku. Na obrázku č.8 je pohled na rozestavěnou výškovou budovu World Trade Centra, na kterém je patrné, že obvodová konstrukce doopravdy vytváří Vierendeelovi nosníky, ale ne ve vodorovném, nýbrž ve svislém směru. Sloupy obvodové konstrukce byly tedy namáhány jak normálovými silami, tak i ohybovým momentem. Tato konstrukce nosného obvodového pláště přenášela 40% z veškerého zatížení budovy. Obvodový plášť budovy též musel přenést veškeré vodorovné zatížení od větru do základové konstrukce budovy.

V České republice je asi nejznámější budovou, která využila Vierendeelovi nosník, budova bývalého Federálního shromáždění na Vinohradech v Praze, kterou navrhl Karel Prager. Dneska budova spadá pod správu Národního muzea. Tento dvoupodlažní objekt, postavený nad bývalou budovou Pražské burzy, byl navržen z Vierendeelových nosníků, které všechno zatížení v objektu přenáší do čtyř sloupů. Objekt má rozměry přibližně 59m na šířku, 83m na délku a výšku dvou podlaží dohromady 11,5m.



Obrázek 9: Bývalá budova Federálního shromáždění

Vierendeelovi nosníky na vnějšku budovy byli navrženi na celou výšku dvou podlaží. Z obrázku č.9 je patrné, že svislé prvky, které propojují spodní a horní pásnici, se v polovině své výšky zužují. To je možné, jelikož v polovině svislých prvků je nejmenší ohybový moment. Díky tomu lze snížit hmotnost nosníku při zachování jeho tuhosti.

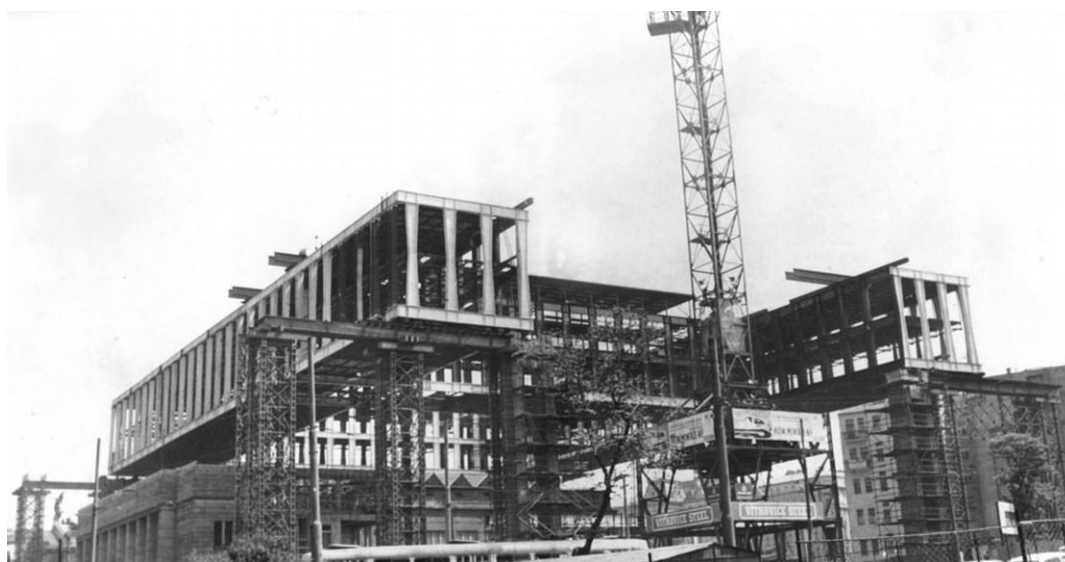


Obrázek 10: Pohled na vnitřní část budovy Federálního shromáždění

Na obrázku č.10 je pohled na vnitřní Vierendeelovo nosníky. Vnitřní nosníky už nejsou tolik vidět z okolí a proto mohli být rozdělené po podlažích. Díky přidání další pásnice dojde k rozdělení svislých prvků a tím pádem k zvýšení tuhosti Vierendelova nosníku. Tímto se zvýší nosnost nosníku.



Obrázek 11: Výstavba budovy Federálního shromáždění



Obrázek 12: Výstavba budovy Federálního shromáždění

Z obrázků č.11 a 12 je zřejmý postup výstavby. Na obrázku č.11 je vidět celá sestavená část levé části objektu na zemi. Ta byla pomocí dvou zdvihacích jeřábů zvednutá do správné výšky, kde pod ní byl zasunut nosník. Po tomto nosníky byla pak posunuta směrem vpravo na své místo, jak už je znázorněné na obrázku č.12. Takto to bylo provedeno i s pravou částí. Tato část objektu má na délku 83m. Tady byla právě využita schopnost Vierendeelova nosníku překonávat velké vzdálenosti i při výstavbě.

3. Vierendeelův nosník v dnešní době

V dnešní době Vierendeelův nosník na nových objektech moc nevidíme. Vierendeelův nosník se objevuje výjimečně a spíše stále na mostních konstrukcích než u budov. U budov se většinou objevuje, když budova má nějakou část navrženou jako konzolu. Nejčastěji je ale spíše použit jako architektonický prvek, který má ještě tu vlastnost, že může být i hlavní nosnou konstrukcí objektu.



Obrázek 13: Stratford City Link Bridge, Londýn, 130m dlouhý a 14m široký most

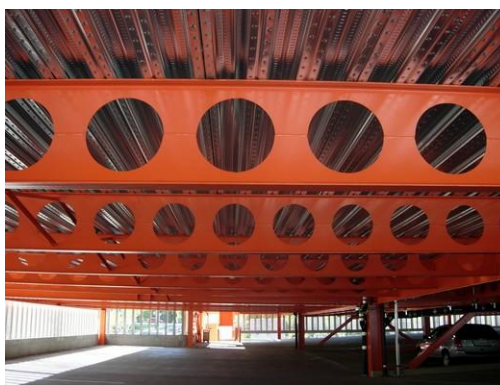
V dnešní době, kdy pro návrhy konstrukce používáme výpočetní techniku není žádný problém s návrhem Vierendeelova nosníku. Bohužel se ale často hledí na cenu konstrukce a její pracnost. Proto se v dnešní době nejvíce využívají příhradové konstrukce, které mají ve většině případů své prvky mnohem menší než u Vierendeelova nosníku a tím pádem celá konstrukce má menší cenu. Navíc styky v příhradové konstrukci nemusejí přenášet skoro žádné ohybové momenty a jsou jednodušší na výpočet a posouzení.



Obrázek 14: Paul Milstein Hall, Cornellova Universita v NY

Pokud dneska člověk narazí na Vierendeelův nosník v budově, bude se spíše jednat o takzvaný hybridní nosník, kdy část je provedena jako klasický Vierendeelův nosník a část jako příhradová konstrukce viz obrázek č.14. V místě, kde je jednoduší přenášet osově síly v prvcích konstrukce, se udělá příhradová konstrukce a tam, kde už vyhoví stejný průřez prvku příhradové části jako svislý prvek Vierendeelova nosníku, který musí přenášet i momenty, tak tam se udělá už Vierendeelův nosník. Má to tu výhodu, že svislý prvek Vierendeelova nosníku má menší délku než diagonála příhradové konstrukce. Díky tomu se šetří materiál a snížíme s tím cenu.

Za Vierendeelův nosník lze také považovat prolamované nosníky, ať už má mnohoúhelníkové otvory a nebo kruhové otvory. S těmito nosníky se setkáme na stavbách mnohem častěji než s Vierendeelovým nosníkem na celé podlaží. Některé mají i obdélníkové nebo čtvercové otvory v sobě pro vedení inženýrských sítí a vzduchotechniky. Dokonce i železobetonové nosníky s otvory pracují na principu Vierendeelova nosníku. Pro tyto nosníky se velmi často pro výpočet využívá výpočetní model pro Vierendeelův nosník. Díky tomu je výpočet jednodušší a je na straně bezpečnosti.



Obrázek 15: Ukázka prolamovaného nosníku

4. Druhy Vierendeelova nosníku

4.1. Podle tvaru nosníku

Klasický Vierendeelův nosník



Obrázek 16: Klasický Vierendeelův nosník

Takto vypadal první Vierendeelův nosník, který navrhl. Je to asi jeden z neznámějších tvarů nosníku. Je používán jak u dopravních konstrukcí, tak i u konstrukcí budov.

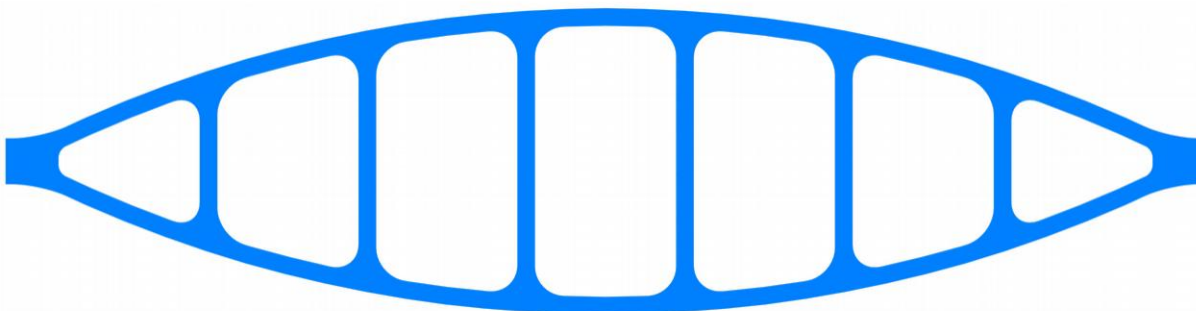
Obloukový Vierendeelův nosník



Obrázek 17: Obloukový Vierendeelův nosník

Pozdější tvar Vierendeelova nosníku byl obloukový, jak je znázorněné na obrázku. Nejčastěji se používá pro mostní konstrukce. Většina mostů v Belgii mají tento tvar.

Obloukový Vierendeelův nosník – zakřivené obě pásnice



Obrázek 18: Obloukový Vierendeelův nosník - zakřivené obě pásnice

Tento tvar Vierendeelova nosníku je, pro svojí výšku, nejčastěji vidět u mostních konstrukcí. Tento tvar konstrukce Vierendeelova nosníku lze nalézt i u pozemních staveb, kde se výška nosníku většinou pohybuje do 1 m.

4.2. Podle materiálu nosníku

Dřevo

Využití dřeva pro vytvoření Vierendeelova nosníku je problematické. U dřevěného materiálu je složité dosáhnout dostatečné tuhosti v tuhých rámových rozích Vierendeelova nosníku. Klasické spojení pomocí svorníků nebo gang nail plechů nebude mít dostatečnou tuhost spojení, která je nutná pro přenášení ohybového momentu mezi jednotlivými prvky Vierendeelova nosníku. Díky tomu by se snižovala únosnost Vierendeelova nosníku.

Jediná možnost, jak vytvořit Vierendeelův nosník z dřevěného materiálu, je využití lepeného dřeva. U tohoto způsobu provedení by se dalo dosáhnout dostatečné tuhosti v rámovém rohu nosníku, jelikož by tuhý rámový roh mohl být tvořen z vrstveného dřeva, které by bylo spojované lepidlem. Tímto by se odstranilo přerušení spojitosti v tuhém rámovém rohu, které vzniká u klasického provedení spojů u dřevěného materiálu.

Ocel

Je to asi nejvhodnější a nejpoužívanější materiál pro konstrukční prvky Vierendeelova nosníku. Prvotní konstrukce Arthura Vierendeela byla zhotovena z ocelových prvků spojených nýtovými spoji. Pozdější a dnešní konstrukce Vierendeelova nosníku mají prvky konstrukce spojovány mezi sebou pomocí svarů. Vytvoření Vierendeelova nosníku je z ocelového materiálu nejjednodušší, jelikož u spojů ocelové konstrukce lze jednoduše dosáhnout tuhosti v tuhých rámových rozích Vierendeelova nosníku a to právě díky svarovému spoji.

Železobeton

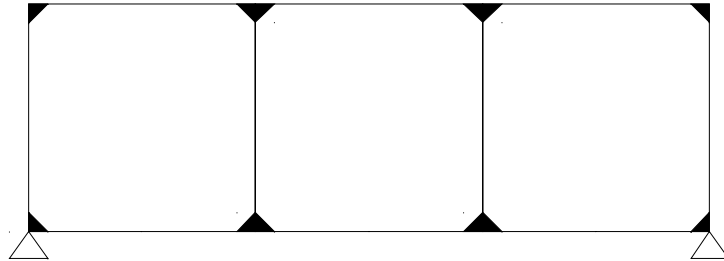
V minulosti i v dnešní době se objevují Vierendeelovi nosníky vytvořené ze železobetonu. Železobeton lze použít jako materiál pro Vierendeelův nosník. Je to díky tomu, že u železobetonu lze dosáhnout dostatečné tuhosti v rámovém rohu nosníku. Všechna tahová napětí v železobetonu totiž přenáší ocelová výztuž, která je zalita v betonu. Jediný problém u železobetonu je správné navržení ocelové výztuže v tuhém rohu nosníku. Jde o to, aby výztuž byla mezi jednotlivými prvky provázaná tak, aby dokázala přenášet ohybový moment mezi prvky. Nejnáročnějším místem v konstrukci je proto navržení ocelové výztuže v tuhém rámovém rohu nosníku. U výztuže v rámovém tuhém rohu, je nejdůležitější správné navržení jejího tvaru, umístění v průřezu a napojení na ostatní prvky. Pokud výztuž nebude správně navržená v tuhém rámovém rohu, může dojít k jejímu vytržení z rámového rohu a nebo by nemusela správně přenášet tahová napětí v tuhém rámovém rohu, což by znamenalo, že by se mohla snížit tuhost rámového rohu.

B. Analýza Vierendeelova nosníku.

1. Obecná analýza Vierendeelova nosníku

1.1. Stupeň statické neurčitosti a jeho vliv na průběh vnitřních sil

Pokud mluvíme o Vierendeelovém nosníku, většinou se jedná o rámovou konstrukci, která je ve většině případů staticky neurčitá. Když se podíváme na další obrázek, uvidíme statické schéma Vierendeelova nosníku o třech polích.



Obrázek 19: Vierendeelův nosník

Všechny rohy v rámové konstrukci Vierendeelova nosníku jsou tuhé rámové rohy. Pro stanovení vnitřní a vnější statické neurčitosti použijeme vzorec pro uzavřené prutové soustavy

$$n_s = 3 \cdot u - p_k + (a - 3) \quad ,$$

kde

u - je počet uzavřených příhrad,

p_k - je počet vnitřních kloubových přípojení přepočtených na jednoduché vnitřní klouby

a - je počet složek reakcí vnějších vazeb.

První část vzorce $n_{s,v} = 3 \cdot u - p_k$ určuje vnitřní statickou neurčitost a druhá část

$n_{s,z} = a - 3$ určuje vnější statickou neurčitost. Pokud tedy spočteme statickou neurčitost

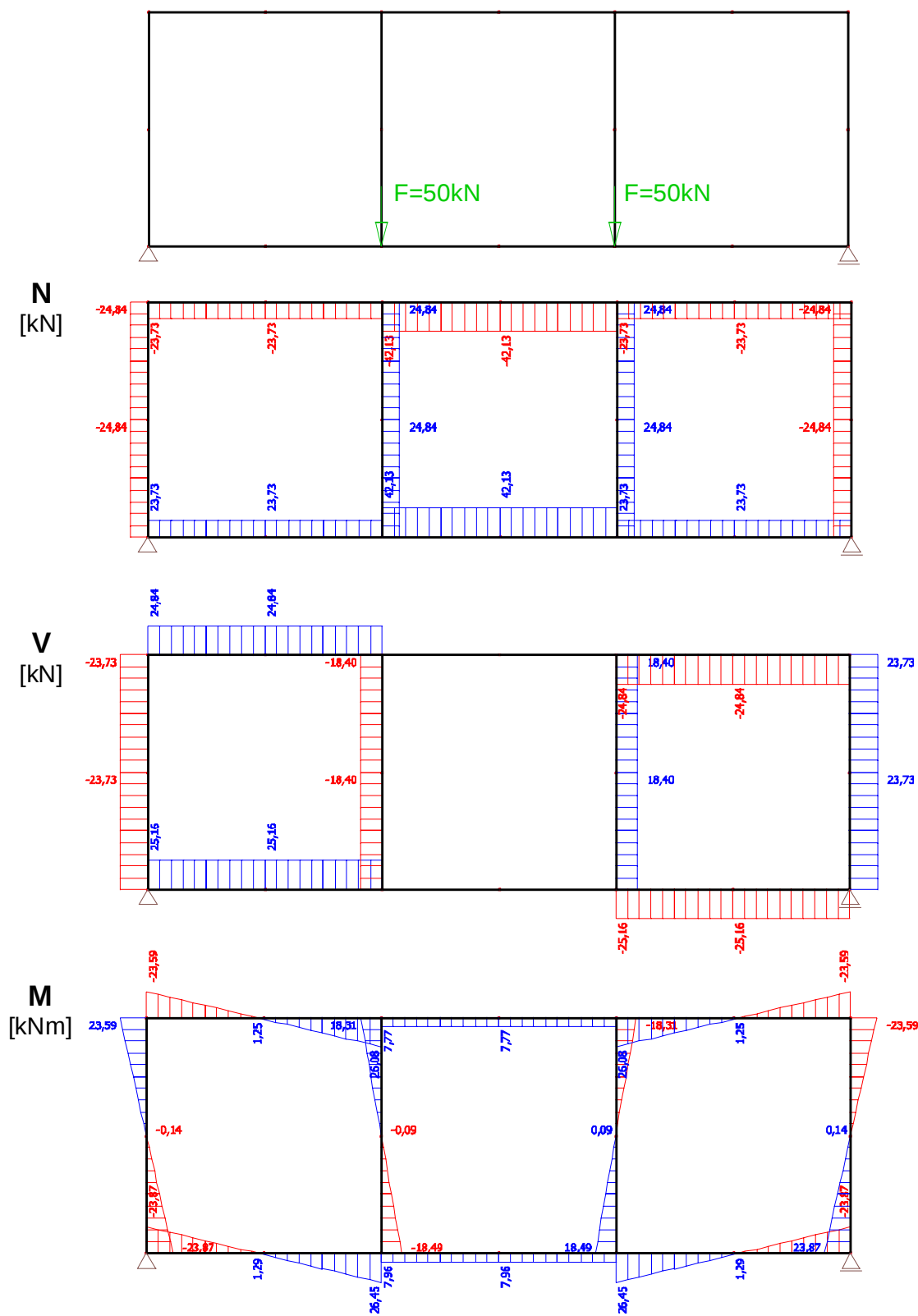
Vierendeelova nosníku, který je na obrázku č.19, dostaneme že

$$n_{s,v} = 3 \cdot 3 - 0 = 9 \quad \text{a} \quad n_{s,z} = 1 \cdot 1 + 2 \cdot 1 - 3 = 0 \quad .$$

To znamená, že Vierendeelův nosník na obrázku č.19 je vnějšně staticky určitý a $9 \times$ vnitřně staticky neurčitý. Stupeň statické neurčitosti pro daný nosník tedy je $n_s = 9$. Jestliže přidáme u Vierendeelova nosníku další pole, bude stupeň statické neurčitosti navýšen o 3, tedy $n_s = 12$. To znamená, že každé přidání pole do Vierendeelova nosníku nám navýší stupeň statické neurčitosti o 3 další.

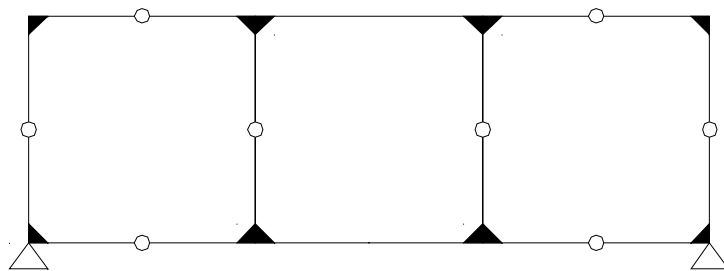
U Vierendeelova nosníku lze stupeň statické neurčitosti snížit a to tak, že se z něj stane staticky určitá konstrukce. Stačí do konstrukce Vierendeelova nosníku vložit na správná místa klouby, které nám statickou neurčitost sníží. Nejvhodnější místa, pro vložení kloubu, jsou ta, kde je ohybový moment roven nule a nebo se k nule blíží, jelikož kloubový spoj nedokáže přenášet ohybový moment. Pokud se podíváme na průběh vnitřních sil ve Vierendeelovo

nosníku, uvidíme, že při zatížení silami ve styčnicích je na každém prvku Vierendeelova nosníku místo, kde ohybový moment je nulový.



Obrázek 20: Průběh vnitřních sil

Při pohledu na průběh vnitřních sil na Vierendeelovo nosníku na obrázku č.20 vidíme, že nulové ohybové momenty jsou na všech svislých prvcích a na krajních vodorovných prvcích. Na vodorovných prvcích uprostřed nosníku nulový ohybový moment se nenachází, jelikož na tomto prvku nedochází ke změně znaménka momentu, tak jinak na obou koncích prvku působí kladný ohybový moment. Podle průběhu ohybových momentů tedy zjišťujeme, že na tomto nosníku můžeme vložit celkem až 8 vnitřních kloubů, které nám chování tohoto Vierendeelova nosníku při stejném zatížení minimálně ovlivní.



Obrázek 21: Vierendeelův nosník s klouby

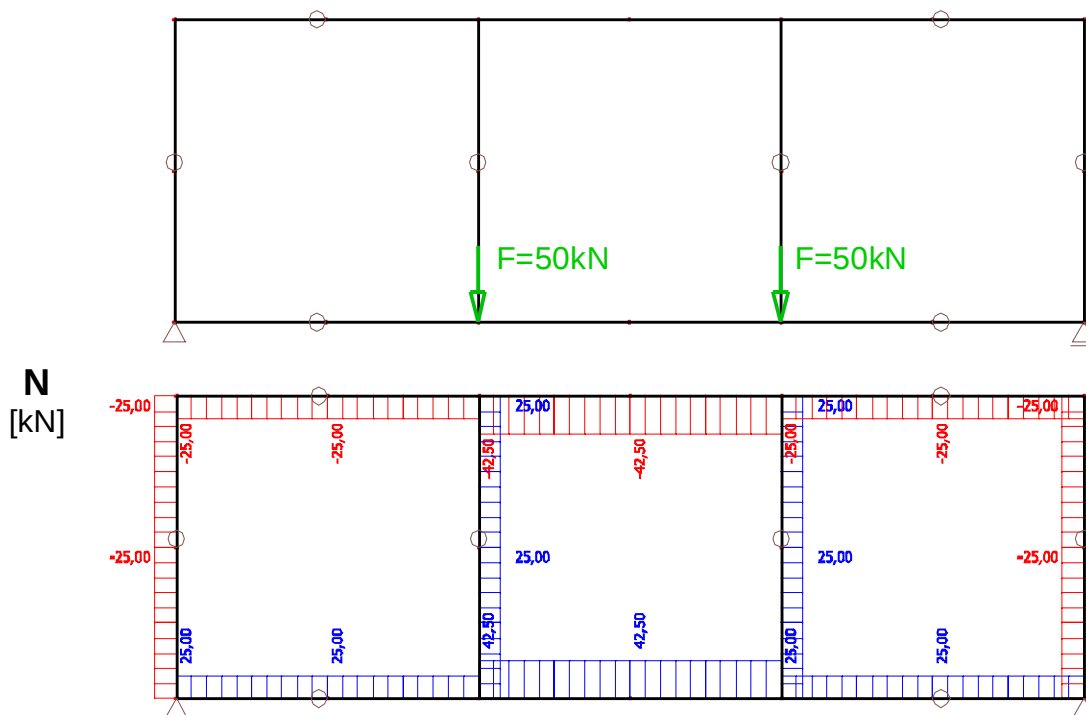
Pokud tedy spočítáme stupeň statické neurčitosti nosníku z obrázku č.21, dostáváme, že

$$n_{s,v} = 3 \cdot u - p_k = 3 \cdot 3 - 8 \cdot 1 = 1,$$

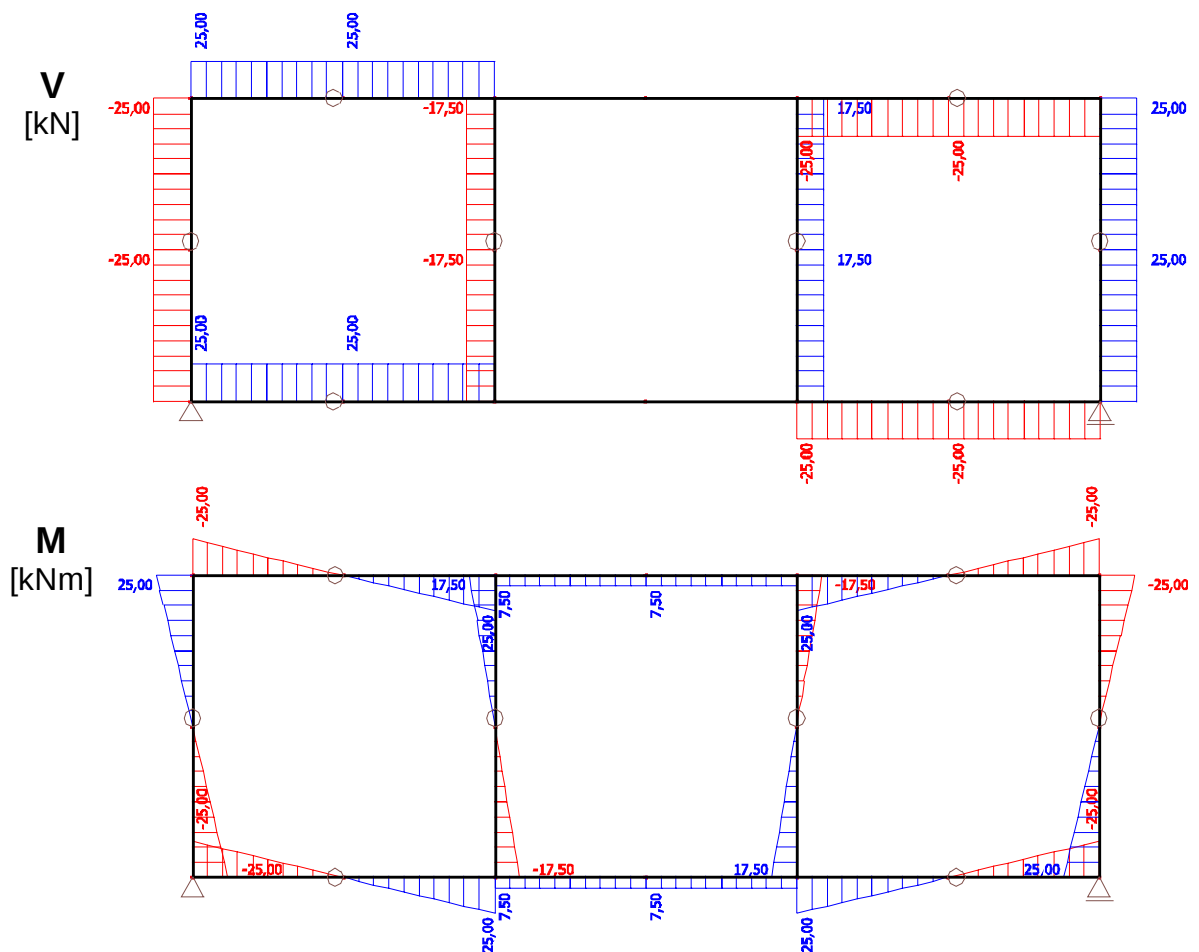
$$n_{s,z} = a - 3 = 1 \cdot 1 + 2 \cdot 1 - 3 = 0,$$

$$n_s = n_{s,v} + n_{s,z} = 1.$$

Takže stupeň statické neurčitosti je pro nosník z obrázku č. 21 rovna 1 a tato neurčitost je vnitřní. Jestliže se nyní podíváme na průběh vnitřních sil na Vierendeelovo nosníku s klouby, zjistíme, že se průběhy o moc neliší vůči nosníku bez vnitřních kloubů.

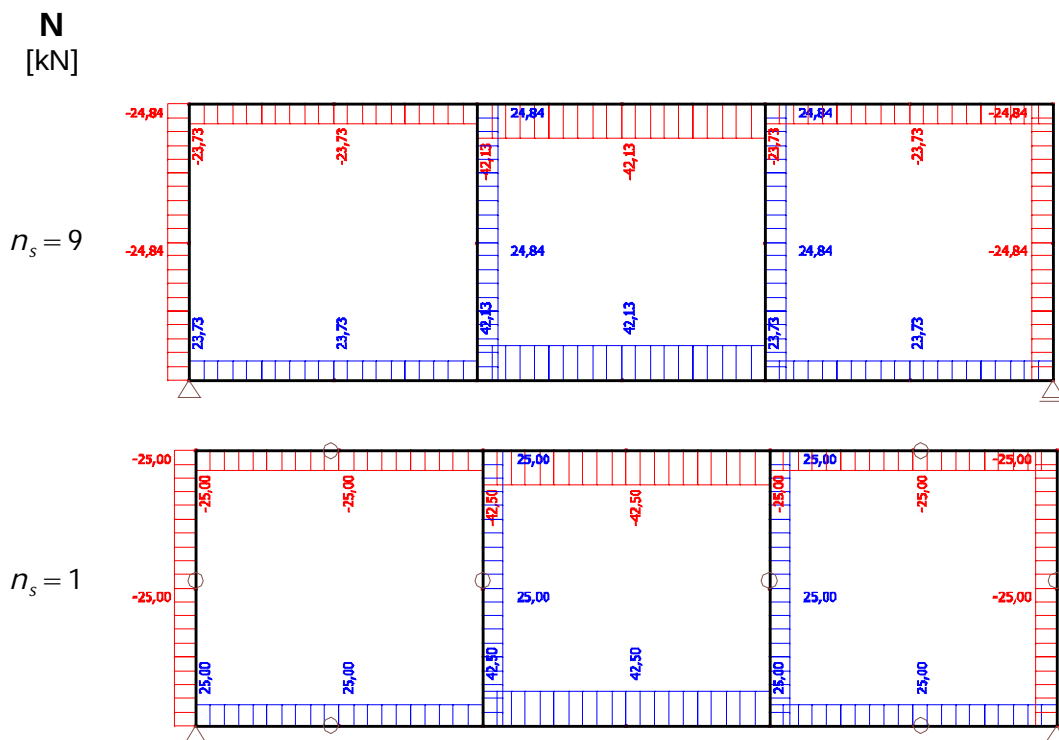


Obrázek 22: Průběh normálových sil

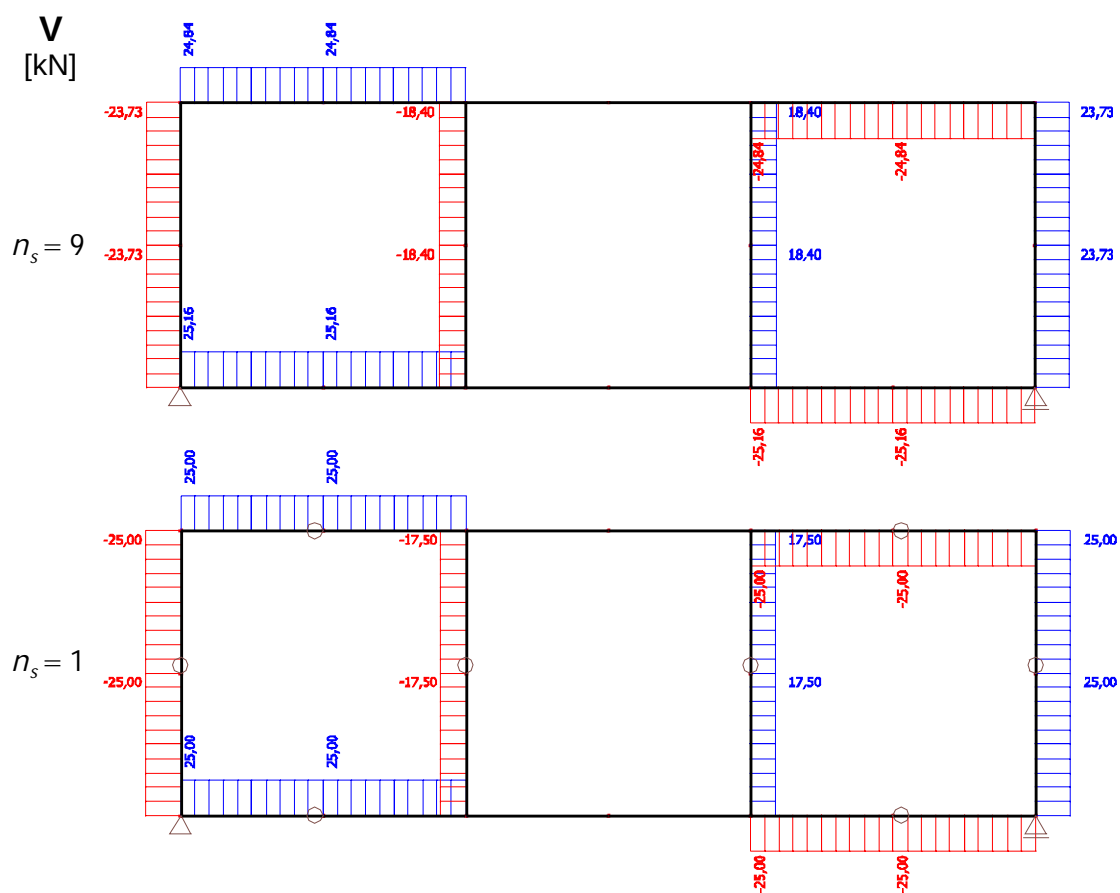


Obrázek 23: Průběh posouvajících sil a ohybového momentu

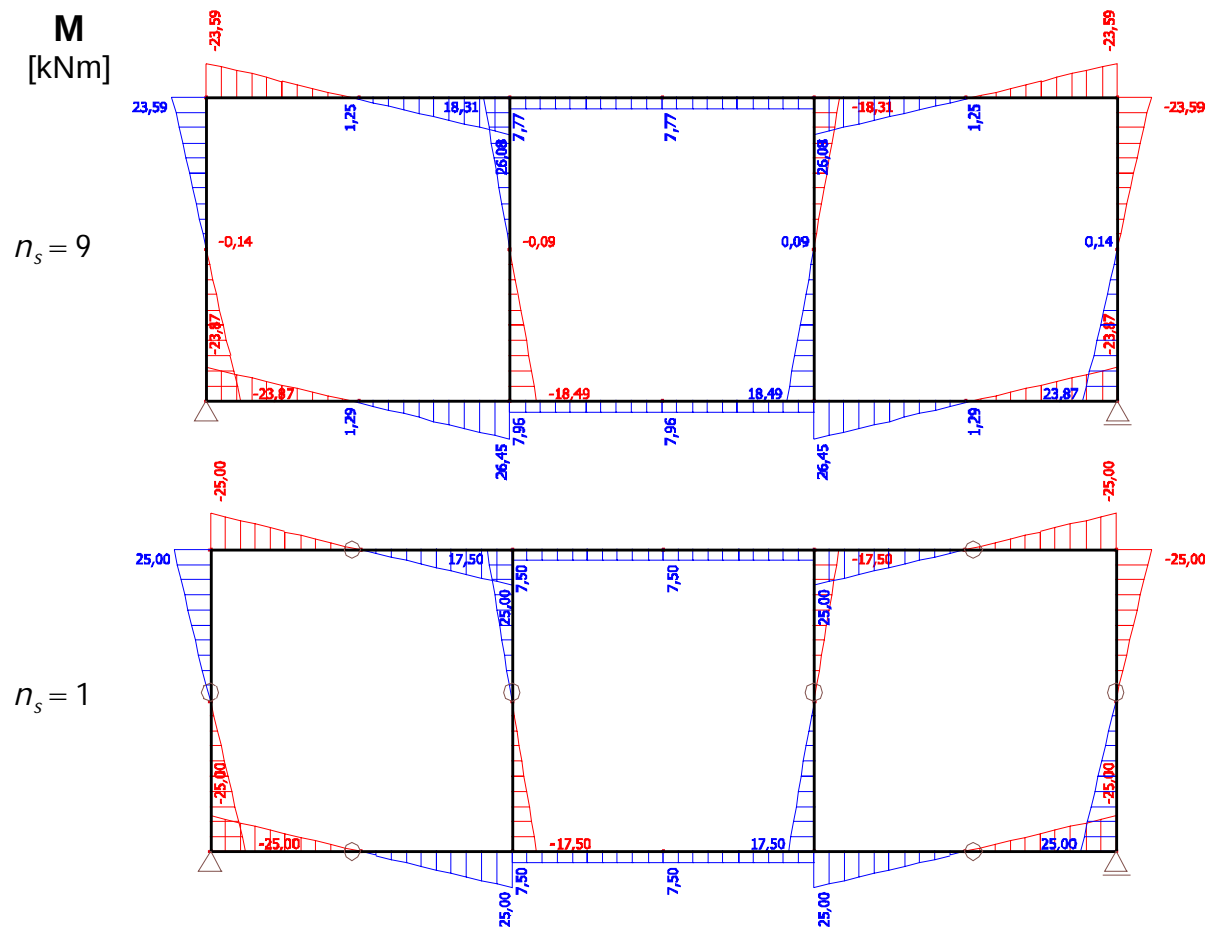
Jeden z rozdílů je, že se liší trochu hodnoty jednotlivých vnitřních sil na prvcích nosníku. U Vierendeelova nosníku s vnitřními klouby jsou hodnoty navíc zaokrouhlené. Další rozdíl je, že hodnoty vnitřních sil na nosníku jsou nyní symetrické jak přes svislou osu nosníku, tak i přes vodorovnou osu nosníku. Musíme si ale ujasnit, že toto platí pouze pokud je nosník symetricky zatížen. Pokud je nosník zatížen nesymetricky, jsou rozdíly mezi nosníkem bez kloubů a s klouby o trochu větší než u symetrického zatížení. Pro lepší názornost minimálních rozdílů mezi nosníkem bez kloubů a s klouby, budou jednotlivé grafy průběhů vnitřních sil na nosnících hned pod sebou na jedné stránce.



Obrázek 24: Porovnání - průběh normálových sil



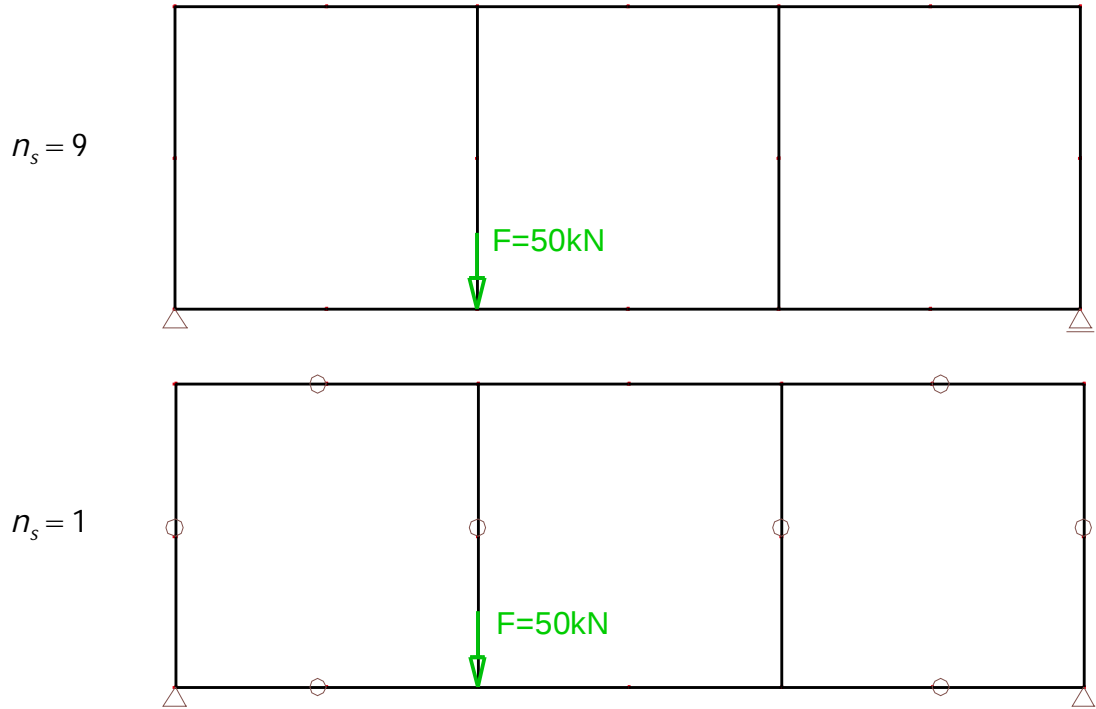
Obrázek 25: Porovnání - průběh posouvajících sil



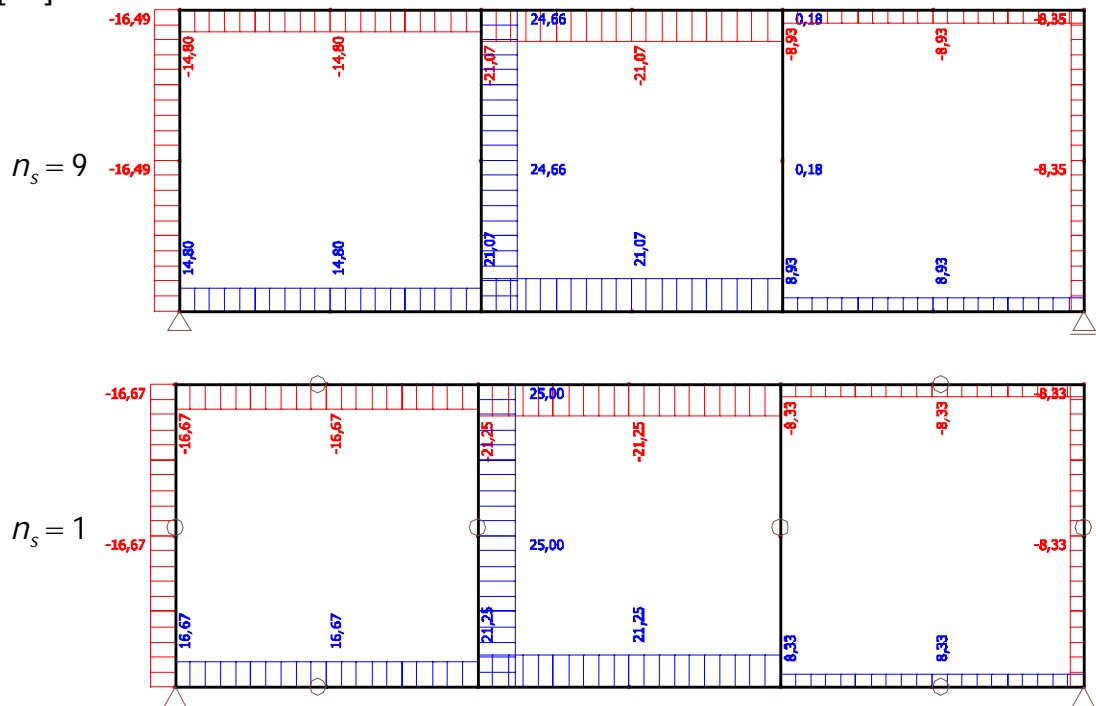
Obrázek 26: Porovnání - průběh ohybových momentů

Výhoda použití Vierendeelova nosníku s vnitřními klouby je ta, že v místě kloubů můžeme navrhnout třeba šroubové spoje, které budou méně namáhané, jelikož je zde pouze normálová síla a posouvající síla. To nám umožňuje Vierendeelův nosník rozdělit na dílce, které lze vyrobit ve výrobě a lze tyto dílce převést na stavbu, kde už budou jenom smontovány dohromady bez nutnosti montážních svarů.

Pro ukázkou vlivu nesymetrického zatížení, který má o trochu větší vliv na rozdíl mezi nosníkem bez vnitřních kloubů a s vnitřními klouby než symetrické zatížení, sem dávám grafy průběhů vnitřních sil pro zatížení pouze jednou silou ve styčnicku.

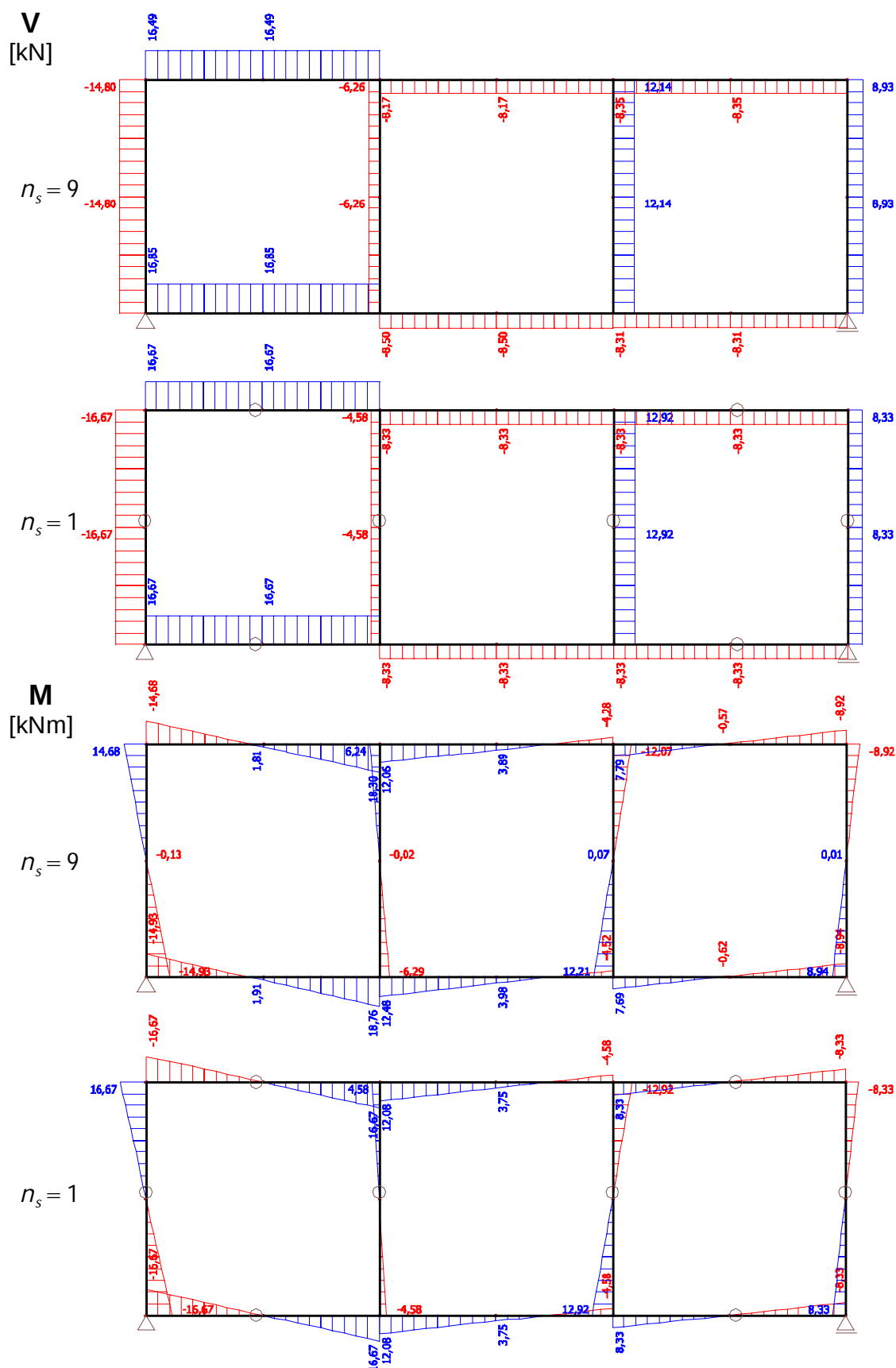


N
[kN]



Obrázek 27: Porovnání - průběh normálových sil

)



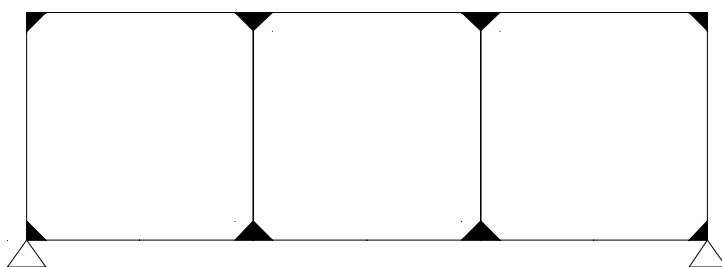
Obrázek 28: Porovnání - průběh posouvajících sil a ohybových momentů

Z předchozích dvou obrázků je patrné, že nesymetrické zatížení Vierendeelova nosníku bez vnitřních kloubů a s vnitřními klouby má o trochu větší vliv na rozdílné hodnoty vnitřních sil. Na obrázcích průběhu ohybových momentů je patrné, že u nosníku bez vnitřních kloubů došlo u krajních vodorovných prvků k posunutí nulového bodu ohybového momentu mimo prostředek prutu. To se u nosníku s klouby nemůže stát, jelikož jsou na prvcích vloženy uprostřed klouby, které právě určují místo na prutu, kde bude nulový ohybový moment, jelikož kloub nedokáže přenášet ohybový moment. Dále je z obrázků patrné, že nosník s klouby ,oproti nosníku bez kloubů, má absolutní hodnoty vnitřních sil symetrické podle vodorovné osy, což u nosníků bez kloubů není. Nakonec je vidět u nosníku bez kloubů, že v okolí působení zatěžovací síly dosahují hodnoty posouvajících sil a ohybového momentu vyšších hodnot než u nosníku bez kloubů.

1.2. Vliv počtu polí Vierendeelova nosníku na průběh vnitřních sil

U Vierendeelova nosníku můžeme narazit na dvě situace, co se týče počtu polí v nosníku a to, když nosník má lichý počet polí a nebo sudý počet polí. I tato skutečnost nám ovlivní to, jaký bude průběh vnitřních sil v prvcích nosníku. Bude porovnáván jak nosník bez kloubů, tak i s klouby. Zatížení bude symetrické pomocí sil ve styčnicích nosníku.

Nosník s lichým počtem polí bez vnitřních kloubů



Obrázek 29: Vierendeelův nosník

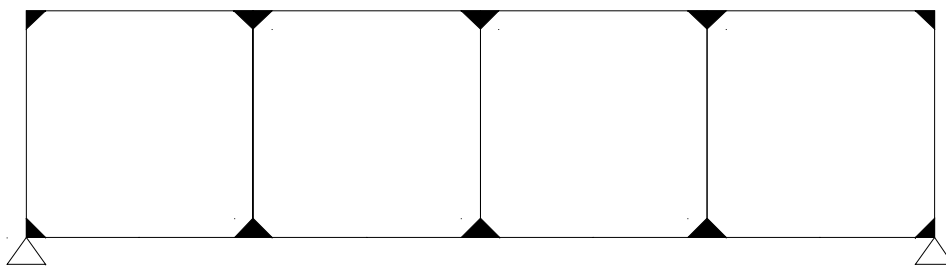
Stupeň statické neurčitosti:

$$n_{s,v} = 3 \cdot u - p_k = 3 \cdot 3 - 0 = 9$$

$$n_{s,z} = a - 3 = 1 \cdot 1 + 2 \cdot 1 - 3 = 0$$

$$n_s = n_{s,v} + n_{s,z} = 9$$

Nosník se sudým počtem polí bez vnitřních kloubů



Obrázek 30: Vierendeelův nosník

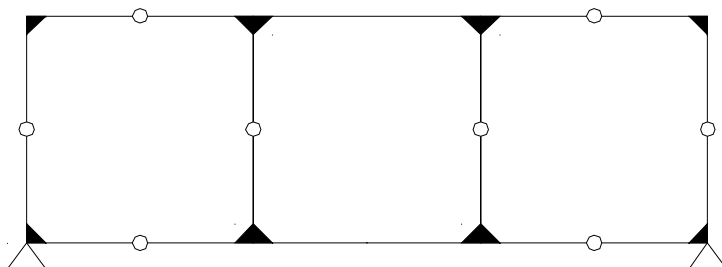
Stupeň statické neurčitosti:

$$n_{s,v} = 3 \cdot u - p_k = 3 \cdot 4 - 0 = 12$$

$$n_{s,z} = a - 3 = 1 \cdot 1 + 2 \cdot 1 - 3 = 0$$

$$n_s = n_{s,v} + n_{s,z} = 12$$

Nosník s lichým počtem polí s vnitřními klouby



Obrázek 31: Vierendeelův nosník s klouby

Stupeň statické neurčitosti:

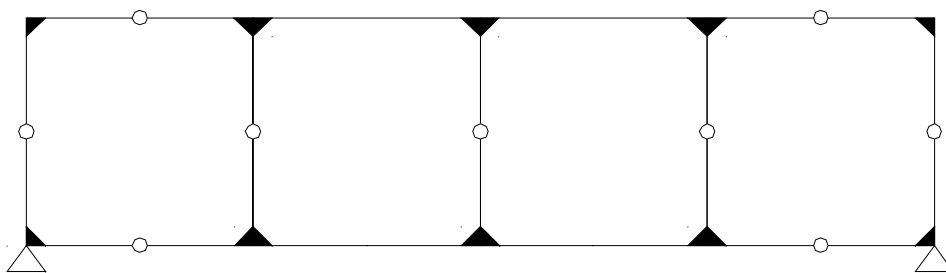
$$n_{s,v} = 3 \cdot u - p_k = 3 \cdot 3 - 8 \cdot 1 = 1$$

$$n_{s,z} = a - 3 = 1 \cdot 1 + 2 \cdot 1 - 3 = 0$$

$$n_s = n_{s,v} + n_{s,z} = 9$$

Nosník se sudým počtem polí s vnitřními klouby

Na obrázku č.32 je statické schéma pro nosník s vnitřními klouby. Nosník s takto rozmístěnými vnitřními klouby má průběh vnitřních sil nejbližze podobný nosníku bez vnitřních kloubů.



Obrázek 32: Vierendeelův nosník s klouby

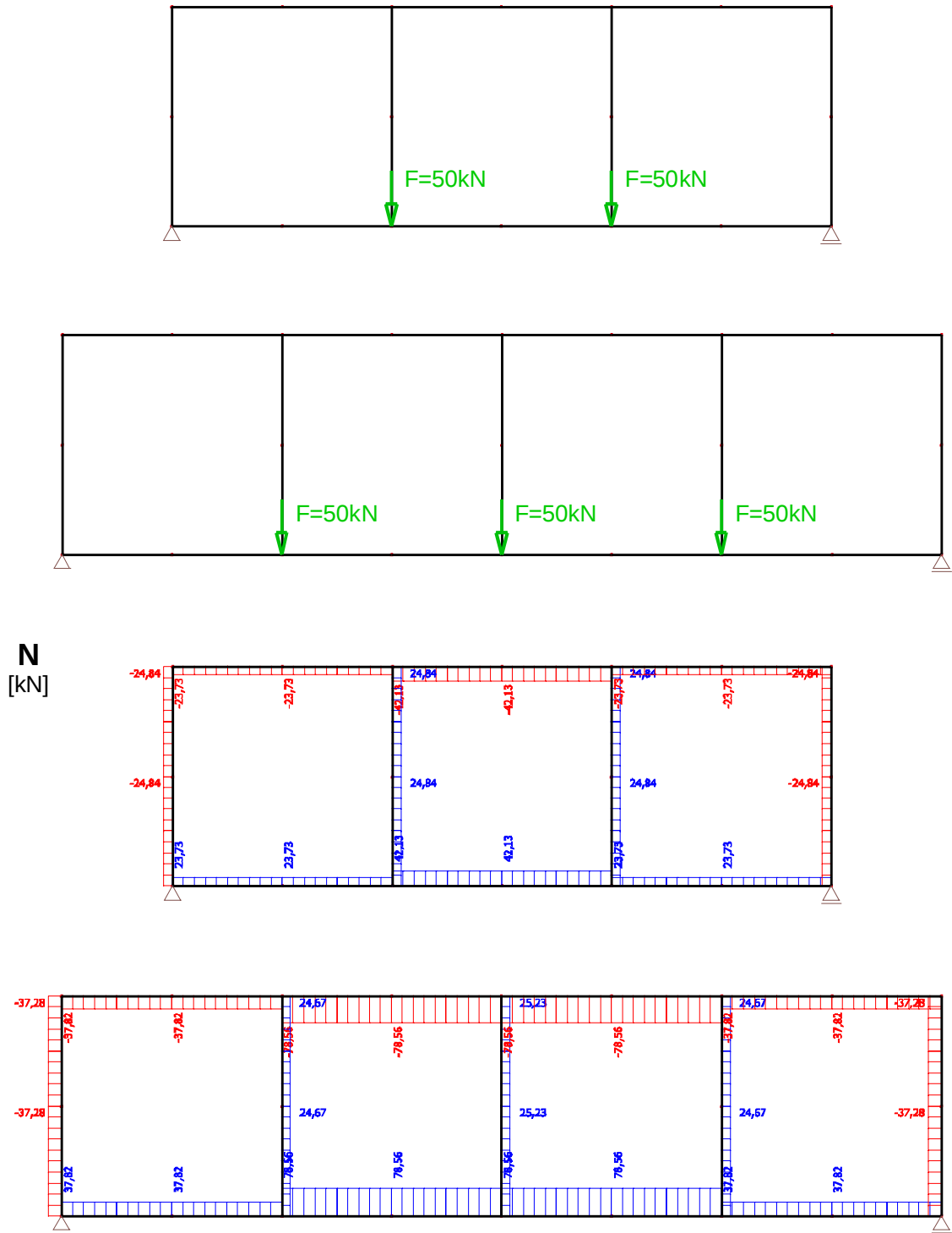
Stupeň statické neurčitosti:

$$n_{s,v} = 3 \cdot u - p_k = 3 \cdot 4 - 9 \cdot 1 = 3$$

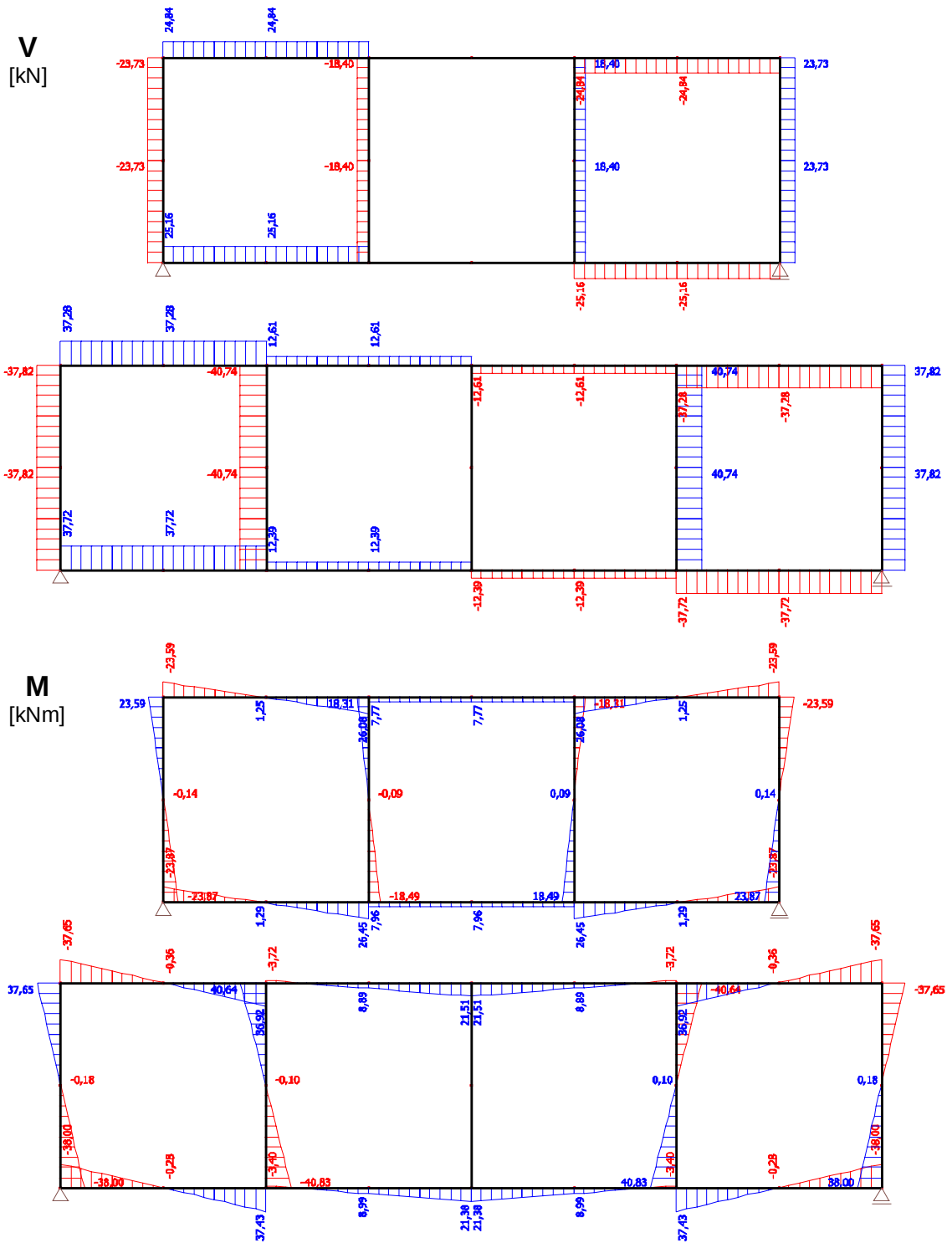
$$n_{s,z} = a - 3 = 1 \cdot 1 + 2 \cdot 1 - 3 = 0$$

$$n_s = n_{s,v} + n_{s,z} = 12$$

Porovnání průběhů vnitřních sil u nosníků bez kloubů

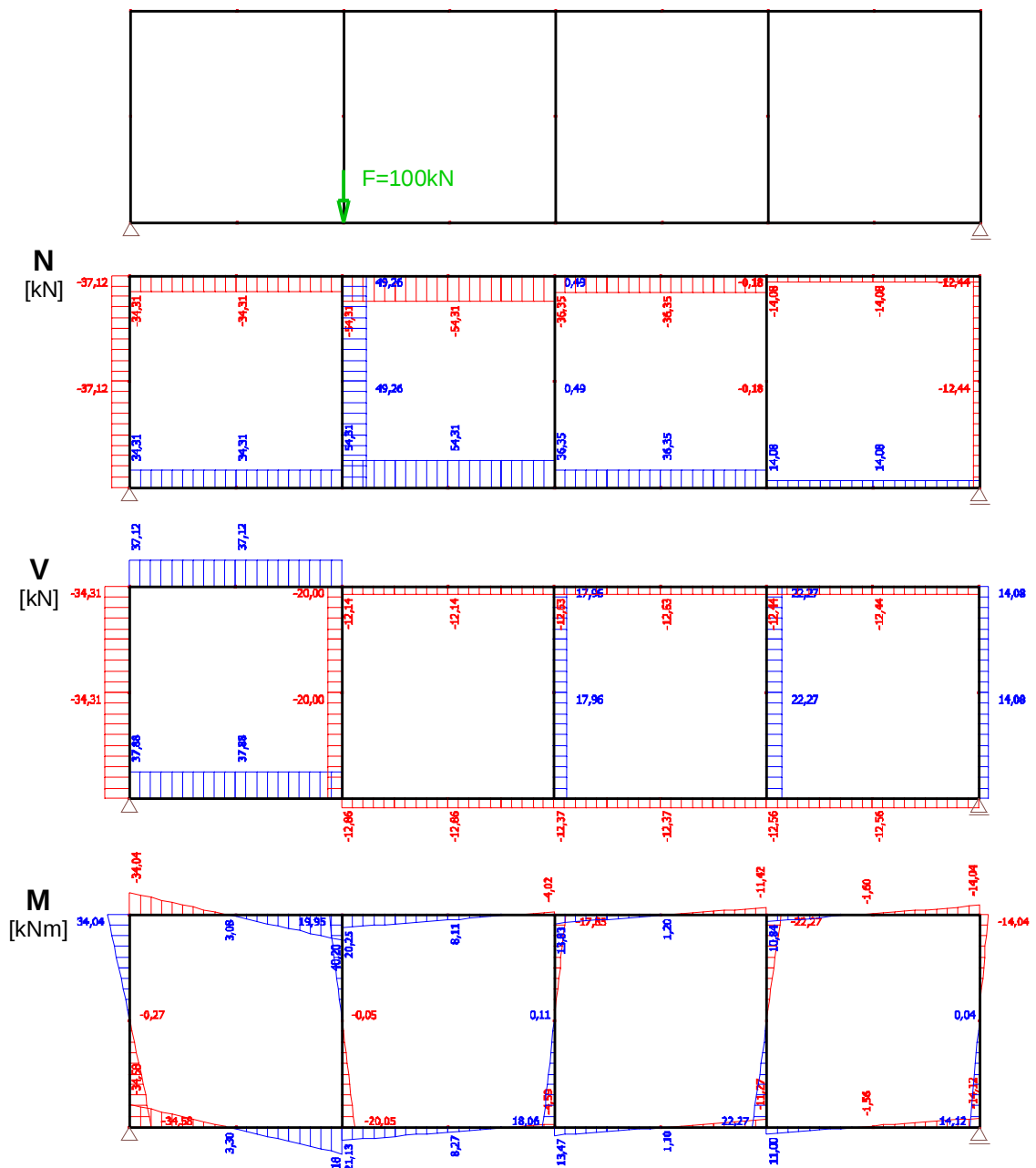


Obrázek 33: Porovnání - průběh normálových sil



Obrázek 34: Porovnání - průběh posouvajících sil a ohybových momentů

Z průběhů vnitřních sil na Vierendeelových nosnících je patrné, že prostřední svislý prvek u nosníku se sudým počtem polí je namáhán pouze normálovou silou a to tahovou. Při symetrickém zatížení na daný prvek nepůsobí žádný ohybový moment ani posouvající síla, jelikož se nachází jak na ose symetrie nosníku, tak na ose symetrie zatížení. V tomto případě daný prvek funguje jako táhlo. Pokud tedy tento svislý prvek bude navržen ze stejného profilu jako ostatní svislé prvky v nosníku při symetrickém zatížení, bude tento prvek v tomto případě zbytečně předimenzovaný oproti ostatním prvkům v nosníku. Tento stav ale nenastane u nesymetrického zatížení nosníku. U nesymetrického zatížení se i na tomto svislém prvku objeví posouvající síla a ohybový moment, jak je znázorněné na dalších obrázcích.

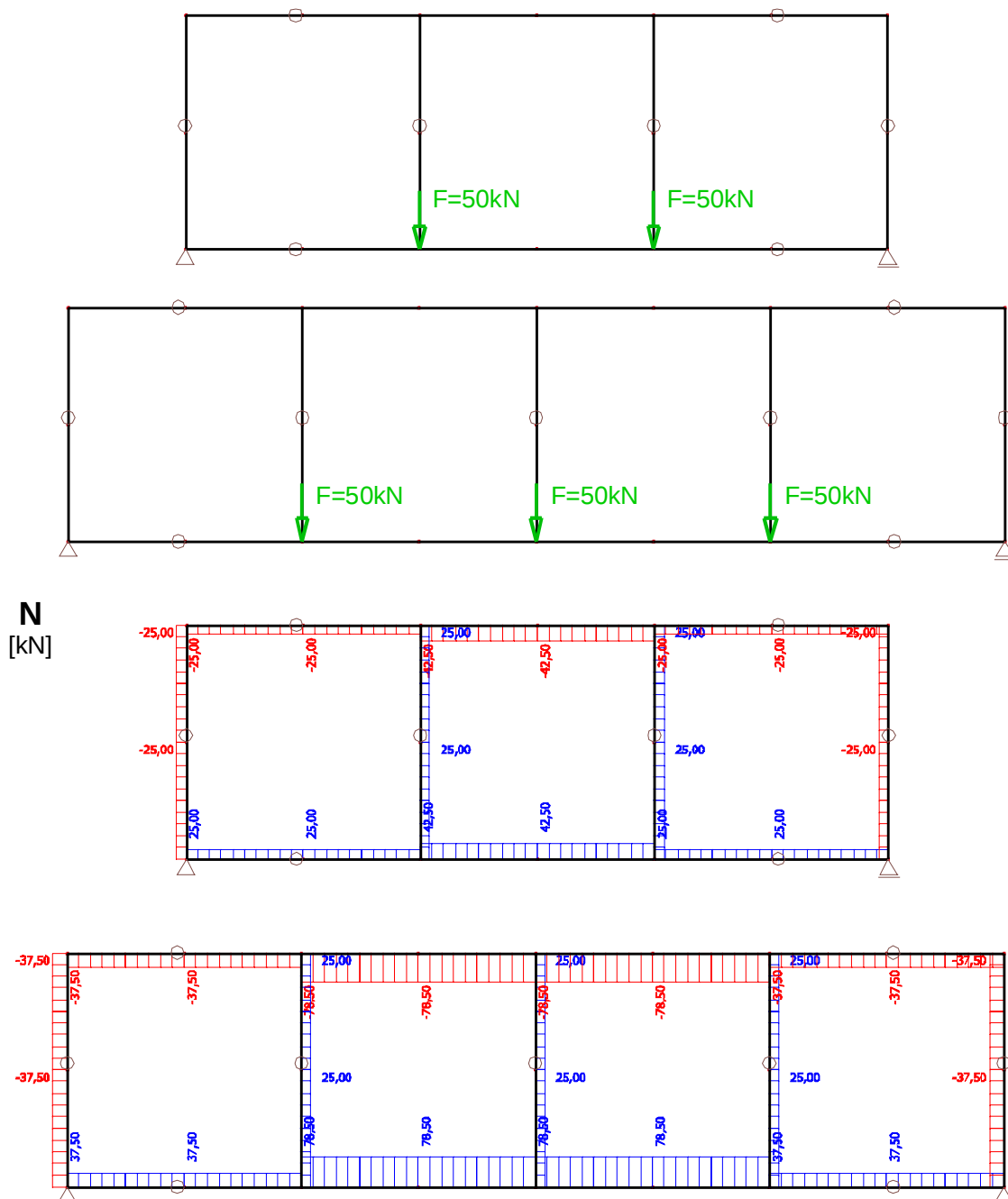


Obrázek 35: Průběh vnitřních sil

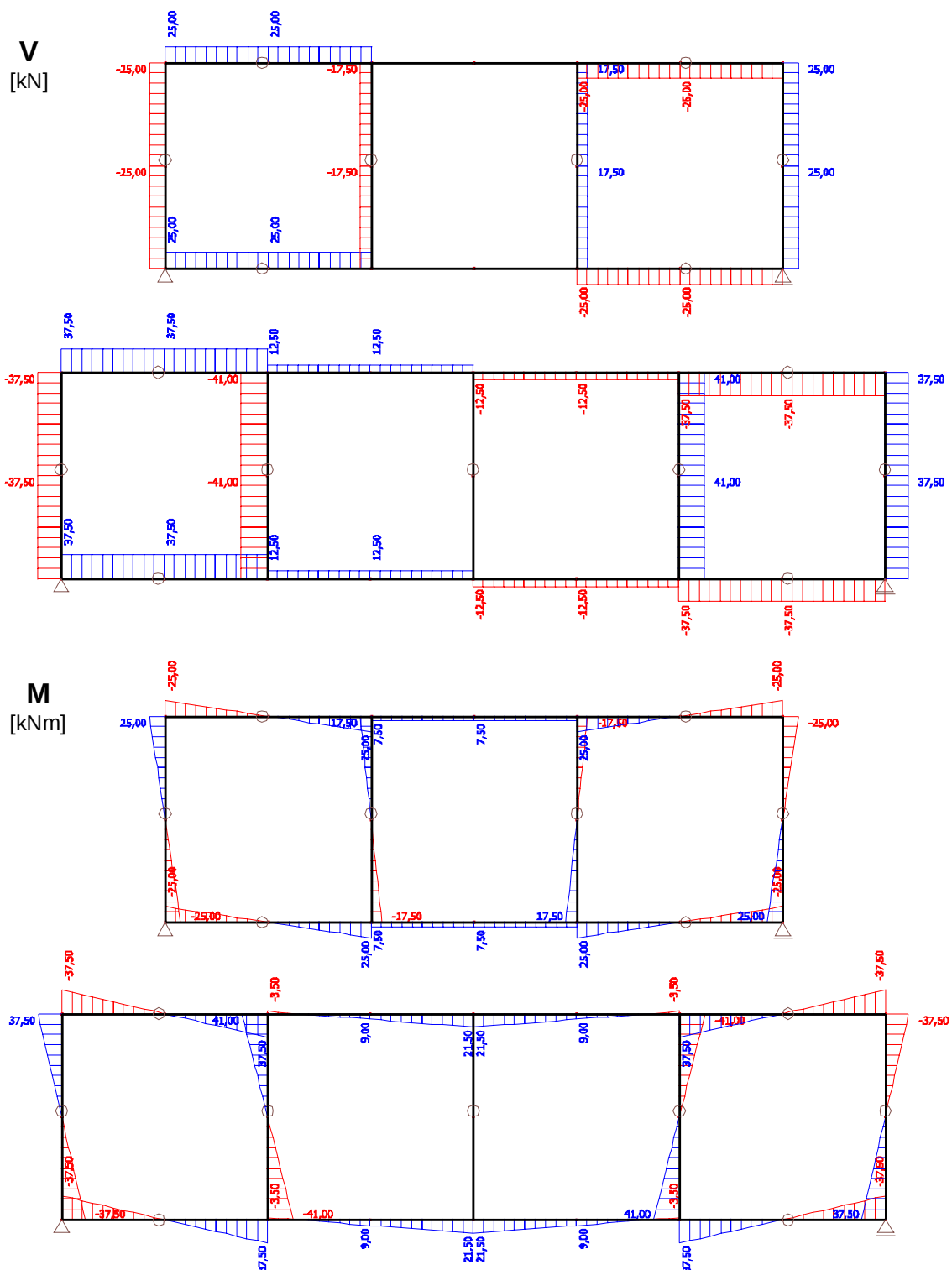
Pokud tedy bude nosník se sudým počtem polí zatížen nesymetricky, bude na prostředním svislém prvku vždy nějaká posouvající síla a ohybový moment.

Porovnání průběhů vnitřních sil u nosníků s klouby

Podle předchozích porovnání nosníků bez kloubů a s klouby předpokládám, že průběhy vnitřních sil budou u nosníků s klouby se sudým počtem polí podobné jako u nosníku bez kloubů se sudým počtem polí.



Obrázek 36: Porovnání - průběh normálových sil

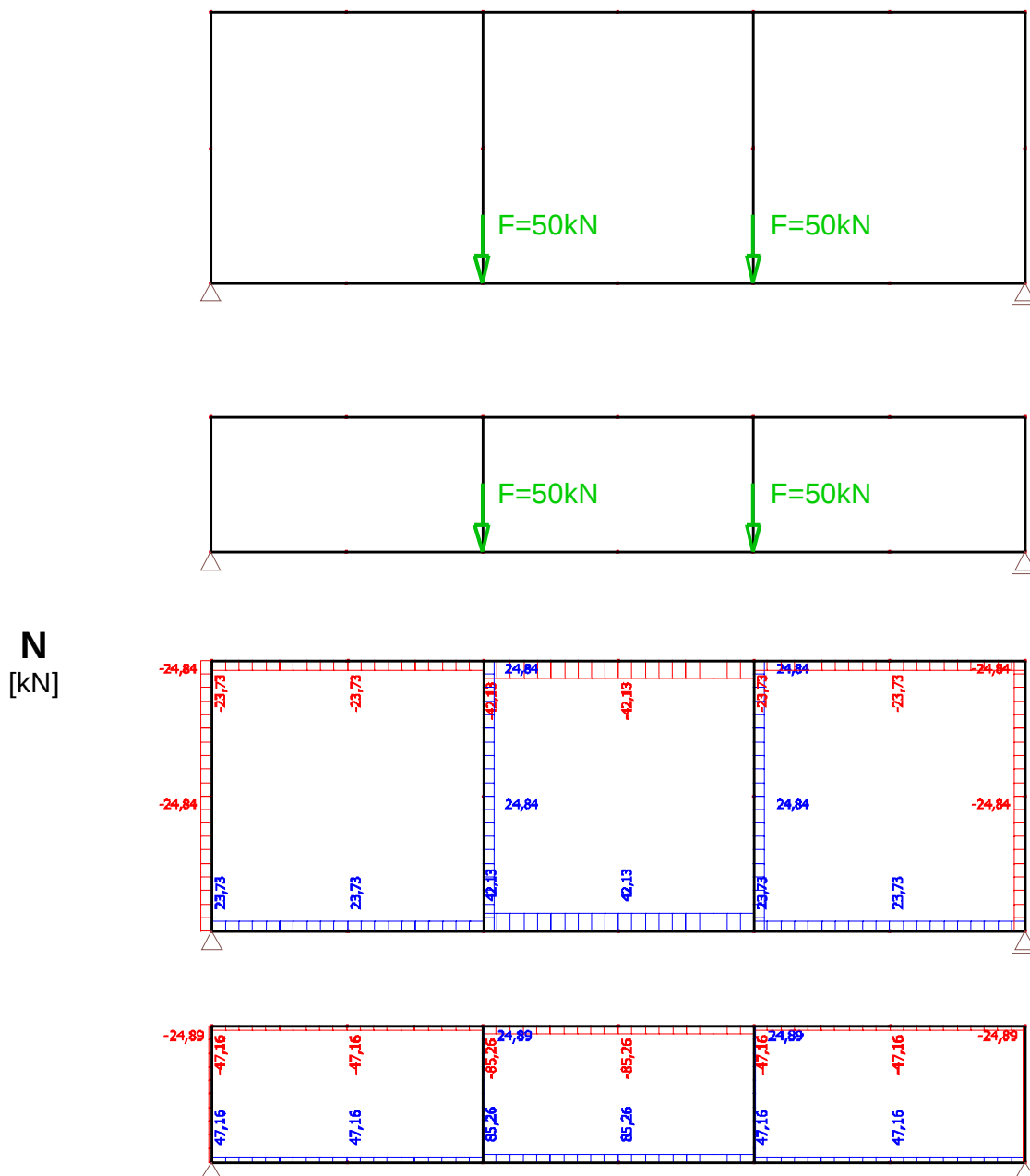


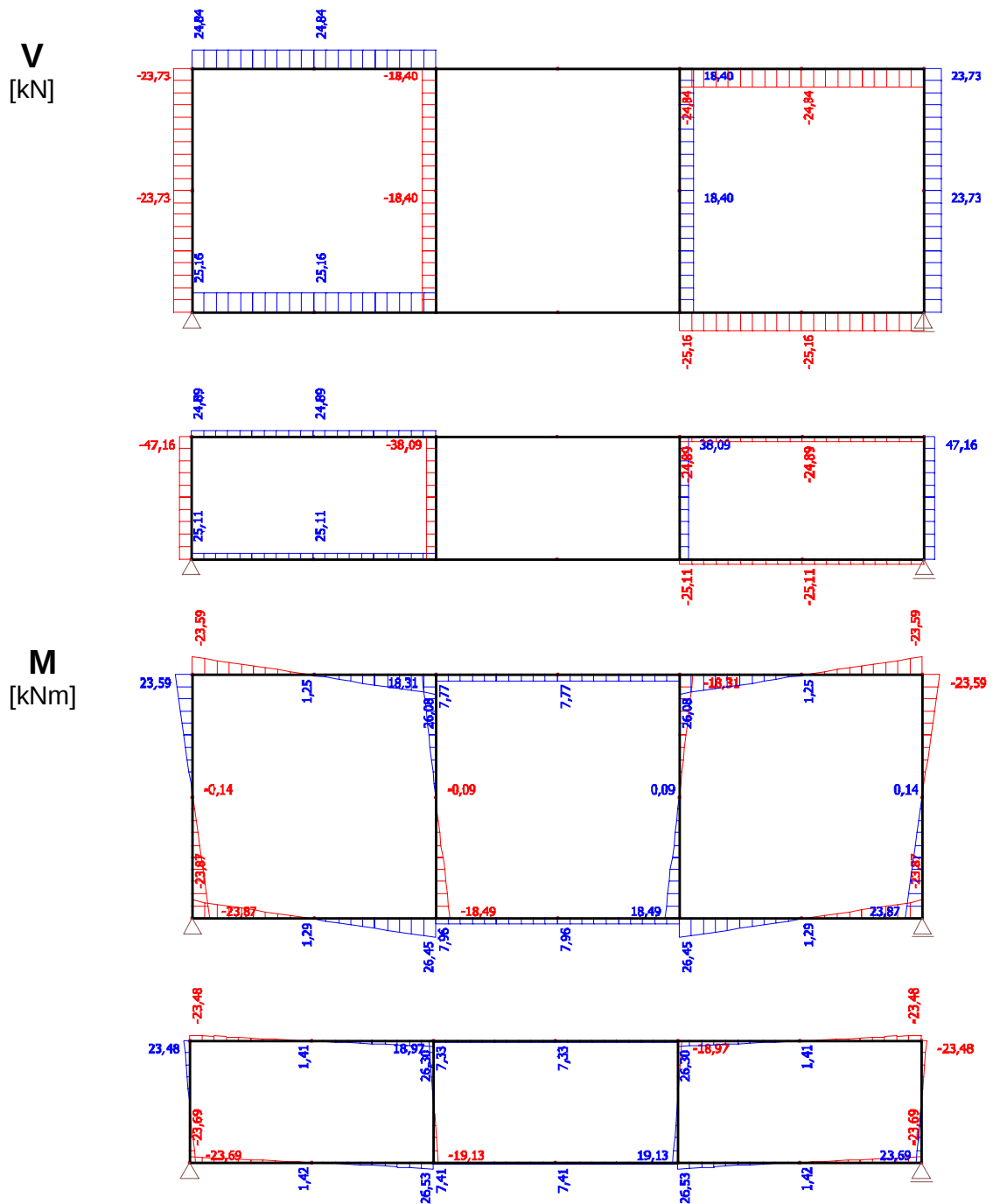
Obrázek 37: Porovnání - průběh posouvajících sil a ohybových momentů

Jak je z obrázků patrné, vliv dobře rozmístěných vnitřních kloubů je minimální na rozdíl průběhů vnitřních sil mezi nosníkem s klouby se sudým počtem polí a nosníkem bez kloubů se sudým počtem polí. Prostřední svislý prvek je též pouze namáhán tahovou normálovou silou.

1.3. Vliv tvaru polí Vierendeelova nosníku na průběh vnitřních sil

U Vierendeelova nosníku bude mít i vliv na průběh vnitřních sil i tvar polí, tedy jestli pole bude čtvercové a nebo obdélníkové. Nosníky pro porovnání budou symtricky zatížené pomocí sil ve styčnicích. Tvary porovnávaných polí bude čtvercový ku obdémíkovému s poměrem stran 1:2.





Jak je z průběhů patrné, změna výšky nosníku má hlavně vliv na velikost normálové síly v pásnicích. To je způsobeno tím, že jsme zmenšili délku ramene, na kterém tyto síly působí proti ohybovému momentu.

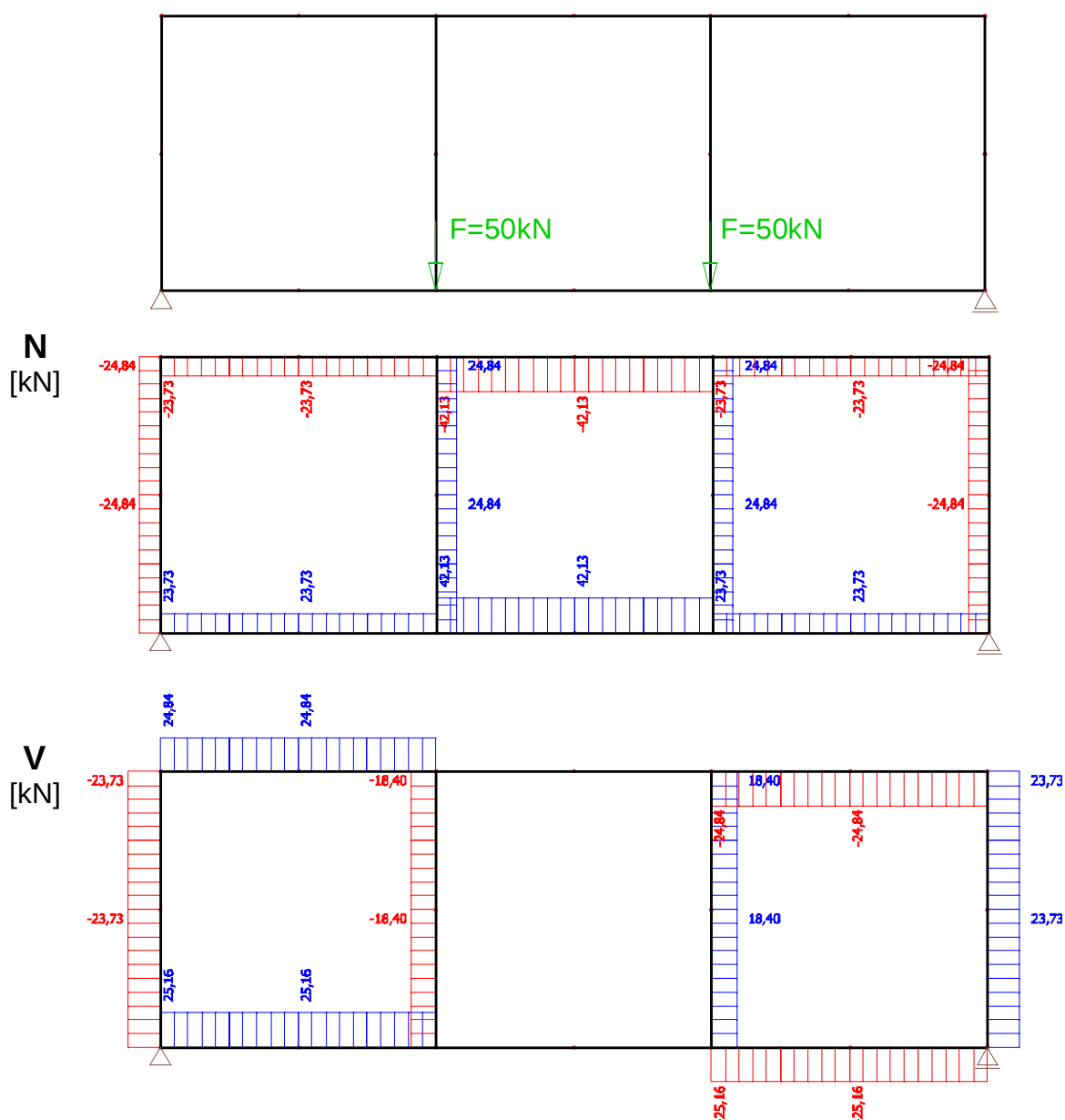
1.4. Vliv zatížení na průběh vnitřních sil ve Vierendeelovo nosníku

Na průběh vnitřních sil v nosníku má též způsob zatížení. Zde se podíváme jaký má vliv na no nosník zatížení pomocí sil ve styčnicích oproti zatížení spojitému na vodorovný prvek Vierendeelova nosníku. Nosníky budou zatěžovány jak symetrickým zatížením, tak i nesymetrickým. Analýza vlivu zatížení bude provedena jak pro nosník s lichým počtem polí, tak se sudým počtem a to bez vnitřních kloubů i s vnitřními klouby v nosníku.

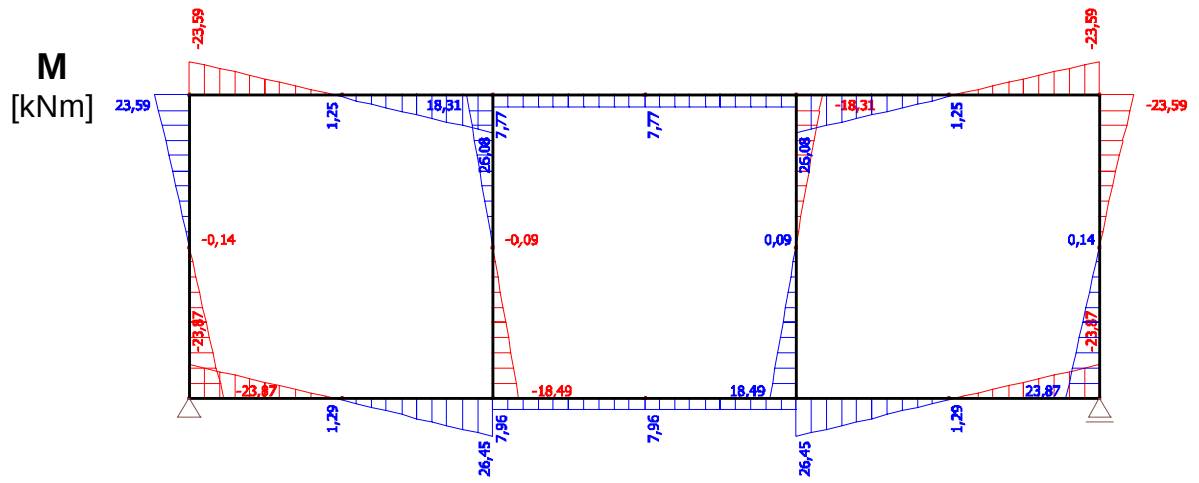
Symetrické zatížení pomocí sil ve styčnicích nosníku

Pro úplnost zde budou vloženy obrázky s průběhy vnitřních sil, které už byly v předchozích kapitolách.

Nosník s lichým počtem polí bez vnitřních kloubů

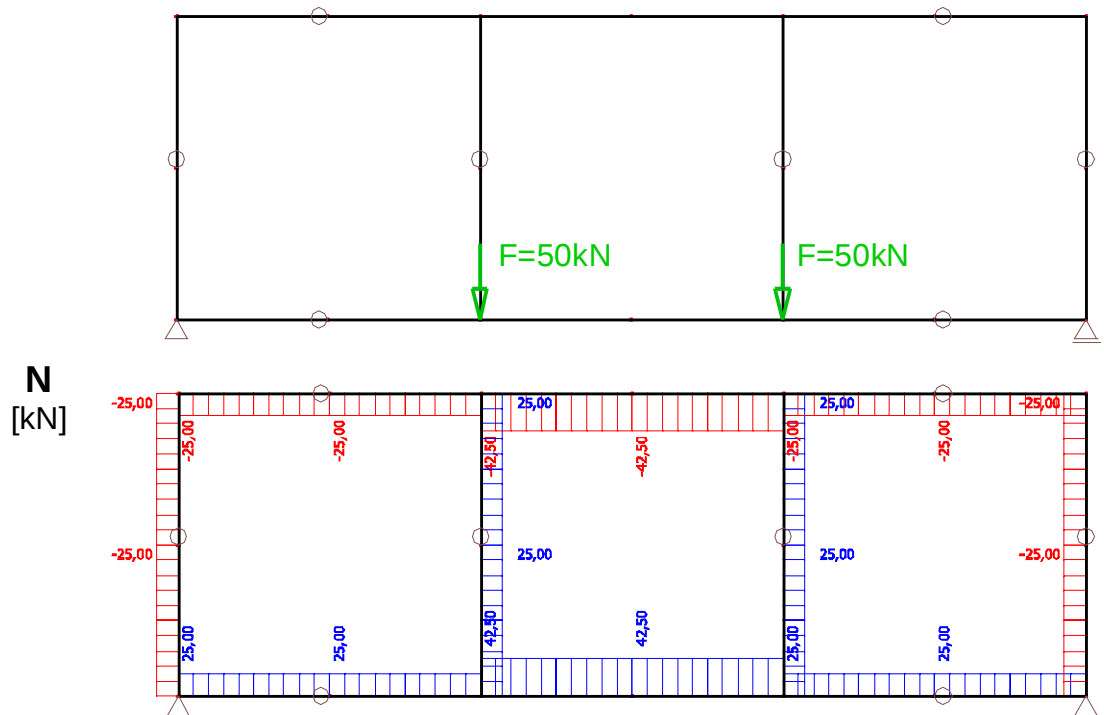


Obrázek 38: Průběh normálových a posouvajících sil

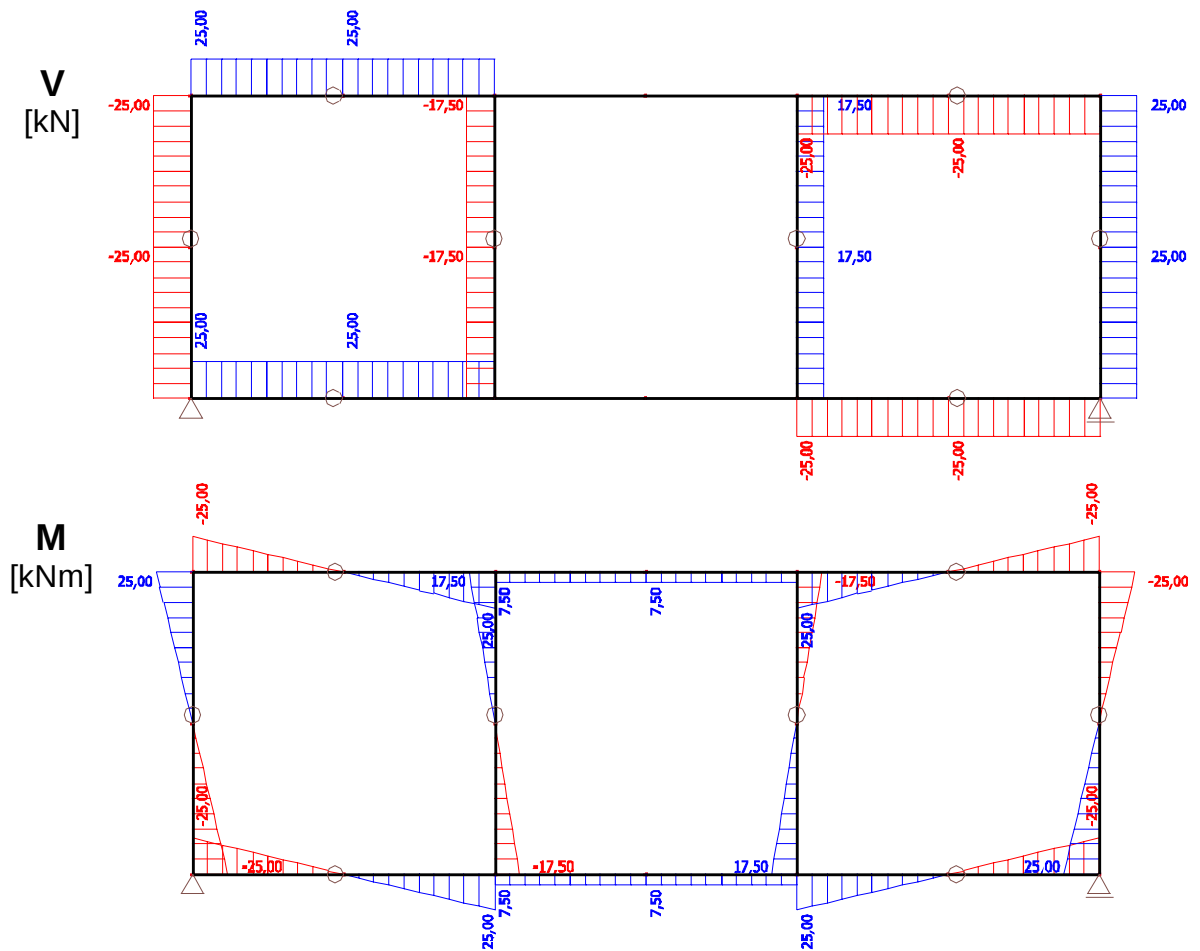


Obrázek 39: Průběh ohybových momentů

Nosník s lichým počtem polí s vnitřními klouby

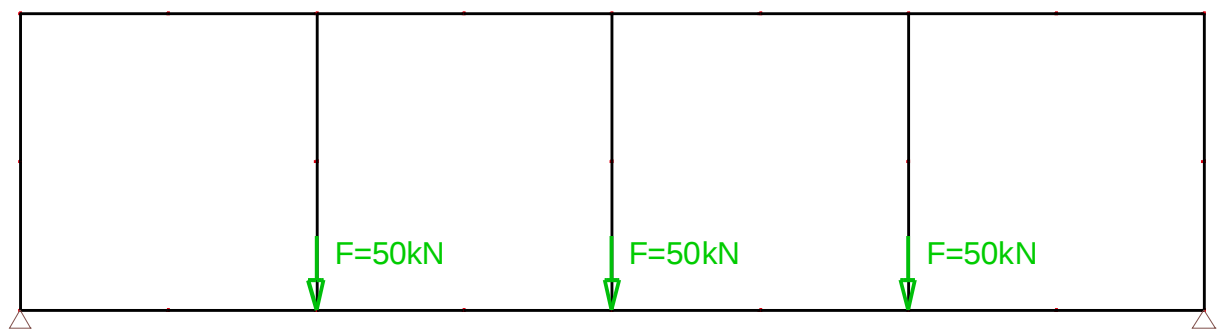


Obrázek 40: Průběh normálových sil

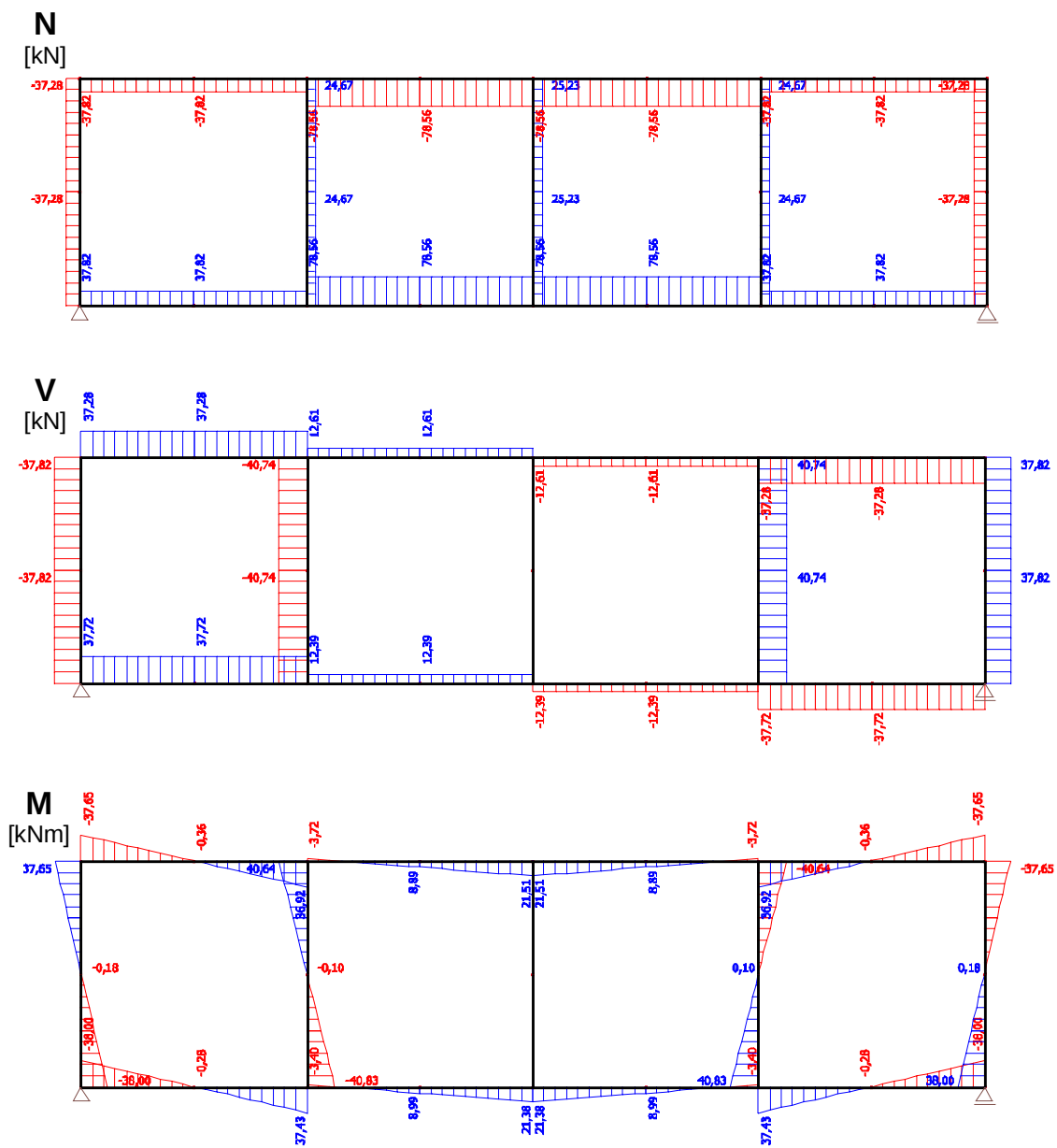


Obrázek 41: Průběh posouvajících sil a ohybového momentu

Nosník se sudým počtem polí bez vnitřních kloubů

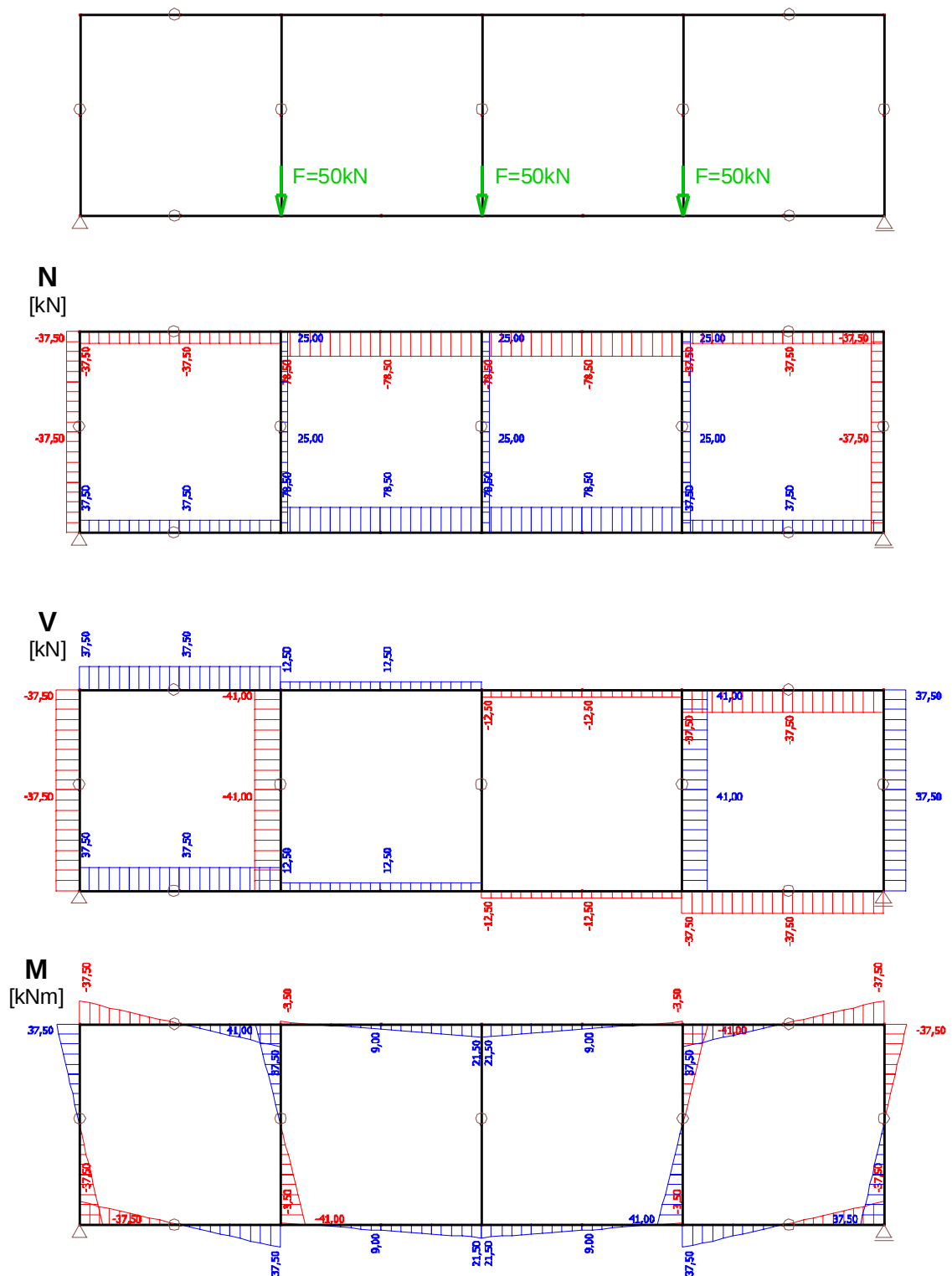


Obrázek 42: Statické schéma zatížení



Obrázek 43: Průběh vnitřních sil

Nosník se sudým počtem polí s vnitřními kloubky

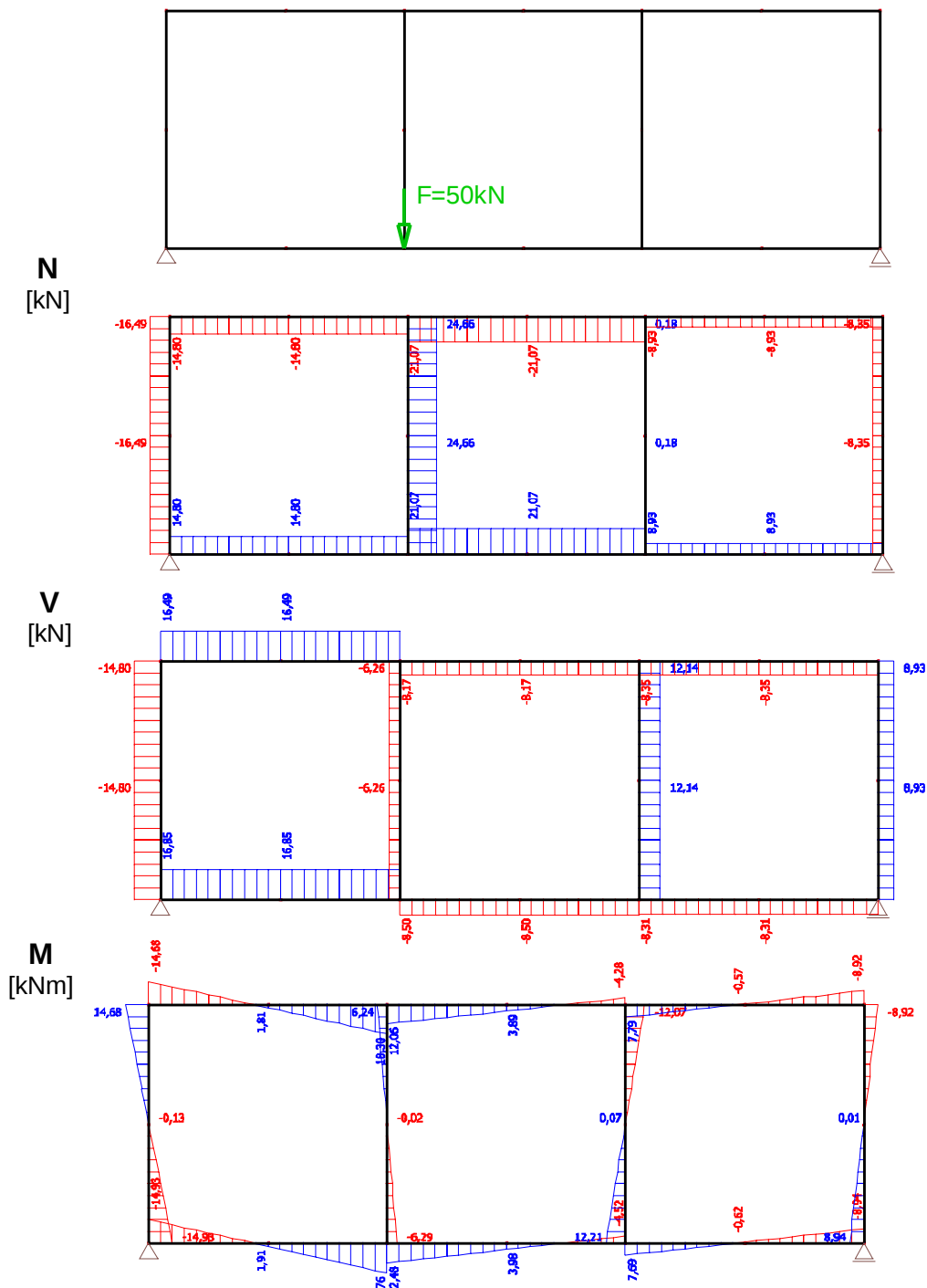


Obrázek 44: Průběh vnitřních sil

Symetrické zatížení silami ve styčnicích Vierendelova nosníku vyvolává v prvcích vnitřní síly, které jsou u nosníků bez vnitřních kloubů symetrické přes svislou osu nosníku a u nosníků s vnitřními klouby jsou pak vnitřní síly symetrické jak přes svislou osu nosníku, tak přes vodorovnou osu symetrie nosníku. Všechny vnitřních sil mají v tomto případě tvar lineární funkce průběhu.

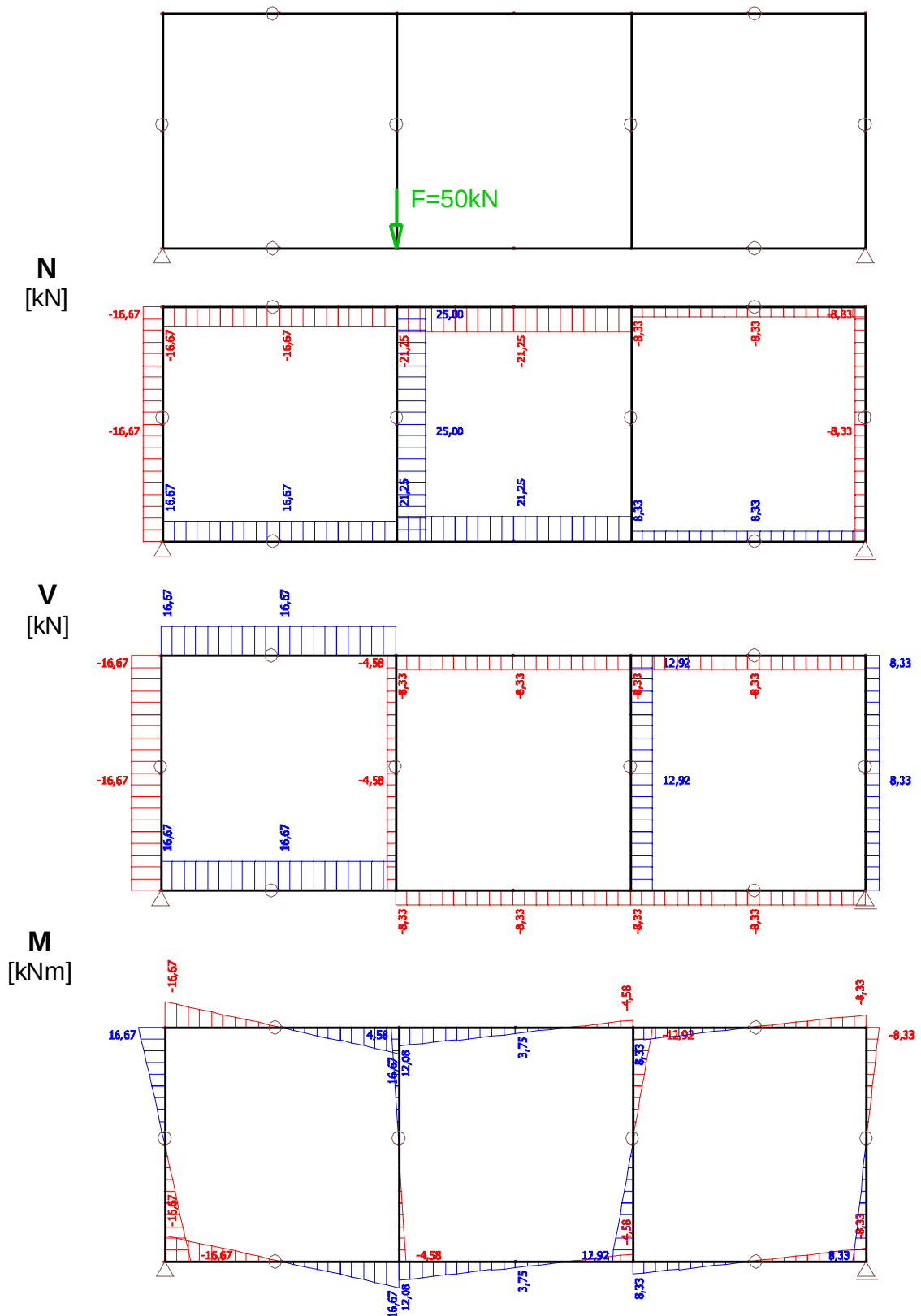
Asymetrické zatížení pomocí sil ve styčnicích nosníku

Nosník s lichým počtem polí bez vnitřních kloubů



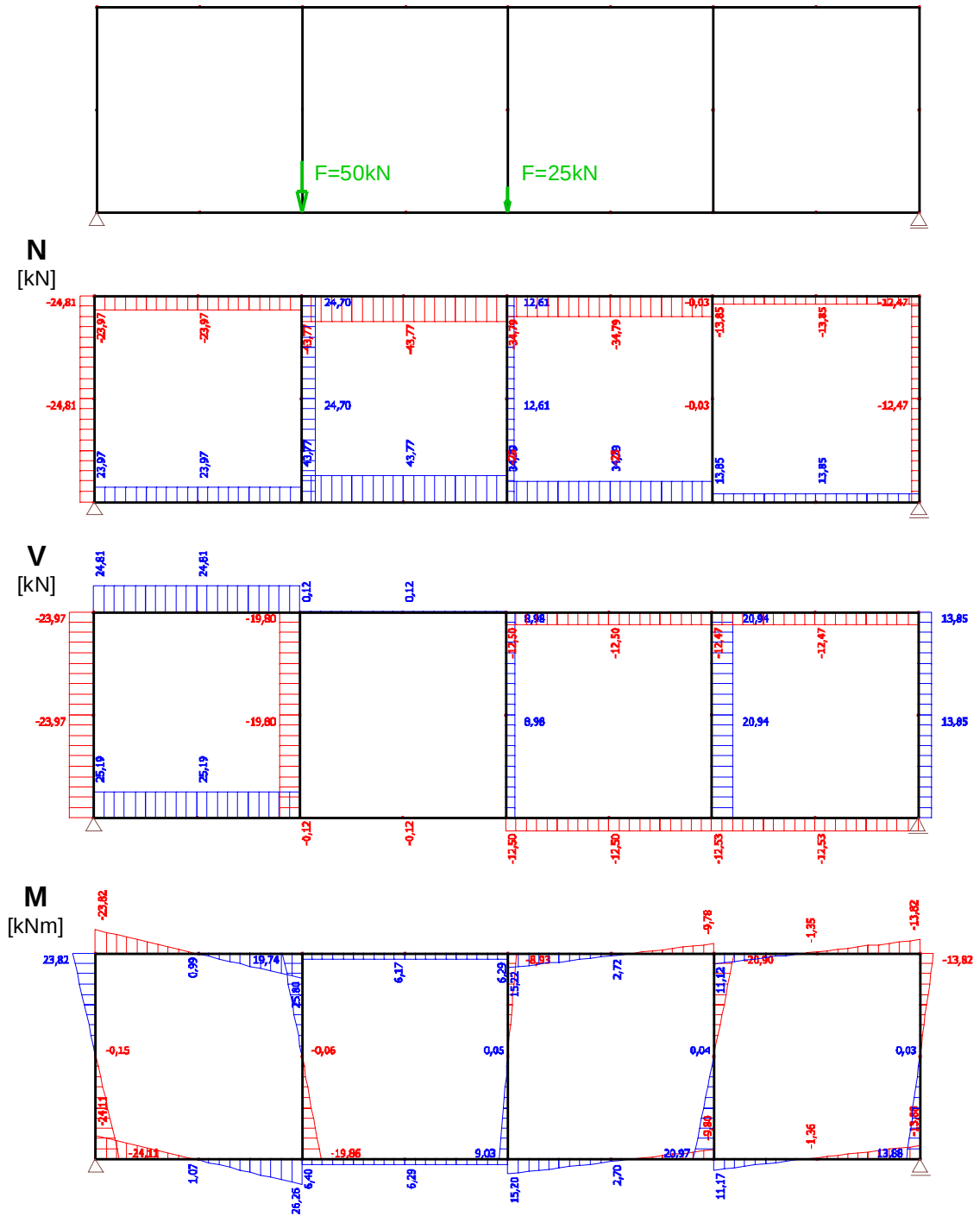
Obrázek 45: Průběh vnitřních sil

Nosník s lichým počtem polí s vnitřními klouby



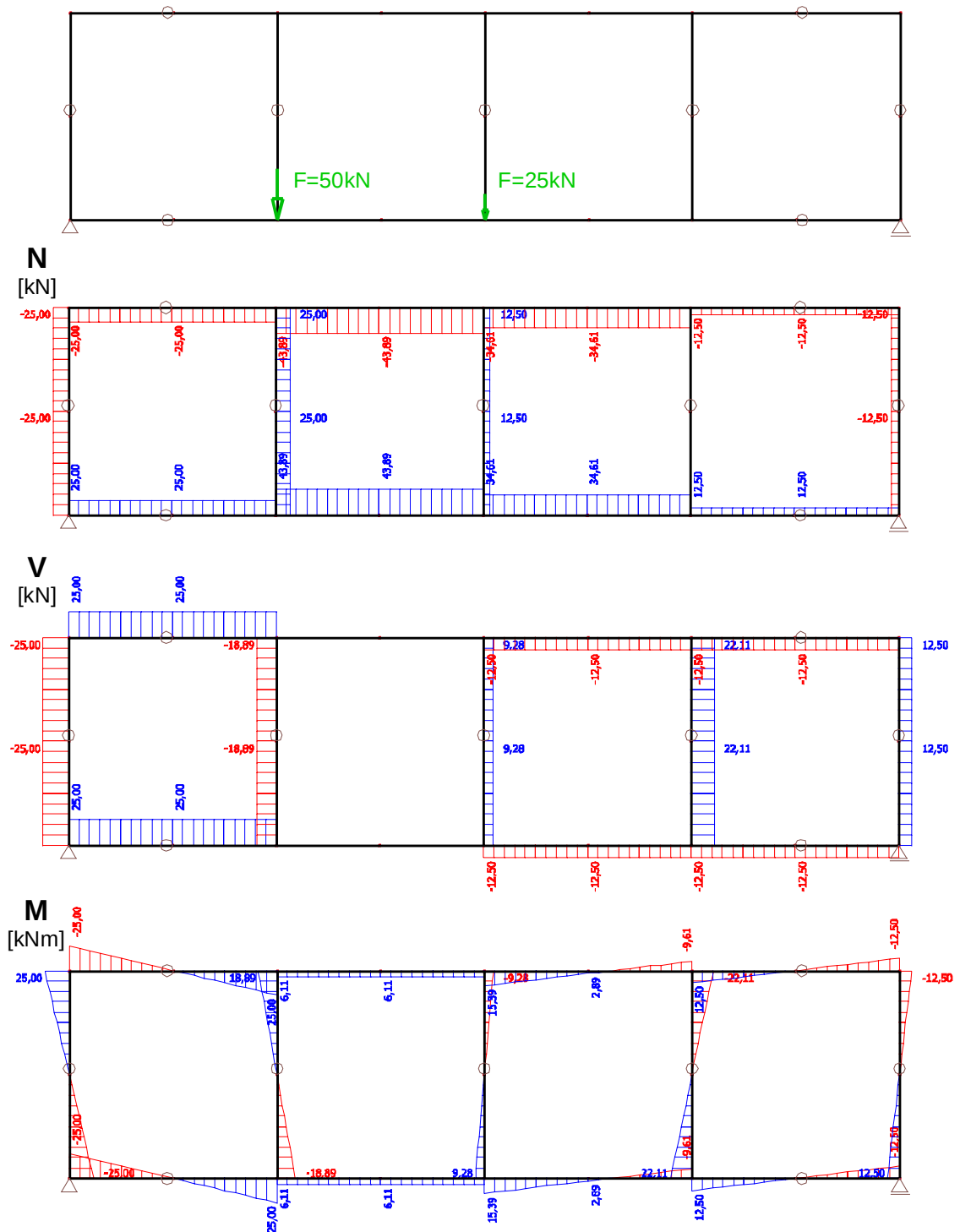
Obrázek 46: Průběh vnitřních sil

Nosník se sudým počtem polí bez vnitřních kloubů



Obrázek 47: Průběh vnitřních sil

Nosník se sudým počtem polí s vnitřními klouby

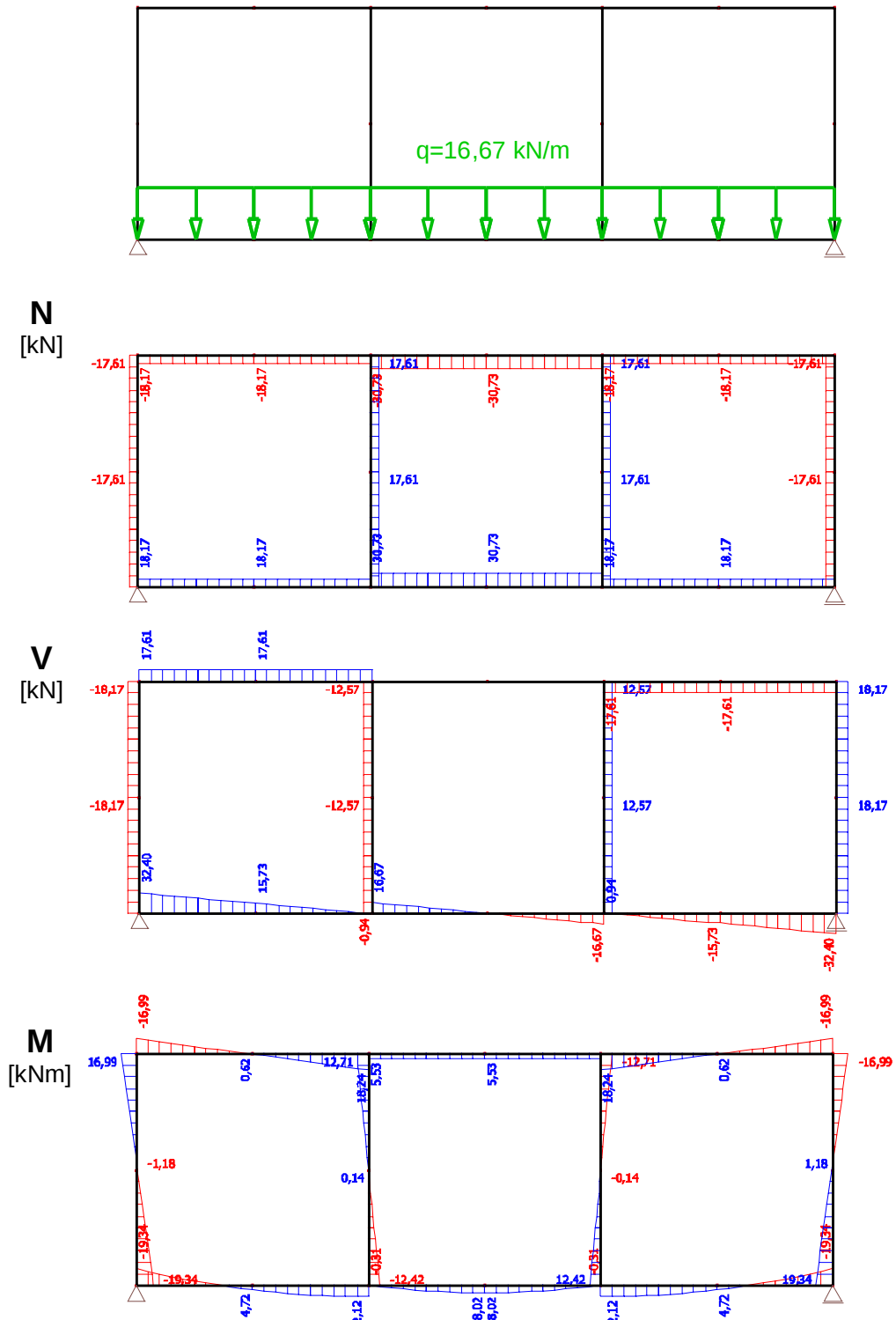


Obrázek 48: Průběh vnitřních sil

Symetrické zatížení pomocí spojitého zatížení

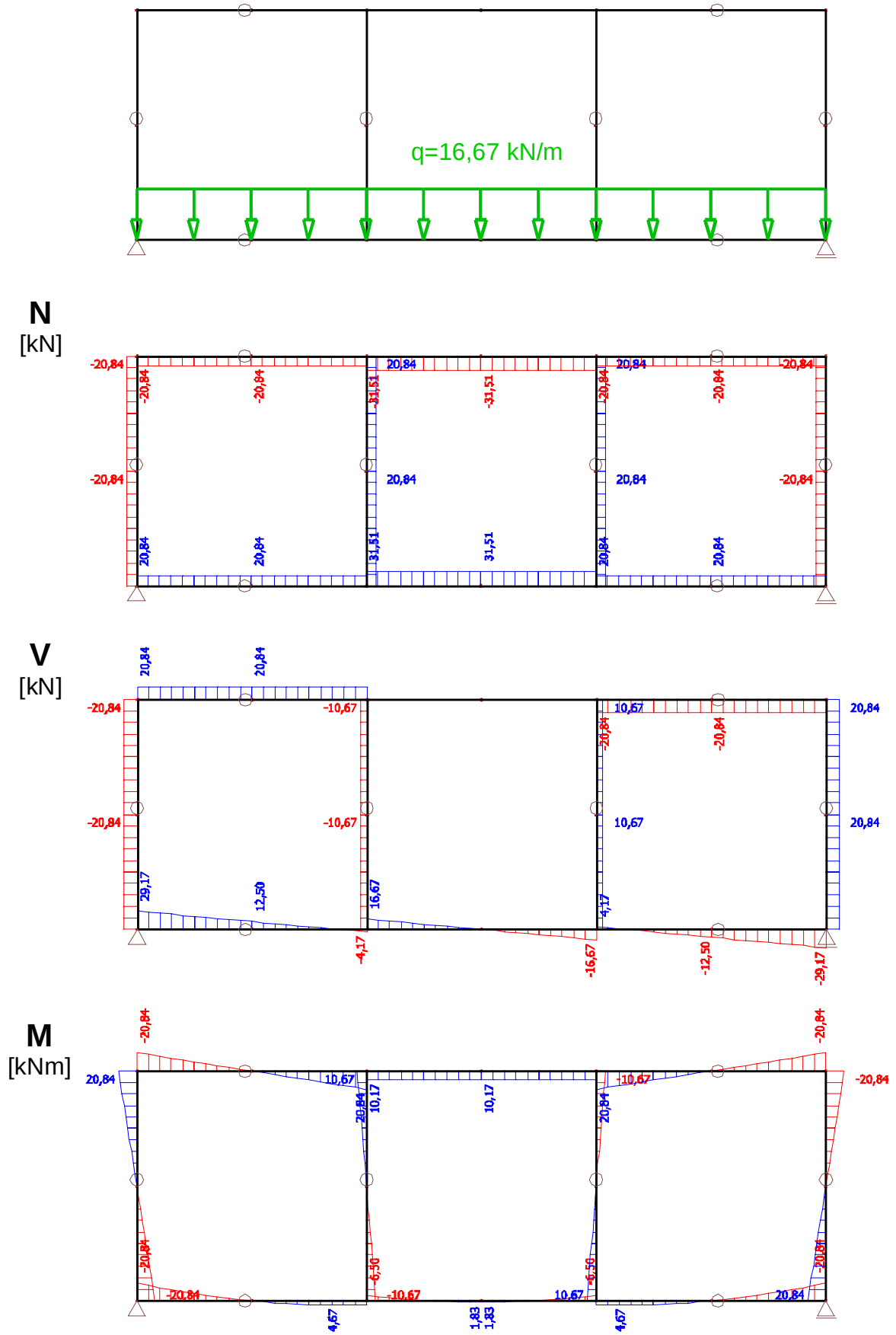
Spojitá zatížení budou umístěná na spodním pasu Vierendeelova nosníku. Velikost spojitého zatížení bude taková, aby vyvozovalo stejně velké reakce u nosníku jako u zatížení pomocí sil ve styčnicích.

Nosník s lichým počtem polí bez vnitřních kloubů



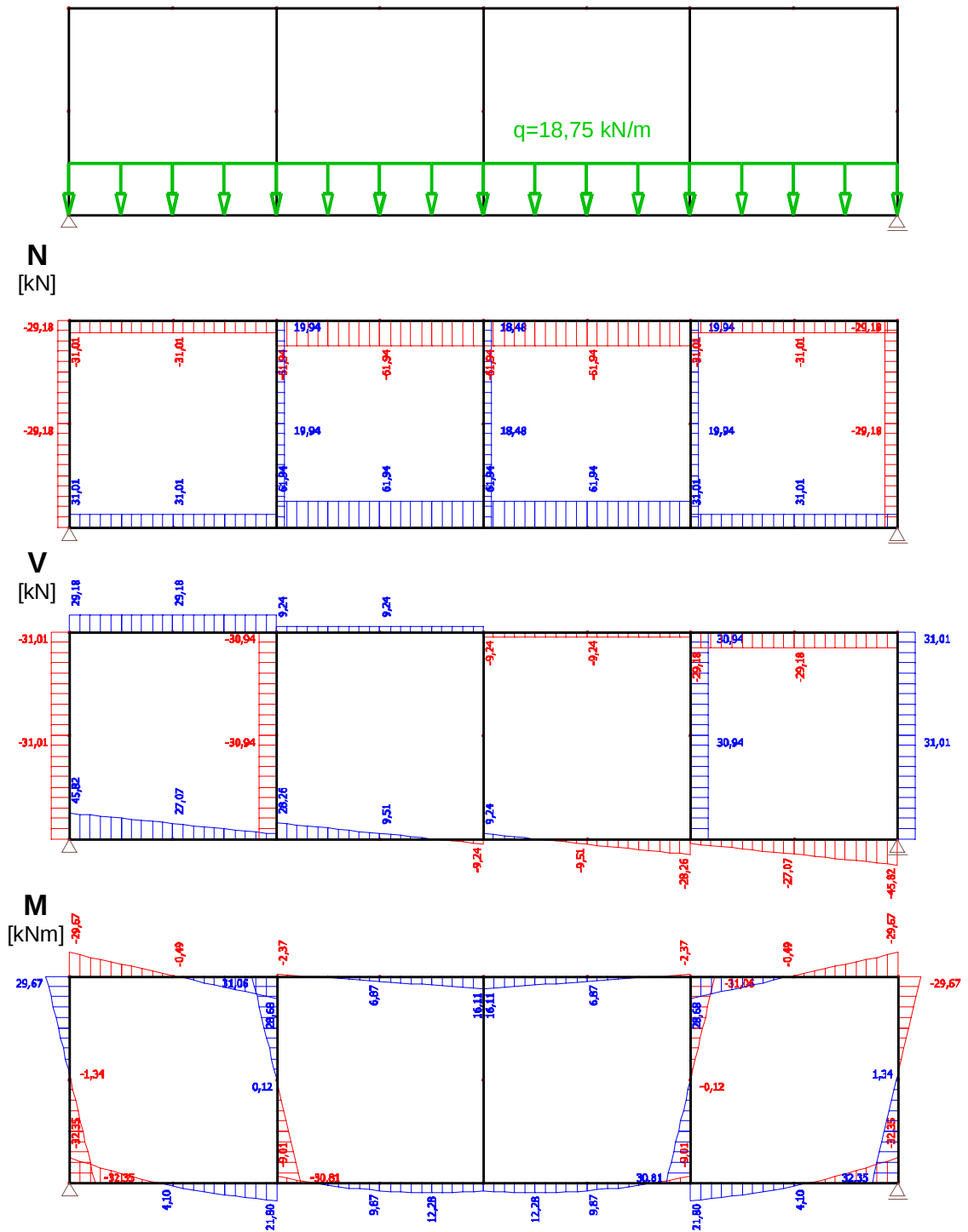
Obrázek 49: Průběh vnitřních sil

Nosník s lichým počtem polí s vnitřními klouby



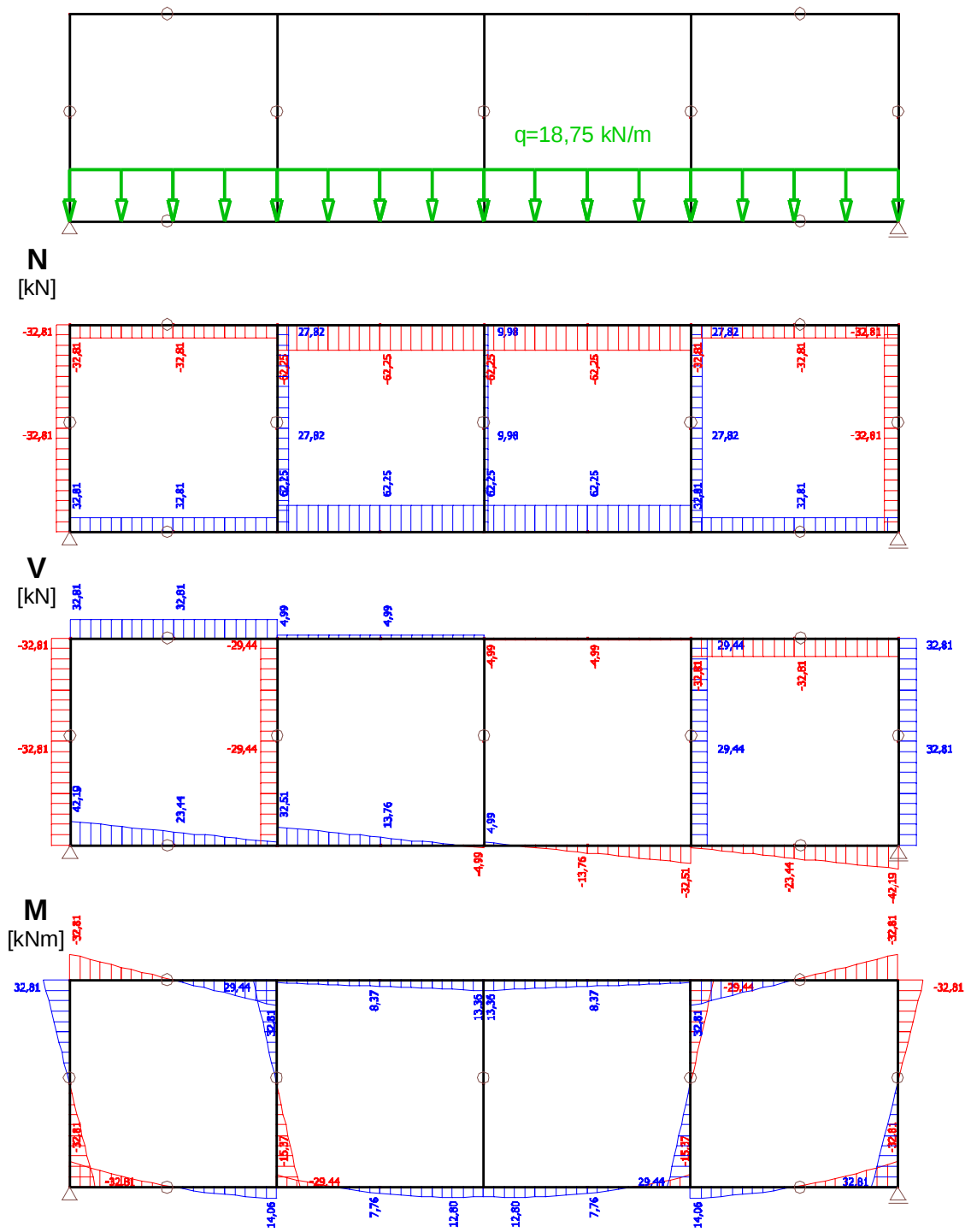
Obrázek 50: Průběh vnitřních sil

Nosník se sudým počtem polí bez vnitřních kloubů



Obrázek 51: Průběh vnitřních sil

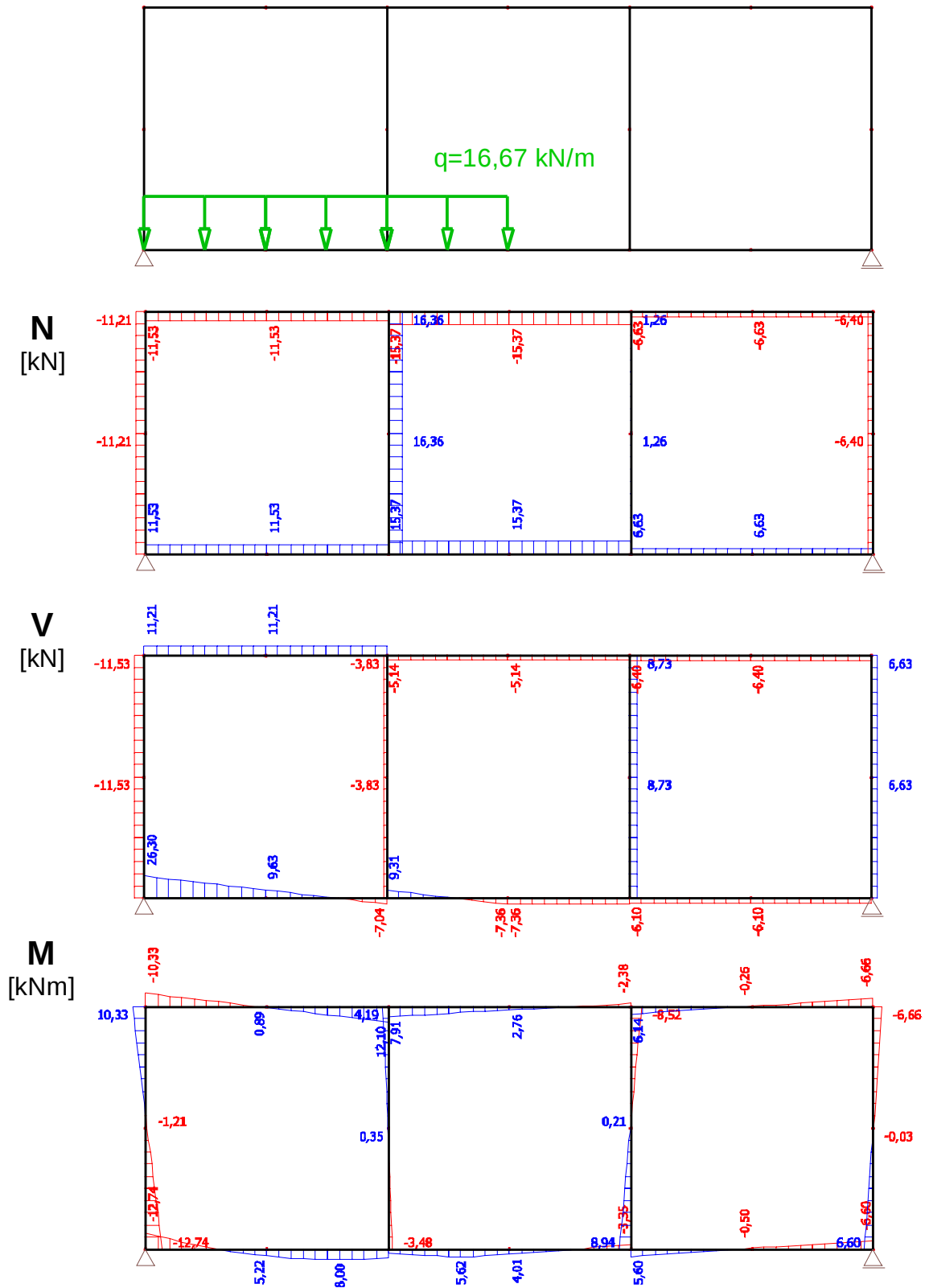
Nosník se sudým počtem polí s vnitřními klouby



Obrázek 52: Průběh vnitřních sil

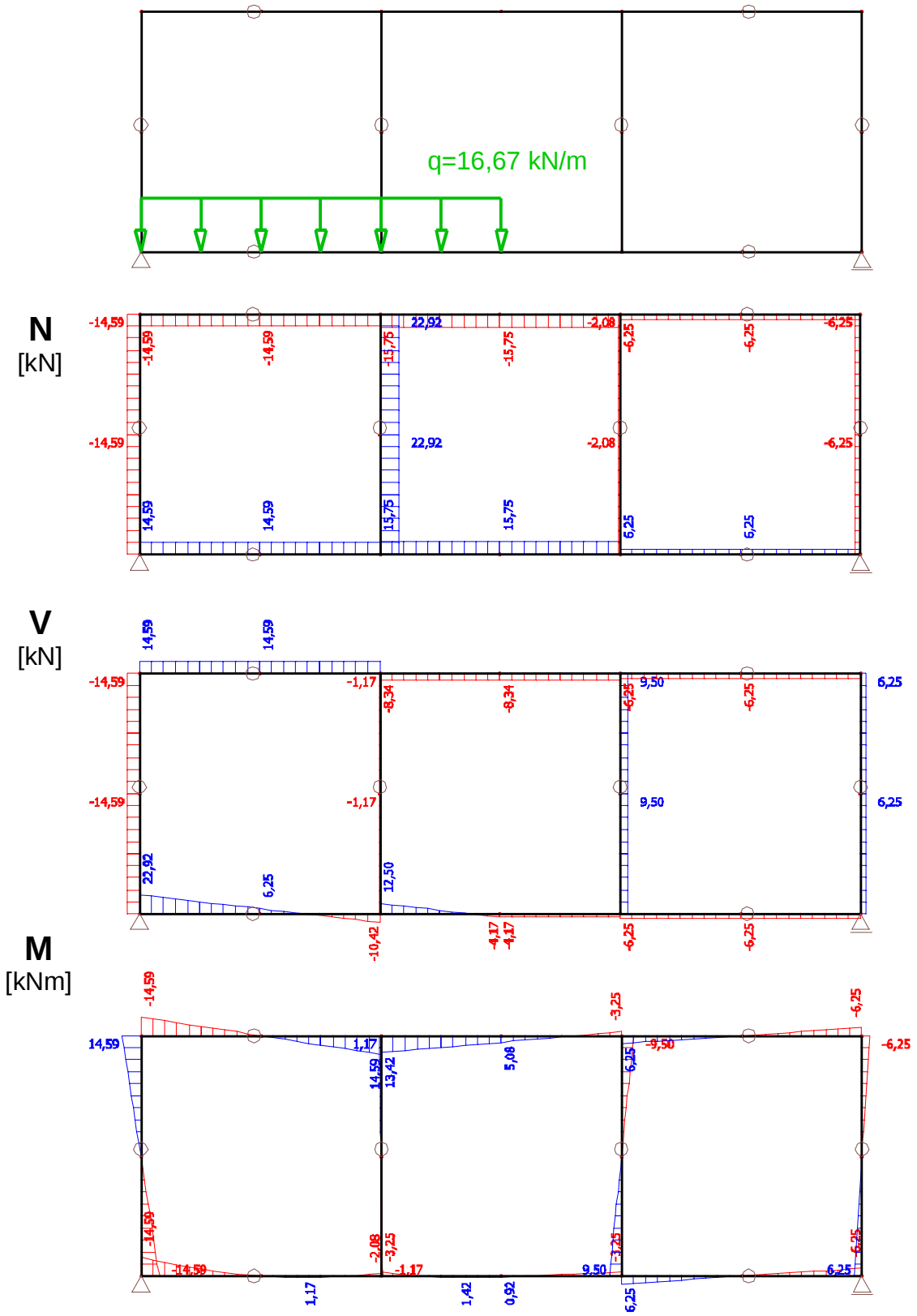
Asymetrické zatížení pomocí spojitého zatížení

Nosník s lichým počtem polí bez vnitřních kloubů



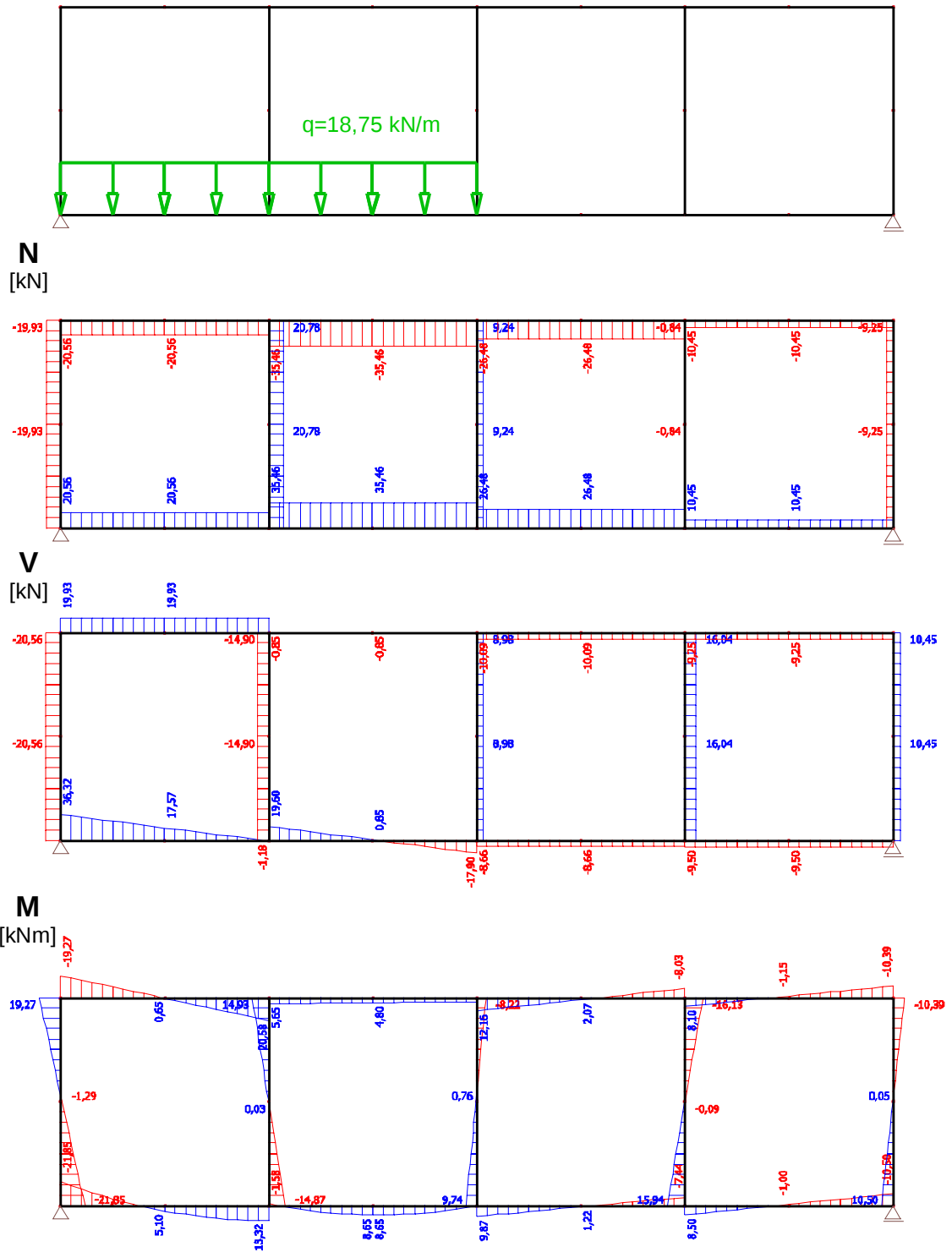
Obrázek 53: Průběh vnitřních sil

Nosník s lichým počtem polí s vnitřními klouby



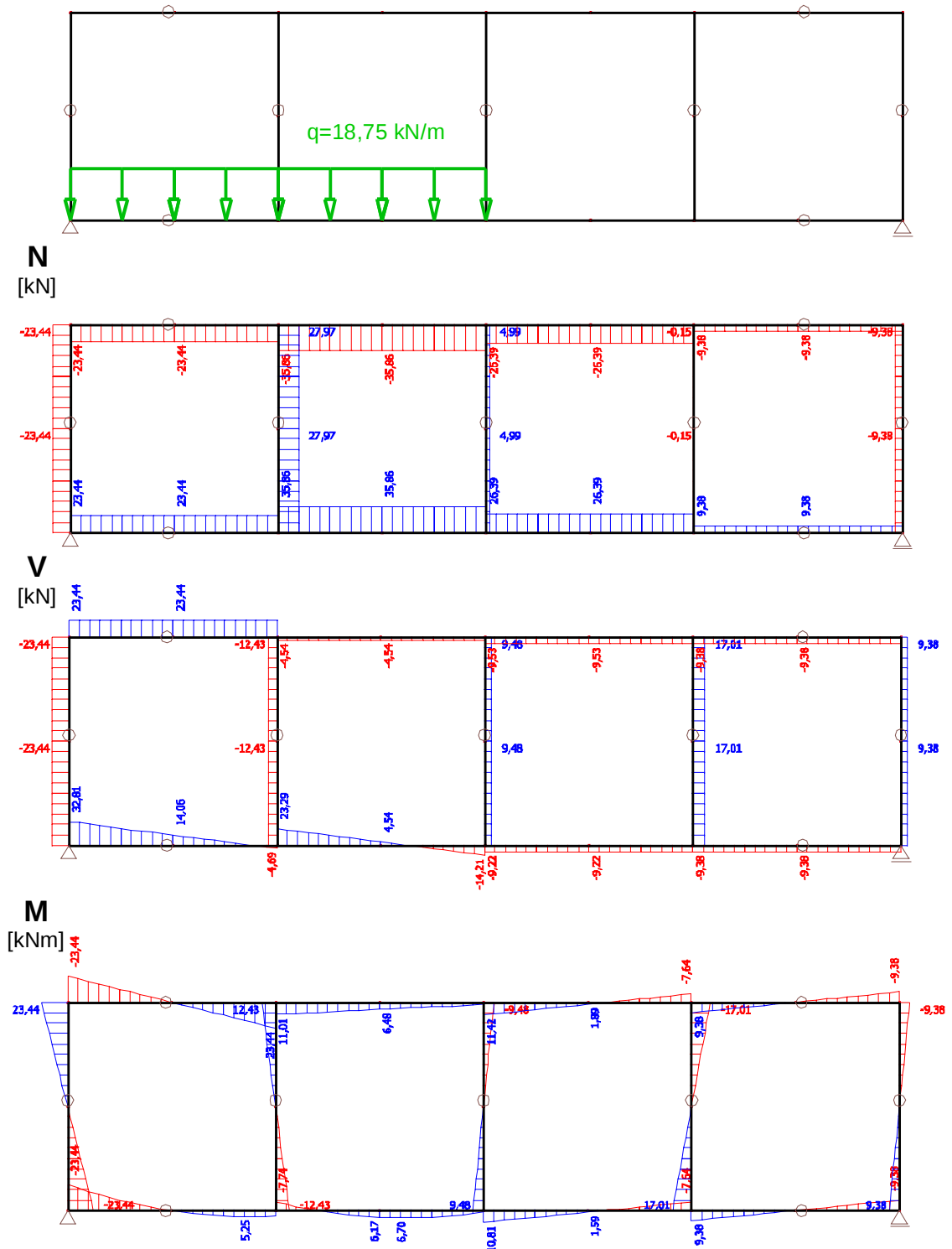
Obrázek 54: Průběh vnitřních sil

Nosník se sudým počtem polí bez vnitřních kloubů



Obrázek 55: Průběh vnitřních sil

Nosník se sudým počtem polí s vnitřními klouby



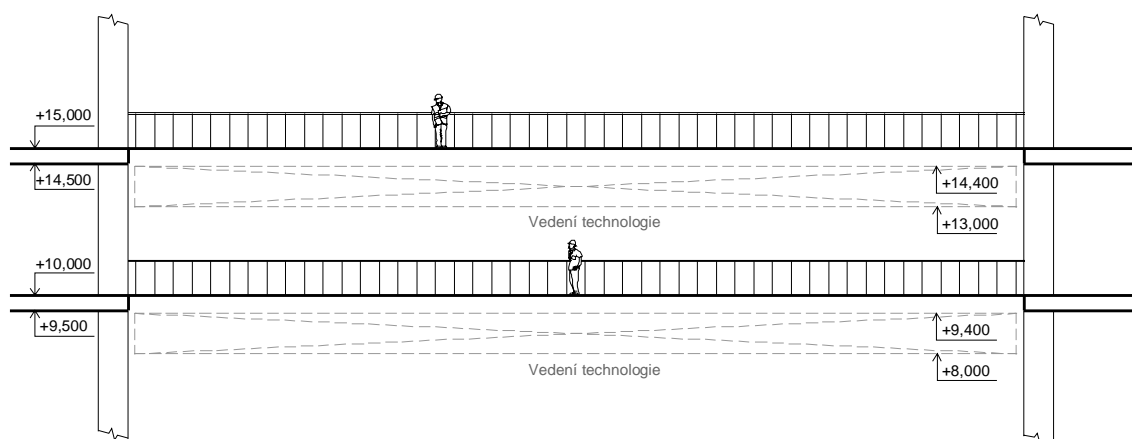
Obrázek 56: Průběh vnitřních sil

Z průběhů vnitřních sil na Vierendeelově nosníku je patrné, že spojitě zatížení mění průběh vnitřních sil na nosníku. Na prvcích, kde nebyl záporný ohybový moment, se po zatížení spojitým zatížením může objevit. Největší vliv to má na nosníky s vnitřními klouby. U nosníků bez vnitřních kloubů se vlivem spojitěho zatížení posouvají nulové body ohybového momentu na prvcích, což u nosníků s vnitřními klouby nastat nemůže, jelikož nulové body ohybového momentu jsou zde definované klouby. To má za následek, že na některých prvcích může dojít ke zvýšení hodnot vnitřních sil a ke změně jejich tvaru průběhu. Na druhou stranu nám klouby umožňují provádět montážní spoje, které nám umožní konstrukci na stavbu dopravit po částech a zde jí pak pouze smontovat.

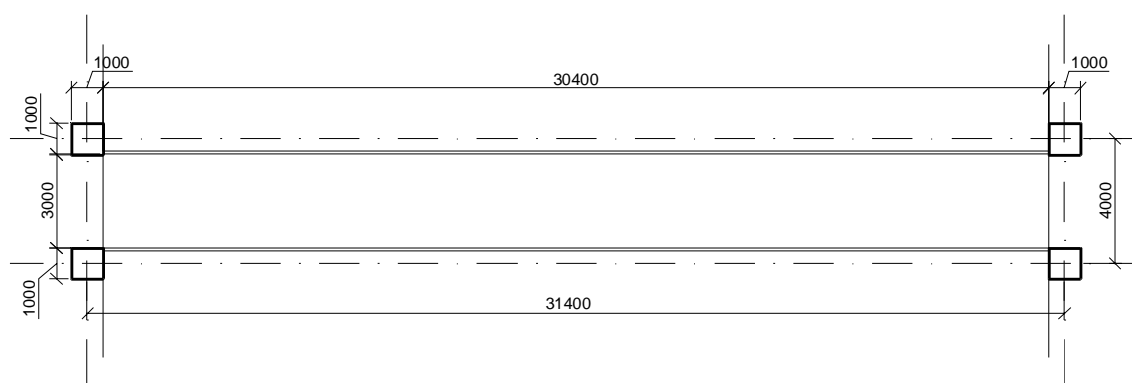
2. Návrh a analýza Vierendeelova nosníku pro zadání

2.1. Zadání

Máme za úkol navrhnout nosnou konstrukci pro dvě 30m dlouhé lávky v průmyslovém objektu. Rozměry a umístění lávek je vidět na obrázcích č. 57 a 58.



Obrázek 57: Zadání - řez



Obrázek 58: Zadání - půdorys

Pod lávkami bude vést technologické vedení, které bude mít kolmí směr na lávky. Tento prostor je v řezu označen čárkovanou čarou. Technologické vedení bude z potrubí o průměru 500 až 1200 mm. Požadavkem zadavatele je, aby nosná konstrukce zasahovala do tohoto prostoru co nejméně a pouze svislými prvky. Další požadavek od zadavatele je, že užité zatížení na plošinách má být $2,5 \text{ kN/m}^2$ a každá z lávek musí snést osamělé břemeno o velikosti $4 \times 15 \text{ kN}$, které působí v rozích čtverce o hraně 1m. Pokud působí osamělé břemeno na lávce, nemá být na ní uvažováno spojitě zatížení. Lávky nemohou být podepřeny sloupky, jelikož pod nimi jsou technologická zařízení, které jsou od okolních konstrukcí odděleny dilatací. Maximální dovolený průhyb konstrukce je stanoven vzorce $L/250$, kde L je délka lávky, tedy dovolený průhyb je $30000 \text{ mm}/250$, což činí 120 mm.

2.2. Zatěžovací stavy

ZS1 – Vlastní tíha nosné konstrukce

Vlastní tíha nosné konstrukce bude stanovena ze 3D statického modelu

ZS2 – Vlastní tíha podlahového nosníku a roštu

Rošt

Jako pochozí vrstva bude použit kompozitní rošt GRP-KS 860 – 38 – 8 od firmy Lichtgitter. Tento rošt splňuje požadavky zadavatele na zatížení při 1m osově vzdálenosti podpor.

Maximální bodové zatížení: $F_p = 15,75 \text{ kN}$

Maximální plošné zatížení: $F_v = 100 \text{ kN/m}^2$

Vlastní hmotnost roštu: $m = 39 \text{ kg/m}^2 = 0,39 \text{ kN/m}^2$

Nosník

Pro zadané rozměry a zatížení vyhovuje IPE200. Nosník bude dlouhý 3 m

Hmotnost nosníku: $m = 22,4 \text{ kg/m} = 0,22 \text{ kN/m}$

Obě zatížení jsou přepočtena na bodové síly, které představují místa uložení podlahových nosníků IPE200 na Vierendeelových nosnících

ZS3 až ZS7 – Plošné užité zatížení

Jedná se o plošné užité zatížení o velikosti $2,5 \text{ kN/m}^2$, které je přepočtené na bodové síly, které představují místa uložení podlahových nosníků IPE200 na Vierendeelových nosnících. Jednotlivé stavy mají různé rozložení užitého zatížení, viz příloha.

ZS8 až ZS11 – Užité zatížení – osamělé břemeno

Osamělé břemeno o velikosti $4 \times 15 \text{ kN}$, které působí v rozích čtverce o hraně 1m. Jednotlivé stavy mají různé rozložení užitého zatížení, viz příloha.

2.3. Kombinace

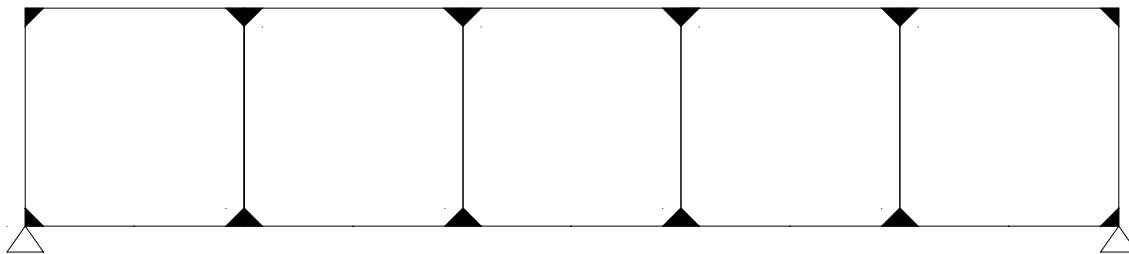
Jsou provedeny pouze nejnepříznivější kombinace, které splňují zadání.

		ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9	ZS10	ZS11
CO1	Užitné 1 - MSÚ	x	x	x								
CO2	Užitné 2 - MSÚ	x	x		x							
CO3	Užitné 1+2 - MSÚ	x	x	x	x							
CO4	Užitné 3 - MSÚ	x	x			x						
CO5	Užitné 4 - MSÚ	x	x				x					
CO6	Užitné 5 - MSÚ	x	x					x				
CO7	Užitné 1+osamělé břemeno 2 - MSÚ	x	x	x						x		
CO8	Užitné 2+osamělé břemeno 1 - MSÚ	x	x		x				x			
CO9	Užitné 1+osamělé břemeno 4 - MSÚ	x	x	x								x
CO10	Užitné 2+osamělé břemeno 3 - MSÚ	x	x		x						x	
CO11	Užitné - osamělé břemeno 1+2 - MSÚ	x	x						x	x		
CO12	Užitné - osamělé břemeno 3+4 - MSÚ	x	x								x	x

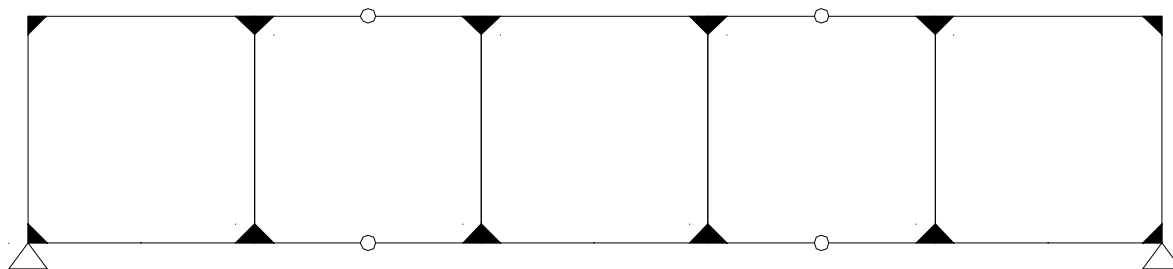
Tabulka 1: Tabulka kombinací

2.4. Předběžný návrh nosné konstrukce

Pro konstrukci budou navržena dva statické modely, které se budou mezi sebou porovnávat. První varianta bude klasický Vierendeelův nosník (obrázek č.59) a druhá varianta bude Vierendeelův nosník s vnitřními klouby (obrázek č.60). Pole nosníku bude mít čtvercový tvar o velikosti strany 5m. Nosníky budou podepřeny jako prostý nosník.



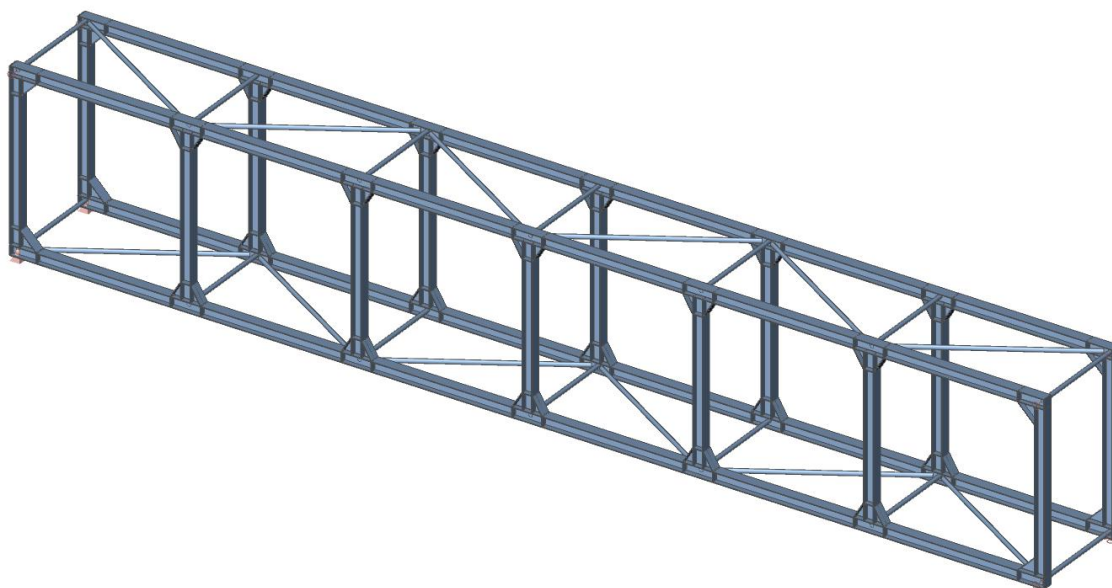
Obrázek 59: Varianta č.1 - klasický Vierendeelův nosník



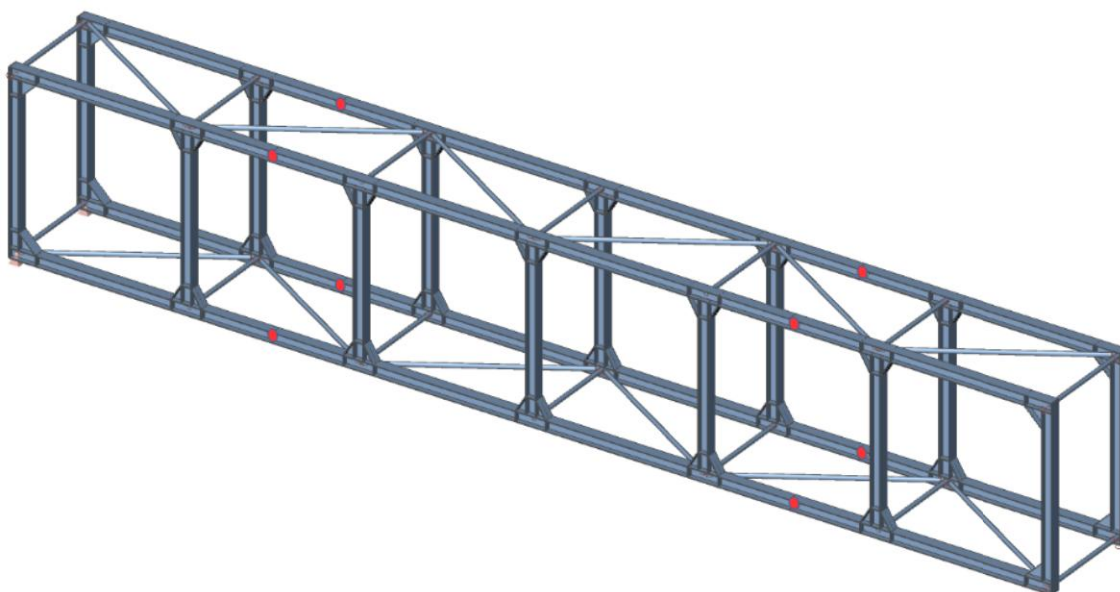
Obrázek 60: Varianta č.2 - Vierendeelův nosník s vnitřními klouby

U druhé varianty jsou klouby proto, jelikož nosník bude dlouhý 30m a bylo by lepší pro montáž ho rozdělit na menší části. Proto je druhá varianta navržena ze tří částí, kde dvě jsou dlouhé 7,5m a jedna 15m. Obě budou mít stejné profily prvků, aby bylo vidět, která je více namáhaná. Předpokládaný profil je HEB300 pro všechny prvky.

3D modely variant



Obrázek 61: Varianta č.1 - klasický Vierendeelův nosník



Obrázek 62: Varianta č.2 - Vierendeelův nosník s vnitřními klouby

2.5. Výpočet

Nejprve bude proveden statický výpočet podle teorie 1. řádu, tedy lineární analýzou. Po provedeném výpočtu vnitřních sil bude provedena kontrola stability prvků konstrukce a bude zkontrolováno, jestli danou konstrukci postačuje řešit podle 1.řádu a nebo bude nutné konstrukci posoudit i podle 2. řádu, tedy nelineární analýzou. To se zkontroluje podle následujícího vztahu, který udává norma ČSN EN 1993-1-1:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10 \quad \text{pro pružnostní analýzu}$$

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15 \quad \text{pro plasticitní analýzu}$$

kde F_{cr} je kritické zatížení pro celkové vybočení, vypočtené pro počáteční tuhosti v pružném stavu

F_{Ed} je návrhové zatížení konstrukce.

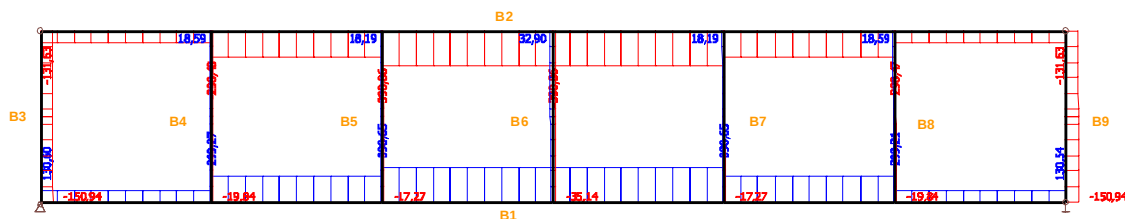
V našem případě bude minimální hodnota rovna 15, jelikož konstrukce bude posuzována plasticitní analýzou. Tato hodnota zajišťuje 15násobnou bezpečnost proti ztrátě stability stability ideální konstrukce.

2.6. Výsledky

Výsledky ze statického 3D modelu budou zde prezentovány ve 2D pohledu na Vierendeelův nosník, který je nejvíce namáhaný zatěžovacími kombinacemi. Všechny výstupy budou zde zobrazeny jako obálka všech kombinací.

Normálové síly

Varianta č.1

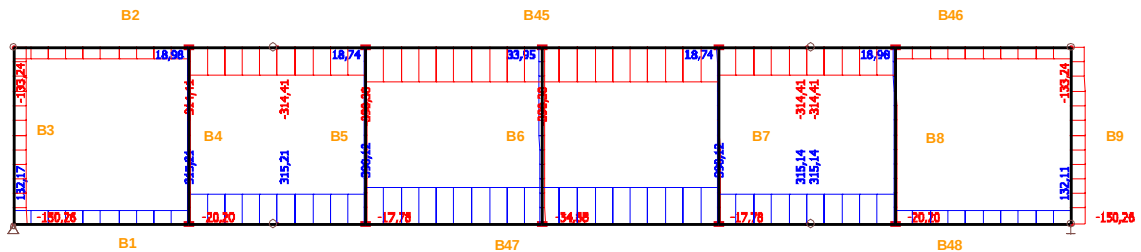


Obrázek 63: Varianta č.1 - Normálové síly

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]
B1	CS1 - HEB300	0	CO12/3	55,8
B1	CS1 - HEB300	10	CO3/1	390,65
B2	CS1 - HEB300	15	CO3/1	-390,86
B2	CS1 - HEB300	25	CO6/2	-76,17
B3	CS1 - HEB300	0	CO3/1	-150,94
B3	CS1 - HEB300	5	CO11/7	-77,89
B4	CS1 - HEB300	0	CO10/5	-19,84
B4	CS1 - HEB300	5	CO9/4	18,59
B5	CS1 - HEB300	0	CO2/8	-17,27
B5	CS1 - HEB300	5	CO1/9	18,19
B6	CS1 - HEB300	0	CO9/4	-35,14
B6	CS1 - HEB300	5	CO10/5	32,9
B7	CS1 - HEB300	0	CO2/8	-17,27
B7	CS1 - HEB300	5	CO1/9	18,19
B8	CS1 - HEB300	0	CO10/5	-19,84
B8	CS1 - HEB300	5	CO9/4	18,59
B9	CS1 - HEB300	0	CO3/1	-150,94
B9	CS1 - HEB300	5	CO6/2	-76,48

Tabulka 2: Varianta č.1 -
Normálové síly

Varianta č.2



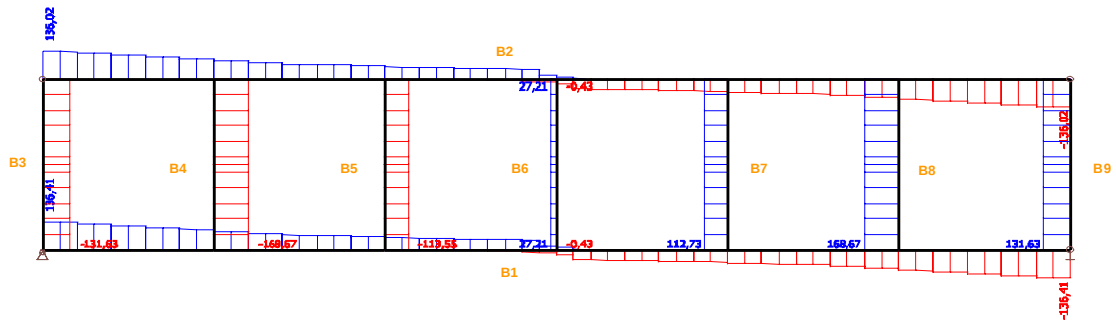
Obrázek 64: Varianta č.2 - Normálové síly

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]
B1	CS1 - HEB300	0	CO12/1	56,7
B1	CS1 - HEB300	5	CO3/2	315,21
B2	CS1 - HEB300	0	CO11/3	-78,71
B2	CS1 - HEB300	5	CO3/2	-314,41
B3	CS1 - HEB300	5	CO11/3	-77,9
B3	CS1 - HEB300	0	CO3/2	-150,26
B4	CS1 - HEB300	0	CO10/4	-20,2
B4	CS1 - HEB300	5	CO9/5	18,98
B5	CS1 - HEB300	5	CO1/7	18,74
B5	CS1 - HEB300	0	CO2/6	-17,78
B6	CS1 - HEB300	5	CO10/4	33,95
B6	CS1 - HEB300	0	CO9/5	-34,88
B7	CS1 - HEB300	5	CO1/7	18,74
B7	CS1 - HEB300	0	CO2/6	-17,78
B8	CS1 - HEB300	0	CO10/4	-20,2
B8	CS1 - HEB300	5	CO9/5	18,98
B9	CS1 - HEB300	5	CO6/8	-76,49
B9	CS1 - HEB300	0	CO3/2	-150,26
B45	CS1 - HEB300	12,5	CO6/8	-188,8
B45	CS1 - HEB300	7,5	CO3/2	-390,3
B46	CS1 - HEB300	2,5	CO6/8	-77,12
B46	CS1 - HEB300	0	CO3/2	-314,41
B47	CS1 - HEB300	2,5	CO3/2	390,12
B47	CS1 - HEB300	12,5	CO6/8	189,31
B48	CS1 - HEB300	0	CO3/2	315,14
B48	CS1 - HEB300	2,5	CO6/8	76,43

Tabulka 3: Varianta č.2 -
Normálové síly

Posouvající síly

Varianta č.1

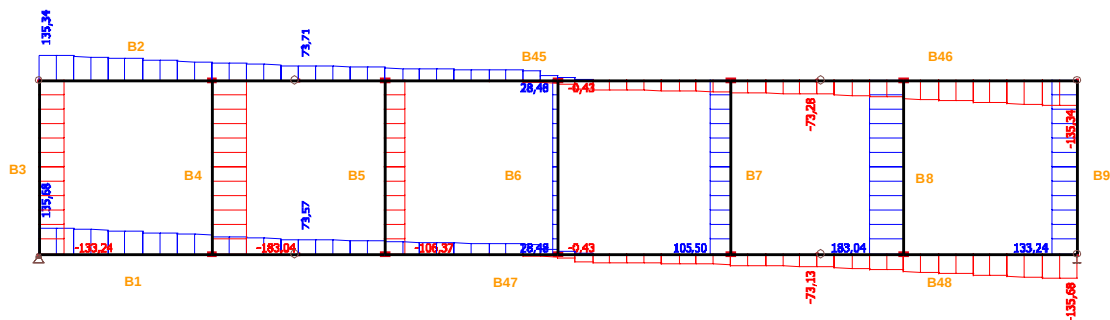


Obrázek 65: Varianta č.1 - Posouvající síly

Prvek	css	dx [m]	Stav	Vz [kN]
B1	CS1 - HEB300	30	CO3/1	-136,41
B1	CS1 - HEB300	0	CO3/1	136,41
B2	CS1 - HEB300	30	CO3/1	-136,02
B2	CS1 - HEB300	0	CO3/1	136,02
B3	CS1 - HEB300	0	CO3/1	-131,63
B3	CS1 - HEB300	0	CO11/7	-77,68
B4	CS1 - HEB300	0	CO3/1	-168,67
B4	CS1 - HEB300	0	CO11/7	-108,74
B5	CS1 - HEB300	0	CO12/3	-113,55
B5	CS1 - HEB300	0	CO6/2	-51,45
B6	CS1 - HEB300	0	CO12/3	-0,43
B6	CS1 - HEB300	0	CO6/2	27,21
B7	CS1 - HEB300	0	CO4/6	63,94
B7	CS1 - HEB300	0	CO12/3	112,73
B8	CS1 - HEB300	0	CO6/2	106,67
B8	CS1 - HEB300	0	CO3/1	168,67
B9	CS1 - HEB300	0	CO6/2	76,17
B9	CS1 - HEB300	0	CO3/1	131,63

Tabulka 4: Varianta č.1 - Posouvající síly

Varianta č.2



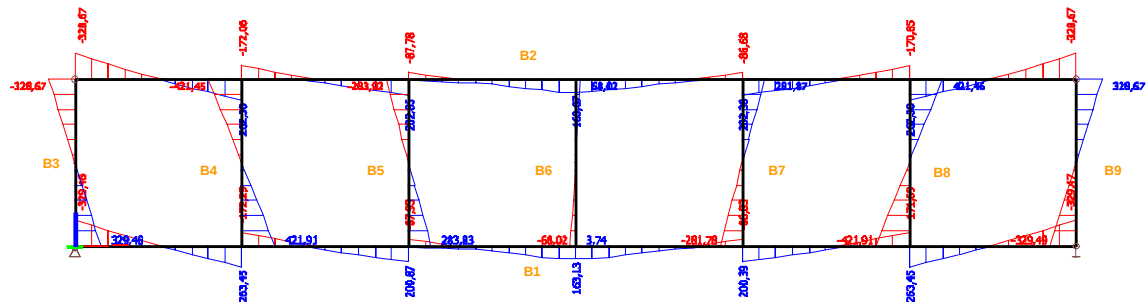
Obrázek 66: Varianta č.2 - Posouvající síly

Prvek	css	dx [m]	Stav	Vz [kN]
B1	CS1 - HEB300	7,5	CO2/6	49,3
B1	CS1 - HEB300	0	CO3/2	135,68
B2	CS1 - HEB300	0	CO3/2	135,34
B2	CS1 - HEB300	7,5	CO1/7	49,44
B3	CS1 - HEB300	0	CO11/3	-78,71
B3	CS1 - HEB300	0	CO3/2	-133,24
B4	CS1 - HEB300	0	CO3/2	-183,04
B4	CS1 - HEB300	0	CO11/3	-115,51
B5	CS1 - HEB300	0	CO6/8	-36,05
B5	CS1 - HEB300	0	CO12/1	-106,37
B6	CS1 - HEB300	0	CO6/8	28,48
B6	CS1 - HEB300	0	CO12/1	-0,43
B7	CS1 - HEB300	0	CO12/1	105,5
B7	CS1 - HEB300	0	CO4/9	53,3
B8	CS1 - HEB300	0	CO6/8	112,88
B8	CS1 - HEB300	0	CO3/2	183,04
B9	CS1 - HEB300	0	CO3/2	133,24
B9	CS1 - HEB300	0	CO6/8	77,12
B45	CS1 - HEB300	0	CO12/1	73,71
B45	CS1 - HEB300	15	CO12/1	-73,28
B46	CS1 - HEB300	0	CO1/7	-49,44
B46	CS1 - HEB300	7,5	CO3/2	-135,34
B47	CS1 - HEB300	0	CO12/1	73,57
B47	CS1 - HEB300	15	CO12/1	-73,13
B48	CS1 - HEB300	0	CO2/6	-49,3
B48	CS1 - HEB300	7,5	CO3/2	-135,68

Tabulka 5: Varianta č.2 - Posouvající síly

Ohybový moment

Varianta č.1

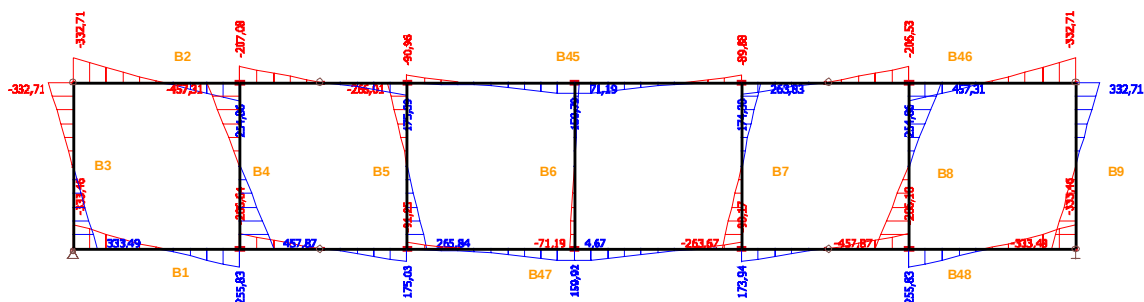


Obrázek 67: Varianta č.1 - Ohybový moment

Prvek	css	dx [m]	Stav	My [kNm]
B1	CS1 - HEB300	30	CO3/1	-329,47
B1	CS1 - HEB300	25	CO3/1	263,45
B2	CS1 - HEB300	30	CO3/1	-328,67
B2	CS1 - HEB300	25	CO3/1	262,3
B3	CS1 - HEB300	5	CO3/1	-328,67
B3	CS1 - HEB300	0	CO3/1	329,48
B4	CS1 - HEB300	5	CO3/1	-421,45
B4	CS1 - HEB300	0	CO3/1	421,91
B5	CS1 - HEB300	5	CO12/3	-283,92
B5	CS1 - HEB300	0	CO12/3	283,83
B6	CS1 - HEB300	0	CO6/2	-68,02
B6	CS1 - HEB300	5	CO6/2	68,02
B7	CS1 - HEB300	0	CO12/3	-281,78
B7	CS1 - HEB300	5	CO12/3	281,87
B8	CS1 - HEB300	0	CO3/1	-421,91
B8	CS1 - HEB300	5	CO3/1	421,46
B9	CS1 - HEB300	0	CO3/1	-329,49
B9	CS1 - HEB300	5	CO3/1	328,67

Tabulka 6: Varianta č.1 - Ohybový moment

Varianta č.2



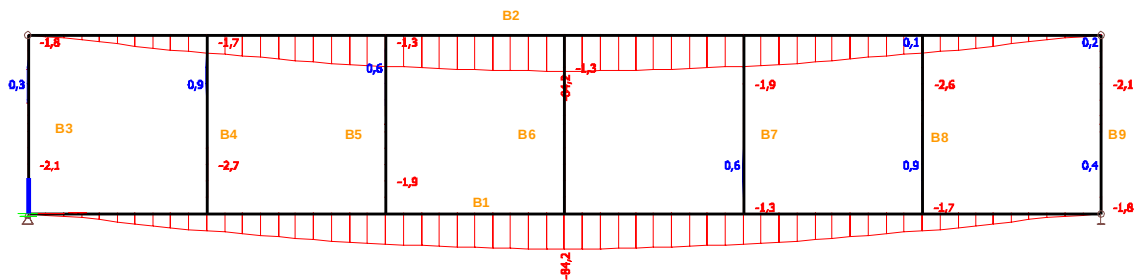
Obrázek 68: Varianta č.2 - Ohybový moment

Prvek	css	dx [m]	Stav	My [kNm]
B1	CS1 - HEB300	0	CO3/2	-333,46
B1	CS1 - HEB300	5	CO3/2	255,83
B2	CS1 - HEB300	5	CO3/2	254,86
B2	CS1 - HEB300	0	CO3/2	-332,71
B3	CS1 - HEB300	0	CO3/2	333,49
B3	CS1 - HEB300	5	CO3/2	-332,71
B4	CS1 - HEB300	5	CO3/2	-457,31
B4	CS1 - HEB300	0	CO3/2	457,87
B5	CS1 - HEB300	0	CO12/1	265,84
B5	CS1 - HEB300	5	CO12/1	-266,01
B6	CS1 - HEB300	5	CO6/8	71,19
B6	CS1 - HEB300	0	CO6/8	-71,19
B7	CS1 - HEB300	5	CO12/1	263,83
B7	CS1 - HEB300	0	CO12/1	-263,67
B8	CS1 - HEB300	0	CO3/2	-457,87
B8	CS1 - HEB300	5	CO3/2	457,31
B9	CS1 - HEB300	5	CO3/2	332,71
B9	CS1 - HEB300	0	CO3/2	-333,49
B45	CS1 - HEB300	2,5	CO12/1	175,39
B45	CS1 - HEB300	2,5	CO12/1	-90,96
B46	CS1 - HEB300	2,5	CO3/2	254,86
B46	CS1 - HEB300	7,5	CO3/2	-332,71
B47	CS1 - HEB300	2,5	CO12/1	175,03
B47	CS1 - HEB300	2,5	CO12/1	-91,25
B48	CS1 - HEB300	2,5	CO3/2	255,83
B48	CS1 - HEB300	7,5	CO3/2	-333,46

Tabulka 7: Varianta č.2 - Ohybový moment

Deformace – u_z

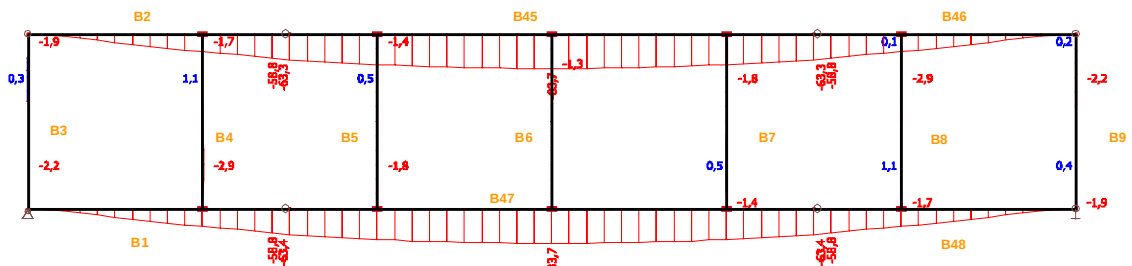
Varianta č.1



Obrázek 69: Varianta č.1 - Deformace u_z

U varianty č.1 je maximální deformace nosníku 84,2 mm, což činí poměr okolo $L/356$. To splňuje požadavky zadané zadavatelem.

Varianta č.2

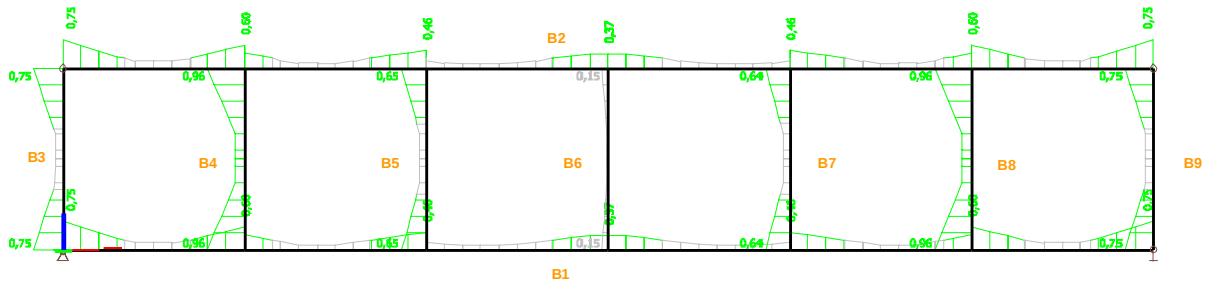


Obrázek 70: Varianta č.2 - Deformace u_z

U varianty č.2 je maximální deformace nosníku je o trochu menší než u varianty č.1. Průhyb u varianty č.2 je 83,7 mm, což činí poměr okolo $L/358$.

Pevnostní posudek prvků

Varianta č.1

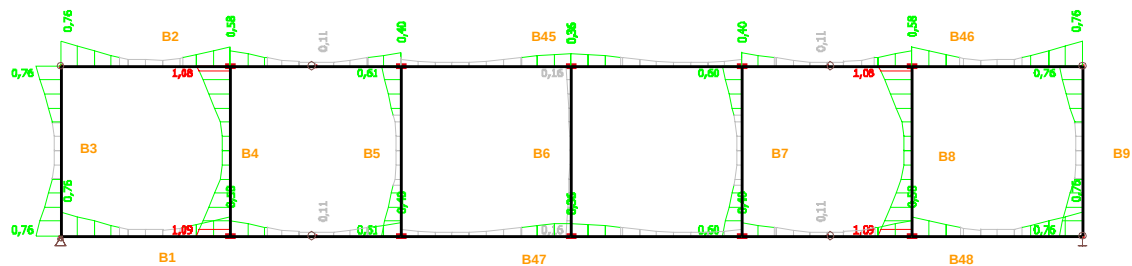


Obrázek 71: Varianta č.1 - Posudek pevnosti

Prvek	css	mat	Stav	dx [m]	pevnost [-]
B1	CS1 - HEB300	S 235	CO3/1	30	0,75
B2	CS1 - HEB300	S 235	CO3/1	30	0,75
B3	CS1 - HEB300	S 235	CO3/1	0	0,75
B4	CS1 - HEB300	S 235	CO3/1	0	0,96
B5	CS1 - HEB300	S 235	CO12/3	5	0,65
B6	CS1 - HEB300	S 235	CO6/2	5	0,15
B7	CS1 - HEB300	S 235	CO12/3	5	0,64
B8	CS1 - HEB300	S 235	CO3/1	0	0,96
B9	CS1 - HEB300	S 235	CO3/1	0	0,75

Tabulka 8: Varianta č.1 - Posudek pevnosti

Varianta č.2



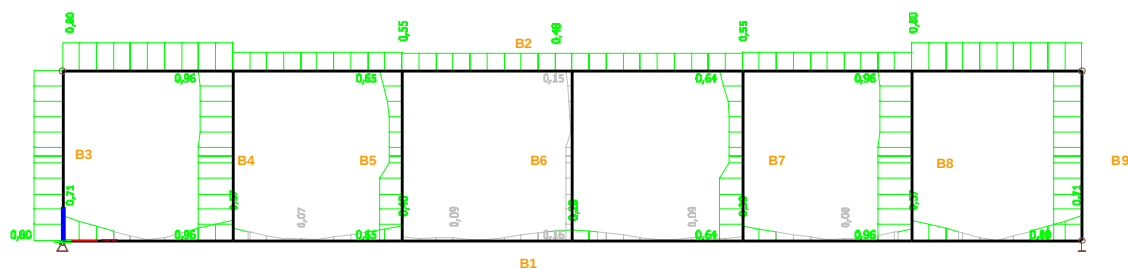
Obrázek 72: Varianta č.2 - Posudek pevnosti

Prvek	css	mat	Stav	dx [m]	pevnost [-]
B1	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	0	0,76
B2	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	0	0,76
B3	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	0	0,76
B4	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	0	1,09
B5	CS1 - HEB300	S 235	CO12/1	5	0,61
B6	CS1 - HEB300	S 235	CO6/8	5	0,16
B7	CS1 - HEB300	S 235	CO12/1	5	0,6
B8	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	0	1,09
B9	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	0	0,76
B45	CS1 - HEB300	S 235	CO12/1	2,5	0,4
B46	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	7,5	0,76
B47	CS1 - HEB300	S 235	CO12/1	2,5	0,4
B48	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	7,5	0,76

Tabulka 9: Varianta č.2 - Posudek pevnosti

Stabilitní posudek prvků

Varianta č.1

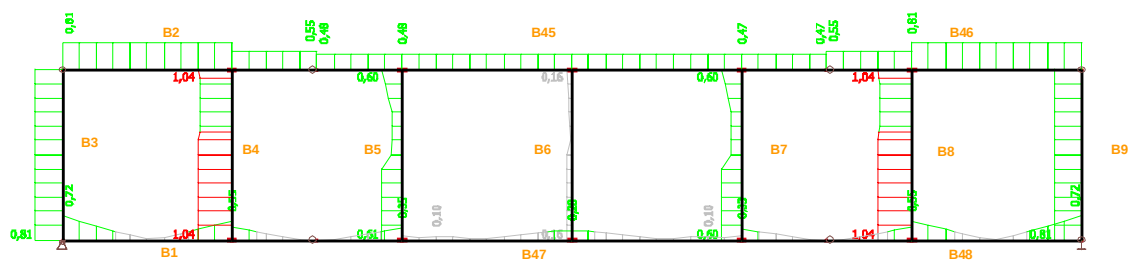


Obrázek 73: Varianta č.1 - Posudek stability

Prvek	css	mat	Stav	dx [m]	stab. posudek [-]
B1	CS1 - HEB300	S 235	CO3/1	30	0,71
B2	CS1 - HEB300	S 235	CO3/1	0	0,8
B3	CS1 - HEB300	S 235	CO3/1	0	0,8
B4	CS1 - HEB300	S 235	CO3/1	0	0,96
B5	CS1 - HEB300	S 235	CO12/3	0	0,65
B6	CS1 - HEB300	S 235	CO6/2	0	0,16
B7	CS1 - HEB300	S 235	CO12/3	0	0,64
B8	CS1 - HEB300	S 235	CO3/1	0	0,96
B9	CS1 - HEB300	S 235	CO3/1	0	0,8

Tabulka 10: Varianta č.1 - Posudek stability

Varianta č.2



Obrázek 74: Varianta č.2 - Posudek stability

Prvek	css	mat	Stav	dx [m]	stab. posudek [-]
B1	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	0	0,72
B2	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	0	0,81
B3	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	0	0,81
B4	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	0	1,04
B5	CS1 - HEB300	S 235	CO12/1	0	0,61
B6	CS1 - HEB300	S 235	CO6/8	0	0,16
B7	CS1 - HEB300	S 235	CO12/1	0	0,6
B8	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	0	1,04
B9	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	0	0,81
B45	CS1 - HEB300	S 235	CO12/1	2,5	0,48
B46	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	2,5	0,81
B47	CS1 - HEB300	S 235	CO12/1	2,5	0,35
B48	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	7,5	0,72

Tabulka 11: Varianta č.2 - Posudek stability

Vyhodnocení výsledků

Jak je vidět z posouzení pevnosti a stability prvků obou variant Virendeelova nosníku, varianta nosníku č.2 s vnitřními klouby nevyhověla. Příčinou jsou právě vložené klouby, které na prvcích B4 a B8 zvýšily ohybový moment o 36 kNm, což stačilo na překročení využití průřezu v pevnosti o 9% a v posudku stability o 4%.

Z obrázků posudků variant je patrné, že u obou nosníků jsou nejvíce namáhány právě prvky B4 a B8. Je to způsobeno tím, že tyto prvky jsou poslední s rámovým rohem spojující tři prvky. Pokud se podíváme na horní styčník prvku B4, vidíme, že na pravé straně styčníku má část prvku B2 záporný ohybový moment zápornou hodnotu, zatím co na levé straně styčníku má část prvku B2 kladný ohybový moment. Pokud tedy uděláme podmínku rovnováhy ve styčníku, zjistíme, že tyto dva momenty se sčítají a ohybový moment na prvku B4 musí působit proti těmto momentům.

Nyní zkontrolujeme, zda-li postačuje výpočet podle 1. řádu, tedy lineární analýza. Kontrolu provedeme na prvku B2, který je nejvíce namáhán tlakovou normálovou silou.

Pro prvek z profilu HEB300 a délky 5 m vyšlo z výpočtu v programu Scia Engineer kritické břemeno rovno:

$$F_{cr,y} = 12789 \text{ kN}$$

$$F_{cr,z} = 7787 \text{ kN} .$$

Z těchto hodnot budeme uvažovat pro další výpočet pouze s nejnižší hodnotou, tedy

$$F_{cr} = 7787 \text{ kN} .$$

Maximální tlaková normálová síla v prutu je $F_{Ed} = 391 \text{ kN}$. Potom tedy

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15$$

$$\alpha_{cr} = \frac{7787}{391} = 19,9 > 15$$

Jak je vidět, podmínky vyhovuje a proto postačuje posouzení pouze podle teorie 1.řádu.

Pro modelovou podobnost tedy použijeme variantu č.1, jelikož jak je patrné z průhybů obou variant, jsou skoro totožná. Při měřítku 1:100 tento rozdíl mezi variantami činí 0,005 mm, což je zanedbatelná hodnota.

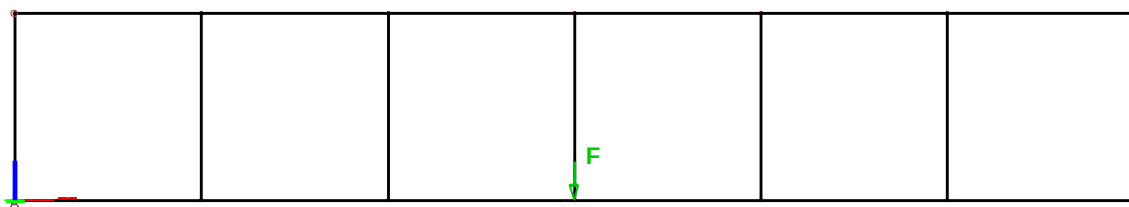
3. Modelová podobnost

3.1. Statický model pro Vierendeelův nosník

Pro modelovou podobnost bude použit Vierendeelův nosník varianta č.1. Na nosníku budeme měřit průhyb uprostřed nosníku od zatížení. Pro modelovou podobnost je nutné statický model nosníku zatížit tak, aby bylo možné toto zatížení napodobit na měřeném modelu nosníku. Nejednodušší zatížení modelu je osamělým břemenem uprostřed Vierendeelova nosníku, proto je nutné provést nový statický výpočet pro nosník zatížení osamělým břemenem uprostřed nosníku.

Ve statickém modelu budeme zatěžovat takovou silou, abychom dosáhly velikosti průhybu nosníku rovný poměru $L/250$, tedy 120 mm. U statického výpočtu vnitřních sil v nosníku bude zanedbána vlastní tíha nosníku. To je důležité, jelikož model nosníku bude zhotoven z jiného materiálu než je statický model.

Statický model

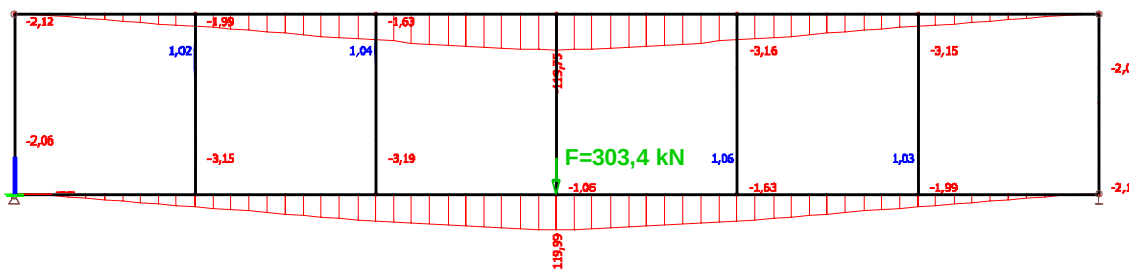


Obrázek 75: Statický model

Nalezení velikosti síly

Pro nalezení velikosti síly, která způsobí průhyb nosníku o velikosti $L/250$, nalezneme nejrychleji, když nosník napřed zatížíme nějakou silou a zjistíme, jaký způsobí průhyb. Vezměme jako referenční sílu $F_R = 100 \text{ kN}$. Tato síla způsobila průhyb o velikosti $\delta_R = 39,55 \text{ mm}$. Nyní podle jednoduchého výpočtu získáme velikost síly F , která způsobí průhyb o velikosti $\delta = 120 \text{ mm}$.

$$F = \frac{\delta}{\delta_R} \cdot F_R = \frac{120}{39,55} \cdot 100 \text{ kN} = 303,4 \text{ kN}$$



Obrázek 76: Průhyb nosníku

3.2. Parametry modelu Vierendeelova nosníku

Rozměry modelu

Rozměry a měřený průhyb modelu Vierendeelova nosníku budou v měřítku 1:100.

Materiál modelu a způsob zhotovení

Z důvodu vlastnění 3D tiskárny pro mě bylo nejjednodušší model nosníku vytisknout z jednoho mnoha plastů, které se pro 3D tisk používají. Jako nejvhodnější se ukázal být ABS plast, který má velmi podobné vlastnosti jako ocel. Při ohybu plastu vzniká jako u oceli plastický kloub a při opakovaném ohýbání plast praská. Další výhodou 3D tisku je, že vytištěné nosníky budou mít minimální rozdíly a budou přesné. Jediný problém je, že model nosníku má být dlouhý 300 mm, ale tisková plocha 3D tiskárny je 200×200 mm. Tím pádem bude nutné daný model nosníku lepit minimálně ze dvou částí. Výhodou ABS plastu je ale také velmi dobré lepení. Na modelu bude nutné navrhnout způsob a místa pro lepení.

3.3. Srovnání fyzikálních vlastností modelu Vierendeelova nosníku se statickým modelem

Model tedy bude v měřítku 1:100. Požadavek na model je, aby byly hlavně rozměry a deformace nosníku v měřítku. To znamená, že model bude mít tato daná měřítka veličin:

- rozměry (délka a výška nosníku): $m_l = \frac{l}{l_M} = 100$
- deformace : $m_\delta = \frac{\delta}{\delta_M} = 100$

Ostatní měřítka veličin bude nutné si zvolit a též některá dopočítat a to tak, aby se na konečném modelu dalo provést měření. Jako nejdůležitější je docílit toho, abychom model zatěžovali silami, které lze jednoduše v našich podmínkách vytvořit. To znamená, aby například 100 kN bylo u modelu 10 N tj. 1 kg závaží. To by znamenalo měřítko pro sílu

$$m_F = \frac{F}{F_M} = 10000$$

Ostatní důležitá měřítka pro nás jsou:

- měřítko modulu pružnosti: $m_E = \frac{E}{E_M}$
 - toto měřítko je dané podle zvoleného materiálu pro model
- měřítko pro rozměry průřezu prvku: $m_{bh} = \frac{b}{b_M}$, $m_{bh} = \frac{h}{h_M}$
- měřítko síly: $m_F = \frac{F}{F_M}$

Nyní je důležité zvolit a dopočítat všechna ostatní měřítka veličin tak, abychom

dosáhli námi požadovaných měřítek u rozměrů nosníku a deformací. To provedeme pomocí jednoduchého vzorce pro průhyb na prostém nosníku zatíženého uprostřed silou.

$$\frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_y} = \delta$$

Pro model dosadíme tyto veličiny:

- délka nosníku: $l_M = \frac{l}{m_l}$
- síla: $F_M = \frac{F}{m_F}$
- deformace: $\delta_M = \frac{\delta}{m_\delta}$

Jelikož je ve vzorci kvadratický moment průřezu v ohybu, který je dán profilem průřezu, je nutné zjistit, jaký vliv má zvětšení průřezu na daný kvadratický moment průřezu. Vzorec kvadratického momentu pro obdélník v ose y je

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \quad .$$

Pokud tedy dosadíme zmenšené rozměry modelu, dostaneme vzorec v tomto tvaru

$$I_{M,y} = \frac{1}{12} \cdot \frac{b}{m_{bh}} \cdot \left(\frac{h}{m_{bh}} \right)^3 \quad .$$

To znamená, že

$$I_{M,y} = \frac{I_y}{m_{bh}^4} \quad .$$

Nyní můžeme do vzorce dosadit veličiny pro model.

$$\frac{\frac{F}{m_F} \cdot \left(\frac{l}{m_l} \right)^3}{48 \cdot \frac{E}{m_E} \cdot \frac{I_y}{m_{bh}^4}} = \frac{\delta}{m_\delta}$$

Pro určení měřítek dosadíme za δ původní vzorec a dostaneme

$$\frac{\frac{F}{m_F} \cdot \left(\frac{l}{m_l} \right)^3}{48 \cdot \frac{E}{m_E} \cdot \frac{I_y}{m_{bh}^4}} = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_y} \cdot \frac{1}{m_\delta} \quad .$$

Po úpravách dostáváme

$$\frac{m_E \cdot m_{bh}^4}{m_F \cdot m_l^3} = \frac{1}{m_\delta}$$

Je důležité si říct, která měřítka jsou dána a která je nutné si zvolit. Dané měřítko je určité u délky, deformace a modulu pružnosti. Nyní je nutné si vybrat měřítko, které bude zvolené a které dopočítávané. Určitě jako nejjednodušší možnost je dopočítávat měřítko síly, jelikož sílu dokážeme jednoduše měnit, zatím co průřez by bylo dobré si zvolit. Proto výsledný vzorec má tvar pro dopočtení měřítka síly.

$$m_F = \frac{m_\delta \cdot m_E \cdot m_{bh}^4}{m_l^3}$$

Pokud se předběžně podíváme na modul pružnosti ABS plastu, zjistíme, že se pohybuje v rozmezí 1,5 až 2,6 GPa. Předběžně tedy uvažujme, že měřítko modulu pružnosti bude rovno $m_E = 100$. Pokud tedy chceme zachovat měřítko síly rovno okolo $m_F = 10000$ a dosadíme všechny známá měřítka, dostaneme

$$10000 = \frac{100 \cdot 100 \cdot m_{bh}^4}{100^3}$$

Nyní tedy zjistíme, jaké musí být měřítko průřezu m_{bh} .

$$m_{bh} = \sqrt[4]{\frac{10000 \cdot 100^3}{100 \cdot 100}} = \sqrt[4]{1000000} = \sqrt[4]{100^3} \approx 31,623$$

K tomuto měřítku profilu se dostaneme i přes model, když bude zhotoven z oceli a budeme chtít mít měřítko síly rovno $m_F = 100$.

Stanovení rozměrů průřezu nosníků v modelu Vierendeelova nosníku

Pro 3D tis bude nejlepší převést válcovaný profil HEB300 na obdélníkový průřez, který se jednodušeji vytiskne. Kvadratické momenty průřezu u profilu HEB300 jsou rovny

$$I_y = 251,7 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 85,63 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

To znamená, že zmenšený model bude mít kvadratické momenty průřezu rovny

$$I_{M,y} = \frac{I_y}{m_{bh}^4} = \frac{251,7 \cdot 10^6}{100^3} = 251,7 \text{ mm}^4$$

$$I_{M,z} = \frac{I_z}{m_{bh}^4} = \frac{85,63 \cdot 10^6}{100^3} = 85,63 \text{ mm}^4$$

Nyní je důležité stanovit rozměry stran obdélníkového průřezu pro tyto kvadratické momenty.

Vzorec pro stanovení rozměrů stran obdélníka získáme ze vzorců kvadratických momentů pro obdélníkový průřez.

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h$$

Po matematických úpravách dostáváme tyto vzorce

$$b = \sqrt[8]{12^2 \cdot \frac{I_z^3}{I_y}}$$

$$h = \sqrt[3]{12 \cdot \frac{I_y}{b}}$$

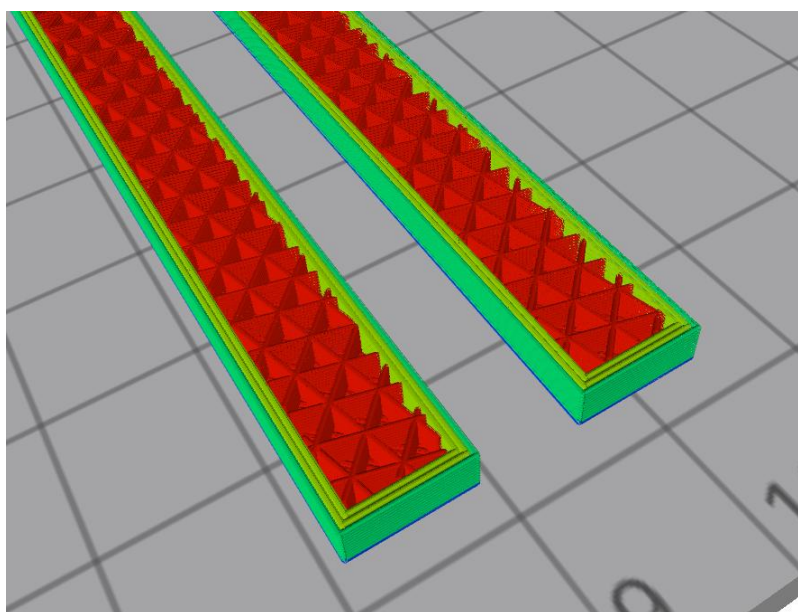
Po dosazení kvadratických momentů průřezu modelu nosníku dostáváme, že obdélníkový průřez má rozměry

$$b_M = \sqrt[8]{12^2 \cdot \frac{I_{M,z}^3}{I_y}} = \sqrt[8]{12^2 \cdot \frac{85,63^3}{251,7}} = 4,95 \text{ mm}$$

$$h_M = \sqrt[3]{12 \cdot \frac{I_{M,y}}{b}} = \sqrt[3]{12 \cdot \frac{251,7}{4,95}} = 8,48 \text{ mm}.$$

3.4. Stanovení modulu pružnosti pro ABS plast

Jelikož nosník bude tisknutý na 3D tiskárně, nastává jedna taková věc a to ta, že 3D výtisk je tisknuto jako částečně dutý objekt, který je vyplněn pouze výztužnou mřížkou, viz následující obrázek.



Obrázek 77: Ukázka vyplnění 3D výtisku

Proto je nutné provést vliv částečně dutého profilu na modul pružnosti. Za tímto účelem byli vytištěny dva nosníky o parametrech:

šířka průřezu: $b = 4,9 \text{ mm}$

výška průřezu: $h = 8,5 \text{ mm}$

kvadratický moment: $I_y = 250,8 \text{ mm}^4$

délka nosníku: $l = 170 \text{ mm}$



Obrázek 78: Fotografie dvou nosníků pro určení modulu pružnosti

Nosník jsme zatěžovali pomocí závaží uprostřed nosníku a měřili jeho jsme průhyb. Pak jsme z naměřených hodnot vypočetli pro každou velikost zatížení a tomu odpovídající průhyb hodnotu modulu pružnosti podle vzorce

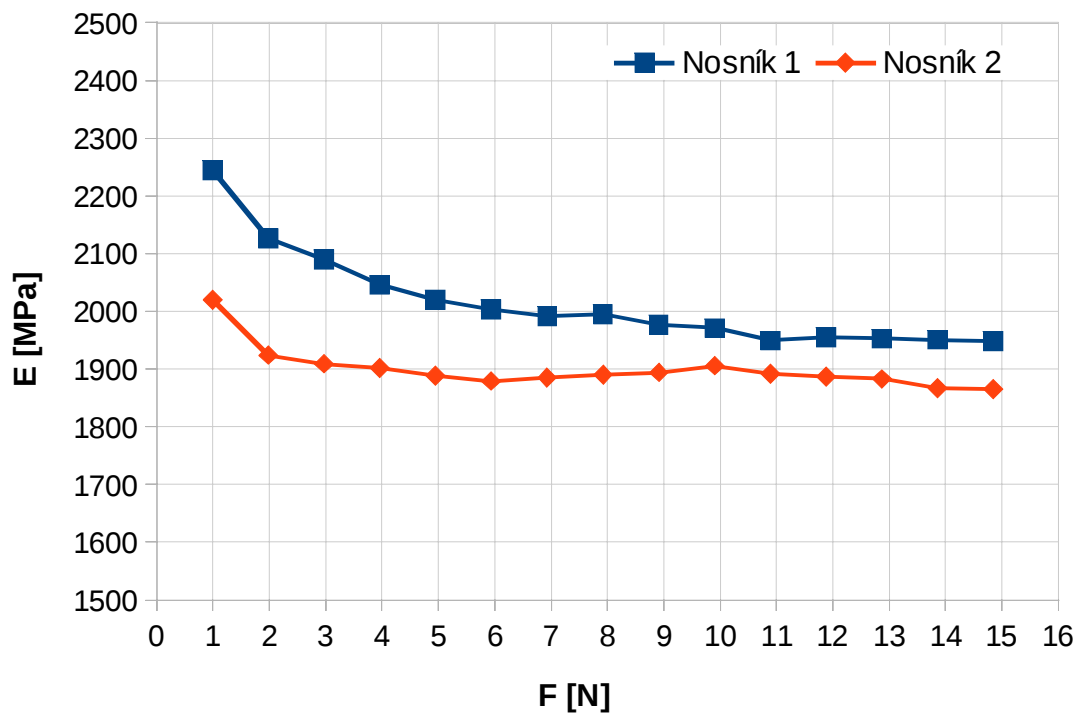
$$\frac{F_i \cdot l^3}{48 \cdot \delta_i \cdot I_y} = E_i \quad ,$$

který je odvozen ze vzorce pro průhyb prostě uloženého nosníku, který je zatížený silou v polovině nosníku.

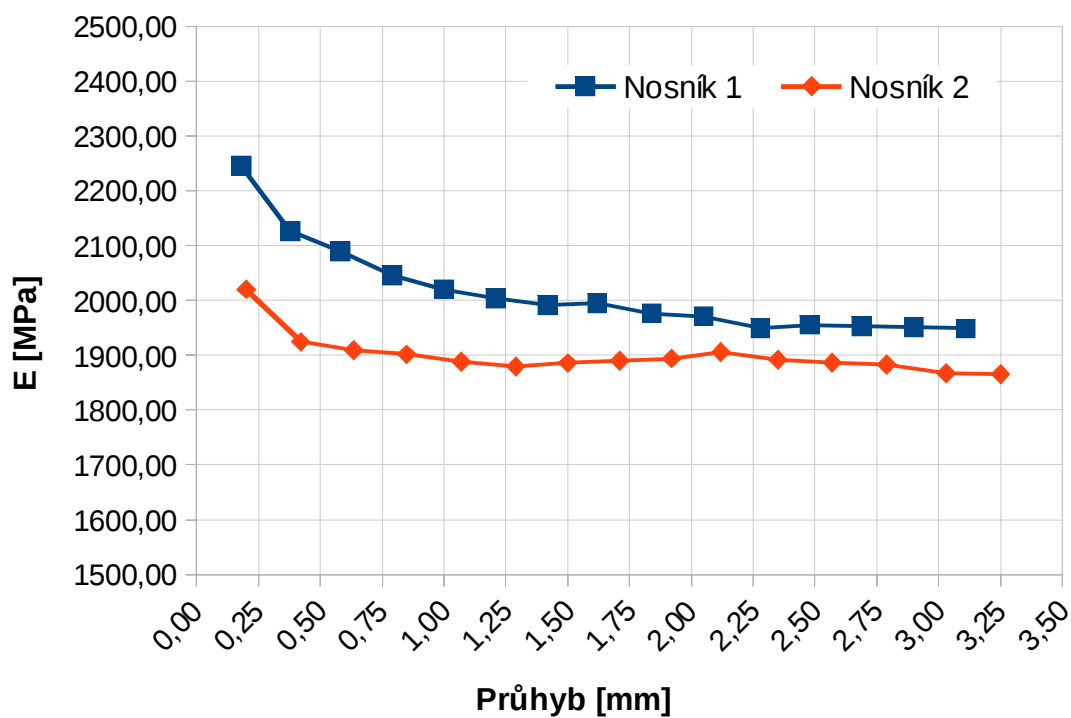
Síla [N]	Průhyb [mm]		E [MPa]	
	Nosník 1	Nosník 2	Nosník 1	Nosník 2
0,99	0,180	0,200	2245	2020
1,98	0,380	0,420	2127	1924
2,97	0,580	0,635	2090	1909
3,96	0,790	0,850	2046	1902
4,95	1,000	1,070	2020	1888
5,94	1,210	1,290	2004	1879
6,93	1,420	1,500	1992	1886
7,92	1,620	1,710	1995	1890
8,91	1,840	1,920	1976	1894
9,90	2,050	2,120	1971	1906
10,89	2,280	2,350	1950	1891
11,88	2,480	2,570	1955	1887
12,87	2,690	2,790	1953	1883
13,86	2,900	3,030	1951	1867
14,85	3,110	3,250	1949	1865

Tabulka 12: Naměřené a vypočtené hodnoty

Pro lepší názornost vložíme hodnoty modulů pružnosti do grafů a to jeden se silami na ose X a druhý s průhybem.



Obrázek 79: Graf modulů pružnosti v závislosti na síle



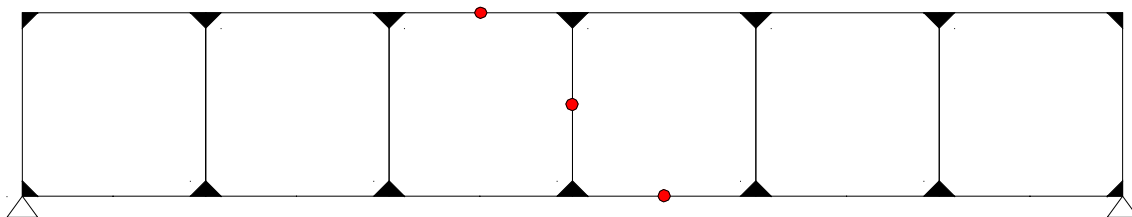
Obrázek 80: Graf modulů pružnosti v závislosti na průhybu

Z grafů je patrné, že modul pružnosti u vytištěných nosníku je závislí na průhybu nosníku. Čím větší je deformace (průhyb) nosníku, tím má nosník menší tuhost. To je s největší pravděpodobností zapříčiněno tím, že nosníky nemají plný průřez, ale je částečně dutý. Námí zkoumaný Vierendelův nosník má ale jednotlivé prvky dlouhé jenom 50 mm. Tím pádem na jednotlivých prvcích Vierendelova nosníku budeme dosahovat minimálních deformací, tj. maximální dovolený celkový průhyb modelu Vierendelova nosníku má mít 1,2 mm a toto hodnota se nám rozdělí do vícero prvků. Proto modul pružnosti bude zvolen pro model Vierendeelova nosníku tak, aby se co nejméně rozcházel s výpočtovým modelem.

Co se týče rozdílů mezi nosníky, u nosníku č.2 byla zjištěna nedokonalost propojení drah plastu na poslední vrchní vrstvě a to způsobilo počáteční rozdíl mezi tuhostmi nosníků.

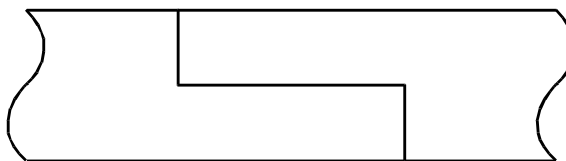
3.5. Model Vierendeelova nosníku

Jelikož velikost tiskové plochy 3D tiskárny neumožňuje vytištění Vierendeelova nosníku v kuse, bylo nutné nalézt co nejjednodušší způsob spojení dvou částí nosníku dohromady. Prvním nutným krokem bylo si určit, kde a jak nosník rozdělíme. Z předchozí analýz Vierendeelových nosníků plyne to, že nejvhodnějším místem pro napojování je v polovině prvku, tj. tam kde je minimální nebo nulový ohybový moment. Zvolená místa pro napojení jsou naznačené na dalším obrázku.



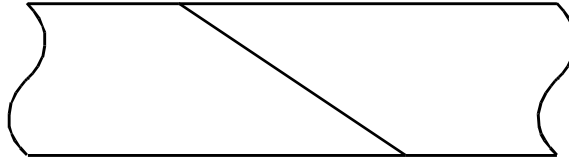
Obrázek 81: Místa provedení spojů

Dalším úkolem bylo nutné zvolit tvar napojení. Prvotní návrh byl s klasickým přeplátováním.



Obrázek 82: Přeplátování

Tento spoj se ale při testech ukázal jako nejslabší článek na modelu. Je to zapříčiněno tím, že je zde náhlá změna průřezu a pokud byl spoj nesprávně slepený, tak při zatížení se spoj zlomil. Proto jsme přešli ke spoji se šikmou plochou spojení, jak je naznačeno na dalším obrázku.



Obrázek 83: Šikmé spojení

Zde profil průřezu se mění plynule, díky čemuž zde nevzniká místo, kde by se mohlo koncentrovat napětí, jako tomu bylo u přehlátování, kde se mohlo při špatném slepení svislých ploch koncentrovat napětí v rozích spoje.

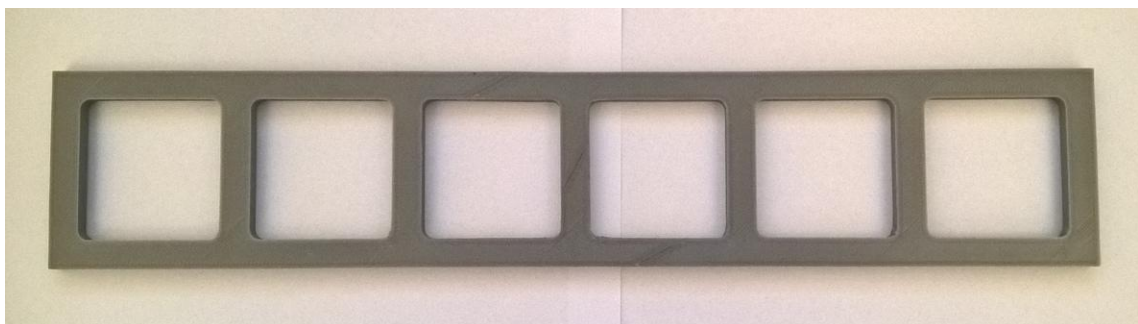
Výsledný tvar jedné části modelu Vierendeelova nosníku je zobrazen na dalším obrázku. Osově vzdálenosti mezi všemi prvky je rovna 50 mm.



Obrázek 84: Dílec modelu Vierendeelova nosníku

Výhodou tohoto tvaru je, že stačí vytisknout tento samý dílec 2-krát a slepit je dohromady. Navíc dílce do sebe, díky navrženým sklonům spojů, zapadají jako dílky puzzle, takže je jednodušší díly k sobě správně spojit. V rozích napojení svislých prvků na vodorovné byly zhotovena zaoblení a to z toho důvodu, aby se lépe přenášelo napětí mezi prvky a nikde se zbytečně nekumulovalo. Dále je to z důvodu kvalitnějšího výtisku, jelikož pro 3D tiskárnu je při vyšších rychlostech tisku udělat ostrý roh. Předchází se tím k vadám na vytištěném modelu.

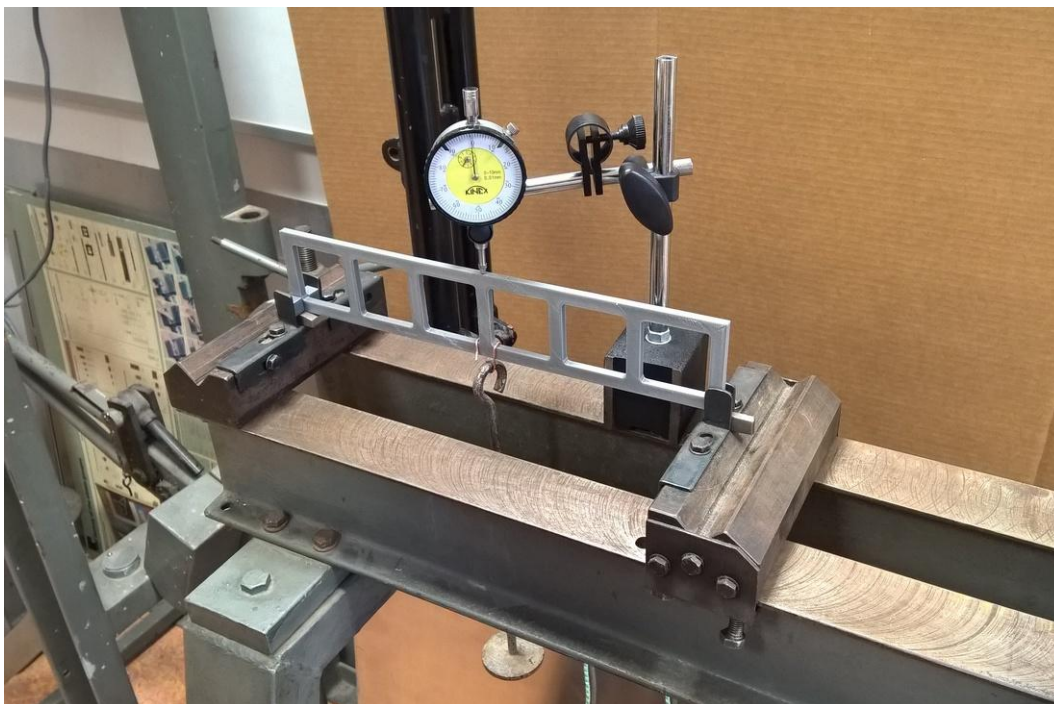
Výsledný vytištěný a slepený nosník vypadá takto.



Obrázek 85: Vytištěný model nosníku

3.6. Měření modelu Vierendeelova nosníku

Měření modelu Vierendeelova nosníku bylo prováděné na ocelové měřící koze v laboratoři na katedře mechaniky. Měření deformací bylo prováděno pomocí číselníkového úchylkoměru KINEX 0-10/60/0,01. Měření bylo provedeno na dvou vytištěných nosnících.



Obrázek 86: Měřící soustava

Naměřené hodnoty

Síla [N]	Průhyb [mm]	
	Nosník 1	Nosník 2
0,99	0,035	0,035
1,98	0,070	0,070
2,97	0,110	0,100
3,96	0,150	0,145
4,95	0,180	0,180
5,94	0,220	0,210
6,93	0,255	0,250
7,92	0,290	0,280
8,91	0,340	0,320
9,90	0,380	0,350
10,89	0,420	0,390

Tabulka 13: Naměřené hodnoty průhybů

Síla [N]	Průhyb [mm]	
	Nosník 1	Nosník 2
11,88	0,460	0,430
12,87	0,490	0,460
13,86	0,525	0,520
14,85	0,570	0,565
15,84	0,600	0,590
16,83	0,640	0,630
17,82	0,680	0,660
18,81	0,700	0,720
19,80	0,740	0,740
20,33	0,745	0,745
21,32	0,780	0,785
22,31	0,810	0,820
23,30	0,855	0,855
24,29	0,890	0,900
25,28	0,925	0,930
26,27	0,950	0,955
27,26	0,990	1,000
28,25	1,030	1,040
29,24	1,060	1,070
30,23	1,100	1,110
31,22	1,135	1,140
32,21	1,175	1,180
33,20	1,210	1,220
34,19	1,250	1,255
35,18	1,280	1,290
36,17	1,320	1,340
37,16	1,350	1,370
38,15	1,390	1,390

Tabulka 14: Naměřené hodnoty průhybů

Pokud se podíváme na naměřené hodnoty, uvidíme, že rozdíly mezi nosníky jsou minimální. Nyní musíme nalézt takový ohybový modul, pro který zajistí to, že měřený model Vierendeelova nosníku bude co nejlépe souhlasit v přepočtu měřítka s výpočtovým modelem.

Ze statického modelu víme, že nosník má při zatěžovací síle 303,4 kN průhyb 120mm. Jelikož průhyb je lineárně závislý na velikosti síly, můžeme pro všechny ostatní průhyby dopočítat velikosti zatěžovací síly. Z měření nosníků délky 170 mm jsme zjistili, že modul pružnosti se bude pohybovat přibližně někde okolo hodnot 2000 až 2250.

Stanovení modulu pružnosti

Modul pružnosti stanovíme tak, že si napřed vypočteme měřítko pro modul pružnosti m_E z porovnání modelu Vierendeelova nosníku a jeho výpočtového modelu. Proto je nutné stanovit napřed zatěžovací síly pro výpočtový model tak, abychom měli průhyby v měřítku. To provedeme podle tohoto vzorce.

$$F = 303,4 \text{ kN}$$

$$\delta = 120 \text{ mm}$$

$$F_i = \frac{F}{\delta} \cdot \delta_{M,i} \cdot m_\delta$$

kde F_i jsou nové hodnoty sil stanovené z výpočtového modelu

$\delta_{M,i}$ jsou hodnoty průhybů na měřeném modelu

m_δ je měřítko pro průhyb, který je rovno 100

Po stanovení nových sil pro výpočtový model, můžeme pak stanovit měřítko modulu pružnosti podle následujícího vztahu.

$$m_{E,i} = \frac{F_i}{F_M \cdot m_F}$$

$$m_F = 100$$

Síla [N]	Průhyb [mm]		F_i [kN]		m_{Ei} [-]	
	Nosník 1	Nosník 2	Nosník 1	Nosník 2	Nosník 1	Nosník 2
0,99	0,035	0,035	8,85	8,85	89,4	89,4
1,98	0,07	0,07	17,70	17,70	89,4	89,4
2,97	0,11	0,105	27,81	26,55	93,6	89,4
3,96	0,15	0,145	37,93	36,66	95,8	92,6
4,95	0,18	0,18	45,51	45,51	91,9	91,9
5,94	0,22	0,21	55,62	53,10	93,6	89,4
6,93	0,255	0,25	64,47	63,21	93,0	91,2
7,92	0,29	0,28	73,32	70,79	92,6	89,4
8,91	0,34	0,32	85,96	80,91	96,5	90,8
9,9	0,38	0,35	96,08	88,49	97,0	89,4
10,89	0,42	0,39	106,19	98,61	97,5	90,5

Tabulka 15: Výpočet měřítka modulu pružnosti

Síla [N]	Průhyb [mm]		F _i [kN]		m _{Ei} [-]	
	Nosník 1	Nosník 2	Nosník 1	Nosník 2	Nosník 1	Nosník 2
11,88	0,46	0,43	116,30	108,72	97,9	91,5
12,87	0,49	0,46	123,89	116,30	96,3	90,4
13,86	0,525	0,52	132,74	131,47	95,8	94,9
14,85	0,57	0,565	144,12	142,85	97,0	96,2
15,84	0,6	0,59	151,70	149,17	95,8	94,2
16,83	0,64	0,63	161,81	159,29	96,1	94,6
17,82	0,68	0,66	171,93	166,87	96,5	93,6
18,81	0,7	0,72	176,98	182,04	94,1	96,8
19,8	0,74	0,74	187,10	187,10	94,5	94,5
20,33	0,745	0,745	188,36	188,36	92,7	92,7
21,32	0,78	0,785	197,21	198,47	92,5	93,1
22,31	0,81	0,82	204,80	207,32	91,8	92,9
23,3	0,855	0,855	216,17	216,17	92,8	92,8
24,29	0,89	0,9	225,02	227,55	92,6	93,7
25,28	0,925	0,93	233,87	235,14	92,5	93,0
26,27	0,95	0,955	240,19	241,46	91,4	91,9
27,26	0,99	1	250,31	252,83	91,8	92,7
28,25	1,03	1,04	260,42	262,95	92,2	93,1
29,24	1,06	1,07	268,00	270,53	91,7	92,5
30,23	1,1	1,11	278,12	280,65	92,0	92,8
31,22	1,135	1,14	286,97	288,23	91,9	92,3
32,21	1,175	1,18	297,08	298,34	92,2	92,6
33,2	1,21	1,22	305,93	308,46	92,1	92,9
34,19	1,25	1,255	316,04	317,31	92,4	92,8
35,18	1,28	1,29	323,63	326,16	92,0	92,7
36,17	1,32	1,34	333,74	338,80	92,3	93,7
37,16	1,35	1,37	341,33	346,38	91,9	93,2
38,15	1,39	1,39	351,44	351,44	92,1	92,1

Tabulka 16: Výpočet měřítka modulu pružnosti

Pokud tedy vypočtené hodnoty měřítka modulu pružnosti $m_{E,i}$ zprůměrujeme, dostáváme hodnotu $m_E = 92,9$. Pokud tedy přepočteme z modulu pružnosti ocele modul pružnosti pro ABS plast, vyjde nám, že hodnota modulu pružnosti pro ABS je $E_{ABS} = 2260 \text{ MPa}$. Tato hodnota by souhlasila s tím, co jsme naměřili na 170 mm dlouhých nosnících.

Nyní můžeme pomocí měřítka přepočíst zatěžovacích sil modelu na síly v měřítku 1:1 a porovnat je se silami z výpočtového modelu. $F_{M,1:1} = F_M \cdot m_F \cdot m_E$

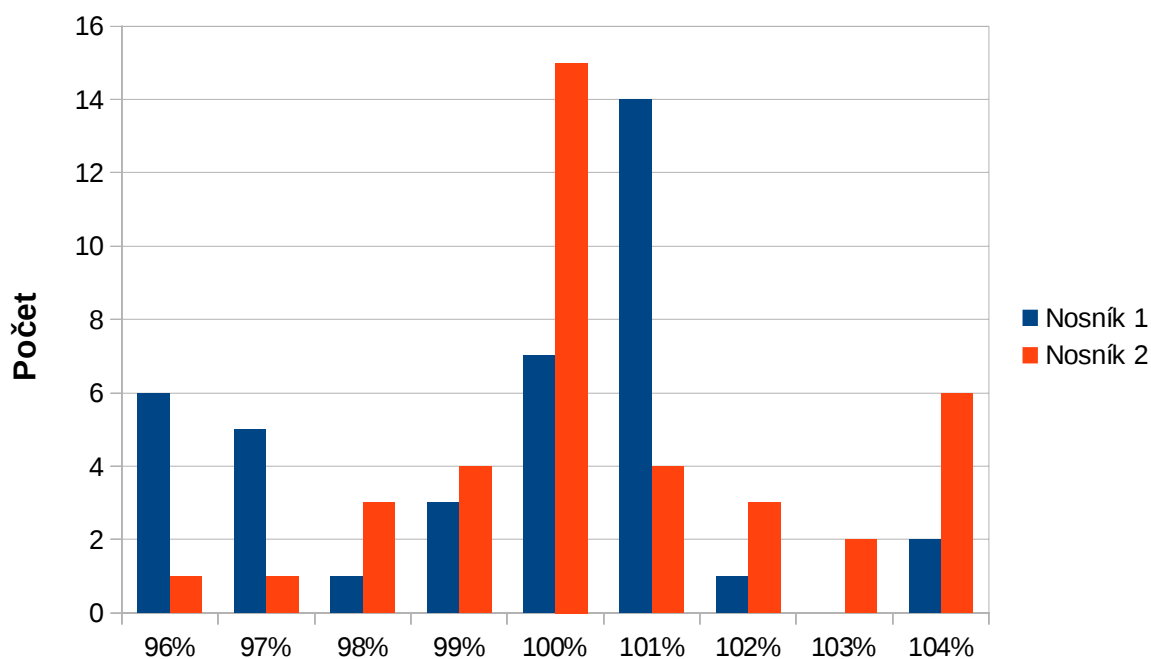
$F_{M,1:1}$ [kN]	F_i [kN]		Přesnost [%]	
	Nosník 1	Nosník 2	Nosník 1	Nosník 2
9,20	8,85	8,85	104%	104%
18,40	17,70	17,70	104%	104%
27,60	27,81	26,55	99%	104%
36,80	37,93	36,66	97%	100%
46,00	45,51	45,51	101%	101%
55,19	55,62	53,10	99%	104%
64,39	64,47	63,21	100%	102%
73,59	73,32	70,79	100%	104%
82,79	85,96	80,91	96%	102%
91,99	96,08	88,49	96%	104%
101,19	106,19	98,61	95%	103%
110,39	116,30	108,72	95%	102%
119,59	123,89	116,30	97%	103%
128,79	132,74	131,47	97%	98%
137,99	144,12	142,85	96%	97%
147,19	151,70	149,17	97%	99%
156,38	161,81	159,29	97%	98%
165,58	171,93	166,87	96%	99%
174,78	176,98	182,04	99%	96%
183,98	187,10	187,10	98%	98%
188,91	188,36	188,36	100%	100%
198,11	197,21	198,47	100%	100%
207,31	204,80	207,32	101%	100%
216,50	216,17	216,17	100%	100%
225,70	225,02	227,55	100%	99%
234,90	233,87	235,14	100%	100%
244,10	240,19	241,46	102%	101%
253,30	250,31	252,83	101%	100%
262,50	260,42	262,95	101%	100%
271,70	268,00	270,53	101%	100%
280,90	278,12	280,65	101%	100%
290,10	286,97	288,23	101%	101%
299,30	297,08	298,34	101%	100%
308,50	305,93	308,46	101%	100%
317,69	316,04	317,31	101%	100%
326,89	323,63	326,16	101%	100%
336,09	333,74	338,80	101%	99%
345,29	341,33	346,38	101%	100%

Tabulka 17: Porovnání měřeného ku výpočtovému modelu

Pokud hodnoty s % zprůměrujeme, dostaneme průměr o hodnotě 100%. Nic méně pro lepší představu uděláme četnost jednotlivých hodnot.

Hodnota	Četnost	
	Nosník 1	Nosník 2
96%	6	1
97%	5	1
98%	1	3
99%	3	4
100%	7	15
101%	14	4
102%	1	3
103%	0	2
104%	2	6

Tabulka 18: Četnost hodnot z porovnání



Obrázek 87: Graf četnosti hodnot

Z tabulky a grafu je patrné, že nejvíce hodnot je u 100 a 101%. To znamená, že měřený model Vierendeelova nosníku je velmi blízký k výpočtovému modelu. Tím pádem lze říci, že modelová podobnost s využitím 3D tiskárny je možná.

4. Porovnání Vierendeelova nosníku s příhradovým

Jelikož v dnešní době se nejčastěji v zakázkách hraje na cenu, rozhodl jsem se na závěr porovnat Vierendeelův nosník s běžným příhradovým nosníkem. Je jasné, že příhradový nosník bude vycházet z meších profilů a tím pádem bude mít i menší hmotnost a u ocele se hlavně cena stanovuje z hmotnosti. Proto jsem provedl návrh příhradové konstrukce se stejným zatížením, jako tomu bylo u Vierendeelova nosníku. Z porovnání plyne, že příhradový nosník je o polovinu lehčí než Vierendeelův nosník. Profilace příhradového nosníku vyšla takováto.

Pásnice příhradového nosníku

HEB160 Využití průřezu: 70%

Svislice příhradového nosníku

HEB160 Využití průřezu: 47%

Tažené diagonály příhradového nosníku

TR88.9×5 Využití průřezu: 95%

Celý výstup ze statického výpočtu je v příložen v příloze k diplomové práci.

Pokud by tedy v dané situaci nebyla pod plošinami vedena technologie, byl by příhradový nosník vhodnějším řešením. Jelikož ale v dané situaci by diagonály překáželi vedení technologie, muselo se nalézt jiné řešení a tím je Vierendeelův nosník.

C. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo představení a analyzování Vierendeelova nosníku, který se v dnešní době už moc ve stavebnictví nevyužívá.

Na začátku práce byl Vierendeelův nosník představen. Byla popsána jeho historie a jeho využití v historii ve stavebnictví. Dále byla popsáno, jak na tom je v dnešní době Vierendeelův nosník ve stavebnictví a kde všude ho lze ještě stále nalézt, i když jenom ojediněle.

V diplomové práci byla provedena obecná analýza, která porovnávala průběhy vnitřních sil ve Vierendeelově nosníku s ohledem na různé vlivy, třeba jako je stupeň statické neurčitosti, počet polí, rozměry polí a tak podobně, které mohou mít významný vliv na průběhy vnitřních sil v nosníku.

V další části byl proveden návrh Vierendeelova nosníku pro danou situaci, který byl navržen podle EC3. Výsledný navržený Vierendeelův nosník byl dále analyzován a nakonec byla provedena modelová podobnost Vierendeelova nosníku. V ní je popsán celý postup, jak srovnat fyzikální vlastnosti mezi výpočtovým modelem a měřeným modelem, který měl měřítko 1:100 a byl zhotoven pomocí 3D tiskárny. Výsledkem modelové podobnosti je ten, že měřený model se velmi blížil k výpočtovému modelu. Hodnoty porovnání se pohybovali od 96 až k 104%, což je rozmezí 8%, ale nejvíce hodnot bylo v rozmezí 99 až 101%. Tím pádem jsme stanovili, že měření modelové podobnosti se povedlo a že modelový Vierendeelův nosník, který byl zhotoven na 3D tiskárně, splnil svůj účel.

Na závěr bylo provedeno porovnání s příhradovým nosníkem, který byl stejně zatížený. Dozvěděli jsme se z tohoto porovnání, že příhradový nosník vyšel o polovinu lehčí a s menšími profily pro jednotlivé prvky příhradového nosníku.

Závěrem diplomové práce je, že v dnešní době má Vierendeelův uplatnění ve stavebnictví tam, kde si daná situace vyžaduje nějaké prostupy skrze konstrukci a diagonály příhradové konstrukce by v daném místě překáželi. Dále se v dnešní době používá jako architektonický prvek. V modelové podobnosti se nám podařilo velmi dobře napodobit chování měřeného modelu Vierendeelova nosníku, který byl zhotoven na 3D tiskárně, s výpočtovým modelem. Tady jsme ze začátku trochu pochybovali z důvodu, jakým způsobem 3D tiskárna tiskne své výtisky, ale pokud se správně model navrhne a správně vytiskne, je tento model použitelný pro modelovou podobnost.

D. Seznam použité literatury, zdrojů a softwaru

Literatura

Faltus F.: Ocelové konstrukce pozemního stavitelství. Praha, 1960

Jiří Studnička.: Ocelové konstrukce 1 -ČVUT, 2004

Tomáš Vraný, František Wald: Ocelové konstrukce – tabulky, 2009

kol. autorů: Konstrukce pozemních staveb. Praha, 1968

Navrhování ocelových konstrukcí, příručka k ČSN EN 1993-1-1 a ČSN EN 1993-1-8. ČKAIT, 2009

KLEMENT, J., PLÁNIČKA, F., VLK, M.: Modelová podobnost, elektrická odporová tenzometrie, experimentální určování zbytkových napětí, vyhodnocení experimentálně získaných dat. , Fakulta aplikovaných věd, Plzeň, 2004

Normy a vyhlášky

ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991 Zatížení konstrukcí

ČSN EN 1993 Navrhování ocelových konstrukcí

Internetové zdroje

Vierendeelovo mosty v Belgii

<http://users.telenet.be/karel.roose/vierendeel/vierendeel.html>

American Zinc, St. Louis

<http://www.roadarch.com/modarch/mooffice.html>

World Trade Center

<http://911research.wtc7.net/mirrors/guardian2/wtc/eng-news-record.htm>

Bývalá budova Federálního shromáždění

<https://stavbaweb.dumabyt.cz/msto-nad-mstem-i-vize-karla-pragera-6006/clanek.html>

Software

AutoCAD 2016, Scia Engineer 14, LibreOffice 5.2, Smath Studio, Geogebra 5.0, Inkscape 0.91, Blender 2.78, MatterControl

Seznam obrázků

Obrázek 1: Příklad tvaru vierendeelova nosníku.....	8
Obrázek 2: Statické schéma vierendeelova nosníku.....	8
Obrázek 3: Vierendeelův most v městě Avelgem 1904.....	9
Obrázek 4: Ukázka tvaru Vierendeelových mostů.....	10
Obrázek 5: American Zinc, St. Louis.....	10
Obrázek 6: American Zinc, St. Louis;.....	11
Obrázek 7: World Trade Center, konstrukce nosného pláště.....	12
Obrázek 8: World Trade Center, konstrukce nosného pláště.....	12
Obrázek 9: Bývalá budova Federálního shromáždění.....	13
Obrázek 10: Pohled na vnitřní část budovy Federálního shromáždění.....	13
Obrázek 11: Výstavba budovy Federálního shromáždění.....	14
Obrázek 12: Výstavba budovy Federálního shromáždění.....	14
Obrázek 13: Stratford City Link Bridge, Londýn, 130m dlouhý a 14m široký most.....	15
Obrázek 14: Paul Milstein Hall, Cornellova Universita v NY.....	16
Obrázek 15: Ukázka prolamovaného nosníku.....	16
Obrázek 16: Klasický Vierendeelův nosník.....	17
Obrázek 17: Obloukový Vierendeelův nosník.....	17
Obrázek 18: Obloukový Vierendeelův nosník - zakřivené obě pásnice.....	17
Obrázek 19: Vierendeelův nosník.....	19
Obrázek 20: Průběh vnitřních sil.....	20
Obrázek 21: Vierendeelův nosník s klouby.....	21
Obrázek 22: Průběh normálových sil.....	21
Obrázek 23: Průběh posouvajících sil a ohybového momentu.....	22
Obrázek 24: Porovnání - průběh normálových sil.....	23
Obrázek 25: Porovnání - průběh posouvajících sil.....	23
Obrázek 26: Porovnání - průběh ohybových momentů.....	24
Obrázek 27: Porovnání - průběh normálových sil.....	25
Obrázek 28: Porovnání - průběh posouvajících sil a ohybových momentů.....	26
Obrázek 29: Vierendeelův nosník.....	27
Obrázek 30: Vierendeelův nosník.....	27
Obrázek 31: Vierendeelův nosník s klouby.....	28
Obrázek 32: Vierendeelův nosník s klouby.....	28
Obrázek 33: Porovnání - průběh normálových sil.....	29
Obrázek 34: Porovnání - průběh posouvajících sil a ohybových momentů.....	30
Obrázek 35: Průběh vnitřních sil.....	31
Obrázek 36: Porovnání - průběh normálových sil.....	32
Obrázek 37: Porovnání - průběh posouvajících sil a ohybových momentů.....	33
Obrázek 38: Průběh normálových a posouvajících sil.....	36
Obrázek 39: Průběh ohybových momentů.....	37
Obrázek 40: Průběh normálových sil.....	37
Obrázek 41: Průběh posouvajících sil a ohybového momentu.....	38
Obrázek 42: Statické schéma zatížení.....	38
Obrázek 43: Průběh vnitřních sil.....	39
Obrázek 44: Průběh vnitřních sil.....	40
Obrázek 45: Průběh vnitřních sil.....	41
Obrázek 46: Průběh vnitřních sil.....	42
Obrázek 47: Průběh vnitřních sil.....	43

Obrázek 48: Průběh vnitřních sil.....	44
Obrázek 49: Průběh vnitřních sil.....	45
Obrázek 50: Průběh vnitřních sil.....	46
Obrázek 51: Průběh vnitřních sil.....	47
Obrázek 52: Průběh vnitřních sil.....	48
Obrázek 53: Průběh vnitřních sil.....	49
Obrázek 54: Průběh vnitřních sil.....	50
Obrázek 55: Průběh vnitřních sil.....	51
Obrázek 56: Průběh vnitřních sil.....	52
Obrázek 57: Zadání - řez.....	53
Obrázek 58: Zadání - půdorys.....	53
Obrázek 59: Varianta č.1 - klasický Vierendeelův nosník.....	55
Obrázek 60: Varianta č.2 - Vierendelův nosník s vnitřními klouby.....	55
Obrázek 61: Varianta č.1 - klasický Vierendeelův nosník.....	56
Obrázek 62: Varianta č.2 - Vierendelův nosník s vnitřními klouby.....	56
Obrázek 63: Varianta č.1 - Normálové síly.....	57
Obrázek 64: Varianta č.2 - Normálové síly.....	58
Obrázek 65: Varianta č.1 - Posouvající síly.....	59
Obrázek 66: Varianta č.2 - Posouvající síly.....	60
Obrázek 67: Varianta č.1 - Ohybový moment.....	61
Obrázek 68: Varianta č.2 - Ohybový moment.....	62
Obrázek 69: Varianta č.1 - Deformace uz.....	63
Obrázek 70: Varianta č.2 - Deformace uz.....	63
Obrázek 71: Varianta č.1 - Posudek pevnosti.....	64
Obrázek 72: Varianta č.2 - Posudek pevnosti.....	64
Obrázek 73: Varianta č.1 - Posudek stability.....	65
Obrázek 74: Varianta č.2 - Posudek stability.....	65
Obrázek 75: Statický model.....	67
Obrázek 76: Průhyb nosníku.....	67
Obrázek 77: Ukázka vyplnění 3D výtisku.....	71
Obrázek 78: Fotografie dvou nosníků pro určení modulu pružnosti.....	72
Obrázek 79: Graf modulů pružnosti v závislosti na síle.....	73
Obrázek 80: Graf modulů pružnosti v závislosti na průhybu.....	73
Obrázek 81: Místa provedení spojů.....	74
Obrázek 82: Přepřátování.....	74
Obrázek 83: Šikmé spojení.....	75
Obrázek 84: Dílec modelu Vierendeelova nosníku.....	75
Obrázek 85: Vytištěný model nosníku.....	75
Obrázek 86: Měřicí soustava.....	76
Obrázek 87: Graf četnosti hodnot.....	81

Zdroje obrázků

Obrázek 3: Vierendeelův most v městě Avelgem 1904.....	9
http://users.telenet.be/karel.roose/vierendeel/vierendeel.html	
Obrázek 4: Ukázka tvaru Vierendeelových mostů.....	10
http://users.telenet.be/karel.roose/vierendeel/vierendeel.html	
Obrázek 5: American Zinc, St. Louis.....	10
http://www.roadarch.com/modarch/mooffice.html	
Obrázek 6: American Zinc, St. Louis;.....	11
http://www.roadarch.com/modarch/mooffice.html	
Obrázek 7: World Trade Center, konstrukce nosného pláště.....	12
http://911research.wtc7.net/mirrors/guardian2/wtc/eng-news-record.htm	
Obrázek 8: World Trade Center, konstrukce nosného pláště.....	12
http://allday.com/post/3103-building-the-world-trade-center-was-an-engineering-marvel/pages/4/construction.jpg	
Obrázek 9: Bývalá budova Federálního shromáždění.....	13
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Praha,_Federální_shormáždění.JPG	
Obrázek 10: Pohled na vnitřní část budovy Federálního shromáždění.....	13
http://www.biggboss.cz/news/435	
Obrázek 11: Výstavba budovy Federálního shromáždění.....	14
http://muzeum3000.nm.cz/shared/galerie/219/Untitled101.jpg?w=900&h=700&mode=max	
Obrázek 12: Výstavba budovy Federálního shromáždění.....	14
https://stavbaweb.dumabyt.cz/files/files/20011-03/1_upr.jpg	
Obrázek 13: Stratford City Link Bridge, Londýn, 130m dlouhý a 14m široký most.....	15
http://www.jssl.in/admins/myadmin_live/jssl_img/global/bridges/61/5-stratford-city-link-bridge-1331852886.jpg	
Obrázek 14: Paul Milstein Hall, Cornellova Universita v NY.....	16
http://www.silman.com/wp-content/uploads/2014/11/Milstein.jpg	
Obrázek 15: Ukázka prolamovaného nosníku.....	16
http://www.rfstearns.com/legacy-emanuel-parking-garage/	

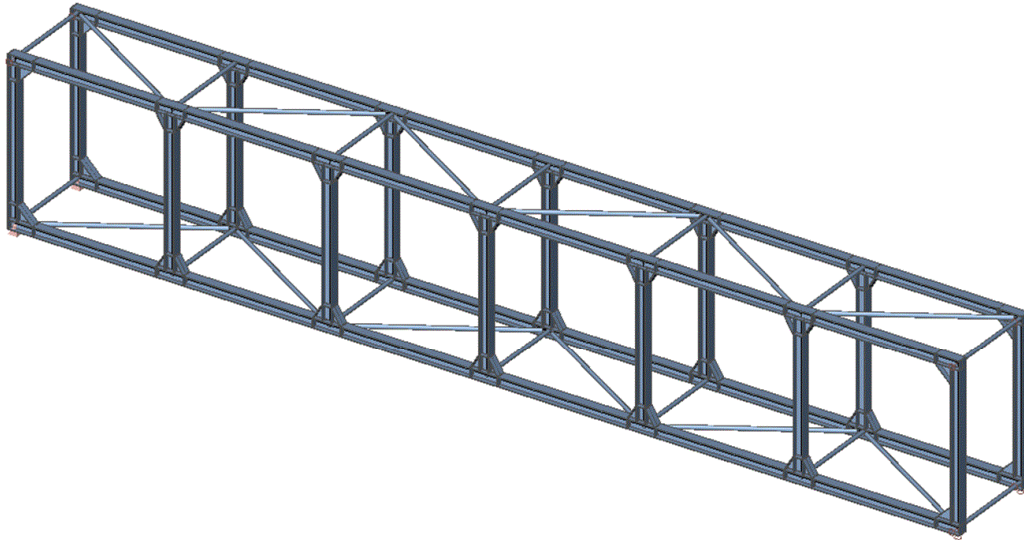
Seznam tabulek

Tabulka 1: Tabulka kombinací.....	55
Tabulka 2: Varianta č.1 - Normálové síly.....	58
Tabulka 3: Varianta č.2 - Normálové síly.....	58
Tabulka 4: Varianta č.1 - Posouvající síly.....	59
Tabulka 5: Varianta č.2 - Posouvající síly.....	60
Tabulka 6: Varianta č.1 - Ohybový moment.....	61
Tabulka 7: Varianta č.2 - Ohybový moment.....	62
Tabulka 8: Varianta č.1 - Posudek pevnosti.....	64
Tabulka 9: Varianta č.2 - Posudek pevnosti.....	64
Tabulka 10: Varianta č.1 - Posudek stability.....	65
Tabulka 11: Varianta č.2 - Posudek stability.....	65
Tabulka 12: Naměřené a vypočtené hodnoty.....	72
Tabulka 13: Naměřené hodnoty průhybů.....	76
Tabulka 14: Naměřené hodnoty průhybů.....	77
Tabulka 15: Výpočet měřítka modulu pružnosti.....	78
Tabulka 16: Výpočet měřítka modulu pružnosti.....	79
Tabulka 17: Porovnání měřeného ku výpočtovému modelu.....	80
Tabulka 18: Četnost hodnot z porovnání.....	81

E. Přílohy – Výstupy ze Scia Engineer

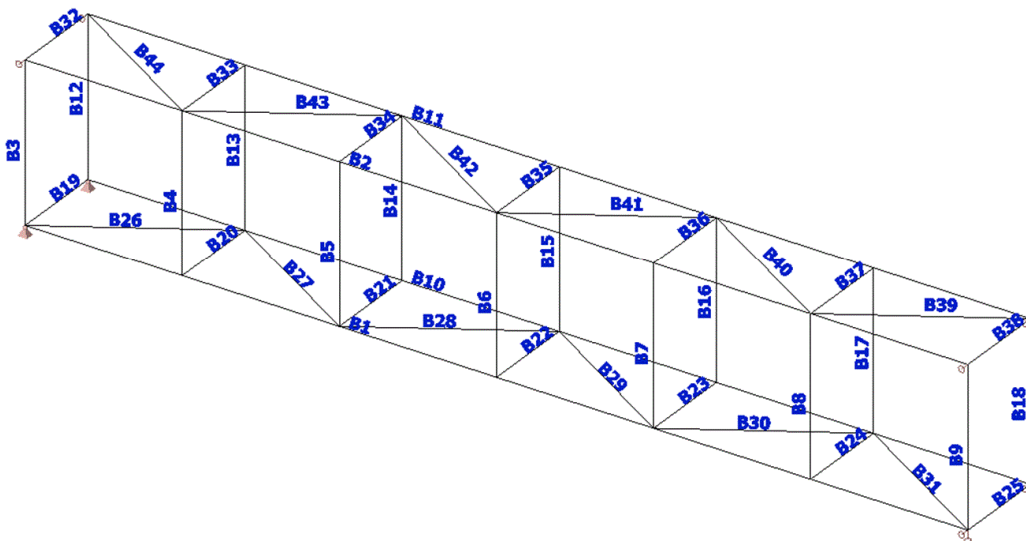
1. Lávky z Vierendeelových nosníků bez kloubů

1. Konstrukční model



Studentská verze

2. Statický model



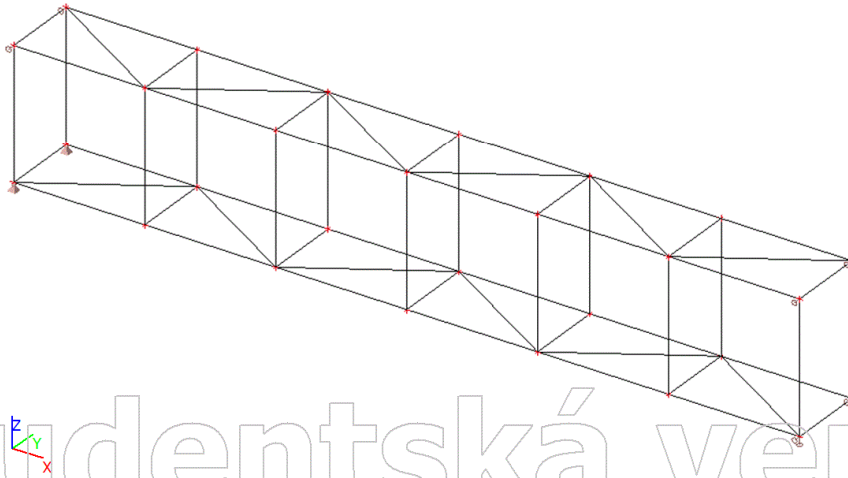
Studentská verze

3. Zatěžovací stavy

3.1. Zatěžovací stavy - ZS1

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení	Směr
	Spec	Typ zatížení		
ZS1	Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	Stálé	SZ1	-Z
		Vlastní tíha		

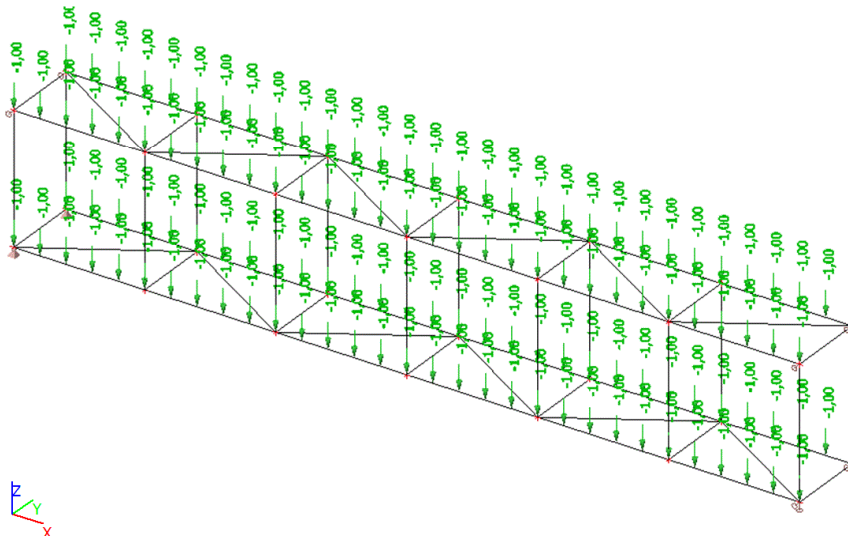
3.1.1. Konstrukční model / Data o oceli



3.2. Zatěžovací stavy - ZS2

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS2	Vlastní tíha nosníků podlahy a porořstu	Stálé	SZ1
		Standard	

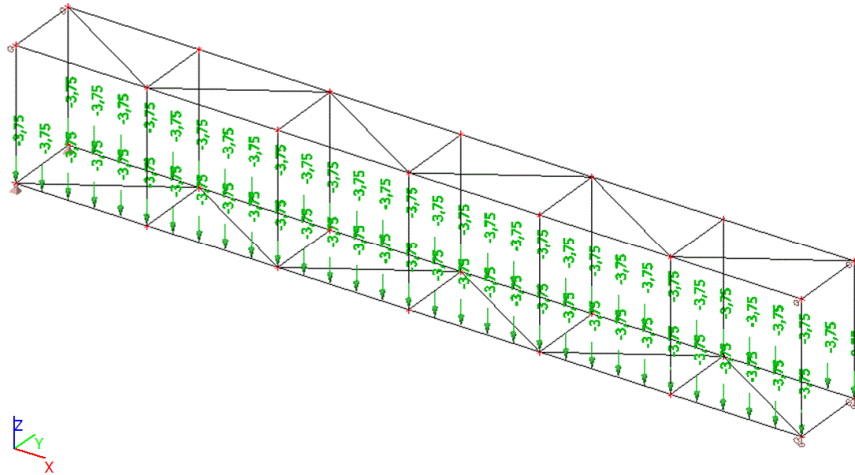
3.2.1. Konstrukční model / Data o oceli



3.3. Zatěžovací stavy - ZS3

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS3	Užitné zatížení 1	Stálé Standard	SZ1

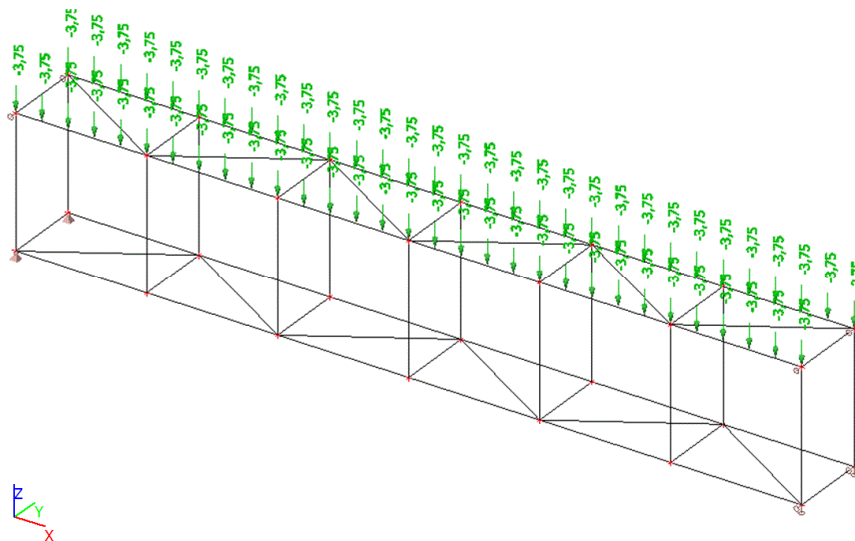
3.3.1. Konstrukční model / Data o oceli



3.4. Zatěžovací stavy - ZS4

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS4	Užitné zatížení 2	Stálé Standard	SZ1

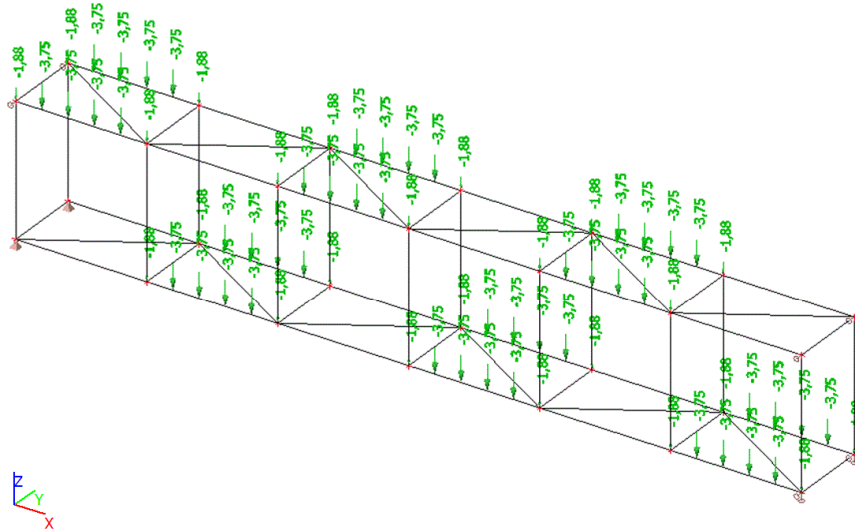
3.4.1. Konstrukční model / Data o oceli



3.5. Zatěžovací stavy - ZS5

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS5	Užitné zatížení 3	Stálé Standard	SZ1

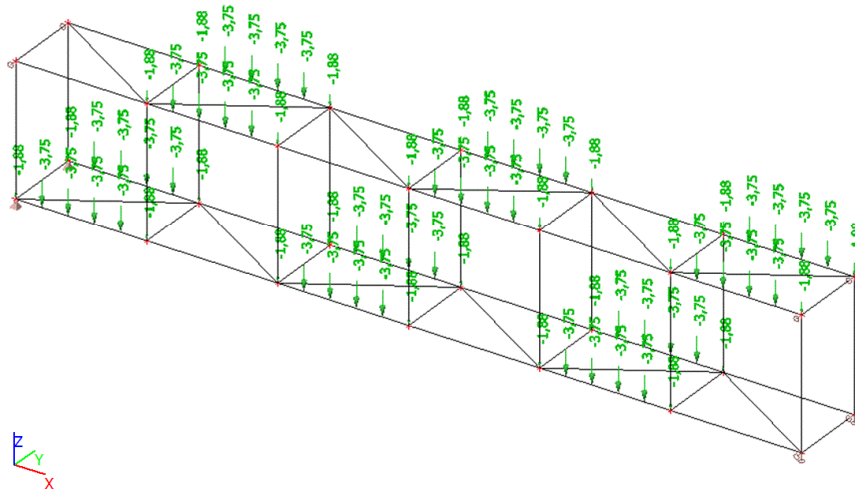
3.5.1. Konstrukční model / Data o oceli



3.6. Zatěžovací stavy - ZS6

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS6	Užitné zatížení 4	Stálé Standard	SZ1

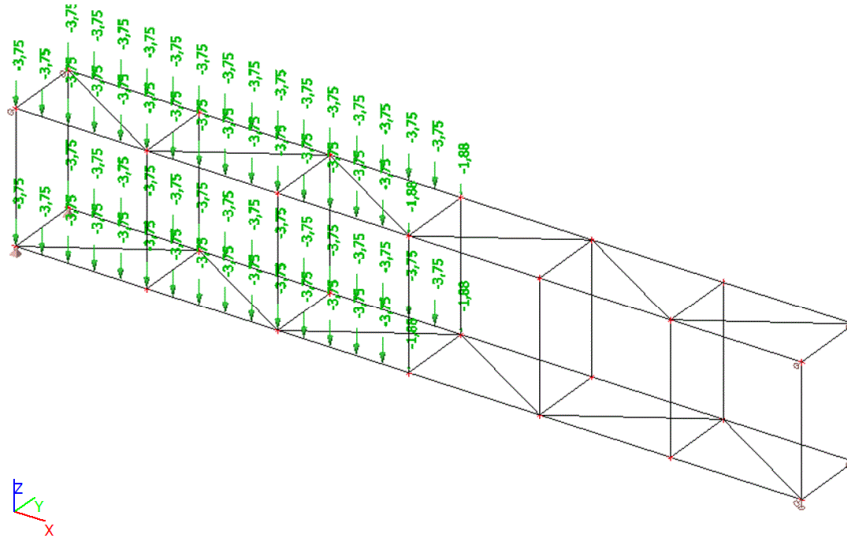
3.6.1. Konstrukční model / Data o oceli



3.7. Zatěžovací stavy - ZS7

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS7	Užitné zatížení 5	Stálé Standard	SZ1

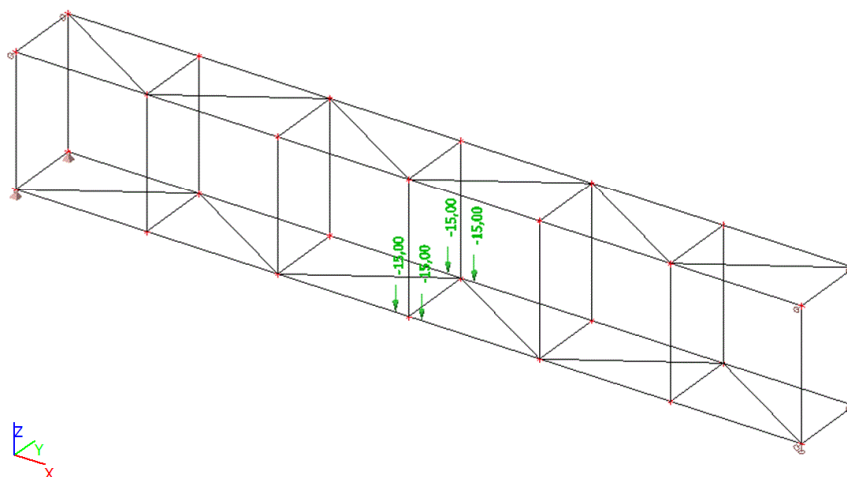
3.7.1. Konstrukční model / Data o oceli



3.8. Zatěžovací stavy - ZS8

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS8	Užitné zatížení - osamělé břemeno 1	Stálé Standard	SZ1

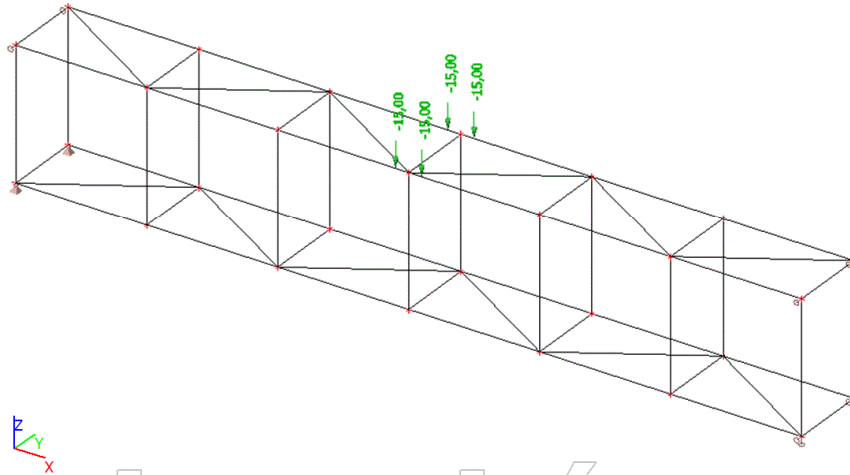
3.8.1. Konstrukční model / Data o oceli



3.9. Zatěžovací stavy - ZS9

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS9	Užitné zatížení - osamělé břemeno 2	Stálé	SZ1
		Standard	

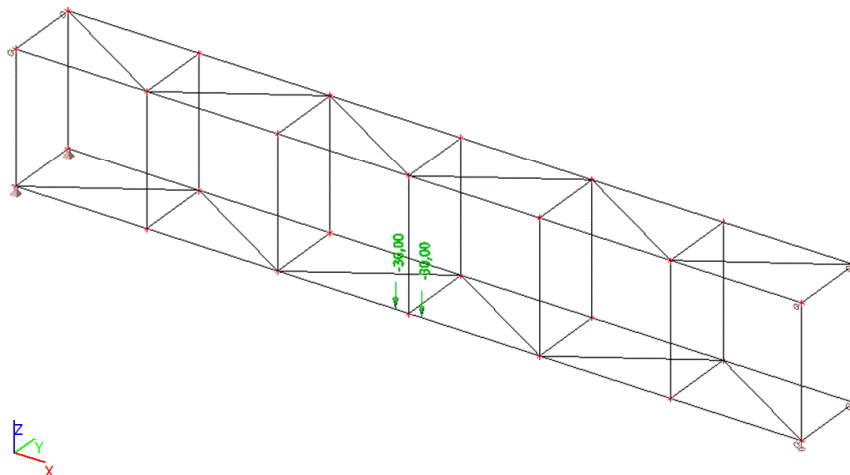
3.9.1. Konstrukční model / Data o oceli



3.10. Zatěžovací stavy - ZS10

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS10	Užitné zatížení - osamělé břemeno 3	Stálé	SZ1
		Standard	

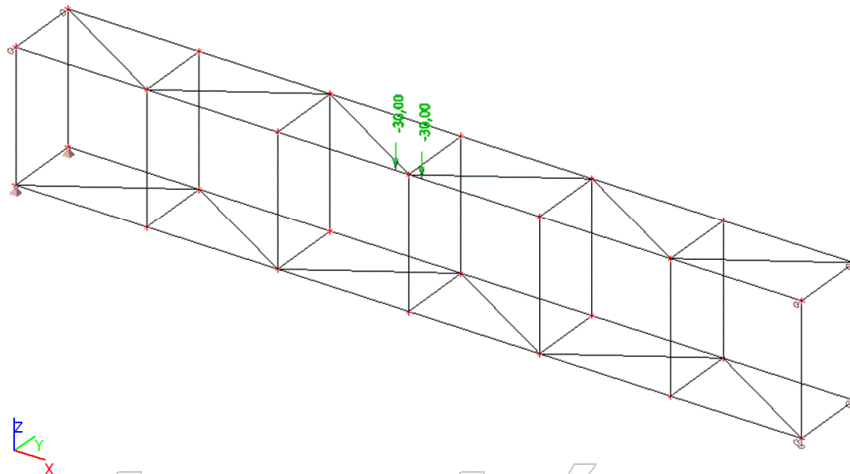
3.10.1. Konstrukční model / Data o oceli



3.11. Zatěžovací stavy - ZS11

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS11	Užitné zatížení - osamělé břemeno 4	Stálé Standard	SZ1

3.11.1. Konstrukční model / Data o oceli



4. Kombinace

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
CO1	Užitné 1 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,35
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS3 - Užitné zatížení 1	1,50
CO2	Užitné 2 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,35
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS4 - Užitné zatížení 2	1,50
CO3	Užitné 1+2 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,35
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS3 - Užitné zatížení 1	1,50
CO7	Užitné 1+osamělé břemeno 2 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,35
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS3 - Užitné zatížení 1	1,50
CO8	Užitné 2+osamělé břemeno 1 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS9 - Užitné zatížení - osamělé břemeno 2	1,50
			ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,35
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
CO9	Užitné 1+osamělé břemeno	Obálka - únosnost	ZS4 - Užitné zatížení 2	1,50
			ZS8 - Užitné zatížení - osamělé břemeno 1	1,50
			ZS1 - Vlastní tíha	1,35

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
	4 - MSÚ		Vierendeelových nosníků ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS3 - Užité zatížení 1	1,50
			ZS11 - Užité zatížení - osamělé břemeno 4	1,50
CO10	Užitné 2+osamělé břemeno 3 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,35
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS4 - Užité zatížení 2	1,50
			ZS10 - Užité zatížení - osamělé břemeno 3	1,50
CO11	Užitné - osamělé břemeno 1+2 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,35
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS8 - Užité zatížení - osamělé břemeno 1	1,50
			ZS9 - Užité zatížení - osamělé břemeno 2	1,50
CO12	Užitné - osamělé břemeno 3+4 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,35
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS10 - Užité zatížení - osamělé břemeno 3	1,50
			ZS11 - Užité zatížení - osamělé břemeno 4	1,50
CO4	Užitné 3 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,35
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS5 - Užité zatížení 3	1,50
CO5	Užitné 4 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,35
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS6 - Užité zatížení 4	1,50
CO6	Užitné 5 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,35
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS7 - Užité zatížení 5	1,50
CO13	Užitné 1 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,00
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS3 - Užité zatížení 1	1,00
CO14	Užitné 2 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,00
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS4 - Užité zatížení 2	1,00
CO15	Užitné 1+2 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,00
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS3 - Užité zatížení 1	1,00
			ZS4 - Užité zatížení 2	1,00
CO16	Užitné 3 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,00
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS5 - Užité zatížení 3	1,00
CO17	Užitné 4 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
			Vierendeelových nosníků ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS6 - Užitné zatížení 4	1,00
CO18	Užitné 5 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,00
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS7 - Užitné zatížení 5	1,00
CO19	Užitné 1+osamělé břemeno 2 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,00
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS3 - Užitné zatížení 1	1,00
			ZS9 - Užitné zatížení - osamělé břemeno 2	1,00
CO20	Užitné 2+osamělé břemeno 1 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,00
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS4 - Užitné zatížení 2	1,00
			ZS8 - Užitné zatížení - osamělé břemeno 1	1,00
CO21	Užitné 1+osamělé břemeno 4 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,00
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS3 - Užitné zatížení 1	1,00
			ZS11 - Užitné zatížení - osamělé břemeno 4	1,00
CO22	Užitné 2+osamělé břemeno 3 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,00
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS4 - Užitné zatížení 2	1,00
			ZS10 - Užitné zatížení - osamělé břemeno 3	1,00
CO23	Užitné - osamělé břemeno 1+2 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,00
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS8 - Užitné zatížení - osamělé břemeno 1	1,00
			ZS9 - Užitné zatížení - osamělé břemeno 2	1,00
CO24	Užitné - osamělé břemeno 3+4 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,00
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS10 - Užitné zatížení - osamělé břemeno 3	1,00
			ZS11 - Užitné zatížení - osamělé břemeno 4	1,00

5. Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

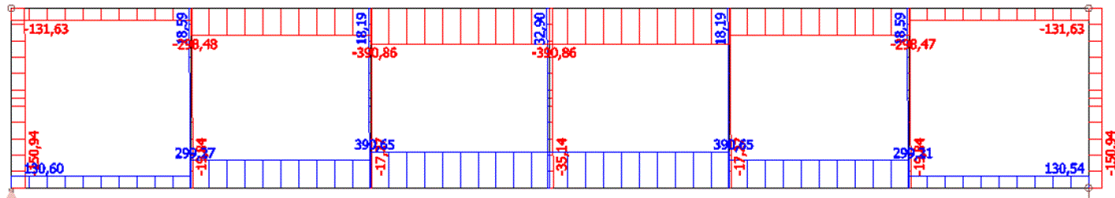
Výběr : Vše

Třída : Všechny MSU

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B2	CS1 - HEB300	15,000	CO3/1	-390,86	-1,17	-6,40	0,00	87,95	3,13
B10	CS1 - HEB300	15,000	CO3/1	390,83	-1,17	-6,43	0,00	87,99	3,13
B2	CS1 - HEB300	10,000	CO3/1	-390,86	1,17	42,05	0,00	-33,17	-2,74
B13	CS1 - HEB300	0,000	CO3/1	-3,80	-0,01	-168,67	0,00	421,90	0,05

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B8	CS1 - HEB300	0,000	CO3/1	-4,55	0,01	168,67	0,00	-421,91	0,00
B24	CS4 - CHS114.3/3.6	0,000	CO12/3	-0,77	0,00	0,19	-0,39	0,00	0,00
B20	CS4 - CHS114.3/3.6	0,000	CO12/3	-0,71	0,00	0,19	0,38	0,00	0,00
B4	CS1 - HEB300	0,000	CO3/1	-4,55	0,01	-168,67	0,00	421,91	0,00
B11	CS1 - HEB300	20,000	CO3/1	-299,19	0,88	-53,59	0,00	197,84	-2,75

6. Vnitřní síly na prutu; N - obálka

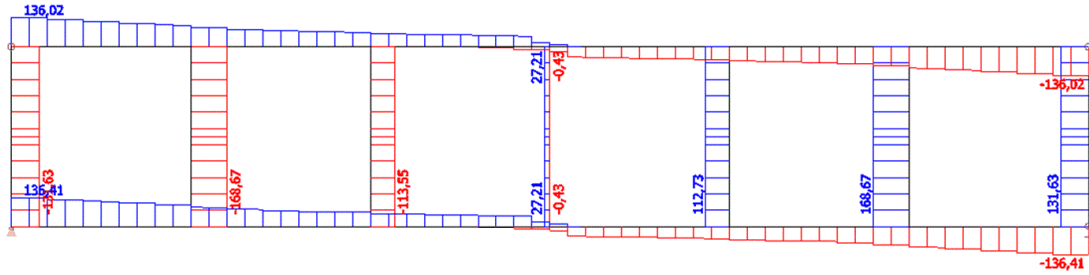


Studentská verze

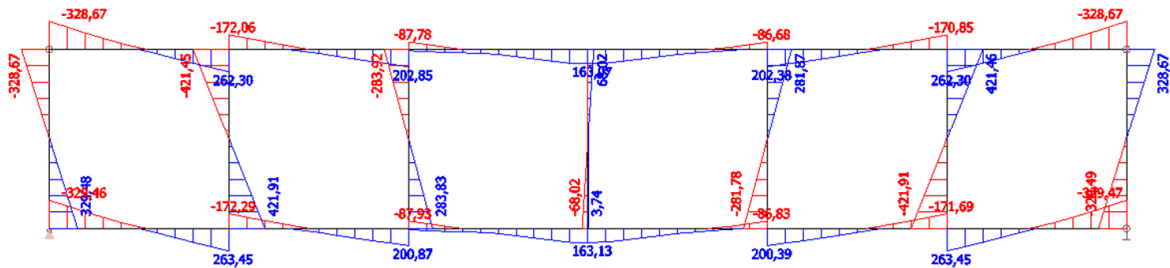


Studentská verze

7. Vnitřní síly na prutu; Vz - obálka



8. Vnitřní síly na prutu; My - obálka



9. Posudek oceli

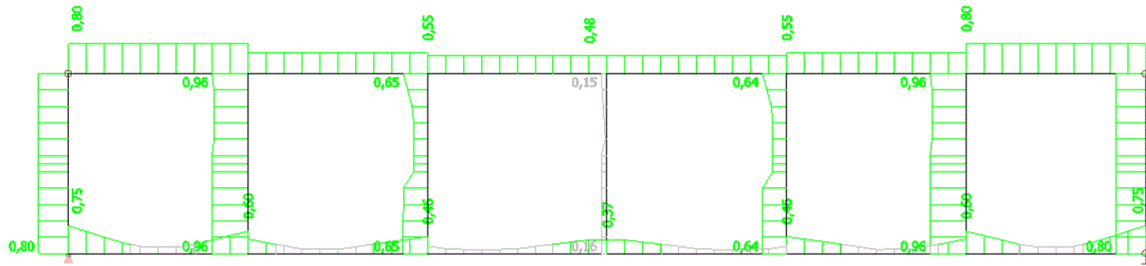
Lineární výpočet, Extrém : Prvek

Výběr : Vše

Třída : Všechny MSU

Prvek	css	mat	Stav	dx [m]	jed.posudek [-]	pevnost [-]	stab. posudek [-]
B1	CS1 - HEB300	S 235	CO3/1	30,000	0,75	0,75	0,71
B2	CS1 - HEB300	S 235	CO3/1	0,000	0,80	0,75	0,80
B3	CS1 - HEB300	S 235	CO3/1	0,000	0,80	0,75	0,80
B4	CS1 - HEB300	S 235	CO3/1	0,000	0,96	0,96	0,96
B5	CS1 - HEB300	S 235	CO12/3	0,000	0,65	0,65	0,65
B6	CS1 - HEB300	S 235	CO6/2	0,000	0,16	0,15	0,16
B7	CS1 - HEB300	S 235	CO12/3	0,000	0,64	0,64	0,64
B8	CS1 - HEB300	S 235	CO3/1	0,000	0,96	0,96	0,96
B9	CS1 - HEB300	S 235	CO3/1	0,000	0,80	0,75	0,80
B10	CS1 - HEB300	S 235	CO3/1	0,000	0,75	0,75	0,71
B11	CS1 - HEB300	S 235	CO3/1	0,000	0,80	0,75	0,80
B12	CS1 - HEB300	S 235	CO3/1	0,000	0,80	0,75	0,80
B13	CS1 - HEB300	S 235	CO3/1	0,000	0,96	0,96	0,96
B14	CS1 - HEB300	S 235	CO3/1	0,000	0,53	0,53	0,53
B15	CS1 - HEB300	S 235	CO6/2	0,000	0,16	0,15	0,16
B16	CS1 - HEB300	S 235	CO3/1	0,000	0,53	0,53	0,53
B17	CS1 - HEB300	S 235	CO3/1	0,000	0,96	0,96	0,96
B18	CS1 - HEB300	S 235	CO3/1	0,000	0,80	0,75	0,80
B19	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/3	0,000	0,03	0,03	0,00
B20	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/3	0,000	0,04	0,04	0,02
B21	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/3	0,000	0,04	0,04	0,02
B22	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO3/1	1,500	0,02	0,01	0,02
B23	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/3	0,000	0,04	0,04	0,02
B24	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/3	0,000	0,04	0,04	0,02
B25	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/3	0,000	0,03	0,03	0,01
B26	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/3	2,915	0,15	0,05	0,15
B27	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/3	2,915	0,05	0,05	0,00
B28	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/3	2,915	0,13	0,05	0,13
B29	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/3	2,915	0,05	0,05	0,00
B30	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/3	2,915	0,14	0,05	0,14
B31	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/3	2,915	0,05	0,05	0,00
B32	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/3	0,000	0,03	0,03	0,00
B33	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/3	0,000	0,04	0,04	0,00
B34	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/3	0,000	0,04	0,04	0,00
B35	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO3/1	1,500	0,01	0,01	0,00
B36	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/3	0,000	0,04	0,04	0,00
B37	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/3	0,000	0,04	0,04	0,00
B38	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/3	0,000	0,03	0,03	0,00
B39	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO3/1	2,915	0,06	0,05	0,06
B40	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO3/1	2,915	0,07	0,05	0,07
B41	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO3/1	2,915	0,07	0,05	0,07
B42	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO3/1	2,915	0,07	0,05	0,07
B43	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO3/1	2,915	0,07	0,05	0,07
B44	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO3/1	2,915	0,06	0,05	0,06

10. Posudek oceli; jed.posudek

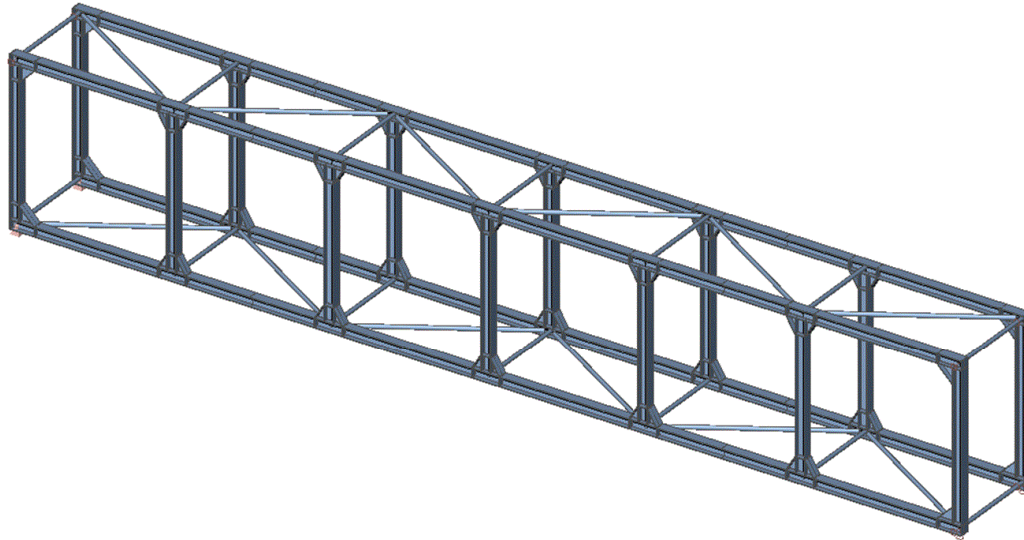


Studentská verze

Studentská verze

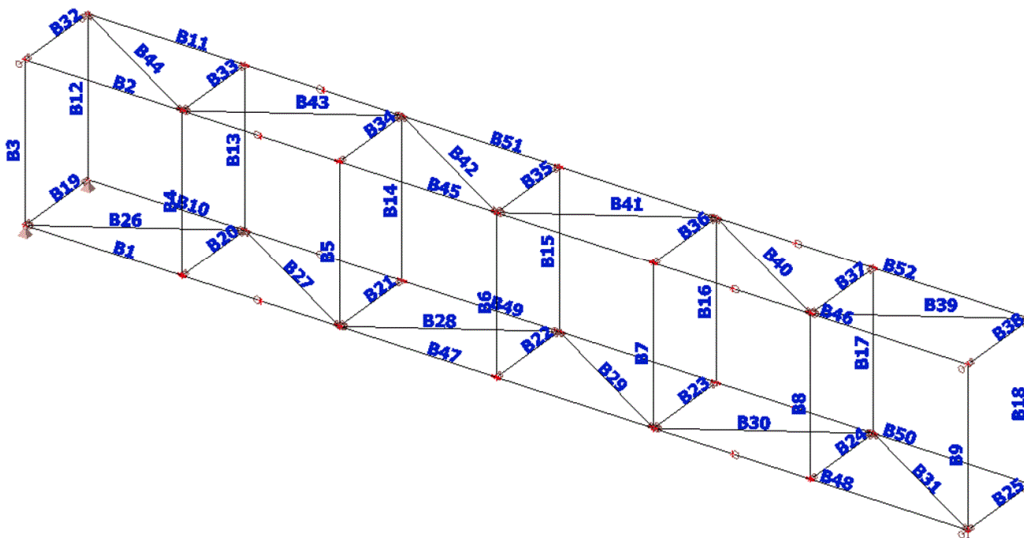
2. Lávky z Vierendeelových nosníků s klouby

1. Konstrukční model



Studentská verze

2. Statický model



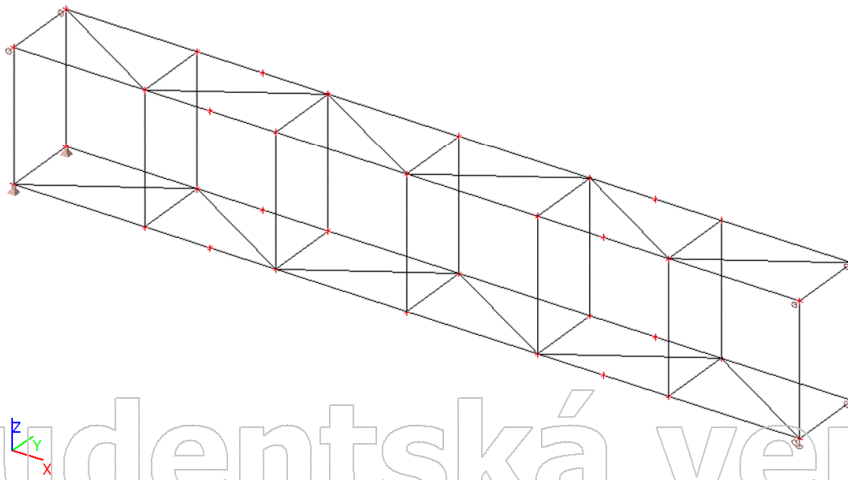
Studentská verze

3. Zatěžovací stavy

3.1. Zatěžovací stavy - ZS1

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení	Směr
	Spec	Typ zatížení		
ZS1	Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	Stálé	SZ1	-Z
		Vlastní tíha		

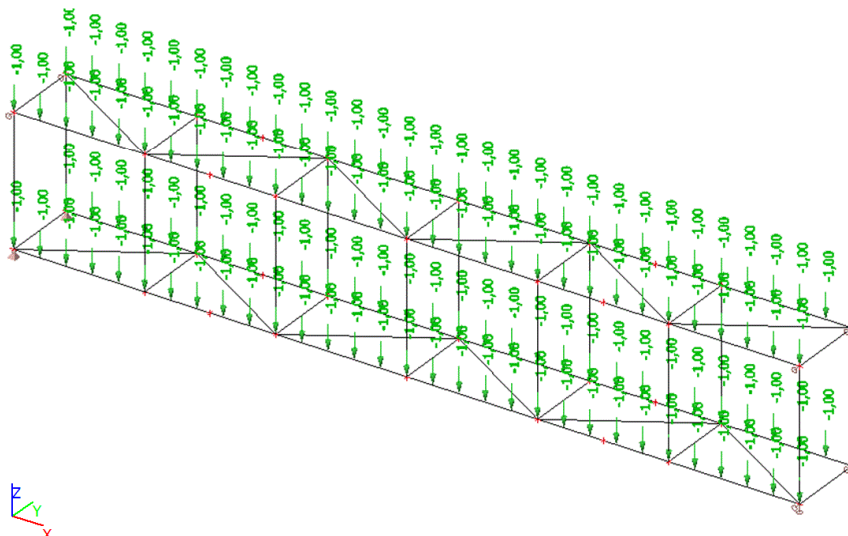
3.1.1. Náhled zatížení



3.2. Zatěžovací stavy - ZS2

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS2	Vlastní tíha nosníků podlahy a porořstu	Stálé	SZ1
		Standard	

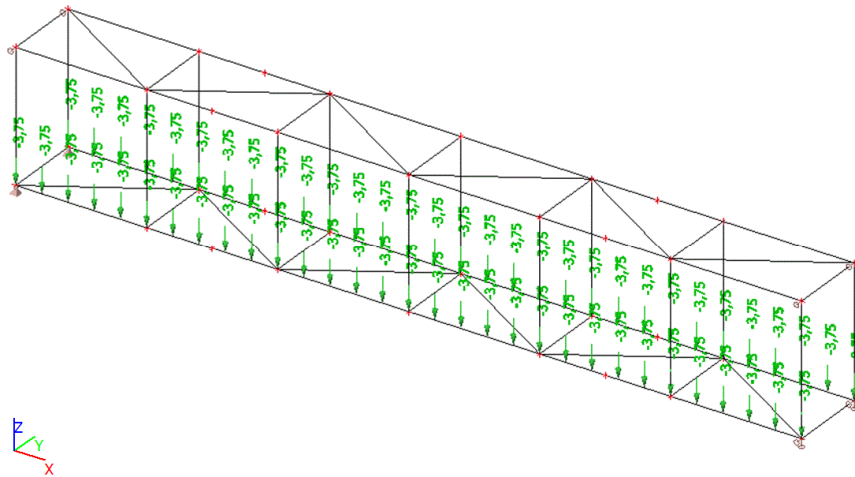
3.2.1. Náhled zatížení



3.3. Zatěžovací stavy - ZS3

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS3	Užitné zatížení 1	Stálé Standard	SZ1

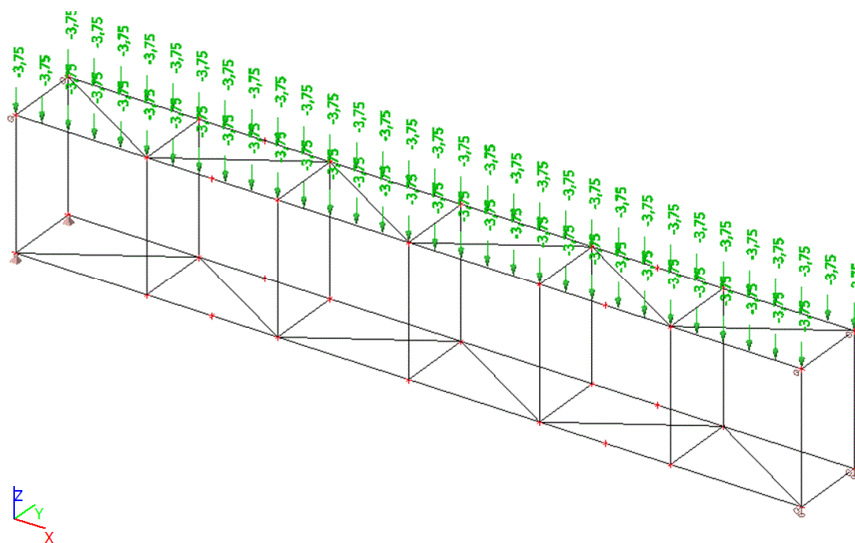
3.3.1. Náhled zatížení



3.4. Zatěžovací stavy - ZS4

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS4	Užitné zatížení 2	Stálé Standard	SZ1

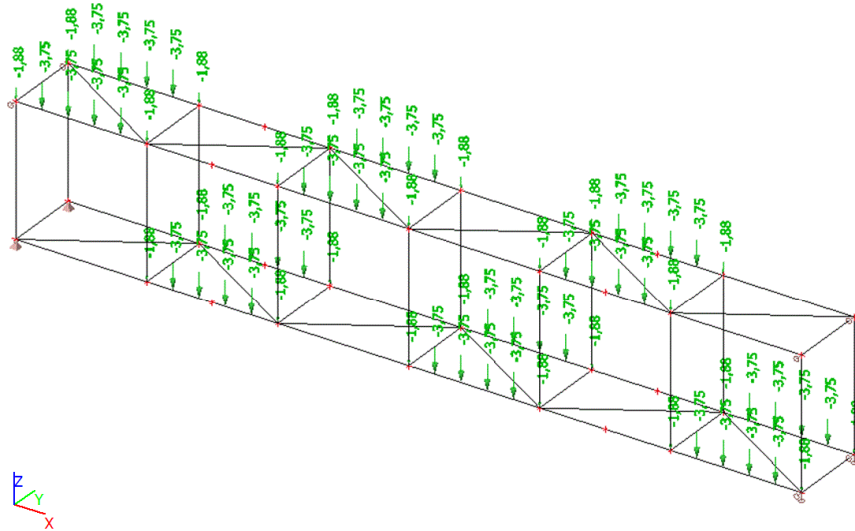
3.4.1. Náhled zatížení



3.5. Zatěžovací stavy - ZS5

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS5	Užitné zatížení 3	Stálé Standard	SZ1

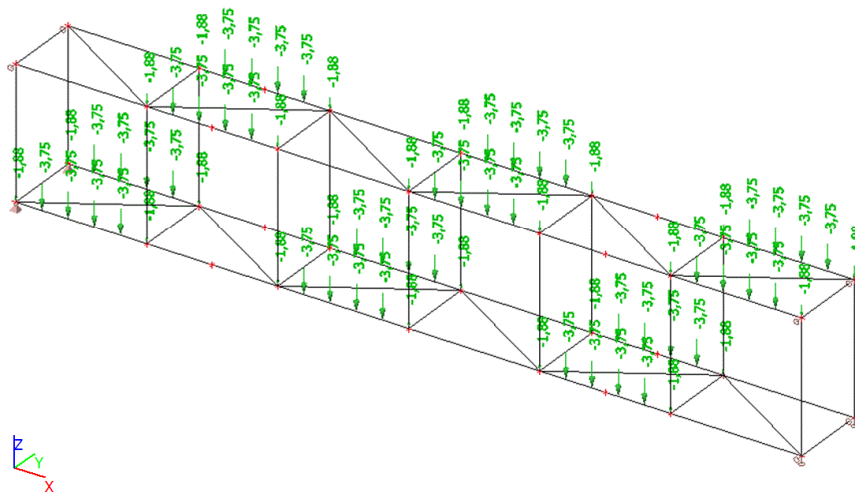
3.5.1. Náhled zatížení



3.6. Zatěžovací stavy - ZS6

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS6	Užitné zatížení 4	Stálé Standard	SZ1

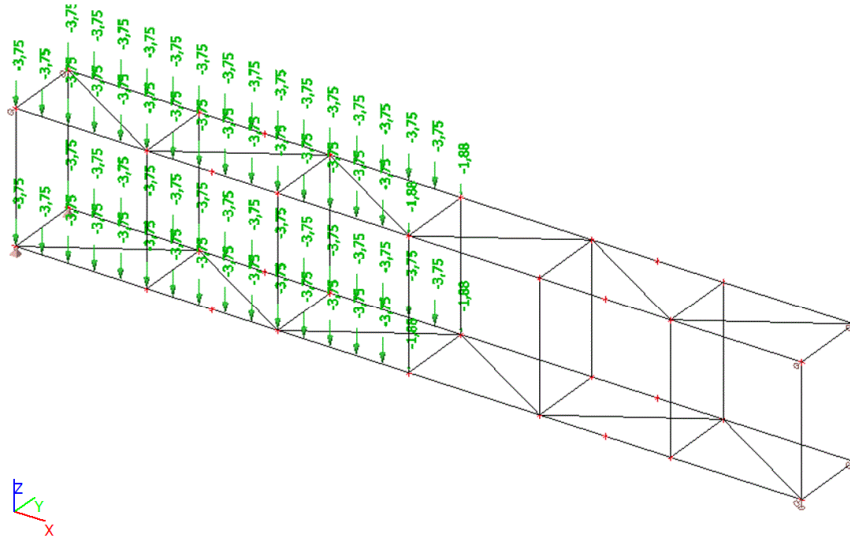
3.6.1. Náhled zatížení



3.7. Zatěžovací stavy - ZS7

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS7	Užitné zatížení 5	Stálé Standard	SZ1

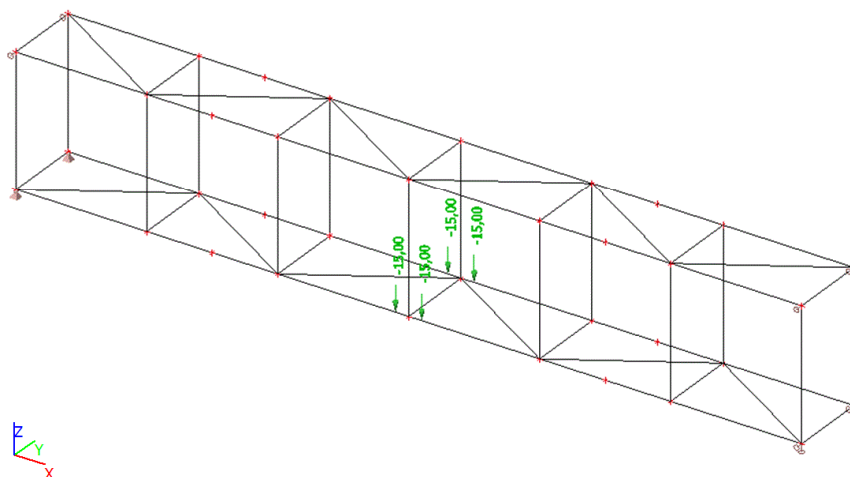
3.7.1. Náhled zatížení



3.8. Zatěžovací stavy - ZS8

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS8	Užitné zatížení - osamělé břemeno 1	Stálé Standard	SZ1

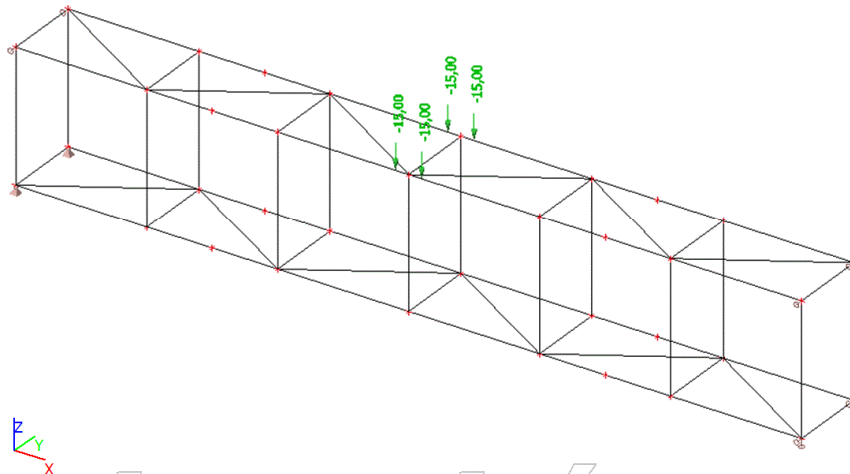
3.8.1. Náhled zatížení



3.9. Zatěžovací stavy - ZS9

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS9	Užitné zatížení - osamělé břemeno 2	Stálé	SZ1
		Standard	

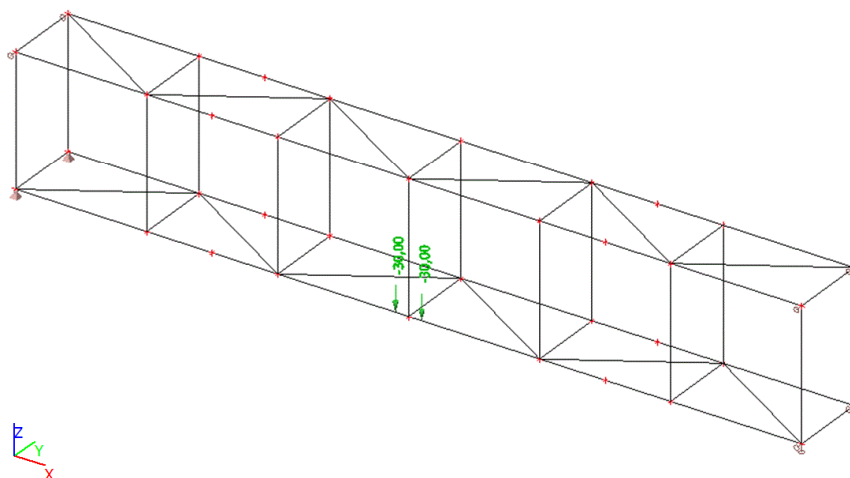
3.9.1. Náhled zatížení



3.10. Zatěžovací stavy - ZS10

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS10	Užitné zatížení - osamělé břemeno 3	Stálé	SZ1
		Standard	

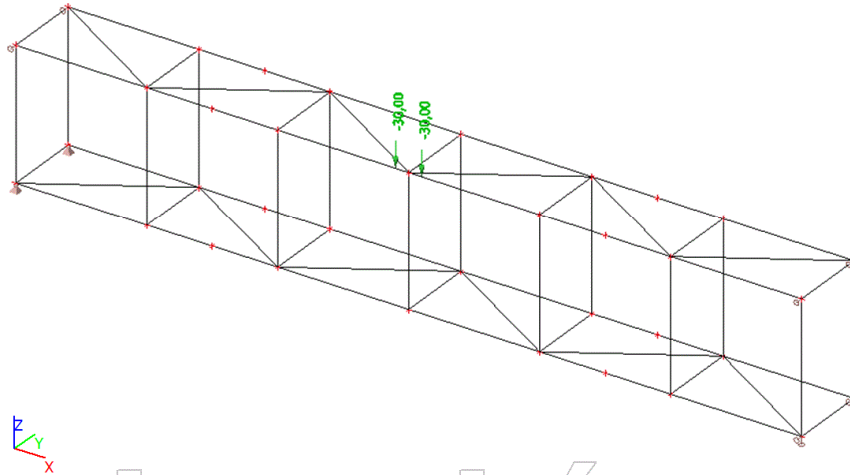
3.10.1. Náhled zatížení



3.11. Zatěžovací stavy - ZS11

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS11	Užitné zatížení - osamělé břemeno 4	Stálé Standard	SZ1

3.11.1. Náhled zatížení



4. Kombinace

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
CO1	Užitné 1 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,35
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS3 - Užitné zatížení 1	1,50
CO2	Užitné 2 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,35
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS4 - Užitné zatížení 2	1,50
CO3	Užitné 1+2 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,35
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS3 - Užitné zatížení 1	1,50
CO7	Užitné 1+osamělé břemeno 2 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,35
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS3 - Užitné zatížení 1	1,50
CO8	Užitné 2+osamělé břemeno 1 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS9 - Užitné zatížení - osamělé břemeno 2	1,50
			ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,35
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
CO9	Užitné 1+osamělé břemeno	Obálka - únosnost	ZS4 - Užitné zatížení 2	1,50
			ZS8 - Užitné zatížení - osamělé břemeno 1	1,50
			ZS1 - Vlastní tíha	1,35

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
	4 - MSÚ		Vierendeelových nosníků ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS3 - Užité zatížení 1	1,50
			ZS11 - Užité zatížení - osamělé břemeno 4	1,50
CO10	Užitné 2+osamělé břemeno 3 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS4 - Užité zatížení 2	1,50
			ZS10 - Užité zatížení - osamělé břemeno 3	1,50
CO11	Užitné - osamělé břemeno 1+2 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS8 - Užité zatížení - osamělé břemeno 1	1,50
			ZS9 - Užité zatížení - osamělé břemeno 2	1,50
CO12	Užitné - osamělé břemeno 3+4 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS10 - Užité zatížení - osamělé břemeno 3	1,50
			ZS11 - Užité zatížení - osamělé břemeno 4	1,50
CO4	Užitné 3 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS5 - Užité zatížení 3	1,50
CO5	Užitné 4 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS6 - Užité zatížení 4	1,50
CO6	Užitné 5 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS7 - Užité zatížení 5	1,50
CO13	Užitné 1 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS3 - Užité zatížení 1	1,00
CO14	Užitné 2 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS4 - Užité zatížení 2	1,00
CO15	Užitné 1+2 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS3 - Užité zatížení 1	1,00
			ZS4 - Užité zatížení 2	1,00
CO16	Užitné 3 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS5 - Užité zatížení 3	1,00
CO17	Užitné 4 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
			Vierendeelových nosníků ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS6 - Užitné zatížení 4	1,00
CO18	Užitné 5 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,00
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS7 - Užitné zatížení 5	1,00
CO19	Užitné 1+osamělé břemeno 2 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,00
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS3 - Užitné zatížení 1	1,00
			ZS9 - Užitné zatížení - osamělé břemeno 2	1,00
CO20	Užitné 2+osamělé břemeno 1 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,00
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS4 - Užitné zatížení 2	1,00
			ZS8 - Užitné zatížení - osamělé břemeno 1	1,00
CO21	Užitné 1+osamělé břemeno 4 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,00
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS3 - Užitné zatížení 1	1,00
			ZS11 - Užitné zatížení - osamělé břemeno 4	1,00
CO22	Užitné 2+osamělé břemeno 3 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,00
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS4 - Užitné zatížení 2	1,00
			ZS10 - Užitné zatížení - osamělé břemeno 3	1,00
CO23	Užitné - osamělé břemeno 1+2 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,00
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS8 - Užitné zatížení - osamělé břemeno 1	1,00
			ZS9 - Užitné zatížení - osamělé břemeno 2	1,00
CO24	Užitné - osamělé břemeno 3+4 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,00
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS10 - Užitné zatížení - osamělé břemeno 3	1,00
			ZS11 - Užitné zatížení - osamělé břemeno 4	1,00

5. Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

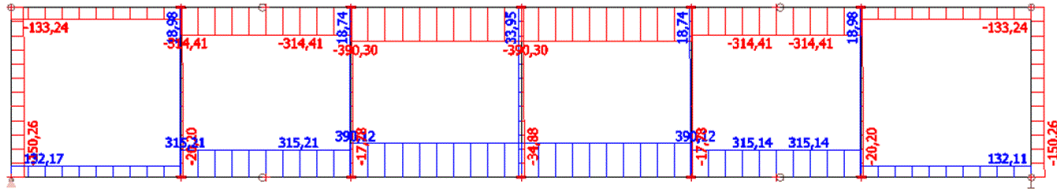
Výběr : Vše

Třída : Všechny MSU

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B45	CS1 - HEB300	7,500	CO3/2	-390,30	-1,19	-5,67	0,00	78,66	3,14
B49	CS1 - HEB300	7,500	CO3/2	390,27	-1,19	-5,76	0,00	78,80	3,14
B45	CS1 - HEB300	2,500	CO3/2	-390,30	1,19	41,32	0,00	-38,81	-2,80
B13	CS1 - HEB300	0,000	CO3/2	-3,78	-0,01	-183,04	0,00	457,85	0,06

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B8	CS1 - HEB300	0,000	CO3/2	-4,53	0,01	183,04	0,00	-457,87	0,00
B24	CS4 - CHS114.3/3.6	0,000	CO12/1	-0,79	0,00	0,19	-0,39	0,00	0,00
B20	CS4 - CHS114.3/3.6	0,000	CO12/1	-0,73	0,00	0,19	0,39	0,00	0,00
B4	CS1 - HEB300	0,000	CO3/2	-4,53	0,01	-183,04	0,00	457,87	0,00
B51	CS1 - HEB300	12,500	CO3/2	-315,13	0,90	-52,88	0,00	151,00	-2,80

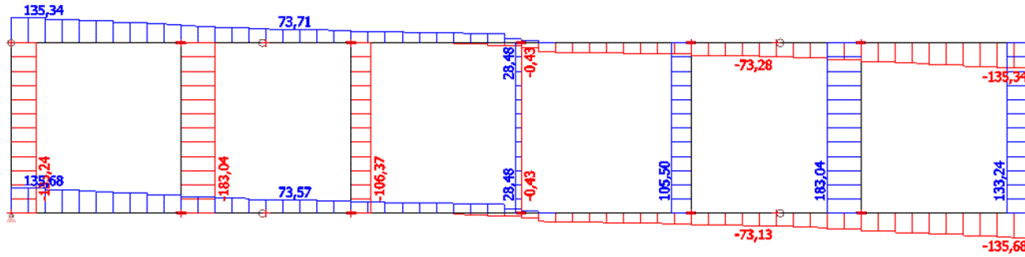
6. Vnitřní síly na prutu; N - obálka



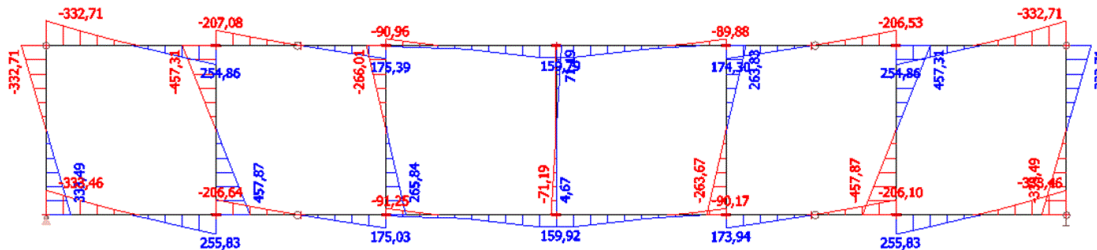
Studentská verze

Studentská verze

7. Vnitřní síly na prutu; Vz - obálka



8. Vnitřní síly na prutu; My - obálka



9. Posudek oceli

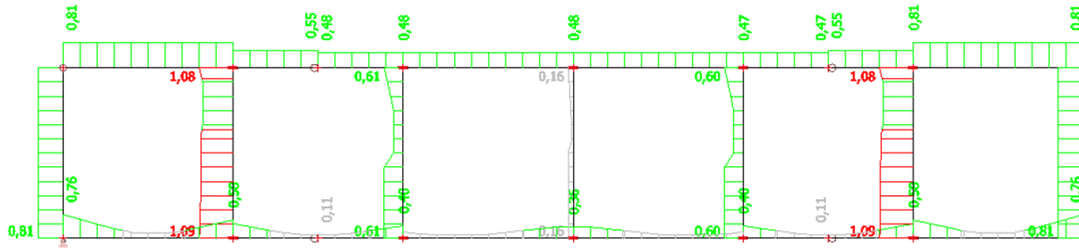
Lineární výpočet, Extrém : Prvek

Výběr : Vše

Třída : Všechny MSU

Prvek	css	mat	Stav	dx [m]	jed.posudek [-]	pevnost [-]	stab. posudek [-]
B1	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	0,000	0,76	0,76	0,72
B2	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	0,000	0,81	0,76	0,81
B3	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	0,000	0,81	0,76	0,81
B4	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	0,000	1,09	1,09	1,04
B5	CS1 - HEB300	S 235	CO12/1	0,000	0,61	0,61	0,61
B6	CS1 - HEB300	S 235	CO6/8	0,000	0,16	0,16	0,16
B7	CS1 - HEB300	S 235	CO12/1	0,000	0,60	0,60	0,60
B8	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	0,000	1,09	1,09	1,04
B9	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	0,000	0,81	0,76	0,81
B10	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	0,000	0,76	0,76	0,72
B11	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	0,000	0,81	0,76	0,81
B12	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	0,000	0,81	0,76	0,81
B13	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	0,000	1,09	1,09	1,04
B14	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	0,000	0,43	0,43	0,43
B15	CS1 - HEB300	S 235	CO6/8	0,000	0,16	0,16	0,16
B16	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	0,000	0,43	0,43	0,43
B17	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	0,000	1,09	1,09	1,04
B18	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	0,000	0,81	0,76	0,81
B19	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	0,000	0,03	0,03	0,00
B20	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	0,000	0,04	0,04	0,02
B21	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	0,000	0,04	0,04	0,02
B22	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO3/2	1,500	0,02	0,01	0,02
B23	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	0,000	0,04	0,04	0,02
B24	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	0,000	0,04	0,04	0,02
B25	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	0,000	0,03	0,03	0,01
B26	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	2,915	0,15	0,05	0,15
B27	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	2,915	0,05	0,05	0,00
B28	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	2,915	0,13	0,05	0,13
B29	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	2,915	0,05	0,05	0,00
B30	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	2,915	0,14	0,05	0,14
B31	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	2,915	0,05	0,05	0,00
B32	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	0,000	0,03	0,03	0,00
B33	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	0,000	0,04	0,04	0,00
B34	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	0,000	0,04	0,04	0,00
B35	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO3/2	1,500	0,01	0,01	0,00
B36	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	0,000	0,04	0,04	0,00
B37	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	0,000	0,04	0,04	0,00
B38	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	0,000	0,03	0,03	0,00
B39	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO3/2	2,915	0,06	0,05	0,06
B40	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO3/2	2,915	0,07	0,05	0,07
B41	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO3/2	2,915	0,07	0,05	0,07
B42	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO3/2	2,915	0,07	0,05	0,07
B43	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO3/2	2,915	0,07	0,05	0,07
B44	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO3/2	2,915	0,06	0,05	0,06
B45	CS1 - HEB300	S 235	CO12/1	7,500	0,48	0,36	0,48
B46	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	7,500	0,81	0,76	0,81
B47	CS1 - HEB300	S 235	CO12/1	2,500	0,40	0,40	0,35
B48	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	7,500	0,76	0,76	0,72
B49	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	2,500	0,34	0,34	0,27
B50	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	7,500	0,76	0,76	0,72
B51	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	2,500	0,44	0,34	0,44
B52	CS1 - HEB300	S 235	CO3/2	7,500	0,81	0,76	0,81

10. Posudek oceli; jed.posudek

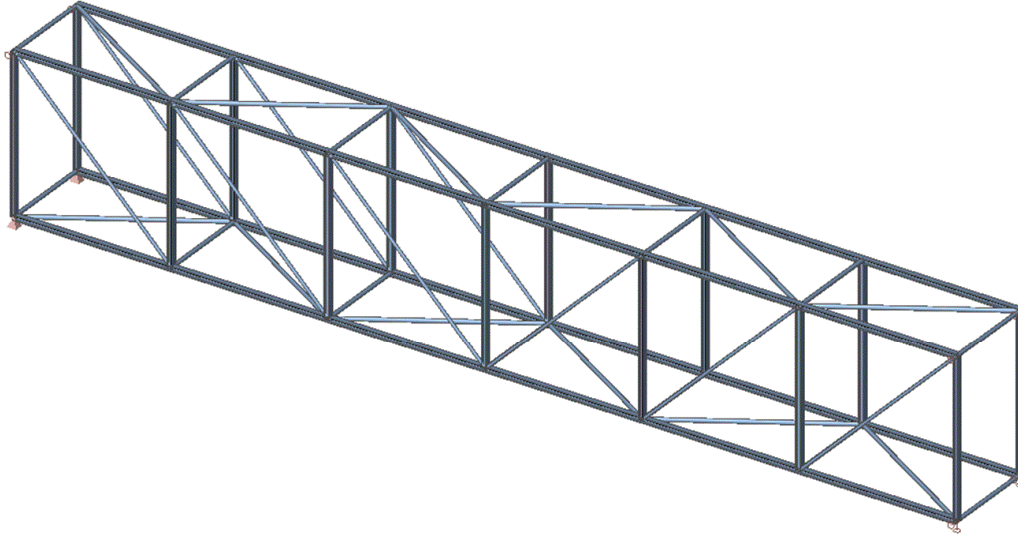


Studentská verze

Studentská verze

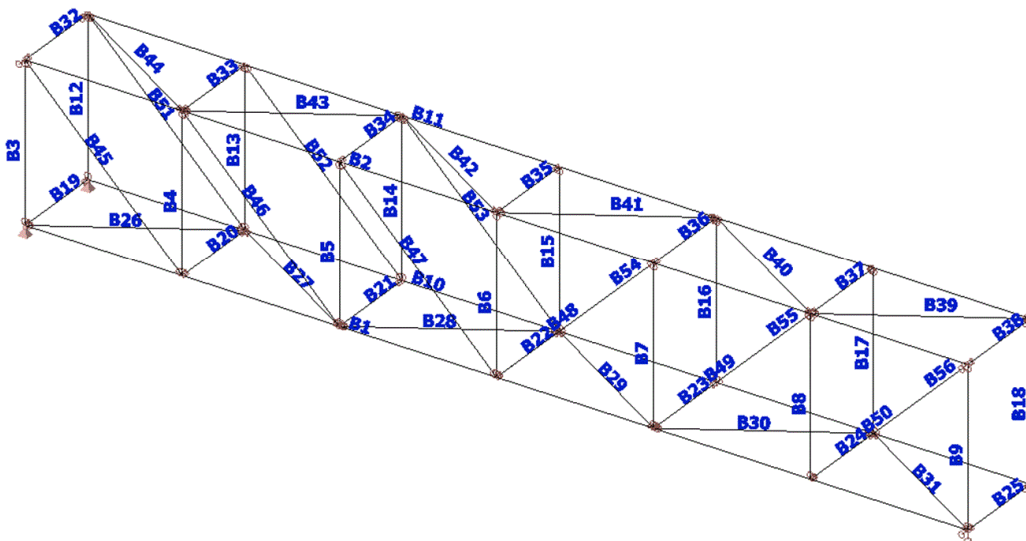
3. Lávky z příhradových nosníků

1. Konstrukční model



Studentská verze

2. Statický model



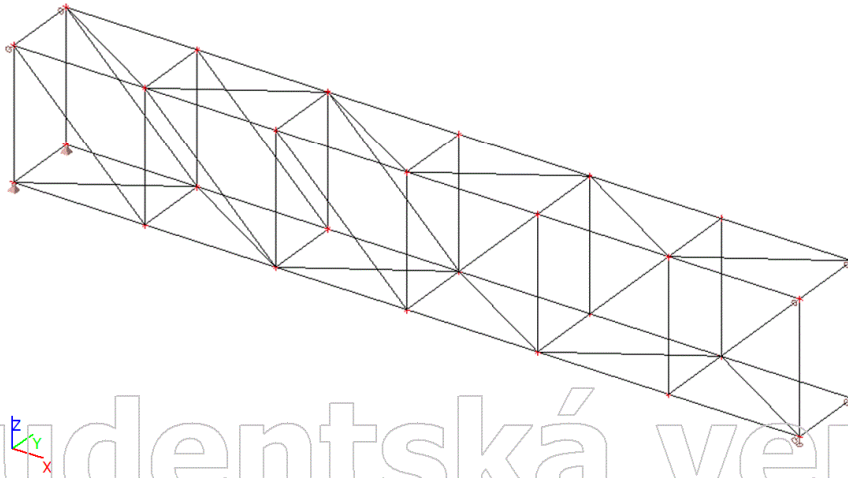
Studentská verze

3. Zatěžovací stavy

3.1. Zatěžovací stavy - ZS1

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení	Směr
	Spec	Typ zatížení		
ZS1	Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	Stálé	SZ1	-Z
		Vlastní tíha		

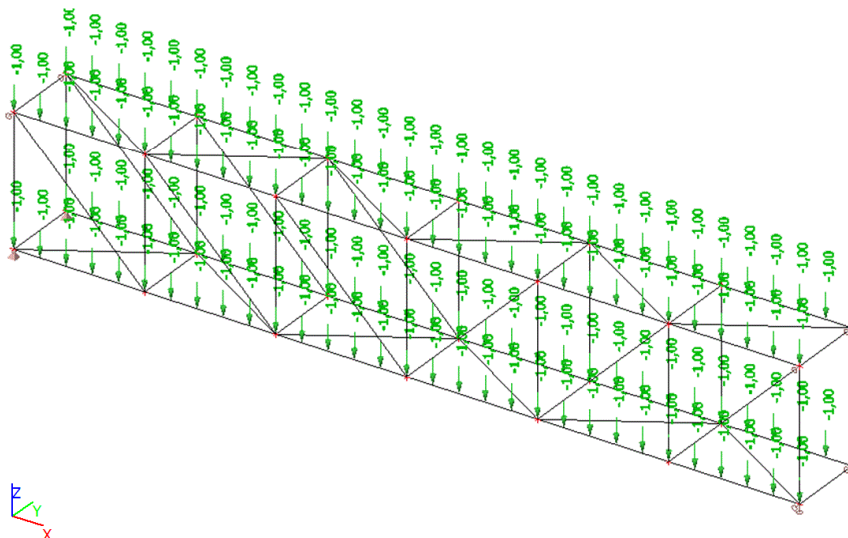
3.1.1. Náhled zatížení



3.2. Zatěžovací stavy - ZS2

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS2	Vlastní tíha nosníků podlahy a porořstu	Stálé	SZ1
		Standard	

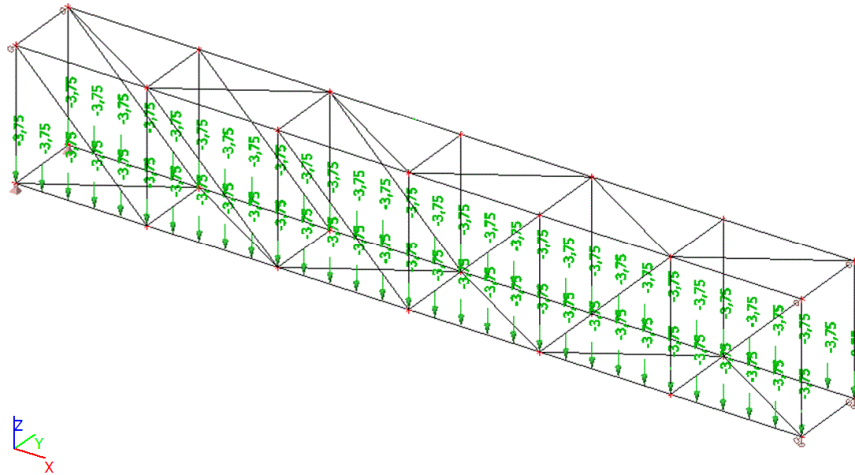
3.2.1. Náhled zatížení



3.3. Zatěžovací stavy - ZS3

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS3	Užitné zatížení 1	Stálé Standard	SZ1

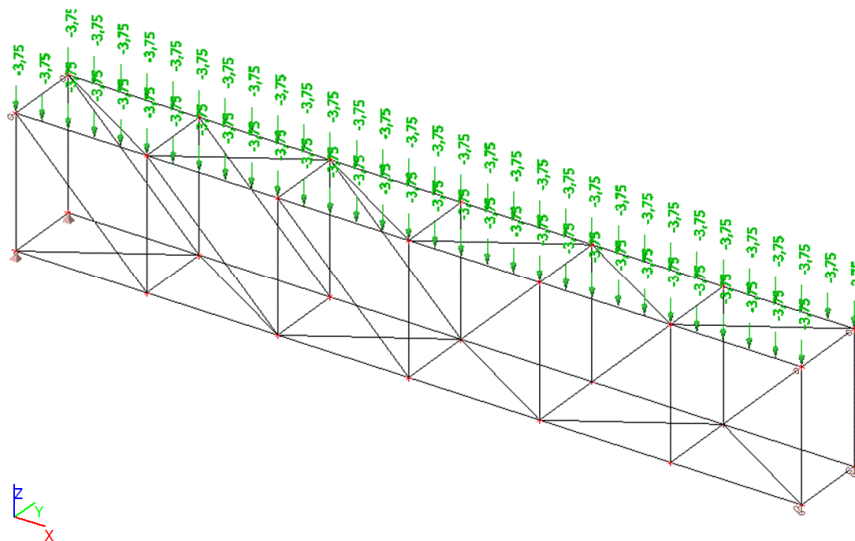
3.3.1. Náhled zatížení



3.4. Zatěžovací stavy - ZS4

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS4	Užitné zatížení 2	Stálé Standard	SZ1

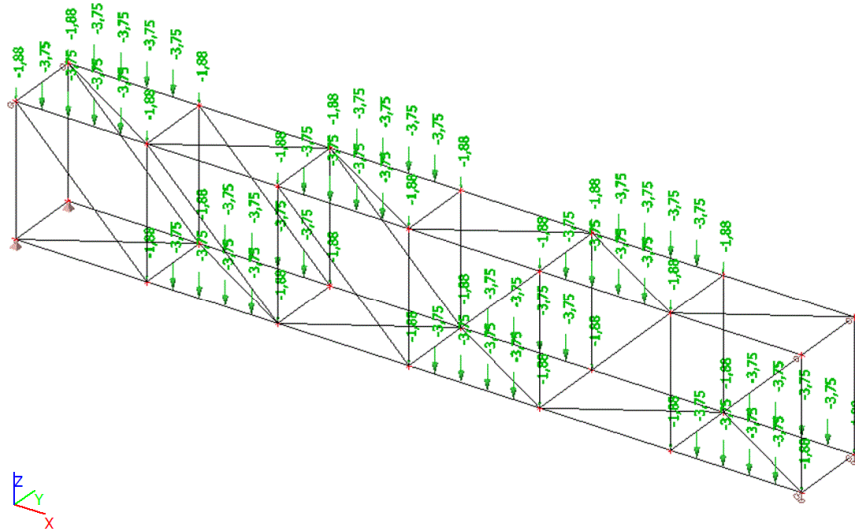
3.4.1. Náhled zatížení



3.5. Zatěžovací stavy - ZS5

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS5	Užitné zatížení 3	Stálé Standard	SZ1

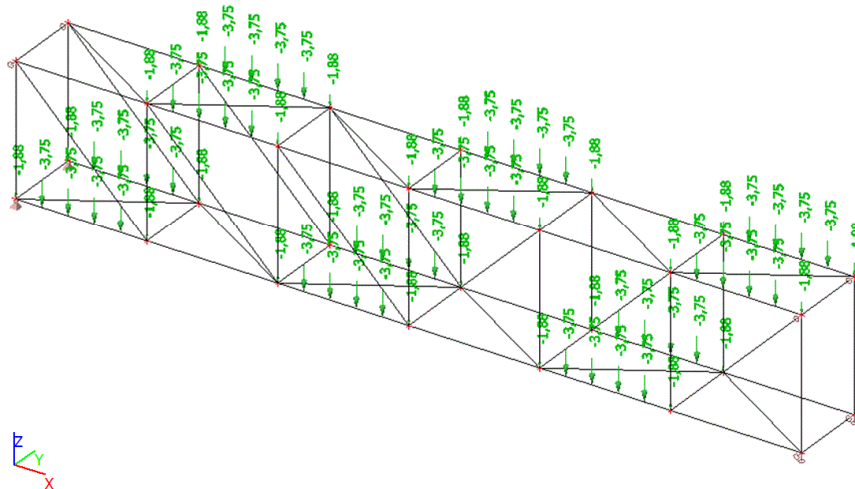
3.5.1. Náhled zatížení



3.6. Zatěžovací stavy - ZS6

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS6	Užitné zatížení 4	Stálé Standard	SZ1

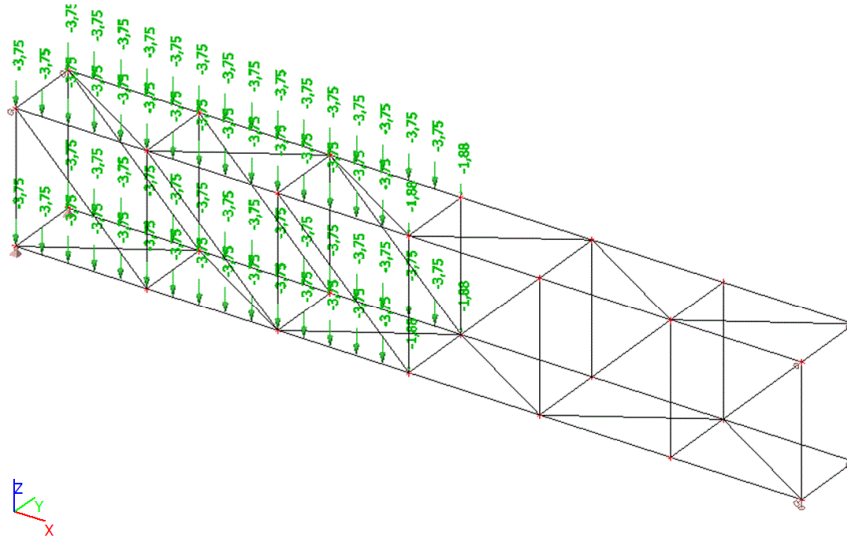
3.6.1. Náhled zatížení



3.7. Zatěžovací stavy - ZS7

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS7	Užitné zatížení 5	Stálé Standard	SZ1

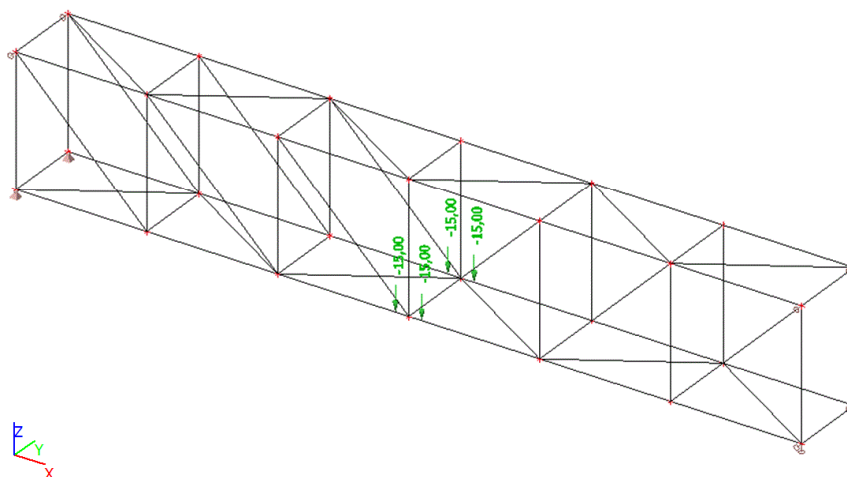
3.7.1. Náhled zatížení



3.8. Zatěžovací stavy - ZS8

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS8	Užitné zatížení - osamělé břemeno 1	Stálé Standard	SZ1

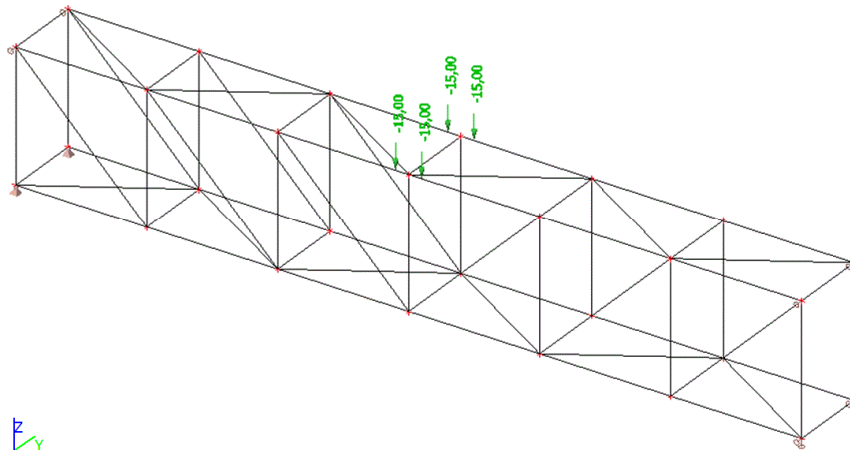
3.8.1. Náhled zatížení



3.9. Zatěžovací stavy - ZS9

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS9	Užitné zatížení - osamělé břemeno 2	Stálé	SZ1
		Standard	

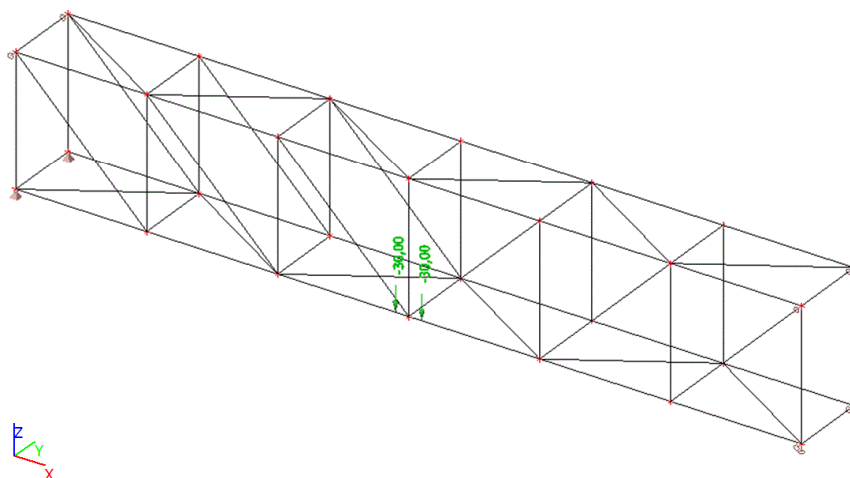
3.9.1. Náhled zatížení



3.10. Zatěžovací stavy - ZS10

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS10	Užitné zatížení - osamělé břemeno 3	Stálé	SZ1
		Standard	

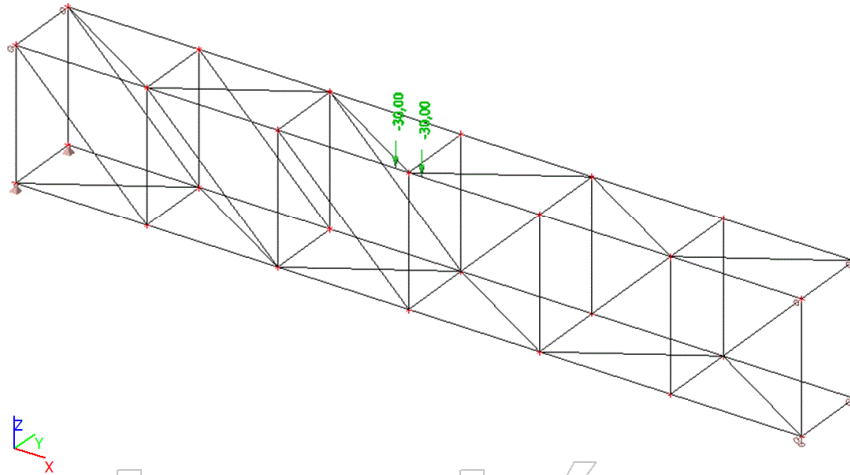
3.10.1. Náhled zatížení



3.11. Zatěžovací stavy - ZS11

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení
	Spec	Typ zatížení	
ZS11	Užitné zatížení - osamělé břemeno 4	Stálé Standard	SZ1

3.11.1. Náhled zatížení



4. Kombinace

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
CO1	Užitné 1 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,35
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS3 - Užitné zatížení 1	1,50
CO2	Užitné 2 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,35
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS4 - Užitné zatížení 2	1,50
CO3	Užitné 1+2 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,35
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS3 - Užitné zatížení 1	1,50
CO7	Užitné 1+osamělé břemeno 2 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,35
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS3 - Užitné zatížení 1	1,50
CO8	Užitné 2+osamělé břemeno 1 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS9 - Užitné zatížení - osamělé břemeno 2	1,50
			ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků	1,35
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
CO9	Užitné 1+osamělé břemeno	Obálka - únosnost	ZS4 - Užitné zatížení 2	1,50
			ZS8 - Užitné zatížení - osamělé břemeno 1	1,50
			ZS1 - Vlastní tíha	1,35

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
	4 - MSÚ		Vierendeelových nosníků ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS3 - Užité zatížení 1	1,50
			ZS11 - Užité zatížení - osamělé břemeno 4	1,50
CO10	Užité 2+osamělé břemeno 3 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS4 - Užité zatížení 2	1,50
			ZS10 - Užité zatížení - osamělé břemeno 3	1,50
CO11	Užité - osamělé břemeno 1+2 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS8 - Užité zatížení - osamělé břemeno 1	1,50
			ZS9 - Užité zatížení - osamělé břemeno 2	1,50
CO12	Užité - osamělé břemeno 3+4 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS10 - Užité zatížení - osamělé břemeno 3	1,50
			ZS11 - Užité zatížení - osamělé břemeno 4	1,50
CO4	Užité 3 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS5 - Užité zatížení 3	1,50
CO5	Užité 4 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS6 - Užité zatížení 4	1,50
CO6	Užité 5 - MSÚ	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,35
			ZS7 - Užité zatížení 5	1,50
CO13	Užité 1 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků	1,00
			ZS3 - Užité zatížení 1	1,00
CO14	Užité 2 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS4 - Užité zatížení 2	1,00
CO15	Užité 1+2 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS3 - Užité zatížení 1	1,00
			ZS4 - Užité zatížení 2	1,00
CO16	Užité 3 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS5 - Užité zatížení 3	1,00
CO17	Užité 4 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
			Vierendeelových nosníků ZS2 - Vlastní tíha nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS6 - Užité zatížení 4	1,00
CO18	Užitné 5 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků	1,00
			ZS7 - Užité zatížení 5	1,00
CO19	Užitné 1+osamělé břemeno 2 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků	1,00
			ZS3 - Užité zatížení 1	1,00
			ZS9 - Užité zatížení - osamělé břemeno 2	1,00
CO20	Užitné 2+osamělé břemeno 1 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků	1,00
			ZS4 - Užité zatížení 2	1,00
			ZS8 - Užité zatížení - osamělé břemeno 1	1,00
CO21	Užitné 1+osamělé břemeno 4 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků	1,00
			ZS3 - Užité zatížení 1	1,00
			ZS11 - Užité zatížení - osamělé břemeno 4	1,00
CO22	Užitné 2+osamělé břemeno 3 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků	1,00
			ZS4 - Užité zatížení 2	1,00
			ZS10 - Užité zatížení - osamělé břemeno 3	1,00
CO23	Užitné - osamělé břemeno 1+2 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků	1,00
			ZS8 - Užité zatížení - osamělé břemeno 1	1,00
			ZS9 - Užité zatížení - osamělé břemeno 2	1,00
CO24	Užitné - osamělé břemeno 3+4 - MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha Vierendeelových nosníků podlahy a pororoštu	1,00
			ZS2 - Vlastní tíha nosníků	1,00
			ZS10 - Užité zatížení - osamělé břemeno 3	1,00
			ZS11 - Užité zatížení - osamělé břemeno 4	1,00

5. Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

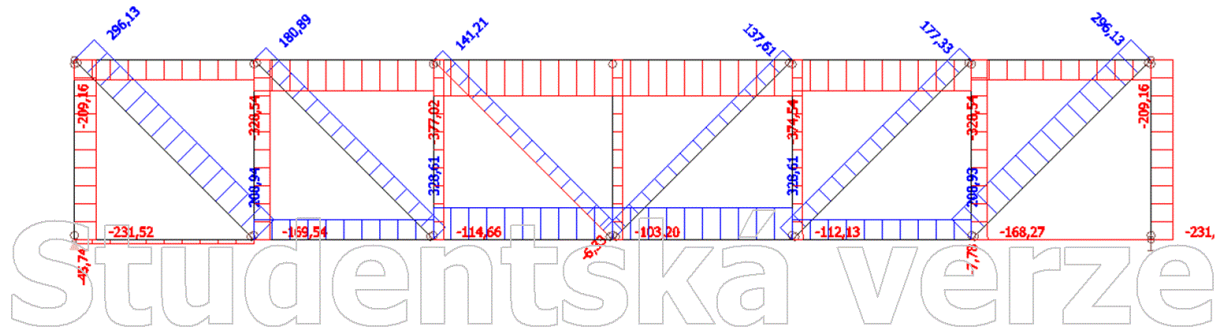
Výběr : Vše

Třída : Všechny MSU

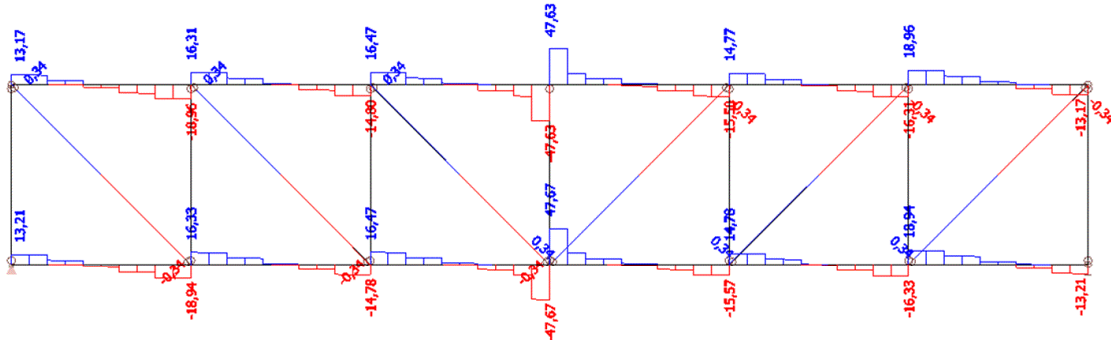
Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B2	CS1 - HEB160	10,000	CO12/1	-377,02	0,25	5,95	0,00	-4,81	-0,74
B10	CS1 - HEB160	15,000	CO3/2	328,69	-0,33	15,58	0,00	-13,76	0,89
B2	CS1 - HEB160	15,000	CO3/2	-370,55	-0,42	15,58	0,00	-13,84	1,09
B2	CS1 - HEB160	10,000	CO3/2	-370,55	0,42	15,14	0,00	-12,72	-1,00

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B1	CS1 - HEB160	15,000	CO10/3	287,72	0,26	-47,67	0,00	-19,38	0,73
B1	CS1 - HEB160	15,000	CO10/3	289,00	-0,26	47,67	0,00	-19,38	0,73
B44	CS4 - CHS114.3/3.6	0,000	CO4/4	-0,35	0,00	0,38	-0,25	0,00	0,00
B39	CS4 - CHS114.3/3.6	0,000	CO5/5	-0,35	0,00	0,38	0,25	0,00	0,00
B2	CS1 - HEB160	2,000	CO4/4	-134,85	0,09	5,07	0,00	18,23	0,17
B11	CS1 - HEB160	20,000	CO3/2	-370,48	-0,42	-15,14	0,00	-12,72	-1,00
B2	CS1 - HEB160	15,000	CO3/2	-370,55	0,42	-15,58	0,00	-13,84	1,09

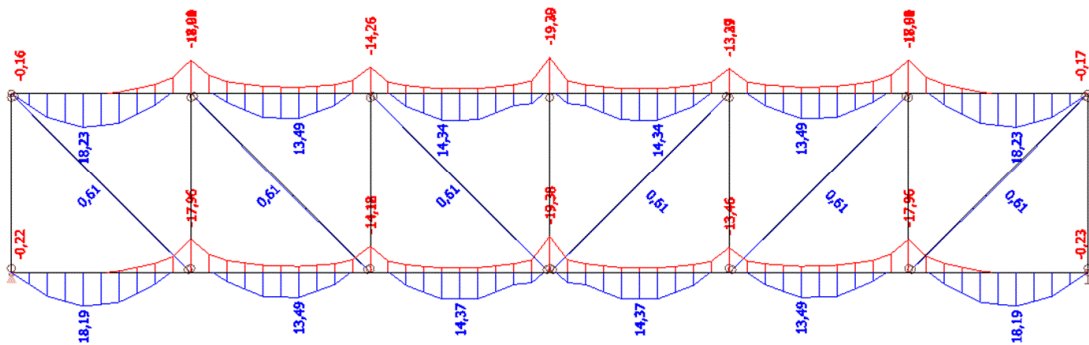
6. Vnitřní síly na prutu; N - obálka



7. Vnitřní síly na prutu; Vz - obálka



8. Vnitřní síly na prutu; My - obálka



9. Posudek oceli

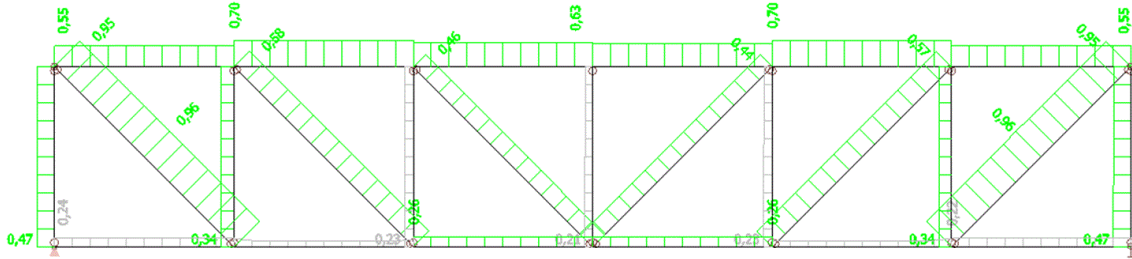
Lineární výpočet, Extrém : Prvek

Výběr : Vše

Třída : Všechny MSU

Prvek	css	mat	Stav	dx [m]	jed.posudek [-]	pevnost [-]	stab. posudek [-]
B1	CS1 - HEB160	S 235	CO3/2	10,000	0,26	0,26	0,06
B2	CS1 - HEB160	S 235	CO3/2	5,000	0,70	0,26	0,70
B3	CS1 - HEB160	S 235	CO3/2	0,000	0,47	0,18	0,47
B4	CS1 - HEB160	S 235	CO10/3	0,000	0,34	0,13	0,34
B5	CS1 - HEB160	S 235	CO12/1	0,000	0,23	0,09	0,23
B6	CS1 - HEB160	S 235	CO9/6	0,000	0,21	0,08	0,21
B7	CS1 - HEB160	S 235	CO12/1	0,000	0,23	0,09	0,23
B8	CS1 - HEB160	S 235	CO10/3	0,000	0,34	0,13	0,34
B9	CS1 - HEB160	S 235	CO3/2	0,000	0,47	0,18	0,47
B10	CS1 - HEB160	S 235	CO3/2	15,000	0,26	0,26	0,04
B11	CS1 - HEB160	S 235	CO3/2	5,000	0,71	0,26	0,71
B12	CS1 - HEB160	S 235	CO3/2	0,000	0,47	0,18	0,47
B13	CS1 - HEB160	S 235	CO3/2	0,000	0,33	0,13	0,33
B14	CS1 - HEB160	S 235	CO8/7	0,000	0,18	0,07	0,18
B15	CS1 - HEB160	S 235	CO7/8	0,000	0,12	0,05	0,12
B16	CS1 - HEB160	S 235	CO8/7	0,000	0,18	0,07	0,18
B17	CS1 - HEB160	S 235	CO3/2	0,000	0,33	0,13	0,33
B18	CS1 - HEB160	S 235	CO3/2	0,000	0,47	0,18	0,47
B19	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	0,000	0,02	0,02	0,00
B20	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	0,000	0,02	0,02	0,01
B21	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	0,000	0,02	0,02	0,02
B22	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO3/2	1,500	0,02	0,01	0,02
B23	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	0,000	0,02	0,02	0,02
B24	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	0,000	0,02	0,02	0,01
B25	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	0,000	0,02	0,02	0,01
B26	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	2,915	0,14	0,05	0,14
B27	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	2,915	0,05	0,05	0,00
B28	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	2,915	0,14	0,05	0,14
B29	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	2,915	0,05	0,05	0,00
B30	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	2,915	0,14	0,05	0,14
B31	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	2,915	0,05	0,05	0,00
B32	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	0,000	0,02	0,02	0,01
B33	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	0,000	0,02	0,02	0,00
B34	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	0,000	0,02	0,02	0,00
B35	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO3/2	1,500	0,01	0,01	0,00
B36	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	0,000	0,02	0,02	0,00
B37	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	0,000	0,02	0,02	0,00
B38	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	0,000	0,02	0,02	0,00
B39	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	2,915	0,06	0,05	0,06
B40	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO3/2	2,915	0,06	0,05	0,06
B41	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	2,915	0,06	0,05	0,06
B42	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO3/2	2,915	0,06	0,05	0,06
B43	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO12/1	2,915	0,06	0,05	0,06
B44	CS4 - CHS114.3/3.6	S 235	CO3/2	2,915	0,06	0,05	0,06
B45	CS5 - CHS88.9/5.0	S 235	CO3/2	3,536	0,96	0,96	0,00
B46	CS5 - CHS88.9/5.0	S 235	CO12/1	0,000	0,58	0,58	0,00
B47	CS5 - CHS88.9/5.0	S 235	CO12/1	0,000	0,46	0,46	0,00
B48	CS5 - CHS88.9/5.0	S 235	CO12/1	7,071	0,44	0,44	0,00
B49	CS5 - CHS88.9/5.0	S 235	CO12/1	7,071	0,57	0,57	0,00
B50	CS5 - CHS88.9/5.0	S 235	CO3/2	3,536	0,96	0,96	0,00
B51	CS5 - CHS88.9/5.0	S 235	CO3/2	3,536	0,96	0,96	0,00
B52	CS5 - CHS88.9/5.0	S 235	CO3/2	0,000	0,55	0,55	0,00
B53	CS5 - CHS88.9/5.0	S 235	CO11/9	0,000	0,25	0,25	0,00
B54	CS5 - CHS88.9/5.0	S 235	CO6/10	7,071	0,26	0,26	0,00
B55	CS5 - CHS88.9/5.0	S 235	CO3/2	7,071	0,55	0,55	0,00
B56	CS5 - CHS88.9/5.0	S 235	CO3/2	3,536	0,96	0,96	0,00

10. Posudek oceli; jed.posudek

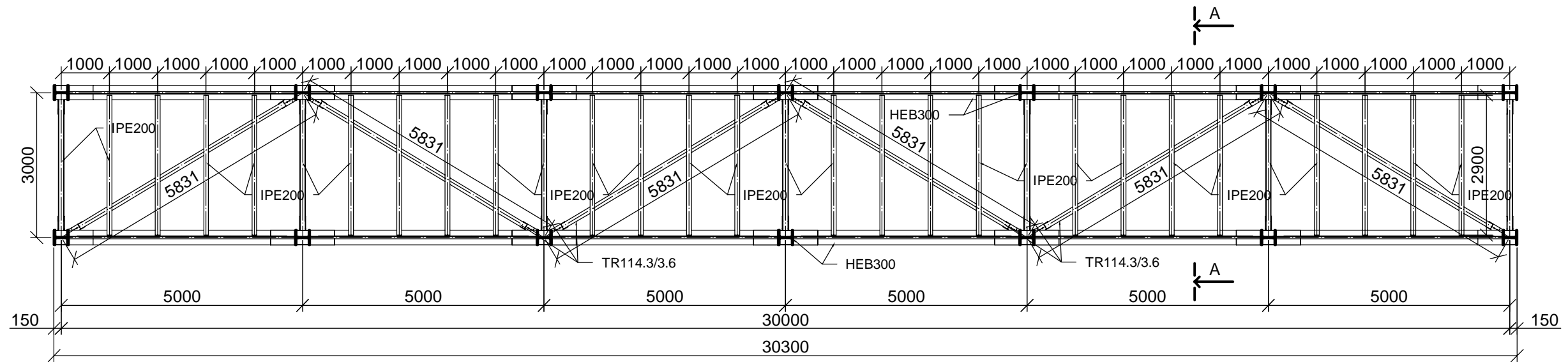



Studentská verze

Studentská verze

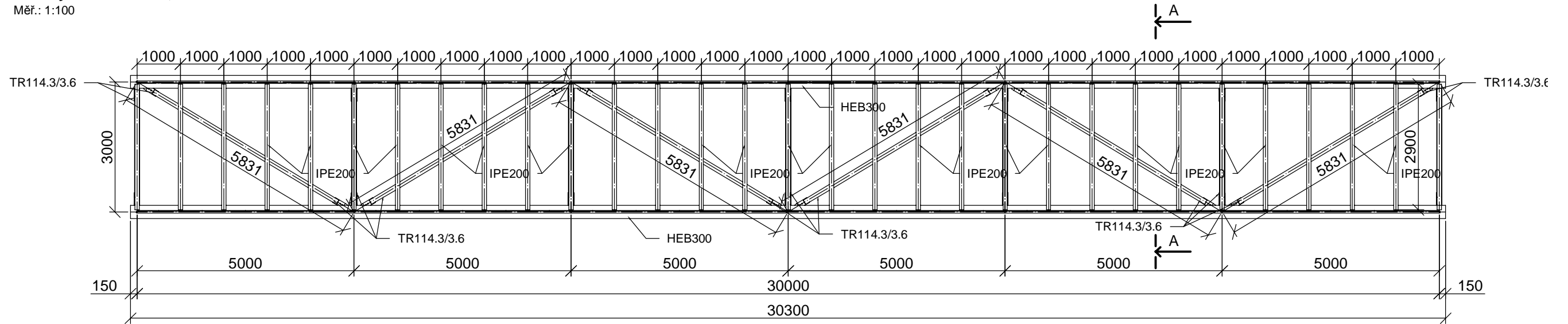
Půdorys v úrovni +10,000

Měř.: 1:100



Půdorys v úrovni +15,000

Měř.: 1:100



POZNÁMKA:

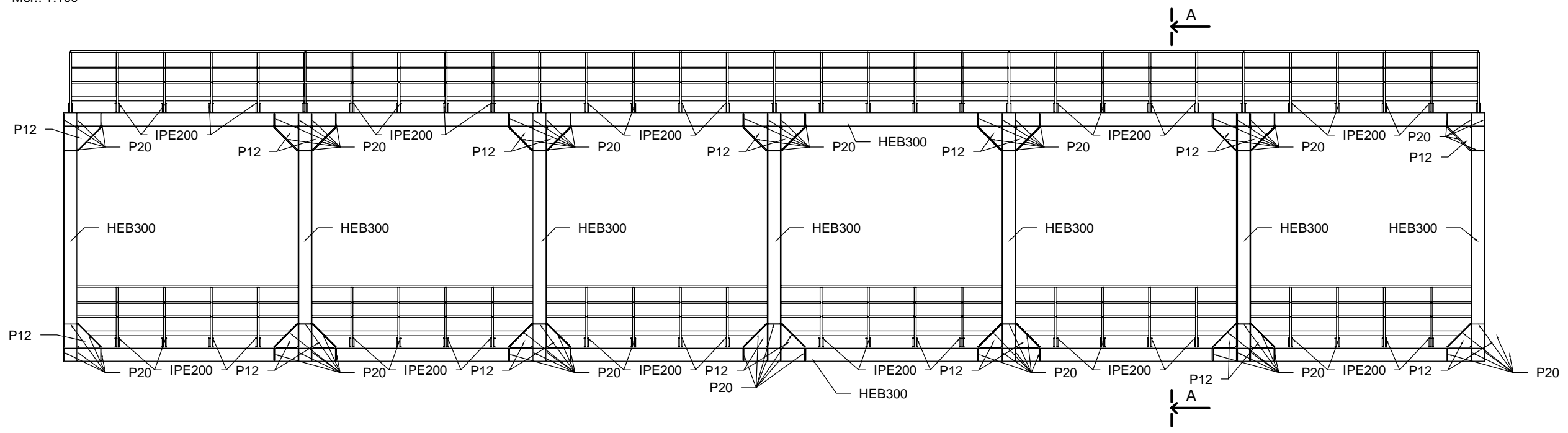
Výrobní skupina B dle ČSN 73 2601

Materiál:
konstrukční

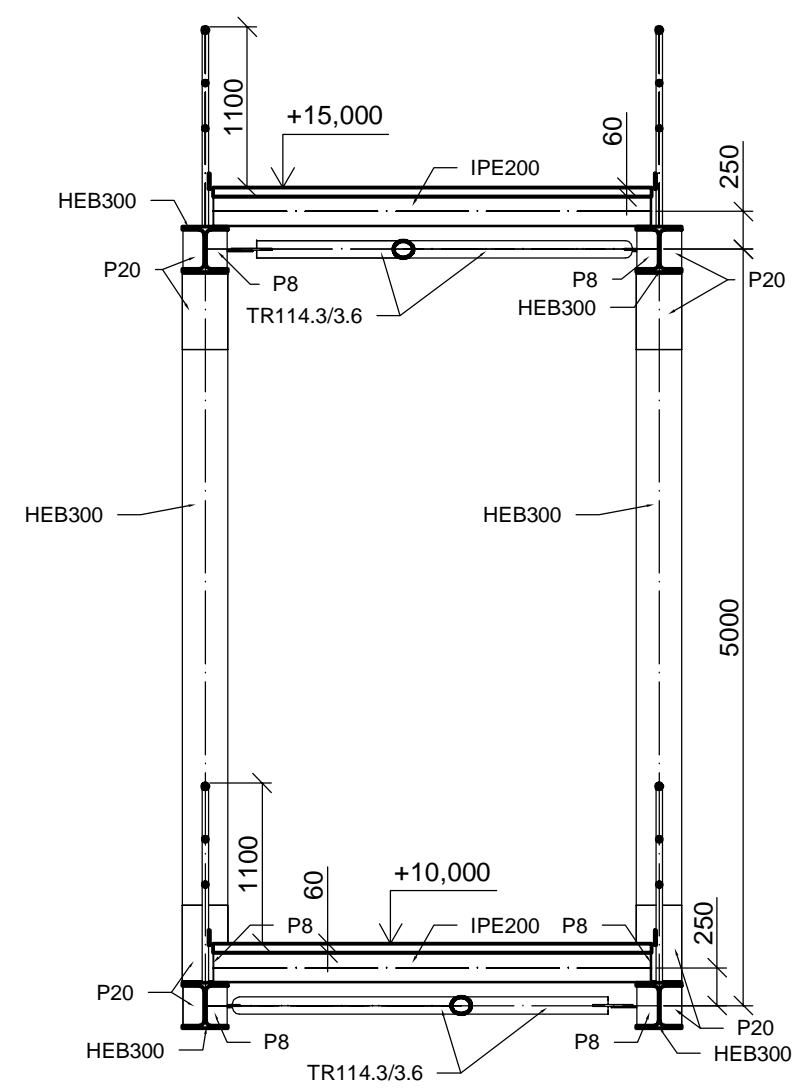
S235JR

Vypracoval:	Bc. Luboš Bischof	Západočeská univerzita v Plzni	
Konzultant:	Ing. Petr Kesl		
Objekt:	Lávky - Vierendeelův nosník Ocelová konstrukce	Datum:	01.2017
Výkres:		Půdorys	Měřítko:
		Č. v.:	1

Boční pohled
Měř.: 1:100



Řez A-A
Měř.: 1:50

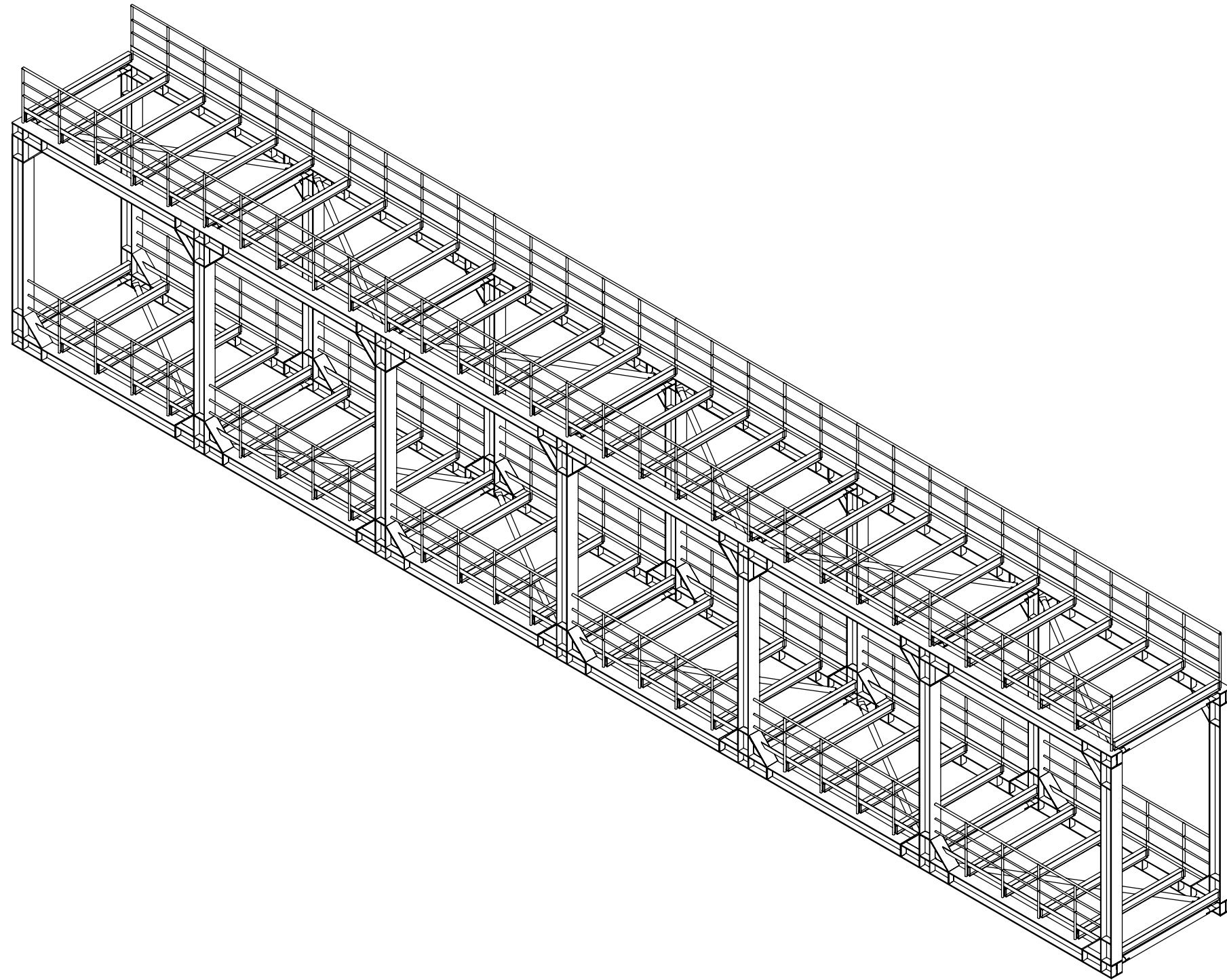


POZNÁMKA:
Výrobní skupina B dle ČSN 73 2601
Materiál:
konstrukční S235JR

Vypracoval:	Bc. Luboš Bischof	Západočeská univerzita v Plzni	
Konzultant:	Ing. Petr Kesl		
Objekt:	Lávky - Vierendeelův nosník Ocelová konstrukce	Datum:	01.2017
Výkres:		Boční pohled a příčný řez A-A	Měřítko:
		Č. v.:	2

Axonometrie

Měř.: 1:50



POZNÁMKA:

Výrobní skupina B dle ČSN 73 2601

Materiál:
konstrukční

S235JR

Vypracoval:	Bc. Luboš Bischof	Západočeská univerzita v Plzni	
Konzultant:	Ing. Petr Kesl		
Objekt:	Lávky - Vierendeelův nosník Ocelová konstrukce	Datum:	01.2017
		Měřítko:	1:100
Výkres:	Axonometrie	Č. v.:	3