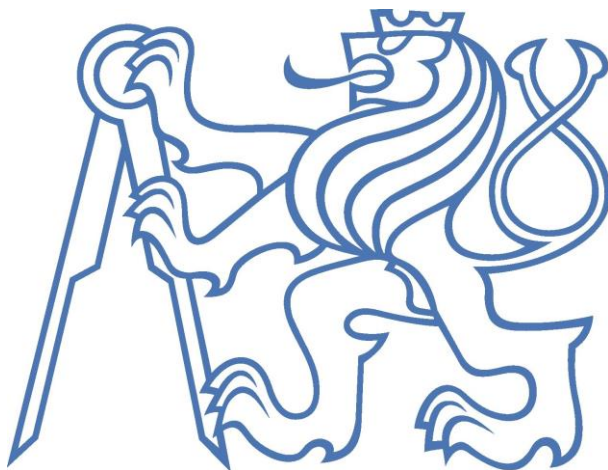


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



Ocelová konstrukce sportovní haly s obloukovým vazníkem

Steel structure design of an arched sports hall

Bakalářská práce

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Pozemní stavby

Vedoucí práce: prof. Ing. Michal Jandera, Ph.D.

ŠIMON ŠPAČEK
Praha, 2024

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Špaček** Jméno: **Šimon** Osobní číslo: **501973**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Specializace: **Pozemní stavby**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Ocelová konstrukce sportovní haly s obloukovým vazníkem

Název bakalářské práce anglicky:

Steel structure design of an arched sports hall

Pokyny pro vypracování:

Návrh nosné ocelové konstrukce, jejích hlavních prvků (vnitřní vazba, štítová stěna, ztužení) a vybraných detailů. Výkresová dokumentace konstrukce (půdorys, vybrané řezy, pohledy, navržené detaily). Technická zpráva.

Seznam doporučené literatury:

Návrh konstrukce bude proveden dle evropských norem. Tj. zejména využití částí ČSN EN 1991 a ČSN EN 1993.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

prof. Ing. Michal Jandera, Ph.D. katedra ocelových a dřevěných konstrukcí FSV

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

Datum zadání bakalářské práce: **19.02.2024** Termín odevzdání bakalářské práce: _____

Platnost zadání bakalářské práce: _____

prof. Ing. Michal Jandera, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Ocelová konstrukce sportovní haly s obloukovým vazníkem zpracoval samostatně za použití uvedené literatury a pramenů pod vedením prof. Ing. Michal Jandera, Ph.D.

V Praze dne 3.5.2024

Šimon Špaček

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Michal Jandera, Ph.D. za odborné vedení, za nadstandardně věnovaný čas, pravidelné konzultace, cenné rady a připomínky, které mi poskytoval během psaní této bakalářské práce.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá statickým návrhem ocelové konstrukce sportovní haly s obloukovým vazníkem. Statický výpočet zahrnuje pouze část haly, ve které se nachází sportovní hřiště, ne tedy zázemí pro sportovce. Jedná se o obloukovou konstrukci složenou z běžných vazeb, štítových stěn a ztužujících prvků. Dále jsou navrženy doplňující konstrukční prvky (patky, obvodový a střešní plášť). Navrženy jsou také vybrané detaily, součástí je i výkresová dokumentace. Celý návrh je proveden v souladu s platnými Evropskými normami.

Klíčová slova

Sportovní hala, nosná ocelová konstrukce, oblouk, obloukový vazník, štítová stěna, technická zpráva, statický výpočet, plnostěnný svařovaný průřez, Vierendeelův nosník

Abstract

The bachelor thesis deals with the structural design of a steel structure of a sports hall with an arched girder. The structural design includes only the part of the hall where the sports field is located, not the facilities for athletes. It is an arch structure consisting of regular frames, gable walls and bracings. Additional structural elements (footings, roofing and cladding) are also designed. Selected details and their drawings are also included. The entire design is carried out in accordance with the current European standards.

Keywords

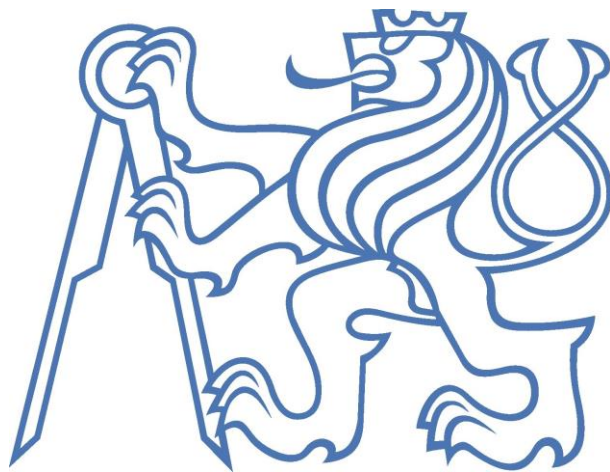
Sports hall, supporting steel structure, arch, arch girder, gable wall, technical report, structural design calculation, welded I section, Vierendeel beam

Obsah

1. Technická zpráva
2. Statický výpočet
3. Výkresová dokumentace
4. Přílohy

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



Ocelová konstrukce sportovní haly s obloukovým vazníkem

Technická zpráva

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Pozemní stavby

Vedoucí práce: prof. Ing. Michal Jandera, Ph.D.

ŠIMON ŠPAČEK
Praha, 2024

OBSAH

Obsah.....	- 1 -
1 Základní údaje o objektu.....	- 2 -
1.1 Obecný popis stavby.....	- 2 -
1.2 Podklady pro zhotovení projektu.....	- 2 -
1.3 Použitý software.....	- 2 -
2 Základní charakteristika konstrukčního řešení	- 3 -
2.1 Urbanistické, architektonické a dispoziční řešení stavby.....	- 3 -
2.2 Technické řešení stavby.....	- 3 -
2.2.1 Základová konstrukce.....	- 3 -
2.2.2 Příčná běžná vazba.....	- 3 -
2.2.3 Příčná druhá vazba.....	- 3 -
2.2.4 Štítová vazba.....	- 4 -
2.2.5 Příčné ztužidlo.....	- 4 -
2.2.6 Podélné ztužidlo.....	- 4 -
2.2.7 Střešní plášť.....	- 4 -
2.2.8 Obvodový pláš.....	- 4 -
3 Zatížení	- 5 -
3.1 Stálé zatížení.....	- 5 -
3.2 Užité zatížení.....	- 5 -
3.3 Proměnné zatížení – sníh.....	- 5 -
3.4 Proměnné zatížení – vítr.....	- 5 -
4 Materiály	- 5 -
5 Ochrana ocelových prvků.....	- 5 -
5.1 Klasifikace prostředí	- 5 -
5.2 Ochranné opatření.....	- 5 -
6 Požární odolnost	- 5 -
7 Výrobní třída	- 6 -
8 Montážní postup	- 6 -

1. Základní údaje o objektu

1.1. Obecný popis stavby

Předmětem projektu je novostavba sportovní haly v Kutné Hoře ve Středočeském kraji. Hala je jednodílná, hlavní část je jednopodlažní, zde se nachází víceúčelové sportovní hřiště o rozměrech 20x40m, druhá část je dvoupodlažní s tribunou, hygienickým zázemím, skladem a šatnami.

1.2. Podklady pro zhotovení projektu

Normy:

ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Část 1-1 Obecná zatížení
- Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb

ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Část 1-3: Obecná zatížení
- Zatížení sněhem

ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení –
Zatížení větrem

ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-1:
Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 1993-1-5 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-5:
Boulení stěn

ČSN EN 1993-1-3 Eurokód 1: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-3:
Doplňující pravidla pro tenkostěnné za studena tvarované prvky a plošné profily

ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 1: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-8:
Navrhování styčnicků

Skripta:

Vraný, T. – Wald. F.: Ocelové konstrukce, Tabulky, ČVUT Praha, 2004.

Odborné články:

Tzb-info.cz, [online]. [vid. 8.8.2022]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/ocelove-konstrukce/24174-vzperne-delky-ocelovych-oblouku-cast-1-dvojklobove-a-vetknute-oblouky>

1.3. Použitý software

Dlubal RFEM 6.05

MS Word 365 2013

MS Excel 365 2013

Autodesk AutoCAD 2022

LTBeamN 1.0.3

PTC Mathcad Express Prime 9.0.0.0

HILTI PROFIS ENGINEERING

Notability

2. Základní charakteristika konstrukčního řešení

2.1. Urbanistické, architektonické a dispoziční řešení stavby

Předmětem je sportovní hala se zázemím pro sportovce. Objekt je pravidelného obdélníkového tvaru o celkových půdorysných rozměrech 50x25 metrů. Hala je ocelová, jednodílná s rozpětím 25 m a vzdáleností vazeb 5 m, střecha je oblouková s nejvyšší výškou vazby 9,9 m. Část haly, kde se nachází zázemí pro sportovce, je dvoupodlažní zděná konstrukce.

2.2. Technické řešení stavby

2.3.1. Základová konstrukce

Ocelová konstrukce haly je založena na základových patkách z prostého betonu C20/25. Sloupy podpírající vazník jsou kloubově uloženy do patek. Sloup je kotven chemickými kotvami do základu přes patní plech o tloušťce 15 mm a podlití 30 mm. Navržené kotvy se liší podle vazby a druhu sloupu, například v běžné vazbě jsou navrženy kotvy HAS-U 5.8 HDG M20-180 mm lepený do betonu lepicí hmotou HIT-HY 200 A V3, další návrhy viz statický výpočet kapitola 16. Základové patky jsou čtvercového půdorysu o minimálních rozměrech 1150x1150x800 mm pro štítové sloupy, 1900x1900x1000 mm pro ostatní běžné sloupy. Detailní návrh základových konstrukcí není součástí statického výpočtu, navržené rozměry jsou určeny na základě zjednodušeného postupu viz statický výpočet kapitoly 16.1.4. a 16.2.5. Podkladní deska je tloušťky 150 mm.

2.3.2. Příčná běžná vazba

Příčná vazba haly je navržena jako oblouková, dvoukloubová. Příčná tuhost je zajištěna tuhostí obloukové vazby, která se skládá ze dvou sloupů a vazníku, ty však nemají žádný spoj, tvoří jednu souvislou vazbu, která je ve třetinách dělena na dílce, ale tuze spojena momentovým přípojem. Průřez vazby je svařovaný. V patě je průřez ve tvaru I nejmenší o rozměrech 240x10-220x4 mm, následně se rozšiřuje po výšce sloupu 2 m až do rozměru 240x10-460x4 mm, dále už je průřez na oblouku konstantní. Celková délka vazby je 31 m a poloměr rádiusu oblouku je 13,568 m.

2.3.3. Příčná druhá vazba

Jedná se o vazbu, která je následující po štítové stěně, tedy vazba B a J. Stejně jako v běžné vazbě je tuhost v rovině vazníku zajištěna tuhostí samotné vazby. Princip a geometrie zůstává stejná, zvětšil se pouze průřez a to vlivem přenosu zatížení přes ztužidla ze štítové stěny, kdy dochází ke významnému zvýšení vnitřních sil (více viz statický výpočet kapitola 16), proto má tato vazba větší

tloušťku pásnice z 10 mm na 12 mm, tedy v patě vazby I 240x12-216x4 až I 240x12-456x12 mm.

2.3.4. Štítová vazba

Štítová vazba haly je opět navržena jako oblouková, dvoukloubová, která je ale v pětinách vazníku podepřena čtyřmi štítovými kloubovými sloupy. Příčná tuhost je zajištěna tuhostí obloukové vazby a dvou krajních sloupů, které jsou tuze spojeny momentovým přípojem. Vazník je rozdělen ve vrcholu na polovinu z důvodu dopravy a montáže, v tomto místě dělení je pět tuze spojen momentovým přípojem. Průřez vazníku i sloupu je profilu HEA 160, který bude ohýbán za studena. Celková délka vazby je 31.5 m a poloměr rádiusu oblouku je 13,791 m.

2.3.5. Příčné ztužidlo

Zatížení na štítové stěny je zachyceno čtyřmi příčnými ztužidly, první dvě leží ve střešní rovině haly v poli sousedící se štítovou stěnou. Nejprve mezi osami A a B na straně haly a další je v poli mezi osami J a K. Příčné ztužidlo je tvořeno diagonálními táhly z tyčí o průměru 20 mm a svislic z trubek TR 76/4. Reakce z příčných ztužidel se přenáší do sloupů vazby a podélných ztužidel. Další dvě příčná ztužidla leží v prostředních polích štítových stěn. Ztužidlo se skládá ze dvou trubek TR 102/4,0 připojených křížem k patě a horní části sloupů.

2.3.6. Podélné ztužidlo

Podélné ztužidlo zajišťuje v kombinaci s příčným ztužidlem podélnou tuhost haly. Nachází se v úrovni stěn ve stejných dvou polích jako příčná střešní ztužidla. Ztužidlo se skládá ze dvou trubek TR 70/4,0 připojených křížem k patě a horní části sloupů. Zatížení z podélného ztužidla je distribuováno do základových konstrukcí haly. Dále jsou podélná ztužidla v celé délce haly zajišťující vazník proti příčnému posunu. Toto ztužidlo je z trubek TR 76/4,0, nachází se ve vrcholech sloupů a v každé pětině vazníku, celkově jich je tedy v každé vazbě 6.

2.3.7. Střešní plášť

Střešní plášť haly je tvořen trapézovým plechem TR 135/310 0,88mm, který je kladen prostě či přes dvě pole kolmo na rovinu vazníků v šachovnicovém systému (více viz statický výpočet kapitola 3.). Plech je připevněn samovrtnými pozinkovanými šrouby do horních pásnic obloukového vazníku. Dále se pokračuje se skládaným souvrstvím střechy dle návrhu projektanta

2.3.8. Obvodový plášť

Obvodový plášť haly je tvořen kazetovým systémem Rockprofil se svislým nízkoprofilovým trapézovým plechem TR 8/88 0,63mm. Kazety jsou typu K120/600 B o tloušťkách 0,75 až 0,88mm dle umístění (více viz statický výpočet kapitola 4). Trapézový plech je připevněn do kazet přes distanční šrouby, kazety jsou potom kotveny do pásnic sloupů přes samovrtné pozinkované šrouby.

3. Zatížení

Uvedeny jsou charakteristické hodnoty zatížení. Pro získání hodnot návrhových bylo provedeno přenásobení patřičným dílčím součinitelem bezpečnosti γ , který byl uvažován hodnotou 1,35 pro stálá a 1,5 pro proměnná zatížení. Zároveň byl zohledněn kombinační součinitel Ψ pro kombinace proměnných zatížení dle ČSN EN 1990.

3.1. Stálá zatížení

Vlastní tíha ocelových konstrukcí je vypočtena programem Dlubal RFEM 6.05. Ostatní vlastní tíhy jsou rozepsány ve statickém výpočtu.

3.2. Užité zatížení

Střecha je nepochozí s výjimkou běžné údržby a oprav. Není uvažováno zatížení 0,75 kN/m² (kategorie H dle ČSN EN 1991-1-1), protože zatížení sněhem má větší hodnotu a není uvažován případ souběžnosti obou zatížení. Zjednodušeně bylo ale započteno užité zatížení od technologie haly (osvětlení, vzduchotechnika...) a to hodnotou 0,2 kN/m², která byla odhadnuta.

3.3. Zatížení proměnná - sníh

Objekt se nachází v Kutné Hoře – sněhová oblast I. Střecha objektu je oblouková, uvažují se 3 návrhové situace dle ČSN EN 1991-1-3. Podrobněji viz statický výpočet kapitola 2.

3.4. Zatížení proměnná - vítr

Objekt se nachází v Kutné Hoře – větrná oblast II, kategorie terénu III → oblast rovnoměrně pokrytá vegetací nebo budovami s izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je maximálně 20m násobek výšky překážky. Střecha objektu je oblouková, příčný vítr uvažují dle ČSN EN 1991-1-4. postup pro obloukové střechy, podélný dle ČSN EN 1991-1-4. postup pro sedlové střechy z důvodu chybějícího postupu pro obloukové střechy. Podrobněji viz statický výpočet kapitola 2.

4. Materiály

Hlavní prvky ocelové konstrukce věže jsou navrženy z oceli S235JR. Použité šrouby jsou jakosti 8.8. Beton použit na základech je C20/25. Pro kotvení ocelového patního plechu patky je použit HAS-U 5.8 HDG M20-180mm a HAS-U 8.8 HDG M30-380mm lepený do betonu lepící hmotou HIT-HY 200 A V3. Trapézové plechy jsou materiálu S320GD a kazety S320.

5. Ochrana ocelových prvků

5.1. Klasifikace prostředí

Protikorozní ochrana je navržena v souladu s ČSN EN ISO 12944. Stupeň korozní gresivity: C2 – nízká (prostory s občasou kondenzací). Předpokládaná životnost (VH) > 25 let.

5.2. Ochranné opatření

Příprava povrchu Sa 21/2 – Otrýskávání. Zvolený nátěrový systém ISO 12944 – 5/A2.02. Požadovaná tloušťka suchého povlaku vrchního nátěru o tloušťce 200 µm. Ocelové profily budou natřeny dílensky 1x základním nátěrem a 1x vrchním nátěrem. Připeňovací šrouby trapézového plechu a kazet budou žárově zinkované.

6. Požární odolnost

Požadavky na požární odolnost konstrukcí odhadované PBR - 15min. V tomto projektu se požární odolnost konstrukcí blíže neposuzuje.

7. Výrobní třída

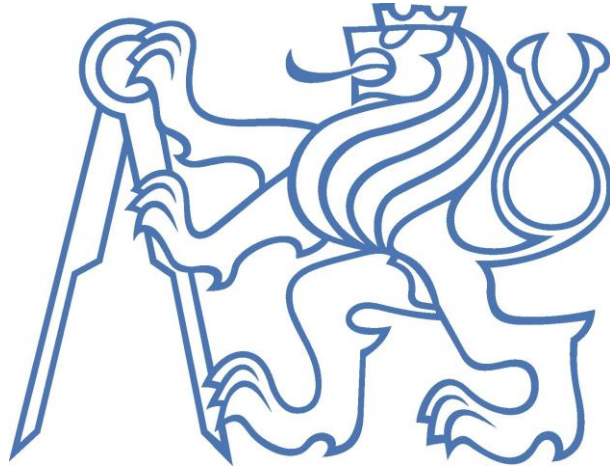
Konstrukce spadá do třídy provedení EXC2. Podrobněji se klasifikuje do třídy následků CC2 – střední následky s ohledem na životy. Rizika spojená s používáním konstrukce SC1 – jedná se o budovu. Na závěr kategorie rizik s prováděním konstrukce je PC1 – svařované dílce do oceli s nižší pevností než S355.

8. Montážní postup

Nejprve na již hotové patky se začne s montáží příčné vazby a to s druhou na ose B. Přikotví se patní plech, který je již přivařený k sloupu s částí obloukového vazníku. Ten má již na druhé straně přivařenou čelní desku montážního spoje ve třetině celkové délky vazníku. Tato část vazníku a sloupu bude přivezena jako jeden dílec. To stejné se provede i na druhé straně. Následně se přimontuje poslední třetina obloukového vazníku, který má také přivařenou čelní desku na každém konci již z výroby. Vazník se přišroubuje v třetinách v místě montážního spoje. Ihned po montáži prvního dílce se konstrukce první vazby dočasně podepře. Dále se bude pokračovat se štítovou vazbou, kde se opět začne se sloupy příčných vazby, následně vnitřní sloupy a poté vazníkem. V dalším kroku se provede střešní a stěnové ztužení, jakmile se všechno provedlo a ujistilo se, že všechny spoje plně fungují, tak se může odstranit podepření první a druhé vazby. Dále se již pokračuje plynule s každou další vazbou, která se jen propojí s tou předchozí pomocí střešních ztužidel a nejsou tak potřeba další dočasná podepření, konstrukce by měla být dostatečně tuhá.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



Ocelová konstrukce sportovní haly s obloukovým vazníkem

Statický výpočet

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Pozemní stavby

Vedoucí práce: prof. Ing. Michal Jandera, Ph.D.

ŠIMON ŠPAČEK
Praha, 2024

OBSAH

Obsah	-1-
1. Schéma dispozice haly	-7-
2. Výpočet zatížení	-8-
2.1. Výpočet zatížení - sníh.....	-8-
2.2. Výpočet zatížení - vítr.....	-8-
2.2.1. Dynamický tlak větru.....	-8-
2.2.2. Tlak větru na vnější povrch.....	-9-
3. Návrh a posouzení střešní kce - trapézový plech	-12-
3.1. Návrh střešního pláště.....	-12-
3.1.1. Schéma skladby střešního pláště.....	-12-
3.1.2. Schéma rozmístění trapézového plechu.....	-12-
3.2. Výpočet zatížení.....	-12-
3.2.1. Hrubý výpočet vlastní tíhy střešní kce.....	-12-
3.2.2. Výpočet zatížení.....	-13-
3.3. Posouzení trapézového plechu.....	-14-
4. Návrh a posouzení obvodové kce - kazetový sklád. systém	-15-
4.1. Návrh obvodového pláště.....	-15-
4.1.1. Schéma skladby obvodového pláště.....	-15-
4.1.2. Schéma rozmístění obvodového pláště.....	-15-
4.2. Hrubý výpočet zatížení.....	-16-
4.2.1. Hrubý výpočet vlastní tíhy obvodového pláště.....	-16-
4.2.2. Výpočet zatížení.....	-16-
4.3. Posouzení kazety.....	-16-
5. Zatížení příčné vazby	-17-
5.1. Výpočet zatížení.....	-18-
5.1.1. Stálé zatížení.....	-18-
5.1.2. Minimální stálé zatížení.....	-18-
5.1.3. Proměnné zatížení - sníh.....	-18-
5.1.4. Proměnné zatížení - vítr příčný.....	-19-
5.1.5. Proměnné zatížení - vítr podélný.....	-20-
5.1.6. Užité zatížení - technologie haly.....	-21-
5.2. Imperfekce a stabilita.....	-21-
6. Předběžný návrh příčné vazby - varianta plnostěnný svař. I průřez	-22-
6.1. Model konstrukce.....	-22-
6.1.1. Schéma konstrukčního řešení.....	-22-
6.1.2. Výpočetní model.....	-23-
6.2. Zatěžovací stavy a rozhodující kombinace.....	-23-
6.2.1. Zatěžovací stavy.....	-23-
6.2.2. Rozhodující kombinace.....	-26-
6.3. Vnitřní síly, deformace a napětí.....	-27-
6.3.1. Vnitřní síly.....	-27-
6.3.2. Deformace.....	-29-
6.3.3. Napětí.....	-30-
6.4. Navržený průřez.....	-31-
6.5. Předběžné posouzení průřezu.....	-31-
6.5.1. MSÚ.....	-31-

6.5.2. MSP.....	-31-
7. Předběžný návrh příčné vazby - varianta Vierendeel.....	-33-
7.1. Model konstrukce.....	-33-
7.1.1. Schéma konstrukčního řešení.....	-33-
7.1.2. Výpočetní model.....	-34-
7.2. Zatěžovací stavy a rozhodující kombinace.....	-34-
7.2.1. Zatěžovací stavy.....	-34-
7.2.2. Rozhodující kombinace.....	-37-
7.3. Vnitřní síly, deformace a napětí.....	-39-
7.3.1. Vnitřní síly.....	-39-
7.3.2. Deformace.....	-41-
7.3.3. Napětí.....	-42-
7.4. Navržený průřez.....	-42-
7.5. Předběžné posouzení průřezu.....	-43-
7.5.1. MSÚ.....	-43-
7.5.2. MSP.....	-43-
8. Porovnání obou variant a zvolení výsledné.....	-44-
8.1. Parametry porovnání.....	-44-
8.1.1. Vypočtené hmotnosti kce.....	-44-
8.1.2. Výhody a nevýhody obou variant.....	-44-
8.2. Výsledná varianta.....	-44-
8.2.1. Vybraná varianta.....	-44-
8.2.2. Odůvodnění vybrané varianty.....	-44-
9. Podrobný návrh a výpočet příčné vazby zvolené var. 1- pln. svař. I prof.....	-45-
9.1. Model konstrukce.....	-45-
9.2. Zatěžovací stavy a rozhodující kombinace.....	-45-
9.2.1. Zatěžovací stavy.....	-45-
9.2.2. Rozhodující kombinace.....	-45-
9.2.3. Imperfekce.....	-45-
9.2.4. Stabilita.....	-46-
9.3. Vnitřní síly a napětí.....	-46-
9.3.1. Vnitřní síly.....	-46-
9.3.2. Deformace.....	-48-
9.3.3. Napětí.....	-49-
9.4. MSP.....	-49-
9.5. Návrh a posouzení sloupu.....	50-
9.5.1. Navržený průřez.....	-50-
9.5.1.1. Navržený průřez - vrchol sloupu.....	-50-
9.5.1.2. Zatřídění průřezu - vrchol sloupu.....	-50-
9.5.1.3. Navržený průřez - pata sloupu.....	-51-
9.5.1.4. Zatřídění průřezu - pata sloupu.....	-51-
9.5.1.5. Výpočet účinného průřezu - tlak.....	-53-
9.5.1.6. Výpočet účinného průřezu - ohyb.....	-54-
9.5.2. MSÚ.....	-55-
9.6. Návrh a posouzení obloukového vazníku.....	-59-
9.6.1. Navržený průřez.....	-59-
9.6.1.1. Navržený průřez.....	-59-
9.6.1.2. Zatřídění průřezu.....	-59-

9.6.1.3. Výpočet účinného průřezu - tlak.....	-60-
9.6.1.4. Výpočet účinného průřezu - ohyb.....	-61-
9.6.2. MSÚ.....	-62-
10. Alternativní výpočet příčné vazby na oblouk. vazníku.....	-67-
10.1. Model konstrukce.....	-67-
10.2. Zatěžovací stavy a rozhodující kombinace.....	-67-
10.2.1. Zatěžovací stavy.....	-67-
10.2.2. Rozhodující kombinace.....	-67-
10.2.3. Imperfekce.....	-67-
10.2.4. Stabilita.....	-68-
10.3. Vnitřní síly, deformace a napětí.....	-68-
10.3.1. Vnitřní síly.....	-68-
10.3.2. Deformace.....	-70-
10.3.3. Napětí.....	-71-
10.4. MSP.....	-71-
10.5. Návrh a posouzení sloupu.....	-72-
10.5.1. Navržený průřez.....	-72-
10.5.1.1. Navržený průřez - vrchol sloupu.....	-72-
10.5.1.2. Zatřídění průřezu - vrchol sloupu.....	-72-
10.5.1.3. Navržený průřez - pata sloupu.....	-74-
10.5.1.4. Zatřídění průřezu - pata sloupu.....	-74-
10.5.1.5. Výpočet účinného průřezu - tlak.....	-75-
10.5.1.6. Výpočet účinného průřezu - ohyb.....	-76-
10.5.2. MSÚ.....	-77-
10.6. Návrh a posouzení obloukového vazníku.....	-79-
10.6.1. Navržený průřez.....	-79-
10.6.1.1. Navržený průřez.....	-79-
10.6.1.2. Zatřídění průřezu.....	-80-
10.6.1.3. Výpočet účinného průřezu - tlak.....	-81-
10.6.1.4. Výpočet účinného průřezu - ohyb.....	-81-
10.6.2. MSÚ.....	-82-
11. Porovnání a zhodnocení výpočetní postupů.....	-86-
11.1. Výsledky variant výpočtů.....	-86-
11.2. Shrnutí a porovnání variant.....	-86-
12. Zkrácený návrh a výpočet příčné běžné vazby.....	-87-
12.1. Model konstrukce.....	-87-
12.2. Zatěžovací stavy a rozhodující kombinace.....	-87-
12.2.1. Zatěžovací stavy.....	-87-
12.2.2. Rozhodující kombinace.....	-87-
12.2.3. Imperfekce.....	-87-
12.2.4. Stabilita.....	-87-
12.3. Vnitřní síly, deformace a napětí.....	-88-
12.3.1. Vnitřní síly.....	-88-
12.3.2. Deformace.....	-90-
12.3.3. Napětí.....	-91-
12.4. MSP.....	-91-
12.5. Návrh a posouzení sloupu a vazníku.....	-92-
12.5.1. Navržený průřez.....	-92-

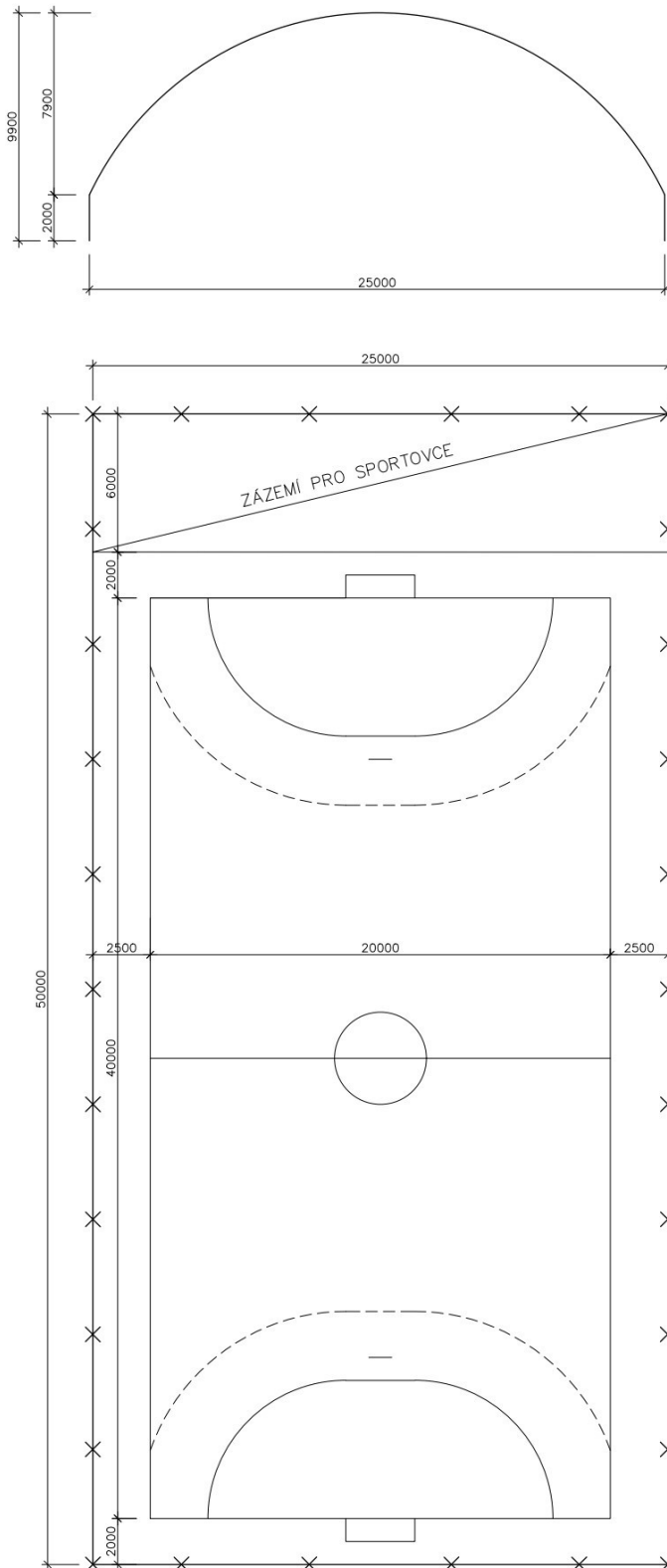
12.5.1.1. Navržený průřez - vazník a vrchol sloupu.....	-92-
12.5.1.2. Navržený průřez - pata sloupu.....	-92-
12.5.2. MSÚ.....	-92-
13. Zatížení štítové příčné vazby.....	-94-
13.1. Výpočet zatížení.....	-94-
13.1.1. Stálé zatížení.....	-94-
13.1.2. Minimální stálé zatížení.....	-95-
13.1.3. Proměnné zatížení - sníh.....	-95-
13.1.4. Proměnné zatížení - vítr příčný.....	-96-
13.1.5. Proměnné zatížení - vítr podélný.....	-99-
13.1.6. Užité zatížení - technologie haly.....	-101-
13.2. Imperfekce a stabilita.....	-101-
14. Podrobný návrh a výpočet příčné vazby štítové stěny.....	-102-
14.1. Model konstrukce.....	-102-
14.2. Zatěžovací stavy a rozhodující kombinace.....	-102-
14.2.1. Zatěžovací stavy.....	-102-
14.2.2. Imperfekce.....	-105-
14.2.3. Stabilita.....	-106-
14.3. Návrh a posouzení obloukového vazníku štítové vazby.....	-106-
14.3.1. Rozhodující kombinace, vnitřní síly, deformace a napětí.....	-106-
14.3.1.1. Rozhodující kombinace.....	-106-
14.3.1.2. Vnitřní síly.....	-108-
14.3.1.3. Deformace.....	-110-
14.3.1.4. Napětí.....	-111-
14.2.2. Navržený průřez.....	-112-
14.2.2.1. Navržený průřez.....	-112-
14.2.2.2. Zatřídění průřezu.....	-112-
14.2.3. MSÚ.....	-113-
14.2.4. MSP.....	-118-
14.3. Návrh a posouzení krajního sloupu.....	-119-
14.3.1. Rozhodující kombinace, vnitřní síly, deformace a napětí.....	-119-
14.3.1.1. Rozhodující kombinace.....	-119-
14.3.1.2. Vnitřní síly.....	-120-
14.3.1.3. Deformace.....	-121-
14.3.1.4. Napětí.....	-122-
14.3.2. Navržený průřez.....	-122-
14.3.2.1. Navržený průřez.....	-122-
14.3.2.2. Zatřídění průřezu.....	-122-
14.3.3. MSÚ.....	-123-
14.3.4. MSP.....	-127-
14.4. Návrh a posouzení vnitřního sloupu B a E.....	-128-
14.4.1. Rozhodující kombinace, vnitřní síly, deformace a napětí.....	-128-
14.4.1.1. Rozhodující kombinace.....	-128-
14.4.1.2. Vnitřní síly.....	-129-
14.4.1.3. Deformace.....	-130-
14.4.1.4. Napětí.....	-131-
14.4.2. Navržený průřez.....	-131-
14.4.2.1. Navržený průřez.....	-131-

14.4.2.2. Zatřídění průřezu.....	-132-
14.4.3. MSÚ.....	-132-
14.4.4. MSP.....	-135-
14.5. Návrh a posouzení vnitřního sloupu C a D.....	-136-
14.5.1. Rozhodující kombinace, vnitřní síly, deformace a napětí.....	-136-
14.5.1.1. Rozhodující kombinace.....	-136-
14.5.1.2. Vnitřní síly.....	-137-
14.5.1.3. Deformace.....	-138-
14.5.1.4. Napětí.....	-139-
14.5.2. Navržený průřez.....	-139-
14.5.2.1. Navržený průřez.....	-139-
14.4.2.2. Zatřídění průřezu.....	-140-
14.5.3. MSÚ.....	-140-
14.5.4. MSP.....	-143-
15. Podrobný návrh a výpočet ztužidel.....	-144-
15.1. Model konstrukce.....	-144-
15.2. Stěnové ztužidlo - štítová stěna.....	-144-
15.2.1. Rozhodující kombinace a vnitřní síly.....	-144-
15.2.1.1. Rozhodující kombinace.....	-144-
15.2.1.2. Vnitřní síly.....	-145-
15.2.2. Navržený průřez.....	-145-
15.2.3. MSÚ.....	-146-
15.3. Stěnové ztužidlo - podélná stěna.....	-147-
15.3.1. Rozhodující kombinace a vnitřní síly.....	-147-
15.3.1.1. Rozhodující kombinace.....	-147-
15.3.1.2. Vnitřní síly.....	-147-
15.3.2. Navržený průřez.....	-148-
15.3.3. MSÚ.....	-148-
15.4. Střešní ztužidlo - diagonála.....	-149-
15.4.1. Rozhodující kombinace a vnitřní síly.....	-149-
15.4.1.1. Rozhodující kombinace.....	-149-
15.4.1.2. Vnitřní síly.....	-150-
15.4.2. Navržený průřez.....	-150-
15.4.3. MSÚ.....	-150-
15.5. Střešní ztužidlo - svislice.....	-151-
15.5.1. Rozhodující kombinace a vnitřní síly.....	-151-
15.5.1.1. Rozhodující kombinace.....	-151-
15.5.1.2. Vnitřní síly.....	-151-
15.5.2. Navržený průřez.....	-152-
15.5.3. MSÚ.....	-152-
16. Přeposouzení příčné druhé vazby.....	-154-
16.1. Rozhodující kombinace.....	-154-
16.2. Vnitřní síly, deformace a napětí.....	-157-
16.2.1. Vnitřní síly.....	-157-
16.2.2. Deformace.....	-158-
16.2.3. Napětí.....	-160-
16.3. Přeposouzení.....	-160-
16.3.1. MSP.....	-160-

16.3.1. MSÚ.....	-161-
17. Návrh a posouzení spojů.....	-163-
17.1. Návrh přípoje sloup-patka-stěnové ztužidlo.....	-163-
17.1.1. Návrh a posouzení šroubového spoje.....	-163-
17.1.2. Návrh a posouzení koutového svaru.....	-164-
17.1.3. Návrh a posouzení koutového svaru.....	-164-
17.1.4. Návrh a posouzení koutového svaru.....	-165-
17.1.5. Návrh a posouzení patky.....	-166-
17.1.6. Návrh a posouzení smykové únosnosti patky.....	-167-
17.2. Návrh přípoje sloup-patka-štitové ztužidlo.....	-168-
17.2.1. Návrh a posouzení šroubového spoje.....	-168-
17.2.2. Návrh a posouzení koutového svaru.....	-169-
17.2.3. Návrh a posouzení koutového svaru.....	-170-
17.2.4. Návrh a posouzení koutového svaru.....	-170-
17.2.5. Návrh a posouzení patky.....	-171-
17.2.6. Návrh a posouzení smykové únosnosti patky.....	-172-
17.3. Návrh montážního přípoje vazník-vazník.....	-173-
17.3.1. Schéma montážního spoje a rozhodující vnitřní síly.....	-173-
17.3.2. Návrh a posouzení svarů.....	-174-
17.3.3. Návrh čelní desky.....	-175-
17.3.4. Návrh a posouzení šroubů.....	-175-
17.3.4.1. Návrh a prozmístění šroubů.....	-175-
17.3.4.2. Smyková únosnost šroubů.....	-175-
17.3.4.3. Návrh a posouzení šroubů v tahu.....	-176-
17.3.5. Únosnost základních komponent.....	-179-
17.3.6. Rozdělení sil a momentové únosnosti.....	-179-
17.4. Návrh přípoje sloup-patka-stěnové ztužidlo.....	-180-
17.4.1. Návrh a posouzení šroubového spoje.....	-180-
17.4.2. Návrh a posouzení šroubového spoje.....	-181-
17.4.3. Návrh a posouzení koutového svaru.....	-182-
17.4.4. Návrh a posouzení koutového svaru.....	-182-
17.4.5. Návrh a posouzení koutového svaru.....	-183-
17.5. Návrh přípoje sloup-patka-stěnové ztužidlo.....	-183-
17.5.1. Návrh a posouzení šroubového spoje.....	-183-
17.5.2. Návrh a posouzení koutového svaru.....	-184-
17.5.3. Návrh a posouzení koutového svaru.....	-185-
17.5.4. Návrh a posouzení šroubového spoje.....	-185-
17.5.5. Návrh a posouzení koutového svaru.....	-186-

STATICKÝ VÝPOČET

1. SCHÉMA DISPOZICE SPORTOVNÍ HALY



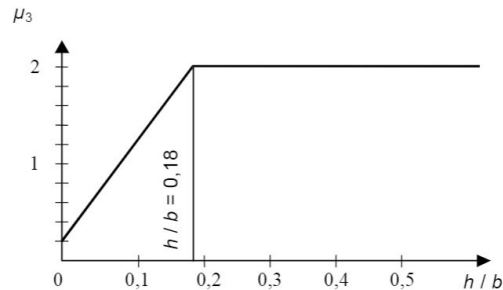
obr. 1 - schéma dispozice haly

2. VÝPOČET ZATÍŽENÍ

2.1. VÝPOČET ZATÍŽENÍ - SNÍH

- Sněhová oblast I => $S_k=0,7$ kPa

$$S = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k$$



Obr. 5.4 Tvarový součinitel μ_3 pro válcové střechy a $\beta \leq 60^\circ$

obr. 2 - tvarový součinitel μ_3

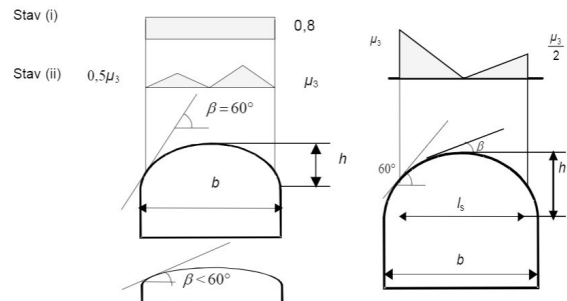
Stav (i)

$$\begin{aligned} \mu_1 &:= 0.8 \\ S_1 &:= 0.8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.7 = 0.56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

Stav (ii)

$$\begin{aligned} \mu_3 &:= 2 \\ S_3 &:= 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.7 = 1.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

(lokalita - Kutná Hora)



Obr. 5.5 Zatížení válcové střechy

obr. 3 - zatížení válcové střechy

$$h_{st} := 7.9 \text{ m} \quad b := 25 \text{ m}$$

$$\frac{h_{st}}{b} = 0.316$$

$$l_s := b - 2 \cdot 1.1 \text{ m} = 22.8 \text{ m}$$

-pozn.: 1,1m je vzdálenost od kraje, kde $\beta < 60^\circ$, naměřeno v programu AutoCAD

2.2. VÝPOČET ZATÍŽENÍ - VÍTR

2.2.1. Dynamický tlak větru

- Větrná oblast II

(lokalita zvolena - Kutná Hora)

$$V_{b,0} := 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Základní rychlost větru:

$$v_b := C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0} = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Základní tlak větru:

$$q_b := \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = 390.625 \text{ Pa}$$

- Maximální dynamický tlak:

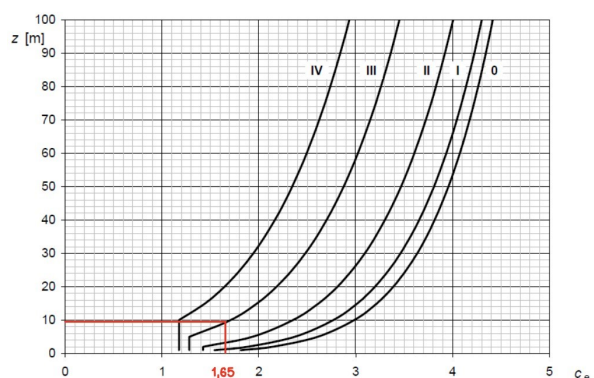
- kategorie terénu III.

- výška budovy 9,9m

$$\Rightarrow C_e := 1.65$$

$$q_p := C_e \cdot q_b = 644.531 \text{ Pa}$$

$$C_{dir} := 1 \quad C_{season} := 1 \quad \rho := 1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$



Obrázek 4.2 – Součinitel expozice $c_e(z)$ pro $c_s = 1,0$ a $k_1 = 1,0$

obr. 4 - součinitel expozice c_e

2.2.2. Tlak větru na vnější povrch

-součinitele vnějšího tlaku C_{pe} - oblast svislé stěny

a) podélný vítr

$$h := 9.9 \text{ m}$$

$$b := 25 \text{ m} > 2 \cdot h = 19.8 \text{ m}$$

$$e := 2 \cdot h = 19.8 \text{ m}$$

$$d := 50 \text{ m}$$

$$e < d$$

$$A_{p.v.} := \frac{e}{5} = 3.96 \text{ m}$$

$$B_{p.v.} := 4 \cdot \frac{e}{5} = 15.84 \text{ m}$$

$$C_{p.v.} := d - A_{p.v.} - B_{p.v.} = 30.2 \text{ m}$$

b) příčný vítr

$$h := 9.9 \text{ m}$$

$$b := 50 \text{ m} > 2 \cdot h = 19.8 \text{ m}$$

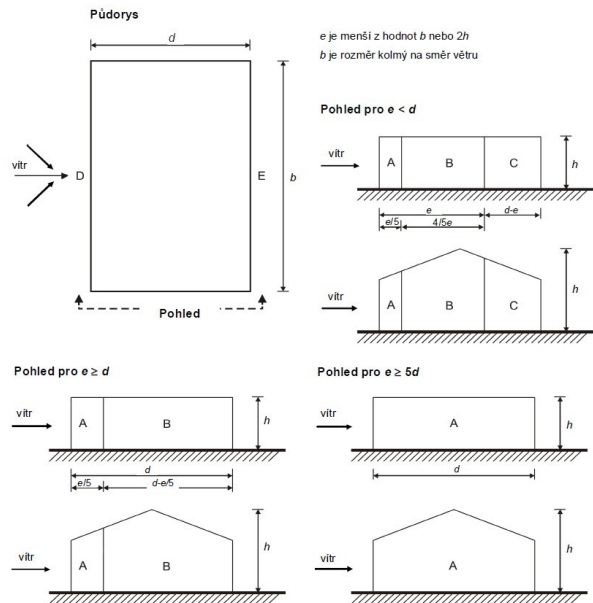
$$d := 25 \text{ m}$$

$$e := 2 \cdot h = 19.8 \text{ m}$$

$$e < d$$

$$A_{př.v.} := \frac{e}{5} = 3.96 \text{ m}$$

$$B_{př.v.} := 4 \cdot \frac{e}{5} = 15.84 \text{ m} \quad C_{př.v.} := d - A_{př.v.} - B_{př.v.} = 5.2 \text{ m}$$



obr. 5 - oblasti pro svislé stěny

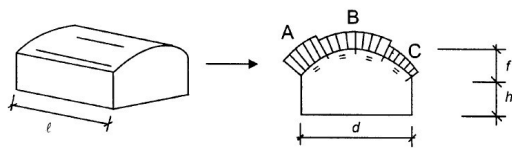
Tabulka 7.1 – Doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku pro svislé stěny pozemních staveb s pravoúhlým půdorysem

Oblast	A		B		C		D		E	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

obr. 6 - hodnoty $c_{pe,10}$ pro svislé stěny

-součinitele tlaku C_{pe} - oblast obloukové střechy

a) příčný



obr. 7 - oblasti pro obloukové střechy

$$d := 25 \text{ m} \quad h := 2 \text{ m} \quad f := 7.9 \text{ m}$$

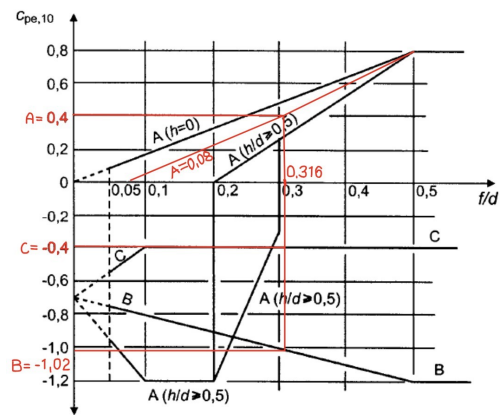
$$\frac{h}{d} = 0.08 \quad \frac{f}{d} = 0.316$$

-hodnoty C_{pe} :

$$A := 0.4$$

$$B := -1.02$$

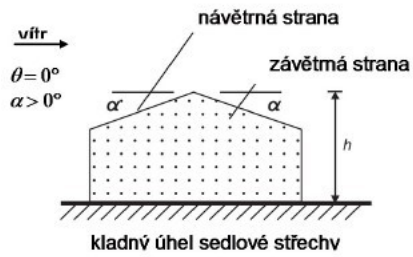
$$C := -0.4$$



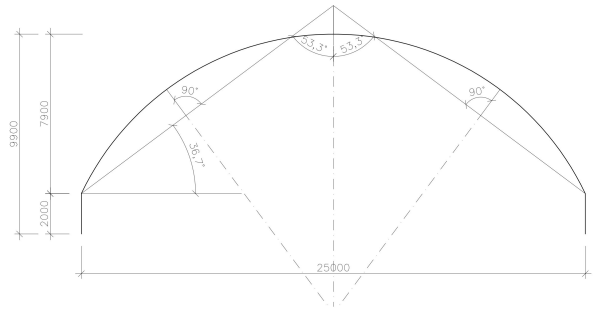
obr. 8 - graf hodnot c_{pe}

b) podélný vítr

- pozn.: uvažováno chování větru jako v případě sedlové střechy, oblouk byl zjednodušeně proložen přímkou



obr. 9 - úhel sedlové střechy



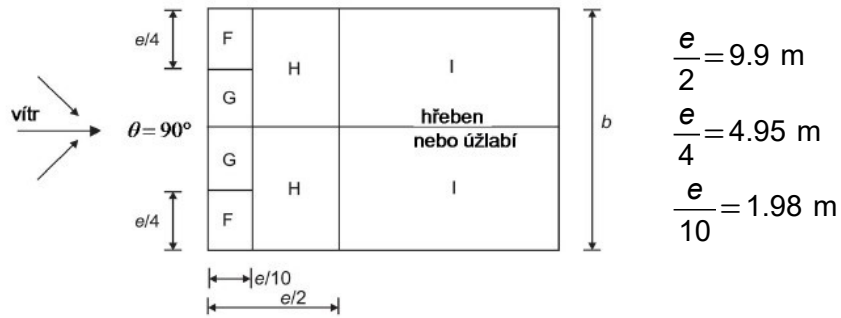
obr. 10 - proložení oblouku přímkou

$\alpha := 36.7^\circ$ - pozn.: naměřeno v programu AutoCAD

$h := 9.9$ m

$b := 25$ m $> 2 \cdot h = 19.8$ m

$2h < b \Rightarrow e = 19.8$ m



obr. 11 - půdorys oblastí sedlové střechy

Úhel sklonu α	Oblast pro směr větru $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	-1,2
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	-1,2
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	-1,2
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	-1,2
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	-1,2

obr. 12 - hodnoty $c_{pe,10}$ pro sedlové střechy

- Výpočet tlaku větru na jednotlivé oblasti:

$$W_i = C_{pe} \cdot q_b \text{ [Pa]}$$

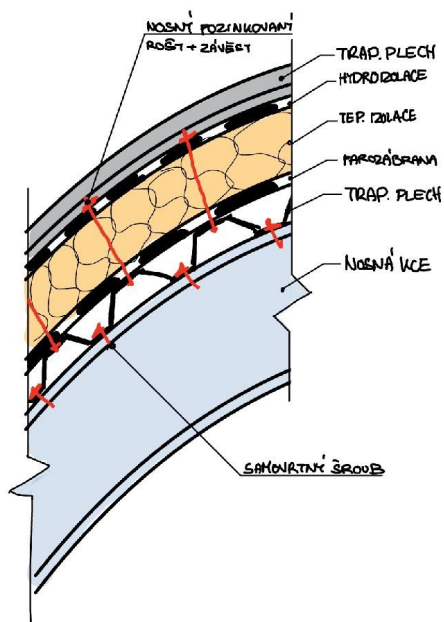
-Tab. 2.1. - Výpočet tlaku větru

		PODÉLNÝ		PŘÍČNÝ	
		C _{pe}	W _i [Pa]	C _{pe}	W _i [Pa]
STĚNA	A	-1,2	-773,44	-1,2	-773,44
	B	-0,8	-515,62	-0,8	-515,62
	C	-0,5	-322,27	-0,5	-322,27
	D	0,72	464,06	0,7	451,17
	E	-0,34	-219,14	-0,3	-193,36
STŘECHA	A			0,4	257,81
	B			-1,02	-657,42
	C			-0,4	-257,81
	F	-1,1	-708,98		
	G	-1,4	-902,34		
	H	-0,85	-515,63		
	I	-0,5	-322,27		

3. NÁVRH A POSOUZENÍ STŘEŠNÍ KCE - TRAPÉZOVÝ PLECH

3.1. NÁVRH STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ

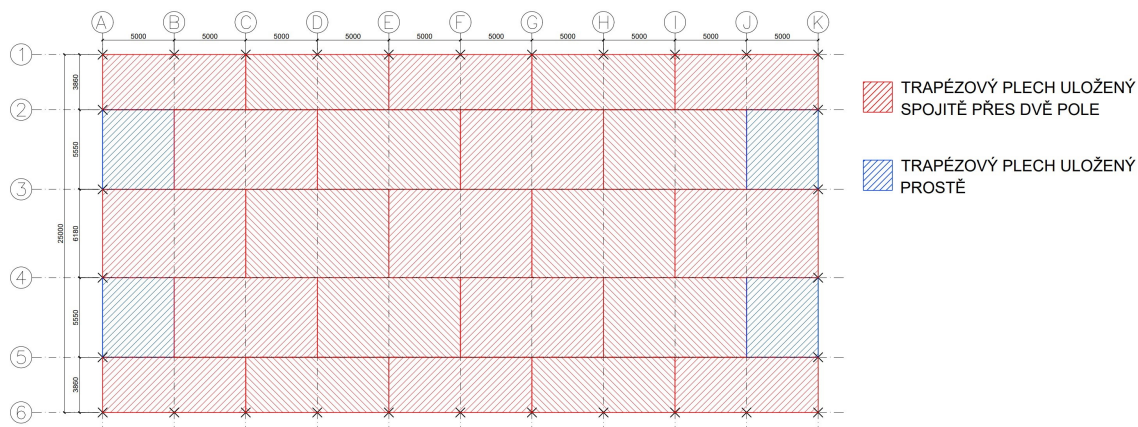
3.1.1. SCHÉMA SKLADBY STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ



- Navrhuji trapézový plech TR 135/310 0,88mm od společnosti Kovové profily, spol. s r.o.

obr. 13 - schéma skladby střešního pláště

3.1.2. SCHÉMA ROZMÍSTĚNÍ TRAPÉZOVÉHO PLECHU



obr. 13 - schéma rozmístění trapézového plechu

3.2. VÝPOČET ZATÍŽENÍ

3.2.1. HRUBÝ VÝPOČET VLASTNÍ TÍHY STŘEŠNÍ KCE

- Vlastní hmotnost skladby střešní konstrukce:

popis vrstvy:	plošné zatížení [kN/m ²]:
- finální úprava - trapézový plech	0,08
- hydroizolace	0,03
- tep. izolace - minerální vlna	0,10
- parozábrana	0,015
	Σ 0,225 kN/m ²

3.2.2. VÝPOČET ZATÍŽENÍ

-Tab. 3.1. - Výpočet zatížení kombinace pro sněh

Kombinace pro sněh			
zatížení	char. zat. [kN/m ²]	γ [-]	návrh. zat. [kN/m ²]
vl. tíha stř. pláště	0,225	1,35	0,304
vl. tíha trap. pl. 0,88mm	0,011		0,015
sněh	1,122	1,5	1,683
vítr - tlak	0,260		0,390
užitné - technologie	0,020		0,03
celkem	1,638		2,422

-pozn.: Hodnota zatížení od technologie haly byla odhadnuta, zjednodušeně přepočtena na celoplošné zatížení

-pozn.: Hodnota zatížení od sněhu byla zvolena jako maximální, bez přepočtení klesajícího zatížení z důvodu rizika přetížení jednoho žebra plechu, ale přepočtena na skutečnou plochu plechu ($\cos(\alpha)=0,802$)

-Tab. 3.2. - Výpočet zatížení kombinace pro sání od větru

Kombinace pro sání větru			
zatížení	char. zat. [kN/m ²]	γ [-]	návrh. zat. [kN/m ²]
vl. tíha stř. pláště	0,185	1	0,185
vl. tíha trap. plechu	0,011		0,011
vítr - tah	-0,902	1,5	-1,353
celkem	-0,706		-1,157

-Tab. 3.3. - tabulka únosnosti trapéz. plechu TR 135/310 - pozitivní uložení, rozpon 5m

dle ČSN EN 1993-1-3: 2010

$\gamma_{M0} = 1,00$

Deformace = $L/200$

t_N [mm]	g [kg/m ²]	Připustné rovnoměrné zatížení [kN/m ²]																					
		Rozpětí [m]																					
		3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00	
0,75	9,68	q_{R1}	8,17	6,96	6,00	5,23	4,59	4,07	3,63	3,26	2,94	2,67	2,43	2,22	2,04	1,88	1,74	1,61	1,50	1,40	1,31	1,22	1,15
		q_{R2}	3,72	3,43	3,19	2,97	2,79	2,62	2,48	2,35	2,23	2,12	2,03	1,94	1,86	1,78	1,72	1,61	1,50	1,40	1,31	1,22	1,15
		q_k	8,44	6,64	5,32	4,32	3,56	2,97	2,50	2,13	1,82	1,58	1,37	1,20	1,06	0,93	0,83	0,74	0,66	0,60	0,54	0,49	0,45
0,88	11,35	q_{R1}	10,25	8,73	7,53	6,56	5,76	5,11	4,55	4,09	3,69	3,35	3,05	2,79	2,56	2,36	2,18	2,02	1,88	1,75	1,64	1,54	1,44
		q_{R2}	5,26	4,85	4,51	4,21	3,94	3,71	3,50	3,32	3,15	3,00	2,87	2,74	2,56	2,36	2,18	2,02	1,88	1,75	1,64	1,54	1,44
		q_k	9,99	7,86	6,29	5,11	4,21	3,51	2,95	2,52	2,16	1,86	1,62	1,42	1,25	1,10	0,98	0,88	0,79	0,71	0,64	0,58	0,53
1,00	12,90	q_{R1}	11,97	10,20	8,80	7,66	6,74	5,97	5,32	4,78	4,31	3,91	3,56	3,26	2,99	2,76	2,55	2,37	2,20	2,05	1,92	1,79	1,68
		q_{R2}	6,80	6,36	5,91	5,52	5,17	4,87	4,60	4,35	4,14	3,91	3,66	3,26	2,90	2,76	2,55	2,37	2,20	2,05	1,92	1,79	1,68
		q_k	11,17	8,79	7,03	5,72	4,71	3,93	3,31	2,81	2,41	2,08	1,81	1,59	1,40	1,24	1,10	0,98	0,88	0,79	0,71	0,65	0,59
1,13	14,58	q_{R1}	13,87	11,82	10,19	8,88	7,80	6,91	6,16	5,53	4,99	4,53	4,13	3,78	3,47	3,20	2,95	2,74	2,55	2,37	2,22	2,08	1,95
		q_{R2}	8,90	8,21	7,63	7,12	6,67	6,28	5,93	5,53	4,99	4,53	4,13	3,78	3,47	3,20	2,95	2,74	2,55	2,37	2,22	2,08	1,95
		q_k	12,83	10,09	8,08	6,57	5,41	4,51	3,80	3,23	2,77	2,39	2,08	1,82	1,60	1,42	1,26	1,13	1,01	0,91	0,82	0,74	0,68
1,25	16,13	q_{R1}	15,55	13,25	11,43	9,95	8,75	7,75	6,91	6,20	5,60	5,08	4,63	4,23	3,89	3,58	3,31	3,07	2,86	2,66	2,49	2,33	2,19
		q_{R2}	10,96	10,12	9,40	8,77	8,22	7,74	6,91	6,20	5,60	5,08	4,63	4,23	3,89	3,58	3,31	3,07	2,86	2,66	2,49	2,33	2,19
		q_k	14,20	11,17	8,94	7,27	5,99	5,00	4,21	3,59	3,07	2,65	2,30	2,02	1,78	1,57	1,40	1,25	1,12	1,01	0,91	0,82	0,75
1,50	19,35	q_{R1}	18,68	15,92	13,73	11,96	10,51	9,31	8,30	7,45	6,73	6,10	5,56	5,09	4,67	4,30	3,98	3,69	3,43	3,20	2,99	2,80	2,63
		q_{R2}	11,73	10,83	10,06	9,38	8,80	8,28	7,82	7,41	6,73	6,10	5,56	5,09	4,67	4,30	3,98	3,69	3,43	3,20	2,99	2,80	2,63
		q_k	15,28	12,02	9,62	7,82	6,45	5,37	4,53	3,85	3,30	2,85	2,48	2,17	1,91	1,69	1,50	1,34	1,20	1,08	0,98	0,89	0,81

-Tab 3.4. - tabulka únosnosti trapéz. plechu TR 135/310 - negativní uložení, rozpon 5m

dle ČSN EN 1993-1-3: 2010

$\gamma_{Mo} = 1,00$

Deformace = L/200

		Připustné rovnoměrné zatížení [kN/m ²]																					
t_N [mm]	g [kg/m ²]	Rozpětí [m]																					
		3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00	
0,75	9,68	q_{R1}	7,11	6,06	5,22	4,55	4,00	3,54	3,16	2,84	2,56	2,32	2,11	1,93	1,78	1,64	1,51	1,40	1,31	1,22	1,14	1,07	1,00
		q_{R2}	3,02	2,79	2,59	2,42	2,26	2,13	2,01	1,91	1,81	1,73	1,65	1,58	1,51	1,45	1,39	1,34	1,29	1,22	1,14	1,07	1,00
		q_k	8,01	6,30	5,04	4,10	3,38	2,82	2,37	2,02	1,73	1,49	1,30	1,14	1,00	0,89	0,79	0,70	0,63	0,57	0,51	0,46	0,42
0,88	11,35	q_{R1}	9,38	7,99	6,89	6,00	5,28	4,67	4,17	3,74	3,38	3,06	2,79	2,55	2,35	2,16	2,00	1,85	1,72	1,61	1,50	1,41	1,32
		q_{R2}	4,28	3,95	3,67	3,43	3,21	3,02	2,86	2,71	2,57	2,45	2,34	2,23	2,14	2,06	1,98	1,85	1,72	1,61	1,50	1,41	1,32
		q_k	9,75	7,67	6,14	4,99	4,11	3,43	2,89	2,46	2,11	1,82	1,58	1,38	1,22	1,08	0,96	0,86	0,77	0,69	0,62	0,57	0,51
1,00	12,90	q_{R1}	11,60	9,89	8,53	7,43	6,53	5,78	5,16	4,63	4,18	3,79	3,45	3,16	2,90	2,67	2,47	2,29	2,13	1,99	1,86	1,74	1,63
		q_{R2}	5,69	5,25	4,87	4,55	4,27	4,01	3,79	3,59	3,41	3,25	3,10	2,97	2,84	2,67	2,47	2,29	2,13	1,99	1,86	1,74	1,63
		q_k	11,38	8,95	7,17	5,83	4,90	4,00	3,37	2,87	2,46	2,12	1,85	1,62	1,42	1,26	1,12	1,00	0,90	0,81	0,73	0,66	0,60
1,13	14,58	q_{R1}	14,05	11,97	10,32	8,99	7,90	7,00	6,25	5,61	5,06	4,59	4,18	3,83	3,51	3,24	2,99	2,78	2,58	2,41	2,25	2,11	1,98
		q_{R2}	7,50	6,92	6,42	6,00	5,62	5,29	5,00	4,73	4,50	4,28	4,09	3,83	3,51	3,24	2,99	2,78	2,58	2,41	2,25	2,11	1,98
		q_k	12,96	10,19	8,16	6,64	5,47	4,56	3,84	3,26	2,80	2,42	2,10	1,84	1,62	1,43	1,27	1,14	1,02	0,92	0,83	0,75	0,68
1,25	16,13	q_{R1}	16,35	13,93	12,01	10,46	9,20	8,15	7,27	6,52	5,89	5,34	4,86	4,45	4,09	3,77	3,48	3,23	3,00	2,80	2,62	2,45	2,30
		q_{R2}	9,46	8,73	8,11	7,57	7,10	6,68	6,31	5,98	5,68	5,34	4,86	4,45	4,09	3,77	3,48	3,23	3,00	2,80	2,62	2,45	2,30
		q_k	14,39	11,31	9,06	7,37	6,07	5,06	4,26	3,62	3,11	2,68	2,33	2,04	1,80	1,59	1,41	1,26	1,13	1,02	0,92	0,83	0,76
1,50	19,35	q_{R1}	19,90	16,96	14,62	12,74	11,20	9,92	8,85	7,94	7,16	6,50	5,92	5,42	4,98	4,59	4,24	3,93	3,66	3,41	3,18	2,98	2,80
		q_{R2}	11,73	10,83	10,06	9,38	8,80	8,28	7,82	7,41	7,04	6,50	5,92	5,42	4,98	4,59	4,24	3,93	3,66	3,41	3,18	2,98	2,80
		q_k	14,09	11,08	8,87	7,21	5,94	4,96	4,17	3,55	3,04	2,63	2,29	2,00	1,76	1,56	1,39	1,24	1,11	1,00	0,90	0,82	0,74

		Rozpětí [m]																					
t_N [mm]	g [kg/m ²]	Rozpětí [m]																					
		3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00	
0,75	9,68	q_{R1}	5,08	4,50	4,02	3,61	3,27	2,97	2,71	2,49	2,29	2,11	1,96	1,82	1,70	1,59	1,48	1,39	1,31	1,23	1,16	1,10	1,04
		q_{R2}	4,03	3,72	3,42	3,09	2,81	2,57	2,35	2,17	2,00	1,86	1,73	1,61	1,51	1,41	1,32	1,25	1,17	1,11	1,05	0,99	0,94
		q_k	19,28	15,17	12,14	9,87	8,14	6,78	5,71	4,86	4,17	3,60	3,13	2,74	2,41	2,13	1,90	1,69	1,52	1,37	1,23	1,12	1,02
0,88	11,35	q_{R1}	6,74	5,96	5,31	4,77	4,30	3,91	3,56	3,26	3,00	2,76	2,56	2,38	2,21	2,06	1,93	1,81	1,70	1,60	1,51	1,42	1,35
		q_{R2}	5,69	5,07	4,54	4,10	3,72	3,39	3,10	2,86	2,63	2,44	2,27	2,11	1,97	1,84	1,73	1,63	1,53	1,45	1,37	1,29	1,23
		q_k	23,48	18,47	14,79	12,02	9,91	8,26	6,96	5,92	5,07	4,38	3,81	3,33	2,94	2,60	2,31	2,06	1,85	1,66	1,50	1,36	1,24
1,00	12,90	q_{R1}	8,37	7,38	6,56	5,88	5,29	4,79	4,36	3,99	3,66	3,37	3,12	2,89	2,69	2,50	2,34	2,19	2,06	1,93	1,82	1,72	1,63
		q_{R2}	7,09	6,30	5,63	5,07	4,59	4,18	3,82	3,51	3,23	2,99	2,77	2,58	2,41	2,25	2,11	1,98	1,86	1,76	1,66	1,57	1,49
		q_k	27,41	21,56	17,26	14,04	11,96	9,64	8,12	6,91	5,92	5,11	4,45	3,89	3,43	3,03	2,70	2,41	2,16	1,94	1,75	1,59	1,45
1,13	14,58	q_{R1}	10,27	9,04	8,02	7,16	6,44	5,82	5,29	4,83	4,42	4,07	3,76	3,48	3,23	3,01	2,81	2,63	2,46	2,31	2,18	2,05	1,94
		q_{R2}	8,74	7,74	6,91	6,21	5,61	5,10	4,65	4,27	3,93	3,62	3,36	3,12	2,91	2,71	2,54	2,38	2,24	2,11	1,99	1,88	1,78
		q_k	31,22	24,55	19,66	15,98	13,17	10,98	9,25	7,86	6,74	5,82	5,07	4,43	3,90	3,45	3,07	2,74	2,46	2,21	2,00	1,81	1,65
1,25	16,13	q_{R1}	12,13	10,65	9,43	8,40	7,54	6,80	6,17	5,63	5,15	4,73	4,36	4,03	3,74	3,48	3,25	3,03	2,84	2,65	2,48	2,32	2,18
		q_{R2}	10,35	9,15	8,15	7,31	6,60	5,98	5,45	4,99	4,59	4,23	3,91	3,63	3,38	3,15	2,95	2,76	2,60	2,44	2,30	2,18	2,06
		q_k	34,65	27,26	21,82	17,74	14,62	12,19	10,27	8,73	7,49	6,47	5,62	4,92	4,33	3,83	3,41	3,04	2,73	2,46	2,22	2,01	1,83
1,50	19,35	q_{R1}	14,57	12,79	11,32	10,09	9,06	8,17	7,41	6,76	6,18	5,68	5,24	4,84	4,49	4,18	3,90	3,64	3,41	3,19	2,98	2,79	2,62
		q_{R2}	12,46	11,02	9,81	8,80	7,94	7,20	6,56	6,00	5,52	5,09	4,71	4,37	4,06	3,79	3,55	3,32	3,12	2,94	2,77	2,62	2,47
		q_k	33,94	26,69	21,37	17,38	14,32	11,94	10,06	8,55	7,33	6,33	5,51	4,82	4,24	3,75	3,34	2,98	2,67	2,40	2,17	1,97	1,79

3.3. POSOUZENÍ TRAPÉZOVÉHO PLECHU

MSÚ

pro sníh (pozitivní):

prostě uložené:

$$q_{Rd} \geq q_{Ed}$$

$$3.15 \geq 2.422 \quad [\text{kN/m}^2]$$

VYHOVUJE

spojitě přes dvě pole:

$$q_{Rd} \geq q_{Ed}$$

$$2.73 \geq 2.422 \quad [\text{kN/m}^2]$$

VYHOVUJE

pro sání od větru (negativně)

prostě uložené:

$$q_{Rd} \geq q_{Ed}$$

$$2.57 \geq |-1.157| \quad [\text{kN/m}^2]$$

VYHOVUJE

spojitě přes dvě pole:

$$q_{Rd} \geq q_{Ed}$$

$$2.63 \geq |-1.157| \quad [\text{kN/m}^2]$$

VYHOVUJE

MSP (L/200)

pro sníh (pozitivní):

prostě uložené:

$$q_{Rd} \geq q_{Ek}$$

$$2.16 \geq 1.638 \quad [\text{kN/m}^2]$$

VYHOVUJE

spojitě přes dvě pole:

$$q_{Rd} \geq q_{Ek}$$

$$5.20 \geq 1.638 \quad [\text{kN/m}^2]$$

VYHOVUJE

pro sání od větru (negativně)

prostě uložené:

$$q_{Rd} \geq q_{Ek}$$

$$2.11 \geq |-0.706| \quad [\text{kN/m}^2]$$

VYHOVUJE

spojitě přes dvě pole:

$$q_{Rd} \geq q_{Ek}$$

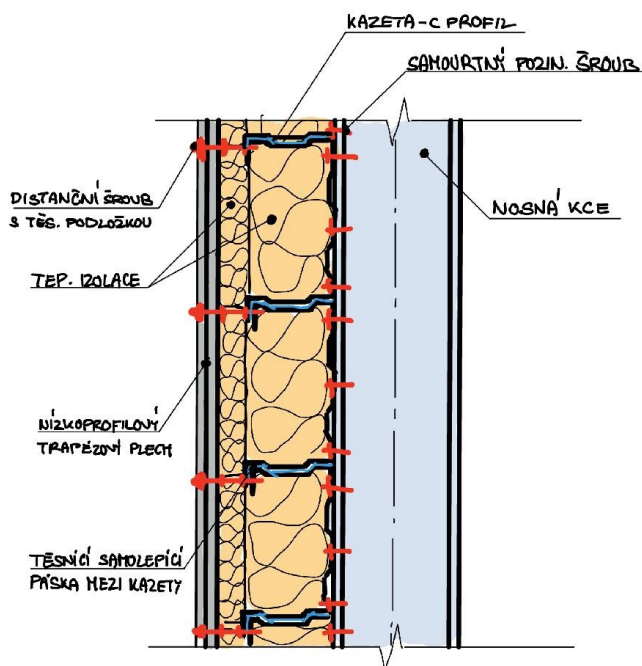
$$5.07 \geq |-0.706| \quad [\text{kN/m}^2]$$

VYHOVUJE

4. NÁVRH A POSOUZENÍ OBVODOVÉ KCE - KAZETOVÝ SKLÁD. SYSTÉM

4.1. NÁVRH OBVODOVÉHO PLÁŠTĚ

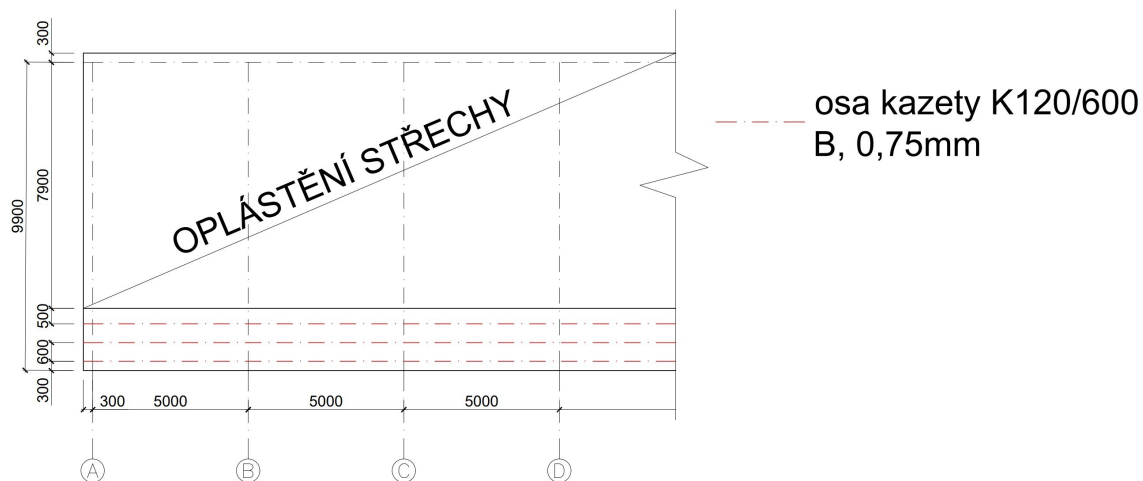
4.1.1. SCHÉMA SKLADBY OBVODOVÉHO PLÁŠTĚ



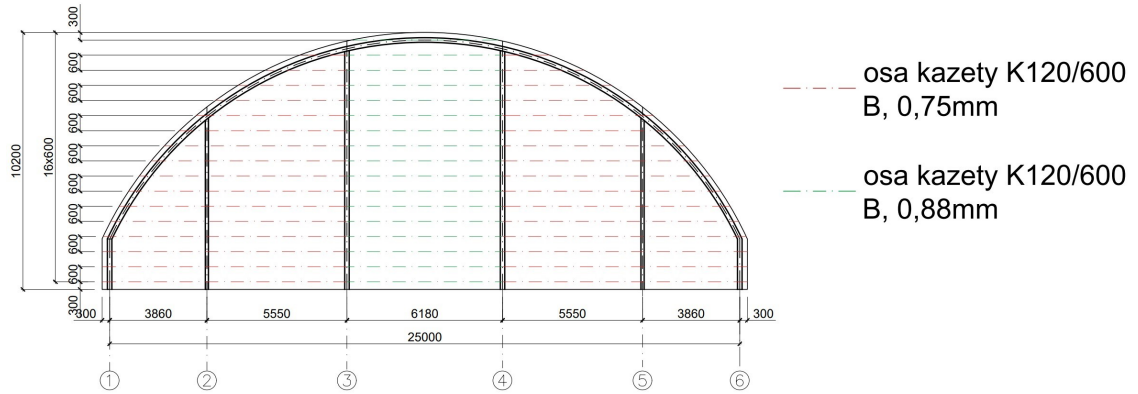
- Navrhuji kazetový systém Rockprofil se svislým trapézovým nízkoprofilovým plechem TR 8/88 0,63mm
- pro podélnou stěnu kazetu K120/600 typ B/0,75mm a pro štitovou stěnu K130/600 typ F/0,75mm, uspořádání C od společnosti Kovové profily, spol. s r.o.

obr. 14 - schéma skladby obvodového pláště

4.1.2. SCHÉMA ROZMÍSTĚNÍ OBVODOVÉHO PLÁŠTĚ



obr. 15 - schéma rozmístění obvodového pláště pro podélnou stěnu



obr. 16 - schéma rozmístění obvodového pláště pro štítovou stěnu

4.2. HRUBÝ VÝPOČET ZATÍŽENÍ

4.2.1. HRUBÝ VÝPOČET VLASTNÍ TÍHY OBVODOVÉHO PLÁŠTĚ

- Vlastní hmotnost skladby obvodového pláště:

popis vrstvy:

- finální úprava - trapézový plech
- tep. izolace Airrock ND 120 + 40mm
- vlastní hmotnost kazety

plošné zatížení [kN/m²]:

Σ 0,025 kN/m² (kazeta B tl.0,75mm)

Σ 0,027 kN/m² (kazeta B tl.0,88mm)

4.2.2. VÝPOČET ZATÍŽENÍ

-Tab. 4.1. - Výpočet zatížení kombinace pro tlak od větru

Kombinace pro tlak větru			
zatížení	char. zat. [kN/m ²]	γ [-]	návrh. zat. [kN/m ²]
vítr - tlak	0,464	1,5	0,696
celkem	0,464		0,696

-Tab. 4.2. a 4.3. - Výpočet zatížení kombinace pro sání od větru pro oblast A a B

Kombinace pro sání větru			
zatížení - oblast A	char. zat. [kN/m ²]	γ [-]	návrh. zat. [kN/m ²]
vítr - tah	-0,773	1,5	-1,1595
celkem	-0,773		-1,1595

Kombinace pro sání větru			
zatížení - oblast B	char. zat. [kN/m ²]	γ [-]	návrh. zat. [kN/m ²]
vítr - tah	-0,516	1,5	-0,774
celkem	-0,516		-0,774

-Tab. 4.4. - Tabulka únosnosti kazet typu B od výrobce

K 120/600 typ B		Prostý nosník - TLAK																		Šířka podpory b = 40 mm																					
Tloušťka (mm)	Hmotnost (kg/m ²)	Přípustné charakteristické rovnoměrné zatížení v kN/m ² při rozpětí L (m)																																							
		3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00	8,50	9,00	9,50	10,0	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00	8,50	9,00	9,50	10,0		
0,75	9,75	1	2,31	1,70	1,30	1,03	0,83	0,69	0,58	0,53	0,49	0,46	0,42	0,40	0,37	0,35	0,33	0,29	0,26	0,23	0,21	2,31	1,70	1,30	1,03	0,83	0,69	0,58	0,53	0,49	0,45	0,40	0,36	0,33	0,30	0,27	0,23	0,19	0,16	0,14	
		2	2,31	1,70	1,30	1,03	0,83	0,69	0,58	0,53	0,49	0,45	0,40	0,36	0,33	0,30	0,27	0,23	0,19	0,16	0,14	2,31	1,70	1,30	1,03	0,83	0,69	0,58	0,53	0,49	0,38	0,34	0,30	0,27	0,25	0,22	0,20	0,17	0,14	0,12	0,10
		3	2,31	1,70	1,30	1,03	0,83	0,69	0,58	0,53	0,49	0,45	0,40	0,36	0,33	0,30	0,27	0,25	0,22	0,20	0,17	0,14	0,12	0,10	3,50	2,57	1,97	1,55	1,26	1,04	0,84	0,74	0,66	0,59	0,53	0,48	0,43	0,39	0,35	0,30	0,25
0,88	11,42	1	3,50	2,57	1,97	1,55	1,26	1,04	0,87	0,81	0,74	0,69	0,64	0,60	0,56	0,52	0,49	0,44	0,39	0,35	0,31	3,50	2,57	1,97	1,50	1,09	0,82	0,63	0,56	0,50	0,44	0,40	0,36	0,32	0,29	0,27	0,22	0,19	0,16	0,14	
		2	4,59	3,37	2,58	2,04	1,65	1,32	1,02	0,90	0,80	0,72	0,64	0,58	0,52	0,47	0,43	0,36	0,30	0,26	0,22	4,59	3,37	2,58	1,81	1,32	0,99	0,77	0,68	0,60	0,54	0,48	0,43	0,39	0,36	0,32	0,27	0,23	0,19	0,17	
		3	5,79	4,25	3,25	2,57	2,08	1,67	1,29	1,14	1,01	0,90	0,81	0,73	0,66	0,60	0,54	0,45	0,38	0,32	0,28	5,79	4,25	3,25	2,28	1,67	1,25	0,96	0,85	0,76	0,68	0,61	0,55	0,49	0,45	0,41	0,34	0,29	0,24	0,21	
1,00	12,93	1	6,98	5,13	3,93	3,10	2,51	2,08	1,75	1,61	1,49	1,38	1,28	1,20	1,12	1,05	0,98	0,87	0,78	0,70	0,63	4,59	3,37	2,58	2,04	1,65	1,32	1,02	0,90	0,80	0,72	0,64	0,58	0,52	0,47	0,43	0,36	0,30	0,26	0,22	
		2	6,98	5,13	3,93	3,10	2,51	2,01	1,55	1,37	1,22	1,09	0,98	0,88	0,79	0,72	0,65	0,55	0,46	0,39	0,34	4,59	3,37	2,58	1,81	1,32	0,99	0,77	0,68	0,60	0,54	0,48	0,43	0,39	0,36	0,32	0,27	0,23	0,19	0,17	
		3	6,98	5,13	3,93	3,10	2,51	2,01	1,51	1,16	1,03	0,91	0,82	0,73	0,66	0,60	0,54	0,49	0,41	0,34	0,29	0,25	5,79	4,25	3,25	2,28	1,67	1,25	0,96	0,85	0,76	0,68	0,61	0,55	0,49	0,45	0,41	0,34	0,29	0,24	0,21
1,50	19,10	1	6,98	5,13	3,93	3,10	2,51	2,01	1,55	1,37	1,22	1,09	0,98	0,88	0,79	0,72	0,65	0,55	0,46	0,39	0,34	6,98	5,13	3,93	3,10	2,51	2,01	1,55	1,37	1,22	1,09	0,98	0,88	0,79	0,72	0,65	0,55	0,46	0,39	0,34	
		2	6,98	5,13	3,93	3,10	2,51	2,01	1,55	1,37	1,22	1,09	0,98	0,88	0,79	0,72	0,65	0,55	0,46	0,39	0,34	6,98	5,13	3,93	2,76	2,01	1,51	1,16	1,03	0,91	0,82	0,73	0,66	0,60	0,54	0,49	0,41	0,34	0,29	0,25	
		3	6,98	5,13	3,93	3,10	2,51	2,01	1,51	1,16	1,03	0,91	0,82	0,73	0,66	0,60	0,54	0,49	0,41	0,34	0,29	0,25	6,98	5,13	3,93	2,76	2,01	1,51	1,16	1,03	0,91	0,82	0,73	0,66	0,60	0,54	0,49	0,41	0,34	0,29	0,25

4.3. POSOUZENÍ KAZETY

- Podélná stěna:

MSÚ

pro tlak od větru:

$$\text{redukční součinitel: } \beta_{b,RPS} := 0.88 \quad q_{ú.com} := 0.83 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{ú.com.RPS} := q_{ú.com} \cdot \beta_{b,RPS} = 0.73 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{RK} \geq q_{EK} \\ 0.73 \geq 0.464 \quad [\text{kN/m}^2]$$

VYHOVUJE

pro sání od větru:

$$q_{RK} \geq q_{EK} \\ 0.83 \geq |-0.773| \quad [\text{kN/m}^2]$$

VYHOVUJE

MSP (L/200)

pro tlak od větru:

$$\text{redukční součinitel: } \beta_{b,RPS} := 0.88 \quad q_{ú.com} := 0.83 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{ú.com.RPS} := q_{ú.com} \cdot \beta_{b,RPS} = 0.73 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{RK} \geq q_{EK} \\ 0.73 \geq 0.464 \quad [\text{kN/m}^2]$$

VYHOVUJE

pro sání od větru:

$$q_{RK} \geq q_E \\ 0.83 \geq |-0.773| \quad [\text{kN/m}^2]$$

VYHOVUJE

- Štítová stěna:

-Tab. 4.5. - Tabulka posouzení kazet štítové stěny

POSOUZENÍ KAZET ŠTÍTOVÉ STĚNY						MSÚ		MSP		POSUDEK		
pole	označení kazety	rozpon [mm]	$\beta_{b,RPS}$ [-]	$q_{ú.com}$ - MSÚ [kN/m ²]	$q_{ú.com}$ - MSP [kN/m ²]	q_{RK} - tlak [kN/m ²]	q_{RK} - sání [kN/m ²]	q_{RK} - tlak [kN/m ²]	q_{RK} - sání [kN/m ²]	q_{EK} - tlak [kN/m ²]	q_{EK} - sání [kN/m ²]	
A-B	K 120 B/0,75	3860	0,88	1,414	1,414	1,244	1,414	1,244	1,414	0,464	0,773	VYHOVUJE
B-C	K 120 B/0,75	5550	0,88	0,678	0,613	0,597	0,613	0,539	0,613	0,464	0,516	VYHOVUJE
C-D	K 120 B/0,88	6180	0,87	0,829	0,582	0,721	0,829	0,506	0,582	0,464	0,516	VYHOVUJE
D-E	K 120 B/0,75	5550	0,88	0,678	0,613	0,597	0,678	0,539	0,613	0,464	0,516	VYHOVUJE
E-F	K 120 B/0,75	3860	0,88	1,414	1,414	1,244	1,414	1,244	1,414	0,464	0,773	VYHOVUJE

5. ZATÍŽENÍ PŘÍČNÉ DRUHÉ VAZBY

5.1. VÝPOČET ZATÍŽENÍ

5.1.1. STÁLÉ ZATÍŽENÍ

- Zatěžovací šířka příčné vazby: $b := 5000$ mm

STÁLÉ - STŘEŠNÍ KCE - plošné zatížení od střešního pláště na oblouk. vazník

-Tab. 5.1. - Výpočet stálého zatížení od střešní konstrukce

Střešní kce					
zatížení	char. zat. [kN/m ²]	zat. šířka [m]	char. zat. [kN/m]	γ [-]	návrh. zat. [kN/m]
vl. tíha stř. pláště	0,225	5	1,125	1,35	1,519
vl. tíha trap. plechu	0,011	5	0,055		0,074
celkem	0,236		1,180		1,59

STÁLÉ - OBVODOVÁ KCE - plošné svislé zatížení od obvodového pláště na oblouk. vazník

-Tab. 5.2. - Výpočet stálého zatížení od obvodové konstrukce

Obvodová kce					
zatížení	char. zat. [kN/m ²]	zat. šířka [m]	char. zat. [kN/m]	γ [-]	návrh. zat. [kN/m]
vl. tíha pláště	0,025	5	0,125	1,35	0,169
vl. tíha výplní otvorů	0,020	5	0,1		0,135
celkem	0,045		0,225		0,30

-pozn.: Vlastní tíha výplní otvorů je odhadnuta, zjednodušeně přepočtena na celoplošné zatížení

5.1.2. MINIMÁLNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ

- Zohlední software (vlastní tíha vazníků, sloupů, ztužidel, táhel...)

5.1.3. PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ - SNÍH

- Plošné zatížení od střešního pláště na obloukový vazník:

-Tab. 5.3. - Výpočet proměnného zatížení od sněhu - stav (i)

Proměnné - sníh μ_1					
zatížení	char. zat. [kN/m ²]	zat. šířka [m]	char. zat. [kN/m]	γ [-]	návrh. zat. [kN/m]
proměnné - sníh μ_1	0,56	5	2,8	1,5	4,20
celkem	0,56		2,8		4,20

-Tab. 5.4. - Výpočet proměnného zatížení od sněhu - stav (ii) - var. 1

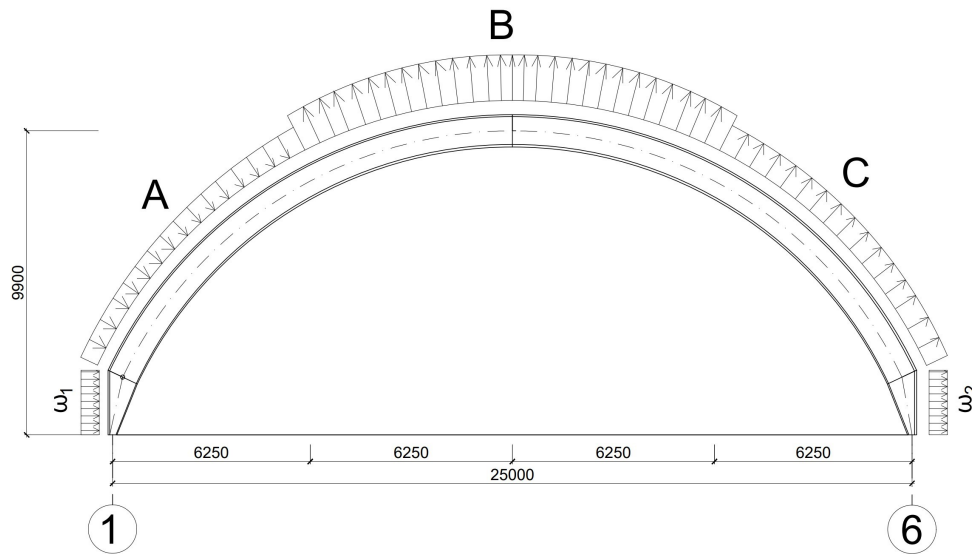
Proměnné - sníh μ_3					
zatížení	char. zat. [kN/m ²]	zat. šířka [m]	char. zat. [kN/m]	γ [-]	návrh. zat. [kN/m]
proměnné - sníh μ_3	1,4	5	7	1,5	10,50
celkem	1,4		7		10,50

-Tab. 5.5. - Výpočet proměnného zatížení od sněhu - stav (ii) - var. 2

Proměnné - sníh $\mu_3/2$					
zatížení	char. zat. [kN/m ²]	zat. šířka [m]	char. zat. [kN/m]	γ [-]	návrh. zat. [kN/m]
proměnné - sníh $\mu_3/2$	0,7	5	3,5	1,5	5,25
celkem	0,7		3,5		5,25

5.1.4. PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ - VÍTR PŘÍČNÝ

- Plošné zatížení od příčného větru na obloukový vazník:



obr. 17 - schéma zatížení příčného větru - řez

- Výpočet zatížení na střechu:

$$W_A := 0.258 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad W_B := 0.657 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad W_C := 0.258 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$W_A = W_A \cdot b = 1.29 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$W_B = W_B \cdot b = 3.285 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

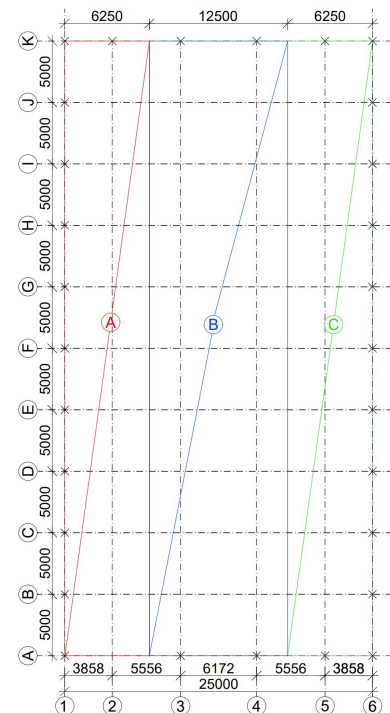
$$W_C = W_C \cdot b = 1.29 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Výpočet zatížení na stěny:

$$W_{e,E} := 0.193 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad W_{e,D} := 0.451 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$W_1 = W_{e,D} \cdot b = 2.255 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

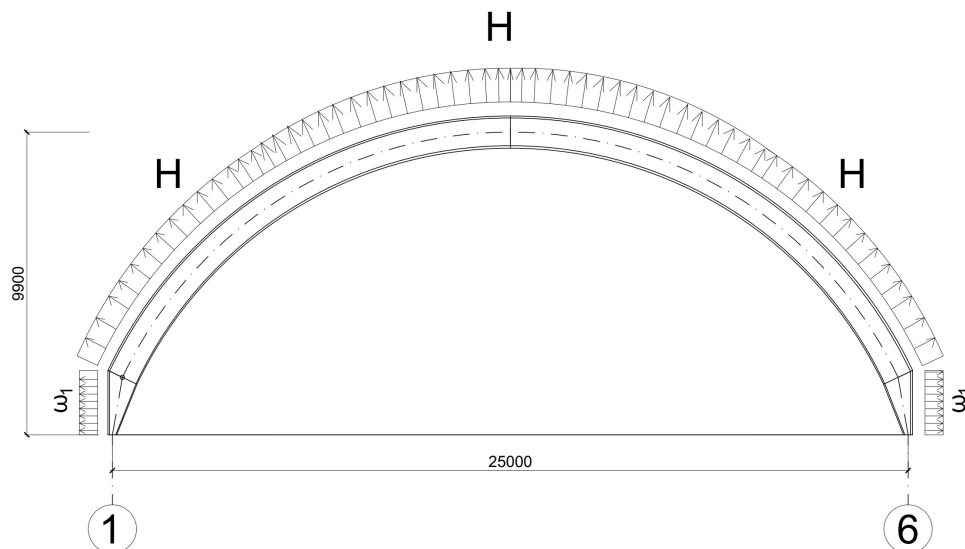
$$W_2 = W_{e,E} \cdot b = 0.965 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



obr. 18 - schéma zatížení příčného větru - půdorys

5.1.5. PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ - VÍTR PODÉLNÝ

- Plošné zatížení od podélného větru na obloukový vazník:



obr. 19 - schéma zatížení podélného větru - řez

- Výpočet zatížení na stěny:

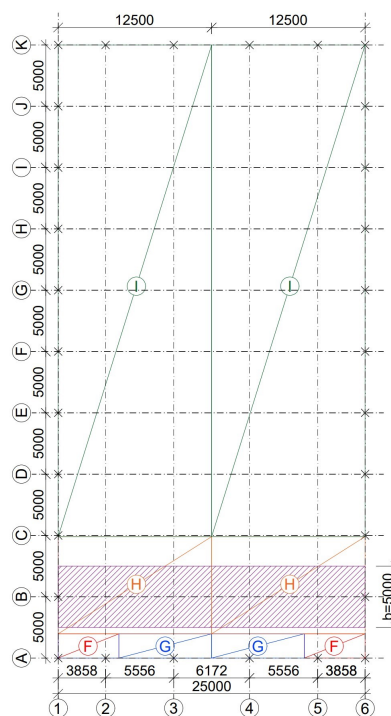
$$W_{e,A} := 0.773 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad W_{e,B} := 0.322 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$W_1 = W_{e,A} \cdot (b - 3.54 \text{ m}) + W_{e,B} \cdot (b - 1.46 \text{ m}) = 2.268 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Výpočet zatížení na střechu:

$$W_H := 0.516 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$W_H = W_H \cdot b = 2.58 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



obr. 20 - schéma zatížení podélného větru - půdorys

5.1.6. UŽITNÉ ZATÍŽENÍ - TECHNOLOGIE HALY

- pozn.: Hodnota zatížení od technologie haly byla odhadnuta, zjednodušeně přepočtena na celoplošné zatížení

-Tab. 5.6. - Výpočet užitého zatížení od technologií

Užitné - technologie					
zatížení	char. zat. [kN/m ²]	zat. šířka [m]	char. zat. [kN/m]	γ [-]	návrh. zat. [kN/m]
Užitné - technologie	0,02	5	0,1	1,5	0,15
celkem	0,02		0,1		0,15

5.2. IMPERFEKCE A STABILITA

- Imperfekce bude uvažována jako natočení sloupu θ_0

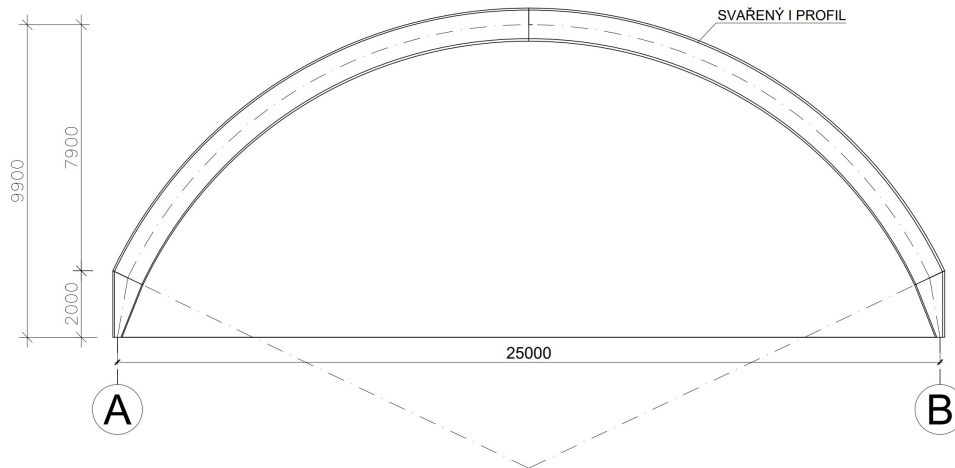
- Stabilita bude vypočtena v programu Dlubal RFEM 6

- pozn.: více viz kapitola 9.2.3. - Imperfekce a 9.2.4. - Stabilita

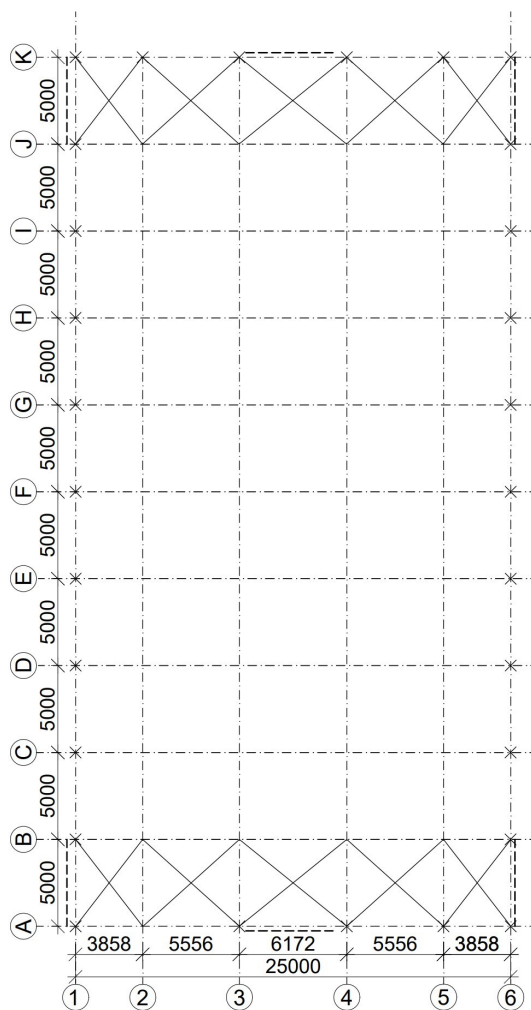
6. PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH PŘÍČNÉ VAZBY - VARIANTA PLNOSTĚNNÝ SVAŘ. I PRŮŘEZ

6.1. MODEL KONSTRUKCE

6.1.1. SCHÉMA KONTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ



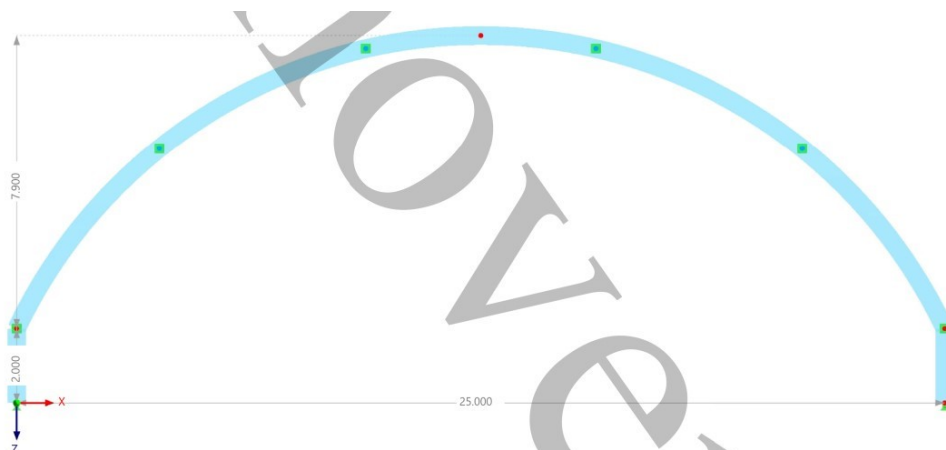
obr. 21 - schéma příčné vazby - pohled



obr. 22 - schéma - půdorys

6.1.2. VÝPOČETNÍ MODEL

pozn.: Vymodelováno v programu Dlubal RFEM 6

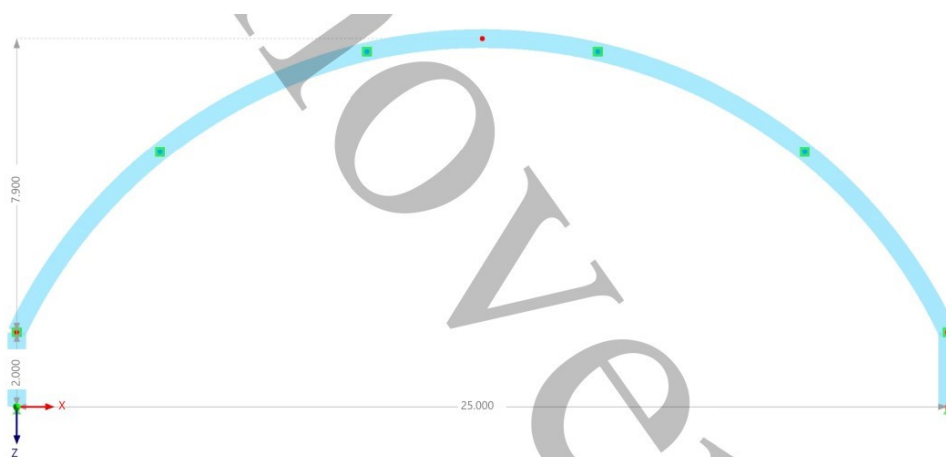


6.2. ZATĚŽOVACÍ STAVY A ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE

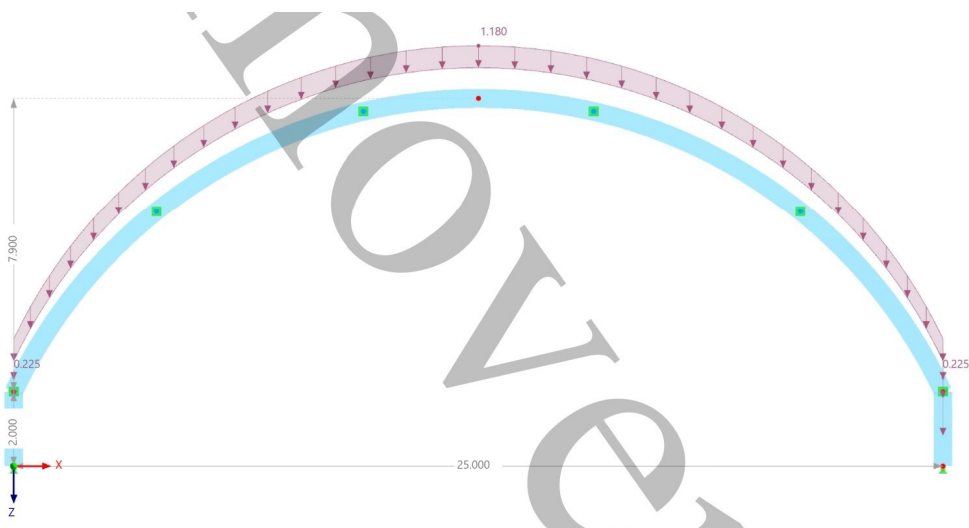
6.2.1. ZATĚŽOVACÍ STAVY

pozn.: Pro předběžný návrh nebyly uvažovány žádné imperfekce

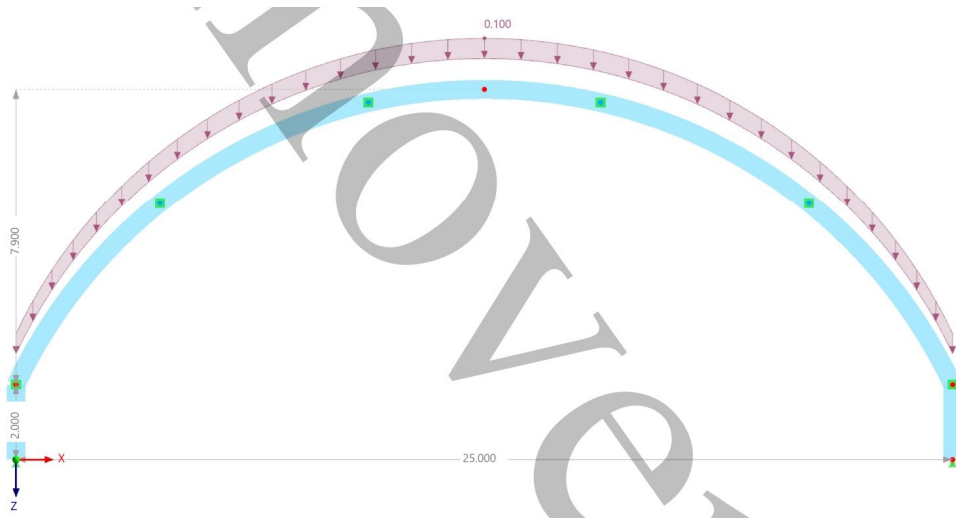
ZS1 - Vlastní tíha



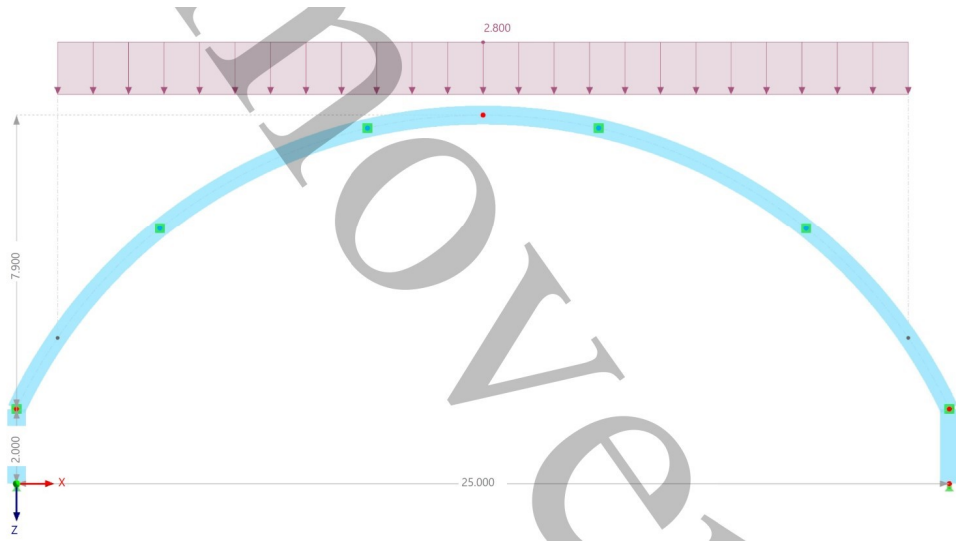
ZS2 - Ostatní stálé



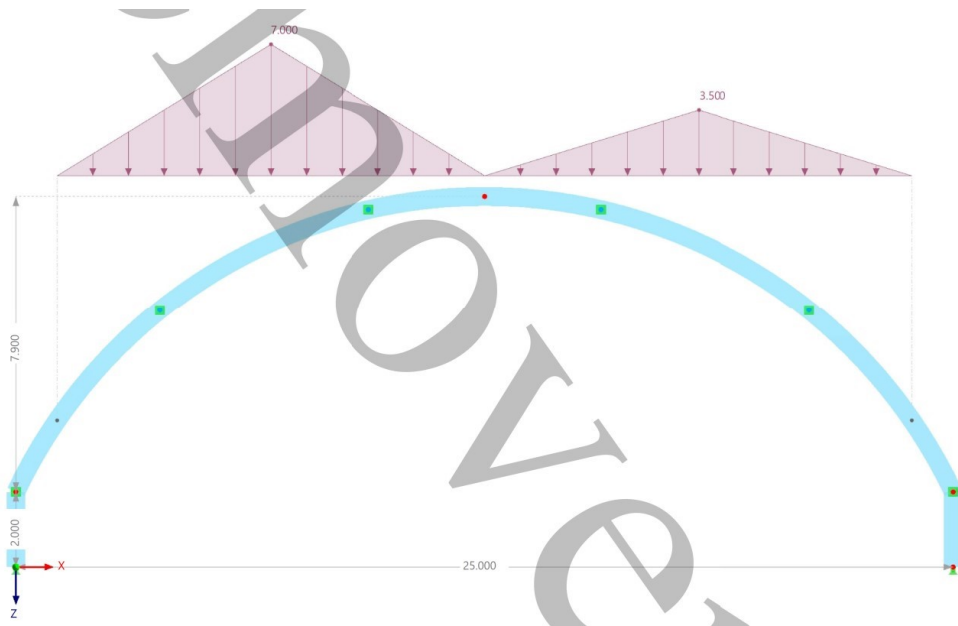
ZS3 - Užité technologie



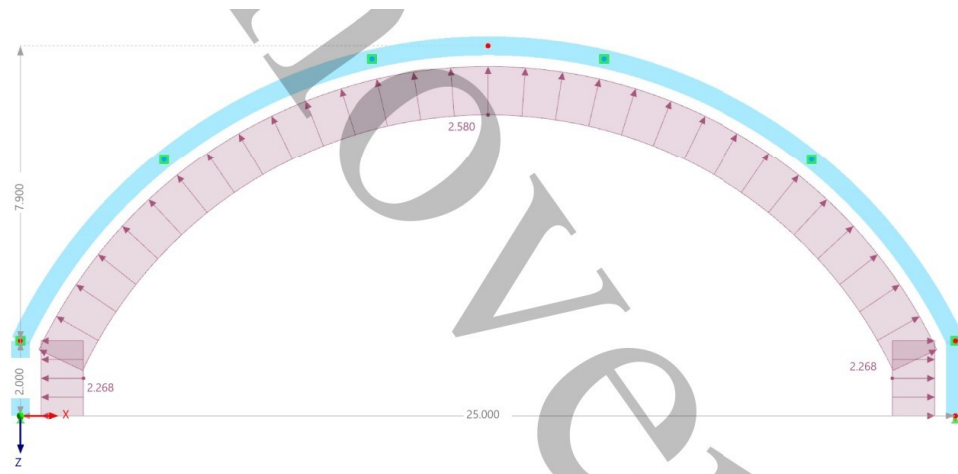
ZS4 - Sníh stav i



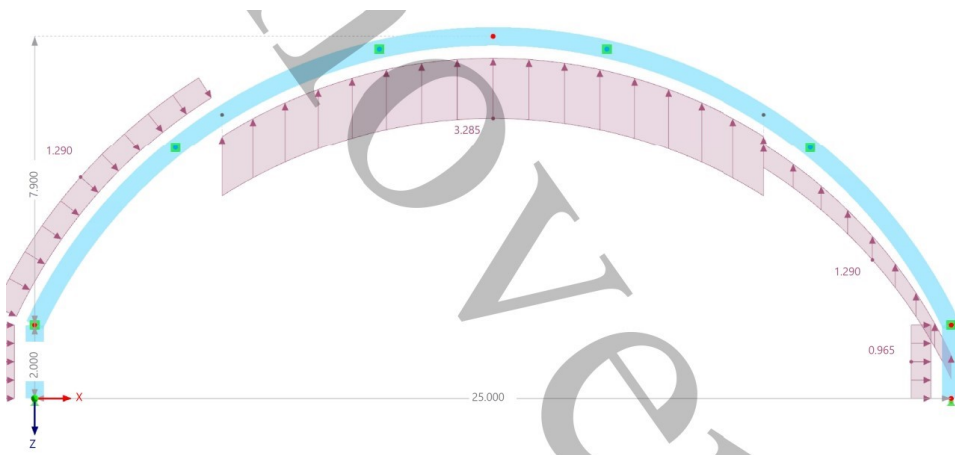
ZS5 - Sníh stav ii - var 1



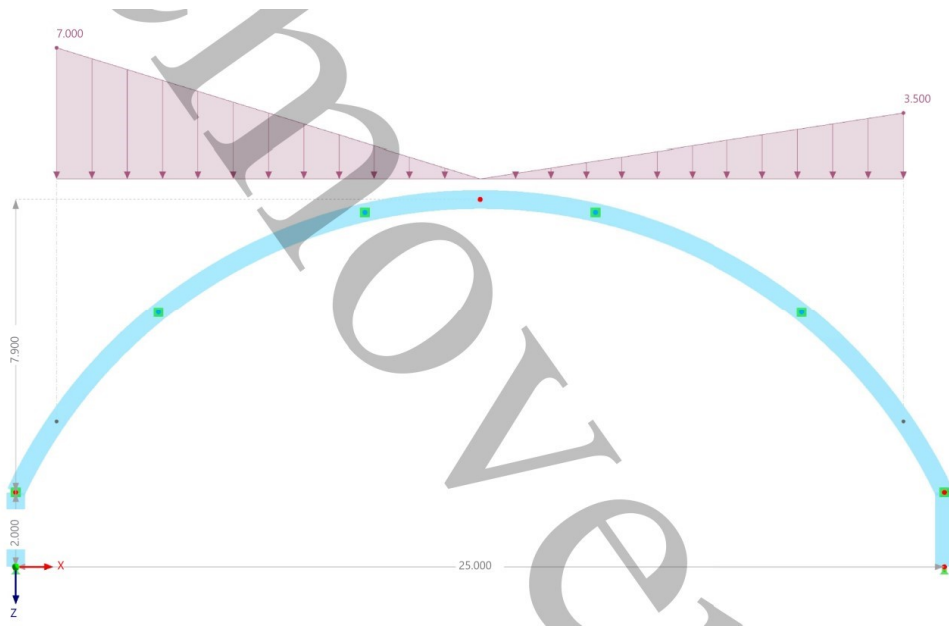
ZS6 - Vítr příčný



ZS7 - Vítr podélný



ZS8 - Sníh stav ii - var 2

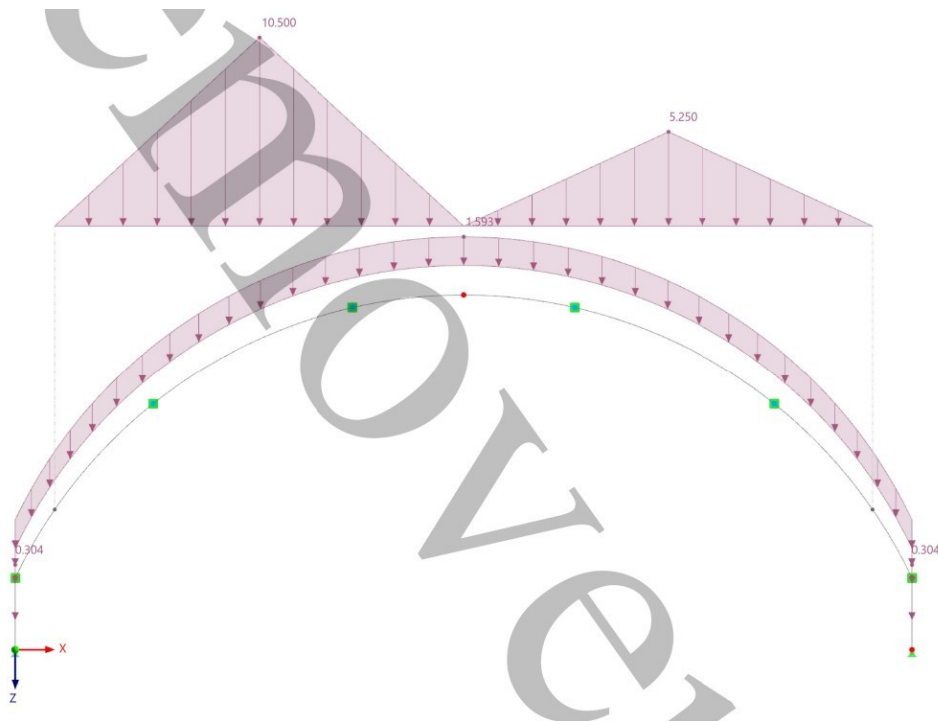


6.2.2. ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE

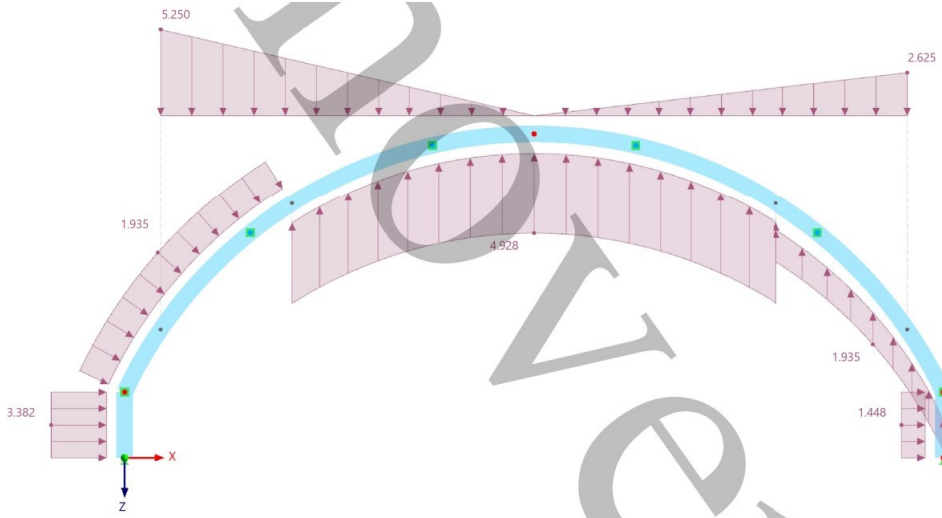
- pozn.: Kombinace byly vygenerovány v programu Dlubal RFEM 6

První rozhodující kombinace: KZ31 - $1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS5$

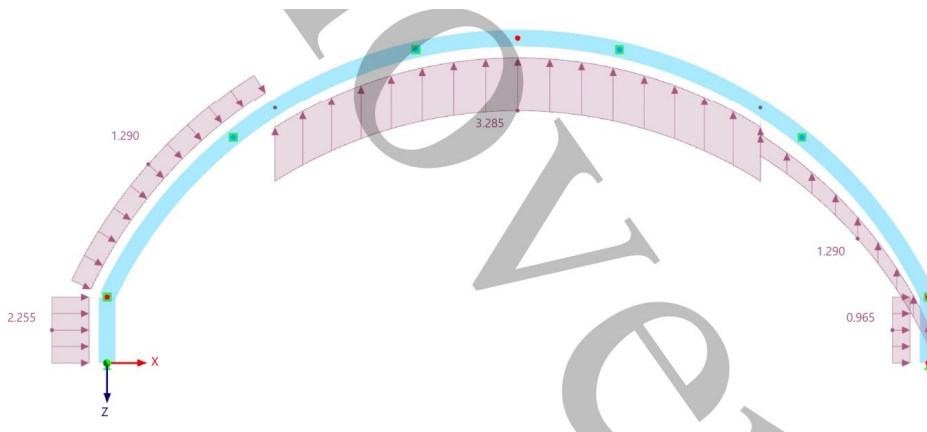
(MSÚ - max zaporný moment M_y , max V_z , 2. max N, max napětí σ_x , MSP - max průhyb u_z)



Druhá rozhodující kombinace: KZ53 - $1,35 \cdot ZS1 + 0,75 \cdot ZS8 + 1,5 \cdot ZS6$
 (MSÚ - max kladný moment M_y , MSP - max vodoravný posun u_x)



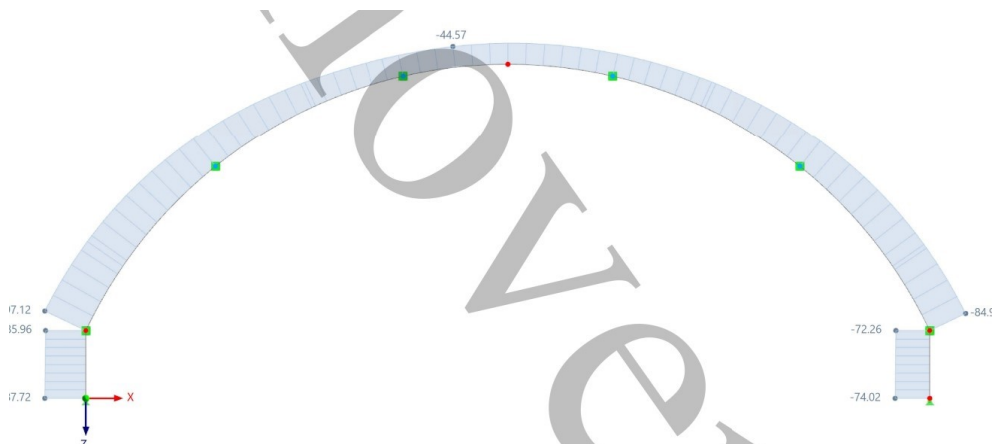
Třetí rozhodující kombinace: KZ45 - ZS1+ZS6 - pouze proměnné
 (MSP - max průhyb u_z)



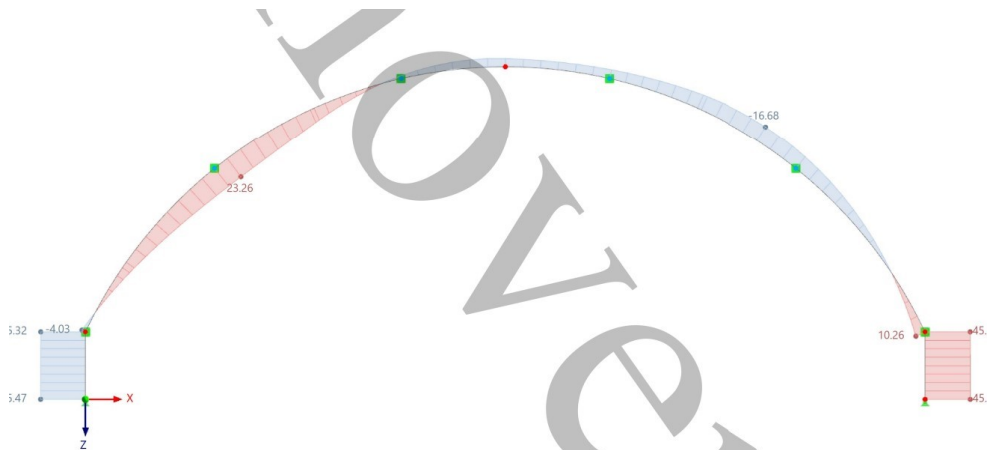
6.3. VNITŘNÍ SÍLY, DEFORMACE A NAPĚTÍ

6.3.1. VNITŘNÍ SÍLY

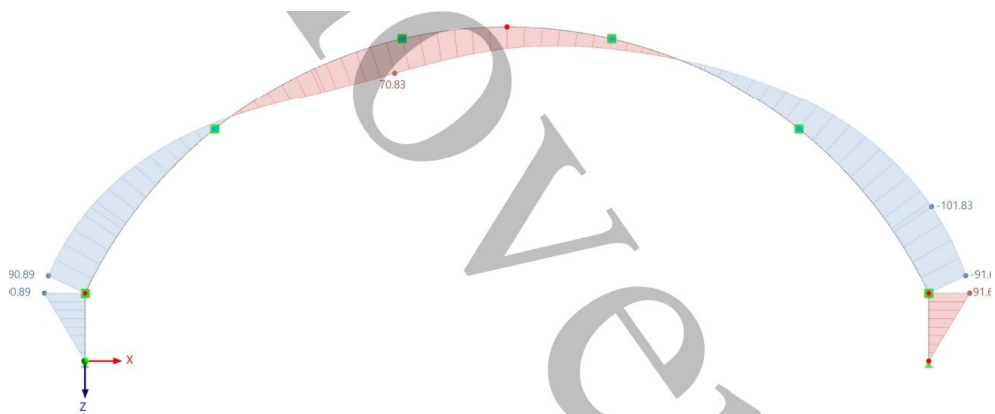
- pozn.: Vypočteno v programu Dlubal RFEM 6
 Normálová síla N [kN] - KZ31



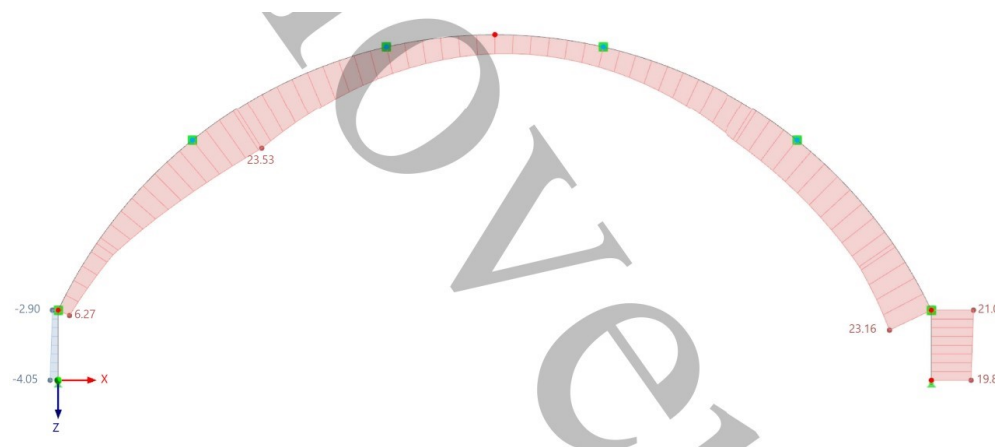
Posouvající síla V_z [kN] - KZ31



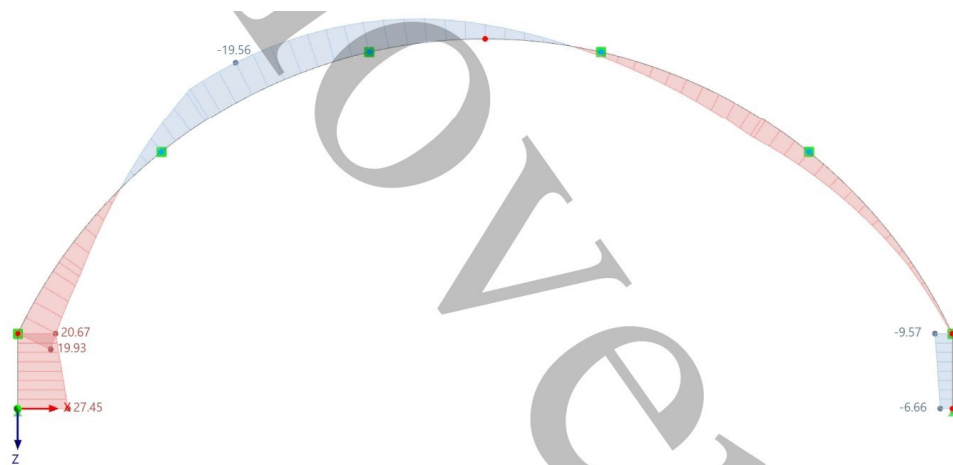
Ohybový moment M_y [kN·m] - KZ31



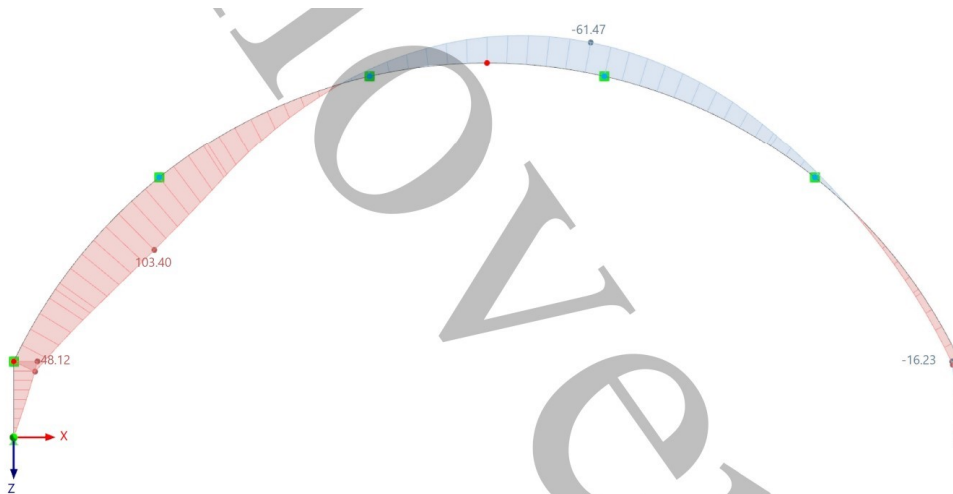
Normálová síla N [kN] - KZ53



Posouvající síla V_z [kN] - KZ53

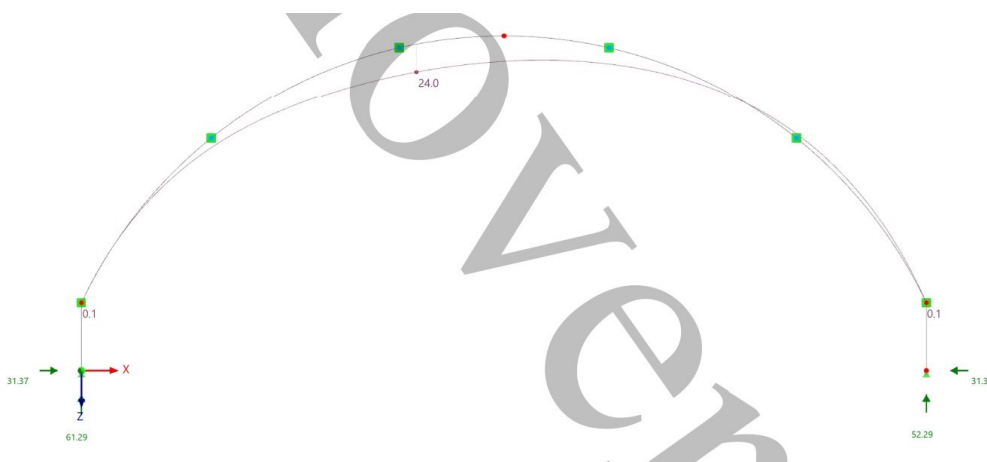


Ohybový moment M_y [kN·m] - KZ53

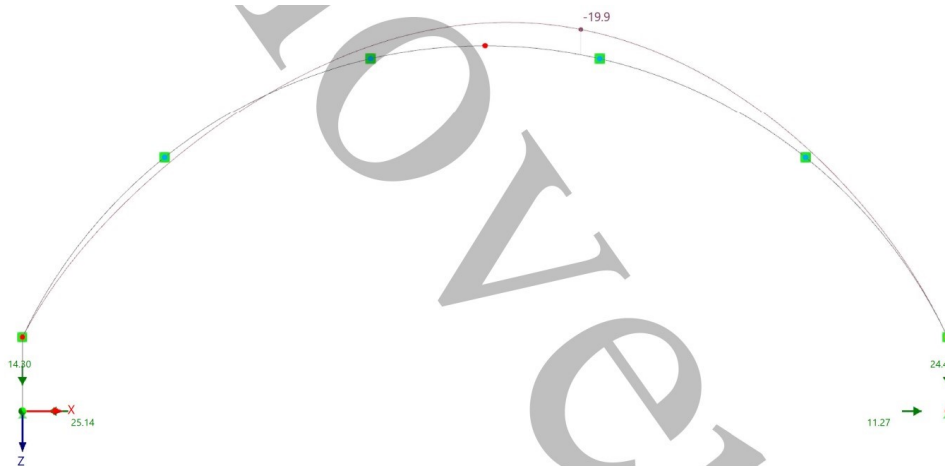


6.3.2. DEFORMACE

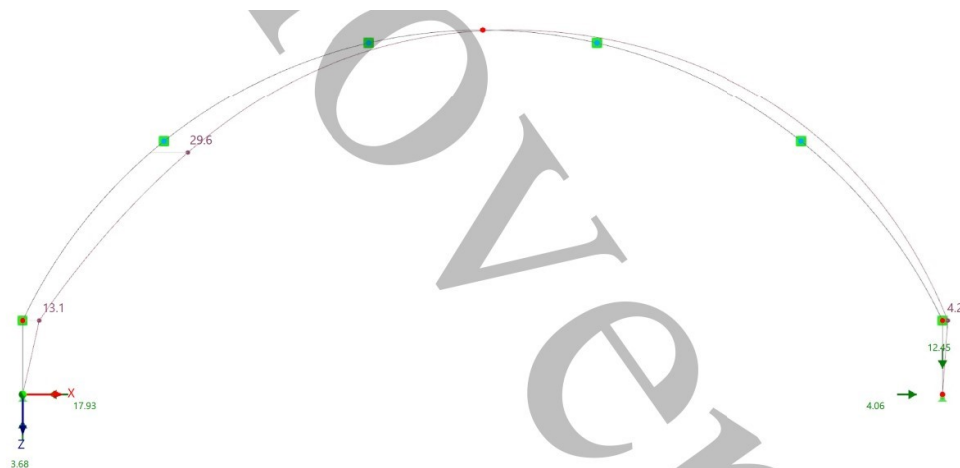
Max průhyb u_z [mm] - (stálé + proměnné) - KZ31



Max průhyb u_z [mm] - (pouze proměnné) - KZ45

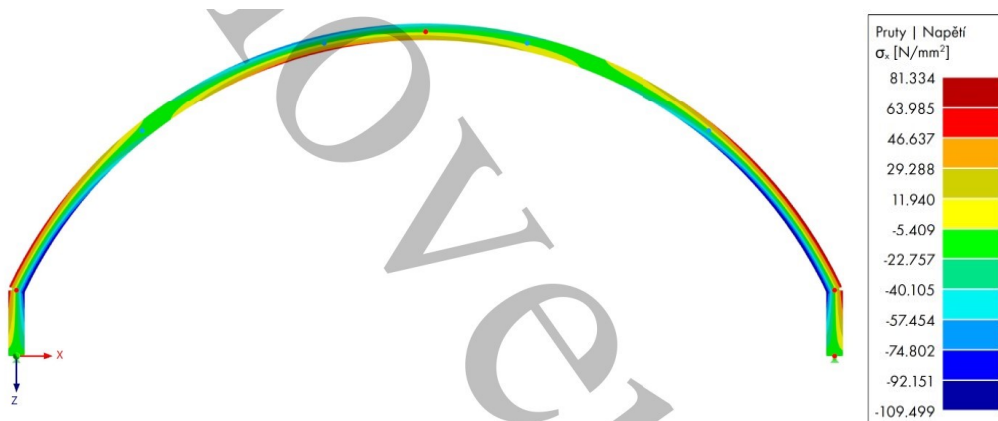


Vodorovný posun u_x [mm] - (stálé a proměnné) - KZ53



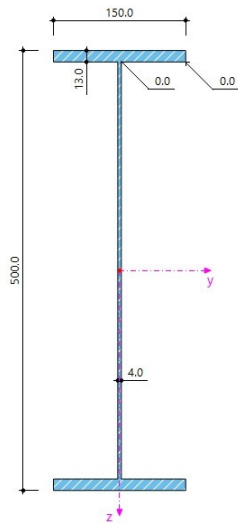
6.3.3. NAPĚTÍ

Maximální napětí σ_x na průřezu [MPa] (stálé a proměnné) - KZ31



6.4. NAVRŽENÝ PRŮŘEZ

-Návrh: tenkostěnný svařovaný ohýbaný plný profil tvaru I



obr. 23 - průřez

Geometrie			
Průřezová plocha			
Průřezová plocha	A	5796.000	mm ²
Ohyb			
Area moment of inertia about y-axis	I _y	26679.35	cm ⁴
Moment setrvačnosti okolo osy z	I _z	731.50	cm ⁴
Polární moment setrvačnosti	I _p	27410.85	cm ⁴
Poloměr setrvačnosti okolo osy y	i _y	214.5	mm
Poloměr setrvačnosti okolo osy z	i _z	35.5	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i _p	217.5	mm
Maximální statický moment plochy okolo osy y	max S _y	586.77	cm ³
Maximální statický moment plochy okolo osy z	max S _z	36.52	cm ³
Elastický průřezový modul okolo osy y	W _y	1067.17	cm ³
Elastický průřezový modul okolo osy z	W _z	97.53	cm ³
Smyk			
Smyková plocha ve směru osy y	A _y	3097.195	mm ²
Smyková plocha ve směru osy z	A _z	1944.190	mm ²
Kroucení			
Moment tuhosti v kroucení	I _t	21.81	cm ⁴
Moment tuhosti ve vázaném kroucení	I _{t,s}	19336.51	cm ⁴
Průřezový modul v kroucení	W _t	16.78	cm ³
Deplance			
Výšecová pořadnice vztažená ke středu smyku	max u	182.63	cm ²
Výšecový moment setrvačnosti vztažený ke středu smyku	I _ω	433574.58	cm ⁶
Poloměr setrvačnosti v kroucení vztažený na střed smyku	i _ω	39.8	mm
Výšecový moment setrvačnosti vztažený na střed smyku	W _ω	2374.12	cm ⁴
Maximum warping statical moment with respect to shear cent...	max S _ω	890.30	cm ⁴

obr. 24 - průřezové charakteristiky

6.5. PŘEDBĚŽNÉ POSOUZENÍ PRŮŘEZU

6.5.1. MSÚ

- Maximální napětí σ_x

$$\sigma_x \leq 0.8 f_y$$

(σ_x ...vypočteno v programu Dlubal RFEM 6)

$$109.499 \leq 0.8 \cdot 235 = 188 \text{ [MPa]} \quad \text{VYHOVUJE}$$

6.5.2. MSP

- Celkový průhyb u_z (stálé a proměnné):

$$\delta_1 \leq \frac{L}{250}$$

(δ_1 ...vypočteno v programu Dlubal RFEM 6)

$$0.024 \leq \frac{25}{250} = 0,1 \text{ [m]} \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Průhyb od proměnného u_z zatížení:

$$\delta_2 \leq \frac{L}{300}$$

(δ_2 ...vypočteno v programu Dlubal RFEM 6)

$$0.0199 \leq \frac{25}{300} = 0,083 \text{ [m]} \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Celkový vodorovný posun u_x (stálé a proměnné):

a) na oblouku

$$\delta_3 \leq \frac{h}{150}$$

(δ_3 ...vypočteno v programu Dlubal RFEM 6)

$$0.0296 \leq \frac{8.15}{150} = 0,0543 \text{ [m]} \quad \text{VYHOVUJE}$$

b) ve vrcholu sloupu

$$\delta_4 \leq \frac{h}{150}$$

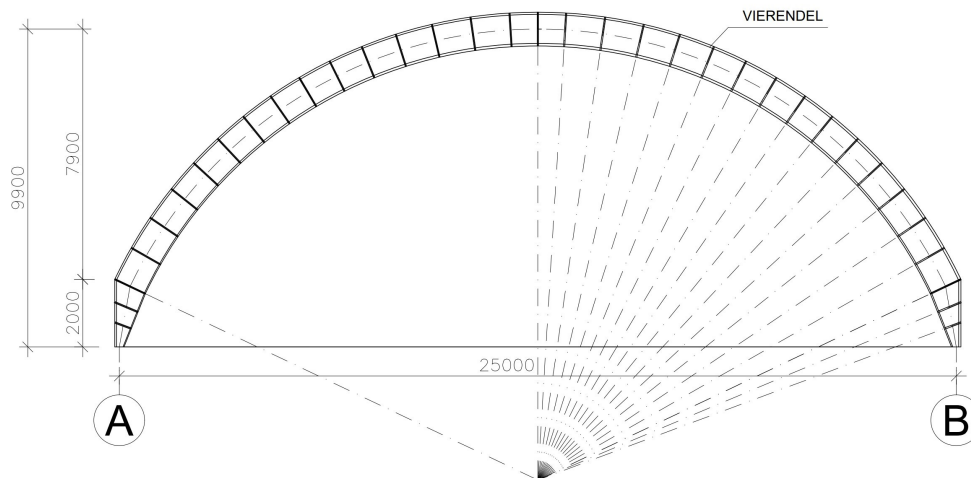
(δ_4 ...vypočteno v programu Dlubal RFEM 6)

$$0,0131 \leq \frac{2}{150} = 0,0133 \text{ [m]} \text{ VYHOVUJE}$$

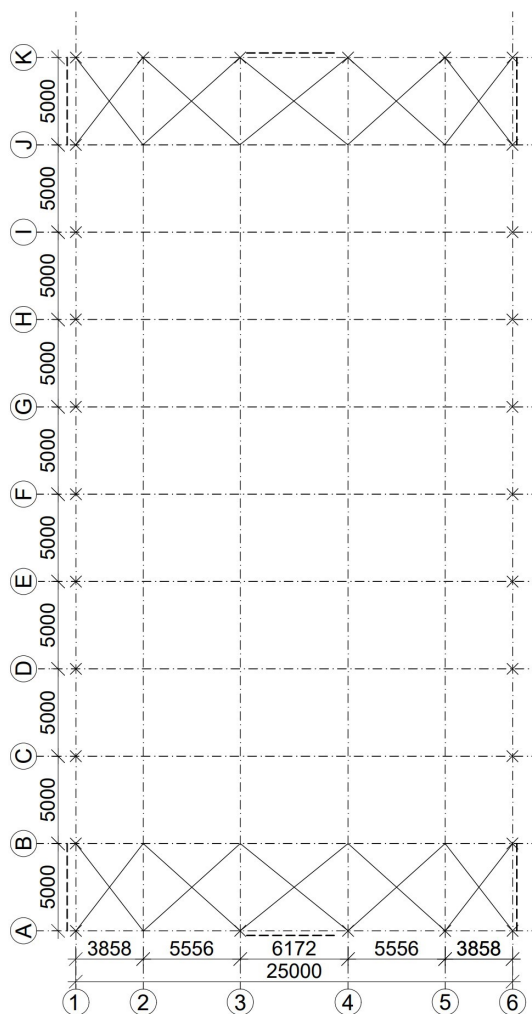
7. PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH PŘÍČNÉ VAZBY - VARIANTA VIERENDEEL

7.1. MODEL KONSTRUKCE

7.1.1. SCHÉMA KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ



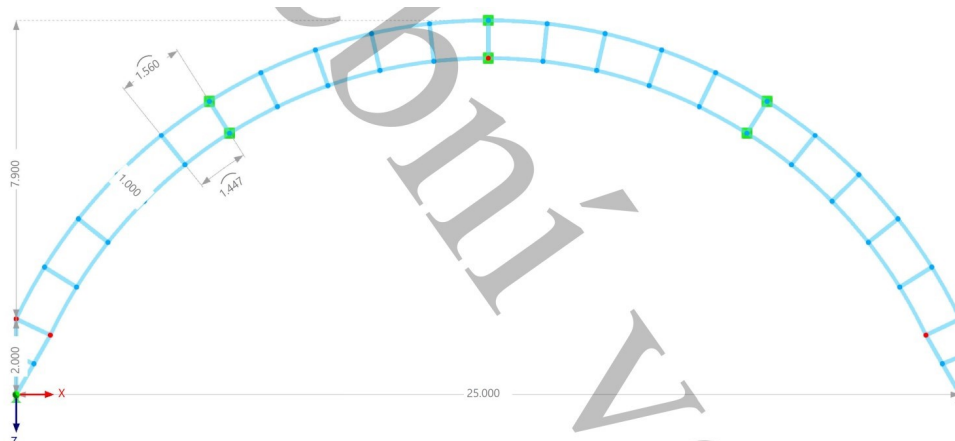
obr. 25 - schéma příčné vazby - pohled



obr. 26 - schéma - půdorys

7.1.2. VÝPOČETNÍ MODEL

- pozn.: Vymodelováno v programu Dlubal RFEM 6

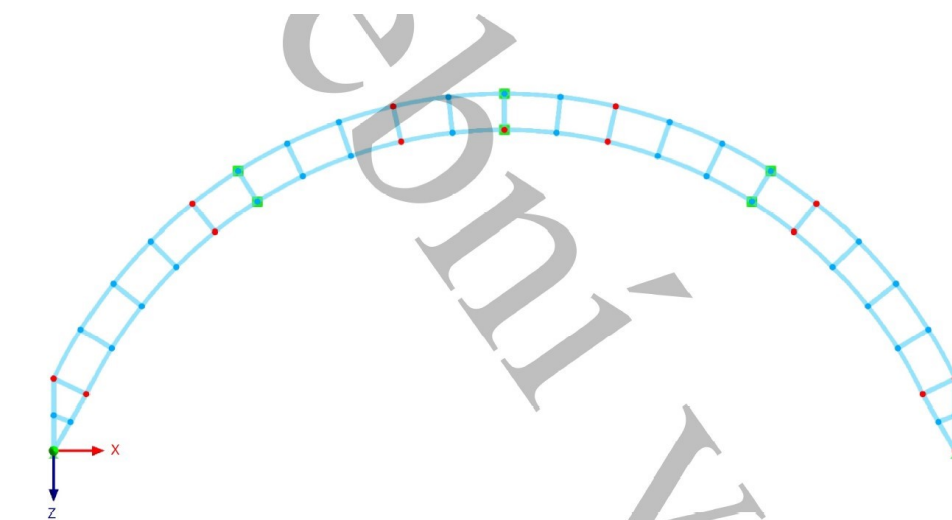


7.2. ZATĚŽOVACÍ STAVY A ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE

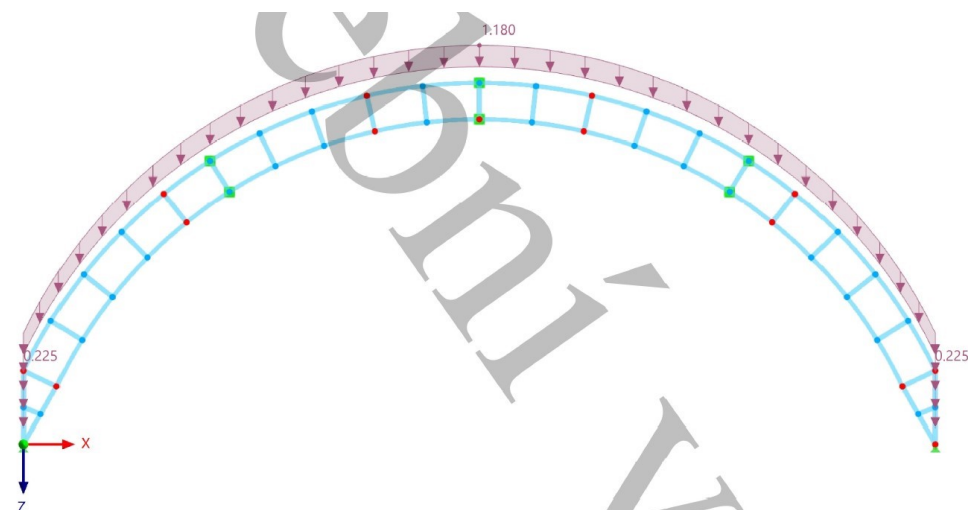
7.2.1. ZATĚŽOVACÍ STAVY

- pozn.: Pro předběžný návrh nebyly uvažovány žádné imperfekce

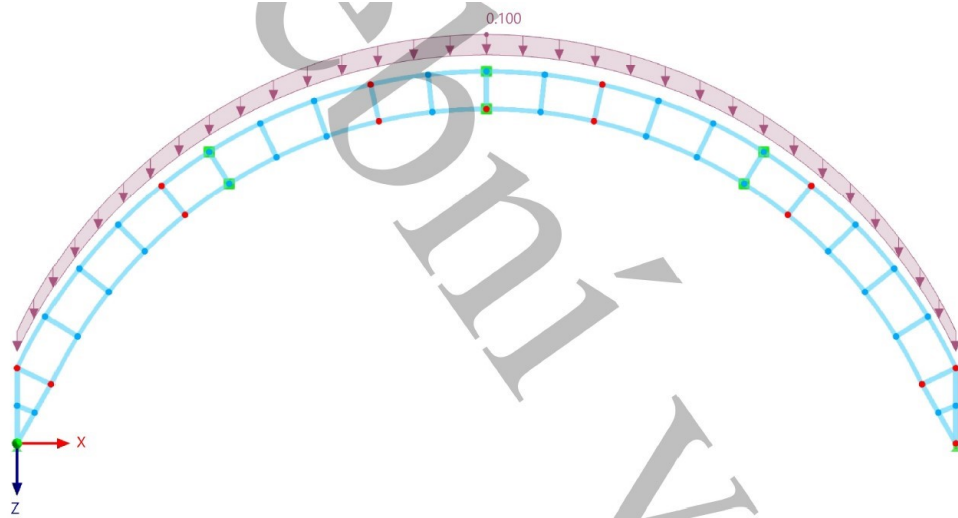
ZS1 - Vlastní tíha



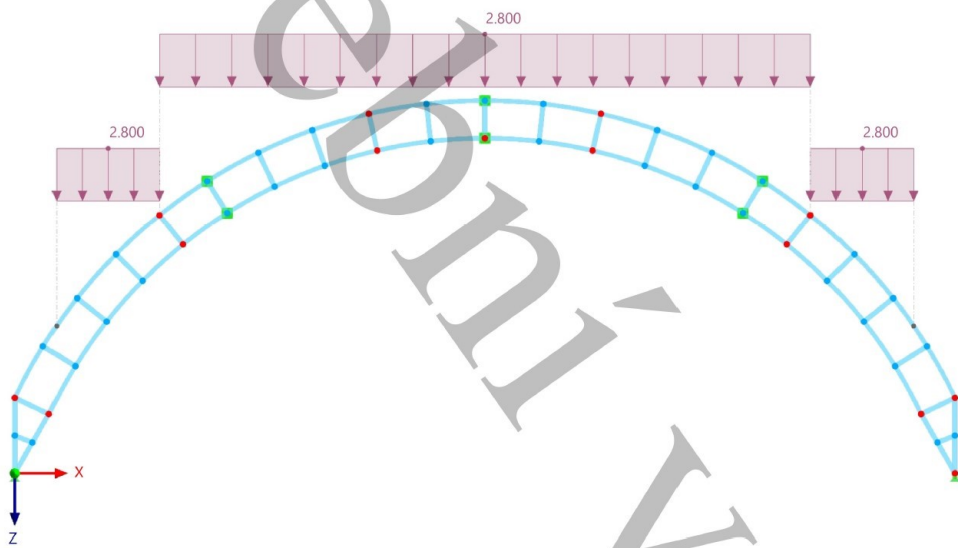
ZS2 - Ostatní stálé



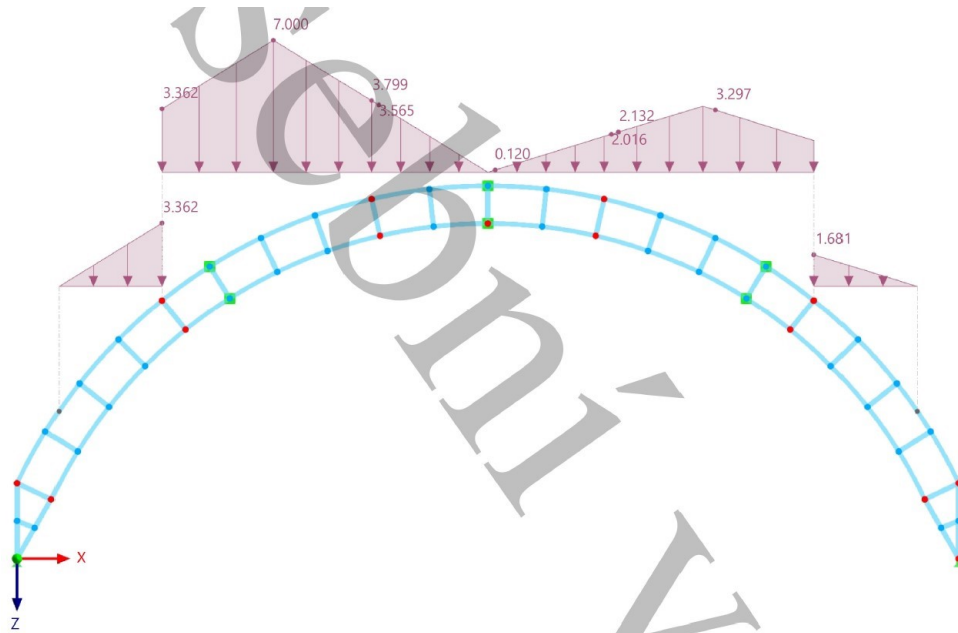
ZS3 - Užitéčné technologie



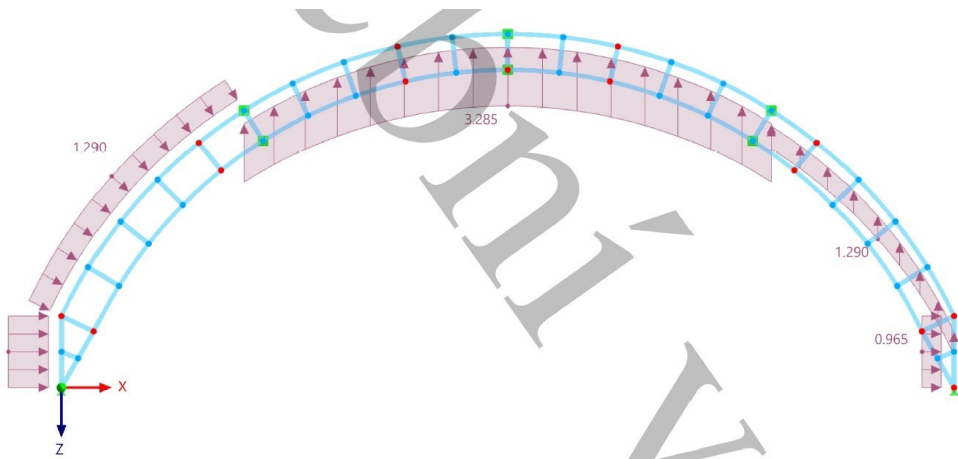
ZS4 - Sníh stav i



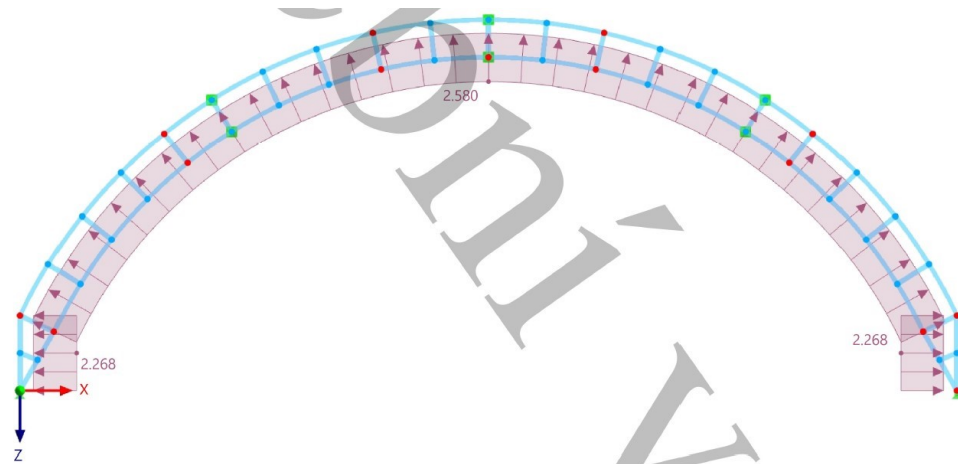
ZS5 - Sníh stav ii - var 1



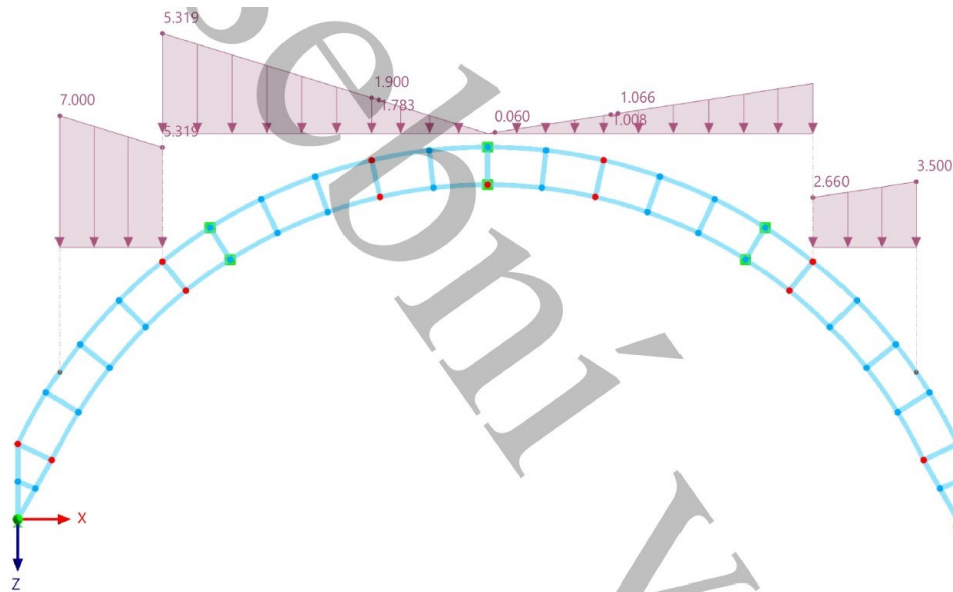
ZS6 - Vítr příčný



ZS7 - Vítr podélný



ZS8 - Sníh stav ii - var 2



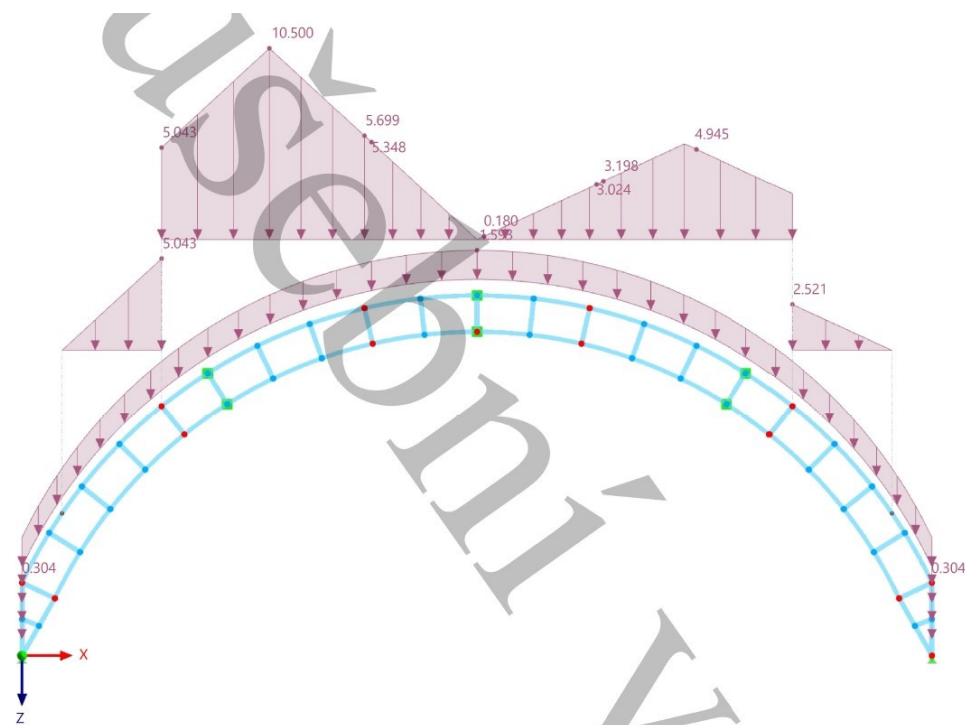
7.2.2. ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE

- pozn.: Kombinace byly vygenerovány v programu Dlubal RFEM 6

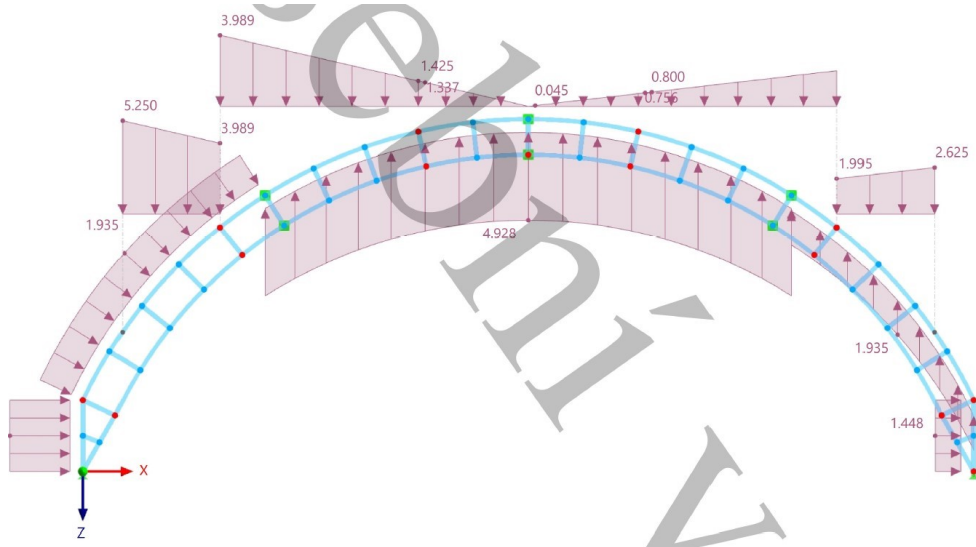
První rozhodující kombinace: KZ31 - MSÚ - $1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS5$

MSP - $ZS1 + ZS2 + ZS5$

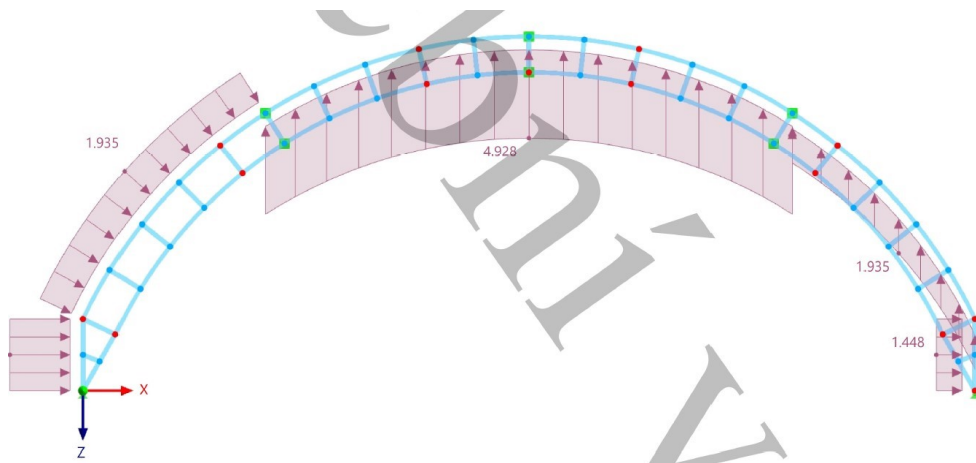
(MSÚ - max N, MSP - max průhyb u_z)



Druhá rozhodující kombinace: KZ53 - MSÚ - $1,35 \cdot ZS1 + 0,75 \cdot ZS8 + 1,5 \cdot ZS6$
MSP - $ZS1 + 0,5 \cdot ZS8 + ZS6$
(MSÚ - max V_z , max M_y , max napětí σ_x , MSP - max vodorovný posun u_x)



Třetí rozhodující kombinace: KZ45 - ZS1+ZS6 - pouze proměnné
(MSP - max průhyb u_z)

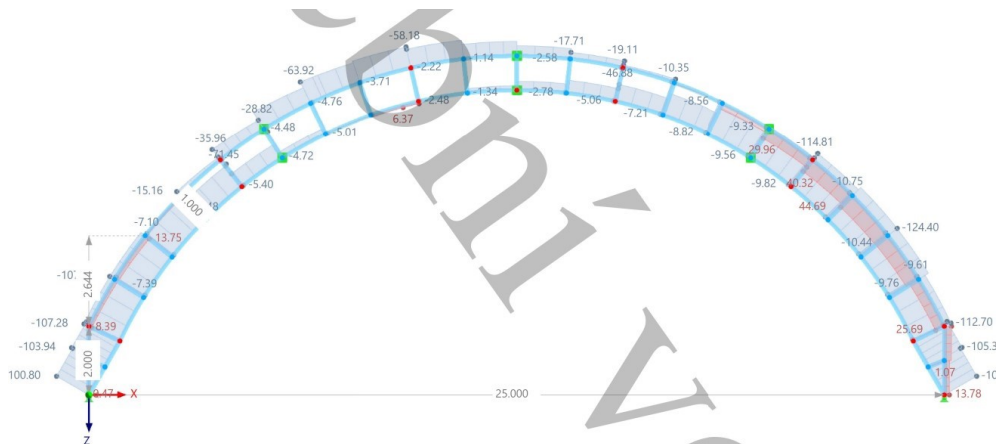


7.3. VNITŘNÍ SÍLY, DEFORMACE A NAPĚTÍ

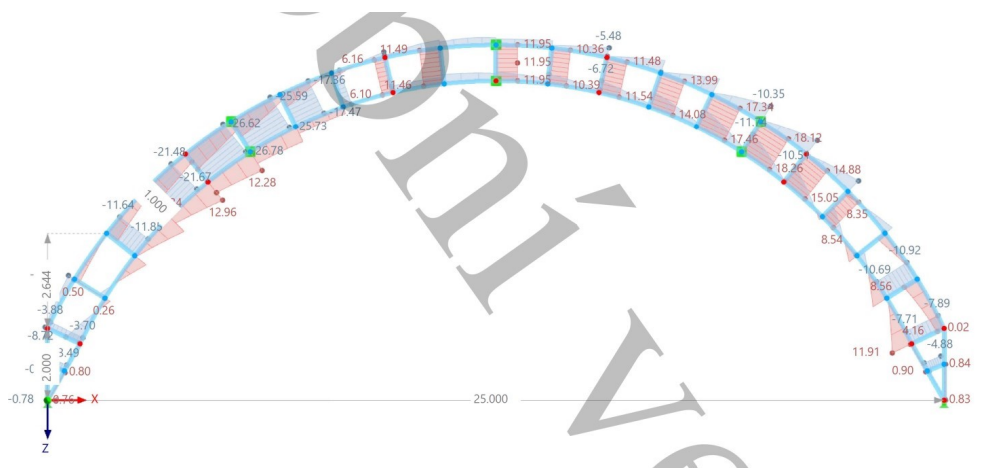
7.3.1. VNITŘNÍ SÍLY

- pozn.: Vypočteno v programu Dlubal RFEM 6

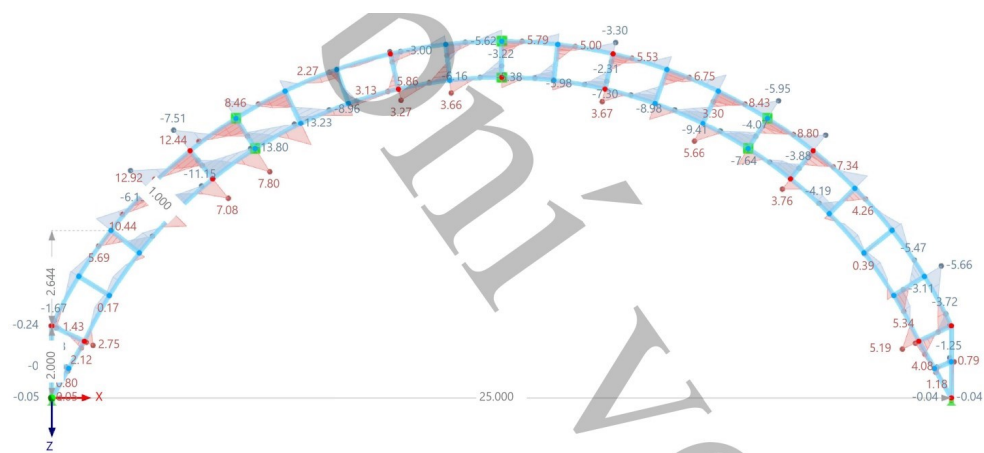
Normálová síla N [kN] - KZ31



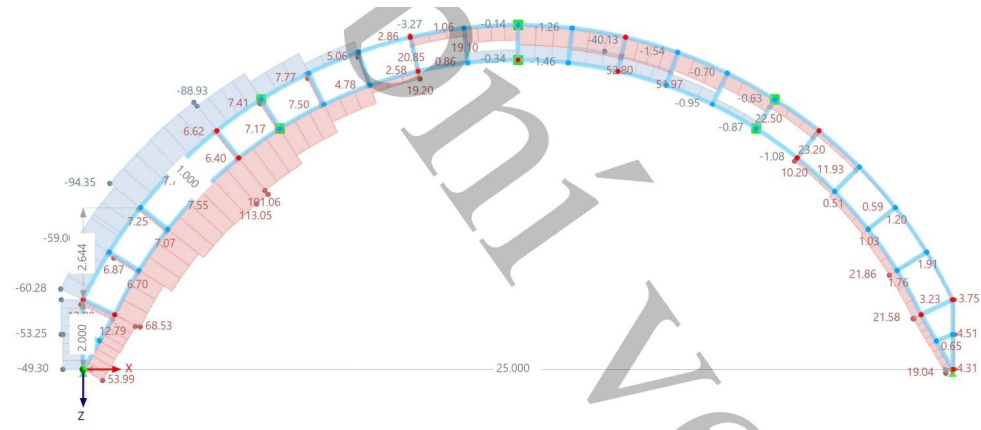
Posouvající síla V_z [kN] - KZ31



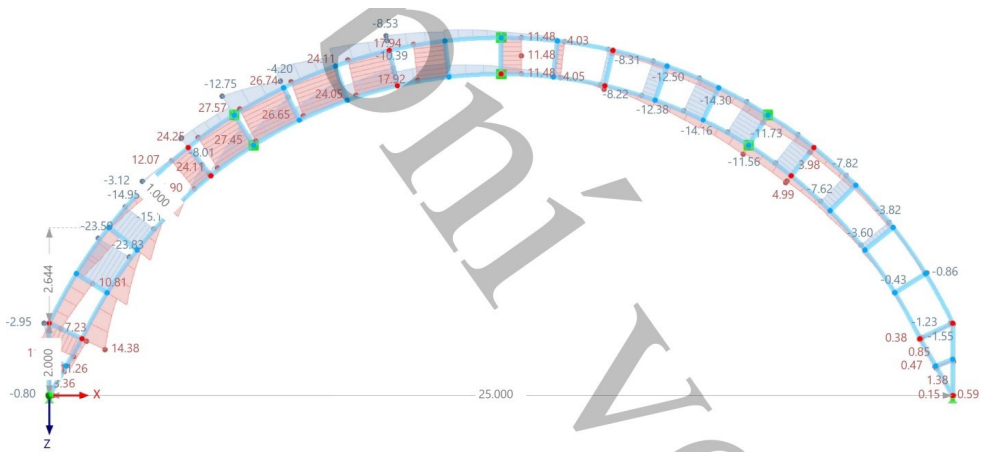
Ohybový moment M_y [kN·m] - KZ31



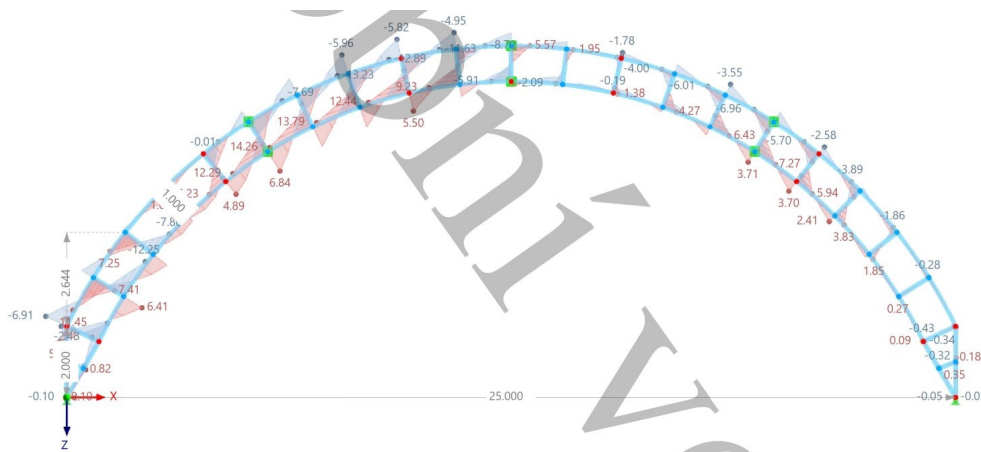
Normálová síla N [kN] - KZ53



Posouvající síla V_z [kN] - KZ53

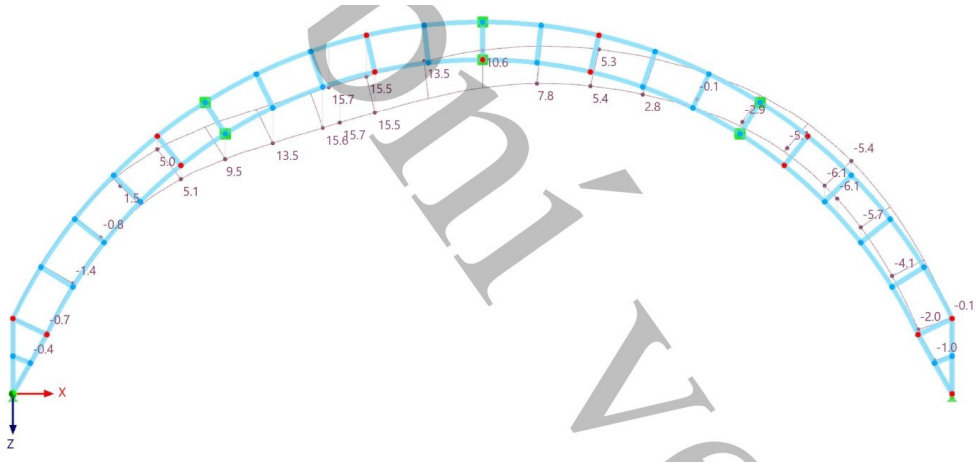


Ohybový moment M_y [kN·m] - KZ53

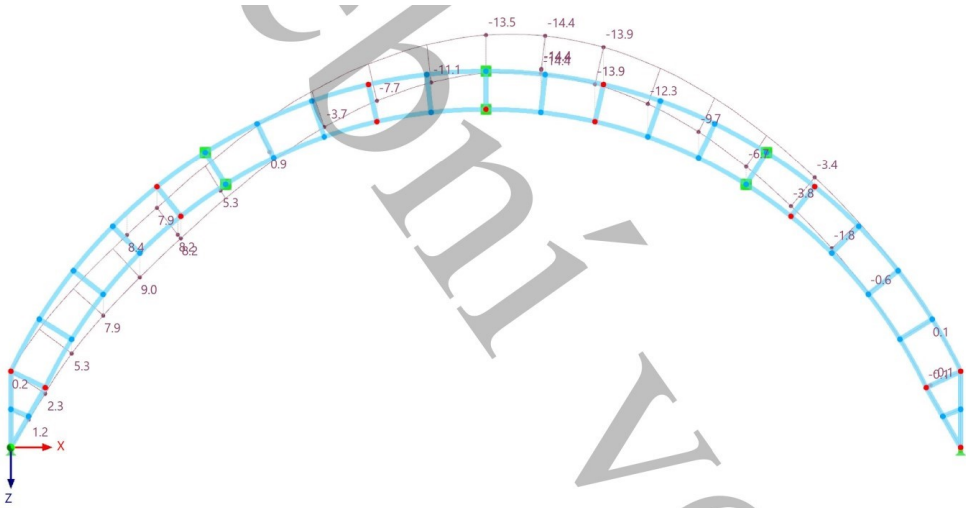


7.3.2. DEFORMACE

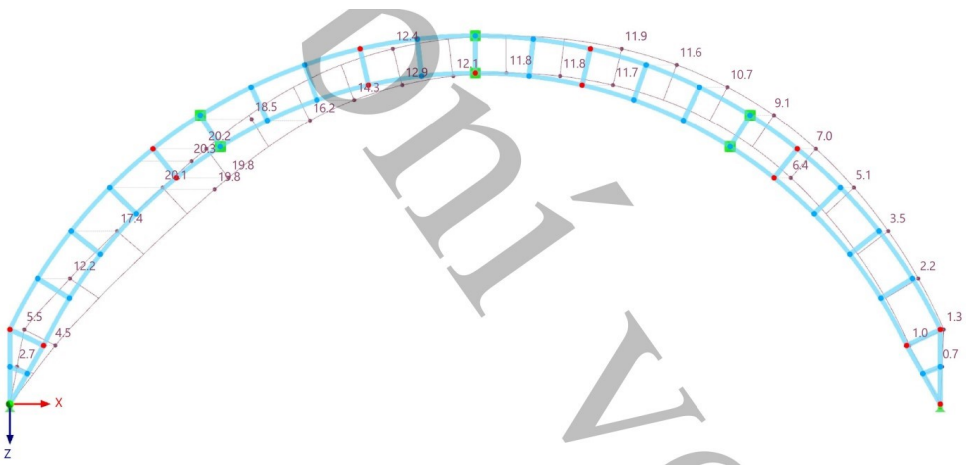
Max průhyb u_z [mm] - (stálé + proměnné) - KZ31



Max průhyb u_z [mm] - (pouze proměnné) - KZ45

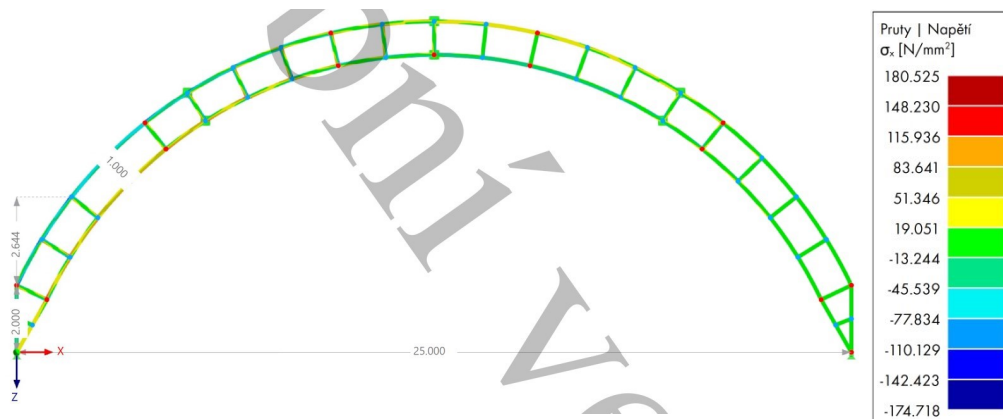


Vodorovný posun u_x [mm] - (stálé a proměnné) - KZ53



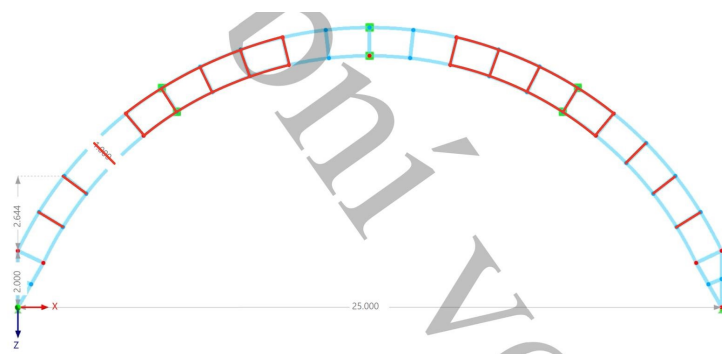
7.3.3. NAPĚTÍ

Max. napětí na průřezu [MPa] (stálé a proměnné) - KZ31



7.4. NAVRŽENÝ PRŮŘEZ

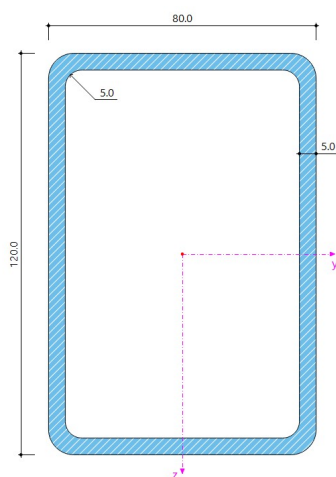
- Návrh: obdelníková trubka



-schéma rozmístění profilů trubek

-červeně: TR 120/80/7,1
-modře: TR 120/80/5,0

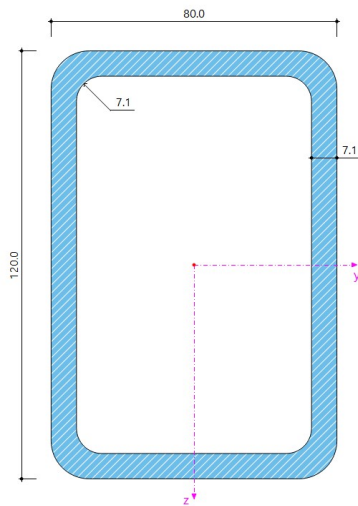
obr. 27 - schéma rozmístění profilů trubek



obr. 28 - průřez 1

Geometrie		
— Výška	h	120.0 mm
— Šířka	b	80.0 mm
— Tloušťka	t	5.0 mm
— Vnější poloměr rohu	r_o	7.5 mm
— Vnitřní poloměr rohu	r_i	5.0 mm
— Výška rovné části stojiny	d	100.0 mm
Průřezová plocha		
— Průřezová plocha	A	1870.000 mm ²
Ohyb		
— Area moment of inertia about y-axis	I_y	365.00 cm ⁴
— Moment setrvačnosti okolo osy z	I_z	193.00 cm ⁴
— Polární moment setrvačnosti	I_p	558.00 cm ⁴
— Poloměr setrvačnosti okolo osy y	i_y	44.2 mm
— Poloměr setrvačnosti okolo osy z	i_z	32.1 mm
— Polární poloměr setrvačnosti	i_p	54.6 mm
— Maximální statický moment plochy okolo osy y	max S_y	18.65 cm ³
— Maximální statický moment plochy okolo osy z	max S_z	14.03 cm ³
— Elastický průřezový modul okolo osy y	W_y	60.90 cm ³
— Elastický průřezový modul okolo osy z	W_z	48.20 cm ³
Smyk		
— Smyková plocha ve směru osy y	A_y	566.890 mm ²
— Smyková plocha ve směru osy z	A_z	1040.142 mm ²
Kroucení		
— Moment tuhosti v kroucení	I_t	401.00 cm ⁴
— Moment tuhosti v kroucení (St. Venant)	$I_{t,StVen}$	1.55 cm ⁴
— Moment tuhosti v kroucení (podíl Bredt)	$I_{t,Bredt}$	399.45 cm ⁴
— Moment tuhosti ve vázaném kroucení	$I_{t,s}$	15.53 cm ⁴
— Průřezový modul v kroucení	W_t	77.90 cm ³
Deplanace		
— Výšeová pořadnice vztažená ke středu smyku	max ω	4.67 cm ²
— Výšeový moment setrvačnosti vztažený ke středu smyku	I_{ω}	132.57 cm ⁶

obr. 29 - průřezové charakteristiky průřezu 1



obr. 30 - průřez 2

Geometrie			
— Výška	h		120.0 mm
— Šířka	b		80.0 mm
— Tloušťka	t		7.1 mm
— Vnější poloměr rohu	ro		10.7 mm
— Vnitřní poloměr rohu	ri		7.1 mm
— Výška rovné části stojiny	d		91.6 mm
Průřezová plocha			
— Průřezová plocha	A		2580.000 mm ²
Ohyb			
— Area moment of inertia about y-axis	Iy		482.00 cm ⁴
— Moment setrvačnosti okolo osy z	Iz		251.00 cm ⁴
— Polární moment setrvačnosti	Ip		733.00 cm ⁴
— Poloměr setrvačnosti okolo osy y	Iy		43.2 mm
— Poloměr setrvačnosti okolo osy z	Iz		31.2 mm
— Polární poloměr setrvačnosti	ip		53.3 mm
— Maximální statický moment plochy okolo osy y	max Sy		25.11 cm ³
— Maximální statický moment plochy okolo osy z	max Sz		18.76 cm ³
— Elastický průřezový modul okolo osy y	Wy		80.30 cm ³
— Elastický průřezový modul okolo osy z	Wz		62.80 cm ³
Smyk			
— Smyková plocha ve směru osy y	Ay		784.839 mm ²
— Smyková plocha ve směru osy z	Az		1460.808 mm ²
Kroucení			
— Moment tuhosti v kroucení	It		535.00 cm ⁴
— Moment tuhosti v kroucení (St. Venant)	It,StVen		4.29 cm ⁴
— Moment tuhosti v kroucení (podíl Bredt)	It,Bredt		530.71 cm ⁴
— Moment tuhosti ve vázaném kroucení	It,s		21.89 cm ⁴
— Průřezový modul v kroucení	Wt		101.00 cm ³
Deplance			
— Výšeová pořadnice vztažená ke středu smyku	max u		4.56 cm ²
— Výšeový moment setrvačnosti vztažený ke středu smyku	I _ω		175.12 cm ⁶

obr. 31 - průřezové charakteristiky průřezu 2

7.5. PŘEDBĚŽNÉ POSOUZENÍ PRŮŘEZU

7.5.1. MSÚ

- Maximální napětí σ_x

$$\sigma_x \leq 0.8 f_y$$

(σ_x ... vypočteno v programu Dlubal RFEM 6)

$$180.376 \leq 0.8 \cdot 235 = 188 \text{ [MPa]} \quad \text{VYHOVUJE}$$

7.5.2. MSP

- Celkový průhyb u_z (stálé a proměnné):

$$\delta_1 \leq \frac{L}{250}$$

(δ_1 ... vypočteno v programu Dlubal RFEM 6)

$$0.0157 \leq \frac{25}{250} = 0,1 \text{ [m]} \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Průhyb u_z od proměnného zatížení:

$$\delta_2 \leq \frac{L}{300}$$

(δ_2 ... vypočteno v programu Dlubal RFEM 6)

$$0.0144 \leq \frac{25}{300} = 0,083 \text{ [m]} \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Celkový vodorovný posun u_x (stálé a proměnné):

a) na oblouku

$$\delta_3 \leq \frac{h}{150}$$

(δ_3 ... vypočteno v programu Dlubal RFEM 6)

$$0.0203 \leq \frac{8.15}{150} = 0,0543 \text{ [m]} \quad \text{VYHOVUJE}$$

b) ve vrcholu sloupu

$$\delta_4 \leq \frac{h}{150} \quad (\delta_4 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

$$0.0055 \leq \frac{2}{150} = 0,0133 \text{ [m]} \quad \text{VYHOVUJE}$$

8. POROVNÁNÍ OBOU VARIANT

8.1. PARAMETRY POROVNÁNÍ

8.1.1. VYPOČTENÉ HMOTNOSTI KCE

a) Varianta 1 - plnostěnný oblouk
- Hmotnost kce: 1601 kg

b) Varianta 2 - Vierendeel
- Hmotnost kce: 1442 kg

- pozn.: Vypočteno v programu Dlubal RFEM 6 ze ZS1 - vlastní tíha jedné vazby

8.1.2. VÝHODY A NEVÝHODY OBOU VARIANT

a) Varianta 1 - plnostěnný oblouk
- Výhody:
+ menší výška průřezu o 620mm
+ menší pracnost výroby
+ levnější cena za 1kg kce -
80-100 Kč/kg

b) Varianta 2 - Vierendeel
- Výhody:
+ menší deformace
+ možnost vedení TZB v prostupech
+ menší hmotnost o 10%
+ vzhled

- Nevýhody:
- větší deformace
- větší hmotnost o 11%
- nemožnost vedení TZB v prostupech

- Nevýhody:
- větší hmotnost kce o 27%
- vyšší výška průřezu o 600mm
- větší pracnost výroby
- dražší cena za 1kg kce - 150-200 Kč/kg

- pozn.: Cena byla stanovena na základě odborného odhadu stavební firmy specializované na výrobu a montáž ocelových konstrukcí.

8.2. VÝSLEDNÁ VARIANTA

8.2.1. VYBRANÁ VARIANTA

Vybírám variantu 1 - plnostěnný svařovaný I průřez.

8.2.2. ODŮVODNĚNÍ VYBRANÉ VARIANTY

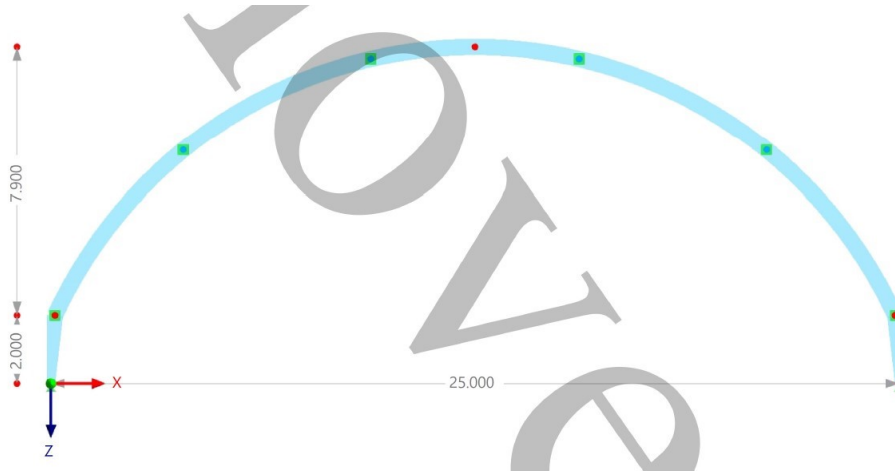
Důvodem zvolení této varianty je hlavně lepší cena a jednodušší pracnost, zároveň hmotnost není výrazně vyšší než druhá varianta. Toto vnímám jako nejdůležitější aspekty statického návrhu konstrukce. Nad druhou variantou bych uvažoval pouze v případě vysokého nároku na deformace a nízké hmotnosti konstrukce nebo na přání architekta/investora pro atraktivnější vzhled.

- pozn.: Další variantou konstrukčního řešení by mohla být příhradová konstrukce, ta nebyla zohledněna z důvodu zpracování této varianty v předchozích projektech a tedy motivace naučení se nového druhu konstrukce jako je svařovaný průřez nebo Vierendeel.

9. PODROBNÝ NÁVRH A VÝPOČET PŘÍČNÉ DRUHÉ VAZBY ZVOLENÉ VARIANTY 1 - PLNOSTĚNNÝ SVAŘ I PROFIL

9.1. MODEL KONSTRUKCE

- pozn.: Vymodelováno v programu Dlubal RFEM 6



9.2. ZATĚŽOVACÍ STAVY A ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE

9.2.1. ZATĚŽOVACÍ STAVY

-Stejně viz kapitola 6.2.1

9.2.2. ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE

-Stejně viz kapitola 6.2.2

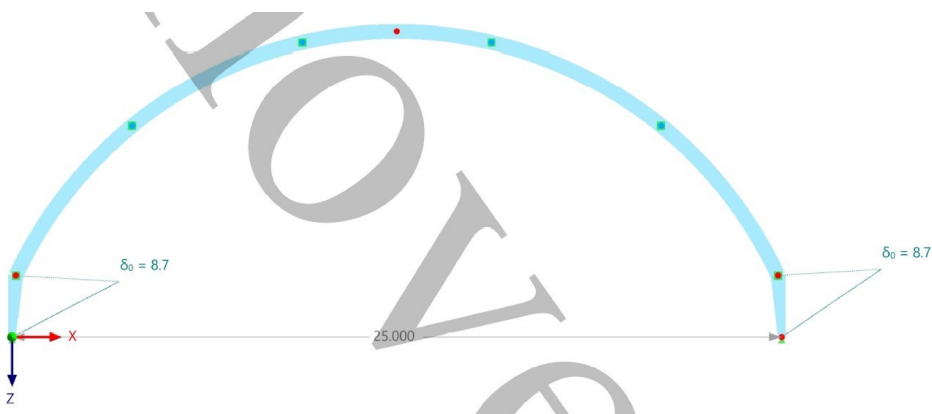
9.2.3. IMPERFEKCE

$$h_{sl} := 2 \text{ m}$$

$$m := 2 \text{ (počet sloupů v řadě)}$$

$$\alpha_m := \sqrt{0.5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = 0.866 \quad \alpha_h := \frac{2}{\sqrt{h_{sl}}} = 1.414 \leq 1.0 \quad \Rightarrow \alpha_h := 1.0$$

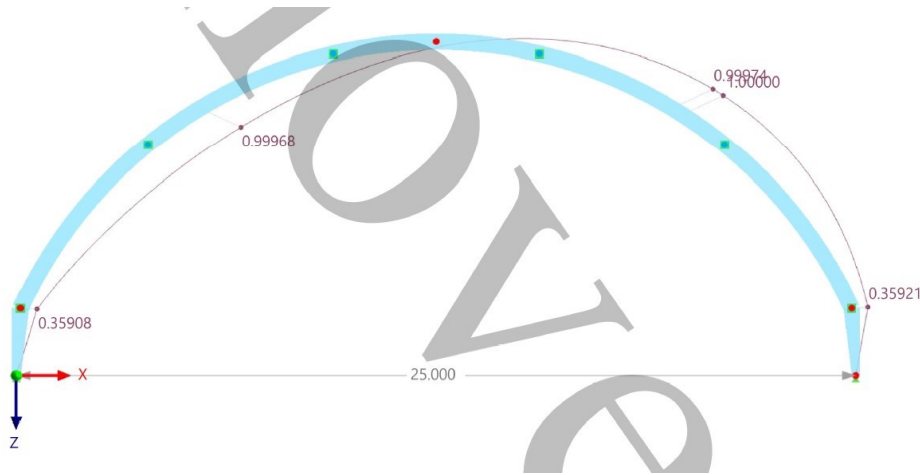
$$\phi_0 := \frac{1}{200} \cdot \alpha_m \cdot \alpha_h = 0.004 \quad e_x := \phi_0 \cdot 2 \text{ m} = 8.66 \text{ mm}$$



9.2.4. STABILITA

$\alpha_{cr} := 25.016 > 10$ -> deformace dle teorie I. řádu (rozhodující kombinace KZ31)

(α_{cr} ...vypočteno v programu Dlubal RFEM 6)

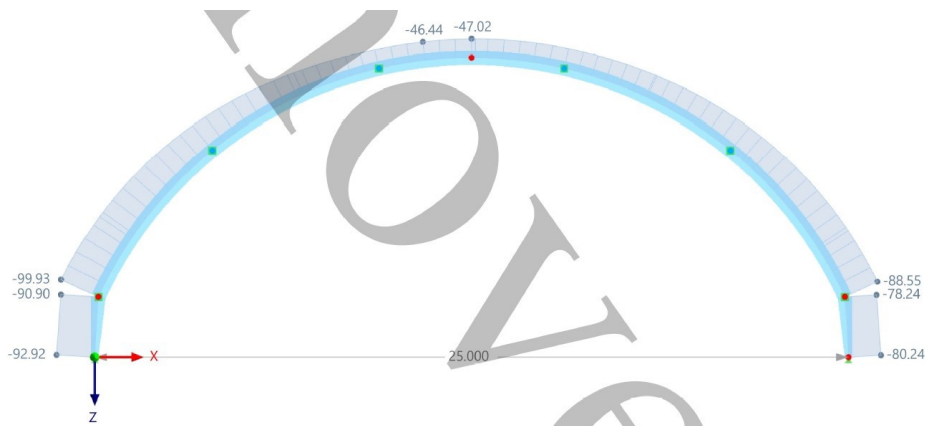


9.3. VNITŘNÍ SÍLY, DEFORMACE A NAPĚTÍ

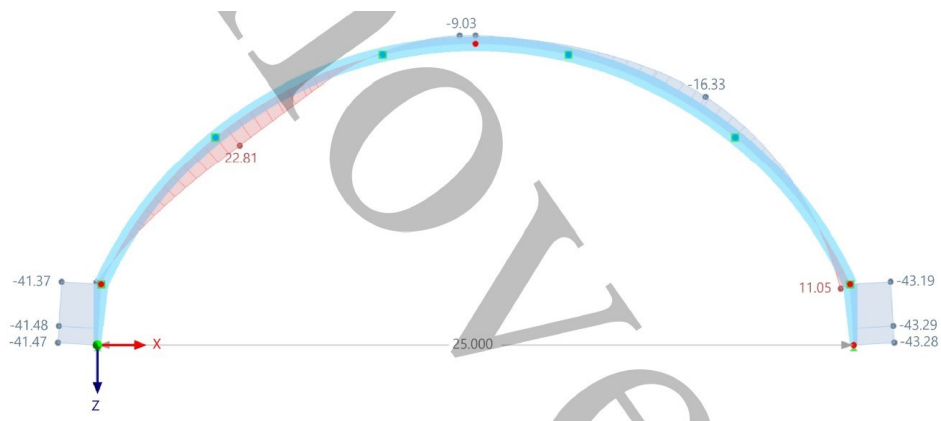
9.3.1. VNITŘNÍ SÍLY

- pozn.: Vypočteno v programu Dlubal RFEM 6

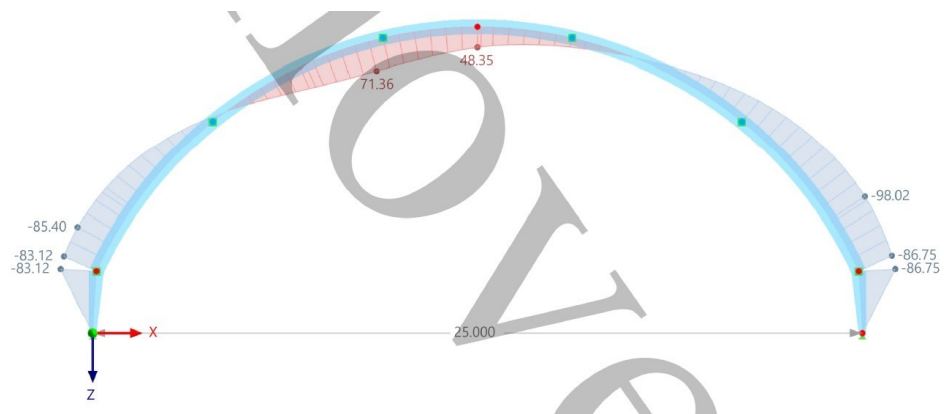
Normálová síla N [kN] - KZ31



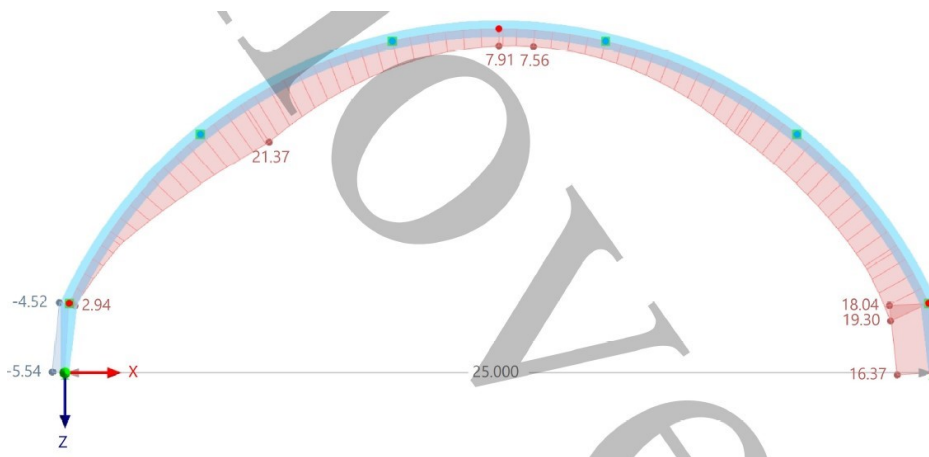
Posouvající síla V_z [kN] - KZ31



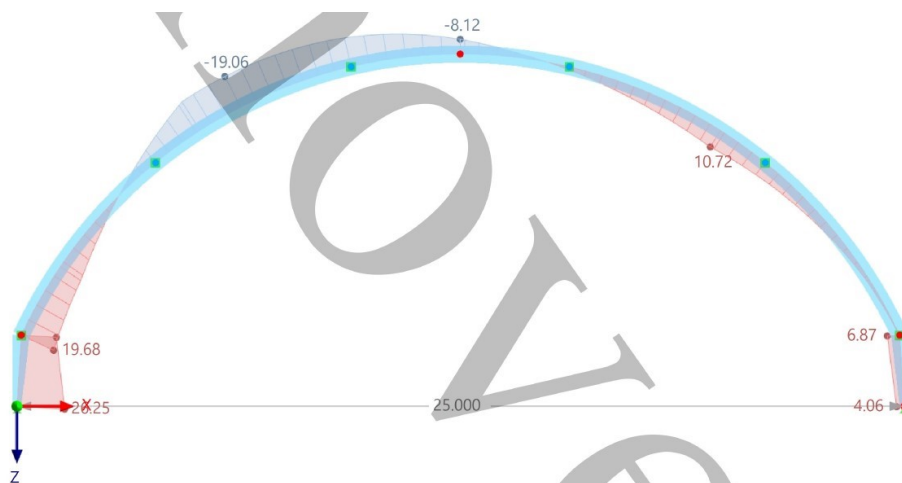
Ohybový moment M_y [$kN \cdot m$] - KZ31



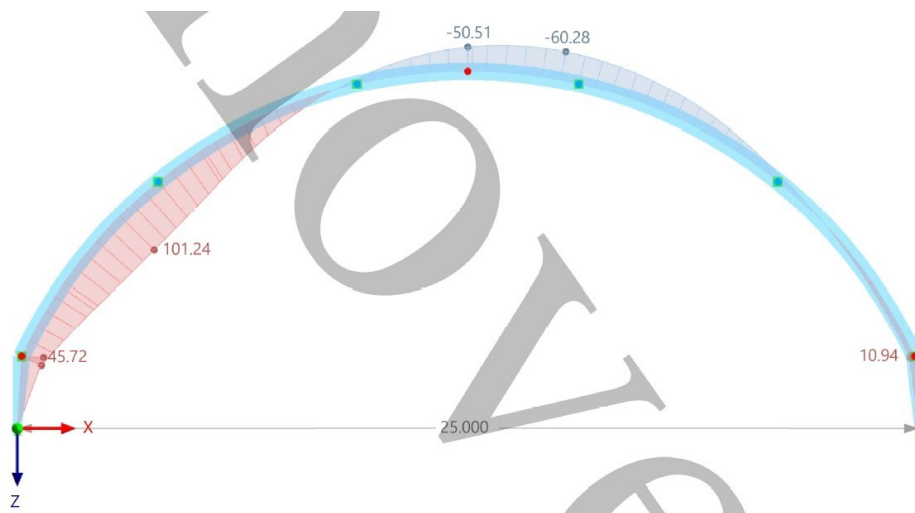
Normálová síla N [kN] - KZ53



Posouvající síla V_z [kN] - KZ53

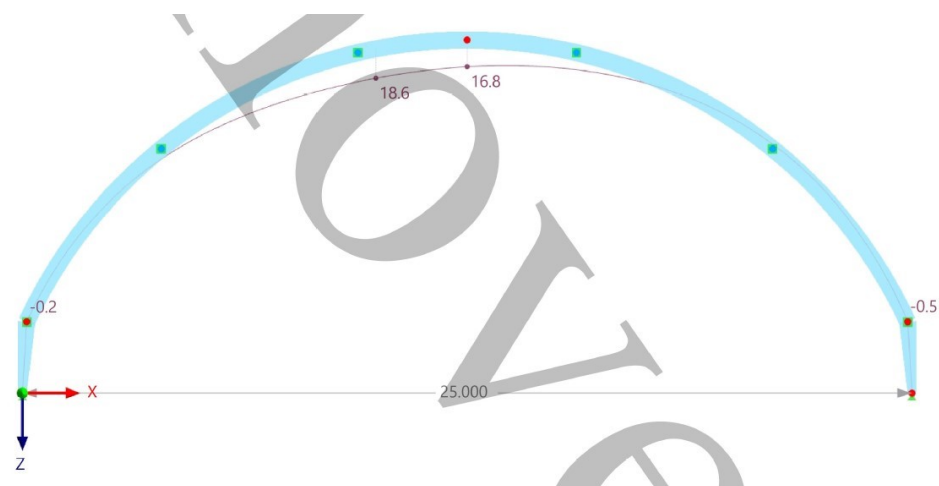


Ohybový moment M_y [$kN \cdot m$] - KZ53

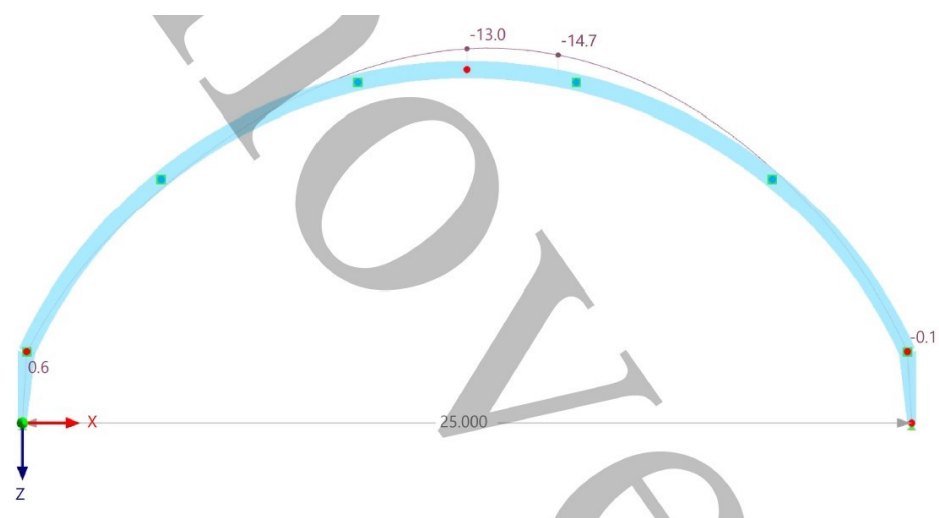


9.3.2. DEFORMACE

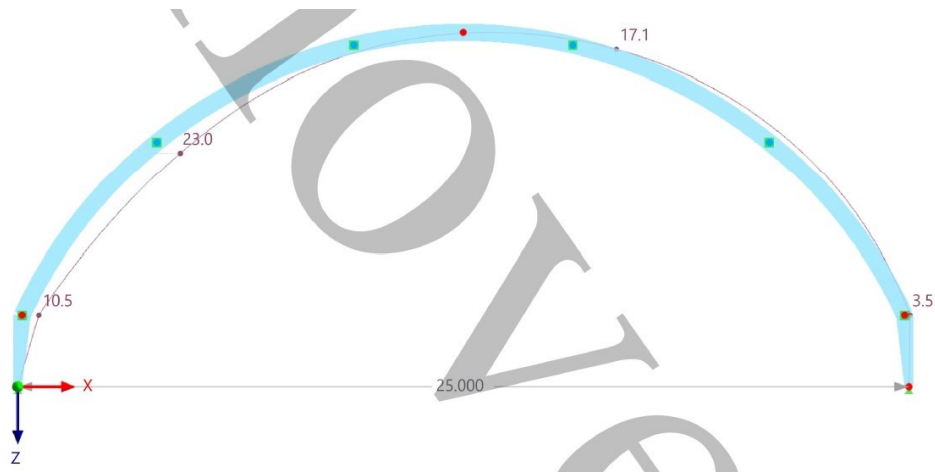
Max průhyb u_z [mm] - (stálé + proměnné) - KZ31



Max průhyb u_z [mm] - (pouze proměnné) - KZ45

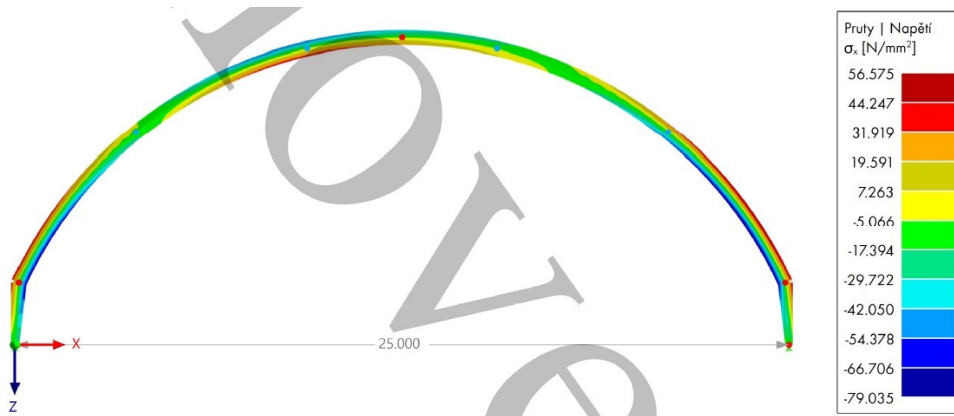


Vodorovný posun u_x [mm] - (stálé a proměnné) - KZ53



9.3.3. NAPĚTÍ

Maximální napětí σ_x na průřezu [MPa] (stálé a proměnné) - KZ31



9.4. MSP

- Zjednodušený přepočít na efektivní průřez:

$$I_y := 34707 \text{ cm}^4 \quad I_{y,eff} := 345408985.27 \cdot \text{mm}^4$$

$$\frac{I_y}{I_{y,eff}} = 1.005 \quad (=> \text{zvýšení deformace o } 0,5\%)$$

- Celkový průhyb u_z (stálé a proměnné):

$$\delta_1 \leq \frac{L}{250} \quad (\delta_1 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

$$1.005 \cdot 18.6 = 18.693 \leq \frac{25000}{250} = 100 \text{ [mm]} \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Průhyb u_z od proměnného zatížení:

$$\delta_2 \leq \frac{L}{300} \quad (\delta_2 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

$$1.005 \cdot 14.7 = 14.774 \leq \frac{25000}{300} = 83.333 \quad [\text{mm}] \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Celkový vodorovný posun u_x (stálé a proměnné):

a) na oblouku

$$\delta_3 \leq \frac{h}{150} \quad (\delta_3 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

$$1.005 \cdot 23 = 23.115 \leq \frac{6538}{150} = 43.587 \quad [\text{mm}] \quad \text{VYHOVUJE}$$

b) ve vrcholu sloupu

$$\delta_4 \leq \frac{h}{150} \quad (\delta_4 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

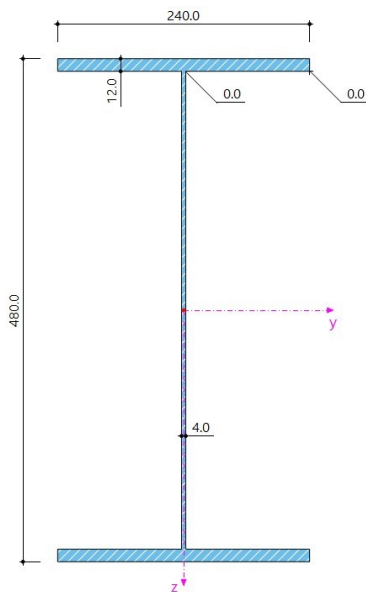
$$1.005 \cdot 10.5 = 10.553 \leq \frac{2000}{150} = 13.333 \quad [\text{mm}] \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.5. NÁVRH A POSOUZENÍ SLOUPU

9.5.1. NAVRŽENÝ PRŮŘEZ

- Svařovaný I profil s proměnnou výškou po délce sloupu, $h=240 - 480\text{mm}$, $b=240\text{mm}$

9.5.1.1. NAVRŽENÝ PRŮŘEZ - VRCHOL SLOUPU



- Průřezové charakteristiky:

$A := 7584 \text{ mm}^2$	$I_z := 2765.04 \text{ cm}^4$
$b := 240 \text{ mm}$	$i_y := 213.9 \text{ mm}$
$h := 480 \text{ mm}$	$i_z := 60.4 \text{ mm}$
$t_w := 4 \text{ mm}$	$W_{pl,y} := 1555.78 \text{ cm}^3$
$t_f := 12 \text{ mm}$	$W_{el,y} := 1446.12 \text{ cm}^3$
$I_y := 34707 \text{ cm}^4$	$A_{vz} := 4818.154 \text{ mm}^2$

- Materiálové charakteristiky (S235):

$f_y := 235 \text{ MPa}$	$E := 210 \text{ GPa}$
	$G := 81 \text{ GPa}$
$f_{yd} := \frac{f_y}{1.0} = 235 \text{ MPa}$	$\gamma_{M1} := 1.0$
	$\gamma_{M0} := 1.0$
$f_u := 360 \text{ MPa}$	$\gamma_{M2} := 1.25$
$\nu := 0.3$	

obr. 32 - průřez vrchol sloupu

Rozhodující vnitřní síly (KZ31): $N_{Ed} := 78.24 \text{ kN}$ $V_{Ed} := 43.19 \text{ kN}$ $M_{Ed} := 86.75 \text{ kN} \cdot \text{m}$

9.5.1.2. ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU - VRCHOL SLOUPU

- Pásnice:

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 1 \quad c := \frac{(240 \text{ mm} - t_w)}{2} = 118 \text{ mm}$$

Pro pásnici třídy 1 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_f} = 9.833 \leq 9 \quad \varepsilon = 9 \Rightarrow \text{pásnice není třídy 1.}$$

Pro pásnici třídy 2 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_f} = 9.833 \leq 10 \quad \varepsilon = 10 \Rightarrow \text{pásnice je třídy 2.}$$

- Stojina:

$$z := \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = 83.234 \text{ mm} \quad c := 480 \text{ mm} - 2 \cdot t_f = 456 \text{ mm}$$

$$\alpha c := \frac{(c+z)}{2} = 269.617 \text{ mm} \quad \alpha := \frac{(\alpha c)}{c} = 0.591$$

Pro stojinu třídy 1 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_w} = 114 > 396 \frac{\varepsilon}{13 \alpha - 1} = 59.224 \Rightarrow \text{stojina není třídy 1.}$$

Pro stojinu třídy 2 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_w} = 114 > 456 \frac{\varepsilon}{13 \alpha - 1} = 68.198 \Rightarrow \text{stojina není třídy 2.}$$

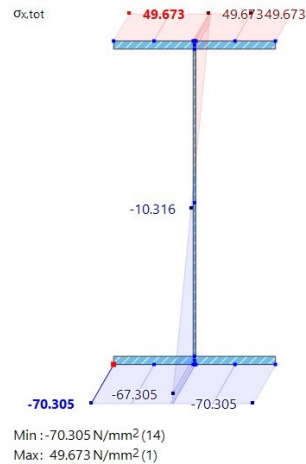
Pro stojinu třídy 3 musí být při pružném rozdělení napětí splněna podmínka:

$$\sigma_c := \frac{-N_{Ed}}{A} - \frac{M_{Ed}}{I_y} \cdot \frac{c}{2} = -67.305 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t := \frac{-N_{Ed}}{A} + \frac{M_{Ed}}{I_y} \cdot \frac{c}{2} = 46.672 \text{ MPa}$$

$$\psi := \frac{\sigma_t}{\sigma_c} = -0.693 \leq -1.0$$

Analyza napětí-přetvoření
Průřezy č. 5 - 4:
I 240/240/4/12/0/0/H | 1 - S235
I 480/240/4/12/0/0/H | 1 - S235
Prut č. 2 | x: 2.004 m
Návrhová situace č. 1
Zatížení č. KZ31
 $\sigma_{x,tot}$



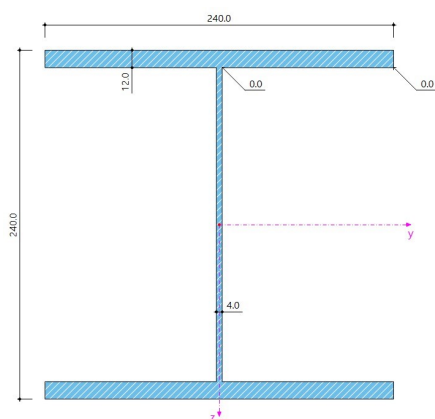
obr. 33 - max. napětí σ_x na průřezu, rozhodující kombinace KZ31

$$\frac{c}{t_w} = 114 > 62 \varepsilon (1 - \psi) \cdot \sqrt{-\psi} = 87.431 \Rightarrow \text{stojina není třídy 3.}$$

-> stojina je třídy 4.

Průřez vrcholu sloupu má stojnu třídy 4 a pásnici třídy 2

9.5.1.3. NAVRŽENÝ PRŮŘEZ - PATA SLOUPU



obr. 34 - průřez paty sloupu

- Průřezové charakteristiky:

$$\begin{aligned}
 A &:= 6624 \text{ mm}^2 & I_z &:= 2764.92 \text{ cm}^4 \\
 b &:= 240 \text{ mm} & i_y &:= 108.7 \text{ mm} \\
 h &:= 240 \text{ mm} & i_z &:= 64.6 \text{ mm} \\
 t_w &:= 4 \text{ mm} & W_{pl,y} &:= 703.3 \text{ cm}^3 \\
 t_f &:= 12 \text{ mm} & W_{el,y} &:= 652.38 \text{ cm}^3 \\
 I_y &:= 7828.53 \text{ cm}^4 & A_{vz} &:= 4817.71 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Materiálové charakteristiky (S235):

$$\begin{aligned}
 f_y &:= 235 \text{ MPa} & E &:= 210 \text{ GPa} \\
 & & G &:= 81 \text{ GPa} \\
 f_{yd} &:= \frac{f_y}{1.0} = 235 \text{ MPa} & Y_{M1} &:= 1.0 \\
 & & Y_{M0} &:= 1.0 \\
 f_u &:= 360 \text{ MPa} & Y_{M2} &:= 1.25
 \end{aligned}$$

$$v := 0.3$$

Rozhodující vnitřní síly (KZ31): $N_{Ed} := 92.92 \text{ kN}$ $V_{Ed} := 41.47 \text{ kN}$ $M_{Ed} := 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$

9.5.1.4. ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU - PATA SLOUPU

- Pásnice:

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 1 \quad c := \frac{(240 \text{ mm} - t_w)}{2} = 118 \text{ mm}$$

Pro pásnici třídy 1 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_f} = 9.833 \leq 9 \varepsilon = 9 \Rightarrow \text{pásnice není třídy 1.}$$

Pro pásnici třídy 2 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_f} = 9.833 \leq 10 \varepsilon = 10 \Rightarrow \text{pásnice je třídy 2.}$$

- Stojina:

$$c := 240 \text{ mm} - 2 \cdot t_f = 216 \text{ mm}$$

Pro stojinu třídy 1 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_w} = 54 > 33 \varepsilon = 33 \Rightarrow \text{stojina není třídy 1.}$$

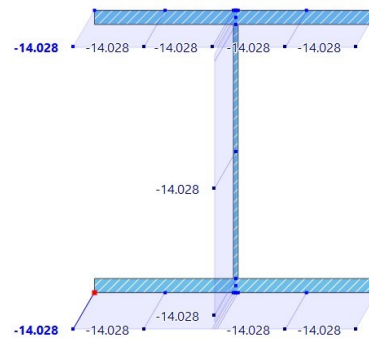
Pro stojinu třídy 2 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_w} = 54 > 38 \varepsilon = 38 \Rightarrow \text{stojina není třídy 2.}$$

Pro stojinu třídy 3 musí být při pružném rozdělení napětí splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_w} = 54 > 42 \varepsilon = 42 \Rightarrow \text{stojina není třídy 3.}$$

Analyza napětí-přetvoření
 Průřez č. 5 - 4:
 I 240/240/4/12/0/0/H | 1 - S235
 I 480/240/4/12/0/0/H | 1 - S235
 Prut č. 1 | x: 0.000 m
 Návrhová situace č. 1
 Zatížení č.KZ31
 $\sigma_{x,tot}$



Min: -14.028 N/mm²(1)
 Max: -14.028 N/mm²(1)

obr. 35 - max. napětí σ_x na průřezu, rozhodující kombinace KZ31

=> stojina je třídy 4.

Průřez paty sloupu má stojnu třídy 4 a pásnici třídy 2

9.5.1.5. VÝPOČET ÚČINNÉHO PRŮŘEZU - TLAK

- Lokální boulení - stojina:

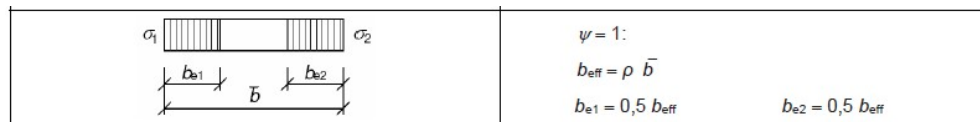
stojina:

$$\sigma_t := -14.028 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c := -14.028 \text{ MPa}$$

- lineární tlak po výšce $\psi := \frac{\sigma_t}{\sigma_c} = 1$

- oboustranně podepřená stěna -> $k_\sigma := 4$



obr. 36 - účinná šířka tláčené stojiny

šťíhlost stěny:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{ub}}{\sigma_{cr}}}$$

$$h_w := h - 2 t_f = 216 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_p := \frac{\frac{h_w}{t_w}}{28.4 \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = 0.951 > 0.673$$

$$\rho := \frac{(\lambda_p - 0.055 \cdot (3 + \psi))}{\lambda_p^2} = 0.808 \leq 1.0$$

účinná šířka tlačené stojiny:

$$\bar{b} := h_w = 216 \text{ mm}$$

$$b_{eff} := \rho \cdot \bar{b} = 0.175 \text{ m}$$

$$b_{e1} := 0.5 \cdot b_{eff} = 87.312 \text{ mm}$$

$$b_{e2} := 0.5 \cdot b_{eff} = 87.312 \text{ mm}$$

- Lokální boulení - pásnice:
Pásnice neboulí.

9.5.1.6. VÝPOČET ÚČINNÉHO PRŮŘEZU - OHYB

- Lokální boulení - stojina:
stojina:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{46.672}{-67.305} = -0.693$$

- lineární tlak po výšce $\psi := -0.693$

			$\psi < 0:$ $b_{eff} = \rho \cdot b_0 = \rho \cdot \bar{b} / (1 - \psi)$ $b_{e1} = 0.4 \cdot b_{eff}$ $b_{e2} = 0.6 \cdot b_{eff}$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Součinitel kritického napětí k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \cdot \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

obr. 37 - účinná šířka ohýbané stojiny

- oboustranně podepřená stěna $\Rightarrow k_\sigma := 7.81 - 6.29 \cdot \psi + 9.78 \psi^2 = 16.866$
štíhlost stěny:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{ub}}{\sigma_{cr}}}$$

$$h := 480 \text{ mm}$$

$$h_w := h - 2 t_f = 456 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_p := \frac{\frac{h_w}{t_w}}{28.4 \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = 0.977 > 0.673$$

účinná šířka ohýbané stojiny:

$$\rho := \frac{(\bar{\lambda}_p - 0.055 \cdot (3 + \psi))}{\bar{\lambda}_p^2} = 0.89 \leq 1.0$$

$$b := h_w = 456 \text{ mm}$$

$$b_{eff} := \rho \cdot \frac{b}{(1 - \psi)} = 239.793 \text{ mm} \quad b_t := h_w - \frac{b}{(1 - \psi)} = 186.656 \text{ mm}$$

$$b_{e1} := 0.4 \cdot b_{eff} = 95.917 \text{ mm}$$

$$b_{e2} := 0.6 \cdot b_{eff} = 143.876 \text{ mm}$$

- Lokální boulení - pásnice:
Pásnice neboulí.

- Výpočet efektivního modulu průřezu:

- pozn.: Vypočteno v programu MS Excel

$$A_{eff} := 6458.5 \text{ mm}^2 \quad (\text{vypočteno na průřez paty sloupu})$$

$$z_t := 241.86 \text{ mm}$$

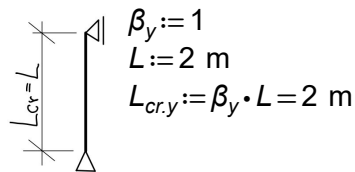
$$I_{y,eff} := 345408985.27 \text{ mm}^4 \quad (\text{vypočteno na průřez vrcholu sloupu})$$

$$W_{y,eff} := \frac{I_{y,eff}}{z_t} = 1428136.051 \text{ mm}^3$$

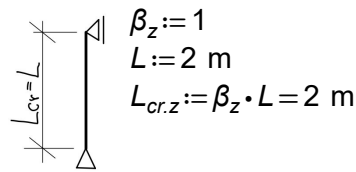
9.5.2. MSÚ

- Vzpěrné délky:

v rovině vazníku:



z roviny vazníku:



obr. 38 a 39 - schéma vzpěrných délek

- Štíhlost prutu:

$$\lambda_y := \frac{L_{cr,y}}{i_y} = 18.399 \quad \lambda_z := \frac{L_{cr,z}}{i_z} = 30.96 \quad (\text{pro průřez v patě soupu})$$

- Poměrná štíhlost prutu:

$$\lambda_1 := 93.9 \cdot \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 93.9 \quad \bar{\lambda}_y := \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 0.196 \quad \bar{\lambda}_z := \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 0.33$$

- Přiřazení křivek vzpěrnosti:

$$\text{svařovaný průřez: } t_f = 12 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \Rightarrow y-y=b \Rightarrow \alpha_y := 0.34$$

$$z-z=c \Rightarrow \alpha_z := 0.49$$

$$\phi_y := 0.5 (1 + \alpha_y (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2) \quad \phi_z := 0.5 (1 + \alpha_z (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2)$$

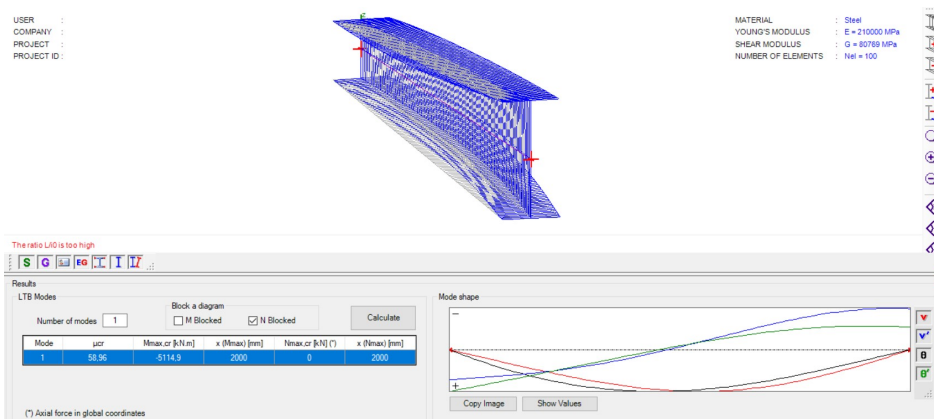
$$\chi_y := \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 1.001 \leq 1.0 \quad \chi_z := \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0.934 \leq 1.0$$

$$\chi_y = 1.0$$

$$\chi_z = 0.934$$

- Vliv klopení:

výpočet kritického momentu M_{cr} (více viz příloha 1.1.):



obr. 40 - výsledný kritický moment M_{cr}

$$M_{cr} := 5114.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- pozn.: Vypočteno pomocí programu LTBeamN

- Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{LT} := \sqrt{W_{y,eff} \cdot \frac{f_y}{M_{cr}}} = 0.256$$

- Křivka klopení pro svařovaný profil:

$$\frac{h}{b} = \frac{480}{240} = 2 = 2 \Rightarrow \text{křivka klopení c} \Rightarrow \alpha_{LT} := 0.49$$

- Součinitel klopení:

$$\phi_{LT} := 0.5 \left(1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right) = 0.547$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0.971 \leq 1.0 \Rightarrow \text{kce je náchylná na klopení}$$

$$\leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = 15.241$$

- Posouzení sloupu na kombinaci tlaku s ohybem:

součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{my} dle metody 2:

- pozn.: chování kce vazníku se sloupem lze uvažovat jako rám

$$C_{my} := 0.9 \geq 0.4$$


Součinitel ekvivalentního konstantního momentu při vybočení s posuvem styčnicků se má uvažovat $C_{my} = 0,9$ nebo $C_{Mz} = 0,9$.

obr. 41 - hodnota C_{my}

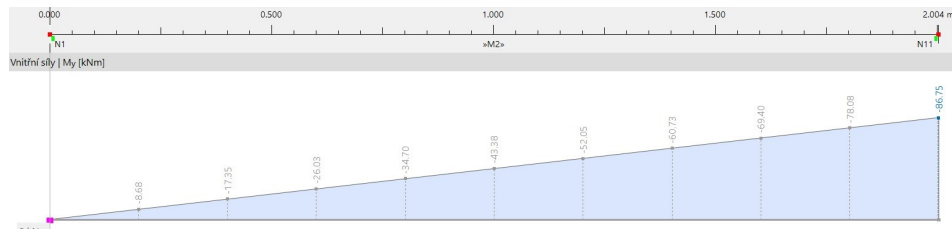
součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{mLT} dle metody 2:

$$\psi := 0$$

$$C_{mLT} := 0.6 + 0.4 \psi = 0.6 \geq 0.4$$

	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$
---	-----------------------	--------------------------

obr. 42 - tabulka pro součinitel C_{mLT}



obr. 43 - průběh ohybového momentu M_y na sloupu (KZ31)

- Charakteristické hodnoty únosností v tlaku a ohybu:

$$N_{Rk} := A_{eff} \cdot f_y = 1517.748 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} := W_{y,eff} \cdot f_y = 335.612 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- Součinitele k_{yy} a k_{zy} :

$$k_{yy} := C_{my} \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.906$$

$$k_{yy} := C_{my} \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.933$$

$$\min.(0.906, 0.933) \quad k_{yy} := 0.906$$

$$k_{zy} := \left(1 - \frac{0.05 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.997$$

$$k_{zy} := \left(1 - \frac{0.05}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.991$$

$$\max.(0.997, 0.991) \quad k_{zy} := 0.997$$

- Podmínky spolehlivosti:

Rozhodující vnitřní síly: $N_{Ed} = 92.92 \text{ kN}$ $V_{Ed} = 43.19 \text{ kN}$ $M_{Ed} = 86.75 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$\frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{X_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} = 0.326 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{X_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} = 0.329 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{Y_{M1}} + \frac{M_{Ed}}{Y_{M1}} = 0.32 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Posouzení smykové únosnosti:

$$k_r := 5.34 \quad (\text{výztuhy v podporách}) \quad \eta := 1.2 \quad (\text{ocel S235})$$

kritické napětí:

$$\tau_{cr} := k_r \cdot \frac{(\pi^2 \cdot E)}{12(1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t_w}{h_w}\right)^2 = 77.988 \text{ MPa}$$

štíhlost:

$$\bar{\lambda}_w := \sqrt{\frac{f_y}{\sqrt{3} \tau_{cr}}} = 1.319$$

redukční součinitel:

$$\chi_w := \frac{0.83}{\bar{\lambda}_w}$$

příspěvek stojiny:

$$V_{bw.Rd} := \frac{(\chi_w \cdot f_y \cdot h_w \cdot t_w)}{\sqrt{3} \cdot Y_{M1}} = 155.729 \text{ kN}$$

- Únosnost průřezu:

- pozn.: Příspěvek pásnice zanedbáno ($V_{bf.Rd} := 0$)

$$V_{b.Rd} := V_{bw.Rd} + V_{bf.Rd} = 155.729 \text{ kN} \leq \frac{(\eta \cdot f_y \cdot h_w \cdot t_w)}{\sqrt{3} \cdot Y_{M1}} = 296.971 \text{ kN}$$

$$V_{b.Rd} = 155.729 \text{ kN} > V_{Ed} = 43.19 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\Rightarrow V_{Ed} = 43.19 \text{ kN} < 0.5 \cdot V_{b.Rd} = 77.865 \text{ kN} \Rightarrow \text{malý smyk}$$

- Krční svary:

napětí ve svaru:

$$a_w := 4 \text{ mm} \quad (t_f = 12 \text{ mm} < 20 \text{ mm}) \quad \beta_w := 0.8 \quad (\text{ocel S235})$$

$$S_y := 661.997 \text{ cm}^3 \quad - \text{pozn.: Vypočteno v programu Excel}$$

$$\tau_{II} := \frac{(V_{Ed} \cdot S_y)}{I_{y,eff} \cdot 2 \cdot a_w} = 10.347 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot Y_{M2} \cdot \sqrt{3}} = 207.846 \text{ MPa}$$

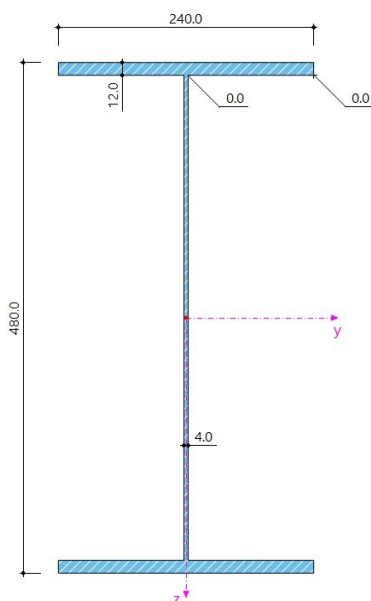
VYHOVUJE

9.6. NÁVRH A POSOUZENÍ OBLOUKOVÉHO VAZNÍKU

9.6.1. NAVRŽENÝ PRŮŘEZ

- Svařovaný I profil s konstantním průběhem, $h=480\text{mm}$, $b=240\text{mm}$

9.6.1.1. NAVRŽENÝ PRŮŘEZ



- Průřezové charakteristiky:

$$\begin{aligned} A &:= 7584 \text{ mm}^2 & I_z &:= 2765.04 \text{ cm}^4 \\ b &:= 240 \text{ mm} & i_y &:= 213.9 \text{ mm} \\ h &:= 480 \text{ mm} & i_z &:= 60.4 \text{ mm} \\ t_w &:= 4 \text{ mm} & W_{pl,y} &:= 1555.78 \text{ cm}^3 \\ t_f &:= 12 \text{ mm} & W_{el,y} &:= 1446.12 \text{ cm}^3 \\ I_y &:= 34707 \text{ cm}^4 & A_{vz} &:= 4818.154 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Materiálové charakteristiky (S235):

$$\begin{aligned} f_y &:= 235 \text{ MPa} & E &:= 210 \text{ GPa} \\ G &:= 81 \text{ GPa} \\ f_{yd} &:= \frac{f_y}{1.0} = 235 \text{ MPa} & \gamma_{M1} &:= 1.0 \\ \gamma_{M0} &:= 1.0 \\ f_u &:= 360 \text{ MPa} & \gamma_{M2} &:= 1.25 \end{aligned}$$

$$v := 0.3$$

obr. 44 - průřez vazníku

Rozhodující vnitřní síly: $N_{Ed} := 85.3 \text{ kN}$ $V_{Ed} := 0.85 \text{ kN}$ $M_{Ed} := 98.02 \text{ kN} \cdot \text{m}$

9.6.1.2. ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU

- Pásnice:

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 1 \qquad c := \frac{(240 \text{ mm} - t_w)}{2} = 118 \text{ mm}$$

Pro pásnici třídy 1 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_f} = 9.833 \leq 9 \varepsilon = 9 \Rightarrow \text{pásnice není třídy 1.}$$

Pro pásnici třídy 2 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_f} = 9.833 \leq 10 \varepsilon = 10 \Rightarrow \text{pásnice je třídy 2.}$$

- Stojina:

$$z := \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = 90.745 \text{ mm} \qquad c := 480 \text{ mm} - 2 \cdot t_f = 456 \text{ mm}$$

$$\alpha c := \frac{(c+z)}{2} = 273.372 \text{ mm} \qquad \alpha := \frac{(\alpha c)}{c} = 0.6$$

Pro stojinu třídy 1 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_w} = 114 > 396 \frac{\varepsilon}{13 \alpha - 1} = 58.291 \Rightarrow \text{stojina není třídy 1.}$$

Pro stojinu třídy 2 musí být splněna podmínka:

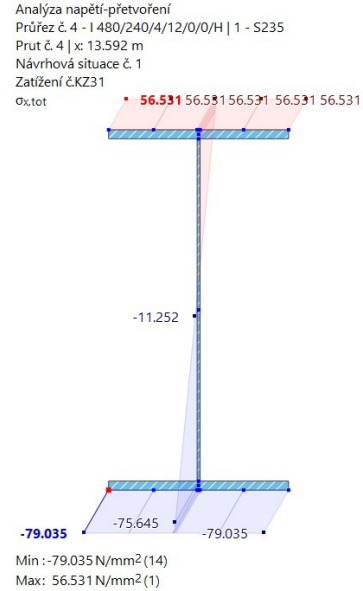
$$\frac{c}{t_w} = 114 > 456 \frac{\varepsilon}{13 \alpha - 1} = 67.123 \Rightarrow \text{stojina není třídy 2.}$$

Pro stojinu třídy 3 musí být při pružném rozdělení napětí splněna podmínka:

$$\sigma_c := \frac{-N_{Ed}}{A} - \frac{M_{Ed}}{I_y} \cdot \frac{c}{2} = -75.639 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t := \frac{-N_{Ed}}{A} + \frac{M_{Ed}}{I_y} \cdot \frac{c}{2} = 53.145 \text{ MPa}$$

$$\psi := \frac{\sigma_t}{\sigma_c} = -0.703 \leq -1.0$$



obr. 45 - max. napětí σ_x ma průřezu, rozhodující kombinace KZ31

$$\frac{c}{t_w} = 114 > 62 \varepsilon (1 - \psi) \cdot \sqrt{(-\psi)} = 88.483 \Rightarrow \text{stojina není třídy 3.}$$

=> stojina je třídy 4.

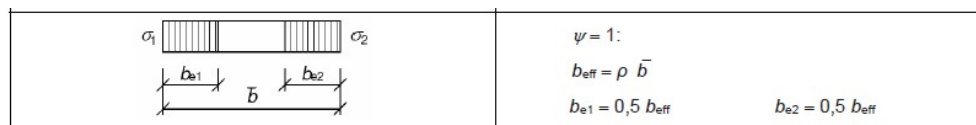
Průřez vrcholu sloupu má stojnu třídy 4 a pásnici třídy 2

9.6.1.3. VÝPOČET ÚČINNÉHO PRŮŘEZU - TLAK

- Lokální boulení - stojina:

stojina:

- lineární tlak po výšce $\psi := 1$ - oboustranně podepřená stěna -> $k_\sigma := 4$



obr. 46 - účinná šířka tlačené stojiny

štíhlost stěny:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{ub}}{\sigma_{cr}}}$$

$$h := 480 \text{ mm}$$

$$h_w := h - 2 t_f = 456 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_p := \frac{\frac{h_w}{t_w}}{28.4 \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = 2.007 > 0,673$$

$$\rho := \frac{(\lambda_p - 0.055 \cdot (3 + \psi))}{\lambda_p^2} = 0.444 \leq 1.0$$

účinná šířka tlačené stojny:

$$\bar{b} := h_w = 456 \text{ mm}$$

$$b_{\text{eff}} := \rho \cdot \bar{b} = 0.202 \text{ m}$$

$$b_{e1} := 0.5 \cdot b_{\text{eff}} = 101.148 \text{ mm}$$

$$b_{e2} := 0.5 \cdot b_{\text{eff}} = 101.148 \text{ mm}$$

- Lokální boulení - pásnice:
Pásnice neboulí.

9.6.1.6. VÝPOČET ÚČINNÉHO PRŮŘEZU - OHYB

- Lokální boulení - stojina:

stojina:

- lineární tlak po výšce $\psi := -0.703$

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{53.145}{-75.639} = -0.703$$

			$\psi < 0:$ $b_{\text{eff}} = \rho \cdot \bar{b} = \rho \cdot \bar{b} / (1 - \psi)$ $b_{e1} = 0,4 \cdot b_{\text{eff}} \quad b_{e2} = 0,6 \cdot b_{\text{eff}}$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Součinitel kritického napětí k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

obr. 47 - účinná šířka ohýbané stojny

- oboustranně podepřená stěna $\Rightarrow k_\sigma := 7.81 - 6.29 \cdot \psi + 9.78 \psi^2 = 17.065$

šťíhlost stěny:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{ub}}{\sigma_{cr}}}$$

$$h := 480 \text{ mm}$$

$$h_w := h - 2 t_f = 456 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_p := \frac{\frac{h_w}{t_w}}{28.4 \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = 0.972 > 0,673$$

účinná šířka ohýbané stojny:

$$\rho := \frac{(\lambda_p - 0.055 \cdot (3 + \psi))}{\lambda_p^2} = 0.895 \leq 1.0$$

$$b := h_w = 456 \text{ mm}$$

$$b_{eff} := \rho \cdot \frac{b}{(1 - \psi)} = 239.735 \text{ mm} \quad b_t := h_w - \frac{b}{(1 - \psi)} = 188.237 \text{ mm}$$

$$b_{e1} := 0.4 \cdot b_{eff} = 95.894 \text{ mm} \quad b_{e2} := 0.6 \cdot b_{eff} = 143.841 \text{ mm}$$

- Lokální boulení - pásnice:
Pásnice neboulí.

- Výpočet efektivního modulu průřezu:

-pozn.: Vypočteno v programu Excel

$$A_{eff} := 6569.18 \text{ mm}^2 \quad (\text{vypočteno na průřez s největším } N)$$

$$z_t := 241.77 \text{ mm}$$

$$I_{y,eff} := 345475670.79 \text{ mm}^4 \quad (\text{vypočteno na průřez s největším } M_y)$$

$$W_{y,eff} := \frac{I_{y,eff}}{z_t} = 1428943.503 \text{ mm}^3$$

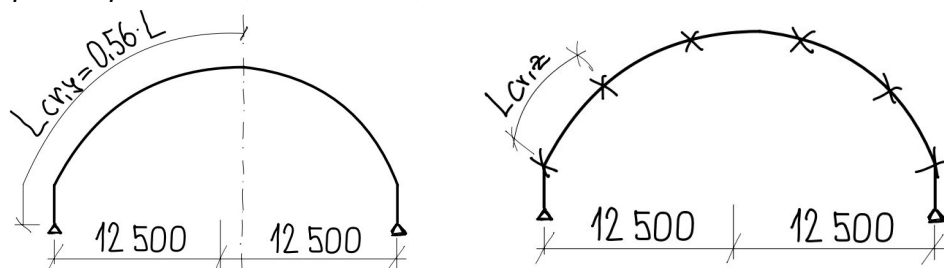
9.6.2. MSÚ

- Vzpěrné délky:

- Délka vazníku: $L_{vazník} := 31000 \text{ mm}$, v každé pětíně je podepřen proti vybočení

- Za kritickou délku uvažují 0,56 násobek délky vazby včetně sloupu, který lze považovat při jeho chování v tlaku za součást vazníku. Délka vazby je tedy $L_{celek} := 31000 \text{ mm} + 2 \cdot 2000 \text{ mm} = 35 \text{ m}$

- pozn.: Vzdálenost mezi inflexními body 0,56 je určena na základě odborného článku prof. Ing. Josefa Macháčka, DrSc zabývající se chováním oblouku, hodnota platí pro vzepětí $H/L=0,4$ a $I_z/I_t > 25$, zatížení rovnoměrné svislé i radiální



obr. 48 a 49 - schéma vzpěrné délky v rovině a z roviny vazníku

v rovině vazníku:

$$\beta_y := 1$$

$$L_y := L_{celek} \cdot 0.56 = 19.6 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} := \beta_y \cdot L_y = 19.6 \text{ m}$$

z roviny vazníku:

$$\beta_z := 1$$

$$L_z := \frac{L_{vazník}}{5} = 6.2 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} := \beta_z \cdot L_z = 6.2 \text{ m}$$

- Štíhlost prutu:

$$\lambda_y := \frac{L_{cr,y}}{i_y} = 91.632$$

$$\lambda_z := \frac{L_{cr,z}}{i_z} = 102.649$$

- Poměrná štíhlost prutu:

$$\bar{\lambda}_1 := 93.9 \cdot \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 93.9$$

$$\bar{\lambda}_y := \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 0.976$$

$$\bar{\lambda}_z := \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 1.093$$

- Přiřazení křivek vzpěrnosti:

$$\text{svařovaný průřez: } t_f = 12 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \Rightarrow y-y=b \Rightarrow \alpha_y := 0.34$$

$$z-z=c \Rightarrow \alpha_z := 0.49$$

$$\phi_y := 0.5 (1 + \alpha_y (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2) \quad \phi_z := 0.5 (1 + \alpha_z (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2)$$

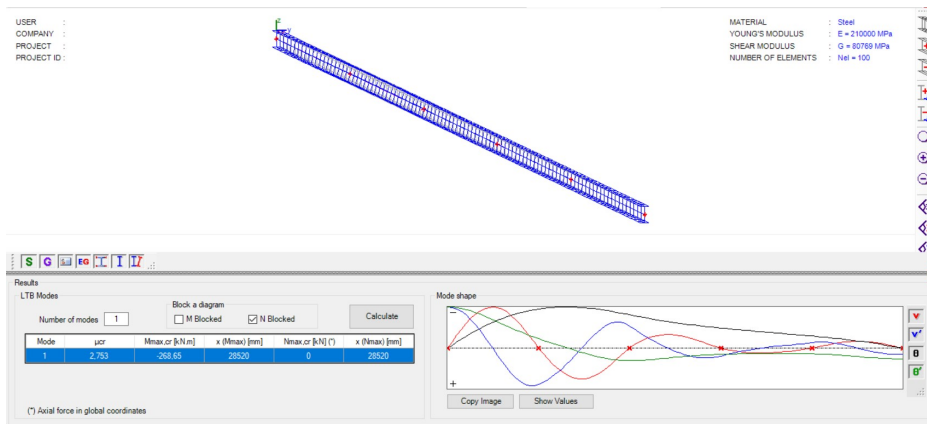
$$X_y := \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 0.612 \leq 1.0 \quad X_z := \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0.488 \leq 1.0$$

$$X_y = 0.612$$

$$X_z = 0.488$$

- Vliv klopení:

výpočet kritického momentu M_{cr} (více viz příloha 1.2.):



obr. 50 - výsledný kritický moment M_{cr}

$$M_{cr} := 268.65 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- pozn.: Vypočteno pomocí programu LTBeamN

- Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{LT} := \sqrt{W_{y,eff} \cdot \frac{f_y}{M_{cr}}} = 1.118$$

- Křivka klopení pro svařovaný profil:

$$\frac{h}{b} = \frac{480}{240} = 2 = 2 \Rightarrow \text{křivka klopení } c \Rightarrow \alpha_{LT} := 0.49$$

- Součinitel klopení:

$$\phi_{LT} := 0.5 (1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2) = 1.35$$

$$X_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0.475 \leq 1.0 \Rightarrow \text{kce je náchylná na klopení}$$

$$\leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = 0.8$$

- Posouzení vazníku na kombinaci tlaku s ohybem:

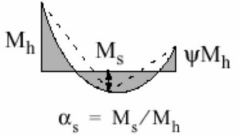
součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{my} :

- stejně jako u vzpěrné délky zohledním část vazníku pouze mezi inflexními body
- v tomto případě více namáhaná pravá polovina oblouku viz schéma:

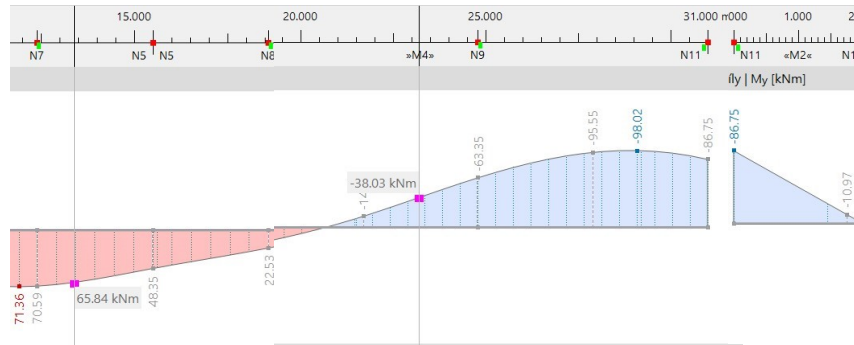
$$\psi = \frac{M_h}{M_s} \qquad \alpha_s = \frac{M_s}{M_h}$$

$$\psi := \frac{0}{65.84} = 0 \qquad \alpha_s := \frac{-38.03}{65.84} = -0.578$$

$$C_{my} := 0.1 - 0.8 \alpha_s = 0.562 \geq 0.4 \quad (\text{rovnoměrné zatížení})$$

	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
$-1 \leq \psi < 0$		$0,1(1-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	

obr. 51 - tabulka pro součinitel C_{my}



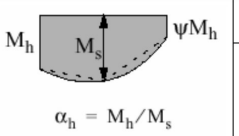
obr. 52 - průběh ohybového momentu M_y na vazníku (KZ31)

součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{mLT} dle metody 2:

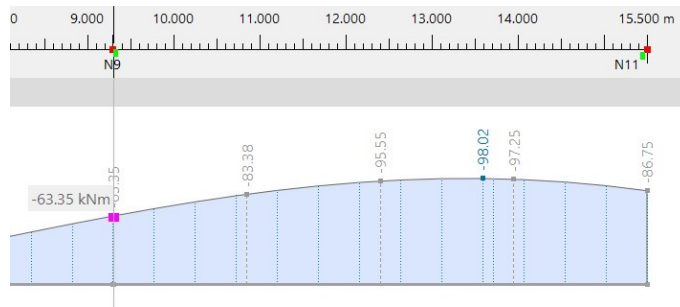
$$\psi = \frac{M_h}{M_s} \qquad \alpha_s = \frac{M_h}{M_s}$$

$$\psi := \frac{-63.35}{-86.75} = 0.73 \qquad \alpha_s := \frac{-86.75}{-95.55} = 0.908$$

$$C_{mLT} := 0.95 + 0.05 \alpha_s = 0.995 \geq 0.4 \quad (\text{rovnoměrné zatížení})$$

	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
$-1 \leq \psi < 0$		$0,95 + 0,05\alpha_h(1+2\psi)$	$0,90 + 0,10\alpha_h(1+2\psi)$	

obr. 53 - tabulka pro součinitel C_{mLT}



obr. 53 - průběh ohybového momentu M_y na vazníku (KZ31)

- Charakteristické hodnoty únosností v tlaku a ohybu:

$$N_{Rk} := A_{eff} \cdot f_y = 1543.757 \text{ kN} \quad N_{Ed} := 99.93 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} := W_{y,eff} \cdot f_y = 335.802 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- Součinitele k_{yy} a k_{zy} :

$$k_{yy} := C_{my} \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \lambda_y \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.597$$

$$k_{yy} := C_{my} \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.598$$

$$\min.(0.597, 0.598) \quad k_{yy} := 0.597$$

$$k_{zy} := \left(1 - \frac{0.05 \cdot \lambda_z}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.99$$

$$k_{zy} := \left(1 - \frac{0.05}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.991$$

$$\max.(0.99, 0.991) \quad k_{zy} := 0.99$$

- Podmínky spolehlivosti:

$$\text{Rozhodující vnitřní síly: } N_{Ed} = 99.93 \text{ kN} \quad V_{Ed} := 22.81 \text{ kN} \quad M_{Ed} = 98.02 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{X_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} = 0.473 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{X_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} = 0.741 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{Y_{M1}} + \frac{M_{Ed}}{Y_{M1}} = 0.357 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Posouzení smykové únosnosti:

$$k_r := 5.34 \quad (\text{výztuhy v podporách}) \quad \eta := 1.2 \quad (\text{ocel S235})$$

kritické napětí:

$$\tau_{cr} := k_r \cdot \frac{(\pi^2 \cdot E)}{12 (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t_w}{h_w} \right)^2 = 77.988 \text{ MPa}$$

štíhlost:

$$\bar{\lambda}_w := \sqrt{\frac{f_y}{\sqrt{3} \tau_{cr}}} = 1.319$$

redukční součinitel:

$$\chi_w := \frac{0.83}{\bar{\lambda}_w} = 0.629$$

příspěvek stojiny:

$$V_{bw.Rd} := \frac{(\chi_w \cdot f_y \cdot h_w \cdot t_w)}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 155.729 \text{ kN}$$

- Únosnost průřezu: (příspěvek pásnice zanedbáno $V_{bf.Rd} := 0$)

- pozn.: Příspěvek pásnice zanedbáno ($V_{bf.Rd} := 0$)

$$V_{b.Rd} := V_{bw.Rd} + V_{bf.Rd} = 155.729 \text{ kN} \leq \frac{(\eta \cdot f_y \cdot h_w \cdot t_w)}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 296.971 \text{ kN}$$

$$V_{b.Rd} = 155.729 \text{ kN} > V_{Ed} := 22.61 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\Rightarrow V_{Ed} = 22.61 \text{ kN} < 0.5 \cdot V_{b.Rd} = 77.865 \text{ kN} \Rightarrow \text{malý smyk}$$

- Krční svary:

napětí ve svaru:

$$a_w := 4 \text{ mm} \quad (t_f = 12 \text{ mm} < 20 \text{ mm}) \quad \beta_w := 0.8 \quad (\text{ocel S235})$$

$$S_y := 661.74 \text{ cm}^3 \quad - \text{pozn.: Vypočteno v programu Excel}$$

$$\tau_{II} := \frac{(V_{Ed} \cdot S_y)}{I_{y,eff} \cdot 2 \cdot a_w} = 5.414 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = 207.846 \text{ MPa}$$

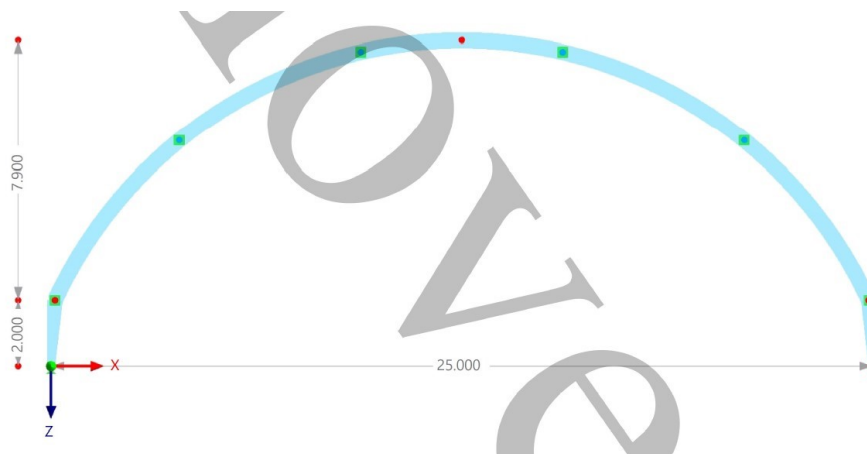
VYHOVUJE

10. ALTERNATIVNÍ VÝPOČET PŘÍČNÉ VAZBY OBLOUK. VAZNÍKU

- Pro ověření výpočtu návrhu obloukového vazníku bude v této kapitole posuzena příčná vazba dle dalšího alternativního postupu
- => dle vlastního tvaru z posouzení stability se namodelují imperfekce, přesněji elastické vybočení konstrukce a natočení v patě sloupu (více viz 10.1.2.3 Imperfekce)

10.1. MODEL KONSTRUKCE

10.1.1. VÝPOČETNÍ MODEL



10.2. ZATĚŽOVACÍ STAVY A ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE

10.2.1. ZATĚŽOVACÍ STAVY

- Stejně viz kapitola 6.2.1.

10.2.2. ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE

- Stejně viz kapitola 6.2.2.

10.2.3. IMPERFEKCE

- Počáteční naklonění sloupu:

$$h_{sl} := 2 \text{ m}$$

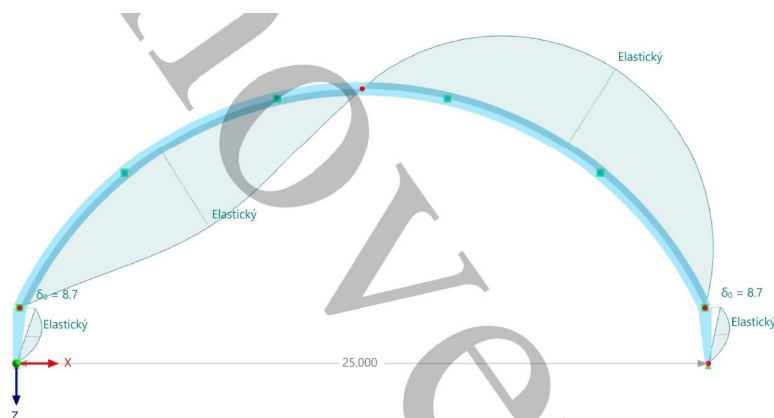
$$m := 2 \text{ (počet sloupů v řadě)}$$

$$\alpha_m := \sqrt{0.5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = 0.866 \quad \alpha_h := \frac{2}{\sqrt{h_{sl}}} = 1.414 \leq 1.0 \quad \Rightarrow \alpha_h := 1.0$$

$$\phi_0 := \frac{1}{200} \cdot \alpha_m \cdot \alpha_h = 0.004 \quad e_x := \phi_0 \cdot 2 \text{ m} = 8.66 \text{ mm}$$

- Vybočení sloupu a vazníku:

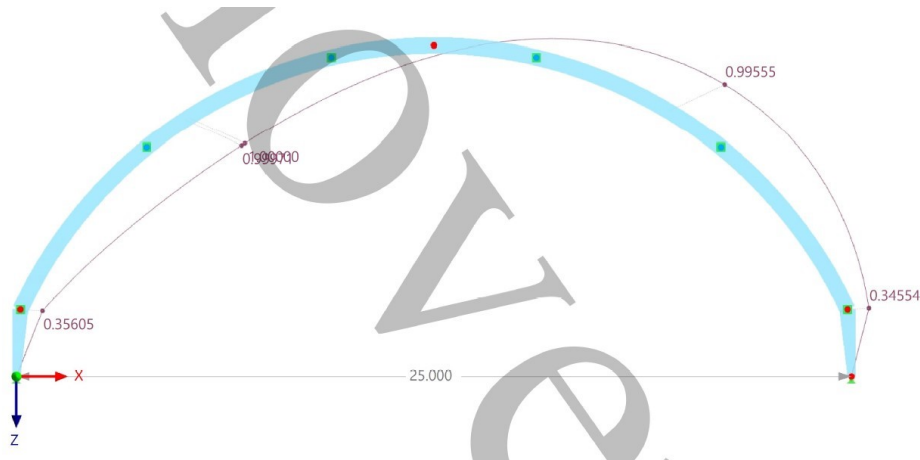
- elastický výpočet - podle křivky vzpěru c => $\frac{e_0}{L} = \frac{1}{200}$



10.2.4. STABILITA

$\alpha_{cr} := 25.013 > 10$ -> deformace dle teorie II. řádu (rozhodující kombinace KZ31)

(α_{cr} ...vypočteno v programu Dlubal RFEM 6)

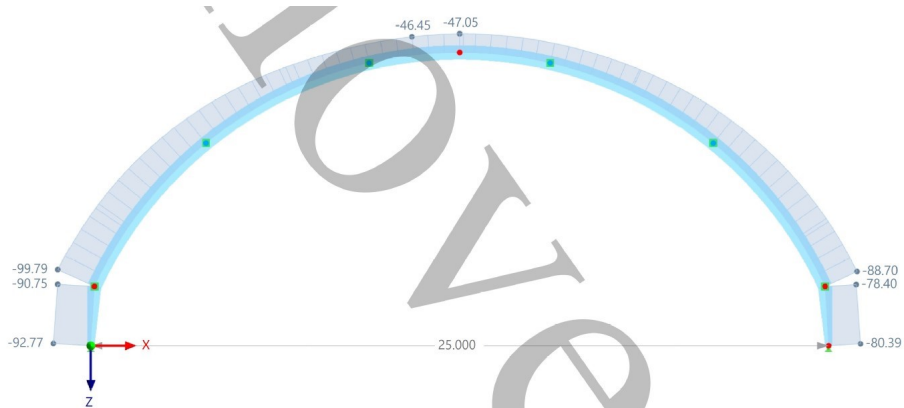


10.3. VNITŘNÍ SÍLY, DEFORMACE A NAPĚTÍ

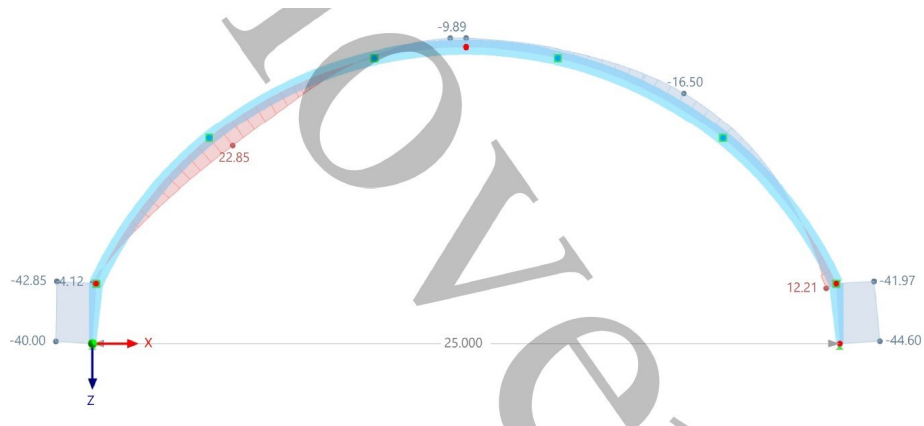
10.3.1. VNITŘNÍ SÍLY

- pozn.: Vypočteno v programu Dlubal RFEM 6

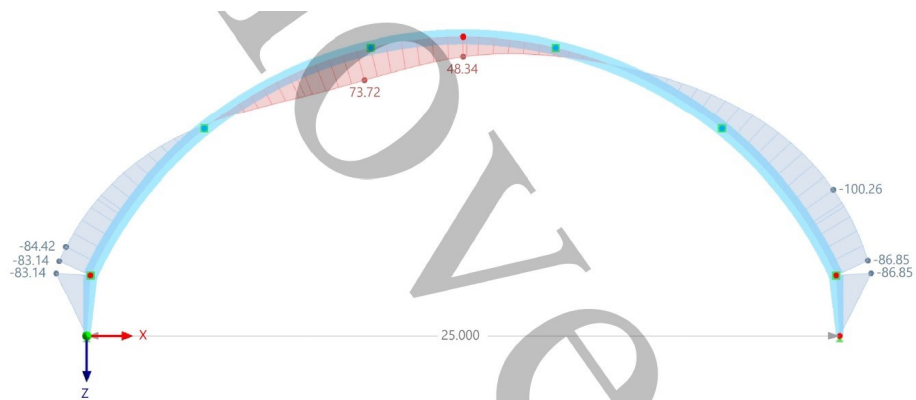
Normálová síla N [kN] - KZ31 s imperfekcemi



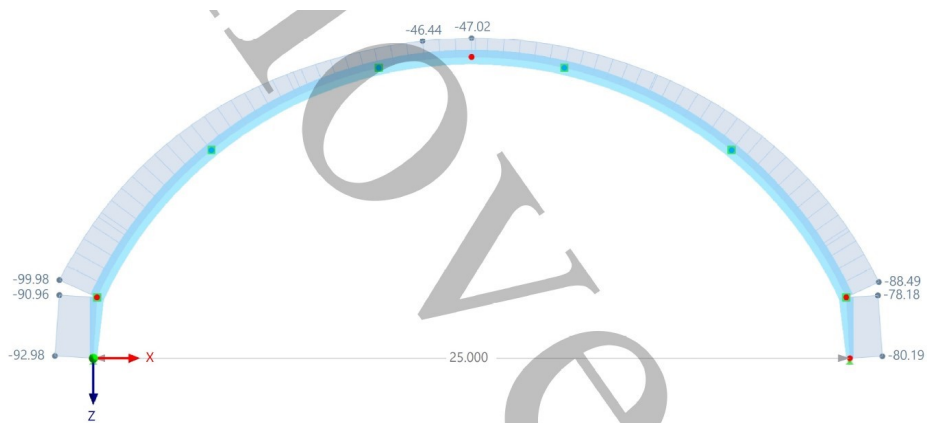
Posouvající síla V_z [kN] - KZ31 s imperfekcemi



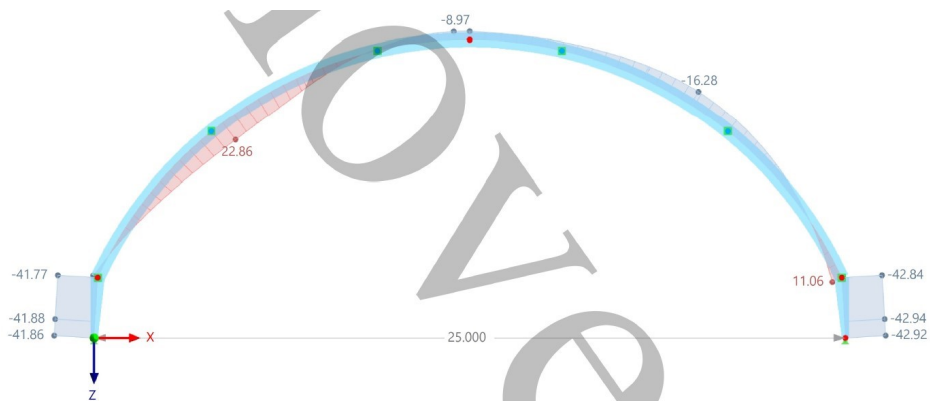
Ohybový moment M_y [$kN \cdot m$] - KZ31 s imperfekcemi



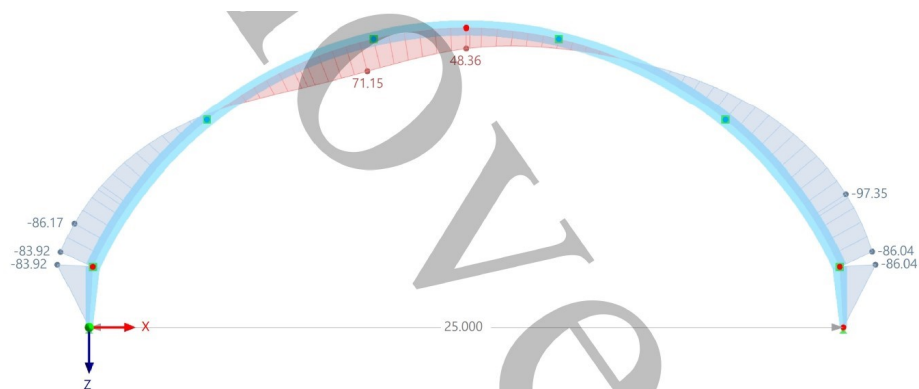
- Pro lepší názornost následuje porovnání vnitřních sil pro model bez imperfekcí:
 Normálová síla N [kN] - KZ31 bez imperfekcí



Posouvající síla V_z [kN] - KZ31 bez imperfekcí

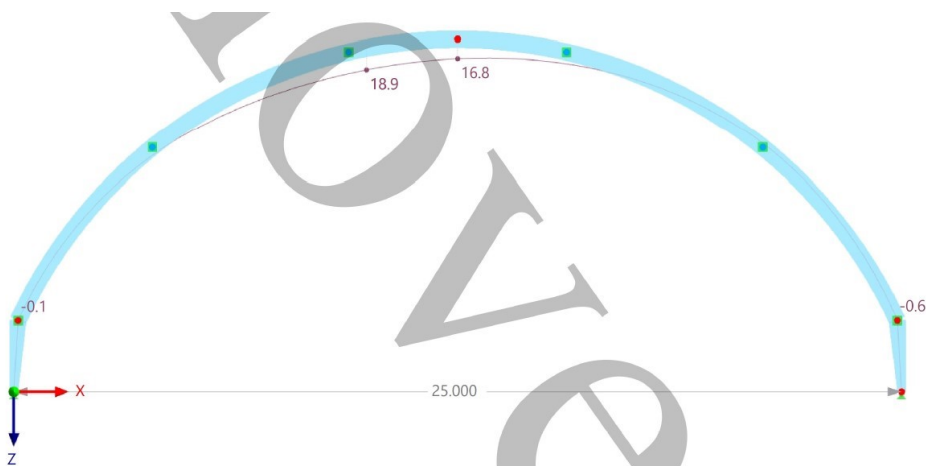


Ohybový moment M_y [$kN \cdot m$] - KZ31 bez imperfekcí

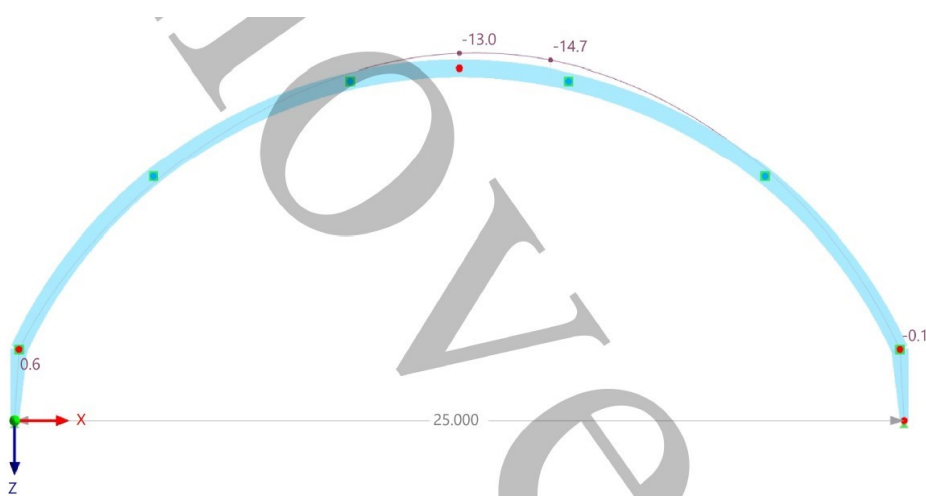


10.3.2. DEFORMACE

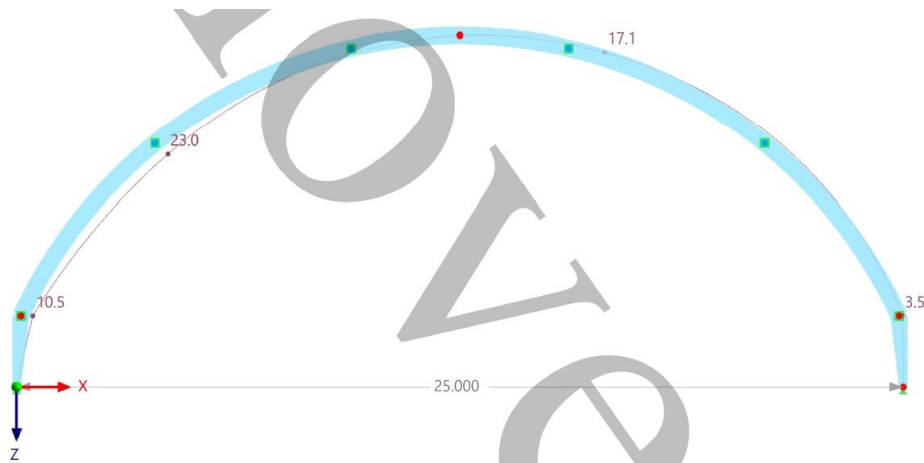
Max průhyb u_z [mm] - (stálé + proměnné) - KZ31



Max průhyb u_z [mm] - (pouze proměnné) - KZ45

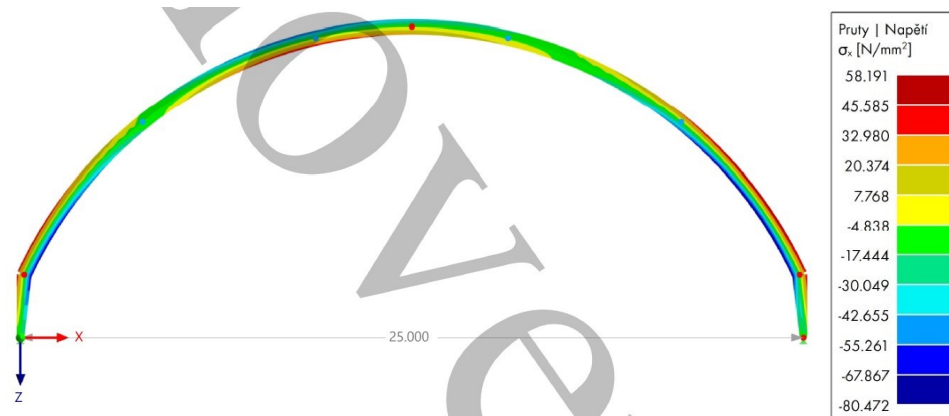


Vodorovný posun u_x [mm] - (stálé a proměnné) - KZ53



10.3.3. NAPĚTÍ

Maximální napětí σ_x na průřezu [MPa] (stálé a proměnné) - KZ31



10.4. MSP

- Zjednodušený přepočít na efektivní průřez:

$$I_y := 34707 \text{ cm}^4 \quad I_{y,eff} := 345530046.74 \cdot \text{mm}^4$$

$$\frac{I_y}{I_{y,eff}} = 1.004 \quad (=> \text{zvýšení deformace o } 0,4\%)$$

- Celkový průhyb u_z (stálé a proměnné):

$$\delta_1 \leq \frac{L}{250} \quad (\delta_1 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

$$1.004 \cdot 18.9 = 18.976 \leq \frac{25000}{250} = 100 \text{ [mm]} \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Průhyb u_z od proměnného zatížení:

$$\delta_2 \leq \frac{L}{300} \quad (\delta_2 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

$$1.004 \cdot 14.7 = 14.759 \leq \frac{25000}{300} = 83.333 \text{ [mm]} \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Celkový vodorovný posun u_x (stálé a proměnné):

a) na oblouku

$$\delta_3 \leq \frac{h}{150} \quad (\delta_3 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

$$1.004 \cdot 23 = 23.092 \leq \frac{6538}{150} = 43.587 \quad [\text{mm}] \quad \text{VYHOVUJE}$$

b) ve vrcholu sloupu

$$\delta_4 \leq \frac{h}{150} \quad (\delta_4 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

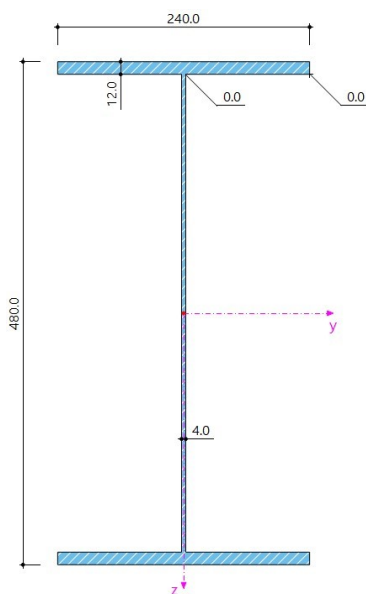
$$1.004 \cdot 10.6 = 10.642 \leq \frac{2000}{150} = 13.333 \quad [\text{mm}] \quad \text{VYHOVUJE}$$

10.5. NÁVRH A POSOUZENÍ SLOPU

10.5.1. NÁVRŽENÝ PRŮŘEZ

- Svařovaný I profil s proměnnou výškou po délce sloupu, $h=240 - 480\text{mm}$, $b=240\text{mm}$

10.5.1.1. NAVRŽENÝ PRŮŘEZ - VRCHOL SLOUPU



- Průřezové charakteristiky:

$$\begin{aligned} A &:= 7584 \text{ mm}^2 & I_z &:= 2765.04 \text{ cm}^4 \\ b &:= 240 \text{ mm} & i_y &:= 213.9 \text{ mm} \\ h &:= 480 \text{ mm} & i_z &:= 60.4 \text{ mm} \\ t_w &:= 4 \text{ mm} & W_{pl,y} &:= 1555.78 \text{ cm}^3 \\ t_f &:= 12 \text{ mm} & W_{el,y} &:= 1446.12 \text{ cm}^3 \\ I_y &:= 34707 \text{ cm}^4 & A_{vz} &:= 4818.154 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Materiálové charakteristiky (S235):

$$\begin{aligned} f_y &:= 235 \text{ MPa} & E &:= 210 \text{ GPa} \\ & & G &:= 81 \text{ GPa} \\ f_{yd} &:= \frac{f_y}{1.0} = 235 \text{ MPa} & Y_{M1} &:= 1.0 \\ f_u &:= 360 \text{ MPa} & Y_{M0} &:= 1.0 \\ & & Y_{M2} &:= 1.25 \\ v &:= 0.3 \end{aligned}$$

obr. 54 - průřez vrcholu sloupu

Rozhodující vnitřní síly (KZ31): $N_{Ed} := 78.40 \text{ kN}$ $V_{Ed} := 41.97 \text{ kN}$ $M_{Ed} := 86.85 \text{ kN} \cdot \text{m}$

10.5.1.2. ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU - VRCHOL SLOUPU

- Pásnice:

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 1 \quad c := \frac{(240 \text{ mm} - t_w)}{2} = 118 \text{ mm}$$

Pro pásnici třídy 1 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_f} = 9.833 \leq 9 \varepsilon = 9 \Rightarrow \text{pásnice není třídy 1.}$$

Pro pásnici třídy 2 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_f} = 9.833 \leq 10 \quad \varepsilon = 10 \Rightarrow \text{pásnice je třídy 2.}$$

- Stojina:

$$z := \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = 83.404 \text{ mm} \quad c := 480 \text{ mm} - 2 \cdot t_f = 456 \text{ mm}$$

$$\alpha c := \frac{(c+z)}{2} = 269.702 \text{ mm} \quad \alpha := \frac{(\alpha c)}{c} = 0.591$$

Pro stojinu třídy 1 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_w} = 114 > 396 \frac{\varepsilon}{13 \alpha - 1} = 59.203 \Rightarrow \text{stojina není třídy 1.}$$

Pro stojinu třídy 2 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_w} = 114 > 456 \frac{\varepsilon}{13 \alpha - 1} = 68.173 \Rightarrow \text{stojina není třídy 2.}$$

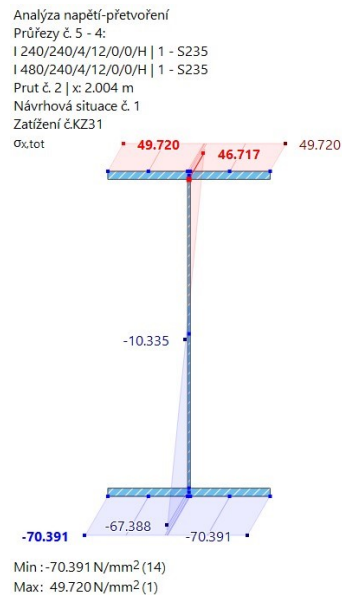
Pro stojinu třídy 3 musí být při pružném rozdělení napětí splněna podmínka:

$$\sigma_c := \frac{-N_{Ed}}{A} - \frac{M_{Ed}}{I_y} \cdot \frac{c}{2} = -67.392 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t := \frac{-N_{Ed}}{A} + \frac{M_{Ed}}{I_y} \cdot \frac{c}{2} = 46.717 \text{ MPa}$$

$$\psi := \frac{\sigma_t}{\sigma_c} = -0.693 \leq -1.0$$

(rozhodující KZ31 - ověření σ_c a σ_t v programu Dlubal RFEM 6)



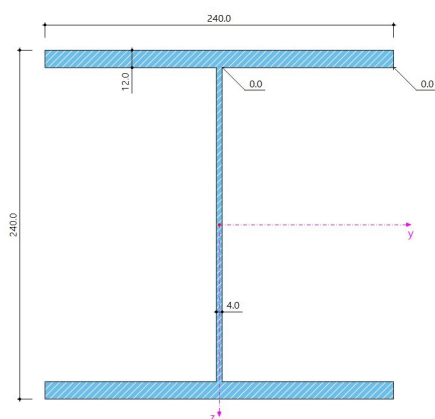
obr. 55 - max. napětí σ_x na průřezu, rozhodující kombinace KZ31

$$\frac{c}{t_w} = 114 > 62 \varepsilon (1 - \psi) \cdot \sqrt{-\psi} = 87.405 \Rightarrow \text{stojina není třídy 3.}$$

=> stojina je třídy 4.

Průřez vrcholu sloupu má stojinu třídy 4 a pásnici třídy 2

10.5.1.3. NAVRŽENÝ PRŮŘEZ - PATA SLOUPU



- Průřezové charakteristiky:

$$\begin{aligned}
 A &:= 6624 \text{ mm}^2 & I_z &:= 2764.92 \text{ cm}^4 \\
 b &:= 240 \text{ mm} & i_y &:= 108.7 \text{ mm} \\
 h &:= 240 \text{ mm} & i_z &:= 64.6 \text{ mm} \\
 t_w &:= 4 \text{ mm} & W_{pl,y} &:= 703.3 \text{ cm}^3 \\
 t_f &:= 12 \text{ mm} & W_{el,y} &:= 652.38 \text{ cm}^3 \\
 I_y &:= 7828.53 \text{ cm}^4 & A_{vz} &:= 4817.71 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Materiálové charakteristiky (S235):

$$\begin{aligned}
 f_y &:= 235 \text{ MPa} & E &:= 210 \text{ GPa} \\
 & & G &:= 81 \text{ GPa} \\
 f_{yd} &:= \frac{f_y}{1.0} = 235 \text{ MPa} & Y_{M1} &:= 1.0 \\
 & & Y_{M0} &:= 1.0 \\
 f_u &:= 360 \text{ MPa} & v &:= 0.3 & Y_{M2} &:= 1.25
 \end{aligned}$$

obr. 56 - průřez paty sloupu

Rozhodující vnitřní síly (KZ31): $N_{Ed} := 92.77 \text{ kN}$ $V_{Ed} := 44.6 \text{ kN}$ $M_{Ed} := 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$

10.5.1.4. ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU - PATA SLOUPU

- Pásnice:

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 1 \qquad c := \frac{(240 \text{ mm} - t_w)}{2} = 118 \text{ mm}$$

Pro pásnici třídy 1 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_f} = 9.833 \leq 9 \varepsilon = 9 \Rightarrow \text{pásnice není třídy 1.}$$

Pro pásnici třídy 2 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_f} = 9.833 \leq 10 \varepsilon = 10 \Rightarrow \text{pásnice je třídy 2.}$$

- Stojina:

$$c := 240 \text{ mm} - 2 \cdot t_f = 216 \text{ mm}$$

Pro stojinu třídy 1 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_w} = 54 > 33 \varepsilon = 33 \Rightarrow \text{stojina není třídy 1.}$$

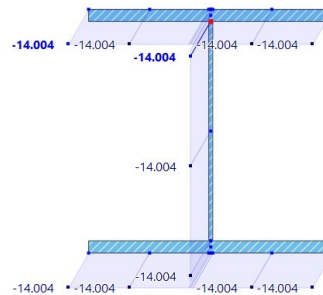
Pro stojinu třídy 2 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_w} = 54 > 38 \varepsilon = 38 \Rightarrow \text{stojina není třídy 2.}$$

Pro stojinu třídy 3 musí být při pružném rozdělení napětí splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_w} = 54 > 42 \varepsilon = 42 \Rightarrow \text{stojina není třídy 3.}$$

Analyza napětí-přetvoření
 Průřez č. 5 - 4:
 I 240/240/A/12/0/0/H | 1 - S235
 I 480/240/A/12/0/0/H | 1 - S235
 Prut č. 1 | x: 0.000 m
 Návrhová situace č. 1
 Zatížení č.KZ31
 σ_x tot



Min: -14.004 N/mm² (1)
 Max: -14.004 N/mm² (1)

obr. 57 - max. napětí σ_x na průřezu, rozhodující kombinace KZ31

=> stojina je třídy 4.

Průřez paty sloupu má stojinu třídy 4 a pásnici třídy 2

10.5.1.5. VÝPOČET ÚČINNÉHO PRŮŘEZU - TLAK

- Lokální boulení - stojina:

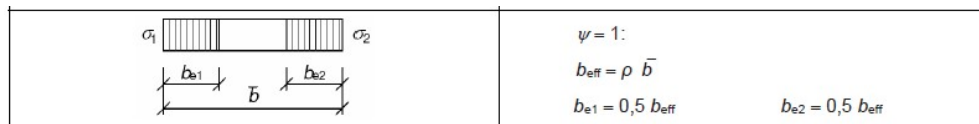
stojina:

$$\sigma_t := -14.004 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c := -14.004 \text{ MPa}$$

- lineární tlak po výšce $\psi := \frac{\sigma_t}{\sigma_c} = 1$

- oboustranně podepřená stěna => $k_\sigma := 4$



obr. 57 - účinná šířka tlačené stojiny

štíhlost stěny:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{ub}}{\sigma_{cr}}}$$

$$h_w := h - 2 t_f = 216 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_p := \frac{\frac{h_w}{t_w}}{28.4 \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = 0.951 > 0.673$$

$$\rho := \frac{(\bar{\lambda}_p - 0.055 \cdot (3 + \psi))}{\bar{\lambda}_p^2} = 0.808 \leq 1.0$$

účinná šířka tlačené stojiny:

$$\bar{b} := h_w = 216 \text{ mm}$$

$$b_{eff} := \rho \cdot \bar{b} = 0.175 \text{ m}$$

$$b_{e1} := 0.5 \cdot b_{eff} = 87.312 \text{ mm}$$

$$b_{e2} := 0.5 \cdot b_{eff} = 87.312 \text{ mm}$$

- Lokální boulení - pásnice:
Pásnice neboulí.

10.5.1.6. VÝPOČET ÚČINNÉHO PRŮŘEZU - OHYB

- Lokální boulení - stojina:
stojina:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{46.718}{-67.39} = -0.693$$

- lineární tlak po výšce $\psi := -0.693$

		$\psi < 0$: $b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$ $b_{e1} = 0,4 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,6 b_{eff}$				
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Součinitel kritického napětí k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

obr. 58 - účinná šířka ohýbané stojiny

- oboustranně podepřená stěna $\Rightarrow k_\sigma := 7.81 - 6.29 \cdot \psi + 9.78 \psi^2 = 16.866$

štíhlost stěny:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{ub}}{\sigma_{cr}}} \quad h := 480 \text{ mm}$$

$$h_w := h - 2 t_f = 456 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_p := \frac{\frac{h_w}{t_w}}{28.4 \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = 0.977 > 0.673$$

účinná šířka tlačené stojiny:

$$\rho := \frac{(\lambda_p - 0.055 \cdot (3 + \psi))}{\lambda_p^2} = 0.89 \leq 1.0$$

$$b := h_w = 456 \text{ mm}$$

$$b_{eff} := \rho \cdot \frac{b}{(1 - \psi)} = 239.793 \text{ mm} \quad b_t := h_w - \frac{b}{(1 - \psi)} = 186.656 \text{ mm}$$

$$b_{e1} := 0.4 \cdot b_{eff} = 95.917 \text{ mm} \quad b_{e2} := 0.6 b_{eff} = 143.876 \text{ mm}$$

- Lokální boulení - pásnice:
Pásnice neboulí.

- Výpočet efektivního modulu průřezu:

- pozn.: Vypočteno v programu MS Excel

$$A_{eff} := 6458.5 \text{ mm}^2 \quad (\text{vypočteno na průřez paty sloupu})$$

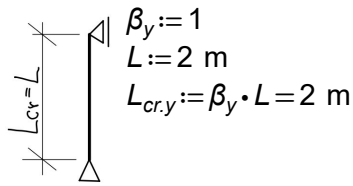
$$z_t := 241.86 \text{ mm}$$

$$I_{y,eff} := 345408985.27 \text{ mm}^4 \quad (\text{vypočteno na průřez vrcholu sloupu})$$

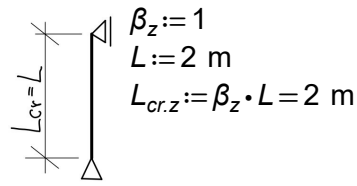
$$W_{y,eff} := \frac{I_{y,eff}}{z_t} = 1428136.051 \text{ mm}^3$$

10.5.2. MSÚ

- Vzpěrné délky:
v rovině vazníku:



z roviny vazníku:



obr. 59 a 60 - schéma vzpěrných délek

- Štíhlost prutu:

$$\lambda_y := \frac{L_{cr.y}}{i_y} = 18.399 \quad \lambda_z := \frac{L_{cr.z}}{i_z} = 30.96 \quad (\text{pro průřez v patě soupu})$$

- Poměrná štíhlost prutu:

$$\bar{\lambda}_1 := 93.9 \cdot \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 93.9 \quad \bar{\lambda}_y := \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 0.196 \quad \bar{\lambda}_z := \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 0.33$$

- Přřazení křivek vzpěrnosti:

$$\text{svařovaný průřez: } t_f = 12 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \Rightarrow y-y=b \Rightarrow \alpha_y := 0.34 \\ z-z=c \Rightarrow \alpha_z := 0.49$$

$$\phi_y := 0.5 (1 + \alpha_y (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2) \quad \phi_z := 0.5 (1 + \alpha_z (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2)$$

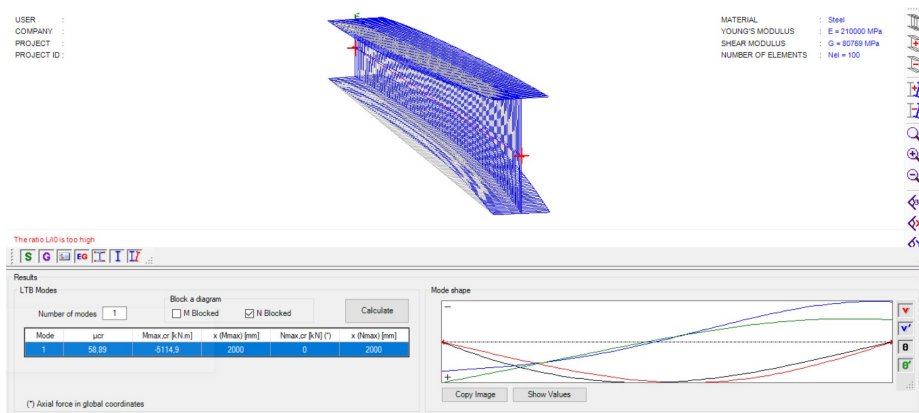
$$\chi_y := \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 1.001 \leq 1.0 \quad \chi_z := \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0.934 \leq 1.0$$

$$\chi_y = 1.0$$

$$\chi_z = 0.934$$

- Vliv klopení:

výpočet kritického momentu M_{cr} (více viz příloha 1.3.)



obr. 61 - výsledný kritický moment M_{cr}

$$M_{cr} := 5114.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

pozn.: Vypočteno pomocí programu LTBeamN

- Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{LT} := \sqrt{W_{y,eff} \cdot \frac{f_y}{M_{cr}}} = 0.256$$

- Křivka klopení pro svařovaný profil:

$$\frac{h}{b} = \frac{480}{240} = 2 = 2 \Rightarrow \text{křivka klopení c} \Rightarrow \alpha_{LT} := 0.49$$

- Součinitel klopení:

$$\phi_{LT} := 0.5 \left(1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - 0.2) + \lambda_{LT}^2 \right) = 0.547$$

$$X_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^{-2}}} = 0.971 \leq 1.0 \Rightarrow \text{kce je náchylná na klopení}$$
$$\leq \frac{1}{\lambda_{LT}^2} = 15.241$$

- **Posouzení sloupu na kombinaci tlaku s ohybem:**

- Charakteristické hodnoty únosností v tlaku a ohybu:

$$N_{Rk} := A_{eff} \cdot f_y = 1517.748 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} := W_{y,eff} \cdot f_y = 335.612 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- Podmínky spolehlivosti:

$$\text{Rozhodující vnitřní síly: } N_{Ed} = 92.77 \text{ kN} \quad V_{Ed} = 44.6 \text{ kN} \quad M_{Ed} = 86.85 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + \frac{M_{Ed}}{X_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} = 0.332 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} = 0.32 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Posouzení smykové únosnosti:

$$k_r := 5.34 \quad (\text{výztuhy v podporách}) \quad \eta := 1.2 \quad (\text{ocel S235})$$

kritické napětí:

$$\tau_{cr} := k_r \cdot \frac{(\pi^2 \cdot E)}{12 (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t_w}{h_w} \right)^2 = 77.988 \text{ MPa}$$

štíhlost:

$$\bar{\lambda}_w := \sqrt{\frac{f_y}{\frac{\sqrt{3}}{\tau_{cr}}}} = 1.319$$

redukční součinitel:

$$X_w := \frac{0.83}{\bar{\lambda}_w} = 0.629$$

příspěvek stojiny:

$$V_{bw.Rd} := \frac{\chi_w \cdot f_y \cdot h_w \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 155.729 \text{ kN}$$

- Únosnost průřezu: (příspěvek pásnice zanedbáno $V_{bf.Rd} := 0$)

- pozn: Příspěvek pásnice zanedbáno ($V_{bf.Rd} := 0$)

$$V_{b.Rd} := V_{bw.Rd} + V_{bf.Rd} = 155.729 \text{ kN} \leq \frac{(\eta \cdot f_y \cdot h_w \cdot t_w)}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 296.971 \text{ kN}$$

$$V_{b.Rd} = 155.729 \text{ kN} > V_{Ed} = 44.6 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\Rightarrow V_{Ed} = 44.6 \text{ kN} < 0.5 \cdot V_{b.Rd} = 77.865 \text{ kN} \Rightarrow \text{malý smyk}$$

- Krční svary:

napětí ve svaru:

$$a_w := 4 \text{ mm} \quad (t_f = 12 \text{ mm} < 20 \text{ mm}) \quad \beta_w := 0.8 \quad (\text{ocel S235})$$

$$S_y := 662 \text{ cm}^3 \quad - \text{pozn.: Vypočteno v programu Excel}$$

$$\tau_{II} := \frac{(V_{Ed} \cdot S_y)}{I_{y,eff} \cdot 2 \cdot a_w} = 10.685 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = 207.846 \text{ MPa}$$

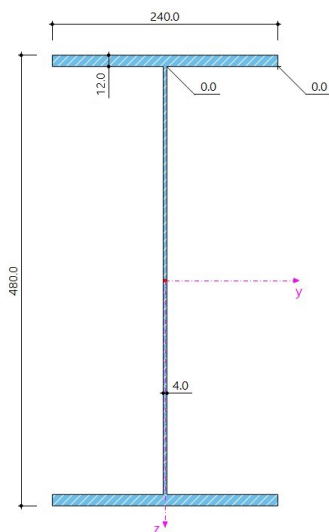
VYHOVUJE

10.6. NÁVRH A POSOUZENÍ OBLOUKOVÉHO VAZNÍKU

10.6.1. NAVRŽENÝ PRŮŘEZ

- Svařovaný I profil s konstantním průběhem, $h=480\text{mm}$, $b=240\text{mm}$

10.6.1.1. NAVRŽENÝ PRŮŘEZ



- Průřezové charakteristiky:

$$\begin{aligned} A &:= 7584 \text{ mm}^2 & I_z &:= 2765.04 \text{ cm}^4 \\ b &:= 240 \text{ mm} & i_y &:= 213.9 \text{ mm} \\ h &:= 480 \text{ mm} & i_z &:= 60.4 \text{ mm} \\ t_w &:= 4 \text{ mm} & W_{pl,y} &:= 1555.78 \text{ cm}^3 \\ t_f &:= 12 \text{ mm} & W_{el,y} &:= 1446.12 \text{ cm}^3 \\ I_y &:= 34707 \text{ cm}^4 & A_{vz} &:= 4818.154 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Materiálové charakteristiky (S235):

$$\begin{aligned} f_y &:= 235 \text{ MPa} & E &:= 210 \text{ GPa} \\ & & G &:= 81 \text{ GPa} \\ f_{yd} &:= \frac{f_y}{1.0} = 235 \text{ MPa} & \gamma_{M1} &:= 1.0 \\ & & \gamma_{M0} &:= 1.0 \\ f_u &:= 360 \text{ MPa} & \nu &:= 0.3 & \gamma_{M2} &:= 1.25 \end{aligned}$$

obr. 62 - průřez vazníku

Rozhodující vnitřní síly (KZ31): $N_{Ed} := 84.49 \text{ kN}$ $V_{Ed} := 0.71 \text{ kN}$ $M_{Ed} := 100.26 \text{ kN} \cdot \text{m}$

10.6.1.2. ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU

- Pásnice:

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 1 \quad c := \frac{(240 \text{ mm} - t_w)}{2} = 118 \text{ mm}$$

Pro pásnici třídy 1 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_f} = 9.833 \leq 9 \varepsilon = 9 \Rightarrow \text{pásnice není třídy 1.}$$

Pro pásnici třídy 2 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_f} = 9.833 \leq 10 \varepsilon = 10 \Rightarrow \text{pásnice je třídy 3.}$$

- Stojina:

$$z := \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = 89.883 \text{ mm} \quad c := 480 \text{ mm} - 2 \cdot t_f = 456 \text{ mm}$$

$$\alpha c := \frac{(c + z)}{2} = 272.941 \text{ mm} \quad \alpha := \frac{(\alpha c)}{c} = 0.599$$

Pro stojinu třídy 1 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_w} = 114 > 396 \frac{\varepsilon}{13 \alpha - 1} = 58.397 \Rightarrow \text{stojina není třídy 1.}$$

Pro stojinu třídy 2 musí být splněna podmínka:

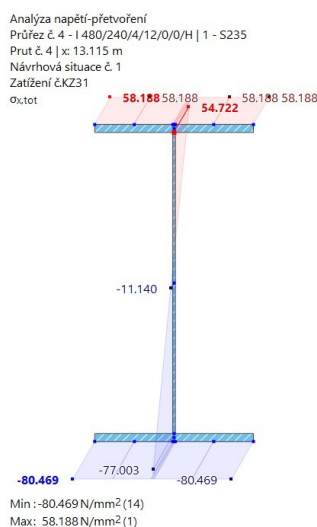
$$\frac{c}{t_w} = 114 > 456 \frac{\varepsilon}{13 \alpha - 1} = 67.244 \Rightarrow \text{stojina není třídy 2.}$$

Pro stojinu třídy 3 musí být při pružném rozdělení napětí splněna podmínka:

$$\sigma_c := \frac{-N_{Ed}}{A} - \frac{M_{Ed}}{I_y} \cdot \frac{c}{2} = -77.004 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t := \frac{-N_{Ed}}{A} + \frac{M_{Ed}}{I_y} \cdot \frac{c}{2} = 54.723 \text{ MPa}$$

$$\psi := \frac{\sigma_t}{\sigma_c} = -0.711 \leq -1.0$$



obr. 63 - max. napětí σ_x na průřezu, rozhodující kombinace KZ31

$$\frac{c}{t_w} = 114 > 62 \varepsilon (1 - \psi) \cdot \sqrt{\langle -\psi \rangle} = 89.409 \Rightarrow \text{stojina není třídy 3.}$$

\Rightarrow stojina je třídy 4.

Průřez vazníku má stojinu třídy 4 a pásnici třídy 2

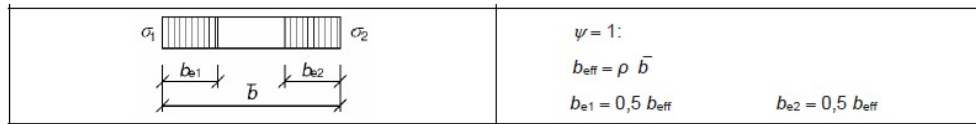
10.6.1.3. VÝPOČET ÚČINNÉHO PRŮŘEZU - TLAK

- Lokální boulení - stojina:

stojina:

- lineární tlak po výšce $\psi := 1$

- oboustranně podepřená stěna $\rightarrow k_\sigma := 4$



obr. 64 - účinná šířka tlačené stojiny

štíhlost stěny:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{ub}}{\sigma_{cr}}}$$

$$h := 480 \text{ mm}$$

$$h_w := h - 2 t_f = 456 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_p := \frac{h_w}{28.4 \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = 2.007 > 0,673$$

$$\rho := \frac{(\lambda_p - 0.055 \cdot (3 + \psi))}{\lambda_p^2} = 0.444 \leq 1.0$$

účinná šířka tlačené stojiny:

$$\bar{b} := h_w = 456 \text{ mm}$$

$$b_{eff} := \rho \cdot \bar{b} = 0.202 \text{ m}$$

$$b_{e1} := 0.5 \cdot b_{eff} = 101.148 \text{ mm} \qquad b_{e2} := 0.5 \cdot b_{eff} = 101.148 \text{ mm}$$

- Lokální boulení - pásnice:

Pásnice neboulí.

10.6.1.4. VÝPOČET ÚČINNÉHO PRŮŘEZU - OHYB

- Lokální boulení - stojina:

stojina:

- lineární tlak po výšce $\psi := -0.711$

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{54.723}{-77.004} = -0.711$$

	$\psi < 0:$					
	$b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$					
	$b_{e1} = 0,4 b_{eff}$	$b_{e2} = 0,6 b_{eff}$				
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Součinitel kritického napětí k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

obr. 65 - účinná šířka ohýbané stojiny

- oboustranně podepřená stěna $\rightarrow k_{\sigma} := 7.81 - 6.29 \cdot \psi + 9.78 \psi^2 = 17.226$

štíhlost stěny:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{ub}}{\sigma_{cr}}} \quad h := 480 \text{ mm}$$

$$h_w := h - 2 t_f = 456 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_p := \frac{\frac{h_w}{t_w}}{28.4 \varepsilon \cdot \sqrt{k_{\sigma}}} = 0.967 > 0.673$$

účinná šířka ohýbané stojny:

$$\rho := \frac{(\lambda_p - 0.055 \cdot (3 + \psi))}{\lambda_p^2} = 0.899 \leq 1.0$$

$$b := h_w = 456 \text{ mm}$$

$$b_{eff} := \rho \cdot \frac{b}{(1 - \psi)} = 239.694 \text{ mm} \quad b_t := h_w - \frac{b}{(1 - \psi)} = 189.489 \text{ mm}$$

$$b_{e1} := 0.4 \cdot b_{eff} = 95.877 \text{ mm} \quad b_{e2} := 0.6 \cdot b_{eff} = 143.816 \text{ mm}$$

- Lokální boulení - pásnice:

Pásnice nebolí.

- Výpočet efektivního modulu průřezu:

- pozn.: Vypočteno v programu MS Excel

$$A_{eff} := 6569.18 \text{ mm}^2 \quad (\text{vypočteno na průřez s největším } N)$$

$$z_t := 241.7 \text{ mm}$$

$$I_{y,eff} := 345530046.74 \text{ mm}^4 \quad (\text{vypočteno na průřez s největším } M_y)$$

$$W_{y,eff} := \frac{I_{y,eff}}{z_t} = 1429582.32 \text{ mm}^3$$

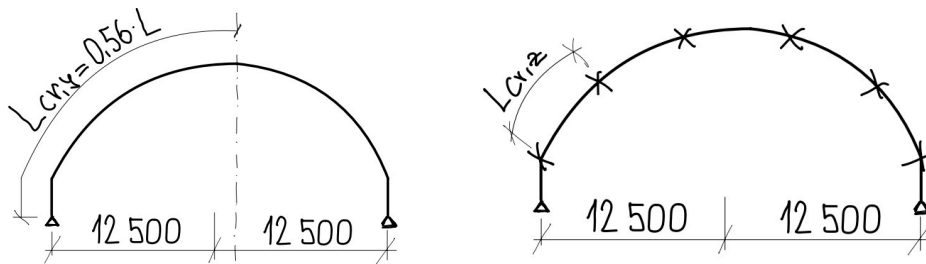
10.6.2. MSÚ

Vzpěrné délky

- Délka vazníku: $L_{vazník} := 31000 \text{ mm}$, v každé pětíně je podepřen proti vybočení

- Za kritickou délku uvažuji 0,56 násobek délky vazby včetně sloupu, který lze považovat při jeho chování v tlaku za součást vazníku. Délka vazby je tedy $L_{celek} := 31000 \text{ mm} + 2 \cdot 2000 \text{ mm} = 35 \text{ m}$

- pozn.: Vzdálenost mezi inflexními body 0,56 je určena na základě odborného článku prof. Ing. Josefa Macháčka, DrSc zabývající se chováním oblouku, hodnota platí pro vzepětí $H/L=0,4$ a $I_z/I_t > 25$, zatížení rovnoměrné svislé i radiální



obr. 66 a 67 - schéma vzpěrné délky v rovině a z roviny vazníku

v rovině vazníku:

$$\beta_y := 1$$

$$L_y := L_{celek} \cdot 0.56 = 19.6 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} := \beta_y \cdot L_y = 19.6 \text{ m}$$

z roviny vazníku:

$$\beta_z := 1$$

$$L_z := \frac{L_{vazník}}{5} = 6.2 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} := \beta_z \cdot L_z = 6.2 \text{ m}$$

- Štíhlost prutu:

$$\lambda_y := \frac{L_{cr,y}}{i_y} = 91.632$$

$$\lambda_z := \frac{L_{cr,z}}{i_z} = 102.649$$

- Poměrná štíhlost prutu:

$$\bar{\lambda}_1 := 93.9 \cdot \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 93.9$$

$$\bar{\lambda}_y := \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 0.976$$

$$\bar{\lambda}_z := \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 1.093$$

- Přiřazení křivek vzpěrnosti:

svařovaný průřez: $t_f = 12 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \Rightarrow y-y=b \Rightarrow \alpha_y := 0.34$

$z-z=c \Rightarrow \alpha_z := 0.49$

$$\phi_y := 0.5 (1 + \alpha_y (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2)$$

$$\phi_z := 0.5 (1 + \alpha_z (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2)$$

$$\chi_y := \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 0.612 \leq 1.0$$

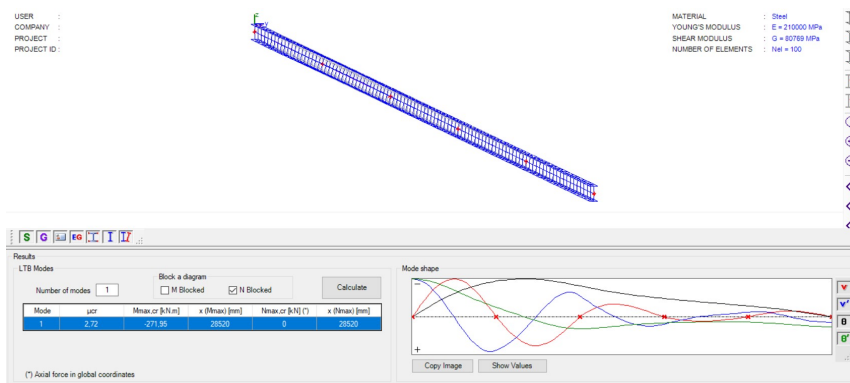
$$\chi_z := \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0.488 \leq 1.0$$

$$\chi_y = 0.612$$

$$\chi_z = 0.488$$

- Vliv klopení:

výpočet kritického momentu M_{cr} (více viz příloha 1.4.)



obr. 68 - výsledný kritický moment M_{cr}

$$M_{cr} := 271.95 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- pozn.: Vypočteno pomocí programu LTBeamN

- Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{LT} := \sqrt{W_{y,eff} \cdot \frac{f_y}{M_{cr}}} = 1.111$$

- Křivka klopení pro svařovaný profil:

$$\frac{h}{b} = \frac{480}{240} = 2 = 2 \Rightarrow \text{křivka klopení c} \Rightarrow \alpha_{LT} := 0.49$$

- Součinitel klopení:

$$\phi_{LT} := 0.5 \left(1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right) = 1.341$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0.478 \leq 1.0 \Rightarrow \text{kce je náchylná na klopení}$$

- **Posouzení vazníku na kombinaci tlaku s ohybem:**

- Charakteristické hodnoty únosností v tlaku a ohybu:

$$N_{Rk} := A_{eff} \cdot f_y = 1543.757 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} := W_{y,eff} \cdot f_y = 335.952 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- Podmínky spolehlivosti:

$$\text{Rozhodující vnitřní síly: } N_{Ed} := 99.79 \text{ kN} \quad V_{Ed} := 22.85 \text{ kN} \quad M_{Ed} = 100.26 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} = 0.757 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} = 0.363 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Posouzení smykové únosnosti:

$$k_\tau := 5.34 \quad (\text{výztuhy v podporách}) \quad \eta := 1.2 \quad (\text{ocel S235})$$

kritické napětí:

$$\tau_{cr} := k_\tau \cdot \frac{(\pi^2 \cdot E)}{12 (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t_w}{h_w} \right)^2 = 77.988 \text{ MPa}$$

štíhlost:

$$\bar{\lambda}_w := \sqrt{\frac{f_y}{\frac{\tau_{cr}}{\sqrt{3}}}} = 1.319$$

redukční součinitel:

$$\chi_w := \frac{0.83}{\bar{\lambda}_w}$$

příspěvek stojiny:

$$V_{bw.Rd} := \frac{(\chi_w \cdot f_y \cdot h_w \cdot t_w)}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 155.729 \text{ kN}$$

- Únosnost průřezu:

- pozn: Příspěvek pásnice zanedbáno ($V_{bf.Rd} := 0$)

$$V_{b.Rd} := V_{bw.Rd} + V_{bf.Rd} = 155.729 \text{ kN} \leq \frac{(\eta \cdot f_y \cdot h_w \cdot t_w)}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 296.971 \text{ kN}$$

$$V_{b.Rd} = 155.729 \text{ kN} > V_{Ed} = 22.85 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\Rightarrow V_{Ed} = 22.85 \text{ kN} < 0.5 \cdot V_{b.Rd} = 77.865 \text{ kN} \Rightarrow \text{malý smyk}$$

- Krční svary:

napětí ve svaru:

$$a_w := 4 \text{ mm} \quad (t_f = 12 \text{ mm} < 20 \text{ mm}) \quad \beta_w := 0.8 \text{ (ocel S235)}$$

$$S_y := 661.54 \text{ cm}^3 \quad - \text{pozn.: Vypočteno v programu Excel}$$



$$\tau_{II} := \frac{(V_{Ed} \cdot S_y)}{I_{y,eff} \cdot 2 \cdot a_w} = 5.468 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = 207.846 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

11. POROVNÁNÍ A ZHODNOCENÍ VÝPOČETNÍCH POSTUPŮ

11.1. VÝSLEDKY VARIANT VÝPOČTŮ

-Tab. 11.1. - Tabulka výsledků

POROVNÁNÍ VÝSLEKŮ VÝPOČETNÍCH POSTUPŮ		VNITŘNÍ SÍLY			PODMÍNKY SPOLEHLIVOSTI			
		N	V _z	M _y	KOMB. OHYB A TLAK			SMYK
		[kN]	[kN]	[kNm]	[-]	[-]	[-]	[-]
VÝPOČETNÍ POSTUP 1	SLOUP	92,92	43,19	86,75	0,326	0,329	0,32	0,277
	VAZNÍK	99,93	22,81	98,02	0,473	0,741	0,357	0,145
VÝPOČETNÍ POSTUP 2	SLOUP	92,77	44,6	86,85		0,332	0,32	0,286
	VAZNÍK	99,79	22,85	100,26		0,757	0,363	0,147

11.2. SHRNUTÍ A POROVNÁNÍ VARIANT

Druhý výpočetní postup, tedy kdy chování konstrukce při zatížení je zohledněno pomocí vymodelovaných imperfekcí konstrukce, je přesnější, lépe respektuje skutečné chování konstrukce. Zároveň vychází v tomto případě méně příznivě, konstrukce ale vyhoví v obou postupech.

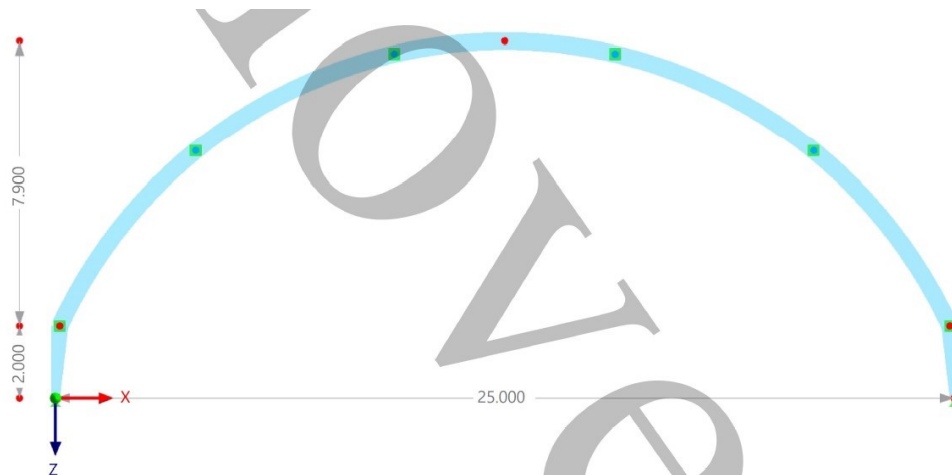
Nevýhodou druhého výpočetního postupu je složitost zadání imperfekcí při prostorovém modelu konstrukce, proto je postup v kapitole 14 - Podrobný návrh a výpočet příčné vazby štitové stěny podle prvního výpočetního postupu z důvodu použití prostorového modelu

12. ZKRÁCENÝ NÁVRH A VÝPOČET PŘÍČNÉ BĚŽNÉ VAZBY

- Návrh a výpočet běžné vazby (3.-9.) je z důvodu velmi podobného postupu výpočtu jako v 10. kapitole ve zkráceném zápise

12.1. MODEL KONSTRUKCE

12.1.1. VÝPOČETNÍ MODEL



12.1.2. ZATĚŽOVACÍ STAVY A ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE

12.1.2.1. ZATĚŽOVACÍ STAVY

-Stejně viz kapitola 6.2.1. (kromě zatížení od podélného větru $W_1 := 1.61 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$)

12.1.2.2. ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE

-Stejně viz kapitola 6.2.2.

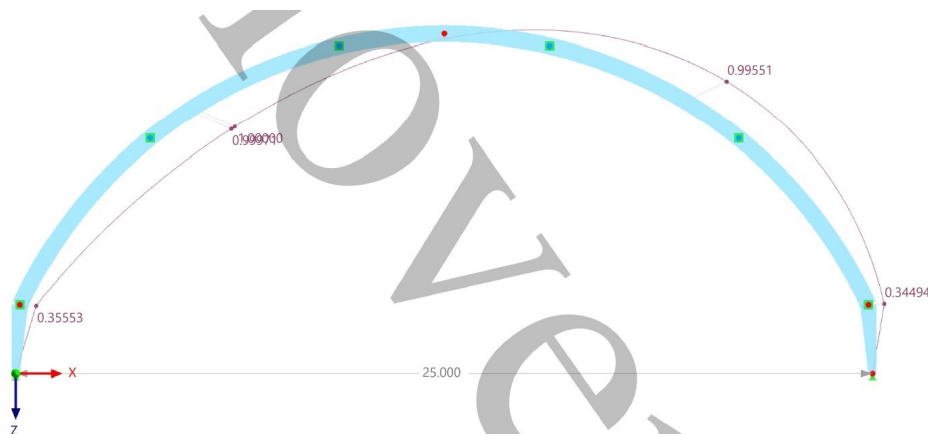
12.1.2.3. IMPERFEKCE

-Stejně viz 10.2.3

12.1.2.4. STABILITA

$\alpha_{cr} := 21.899 > 10$ -> deformace dle teorie II. řádu (rozhodující kombinace KZ31)

(α_{cr} ...vypočteno v programu Dlubal RFEM 6)

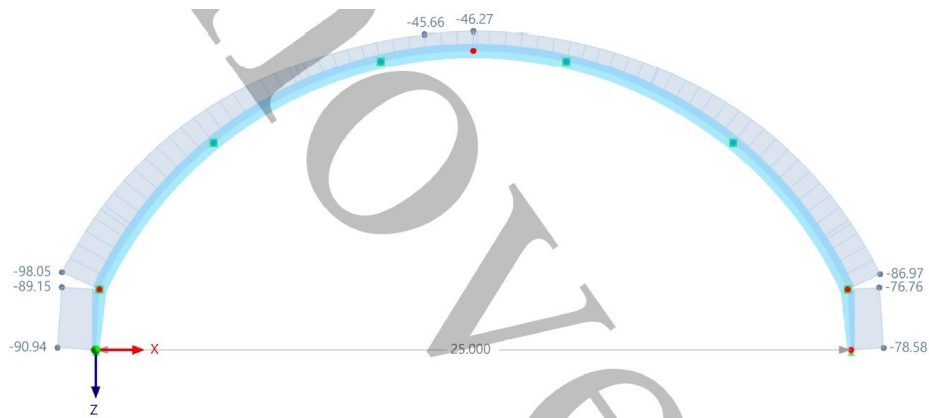


12.1.3. VNITŘNÍ SÍLY, DEFORMACE A NAPĚTÍ

12.1.3.1. VNITŘNÍ SÍLY

- pozn.: Vypočteno v programu Dlubal RFEM 6

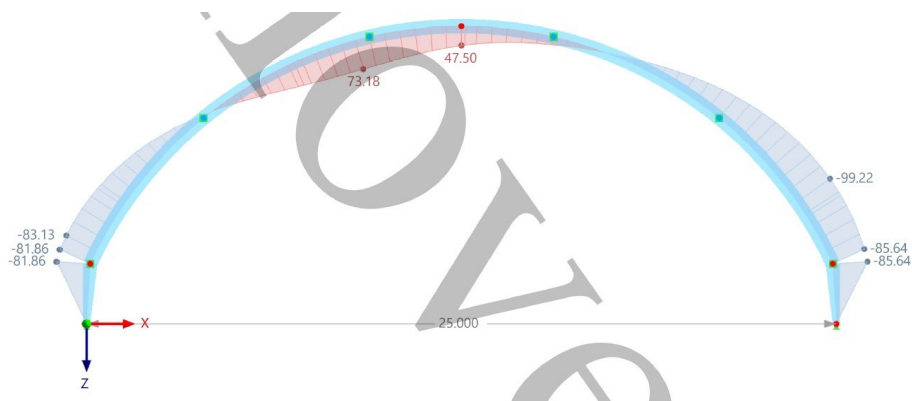
Normálová síla N [kN] - KZ31



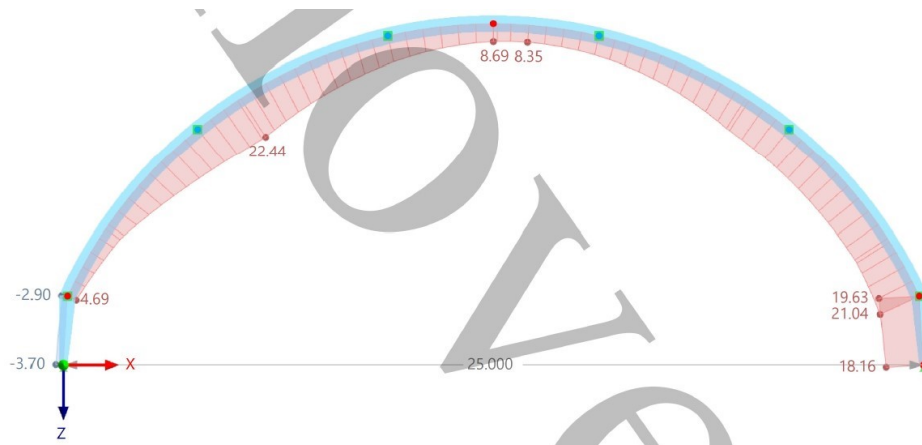
Posouvající síla V_z [kN] - KZ31



Ohybový moment M_y [kN·m] - KZ31



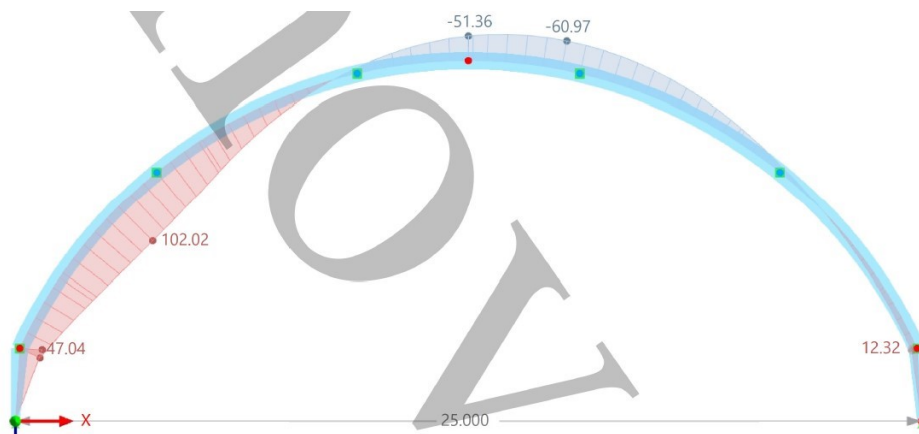
Normálová síla N [kN] - KZ53



Posouvající síla V_z [kN] - KZ53

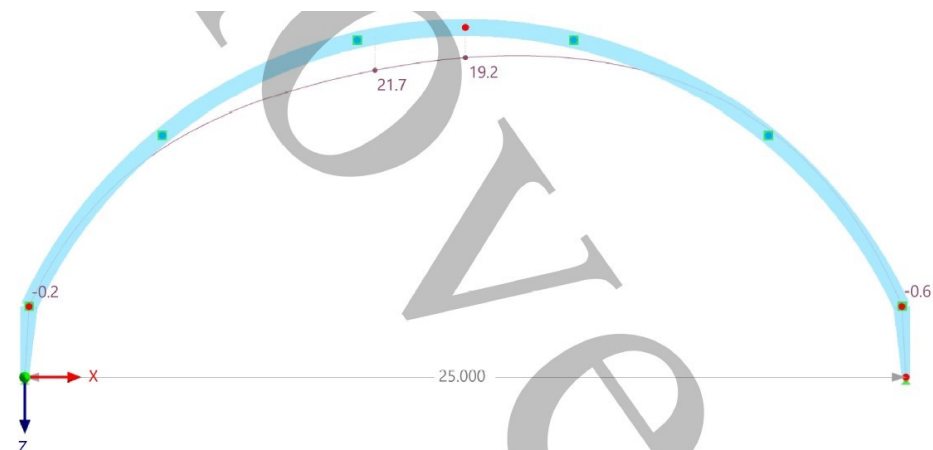


Ohybový moment M_y [kN·m] - KZ53

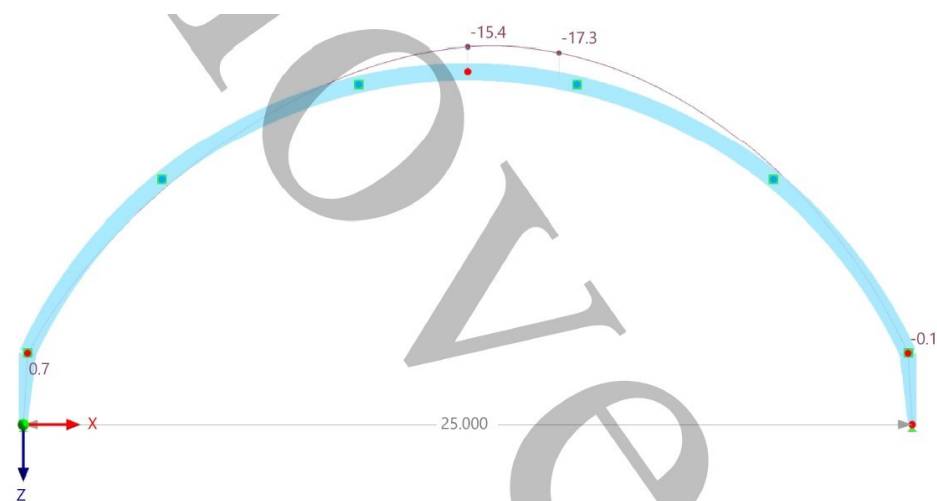


12.1.3.2. DEFORMACE

Max průhyb u_z [mm] - (stálé + proměnné) - KZ31



Max průhyb u_z [mm] - (pouze proměnné) - KZ45

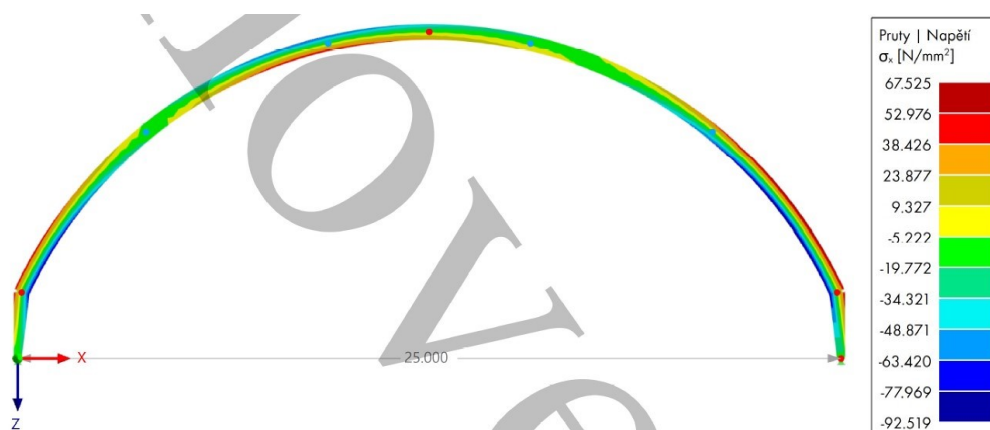


Vodorovný posun u_x [mm] - (stálé a proměnné) - KZ53



12.1.3.3. NAPĚTÍ

Maximální napětí σ_x na průřezu [MPa] (stálé a proměnné) - KZ31



12.2. MSP

- Zjednodušený přepočít na efektivní průřez:

$$I_y := 29756.53 \text{ cm}^4 \quad I_{y,eff} := 29585.77 \cdot \text{cm}^4$$

$$\frac{I_y}{I_{y,eff}} = 1.006 \quad (=> \text{zvýšení deformace o } 0,6\%)$$

- Celkový průhyb u_z (stálé a proměnné):

$$\delta_1 \leq \frac{L}{250} \quad (\delta_1 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

$$1.006 \cdot 21.7 = 21.83 \leq \frac{25000}{250} = 100 \text{ [mm]} \text{ VYHOVUJE}$$

- Průhyb u_z od proměnného zatížení:

$$\delta_2 \leq \frac{L}{300} \quad (\delta_2 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

$$1.006 \cdot 17.3 = 17.404 \leq \frac{25000}{300} = 83.333 \text{ [mm]} \text{ VYHOVUJE}$$

- Celkový vodorovný posun u_x (stálé a proměnné):

a) na oblouku

$$\delta_3 \leq \frac{h}{150} \quad (\delta_3 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

$$1.006 \cdot 26.8 = 26.961 \leq \frac{6538}{150} = 43.587 \text{ [mm]} \text{ VYHOVUJE}$$

b) ve vrcholu sloupu

$$\delta_4 \leq \frac{h}{150} \quad (\delta_4 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

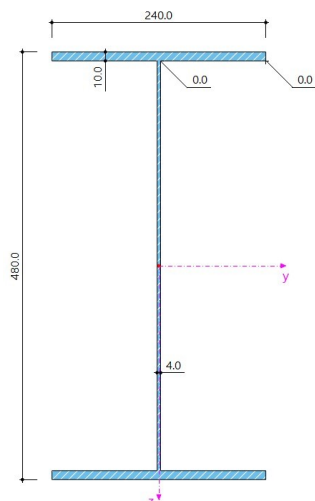
$$1.006 \cdot 12.3 = 12.374 \leq \frac{2000}{150} = 13.333 \text{ [mm]} \text{ VYHOVUJE}$$

12.3. NÁVRH A POSOUZENÍ SLOUPU A VAZNÍKU

12.3.1. NÁVRŽENÝ PRŮŘEZ

- Sloup - svař. I profil s proměnnou výškou po délce sloupu, $h=240 - 480\text{mm}$, $b=240\text{mm}$
- Vazník - svař. I profil s konstantním průřezem po délce vazníku, $h=480\text{mm}$, $b=240\text{mm}$

12.3.1.1. NAVRŽENÝ PRŮŘEZ - VAZNÍK A VRCHOL SLOUPU



- Průřezové charakteristiky:

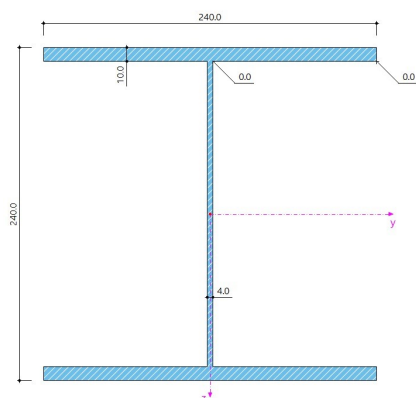
$$\begin{aligned}
 A &:= 6640 \text{ mm}^2 & I_z &:= 2304.25 \text{ cm}^4 \\
 b &:= 240 \text{ mm} & i_y &:= 211.7 \text{ mm} \\
 h &:= 480 \text{ mm} & i_z &:= 58.9 \text{ mm} \\
 t_w &:= 4 \text{ mm} & W_{pl,y} &:= 1339.6 \cdot \text{cm}^3 \\
 t_f &:= 10 \text{ mm} & W_{el,y} &:= 1239.86 \text{ cm}^3 \\
 I_y &:= 29756.53 \text{ cm}^4 & A_{vz} &:= 4015.52 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Materiálové charakteristiky (S235):

$$\begin{aligned}
 f_y &:= 235 \text{ MPa} & E &:= 210 \text{ GPa} \\
 G &:= 81 \text{ GPa} \\
 f_{yd} &:= \frac{f_y}{1.0} = 235 \text{ MPa} & Y_{M1} &:= 1.0 \\
 & & Y_{M0} &:= 1.0 \\
 f_u &:= 360 \text{ MPa} & \nu &:= 0.3 & Y_{M2} &:= 1.25
 \end{aligned}$$

obr. 69 - průřez vrcholu sloupu a vazníku

12.3.1.2. NAVRŽENÝ PRŮŘEZ - PATA SLOUPU



- Průřezové charakteristiky:

$$\begin{aligned}
 A &:= 5680 \text{ mm}^2 & I_z &:= 2304.12 \text{ cm}^4 \\
 b &:= 240 \text{ mm} & i_y &:= 108.7 \text{ mm} \\
 h &:= 240 \text{ mm} & i_z &:= 63.7 \text{ mm} \\
 t_w &:= 4 \text{ mm} & W_{pl,y} &:= 600.4 \cdot \text{cm}^3 \\
 t_f &:= 10 \text{ mm} & W_{el,y} &:= 558.91 \text{ cm}^3 \\
 I_y &:= 6706.93 \text{ cm}^4 & A_{vz} &:= 4015.07 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Materiálové charakteristiky (S235):

$$\begin{aligned}
 f_y &:= 235 \text{ MPa} & E &:= 210 \text{ GPa} \\
 G &:= 81 \text{ GPa} \\
 f_{yd} &:= \frac{f_y}{1.0} = 235 \text{ MPa} & Y_{M1} &:= 1.0 \\
 & & Y_{M0} &:= 1.0 \\
 f_u &:= 360 \text{ MPa} & Y_{M2} &:= 1.25
 \end{aligned}$$

obr. 70 - průřez paty sloupu

12.3.2. MSÚ

-Tab. 12.1 - Posouzení sloupu a vazníku běžné vazby (3. - 9.)

POSOUZENÍ BĚŽNÉ VAZBY	TŘÍDA PRŮŘEZU		EFEKTIVNÍ PRŮŘEZ			VZPĚRNÉ DÉLKY		SOUČ. VZPĚRNOSTI		KLOPENÍ		PODMÍNKY SPOLEHLIVOSTI		
	PÁSNICE	STOJINA	A_{eff} [mm ²]	$I_{y,eff}$ [mm ⁴]	$W_{y,eff}$ [mm ³]	$L_{cr,y}$ [mm]	$L_{cr,z}$ [mm]	X_y [-]	X_z [-]	M_{cr} [kNm]	$X_{1,T}$ [-]	KOMB. OHYB A TLAK [-]	SMYK [-]	
SLOUP	3	4	5 502,32	295 823 360,98	1 221 451,59	2 000	2 000	1,00	0,932	4 252,2	0,97	0,383	0,369	0,282
VAZNÍK	3	4	5 610,12	295 857 688,41	1 222 484,67	19 600	6 200	0,606	0,473	204,38	0,441	0,941	0,42	0,145

- pozn.: Podrobný výpočet kritického momentu M_{cr} v příloze 1.5. a 1.6.

- Podmínky spolehlivosti sloup:

Rozhodující vnitřní síly: $N_{Ed}=99.79$ kN $V_{Ed}:=43.86$ kN $M_{Ed}:=85.64$ kN·m

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + \frac{M_{Ed}}{X_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} = 0.383 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} = 0.369 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$V_{b,Rd} = 155.729 \text{ kN} > V_{Ed} = 43.86 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Podmínky spolehlivosti vazník:

Rozhodující vnitřní síly: $N_{Ed}:=98.05$ kN $V_{Ed}:=22.65$ kN $M_{Ed}:=99.22$ kN·m

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + \frac{M_{Ed}}{X_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} = 0.941 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} = 0.42 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$V_{b,Rd} = 155.729 \text{ kN} > V_{Ed} = 22.65 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Krční svary:

napětí ve svaru:

$$a_w := 4 \text{ mm} \quad (t_f = 10 \text{ mm} < 20 \text{ mm}) \quad \beta_w := 0.8 \quad (\text{ocel S235})$$

$$S_y := 551.28 \text{ cm}^3 \quad - \text{pozn.: Vypočteno v programu Excel}$$

$$\tau_{II} := \frac{(V_{Ed} \cdot S_y)}{I_{y,eff} \cdot 2 \cdot a_w} = 5.276 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = 207.846 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

13. ZATÍŽENÍ ŠTÍTOVÉ VAZBY

13.1. VÝPOČET ZATÍŽENÍ

13.1.1. STÁLÉ ZATÍŽENÍ

- pozn.: K zatěžovací šířce je připočten odhadovaný přesah kce 300mm

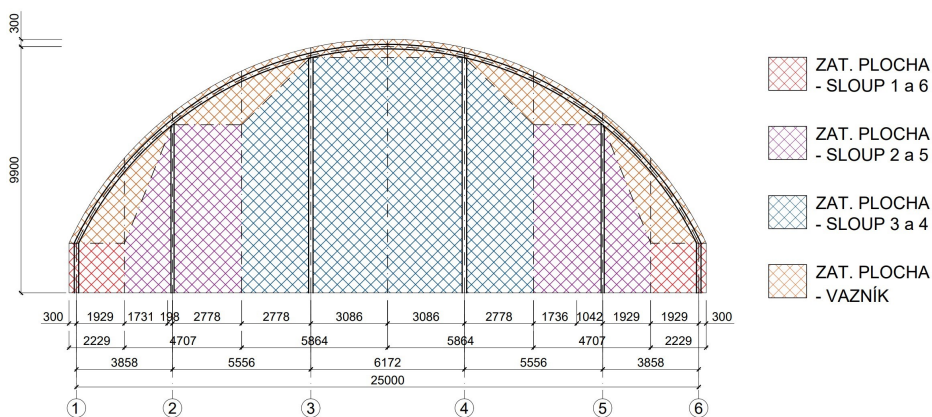
Pásnice zat. š.=5000/2+300=2800 mm => $b := 2800$ mm

STÁLÉ - STŘEŠNÍ KCE - plošné zatížení od střešního pláště na oblouk. vazník

-Tab. 13.1. - Výpočet stálého zatížení od střešní konstrukce

Střešní kce					
zatížení	char. zat. [kN/m ²]	zat. šířka [m]	char. zat. [kN/m]	γ [-]	návrh. zat.
vl. tíha stř. pláště	0,225	2,8	0,63	1,35	0,851
vl. tíha trap. plechu	0,011	2,8	0,0308		0,042
celkem	0,236		0,661		0,89

STÁLÉ - OBVODOVÁ KCE - plošné svislé zatížení od obvodového opláště na štítové sloupy



obr. 71 - zatěžovací plochy štítové stěny

- pozn.: Zatížení na sloup není po výšce konstantní, minimální hodnota je ve vrcholu a je oproti maximu poloviční (z důvodu poloviční zat. šířce), více viz. 14.1.2.

-Tab. 13.2. - Výpočet stálého zatížení od obvodové konstrukce

krajní sloupy - 1 a 6					
zatížení	char. zat. [kN/m ²]	zat. šířka [m]	char. zat. [kN/m]	γ [-]	návrh. zat.
vl. tíha pláště	0,025	2,229	0,056	1,35	0,075
vl. tíha výplň otvorů	0,020	2,229	0,045		0,060
celkem	0,045		0,100		0,14

-Tab. 13.3. - Výpočet stálého zatížení od obvodové konstrukce

Vnitřní sloupy - 2 a 5					
zatížení	char. zat. [kN/m ²]	zat. šířka [m]	char. zat. [kN/m]	γ [-]	návrh. zat.
vl. tíha pláště	0,025	4,707	0,118	1,35	0,159
vl. tíha výplň otvorů	0,020	4,707	0,094		0,127
celkem	0,045		0,212		0,29

-Tab. 13.4. - Výpočet stálého zatížení od obvodové konstrukce

Vnitřní sloupy - 3 a 4					
zatížení	char. zat. [kN/m ²]	zat. šířka [m]	char. zat. [kN/m]	γ [-]	návrh. zat.
vl. tíha pláště	0,027	5,864	0,147	1,35	0,198
vl. tíha výplní otvorů	0,020	5,864	0,117		0,158
celkem	0,047		0,264		0,36

- pozn.: Vlastní tíha výplní otvorů je odhadnuta, zjednodušeně přepočtena na celoplošné zatížení

13.1.2. MINIMÁLNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ

- Zohlední software (vlastní tíha vazníků, sloupů, ztužidel, táhel..)

13.1.3. PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ - SNÍH

- Plošné zatížení od střešního pláště na oblouk. vazník:

-Tab. 13.5. - Výpočet proměnného zatížení od sněhu - stav (i)

Proměnné - sníh μ_1					
zatížení	char. zat. [kN/m ²]	zat. šířka [m]	char. zat. [kN/m]	γ [-]	návrh. zat.
proměnné - sníh μ_1	0,56	2,8	1,568	1,5	2,35
celkem	0,56		1,6		2,35

-Tab. 13.6. - Výpočet proměnného zatížení od sněhu - stav (ii) - var. 1

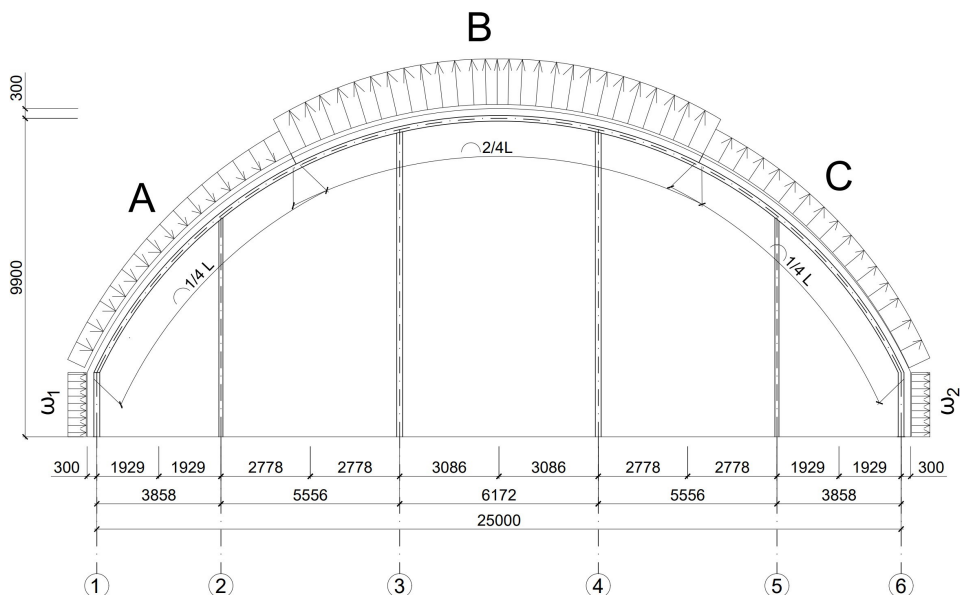
Proměnné - sníh μ_3					
zatížení	char. zat. [kN/m ²]	zat. šířka [m]	char. zat. [kN/m]	γ [-]	návrh. zat.
proměnné - sníh μ_3	1,4	2,8	3,92	1,5	5,88
celkem	1,4		4		5,88

-Tab. 13.7. - Výpočet proměnného zatížení od sněhu - stav (ii) - var. 2

Proměnné - sníh $\mu_3/2$					
zatížení	char. zat. [kN/m ²]	zat. šířka [m]	char. zat. [kN/m]	γ [-]	návrh. zat.
proměnné - sníh $\mu_3/2$	0,7	2,8	1,96	1,5	2,94
celkem	0,7		2,0		2,94

13.1.4. PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ - VÍTR PŘÍČNÝ

- Plošné zatížení od příčného větru na štítový obloukový vazník:



obr. 72 - schéma zatížení příčného větru - pohled

- Výpočet zatížení na střechu:

$$W_A := 0.258 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad W_B := 0.657 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad W_C := 0.258 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$W_A = W_A \cdot b = 0.722 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$W_B = W_B \cdot b = 1.84 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

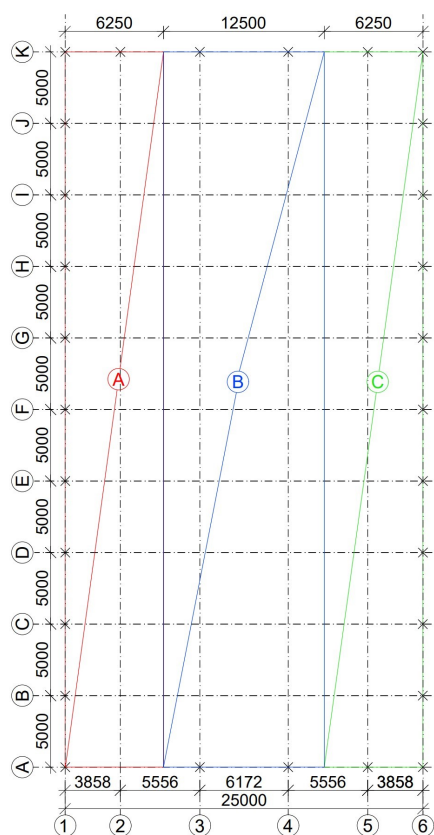
$$W_C = W_C \cdot b = 0.722 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Výpočet zatížení na podélné stěny:

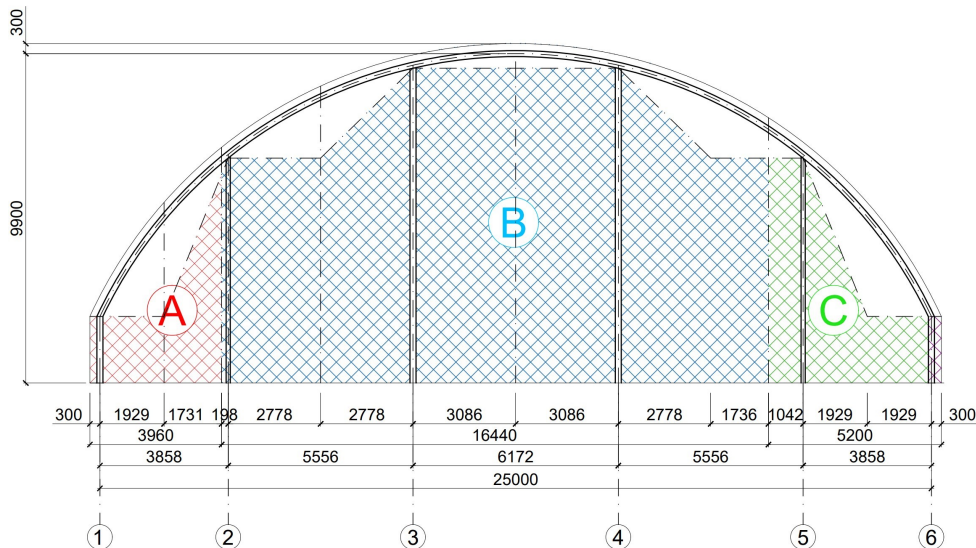
$$W_{e,D} := 0.451 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad W_{e,E} := 0.193 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$W_1 = W_{e,D} \cdot b = 1.263 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$W_2 = W_{e,E} \cdot b = 0.54 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



obr. 73 - schéma zatížení příčného větru - půdorys



obr. 74 - schéma zatížení příčného větru na štítové sloupy

- Výpočet maximálního zatížení na sloupy:

$$W_A := 0.773 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad W_B := 0.516 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad W_C := 0.322 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$W_{sl.1} = W_A \cdot (0.3 \text{ m} + 1.929 \text{ m}) = 1.723 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$W_{sl.2} = W_A \cdot 1.731 \text{ m} + W_B \cdot (0.198 \text{ m} + 2.778 \text{ m}) = 2.874 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

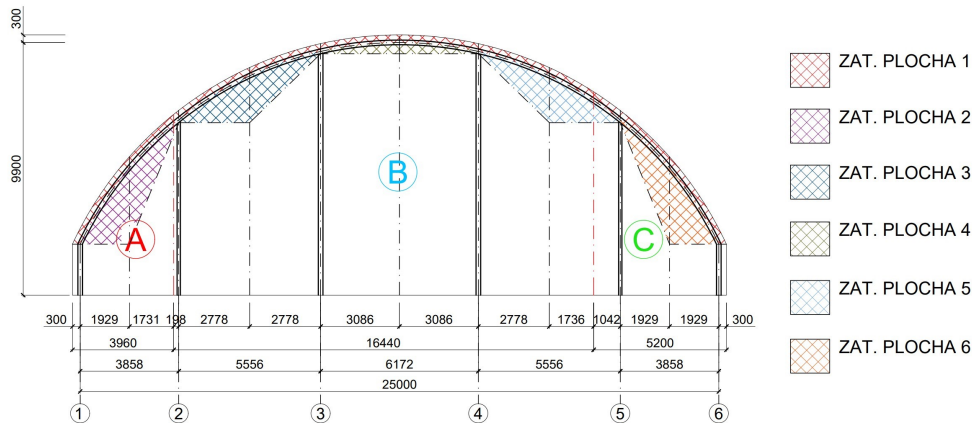
$$W_{sl.3} = W_B \cdot (2.778 \text{ m} + 3.086 \text{ m}) = 3.026 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$W_{sl.4} = W_B \cdot (2.778 \text{ m} + 3.086 \text{ m}) = 3.026 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$W_{sl.5} = W_B \cdot 1.736 \cdot \text{m} + W_C \cdot (1.042 \text{ m} + 1.929 \text{ m}) = 1.852 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$W_{sl.6} = W_C \cdot (1.929 \text{ m} + 0.3 \text{ m}) = 0.718 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- pozn.: Zatížení na sloup není po výšce konstantní, minimální hodnota je ve vrcholu a je oproti maximu poloviční (z důvodu poloviční zat. šířce), více viz. 14.1.2.



obr. 75 - schéma zatížení příčného větru na štítov štítový vazník

- Výpočet zatížení na štítový vazník:

plocha 1:

$$\text{max. zat. šířka: } b := 0.3 \text{ m} \Rightarrow W_{pl.1A} := b \cdot W_A = 0.232 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$W_{pl.1B} := b \cdot W_B = 0.155 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$W_{pl.1C} := b \cdot W_C = 0.097 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- pozn.: Rozdílné zatížení podle oblasti

plocha 2:

$$\text{max. zat. šířka: } b := 2.229 \text{ m} \Rightarrow W_{pl.2} := b \cdot W_A = 1.723 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

plocha 3:

$$\text{max. zat. šířka: } b := 2.778 \text{ m} \Rightarrow W_{pl.3} := b \cdot W_B = 1.433 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

plocha 4:

$$\text{max. zat. šířka: } b := 3.086 \text{ m} \Rightarrow W_{pl.4} := b \cdot W_B = 1.592 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

plocha 5:

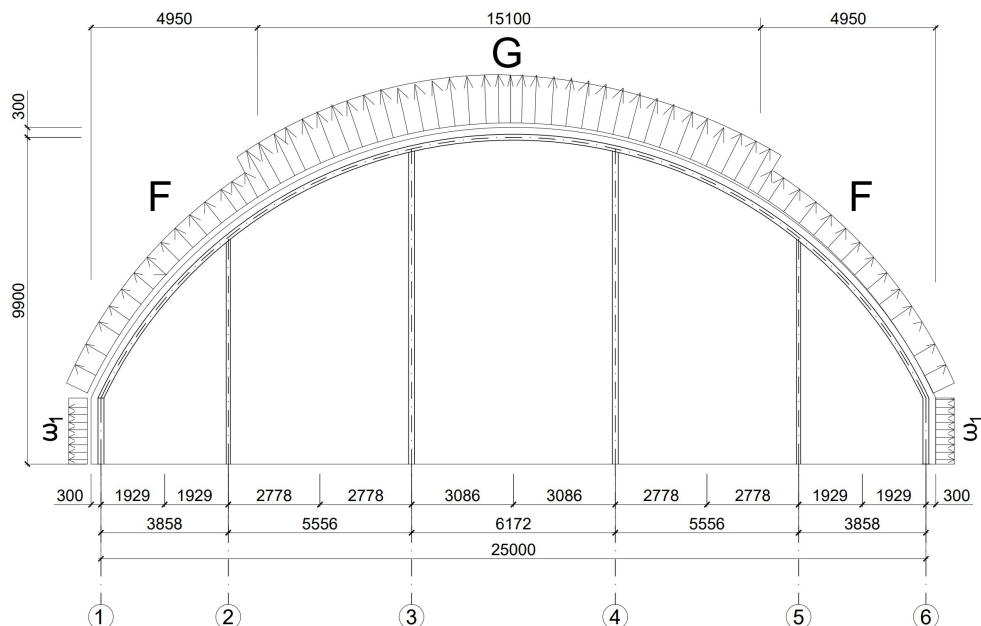
$$\text{max. zat. šířka: } b := 2.778 \text{ m} \Rightarrow W_{pl.5} := 1.736 \text{ m} \cdot W_B + 1.042 \text{ m} \cdot W_C = 1.231 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

plocha 6:

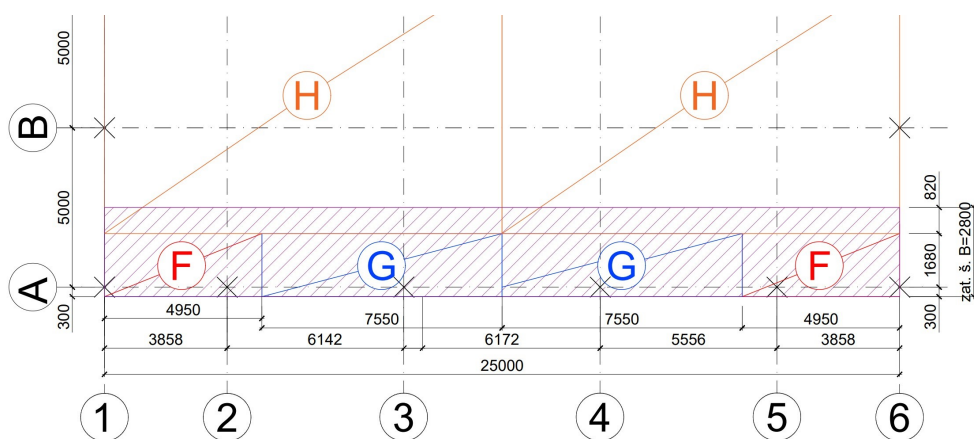
$$\text{max. zat. šířka: } b := 2.229 \text{ m} \Rightarrow W_{pl.6} := b \cdot W_C = 0.718 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

13.1.5. PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ - VÍTR PODÉLNÝ

- Plošné zatížení od podélného větru na obloukový vazník:



obr. 76 - schéma zatížení podélného větru - pohled



obr. 77 - schéma zatížení podélného větru - půdorys

- Výpočet zatížení na střechu:

$$W_F := 0.709 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad W_G := 0.902 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad W_H := 0.516 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

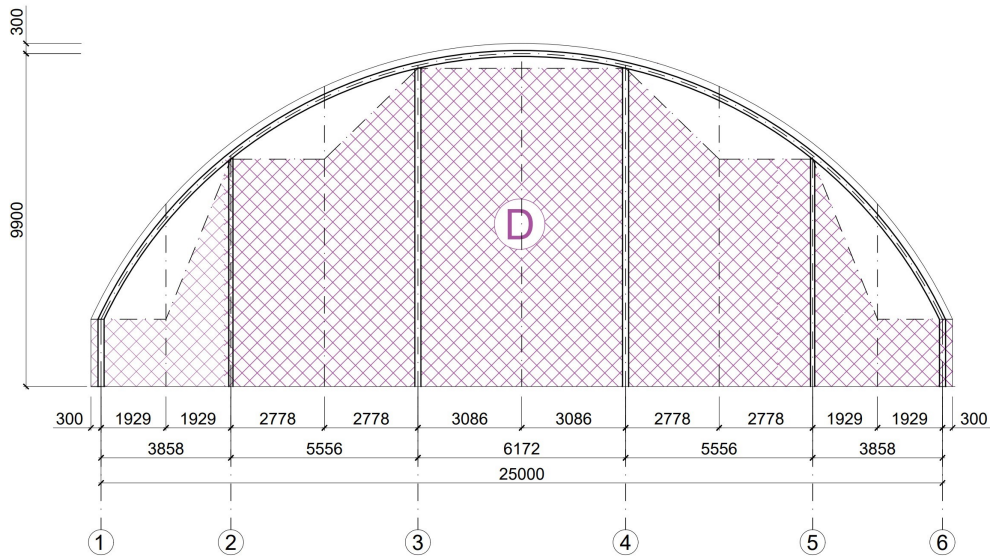
$$W_F = W_F \cdot 1.98 \text{ m} + W_H \cdot 0.82 \text{ m} = 1.827 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$W_G = W_G \cdot 1.98 \text{ m} + W_H \cdot 0.82 \text{ m} = 2.209 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Výpočet zatížení na stěny:

$$W_{e.A} := 0.773 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad W_{e.B} := 0.322 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$W_1 = W_{e,A} \cdot B = -0.788 \frac{1}{m} \cdot \frac{\text{kN}}{m}$$



obr. 78 - schéma zatížení podélného větru na štítové sloupy

- Výpočet zatížení na sloupy:

$$W_D := 0.464 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$W_{sl.1} = W_D \cdot (1.929 \text{ m} + 0.3 \text{ m}) = 1.034 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$W_{sl.2} = W_D \cdot (1.929 + 2.778) \text{ m} = 2.184 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

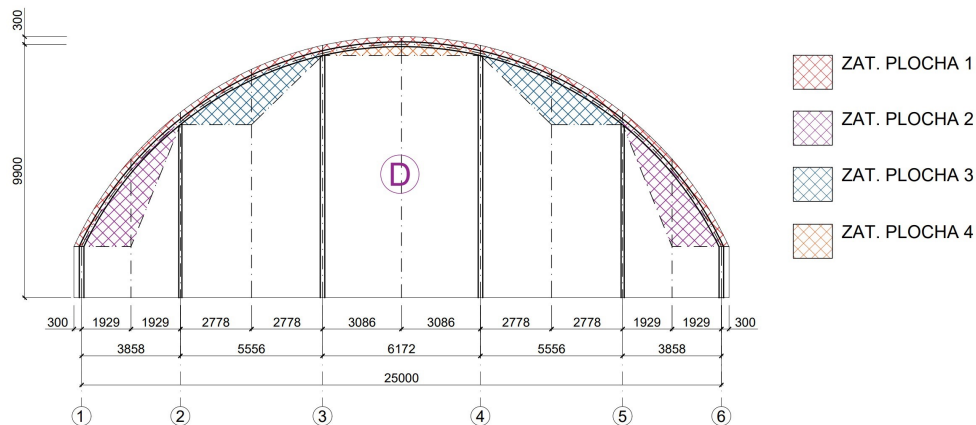
$$W_{sl.3} = W_D \cdot (2.778 + 3.086) \text{ m} = 2.721 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$W_{sl.4} = W_D \cdot (2.778 + 3.086) \text{ m} = 2.721 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$W_{sl.5} = W_D \cdot (1.929 + 2.778) \text{ m} = 2.184 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$W_{sl.6} = W_D \cdot (1.929 \text{ m} + 0.3 \text{ m}) = 1.034 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- pozn.: Zatížení na sloup není po výšce konstantní, minimální hodnota je ve vrcholu a je oproti maximu poloviční (z důvodu poloviční zat. šířce), více viz. 14.1.2.



obr. 79 - schéma zatížení podélného větru na štítový vazník

- Výpočet zatížení na štítový vazník:

plocha 1:

$$\text{max. zat. šířka: } b := 0.3 \text{ m} \Rightarrow W_{pl.1} := b \cdot W_D = 0.139 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

plocha 2:

$$\text{max. zat. šířka: } b := 2.229 \text{ m} \Rightarrow W_{pl.2} := b \cdot W_D = 1.034 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

plocha 3:

$$\text{max. zat. šířka: } b := 2.778 \text{ m} \Rightarrow W_{pl.3} := b \cdot W_D = 1.289 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

plocha 4:

$$\text{max. zat. šířka: } b := 3.086 \text{ m} \Rightarrow W_{pl.4} := b \cdot W_D = 1.432 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

13.1.6. UŽITNÉ ZATÍŽENÍ - TECHNOLOGIE HALY

- pozn.: Hodnota zatížení od technologie haly byla odhadnuta, zjednodušeně přepočtena na celoplošné zatížení

- Tab. 13.8. - Výpočet užitého zatížení od technologií

Užitné - technologie					
zatížení	char. zat. [kN/m ²]	zat. šířka [m]	char. zat. [kN/m]	γ [-]	návrh. zat.
Užitné - technologie	0,02	2,8	0,056	1,5	0,08
celkem	0,02		0,1		0,08

13.2. IMPERFEKCE A STABILITA

- Imperfekce bude uvažována jako natočení sloupu θ_0

- Stabilita bude vypočtena v programu Dlubal RFEM 6

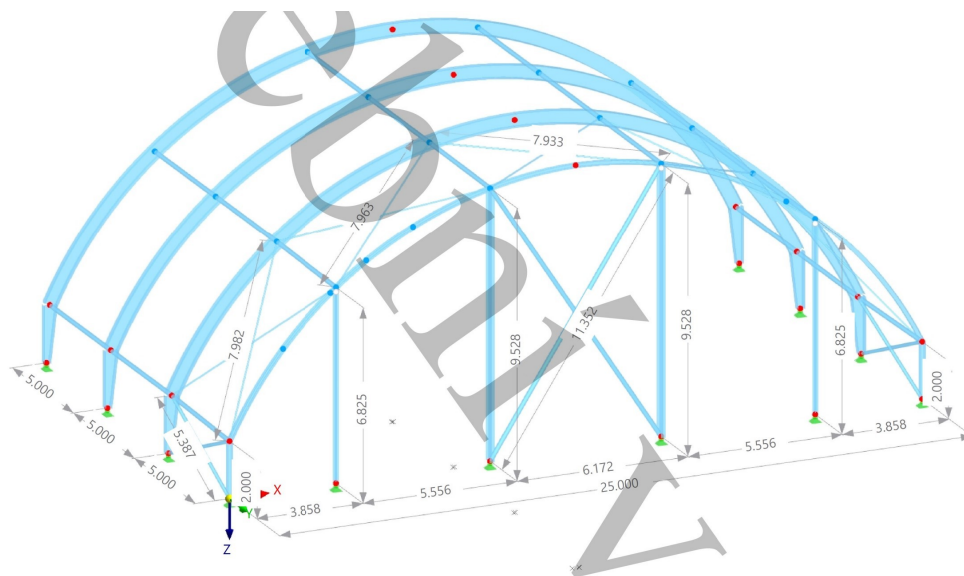
- pozn.: Více viz kapitola 14.1.2.3. - Imperfekce a 14.1.2.4. - Stabilita

14. PODROBNÝ NÁVRH A VÝPOČET PŘÍČNÉ VAZBY ŠTÍTOVÉ STĚNY

14.1. MODEL KONSTRUKCE

14.1.1. VÝPOČETNÍ MODEL

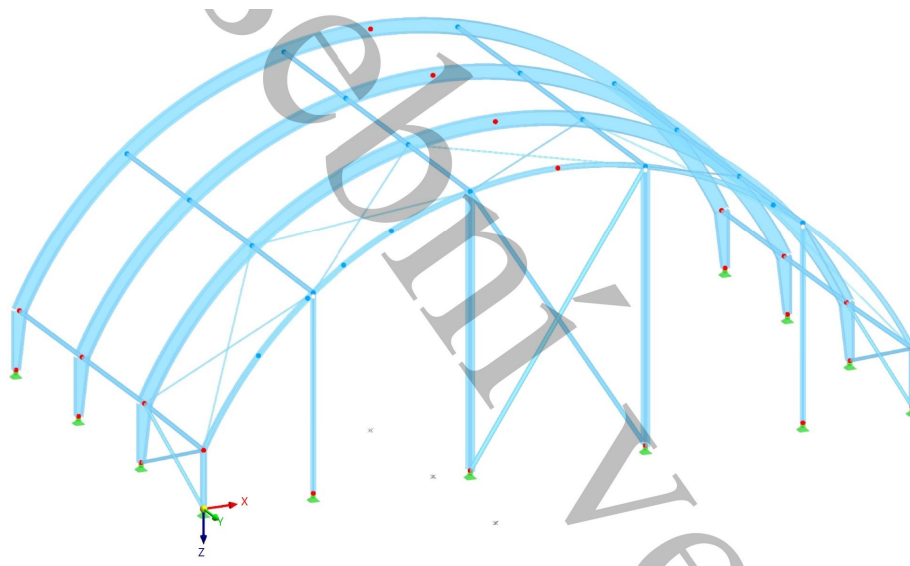
- pozn.: Vymodelováno v programu Dlubal RFEM 6



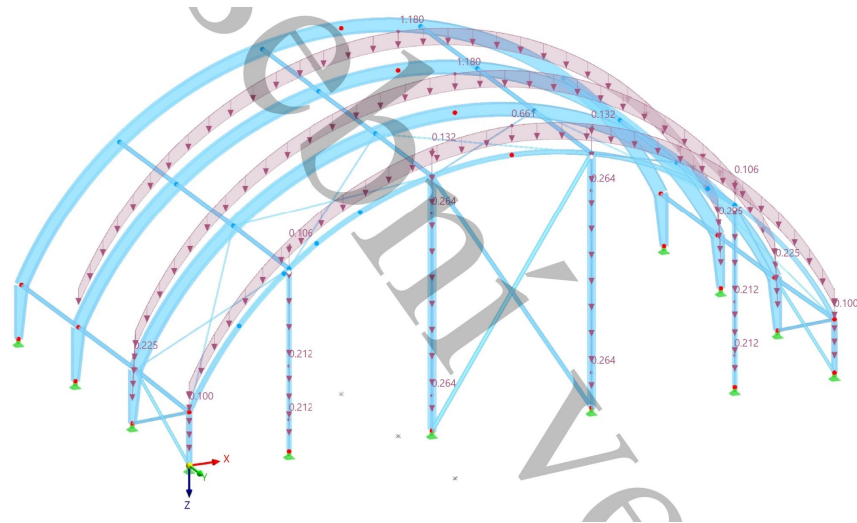
14.1.2. ZATĚŽOVACÍ STAVY A IMPERFEKCE

14.1.2.1. ZATĚŽOVACÍ STAVY

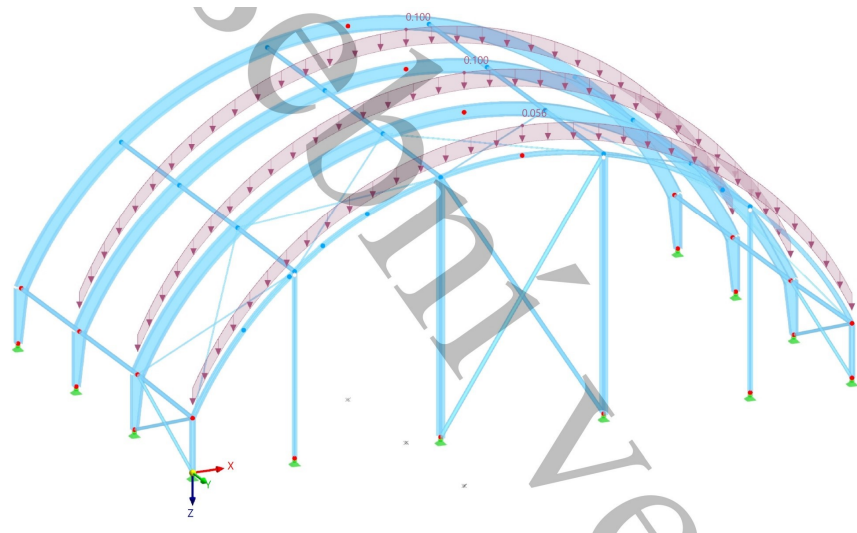
ZS1 - Vlastní tíha



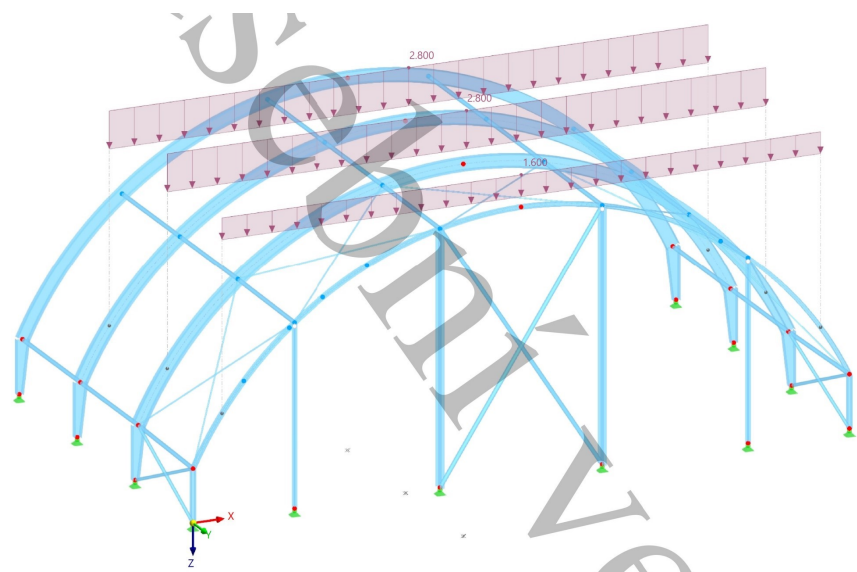
ZS2 - Ostatní stálé



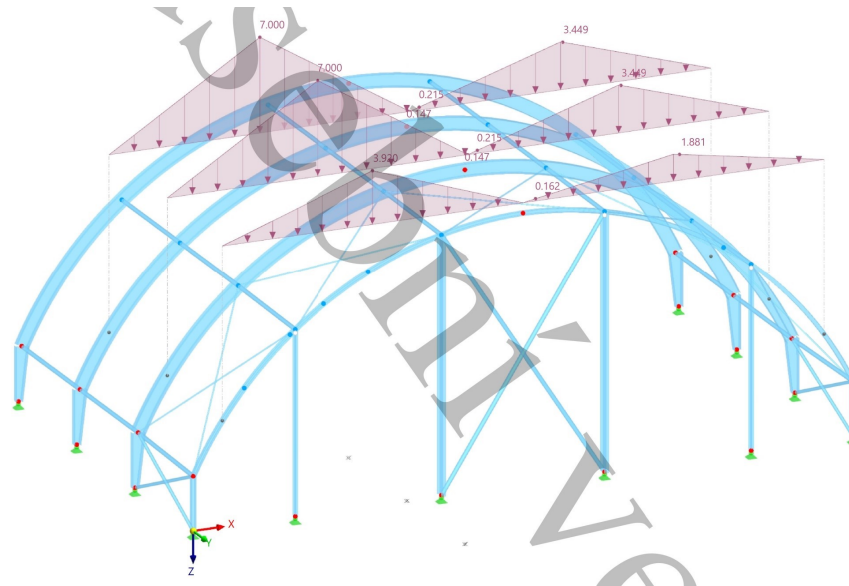
ZS3 - Užité technologie



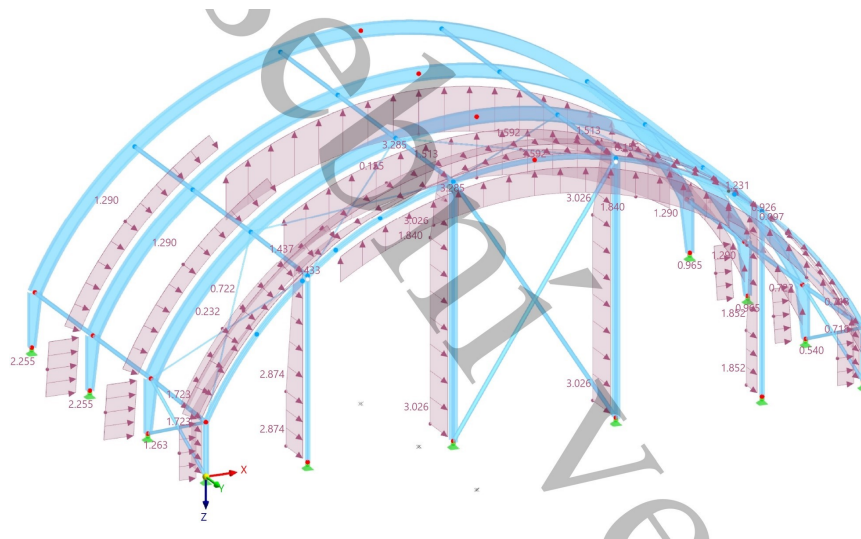
ZS4 - Sníh stav i



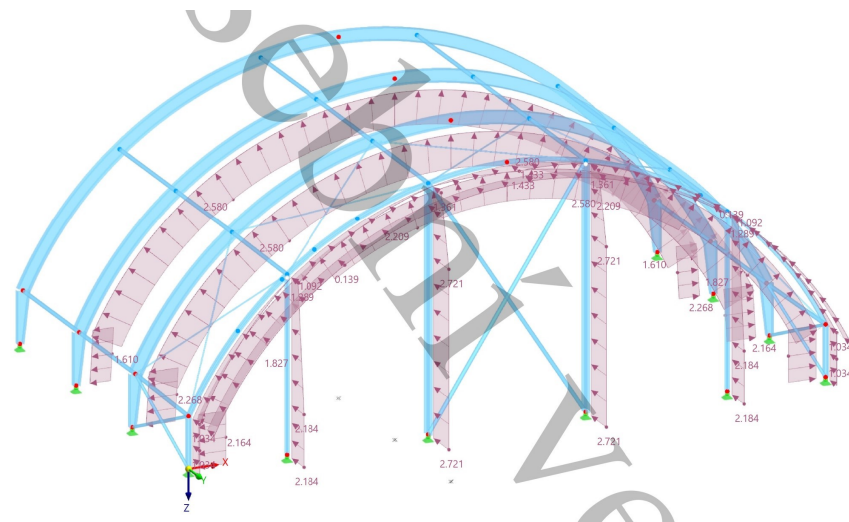
ZS5 - Sníh stav ii - var 1



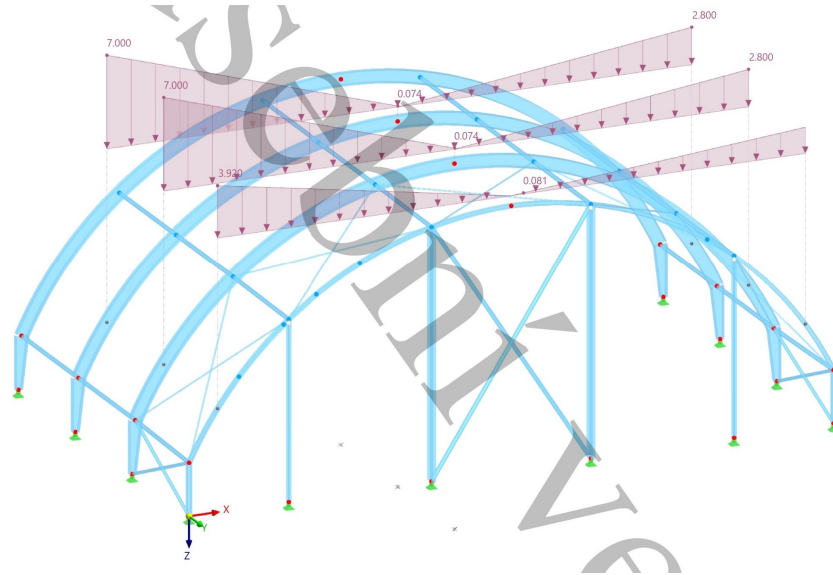
ZS6 - Vítr příčný



ZS7 - Vítr podélný



ZS8 - Sníh stav ii - var 2



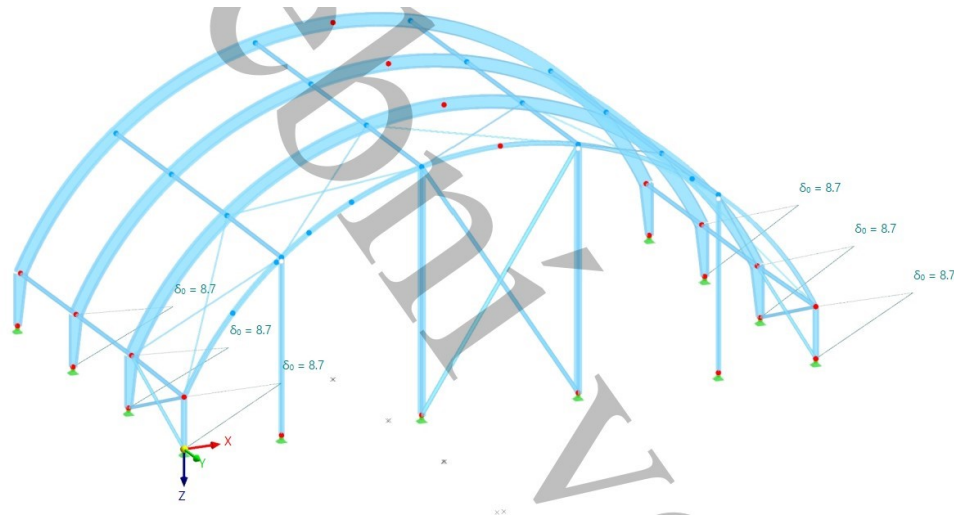
14.1.2.2. IMPERFEKCE

$$h_{sl} := 2 \text{ m}$$

$m := 2$ (počet sloupů v řadě)

$$\alpha_m := \sqrt{0.5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = 0.866 \quad \alpha_h := \frac{2}{\sqrt{h_{sl}}} = 1.414 \leq 1.0 \Rightarrow \alpha_h := 1.0$$

$$\phi_0 := \frac{1}{200} \cdot \alpha_m \cdot \alpha_h = 0.004 \quad e_x := \phi_0 \cdot 2 \cdot m = 8.66 \text{ mm}$$

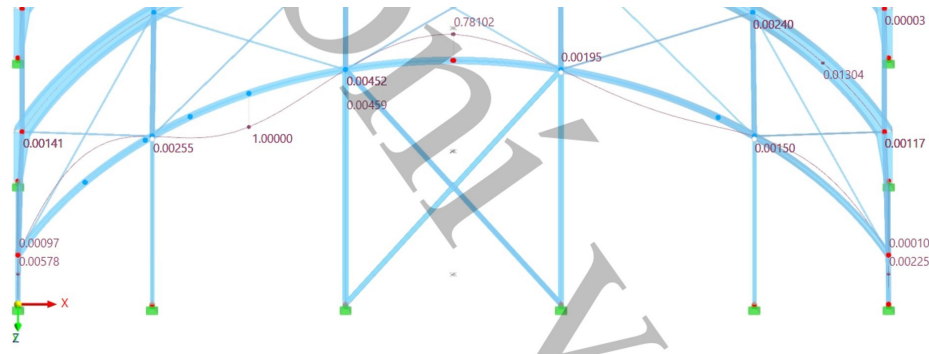


14.1.2.3. STABILITA

- pozn.: α_{cr} ... vypočteno v programu Dlubal RFEM 6

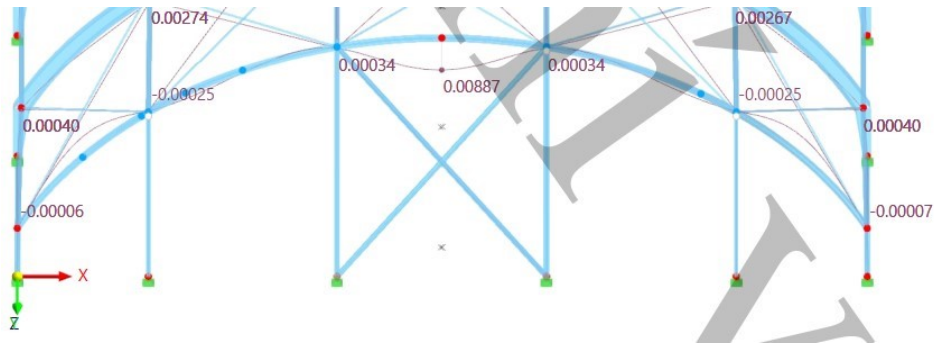
- Vybočení z roviny vazníku:

$\alpha_{cr} := 5.718 < 10$ -> deformace dle teorie I. řádu



- Vybočení v rovině vazníku:

$\alpha_{cr} := 21.589 > 10$ -> deformace dle teorie I. řádu



14.2. NÁVRH A POSOUZENÍ OBLOUKOVÉHO VAZNÍKU ŠTÍTOVÉ VAZBY

14.2.1. ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE, VNITŘNÍ SÍLY, DEFORMACE A NAPĚTÍ

14.2.1.1. ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE

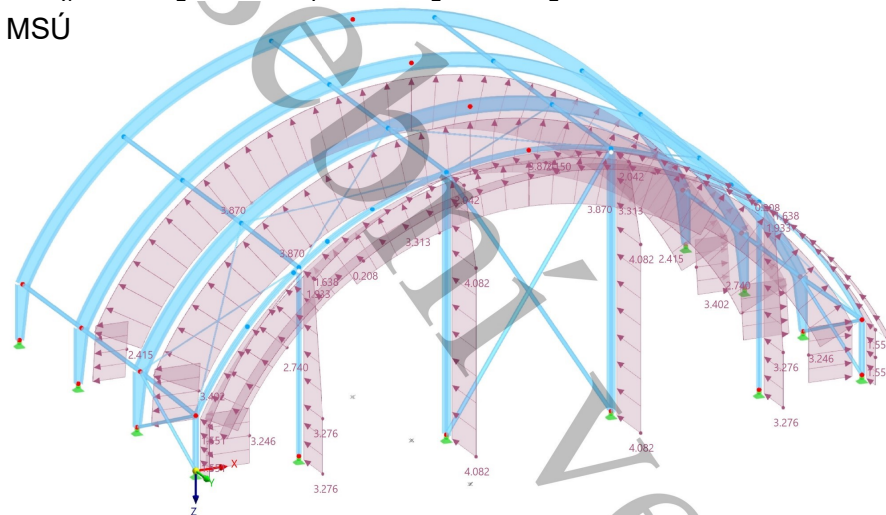
- pozn.: Kombinace zatážení byly vygenerovány v programu Dlubal RFEM 6

První rozhodující kombinace: KZ46 - MSÚ - 1,35*ZS1+1,5*ZS7

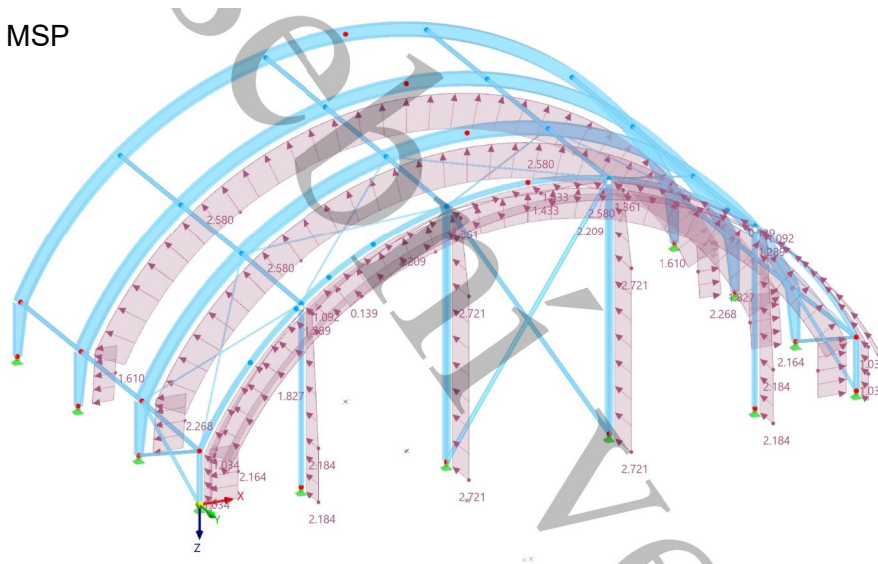
- MSP - ZS1+ZS7

(max u_x , max u_z), max M_v , max M_z , max V_z)

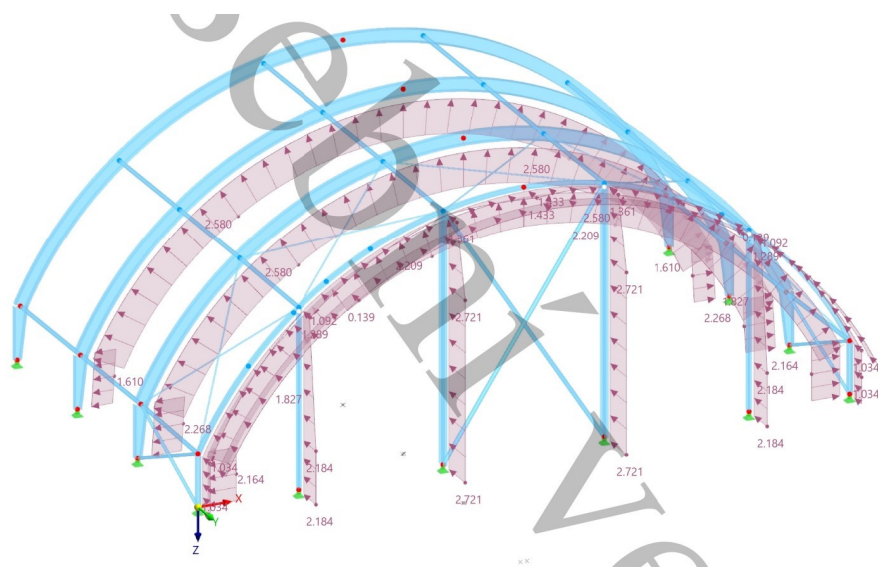
MSÚ



MSP



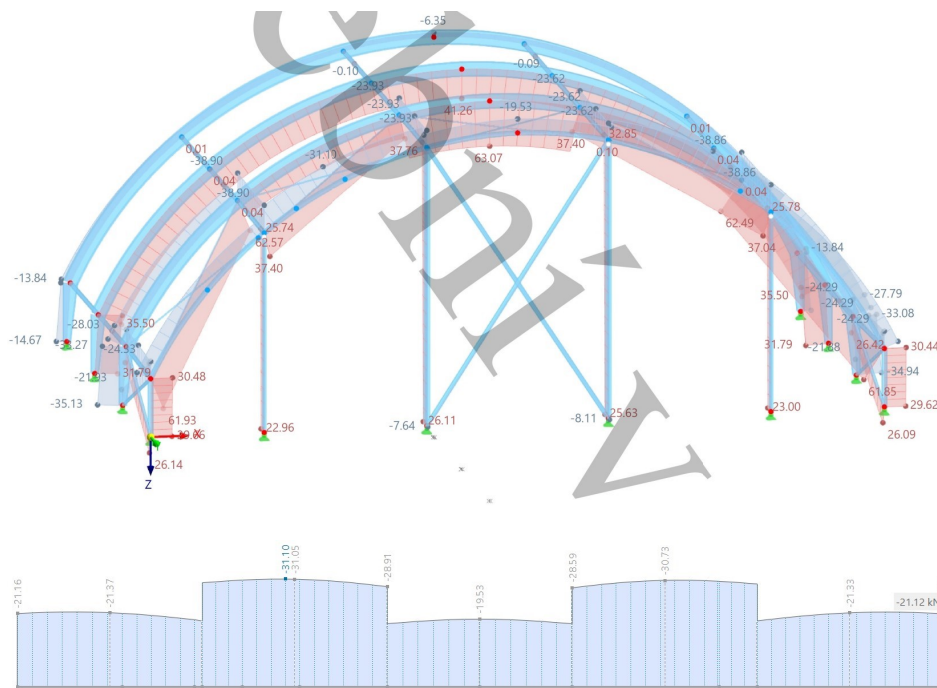
Druhá rozhodující kombinace: KZ56 - ZS1+ZS2+0,5*ZS4+ZS7
(max u_y)



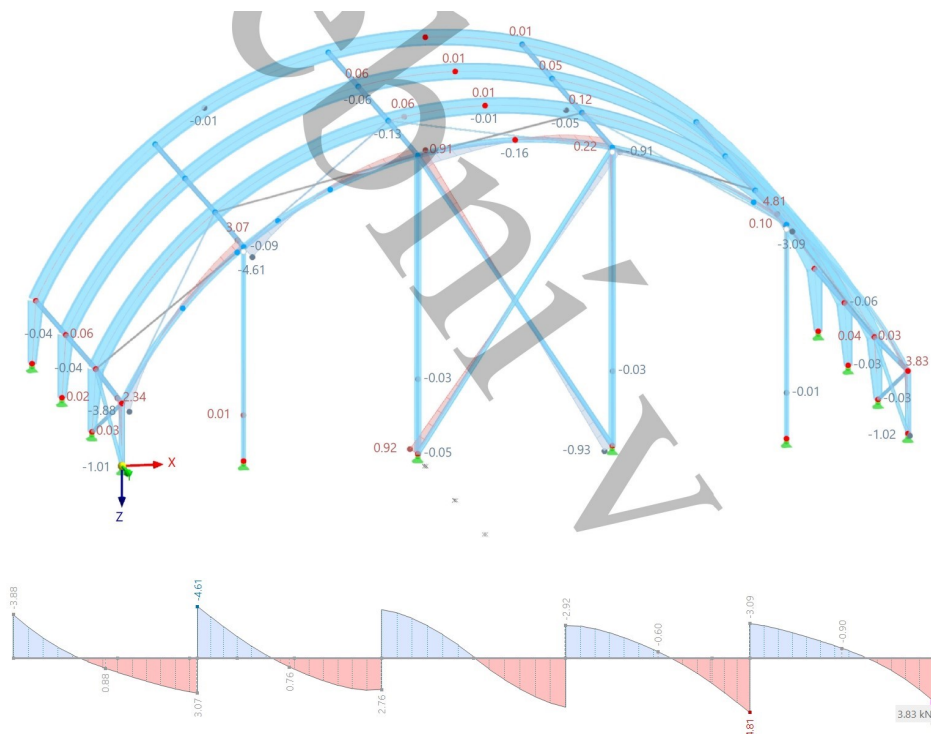
14.2.1.2. VNITŘNÍ SÍLY

- pozn.: Vypočteno v programu Dlubal RFEM 6

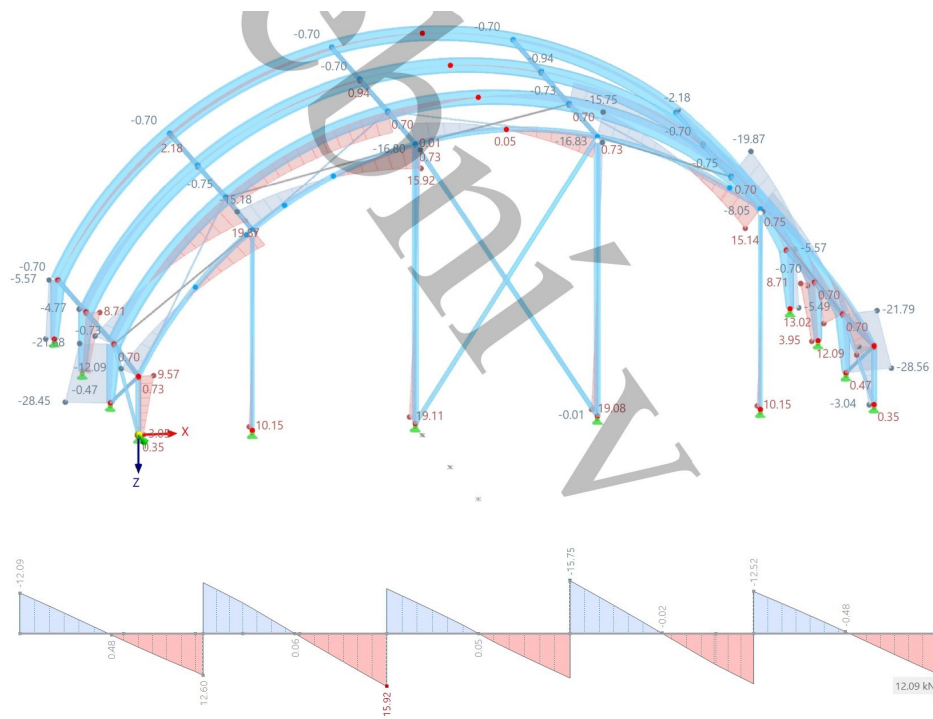
Normálová síla N [kN] - KZ46



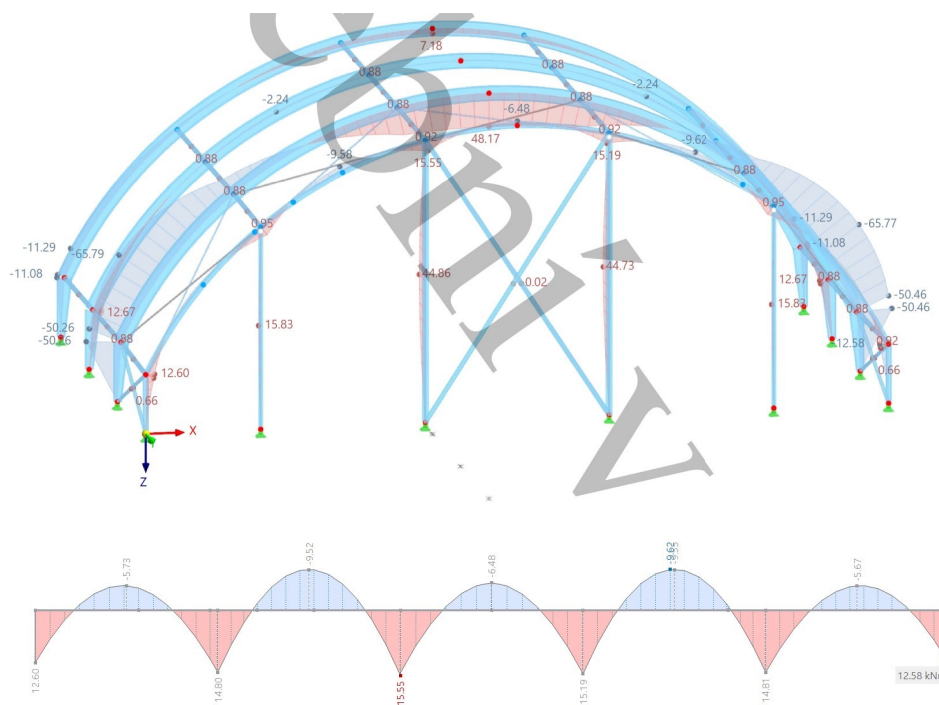
Posouvající síla V_y [kN] - KZ46



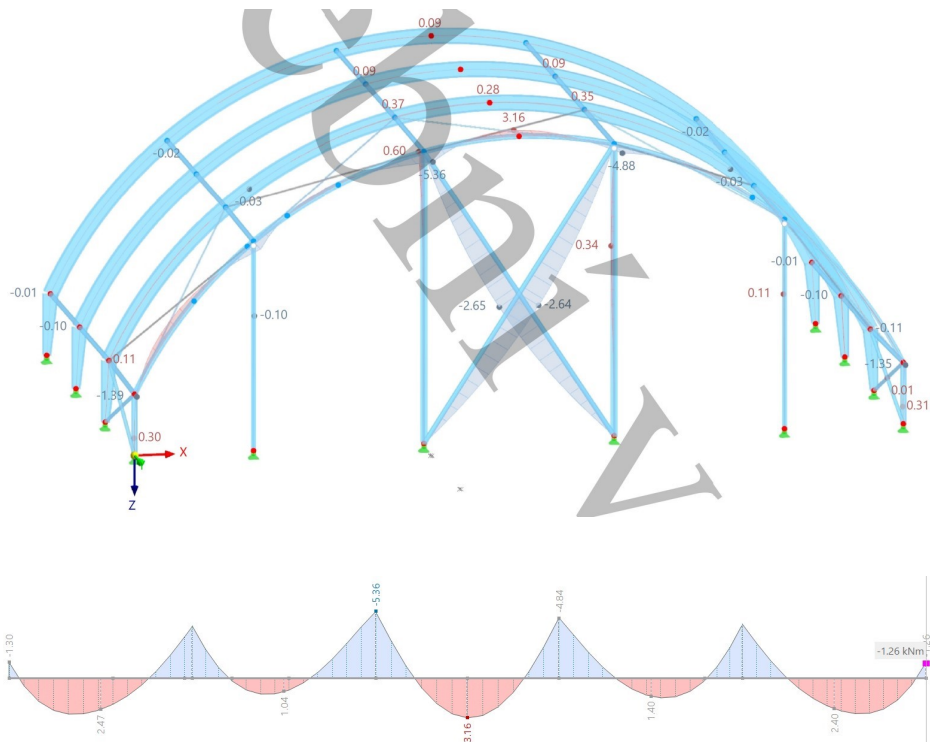
Posouvající síla V_z [kN] - KZ46



Ohybový moment M_y [kN·m] - KZ46

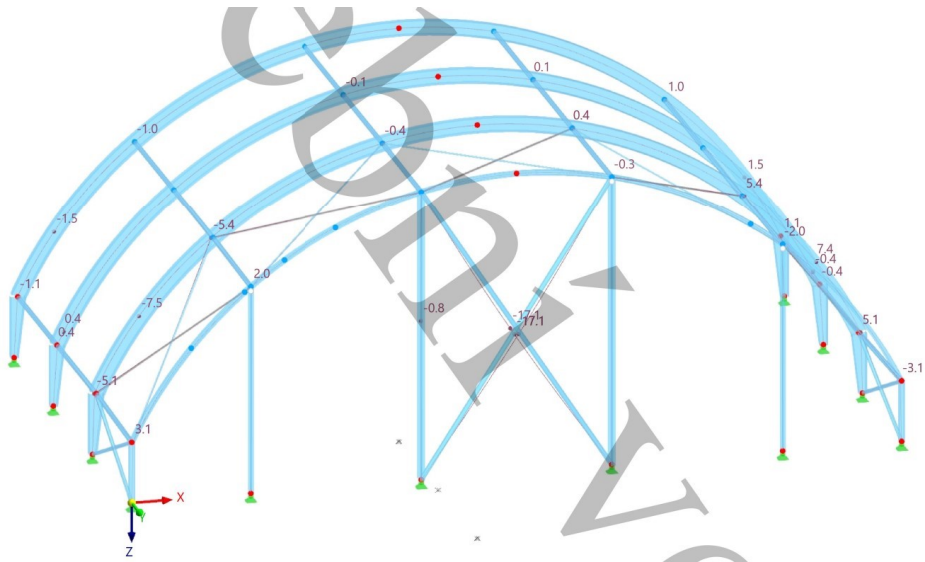


Ohybový moment M_z [$kN \cdot m$] - KZ46

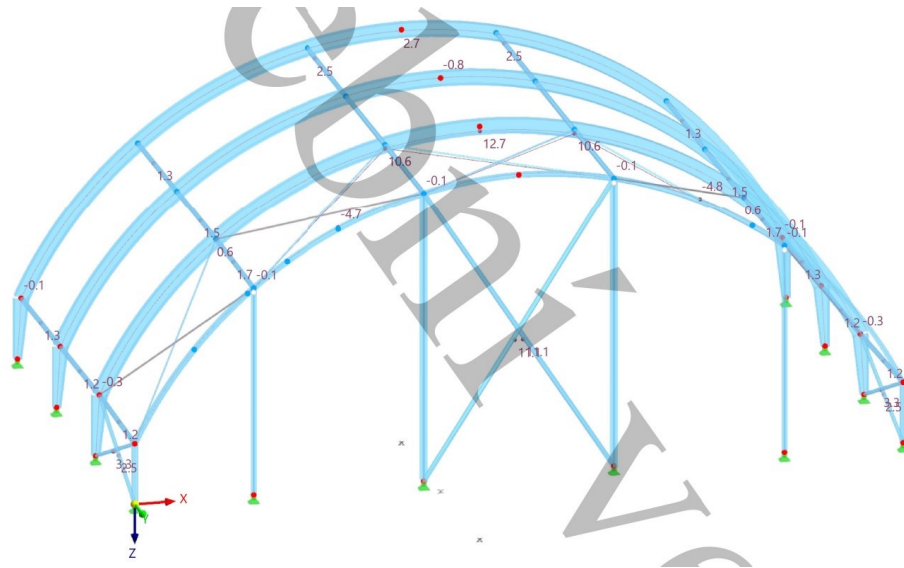


14.2.1.3. DEFORMACE

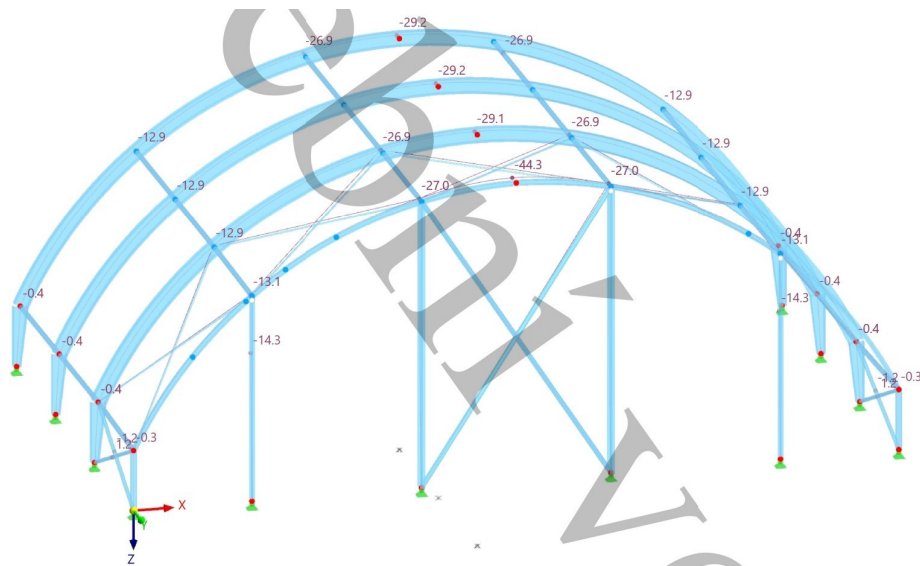
Max průhyb u_z [mm] - (stálé + proměnné) - KZ46



Max vodorovný posun ve směru x [mm] - (stálé a proměnné) - KZ46

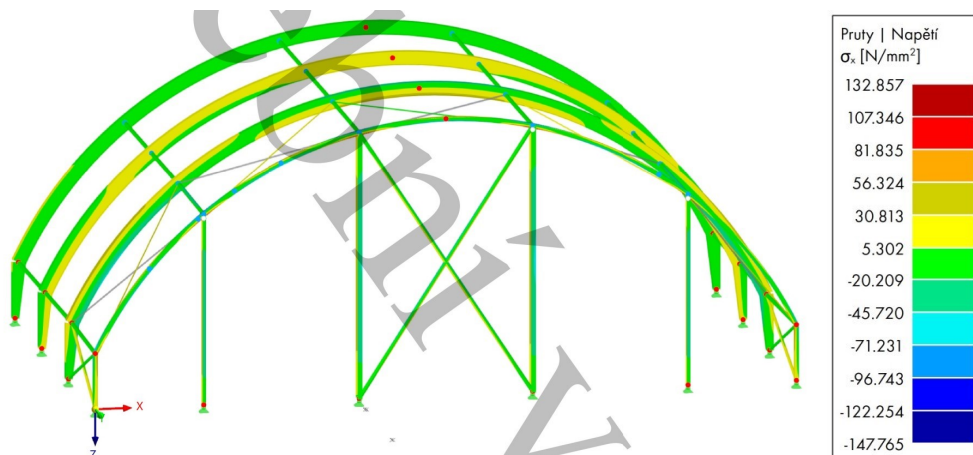


Max vodorovný posun ve směru y [mm] - (stálé a proměnné) - KZ56



14.2.1.4. NAPĚTÍ

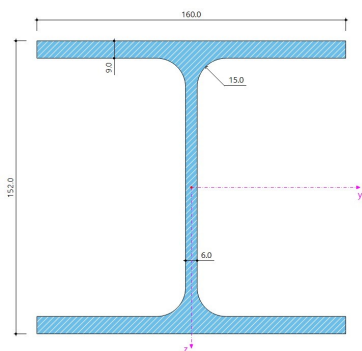
Maximální napětí σ_x na průřezu [MPa] (stálé a proměnné) - KZ31



14.2.2. NAVRŽENÝ PRŮŘEZ

- Válcovaný HEA 160 profil s konstantním průběhem, $h=152\text{mm}$, $b=160\text{mm}$

14.2.2.1. NAVRŽENÝ PRŮŘEZ



obr. 80 - průřez vazníku

- Průřezové charakteristiky:

$A := 3880 \text{ mm}^2$	$i_y := 65.7 \text{ mm}$
$b := 160 \text{ mm}$	$i_z := 39.8 \text{ mm}$
$h := 152 \text{ mm}$	$W_{pl,y} := 245.1 \text{ cm}^3$
$t_w := 6 \text{ mm}$	$W_{el,y} := 220.1 \text{ cm}^3$
$t_f := 9 \text{ mm}$	$W_{pl,z} := 117.6 \text{ cm}^3$
$r := 15 \text{ mm}$	$W_{el,z} := 76.95 \text{ cm}^3$
$I_y := 1673 \text{ cm}^4$	$A_{vy} := 2409.92 \text{ mm}^2$
$I_z := 615.6 \text{ cm}^4$	$A_{vz} := 779.81 \text{ mm}^2$

- Materiálové charakteristiky (S235):

$f_y := 235 \text{ MPa}$	$E := 210 \text{ GPa}$
	$G := 81 \text{ GPa}$
$f_{yd} := \frac{f_y}{1.0} = 235 \text{ MPa}$	$\gamma_{M1} := 1.0$
	$\gamma_{M0} := 1.0$
$f_u := 360 \text{ MPa}$	$\gamma_{M2} := 1.25$

$$\nu := 0.3$$

Rozhodující vnitřní síly (KZ46): $N_{Ed} := 28.91 \text{ kN}$ $V_{y,Ed} := 2.76 \text{ kN}$ $M_{y,Ed} := 15.55 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 $V_{z,Ed} := 15.92 \text{ kN}$ $M_{z,Ed} := 5.36 \text{ kN}\cdot\text{m}$

14.2.2.2. ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU

- Pásnice:

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 1 \quad c := \frac{(160 \text{ mm} - t_w - 2 r)}{2} = 62 \text{ mm}$$

Pro pásnici třídy 1 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_f} = 6.889 \leq 9 \quad \varepsilon = 9 \quad \Rightarrow \text{pásnice je třídy 1.}$$

- Stojina:

$$c := 152 \text{ mm} - 2 \cdot t_f - 2 r = 104 \text{ mm}$$

Pro stojinu třídy 1 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_w} = 17.333 < 33 \quad \varepsilon = 33 \quad \Rightarrow \text{stojina je třídy 1.}$$

Průřez vazníku má stojinu třídy 1 a pásnici třídy 1

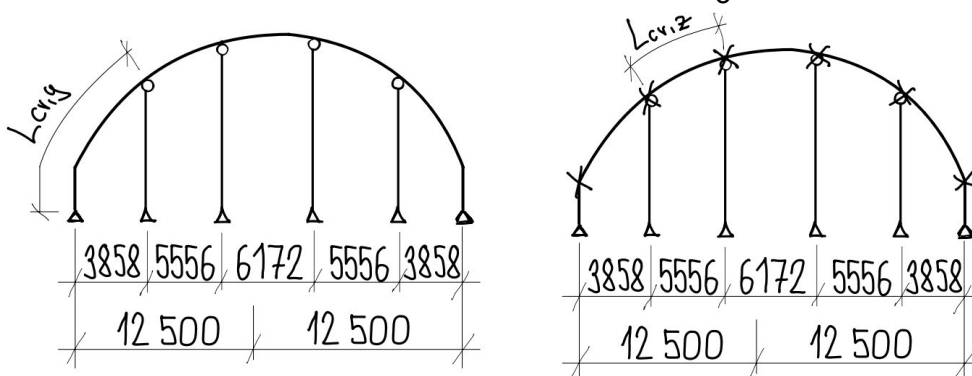
14.2.3. MSÚ

- Vzpěrné délky:

- Délka vazníku: $L_{vazník} := 31150 \text{ mm}$, v každé pětíně je podepřen proti vybočení a zároveň kloubově podepřen sloupy v každé pětíně

- Za kritickou délku v rovině vazníku je uvažována vzdálenost mezi inflexními body vazníku a patou sloupu, který lze považovat při jeho chování v tlaku za součást

vazníku. Délka nejdelší vzpěrné délky je tedy $L_{celek} := \frac{31150 \text{ mm}}{5} + 2000 \text{ mm} = 8.23 \text{ m}$



obr. 81 a 82 - schéma vzpěrné délky v rovině a z roviny vazníku

v rovině vazníku:

$$\beta_y := 1$$

$$L_y := L_{celek} = 8.23 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} := \beta_y \cdot L_y = 8.23 \text{ m}$$

z roviny vazníku:

$$\beta_z := 1$$

$$L_z := \frac{L_{vazník}}{5} = 6.23 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} := \beta_z \cdot L_z = 6.23 \text{ m}$$

- Štíhlost prutu:

$$\lambda_y := \frac{L_{cr,y}}{i_y} = 125.266 \quad \lambda_z := \frac{L_{cr,z}}{i_z} = 156.533$$

- Poměrná štíhlost prutu:

$$\bar{\lambda}_1 := 93.9 \cdot \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 93.9 \quad \bar{\lambda}_y := \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 1.334 \quad \bar{\lambda}_z := \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 1.667$$

- Přiřazení křivek vzpěrnosti:

$$\text{válcovaný průřez: } \frac{h}{b} = 0.95 < 1.2$$

$$\Rightarrow t_f = 9 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \Rightarrow y-y=b \Rightarrow \alpha_y := 0.34$$

$$z-z=c \Rightarrow \alpha_z := 0.49$$

$$\phi_y := 0.5 (1 + \alpha_y (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2)$$

$$\phi_z := 0.5 (1 + \alpha_z (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2)$$

$$\chi_y := \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 0.411 \leq 1.0$$

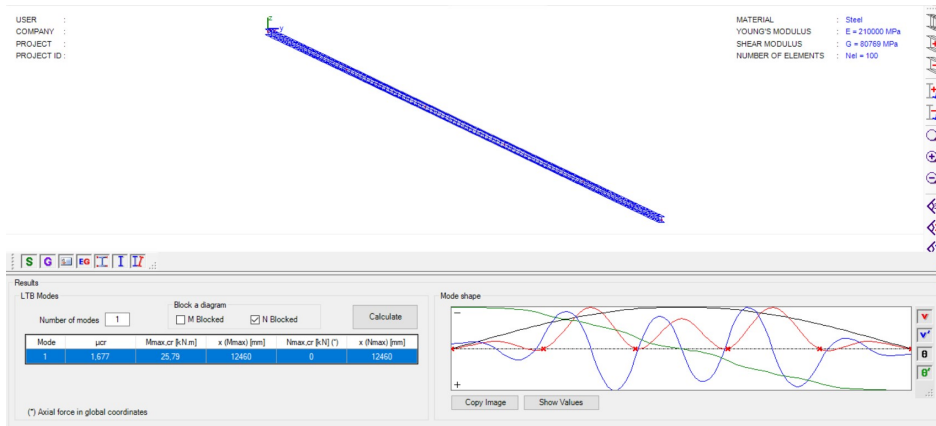
$$\chi_z := \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0.266 \leq 1.0$$

$$\chi_y = 0.411$$

$$\chi_z = 0.266$$

- Vliv klopení:

výpočet kritického momentu M_{cr} (více viz příloha 1.7.)



obr. 83 - výsledný kritický moment M_{cr}

$$M_{cr} := 25.79 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- pozn.: Vypočteno pomocí programu LTBeamN

- Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{LT} := \sqrt{W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{M_{cr}}} = 1.494$$

- Křivka klopení pro válcovaný profil:

$$\frac{h}{b} = \frac{152}{160} = 0.95 < 2 \Rightarrow \text{křivka klopení a} \Rightarrow \alpha_{LT} := 0.21$$

- Součinitel klopení (obecný případ):

$$\phi_{LT} := 0.5 \left(1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right) = 1.753$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0.375 \leq 1.0 \Rightarrow \text{kce je náchylná na klopení}$$

- Posouzení vazníku na kombinaci tlaku s ohybem:

součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{my} dle metody 2:

- stejně jako u vzpěrné délky zohledním část vazníku pouze mezi inflexními body
- v tomto případě více namáhaná pravá polovina oblouku viz schéma:

$$\psi = \frac{M_h}{M_h}$$

$$\alpha_s = \frac{M_h}{M_s}$$

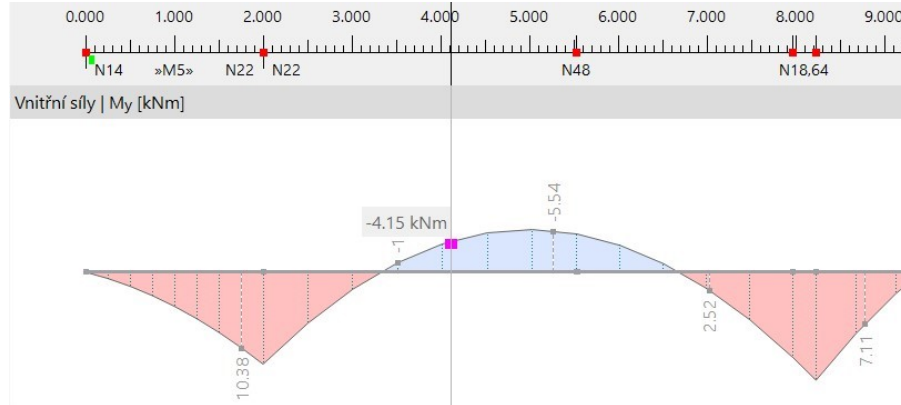
$$\psi := \frac{0}{14.8} = 0$$

$$\alpha_s := \frac{-4.15}{14.8} = -0.28$$

$$C_{my} := 0.1 - 0.8 \alpha_s = 0.324 \leq 0.4 \Rightarrow C_{my} := 0.4 \quad (\text{rovnoměrné zatížení})$$

 $\alpha_s = M_s / M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,1(1-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$

obr. 84 - tabulka pro součinitel C_{my}



obr. 85 - průběh ohybového momentu M_y mezi inflexními body

součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{mLT} dle metody 2:

$$\psi = \frac{M_h}{M_s}$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s}$$

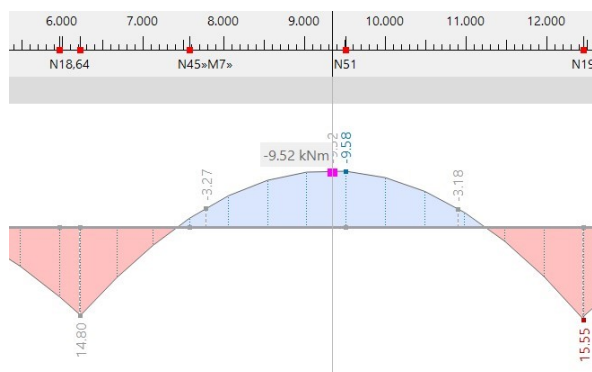
$$\psi := \frac{14,8}{15,55} = 0,952$$

$$\alpha_h := \frac{-9,52}{15,55} = -0,612$$

$$C_{mLT} := 0,1 - 0,8 \alpha_h = 0,59 \geq 0,4$$

 $\alpha_s = M_s / M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,1(1-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$

obr. 86 - tabulka pro součinitel C_{mLT}



obr. 87 - průběh ohybového momentu M_y mezi inflexními body

součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{mz} dle metody 2:

- stejně jako u vzpěrné délky zohledním část vazníku pouze mezi inflexními body
- v tomto případě více namáhaná levá polovina oblouku viz schéma:

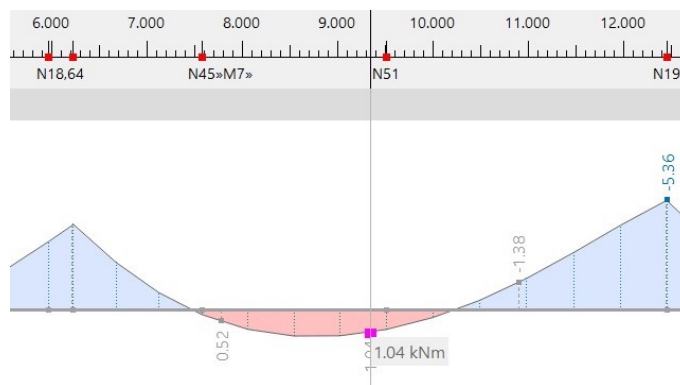
$$\psi = \frac{M_h}{M_s} \qquad \alpha_h = \frac{M_h}{M_s}$$

$$\psi := \frac{-4.14}{-5.36} = 0.772 \qquad \alpha_h := \frac{1.04}{-5.36} = -0.194$$

$$C_{mz} := 0.1 - 0.8 \alpha_h = 0.255 \leq 0.4 \Rightarrow C_{mz} := 0.4 \quad (\text{rovnorné zatížení})$$

	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0.2 + 0.8\alpha_s \geq 0.4$	$0.2 + 0.8\alpha_s \geq 0.4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0.1 - 0.8\alpha_s \geq 0.4$	$-0.8\alpha_s \geq 0.4$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0.1(1-\psi) - 0.8\alpha_s \geq 0.4$	$0.2(-\psi) - 0.8\alpha_s \geq 0.4$

obr. 88 - tabulka pro součinitel C_{mz}



obr. 88 - průběh ohybového momentu M_z mezi inflexními body

- Charakteristické hodnoty únosností v tlaku a ohybu:

$$N_{Rk} := A \cdot f_y = 911.8 \text{ kN} \qquad N_{Ed} := 31.1 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} := W_{pl,y} \cdot f_y = 57.599 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z,Rk} := W_{pl,z} \cdot f_y = 27.636 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- Součinitele k_{yy} , k_{zy} , k_{yz} a k_{zz} :

$$k_{yy} := C_{my} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0.2) \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.438$$

$$k_{yy} := C_{my} \cdot \left(1 + 0.8 \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.427$$

$$\min.(0.438, 0.427) \quad k_{yy} := 0.427$$

$$k_{zy} := \left(1 - \frac{0.1 \cdot \lambda_z}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.937$$

$$k_{zy} := \left(1 - \frac{0.1}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.962$$

$$\max.(0.937, 0.962) \quad k_{zy} := 0.962$$

$$k_{yz} := 0.6 \cdot k_{yy} = 0.256$$

$$k_{zz} := C_{mz} \cdot \left(1 + (2 \bar{\lambda}_y - 0.6) \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.469$$

$$k_{zz} := C_{mz} \cdot \left(1 + 1.4 \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.446$$

$$\min.(0.469, 0.446) \quad k_{yy} := 0.446$$

- Podmínky spolehlivosti:

Rozhodující vnitřní síly: $N_{Ed} = 31.1 \text{ kN}$ $V_{y.Ed} = 5.86 \text{ kN}$ $M_{y.Ed} = 15.55 \text{ kN} \cdot \text{m}$
 $V_{z.Ed} = 15.92 \text{ kN}$ $M_{z.Ed} = 5.36 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$\frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y.Ed}}{X_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z.Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{Y_{M1}}} = 0.454 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y.Ed}}{X_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z.Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{Y_{M1}}} = 0.908 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + \frac{M_{y.Ed}}{M_{y,Rk}} + \frac{M_{z.Ed}}{M_{z,Rk}} = 0.498 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Posouzení smykové únosnosti:

ve směru osy y:

$$V_{pl.Rd} := \frac{A_{vy} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot Y_{M0}} = 326.971 \text{ kN} > V_{y.Ed} = 5.86 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\Rightarrow V_{y.Ed} = 5.86 \text{ kN} < 0.5 \cdot V_{pl.Rd} = 163.486 \text{ kN} \Rightarrow \text{malý smyk}$$

ve směru osy z:

$$V_{pl.Rd} := \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot Y_{M0}} = 105.803 \text{ kN} > V_{z.Ed} = 15.92 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\Rightarrow V_{z.Ed} = 15.92 \text{ kN} < 0.5 \cdot V_{pl.Rd} = 52.901 \text{ kN} \Rightarrow \text{malý smyk}$$

14.2.4. MSP

- Celkový průhyb u_z (stálé a proměnné):

$$\delta_1 \leq \frac{L}{250} \quad (\delta_1 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

$$4.8 \leq \frac{25000}{250} = 100 \quad [mm] \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Celkový průhyb u_z (pouze proměnné):

$$\delta_2 \leq \frac{L}{250} \quad (\delta_2 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

$$4.8 \leq \frac{25000}{250} = 100 \quad [mm] \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Celkový vodorovný posun u_x (stálé a proměnné):

a) ve směru osy x

$$\delta_3 \leq \frac{h}{150} \quad (\delta_3 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

$$3.7 \leq \frac{9900}{150} = 66 \quad [mm] \quad \text{VYHOVUJE}$$

b) ve směru osy y

$$\delta_4 \leq \frac{h}{150} \quad (\delta_4 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

$$44.3 \leq \frac{9900}{150} = 66 \quad [mm] \quad \text{VYHOVUJE}$$

- pozn.: Vazník splňuje limit deformace i pro dílčí části prutu např. při vodorovném posunu či průhybu mezi štítovými sloupy

14.3. NÁVRH A POSOUZENÍ KRAJNÍHO SLOUPU

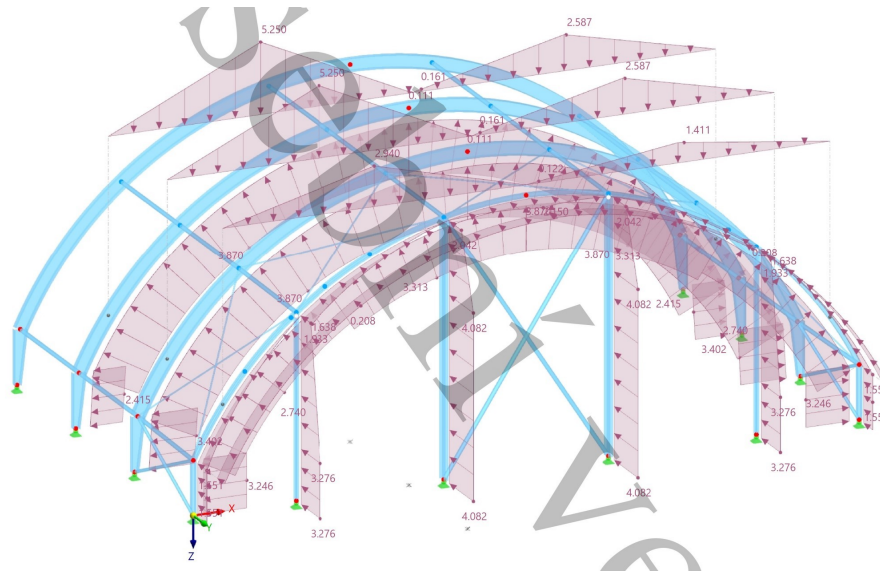
14.3.1. ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE, VNITŘNÍ SÍLY, DEFORMACE A NAPĚTÍ

14.3.1.1. ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE

- pozn.: Kombinace zatížení byly vygenerovány v programu Dlubal RFEM 6

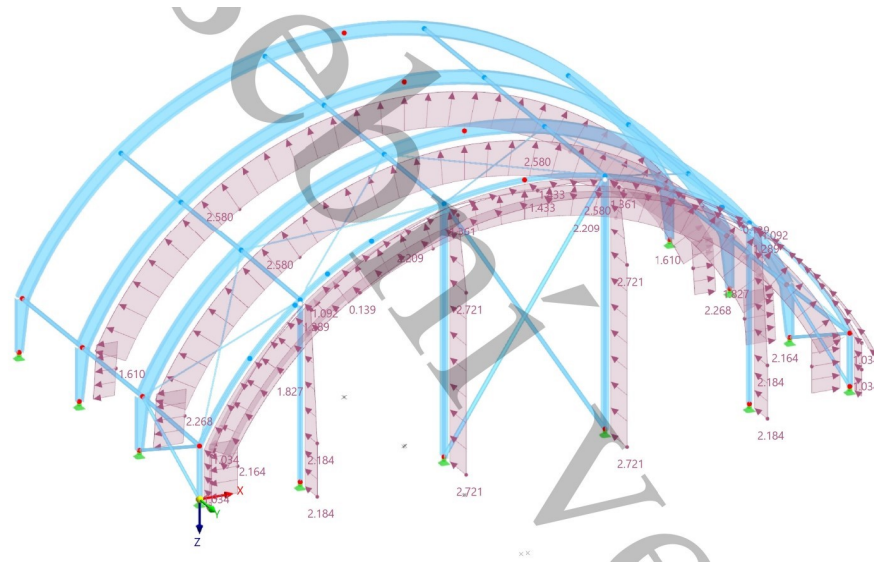
První rozhodující kombinace: KZ52 - $1,35 \cdot ZS1 + 0,75 \cdot ZS5 + 1,5 \cdot ZS7$

(max N , max V_y , max V_z , max M_y)



Druhá rozhodující kombinace: KZ46 - $ZS1 + ZS7$

(max u_x , max u_y)

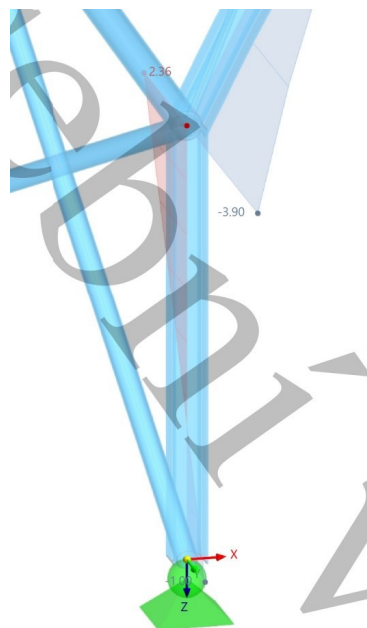
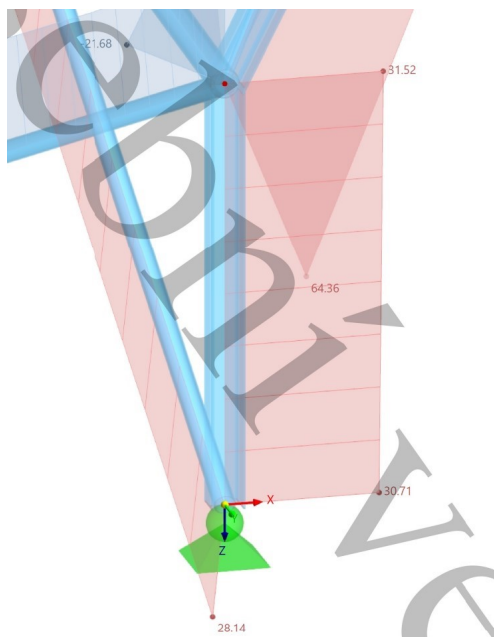


14.3.1.2. VNITŘNÍ SÍLY

- pozn.: Vypočteno v programu Dlubal RFEM 6

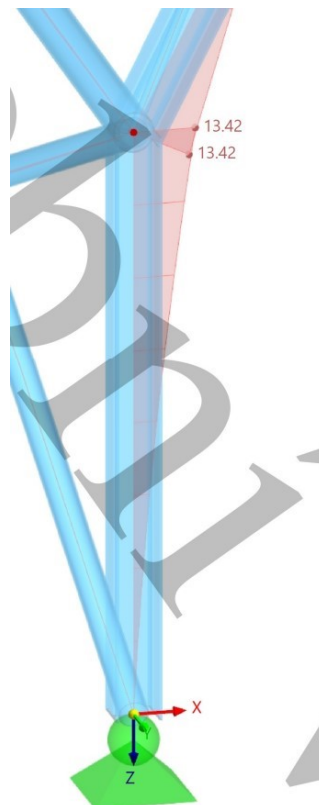
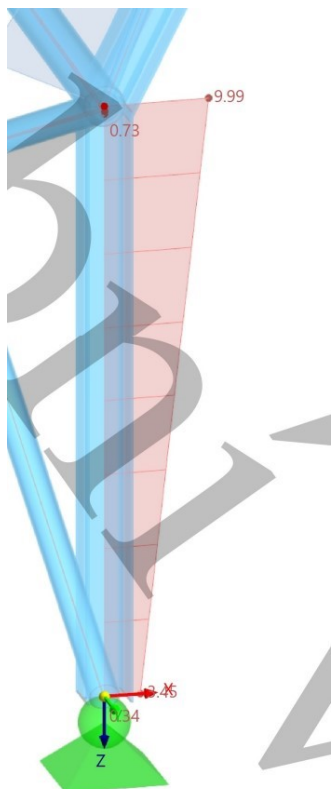
Normálová síla N [kN] - KZ52

Posouvající síla V_y [kN] - KZ52

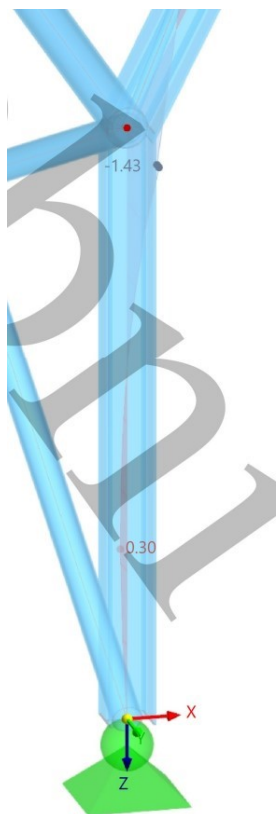


Posouvající síla V_z [kN] - KZ52

Ohybový moment M_y [kN·m] - KZ52



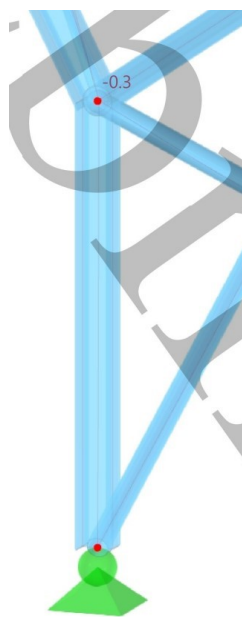
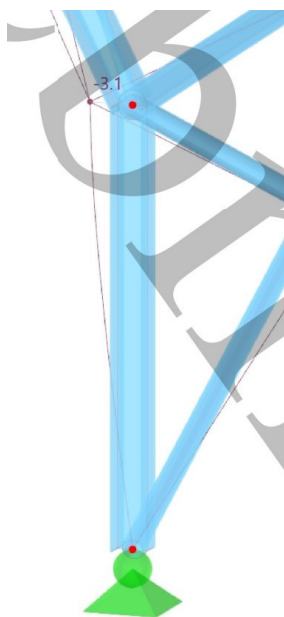
Ohybový moment M_z [$kN \cdot m$] - KZ52



14.3.1.3. DEFORMACE

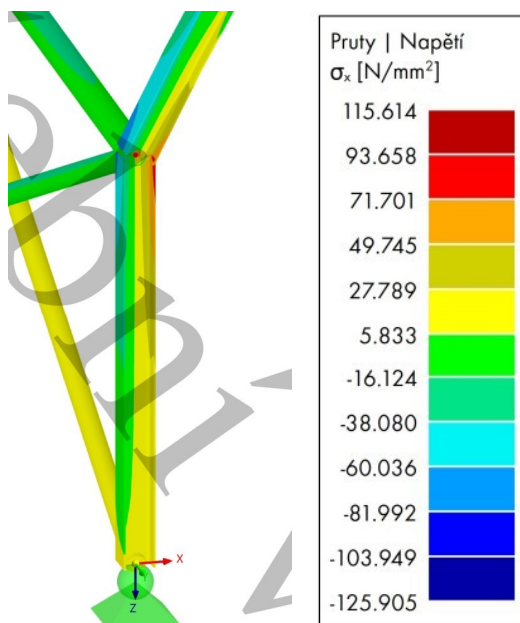
Max vodorovný posun u ve směru x [mm]
- (stálé a proměnné) - KZ46

Max vodorovný posun u ve směru y [mm]
- (stálé a proměnné) - KZ46



14.3.1.4. NAPĚTÍ

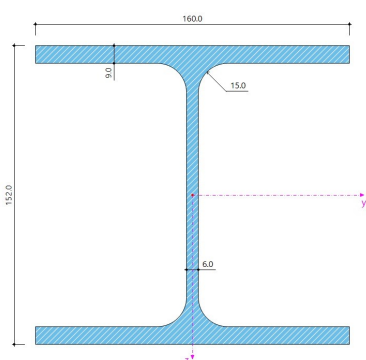
Maximální napětí σ_x na průřezu [MPa] (stálé a proměnné) - KZ31



14.3.2. NAVRŽENÝ PRŮŘEZ

- Válcovaný HEA 160 profil s konstantním průběhem, $h=152\text{mm}$, $b=160\text{mm}$

14.3.2.1. NAVRŽENÝ PRŮŘEZ



obr. 89 - průřez sloupu

- Průřezové charakteristiky:

$A := 3880 \text{ mm}^2$	$i_y := 65.7 \text{ mm}$
$b := 160 \text{ mm}$	$i_z := 39.8 \text{ mm}$
$h := 152 \text{ mm}$	$W_{pl,y} := 245.1 \text{ cm}^3$
$t_w := 6 \text{ mm}$	$W_{el,y} := 220.1 \text{ cm}^3$
$t_f := 9 \text{ mm}$	$W_{pl,z} := 117.6 \text{ cm}^3$
$r := 15 \text{ mm}$	$W_{el,z} := 76.95 \text{ cm}^3$
$I_y := 1673 \text{ cm}^4$	$A_{vy} := 2409.92 \text{ mm}^2$
$I_z := 615.6 \text{ cm}^4$	$A_{vz} := 779.81 \text{ mm}^2$

- Materiálové charakteristiky (S235):

$f_y := 235 \text{ MPa}$	$E := 210 \text{ GPa}$
	$G := 81 \text{ GPa}$
$f_{yd} := \frac{f_y}{1.0} = 235 \text{ MPa}$	$Y_{M1} := 1.0$
	$Y_{M0} := 1.0$
$f_u := 360 \text{ MPa}$	$v := 0.3$
	$Y_{M2} := 1.25$

Rozhodující vnitřní síly (KZ52): $N_{Ed} := 31.52 \text{ kN}$ $V_{y,Ed} := 2.36 \text{ kN}$ $M_{y,Ed} := 13.42 \text{ kN} \cdot \text{m}$
 $V_{z,Ed} := 9.99 \text{ kN}$ $M_{z,Ed} := 1.43 \text{ kN} \cdot \text{m}$

14.3.2.2. ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU

- Pásnice:

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 1$$

$$c := \frac{(160 \text{ mm} - t_w - 2 r)}{2} = 62 \text{ mm}$$

Pro pásnici třídy 1 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_f} = 6.889 \leq 9 \quad \varepsilon = 9 \quad \Rightarrow \text{pásnice je třídy 1.}$$

- Stojina:

$$c := 152 \text{ mm} - 2 \cdot t_f - 2 r = 104 \text{ mm}$$

Pro stojinu třídy 1 musí být splněna podmínka:

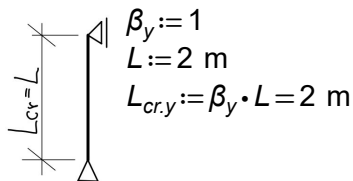
$$\frac{c}{t_w} = 17.333 < 33 \quad \varepsilon = 33 \quad \Rightarrow \text{stojina je třídy 1.}$$

Průřez krajního sloupu má stojinu třídy 1 a pásnici třídy 1

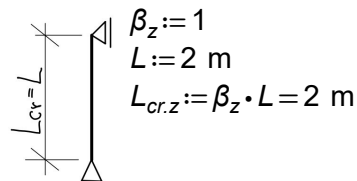
14.3.3. MSÚ

- Vzpěrné délky:

v rovině vazníku:



z roviny vazníku:



obr. 90 a 91 - schéma vzpěrných délek

- Štíhlost prutu:

$$\lambda_y := \frac{L_{cr.y}}{i_y} = 30.441 \quad \lambda_z := \frac{L_{cr.z}}{i_z} = 50.251$$

- Poměrná štíhlost prutu:

$$\lambda_1 := 93.9 \cdot \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 93.9 \quad \bar{\lambda}_y := \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 0.324 \quad \bar{\lambda}_z := \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 0.535$$

- Přiřazení křivek vzpěrnosti:

$$\text{válcovaný průřez: } \frac{h}{b} = 0.95 < 1.2$$

$$\Rightarrow t_f = 9 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \Rightarrow y-y=b \Rightarrow \alpha_y := 0.34$$

$$z-z=c \Rightarrow \alpha_z := 0.49$$

$$\phi_y := 0.5 (1 + \alpha_y (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2)$$

$$\phi_z := 0.5 (1 + \alpha_z (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2)$$

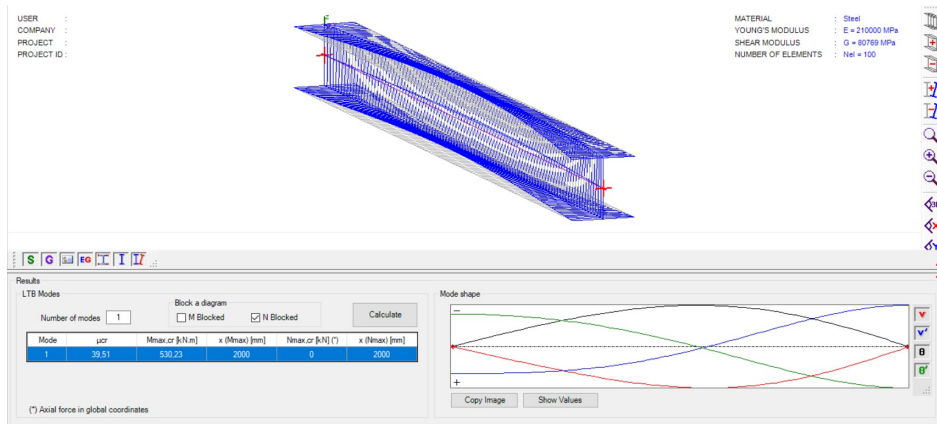
$$\chi_y := \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 0.955 \leq 1.0 \quad \chi_z := \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0.823 \leq 1.0$$

$$\chi_y = 0.955$$

$$\chi_z = 0.823$$

- Vliv klopení:

výpočet kritického momentu M_{cr} (více viz příloha 1.8.)



obr. 92 - výsledný kritický moment M_{cr}

$M_{cr} := 530.23 \text{ kN} \cdot \text{m}$

- pozn.: Vypočteno pomocí programu LTBeamN

- Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{LT} := \sqrt{W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{M_{cr}}} = 0.33$$

- Křivka klopení pro válcovaný profil:

$$\frac{h}{b} = \frac{152}{160} = 0.95 < 2 \Rightarrow \text{křivka klopení a} \Rightarrow \alpha_{LT} := 0.21$$

- Součinitel klopení (obecný případ):

$$\phi_{LT} := 0.5 \left(1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right) = 0.568$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0.97 \leq 1.0 \Rightarrow \text{kce je náchylná na klopení}$$

$$\leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = 9.206$$

- Posouzení sloupu na kombinaci tlaku s ohybem:

součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{my} dle metody 2:

$$\psi = \frac{M_h}{M_h}$$

$$\alpha_s = \frac{M_h}{M_s}$$

$$\psi := \frac{0}{11.16} = 0$$

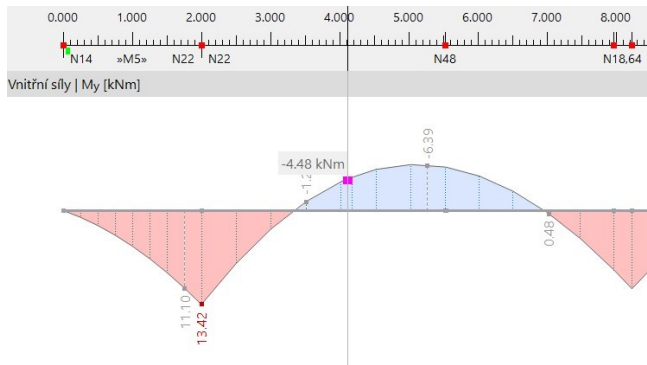
$$\alpha_s := \frac{-4.48}{11.16} = -0.401$$

$$C_{my} := 0.1 - 0.8 \alpha_s = 0.421 \geq 0.4$$

(rovnoměrné zatížení)

$\alpha_s = M_s / M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0.2 + 0.8 \alpha_s \geq 0.4$	$0.2 + 0.8 \alpha_s \geq 0.4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0.1 - 0.8 \alpha_s \geq 0.4$	$-0.8 \alpha_s \geq 0.4$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0.1(1 - \psi) - 0.8 \alpha_s \geq 0.4$	$0.2(-\psi) - 0.8 \alpha_s \geq 0.4$

obr. 93 - tabulka pro součinitel C_{my}



obr. 94 - průběh ohybového momentu M_y mezi inflexními body

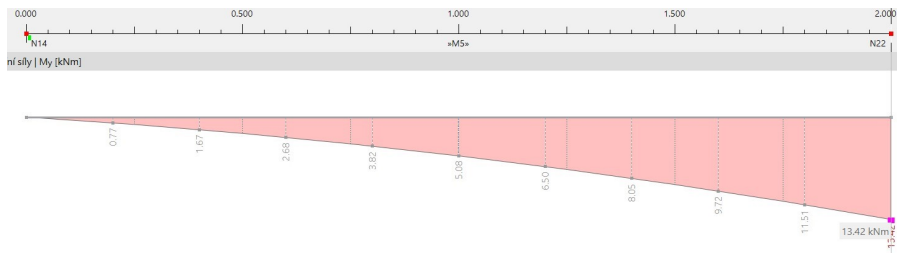
součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{mLT} dle metody 2:

$$\psi = \frac{M_h}{M_h}$$

$$\psi := \frac{0}{13.48} = 0 \quad C_{mLT} := 0.6 + 0.4 \psi = 0.6 \geq 0.4 \quad (\text{rovnoměrné zatížení})$$

	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0.6 + 0.4\psi \geq 0.4$
--	-----------------------	--------------------------

obr. 95 - tabulka pro součinitel C_{mLT}



obr. 96 - průběh ohybového momentu M_y na sloupu

součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{mz} dle metody 2:

$$\psi = \frac{M_h}{M_h}$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h}$$

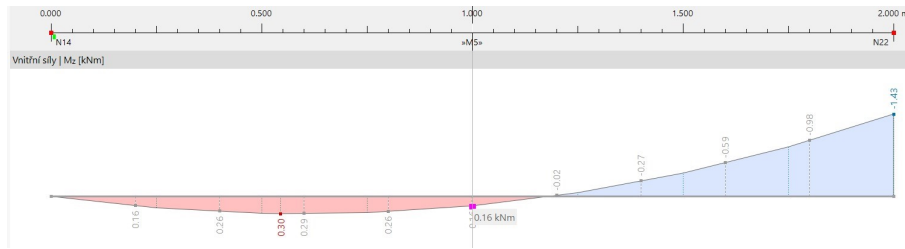
$$\psi := \frac{0}{-1.43} = 0$$

$$\alpha_s := \frac{0.16}{-1.43} = -0.112$$

$$C_{mz} := 0.1 - 0.8 \alpha_s = 0.19 \leq 0.4 \Rightarrow C_{mz} := 0.4 \quad (\text{rovnoměrné zatížení})$$

 $\alpha_s = M_s / M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0.2 + 0.8\alpha_s \geq 0.4$	$0.2 + 0.8\alpha_s \geq 0.4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0.1 - 0.8\alpha_s \geq 0.4$	$-0.8\alpha_s \geq 0.4$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0.1(1-\psi) - 0.8\alpha_s \geq 0.4$	$0.2(-\psi) - 0.8\alpha_s \geq 0.4$

obr. 97 - tabulka pro součinitel C_{mz}



obr. 98 - průběh ohybového momentu M_z na sloupu

- Charakteristické hodnoty únosností v tlaku a ohybu:

$$N_{Rk} := A \cdot f_y = 911.8 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} := W_{pl,y} \cdot f_y = 57.599 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z,Rk} := W_{pl,z} \cdot f_y = 27.636 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- Součinitele k_{yy} , k_{zy} , k_{yz} a k_{zz} :

$$k_{yy} := C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.423$$

$$k_{yy} := C_{my} \cdot \left(1 + 0.8 \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.433$$

$$\min.(0.423, 0.433) \quad k_{yy} := 0.423$$

$$k_{zy} := \left(1 - \frac{0.1 \cdot \lambda_z}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.994$$

$$k_{zy} := \left(1 - \frac{0.1}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.988$$

$$\max.(0.994, 0.988) \quad k_{zy} := 0.994$$

$$k_{yz} := 0.6 \cdot k_{yy} = 0.254$$

$$k_{zz} := C_{mz} \cdot \left(1 + (2 \bar{\lambda}_y - 0.6) \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.401$$

$$k_{zz} := C_{mz} \cdot \left(1 + 1.4 \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.42$$

$$\min.(0.401, 0.42) \quad k_{yy} := 0.401$$

- Podmínky spolehlivosti:

Rozhodující vnitřní síly: $N_{Ed} = 31.52 \text{ kN}$ $V_{y.Ed} = 2.36 \text{ kN}$ $M_{y.Ed} = 13.42 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 $V_{z.Ed} = 9.99 \text{ kN}$ $M_{z.Ed} = 1.43 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$$\frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y.Ed}}{X_{LT} \cdot \frac{M_{y.Rk}}{Y_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z.Ed}}{\frac{M_{z.Rk}}{Y_{M1}}} = 0.146 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y.Ed}}{X_{LT} \cdot \frac{M_{y.Rk}}{Y_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z.Ed}}{\frac{M_{z.Rk}}{Y_{M1}}} = 0.302 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + \frac{M_{y.Ed}}{\frac{M_{y.Rk}}{Y_{M1}}} + \frac{M_{z.Ed}}{\frac{M_{z.Rk}}{Y_{M1}}} = 0.319 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Posouzení smykové únosnosti:

ve směru osy y:

$$V_{pl.Rd} := \frac{A_{vy} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot Y_{M0}} = 326.971 \text{ kN} > V_{y.Ed} = 2.36 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\Rightarrow V_{y.Ed} = 2.36 \text{ kN} < 0.5 \cdot V_{pl.Rd} = 163.486 \text{ kN} \Rightarrow \text{malý smyk}$$

ve směru osy z:

$$V_{pl.Rd} := \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot Y_{M0}} = 105.803 \text{ kN} > V_{z.Ed} = 9.99 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\Rightarrow V_{z.Ed} = 9.99 \text{ kN} < 0.5 \cdot V_{pl.Rd} = 52.901 \text{ kN} \Rightarrow \text{malý smyk}$$

14.3.4. MSP

- Celkový vodorovný posun (stálé a proměnné):

a) ve směru osy x

$$\delta_1 \leq \frac{h}{150} \quad (\delta_1 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

$$3.1 \leq \frac{2000}{150} = 13.333 \text{ [mm]} \quad \text{VYHOVUJE}$$

b) ve směru osy y

($\delta_2 \dots$ vypočteno v programu Dlubal RFEM 6)

$$\delta_2 \leq \frac{h}{150}$$

$$0.3 \leq \frac{2000}{150} = 13.333 \text{ [mm]} \quad \text{VYHOVUJE}$$

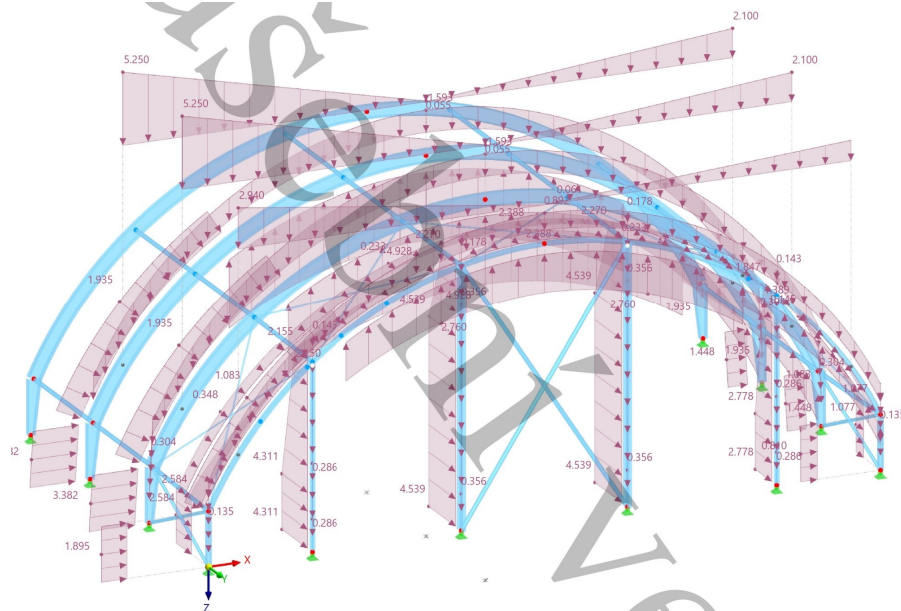
14.4. NÁVRH A POSOUZENÍ VNITŘNÍHO SLOUPU B, E

14.4.1. ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE, VNITŘNÍ SÍLY, DEFORMACE A NAPĚTÍ

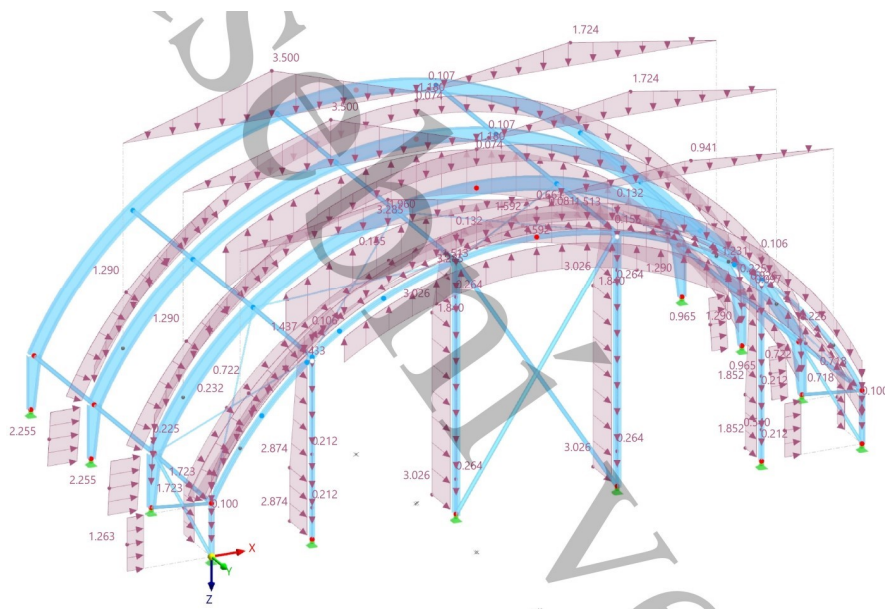
14.4.1.1. ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE

- pozn.: Kombinace zatížení byly vygenerovány v programu Dlubal RFEM 6

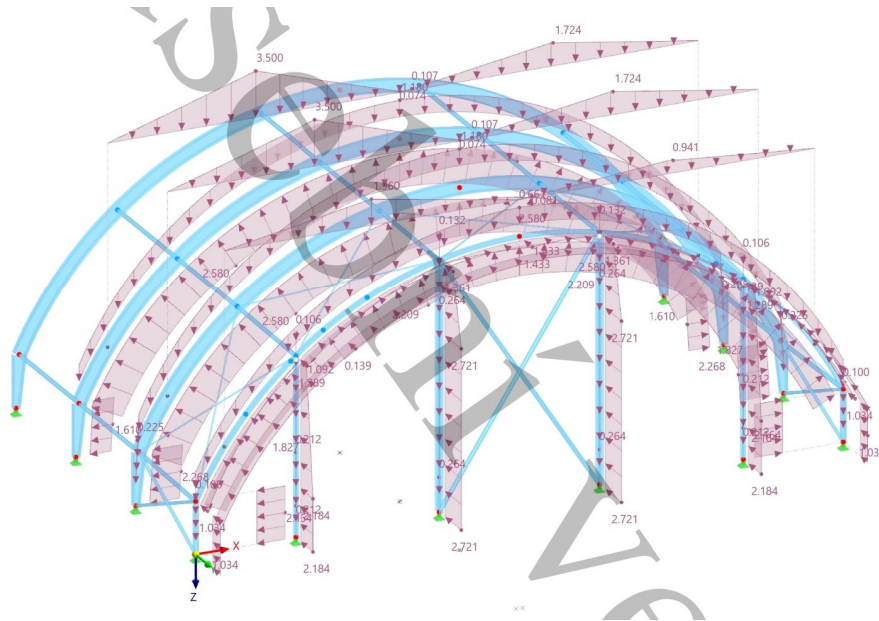
První rozhodující kombinace: KZ59 - $1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 0,75 \cdot ZS8 + 1,5 \cdot ZS5$
(max V_z , max M_y)



Druhá rozhodující kombinace: KZ57 - $ZS1 + ZS2 + 0,5 \cdot ZS5 + ZS6$
(max u_x)



Třetí rozhodující kombinace: KZ58 - ZS1+ZS2+0,5*ZS5+ZS7
(max u_y)

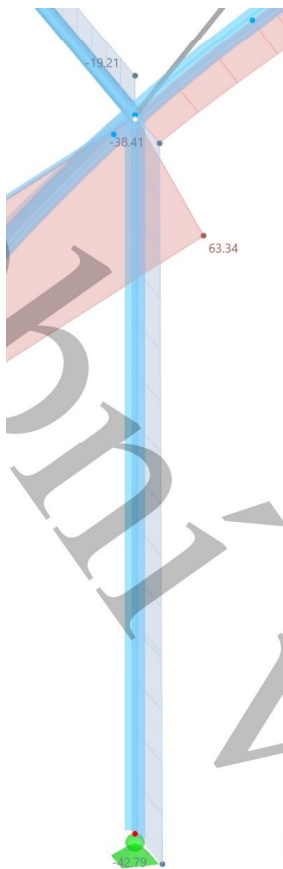


14.4.1.2. VNITŘNÍ SÍLY

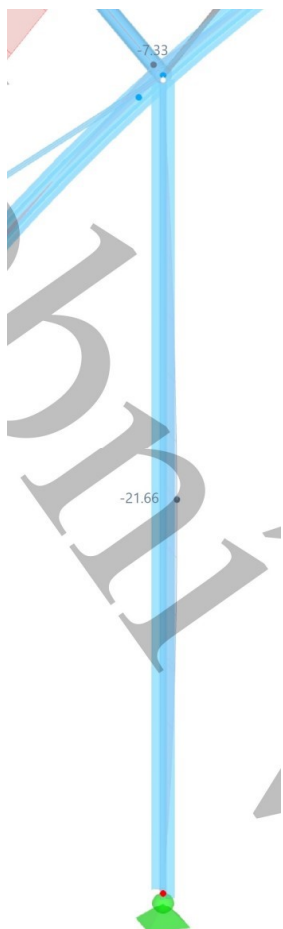
- pozn.: Vypočteno v programu Dlubal RFEM 6

Normálová síla N [kN] - KZ59

Posouvající síla V_z [kN] - KZ59



Ohybový moment M_y [$kN \cdot m$] - KZ59



14.4.1.3. DEFORMACE

Max vodorovný posun u ve směru x [mm]
- (stálé a proměnné) - KZ57

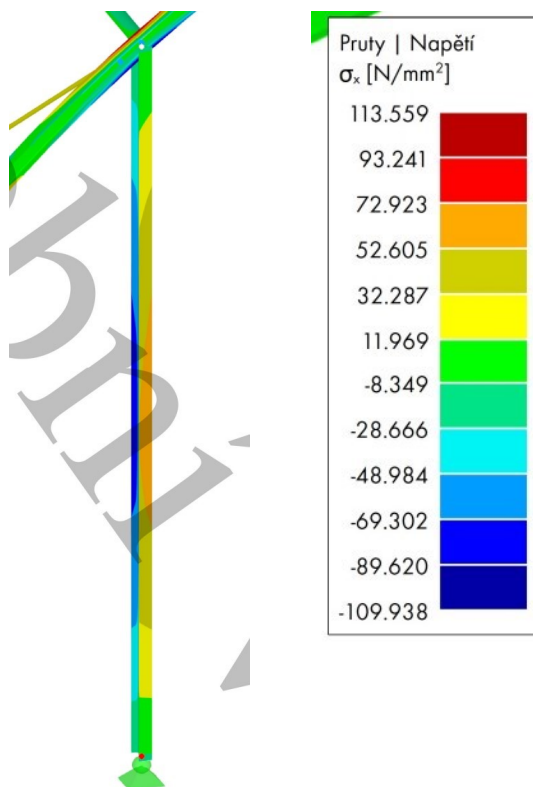


Max vodorovný posun u ve směru y [mm]
- (stálé a proměnné) - KZ58



14.4.1.4. NAPĚTÍ

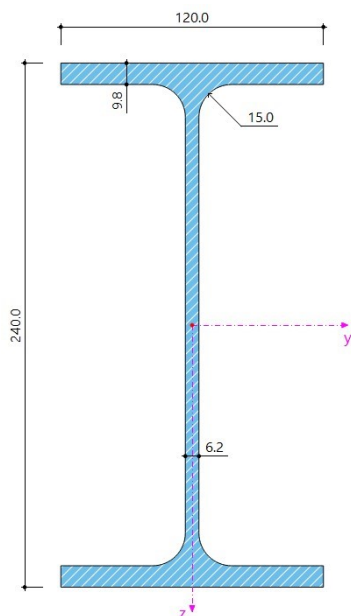
Maximální napětí σ_x na průřezu [MPa] (stálé a proměnné) - KZ31



14.4.2. NAVRŽENÝ PRŮŘEZ

- Válcovaný I 240 profil s konstantním průběhem, h=240mm, b=120mm

14.4.2.1. NAVRŽENÝ PRŮŘEZ



Průřezové charakteristiky:

$A := 3910 \text{ mm}^2$	$I_z := 284 \text{ cm}^4$
$b := 120 \text{ mm}$	$i_y := 99.7 \text{ mm}$
$h := 240 \text{ mm}$	$i_z := 26.9 \text{ mm}$
$t_w := 6.2 \text{ mm}$	$W_{pl,y} := 367 \text{ cm}^3$
$t_f := 9.8 \text{ mm}$	$W_{el,y} := 324 \text{ cm}^3$
$r := 15 \text{ mm}$	$A_{vy} := 1979.23 \text{ mm}^2$
$I_y := 3892 \text{ cm}^4$	

Materiálové charakteristiky (S235):

$f_y := 235 \text{ MPa}$	$E := 210 \text{ GPa}$
$f_{yd} := \frac{f_y}{1.0} = 235 \text{ MPa}$	$G := 81 \text{ GPa}$
$f_u := 360 \text{ MPa}$	$Y_{M1} := 1.0$
	$Y_{M0} := 1.0$
	$Y_{M2} := 1.25$
$\nu := 0.3$	

obr. 99 - průřez štítového sloupu B a E

Rozhodující vnitřní síly (KZ59): $N_{Ed} := 40.53 \text{ kN}$ $V_{z,Ed} := 0.79 \text{ kN}$ $M_{y,Ed} := 21.66 \text{ kN} \cdot \text{m}$

14.4.2.2. ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU

- Pásnice:

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 1 \quad c := \frac{(120 \text{ mm} - t_w - 2 r)}{2} = 41.9 \text{ mm}$$

Pro pásnici třídy 1 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_f} = 4.276 \leq 9 \quad \varepsilon = 9 \Rightarrow \text{pásnice je třídy 1.}$$

- Stojina:

$$c := 240 \text{ mm} - 2 \cdot t_f - 2 r = 190.4 \text{ mm}$$

Pro stojinu třídy 1 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_w} = 30.71 < 33 \quad \varepsilon = 33 \Rightarrow \text{stojina není třídy 1.}$$

Pro stojinu třídy 2 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_w} = 30.71 < 38 \quad \varepsilon = 38 \Rightarrow \text{stojina je třídy 2.}$$

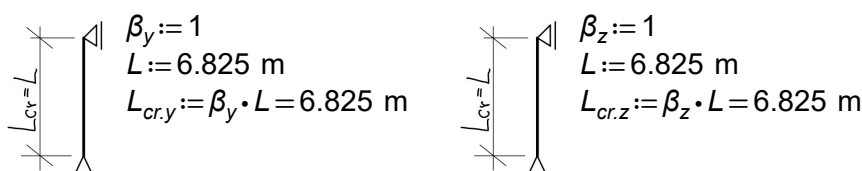
Průřez vnitřního sloupu B a E má v tlaku stojinu třídy 2 a pásnici třídy 1

14.4.3. MSÚ

- Vzpěrné délky:

v rovině vazníku:

z roviny vazníku:



obr. 100 a 101 - schéma vzpěrných délek

- Štíhlost prutu:

$$\lambda_y := \frac{L_{cr.y}}{i_y} = 68.455 \quad \lambda_z := \frac{L_{cr.z}}{i_z} = 253.717 \quad (\text{pro průřez v patě soupu})$$

- Poměrná štíhlost prutu:

$$\lambda_1 := 93.9 \cdot \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 93.9 \quad \bar{\lambda}_y := \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 0.729 \quad \bar{\lambda}_z := \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 2.702$$

- Přiřazení křivek vzpěrnosti:

válcovaný průřez: $\frac{h}{b} = 2 > 1.2$

$$\Rightarrow t_f = 9.8 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \Rightarrow y-y=a \Rightarrow \alpha_y := 0.21$$
$$z-z=b \Rightarrow \alpha_z := 0.34$$

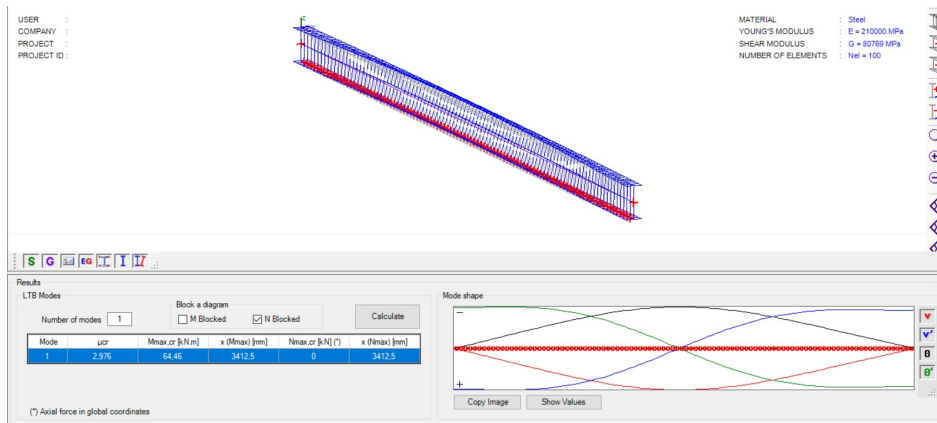
$$\phi_y := 0.5 (1 + \alpha_y (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2) \quad \phi_z := 0.5 (1 + \alpha_z (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2)$$

$$X_y := \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 0.834 \leq 1.0 \quad X_z := \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0.121 \leq 1.0$$

$$X_y = 0.834 \quad X_z = 0.121$$

- Vliv klopení:

výpočet kritického momentu M_{cr} (více viz příloha 1.9.)



obr. 102 - výsledný kritický moment M_{cr}

$$M_{cr} := 64.46 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad - \text{pozn.: Vypočteno pomocí programu LTBeamN}$$

- Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{LT} := \sqrt{W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{M_{cr}}} = 1.157$$

- Křivka klopení pro válcovaný profil:

$$\frac{h}{b} = \frac{240}{140} = 1.714 \approx 2 \Rightarrow \text{křivka klopení b} \Rightarrow \alpha_{LT} := 0.34$$

- Součinitel klopení (obecný případ):

$$\phi_{LT} := 0.5 (1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - 0.2) + \lambda_{LT}^2) = 1.332$$

$$X_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = 0.502 \leq 1.0 \Rightarrow \text{kce je náchylná na klopení}$$

$$\leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = 0.747$$

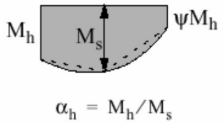
- Posouzení sloupu na kombinaci tlaku s ohybem:

součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{my} dle metody 2:

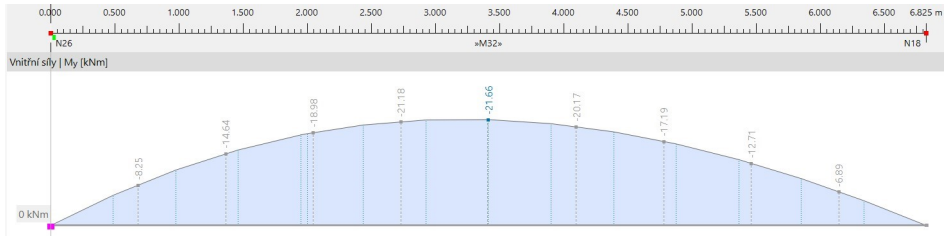
$$\psi := 0 \quad M_h := 0 \quad M_s := -21.66$$

$$\alpha_h := \frac{M_h}{M_s} = 0$$

$$C_{my} := 0.95 + 0.05 \alpha_h = 0.95 \geq 0.4 \quad (\text{rovnoměrné zatížení})$$

 $\alpha_h = M_h / M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0.95 + 0.05 \alpha_h$	$0.90 + 0.10 \alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0.95 + 0.05 \alpha_h$	$0.90 + 0.10 \alpha_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0.95 + 0.05 \alpha_h (1 + 2\psi)$	$0.90 + 0.10 \alpha_h (1 + 2\psi)$

obr. 103 - tabulka pro součinitel C_{my}



obr. 104 - průběh ohybového momentu M_y na sloupu

součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{mLT} dle metody 2:

$$\psi := 0 \quad M_h := 0 \quad M_s := -21.66$$

$$\alpha_h := \frac{M_h}{M_s} = 0$$

$$C_{my} := 0.95 + 0.05 \alpha_h = 0.95 \geq 0.4 \quad (\text{rovnoměrné zatížení})$$

- Charakteristické hodnoty únosností v tlaku a ohybu:

$$N_{Rk} := A \cdot f_y = 918.85 \text{ kN} \quad N_{Ed} := 42.79 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} := W_{pl,y} \cdot f_y = 86.245 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- Součinitele k_{yy} a k_{yz} :

$$k_{yy} := C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.978$$

$$k_{yy} := C_{my} \cdot \left(1 + 0.8 \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.992$$

$$\min.(0.978, 0.992) \quad k_{yy} := 0.978$$

$$k_{zy} := \left(1 - \frac{0.1 \cdot \lambda_z}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.703$$

$$k_{zy} := \left(1 - \frac{0.1}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.89$$

$$\max.(0.703, 0.89) \quad k_{zy} := 0.89$$

- Podmínky spolehlivosti:

Rozhodující vnitřní síly: $N_{Ed} = 42.79 \text{ kN}$ $V_{z,Ed} := 13.75 \text{ kN}$ $M_{y,Ed} = 21.66 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$\frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} = 0.545 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} = 0.83 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} = 0.298 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Posouzení smykové únosnosti:

$$V_{pl,Rd} := \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot Y_{M0}} = 105.803 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 13.75 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\Rightarrow V_{z,Ed} = 13.75 \text{ kN} < 0.5 \cdot V_{pl,Rd} = 52.901 \text{ kN} \Rightarrow \text{malý smyk}$$

14.4.4. MSP

- Celkový vodorovný posun u_x (stálé a proměnné)

a) ve směru osy x

$$\delta_1 \leq \frac{h}{150} \quad (\delta_1 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

$$2.8 \leq \frac{6825}{150} = 45.5 \text{ [mm]} \quad \text{VYHOVUJE}$$

b) ve směru osy y

$$\delta_2 \leq \frac{h}{150} \quad (\delta_2 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

$$14.6 \leq \frac{6825}{150} = 45.5 \text{ [mm]} \quad \text{VYHOVUJE}$$

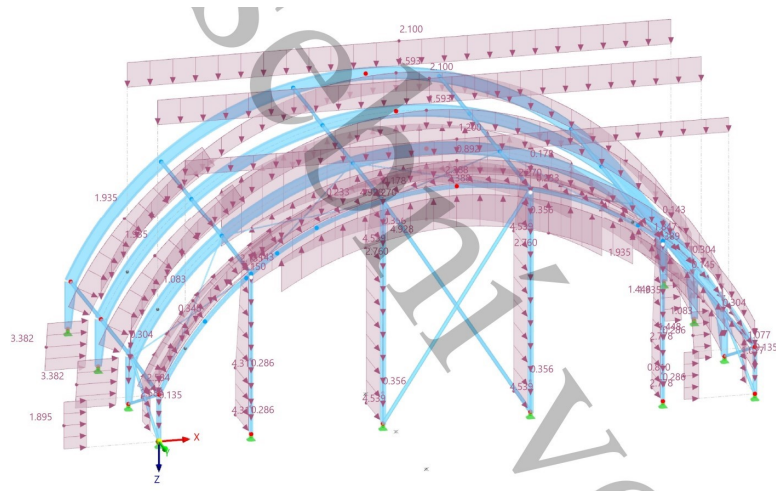
14.5. NÁVRH A POSOUZENÍ VNITŘNÍHO SLOUPU C, D

14.5.1. ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE, VNITŘNÍ SÍLY, DEFORMACE A NAPĚTÍ

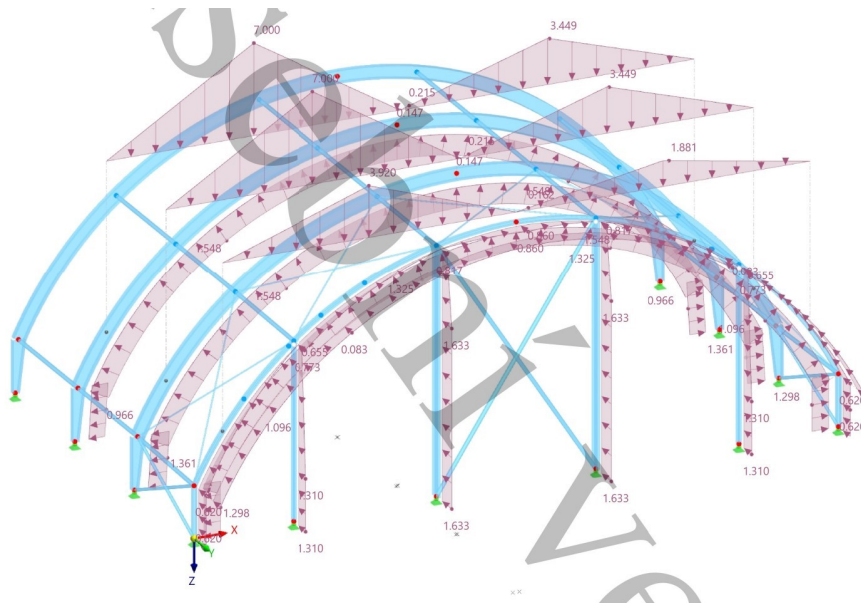
14.5.1.1. ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE

- pozn.: Kombinace zatížení byly vygenerovány v programu Dlubal RFEM 6

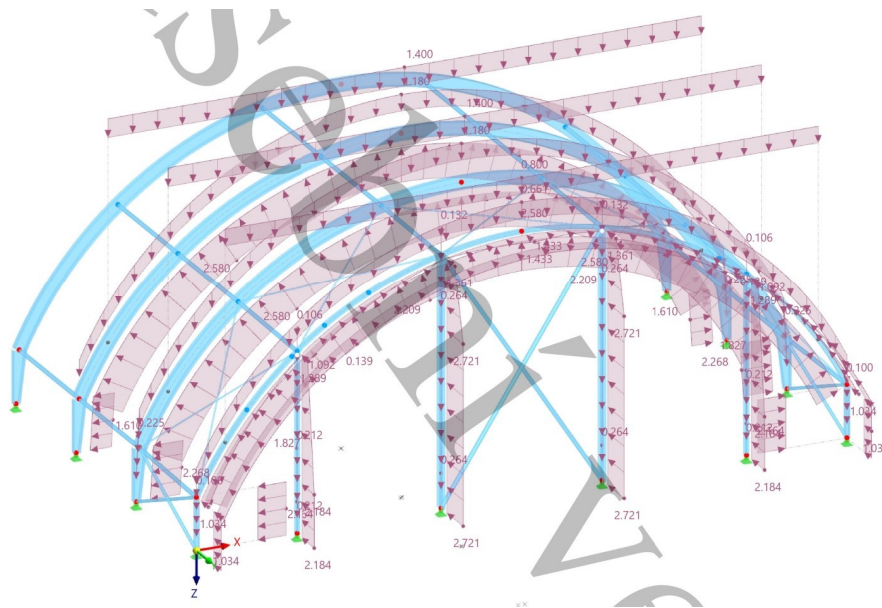
První rozhodující kombinace: $KZ55 - 1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 0,75 \cdot ZS4 + 1,5 \cdot ZS6$
(max N , max V_z , max M_y)



Třetí rozhodující kombinace: $KZ36 - ZS1 + ZS5 + 0,6 \cdot ZS7$
(max u_x)



Druhá rozhodující kombinace: KZ56 - ZS1+ZS2+0,5*ZS4+ZS7
(max u_y)

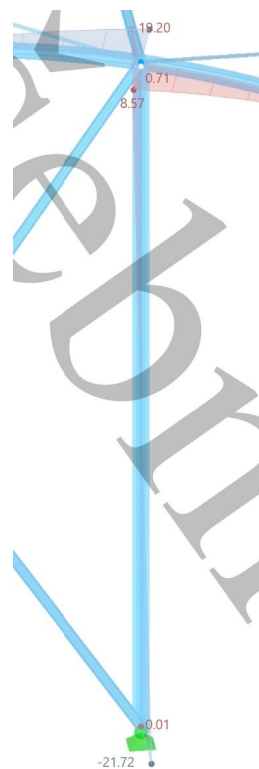


14.5.1.2. VNITŘNÍ SÍLY

- pozn.: Vypočteno v programu Dlubal RFEM 6

Normálová síla N [kN] - KZ55

Posouvající síla V_z [kN] - KZ55

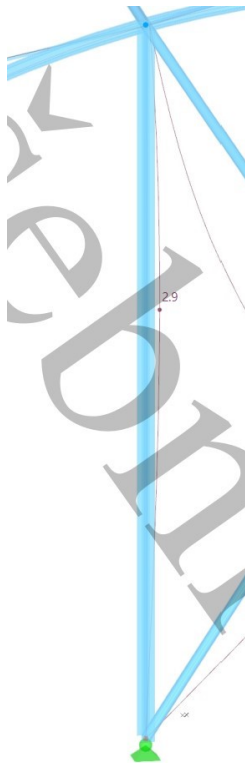


Ohybový moment M_y [$kN \cdot m$] - KZ55



14.5.1.3. DEFORMACE

Max vodorovný posun u ve směru x [mm]
- (stálé a proměnné) - KZ55

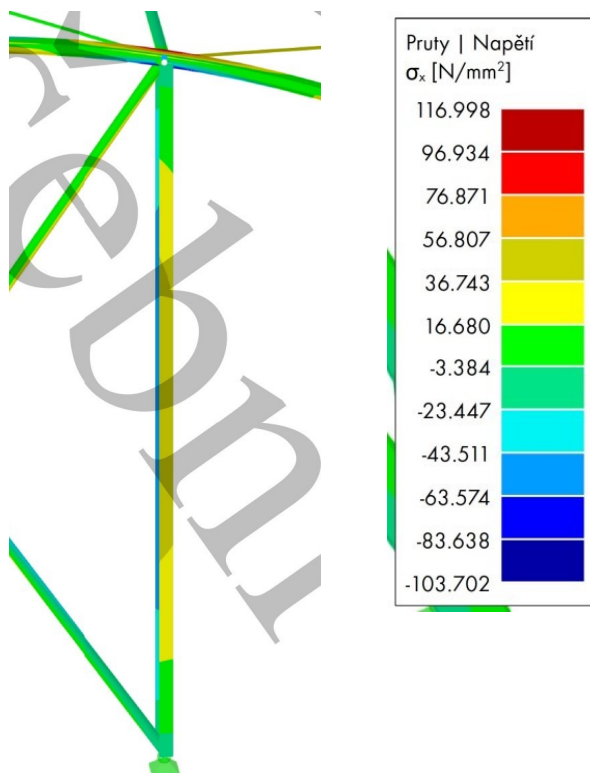


Max vodorovný posun u ve směru y [mm]
- (stálé a proměnné) - KZ36



14.5.1.4. NAPĚTÍ

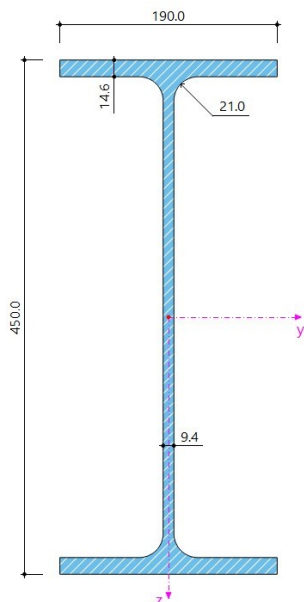
Maximální napětí σ_x na průřezu [MPa] (stálé a proměnné) - KZ55



14.5.2. NAVRŽENÝ PRŮŘEZ

- Válcovaný I 450 profil s konstantním průběhem, h=360mm, b=170mm

14.5.2.1. NAVRŽENÝ PRŮŘEZ



- Průřezové charakteristiky:

$A := 7270 \text{ mm}^2$	$I_z := 1043 \text{ cm}^4$
$b := 170 \text{ mm}$	$i_y := 150 \text{ mm}$
$h := 360 \text{ mm}$	$i_z := 37.9 \text{ mm}$
$t_w := 8 \text{ mm}$	$W_{pl,y} := 1019 \text{ cm}^3$
$t_f := 12.7 \text{ mm}$	$W_{el,y} := 904 \text{ cm}^3$
$r := 18 \text{ mm}$	$A_{vy} := 3617.51 \text{ mm}^2$
$I_y := 16270 \text{ cm}^4$	

- Materiálové charakteristiky (S235):

$f_y := 235 \text{ MPa}$	$E := 210 \text{ GPa}$
	$G := 81 \text{ GPa}$
$f_{yd} := \frac{f_y}{1.0} = 235 \text{ MPa}$	$\gamma_{M1} := 1.0$
	$\gamma_{M0} := 1.0$
$f_u := 360 \text{ MPa}$	$\gamma_{M2} := 1.25$
$\nu := 0.3$	

obr. 106 - průřez štítového sloupu D a C

Rozhodující vnitřní síly (KZ55): $N_{Ed} := 74.67 \text{ kN}$ $V_{z,Ed} := 0.3 \text{ kN}$ $M_{y,Ed} := 51.23 \text{ kN} \cdot \text{m}$

14.5.2.2. ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU

- Pásnice:

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 1 \quad c := \frac{(170 \text{ mm} - t_w - 2 r)}{2} = 63 \text{ mm}$$

Pro pásnici třídy 1 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_f} = 4.961 \leq 9 \varepsilon = 9 \Rightarrow \text{pásnice je třídy 1.}$$

- Stojina:

$$z := \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = 39.718 \text{ mm} \quad c := 360 \text{ mm} - 2 \cdot t_f - 2 r = 298.6 \text{ mm}$$

$$\alpha c := \frac{(c+z)}{2} = 169.159 \text{ mm} \quad \alpha := \frac{(\alpha c)}{c} = 0.567$$

Pro stojinu třídy 1 musí být splněna podmínka:

$$\frac{c}{t_w} = 37.325 < 396 \frac{\varepsilon}{13 \alpha - 1} = 62.219 \Rightarrow \text{stojina je třídy 1.}$$

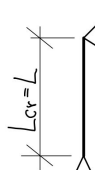
Průřez vnitřního sloupu C a D má v kombinaci tlaku a ohybu stojinu třídy 1 a pásnici třídy 1

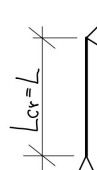
14.5.3. MSÚ

- Vzpěrné délky:

v rovině vazníku:

z roviny vazníku:

$$\beta_y := 1 \\ L := 9.528 \text{ m} \\ L_{cr,y} := \beta_y \cdot L = 9.528 \text{ m}$$


$$\beta_z := 1 \\ L := 9.528 \text{ m} \\ L_{cr,z} := \beta_z \cdot L = 9.528 \text{ m}$$


obr. 107 a 108 - schéma vzpěrných délek

- Štíhlost prutu:

$$\lambda_y := \frac{L_{cr,y}}{i_y} = 63.52 \quad \lambda_z := \frac{L_{cr,z}}{i_z} = 251.398$$

- Poměrná štíhlost prutu:

$$\lambda_1 := 93.9 \cdot \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 93.9 \quad \bar{\lambda}_y := \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 0.676 \quad \bar{\lambda}_z := \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 2.677$$

- Přiřazení křivek vzpěrnosti:

$$\text{válcovaný průřez: } \frac{h}{b} = 2.118 > 1.2$$

$$\Rightarrow t_f = 12.7 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \Rightarrow y-y=a \Rightarrow \alpha_y := 0.21 \\ z-z=b \Rightarrow \alpha_z := 0.34$$

$$\phi_y := 0.5 (1 + \alpha_y (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2) \quad \phi_z := 0.5 (1 + \alpha_z (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2)$$

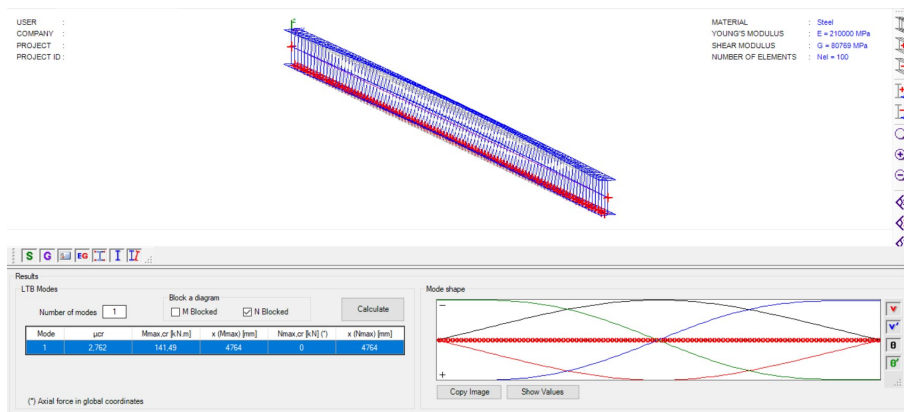
$$X_y := \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 0.859 \leq 1.0 \quad X_z := \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0.123 \leq 1.0$$

$$X_y = 0.859$$

$$X_z = 0.123$$

- Vliv klopení:

výpočet kritického momentu M_{cr} (více viz 1.10.):



obr. 109 - výsledný kritický moment M_{cr}

$$M_{cr} := 141.49 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad - \text{pozn.: Vypočteno pomocí programu LTBeamN}$$

- Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{LT} := \sqrt{W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{M_{cr}}} = 1.301$$

- Křivka klopení pro válcovaný profil:

$$\frac{h}{b} = \frac{360}{170} = 2.118 > 2 \Rightarrow \text{křivka klopení b} \Rightarrow \alpha_{LT} := 0.34$$

- Součinitel klopení (obecný případ):

$$\phi_{LT} := 0.5 (1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - 0.2) + \lambda_{LT}^2) = 1.533$$

$$X_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^{-2}}} = 0.426 \leq 1.0 \Rightarrow \text{kce je náchylná na klopení}$$

$$\leq \frac{1}{\lambda_{LT}^2} = 0.591$$

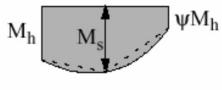
- Posouzení sloupu na kombinaci tlaku s ohybem:

součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{my} dle metody 2:

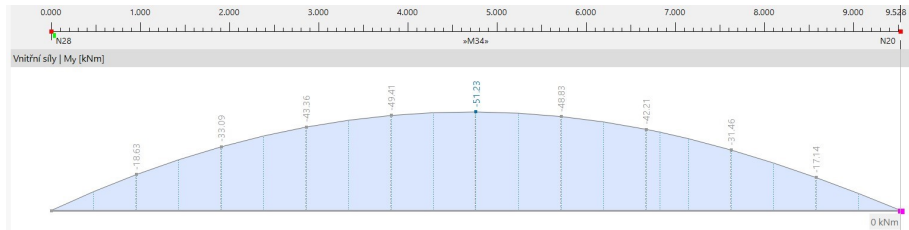
$$\psi := 0 \quad M_h := 0 \quad M_s := -51.23$$

$$\alpha_h := \frac{M_h}{M_s} = 0$$

$$C_{my} := 0.95 + 0.05 \alpha_h = 0.95 \geq 0.4 \quad (\text{rovnorné zatížení})$$

 $\alpha_h = M_h / M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0.95 + 0.05 \alpha_h$	$0.90 + 0.10 \alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0.95 + 0.05 \alpha_h$	$0.90 + 0.10 \alpha_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0.95 + 0.05 \alpha_h (1 + 2\psi)$	$0.90 + 0.10 \alpha_h (1 + 2\psi)$

obr. 110 - tabulka pro součinitel C_{my}



obr. 111 - průběh ohybového momentu M_y na sloupu

součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{mLT} dle metody 2:

$$\psi := 0 \quad M_h := 0 \quad M_s := -51.23$$

$$\alpha_h := \frac{M_h}{M_s} = 0$$

$$C_{my} := 0.95 + 0.05 \alpha_h = 0.95 \geq 0.4 \quad (\text{rovnorné zatížení})$$

- Charakteristické hodnoty únosností v tlaku a ohybu:

$$N_{Rk} := A \cdot f_y = 1708.45 \text{ kN} \quad N_{Ed} := 79.87 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} := W_{pl,y} \cdot f_y = 239.465 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- Součinitele k_{yy} a k_{yz} :

$$k_{yy} := C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.975$$

$$k_{yy} := C_{my} \cdot \left(1 + 0.8 \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.991$$

$$\min.(0.974, 0.991) \quad k_{yy} := 0.974$$

$$k_{yz} := \left(1 - \frac{0.1 \cdot \lambda_z}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.709$$

$$k_{zy} := \left(1 - \frac{0.1}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) = 0.891 \quad \max.(0.712, 0.893) \quad k_{zy} := 0.893$$

- Podmínky spolehlivosti:

Rozhodující vnitřní síly: $N_{Ed} = 79.87 \text{ kN}$ $V_{z,Ed} := 21.72 \text{ kN}$ $M_{y,Ed} = 51.23 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$\frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} = 0.543 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} = 0.828 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}} = 0.261 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Posouzení smykové únosnosti:

$$V_{pl,Rd} := \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot Y_{M0}} = 105.803 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 21.72 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\Rightarrow V_{z,Ed} = 21.72 \text{ kN} < 0.5 \cdot V_{pl,Rd} = 52.901 \text{ kN} \Rightarrow \text{malý smyk}$$

14.4.4. MSP

- Celkový vodorovný posun u_x (stálé a proměnné):

a) ve směru osy x

$$\delta_1 \leq \frac{h}{150} \quad (\delta_1 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

$$2.8 \leq \frac{9528}{150} = 63.52 \text{ [mm]} \quad \text{VYHOVUJE}$$

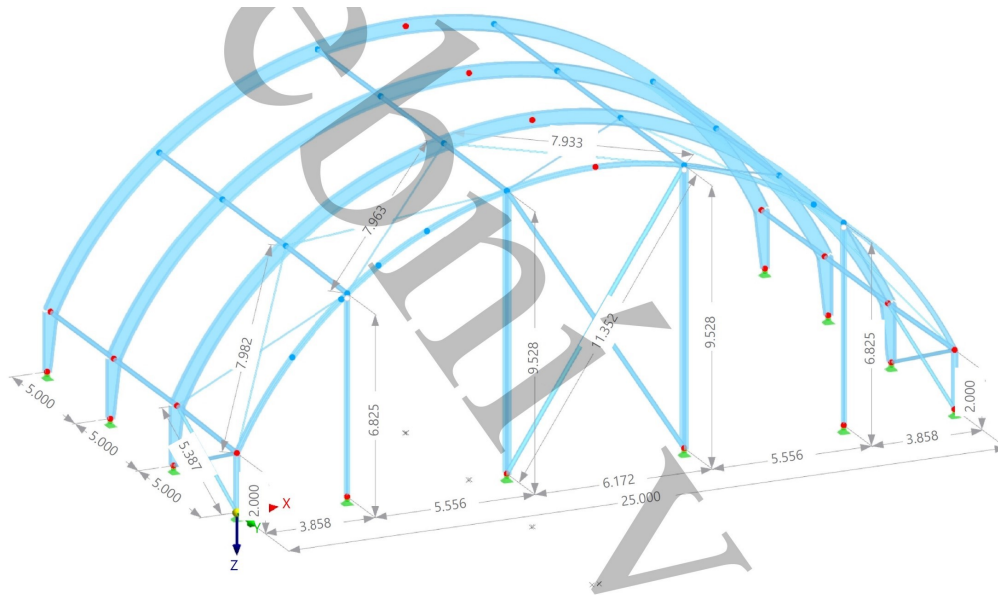
b) ve směru osy y

$$\delta_2 \leq \frac{h}{150} \quad (\delta_2 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

$$27 \leq \frac{9528}{150} = 63.52 \text{ [mm]} \quad \text{VYHOVUJE}$$

15. PODROBNÝ NÁVRH A VÝPOČET ZTUŽIDEL

15.1. MODEL KONSTRUKCE



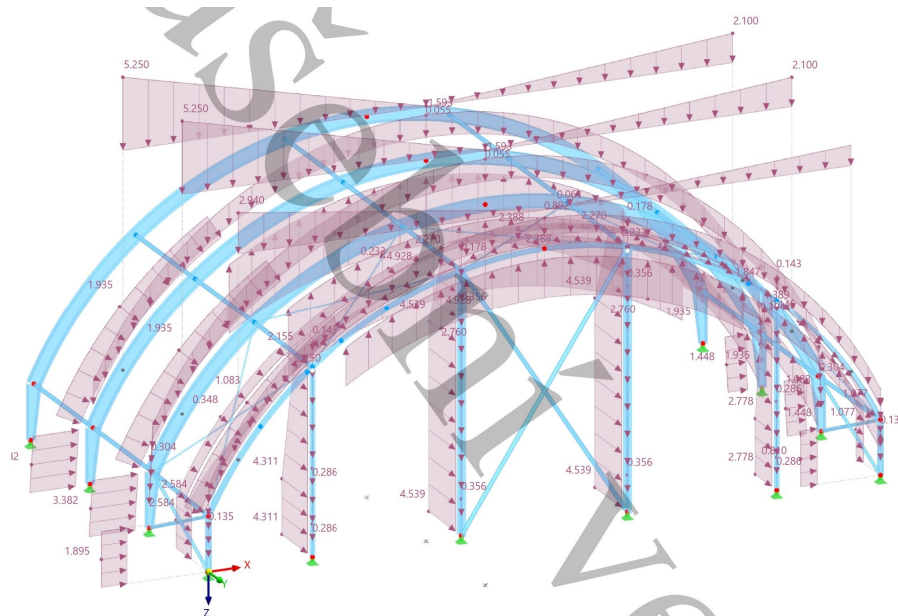
15.2. STĚNOVÉ ZTUŽIDLO - ŠTÍTOVÁ STĚNA

15.2.1. ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE A VNITŘNÍ SÍLY

15.2.1.1. ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE

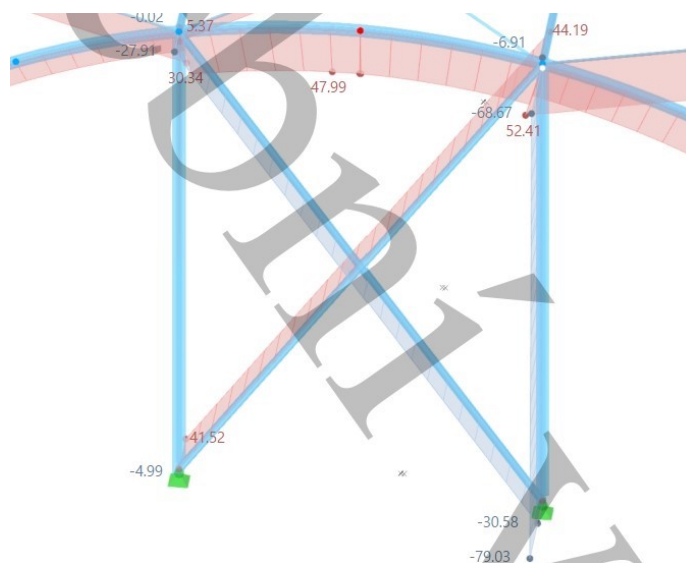
- pozn.: Kombinace zatížení byly vygenerovány v programu Dlubal RFEM 6

Rozhodující kombinace: KZ59 - $1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 0,75 \cdot ZS8 + 1,5 \cdot ZS5$
(max N)



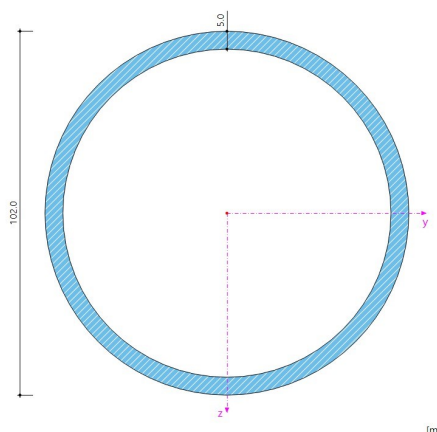
15.2.1.2. VNITŘNÍ SÍLY

- pozn.: Vypočteno v programu Dlubal RFEM 6
Normálová síla N [kN] - KZ59



15.2.2. NAVRŽENÝ PRŮŘEZ

- Kruhová válcovaná trubka TR 102x4.0



- Průřezové charakteristiky:

$$A := 1068 \text{ mm}^2$$

$$d := 89 \text{ mm}$$

$$t := 4 \text{ mm}$$

$$i := 29.8 \text{ mm}$$

- Materiálové charakteristiky (S235):

$$f_y := 235 \text{ MPa}$$

$$E := 210 \text{ GPa}$$

$$G := 81 \text{ GPa}$$

$$f_{yd} := \frac{f_y}{1.0} = 235 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

$$\gamma_{M1} := 1.0$$

$$f_u := 360 \text{ MPa}$$

$$v := 0.3$$

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

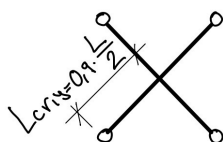
obr. 112 - průřez ztužidla

Rozhodující vnitřní síly (KZ59): $N_{Ed.tah} := 44.19 \text{ kN}$ $N_{Ed.tlak} := 30.58 \text{ kN}$

15.2.3. MSÚ

- Vzpěrné délky:

v rovině ztužidla:



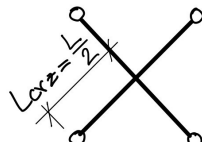
$$\beta_y := 0.9$$

$$L := 11.352 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} := \beta_y \cdot \frac{L}{2} = 5.108 \text{ m}$$

z roviny ztužidla:

- pozn.: Síla v tažené diagonále je menší než v tlačené



$$\beta_z := 1$$

$$L := 11.352 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} := \beta_z \cdot \frac{L}{2} = 5.676 \text{ m}$$

obr. 113 a 114 - schéma vzpěrných délek v rovině a z roviny ztužidla

- Štíhlost prutu:

$$\lambda_y := \frac{L_{cr,y}}{i} = 171.423 \quad \lambda_z := \frac{L_{cr,z}}{i} = 190.47$$

- Poměrná štíhlost prutu:

$$\lambda_1 := 93.9 \cdot \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 93.9 \quad \bar{\lambda}_y := \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 1.826 \quad \bar{\lambda}_z := \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 2.028$$

- Přiřazení křivek vzpěrnosti:

duté průřezy válcované za tepla:

$$\Rightarrow t = 4 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \Rightarrow y-y=b \Rightarrow \alpha_y := 0.34$$

$$z-z=c \Rightarrow \alpha_z := 0.49$$

$$\phi_y := 0.5 (1 + \alpha_y (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2)$$

$$\phi_z := 0.5 (1 + \alpha_z (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2)$$

$$X_y := \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 0.246 \leq 1.0$$

$$X_z := \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0.191 \leq 1.0$$

$$X_y = 0.246$$

$$X_z = 0.191$$

$$X := \min(X_y, X_z) = 0.191$$

- Návrhová vzpěrná únosnost prutu:

$$N_{b,Rd} := \frac{X \cdot A \cdot f_y}{Y_{M1}} = 48.056 \text{ kN}$$

- Posuzení prutu:

$$N_{b,Rd} = 48.056 \text{ kN} > N_{Ed} = 44.19 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

15.3. STĚNOVÉ ZTUŽIDLO - PODÉLNÁ STĚNA

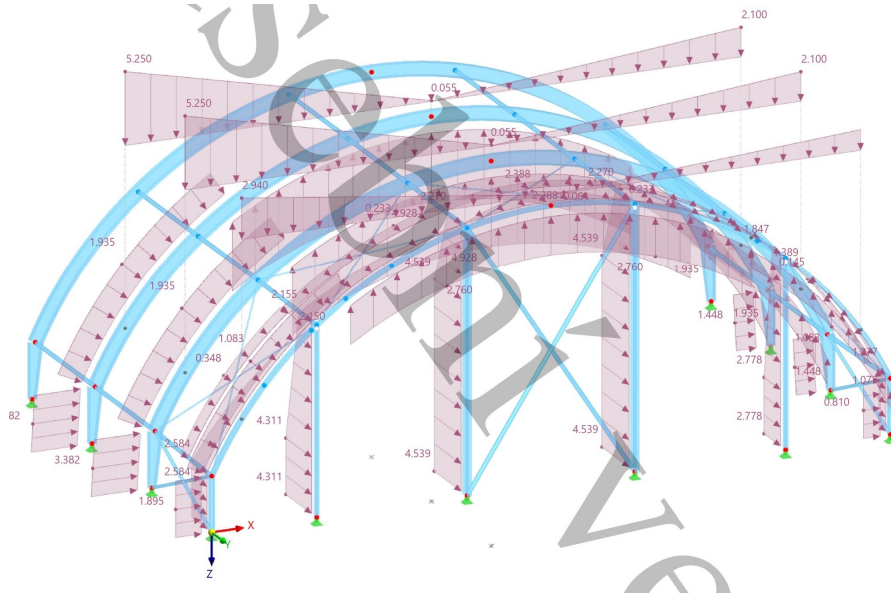
15.3.1. ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE A VNITŘNÍ SÍLY

15.3.1.1. ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE

- pozn.: Kombinace zatížení byly vygenerovány v programu Dlubal RFEM 6

Rozhodující kombinace: $KZ53 - 1,35 \cdot ZS1 + 0,75 \cdot ZS8 + 1,5 \cdot ZS6$

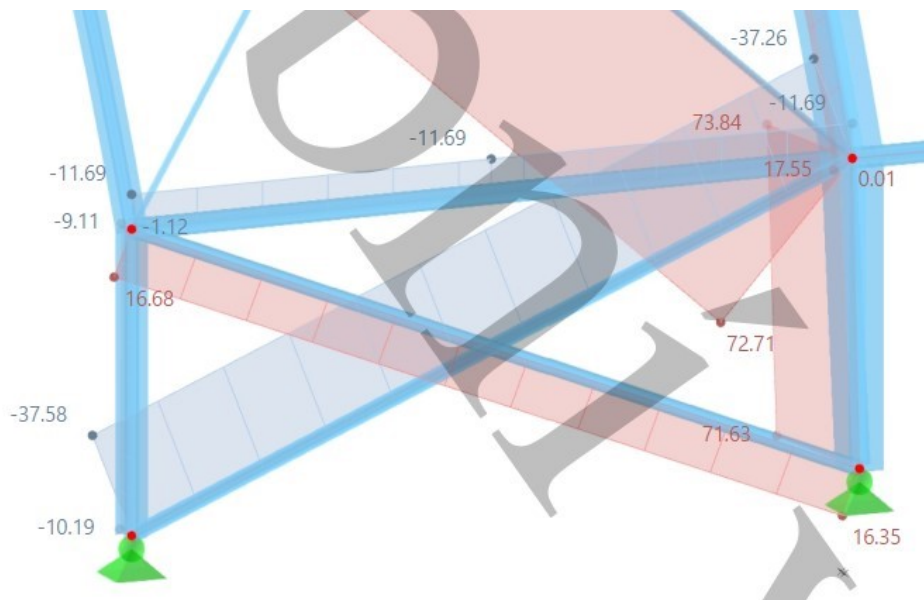
(max N)



15.3.1.2. VNITŘNÍ SÍLY

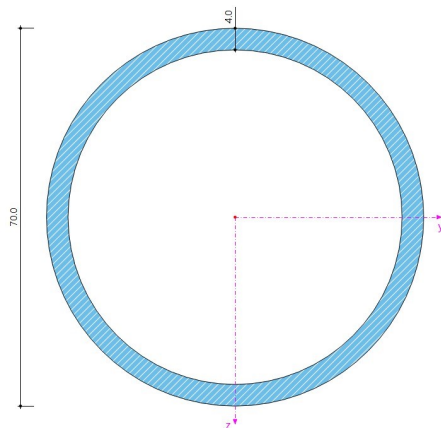
- pozn.: Vypočteno v programu Dlubal RFEM 6

Normálová síla N [kN] - KZ53



15.3.2. NAVRŽENÝ PRŮŘEZ

- Kruhová válcovaná trubka TR 70x4.0



- Průřezové charakteristiky:

$$A := 829 \text{ mm}^2$$

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

$$t := 4 \text{ mm}$$

$$i := 23.4 \text{ mm}$$

- Materiálové charakteristiky (S235):

$$f_y := 235 \text{ MPa} \quad E := 210 \text{ GPa}$$

$$G := 81 \text{ GPa}$$

$$f_{yd} := \frac{f_y}{1.0} = 235 \text{ MPa} \quad \gamma_{M0} := 1.0$$

$$f_u := 360 \text{ MPa} \quad \nu := 0.3 \quad \gamma_{M1} := 1.0$$

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

obr. 115 - průřez ztužidla

Rozhodující vnitřní síly (KZ53): $N_{Ed.tah} := 16.68 \text{ kN}$ $N_{Ed.tlak} := 37.58 \text{ kN}$

15.3.3. MSÚ

- Vzpěrné délky:

v rovině ztužidla:

$$\beta_y := 0.9$$

$$L := 5.387 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} := \beta_y \cdot \frac{L}{2} = 2.424 \text{ m}$$

z roviny ztužidla:

- pozn.: Síla v tažené diagonále je menší než v tlačené

$$L := 5.387 \text{ m}$$

$$L_{tah} := L$$

$$L_{tlak} := L$$

obr. 116 a 117 - schéma vzpěrných délek v rovině a z roviny ztužidla

$$L_{cr,z} := L \cdot \sqrt{1 - 0.75 \cdot \frac{N_{Ed.tah} \cdot L_{tah}}{N_{Ed.tlak} \cdot L_{tlak}}} = 4.4 \text{ m}$$

- Štíhlost prutu:

$$\lambda_y := \frac{L_{cr,y}}{i} = 103.596 \quad \lambda_z := \frac{L_{cr,z}}{i} = 188.031$$

- Poměrná štíhlost prutu:

$$\lambda_1 := 93.9 \cdot \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 93.9 \quad \bar{\lambda}_y := \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 1.103 \quad \bar{\lambda}_z := \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 2.002$$

- Přiřazení křivek vzpěrnosti:

duté průřezy válcované za tepla:

$$\Rightarrow t = 4 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \Rightarrow y-y=b \Rightarrow \alpha_y := 0.34$$

$$z-z=c \Rightarrow \alpha_z := 0.49$$

$$\phi_y := 0.5 (1 + \alpha_y (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2) \quad \phi_z := 0.5 (1 + \alpha_z (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2)$$

$$X_y := \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 0.533 \leq 1.0 \quad X_z := \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0.196 \leq 1.0$$

$$X_y = 0.533$$

$$X_z = 0.196$$

$$X := \min(X_y, X_z) = 0.196$$

- Návrhová vzpěrná únosnost prutu:

$$N_{b,Rd} := \frac{X \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 38.139 \text{ kN}$$

- **Posouzení prutu:**

$$N_{b,Rd} = 38.139 \text{ kN} > N_{Ed} := 35.85 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

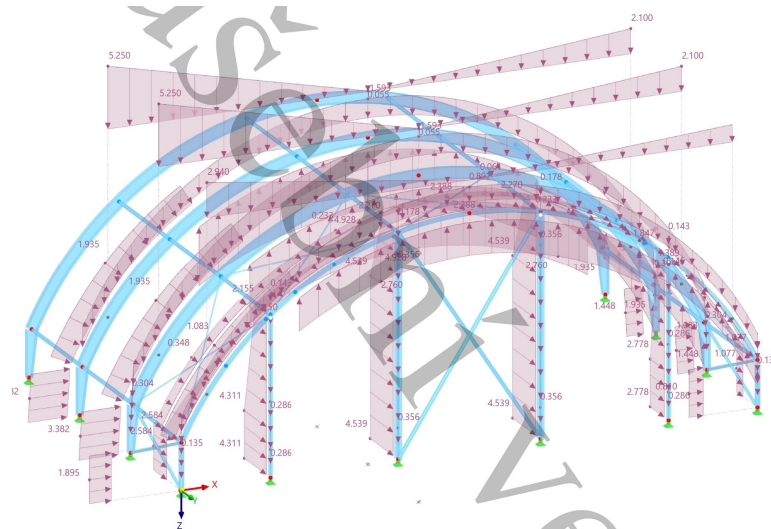
15.4. STŘEŠNÍ ZTUŽIDLO - DIAGONÁLA

15.4.1. ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE A VNITŘNÍ SÍLY

15.4.1.1. ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE

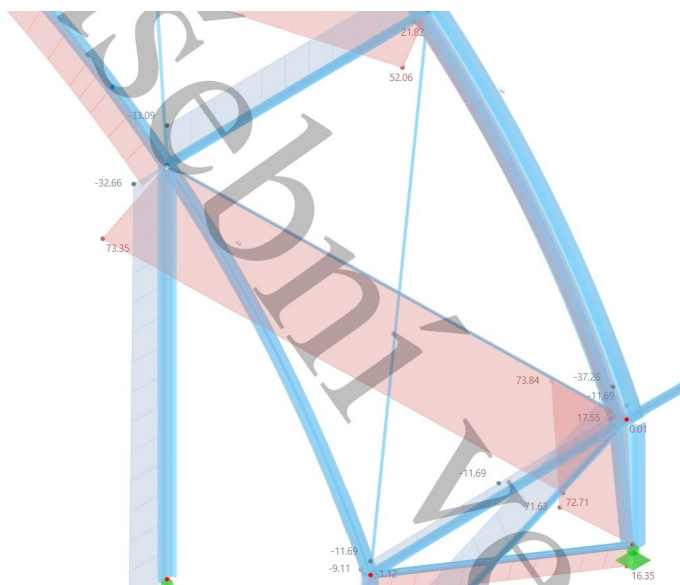
- pozn.: Kombinace zatížení byly vygenerovány v programu Dlubal RFEM 6

První rozhodující kombinace: KZ59 - 1,35*ZS1+1,35*ZS2+0,75*ZS8+1,5*ZS5
(max N)



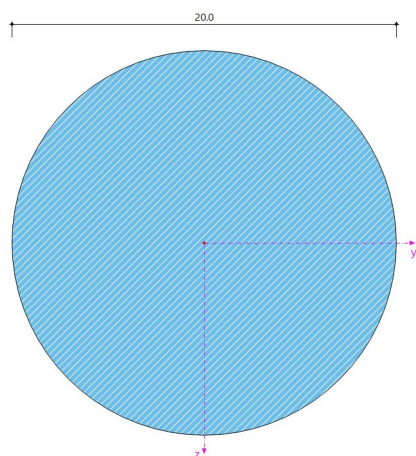
15.4.1.2. VNITŘNÍ SÍLY

- pozn.: Vypočteno v programu Dlubal RFEM 6
Normálová síla N [kN] - KZ59



15.4.2. NAVRŽENÝ PRŮŘEZ

- Plný kruhový průřez Ø20mm



- Průřezové charakteristiky:

$$d := 20 \text{ mm}$$

$$A := \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 314.159 \text{ mm}^2$$

- Materiálové charakteristiky (S235):

$$f_y := 235 \text{ MPa}$$

$$E := 210 \text{ GPa}$$

$$G := 81 \text{ GPa}$$

$$f_{yd} := \frac{f_y}{1.0} = 235 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

$$\gamma_{M1} := 1.0$$

$$f_u := 360 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

$$\nu := 0.3$$

obr. 118 - průřez ztuždila

Rozhodující vnitřní síly (KZ59): $N_{Ed} := 73.35 \text{ kN}$

15.4.3. MSÚ

- Návrhová vzpěrná únosnost prutu:

$$N_{b,Rd} := \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 73.827 \text{ kN} > N_{Ed} = 73.35 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Posouzení prutu:

$$N_{b,Rd} = 73.827 \text{ kN} > N_{Ed} := 35.85 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

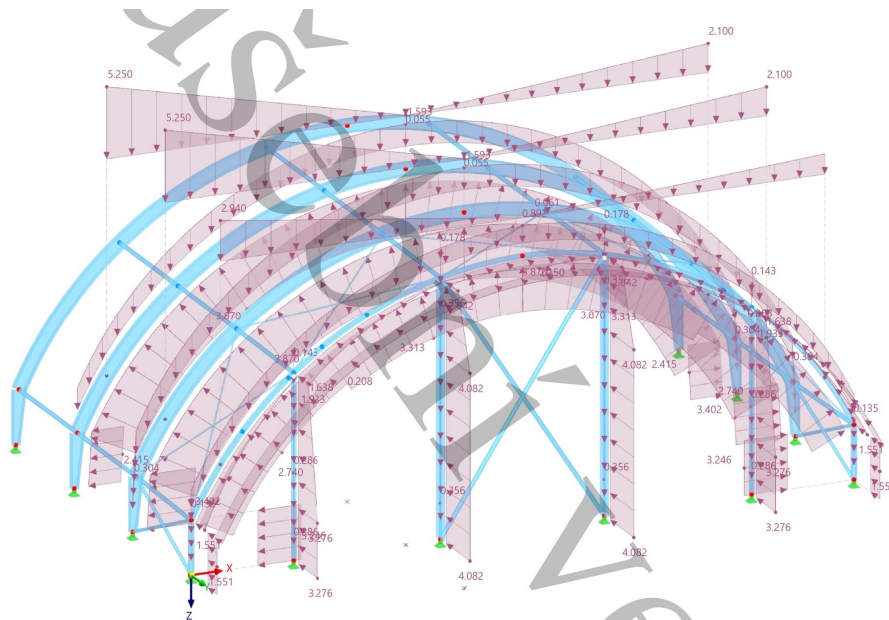
15.5. STŘEŠNÍ ZTUŽIDLO - SVISLICE

15.5.1. ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE A VNITŘNÍ SÍLY

15.5.1.1. ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE

- pozn.: Kombinace zatížení byly vygenerovány v programu Dlubal RFEM 6

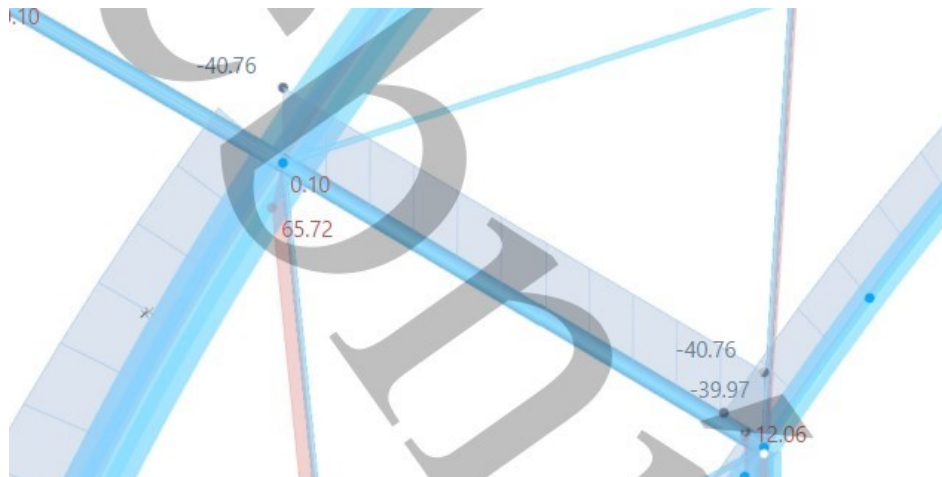
První rozhodující kombinace: $KZ60 - 1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 0,75 \cdot ZS8 + 1,5 \cdot ZS7$
(max N)



15.5.1.2. VNITŘNÍ SÍLY

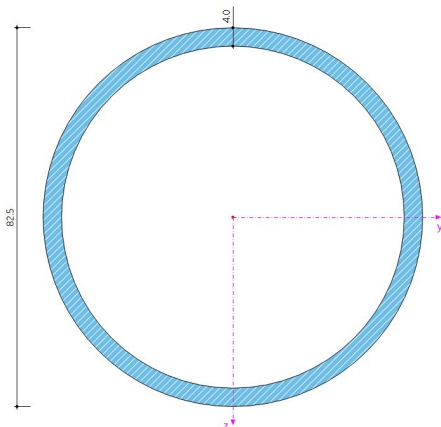
- pozn.: Vypočteno v programu Dlubal RFEM 6

Normálová síla N [kN] - KZ60



15.5.2. NAVRŽENÝ PRŮŘEZ

- Kruhová válcovaná trubka TR 76x4.0



obr. 119 - průřez ztužidla

- Průřezové charakteristiky:

$$A := 732 \text{ mm}^2$$

$$d := 76 \text{ mm}$$

$$t := 4 \text{ mm}$$

$$i := 25.5 \text{ mm}$$

- Materiálové charakteristiky (S235):

$$f_y := 235 \text{ MPa}$$

$$E := 210 \text{ GPa}$$

$$G := 81 \text{ GPa}$$

$$f_{yd} := \frac{f_y}{1.0} = 235 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

$$\gamma_{M1} := 1.0$$

$$f_u := 360 \text{ MPa}$$

$$\nu := 0.3$$

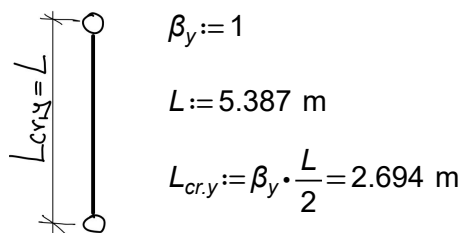
$$\gamma_{M2} := 1.25$$

Rozhodující vnitřní síly (KZ60): $N_{Ed} := 40.76 \text{ kN}$

15.5.3. MSÚ

- Vzpěrné délky:

v rovině ztužidla:



$$\beta_y := 1$$

$$L := 5.387 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} := \beta_y \cdot \frac{L}{2} = 2.694 \text{ m}$$

z roviny ztužidla:



$$\beta_y := 1$$

$$L := 5.387 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} := \beta_y \cdot \frac{L}{2} = 2.694 \text{ m}$$

obr. 120 a 121 - schéma vzpěrných délek v rovině a z roviny ztužidla

- Štíhlost prutu:

$$\lambda_y := \frac{L_{cr,y}}{i} = 105.627$$

$$\lambda_z := \frac{L_{cr,z}}{i} = 172.546$$

- Poměrná štíhlost prutu:

$$\lambda_1 := 93.9 \cdot \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 93.9$$

$$\bar{\lambda}_y := \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 1.125$$

$$\bar{\lambda}_z := \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 1.838$$

- Přiřazení křivek vzpěrnosti:

duhé průřezy válcované za tepla:

$$\Rightarrow t = 4 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \Rightarrow y-y=b \Rightarrow \alpha_y := 0.34$$

$$z-z=c \Rightarrow \alpha_z := 0.49$$

$$\phi_y := 0.5 (1 + \alpha_y (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2)$$

$$\phi_z := 0.5 (1 + \alpha_z (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2)$$

$$X_y := \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 0.521 \leq 1.0$$

$$X_z := \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0.227 \leq 1.0$$

$$X_y = 0.521 \qquad X_z = 0.227$$
$$X := \min(X_y, X_z) = 0.227$$

- Návrhová vzpěrná únosnost prutu:

$$N_{b,Rd} := \frac{X \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 38.971 \text{ kN}$$

- **Posouzení prutu:**

$$N_{b,Rd} = 38.971 \text{ kN} > N_{Ed} = 40.76 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

16. PŘEPOSOUZENÍ PŘÍČNÉ DRUHÉ VAZBY

- Přeposouzení z důvodu rozdílné hodnoty vnitřních sil mezi 2D a 3D modelem vlivem připočtení vlastní tíhy ztužidel a také přenosem zatížení ze štítové stěny pomocí střešních ztužidel zejména při působení podélného větru

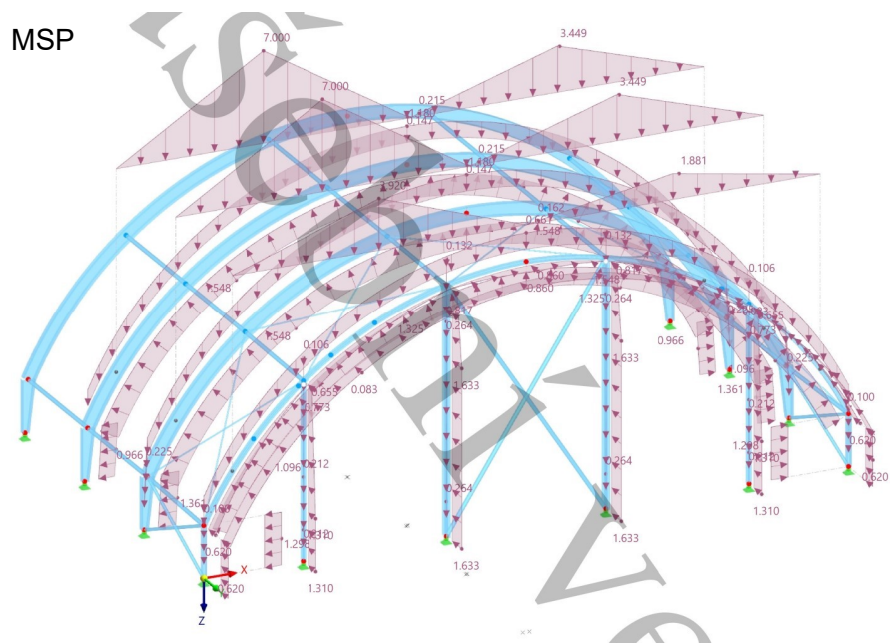
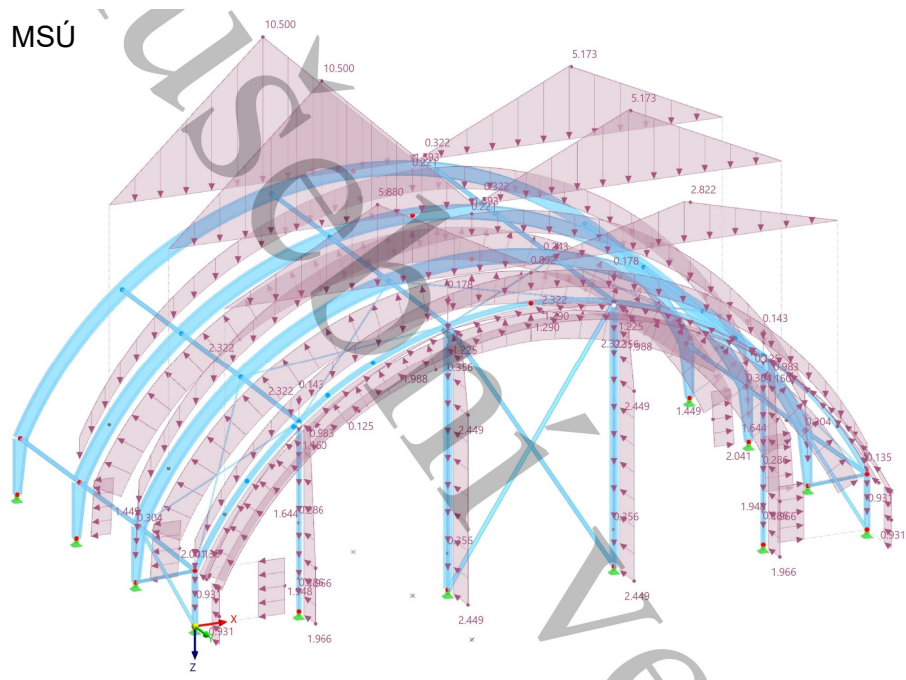
16.1. ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE

- pozn.: Kombinace zatížení byly vygenerovány v programu Dlubal RFEM 6

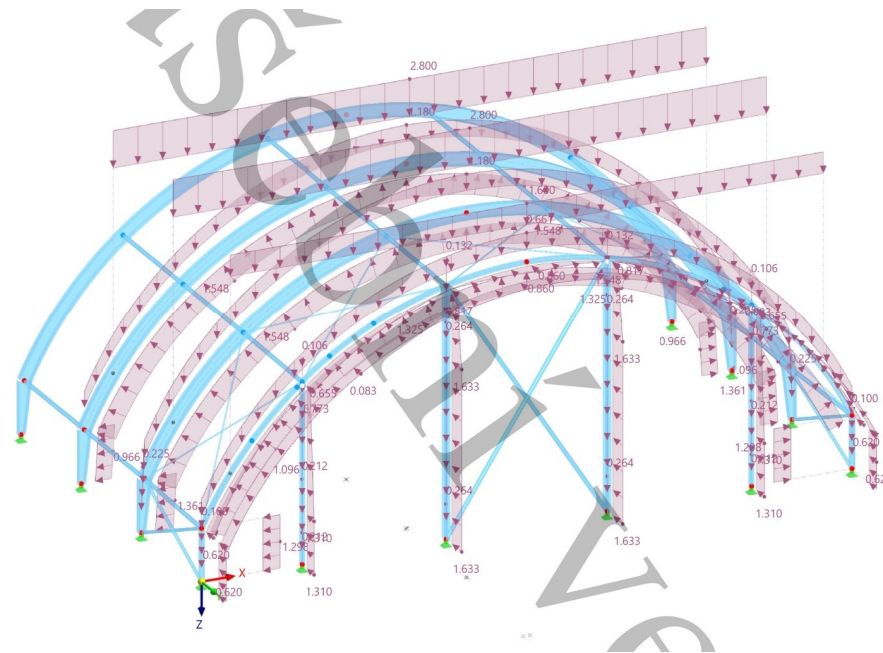
První nová rozhodující kombinace: KZ42 - MSÚ - 1,35*ZS1+1,35*ZS2+1,5*ZS5+0,9*ZS7

- MSP - ZS1+ZS2+ZS5+0,6*ZS7

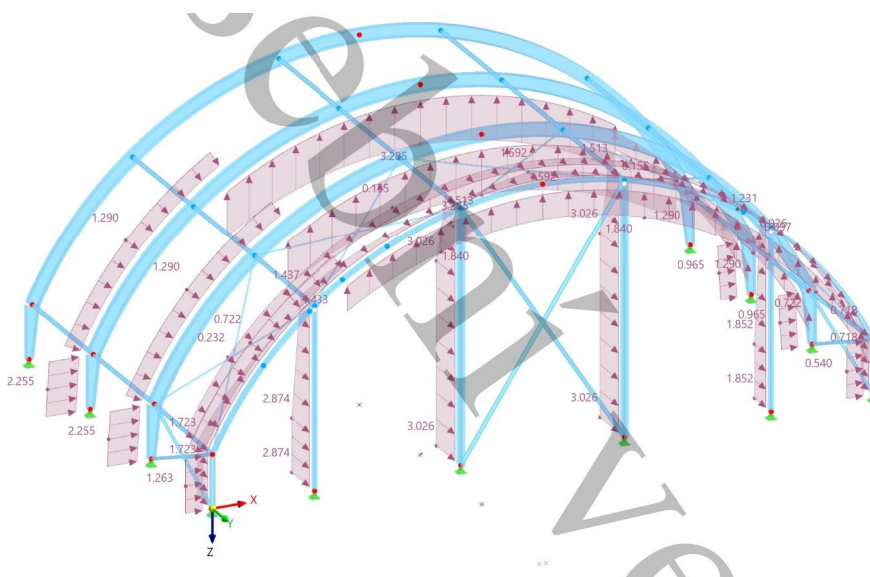
(max V_z , max M_y , max u_x - sloup)



Druhá nová rozhodující kombinace: KZ40 - ZS1+ZS2+ZS4+0,6*ZS7
 (max u_z - stálé + proměnné)



Třetí nová rozhodující kombinace: KZ45 - ZS1+ZS6
 (max u_z - pouze proměnné)

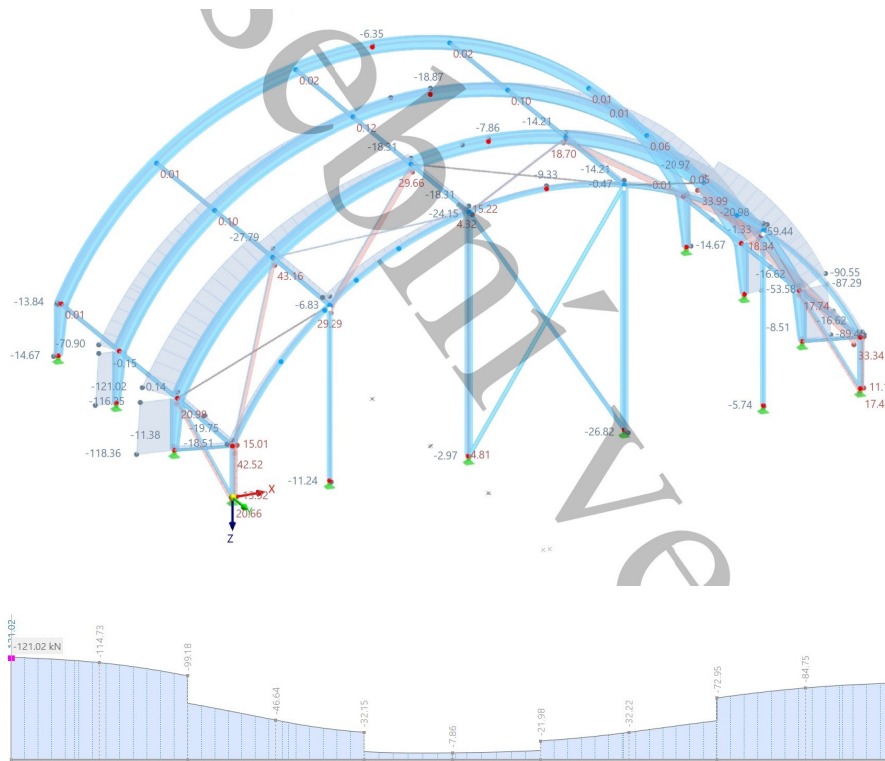


16.2. VNITŘNÍ SÍLY, DEFORMACE A NAPĚTÍ

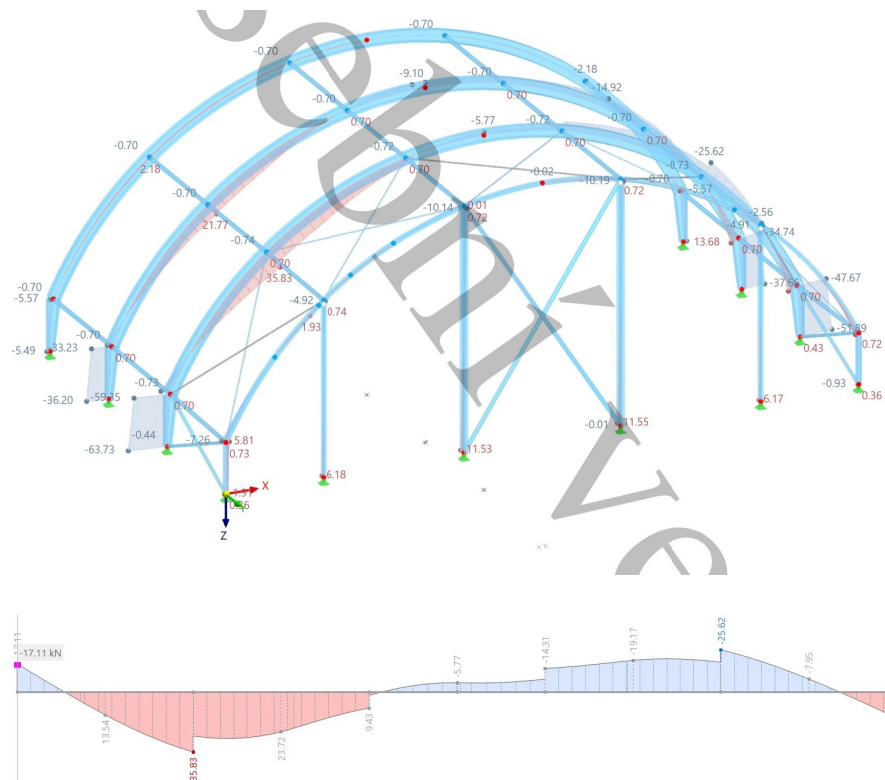
16.2.1. VNITŘNÍ SÍLY

- pozn.: Vypočteno v programu Dlubal RFEM 6

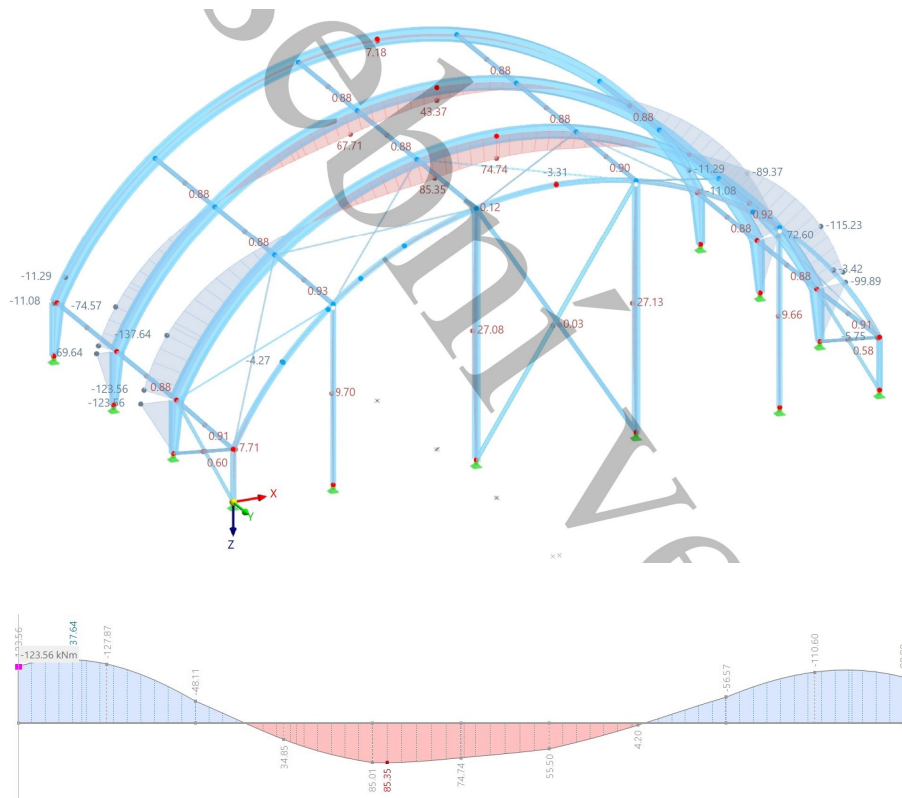
Normálová síla N [kN] - KZ42



Posouvající síla V_z [kN] - KZ42

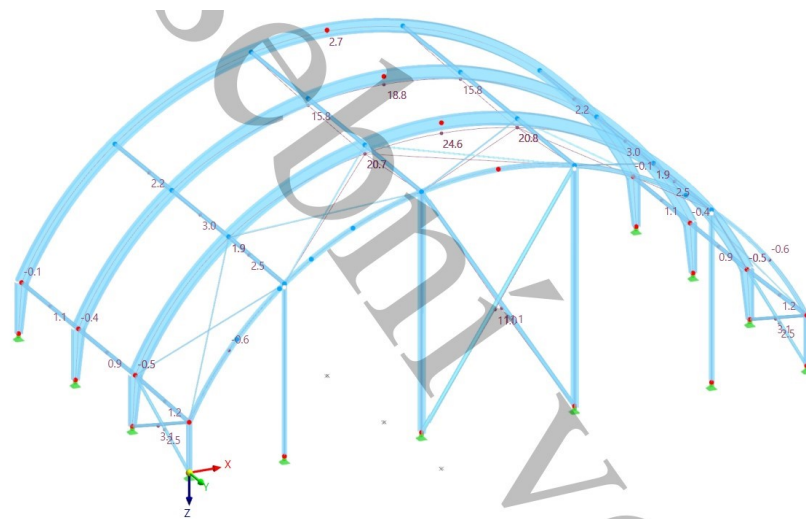


Ohybový moment M_y [$kN \cdot m$] - KZ42

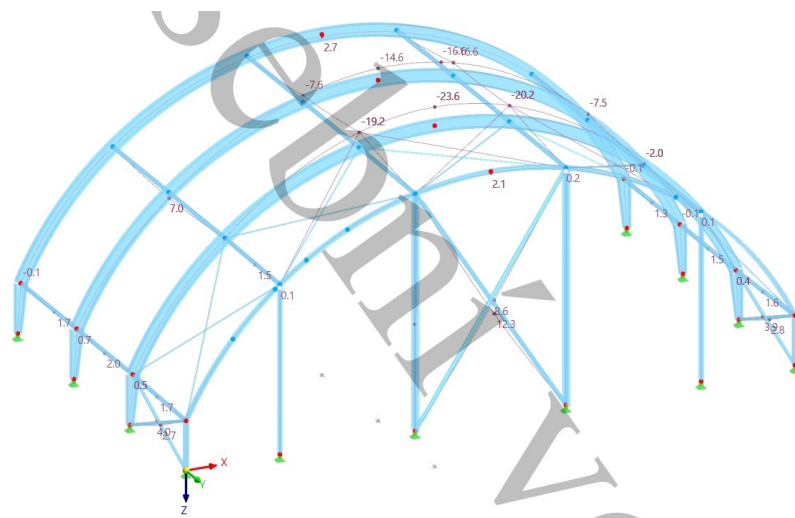


16.2.2.DEFORMACE

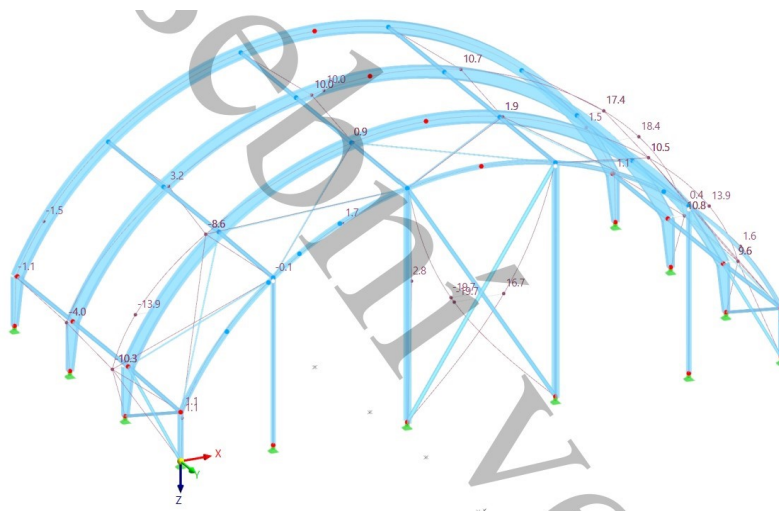
Max průhyb u_z [mm] - (stálé + proměnné) - KZ40



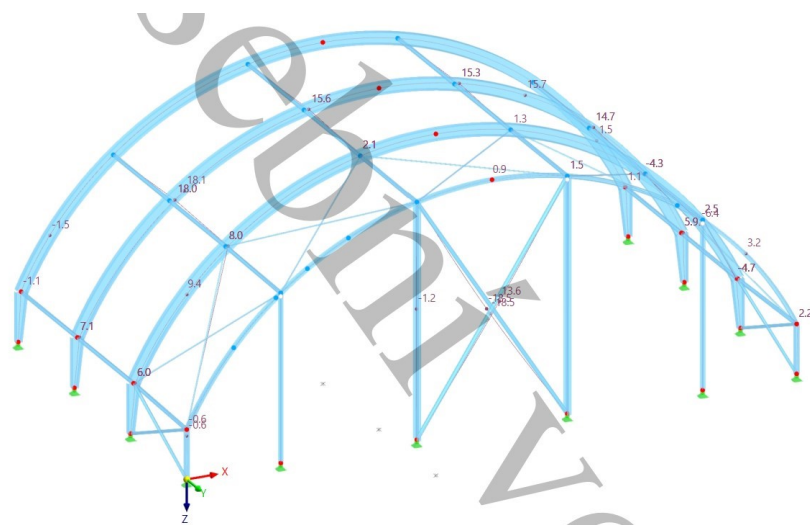
Max průhyb u_z [mm] - (pouze proměnné) - KZ45



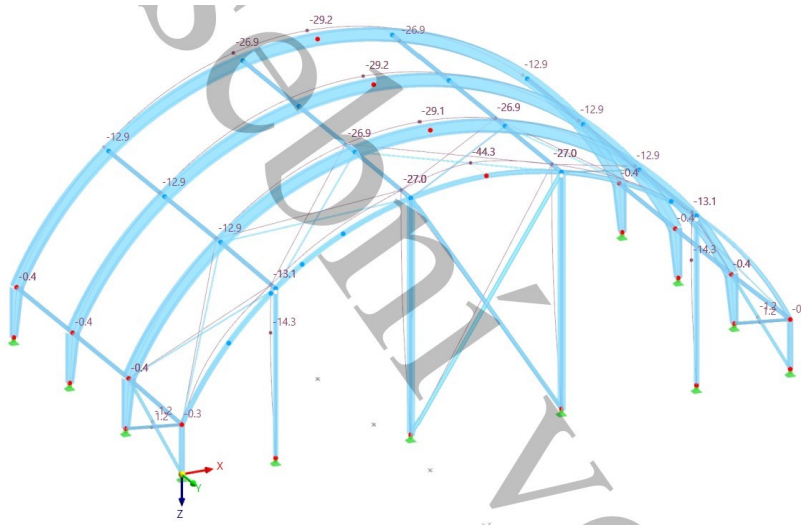
Vodorovný posun u_x ve směru x - sloup [mm] - (stálé a proměnné) - KZ42



Vodorovný posun u_x ve směru x - vazník [mm] - (stálé a proměnné) - KZ55

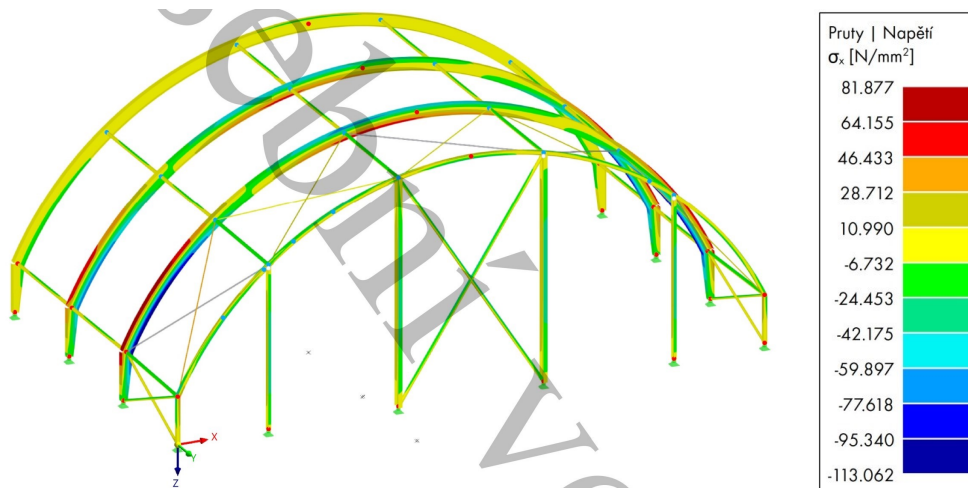


Vodorovný posun u ve směru y [mm] - (stálé a proměnné) - KZ56



16.2.3. NAPĚTÍ

Maximální napětí σ_x na průřezu [MPa] (stálé a proměnné) - KZ42



16.3. PŘEPOSOUZENÍ

16.3.1. MSP

- Zjednodušený přepoččet na efektivní průřez:

$$I_y := 34707 \text{ cm}^4 \quad I_{y,eff} := 345495986.33 \cdot \text{mm}^4$$

$$\frac{I_y}{I_{y,eff}} = 1.005 \quad (=> \text{zvýšení deformace o } 0,5\%)$$

- Celkový průhyb u_z (stálé a proměnné):

$$\delta_1 \leq \frac{L}{250} \quad (\delta_1 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

$$1.005 \cdot 24.6 = 24.723 \leq \frac{25000}{250} = 100 \text{ [mm]} \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Průhyb u_z od proměnného zatížení:

$$\delta_2 \leq \frac{L}{300} \quad (\delta_2 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

$$1.005 \cdot 23.6 = 23.718 \leq \frac{25000}{300} = 83.333 \quad [mm] \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Celkový vodorovný posun u (stálé a proměnné)

a) ve směru osy x

- na vazníku

$$\delta_3 \leq \frac{h}{150} \quad (\delta_3 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

$$1.005 \cdot 14.7 = 14.774 \leq \frac{6538}{150} = 43.587 \quad [mm] \quad \text{VYHOVUJE}$$

- ve vrcholu sloup

$$\delta_4 \leq \frac{h}{150} \quad (\delta_4 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

$$1.005 \cdot 10.3 = 10.352 \leq \frac{2000}{150} = 13.333 \quad [mm] \quad \text{VYHOVUJE}$$

b) ve vsměru osy y

$$\delta_5 \leq \frac{h}{150} \quad (\delta_5 \dots \text{vypočteno v programu Dlubal RFEM 6})$$

$$1.005 \cdot 29.1 = 29.246 \leq \frac{9900}{150} = 66 \quad [mm] \quad \text{VYHOVUJE}$$

16.3.2. MSÚ

- **Přeposouzení druhé vazby v kombinaci tlak a ohyb**

- Tab. 16.1 - Přeposouzení sloupu a vazníku druhé vazby

PŘEPOSOUZENÍ DRUHÉ VAZBY	TŘÍDA PRŮŘEZU		EFEKTIVNÍ PRŮŘEZ			VZPĚRNÉ DÉLKY		SOUČ. VZPĚRNOSTI		KLOPENÍ		PODMÍNKY SPOLEHLIVOSTI			
	PÁSNICE	STOJINA	A_{eff}	$I_{y,\text{eff}}$	$W_{y,\text{eff}}$	$L_{\text{cr,y}}$	$L_{\text{cr,z}}$	X_y	X_z	M_{cr}	X_{LT}	KOMB. OHYB A TLAK			
			[mm ²]	[mm ⁴]	[mm ³]	[mm]	[mm]	[-]	[-]	[kNm]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
SLOUP	2	4	6 458,50	345 337 257,07	1 427 304,18	2 000	2 000	1,00	0,934	5 009,4	0,97	0,456	0,459	0,446	0,409
VAZNIK	2	4	6 569,18	345 495 986,33	1 428 932,20	19 600	6 200	0,612	0,488	294,01	0,501	0,48	0,97	0,488	0,23

- Podmínky spolehlivosti sloup:

Rozhodující vnitřní síly: $N_{Ed} = 40.76 \text{ kN}$ $V_{Ed} := 63.73 \text{ kN}$ $M_{Ed} := 123.56 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$\frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{X_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} = 0.456 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{X_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} = 0.459 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + \frac{M_{Ed}}{M_{y,Rk}} = 0.446 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{Y_{M1}} + \frac{M_{Ed}}{Y_{M1}} = 0.446 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$V_{b,Rd} = 155.729 \text{ kN} > V_{Ed} = 63.73 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Podmínky spolehlivosti vazník:

Rozhodující vnitřní síly: $N_{Ed} = 40.76 \text{ kN}$ $V_{Ed} = 35.83 \text{ kN}$ $M_{Ed} = 123.56 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$\frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{X_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} = 0.48 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{X_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} = 0.97 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + \frac{M_{Ed}}{M_{y,Rk}} = 0.488 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{Y_{M1}} + \frac{M_{Ed}}{Y_{M1}} = 0.488 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$V_{b,Rd} = 155.729 \text{ kN} > V_{Ed} = 35.83 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Krční svary:

napětí ve svaru:

$$a_w := 4 \text{ mm} \quad (t_f := 10 \text{ mm} < 20 \text{ mm}) \quad \beta_w := 0.8 \quad (\text{ocel S235})$$

$$S_y := 661.78 \text{ cm}^3 \quad - \text{pozn.: Vypočteno v programu Excel}$$

$$\tau_{II} := \frac{(V_{Ed} \cdot S_y)}{I_{y,eff} \cdot 2 \cdot a_w} = 8.579 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = 207.846 \text{ MPa}$$

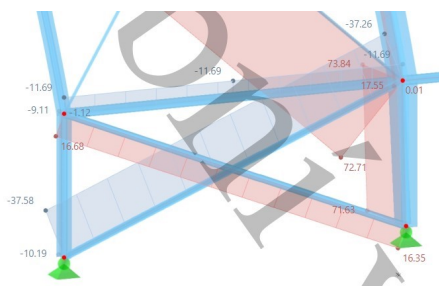
VYHOVUJE

17. NÁVRH A POSOUZENÍ SPOJŮ

17.1. NÁVRH PŘÍPOJE SLOUP-PATKA-STĚNOVÉ ZTUŽIDLO

17.1.1 NÁVRH A POSOUZENÍ ŠROUBOVÉHO SPOJE (ztužidlo - styčnickový plech)

- NÁVRH ŠROUBU: 2xM16 8.8



obr. 122 - průběh normálových sil na ztužidle

- Průřezové charakteristiky:

$$A_s := 157 \text{ mm}^2 \quad d := 16 \text{ mm} \quad d_0 := 18 \text{ mm}$$

- Materiálové charakteristiky (S235):

$$f_y := 235 \text{ MPa} \quad f_u := 360 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} := \frac{f_y}{1.0} = 235 \text{ MPa} \quad \gamma_{M2} := 1.25$$

$$E = 210 \text{ GPa} \quad \beta_w := 0.8 \quad G = 81 \text{ GPa}$$

- Materiálové charakteristiky (šroub 8.8):

$$n := 2 \quad f_{ub} := 800 \text{ MPa} \quad f_{yb} := 640 \text{ MPa}$$

- Navržené rozteče:

$$e_1 := 35 \text{ mm} \quad e_2 := 22 \text{ mm}$$

$$p_1 := 40 \text{ mm} \quad p_2 := 44 \text{ mm}$$

Rozhodující normálová síla (KZ53): $N_{Ed} := 37.58 \text{ kN}$

- MSÚ:

únosnost šroubu ve stříhu:

$$F_{v,Rd} := \frac{0.6 A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 60.288 \text{ kN} \quad (\text{smyková rovina prochází závitem})$$

únosnost šroubu v otlacení:

- tloušťka připojovacího plechu: $t := 8 \text{ mm}$

- tloušťka styčnickového plechu: $t := 8 \text{ mm}$

rozhodující tloušťka: $t := \min(t, t) = 8 \text{ mm}$

$$\alpha_b := \min\left(\frac{e_1}{3 d_0}, \frac{f_{ub}}{f_u}\right) = 0.648 \quad k_1 := \min\left(\frac{2.8 e_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right) = 1.722$$

$$F_{b,Rd} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 41.15 \text{ kN}$$

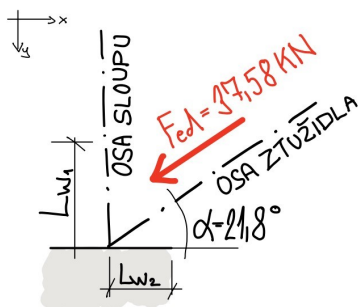
- Posouzení:

$$2 \cdot \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd}) = 82.299 \text{ kN} > N_{Ed} = 37.58 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

17.1.2 NÁVRH A POSOUZENÍ KOUTOVÉHO SVARU (styčnickový plech - stojina, patní plech)

- NÁVRH SVARU: $a_w := 4 \text{ mm}$



$$F := N_{Ed} = 37.58 \text{ kN}$$

$$F_x := \cos(21.8^\circ) \cdot F = 34.892 \text{ kN}$$

$$F_y := \sin(21.8^\circ) \cdot F = 13.956 \text{ kN}$$

$$L_{w1} := 119 \text{ mm} \quad L_{w2} := 118 \text{ mm}$$

obr. 123 - schéma styčnicku

- Únosnost koutových svarů:

únosnost svaru po délce L_{w1}

únosnost svaru po délce L_{w2}

$$\underline{\sigma}_\perp := 0 \text{ MPa} \quad \underline{\tau}_\perp := 0 \text{ MPa}$$

$$\underline{\sigma}_\perp := 0 \text{ MPa} \quad \underline{\tau}_\perp := 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel,1} := \frac{F_y}{2 \cdot a_w \cdot L_{w1}} = 14.66 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel,2} := \frac{F_x}{2 \cdot a_w \cdot L_{w2}} = 36.962 \text{ MPa}$$

- pozn.: Výsledná únosnost je stanovena jako součet dílčích únosností na různé délky svaru

$$\tau_{\parallel} := \tau_{\parallel,1} + \tau_{\parallel,2} = 51.622 \text{ MPa}$$

- Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_\perp^2 + 3(\tau_\perp^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 89.412 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 360 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\sqrt{\sigma_\perp^2 + 3(\tau_\perp^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 89.412 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 288 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

17.1.3. NÁVRH A POSOUZENÍ KOUTOVÉHO SVARU (připojovací plech - ztužidlo)

- NÁVRH SVARU: $a_w := 3 \text{ mm}$, $L_w := 50 \text{ mm}$

Rozhodující normálová síla (KZ53): $N_{Ed} := 37.58 \text{ kN} \Rightarrow F := N_{Ed}$

- Únosnost koutových svarů:

$$\underline{\sigma}_\perp := 0 \text{ MPa} \quad \underline{\tau}_\perp := 0 \text{ MPa} \quad \tau_{\parallel} := \frac{F}{4 \cdot a_w \cdot L_w} = 62.633 \text{ MPa}$$

- Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_\perp^2 + 3(\tau_\perp^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 108.484 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 360 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

17.1.4. NÁVRH A POSOUZENÍ KOUTOVÉHO SVARU (sloup - patní plech)

Rozhodující vnitřní síly:

Maximální tlaková síla v patě sloupu (KZ44)

$$N_{Ed.tlak} := 122.2 \text{ kN}$$

Maximální tahová síla v patě sloupu (KZ45)

$$N_{Ed.tah} := 110.22 \text{ kN}$$

Minimální vlastní tíha konstrukce v patě sloupu (KZ2)

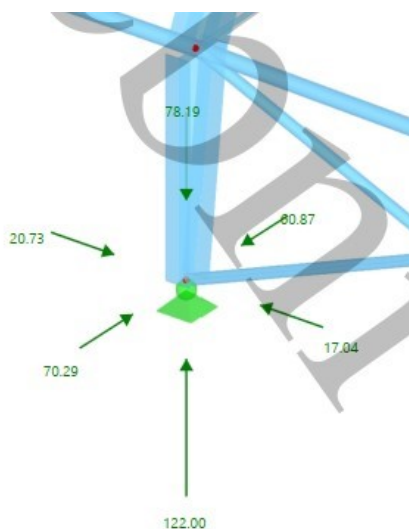
$$N_{min.Ed} := 34.8 \text{ kN}$$

Posouvající síla ve směru x v patě sloupu (KZ42)

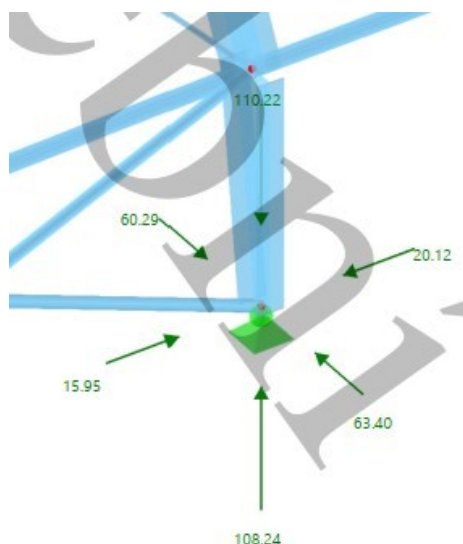
$$V_{Ed.x} := 20.73 \text{ kN}$$

Posouvající síla ve směru y v patě sloupu (KZ54)

$$V_{Ed.y} := 70.29 \text{ kN}$$

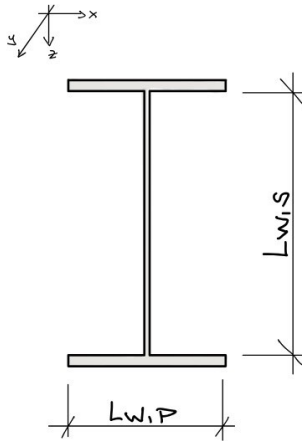


obr. 124 - výsledné reakce z obálky kombinací zatížení - sloup osa 1



obr. 125 - výsledné reakce z obálky kombinací zatížení - sloup osa 6

- NÁVRH SVARU: $a_w := 4 \text{ mm}$



obr. 126 - schéma svaru

$$F_x := V_{Ed,x} = 20.73 \text{ kN}$$

$$F_y := V_{Ed,y} = 70.29 \text{ kN}$$

$$F_z := N_{Ed,tah} = 110.22 \text{ kN}$$

$$L_{w,s} := 456 \text{ mm}$$

$$L_{w,p} := 240 \text{ mm}$$

$$L_{w,celek} := 4 L_{w,p} + 2 \cdot L_{w,s} = 1872 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\perp} := \frac{F_z}{\sqrt{2} a_w \cdot L_{w,celek}} = 10.408 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} := \frac{F_z}{\sqrt{2} a_w \cdot L_{w,celek}} = 10.408 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel,x} := \frac{F_x}{4 \cdot a_w \cdot L_{w,p}} = 5.398 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel,y} := \frac{F_y}{2 \cdot a_w \cdot L_{w,s}} = 19.268 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} := \max(\tau_{\parallel,x}, \tau_{\parallel,y}) = 19.268 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 39.333 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 360 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 39.333 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 288 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

17.1.5. NÁVRH A POSOUZENÍ PATKY

- Materiálové charakteristiky:

ocel S235:

$$f_y := 235 \text{ MPa} \quad f_{yd} := \frac{f_y}{1.0} = 235 \text{ MPa}$$

beton C20/25 B500B:

$$f_{ck} := 20 \text{ MPa} \quad f_{cd} := \frac{f_{ck}}{1.5} = 13.333 \text{ MPa} \quad \gamma_G := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

- Návrh rozměrů patky:

$$a_1 := 1900 \text{ mm} \quad b_1 := 1900 \text{ mm} \quad h := 1000 \text{ mm}$$

- Únosnost zeminy:

$$R_d := 300 \text{ kPa} \quad \text{- pozn.: Únosnost zeminy byla odhadnuta, nebyl proveden geologický průzkum}$$

- Rozměr patního plechu:

$$a_0 := 500 \text{ mm} \quad b_0 := 260 \text{ mm} \quad t := 15 \text{ mm}$$

- Vlastní tíha patky:

$$G_{0,d} := 1.35 \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot h \cdot \gamma_G = 121.838 \text{ kN}$$

- Stanovení návrhové únosnosti patky v tlaku:

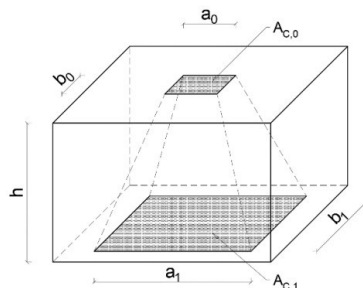
započitatelné rozměry patky:

$$a_1 := \min(3 \cdot a_0, a_0 + h, a_1) = 1.5 \text{ m}$$

$$b_1 := \min(3 \cdot b_0, b_0 + h, b_1) = 0.78 \text{ m}$$

$$A_{c,0} := a_0 \cdot b_0 = 0.13 \text{ m}^2$$

$$A_{c,1} := a_1 \cdot b_1 = 1.17 \text{ m}^2$$



obr. 127 - rozměry patky

návrhová pevnost betonu v uložení:

$$f_{Rdu} := f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{A_{c,1}}{A_{c,0}}} = 40 \text{ MPa} \leq 3.0 \cdot f_{cd} = 40 \text{ MPa}$$

návrhová pevnost betonu:

$$\beta_j := \frac{2}{3}$$

$$f_{jd} := \beta_j \cdot f_{Rdu} = 26.667 \text{ MPa}$$

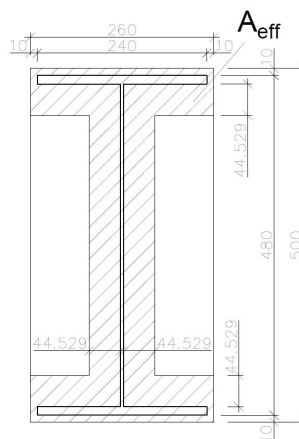
účinná šířka patního plechu:

$$c := t \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{jd}}} = 44.529 \text{ mm}$$

efektivní plocha:

$$A_{eff} := 68471.97 \text{ mm}^2$$

- pozn.: Naměřeno v programu AutoCAD)



obr. 128 - efektivní plocha

- Posouzení patního plechu v tlaku:

$$N_{Rd} := A_{eff} \cdot f_{jd} = 1825.919 \text{ kN} \geq N_{Ed.tlak} = 122.2 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Posouzení patky v tlaku:

$$\sigma := \frac{N_{Ed.tlak} + G_{0,d}}{A_{c,1}} = 208.579 \text{ kPa} \leq R_d = 300 \text{ kPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

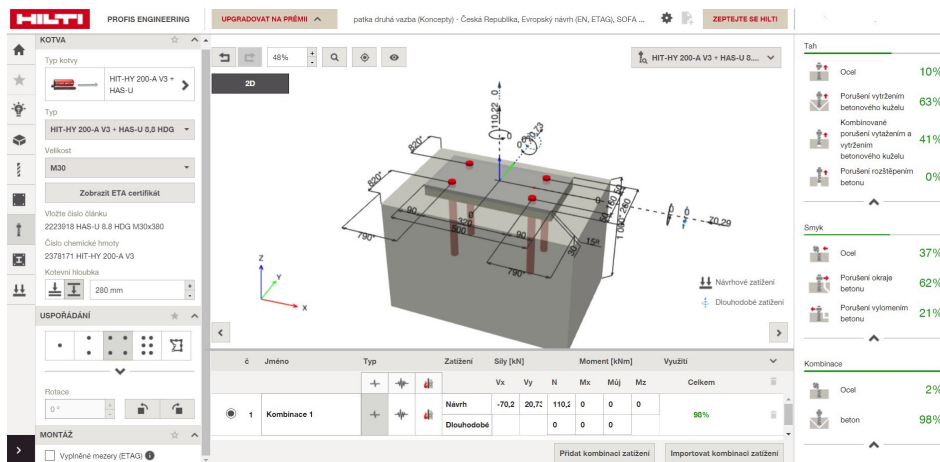
17.1.6. NÁVRH A POSOUZENÍ SMYKOVÉ ÚNOSNOSTI PATKY

Smyková únosnost důsledkem tření:

$$V_{Rd} := 0.2 \cdot N_{min.Ed} = 6.96 \text{ kN} < V_{Ed.x} = 20.73 \text{ kN} \quad \text{NEVYHOVUJE}$$

=> Únosnost díky třecím silám nestačí, je potřeba navrhnout kotevní šrouby, navíc v patce vzniká tahová síla od příčného větru v kombinaci zatížení KZ45. Dále se přes stěnové ztužidlo přenesou nová vodorovná síla, v patce tak vznikají dvě vodorovné reakce v rozdílném směru.

=> Navrhuji 4x HIT-HY 200-A V3+HAS-U8.8 HDG M30 380mm

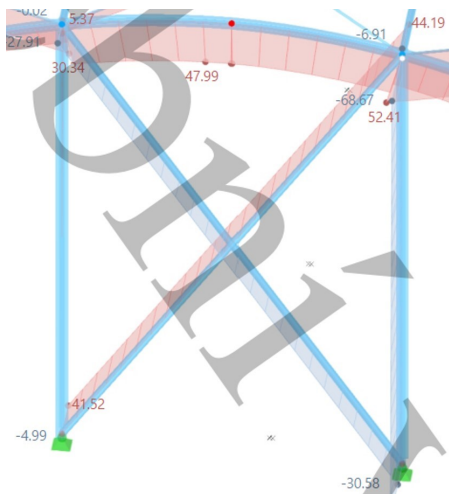


obr. 129 - pouzení kotevních šroubů (více viz příloha 2.1.)

17.2. NÁVRH PŘÍPOJE SLOUP-PATKA-ŠTÍTOVÉ ZTUŽIDLO

17.2.1 NÁVRH A POSOUZENÍ ŠROUBOVÉHO SPOJE (ztužidlo - styčnickový plech)

- NÁVRH ŠROUBU: 2xM16 8.8



obr. 130 - průběh normálových sil na ztužidle

- Průřezové charakteristiky:

$$A_s := 157 \text{ mm}^2 \quad d := 16 \text{ mm} \quad d_o := 18 \text{ mm}$$

- Materiálové charakteristiky (S235):

$$f_y := 235 \text{ MPa} \quad f_u := 360 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} := \frac{f_y}{1.0} = 235 \text{ MPa} \quad \gamma_{M2} := 1.25$$

$$E = 210 \text{ GPa} \quad \beta_w := 0.8 \quad G = 81 \text{ GPa}$$

- Materiálové charakteristiky (šroub 8.8):

$$n := 2 \quad f_{ub} := 800 \text{ MPa} \quad f_{yb} := 640 \text{ MPa}$$

- Navržené rozteče:

$$e_1 := 61 \text{ mm} \quad e_2 := 22 \text{ mm}$$

$$p_1 := 40 \text{ mm} \quad p_2 := 44 \text{ mm}$$

Rozhodující normálová síla (KZ59): $N_{Ed} := 41.52 \text{ kN}$

- MSÚ:

únosnost šroubu ve střihu:

$$F_{v,Rd} := \frac{0.6 A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 60.288 \text{ kN} \quad (\text{smyková rovina prochází závitem})$$

Únosnost šroubu v otlacení:

-tloušťka připojovacího plechu: $t := 8 \text{ mm}$

-tloušťka styčnickového plechu: $t := 8 \text{ mm}$

rozhodující tloušťka: $t := \min(t, t) = 8 \text{ mm}$

$$a_b := \min\left(\frac{e_1}{3 d_0}, \frac{f_{ub}}{f_u}\right) = 1.13 \quad k_1 := \min\left(\frac{2.8 e_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right) = 1.722$$

$$F_{b,Rd} := \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 71.718 \text{ kN}$$

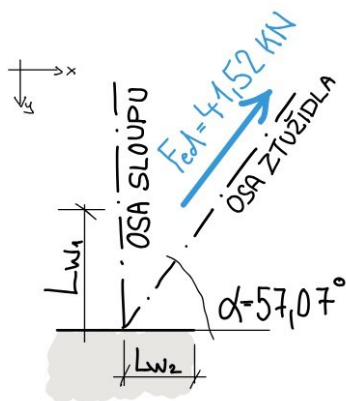
Posouzení:

$$2 \cdot \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd}) = 120.576 \text{ kN} > N_{Ed} = 41.52 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

17.2.2 NÁVRH A POSOUZENÍ KOUTOVÉHO SVARU (styčnickový plech - stojina, patní plech)

- NÁVRH SVARU: $a_w := 4 \text{ mm}$



$$F := N_{Ed} = 41.52 \text{ kN}$$

$$F_x := \cos(57.07^\circ) \cdot F = 22.571 \text{ kN}$$

$$F_y := \sin(57.07^\circ) \cdot F = 34.849 \text{ kN}$$

$$L_{w1} := 207 \text{ mm} \quad L_{w2} := 81 \text{ mm}$$

obr. 131 - schéma styčnicku

- Únosnost koutových svarů:

- únosnost svaru po délce L_{w1}

- únosnost svaru po délce L_{w2}

$$\underline{\sigma}_\perp := 0 \text{ MPa} \quad \underline{\tau}_\perp := 0 \text{ MPa}$$

$$\underline{\sigma}_\perp := 0 \text{ MPa} \quad \underline{\tau}_\perp := 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel,1} := \frac{F_y}{2 \cdot a_w \cdot L_{w1}} = 21.044 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel,2} := \frac{F_x}{2 \cdot a_w \cdot L_{w2}} = 34.832 \text{ MPa}$$

- pozn.: Výsledná únosnost je stanovena jako součet dílčích únosností na různé délky svaru

$$\tau_{\parallel} := \tau_{\parallel,1} + \tau_{\parallel,2} = 55.876 \text{ MPa}$$

- **Posouzení:**

$$\sqrt{\sigma_\perp^2 + 3(\tau_{\parallel}^2)} = 96.78 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 360 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\sqrt{\sigma_\perp^2 + 3(\tau_{\parallel}^2)} = 96.78 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 288 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

17.2.3. NÁVRH A POSOUZENÍ KOUTOVÉHO SVARU (připojovací plech - ztužidlo)

- NÁVRH SVARU: $a_w := 3 \text{ mm}$, $L_w := 50 \text{ mm}$

Rozhodující normálová síla (KZ59): $N_{Ed} := 41.52 \text{ kN} \Rightarrow F := N_{Ed}$

- Únosnost koutových svarů:

$$\sigma_{\perp} := 0 \text{ MPa} \quad \tau_{\perp} := 0 \text{ MPa} \quad \tau_{\parallel} := \frac{F}{4 \cdot a_w \cdot L_w} = 69.2 \text{ MPa}$$

- Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 119.858 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 360 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

17.2.4. NÁVRH A POSOUZENÍ KOUTOVÉHO SVARU (sloup - patní plech)

Rozhodující vnitřní síly:

Maximální tlaková síla v patě sloupu (KZ59)

$$N_{Ed.tlak} := 105.34 \text{ kN}$$

Maximální tahová síla v patě sloupu (KZ53)

$$N_{Ed.tah} := 37.35 \text{ kN}$$

Minimální vlastní tíha konstrukce (KZ2)

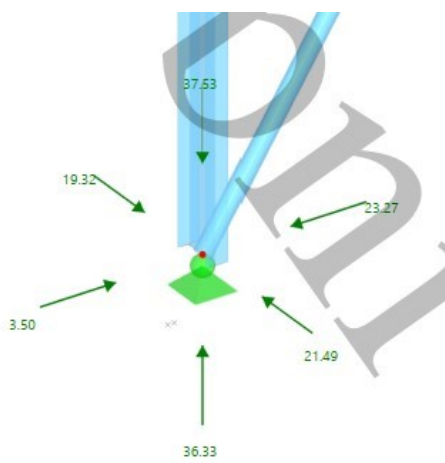
$$N_{min.Ed} := 16.71 \text{ kN}$$

Posouvající síla ve směru x v patě sloupu (KZ59)

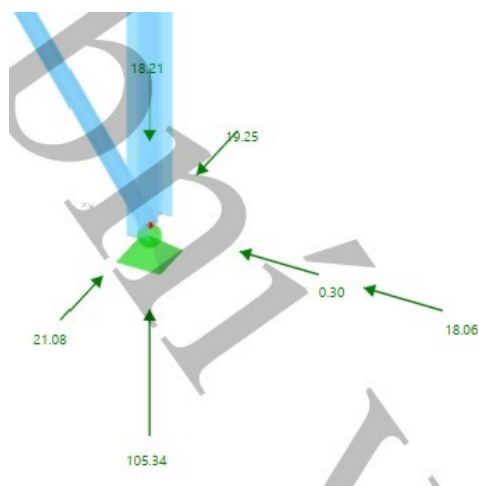
$$V_{Ed.x} := 23.27 \text{ kN}$$

Posouvající síla ve směru y v patě sloupu (KZ53)

$$V_{Ed.y} := 21.49 \text{ kN}$$

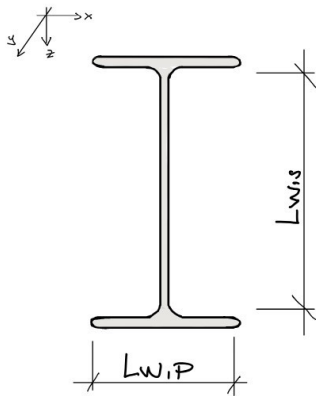


obr. 132 - výsledné reakce z obálky kombinací zatížení - sloup osa 3



obr. 133 - výsledné reakce z obálky kombinací zatížení - sloup osa 4

- NÁVRH SVARU: $a_w := 4 \text{ mm}$



$$F_x := V_{Ed,x} = 23.27 \text{ kN}$$

$$F_y := V_{Ed,y} = 21.49 \text{ kN}$$

$$F_z := N_{Ed,tah} = 37.35 \text{ kN}$$

$$L_{w,s} := 298.6 \text{ mm}$$

$$L_{w,p} := 170 \text{ mm}$$

$$L_{w,celek} := 4 L_{w,p} + 2 \cdot L_{w,s} = 1277.2 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\perp} := \frac{F_z}{\sqrt{2} a_w \cdot L_{w,celek}} = 5.17 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} := \frac{F_z}{\sqrt{2} a_w \cdot L_{w,celek}} = 5.17 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel,x} := \frac{F_x}{4 \cdot a_w \cdot L_{w,p}} = 8.555 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel,y} := \frac{F_y}{2 \cdot a_w \cdot L_{w,s}} = 8.996 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} := \max(\tau_{\parallel,x}, \tau_{\parallel,y}) = 8.996 \text{ MPa}$$

obr. 134 - schéma svaru

- Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 18.7 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 360 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 18.7 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 288 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

17.2.5. NÁVRH A POSOUZENÍ PATKY

- Materiálové charakteristiky:

ocel S235:

$$f_y := 235 \text{ MPa} \quad f_{yd} := \frac{f_y}{1.0} = 235 \text{ MPa}$$

beton C20/25 B500B:

$$f_{ck} := 20 \text{ MPa} \quad f_{cd} := \frac{f_{ck}}{1.5} = 13.333 \text{ MPa} \quad \gamma_G := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

- Návrh rozměrů patky:

$$a_1 := 1150 \text{ mm} \quad b_1 := 1150 \text{ mm} \quad h := 800 \text{ mm}$$

- Únosnost zeminy:

$$R_d := 300 \text{ kPa}$$

- pozn.: Únosnost zeminy byla odhadnuta, nebyl proveden geologický průzkum

- Vlastní tíha patky:

$$G_{0,d} := 1.35 \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot h \cdot \gamma_G = 35.708 \text{ kN}$$

- Rozměr patního plechu:

$$a_0 := 380 \text{ mm} \quad b_0 := 190 \text{ mm} \quad t := 15 \text{ mm}$$

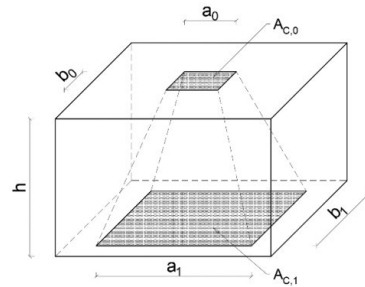
- Stanovení návrhové únosnosti patky v tlaku:
započitatelné rozměry patky

$$a_1 := \min(3 \cdot a_0, a_0 + h, a_1) = 1.14 \text{ m}$$

$$b_1 := \min(3 \cdot b_0, b_0 + h, b_1) = 0.57 \text{ m}$$

$$A_{c,0} := a_0 \cdot b_0 = 0.072 \text{ m}^2$$

$$A_{c,1} := a_1 \cdot b_1 = 0.65 \text{ m}^2$$



obr. 135 - rozměry patky

návrhová pevnost betonu v uložení

$$f_{Rdu} := f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{A_{c,1}}{A_{c,0}}} = 40 \text{ MPa} \leq 3.0 \cdot f_{cd} = 40 \text{ MPa}$$

návrhová pevnost betonu

$$\beta_j := \frac{2}{3}$$

$$f_{jd} := \beta_j \cdot f_{Rdu} = 26.667 \text{ MPa}$$

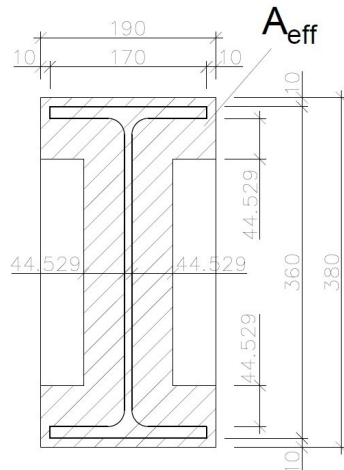
účinná šířka patního plechu:

$$c := t \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{jd}}} = 44.529 \text{ mm}$$

efektivní plocha:

$$A_{eff} := 49378.84 \text{ mm}^2$$

- pozn.: Naměřeno v programu AutoCAD)



obr. 136 - efektivní plocha

- Posouzení patního plechu v tlaku:

$$N_{Rd} := A_{eff} \cdot f_{jd} = 1316.769 \text{ kN} \geq N_{Ed,tlak} = 105.34 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

- Posouzení patky v tlaku:

$$\sigma := \frac{N_{Ed,tlak} + G_{0,d}}{A_{c,1}} = 217.063 \text{ kPa} \leq R_d = 300 \text{ kPa}$$

VYHOVUJE

17.1.6. NÁVRH A POSOUZENÍ SMYKOVÉ ÚNOSNOSTI PATKY

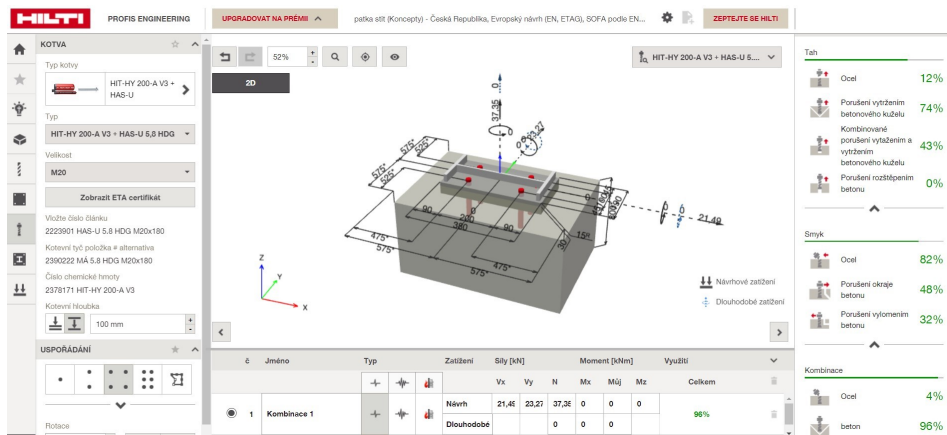
Smyková únosnost důsledkem tření:

$$V_{Rd} := 0.2 \cdot N_{min,Ed} = 3.342 \text{ kN} < V_{Ed,x} = 23.27 \text{ kN}$$

NEVYHOVUJE

=> Únosnost díky tření nestačí, je potřeba navrhnout kotevní šrouby, navíc v patce vzniká tahová síla od příčného větru v kombinaci zatížení KZ45. Dále se přes stěnové ztužidlo přenesou nová vodorovná síla, v patce tak vznikají dvě vodorovné reakce v rozdílném směru.

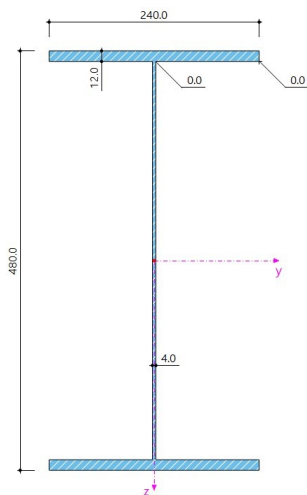
=> Navrhují 4x HIT-HY 200-A V3+HAS-U5.8 HDG M20 180mm



obr. 137 - pouzení kotevních šroubů (více viz příloha 2.2.)

17.3. NÁVRH MONTÁŽNÍHO PŘÍPOJE VAZNÍK-VAZNÍK

17.3.1 SCHÉMA MONTÁŽNÍHO SPOJE A ROZHODUJÍCÍ VNITŘNÍ SÍLY



- Materiálové charakteristiky (S235):

$$f_y := 235 \text{ MPa} \quad f_u := 360 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} := \frac{f_y}{1.0} = 235 \text{ MPa} \quad \gamma_{M2} := 1.25$$

$$E = 210 \text{ GPa} \quad \beta_w := 0.8 \quad G = 81 \text{ GPa}$$

- Průřezové charakteristiky:

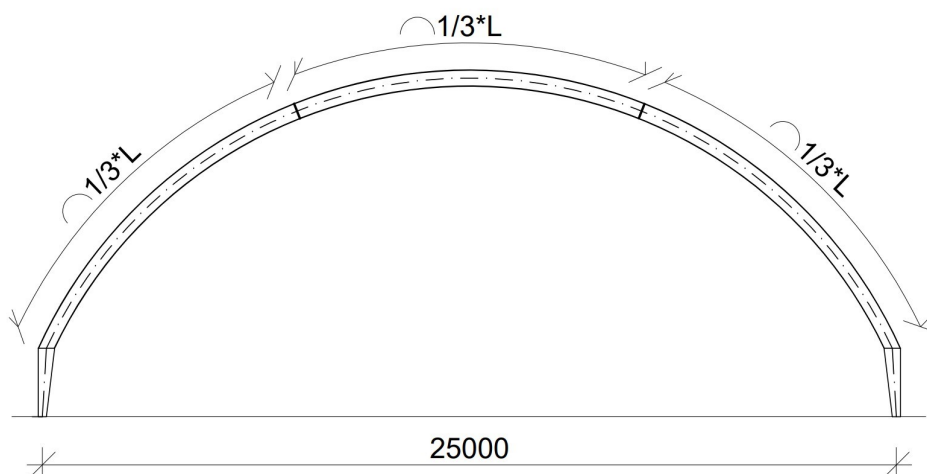
$$b := 240 \text{ mm} \quad A_{eff} := 6569.18 \text{ mm}^2$$

$$h := 480 \text{ mm} \quad I_{y,eff} := 345495986.33 \text{ mm}^4$$

$$t_w := 4 \text{ mm} \quad W_{y,eff} := 1428932.2 \text{ mm}^3$$

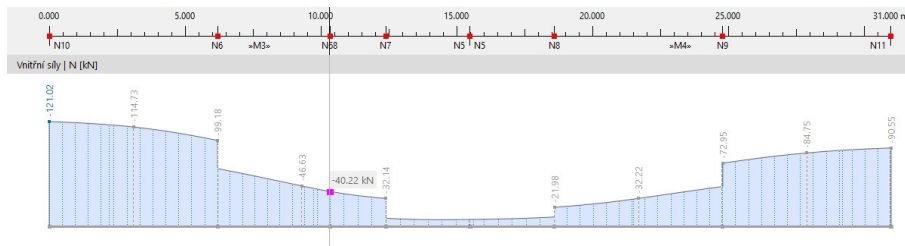
$$t_f := 12 \text{ mm}$$

obr. 138 - průřez vazníku

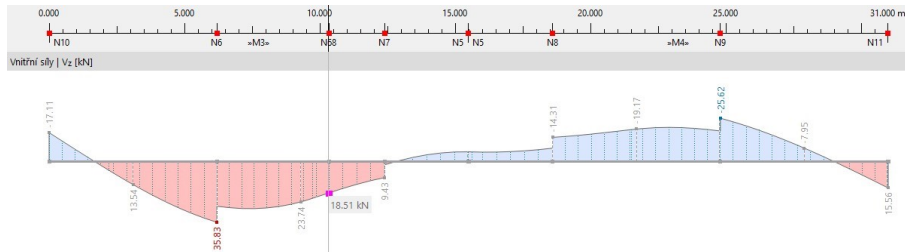


obr. 139 - schéma umístění montážních spojů ve třetinách vazníku

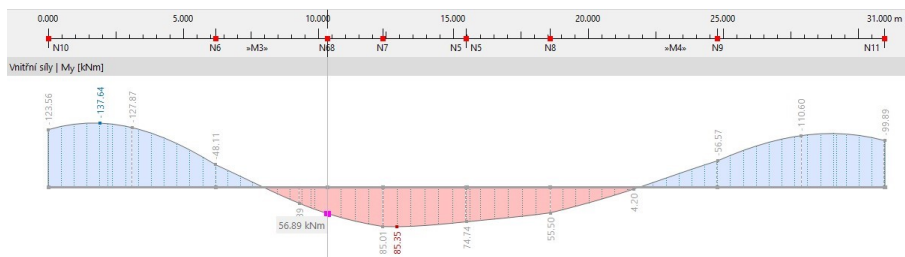
Normálová síla N [kN] - KZ42



Posouvající síla V_z [kN] - KZ42



Ohybový moment M_y [kNm] - KZ42



Rozhodující vnitřní síly (KZ42): $M_{Ed} := 56.89 \text{ kN} \cdot \text{m}$ $N_{Ed} := 40.22 \text{ kN}$ $V_{Ed} := 18.51 \text{ kN}$

17.3.2 NÁVRH A POSOUZENÍ SVARŮ

- Svar čelní desky a tažené pásnice vazníku:

$$a_1 \leq \frac{t_f}{2} \left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right) \cdot \left(\frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}{\frac{f_u}{\sqrt{2}}} \right) = 5.539 \text{ mm} \Rightarrow a_1 := 6 \text{ mm}$$

- Svar čelní desky a tlačené pásnice vazníku:

- pozn.: V místě spoje tlačené pásnice a čelní desky bude proveden tupý svar z důvodu nemožného přesahu čelní desky s ohledem na připojení trapézového plechu

- Svar čelní desky a stojiny vazníku:

$$a_3 \leq \frac{t_w}{2} \left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right) \cdot \left(\frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}{\frac{f_u}{\sqrt{2}}} \right) = 1.846 \text{ mm} \Rightarrow a_3 := 4 \text{ mm}$$

17.3.3. NÁVRH ČELNÍ DESKY

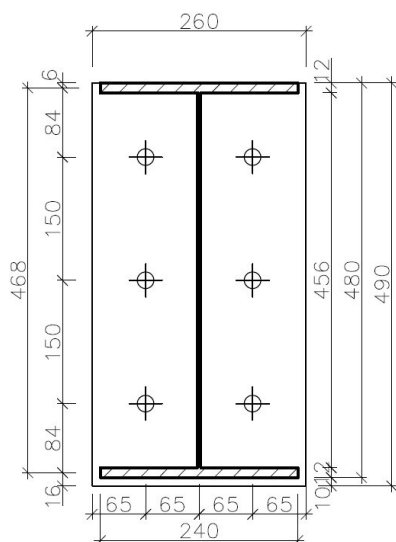
$t_d \sim t_f = 12$ mm - tl. pásnice vazníku

$t_d := 12$ mm

17.3.4. NÁVRH A POSOUZENÍ ŠROUBŮ

17.3.4.1. NÁVRH A ROZMÍSTĚNÍ ŠROUBŮ

- NÁVRH ŠROUBU: 6xM16 8.8



obr. 140 - schéma rozmístění šroubů

- Průřezové charakteristiky:

$$A_s := 157 \text{ mm}^2 \quad d := 16 \text{ mm} \quad d_0 := 18 \text{ mm}$$

- Materiálové charakteristiky (šroub 8.8):

$$f_{ub} := 800 \text{ MPa} \quad f_{yb} := 640 \text{ MPa}$$

- Minimální rozteče:

$$e_1 := 22 \text{ mm} \quad e_2 := 22 \text{ mm} \\ p_1 := 40 \text{ mm} \quad p_2 := 44 \text{ mm}$$

- Navržené rozteče:

$$e_1 := 65 \text{ mm} \quad e_2 := 84 \text{ mm} \\ p_1 := 65 \text{ mm} \quad p_2 := 150 \text{ mm}$$

- Maximální rozteče:

$$e_1 := 150 \text{ mm} \quad e_2 := 150 \text{ mm} \\ p_1 := 150 \text{ mm} \quad p_2 := 150 \text{ mm}$$

17.3.4.2. SMYKOVÁ ÚNOSNOST

- Výpočet 1. řady šroubů:

Pro přenos smykové síly se použije vrchní (první) řada šroubů, která konzervativně nebude uvažována pro výpočet momentové únosnosti únosnost šroubu ve střihu:

$$F_{v.Rd} := \frac{0.6 A_s \cdot f_{ub}}{Y_{M2}} = 60.288 \text{ kN} \quad (\text{smyková rovina prochází závitem})$$

únosnost šroubu v otláčení:

-tloušťka styčnickového plechu: $t := 12$ mm

$$\alpha_b := \min\left(\frac{e_1}{3 d_0}, \frac{f_{ub}}{f_u}\right) = 2.222 \quad k_1 := \min\left(\frac{2.8 e_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right) = 2.5$$

$$F_{b.Rd} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{Y_{M2}} = 307.2 \text{ kN}$$

- Posouzení:

$$2 \cdot \min(F_{v.Rd}, F_{b.Rd}) = 120.576 \text{ kN} > V_{Ed} = 18.51 \text{ kN}$$

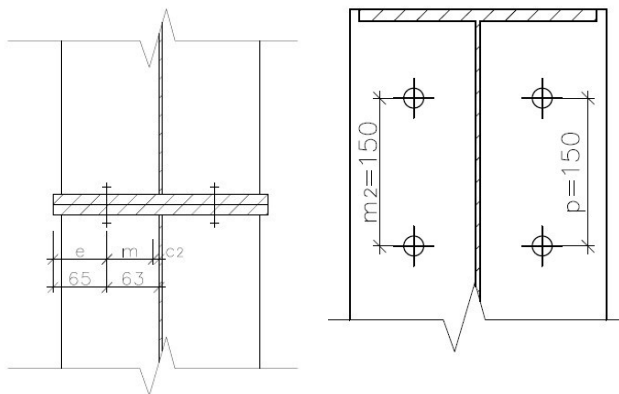
VYHOVUJE

17.3.4.3 NÁVRH A POSOUZENÍ ŠROUBŮ V TAHU

- Únosnost jednoho šroubu v tahu:

$$F_{t.Rd} := \frac{0.9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{Y_{M2}} = 90.432 \text{ kN}$$

- Výpočet 2. řady šroubů:



obr. 141 a 142 - schéma roztečí 2. řady šroubů

$$m_2 := 150 \text{ mm}$$

$$c_2 := 0.8 \cdot a_3 \cdot \sqrt{2} = 4.525 \text{ mm}$$

$$m := 63 \text{ mm} - c_2 = 58.475 \text{ mm}$$

$$e := 65 \text{ mm} \quad p := 150 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 := \frac{m}{m+e} = 0.474$$

$$\lambda_2 := \frac{m_2}{m+e} = 1.215$$

$$t_{fc} := t_d = 12 \text{ mm}$$

$$n := \min(e, 1.25 m) = 65 \text{ mm}$$

- Výpočet efektivní šířky náhradního T-průřezu:

řada šroubů působí samostatně

kruhové porušení:

$$l_{eff,cp} := 2 \cdot \pi \cdot m = 367.406 \text{ mm}$$

nekruhové porušení:

$$l_{eff,nc} := 4 \cdot m + 1.25 \cdot e = 315.148 \text{ mm}$$

řada šroubů působí jako součást skupiny

kruhové porušení:

$$l_{eff,cp} := 2 p = 300 \text{ mm}$$

nekruhové porušení:

$$l_{eff,nc} := p = 150 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1} := \min(\min(l_{eff,cp}), \min(l_{eff,nc})) = 150 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} := l_{eff,nc} = 150 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1.Rd} := \frac{1}{4} \cdot l_{eff,1} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{Y_{M0}} = 1.269 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{pl,2.Rd} := \frac{1}{4} \cdot l_{eff,2} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{Y_{M0}} = 1.269 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- Návrhová únosnost první řady šroubů:

posouzení dle třech 3 způsobů porušení:

1. způsob porušení - plastický mechanismus (4 plastické klouby)

$$F_{t.a.Rd} := \frac{4 \cdot M_{pl.1.Rd}}{m} = 86.807 \text{ kN}$$

2. způsob porušení - plastický mechanismus páčení (2 plastické klouby + porušení šroubů v tahu)

$$F_{t.b.Rd} := \frac{2 \cdot M_{pl.2.Rd} + n \cdot 2 \cdot F_{t.Rd}}{m + n} = 115.766 \text{ kN}$$

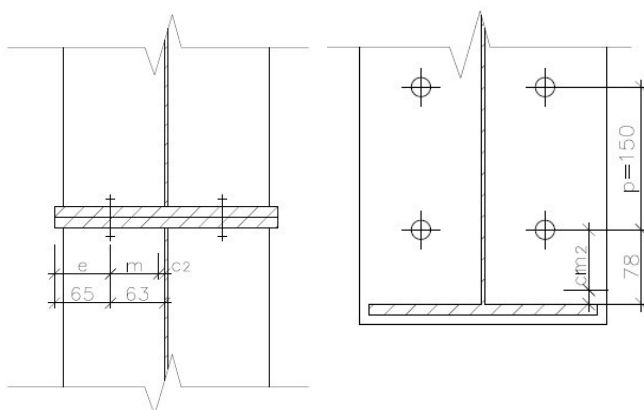
3. způsob porušení - porušení šroubů v tahu

$$F_{t.c.Rd} := 2 \cdot F_{t.Rd} = 180.864 \text{ kN}$$

únosnost první řady odpovídá způsobu porušení s nejnižší únosností:

$$F_{t.2.Rd} := \min(F_{t.a.Rd}, F_{t.b.Rd}, F_{t.c.Rd}) = 86.807 \text{ kN}$$

- Výpočet 3. řady šroubů:



$$c_1 := 0.8 a_1 \cdot \sqrt{2} = 6.788 \text{ mm}$$

$$m_2 := 78 \text{ mm} - c_1 = 71.212 \text{ mm}$$

$$c_2 := 0.8 \cdot a_3 \cdot \sqrt{2} = 4.525 \text{ mm}$$

$$m := 63 \text{ mm} - c_2 = 58.475 \text{ mm}$$

$$e := 65 \text{ mm} \quad p := 150 \text{ mm}$$

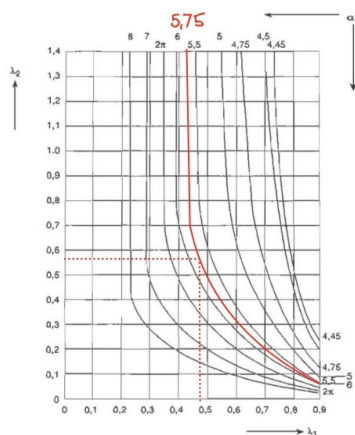
$$\lambda_1 := \frac{m}{m + e} = 0.474$$

$$\lambda_2 := \frac{m_2}{m + e} = 0.577$$

$$t_{fc} := t_d = 12 \text{ mm}$$

$$n := \min(e, 1.25 m) = 65 \text{ mm}$$

obr. 143 a 144 - schéma roztečí 3. řady šroubů



$$\alpha := 5.75$$

obr. 145 - graf pro součinitel α

- Výpočet efektivní šířky náhradního T-průřezu:

řada šroubů působí samostatně

kruhové porušení:

$$l_{eff,cp} := 2 \cdot \pi \cdot m = 367.406 \text{ mm}$$

nekruhové porušení:

$$l_{eff,nc} := \alpha \cdot m = 336.228 \text{ mm}$$

řada šroubů působí jako součást skupiny

kruhové porušení:

$$l_{eff,cp} := \pi \cdot m + p = 333.703 \text{ mm}$$

nekruhové porušení:

$$l_{eff,nc} := 0.5 p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0.625 \cdot e) = 253.654 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1} := \min(\min(l_{eff,cp}), \min(l_{eff,nc})) = 253.654 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} := l_{eff,nc} = 253.654 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} := \frac{1}{4} \cdot l_{eff,1} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 2.146 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} := \frac{1}{4} \cdot l_{eff,2} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 2.146 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- Návrhová únosnost první řady šroubů:

posouzení dle třech 3 způsobů porušení:

1. způsob porušení - plastický mechanismus (4 plastické klouby)

$$F_{t,a,Rd} := \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = 146.793 \text{ kN}$$

2. způsob porušení - plastický mechanismus páčení (2 plastické klouby + porušení šroubů v tahu)

$$F_{t,b,Rd} := \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot 2 \cdot F_{t,Rd}}{m + n} = 129.97 \text{ kN}$$

3. způsob porušení - porušení šroubů v tahu

$$F_{t,c,Rd} := 2 \cdot F_{t,Rd} = 180.864 \text{ kN}$$

únosnost první řady odpovídá způsobu porušení s nejnižší únosností:

$$F_{t,3,Rd} := \min(F_{t,a,Rd}, F_{t,b,Rd}, F_{t,c,Rd}) = 129.97 \text{ kN}$$

17.3.5 ÚNOSNOST ZÁKLADNÍCH KOMPONENT

- Únosnost pásnice vazníku v tlaku:

$$W_{y,eff} := 1428932.2 \text{ mm}^3 \quad h := 480 \text{ mm} \quad t_f := 12 \text{ mm}$$

$$F_{c.fb.Rd} := \frac{W_{y,eff} \cdot f_y}{(h - t_f) \cdot \gamma_{M0}} = 717.519 \text{ kN} \geq F_{t.i.Rd} := F_{t.2.Rd} + F_{t.3.Rd} = 216.777 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

=> podmínka je splněna, není nutné redukovat řady tažených šroubů

17.3.6 ROZDĚLENÍ SIL A MOMENTOVÉ ÚNOSNOSTI

- Podmínka pro plastické uvažování rozdělení sil:

- pozn.: V tomto případě má největší únosnost 3. řada

$$F_{t.3.Rd} = 129.97 \text{ kN} \leq 1.9 \cdot F_{t.Rd} = 171.821 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

- Ověření únosnosti styčnicku namáhaným osovou silou:

$$N_{Ed} = 40.22 \text{ kN} \quad A_{eff} := 6569.18 \text{ mm}^2$$

$$N_{pl.Rd} := \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 1543.757 \text{ kN}$$

$$0.1 \cdot N_{pl.Rd} = 154.376 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 40.22 \text{ kN}$$

VYHOVUJE => osovou sílu lze zanedbat

- Tab. 17.1 - Únosnosti jednotlivých řad šroubů

Řada	Únosnost řady	Síla pro M_{Rd}	rameno h_i	
1	$F_{t,1,rd} = 129,97 \text{ kN}$	0 kN	$h_1 = 84 \text{ mm}$	$h_1 := 84 \text{ mm}$
2	$F_{t,2,rd} = 67,709 \text{ kN}$	86,807 kN	$h_2 = 234 \text{ mm}$	$h_2 := 234 \text{ mm}$
3	$F_{t,3,rd} = 129,97 \text{ kN}$	129,97 kN	$h_3 = 384 \text{ mm}$	$h_3 := 384 \text{ mm}$

$$M_{Rd} = \sum F_{ti.Rd} \cdot h_i$$

$$M_{Rd} := F_{t.2.Rd} \cdot h_2 + F_{t.3.Rd} \cdot h_3 = 70.221 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_{Ed} = 56.89 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

VYHOVUJE

17.4. NÁVRH SPOJŮ STŘEŠNÍHO ZTUŽIDLA

17.4.1. NÁVRH A POSOUZENÍ ŠROUBOVÉHO SPOJE (diagonála)

- NÁVRH ŠROUBU: 2xM16 8.8

- Materiálové charakteristiky (S235):

$$f_y := 235 \text{ MPa} \quad f_u := 360 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} := \frac{f_y}{1.0} = 235 \text{ MPa} \quad \gamma_{M2} := 1.25$$

$$E = 210 \text{ GPa} \quad \beta_w := 0.8 \quad G = 81 \text{ GPa}$$

- Průřezové charakteristiky:

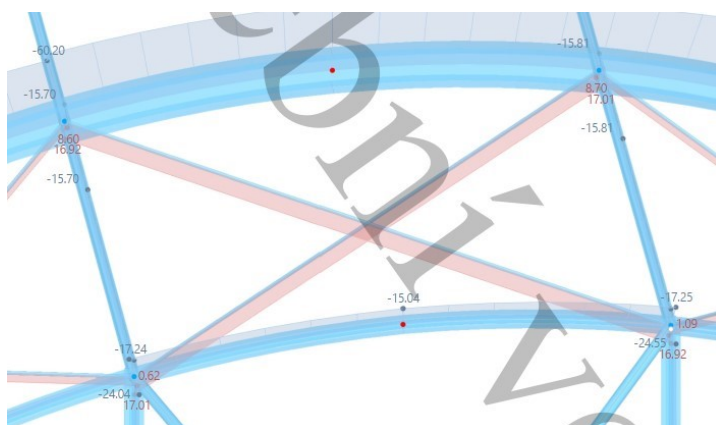
$$A_s := 157 \text{ mm}^2 \quad d := 16 \text{ mm} \\ d_o := 18 \text{ mm}$$

- Navržené rozteče:

$$e_1 := 22 \text{ mm} \quad e_2 := 22 \text{ mm} \\ p_1 := 40 \text{ mm} \quad p_2 := 44 \text{ mm}$$

- Materiálové charakteristiky (šroub 8.8):

$$n := 2 \quad f_{ub} := 800 \text{ MPa} \quad f_{yb} := 640 \text{ MPa}$$



obr. 146 - průběh normálových sil na ztužidle

Rozhodující normálová síla (KZ30): $N_{Ed} := 17.01 \text{ kN}$

- MSÚ:

únosnost šroubu ve stříhu:

$$F_{v,Rd} := \frac{0.6 A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 60.288 \text{ kN} \quad (\text{smyková rovina prochází závitem})$$

únosnost šroubu v otlacení:

-tloušťka připojovacího plechu: $t := 8 \text{ mm}$

-tloušťka styčnickového plechu: $t := 8 \text{ mm}$

rozhodující tloušťka: $t := \min(t, t) = 8 \text{ mm}$

$$\alpha_b := \min\left(\frac{e_1}{3 d_o}, \frac{f_{ub}}{f_u}\right) = 0.407 \quad k_1 := \min\left(\frac{2.8 e_2}{d_o} - 1.7, 2.5\right) = 1.722$$

$$F_{b,Rd} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 25.865 \text{ kN}$$

- Posouzení:

$$2 \cdot \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd}) = 51.731 \text{ kN} > N_{Ed} = 17.01 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

17.4.2. NÁVRH A POSOUZENÍ ŠROUBOVÉHO SPOJE (svislíce)

- NÁVRH ŠROUBU: 2xM16 8.8

- Materiálové charakteristiky (S235):

$$f_y := 235 \text{ MPa} \quad f_u := 360 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} := \frac{f_y}{1.0} = 235 \text{ MPa} \quad \gamma_{M2} := 1.25$$

$$E = 210 \text{ GPa} \quad \beta_w := 0.8 \quad G = 81 \text{ GPa}$$

- Průřezové charakteristiky:

$$A_s := 157 \text{ mm}^2 \quad d := 16 \text{ mm}$$

$$d_0 := 18 \text{ mm}$$

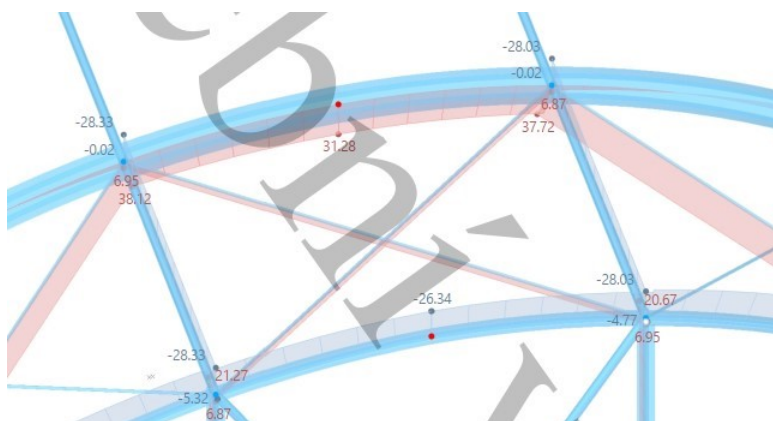
- Navržené rozteče:

$$e_1 := 22 \text{ mm} \quad e_2 := 22 \text{ mm}$$

$$p_1 := 40 \text{ mm} \quad p_2 := 44 \text{ mm}$$

- Materiálové charakteristiky (šroub 8.8):

$$n := 2 \quad f_{ub} := 800 \text{ MPa} \quad f_{yb} := 640 \text{ MPa}$$



obr. 147 - průběh normálových sil na ztuždile

Rozhodující normálová síla (KZ56) $N_{Ed} := 28.33 \text{ kN}$

- MSÚ:

únosnost šroubu ve stříhu:

$$F_{v,Rd} := \frac{0.6 A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 60.288 \text{ kN} \quad (\text{smyková rovina prochází závitem})$$

únosnost šroubu v otláčení:

-tloušťka přípojovacího plechu: $t := 8 \text{ mm}$

-tloušťka styčnickového plechu: $t := 8 \text{ mm}$

rozhodující tloušťka: $t := \min(t, t) = 8 \text{ mm}$

$$\alpha_b := \min\left(\frac{e_1}{3 d_0}, \frac{f_{ub}}{f_u}\right) = 0.407 \quad k_1 := \min\left(\frac{2.8 e_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right) = 1.722$$

$$F_{b,Rd} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 25.865 \text{ kN}$$

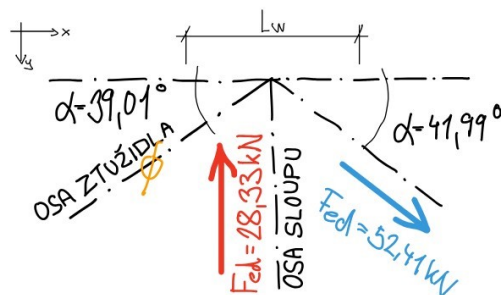
- Posouzení:

$$2 \cdot \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd}) = 51.731 \text{ kN} > N_{Ed} = 28.33 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

17.4.3. NÁVRH A POSOUZENÍ KOUTOVÉHO SVARU (styčnickový plech se stojnou)

- NÁVRH SVARU: $a_w := 3 \text{ mm}$



$$N_{Ed.tah} = F_1 := 52.41 \text{ kN (KZ59)}$$

$$N_{Ed.tlak} = F_2 := 28.33 \text{ kN (KZ56)}$$

$$F_x := \cos(41.99^\circ) \cdot F_1 = 38.954 \text{ kN}$$

$$F_y := \sin(41.99^\circ) \cdot F_1 - F_2 = 6.732 \text{ kN}$$

$$L_w := 280 \text{ mm}$$

obr. 148 - schéma styčnicku

- Únosnost koutových svarů:

$$\sigma_{\perp} := \frac{F_y}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_w \cdot L_w} = 2.834 \text{ MPa} \quad \tau_{\perp} := \frac{F_y}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_w \cdot L_w} = 2.834 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} := \frac{F_x}{2 \cdot a_w \cdot L_w} = 23.187 \text{ MPa}$$

- Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 40.559 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 360 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 40.559 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 288 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

17.4.4. NÁVRH A POSOUZENÍ KOUTOVÉHO SVARU (připojovací plech - svislice)

- NÁVRH SVARU: $a_w := 3 \text{ mm}$, $L_w := 50 \text{ mm}$

Rozhodující normálová síla (KZ56): $N_{Ed} := 28.33 \text{ kN} \Rightarrow F := N_{Ed}$

- Únosnost koutových svarů:

$$\sigma_{\perp} := 0 \text{ MPa} \quad \tau_{\perp} := 0 \text{ MPa} \quad \tau_{\parallel} := \frac{F}{4 \cdot a_w \cdot L_w} = 47.217 \text{ MPa}$$

- Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 81.782 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 360 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 81.782 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 288 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

17.4.5. NÁVRH A POSOUZENÍ KOUTOVÉHO SVARU (připojovací plech - diagonála)

- NÁVRH SVARU: $a_w := 4 \text{ mm}$, $L_w := 50 \text{ mm}$

Rozhodující normálová síla (KZ59): $N_{Ed} := 52.41 \text{ kN} \Rightarrow F := N_{Ed}$

- Únosnost koutových svarů:

$$\underline{\sigma}_I := 0 \text{ MPa} \quad \underline{\tau}_I := 0 \text{ MPa} \quad \underline{\tau}_{II} := \frac{F}{4 \cdot a_w \cdot L_w} = 65.513 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_I^2 + 3(\tau_I^2 + \tau_{II}^2)} = 113.471 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 360 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

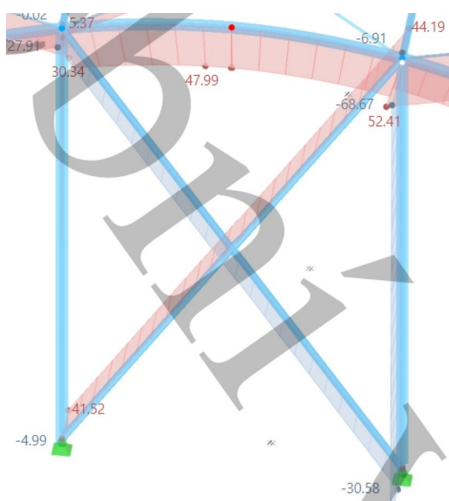
$$\sqrt{\sigma_I^2 + 3(\tau_I^2 + \tau_{II}^2)} = 113.471 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 288 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

17.5. NÁVRH PŘÍPOJE SLOUP-VAZNÍK-ŠTÍTOVÉ ZTUŽIDLO

17.5.1 NÁVRH A POSOUZENÍ ŠROUBOVÉHO SPOJE (ztužidlo - styčnickový plech)

- NÁVRH ŠROUBU: 2xM16 8.8



- Průřezové charakteristiky:

$$A_s := 157 \text{ mm}^2 \quad d := 16 \text{ mm} \quad d_o := 18 \text{ mm}$$

- Materiálové charakteristiky (S235):

$$f_y := 235 \text{ MPa} \quad f_u := 360 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} := \frac{f_y}{1.0} = 235 \text{ MPa} \quad \gamma_{M2} := 1.25$$

$$E = 210 \text{ GPa} \quad \beta_w := 0.8 \quad G = 81 \text{ GPa}$$

- Materiálové charakteristiky (šroub 8.8):

$$n := 2 \quad f_{ub} := 800 \text{ MPa} \quad f_{yb} := 640 \text{ MPa}$$

- Navržené rozteče:

$$e_1 := 61 \text{ mm} \quad e_2 := 22 \text{ mm}$$

$$p_1 := 40 \text{ mm} \quad p_2 := 44 \text{ mm}$$

obr. 149 - průběh normálových sil na ztužidle

Rozhodující normálová síla (KZ59): $N_{Ed} := 44.19 \text{ kN}$

- MSÚ:

únosnost šroubu ve střihu:

$$F_{v.Rd} := \frac{0.6 A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 60.288 \text{ kN} \quad (\text{smyková rovina prochází závitem})$$

únosnost šroubu v otláčení:

- tloušťka připojovacího plechu: $t := 8 \text{ mm}$
- tloušťka styčnickového plechu: $t := 8 \text{ mm}$

rozhodující tloušťka: $t := \min(t, t) = 8 \text{ mm}$

$$\alpha_b := \min\left(\frac{e_1}{3 d_0}, \frac{f_{ub}}{f_u}\right) = 1.13 \quad k_1 := \min\left(\frac{2.8 e_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right) = 1.722$$

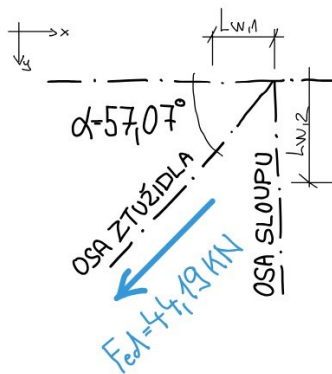
$$F_{b,Rd} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 71.718 \text{ kN}$$

- Posouzení:

$$2 \cdot \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd}) = 120.576 \text{ kN} > N_{Ed} = 44.19 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

17.5.2 NÁVRH A POSOUZENÍ KOUTOVÉHO SVARU (styčnickový plech - stojina - pásnice)

- NÁVRH SVARU: $a_w := 4 \text{ mm}$



$$F := N_{Ed} = 44.19 \text{ kN}$$

$$F_x := \cos(32.93^\circ) \cdot F = 37.09 \text{ kN}$$

$$F_y := \sin(32.93^\circ) \cdot F = 24.022 \text{ kN}$$

$$L_{w1} := 98 \text{ mm}$$

$$L_{w2} := 195 \text{ mm}$$

obr. 150 - schéma styčnicku

- Únosnost koutových svarů:

- únosnost svaru po délce L_{w1}

- únosnost svaru po délce L_{w2}

$$\sigma_{\perp} := 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} := 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} := 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} := 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel,1} := \frac{F_x}{2 \cdot a_w \cdot L_{w1}} = 47.309 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel,2} := \frac{F_y}{2 \cdot a_w \cdot L_{w2}} = 15.399 \text{ MPa}$$

- pozn.: Výsledná únosnost je stanovena jako součet dílčích únosností na různé délky svaru

$$\tau_{\parallel} := \tau_{\parallel,1} + \tau_{\parallel,2} = 62.708 \text{ MPa}$$

- Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 108.613 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 360 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 108.613 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 288 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

17.5.3. NÁVRH A POSOUZENÍ KOUTOVÉHO SVARU (připojovací plech - ztužidlo)

- NÁVRH SVARU: $a_w := 3 \text{ mm}$, $L_w := 50 \text{ mm}$

Rozhodující normálová síla (KZ59): $N_{Ed} := 44.19 \text{ kN} \Rightarrow F := N_{Ed}$

- Únosnost koutových svarů:

$$\sigma_{\perp} := 0 \text{ MPa} \quad \tau_{\perp} := 0 \text{ MPa} \quad \tau_{\parallel} := \frac{F}{4 \cdot a_w \cdot L_w} = 73.65 \text{ MPa}$$

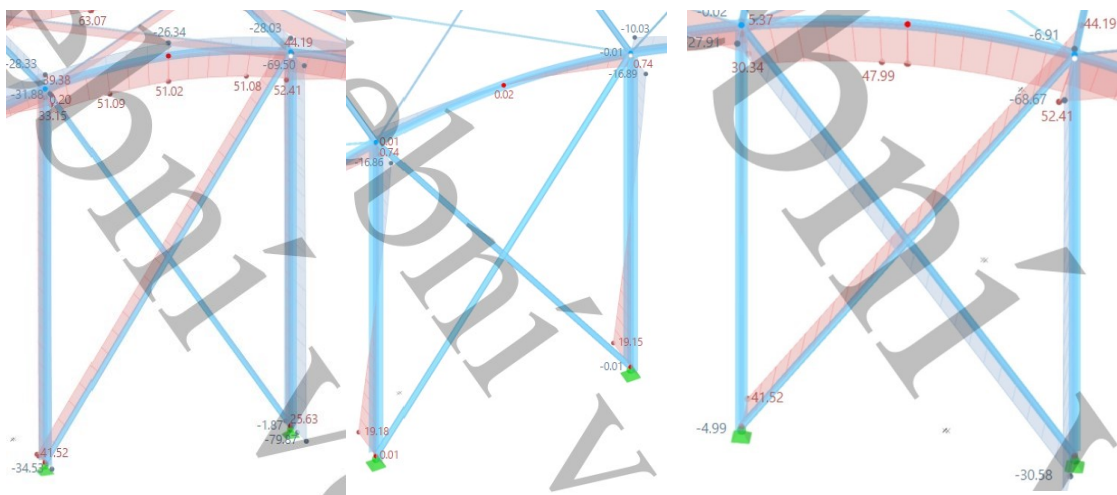
- Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 127.566 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 360 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 127.566 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 288 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

17.5.4. NÁVRH A POSOUZENÍ ŠROUBOVÉHO SPOJE (sloup - styčnickový plech - vazník)

- Průběh vnitřních sil: $N_{Ed.tlak}$ [kN] - KZ55, $V_{Ed.y}$ [kN] - KZ56, $N_{Ed.tah}$ [kN] - KZ59



- NÁVRH ŠROUBU: 2xM16 8.8

- Průřezové charakteristiky:

$$A_s := 157 \text{ mm}^2 \quad d := 16 \text{ mm} \quad d_o := 18 \text{ mm}$$

- Materiálové charakteristiky (S235):

$$f_y := 235 \text{ MPa} \quad f_u := 360 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} := \frac{f_y}{1.0} = 235 \text{ MPa} \quad \gamma_{M2} := 1.25$$

$$E = 210 \text{ GPa} \quad \beta_w := 0.8 \quad G = 81 \text{ GPa}$$

- Navržené rozteče:

$$e_1 := 45 \text{ mm}$$

$$p_1 := 52 \text{ mm}$$

$$e_2 := 140 \text{ mm}$$

$$p_2 := 100 \text{ mm}$$

- Materiálové charakteristiky (šroub 8.8):

$$n := 2 \quad f_{ub} := 800 \text{ MPa} \quad f_{yb} := 640 \text{ MPa}$$

Rozhodující posouvající síla (KZ56): $V_{Ed} := 16.89 \text{ kN}$

Rozhodující normálová síla (KZ59): $N_{Ed} := F_x = 37.09 \text{ kN}$ (tahová síla od ztužidla)

$$\text{Celková rozhodující síla } V_{Ed} := \sqrt{V_{Ed}^2 + N_{Ed}^2} = 40.755 \text{ kN}$$

- MSÚ:

únosnost šroubu ve stříhu:

$$F_{v.Rd} := \frac{0.6 A_s \cdot f_{ub}}{Y_{M2}} = 60.288 \text{ kN} \quad (\text{smyková rovina prochází závitem})$$

únosnost šroubu v otláčení:

$$\text{-tloušťka připojovacího plechu: } t := 10 \text{ mm}$$

$$\text{-tloušťka pásnice vazníku: } t_f := 9 \text{ mm}$$

$$\text{rozhodující tloušťka: } t := \min(t, t_f) = 9 \text{ mm}$$

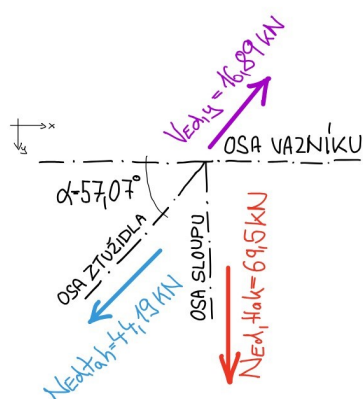
$$\alpha_b := \min\left(\frac{e_1}{3 d_0}, \frac{f_{ub}}{f_u}\right) = 0.833 \quad k_1 := \min\left(\frac{2.8 e_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right) = 2.5$$

$$F_{b.Rd} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{Y_{M2}} = 86.4 \text{ kN}$$

- Posouzení:

$$2 \cdot \min(F_{v.Rd}, F_{b.Rd}) = 120.576 \text{ kN} > V_{Ed} = 40.755 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

17.5.5. NÁVRH A POSOUZENÍ KOUTOVÉHO SVARU (sloup - styčnickový plech - vazník)



Rozhodující vnitřní síly:

Maximální tlaková síla ve vrcholu sloupu (KZ55)

$$N_{Ed.tlak} := 69.5 \text{ kN}$$

Posouvající síla ve směru y v patě sloupu (KZ56)

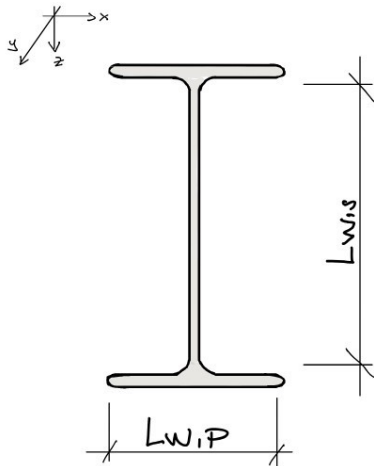
$$V_{Ed,y} := 16.89 \text{ kN}$$

Maximální normálová síla ve ztužidle (KZ59)

$$N_{Ed.tah} := 44.19 \text{ kN}$$

obr. 151 - schéma styčnicku

- NÁVRH SVARU: $a_w := 4 \text{ mm}$



obr. 152 - schéma svaru

$$F_x := \cos(57.07^\circ) \cdot N_{Ed.tah} = 24.022 \text{ kN}$$

$$F_y := V_{Ed.y} = 16.89 \text{ kN}$$

$$F_z := \sin(57.07^\circ) \cdot N_{Ed.tah} + N_{Ed.tlak} = 106.59 \text{ kN}$$

$$L_{w,s} := 298.6 \text{ mm} \quad L_{w,p} := 170 \text{ mm}$$

$$L_{w,cek} := 4 L_{w,p} + 2 \cdot L_{w,s} = 1277.2 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\perp} := \frac{F_z}{\sqrt{2} a_w \cdot L_{w,cek}} = 14.753 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} := \frac{F_z}{\sqrt{2} a_w \cdot L_{w,cek}} = 14.753 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel,x} := \frac{F_x}{4 \cdot a_w \cdot L_{w,p}} = 8.832 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel,y} := \frac{F_y}{2 \cdot a_w \cdot L_{w,s}} = 7.07 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} := \max(\tau_{\parallel,x}, \tau_{\parallel,y}) = 8.832 \text{ MPa}$$

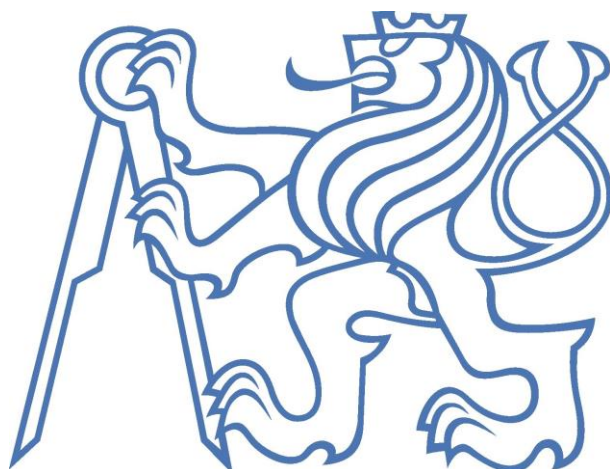
- Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 33.236 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 360 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 33.236 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 288 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



Ocelová konstrukce sportovní haly s obloukovým vazníkem

Výkresová dokumentace

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

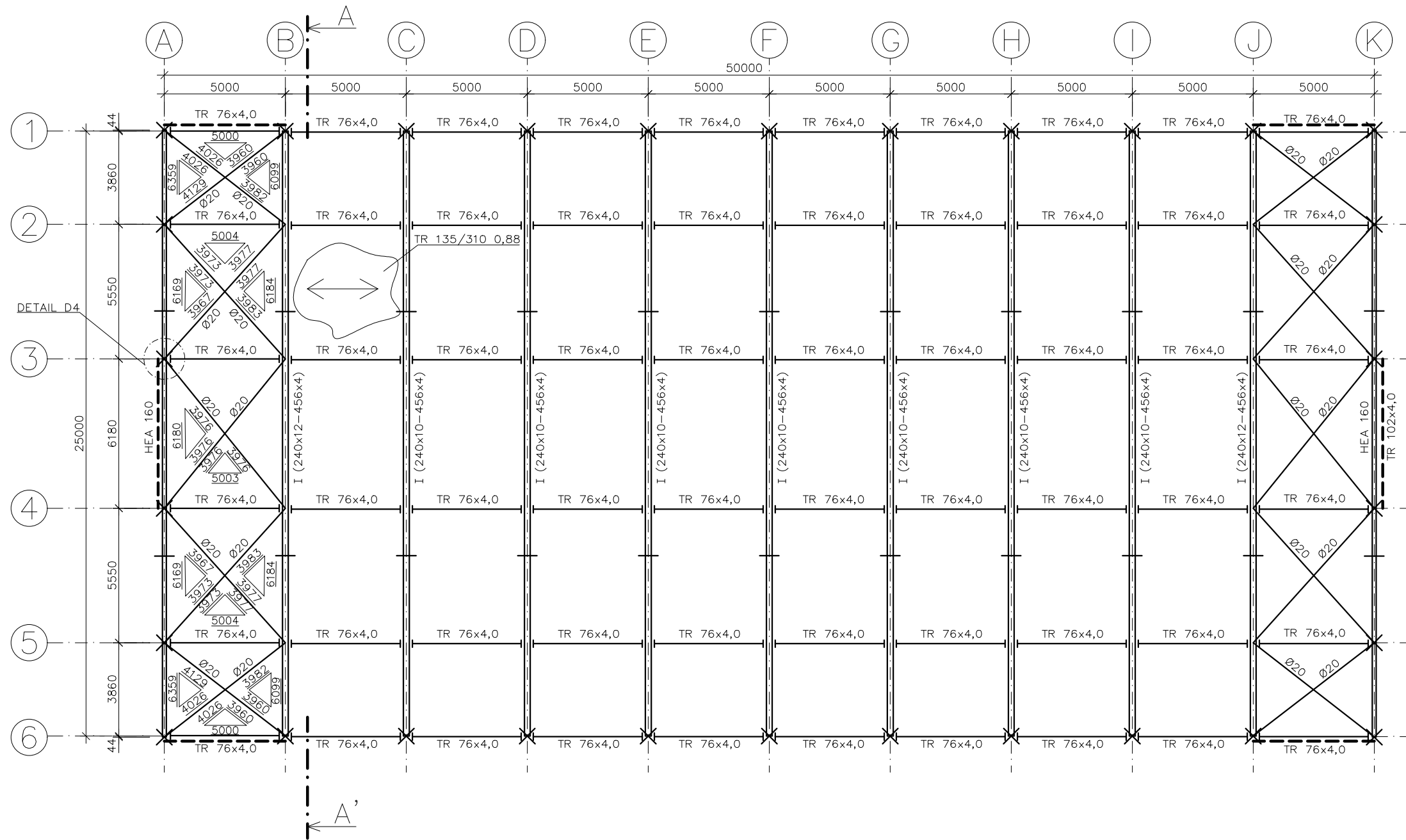
Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Pozemní stavby

Vedoucí práce: prof. Ing. Michal Jandera, Ph.D.

ŠIMON ŠPAČEK
Praha, 2024

PŮDORYS



PLECH S320GD

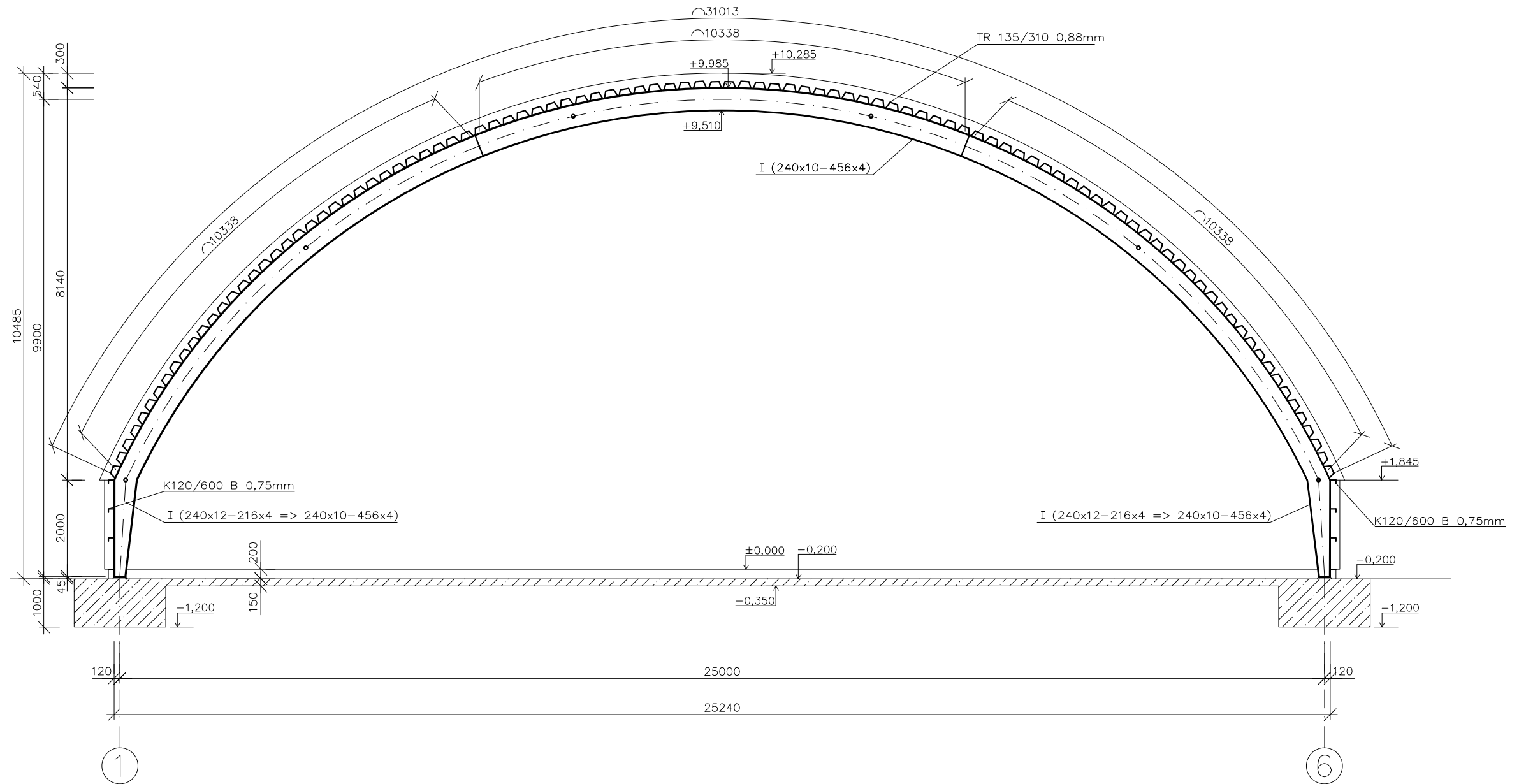
OCEL: S235 JR

BETON C20/25

TŘÍDA PROVEDENÍ EXC2

Zpracoval Šimon Špaček	Vyučující prof. Ing. Michal Jandera Ph.D	Školní rok 2023/2024	Fakulta stavební ČVUT	
Předmět 134BAPC			Měřítko 1:200	
Výkres SPORTOVNÍ HALA S OBLOUKOVÝM VAZNÍKEM - půdorys střechy			Číslo výkresu 1	

PŘÍČNÝ ŘEZ




PLECH 320GD

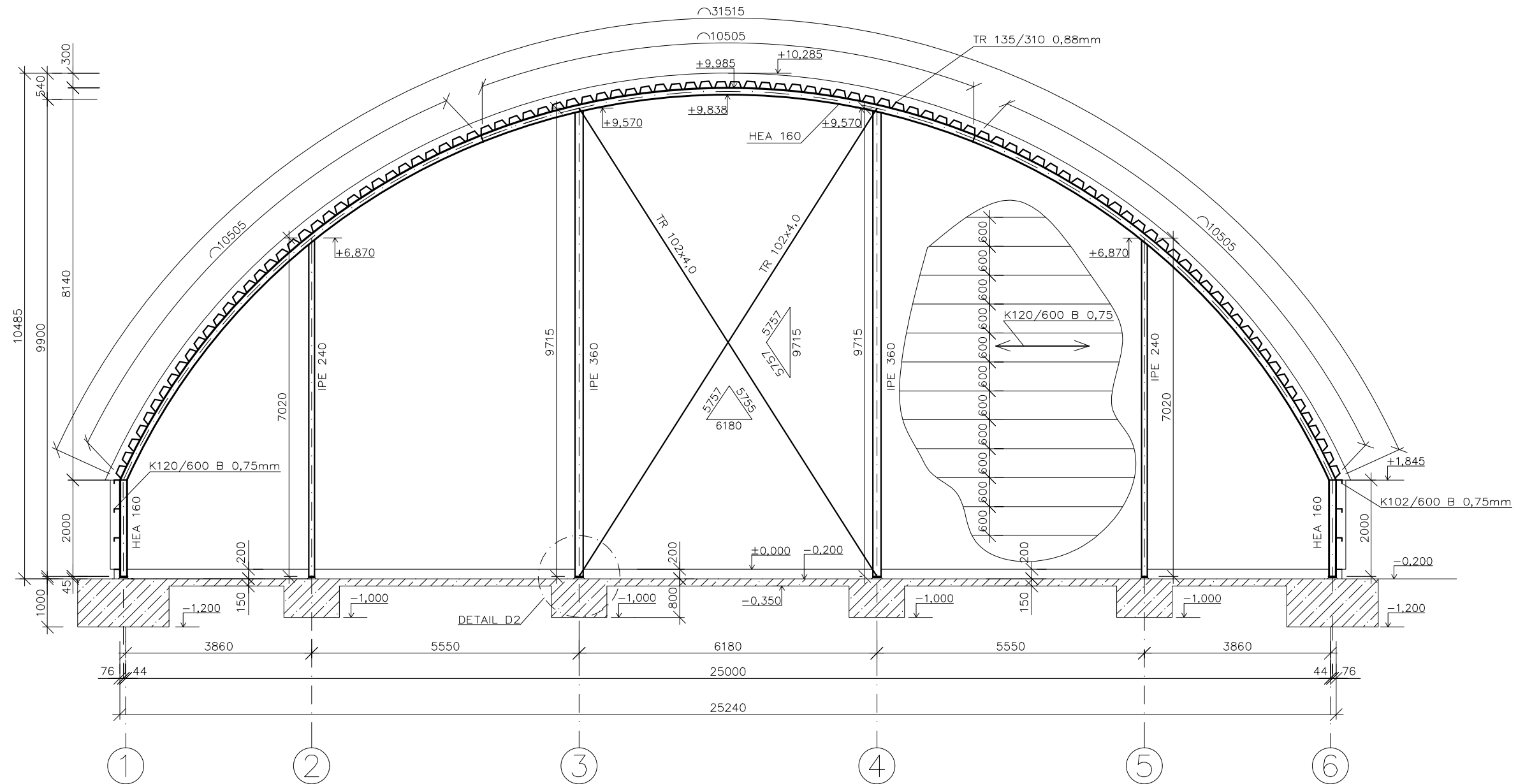
OCEL: S235 JR

BETON C20/25

TŘÍDA PROVEDENÍ EXC2

Zpracoval Šimon Špaček	Vyučující prof. Ing. Michal Jandera Ph.D	Školní rok 2023/2024	Fakulta stavební ČVUT 	
Předmět 134BAPC			Měřítko 1:100	
Výkres SPORTOVNÍ HALA S OBLOUKOVÝM VAZNÍKEM - příčný řez			Číslo výkresu 2	

POHLED ŠTÍTOVÁ STĚNA




PLECH 320GD

OCEL: S235 JR

BETON C20/25

TŘÍDA PROVEDENÍ EXC2

Zpracoval Šimon Špaček	Vyučující prof. Ing. Michal Jandera Ph.D	Školní rok 2023/2024	Fakulta stavební ČVUT 	
Předmět 134BAPC			Měřítko 1:100	
Výkres SPORTOVNÍ HALA S OBLOUKOVÝM VAZNÍKEM - pohled štítová stěna			Číslo výkresu 3	

PODÉLNÝ POHLED

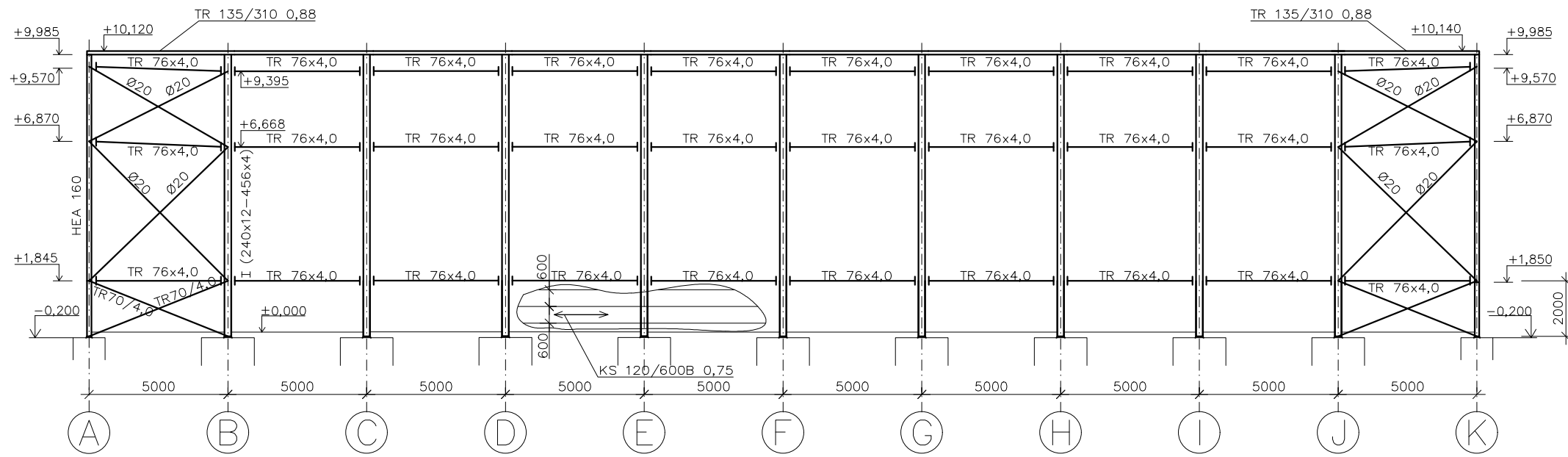
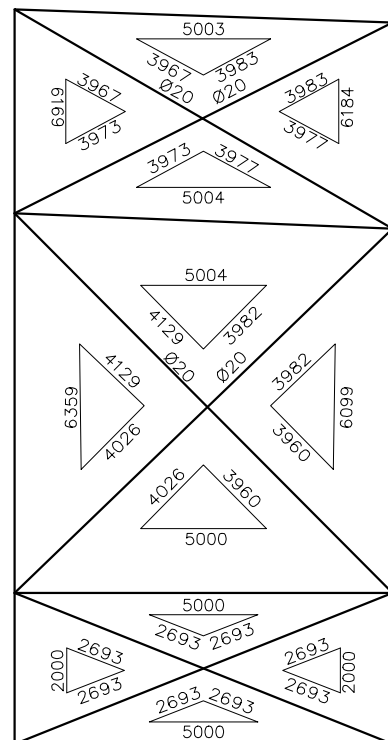


SCHÉMA GEOMETRIE ZTUŽIDEL




PLECH S320GD

OCEL: S235 JR

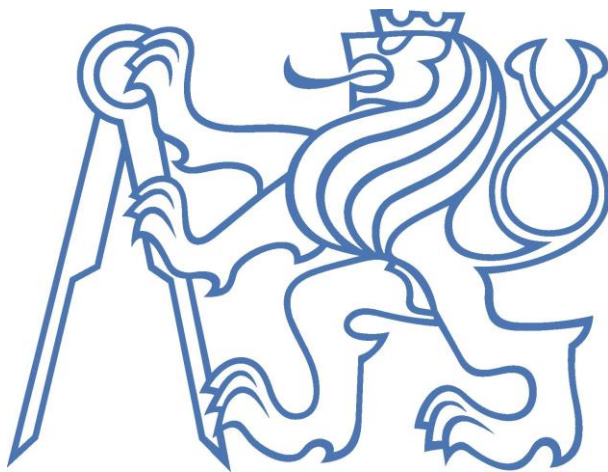
BETON C20/25

TŘÍDA PROVEDENÍ EXC2

Zpracoval Šimon Špaček	Vyučující prof. Ing. Michal Jandera Ph.D.	Školní rok 2023/2024	Fakulta stavební ČVUT 	
Předmět 134BAPC			Měřítko 1:200	
Výkres SPORTOVNÍ HALA S OBLOUKOVÝM VAZNÍKEM - podélný pohled			Číslo výkresu 4	

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



Ocelová konstrukce sportovní haly s obloukovým vazníkem

Přílohy

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Pozemní stavby

Vedoucí práce: prof. Ing. Michal Jandera, Ph.D.

ŠIMON ŠPAČEK
Praha, 2024

Obsah

1. LTBeamN
 - 1.1. Druhá vazba – sloup
 - 1.2. Druhá vazba – vazník
 - 1.3. Druhá vazba – sloup (alternativní postup)
 - 1.4. Druhá vazba – vazník (alternativní postup)
 - 1.5. Běžná vazba – sloup
 - 1.6. Běžná vazba – vazník
 - 1.7. Štítová vazba – vazník
 - 1.8. Štítová vazba – krajní sloup
 - 1.9. Štítová vazba – sloup B a E
 - 1.10. Štítová vazba – sloup C a D
 - 1.11. Druhá vazba – sloup (přeposouzení)
 - 1.12. Druhá vazba – vazník (přeposouzení)
2. Hilti PROFIS Engineering
 - 2.1. Návrh patky – druhá vazba
 - 2.2. Návrh patky – štítový sloup C

I - PARAMETERS

I.1 - General parameters

Projected total length :	$L = 2 \text{ m}$
Initial discretization of the beam :	$n_{el} = 100 \text{ elements}$

I.2 - Material

Name :	Steel
Young modulus :	$E = 210000 \text{ MPa}$
Shear modulus :	$G = 80769 \text{ MPa}$
Poisson factor :	$\nu = 0,3$
Density :	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

I.3 - Sections

Alignment of sections :	Top
-------------------------	-----

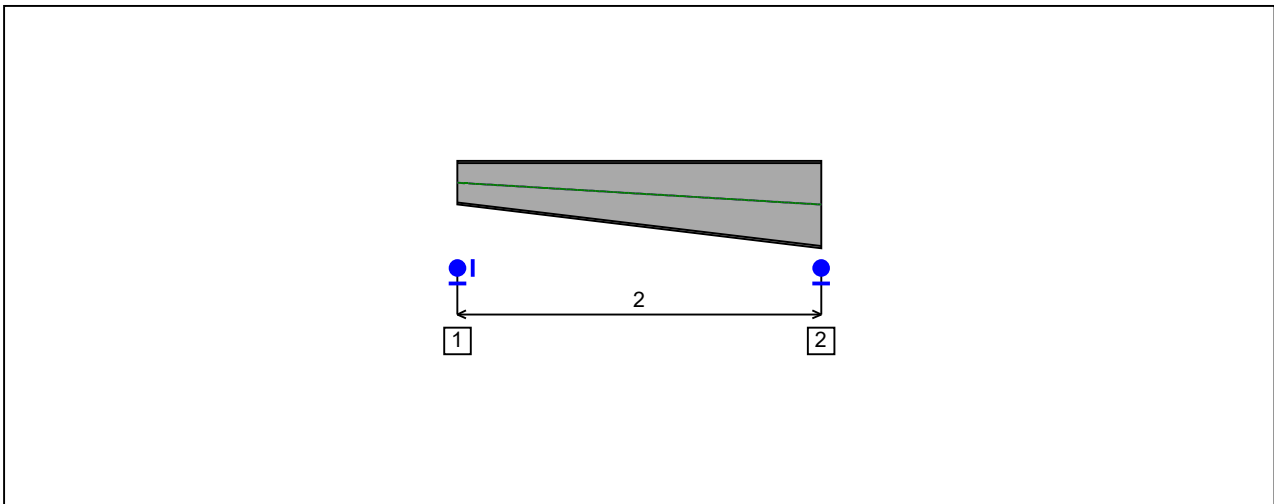


Figure 1 : Profile in long with section numbers.

- Section No. 1 : DIM 240x240

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Type : By dimensions

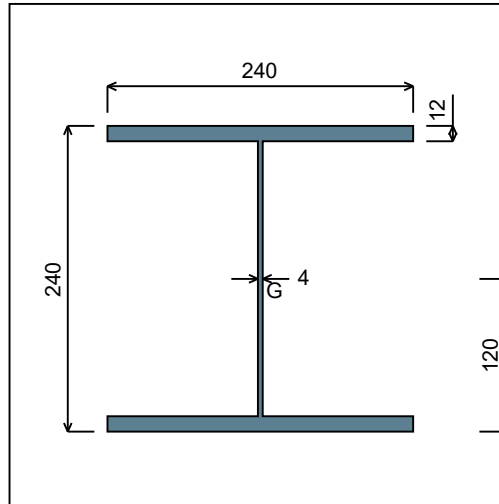


Figure 2 : Section No. 1 (DIM 240x240).

Main geometrical properties :

- $z_S = 0$ cm
- $z_G = 12$ cm
- $I_y = 7828,5$ cm⁴
- $I_z = 2764,9$ cm⁴
- $I_t = 27,28$ cm⁴ (Villette)
- $I_w = 359328$ cm⁶

Other geometrical properties :

- | | |
|---|-------------------------------------|
| $A = 66,24$ cm ² | |
| $A_{v,y} = 57,6$ cm ² | $A_{v,z} = 9,12$ cm ² |
| $W_{el,y,sup} = 652,38$ cm ³ | |
| $W_{el,y,inf} = 652,38$ cm ³ | $W_{el,z} = 230,41$ cm ³ |
| $W_{pl,y} = 703,3$ cm ³ | $W_{pl,z} = 346,46$ cm ³ |

Stiffness relaxations :

- θ : Continuous
- v' : Continuous
- θ' : Continuous
- w' : Continuous

- Section No. 2 : DIM 480x240

Abscissa from the left end of the beam : $x = 2 \text{ m}$

Type : By dimensions

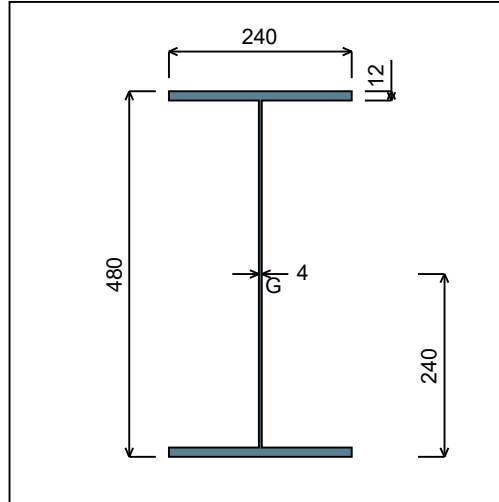


Figure 3 : Section No. 2 (DIM 480x240).

Main geometrical properties :

- $z_S = 0 \text{ cm}$
- $z_G = 24 \text{ cm}$
- $I_y = 34707 \text{ cm}^4$
- $I_z = 2765 \text{ cm}^4$
- $I_t = 27,79 \text{ cm}^4$ (Villette)
- $I_w = 1,514E+6 \text{ cm}^6$

Other geometrical properties :

- | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| $A = 75,84 \text{ cm}^2$ | |
| $A_{v,y} = 57,6 \text{ cm}^2$ | $A_{v,z} = 18,72 \text{ cm}^2$ |
| $W_{el,y,sup} = 1446,1 \text{ cm}^3$ | |
| $W_{el,y,inf} = 1446,1 \text{ cm}^3$ | $W_{el,z} = 230,42 \text{ cm}^3$ |
| $W_{pl,y} = 1555,8 \text{ cm}^3$ | $W_{pl,z} = 347,42 \text{ cm}^3$ |

Stiffness relaxations :

- θ : Continuous
- v' : Continuous
- θ' : Continuous
- w' : Continuous

I.4 - Lateral restraints

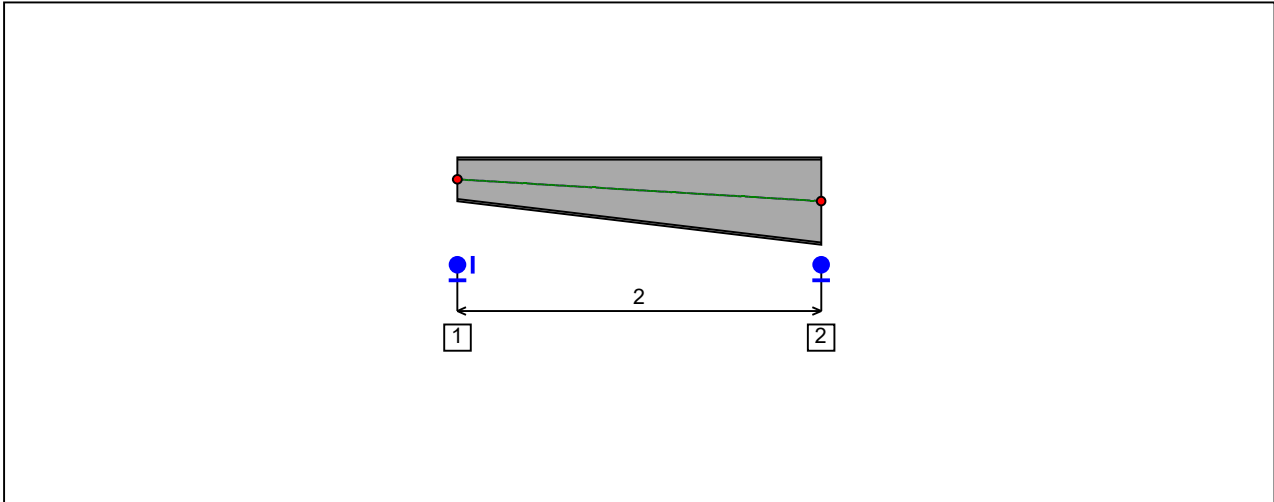


Figure 4 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Fixed
- v' : Free
- θ' : Free

- Restraint No. 2 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 2$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Fixed
- v' : Free
- θ' : Free

1.5 - Supports

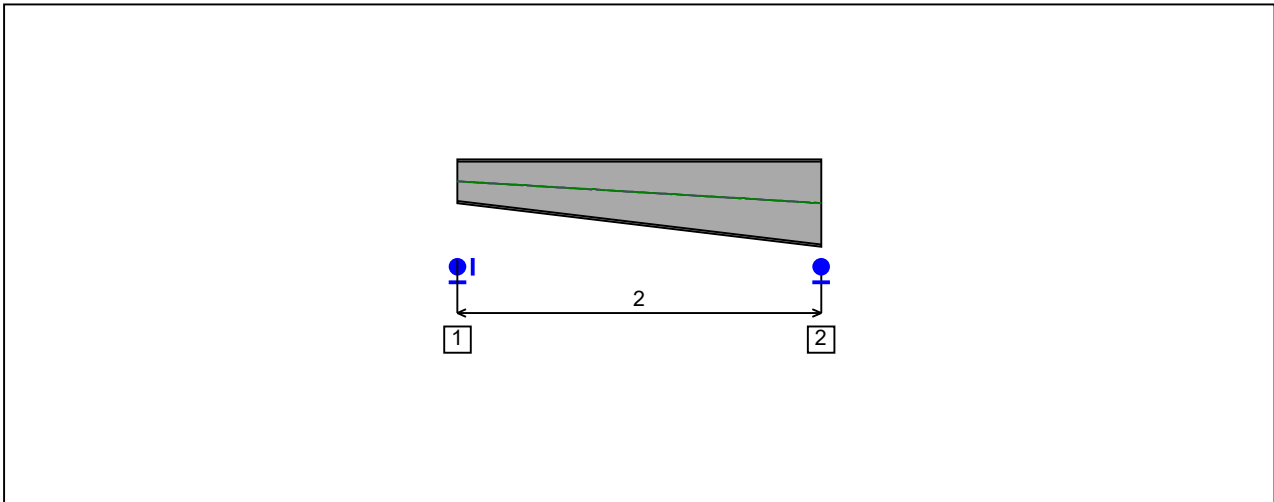


Figure 5 : Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Support conditions :

- u : Fixed
- w : Fixed
- w' : Free

- Support No. 2 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 2$ m

Support conditions :

- u : Free
- w : Fixed
- w' : Free

I.6 - Loads

Type of loading :

Internal

- Moment diagram :

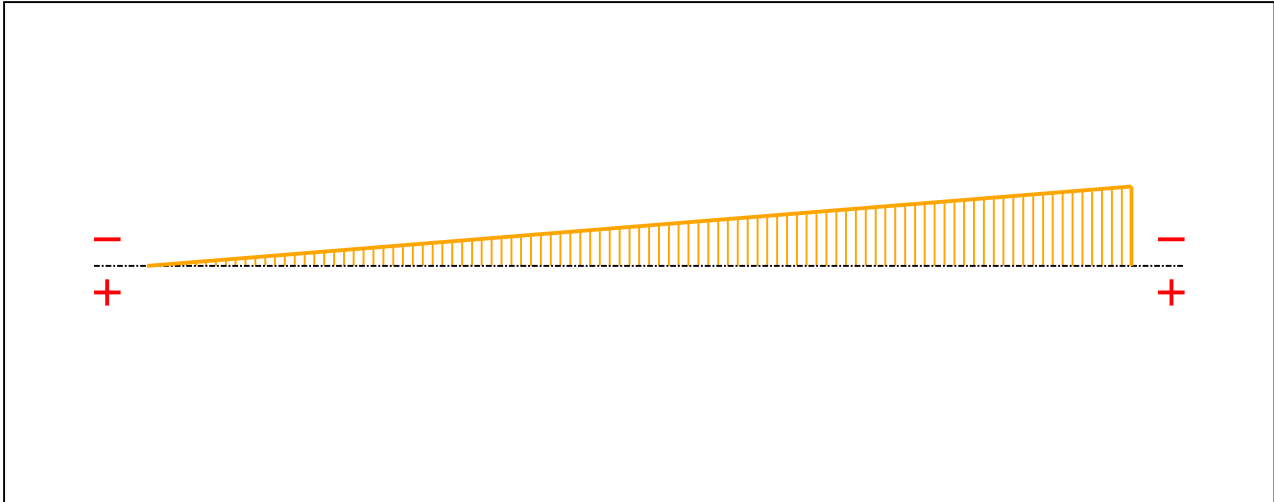


Figure 6 : Moment diagram.

Active :

Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	0
2	-86,75

- Axial force diagram :

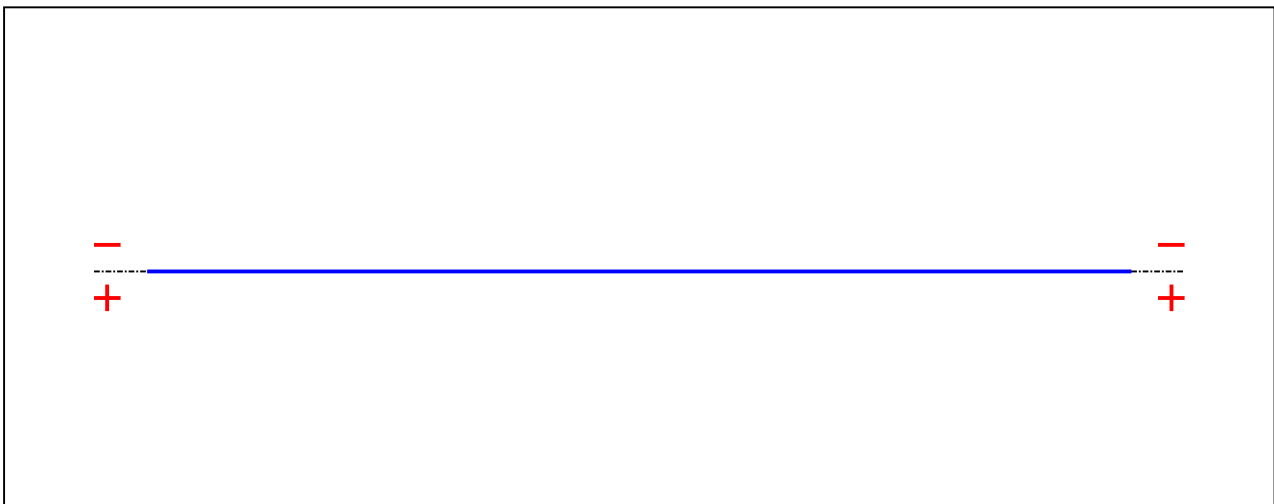


Figure 7 : Axial force diagram.

I - PARAMETERS

I.1 - General parameters

Projected total length :	$L = 31 \text{ m}$
Initial discretization of the beam :	$n_{el} = 100 \text{ elements}$

I.2 - Material

Name :	Steel
Young modulus :	$E = 210000 \text{ MPa}$
Shear modulus :	$G = 80769 \text{ MPa}$
Poisson factor :	$\nu = 0,3$
Density :	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

I.3 - Sections

Alignment of sections :	Top
-------------------------	-----

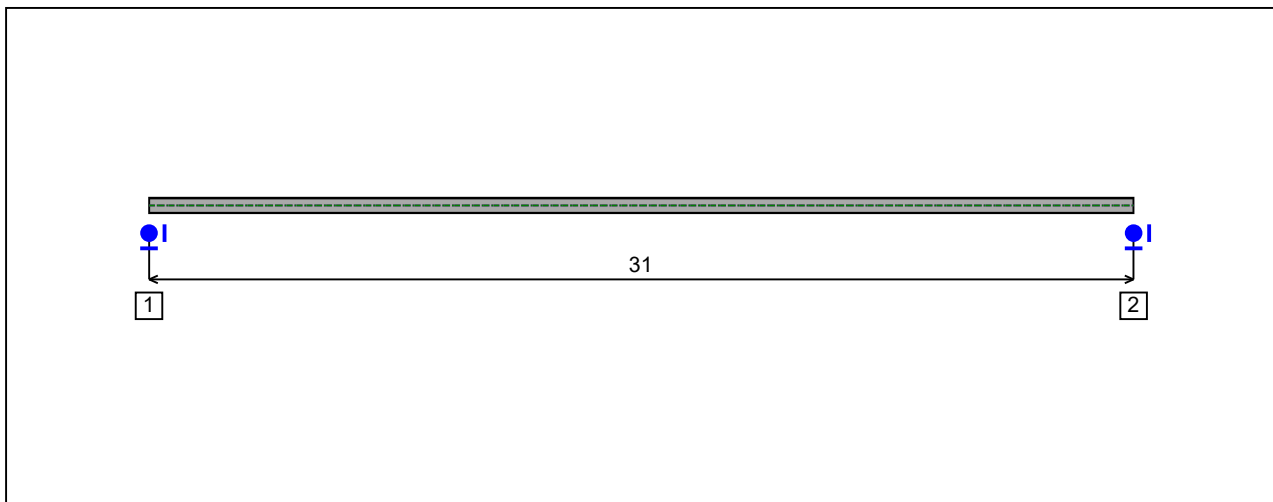


Figure 1 : Profile in long with section numbers.

- Section No. 1 : DIM 480x240

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Type : By dimensions

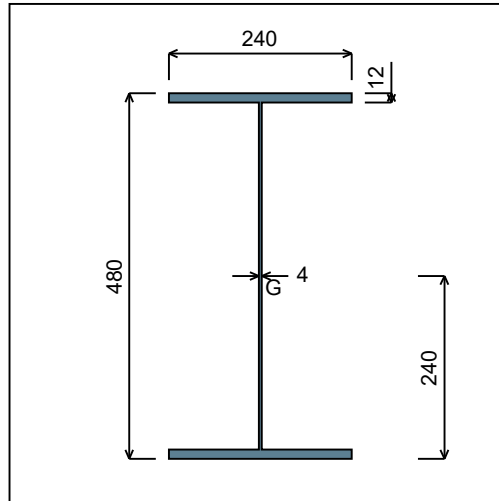


Figure 2 : Section No. 1 (DIM 480x240).

Main geometrical properties :

- $z_S = 0$ cm
- $z_G = 24$ cm
- $I_y = 34707$ cm⁴
- $I_z = 2765$ cm⁴
- $I_t = 27,79$ cm⁴ (Villette)
- $I_w = 1,514E+6$ cm⁶

Other geometrical properties :

- | | |
|---|-------------------------------------|
| $A = 75,84$ cm ² | |
| $A_{v,y} = 57,6$ cm ² | $A_{v,z} = 18,72$ cm ² |
| $W_{el,y,sup} = 1446,1$ cm ³ | |
| $W_{el,y,inf} = 1446,1$ cm ³ | $W_{el,z} = 230,42$ cm ³ |
| $W_{pl,y} = 1555,8$ cm ³ | $W_{pl,z} = 347,42$ cm ³ |

Stiffness relaxations :

- θ : Continuous
- v' : Continuous
- θ' : Continuous
- w' : Continuous

- Section No. 2 : DIM 480x240

Abscissa from the left end of the beam : $x = 31 \text{ m}$

Type : By dimensions

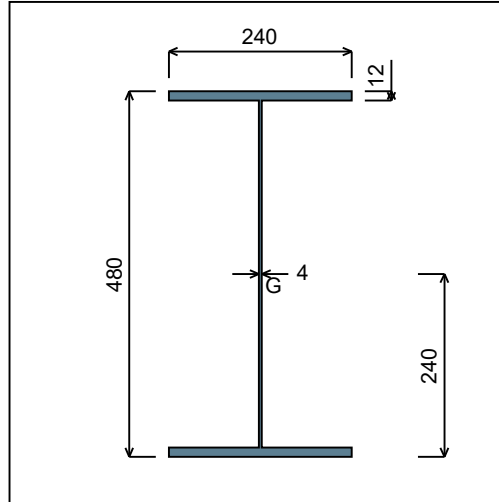


Figure 3 : Section No. 2 (DIM 480x240).

Main geometrical properties :

- $z_S = 0 \text{ cm}$
- $z_G = 24 \text{ cm}$
- $I_y = 34707 \text{ cm}^4$
- $I_z = 2765 \text{ cm}^4$
- $I_t = 27,79 \text{ cm}^4$ (Villette)
- $I_w = 1,514\text{E}+6 \text{ cm}^6$

Other geometrical properties :

- | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| $A = 75,84 \text{ cm}^2$ | |
| $A_{v,y} = 57,6 \text{ cm}^2$ | $A_{v,z} = 18,72 \text{ cm}^2$ |
| $W_{el,y,sup} = 1446,1 \text{ cm}^3$ | $W_{el,z} = 230,42 \text{ cm}^3$ |
| $W_{el,y,inf} = 1446,1 \text{ cm}^3$ | $W_{pl,z} = 347,42 \text{ cm}^3$ |
| $W_{pl,y} = 1555,8 \text{ cm}^3$ | |

Stiffness relaxations :

- θ : Continuous
- v' : Continuous
- θ' : Continuous
- w' : Continuous

I.4 - Lateral restraints

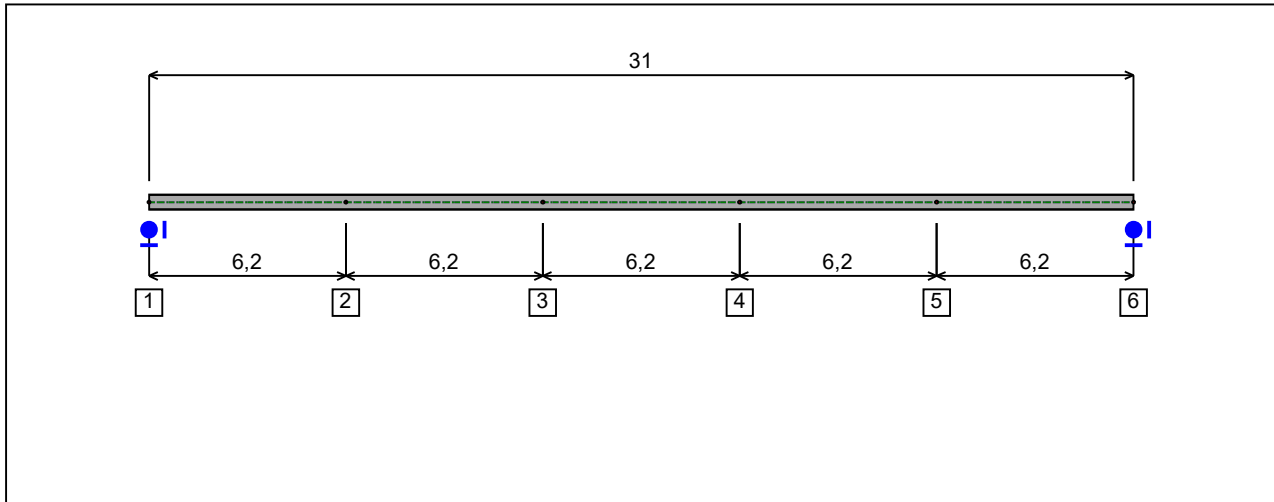


Figure 4 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Fixed
- v' : Free
- θ' : Free

- Restraint No. 2 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 6,2$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Free
- v' : Free
- θ' : Free

- Restraint No. 3 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 12,4$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Free
 v' : Free
 θ' : Free

- Restraint No. 4 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 18,6$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Free
 v' : Free
 θ' : Free

- Restraint No. 5 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 24,8$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Free
 v' : Free
 θ' : Free

- Restraint No. 6 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 31$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Fixed
 v' : Free
 θ' : Free

I.5 - Supports

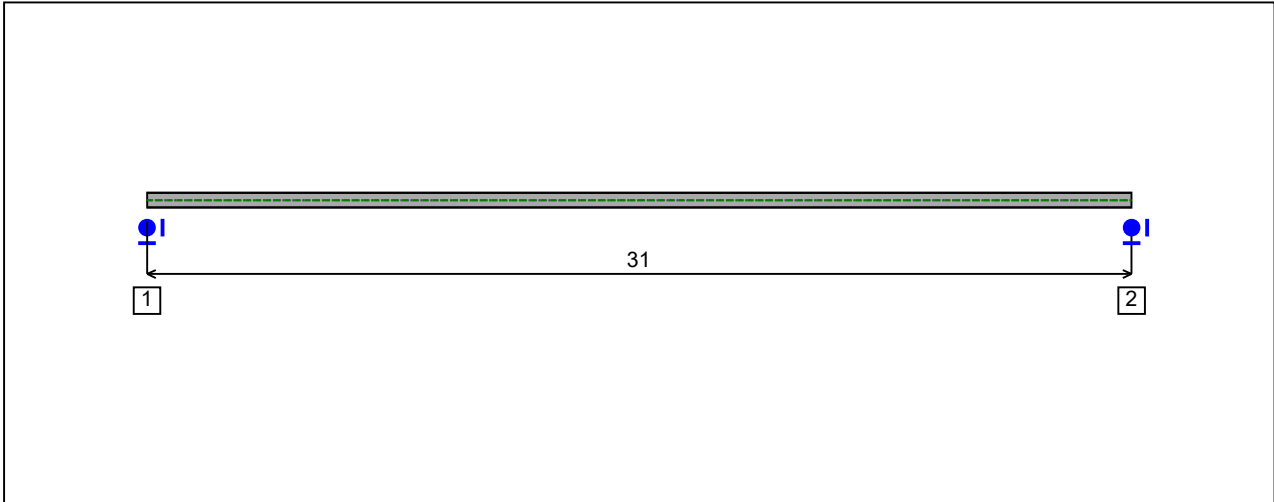


Figure 5 : Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Support conditions :

- u : Fixed
- w : Fixed
- w' : Free

- Support No. 2 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 31$ m

Support conditions :

- u : Fixed
- w : Fixed
- w' : Free

I.6 - Loads

Type of loading :

Internal

- *Moment diagram* :

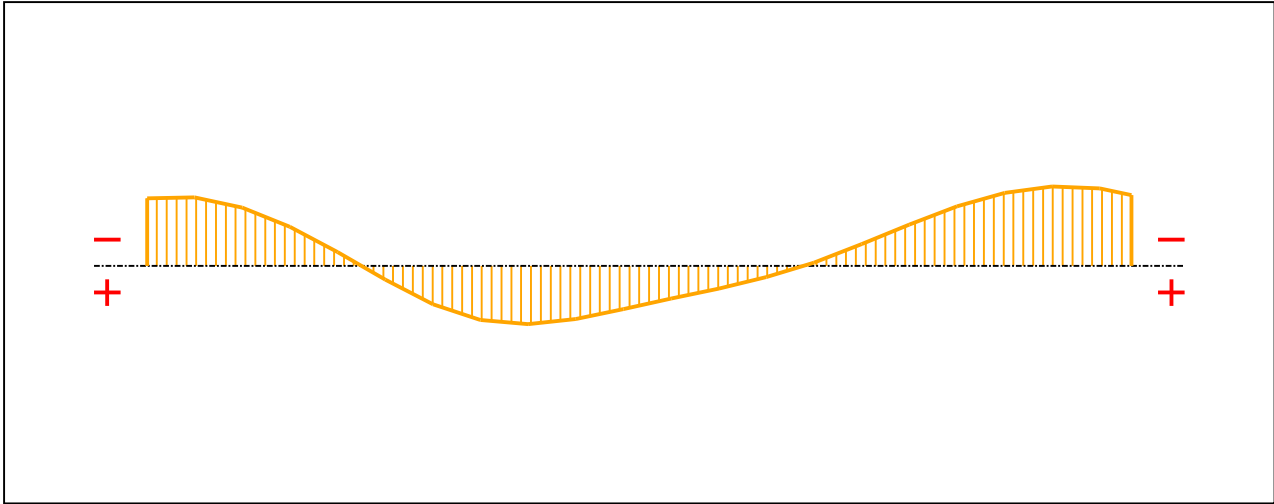


Figure 6 : Moment diagram.

Active :

Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	-83,12
1,5	-84,1
3	-71,79
4,5	-48,22
6	-16,97
7,5	16,93
9	47,12
10,5	66,29
12	71,24
13,5	65,17
15	52,85
16,5	40,04
18	27,81
19,5	13,68
21	-4,22
22,5	-26,66

Table 1 (Next) : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
24	-50,98
25,5	-73,13
27	-89,61
28,5	-97,6
30	-95,02
31	-86,75

- Axial force diagram :

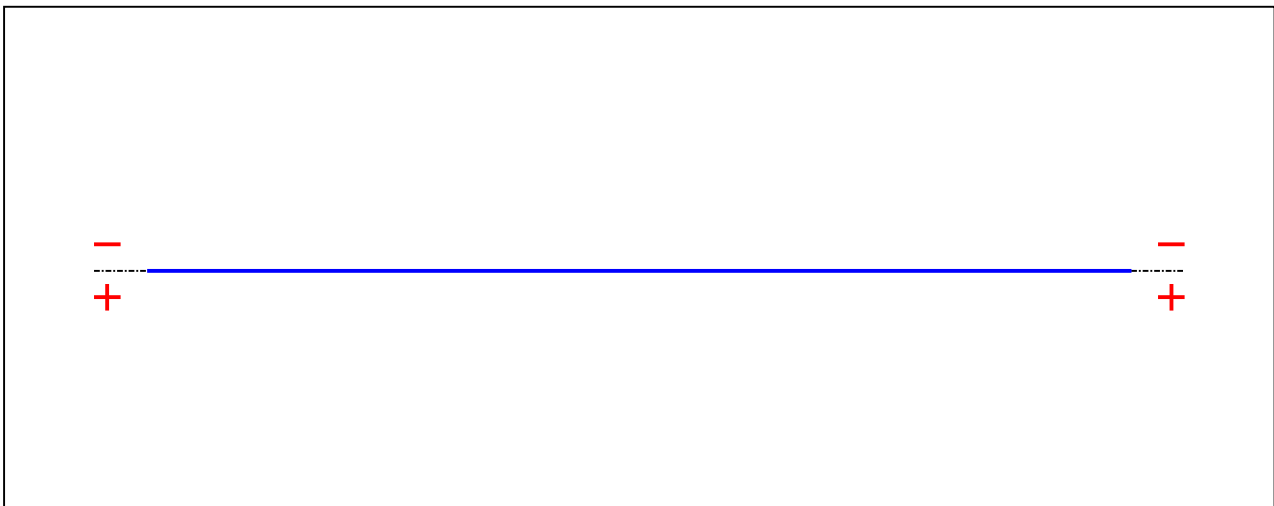


Figure 7 : Axial force diagram.

Active :

No

Table 2 : Axial force diagram.

x(m)	N(kN)
0	0
31	0

- Eccentric concentrated loads :

No load has been defined.

- Eccentric distributed loads :

No load has been defined.

II - LTB CALCULATION

Requested number of modes : 1
 Blocked moment diagram : No
 Blocked axial force diagram : Yes

II.1 - LTB modes

Table 3 : LTB modes.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	2,753	-268,65	28,52	0	28,52

II.2 - Mode shapes

- Mode 1

Table 4 : Mode 1.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	2,753	-268,65	28,52	0	28,52

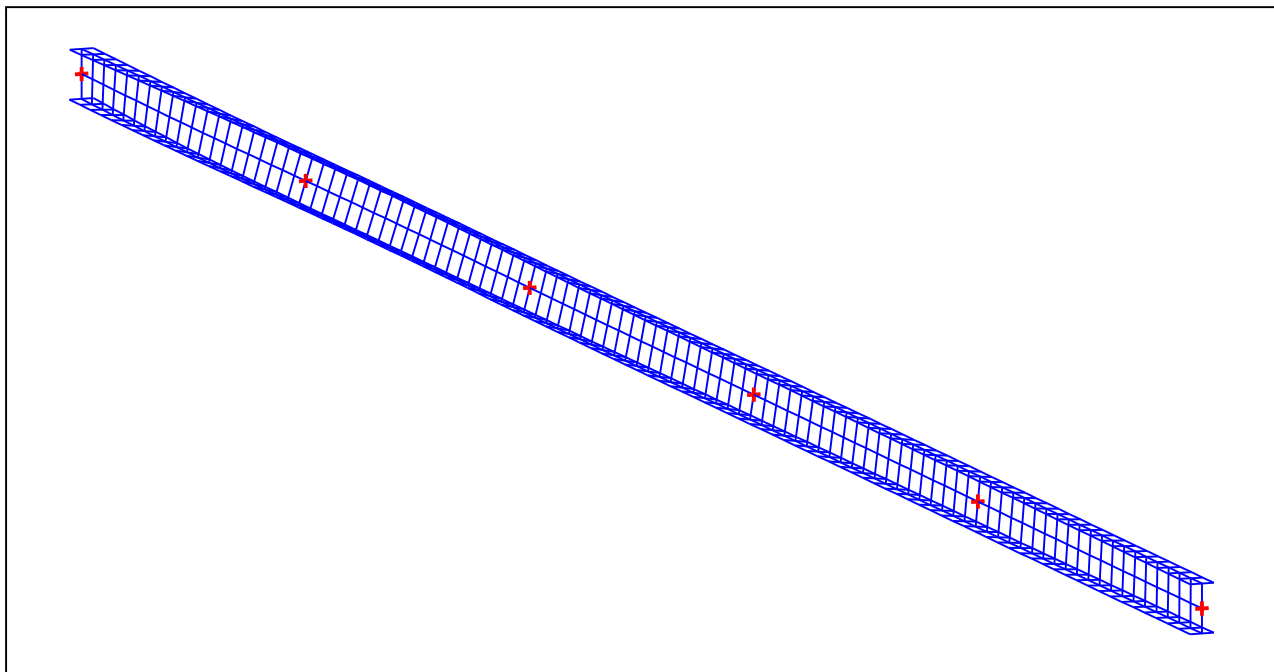


Figure 8 : Mode shape in 3D (Mode 1).

I - PARAMETERS

I.1 - General parameters

Projected total length :	$L = 2 \text{ m}$
Initial discretization of the beam :	$n_{el} = 100 \text{ elements}$

I.2 - Material

Name :	Steel
Young modulus :	$E = 210000 \text{ MPa}$
Shear modulus :	$G = 80769 \text{ MPa}$
Poisson factor :	$\nu = 0,3$
Density :	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

I.3 - Sections

Alignment of sections :	Top
-------------------------	-----

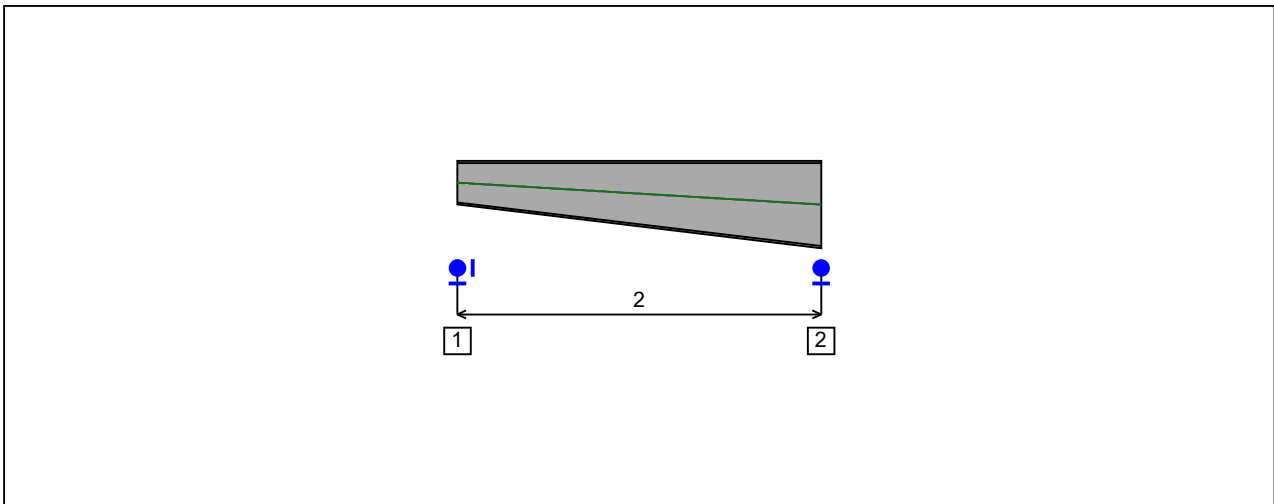


Figure 1 : Profile in long with section numbers.

- Section No. 1 : DIM 240x240

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0 \text{ m}$

Type : By dimensions

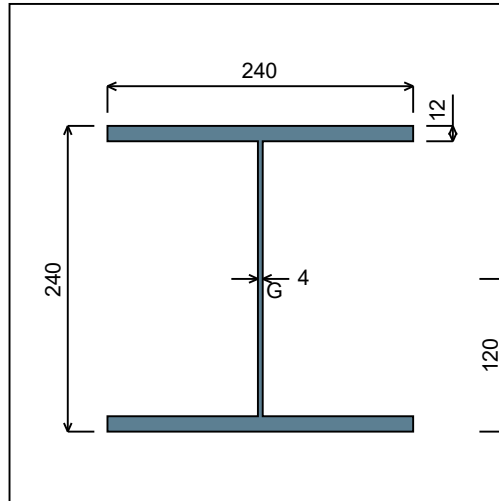


Figure 2 : Section No. 1 (DIM 240x240).

Main geometrical properties :

- $z_S = 0 \text{ cm}$
- $z_G = 12 \text{ cm}$
- $I_y = 7828,5 \text{ cm}^4$
- $I_z = 2764,9 \text{ cm}^4$
- $I_t = 27,28 \text{ cm}^4$ (Villette)
- $I_w = 359328 \text{ cm}^6$

Other geometrical properties :

- | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| $A = 66,24 \text{ cm}^2$ | |
| $A_{v,y} = 57,6 \text{ cm}^2$ | $A_{v,z} = 9,12 \text{ cm}^2$ |
| $W_{el,y,sup} = 652,38 \text{ cm}^3$ | |
| $W_{el,y,inf} = 652,38 \text{ cm}^3$ | $W_{el,z} = 230,41 \text{ cm}^3$ |
| $W_{pl,y} = 703,3 \text{ cm}^3$ | $W_{pl,z} = 346,46 \text{ cm}^3$ |

Stiffness relaxations :

- θ : Continuous
- v' : Continuous
- θ' : Continuous
- w' : Continuous

- Section No. 2 : DIM 480x240

Abscissa from the left end of the beam : $x = 2 \text{ m}$

Type : By dimensions

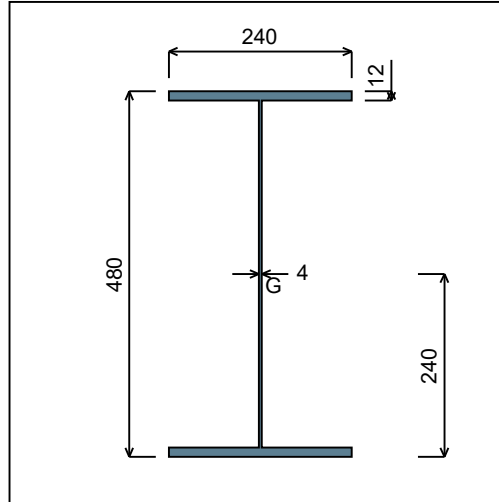


Figure 3 : Section No. 2 (DIM 480x240).

Main geometrical properties :

- $z_S = 0 \text{ cm}$
- $z_G = 24 \text{ cm}$
- $I_y = 34707 \text{ cm}^4$
- $I_z = 2765 \text{ cm}^4$
- $I_t = 27,79 \text{ cm}^4$ (Villette)
- $I_w = 1,514\text{E}+6 \text{ cm}^6$

Other geometrical properties :

- | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| $A = 75,84 \text{ cm}^2$ | |
| $A_{v,y} = 57,6 \text{ cm}^2$ | $A_{v,z} = 18,72 \text{ cm}^2$ |
| $W_{el,y,sup} = 1446,1 \text{ cm}^3$ | |
| $W_{el,y,inf} = 1446,1 \text{ cm}^3$ | $W_{el,z} = 230,42 \text{ cm}^3$ |
| $W_{pl,y} = 1555,8 \text{ cm}^3$ | $W_{pl,z} = 347,42 \text{ cm}^3$ |

Stiffness relaxations :

- θ : Continuous
- v' : Continuous
- θ' : Continuous
- w' : Continuous

I.4 - Lateral restraints

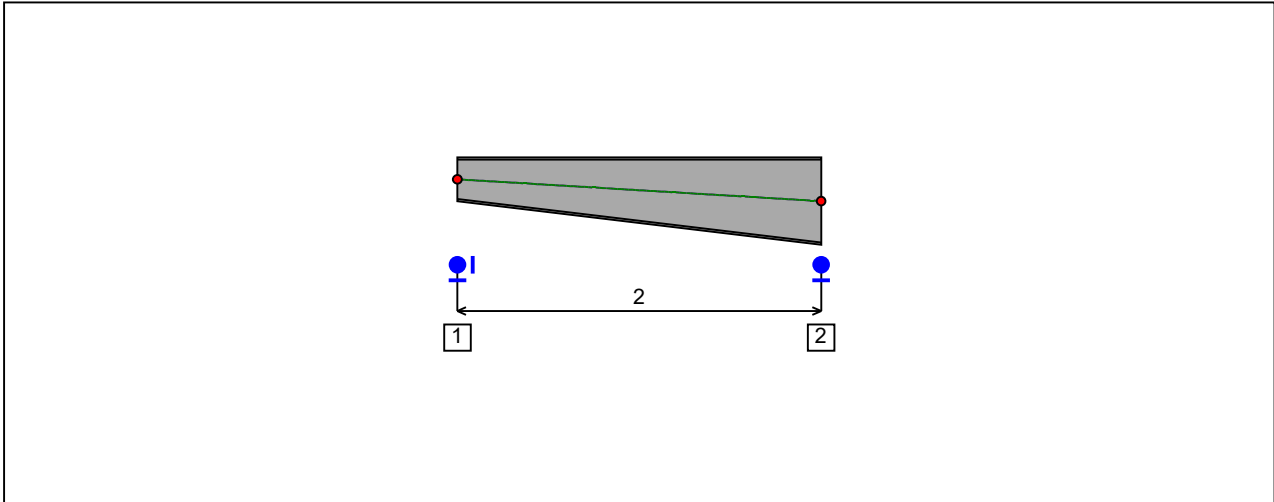


Figure 4 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Fixed
- v' : Free
- θ' : Free

- Restraint No. 2 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 2$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Fixed
- v' : Free
- θ' : Free

1.5 - Supports

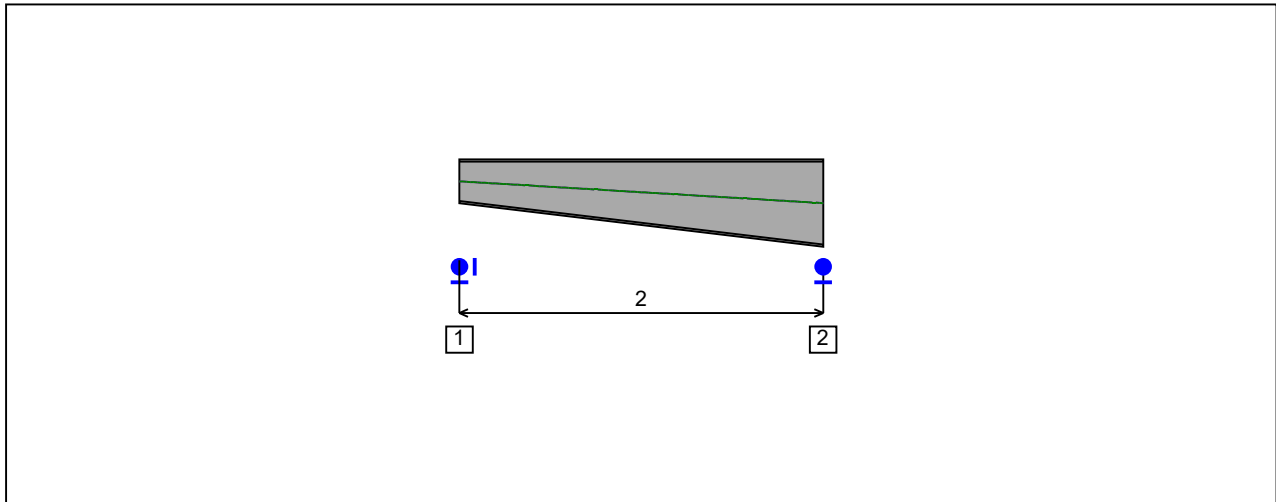


Figure 5 : Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Support conditions :

- u : Fixed
- w : Fixed
- w' : Free

- Support No. 2 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 2$ m

Support conditions :

- u : Free
- w : Fixed
- w' : Free

I.6 - Loads

Type of loading :

Internal

- Moment diagram :

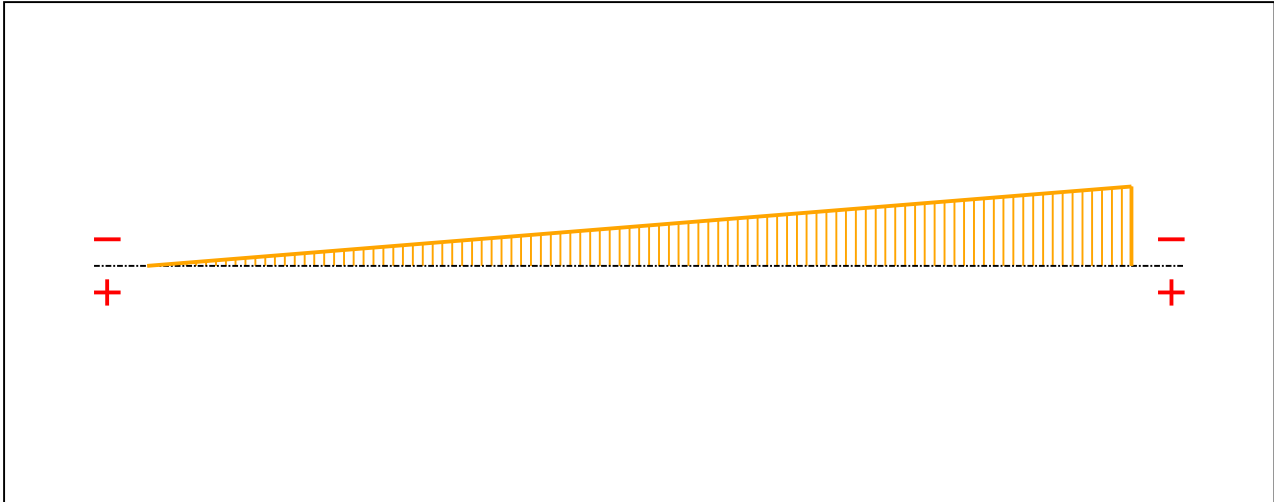


Figure 6 : Moment diagram.

Active :

Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	0
2	-86,85

- Axial force diagram :

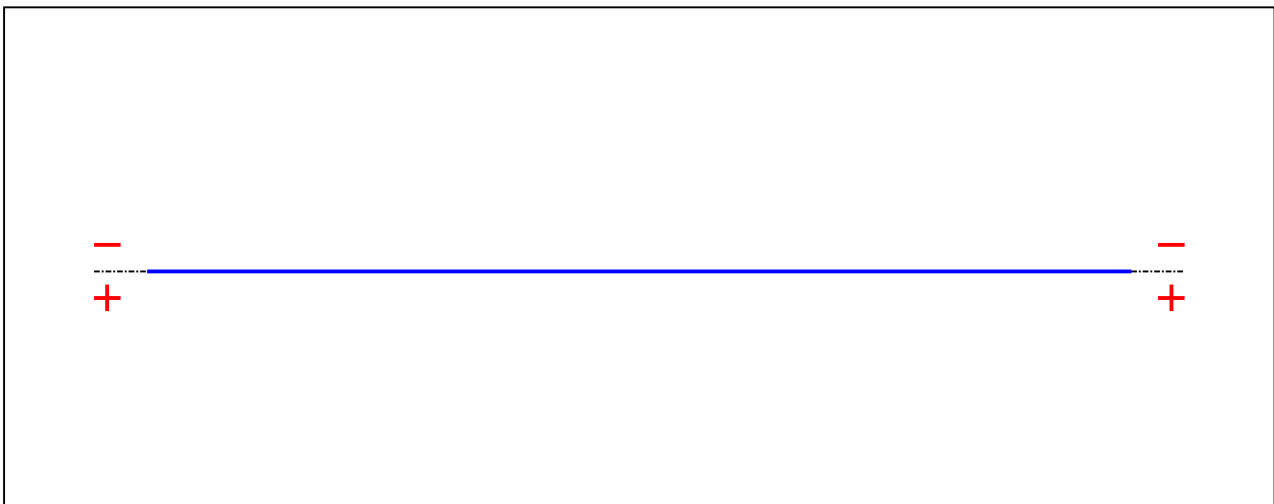


Figure 7 : Axial force diagram.

Active :

No

Table 2 : Axial force diagram.

x(m)	N(kN)
0	0
2	0

- Eccentric concentrated loads :

No load has been defined.

- Eccentric distributed loads :

No load has been defined.

II - LTB CALCULATION

Requested number of modes : 1

Blocked moment diagram : No

Blocked axial force diagram : Yes

The TAPER effect is taken into account

II.1 - LTB modes

Table 3 : LTB modes.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	58,89	-5114,9	2	0	2

II.2 - Mode shapes

- Mode 1

Table 4 : Mode 1.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	58,89	-5114,9	2	0	2

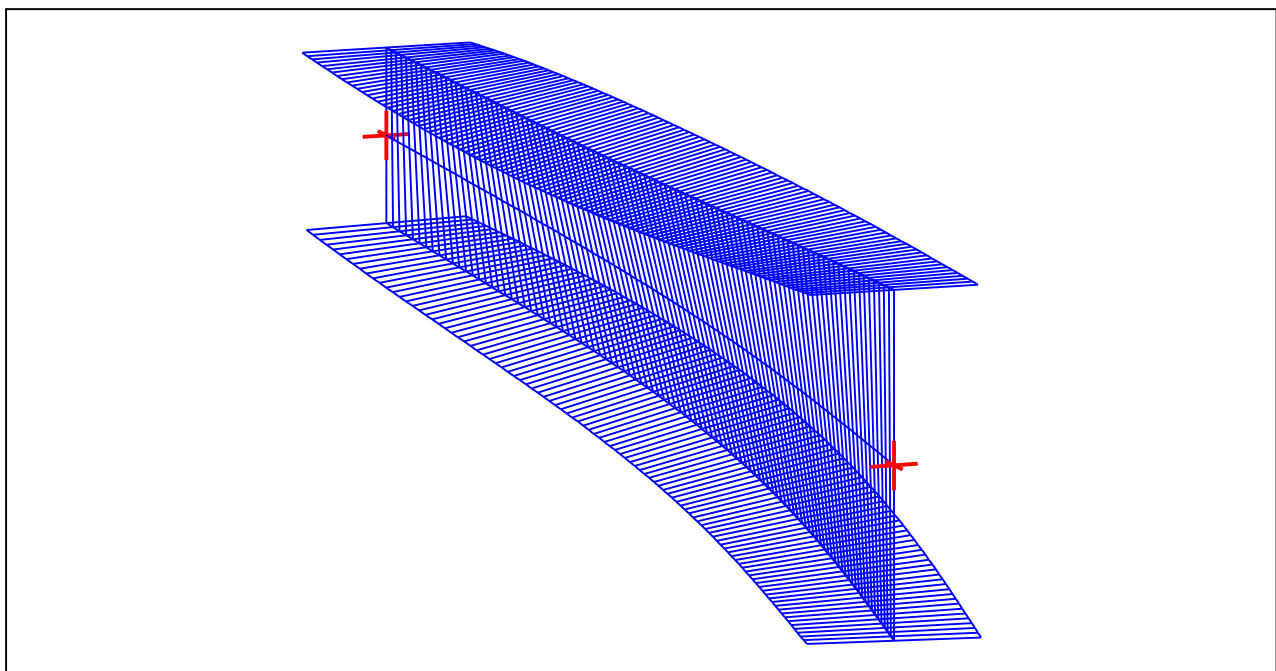


Figure 8 : Mode shape in 3D (Mode 1).

I - PARAMETERS

I.1 - General parameters

Projected total length :	L = 31 m
Initial discretization of the beam :	$n_{el} = 100$ elements

I.2 - Material

Name :	Steel
Young modulus :	E = 210000 MPa
Shear modulus :	G = 80769 MPa
Poisson factor :	$\nu = 0,3$
Density :	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

I.3 - Sections

Alignment of sections :	Top
-------------------------	-----

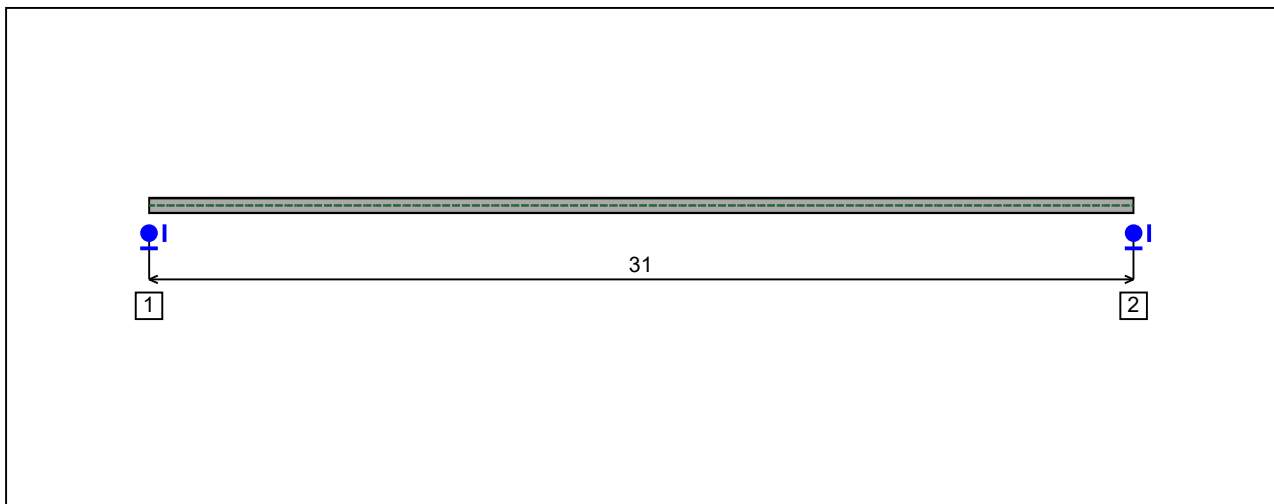


Figure 1 : Profile in long with section numbers.

- Section No. 1 : DIM 480x240

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Type : By dimensions

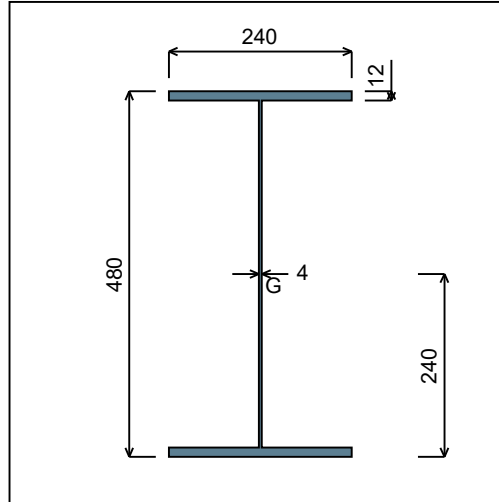


Figure 2 : Section No. 1 (DIM 480x240).

Main geometrical properties :

- $z_S = 0$ cm
- $z_G = 24$ cm
- $I_y = 34707$ cm⁴
- $I_z = 2765$ cm⁴
- $I_t = 27,79$ cm⁴ (Villette)
- $I_w = 1,514E+6$ cm⁶

Other geometrical properties :

- | | |
|---|-------------------------------------|
| $A = 75,84$ cm ² | |
| $A_{v,y} = 57,6$ cm ² | $A_{v,z} = 18,72$ cm ² |
| $W_{el,y,sup} = 1446,1$ cm ³ | |
| $W_{el,y,inf} = 1446,1$ cm ³ | $W_{el,z} = 230,42$ cm ³ |
| $W_{pl,y} = 1555,8$ cm ³ | $W_{pl,z} = 347,42$ cm ³ |

Stiffness relaxations :

- θ : Continuous
- v' : Continuous
- θ' : Continuous
- w' : Continuous

- Section No. 2 : DIM 480x240

Abscissa from the left end of the beam : $x = 31 \text{ m}$

Type : By dimensions

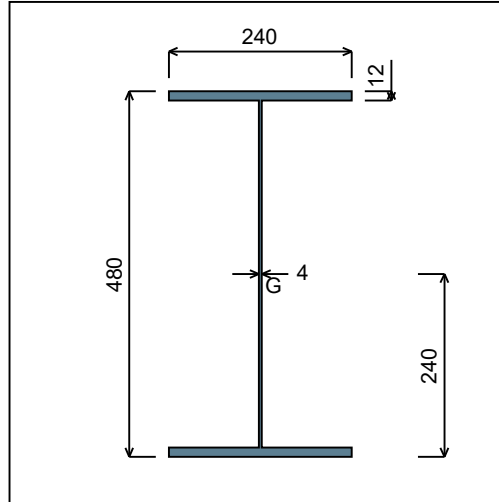


Figure 3 : Section No. 2 (DIM 480x240).

Main geometrical properties :

z_S	= 0 cm
z_G	= 24 cm
I_y	= 34707 cm ⁴
I_z	= 2765 cm ⁴
I_t	= 27,79 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 1,514E+6 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 75,84 cm ²	$A_{v,z}$	= 18,72 cm ²
$A_{v,y}$	= 57,6 cm ²	$W_{el,z}$	= 230,42 cm ³
$W_{el,y,sup}$	= 1446,1 cm ³	$W_{pl,z}$	= 347,42 cm ³
$W_{el,y,inf}$	= 1446,1 cm ³		
$W_{pl,y}$	= 1555,8 cm ³		

Stiffness relaxations :

θ	: Continuous
v'	: Continuous
θ'	: Continuous
w'	: Continuous

I.4 - Lateral restraints

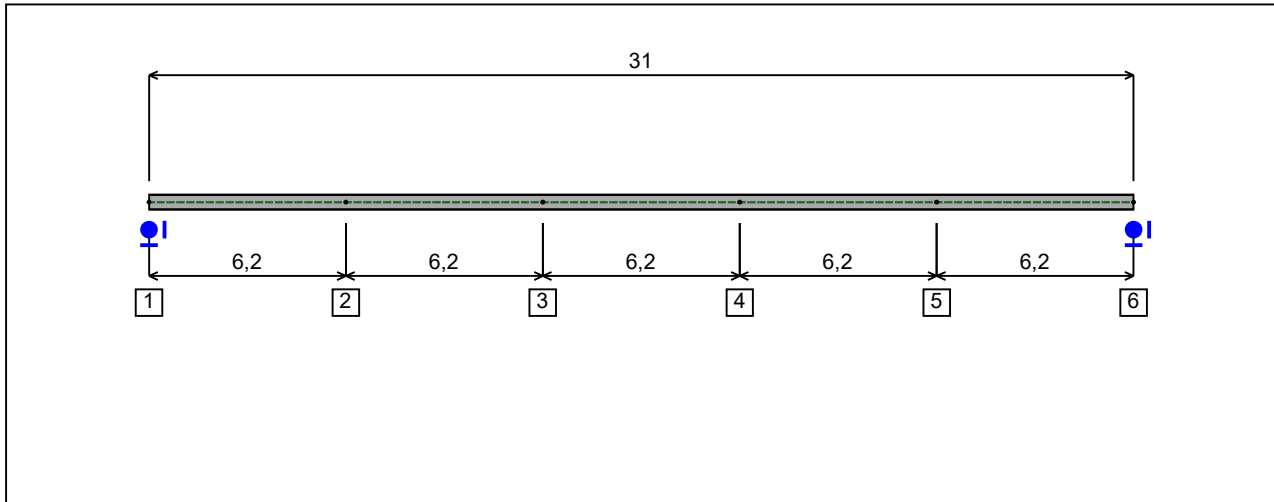


Figure 4 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0 \text{ m}$

Vertical position from the shear centre : $z = 0 \text{ cm}$

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Fixed
- v' : Free
- θ' : Free

- Restraint No. 2 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 6,2 \text{ m}$

Vertical position from the shear centre : $z = 0 \text{ cm}$

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Free
- v' : Free
- θ' : Free

- Restraint No. 3 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 12,4 \text{ m}$

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Free
 v' : Free
 θ' : Free

- Restraint No. 4 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 18,6$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Free
 v' : Free
 θ' : Free

- Restraint No. 5 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 24,8$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Free
 v' : Free
 θ' : Free

- Restraint No. 6 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 31$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Fixed
 v' : Free
 θ' : Free

1.5 - Supports

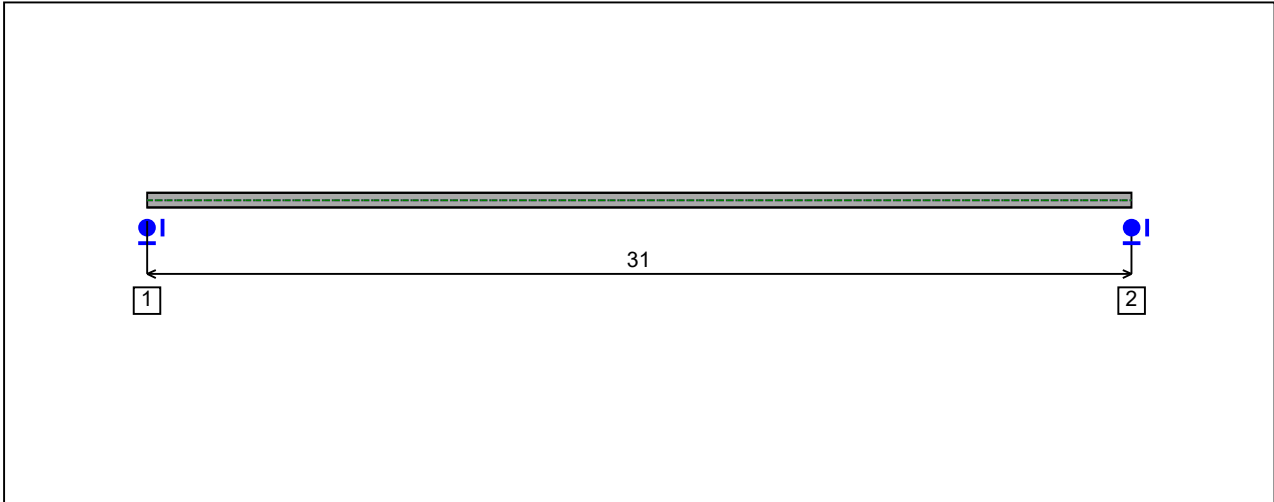


Figure 5 : Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0 \text{ m}$

Support conditions :

- u : Fixed
- w : Fixed
- w' : Free

- Support No. 2 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 31 \text{ m}$

Support conditions :

- u : Fixed
- w : Fixed
- w' : Free

I.6 - Loads

Type of loading :

Internal

- *Moment diagram :*

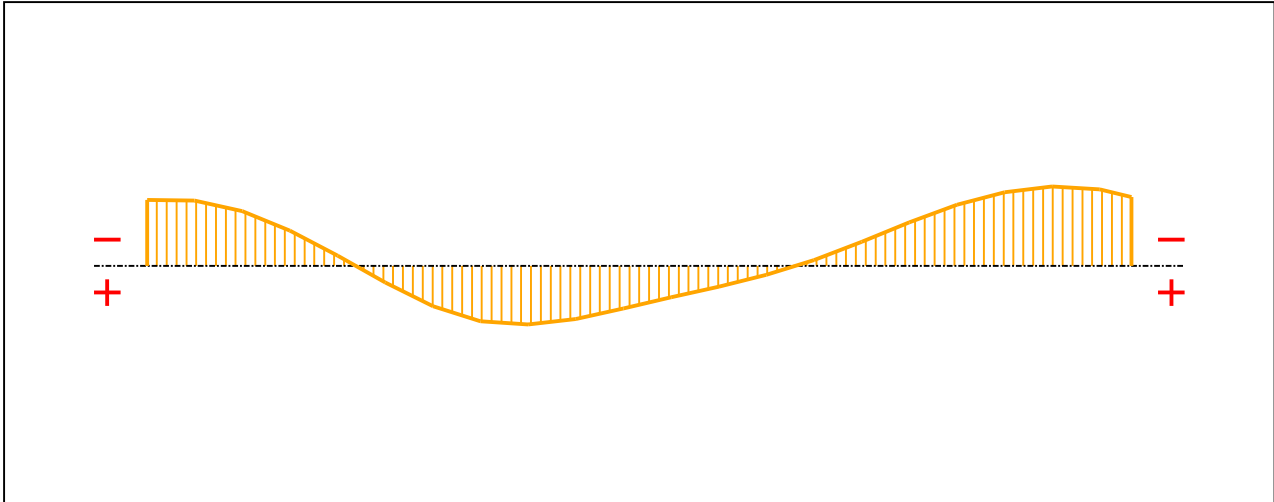


Figure 6 : Moment diagram.

Active :

Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	-83,15
1,5	-82,46
3	-68,95
4,5	-44,61
6	-13,02
7,5	20,85
9	50,71
10,5	69,34
12	73,56
13,5	66,61
15	53,24
16,5	39,26
18	26,02
19,5	11,05
21	-7,5
22,5	-30,38

Table 1 (Next) : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
24	-54,89
25,5	-76,91
27	-92,91
28,5	-100,04
30	-96,19
31	-86,85

- Axial force diagram :

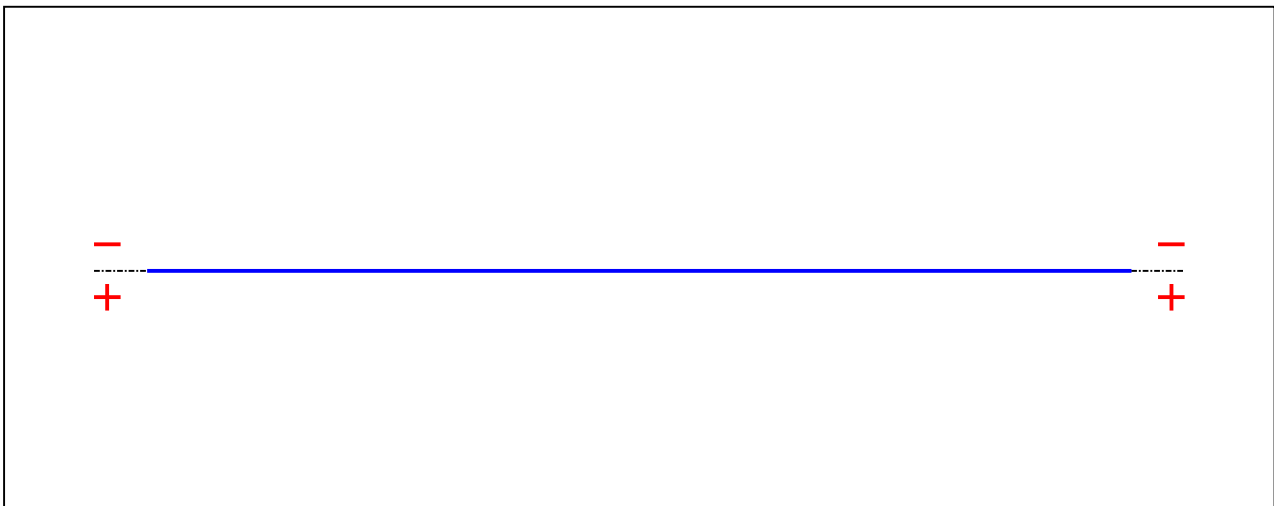


Figure 7 : Axial force diagram.

Active :

No

Table 2 : Axial force diagram.

x(m)	N(kN)
0	0
31	0

- Eccentric concentrated loads :

No load has been defined.

- Eccentric distributed loads :

No load has been defined.

II - LTB CALCULATION

Requested number of modes : 1
 Blocked moment diagram : No
 Blocked axial force diagram : Yes

II.1 - LTB modes

Table 3 : LTB modes.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	2,72	-271,95	28,52	0	28,52

II.2 - Mode shapes

- Mode 1

Table 4 : Mode 1.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	2,72	-271,95	28,52	0	28,52

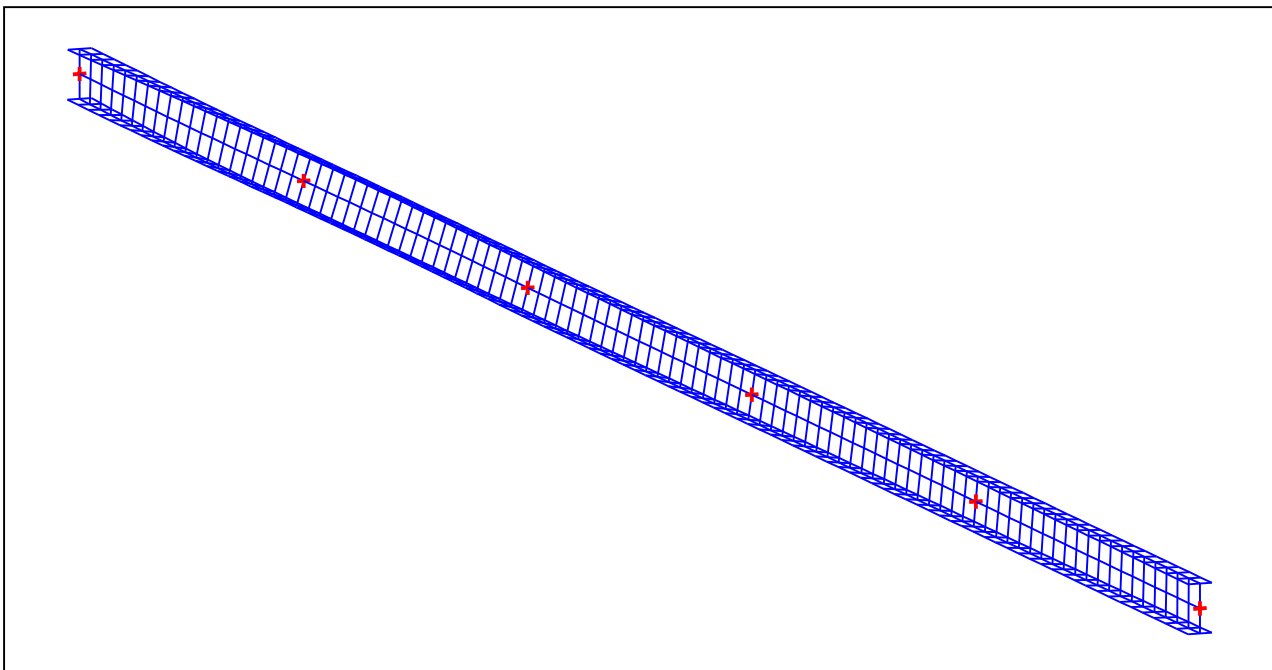


Figure 8 : Mode shape in 3D (Mode 1).

I - PARAMETERS

I.1 - General parameters

Projected total length :	$L = 2 \text{ m}$
Initial discretization of the beam :	$n_{el} = 100 \text{ elements}$

I.2 - Material

Name :	Steel
Young modulus :	$E = 210000 \text{ MPa}$
Shear modulus :	$G = 80769 \text{ MPa}$
Poisson factor :	$\nu = 0,3$
Density :	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

I.3 - Sections

Alignment of sections :	Top
-------------------------	-----

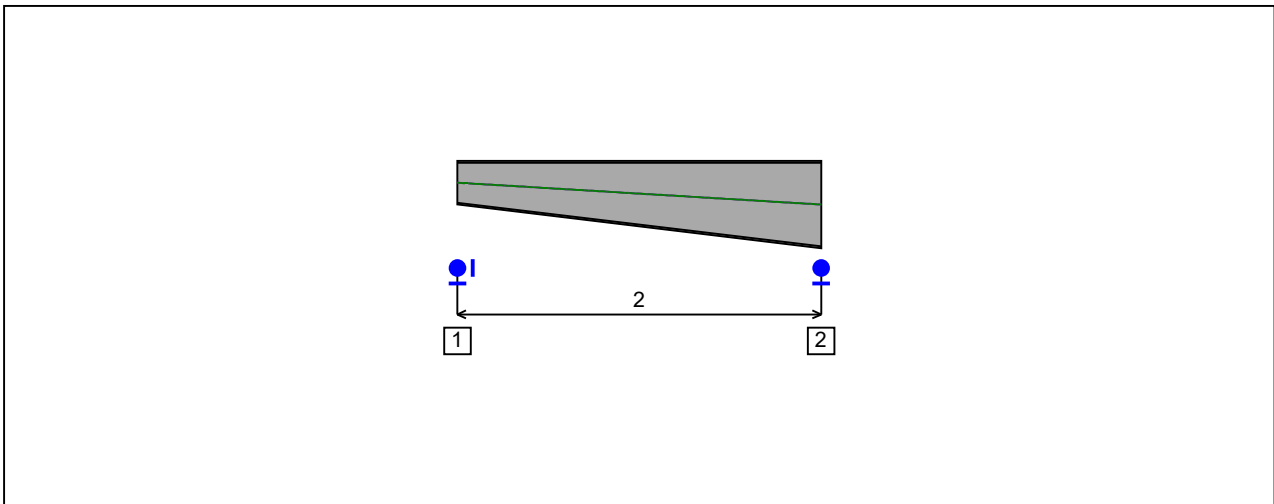


Figure 1 : Profile in long with section numbers.

- Section No. 1 : DIM 240x240

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Type : By dimensions

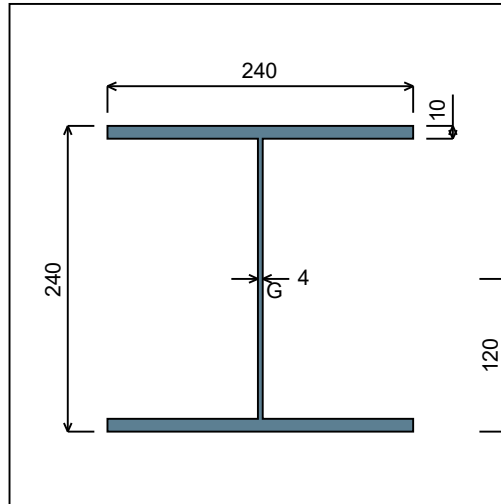


Figure 2 : Section No. 1 (DIM 240x240).

Main geometrical properties :

- z_S = 0 cm
- z_G = 12 cm
- I_y = 6706,9 cm⁴
- I_z = 2304,1 cm⁴
- I_t = 16,08 cm⁴ (Villette)
- I_w = 304720 cm⁶

Other geometrical properties :

- | | |
|---|-------------------------------------|
| A = 56,8 cm ² | $A_{v,z}$ = 9,2 cm ² |
| $A_{v,y}$ = 48 cm ² | |
| $W_{el,y,sup}$ = 558,91 cm ³ | $W_{el,z}$ = 192,01 cm ³ |
| $W_{el,y,inf}$ = 558,91 cm ³ | $W_{pl,z}$ = 288,88 cm ³ |
| $W_{pl,y}$ = 600,4 cm ³ | |

Stiffness relaxations :

- θ : Continuous
- v' : Continuous
- θ' : Continuous
- w' : Continuous

- Section No. 2 : DIM 480x240

Abscissa from the left end of the beam : $x = 2 \text{ m}$

Type : By dimensions

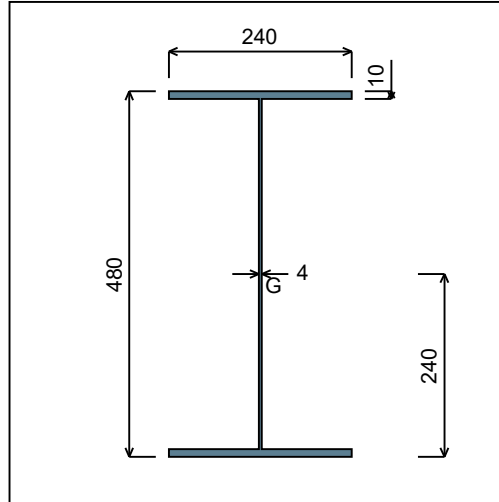


Figure 3 : Section No. 2 (DIM 480x240).

Main geometrical properties :

z_S	= 0 cm
z_G	= 24 cm
I_y	= 29757 cm ⁴
I_z	= 2304,2 cm ⁴
I_t	= 16,6 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 1,273E+6 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 66,4 cm ²	$A_{v,z}$	= 18,8 cm ²
$A_{v,y}$	= 48 cm ²	$W_{el,z}$	= 192,02 cm ³
$W_{el,y,sup}$	= 1239,9 cm ³	$W_{pl,z}$	= 289,84 cm ³
$W_{el,y,inf}$	= 1239,9 cm ³		
$W_{pl,y}$	= 1339,6 cm ³		

Stiffness relaxations :

θ	: Continuous
v'	: Continuous
θ'	: Continuous
w'	: Continuous

I.4 - Lateral restraints

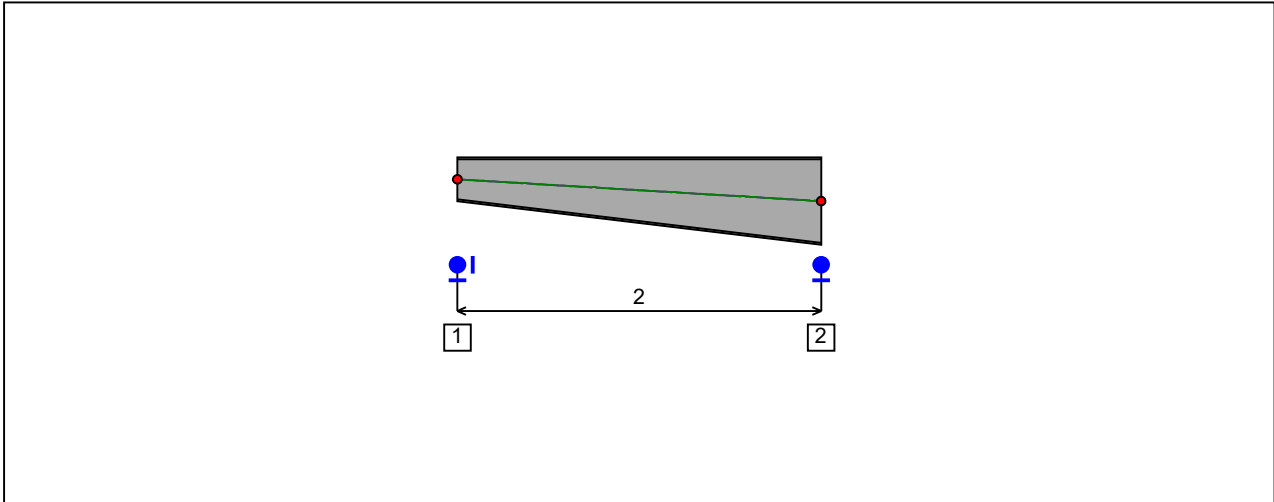


Figure 4 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Fixed
- v' : Free
- θ' : Free

- Restraint No. 2 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 2$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Fixed
- v' : Free
- θ' : Free

I.5 - Supports

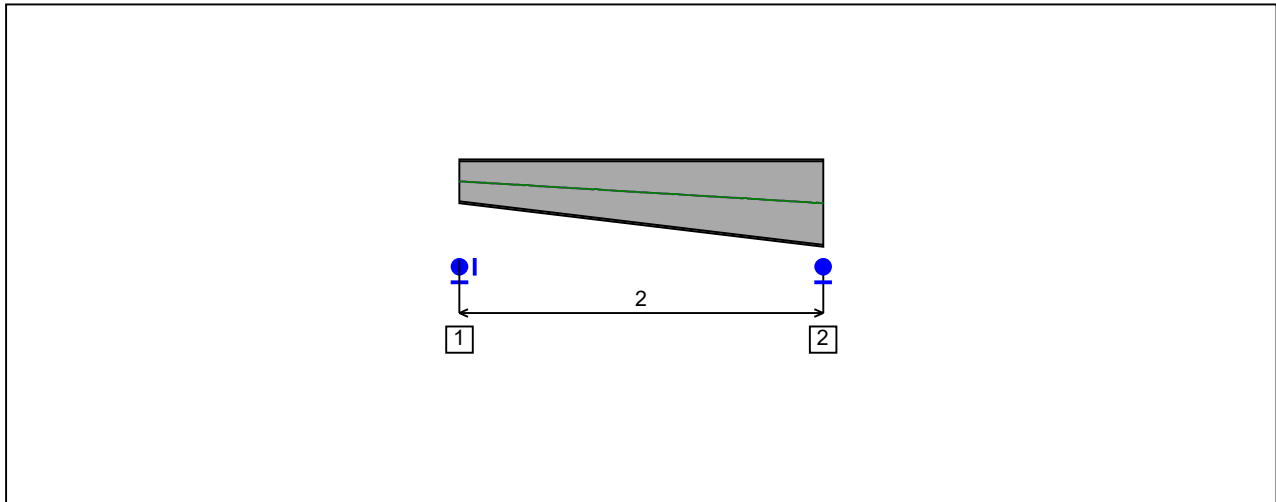


Figure 5 : Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Support conditions :

- u : Fixed
- w : Fixed
- w' : Free

- Support No. 2 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 2$ m

Support conditions :

- u : Free
- w : Fixed
- w' : Free

I.6 - Loads

Type of loading :

Internal

- Moment diagram :

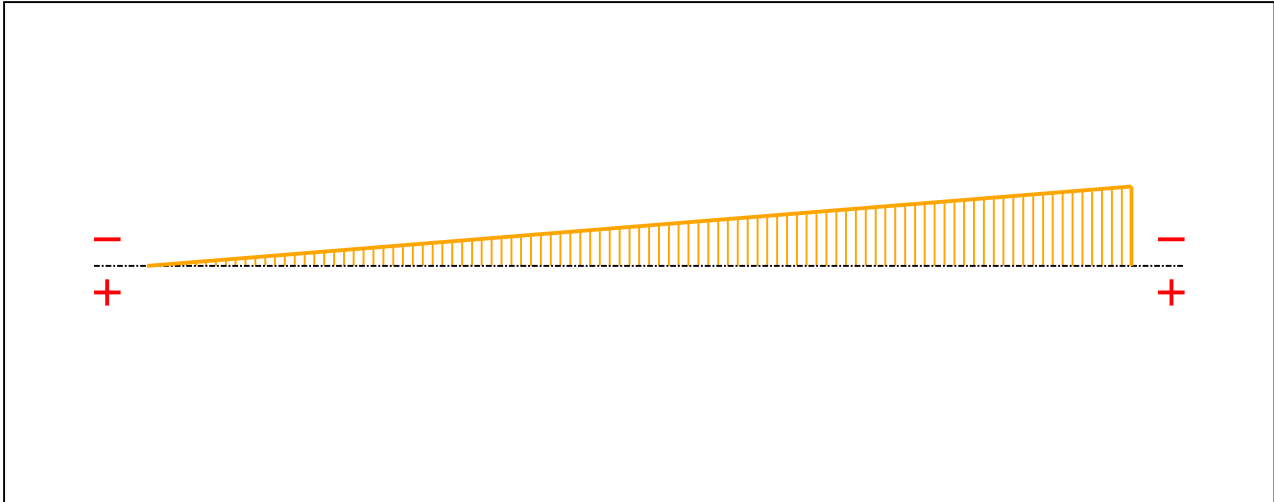


Figure 6 : Moment diagram.

Active :

Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	0
2	-85,64

- Axial force diagram :

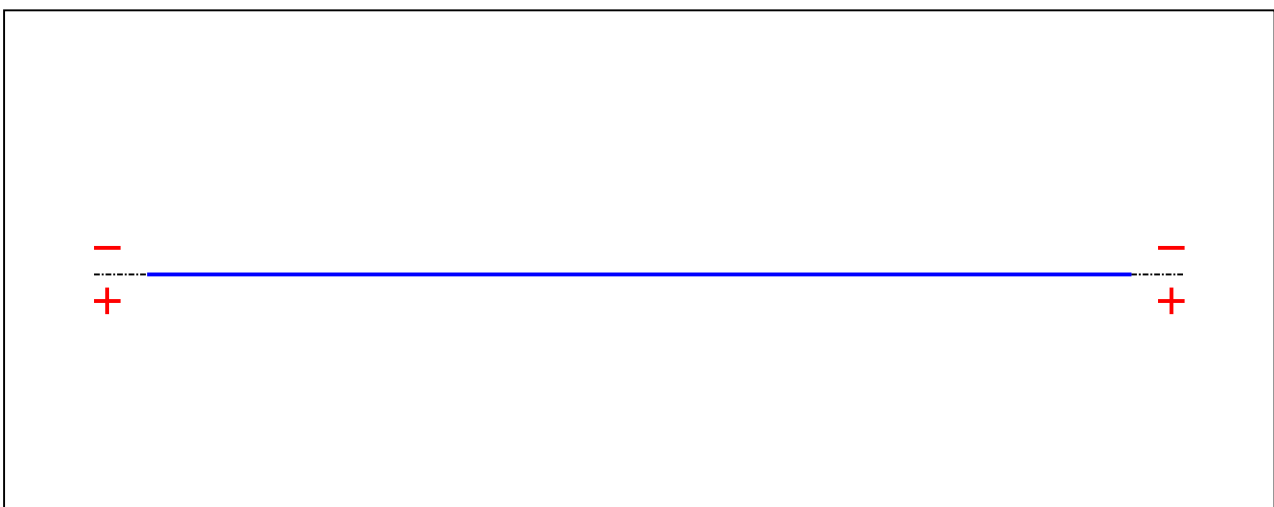


Figure 7 : Axial force diagram.

Active :

No

Table 2 : Axial force diagram.

x(m)	N(kN)
0	0
2	0

- Eccentric concentrated loads :

No load has been defined.

- Eccentric distributed loads :

No load has been defined.

II - LTB CALCULATION

Requested number of modes : 1
 Blocked moment diagram : No
 Blocked axial force diagram : Yes

The TAPER effect is taken into account

II.1 - LTB modes

Table 3 : LTB modes.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	49,65	-4252,4	2	0	2

II.2 - Mode shapes

- Mode 1

Table 4 : Mode 1.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	49,65	-4252,4	2	0	2

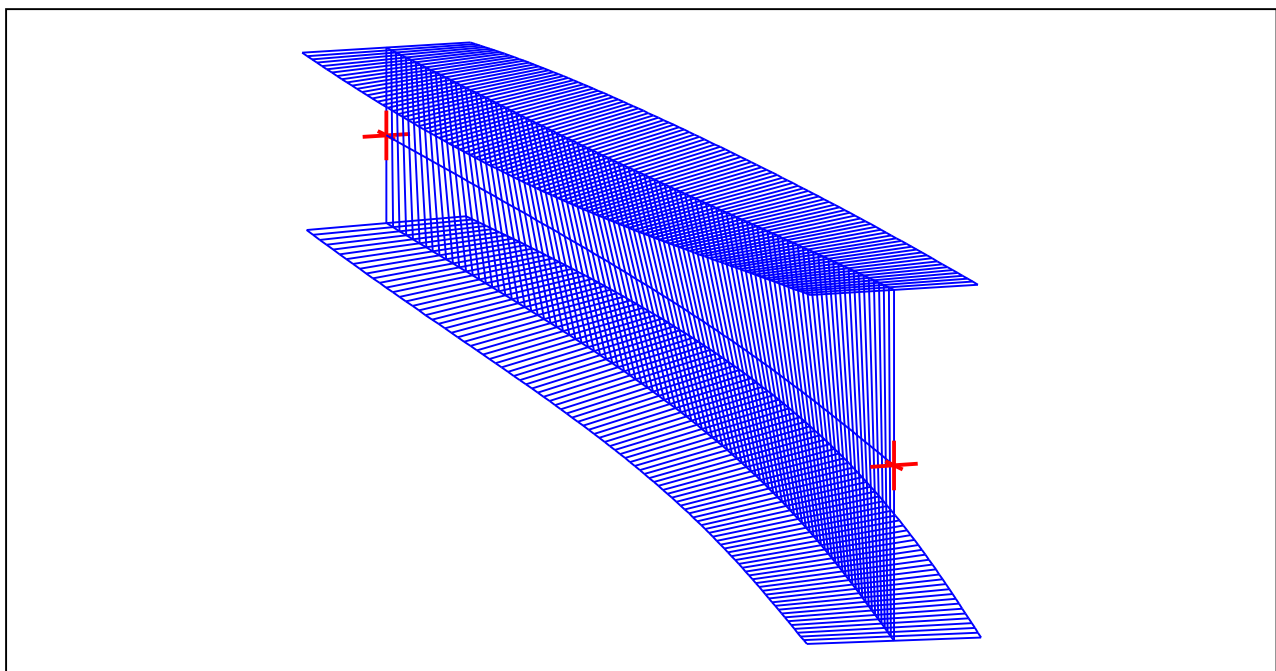


Figure 8 : Mode shape in 3D (Mode 1).

I - PARAMETERS

I.1 - General parameters

Projected total length :	$L = 31 \text{ m}$
Initial discretization of the beam :	$n_{el} = 100 \text{ elements}$

I.2 - Material

Name :	Steel
Young modulus :	$E = 210000 \text{ MPa}$
Shear modulus :	$G = 80769 \text{ MPa}$
Poisson factor :	$\nu = 0,3$
Density :	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

I.3 - Sections

Alignment of sections :	Top
-------------------------	-----

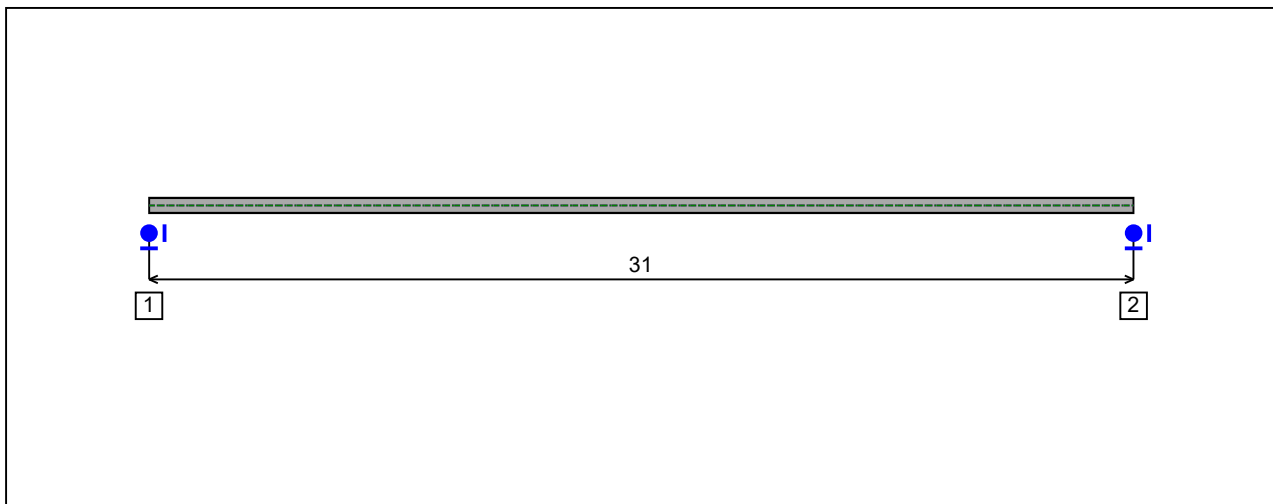


Figure 1 : Profile in long with section numbers.

- Section No. 1 : DIM 480x240

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Type : By dimensions

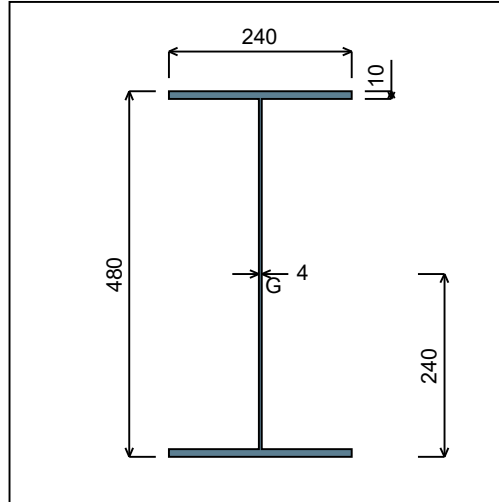


Figure 2 : Section No. 1 (DIM 480x240).

Main geometrical properties :

z_S	= 0 cm
z_G	= 24 cm
I_y	= 29757 cm ⁴
I_z	= 2304,2 cm ⁴
I_t	= 16,6 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 1,273E+6 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 66,4 cm ²	$A_{v,z}$	= 18,8 cm ²
$A_{v,y}$	= 48 cm ²	$W_{el,z}$	= 192,02 cm ³
$W_{el,y,sup}$	= 1239,9 cm ³	$W_{pl,z}$	= 289,84 cm ³
$W_{el,y,inf}$	= 1239,9 cm ³		
$W_{pl,y}$	= 1339,6 cm ³		

Stiffness relaxations :

θ	: Continuous
v'	: Continuous
θ'	: Continuous
w'	: Continuous

- Section No. 2 : DIM 480x240

Abscissa from the left end of the beam : $x = 31 \text{ m}$

Type : By dimensions

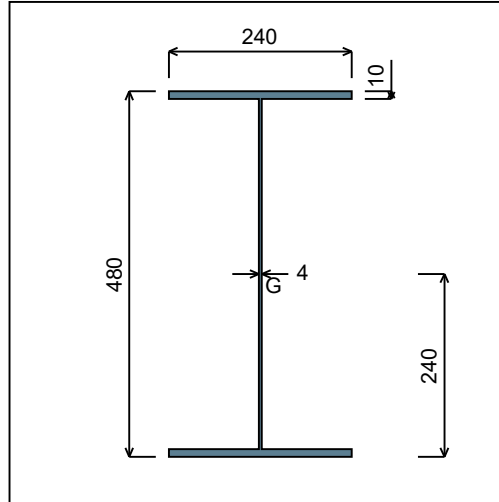


Figure 3 : Section No. 2 (DIM 480x240).

Main geometrical properties :

- $z_S = 0 \text{ cm}$
- $z_G = 24 \text{ cm}$
- $I_y = 29757 \text{ cm}^4$
- $I_z = 2304,2 \text{ cm}^4$
- $I_t = 16,6 \text{ cm}^4$ (Villette)
- $I_w = 1,273\text{E}+6 \text{ cm}^6$

Other geometrical properties :

- | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| $A = 66,4 \text{ cm}^2$ | |
| $A_{v,y} = 48 \text{ cm}^2$ | $A_{v,z} = 18,8 \text{ cm}^2$ |
| $W_{el,y,sup} = 1239,9 \text{ cm}^3$ | |
| $W_{el,y,inf} = 1239,9 \text{ cm}^3$ | $W_{el,z} = 192,02 \text{ cm}^3$ |
| $W_{pl,y} = 1339,6 \text{ cm}^3$ | $W_{pl,z} = 289,84 \text{ cm}^3$ |

Stiffness relaxations :

- θ : Continuous
- v' : Continuous
- θ' : Continuous
- w' : Continuous

I.4 - Lateral restraints

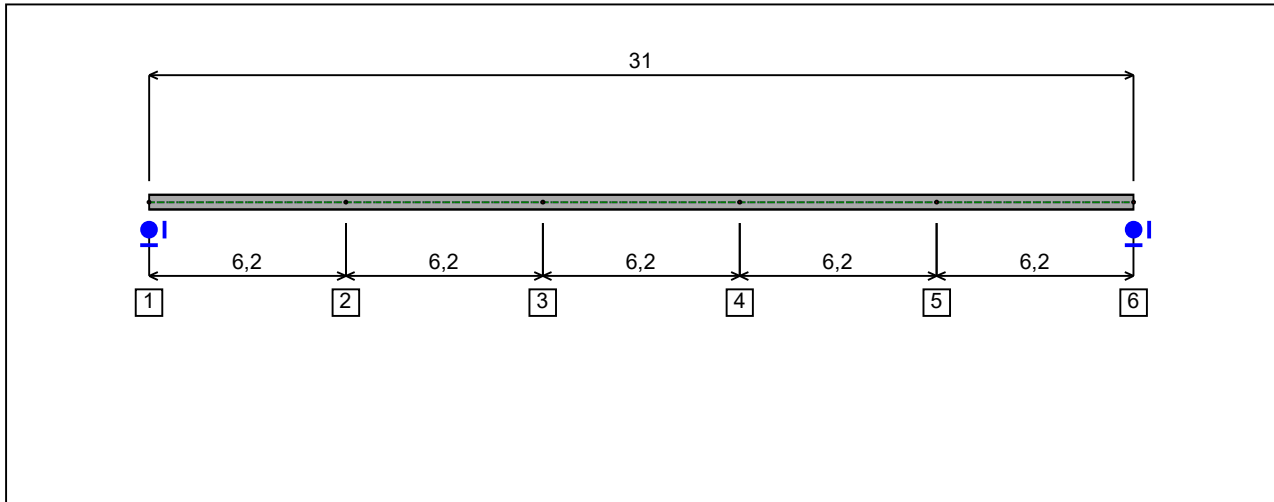


Figure 4 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Fixed
- v' : Free
- θ' : Free

- Restraint No. 2 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 6,2$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Free
- v' : Free
- θ' : Free

- Restraint No. 3 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 12,4$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Free
 v' : Free
 θ' : Free

- Restraint No. 4 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 18,6$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Free
 v' : Free
 θ' : Free

- Restraint No. 5 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 24,8$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Free
 v' : Free
 θ' : Free

- Restraint No. 6 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 31$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Fixed
 v' : Free
 θ' : Free

1.5 - Supports

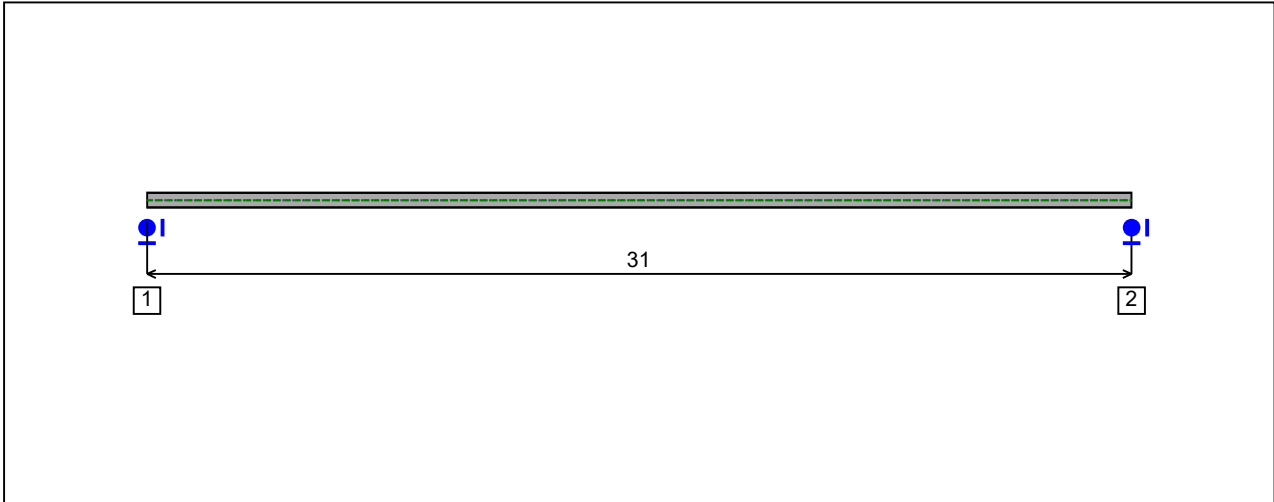


Figure 5 : Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Support conditions :

- u : Fixed
- w : Fixed
- w' : Free

- Support No. 2 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 31$ m

Support conditions :

- u : Fixed
- w : Fixed
- w' : Free

I.6 - Loads

Type of loading :

Internal

- **Moment diagram :**

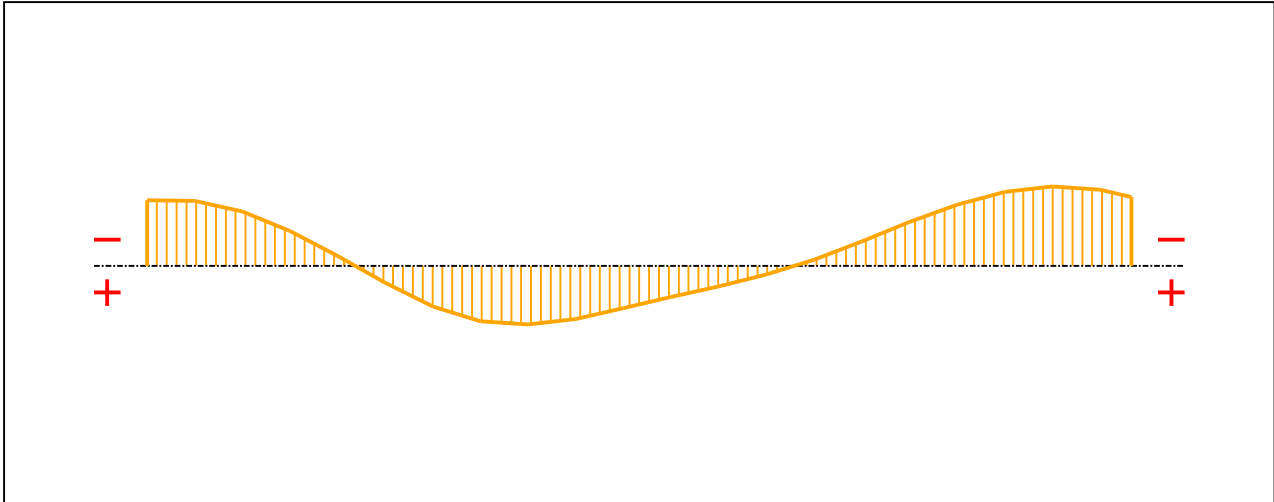


Figure 6 : Moment diagram.

Active :

Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	-81,86
1,5	-81,22
3	-67,86
4,5	-43,75
6	-12,44
7,5	21,13
9	50,68
10,5	69,02
12	73
13,5	65,87
15	52,41
16,5	38,42
18	25,26
19,5	10,44
21	-7,89
22,5	-30,5

Table 1 (Next) : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
24	-54,7
25,5	-76,42
27	-92,13
28,5	-99,02
30	-95,01
31	-85,64

- Axial force diagram :

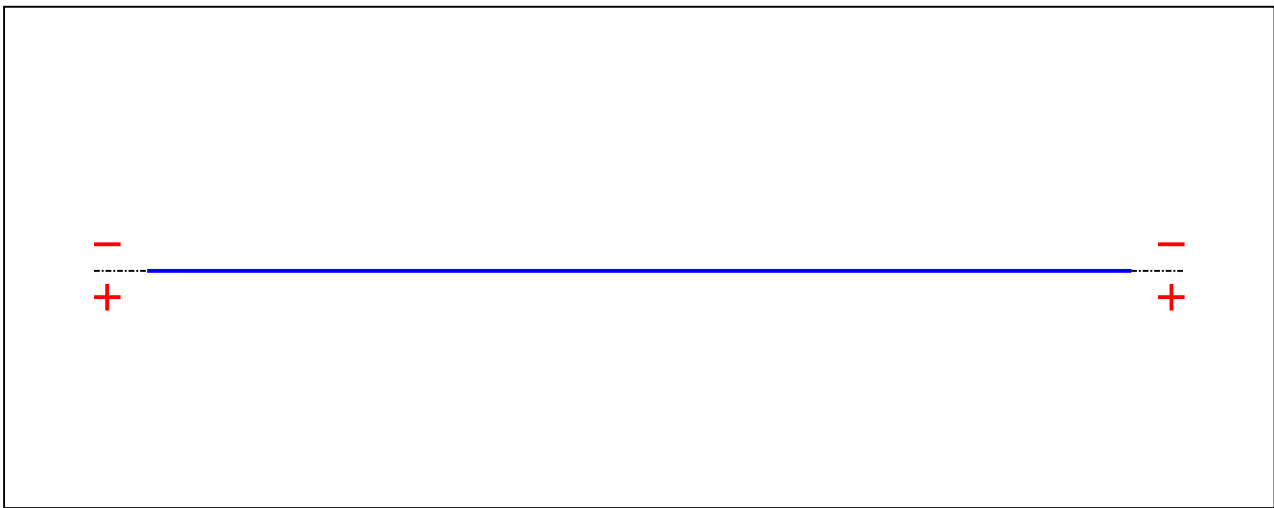


Figure 7 : Axial force diagram.

Active : No

Table 2 : Axial force diagram.

x(m)	N(kN)
0	0
31	0

- Eccentric concentrated loads :

No load has been defined.

- Eccentric distributed loads :

No load has been defined.

II - LTB CALCULATION

Requested number of modes : 1
 Blocked moment diagram : No
 Blocked axial force diagram : Yes

II.1 - LTB modes

Table 3 : LTB modes.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	2,065	-204,38	28,52	0	28,52

II.2 - Mode shapes

- Mode 1

Table 4 : Mode 1.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	2,065	-204,38	28,52	0	28,52

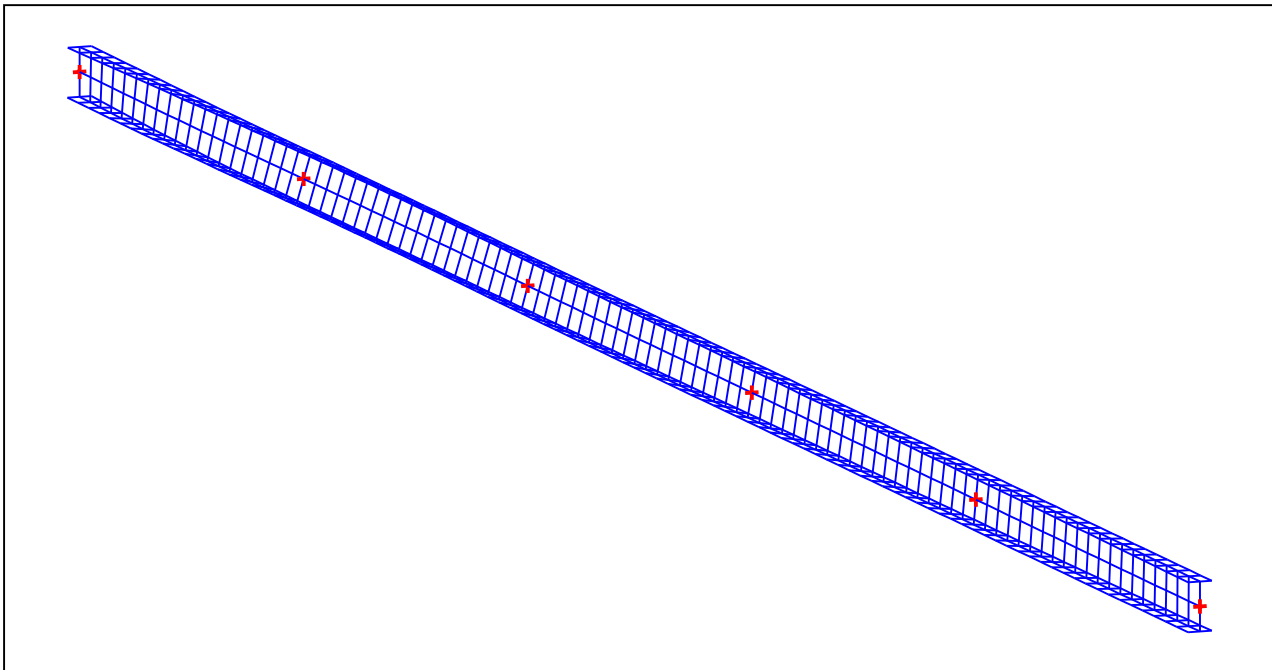


Figure 8 : Mode shape in 3D (Mode 1).

I - PARAMETERS

I.1 - General parameters

Projected total length :	$L = 31,15 \text{ m}$
Initial discretization of the beam :	$n_{el} = 100 \text{ elements}$

I.2 - Material

Name :	Steel
Young modulus :	$E = 210000 \text{ MPa}$
Shear modulus :	$G = 80769 \text{ MPa}$
Poisson factor :	$\nu = 0,3$
Density :	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

I.3 - Sections

Alignment of sections :	Top
-------------------------	-----

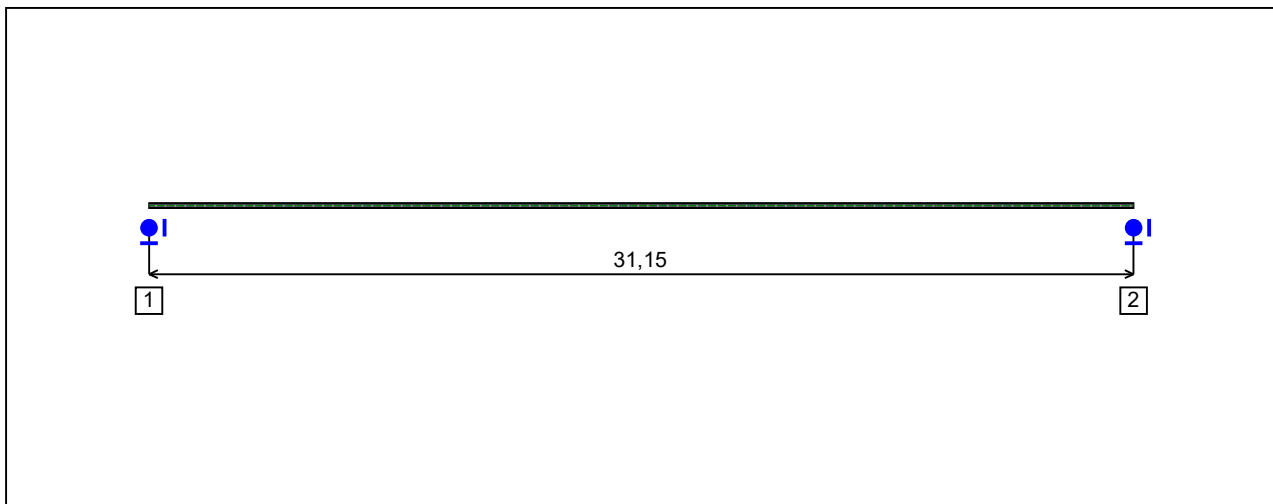


Figure 1 : Profile in long with section numbers.

- Section No. 1 : HEA 160

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Type : In catalogue (OTUA)

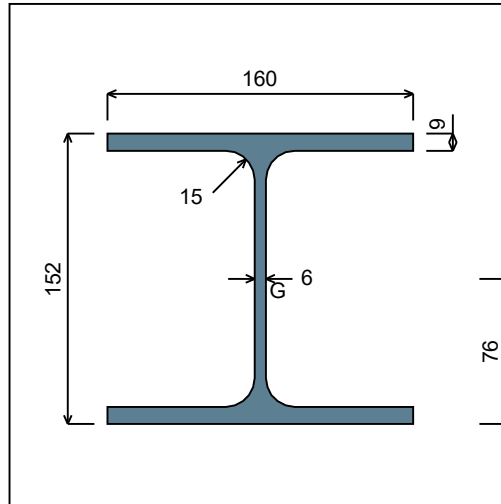


Figure 2 : Section No. 1 (HEA 160).

Main geometrical properties :

z_S	= 0 cm
z_G	= 7,6 cm
I_y	= 1673 cm ⁴
I_z	= 615,57 cm ⁴
I_t	= 11,83 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 31470 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 38,77 cm ²	$A_{v,z}$	= 13,21 cm ²
$A_{v,y}$	= 28,8 cm ²	$W_{el,z}$	= 76,95 cm ³
$W_{el,y,sup}$	= 220,13 cm ³	$W_{pl,z}$	= 117,63 cm ³
$W_{el,y,inf}$	= 220,13 cm ³		
$W_{pl,y}$	= 245,15 cm ³		

Stiffness relaxations :

θ	: Continuous
v'	: Continuous
θ'	: Continuous
w'	: Continuous

- Section No. 2 : HEA 160

Abscissa from the left end of the beam : $x = 31,15 \text{ m}$

Type : In catalogue (OTUA)

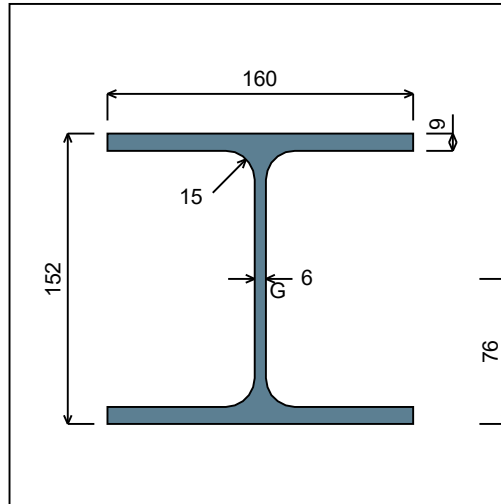


Figure 3 : Section No. 2 (HEA 160).

Main geometrical properties :

z_S	= 0 cm
z_G	= 7,6 cm
I_y	= 1673 cm ⁴
I_z	= 615,57 cm ⁴
I_t	= 11,83 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 31470 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 38,77 cm ²	$A_{v,z}$	= 13,21 cm ²
$A_{v,y}$	= 28,8 cm ²	$W_{el,z}$	= 76,95 cm ³
$W_{el,y,sup}$	= 220,13 cm ³	$W_{pl,z}$	= 117,63 cm ³
$W_{el,y,inf}$	= 220,13 cm ³		
$W_{pl,y}$	= 245,15 cm ³		

Stiffness relaxations :

θ	: Continuous
v'	: Continuous
θ'	: Continuous
w'	: Continuous

I.4 - Lateral restraints

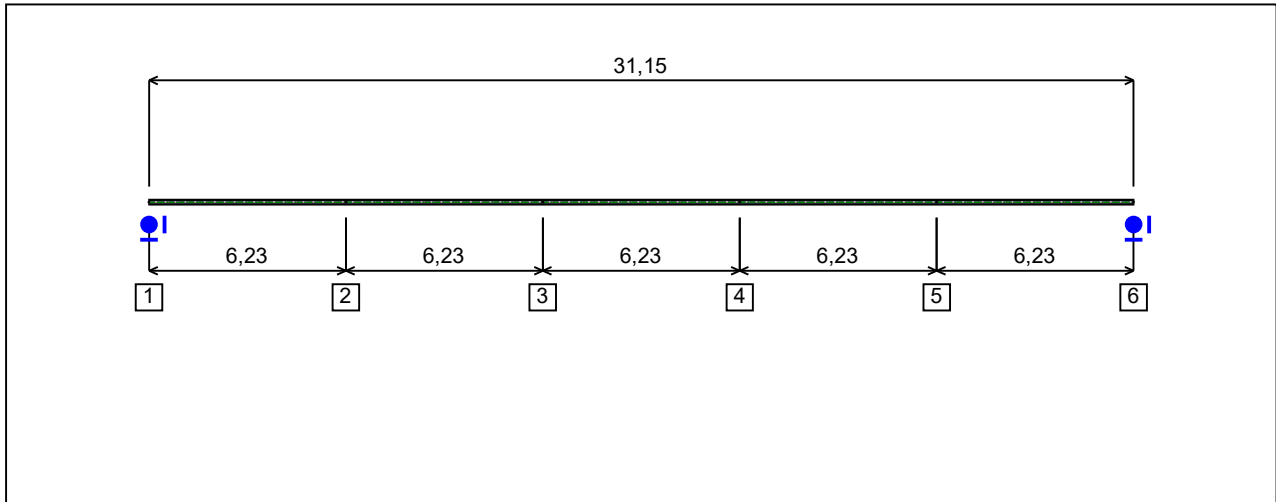


Figure 4 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Fixed
- v' : Free
- θ' : Free

- Restraint No. 2 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 6,23$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Free
- v' : Free
- θ' : Free

- Restraint No. 3 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 12,46$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Free
 v' : Free
 θ' : Free

- Restraint No. 4 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 18,69$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Free
 v' : Free
 θ' : Free

- Restraint No. 5 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 24,92$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Free
 v' : Free
 θ' : Free

- Restraint No. 6 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 31,15$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Fixed
 v' : Free
 θ' : Free

1.5 - Supports

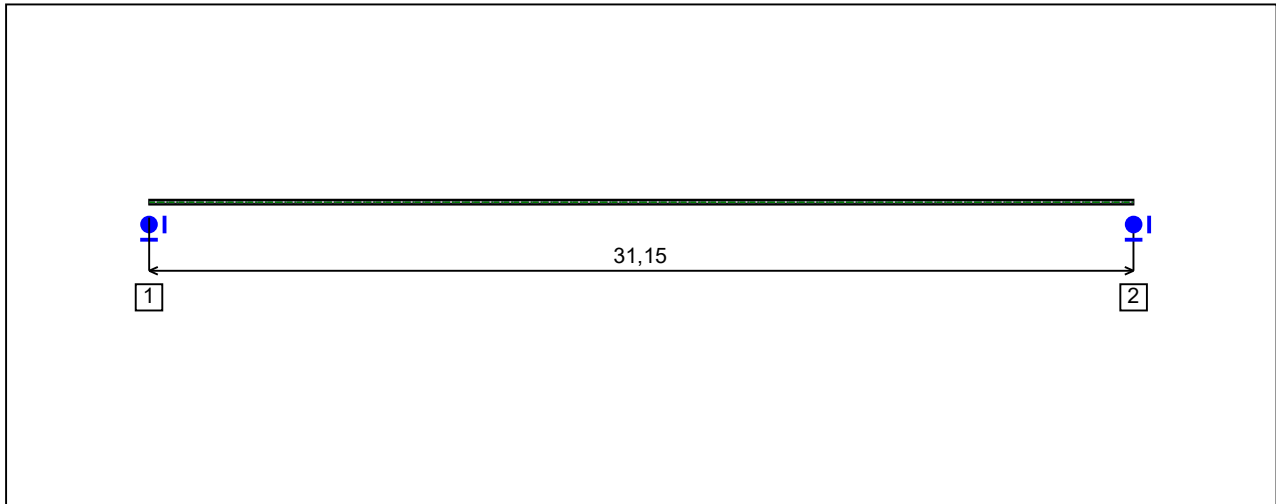


Figure 5 : Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Support conditions :

u : Fixed
w : Fixed
w' : Free

- Support No. 2 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 31,15$ m

Support conditions :

u : Fixed
w : Fixed
w' : Free

I.6 - Loads

Type of loading :

Internal

- Moment diagram :

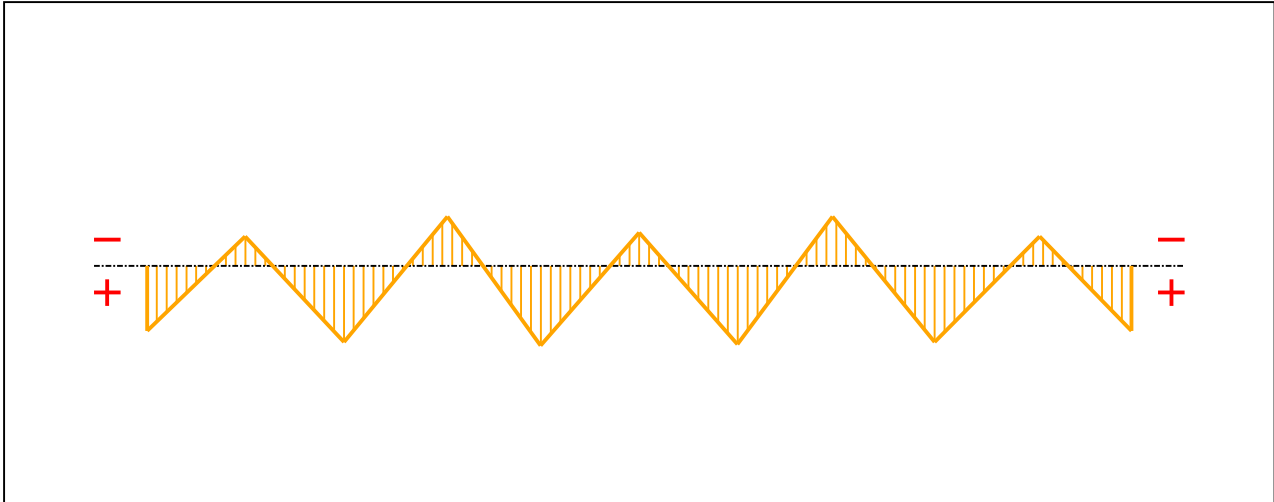


Figure 6 : Moment diagram.

Active :

Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	12,6
3,1	-5,75
6,23	14,8
9,508	-9,58
12,45	15,45
15,58	-6,48
18,68	15,19
21,69	-9,62
24,92	14,81
28,24	-5,77
31,15	12,58

- Axial force diagram :

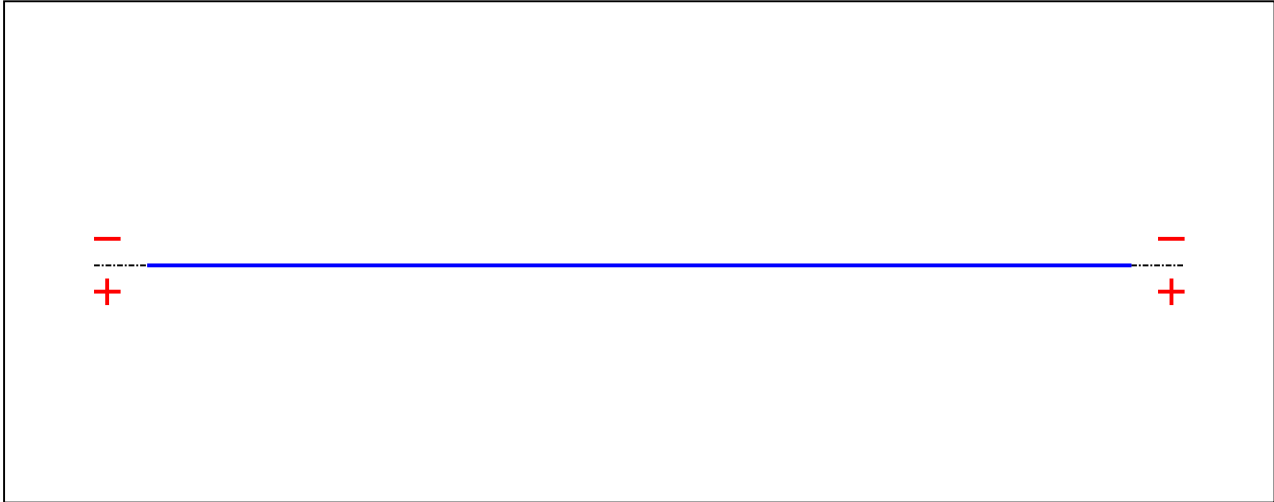


Figure 7 : Axial force diagram.

Active :

No

Table 2 : Axial force diagram.

x(m)	N(kN)
0	0
31,15	0

- Eccentric concentrated loads :

No load has been defined.

- Eccentric distributed loads :

No load has been defined.

II - LTB CALCULATION

Requested number of modes : 1
 Blocked moment diagram : No
 Blocked axial force diagram : Yes

II.1 - LTB modes

Table 3 : LTB modes.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	1,677	25,79	12,46	0	12,46

II.2 - Mode shapes

- Mode 1

Table 4 : Mode 1.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	1,677	25,79	12,46	0	12,46

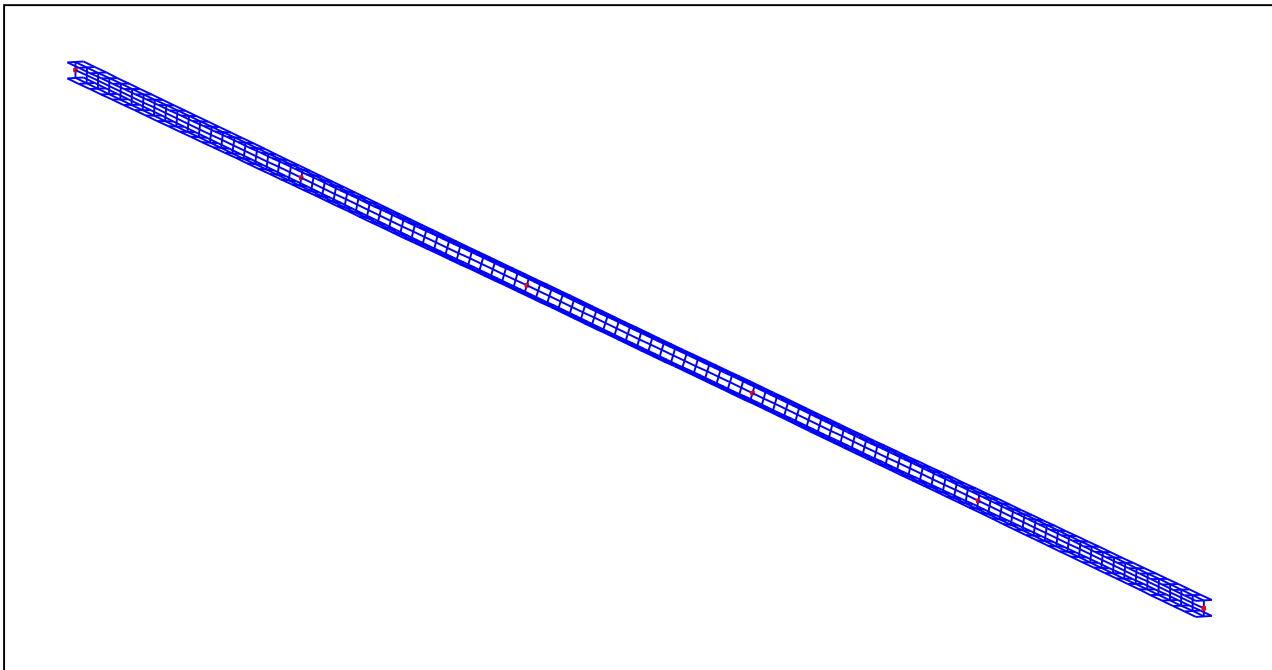


Figure 8 : Mode shape in 3D (Mode 1).

I - PARAMETERS

I.1 - General parameters

Projected total length :	L = 2 m
Initial discretization of the beam :	$n_{el} = 100$ elements

I.2 - Material

Name :	Steel
Young modulus :	E = 210000 MPa
Shear modulus :	G = 80769 MPa
Poisson factor :	$\nu = 0,3$
Density :	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

I.3 - Sections

Alignment of sections :	Top
-------------------------	-----

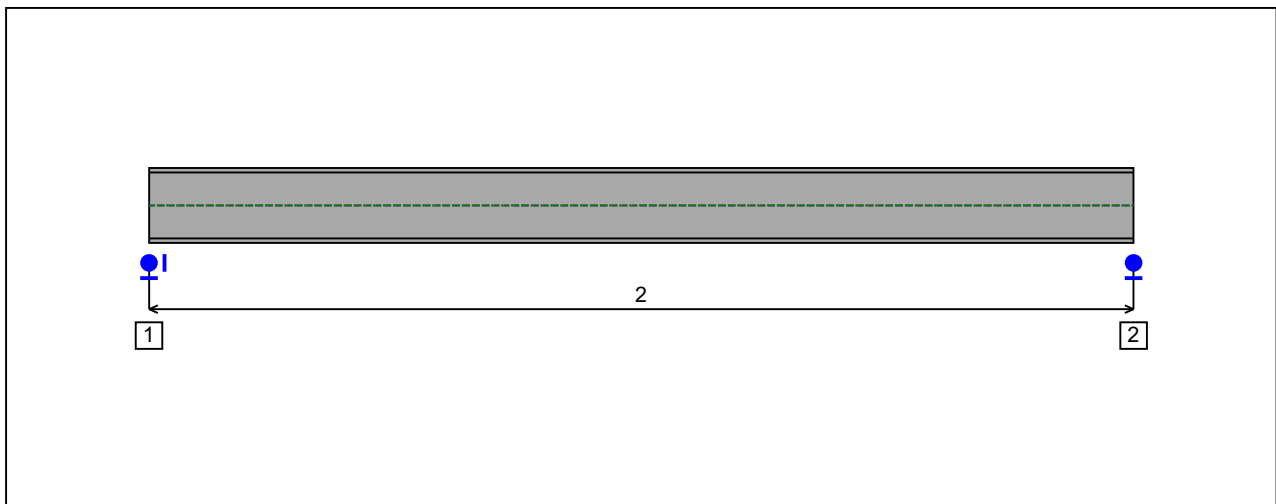


Figure 1 : Profile in long with section numbers.

- Section No. 1 : HEA 160

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Type : In catalogue (OTUA)

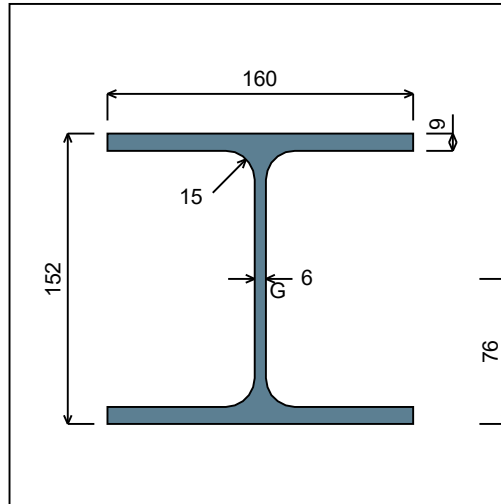


Figure 2 : Section No. 1 (HEA 160).

Main geometrical properties :

z_S	= 0 cm
z_G	= 7,6 cm
I_y	= 1673 cm ⁴
I_z	= 615,57 cm ⁴
I_t	= 11,83 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 31470 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 38,77 cm ²	$A_{v,z}$	= 13,21 cm ²
$A_{v,y}$	= 28,8 cm ²	$W_{el,z}$	= 76,95 cm ³
$W_{el,y,sup}$	= 220,13 cm ³	$W_{pl,z}$	= 117,63 cm ³
$W_{el,y,inf}$	= 220,13 cm ³		
$W_{pl,y}$	= 245,15 cm ³		

Stiffness relaxations :

θ	: Continuous
v'	: Continuous
θ'	: Continuous
w'	: Continuous

- Section No. 2 : HEA 160

Abscissa from the left end of the beam : $x = 2 \text{ m}$

Type : In catalogue (OTUA)

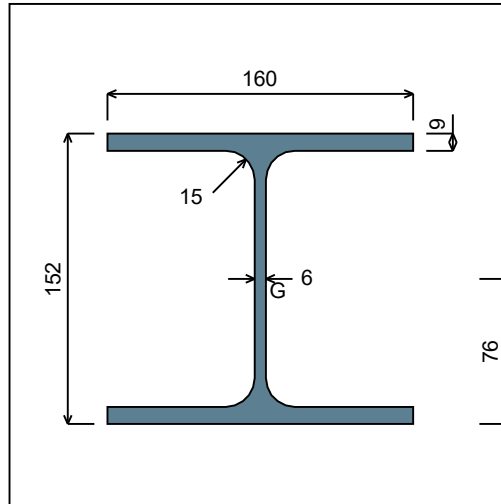


Figure 3 : Section No. 2 (HEA 160).

Main geometrical properties :

z_S	= 0 cm
z_G	= 7,6 cm
I_y	= 1673 cm ⁴
I_z	= 615,57 cm ⁴
I_t	= 11,83 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 31470 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 38,77 cm ²	$A_{v,z}$	= 13,21 cm ²
$A_{v,y}$	= 28,8 cm ²	$W_{el,z}$	= 76,95 cm ³
$W_{el,y,sup}$	= 220,13 cm ³	$W_{pl,z}$	= 117,63 cm ³
$W_{el,y,inf}$	= 220,13 cm ³		
$W_{pl,y}$	= 245,15 cm ³		

Stiffness relaxations :

θ	: Continuous
v'	: Continuous
θ'	: Continuous
w'	: Continuous

I.4 - Lateral restraints

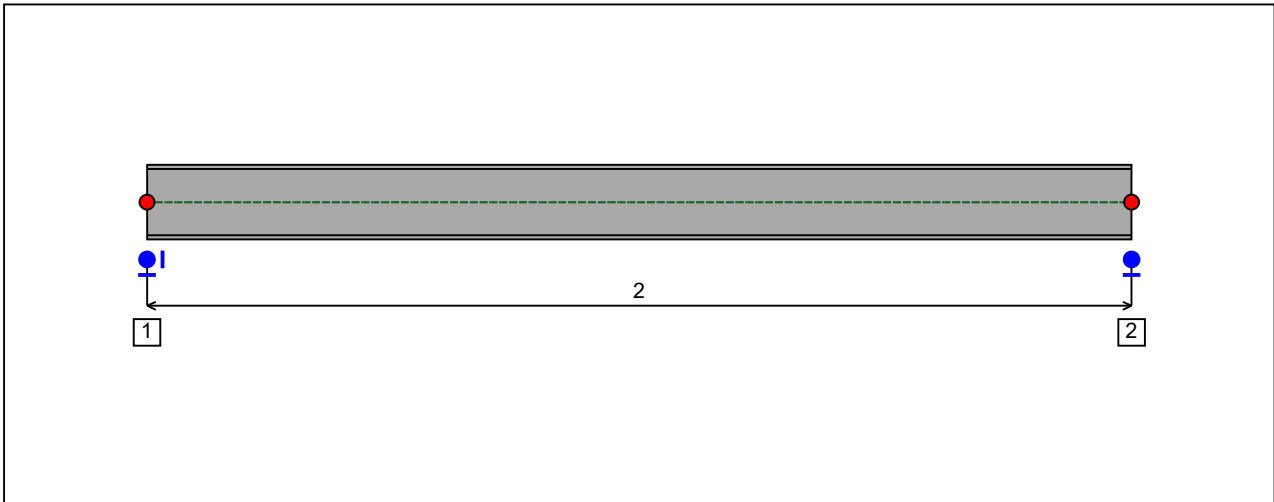


Figure 4 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Fixed
- v' : Free
- θ' : Free

- Restraint No. 2 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 2$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Fixed
- v' : Free
- θ' : Free

1.5 - Supports

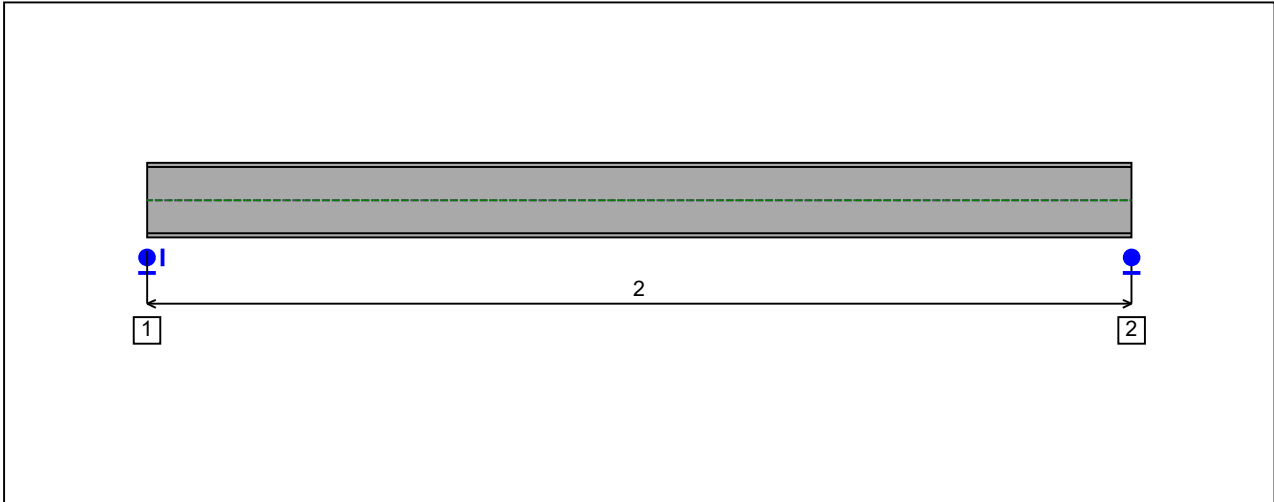


Figure 5 : Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0 \text{ m}$

Support conditions :

- u : Fixed
- w : Fixed
- w' : Free

- Support No. 2 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 2 \text{ m}$

Support conditions :

- u : Free
- w : Fixed
- w' : Free

1.6 - Loads

Type of loading :

Internal

- Moment diagram :

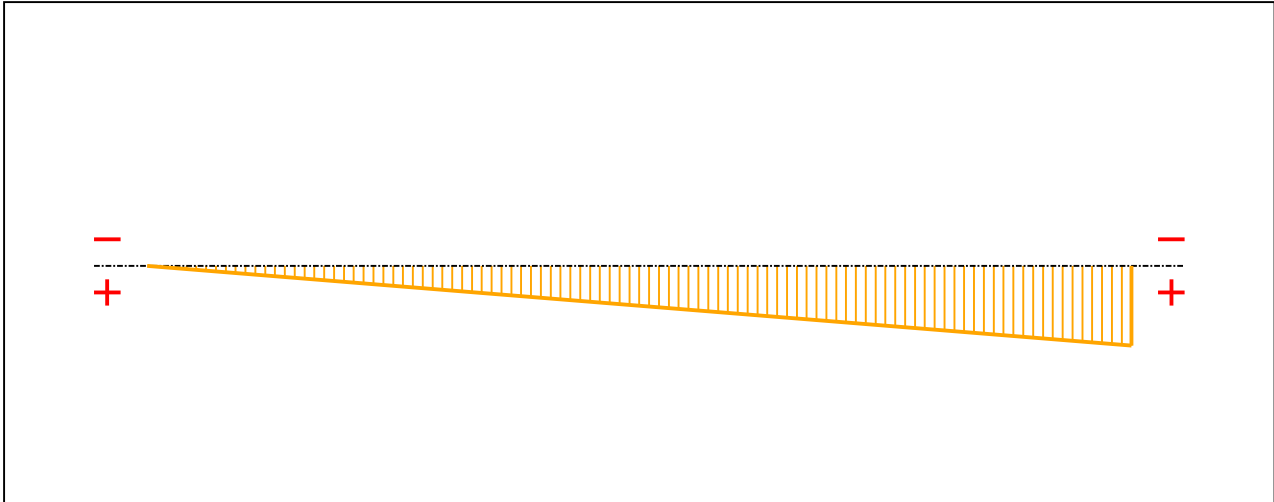


Figure 6 : Moment diagram.

Active :

Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	0
2	13,42

- Axial force diagram :

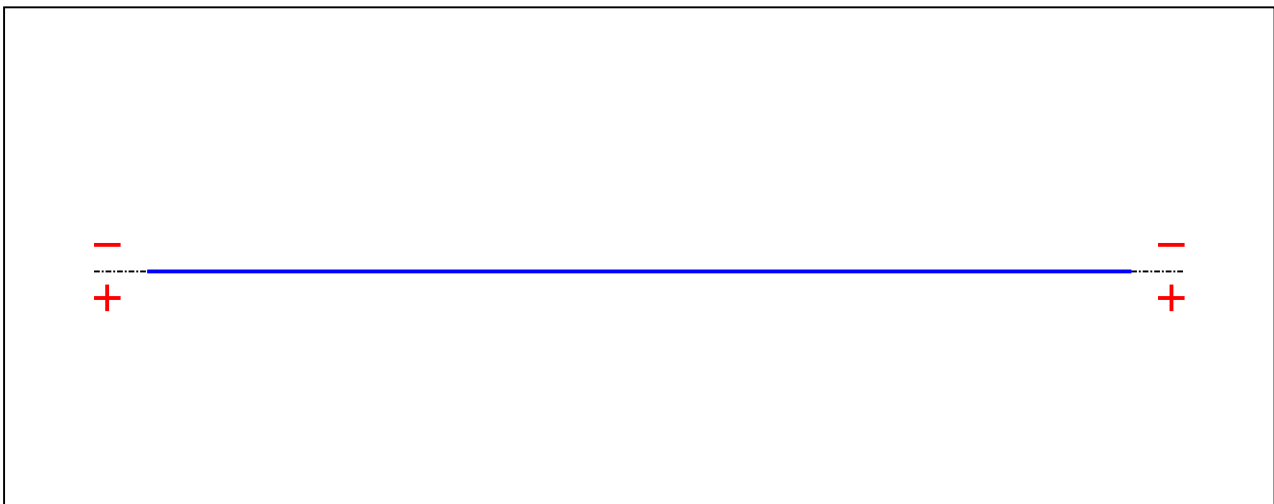


Figure 7 : Axial force diagram.

Active :

No

Table 2 : Axial force diagram.

x(m)	N(kN)
0	0
2	0

- Eccentric concentrated loads :

No load has been defined.

- Eccentric distributed loads :

No load has been defined.

II - LTB CALCULATION

Requested number of modes : 1
 Blocked moment diagram : No
 Blocked axial force diagram : Yes

II.1 - LTB modes

Table 3 : LTB modes.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	39,51	530,23	2	0	2

II.2 - Mode shapes

- Mode 1

Table 4 : Mode 1.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	39,51	530,23	2	0	2

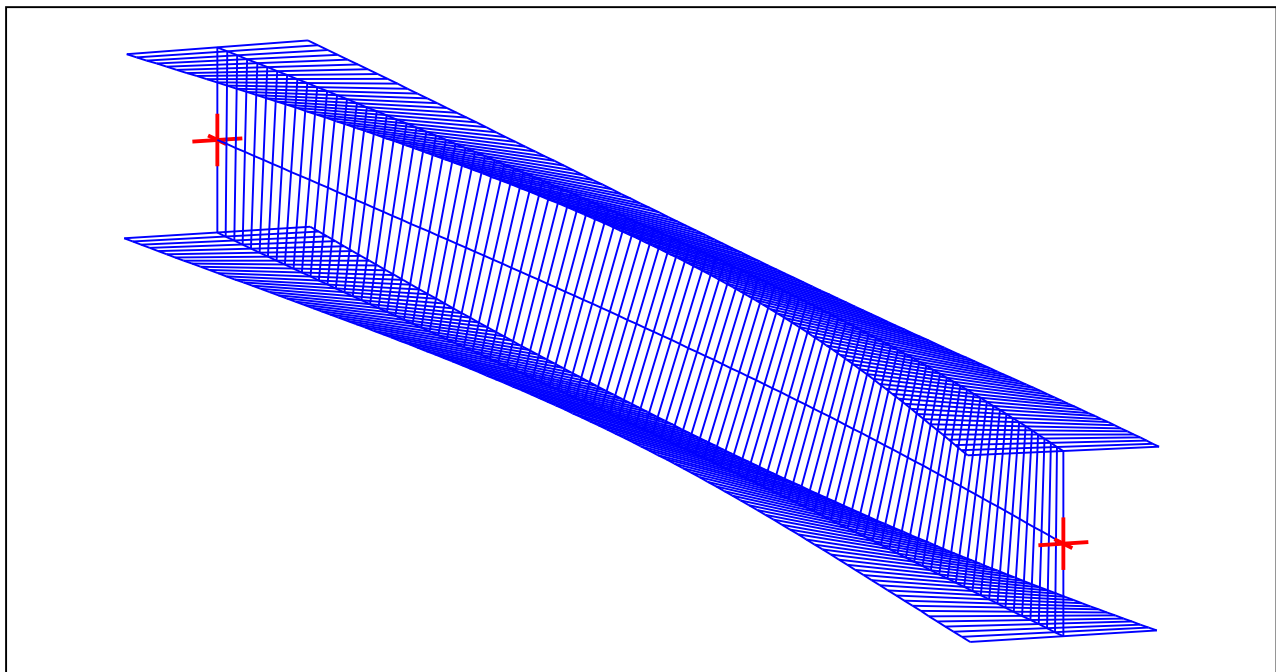


Figure 8 : Mode shape in 3D (Mode 1).

I - PARAMETERS

I.1 - General parameters

Projected total length :	$L = 6,825 \text{ m}$
Initial discretization of the beam :	$n_{el} = 100 \text{ elements}$

I.2 - Material

Name :	Steel
Young modulus :	$E = 210000 \text{ MPa}$
Shear modulus :	$G = 80769 \text{ MPa}$
Poisson factor :	$\nu = 0,3$
Density :	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

I.3 - Sections

Alignment of sections :	Top
-------------------------	-----

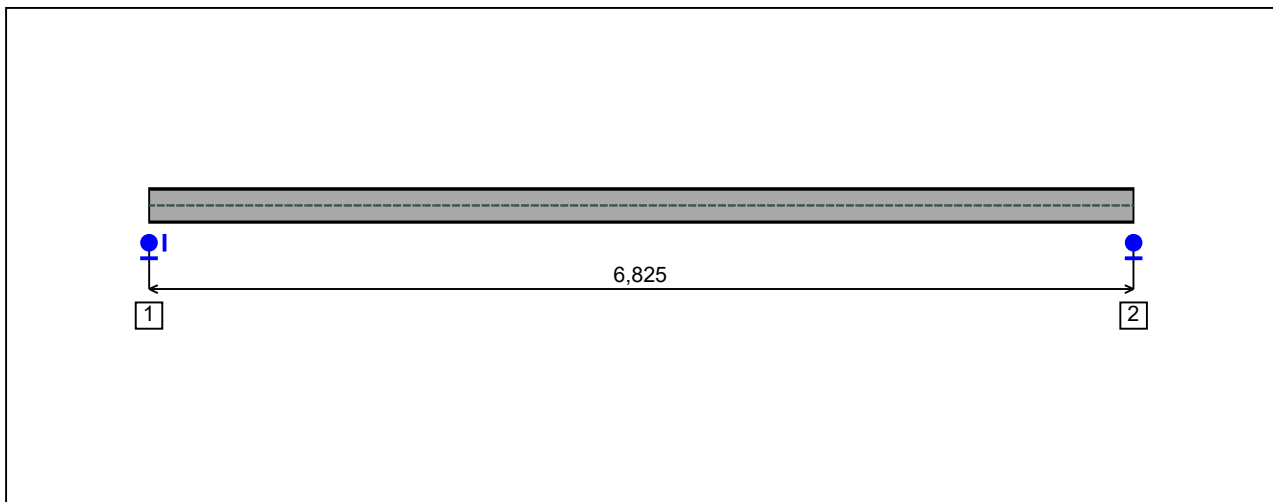


Figure 1 : Profile in long with section numbers.

- Section No. 1 : IPE 240

Abscissa from the left end of the beam :

$x = 0$ m

Type :

In catalogue (OTUA)

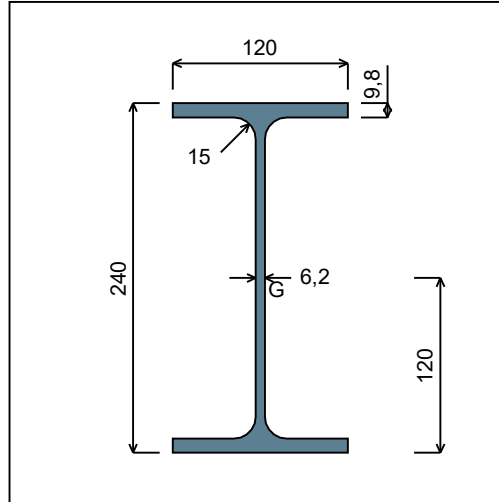


Figure 2 : Section No. 1 (IPE 240).

Main geometrical properties :

z_S	= 0 cm
z_G	= 12 cm
I_y	= 3891,6 cm ⁴
I_z	= 283,63 cm ⁴
I_t	= 12,7 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 37576 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 39,12 cm ²	
$A_{v,y}$	= 23,52 cm ²	$A_{v,z}$ = 19,14 cm ²
$W_{el,y,sup}$	= 324,3 cm ³	
$W_{el,y,inf}$	= 324,3 cm ³	$W_{el,z}$ = 47,27 cm ³
$W_{pl,y}$	= 366,65 cm ³	$W_{pl,z}$ = 73,92 cm ³

Stiffness relaxations :

θ	: Continuous
v'	: Continuous
θ'	: Continuous
w'	: Continuous

- Section No. 2 : IPE 240

Abscissa from the left end of the beam :

$x = 6,825$ m

Type :

In catalogue (OTUA)

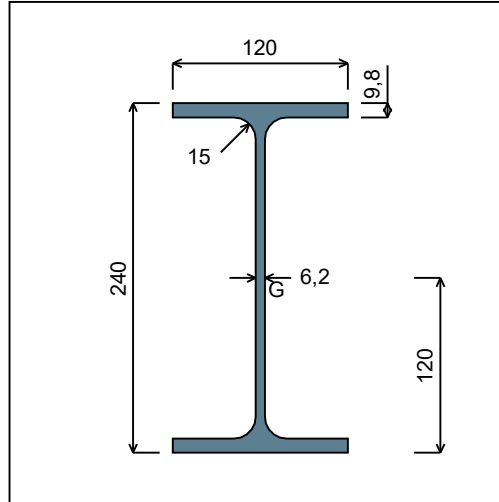


Figure 3 : Section No. 2 (IPE 240).

Main geometrical properties :

z_S	= 0 cm
z_G	= 12 cm
I_y	= 3891,6 cm ⁴
I_z	= 283,63 cm ⁴
I_t	= 12,7 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 37576 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 39,12 cm ²	
$A_{v,y}$	= 23,52 cm ²	$A_{v,z}$ = 19,14 cm ²
$W_{el,y,sup}$	= 324,3 cm ³	
$W_{el,y,inf}$	= 324,3 cm ³	$W_{el,z}$ = 47,27 cm ³
$W_{pl,y}$	= 366,65 cm ³	$W_{pl,z}$ = 73,92 cm ³

Stiffness relaxations :

θ	: Continuous
v'	: Continuous
θ'	: Continuous
w'	: Continuous

I.4 - Lateral restraints

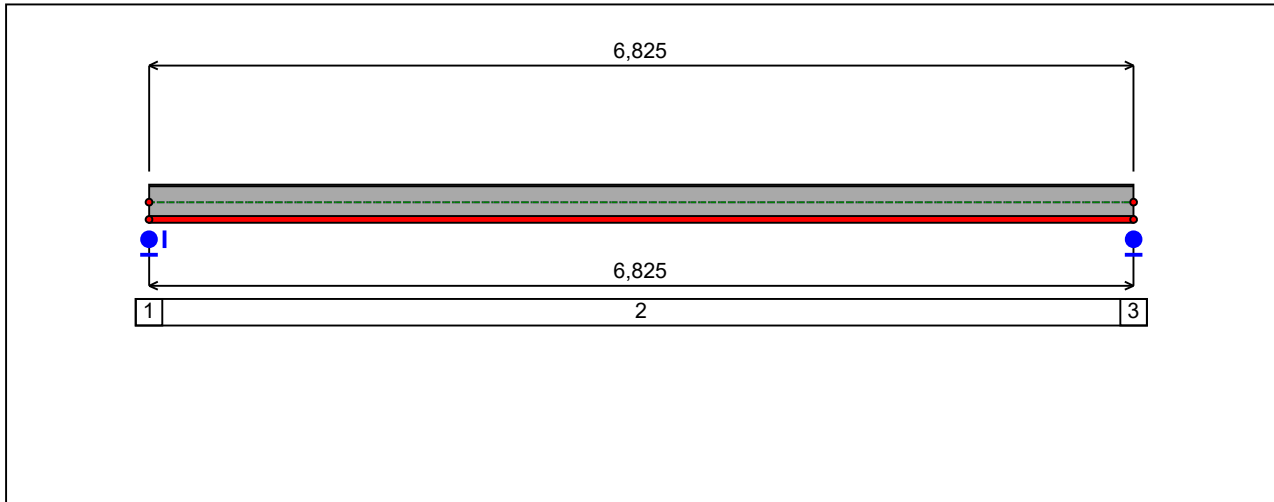


Figure 4 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Fixed
- v' : Free
- θ' : Free

- Restraint No. 2 :

Type : Continuous

Coordinates of the left end :

Abscissa from the left end of the beam : $x_1 = 0$ m

Vertical position from the shear centre : $z_1 = -12$ cm

Coordinates of the right end :

Abscissa from the left end of the beam : $x_2 = 6,825$ m

Vertical position from the shear centre : $z_2 = -12$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed

θ : Free
 v' : Free

- Restraint No. 3 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 6,825$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Fixed
 v' : Free
 θ' : Free

1.5 - Supports

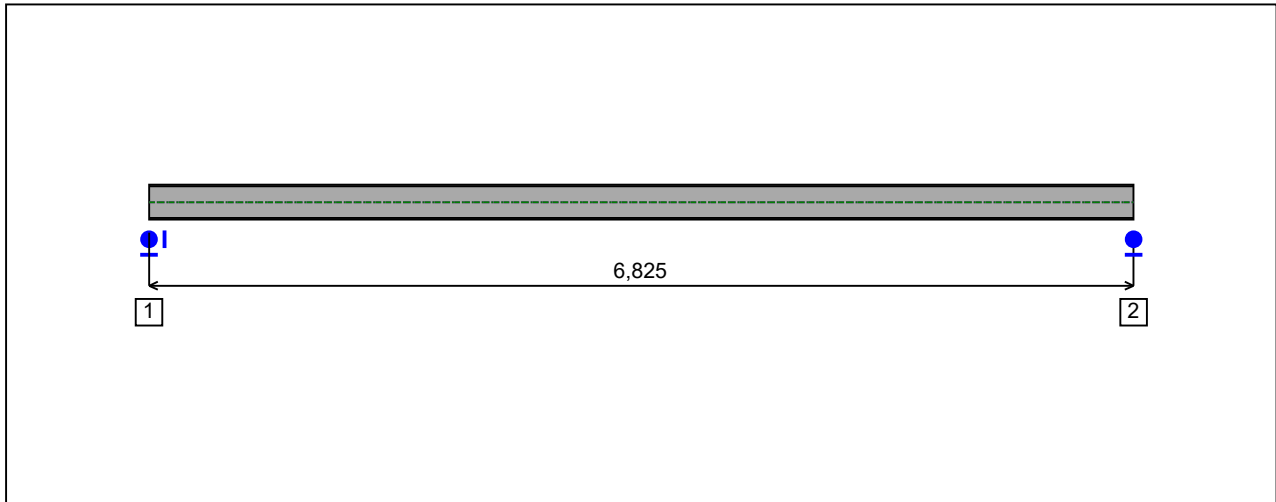


Figure 5 : Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Support conditions :

u : Fixed
w : Fixed
w' : Free

- Support No. 2 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 6,825$ m

Support conditions :

u : Free
w : Fixed
w' : Free

I.6 - Loads

Type of loading :

Internal

- Moment diagram :

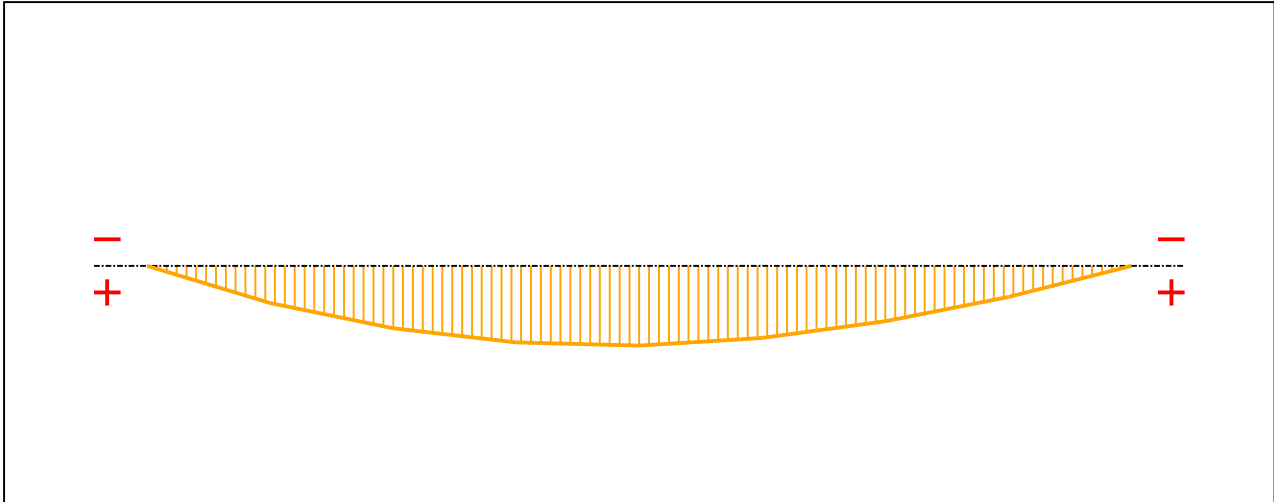


Figure 6 : Moment diagram.

Active :

Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	0
0,8532	10,06
1,706	17
2,559	20,82
3,413	21,66
4,266	19,58
5,119	15,1
5,972	8,47
6,825	0

- Axial force diagram :

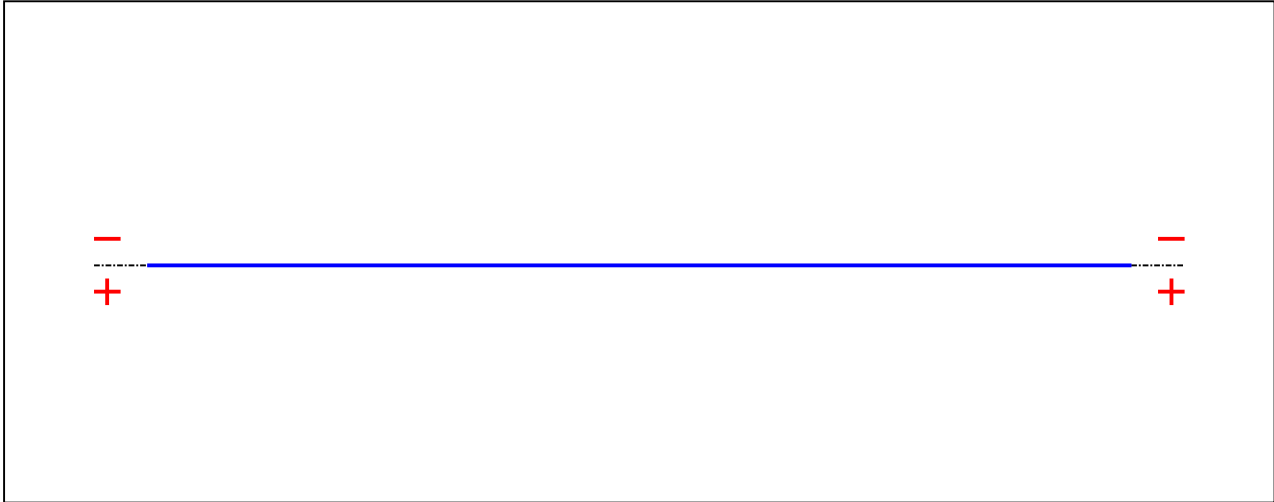


Figure 7 : Axial force diagram.

Active : No

Table 2 : Axial force diagram.

x(m)	N(kN)
0	0
6,825	0

- Eccentric concentrated loads :

No load has been defined.

- Eccentric distributed loads :

No load has been defined.

II - LTB CALCULATION

Requested number of modes : 1
 Blocked moment diagram : No
 Blocked axial force diagram : Yes

II.1 - LTB modes

Table 3 : LTB modes.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	2,976	64,46	3,412	0	3,412

II.2 - Mode shapes

- Mode 1

Table 4 : Mode 1.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	2,976	64,46	3,412	0	3,412

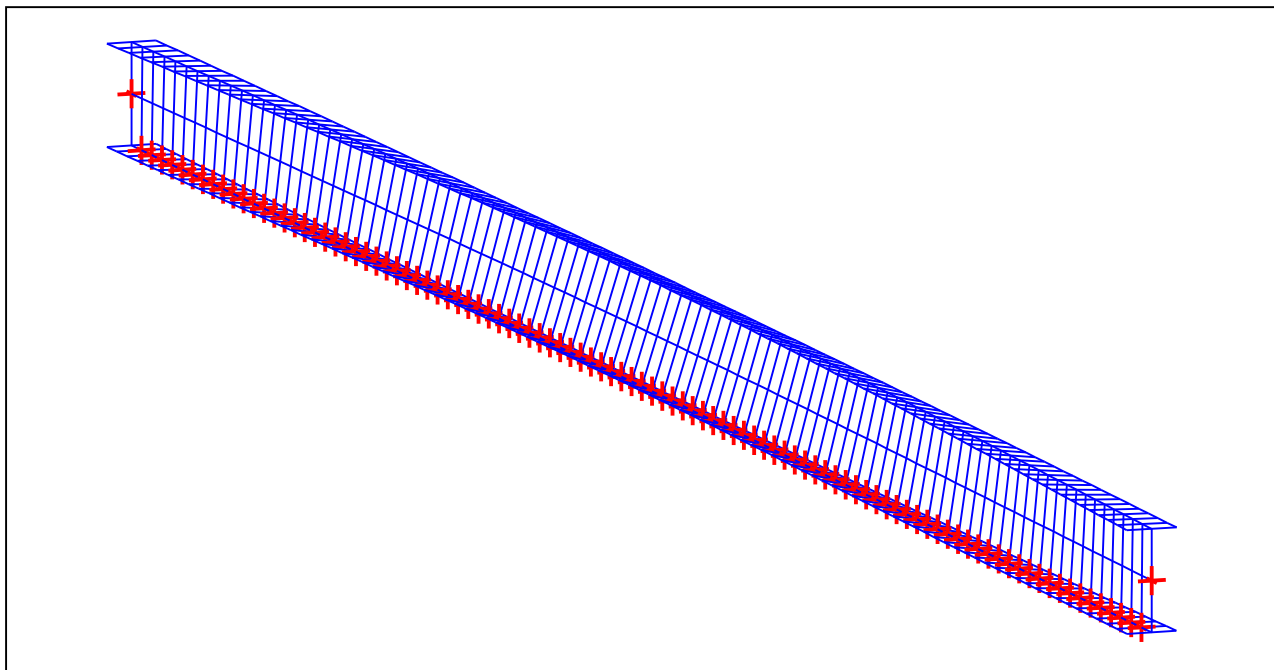


Figure 8 : Mode shape in 3D (Mode 1).

I - PARAMETERS

I.1 - General parameters

Projected total length :	$L = 9,528 \text{ m}$
Initial discretization of the beam :	$n_{el} = 100 \text{ elements}$

I.2 - Material

Name :	Steel
Young modulus :	$E = 210000 \text{ MPa}$
Shear modulus :	$G = 80769 \text{ MPa}$
Poisson factor :	$\nu = 0,3$
Density :	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

I.3 - Sections

Alignment of sections :	Top
-------------------------	-----

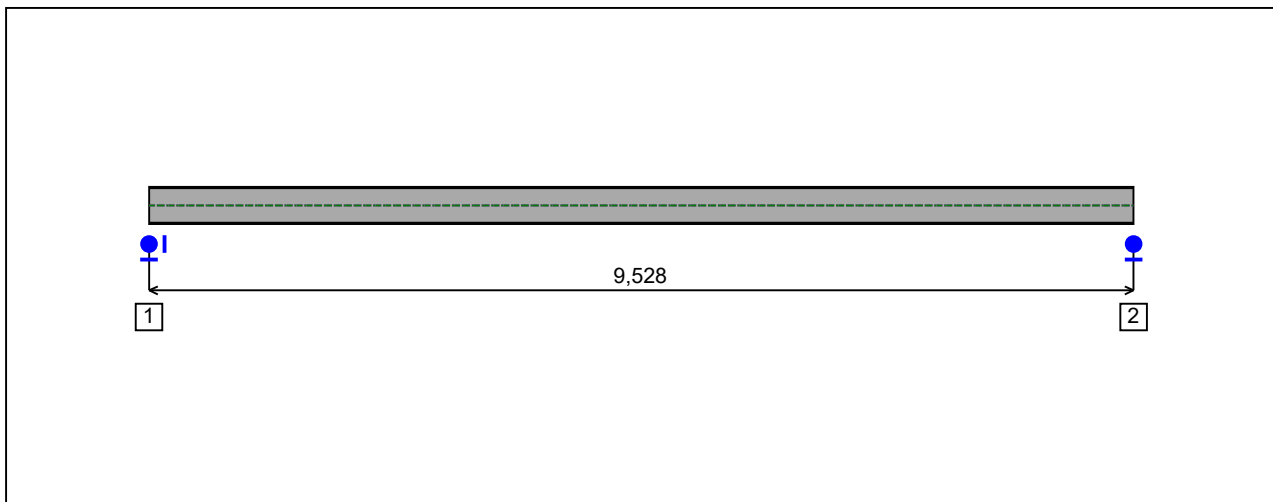


Figure 1 : Profile in long with section numbers.

- Section No. 1 : IPE 360

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Type : In catalogue (OTUA)

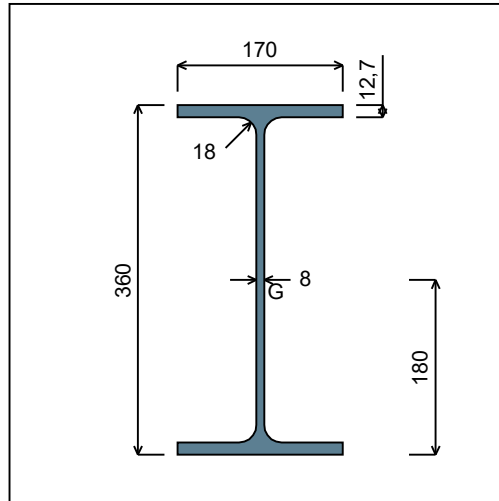


Figure 2 : Section No. 1 (IPE 360).

Main geometrical properties :

- $z_S = 0$ cm
- $z_G = 18$ cm
- $I_y = 16266$ cm⁴
- $I_z = 1043,5$ cm⁴
- $I_t = 37,09$ cm⁴ (Villette)
- $I_w = 314646$ cm⁶

Other geometrical properties :

- | | |
|---|-------------------------------------|
| $A = 72,73$ cm ² | |
| $A_{v,y} = 43,18$ cm ² | $A_{v,z} = 35,14$ cm ² |
| $W_{el,y,sup} = 903,65$ cm ³ | |
| $W_{el,y,inf} = 903,65$ cm ³ | $W_{el,z} = 122,76$ cm ³ |
| $W_{pl,y} = 1019,1$ cm ³ | $W_{pl,z} = 191,1$ cm ³ |

Stiffness relaxations :

- θ : Continuous
- v' : Continuous
- θ' : Continuous
- w' : Continuous

- Section No. 2 : IPE 360

Abscissa from the left end of the beam :

$x = 9,528 \text{ m}$

Type :

In catalogue (OTUA)

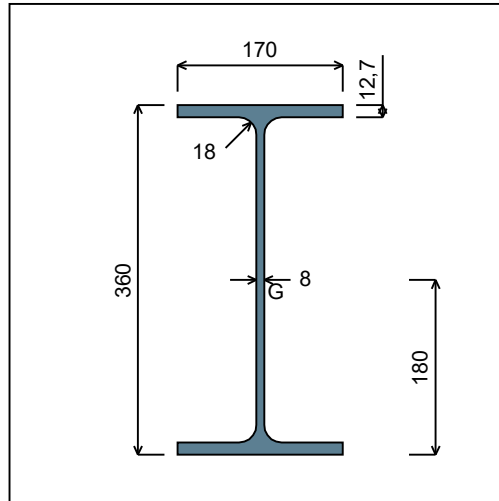


Figure 3 : Section No. 2 (IPE 360).

Main geometrical properties :

- $z_S = 0 \text{ cm}$
- $z_G = 18 \text{ cm}$
- $I_y = 16266 \text{ cm}^4$
- $I_z = 1043,5 \text{ cm}^4$
- $I_t = 37,09 \text{ cm}^4$ (Villette)
- $I_w = 314646 \text{ cm}^6$

Other geometrical properties :

- | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| $A = 72,73 \text{ cm}^2$ | |
| $A_{v,y} = 43,18 \text{ cm}^2$ | $A_{v,z} = 35,14 \text{ cm}^2$ |
| $W_{el,y,sup} = 903,65 \text{ cm}^3$ | |
| $W_{el,y,inf} = 903,65 \text{ cm}^3$ | $W_{el,z} = 122,76 \text{ cm}^3$ |
| $W_{pl,y} = 1019,1 \text{ cm}^3$ | $W_{pl,z} = 191,1 \text{ cm}^3$ |

Stiffness relaxations :

- θ : Continuous
- v' : Continuous
- θ' : Continuous
- w' : Continuous

I.4 - Lateral restraints

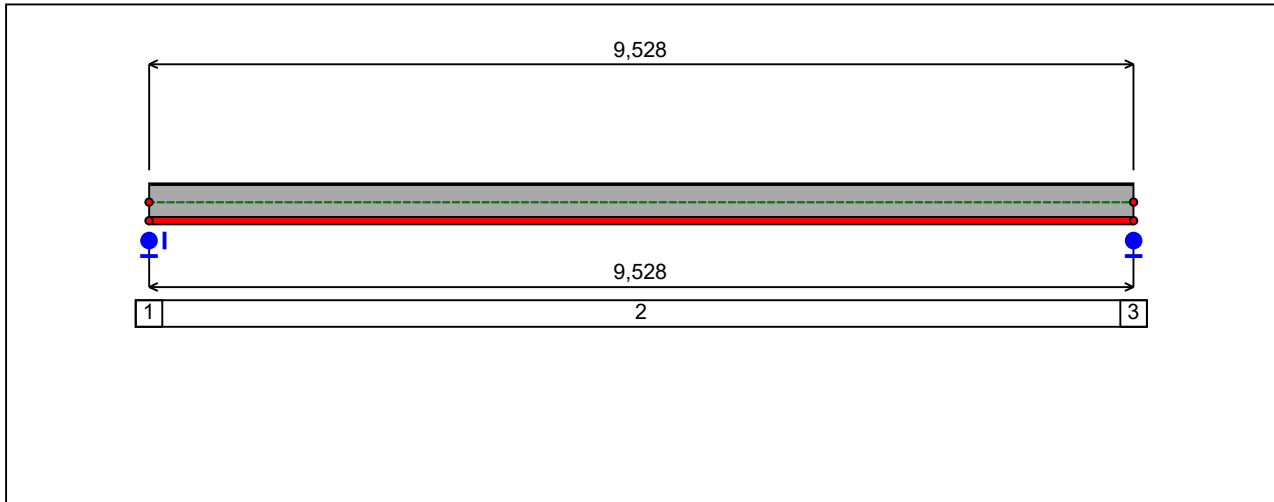


Figure 4 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Fixed
- v' : Free
- θ' : Free

- Restraint No. 2 :

Type : Continuous

Coordinates of the left end :

Abscissa from the left end of the beam : $x_1 = 0$ m

Vertical position from the shear centre : $z_1 = -18$ cm

Coordinates of the right end :

Abscissa from the left end of the beam : $x_2 = 9,528$ m

Vertical position from the shear centre : $z_2 = -18$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed

θ : Free
 v' : Free

- Restraint No. 3 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 9,528$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Fixed
 v' : Free
 θ' : Free

1.5 - Supports

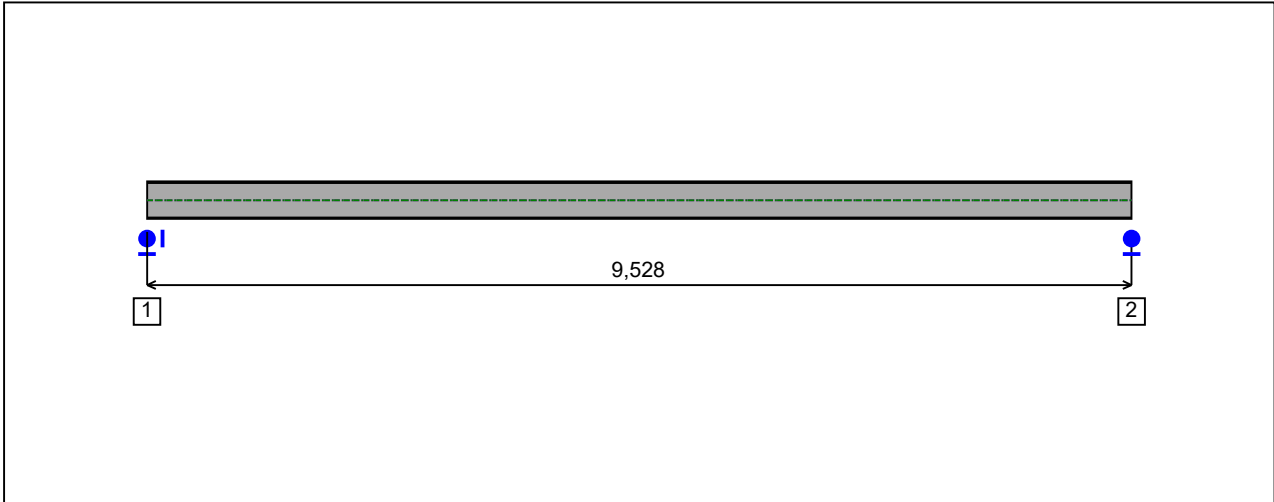


Figure 5 : Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Support conditions :

- u : Fixed
- w : Fixed
- w' : Free

- Support No. 2 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 9,528$ m

Support conditions :

- u : Free
- w : Fixed
- w' : Free

I.6 - Loads

Type of loading :

Internal

- Moment diagram :

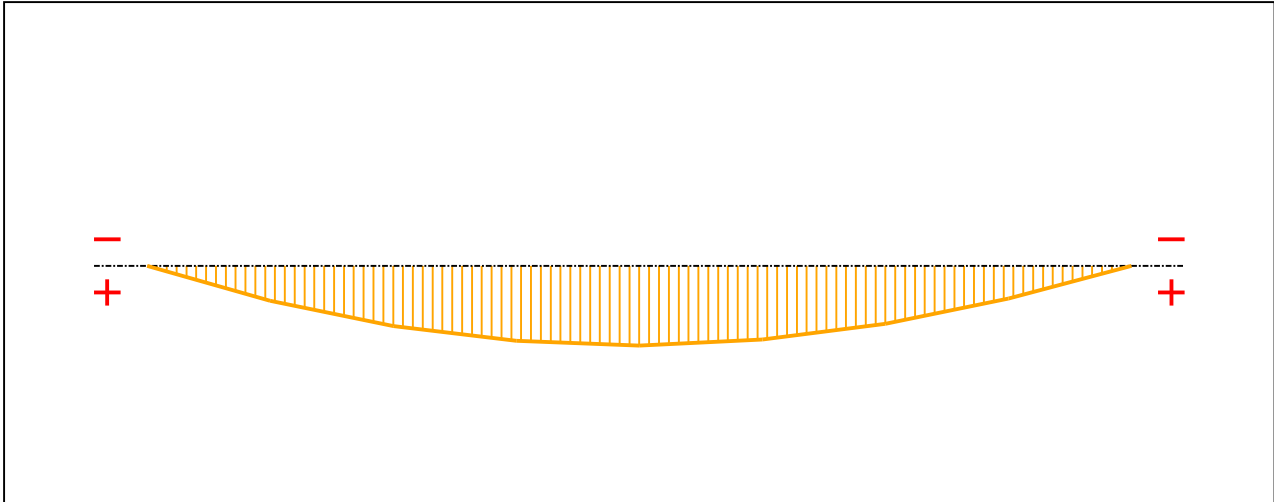


Figure 6 : Moment diagram.

Active :

Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	0
1,191	22,51
2,382	38,75
3,573	48,16
4,764	51,23
5,955	47,44
7,146	37,33
8,337	20,92
9,528	0

- Axial force diagram :

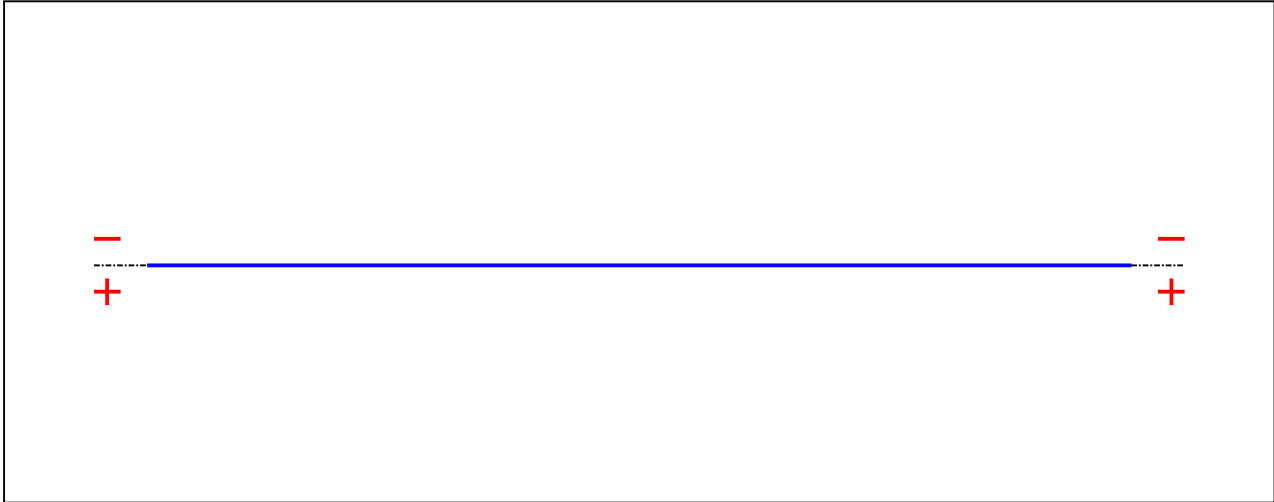


Figure 7 : Axial force diagram.

Active :

No

Table 2 : Axial force diagram.

x(m)	N(kN)
0	0
9,528	0

- Eccentric concentrated loads :

No load has been defined.

- Eccentric distributed loads :

No load has been defined.

II - LTB CALCULATION

Requested number of modes : 1
 Blocked moment diagram : No
 Blocked axial force diagram : Yes

II.1 - LTB modes

Table 3 : LTB modes.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	2,762	141,49	4,764	0	4,764

II.2 - Mode shapes

- Mode 1

Table 4 : Mode 1.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	2,762	141,49	4,764	0	4,764

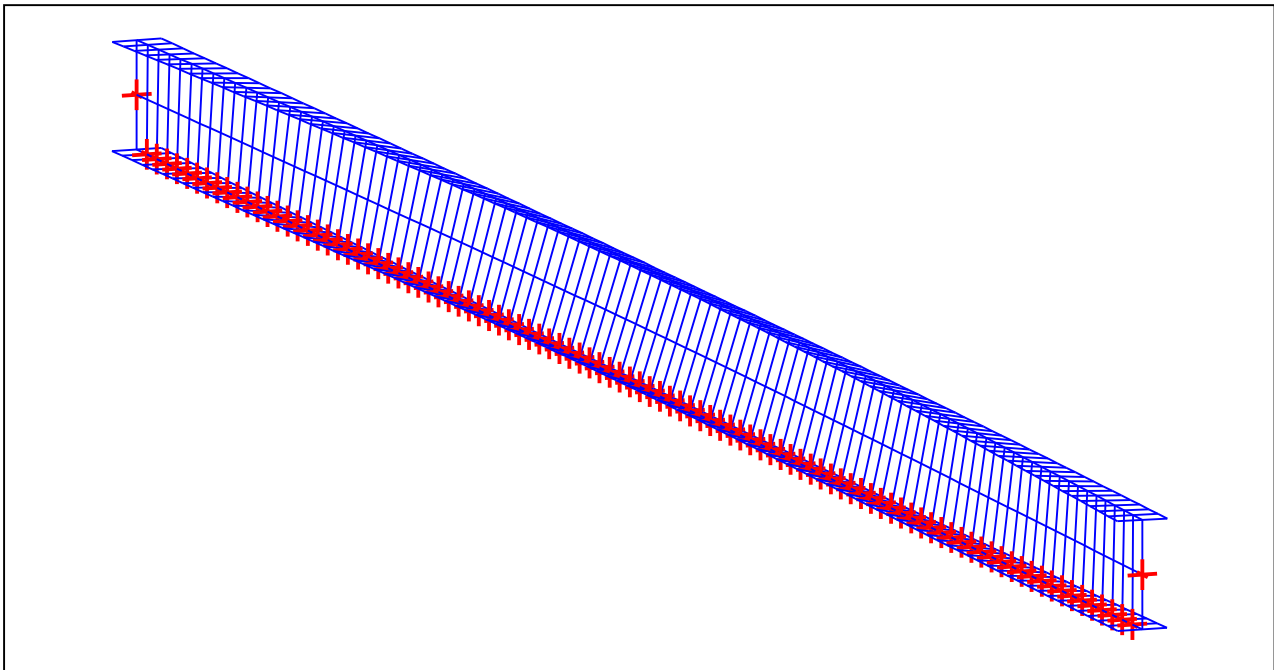


Figure 8 : Mode shape in 3D (Mode 1).

I - PARAMETERS

I.1 - General parameters

Projected total length : $L = 2 \text{ m}$
 Initial discretization of the beam : $n_{el} = 100 \text{ elements}$

I.2 - Material

Name : Steel
 Young modulus : $E = 210000 \text{ MPa}$
 Shear modulus : $G = 80769 \text{ MPa}$
 Poisson factor : $\nu = 0,3$
 Density : $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

I.3 - Sections

Alignment of sections : Top

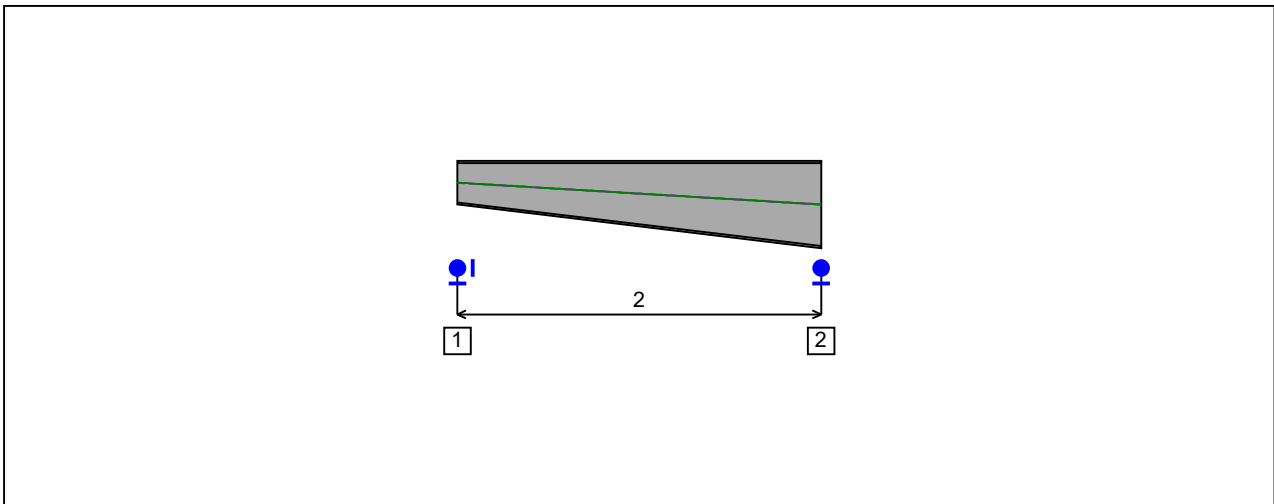


Figure 1 : Profile in long with section numbers.

- Section No. 1 : DIM 240x240

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Type : By dimensions

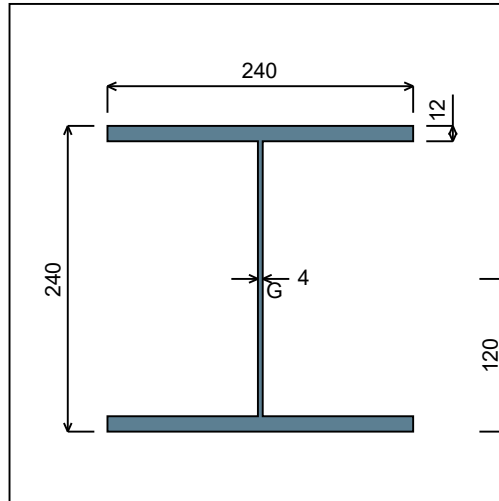


Figure 2 : Section No. 1 (DIM 240x240).

Main geometrical properties :

- $z_S = 0$ cm
- $z_G = 12$ cm
- $I_y = 7828,5$ cm⁴
- $I_z = 2764,9$ cm⁴
- $I_t = 27,28$ cm⁴ (Villette)
- $I_w = 359328$ cm⁶

Other geometrical properties :

- | | |
|---|-------------------------------------|
| $A = 66,24$ cm ² | |
| $A_{v,y} = 57,6$ cm ² | $A_{v,z} = 9,12$ cm ² |
| $W_{el,y,sup} = 652,38$ cm ³ | |
| $W_{el,y,inf} = 652,38$ cm ³ | $W_{el,z} = 230,41$ cm ³ |
| $W_{pl,y} = 703,3$ cm ³ | $W_{pl,z} = 346,46$ cm ³ |

Stiffness relaxations :

- θ : Continuous
- v' : Continuous
- θ' : Continuous
- w' : Continuous

- Section No. 2 : DIM 480x240

Abscissa from the left end of the beam : $x = 2 \text{ m}$

Type : By dimensions

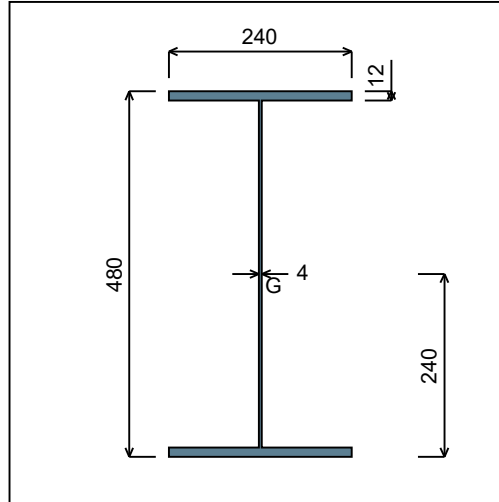


Figure 3 : Section No. 2 (DIM 480x240).

Main geometrical properties :

- $z_S = 0 \text{ cm}$
- $z_G = 24 \text{ cm}$
- $I_y = 34707 \text{ cm}^4$
- $I_z = 2765 \text{ cm}^4$
- $I_t = 27,79 \text{ cm}^4$ (Villette)
- $I_w = 1,514\text{E}+6 \text{ cm}^6$

Other geometrical properties :

- | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| $A = 75,84 \text{ cm}^2$ | |
| $A_{v,y} = 57,6 \text{ cm}^2$ | $A_{v,z} = 18,72 \text{ cm}^2$ |
| $W_{el,y,sup} = 1446,1 \text{ cm}^3$ | |
| $W_{el,y,inf} = 1446,1 \text{ cm}^3$ | $W_{el,z} = 230,42 \text{ cm}^3$ |
| $W_{pl,y} = 1555,8 \text{ cm}^3$ | $W_{pl,z} = 347,42 \text{ cm}^3$ |

Stiffness relaxations :

- θ : Continuous
- v' : Continuous
- θ' : Continuous
- w' : Continuous

I.4 - Lateral restraints

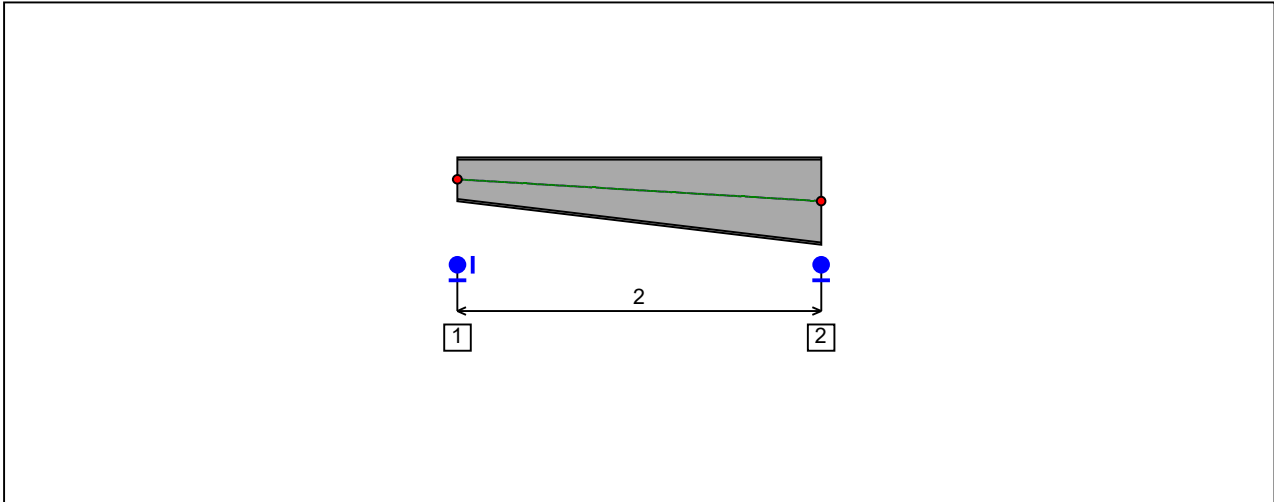


Figure 4 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Fixed
- v' : Free
- θ' : Free

- Restraint No. 2 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 2$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Fixed
- v' : Free
- θ' : Free

1.5 - Supports

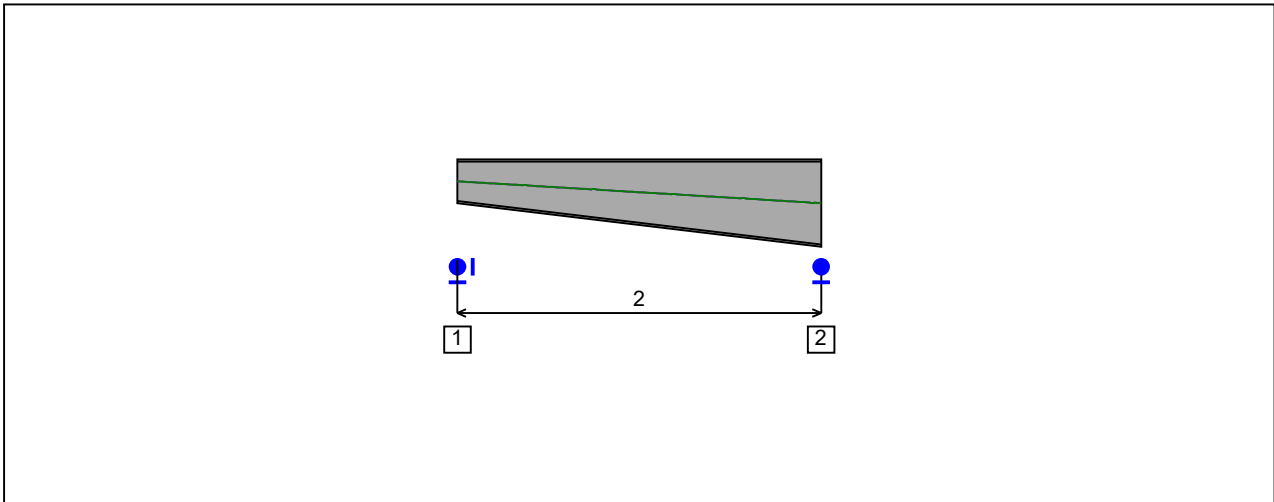


Figure 5 : Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Support conditions :

- u : Fixed
- w : Fixed
- w' : Free

- Support No. 2 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 2$ m

Support conditions :

- u : Free
- w : Fixed
- w' : Free

I.6 - Loads

Type of loading :

Internal

- Moment diagram :

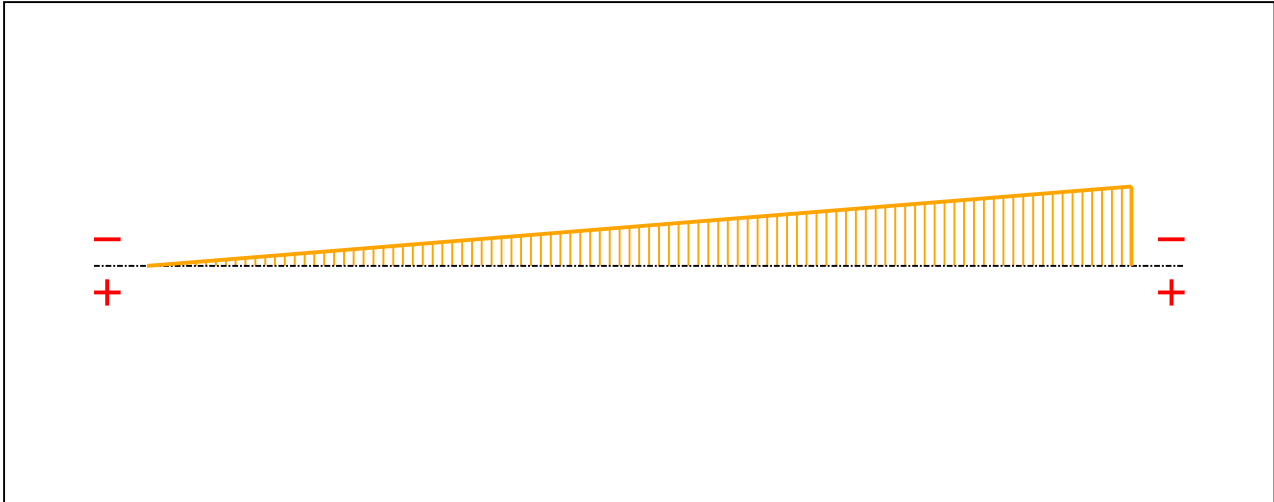


Figure 6 : Moment diagram.

Active :

Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	0
2	-119,06

- Axial force diagram :

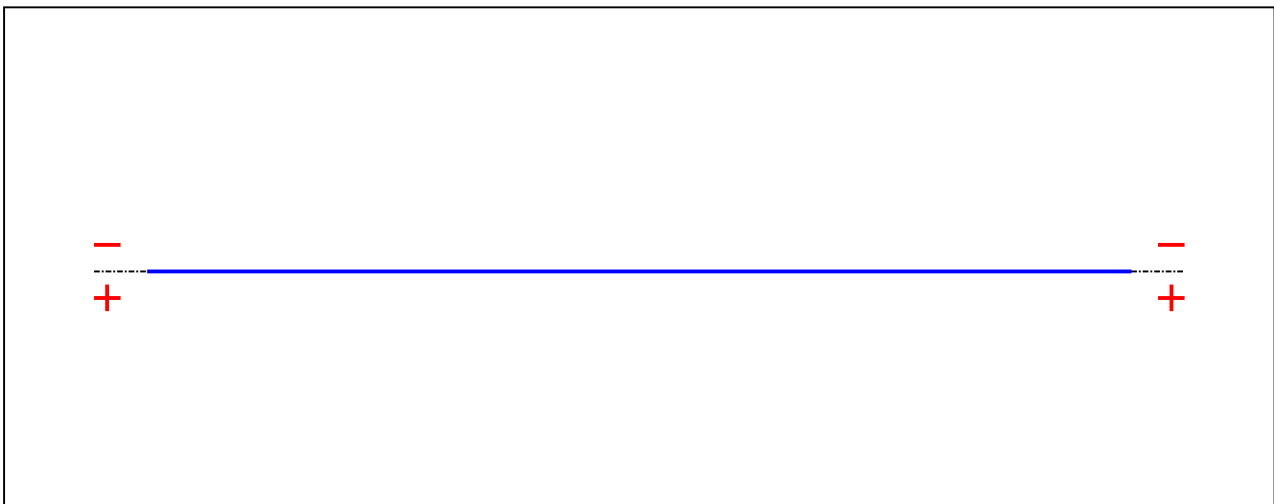


Figure 7 : Axial force diagram.

Active :

No

Table 2 : Axial force diagram.

x(m)	N(kN)
0	0
2	0

- Eccentric concentrated loads :

No load has been defined.

- Eccentric distributed loads :

No load has been defined.

II - LTB CALCULATION

Requested number of modes : 1
 Blocked moment diagram : No
 Blocked axial force diagram : Yes

The TAPER effect is taken into account

II.1 - LTB modes

Table 3 : LTB modes.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	42,96	-5114,9	2	0	2

II.2 - Mode shapes

- Mode 1

Table 4 : Mode 1.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	42,96	-5114,9	2	0	2

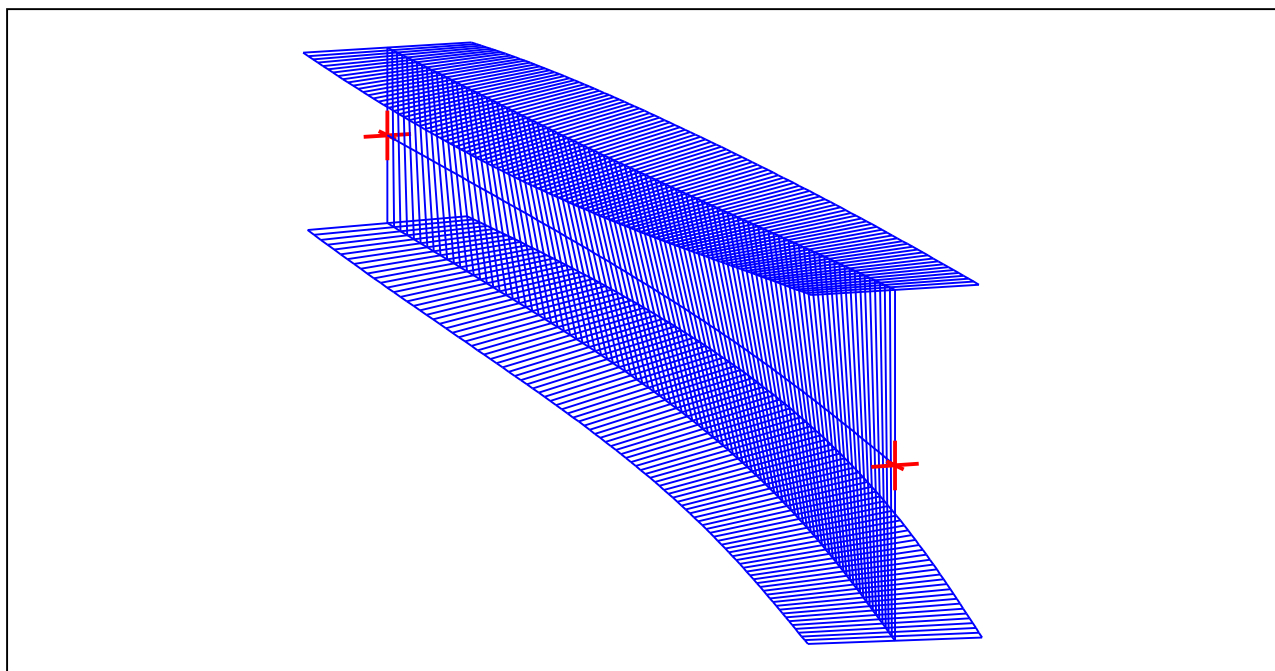


Figure 8 : Mode shape in 3D (Mode 1).

I - PARAMETERS

I.1 - General parameters

Projected total length :	$L = 31 \text{ m}$
Initial discretization of the beam :	$n_{el} = 100 \text{ elements}$

I.2 - Material

Name :	Steel
Young modulus :	$E = 210000 \text{ MPa}$
Shear modulus :	$G = 80769 \text{ MPa}$
Poisson factor :	$\nu = 0,3$
Density :	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

I.3 - Sections

Alignment of sections :	Top
-------------------------	-----

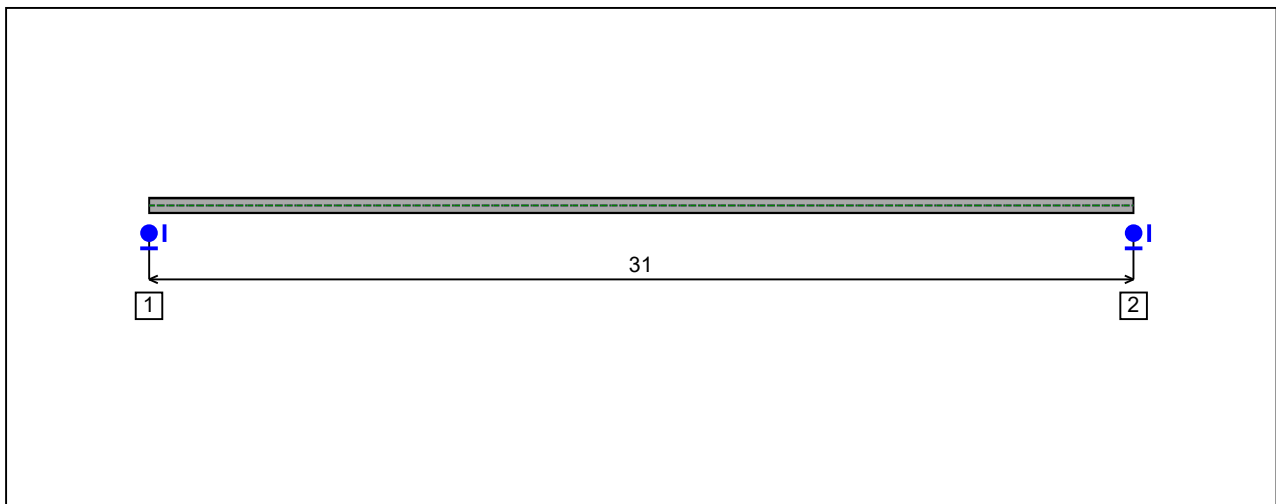


Figure 1 : Profile in long with section numbers.

- Section No. 1 : DIM 480x240

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Type : By dimensions

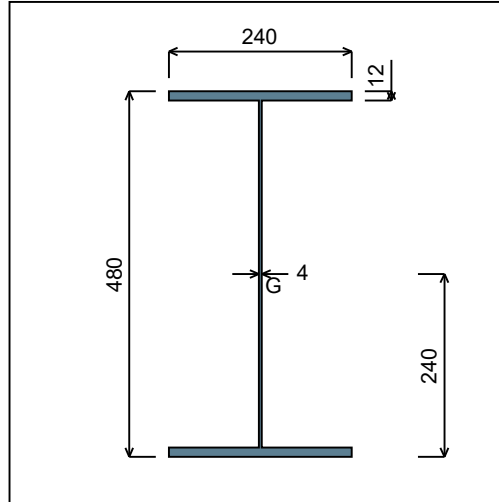


Figure 2 : Section No. 1 (DIM 480x240).

Main geometrical properties :

- $z_S = 0$ cm
- $z_G = 24$ cm
- $I_y = 34707$ cm⁴
- $I_z = 2765$ cm⁴
- $I_t = 27,79$ cm⁴ (Villette)
- $I_w = 1,514E+6$ cm⁶

Other geometrical properties :

- | | |
|---|-------------------------------------|
| $A = 75,84$ cm ² | |
| $A_{v,y} = 57,6$ cm ² | $A_{v,z} = 18,72$ cm ² |
| $W_{el,y,sup} = 1446,1$ cm ³ | |
| $W_{el,y,inf} = 1446,1$ cm ³ | $W_{el,z} = 230,42$ cm ³ |
| $W_{pl,y} = 1555,8$ cm ³ | $W_{pl,z} = 347,42$ cm ³ |

Stiffness relaxations :

- θ : Continuous
- v' : Continuous
- θ' : Continuous
- w' : Continuous

- Section No. 2 : DIM 480x240

Abscissa from the left end of the beam : $x = 31 \text{ m}$

Type : By dimensions

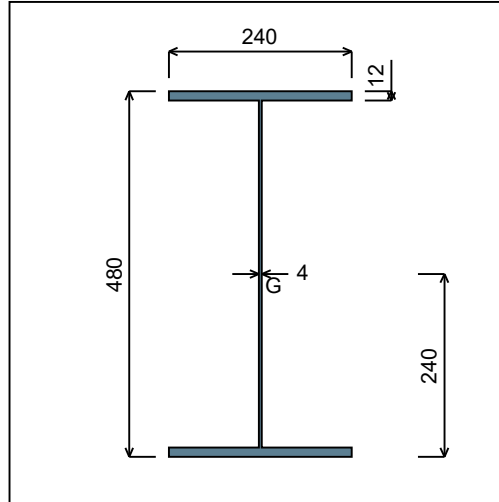


Figure 3 : Section No. 2 (DIM 480x240).

Main geometrical properties :

- $z_S = 0 \text{ cm}$
- $z_G = 24 \text{ cm}$
- $I_y = 34707 \text{ cm}^4$
- $I_z = 2765 \text{ cm}^4$
- $I_t = 27,79 \text{ cm}^4$ (Villette)
- $I_w = 1,514\text{E}+6 \text{ cm}^6$

Other geometrical properties :

- | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| $A = 75,84 \text{ cm}^2$ | |
| $A_{v,y} = 57,6 \text{ cm}^2$ | $A_{v,z} = 18,72 \text{ cm}^2$ |
| $W_{el,y,sup} = 1446,1 \text{ cm}^3$ | $W_{el,z} = 230,42 \text{ cm}^3$ |
| $W_{el,y,inf} = 1446,1 \text{ cm}^3$ | $W_{pl,z} = 347,42 \text{ cm}^3$ |
| $W_{pl,y} = 1555,8 \text{ cm}^3$ | |

Stiffness relaxations :

- θ : Continuous
- v' : Continuous
- θ' : Continuous
- w' : Continuous

I.4 - Lateral restraints

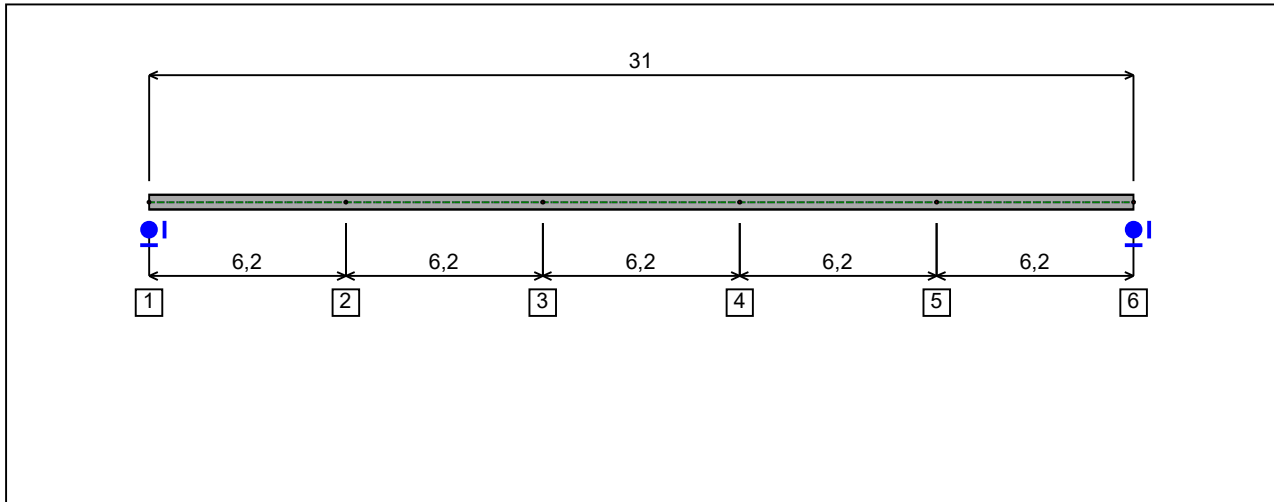


Figure 4 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0 \text{ m}$

Vertical position from the shear centre : $z = 0 \text{ cm}$

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Fixed
- v' : Free
- θ' : Free

- Restraint No. 2 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 6,2 \text{ m}$

Vertical position from the shear centre : $z = 0 \text{ cm}$

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Free
- v' : Free
- θ' : Free

- Restraint No. 3 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 12,4 \text{ m}$

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Free
 v' : Free
 θ' : Free

- Restraint No. 4 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 18,6$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Free
 v' : Free
 θ' : Free

- Restraint No. 5 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 24,8$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Free
 v' : Free
 θ' : Free

- Restraint No. 6 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 31$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Fixed
 v' : Free
 θ' : Free

I.5 - Supports

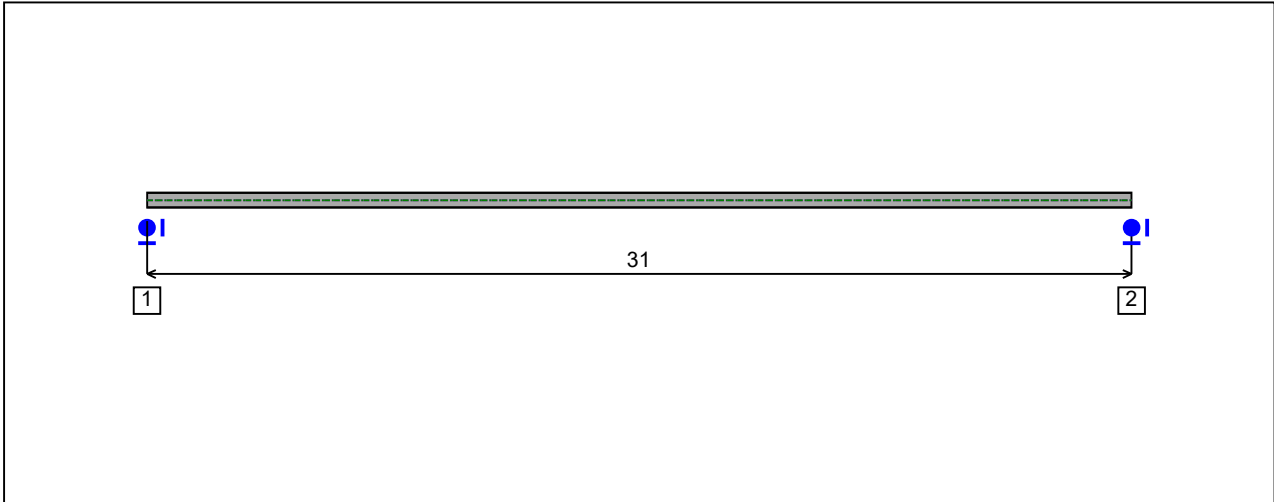


Figure 5 : Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Support conditions :

- u : Fixed
- w : Fixed
- w' : Free

- Support No. 2 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 31$ m

Support conditions :

- u : Fixed
- w : Fixed
- w' : Free

I.6 - Loads

Type of loading :

Internal

- *Moment diagram :*

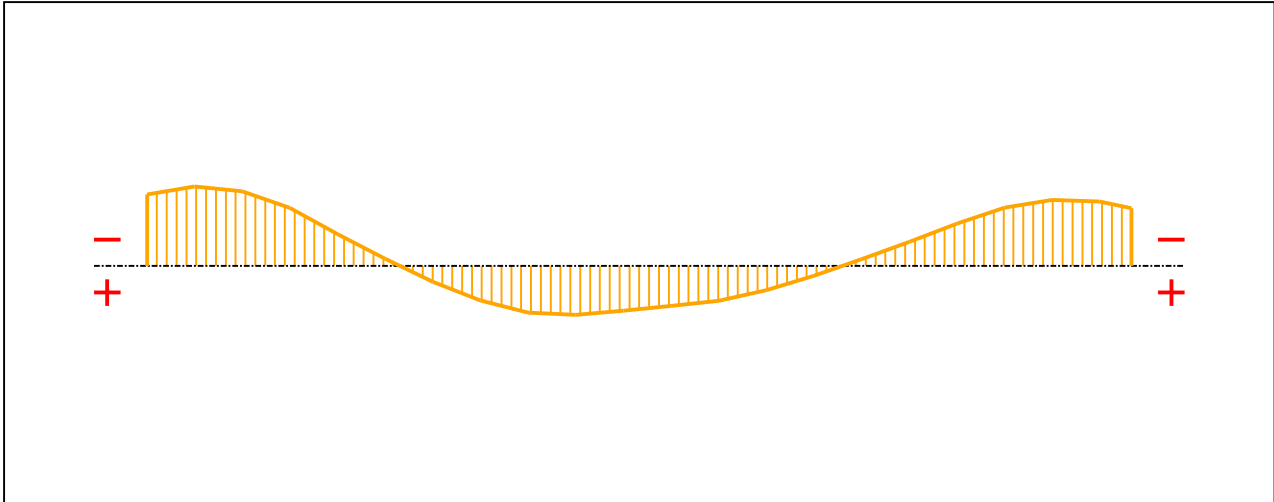


Figure 6 : Moment diagram.

Active :

Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	-123,57
1,5	-137,58
3	-129,23
4,5	-100,47
6	-55,04
7,5	-12,59
9	27,61
10,5	59,89
12	80,92
13,5	84,35
15	77,62
16,5	69,12
18	59,91
19,5	42,15
21	17,22
22,5	-11,56

Table 1 (Next) : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
24	-41,51
25,5	-73,26
27	-100,73
28,5	-114,17
30	-111,41
31	-100,05

- Axial force diagram :

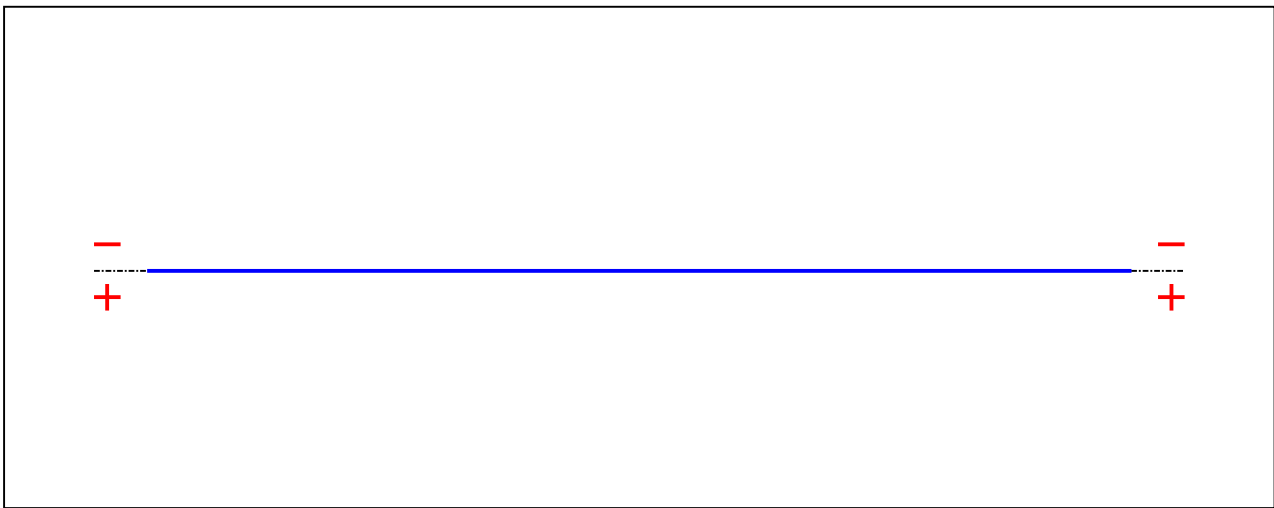


Figure 7 : Axial force diagram.

Active :

No

Table 2 : Axial force diagram.

x(m)	N(kN)
0	0
31	0

- Eccentric concentrated loads :

No load has been defined.

- Eccentric distributed loads :

No load has been defined.

II - LTB CALCULATION

Requested number of modes :	1
Blocked moment diagram :	No
Blocked axial force diagram :	Yes

II.1 - LTB modes

Table 3 : LTB modes.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	2,141	-294,01	1,55	0	1,55

II.2 - Mode shapes

- Mode 1

Table 4 : Mode 1.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	2,141	-294,01	1,55	0	1,55

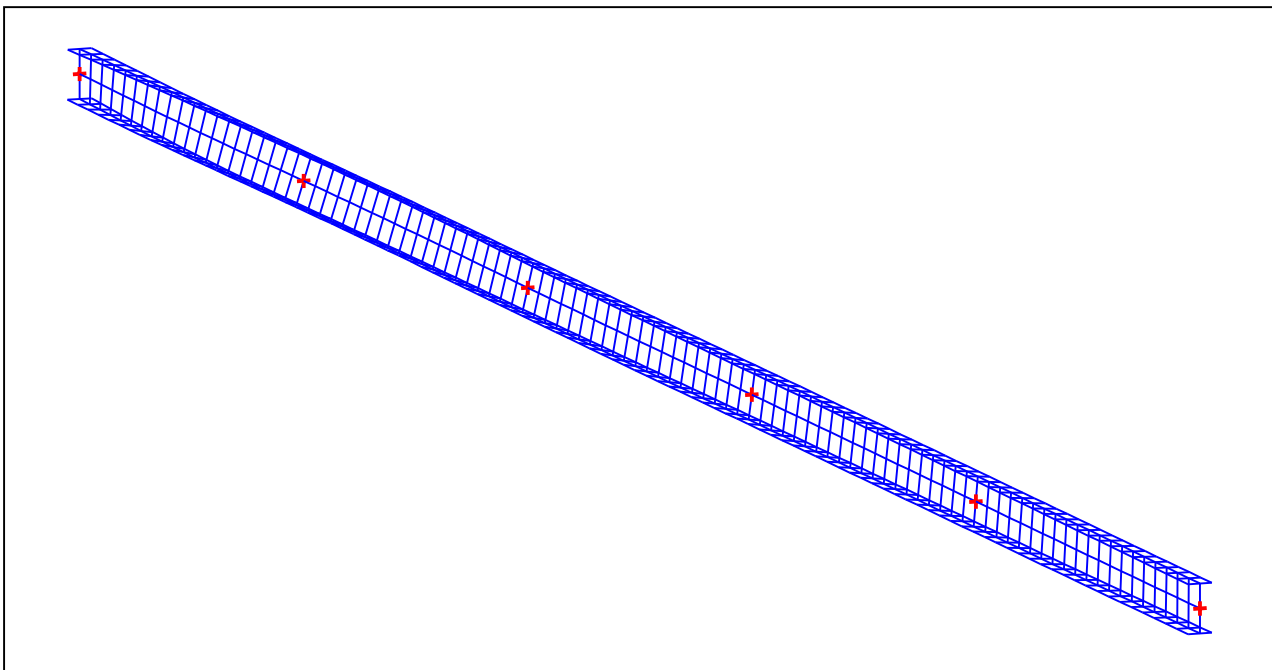


Figure 8 : Mode shape in 3D (Mode 1).

www.hilti.cz


Společnost:
Adresa:
Telefon I fax:
Návrh:
Dílčí projekt / pozice č.:

|
patka druha vazba

Strana: 1
Projektant:
E-mail:
Datum: 03.05.2024

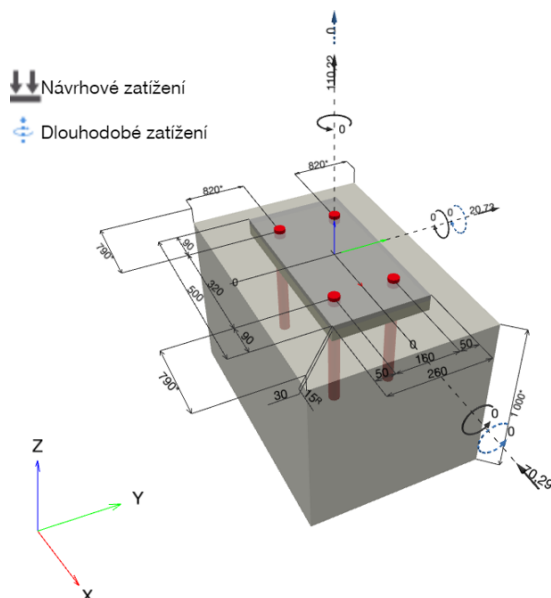
Komentář projektanta:

1 Vstupní data

Typ a velikost kotvy:	HIT-HY 200-A V3 + HAS-U 8.8 HDG M30	
Předpokládaná životnost (životnost v letech):	50	
Číslo artiklu:	2223918 HAS-U 8.8 HDG M30x380 (vložit) / 2378171 HIT-HY 200-A V3 (chemická hmota)	
Efektivní kotvení hloubka:	$h_{ef,act} = 280,0 \text{ mm}$ ($h_{ef,limit} = - \text{ mm}$)	
Materiál:	8.8	
Certifikát č.:	ETA 19/0601	
Vydaný I Platný:	29.01.2024 -	
Posouzení:	SOFA na základě EN 1992-4, chem. kotvy	
Distanční montáž:	bez upnutí (kotva); stupeň zadržení (kotevní deska): 2,00; $e_b = 30,0 \text{ mm}$; $t = 15,0 \text{ mm}$	
Kotevní deska ^R :	Hilti podlití: CB-G EG, epoxidová, $f_{c,Grout} = 120,00 \text{ N/mm}^2$ $l_x \times l_y \times t = 500,0 \text{ mm} \times 260,0 \text{ mm} \times 15,0 \text{ mm}$; (Doporučená tloušťka kotevní desky: nepočítána)	
Profil:	žádný profil	
Základní materiál:	s trhlinami beton, C20/25, $f_{c,cyl} = 20,00 \text{ N/mm}^2$; $h = 1\ 000,0 \text{ mm}$, teplota krátkodobá/dlouhodobá: 40/24 °C, Uživatelem definovaný parciální bezpečnostní součinitel materiálu $\gamma_c = 1,500$	
Montáž:	kotevní otvor vrtaný přiklepem, montážní podmínky: suché	
Výztuž:	Žádná výztuž nebo osová vzdálenost výztuže $\geq 150 \text{ mm}$ (jakýkoliv \emptyset) nebo $\geq 100 \text{ mm}$ ($\emptyset \leq 10 \text{ mm}$) s podélnou výztuží okraje $d \geq 12,0 \text{ [mm]}$	

^R - Výpočet kotvy je proveden na základě předpokladu tuhé kotevní desky.

Geometrie [mm] & Zatížení [kN, kNm]



www.hilti.cz

Společnost:

Adresa:

Telefon I fax:

Návrh:

Dílní projekt / pozice č.:

|
patka druhá vazba

Strana:

Projektant:

E-mail:

Datum:

2

03.05.2024

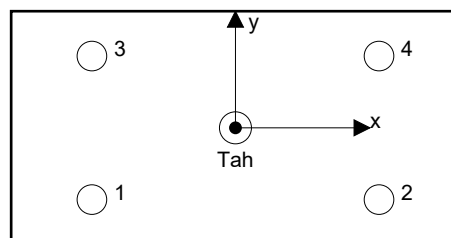
1.1 Kombinace zatížení

Stav	Popis	Síly [kN] / Momenty [kNm]	Seizmický	Požár	Max. využití kotvy [%]
1	Kombinace 1	$N = 110,220; V_x = -70,290; V_y = 20,730;$ $M_x = 0,000; M_y = 0,000; M_z = 0,000;$ $N_{sus} = 0,000; M_{x,sus} = 0,000; M_{y,sus} = 0,000;$	Ne	ne	98

2 Zatěžovací stav/Výsledné síly na kotvu**Reakce kotvy [kN]**

Tahová síla: (+ Tah, - Tlak)

Kotva	Tahová síla	Smyková síla	Smyková síla x	Smyková síla y
1	27,555	18,321	-17,573	5,183
2	27,555	18,321	-17,573	5,183
3	27,555	18,321	-17,573	5,183
4	27,555	18,321	-17,573	5,183



max. tlakové přetvoření betonu: - [%]

max. tlakové napětí v betonu: - [N/mm²]

výsledná tahová síla v (x/y)=(0,0/0,0): 110,220 [kN]

výsledná tlaková síla v (x/y)=(-/-): 0,000 [kN]

Kotevní síly jsou vypočítány na základě předpokladu tuhé kotevní desky.

www.hilti.cz

Společnost:		Strana:	3
Adresa:		Projektant:	
Telefon I fax:		E-mail:	
Návrh:	patka druha vazba	Datum:	03.05.2024
Dílčí projekt / pozice č.:			

3 Tahové zatížení EN 1992-4, kap.7.2.1

	Zatížení [kN]	Únosnost [kN]	Využití β_N [%]	Stav
Porušení oceli*	27,555	299,200	10	OK
Kombinované porušení vytažením - vytržením betonového kuželu**	110,220	274,765	41	OK
Porušení vytržením betonového kuželu**	110,220	176,828	63	OK
Porušení rozštěpením**	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici

* nejnejpříznivější kotva ** skupina kotev (kotvy v tahu)

3.1 Porušení oceli

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{M,s}} \quad \text{EN 1992-4, Tabulka 7.1}$$

$N_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$N_{Rd,s}$ [kN]	N_{Ed} [kN]
448,800	1,500	299,200	27,555

www.hilti.cz

Společnost:		Strana:	4
Adresa:		Projektant:	
Telefon I fax:		E-mail:	
Návrh:	patka druhá vazba	Datum:	03.05.2024
Dílní projekt / pozice č.:			

3.2 Kombinované porušení vytažením - vytržením betonového kuželu

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{M,p}} \quad \text{EN 1992-4, Tabulka 7.1}$$

$$N_{Rk,p} = N_{Rk,p}^0 \cdot \frac{A_{p,N}}{A_{p,N}^0} \cdot \psi_{g,Np} \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{re,Np} \cdot \psi_{ec1,Np} \cdot \psi_{ec2,Np} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.13)}$$

$$N_{Rk,p}^0 = \psi_{sus} \cdot \tau_{Rk} \cdot \pi \cdot d \cdot h_{ef} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.14)}$$

$$\psi_{sus} = 1 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.14a)}$$

$$s_{cr,Np} = 7,3 \cdot d \cdot \sqrt{\psi_{sus} \cdot \tau_{Rk}} \leq 3 \cdot h_{ef} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.15)}$$

$$\psi_{g,Np} = \psi_{g,Np}^0 \cdot \left(\frac{s}{s_{cr,Np}} \right)^{0,5} \cdot (\psi_{g,Np}^0 - 1) \geq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.17)}$$

$$\psi_{g,Np}^0 = \sqrt{n} - (\sqrt{n} - 1) \cdot \left(\frac{\tau_{Rk}}{\tau_{Rk,c}} \right)^{1,5} \geq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.18)}$$

$$\tau_{Rk,c} = \frac{k_3}{\pi \cdot d} \cdot \sqrt{h_{ef} \cdot f_{ck}} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.19)}$$

$$\psi_{s,Np} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,Np}} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.20)}$$

$$\psi_{ec1,Np} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{c1,N}}{s_{cr,Np}} \right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.21)}$$

$$\psi_{ec2,Np} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{c2,N}}{s_{cr,Np}} \right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.21)}$$

$A_{p,N}$ [mm ²]	$A_{p,N}^0$ [mm ²]	$\tau_{Rk,ucr,20}$ [N/mm ²]	$s_{cr,Np}$ [mm]	$c_{cr,Np}$ [mm]	c_{min} [mm]	$f_{c,cyl}$ [N/mm ²]
1 160 000	705 600	18,00	840,0	420,0	790,0	20,00
ψ_c	$\tau_{Rk,cr}$ [N/mm ²]	k_3	$\tau_{Rk,c}$ [N/mm ²]	$\psi_{g,Np}^0$	$\psi_{g,Np}$	
1,000	9,50	7,700	6,11	1,000	1,000	
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,Np}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,Np}$	$\psi_{s,Np}$	$\psi_{re,Np}$	
0,0	1,000	0,0	1,000	1,000	1,000	
ψ_{sus}^0	α_{sus}	ψ_{sus}				
0,800	0,000	1,000				
$N_{Rk,p}^0$ [kN]	$N_{Rk,p}$ [kN]	$\gamma_{M,p}$	$N_{Rd,p}$ [kN]	N_{Ed} [kN]		
250,699	412,147	1,500	274,765	110,220		

ID skupiny kotev

1-4

www.hilti.cz

 Společnost:
 Adresa:
 Telefon I fax: |
 Návrh: patka druhá vazba
 Dílčí projekt / pozice č.:

 Strana: 5
 Projektant:
 E-mail:
 Datum: 03.05.2024

3.3 Porušení vytržením betonového kuželu

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,c} = \frac{N_{RK,c}}{\gamma_{M,c}} \quad \text{EN 1992-4, Tabulka 7.1}$$

$$N_{RK,c} = N_{RK,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec1,N} \cdot \psi_{ec2,N} \cdot \psi_{M,N} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.1)}$$

$$N_{RK,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1,5} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.2)}$$

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.3)}$$

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.4)}$$

$$\psi_{ec1,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{N,1}}{s_{cr,N}} \right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.6)}$$

$$\psi_{ec2,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{N,2}}{s_{cr,N}} \right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.6)}$$

$$\psi_{M,N} = 1 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.7)}$$

$A_{c,N}$ [mm ²]	$A_{c,N}^0$ [mm ²]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]	$f_{c,cyl}$ [N/mm ²]		
1 160 000	705 600	420,0	840,0	20,00		
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	
0,0	1,000	0,0	1,000	1,000	1,000	
z [mm]	$\psi_{M,N}$	k_1	$N_{RK,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,c}$	$N_{Rd,c}$ [kN]	N_{Ed} [kN]
0,0	1,000	7,700	161,340	1,500	176,828	110,220

ID skupiny kotev

1-4

www.hilti.cz

Společnost:		Strana:	6
Adresa:		Projektant:	
Telefon I fax:		E-mail:	
Návrh:	patka druhá vazba	Datum:	03.05.2024
Dílčí projekt / pozice č.:			

4 Smykové zatížení EN 1992-4, kap. 7.2.2

	Zatížení [kN]	Únosnost [kN]	Využití β_v [%]	Stav
Porušení oceli (bez distanční montáže)*	18,321	179,520	11	OK
Porušení oceli (s distanční montáží)*	18,321	49,783	37	OK
Porušení vylomením betonu**	73,283	353,656	21	OK
Porušení okraje betonu ve směru x-**	71,050	114,832	62	OK

* nejnepříznivější kotva ** skupina kotev (rovnocenné kotvy)

4.1 Porušení oceli (bez distanční montáže)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{M,s}} \quad \text{EN 1992-4, Tabulka 7.2}$$

$$V_{Rk,s} = k_7 \cdot V_{Rk,s}^0 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.35)}$$

$V_{Rk,s}^0$ [kN]	k_7	$V_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$V_{Rd,s}$ [kN]	V_{Ed} [kN]
224,400	1,000	224,400	1,250	179,520	18,321

4.2 Porušení oceli (s distanční montáží)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s,M} = \frac{V_{Rk,s,M}}{\gamma_{M,s}} \quad \text{EN 1992-4, Tabulka 7.2}$$

$$V_{Rk,s,M} = \frac{\alpha_M \cdot M_{Rk,s}}{l_a} \quad \text{EN 1992-4, Eq. 7.37}$$

$$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{Rd,s}}\right) \quad \text{EN 1992-4, Eq. 7.38}$$

$$l_a = e_c + \frac{t}{2} + a_3 \quad \text{EN 1992-4, Eq. 6.2}$$

l [mm]	α_M			
52,5	2,00			
$N_{Ed} / N_{Rd,s}$	$1 - N_{Ed} / N_{Rd,s}$	$M_{Rk,s}^0$ [kNm]	$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 (1 - N_{Ed} / N_{Rd,s})$ [kNm]	
0,092	0,908	1,799	1,634	
$V_{Rk,s}^M = \alpha_M \cdot M_{Rk,s} / l$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$V_{Rd,s}^M$ [kN]	V_{Ed} [kN]	
62,229	1,250	49,783	18,321	

www.hilti.cz

Společnost:		Strana:	7
Adresa:		Projektant:	
Telefon I fax:		E-mail:	
Návrh:	patka druhá vazba	Datum:	03.05.2024
Dílčí projekt / pozice č.:			

4.3 Porušení vylomením betonu (relevantní k vytažení)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{M,c,p}} \quad \text{EN 1992-4, Tabulka 7.2}$$

$$V_{Rk,cp} = k_8 \cdot \min \{N_{Rk,c}; N_{Rk,p}\} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.39c)}$$

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec1,N} \cdot \psi_{ec2,N} \cdot \psi_{M,N} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.1)}$$

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1,5} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.2)}$$

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.3)}$$

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.4)}$$

$$\psi_{ec1,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{v,1}}{s_{cr,N}}\right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.6)}$$

$$\psi_{ec2,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{v,2}}{s_{cr,N}}\right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.6)}$$

$$\psi_{M,N} = 1 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.7)}$$

$A_{c,N}$ [mm ²]	$A_{c,N}^0$ [mm ²]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]	k_8	$f_{c,cyl}$ [N/mm ²]		
1 160 000	705 600	420,0	840,0	2,000	20,00		
$e_{c1,v}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,v}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	$\psi_{M,N}$	
0,0	1,000	0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
k_1	$N_{Rk,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,c,p}$	$V_{Rd,cp}$ [kN]	V_{Ed} [kN]			
7,700	161,340	1,500	353,656	73,283			

ID skupiny kotev

1-4

www.hilti.cz

Společnost:		Strana:	8
Adresa:		Projektant:	
Telefon I fax:		E-mail:	
Návrh:	patka druhá vazba	Datum:	03.05.2024
Dílčí projekt / pozice č.:			

4.4 Porušení okraje betonu ve směru x-

$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{M,c}}$	EN 1992-4, Tabulka 7.2
$V_{Rk,c} = k_T \cdot \psi_{b,g} \cdot V_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,V}}{A_{s,V}} \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{\alpha,V} \cdot \psi_{ec,V} \cdot \psi_{re,V}$	EN 1992-4, Eq. (7.40)
$\psi_{b,g} = \frac{1}{\alpha_{b,g}} = \frac{1}{1 + \frac{C \cdot t_g}{d^{\frac{3}{4}}}}$	Hilti Method for anchor design in grouted stand-off connections, Hilti, 2023
$V_{Rk,c}^0 = k_g \cdot d_{nom}^\alpha \cdot l_f^\beta \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot c_1^{1,5}$	EN 1992-4, Eq. (7.41)
$\alpha = 0,1 \cdot \left(\frac{l_f}{c_1}\right)^{0,5}$	EN 1992-4, Eq. (7.42)
$\beta = 0,1 \cdot \left(\frac{d_{nom}}{c_1}\right)^{0,2}$	EN 1992-4, Eq. (7.43)
$A_{c,V}^0 = 4,5 \cdot c_1^2$	EN 1992-4, Eq. (7.44)
$\psi_{s,V} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c_2}{1,5 \cdot c_1} \leq 1,00$	EN 1992-4, Eq. (7.45)
$\psi_{h,V} = \left(\frac{1,5 \cdot c_1}{h}\right)^{0,5} \geq 1,00$	EN 1992-4, Eq. (7.46)
$\psi_{ec,V} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_V}{3 \cdot c_1}\right)} \leq 1,00$	EN 1992-4, Eq. (7.47)
$\psi_{\alpha,V} = \sqrt{\frac{1}{(\cos \alpha_V)^2 + (0,5 \cdot \sin \alpha_V)^2}} \geq 1,00$	EN 1992-4, Eq. (7.48)
$c_1 = \max\left(\frac{c_{2,max}}{1,5}, \frac{h}{1,5}, \frac{s_{2,max}}{3}\right)$	EN 1992-4, Eq. (7.50))

l_f [mm]	d_{nom} [mm]	k_g	α	β	$f_{c,cyl}$ [N/mm ²]	
280,0	30,00	1,700	0,065	0,054	20,00	
$\psi_{b,g}$	$C \left[\frac{1}{mm^{0,25}}\right]$	d [mm]	t_g [mm]			
0,909	0,043	30,0	30,0			
c_1 [mm]	\dot{c}_1 [mm]	$A_{c,V}$ [mm ²]	$A_{c,V}^0$ [mm ²]			
790,0	666,7	1 800 000	2 000 000			
$\psi_{s,V}$	$\psi_{h,V}$	α_V [°]	$\psi_{\alpha,V}$	$e_{c,V}$ [mm]	$\psi_{ec,V}$	$\psi_{re,V}$
0,946	1,000	8,39	1,008	0,0	1,000	1,000
$V_{Rk,c}^0$ [kN]	k_T	$\gamma_{M,c}$	$V_{Rd,c}$ [kN]	V_{Ed} [kN]		
220,887	1,0	1,500	114,832	71,050		

www.hilti.cz

Společnost:		Strana:	9
Adresa:		Projektant:	
Telefon I fax:		E-mail:	
Návrh:	patka druhá vazba	Datum:	03.05.2024
Dílčí projekt / pozice č.:			

5 Kombinace zatížení tah/smyk (EN 1992-4, oddíl 7.2.3)

Selhání oceli

β_N	β_V	α	Využití $\beta_{N,V}$ [%]	Stav
0,092	0,102	2,000	2	OK

$$\beta_N^\alpha + \beta_V^\alpha \leq 1,0$$

Porušení betonu

β_N	β_V	α	Využití $\beta_{N,V}$ [%]	Stav
0,623	0,619	1,500	98	OK

$$\beta_N^\alpha + \beta_V^\alpha \leq 1,0$$

6 Posuny (nejvíce zatížená kotva)

Krátkodobé zatížení:

N_{Sk}	=	20,411 [kN]	δ_N	=	0,0541 [mm]
V_{Sk}	=	13,571 [kN]	δ_V	=	0,4071 [mm]
			δ_{NV}	=	0,4107 [mm]

Dlouhodobé zatížení:

N_{Sk}	=	20,411 [kN]	δ_N	=	0,1238 [mm]
V_{Sk}	=	13,571 [kN]	δ_V	=	0,6785 [mm]
			δ_{NV}	=	0,6897 [mm]

Poznámka: Posuny vlivem tahové síly jsou platné při poloviční hodnotě předepsaného utahovacího momentu pro bez trhlin beton! Smykové posuny jsou platné za předpokladu žádného tření mezi betonem a kotevní deskou! Mezery mezi kotvou a vrtaným kotevním otvorem a mezery mezi kotvou a otvorem v kotevní desce nejsou v tomto výpočtu zahrnuty!

Přípustné posuny kotev závisí na připevňované konstrukci a musejí být definovány projektantem!

7 Upozornění

- S přerozdělením zatížení na jednotlivé kotvy vlivem elastických deformací kotevní desky se neuvažuje. Předpokládá se natolik tuhá kotevní deska, u které při zatěžování nedochází k deformacím! Musí být zkontolováno, zda jsou vstupní data a výsledky v souladu s aktuálními podmínkami a zda jsou věrohodné!
- Posouzení přenosu zatížení do základního materiálu musí být provedeno podle EN 1992-4, Příloha A!
- Návrh je platný pouze když velikost otvorů pro kotvy v kotevní desce není větší než velikosti uvedené v EN 1992-4 tabulka 6.1! Pro větší kotevní otvory postupujte podle EN 1992-4 část 6.2.2!
- Seznam příslušenství v tomto protokolu slouží pouze jako informace uživateli. V každém případě je třeba dodržovat návod k použití dodávaný s výrobkem, aby byla zajištěna správná instalace.
- Pro stanovení $\psi_{re,v}$ (selhání okraje betonu) je min. krytí betonu určeno v Nastavení návrhu - Min. krycí vrstva betonu.
- Čištění vyvrtaného kotevního otvoru musí být provedeno dle návodu na použití (2x vyfoukat stlačeným vzduchem bez oleje (min. 6bar), 2x vykartáčovat a opět 2x vyfoukat stlačeným vzduchem bez oleje (min. 6bar)).
- Charakteristická pevnost lepicí hmoty (soudržnost) závisí na krátkodobých a dlouhodobých teplotách.
- Okrajová výtzuž není požadovaná pro zabránění porušení rozštěpením.
- Charakteristická odolnost spoje závisí na údržbě a životnosti (životnosti v letech): 50



www.hilti.cz

Společnost:		Strana:	10
Adresa:		Projektant:	
Telefon I fax:		E-mail:	
Návrh:	patka druha vazba	Datum:	03.05.2024
Dílčí projekt / pozice č.:			

Upevnění je bezpečné!

www.hilti.cz

 Společnost:
 Adresa:
 Telefon I fax:
 Návrh:
 Dílčí projekt / pozice č.:

 |
 patka druhá vazba

 Strana: 11
 Projektant:
 E-mail:
 Datum: 03.05.2024

8 Montážní pokyny

 Kotevní deska, ocel: S 235; $E = 210\,000,00\text{ N/mm}^2$; $f_{yk} = 235,00\text{ N/mm}^2$

Profil: Žádný profil

 Průměr otvoru v kotevní desce: $d_f = 33,0\text{ mm}$

Tloušťka kotevní desky (vstup): 15,0 mm

Doporučená tloušťka kotevní desky: nepočítána

Metoda vrtání: Vyvrtáno přiklepem

Čištění: Je požadováno kvalitní vyčištění kotevního otvoru

Typ a velikost kotvy: HIT-HY 200-A V3 + HAS-U 8.8 HDG M30

Číslo artiklu: 2223918 HAS-U 8.8 HDG M30x380 (vložit) / 2378171 HIT-HY 200-A V3 (chemická hmota)

Maximální utahovací moment: 300 Nm

Průměr otvoru v základním materiálu: 35,0 mm

Hloubka kotevního otvoru v základním materiálu: 280,0 mm

Minimální tloušťka základního materiálu: 350,0 mm

 Hilti HAS-U závitová tyč s HIT-HY 200-A V3 lepicí hmota s 280 mm kotevní hloubka h_{ef} , M30, Difuzně zinkované, Vrtání přiklepem montáž dle ETA 19/0601

8.1 Doporučené příslušenství

Vrtání

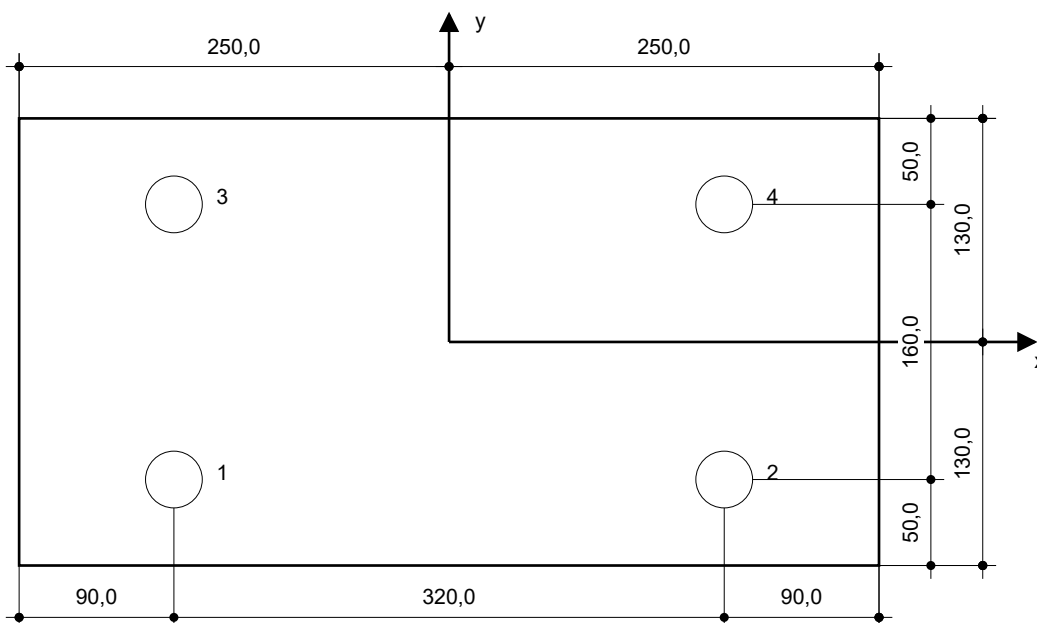
- Vhodná pro vrtací kladivo
- Vrták správného průměru

Čištění

- Stlačený vzduch s požadovaným příslušenstvím pro vyfoukání kotevního otvoru ode dna
- Odpovídající průměr drátkového kartáče

Osazení

- Výtlačovací přístroj včetně vodící kazety a směšovače
- U hlubokých instalaci je nezbytné použít výtlačovací pístovou koncovku
- Momentový klíč



Souřadnice kotev [mm]

Kotva	x	y	c_{-x}	c_{+x}	c_{-y}	c_{+y}
1	-160,0	-80,0	790,0	1 110,0	820,0	980,0
2	160,0	-80,0	1 110,0	790,0	820,0	980,0
3	-160,0	80,0	790,0	1 110,0	980,0	820,0
4	160,0	80,0	1 110,0	790,0	980,0	820,0

www.hilti.cz

Společnost:		Strana:	12
Adresa:		Projektant:	
Telefon I fax:		E-mail:	
Návrh:	patka druha vazba	Datum:	03.05.2024
Dílčí projekt / pozice č.:			

9 Poznámky, požadavky na vaší kooperaci

- Veškeré informace a data obsažená v Softwaru se týkají výhradně použití výrobků Hilti a vycházejí ze zásad, předpisů a bezpečnostních nařízení v souladu s technickými směnicemi a provozními, montážními a instalačními pokyny společnosti Hilti, jimiž se uživatel musí striktně řídit. Veškerá čísla obsažená v Softwaru představují průměrné hodnoty, a proto je před použitím příslušného výrobku Hilti nutno provést testy pro jeho konkrétní použití. Výsledky výpočtů provedených pomocí Softwaru vycházejí především z vámi zadaných dat. Nesete proto výhradní odpovědnost za bezchybnost, úplnost a relevantnost zadávaných dat. Mimoto nesete výhradní odpovědnost za kontrolu výsledků vzešlých z výpočtů a za to, že si tyto výsledky před jejich použitím pro konkrétní zařízení necháte ověřit a schválit od odborníka, zejména co se týče souladu s příslušnými normami a povoleními. Software slouží pouze jako pomůcka pro interpretaci norem a povolení bez jakékoli záruky ohledně bezchybnosti, přesnosti a relevantnosti výsledků nebo vhodnosti pro konkrétní použití.
- Abyste předešli škodám, které by Software mohl způsobit, nebo omezili jejich rozsah, musíte přijmout veškerá nutná a přiměřená opatření. Obzvláště je třeba pravidelně zálohovat programy a data a v případě potřeby provádět aktualizace Softwaru, které společnost Hilti pravidelně nabízí. Nepoužíváte-li funkci AutoUpdate, která je součástí Softwaru, je nutné zajistit aktuálnost vámi používané verze Softwaru ručními aktualizacemi prostřednictvím internetových stránek společnosti Hilti. Společnost Hilti nenese žádnou zodpovědnost za důsledky vzešlé z vámi zaviněného porušení povinností, jako je například nutnost obnovy ztracených či poškozených dat nebo programů.

www.hilti.cz




Společnost:
Adresa:
Telefon I fax:
Návrh:
Dílní projekt / pozice č.:

|
patka štít

Strana: 1
Projektant:
E-mail:
Datum: 03.05.2024

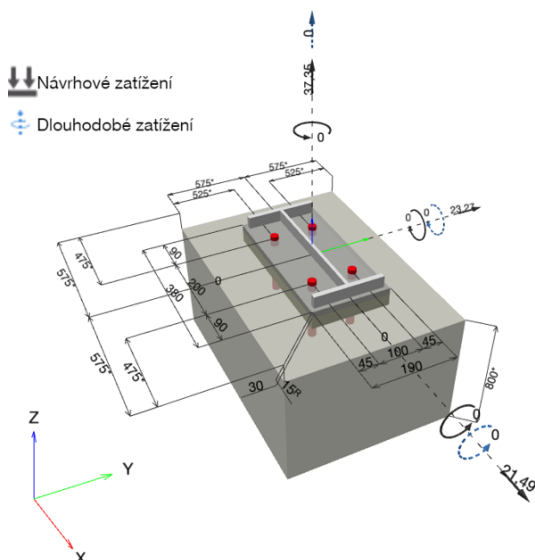
Komentář projektanta:

1 Vstupní data

Typ a velikost kotvy:	HIT-HY 200-A V3 + HAS-U 5.8 HDG M20	
Předpokládaná životnost (životnost v letech):	50	
Číslo artiklu:	2223901 HAS-U 5.8 HDG M20x180 (vložit) / 2378171 HIT-HY 200-A V3 (chemická hmota)	
Insert item # alternative:	2390222 HAS 5.8 HDG M20x180	
Efektivní kotvení hloubka:	$h_{ef,act} = 100,0 \text{ mm}$ ($h_{ef,limit} = - \text{ mm}$)	
Materiál:	5.8	
Certifikát č.:	ETA 19/0601	
Vydáný I Platný:	29.01.2024 -	
Posouzení:	SOFA na základě EN 1992-4, chem. kotvy	
Distanční montáž:	bez upnutí (kotva); stupeň zadržení (kotevní deska): 2,00; $e_b = 30,0 \text{ mm}$; $t = 15,0 \text{ mm}$	
Kotevní deska ^R :	Hilti podlití: CB-G EG, epoxidová, $f_{c,Grout} = 120,00 \text{ N/mm}^2$ $l_x \times l_y \times t = 380,0 \text{ mm} \times 190,0 \text{ mm} \times 15,0 \text{ mm}$; (Doporučená tloušťka kotevní desky: nepočítána)	
Profil:	IPE profil, IPE 360 ; ($V \times \check{S} \times T \times T$) = $360,0 \text{ mm} \times 170,0 \text{ mm} \times 8,0 \text{ mm} \times 12,7 \text{ mm}$	
Základní materiál:	s trhlínami beton, C20/25, $f_{c,cyl} = 20,00 \text{ N/mm}^2$; $h = 800,0 \text{ mm}$, teplota krátkodobá/dlouhodobá: 40/24 °C, Uživatelem definovaný parciální bezpečnostní součinitel materiálu $\gamma_c = 1,500$	
Montáž:	automaticky čištěný kotevní otvor, montážní podmínky: suché	
Výztuž:	Žádná výztuž nebo osová vzdálenost výztuže $\geq 150 \text{ mm}$ (jakýkoliv \emptyset) nebo $\geq 100 \text{ mm}$ ($\emptyset \leq 10 \text{ mm}$) s podélnou výztuží okraje $d \geq 12,0 \text{ [mm]}$	

^R - Výpočet kotvy je proveden na základě předpokladu tuhé kotevní desky.

Geometrie [mm] & Zatížení [kN, kNm]



www.hilti.cz

Společnost:		Strana:	2
Adresa:		Projektant:	
Telefon I fax:		E-mail:	
Návrh:	patka stit	Datum:	03.05.2024
Díličí projekt / pozice č.:			

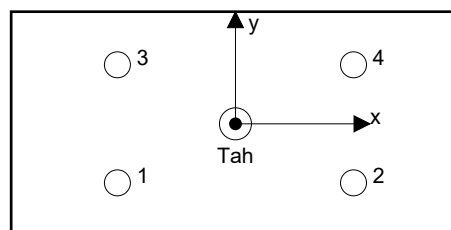
1.1 Kombinace zatížení

Stav	Popis	Síly [kN] / Momenty [kNm]	Seizmický	Požár	Max. využití kotvy [%]
1	Kombinace 1	$N = 37,350; V_x = 21,490; V_y = 23,270;$ $M_x = 0,000; M_y = 0,000; M_z = 0,000;$ $N_{sus} = 0,000; M_{x,sus} = 0,000; M_{y,sus} = 0,000;$	Ne	ne	96

2 Zatěžovací stav/Výsledné síly na kotvu
Reakce kotvy [kN]

Tahová síla: (+ Tah, - Tlak)

Kotva	Tahová síla	Smyková síla	Smyková síla x	Smyková síla y
1	9,338	7,919	5,373	5,817
2	9,338	7,919	5,373	5,817
3	9,338	7,919	5,373	5,817
4	9,338	7,919	5,373	5,817



max. tlakové přetvoření betonu: - [%]
 max. tlakové napětí v betonu: - [N/mm²]
 výsledná tahová síla v (x/y)=(0,0/0,0): 37,350 [kN]
 výsledná tlaková síla v (x/y)=(-/-): 0,000 [kN]

Kotevní síly jsou vypočítány na základě předpokladu tuhé kotevní desky.

www.hilti.cz

Společnost:		Strana:	3
Adresa:		Projektant:	
Telefon I fax:		E-mail:	
Návrh:	patka stit	Datum:	03.05.2024
Dílčí projekt / pozice č.:			

3 Tahové zatížení EN 1992-4, kap.7.2.1

	Zatížení [kN]	Únosnost [kN]	Využití β_N [%]	Stav
Porušení oceli*	9,338	81,667	12	OK
Kombinované porušení vytažením - vytržením betonového kuželu**	37,350	88,430	43	OK
Porušení vytržením betonového kuželu**	37,350	51,015	74	OK
Porušení rozštěpením**	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici

* nejnepříznivější kotva ** skupina kotev (kotvy v tahu)

3.1 Porušení oceli

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{M,s}} \quad \text{EN 1992-4, Tabulka 7.1}$$

$N_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$N_{Rd,s}$ [kN]	N_{Ed} [kN]
122,500	1,500	81,667	9,338

www.hilti.cz

Společnost:		Strana:	4
Adresa:		Projektant:	
Telefon I fax:		E-mail:	
Návrh:	patka stit	Datum:	03.05.2024
Dílní projekt / pozice č.:			

3.2 Kombinované porušení vytažením - vytržením betonového kuželu

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{M,p}} \quad \text{EN 1992-4, Tabulka 7.1}$$

$$N_{Rk,p} = N_{Rk,p}^0 \cdot \frac{A_{p,N}}{A_{p,N}^0} \cdot \psi_{g,Np} \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{re,Np} \cdot \psi_{ec1,Np} \cdot \psi_{ec2,Np} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.13)}$$

$$N_{Rk,p}^0 = \psi_{sus} \cdot \tau_{Rk} \cdot \pi \cdot d \cdot h_{ef} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.14)}$$

$$\psi_{sus} = 1 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.14a)}$$

$$s_{cr,Np} = 7,3 \cdot d \cdot \sqrt{\psi_{sus} \cdot \tau_{Rk}} \leq 3 \cdot h_{ef} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.15)}$$

$$\psi_{g,Np} = \psi_{g,Np}^0 \cdot \left(\frac{s}{s_{cr,Np}} \right)^{0,5} \cdot (\psi_{g,Np}^0 - 1) \geq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.17)}$$

$$\psi_{g,Np}^0 = \sqrt{n} - (\sqrt{n} - 1) \cdot \left(\frac{\tau_{Rk}}{\tau_{Rk,c}} \right)^{1,5} \geq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.18)}$$

$$\tau_{Rk,c} = \frac{k_3}{\pi \cdot d} \cdot \sqrt{h_{ef} \cdot f_{ck}} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.19)}$$

$$\psi_{s,Np} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,Np}} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.20)}$$

$$\psi_{ec1,Np} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{c1,N}}{s_{cr,Np}} \right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.21)}$$

$$\psi_{ec2,Np} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{c2,N}}{s_{cr,Np}} \right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.21)}$$

$A_{p,N}$ [mm ²]	$A_{p,N}^0$ [mm ²]	$\tau_{Rk,ucr,20}$ [N/mm ²]	$s_{cr,Np}$ [mm]	$c_{cr,Np}$ [mm]	c_{min} [mm]	$f_{c,cyl}$ [N/mm ²]
200 000	90 000	18,00	300,0	150,0	475,0	20,00
ψ_c	$\tau_{Rk,cr}$ [N/mm ²]	k_3	$\tau_{Rk,c}$ [N/mm ²]	$\psi_{g,Np}^0$	$\psi_{g,Np}$	
1,000	9,50	7,700	5,48	1,000	1,000	
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,Np}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,Np}$	$\psi_{s,Np}$	$\psi_{re,Np}$	
0,0	1,000	0,0	1,000	1,000	1,000	
ψ_{sus}^0	α_{sus}	ψ_{sus}				
0,800	0,000	1,000				
$N_{Rk,p}^0$ [kN]	$N_{Rk,p}$ [kN]	$\gamma_{M,p}$	$N_{Rd,p}$ [kN]	N_{Ed} [kN]		
59,690	132,645	1,500	88,430	37,350		

ID skupiny kotev

1-4

www.hilti.cz

Společnost:		Strana:	5
Adresa:		Projektant:	
Telefon I fax:		E-mail:	
Návrh:	patka stit	Datum:	03.05.2024
Dílčí projekt / pozice č.:			

3.3 Porušení vytržením betonového kuželu

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,c} = \frac{N_{RK,c}^0}{\gamma_{M,c}} \quad \text{EN 1992-4, Tabulka 7.1}$$

$$N_{RK,c}^0 = N_{RK,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}^0}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec1,N} \cdot \psi_{ec2,N} \cdot \psi_{M,N} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.1)}$$

$$N_{RK,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1,5} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.2)}$$

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.3)}$$

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.4)}$$

$$\psi_{ec1,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{N,1}}{s_{cr,N}} \right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.6)}$$

$$\psi_{ec2,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{N,2}}{s_{cr,N}} \right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.6)}$$

$$\psi_{M,N} = 1 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.7)}$$

$A_{c,N}$ [mm ²]	$A_{c,N}^0$ [mm ²]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]	$f_{c,cyl}$ [N/mm ²]		
200 000	90 000	150,0	300,0	20,00		
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	
0,0	1,000	0,0	1,000	1,000	1,000	
z [mm]	$\psi_{M,N}$	k_1	$N_{RK,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,c}$	$N_{Rd,c}$ [kN]	N_{Ed} [kN]
0,0	1,000	7,700	34,435	1,500	51,015	37,350

ID skupiny kotev

1-4

www.hilti.cz

Společnost:		Strana:	6
Adresa:		Projektant:	
Telefon I fax:		E-mail:	
Návrh:	patka stit	Datum:	03.05.2024
Dílčí projekt / pozice č.:			

4 Smykové zatížení EN 1992-4, kap. 7.2.2

	Zatížení [kN]	Únosnost [kN]	Využití β_v [%]	Stav
Porušení oceli (bez distanční montáže)*	7,919	58,800	14	OK
Porušení oceli (s distanční montáží)*	7,919	9,681	82	OK
Porušení vylomením betonu**	31,675	102,031	32	OK
Porušení okraje betonu ve směru $y+^{**}$	25,631	53,637	48	OK

* nejnepříznivější kotva ** skupina kotev (rovnocenné kotvy)

4.1 Porušení oceli (bez distanční montáže)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{M,s}} \quad \text{EN 1992-4, Tabulka 7.2}$$

$$V_{Rk,s} = k_7 \cdot V_{Rk,s}^0 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.35)}$$

$V_{Rk,s}^0$ [kN]	k_7	$V_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$V_{Rd,s}$ [kN]	V_{Ed} [kN]
73,500	1,000	73,500	1,250	58,800	7,919

4.2 Porušení oceli (s distanční montáží)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s,M} = \frac{V_{Rk,s,M}}{\gamma_{M,s}} \quad \text{EN 1992-4, Tabulka 7.2}$$

$$V_{Rk,s,M} = \frac{\alpha_M \cdot M_{Rk,s}}{l_a} \quad \text{EN 1992-4, Eq. 7.37}$$

$$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{Rd,s}}\right) \quad \text{EN 1992-4, Eq. 7.38}$$

$$l_a = e_c + \frac{t}{2} + a_3 \quad \text{EN 1992-4, Eq. 6.2}$$

l [mm]	α_M	$N_{Ed} / N_{Rd,s}$	$1 - N_{Ed} / N_{Rd,s}$	$M_{Rk,s}^0$ [kNm]	$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 (1 - N_{Ed} / N_{Rd,s})$ [kNm]	$V_{Rk,s}^M = \alpha_M \cdot M_{Rk,s} / l$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$V_{Rd,s}^M$ [kN]	V_{Ed} [kN]
47,5	2,00	0,114	0,886	0,325	0,287	12,101	1,250	9,681	7,919

www.hilti.cz

Společnost:		Strana:	7
Adresa:		Projektant:	
Telefon I fax:		E-mail:	
Návrh:	patka stit	Datum:	03.05.2024
Dílčí projekt / pozice č.:			

4.3 Porušení vylomením betonu (relevantní k vytažení)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{M,c,p}} \quad \text{EN 1992-4, Tabulka 7.2}$$

$$V_{Rk,cp} = k_8 \cdot \min \{N_{Rk,c}; N_{Rk,p}\} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.39c)}$$

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec1,N} \cdot \psi_{ec2,N} \cdot \psi_{M,N} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.1)}$$

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1,5} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.2)}$$

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.3)}$$

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.4)}$$

$$\psi_{ec1,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{v,1}}{s_{cr,N}}\right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.6)}$$

$$\psi_{ec2,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{v,2}}{s_{cr,N}}\right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.6)}$$

$$\psi_{M,N} = 1 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.7)}$$

$A_{c,N}$ [mm ²]	$A_{c,N}^0$ [mm ²]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]	k_8	$f_{c,cyl}$ [N/mm ²]		
200 000	90 000	150,0	300,0	2,000	20,00		
$e_{c1,v}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,v}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	$\psi_{M,N}$	
0,0	1,000	0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
k_1	$N_{Rk,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,c,p}$	$V_{Rd,cp}$ [kN]	V_{Ed} [kN]			
7,700	34,435	1,500	102,031	31,675			

ID skupiny kotev

1-4

www.hilti.cz

Společnost:		Strana:	8
Adresa:		Projektant:	
Telefon I fax:		E-mail:	
Návrh:	patka stit	Datum:	03.05.2024
Dílní projekt / pozice č.:			

4.4 Porušení okraje betonu ve směru y+

$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{M,c}}$	EN 1992-4, Tabulka 7.2
$V_{Rk,c} = k_T \cdot \psi_{b,g} \cdot V_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{\alpha,V} \cdot \psi_{ec,V} \cdot \psi_{re,V}$	EN 1992-4, Eq. (7.40)
$\psi_{b,g} = \frac{1}{\alpha_{b,g}} = \frac{1}{1 + \frac{C \cdot t_g}{d^{\frac{3}{4}}}}$	Hilti Method for anchor design in grouted stand-off connections, Hilti, 2023
$V_{Rk,c}^0 = k_g \cdot d_{nom}^\alpha \cdot l_f^\beta \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot c_1^{1,5}$	EN 1992-4, Eq. (7.41)
$\alpha = 0,1 \cdot \left(\frac{l_f}{c_1}\right)^{0,5}$	EN 1992-4, Eq. (7.42)
$\beta = 0,1 \cdot \left(\frac{d_{nom}}{c_1}\right)^{0,2}$	EN 1992-4, Eq. (7.43)
$A_{c,V}^0 = 4,5 \cdot c_1^2$	EN 1992-4, Eq. (7.44)
$\psi_{s,V} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c_2}{1,5 \cdot c_1} \leq 1,00$	EN 1992-4, Eq. (7.45)
$\psi_{h,V} = \left(\frac{1,5 \cdot c_1}{h}\right)^{0,5} \geq 1,00$	EN 1992-4, Eq. (7.46)
$\psi_{ec,V} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_V}{3 \cdot c_1}\right)} \leq 1,00$	EN 1992-4, Eq. (7.47)
$\psi_{\alpha,V} = \sqrt{\frac{1}{(\cos \alpha_V)^2 + (0,5 \cdot \sin \alpha_V)^2}} \geq 1,00$	EN 1992-4, Eq. (7.48)

l_f [mm]	d_{nom} [mm]	k_g	α	β	$f_{c,cyl}$ [N/mm ²]	
100,0	20,00	1,700	0,044	0,052	20,00	
$\psi_{b,g}$	$C \left[\frac{1}{mm^{0,25}}\right]$	d [mm]	t_g [mm]			
0,880	0,043	20,0	30,0			
c_1 [mm]	$A_{c,V}$ [mm ²]	$A_{c,V}^0$ [mm ²]				
525,0	905 625	1 240 312				
$\psi_{s,V}$	$\psi_{h,V}$	α_V [°]	$\psi_{\alpha,V}$	$e_{c,V}$ [mm]	$\psi_{ec,V}$	$\psi_{re,V}$
0,881	1,000	24,79	1,073	0,0	1,000	1,000
$V_{Rk,c}^0$ [kN]	k_T	$\gamma_{M,c}$	$V_{Rd,c}$ [kN]	V_{Ed} [kN]		
132,442	1,0	1,500	53,637	25,631		

www.hilti.cz

Společnost:		Strana:	9
Adresa:		Projektant:	
Telefon I fax:		E-mail:	
Návrh:	patka stit	Datum:	03.05.2024
Dílčí projekt / pozice č.:			

5 Kombinace zatížení tah/smyk (EN 1992-4, oddíl 7.2.3)

Selhání oceli

β_N	β_V	α	Využití $\beta_{N,V}$ [%]	Stav
0,114	0,135	2,000	4	OK

$$\beta_N^\alpha + \beta_V^\alpha \leq 1,0$$

Porušení betonu

β_N	β_V	α	Využití $\beta_{N,V}$ [%]	Stav
0,732	0,478	1,500	96	OK

$$\beta_N^\alpha + \beta_V^\alpha \leq 1,0$$

6 Posuny (nejvíce zatížená kotva)

Krátkodobé zatížení:

N_{Sk}	=	6,917 [kN]	δ_N	=	0,0771 [mm]
V_{Sk}	=	5,866 [kN]	δ_V	=	0,2346 [mm]
			δ_{NV}	=	0,2470 [mm]

Dlouhodobé zatížení:

N_{Sk}	=	6,917 [kN]	δ_N	=	0,1761 [mm]
V_{Sk}	=	5,866 [kN]	δ_V	=	0,3519 [mm]
			δ_{NV}	=	0,3936 [mm]

Poznámka: Posuny vlivem tahové síly jsou platné při poloviční hodnotě předepsaného utahovacího momentu pro bez trhlin beton! Smykové posuny jsou platné za předpokladu žádného tření mezi betonem a kotevní deskou! Mezery mezi kotvou a vrtaným kotevním otvorem a mezery mezi kotvou a otvorem v kotevní desce nejsou v tomto výpočtu zahrnuty!

Přípustné posuny kotev závisí na připevňované konstrukci a musejí být definovány projektantem!

7 Upozornění

- S přerozdělením zatížení na jednotlivé kotvy vlivem elastických deformací kotevní desky se neuvažuje. Předpokládá se natolik tuhá kotevní deska, u které při zatěžování nedochází k deformacím! Musí být zkontolováno, zda jsou vstupní data a výsledky v souladu s aktuálními podmínkami a zda jsou věrohodné!
- Posouzení přenosu zatížení do základního materiálu musí být provedeno podle EN 1992-4, Příloha A!
- Návrh je platný pouze když velikost otvorů pro kotvy v kotevní desce není větší než velikosti uvedené v EN 1992-4 tabulka 6.1! Pro větší kotevní otvory postupujte podle EN 1992-4 část 6.2.2!
- Seznam příslušenství v tomto protokolu slouží pouze jako informace uživateli. V každém případě je třeba dodržovat návod k použití dodávaný s výrobkem, aby byla zajištěna správná instalace.
- Pro stanovení $\psi_{re,v}$ (selhání okraje betonu) je min. krytí betonu určeno v Nastavení návrhu - Min. krycí vrstva betonu.
- Charakteristická pevnost lepicí hmoty (soudržnost) závisí na krátkodobých a dlouhodobých teplotách.
- Okrajová výtuzň není požadovaná pro zabránění porušení rozštěpením.
- Charakteristická odolnost spoje závisí na údržbě a životnosti (životnosti v letech): 50



www.hilti.cz

Společnost:

Adresa:

Telefon I fax:

Návrh:

Dílčí projekt / pozice č.:

|

patka stit

Strana:

Projektant:

E-mail:

Datum:

10

03.05.2024

Upevnění je bezpečné!

www.hilti.cz

Společnost:
Adresa:
Telefon | fax: |
Návrh: patka stit
Dílní projekt / pozice č.:

Strana: 11
Projektant:
E-mail:
Datum: 03.05.2024

8 Montážní pokyny

Kotevní deska, ocel: S 235; $E = 210\,000,00\text{ N/mm}^2$; $f_{yk} = 235,00\text{ N/mm}^2$

Profil: IPE profil, IPE 360 ; $(V \times \check{S} \times T \times T) = 360,0\text{ mm} \times 170,0\text{ mm} \times 8,0\text{ mm} \times 12,7\text{ mm}$

Průměr otvoru v kotevní desce: $d_f = 22,0\text{ mm}$

Tloušťka kotevní desky (vstup): 15,0 mm

Doporučená tloušťka kotevní desky: nepočítána

Metoda vrtání: SAFEset - automatické čištění

Čištění: Je požadováno automatické čištění kotevního otvoru

Typ a velikost kotvy: HIT-HY 200-A V3 + HAS-U 5.8 HDG M20

Číslo artiklu: 2223901 HAS-U 5.8 HDG M20x180 (vložit) / 2378171 HIT-HY 200-A V3 (chemická hmota)

Insert item # alternativní: 2390222 HAS 5.8 HDG M20x180

Maximální utahovací moment: 150 Nm

Průměr otvoru v základním materiálu: 22,0 mm

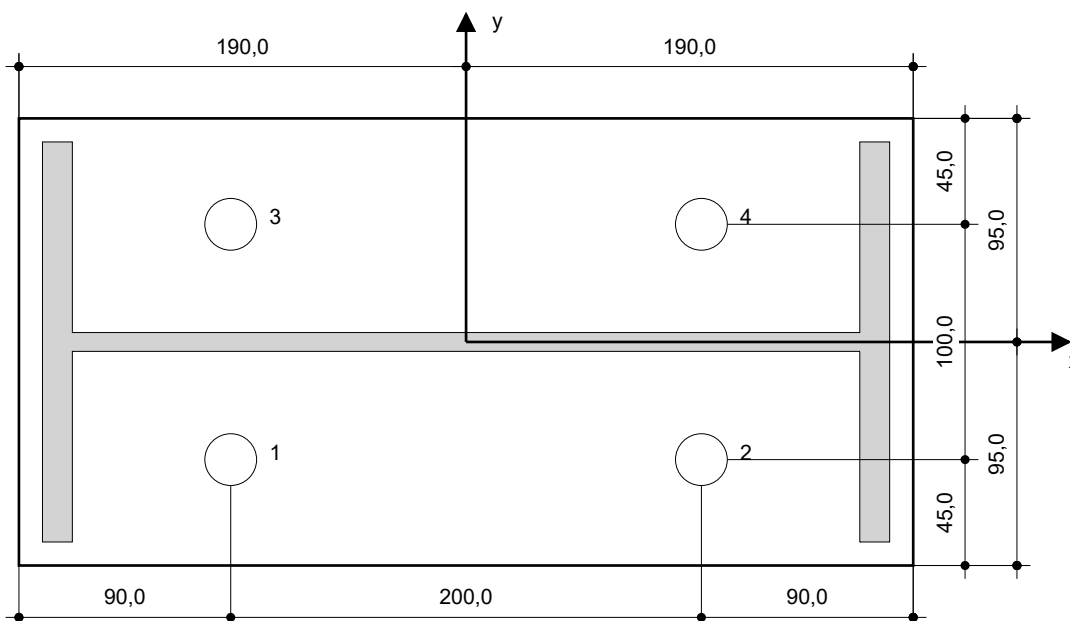
Hloubka kotevního otvoru v základním materiálu: 100,0 mm

Minimální tloušťka základního materiálu: 144,0 mm

Hilti HAS-U or HAS závitová tyč with HIT-HY 200-A V3 lepicí hmota with 100 mm embedment h_{ef} , M20, Difuzně zinkované, SAFEset - automatické čištění installation per ETA 19/0601

8.1 Doporučené příslušenství

Vrtání	Čištění	Osazení
<ul style="list-style-type: none"> Vhodná pro vrtací klado Automaticky čistící vrták spávného průměru Vysavač 	<ul style="list-style-type: none"> Příslušenství není požadováno 	<ul style="list-style-type: none"> Výtlačovací přístroj včetně vodící kazety a směšovače U hlubokých instalaci je nezbytné použít výtlačovací pístovou koncovku Momentový klíč



Souřadnice kotev [mm]

Kotva	x	y	c_{-x}	c_{+x}	c_{-y}	c_{+y}
1	-100,0	-50,0	475,0	675,0	525,0	625,0
2	100,0	-50,0	675,0	475,0	525,0	625,0
3	-100,0	50,0	475,0	675,0	625,0	525,0
4	100,0	50,0	675,0	475,0	625,0	525,0

www.hilti.cz

Společnost:		Strana:	12
Adresa:		Projektant:	
Telefon I fax:		E-mail:	
Návrh:	patka stit	Datum:	03.05.2024
Dílčí projekt / pozice č.:			

9 Poznámky, požadavky na vaší kooperaci

- Veškeré informace a data obsažená v Softwaru se týkají výhradně použití výrobků Hilti a vycházejí ze zásad, předpisů a bezpečnostních nařízení v souladu s technickými směnicemi a provozními, montážními a instalačními pokyny společnosti Hilti, jimiž se uživatel musí striktně řídit. Veškerá čísla obsažená v Softwaru představují průměrné hodnoty, a proto je před použitím příslušného výrobku Hilti nutno provést testy pro jeho konkrétní použití. Výsledky výpočtů provedených pomocí Softwaru vycházejí především z vámi zadaných dat. Nesete proto výhradní odpovědnost za bezchybnost, úplnost a relevantnost zadávaných dat. Mimoto nesete výhradní odpovědnost za kontrolu výsledků vzešlých z výpočtů a za to, že si tyto výsledky před jejich použitím pro konkrétní zařízení necháte ověřit a schválit od odborníka, zejména co se týče souladu s příslušnými normami a povoleními. Software slouží pouze jako pomůcka pro interpretaci norem a povolení bez jakékoli záruky ohledně bezchybnosti, přesnosti a relevantnosti výsledků nebo vhodnosti pro konkrétní použití.
- Abyste předešli škodám, které by Software mohl způsobit, nebo omezili jejich rozsah, musíte přijmout veškerá nutná a přiměřená opatření. Obzvláště je třeba pravidelně zálohovat programy a data a v případě potřeby provádět aktualizace Softwaru, které společnost Hilti pravidelně nabízí. Nepoužíváte-li funkci AutoUpdate, která je součástí Softwaru, je nutné zajistit aktuálnost vámi používané verze Softwaru ručními aktualizacemi prostřednictvím internetových stránek společnosti Hilti. Společnost Hilti nenesе žádnou zodpovědnost za důsledky vzešlé z vámi zaviněného porušení povinností, jako je například nutnost obnovy ztracených či poškozených dat nebo programů.