

**ZÁPADOČESKÁ
UNIVERZITA
V PLZNI**

**FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD
KATEDRA MECHANIKY – ODDĚLENÍ STAVITELSTVÍ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**PROBLEMATIKA ŘEŠENÍ DŘEVĚNÝCH
LEPENÝCH VAZNÍKŮ PRO ZASTŘEŠENÍ HAL**

PLZEŇ, 2014

Bc. HUML MICHAL

Anotace

Tato diplomová práce je zaměřena na řešení problematiky konstrukce z dřevěných lepených vazníků pro zastřešení hal.

Práce obsahuje všeobecné poznatky o těchto technologiích, jejich návrhu a posuzování včetně názorného návrhu a výpočtu zastřešení pro sportovní halu.

Součástí projektu je statické posouzení zakřivených lepených vazníků a vybraných konstrukcí. Toto posouzení bylo provedeno ručním výpočtem dle platných norem ČSN EN a za pomoci modelu ve výpočtovém programu Scia Engineer 2013. Příložená výkresová dokumentace byla zpracována v programu Revit Architecture 2012. Návrh objektu, jeho dispozice, konstrukce a materiály jsou v souladu s platnými normami ČSN EN.

Klíčová slova:

Lepené lamelové konstrukce, zakřivené nosníky z lepeného lamelového dřeva, sportovní hala, projektová dokumentace, statický výpočet, výpočtový model

Abstract

This thesis is focused on solving the structure of glue laminated timber construction.

All general knowledge about these technologies, design and calculation for the sports hall roof are included.

In the project documentation is also a static analysis of curved glue laminated timber and selected structures. This assessment has been evaluated by manual calculations according to standards CSN EN and with structural analysis by progame Scia Engineer 2013. Enclosed technical drawings have been prepared in Revit Architecture 2012. Building construction, disposition, design and materials are in accordance with the applicable standards CSN EN.

Keywords:

Glue laminated construction, curved glue laminated timber, sports hall, project documentation, statical analysis, structural analysis

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Problematika řešení dřevěných lepených vazníků pro zastřešení hal vypracoval samostatně za pomoci odborných konzultací s vedoucím bakalářské práce a za použití odborné literatury a norem uvedených v příloženém seznamu.

V Plzni, dne 28.05. 2014

.....

Bc. Huml Michal

Poděkování

Tímto chci poděkovat panu Ing. Luďkovi Vejvarovi za vedení, cenné rady a čas společně strávený při konzultacích diplomové práce. Dále děkuji všem, co mě v průběhu studia jakýmkoliv způsobem podporovali, zejména svojí rodině za trpělivost a pomoc v obtížných chvílích. Věřím, že svoje nabyté zkušenosti zúročím v profesním, ale i osobním životě a tím všem budu moci splatit podporu, které se mi dostalo.

OBSAH:

1	ÚVOD	11
2	LEPENÉ LAMELOVÉ DŘEVO	11
2.1	VÝROBA	12
2.1.1	Řezivo	12
2.1.2	Výrobní proces	12
2.1.3	Předpisy a požadavky	14
2.2	VLASTNOSTI A VÝHODY	14
2.2.1	Rozměry prvků	14
2.2.2	Tvarová variabilita	14
2.2.3	Požární odolnost	15
2.2.4	Pevnost a tuhost	15
2.2.5	Nízká ekologická zátěž	15
2.2.6	Faktory ovlivňující pevnost prvků	16
2.3	POSUZOVÁNÍ PRVKŮ Z LLD	16
2.3.1	Eurokód 5	16
2.3.2	ČSN 73 1702	16
3	KONCEPČNÍ NÁVRH ŘEŠENÍ SPORTOVNÍ HALY	18
3.1	VLIV DISPOZICE OBJEKTU	18
3.2	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	18
3.2.1	Hlavní nosná konstrukce haly	19
3.2.2	Stabilita a ztužení konstrukce	21
4	OPTIMALIZACE KONSTRUKCE LEPENÉHO NOSNÍKU	22
4.1	ÚVOD	22
4.2	OPTIMALIZACE TVARU ZAKŘIVENÍ NOSNÍKU	22
4.2.1	Návrh možných variant	22
4.2.2	Analýza variant	23
4.2.3	Závěrečné posouzení	27
4.3	MOŽNOSTI ULOŽENÍ NOSNÍKU	28
4.3.1	Návrh možných variant	28
4.3.2	Analýza variant	30
4.3.3	Závěrečné posouzení	34
4.4	OPTIMALIZACE SPOLUPŮSOBENÍ S OKOLNÍMI KONSTRUKCEMI	35
4.4.1	Vytvoření nového modelu konstrukce	35

4.4.2	<i>Analýza vnitřních sil na novém modelu</i>	35
4.4.3	<i>Návrh optimálního řešení</i>	37
4.4.4	<i>Analýza vnitřních sil na novém řešení</i>	37
4.5	ZÁVĚR OPTIMALIZACE	38
5	VÝPOČETNÍ MODEL KONSTRUKCE	39
5.1	ÚVOD	39
5.2	VÝPOČET ZATÍŽENÍ (DLE ČSN EN 1991-1)	40
5.2.1	<i>Zatížení stálé a proměnné - užité</i>	40
5.2.2	<i>Výpočet zatížení sněhem</i>	41
5.2.3	<i>Výpočet zatížení větrem</i>	44
5.3	MODEL VE VÝPOČETNÍM SOFTWARE	48
5.3.1	<i>Zatížení modelu</i>	49
5.3.2	<i>Kombinace zatěžovacích stavů</i>	51
5.3.3	<i>Výpočet a výsledky</i>	52
5.4	ZÁVĚR TVORBY VÝPOČETNÍHO MODELU	61
6	DIMENZOVÁNÍ PRVKŮ	62
6.1	DIMENZOVÁNÍ NOSNÍKU Z LLD	62
6.1.1	<i>Materiálové charakteristiky</i>	64
6.1.2	<i>Posouzení zakřivené části nosníku na ohyb a tah kolmo k vláknům</i>	67
6.1.3	<i>Smyk za ohybu</i>	88
6.1.4	<i>Tlak kolmo k vláknům</i>	88
6.1.5	<i>Posudek na vzpěrnou pevnost</i>	90
6.1.6	<i>Klopení</i>	97
6.1.7	<i>Deformace</i>	98
6.2	POSOUZENÍ ČEPOVÉHO ULOŽENÍ NOSNÍKU NA ZÁKLAD	100
6.2.1	<i>Dimenzování styčnickového plechu</i>	100
6.2.2	<i>Posouzení čepu na smyk</i>	100
6.2.3	<i>Posouzení čepu na ohyb</i>	101
6.2.4	<i>Posouzení čepu - kombinace ohybu a smyku</i>	102
6.2.5	<i>Posouzení únosnosti plechu a čepu v otláčení</i>	102
6.2.6	<i>Posouzení betonu pod patní deskou</i>	102
6.2.7	<i>Posouzení únosnosti nosníku ve smyku</i>	104
6.2.8	<i>Přenos tlakové osově síly - dřevo - ocelová deska</i>	105
6.2.9	<i>Přenos posouvající síly - dřevo - boční ocelová deska</i>	105
6.2.10	<i>Návrhová únosnost svorníků a kolíků</i>	106

6.2.11	<i>Nutné minimální vzdálenosti spojovacích prostředků.....</i>	107
6.2.12	<i>Posouzení tloušťky patní desky (ocel - beton).....</i>	108
6.2.13	<i>Posouzení přípoje dřevěného vazníku vloženým plechem.....</i>	108
6.2.14	<i>Posouzení patního plechu (ocel – dřevo).....</i>	109
6.3	POSOUZENÍ ČEPOVÉHO SPOJE SE VZPĚROU	110
6.3.1	<i>Dimenzování styčnickového plechu</i>	110
6.3.2	<i>Posouzení čepu na smyk.....</i>	111
6.3.3	<i>Posouzení čepu na ohyb</i>	112
6.3.4	<i>Posouzení čepu - kombinace ohybu a smyku</i>	112
6.3.5	<i>Posouzení únosnosti plechu a čepu v otláčení</i>	112
6.3.6	<i>Posouzení únosnosti nosníku ve smyku</i>	112
6.3.7	<i>Návrhová únosnost svorníků a kolíků.....</i>	113
6.3.8	<i>Nutné minimální vzdálenosti spojovacích prostředků</i>	115
6.3.9	<i>Posouzení přípoje dřevěného vazníku vloženým plechem</i>	115
6.3.10	<i>Posouzení patního plechu (ocel – dřevo).....</i>	116
6.4	POSOUZENÍ ČEPOVÉHO ULOŽENÍ NA SLOUP	117
6.4.1	<i>Dimenzování styčnickového plechu</i>	117
6.4.2	<i>Posouzení čepu na smyk.....</i>	118
6.4.3	<i>Posouzení čepu na ohyb</i>	118
6.4.4	<i>Posouzení čepu - kombinace ohybu a smyku</i>	118
6.4.5	<i>Posouzení únosnosti plechu a čepu v otláčení</i>	119
6.4.6	<i>Posouzení únosnosti nosníku ve smyku</i>	119
6.4.7	<i>Návrhová únosnost svorníků a kolíků.....</i>	119
6.4.8	<i>Nutné minimální vzdálenosti spojovacích prostředků</i>	121
6.4.9	<i>Namáhání tahem kolmo k vláknům (riziko trhlin).....</i>	121
6.4.10	<i>Posouzení příložkového plechu na tah.....</i>	122
6.4.11	<i>Posouzení únosnosti plechu a svorníku v otláčení</i>	122
6.4.12	<i>Posouzení patního spoje ocelových příložek na ohyb.....</i>	122
6.5	POSOUZENÍ MONTÁŽNÍHO STYKU.....	124
6.5.1	<i>Návrhové zatížení jednoho spojovacího prostředku.....</i>	124
6.5.2	<i>Nutné minimální vzdálenosti spojovacích prostředků</i>	125
6.5.3	<i>Návrhová únosnost svorníků a kolíků.....</i>	125
6.5.4	<i>Posouzení únosnosti plechu a svorníku v otláčení.....</i>	126
6.6	POSOUZENÍ PODÉLNÝCH ZTUŽIDEL	128
6.6.1	<i>Materiálové charakteristiky.....</i>	128
6.6.2	<i>Dimenzování na vzpěr</i>	129
6.6.3	<i>Posouzení na vzpěr k ose z (slabší osa).....</i>	130

6.6.4	<i>Posouzení na kombinaci vzpěru s ohybem</i>	130
6.6.5	<i>Dimenzování styčnickového plechu</i>	131
6.6.6	<i>Návrhová únosnost svorníků a kolíků</i>	132
6.6.7	<i>Nutné minimální vzdálenosti spojovacích prostředků</i>	133
6.7	POSOUZENÍ KŘÍŽOVÝCH ZTUŽIDEL	134
6.7.1	<i>Posouzení lana v tahu</i>	134
6.7.2	<i>Dimenzování styčnickového plechu</i>	135
7	ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ DIMENZOVÁNÍ	136
7.1	TAH KOLMO K VLÁKNŮM	136
7.1.1	<i>Zachycení tahu kolmo k vláknům</i>	137
7.1.2	<i>Závěr dimenzování na tah kolmo k vláknům</i>	137
7.2	NAMÁHÁNÍ V OHYBU A SMYKU	138
7.3	POSOUZENÍ STABILITY	138
7.4	TLAK KOLMO K VLÁKNŮM	139
7.5	TAH KOLMO K VLÁKNŮM U PŘÍPOJŮ	139
7.6	SPOJE	140
7.7	OSTATNÍ KONSTRUKCE	140
8	POPIS NAVRŽENÉ KONSTRUKCE	141
8.1	POPIS KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ	141
8.1.1	<i>Hlavní konstrukční systém</i>	141
8.1.2	<i>Ztužující prvky konstrukce</i>	142
8.1.3	<i>Montážní spoj</i>	142
8.1.4	<i>Spoje ocel-dřevo</i>	143
8.1.5	<i>Zesílení závitovými tyčemi</i>	143
8.2	STABILITA A ZTUŽENÍ KONSTRUKCE	144
8.3	MONTÁŽ A DOPRAVA	145
8.3.1	<i>Doprava</i>	145
8.3.2	<i>Montáž</i>	146
9	ZÁVĚR	147
	POUŽITÁ LITERATURA	148
	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	149
	SEZNAM PŘÍLOH	151

1 ÚVOD

Tématem diplomové práce je řešení problematiky užití lepeného lamelového dřeva pro velkorozponové konstrukce halových objektů. Zaměřuje se hlavně na problematiku návrhu a dimenzování prvků a jejich konstrukčního řešení. Veškeré výpočty jsou vedle obecného uvedení do tématiky demonstrovány na konkrétním příkladu pro konstrukci sportovní haly.

Pro návrh a výpočet konstrukce byla vybrána víceúčelová sportovní hala. Dispoziční návrh haly a konstrukční řešení některých součástí bylo převzato z podkladního projektu pro diplomovou práci a není proto její součástí. Samotná práce se zaměřuje především na optimalizaci, dimenzování a konstrukční provedení hlavní nosné konstrukce z lepeného lamelového dřeva a jejího napojení na okolní konstrukce.

Na začátku diplomové práce jsou uvedeny vlastnosti lepeného lamelového dřeva a jeho přednosti pro použití na daném typu objektu, včetně normativních předpisů, kterými se daný návrh řídí.

V druhé kapitole je řešena problematika optimalizace tvaru a uspořádání hlavní nosné konstrukce z pohledu hospodárného a funkčního návrhu. Výstupem této optimalizace je předběžný návrh konstrukce, která je v dalším průběhu práce dále rozvinuta a doplněna.

Následující oddíl práce se zaměřuje na výpočet zatížení konstrukce, výpočet vnitřních sil na konstrukci a následné dimenzování jednotlivých prvků. Mimo dimenzování nosných prutových prvků je součástí řešení také návrh jejich spojů a uložení.

Závěrem jsou z výsledků dimenzování vyvozeny závěry o problematických místech při návrhu prvků z lepeného lamelového dřeva a popis výsledného konstrukčního řešení.

2 LEPENÉ LAMELOVÉ DŘEVO

Lepené lamelové dřevo (LLD, BSH – Brettschichtholz, Glulam – Glued laminated timber) je vysokohodnotový inženýrský konstrukční materiál, který je velice výhodné uplatnit pro velkorozponové konstrukce stavebních objektů. Dokonale spojuje funkci statickou a estetickou. Konstrukční prvky je možno vyrábět téměř libovolného tvaru a profilu, limitování jsme především dopravními kapacitami, na které je nutno brát při návrhu ohled.

Prvky z lepeného lamelového dřeva je možné ohýbat ve více směrech a tím optimalizovat jejich tvar pro potřeby statické, ale samozřejmě také estetické funkce architektonického návrhu.

Výhodné může také být kombinování LLD s jinými konstrukčními materiály, například s ocelovými nebo železobetonovými konstrukcemi. Kde je možné ve velice namáhaných místech konstrukce, kde by pevnost lepeného dřeva nevyhověla, nebo by bylo náročné provedení konstrukčního spojení v daném místě, užít například pevnější ocel.

2.1 VÝROBA

LLD je konstrukční materiál vyráběný z běžného pilařského řeziva, v ČR začala jeho výroba již v roce 1952. Princip výroby lepeného lamelového dřeva spočívá v plošném slepení dřevěných lamel na sebe. Tímto způsobem se vyrábějí přímé nebo tvarované nosníky, které mají široké možnosti použití ve stavebnictví především pro střešní konstrukce. Výroba lepených nosníků, při aplikaci vylepšeného systému lepení a moderních lepících směsí, i v současnosti představuje perspektivní oblast využití pro značné množství dřeva a umožňuje výrobu kvalitních stavebních prvků velkých průřezů a délek.

2.1.1 Řezivo

Pro výrobu se používá řezivo s tloušťkou nejvýše 45 mm a délkou mezi 1,5 až 5 m. Nejčastěji se užívají jehličnaté druhy jako smrk a modřín, ale také listnaté, např. dub. Řezivo musí být uměle vysoušeno kvůli užití lepidel, které vyžadují maximální vlhkost lepeného řeziva okolo 15%. Povrch je čtyřstranně frézován, případně i broušen.

2.1.2 Výrobní proces

Jednotlivé lamely jsou na délku spojovány lepeným zubovitým spojem. Vznikne nekonečná lamela, která se následně řeže na požadované délky. Nařezané lamely jsou následně opět ofrézovány a při nanášení lepidla se ukládají nastojato do lisu vedle sebe. Tvar lisu je uzpůsoben konečnému tvaru nosníku. Lepidla jsou složena z pryskyřičné složky a tvrdidla, které se míchají při nanášení. Konkrétně se užívají melamin-formaldehydové pryskyřice (MF), alternativně dvousložkové PUR lepidlo (dle DIN 1052, EN 301).

Po vytvrdnutí lepidla se nosníky z bočních stran opětovně frézují pro odstranění zbytků lepidel a vytvoření dokonale hladkého povrchu. Celý výrobní proces je zakončen konečnou úpravou nosníků. Do této úpravy patří vrtání otvorů pro spojovací prostředky, prořezávání profilu pro vložené plechy, případně aplikace ochranných látek na dřevo.



Obrázek 2.1 Lisování a lepení obloukového nosníku (ČDZ Praha, a.s.)

Výrobky bývají zpravidla zhotoveny pro konkrétní požadavky odběratele. Většina výrobců produkuje přímé i zakřivené tvary obvykle v délkách do 35 m, ale u některých firem může délka lepeného dřeva dosahovat až 50 m. Při spojení několika prvků a materiálů lze vytvořit nosnou konstrukci s rozponem přesahujícím 100 m. Limitováni jsme zejména přepravními kapacitami, ale také tvarem nosníku. Přestože tvarová variabilita je opravdu vysoká, většina výrobců omezuje tvar nosníku udáním maximálního poloměru zakřivení nosníku $R_{min}=1,5\text{ m}$ a výškou profilu do 2,5 m. Pokud je potřeba nosníku délky větší než je možné vyrobit nebo přepravit jako jednolitou konstrukci, je nutné rozdělení na menší dílce, které se spojí pomocí montážních spojů přímo na staveništi.

2.1.3 Předpisy a požadavky

V České republice se požadavky na technické vlastnosti LLD upravují dle ČSN EN 14080 (73 2831) Dřevěné konstrukce – Lepené lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo – Požadavky. Tato norma je českou verzí evropské normy EN 14080:2013. Tato evropská norma stanovuje požadavky na technické vlastnosti lepených lamelovaných výrobků, pro použití v pozemních stavbách a mostech. Stanovuje minimální požadavky pro výrobu, pravidla pro hodnocení a prokazování shody a pro označování lepených lamelových výrobků. Platí pro LLD vyrobené z jehličnatých druhů dřeva uvedených v této normě nebo topolu, které obsahuje dvě nebo více lamel s tloušťkou od 6 mm do 45 mm (včetně).

2.2 VLASTNOSTI A VÝHODY

2.2.1 Rozměry prvků

Oproti rostlému dřevu jsou u LLD teoreticky možné neomezené rozměry z důvodu užití tzv. nekonečné lamely. Omezení ovšem způsobují technologické možnosti výrobních procesů, jako jsou velikosti frézovacích strojů, výrobních prostor a také dopravní kapacity. Pokud náklad přesahuje délku 16 m, šířku 2,5 m nebo výšku 3,5 m je nutné řešit potřebná dopravní opatření dle předpisů, jako jsou kmitavá světla, zvláštní povolení, případně policejní doprovod. Nutné je také uvažovat s dopravní trasou, zejména se zaměřit na poloměry zatáček a pojezdy.

2.2.2 Tvarová variabilita

Vedle přímých nosných prvků je možné díky technologii výroby vytvářet také zakřivené prvky. Zakřivení je umožněno díky tvarování jednotlivých lamel před lepením. Většina výrobců udává minimální poloměry zakřivení, které je nutné při návrhu konstrukce respektovat. Díky možnosti zakřivení je možné vytvářet působivé architektonické konstrukce, ale také využít zakřivení pro nadvýšení nosníků z důvodu pozdějších průhybů po zatížení. Tvar konstrukce se samozřejmě také promítá do výsledné ceny konstrukce. Formy na lisování je nutné upravit podle každého tvaru nosníku a tím rostou i náklady.

2.2.3 Požární odolnost

Lamelové prvky mají také velmi dobrou požární odolnost, rychlost odhořívání je udávána 0,5 – 0,7 mm za minutu bez ztráty únosnosti. Proto se lepené lamelové dřevo s oblibou používá na konstrukce, kde se shromažďují lidé - sportovní haly, výstavní pavilony atd.

2.2.4 Pevnost a tuhost

LLD dosahuje vyšších hodnot pevností než běžné rostlé dřevo. Toho je dosaženo díky rovnoměrnému rozdělení suků po celém průřezu vzhledem k lepení lamel. Díky tomuto vzniká téměř homogenní materiál.

Pevnost je možné také regulovat možným kombinováním lamel různých pevností. Například u nosníků namáhaných na ohyb je možné na více zatížená krajní vlákna použít lamely vyšší třídy pevnosti než na středovou část.

Pro zvýšení únosnosti prvků z lepeného lamelového dřeva je možno využít uvnitř pásy s vlákny vysoké pevnosti, popřípadě k nim přilepit jiné materiály (dřevo jiného druhu, materiály na bázi dřeva, skleněná nebo uhlíková vlákna, ocel).

2.2.5 Nízká ekologická zátěž

Další nespornou výhodou LLD získáme, pokud budeme tento konstrukční materiál posuzovat z hlediska environmentálních dopadů na životní prostředí. Toto hledisko je v dnešní době velice aktuální, pro některé zakázky veřejného charakteru se dokonce vyžaduje a proto si nemůžeme dovolit jej zanedbávat.

Při posouzení dopadů výstavby se často používá analýzy celého životního cyklu použitého materiálu (LCA - Life Cycle Assessment). Zjednodušeně řečeno jde o posouzení výrobku a jeho dopadů na životní prostředí v celém jeho životním cyklu - výroba – použití – recyklace.

LCA byl široce používán pro porovnání dopadů stavebních materiálů, jako je dřevo, ocel a beton na životní prostředí a vědci na celém světě přišli ke stejnému závěru: v porovnání s alternativami, dřevostavby produkují méně znečištění ovzduší a vody, vyžadují méně energie v celém jejich životním cyklu a vytvářejí nižší emise CO₂.

2.2.6 Faktory ovlivňující pevnost prvků

Pevnost prvků z LLD ovlivňují některé faktory. Systematické výzkumy¹ ukázaly, že pevnost ovlivňuje jakost řeziva a pevnost zubovitých spojů a lepení. K porušení prvků dochází vždy v nejslabším místě. Tímto místem jsou nejčastěji suky v lamelě nebo spoj. Proto je důležité kontrolovat nejen kvalitu použitého řeziva a jeho správné roztřídění, ale také kvalitu provedení spojů a jejich lepení. Vysokou třídou řeziva nebo naopak vysokou kvalitou spojování lamel nelze samostatně zaručit vysokou jakost výsledného prvku. Vždy je nutná kombinace těchto dvou faktorů.

2.3 POSUZOVÁNÍ PRVKŮ Z LLD

2.3.1 Eurokód 5

Navrhováním a posuzováním prvků z lepeného lamelového dřeva se zabývá Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí. Tato norma sestává z následujících částí:

- Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby;
- Část 1-2: Navrhování konstrukcí na účinky požáru;
- Část 2: Mosty.

Pro užití u halových objektů je tedy zejména důležitá část ČSN EN 1995-1-1: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

2.3.2 ČSN 73 1702

Současně s eurokódem 5 je v součinnosti také česká národní norma ČSN 73 1702 - Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí - Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

Tato není evropskou normou, ale je v souladu s novou koncepcí spolehlivosti, která je zaváděna v evropských normách pro navrhování stavebních konstrukcí (Eurokódech), a plně vychází ze zásad Eurokódu 5: Navrhování dřevěných konstrukcí.

¹ Colling 1990a a 1990b

Platí pro navrhování a provádění staveb a nosných a výztužných konstrukčních prvků ze dřeva a materiálů na bázi dřeva. Zabývá se pouze požadavky na únosnost, použitelnost a trvanlivost nosných konstrukcí. Jinými požadavky, např. na tepelnou a zvukovou izolaci, se norma nezabývá.

3 KONCEPČNÍ NÁVRH ŘEŠENÍ SPORTOVNÍ HALY

3.1 VLIV DISPOZICE OBJEKTU

Volba typu konstrukce zastřešení haly má velký vliv při požadavcích na dispozici objektu. A proto s ní musíme uvažovat již v počátcích návrhu.

Při návrhu dispozice je nutno respektovat požadavky technických norem, zejména:

- Skupina norem ČSN 73xxxx Navrhování a provádění staveb
 - 7341xx Funkční díly staveb
 - 734108 Šatny, umývárny, záchody
 - 734130 Schodiště, šikmé rampy
- ČSN EN 13200-1 Zařízení pro diváky

Po dohodě s vedoucím práce bylo zadání určeno v podobě návrhu víceúčelové sportovní haly se zázemím pro sportovce. Použito na primární konstrukci haly mělo být lepené lamelové dřevo s možností kombinace s jiným konstrukčním materiálem nebo systémem. Takovouto sportovní halu bylo z prvotních úvah možné řešit dvěma způsoby.

První možností je vytvoření samostatně působící a konstrukčně oddělené haly doplněné přiléhajícím zázemím pro sportovce, se kterým by byla provozně propojena.

Druhou možností je vytvoření kompaktního celku, ve kterém by sportovní hala přímo navazovala na sportovní zázemí.

Vzhledem k provozu víceúčelové sportovní haly a možnosti vytvoření diváckého hlediště se jeví druhá možnost, tedy vytvoření kompaktní haly, u které bude zázemí navazující součástí, jako přijatelnější.

3.2 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Pro takovýto typ haly se jeví jako výhodné spojení několika konstrukčních stavebních materiálů. Na překlenutí velkého rozponu sportovního hřiště užití konstrukce z LLD a pro vytvoření sportovního zázemí železobetonový konstrukční systém.

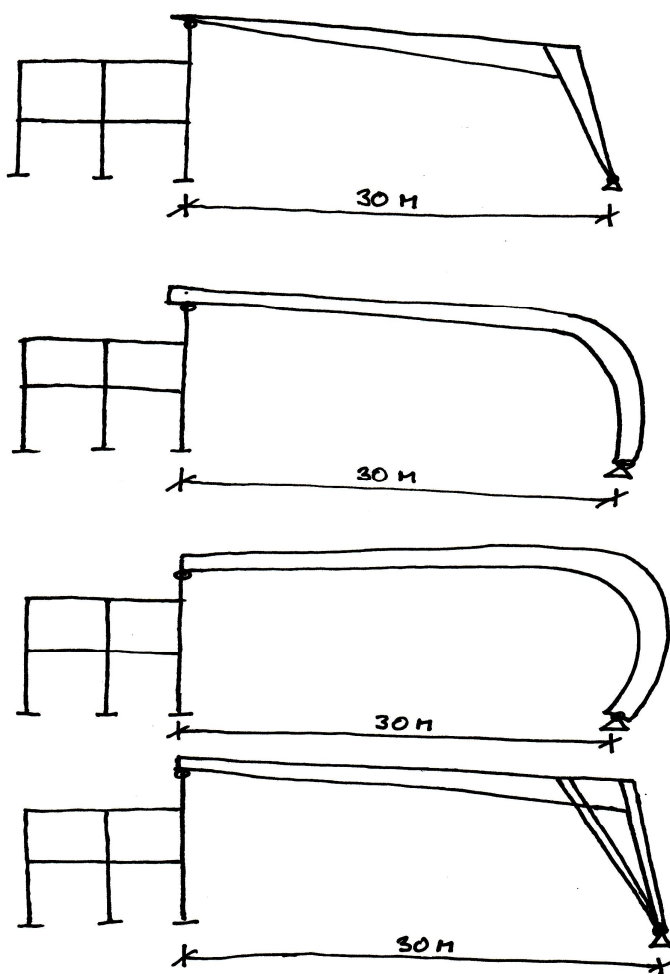
Železobetonová konstrukce sportovního zázemí umožňuje vytvořit vhodnou dispozici dostačujících kapacit pro sportovce, personál i diváky. Konstrukční systém sportoviště tvořený zakřivenými nosníky z LLD splní statické požadavky při zachování ekonomického hlediska a navíc přidá estetickou hodnotu.

Dispoziční řešení sportovního zařízení, včetně konstrukčního návrhu sportovního zázemí, bylo již vyhotoveno a převzato z podkladního předmětu pro diplomovou práci (projekt S2). Řešení železobetonové konstrukce sportovního zázemí není součástí této práce, a proto se jím nebude zabývat. Diplomová práce se soustředí především na řešení a optimalizaci konstrukce sportovní haly z nosníků z LLD.

3.2.1 Hlavní nosná konstrukce haly

Hlavní nosná konstrukce haly je navržena z rovinných ráků, které se opakují po osové vzdálenosti 5 m. Železobetonový skelet sportovního zázemí tvoří z jedné strany podporu pro nosnou konstrukci sportovní haly. Půdorysná plocha sportoviště nutná k zastřešení je 30x45m.

Níže jsou naznačeny schémata možných variant řešení ráků zastřešení sportovní haly z lepeného lamelového dřeva.



Obrázek 3.1 Schematické varianty možností řešení ráků

Pro návrh takovéto konstrukce jsou rozhodující:

- řešení rámového rohu
- namáhání na velké ohybové momenty
- dopravní kapacity

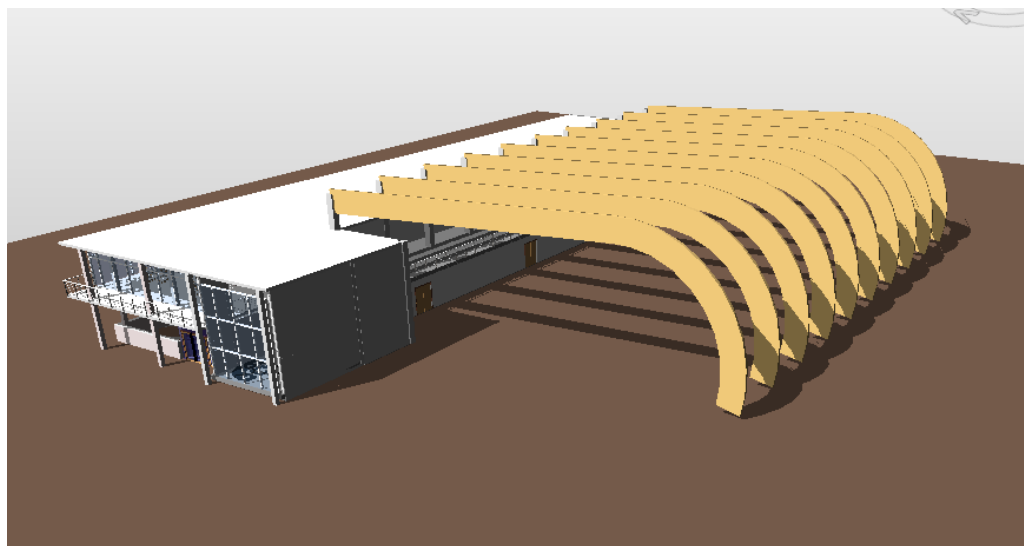
Z důvodu velkého namáhání ohybovými momenty byla vybrána varianta zakřiveného obloukového jednodílného nosníku. Hodnoty ohybového namáhání budou u obloukového tvaru dosahovat příznivějších hodnot díky transformaci zatížení vedle ohybového momentu také do normálové síly. U ráků, které jsou rozdělené na příčel a stojku, by mohlo být problematické místo rámového rohu a zajištění jeho stálé tuhosti. Zakřivené provedení konstrukce navíc může působit jako zajímavější architektonický prvek a vytváří větší užitný objem uvnitř haly.

NÁVRH: Zakřivený kloubově uložený nosník

Základní dílce nosné konstrukce jsou navrženy z lepeného lamelového dřeva třídy pevnosti GL 28h. Konstrukce je tvořena opakujícími se dvoj-kloubovými rámy po osové vzdálenosti 5 metrů. Každý rám je tvořen atypickým zakřiveným nosníkem, který je na jedné straně v úrovni terénu kloubově uložen na základovou patku a na straně druhé, ve výšce 9,5 m kloubově uložen na železobetonový sloup, který je součástí skeletu sportovního zázemí haly. Spodní líc lepeného rámu je v nejvyšším bodě 9,2 m nad hrací plochou a vrchol vnějšího střešního pláště je ve výšce 11,23 m. Střešní rovina je ve spádu 4,54%.

Z důvodu transportních kapacit bude lepený rám rozdělen na dvě části – obloukovou a přímou část. Styky jsou provedeny pomocí vložených ocelových plechů, ocelových kolíků a přesných svorníků. Kloubové uložení je řešeno pomocí ocelových čepových ložisek.

Obvodový plášť je navržen z kompletizovaných dřevěných panelů se zabudovanou tepelně-izolační vrstvou, které budou kotveny přímo k hlavní nosné konstrukci nosníku z LLD. Konstrukce těchto panelů umožňuje jejich uzpůsobení zakřivenému profilu opláštění. Finální vnější povrch zastřešení bude proveden titan-zinkovým plechem. Boční opláštění bude řešeno jako lehká prosklená fasáda.



Obrázek 3.2 Studiový návrh konstrukce sportovní haly – perspektivní pohled

3.2.2 Stabilita a ztužení konstrukce

Jednotlivé rámy je nutno zajistit proti klopení a vybočení ze své roviny. V případě nezajištění vznikají u takto velkých rozponů velká přídatná namáhání. A také je třeba zajistit dostatečnou tuhost střešní roviny.

Zajištění v podélném směru je provedeno pomocí dřevěných ztužidel z LLD. Ztužidla jsou upevněna kloubově po bocích hlavních nosníků v jejich ose po vzdálenosti 4 m. Vzpěrnou délku těchto ztužujících nosníků by bylo možno zmenšit za pomoci vzpěr rozepřených mezi spodní hranou ztužujícího nosníku a bočnicí lepeného nosníku, pokud by bylo zapotřebí. Tuhost v podélném směru zajišťuje také tuhá robustní konstrukce železobetonového skeletu, na kterou je konstrukce zastřešení haly napojena.

Zajištění tuhosti pláště ve své rovině je provedeno pomocí příčných křížových ztužidel - ocelových táhel. Tato táhla tvoří zavětrovací kříže v jednotlivých polích o rozměrech 4 x 5 metrů a jsou kotvena do bočnic lepeného rámu v místě uložení podélných ztužidel. Toto křížové ztužení je provedeno ve dvou krajních a středním poli.

4 OPTIMALIZACE KONSTRUKCE LEPENÉHO NOSNÍKU

4.1 ÚVOD

Optimalizace konstrukce má za cíl najít nejvhodnější řešení konstrukce z LLD z pohledu funkčního, statického, estetického a ekonomického. Pomocí analýzy různých variantních návrhů hledá nejvhodnější z nich. Klíčovým je nalezení správného koncepčního funkčního návrhu, který bude dále podrobněji rozpracován.

4.2 OPTIMALIZACE TVARU ZAKŘIVENÍ NOSNÍKU

4.2.1 Návrh možných variant

Optimalizace tvaru nosníku haly byla provedena porovnáním tří možných variant tvaru. Každá varianta má svoje přednosti i slabiny. Proto bude dále uvedeno jejich podrobné porovnání a zvolena nejvhodnější varianta dle různých kritérií.

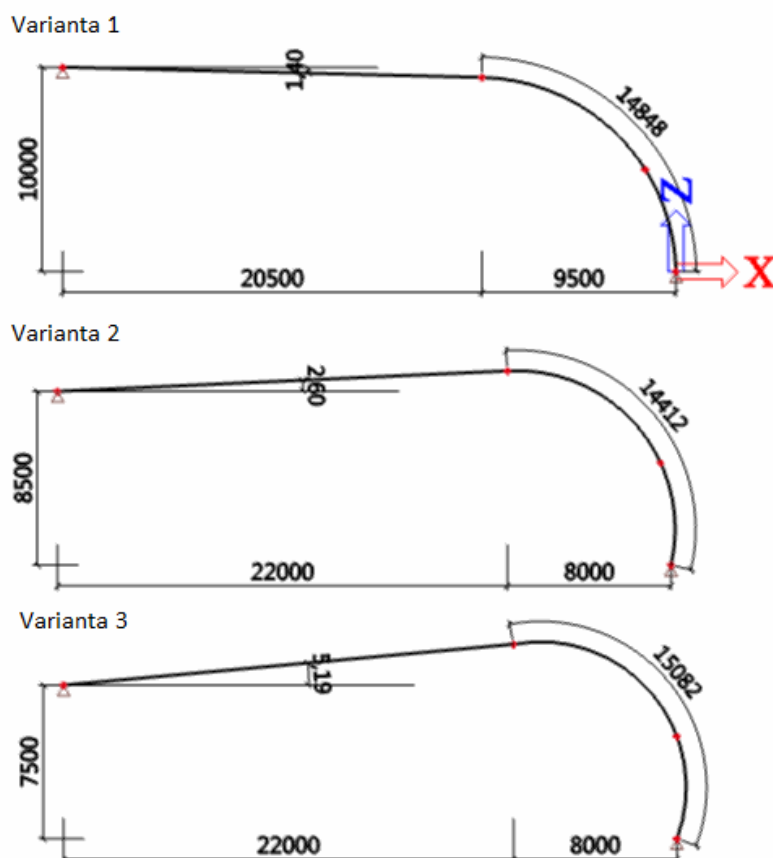
Porovnání variant ze statického hlediska bylo provedeno za pomoci programu Scia Engineer 2013. V tomto programu bylo vytvořeno několik tvarových variant nosníku a následně shodně zatíženo. Velikost zatížení působícího na konstrukci byla odhadnuta na základě předběžného konceptu objektu. Výsledné vnitřní síly na nosnících byly použity pro porovnání.

Vytvořena byla varianta se sklonem nosníku směrem k obloukové části o velikosti $1,4^\circ$ (var 1 – prvek B4) a dvě varianty se sklonem opačným, směřujícím od obloukové části o velikosti $2,6^\circ$ (var 2- prvek B5) a $5,19^\circ$ (var 3- prvek B6). Velikosti sklonů zakřivení byly voleny náhodným odhadem.

Varianty:

- 1) sklon nosníku $1,4^\circ$ směrem k obloukové části
- 2) sklon nosníku $2,6^\circ$ směrem od obloukové části
- 3) sklon nosníku $5,19^\circ$ směrem od obloukové části

Uložení nosníku bylo voleno na dvou pevných kloubech. Podrobněji se problematikou uložení konstrukce bude věnovat následující kapitola.



Obrázek 4.1 Varianty zakřivení obloukového nosníku

Pro výpočet vnitřních sil byly nejprve stanoveny zatěžující účinky, které byly v podobě zatěžovacích stavů vneseny do programu Scia. Účinky byly odhadnuty na základě koncepčního návrhu. Z těchto stavů byly vytvořeny kombinace zatěžovacích stavů. Výsledné vnitřní síly, sloužící pro posouzení, jsou výsledkem obálky účinků těchto kombinací.

Podrobný výpočetní protokol z programu Scia Engineer je připojen v příloze této práce.

4.2.2 Analýza variant

Kritéria vhodná pro posouzení:

- průběh vnitřních sil na nosníku
- vnější účinky konstrukce
- deformace konstrukce po zatížení
- vliv na funkčnost střešního pláště

- konstrukční možnosti prvků z LLD
- estetické hledisko
- ekonomické hledisko

Z výsledků programu Scia Engineer (viz následující tabulka nebo podrobný výpočet v příloze) je patrné, že vnitřní síly na počítaných variantách jsou různé. Extrémů hodnot vnitřních sil je dosaženo u varianty 1 a varianty 3.

První varianta tvaru dosahuje největších hodnot normálových sil N a naopak nejmenší namáhání ohybovým momentem M_y .

U třetí varianty je tomu přesně opačně. Dosahuje největších hodnot namáhání ohybovým momentem M_y a nejmenší normálovou silou N .

Druhá varianta je, co se týče vnitřních sil, kompromisem mezi variantou 1 a 3 a dosahuje středních hodnot.

Mimo hledisko posouzení vnitřních sil je také nutné nahlédnout na problém z hlediska funkčnosti střešní konstrukce.

Varianta 1 bude usměrňovat veškerou dešťovou vodu jedním směrem na obloukovou část. Mohlo by docházet ke stékání velkého množství vody a bylo by nutné náležitě řešit drenáž a odvod vod pod obloukovou částí opláštění.

U dalších dvou variant dojde k rozložení sváděných dešťových vod oběma směry. Vzhledem k nemožnosti vytvoření okapového odtoku dešťových vod u obloukové části je zajisté vhodnější, co se týče funkčnosti střešní konstrukce, volit variantu 2 nebo 3.

Z pohledu konstrukčního řešení by mohlo být problematické velké zakřivení obloukové části u třetí varianty. U větších křivostí oblouků vzniká poměrně značné radiální napětí působící v tahu kolmo k vláknům. Toto napětí může rozvrstvit nosníky v místech lepení a snížit tak jejich ohybovou tuhost.

Vnitřní síly na prutu

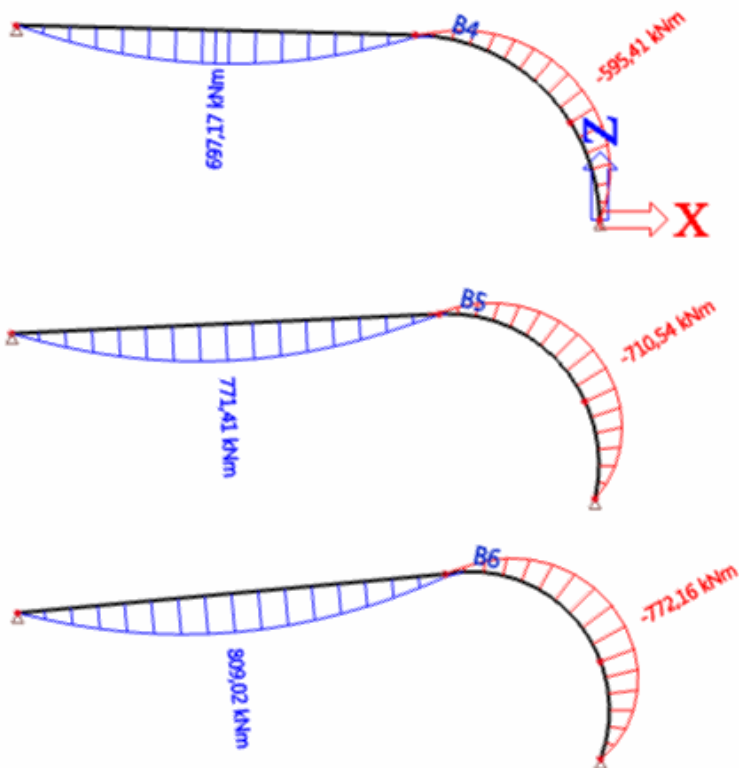
Lineární výpočet, Extrém : Prvek, Systém : LSS

Výběr : Vše

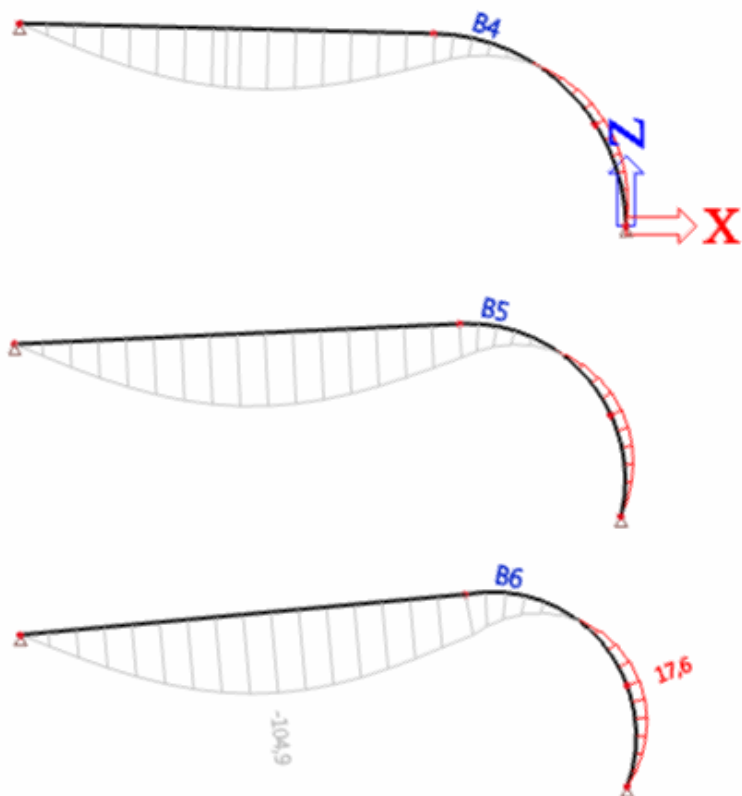
Třída : Všechny MSU

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B4	CS1 - OBDEL	2,642	CO7/1	-336,06	-107,88	-396,69
B4	CS1 - OBDEL	35,355	CO6/2	-9,92	-2,81	0,00
B4	CS1 - OBDEL	0,000	CO7/1	-329,74	-193,58	0,00
B4	CS1 - OBDEL	14,845	CO7/1	-202,16	131,27	44,16
B4	CS1 - OBDEL	6,241	CO7/1	-315,88	-6,50	-595,41
B4	CS1 - OBDEL	25,100	CO7/1	-199,85	-2,15	697,17
B5	CS1 - OBDEL	3,411	CO7/1	-303,30	-101,44	-565,05
B5	CS1 - OBDEL	14,407	CO6/2	-6,30	23,05	8,58
B5	CS1 - OBDEL	0,000	CO7/1	-275,56	-231,24	0,00
B5	CS1 - OBDEL	14,407	CO7/1	-153,82	144,93	-13,32
B5	CS1 - OBDEL	6,045	CO7/1	-290,91	-12,08	-710,54
B5	CS1 - OBDEL	25,421	CO7/1	-162,48	0,60	771,41
B6	CS1 - OBDEL	4,256	CO7/1	-291,41	-78,15	-690,69
B6	CS1 - OBDEL	15,075	CO6/2	-1,72	22,57	18,72
B6	CS1 - OBDEL	0,000	CO7/1	-250,27	-248,10	0,00
B6	CS1 - OBDEL	15,075	CO7/1	-118,43	151,89	57,11
B6	CS1 - OBDEL	6,104	CO7/1	-280,77	-12,19	-772,16
B6	CS1 - OBDEL	26,124	CO7/1	-145,68	-2,59	809,02

Tabulka 4.1 Vnitřní síly na nosnících (výstup Scia engineer)



Obrázek 4.2 Průběh vnitřních sil na prutu - My



Obrázek 4.3 Průběh deformací na prutu

Deformace na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Prvek

Výběr : Vše

Třída : Všechny MSU

Prvek	dx [m]	Stav	ux [mm]	uz [mm]	fiy [mrad]	Výslednice [mm]
B4	10,065	CO7/1	-8,7	-3,7	4,8	9,5
B4	14,845	CO7/1	1,2	-38,4	6,7	38,4
B4	23,049	CO7/1	0,7	-77,5	0,5	77,5
B4	5,285	CO7/1	-4,5	12,6	0,1	13,4
B4	35,355	CO7/1	0,0	0,0	-10,1	0,0
B4	14,845	CO7/1	-0,5	-38,4	6,7	38,4
B5	9,762	CO7/1	-12,4	-3,4	5,2	12,9
B5	14,407	CO7/1	1,0	-43,6	7,8	43,6
B5	24,044	CO7/1	0,6	-94,9	-0,1	94,9
B5	5,116	CO7/1	-6,2	15,4	-0,2	16,6
B5	36,435	CO7/1	0,0	0,0	-11,8	0,0
B5	14,407	CO7/1	-1,0	-43,6	7,8	43,6
B6	10,091	CO7/1	-15,1	-5,8	5,8	16,2
B6	14,079	CO7/1	2,4	-44,1	8,3	44,2
B6	24,743	CO7/1	0,5	-104,9	-0,6	104,9
B6	5,107	CO7/1	-7,5	17,6	-0,4	19,1
B6	37,173	CO7/1	0,0	0,0	-12,7	0,0
B6	15,075	CO7/1	2,3	-53,2	8,3	53,3

Tabulka 4.2 Hodnoty deformace na nosnících

Pokud porovnáme deformace vznikající u různých variant, zjistíme, že největších deformací bude docházet u nejvíce zakřiveného nosníku – varianty 3 (prvek B6). Nejmenší deformace budou vznikat u první varianty (prvek B4). Druhý nosník (prvek B5) je opět kompromisem mezi krajními možnostmi a dosahuje středních hodnot.

4.2.3 Závěrečné posouzení

Varianta 1

Tento nosník bude vyvozovat největší vodorovné síly, které budou ovlivňovat okolní konstrukce a více namáhat spoje v místě uložení konstrukce. Bude zde nejmenší ohybové namáhání samotné konstrukce nosníku. Z hlediska funkčnosti střešního pláště není příliš vhodný z důvodu usměrnění dešťové vody pouze jedním směrem.

Varianta 2

Tato varianta je kompromisem mezi variantou 1 a 3. Dosahuje středních hodnot namáhání konstrukce a hodnot deformací. Z hlediska funkčnosti střešního pláště je vhodnější než varianta 1.

Varianta 3

Poslední varianta vyvozuje nejmenší vodorovné vnější síly. Namáhání nosníku ohybem a hodnoty deformací budou největší. Ze subjektivního hlediska by mohla vykazovat vzhledem k velké křivosti konstrukce nejvyšší estetickou hodnotu a také bude vytvářet největší vnitřní prostor. Ovšem je nutné přihlédnout ke komplikacím z důvodu velkého zakřivení nosníku a tím i pravděpodobnými problémy s tahem kolmo k vláknům, což může navýšit ekonomické náklady.

Pro další podrobný výpočet a návrh konstrukce volím **variantu 2**, která má příznivý průběh vnitřních sil (maximální záporný a kladný ohybový moment M_y je téměř shodný). Oproti variantě 1 je lepší z funkčního hlediska a dosahuje menších deformací a vnitřního namáhání než varianta třetí.

NÁVRH: Varianta 2 – nosník se sklonem 2,6° směrem od obloukové části

4.3 MOŽNOSTI ULOŽENÍ NOSNÍKU

Dále bylo nutno určit typ uložení konstrukce lepeného nosníku. Pro určení uložení bylo dále uvažováno již jen s druhou variantou tvaru nosníku. Tato varianta byla vybrána jako nejvhodnější v předchozí kapitole.

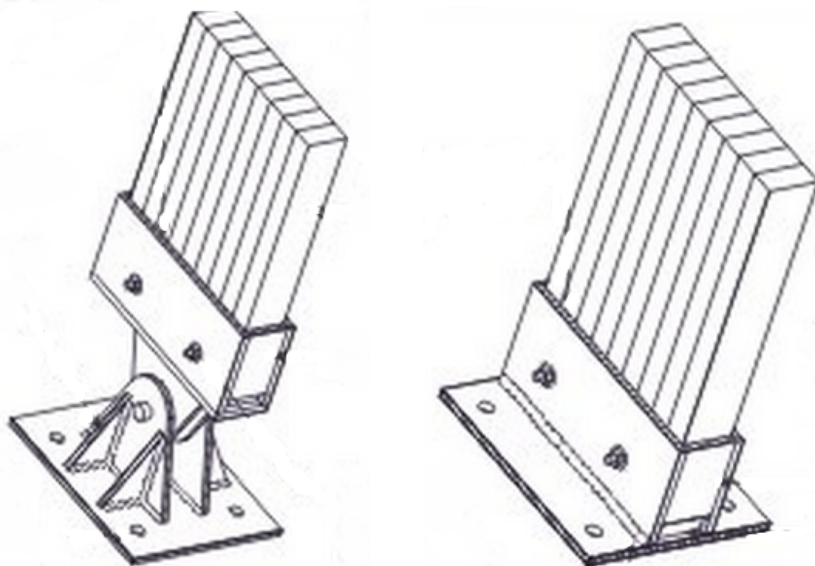
Vzhledem ke konstrukčním možnostem bylo odhadnuto několik možností uložení a k nim vytvořena adekvátní statická schémata. Statický model byl vytvořen opět v programu Scia engineer 2013. Model byl následně zatížen stejnými zatěžovacími stavy jako při optimalizaci tvaru nosníku. Byly použity také stejné kombinace zatěžovacích stavů a proveden výpočet.

Podrobný protokol z výpočtu je připojen v příloze této práce.

4.3.1 Návrh možných variant

Vytvořeny byly opět tři varianty statického modelu. Dvě varianty staticky neurčité a jedna staticky určitá. Všechny varianty jsou stejného tvaru i zatížení. Liší se pouze v typu uložení krajních bodů nosníku.

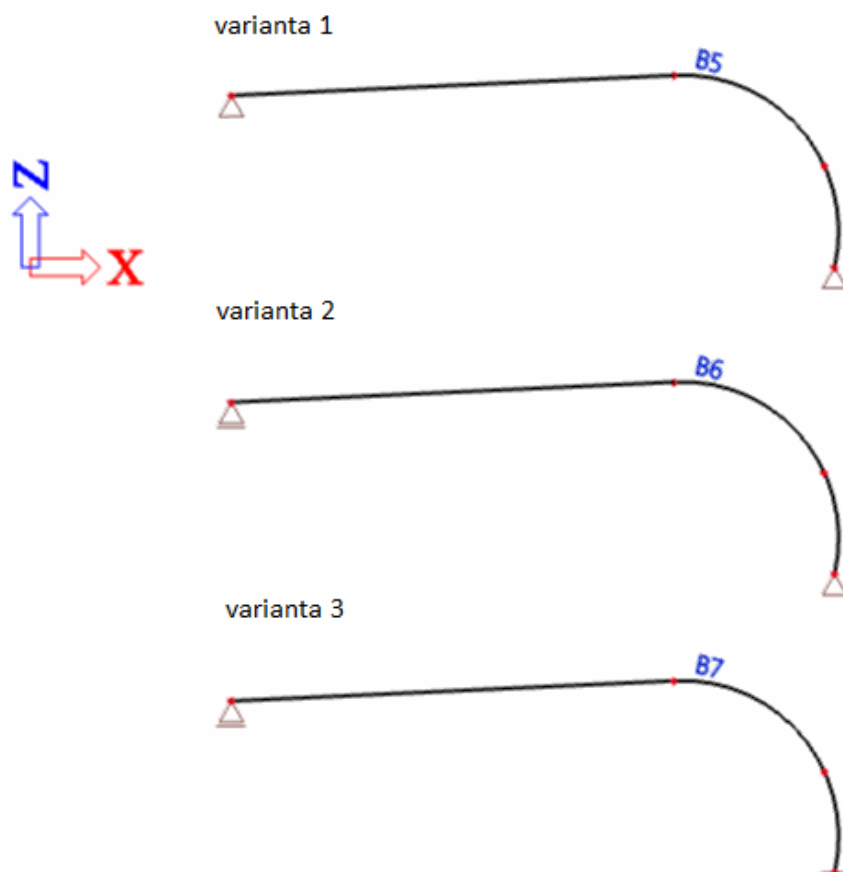
Kloubové uložení je konstrukčně možno řešit pomocí čepového ložiska. Toto uložení bude v případě pevného kloubu pevně uloženo na podpůrnou konstrukci. V případě posuvného kloubu by musel být umožněn posuv v místě uložení v horizontálním směru.



Obrázek 4.4 Varianty uložení – vlevo kloubové, vpravo vetknutím

Varianty:

- 1) pevný kloub + pevný kloub
- 2) posuvný kloub + pevný kloub
- 3) posuvný kloub + vetknutí



Obrázek 4.5 Varianty uložení nosníku

U první varianty se jedná o dvojklobový obloukový nosník uložený na pevných kloubech. Konstrukce je jednou staticky neurčitá. Konstrukčně je možné toto uložení provést pomocí čepových kloubů, které budou pevně uložené.

Varianta druhá je opět dvojklobový nosník. Zde je ale levé podpoře umožněn horizontální posuv. Konstrukce je staticky určitá.

Třetí varianta je nosník vetknutý po pravé straně a na straně levé podporován posuvným kloubem. Konstrukce je jednou staticky neurčitá.

4.3.2 Analýza variant

Kritéria vhodná pro posouzení:

- průběh vnitřních sil na nosníku
- vnější účinky konstrukce
- deformace konstrukce po zatížení
- vliv statické určitosti x neurčitosti konstrukce

4.3.2.1 Vnitřní síly

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Prvek, Systém : LSS

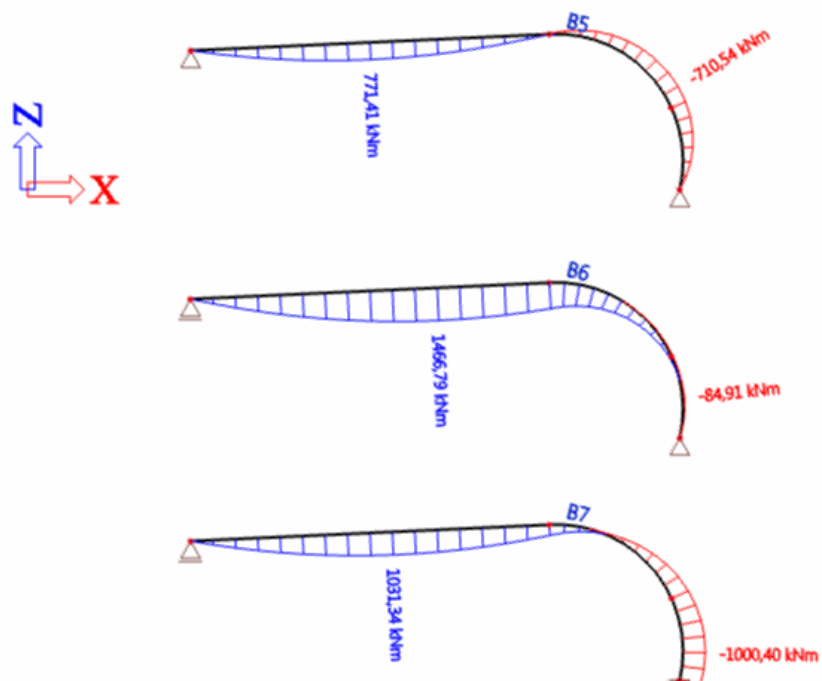
Výběr : Vše

Třída : Všechny MSU

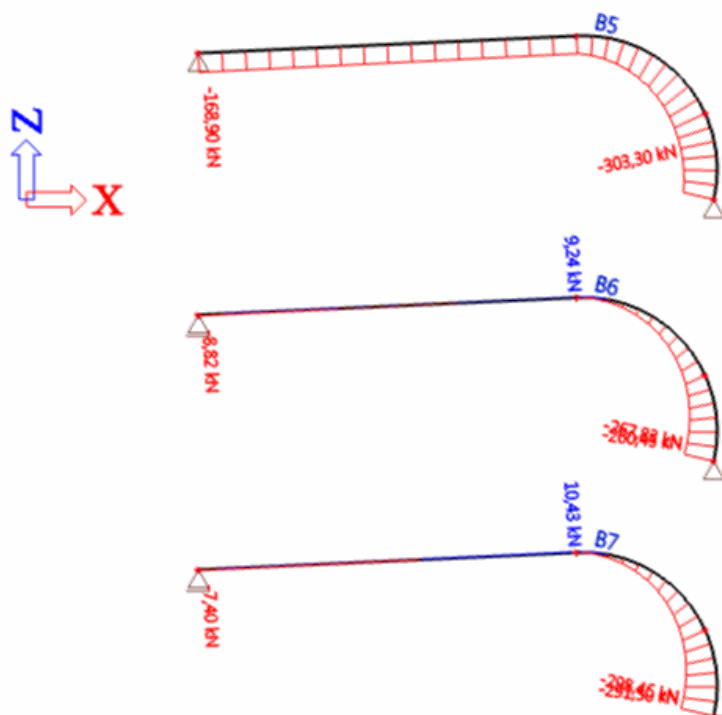
Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B5	CS1 - OBDEL	3,411	CO7/1	-303,30	-101,44	-565,05
B5	CS1 - OBDEL	14,407	CO6/2	-6,30	23,05	8,58
B5	CS1 - OBDEL	0,000	CO7/1	-275,56	-231,24	0,00
B5	CS1 - OBDEL	14,407	CO7/1	-153,82	144,93	-13,32
B5	CS1 - OBDEL	6,045	CO7/1	-290,91	-12,08	-710,54
B5	CS1 - OBDEL	25,421	CO7/1	-162,48	0,60	771,41
B6	CS1 - OBDEL	0,000	CO7/1	-267,83	-61,92	0,00
B6	CS1 - OBDEL	14,407	CO8/3	9,24	70,39	766,37
B6	CS1 - OBDEL	36,435	CO7/1	-8,82	-194,04	0,00
B6	CS1 - OBDEL	9,762	CO7/1	-76,50	126,81	637,06
B6	CS1 - OBDEL	2,558	CO8/3	-190,56	2,24	-84,91
B6	CS1 - OBDEL	21,291	CO7/1	0,01	0,28	1466,79
B7	CS1 - OBDEL	0,000	CO7/1	-298,46	-69,11	-939,62
B7	CS1 - OBDEL	14,407	CO8/3	10,43	90,36	328,69
B7	CS1 - OBDEL	36,435	CO7/1	-7,40	-162,75	0,00
B7	CS1 - OBDEL	9,762	CO7/1	-92,59	153,62	-191,26
B7	CS1 - OBDEL	1,705	CO7/1	-282,72	-2,18	-1000,40
B7	CS1 - OBDEL	24,044	CO7/1	-0,17	-3,76	1031,34

Tabulka 4.3 Vnitřní síly na nosnících (výstup Scia engineer)

Z výsledných vnitřních sil jsou na různých variantách patrné velké rozdíly. První varianta nosníku (nosník B5), u které není umožněn posuv žádné z podpor, dosahuje vyváženého rozložení kladného a záporného momentu. Dosahuje ale také největších normálových sil, které jsou rozloženy podél celé délky nosníku.



Obrázek 4.6 Průběh vnitřních sil na prutu- M_y



Obrázek 4.7 Průběh vnitřních sil na prutu – N

Druhá varianta (nosník B6) dosahuje největších hodnot kladného ohybového momentu. V důsledku umožnění posunu v levé podpoře je minimalizován záporný ohybový moment v obloukové části. Normálová síla klesá směrem od pevné podpory a na rovné části nosníku je minimální.

Třetí varianta má průběh ohybového momentu rozdělený na přibližně stejný kladný a záporný, který dosahuje největších hodnot ze všech variant v místě vetknutí a na přímé části nosníku. Průběh normálové síly je obdobný jako u druhé varianty.

4.3.2.2 Deformace

Deformace na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Prvek
Výběr : Vše
Třída : Všechny MSU

Prvek	dx [m]	Stav	ux [mm]	uz [mm]	fiy [mrad]	Výslednice [mm]
B5	9,762	CO7/1	-12,4	-3,4	5,2	12,9
B5	14,407	CO7/1	1,0	-43,6	7,8	43,6
B5	24,044	CO7/1	0,6	-94,9	-0,1	94,9
B5	5,116	CO7/1	-6,2	15,4	-0,2	16,6
B5	36,435	CO7/1	0,0	0,0	-11,8	0,0
B5	14,407	CO7/1	-1,0	-43,6	7,8	43,6
B6	0,853	CO7/1	-0,1	-22,5	26,6	22,5
B6	21,291	CO7/1	256,9	-237,0	0,2	349,5
B6	36,435	CO7/1	256,8	11,7	-25,5	257,1
B6	3,411	CO7/1	14,5	-89,1	26,8	90,3
B7	1,705	CO7/1	-0,1	-2,1	2,9	2,1
B7	24,044	CO7/1	80,4	-149,8	-2,8	170,1
B7	22,668	CO7/1	80,4	-151,9	-0,3	171,9
B7	36,435	CO7/1	80,4	3,7	-17,4	80,5
B7	10,691	CO7/1	34,8	-78,1	12,9	85,5

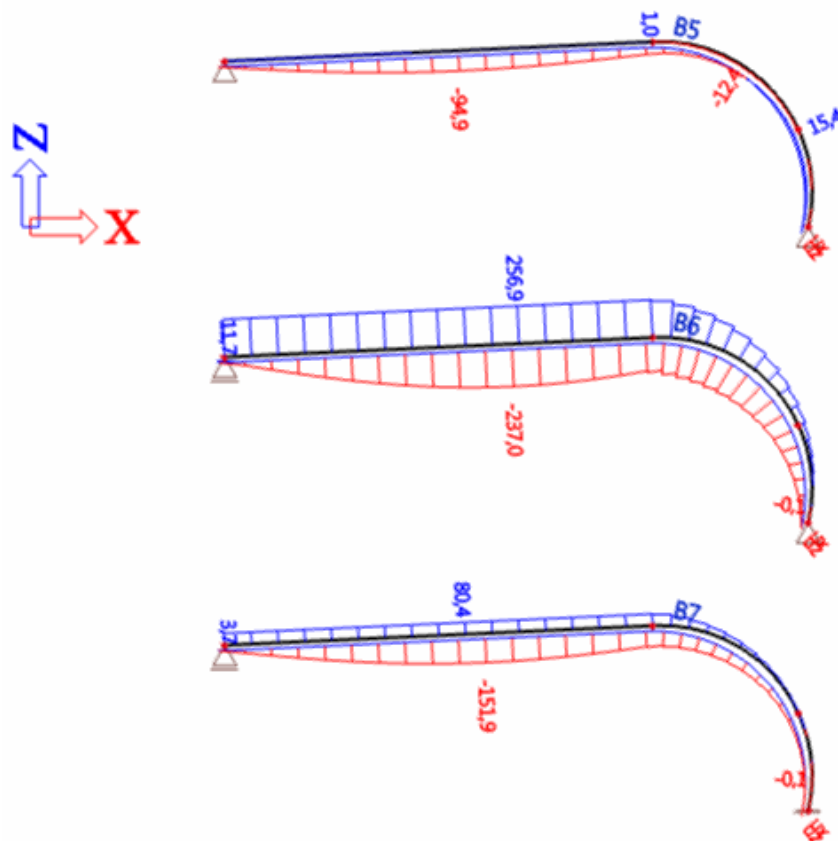
Tabulka 4.4 Hodnoty deformací na nosnících (výstup Scia engineer)

Výpočet deformací na nosnících ukazuje, že dle předpokladu je velkých hodnot průhybu a posunů dosaženo u variant s posuvným kloubem.

Naopak nejmenších hodnot dosahuje první varianta (prvek B5). Bez umožnění posunu v podporách je deformace tvořena pouze vlastní deformací nosníku. A to průhybem v rovné části a vyboulením směrem ven u obloukové části.

Největších hodnot deformací je dosaženo u druhé varianty (prvek B6). Konstrukce se posune v levém směru po posuvném uložení nosníku a díky tomu dosáhne velice velkých hodnot deformací.

Středních deformačních hodnot dosahuje třetí varianta (prvek B7). I přes posuvné uložení na levé straně nedosahuje tak velkých hodnot posuvu a deformací jako druhá varianta. Ve větším posuvu brání uložení vetknutím, které neumožní natočení celého oblouku.



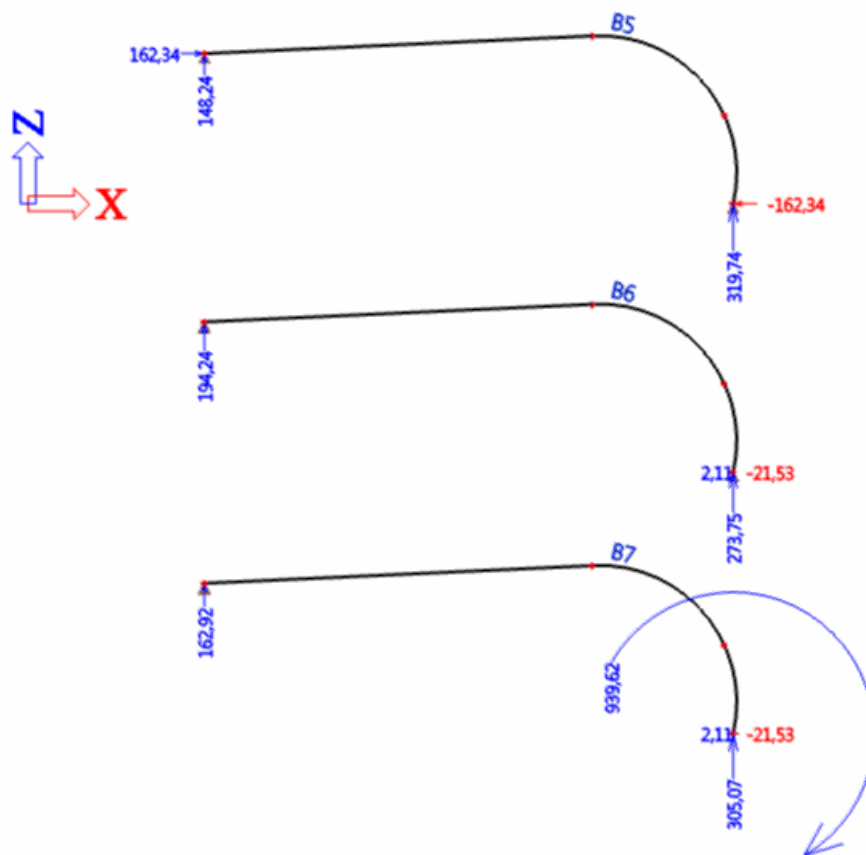
Obrázek 4.8 Hodnoty deformací na nosnících – modrá- ve směru x, červená – ve směru z

4.3.2.3 Vnější reakce

Vnější reakce, které bude vyvozovat konstrukce, jsou také ovlivněny hlavně přítomností posuvného kloubu.

U druhé a třetí varianty, kde je umožněn vodorovný posuv v levé podpoře, jsou i vodorovné vnější síly vyvozené konstrukcí minimální.

První varianta bude vyvozovat větší vodorovné síly, které se následně přenesou v místě uložení do okolních konstrukcí, a je nutné s tímto počítat.



Obrázek 4.9 Hodnoty vnějších reakcí konstrukce

4.3.3 Závěrečné posouzení

Z výsledků je patrné, že nejpříznivějších hodnot vnitřních sil dosahuje první varianta (prvek B5). Vnitřní síly jsou ve vyváženém poměru a dosahují také nejmenší hodnot ohybového momentu M_y , což se příznivě projeví při návrhu průřezu nosníku. Deformace konstrukce dosahují také nejnižších hodnot. Problémem může být vznik vodorovných vnějších sil v místě uložení, které budou zatěžovat okolní konstrukce. Také je nutné brát zřetel na statickou neurčitost konstrukce a s tím spojený větší vliv teplotního namáhání. Je proto nutné s tímto v dalším návrhu počítat.

NÁVRH: Varianta 1 – nosník na dvou pevných kloubech

4.4 OPTIMALIZACE SPOLUPŮSOBENÍ S OKOLNÍMI KONSTRUKCEMI

Konstrukce lepeného vazníku je uložena po jedné straně na konstrukci sportovního zázemí. Konstrukce zázemí je navržena jako železobetonový skelet.

Skelet je tvořený sloupy a průvlaky, které dohromady tvoří rámovou konstrukci. Rámy jsou orientovány ve stejné rovině jako nosníky sportovní haly- tedy příčné.

Pro další návrh konstrukce byla v předchozí kapitole vybrána varianta nosníku s dvěma pevnými klouby. V důsledku pevného uložení kloubů budou vznikat vodorovné síly, které bude konstrukce lepeného nosníku vyvozovat. Je nutné s tímto zatížením počítat.

Orientace rámu železobetonového skeletu v rovině shodné s konstrukcí lepených vazníků je pro přenos těchto vodorovných sil výhodná, protože rámy takto vykazují daleko větší tuhost.

4.4.1 Vytvoření nového modelu konstrukce

Pro lepší napodobení skutečného spolupůsobení nosíkové konstrukce sportovní haly a železobetonového skeletu zázemí byl vytvořen nový 2D model konstrukce opět za pomoci Scia engineer.

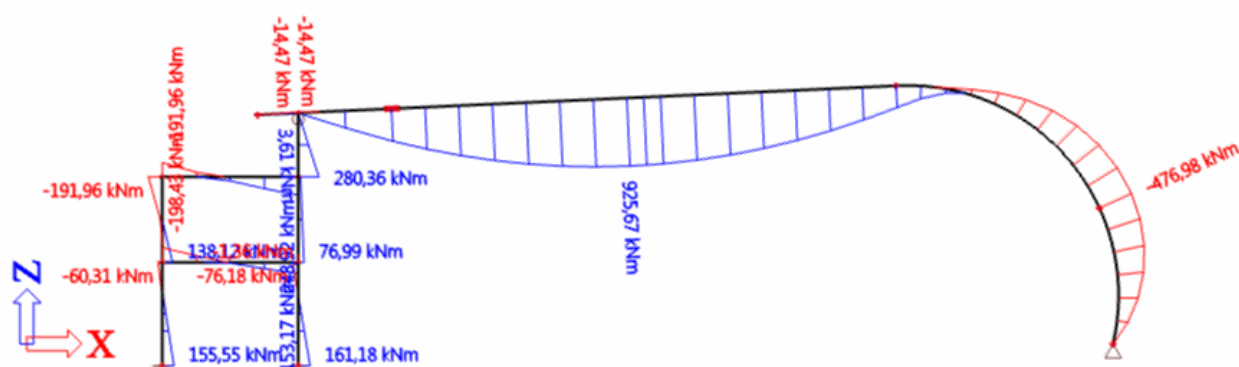
Model nosníku na dvou pevných kloubech byl upraven a doplněn částí rámové konstrukce železobetonového skeletu sportovního zázemí. Pro tento předběžný výpočet postačí pouze část modelu ve dvourozměrném provedení pro lepší napodobení spolupůsobení konstrukcí. Zatížení na konstrukce včetně kombinací bylo převzaté také z minulého modelu nosníku. Podrobný a přesný model bude vytvořen až pro přesně vypočtené zatěžovací podmínky.



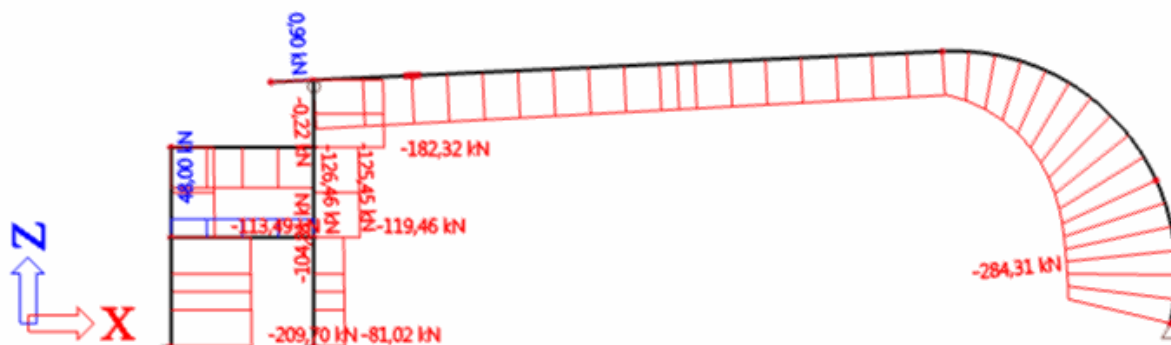
Obrázek 4.10 Výpočetní model konstrukce s uložení na rám skeletu

4.4.2 Analýza vnitřních sil na novém modelu

Z výsledků je patrné, že nahrazení kloubové podpory navazující konstrukcí rámového skeletu se zdatně promítlo do vnitřních sil zakřiveného nosníku. Toto je způsobeno spolupůsobením tuhosti rámu skeletu s rámem nosníku. Ohybový moment M_y již nedosahuje tak optimálně vyvážených hodnot (podobná velikost hodnoty kladného a záporného momentu). Ve svém extrému dosahuje až 925 kN.m , což je zdatněný nárůst oproti předpokladu ze zjednodušeného modelu.



Obrázek 4.11 Průběh vnitřních sil na modelu - M_y



Obrázek 4.12 Průběh vnitřních sil na modelu - N

Tento konstrukční model vykazuje některé slabiny, pro které by bylo optimální nalézt lepší konstrukční řešení:

- nárůst kladného ohybového momentu na přímé nosníkové části
- přenos veškerých vodorovných sil do vrcholu sloupové části skeletu

4.4.3 Návrh optimálního řešení

Obě slabiny je možné vyřešit vložením dalšího prutu – vzpěry, která:

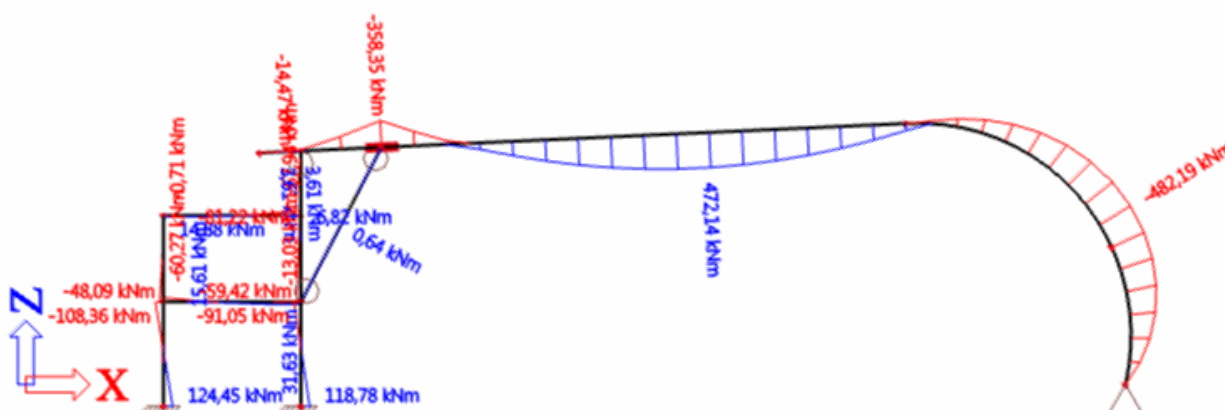
- upraví průběh ohybového momentu M_y a sníží jeho extrémní velikost
- přeneše normálové síly, které vyvozuje nosník do nižších pater skeletové konstrukce



Obrázek 4.13 Návrh nového modelu konstrukce se vzpěrou

Vzpěra je zvolena jako oboustranně kloubově uložená. Tomu bude odpovídat i reálné konstrukční provedení spoje.

4.4.4 Analýza vnitřních sil na novém řešení

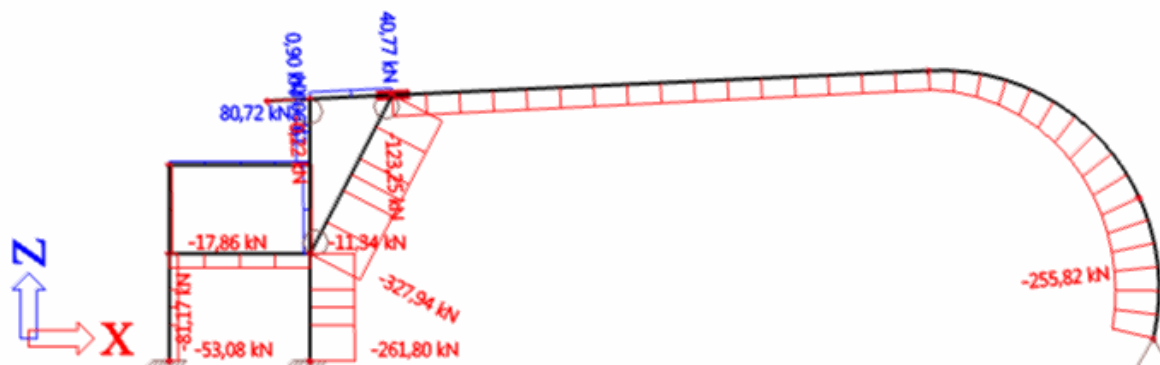


Obrázek 4.14 Průběh vnitřních sil na modelu se vzpěrou - M_y

Po úpravě modelu v programu Scia engineer a provedení nového výpočtu je patrné, že došlo ke splnění předpokladů.

Ohybový moment se díky vložení vzpěry, která v dalším bodě podporuje lepený nosník, zmenšil a dosáhl vyrovnanějších hodnot.

Horizontální síly, které vyvozuje lepený nosník, se přes vzpěru přenesou do nižšího patra rámového skeletu a tím minimalizují jejich vliv na konstrukci.



Obrázek 4.15 Průběh vnitřních sil na modelu se vzpěrou - N

4.5 ZÁVĚR OPTIMALIZACE

Optimalizací konstrukčního řešení bylo dosaženo návrhu, který bude možné dále detailně rozpracovat. Důraz byl kladen zejména na statické, konstrukční, funkční a ekonomické řešení.

Vytvořený rám se vzpěrou bude použit pro vytvoření výsledného 3D modelu celé konstrukce haly. V podrobném zpracování modelu, včetně přesného výpočtu zatížení na konstrukci lze po následném statickém výpočtu očekávat řádově podobné výsledky sil působících uvnitř konstrukce jako u předběžného 2D modelu.

5 VÝPOČETNÍ MODEL KONSTRUKCE

5.1 ÚVOD

Pro přesný návrh konstrukčních prvků celé sportovní haly je nutné určit síly, kterými budou jednotlivé prvky namáhány. K tomuto bude vytvořen prostorový model konstrukce ve výpočetním programu Scia engineer. Model vychází ze zvolené varianty řešení optimalizace konstrukce, která byla provedena v předchozí kapitole.

Profily a materiály jednotlivých konstrukčních prvků budou nejprve přibližně odhadnuty a v průběhu dimenzování mohou být upraveny.

Model bude zatížen jednotlivými zatěžovacími stavy. Jako podklad pro tyto zatěžovací stavy bude nejprve proveden ruční výpočet zatížení dle ČSN EN 1991-1. Podrobný výpočet zatížení se bude zabývat pouze částí sportovní haly. Pro rámovou konstrukci sportovního zázemí bude pouze odhadnut nebo případně pro klimatická zatížení vygenerován programem scia engineer. Část sportovního zázemí není předmětem řešení této práce a odhadnuté hodnoty jsou pro tento výpočet dostačující.

Bude proveden pro zatížení stálá a proměnná. Mezi proměnná budou patřit zatížení užitná, zatížení sněhem a větrem. Scia engineer obsahuje generátor zatížení sněhem a větrem dle Eurokódu. Pro porovnání budou vytvořena zatížení za pomoci dat z ručního výpočtu, ale také tímto generátorem.

Výsledné zatěžovací stavy budou použity do zatěžovacích kombinací. Kombinace budou vytvořeny dle vzorců uvedených v ČSN EN 1990 – Zásady navrhování konstrukcí.

Konstrukce budou posouzeny na mezní stav únosnosti (dále jen MSÚ) a mezní stav použitelnosti (dále jen MSP).

5.2 VÝPOČET ZATÍŽENÍ (DLE ČSN EN 1991-1)

Pro posouzení navrženého typu konstrukce potřebujeme znát zatížení. Zatížení se stanoví dle normy ČSN EN 1991-1. Zatížení tvoří složky stálého a proměnného. Do stálého zatížení započteme vlastní tíhu konstrukce a střešní opláštění, technologie zavěšené na konstrukci (vzduchotechnika, osvětlení). Do zatížení proměnného zařadíme zatížení užitná a klimatická - větrem a sněhem.

Objekt se nachází v I. sněhové oblasti (dle mapy sněhových oblastí na území ČR – ČSN EN 1991-1-3) a II. větrné oblasti (dle mapy větrných oblastí na území ČR – příloha 1 - ČSN 73 0035).

5.2.1 Zatížení stálé a proměnné - užitné

zatížení	charakteristické [kN/m ²]	γ_F	návrhové [kN/m ²]
stálé			
TiZn plech 0,8mm, 5,7kg/m ²	0,057	1,35	0,077
bednění z nehoblovaných prken tl. 24mm	0,100	1,35	0,135
systém vrchních svlaků pro odvětrání	0,030	1,35	0,041
paropropustná folie	-		-
nosná žebra z dřevěných řezaných hranolů 200x100	0,080	1,35	0,110
minerální izolace mezi žebra 200mm, 0,5kN/m ³	0,100	1,35	0,135
minerální izolace pod žebry 40mm, 0,5kN/m ³	0,200	1,35	0,270
systém spodních svlaků	0,030	1,35	0,040
parozábrana	-		-
trojstranně hoblovaná prkna s mezerou ošetřená lazurovacím nátěrem tl. 16 mm	0,064	1,35	0,086
zavěšené technologie + zavětrování	0,500	1,35	0,675
celkem stálé	$g_k = 1,161$	1,35	$g_d = 1,57$
proměnné			
užitné zatížení- nepochozí střecha	$q_k = 0,75$	1,5	$q_d = 1,13$
zatížení celkem	$(g+q)_k = 1,91$		$(g+q)_d = 2,7$

5.2.2 Výpočet zatížení sněhem

Stanovení zatížení sněhem se provádí dle ČSN EN 1991-1-3. Vzhledem k atypickému tvaru střešní konstrukce bylo provedeno stanovení tvarových součinitelů jako kombinace pultové a válcové střechy.

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

$$C_e = 1,0 \quad \text{součinitel expozice}$$

$$C_t = 1,0 \quad \text{tepelný součinitel}$$

I. sněhová oblast → charakteristická hodnota zatížení sněhem dle mapy sněhových oblastí
ČSN EN 1991-1-3

$$S_k = 0,7 \text{ kPA}$$

tvarové součinitele:

sedlová část:

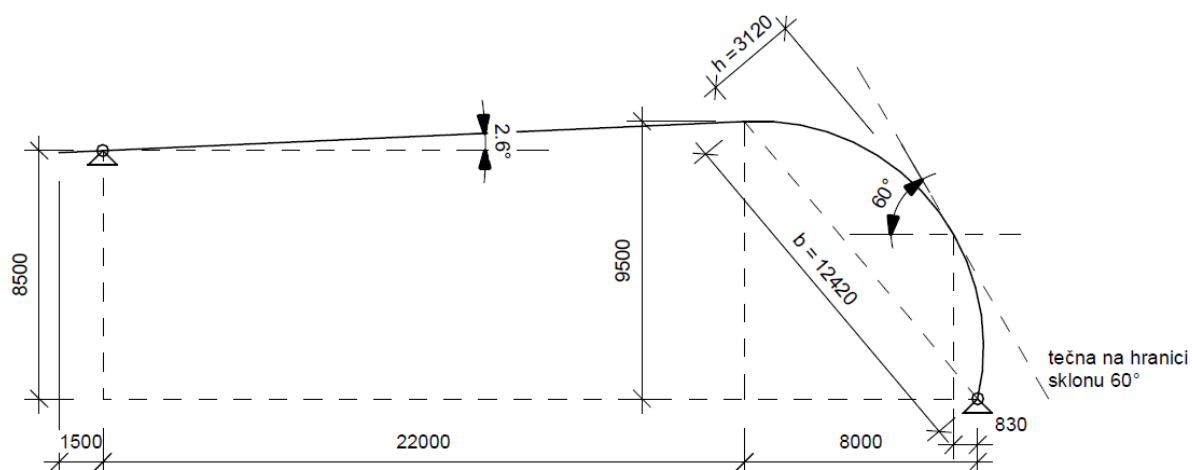
$$\alpha \leq 30^\circ \rightarrow \mu_1 = 0,8$$

válcová část:

$$h = 3,1 \text{ m} \quad b = 12,4 \text{ m} \quad h/b = 3,1/12,4 = 0,25$$

$$\beta \leq 60 \rightarrow \mu_3 = 2$$

$$\beta > 60 \rightarrow \mu_3 = 0 \quad \text{-sklon střechy je větší než } 60^\circ \text{ - sníh se neudrží na střešním plášti}$$



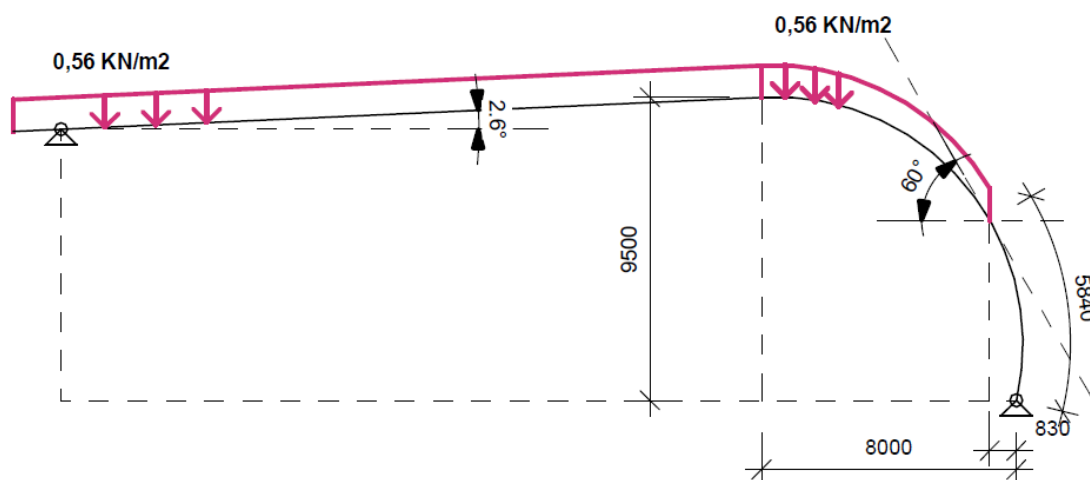
Obrázek 5.1 Schéma konstrukce haly a určení místa oblouku se sklonem $\geq 60^\circ$

V místě nástupu oblouku mohou vznikat sněhová navátí, proto je nutno s nimi uvažovat. Sníh se neudrží u sklonu většího než 60° , proto je třeba určit místo kde oblouk překoná tento sklon (viz schéma výše).

5.2.2.1 Zatěžovací stav I

$$S = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

Tento stav představuje rovnoměrné zatížení sněhem mimo úsek obloukové části, kde se sníh kvůli velkému sklonu neudrží.



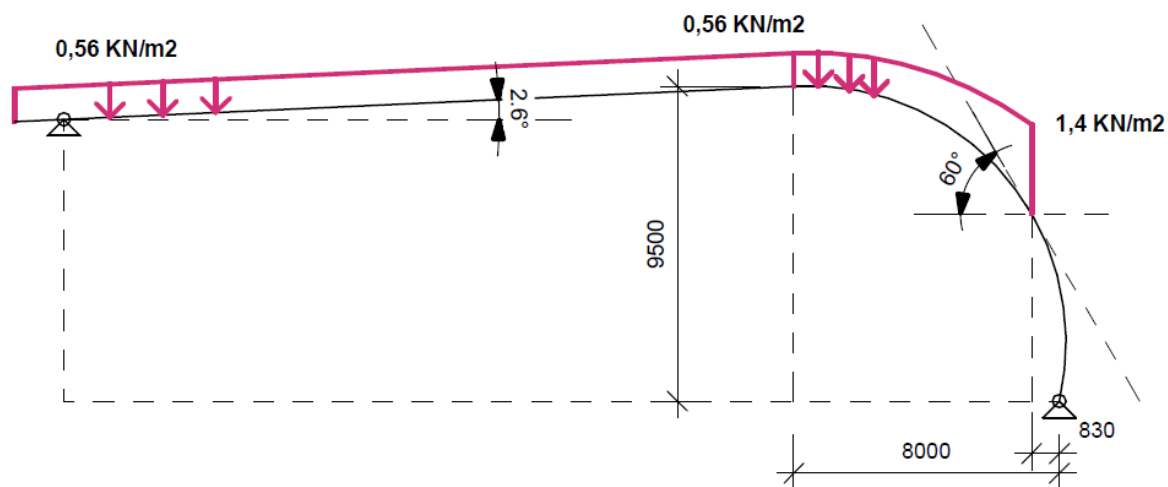
Obrázek 5.2 Schéma zatěžovacího stavu I – rovnoměrné zatížení sněhem

5.2.2.2 Zatěžovací stav II

$$S = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

$$S = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 = 1,4 \text{ kN/m}^2$$

V zatěžovacím stavu II je uvažováno na pultové části střešní roviny s rovnoměrným navátím sněhu a v obloukové části s lokálním navátím až po kótu oblouku, kde tečna dosahuje sklonu $\geq 60^\circ$ (kde se udrží sníh na opláštění).

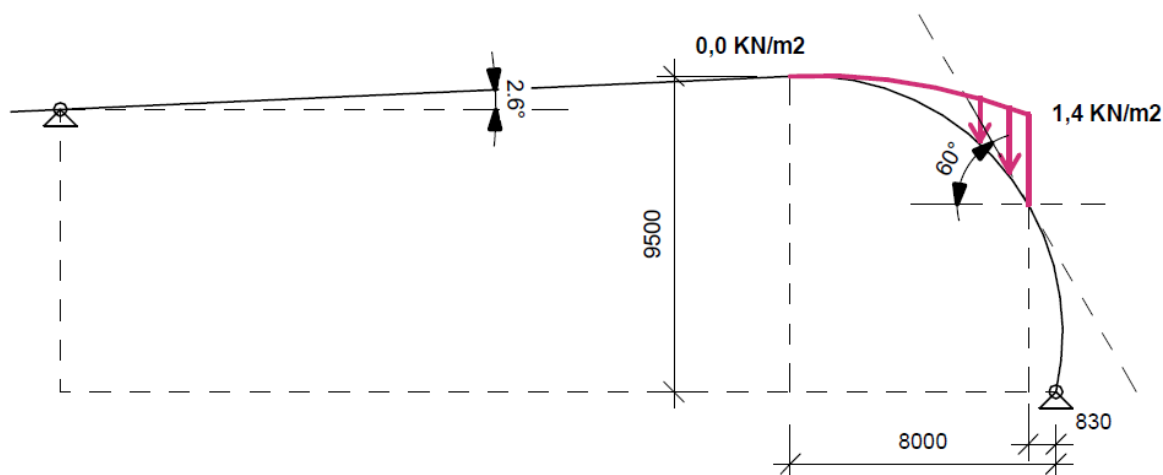


Obrázek 5.3 Schéma zatěžovacího stavu II – s lokálním navátím

5.2.2.3 Zatěžovací stav III

$$S = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 = 1,4 \text{ kN/m}^2$$

V tomto případě je uvažováno pouze s lokálně navátým sněhem na obloukové části pláště haly. K tomuto zatížení by mohlo dojít v případě, že silný vítr odvál sníh ze střešní roviny a ten by se udržel pouze v obloukovém závětrí.



Obrázek 5.4 Schéma zatěžovacího stavu III – uvažováno pouze lokální navátí sněhu

5.2.3 Výpočet zatížení větrem

Stanovení zatížení větrem se provádí dle ČSN EN 1991-1-4. Vzhledem k atypickému tvaru střešní konstrukce bylo provedeno stanovení tvarových součinitelů jako kombinace pultové a válcové střechy.

II. větrná oblast $\rightarrow V_{b,0} = 25 \text{ m/s}$ dle mapy větrných oblastí (příloha ČSN EN 1991-1-4)

Základní rychlost větru:

$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0}$$

Rovinatý terén $\rightarrow C_0 = 1,0$

Kategorie terénu III $\rightarrow Z_0 = 0,3 \text{ m}$

$$Z_{min} = 5 \text{ m}$$

$$C_{season} = 1,0$$

$$V_b = 25 \text{ m/s}$$

Střední rychlost větru (konstrukce o výšce 10 m)

$$z = 10 \text{ m} \geq z_{min}$$

$$K_R = 0,19 \cdot (0,3 / 0,05)^{0,07} = 0,22$$

$$C_R(z = 10 \text{ m}) = 0,22 \cdot \ln(10 / 0,3) = 0,76$$

$$v_m(z = 10m) = 0,76 \cdot 1,025 = 19m/s$$

Intenzita turbulence $I_v(z)$

$$I_v(z = 10m) = \frac{1}{1 \cdot \ln(10/0,3)} = 0,285$$

Maximální charakteristický tlak větru

$$q_p(z = 10m) = [1 + 7 \cdot 0,285] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 19^2 = 676N/m^2$$

$$h \leq b \Rightarrow q_p(z) = q_p(z_e) = 676N/m^2$$

Tlak větru působící na vnější povrch

$$W_e = q_p(z_e) \cdot C_{pe}$$

5.2.3.1 Vítr působící v příčném směru

$$e = 45m$$

$$q_p = 676N/m^2$$

$$d = 30m$$

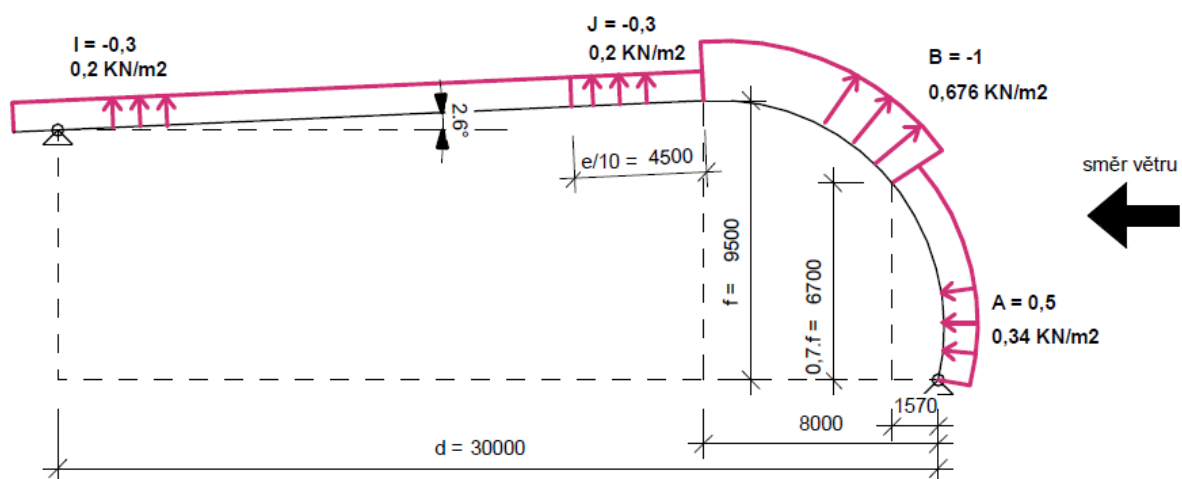
$$f = 9,5$$

$$f/d = 0,32$$

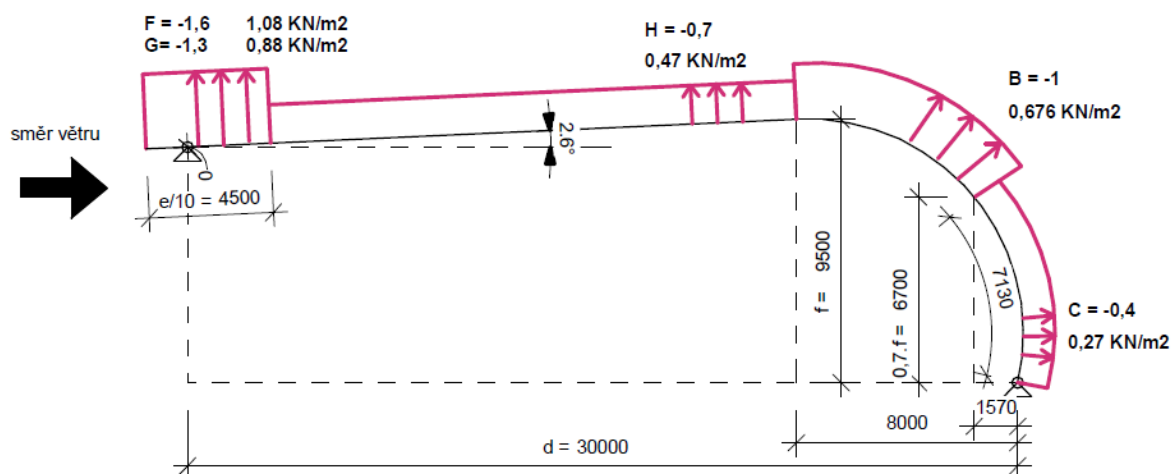
$$C_{pe,10} \Rightarrow A = 0,5$$

$$B = -1$$

$$C = -0,4$$



Obrázek 5.5 Schéma zatěžovacího stavu I – vítr od západu (zprava)



Obrázek 5.6 Schéma zatěžovacího stavu II – vítr od východu (zleva)

5.2.3.2 Vítr působící v podélném směru

$$q_p = 676 \text{ N} / \text{m}^2$$

$$h = 11 \text{ m}$$

$$b = 30 \text{ m}$$

$$d = 45 \text{ m}$$

$$e = \min(b; 2h) = \min(30; 19) = 30m$$

$$e/10 = 30/10 = 3m$$

$$e/4 = 30/4 = 7,5m$$

$$e/2 = 30/2 = 15m$$

$$F = -1,6$$

$$G = -1,2$$

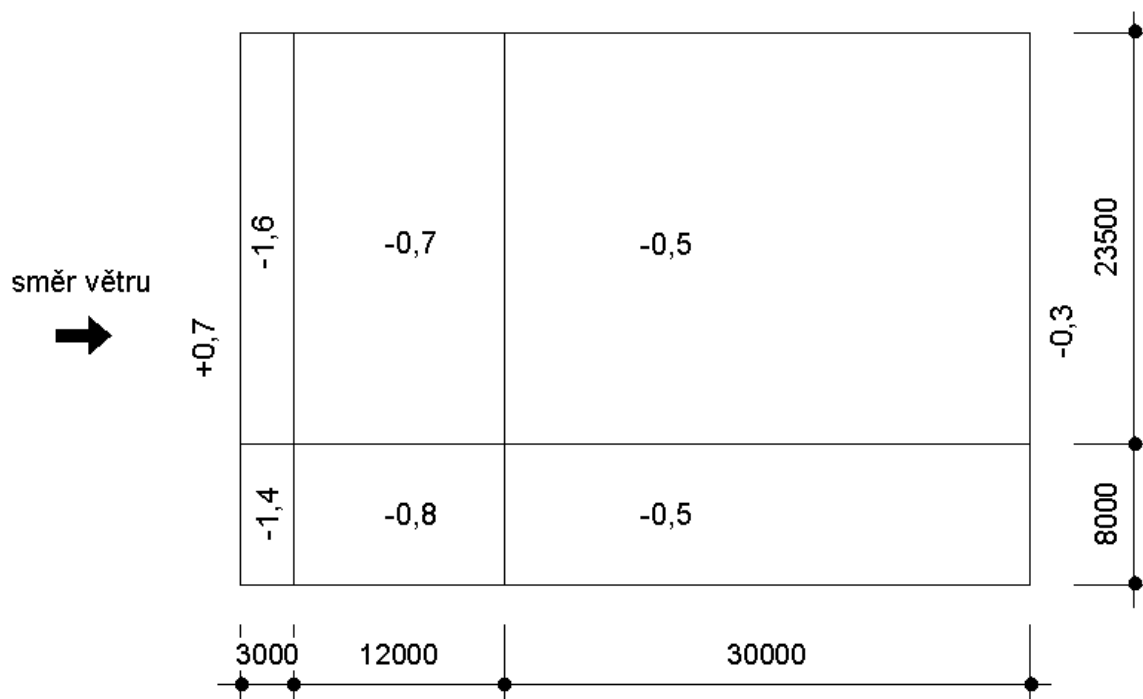
$$H = -0,8$$

$C_{pe,10} \Rightarrow$

$$I = -0,5$$

$$D = +0,7$$

$$E = -0,3$$



Obrázek 5.7 Schéma rozložení součinitelů $C_{pe,10}$ při podélném zatížení větrem

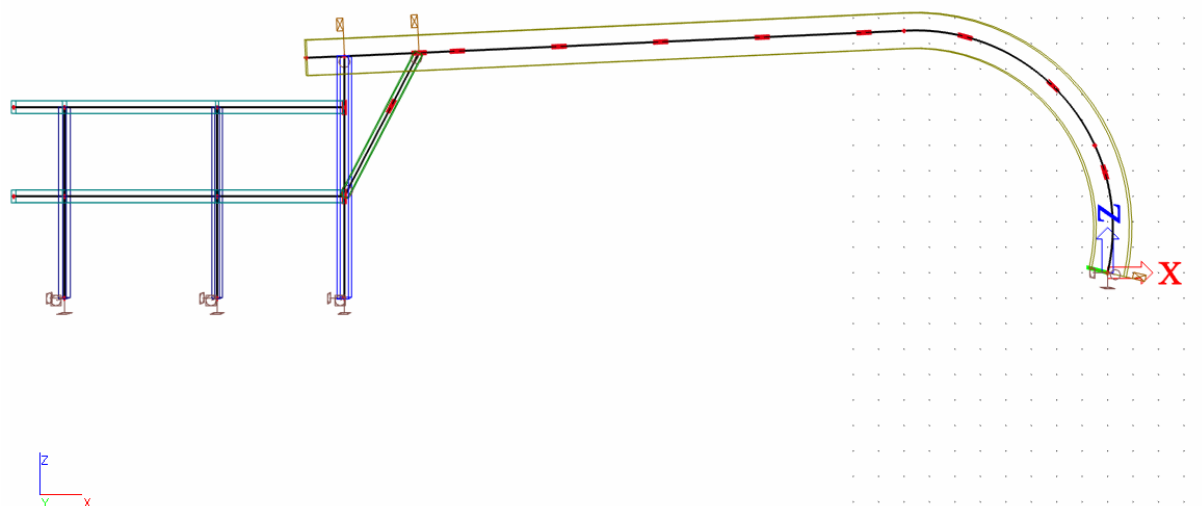
Pozn.: Do programu Scia engineer lze při tvorbě zatěžovacích stavů větrem vkládat pouze součinitele $C_{pe,10}$ a zatěžovací šířku. Není proto nutné dále přepočítávat zatížení na kN/m^2 .

5.3 MODEL VE VÝPOČETNÍM SOFTWARE

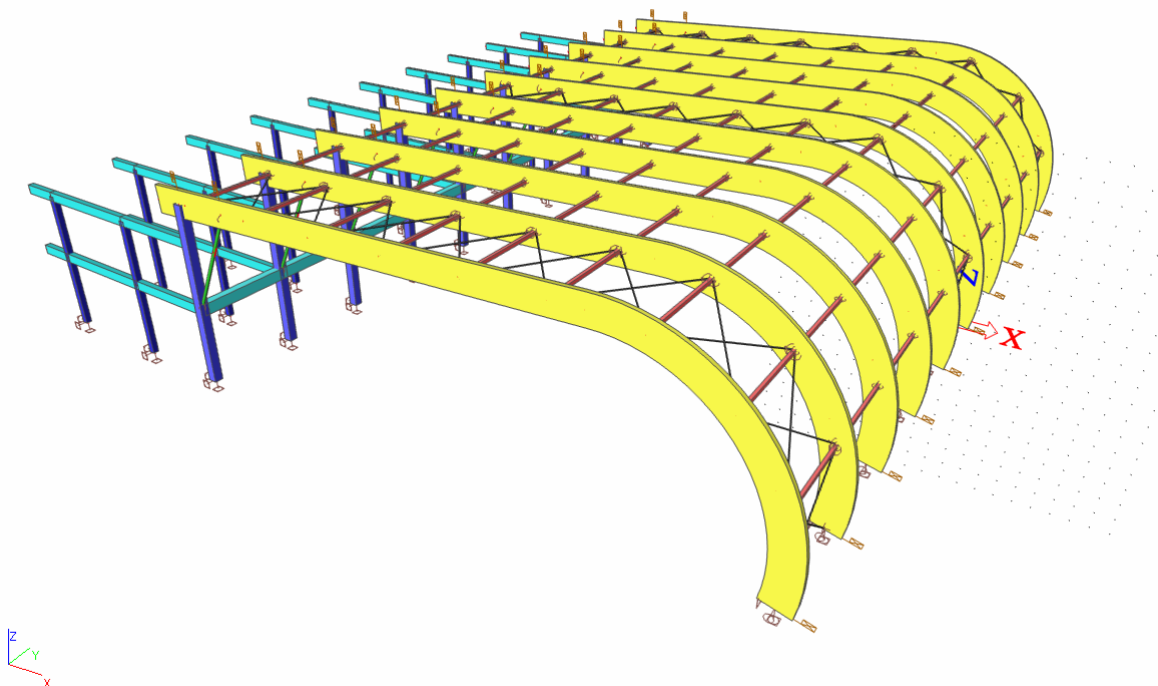
Výpočetní model bude vytvořen v programu Scia engineer 2013. Vytvořený model bude následně zatížen zatěžovacími stavy, určeny příslušné kombinace a proveden výpočet.

Jako základ modelu slouží dvourozměrná rámová konstrukce v souřadném systému XZ ze závěru optimalizace konstrukčního uspořádání. Konstrukce byla dále upřesněna v rámové části skeletu sportovního zázemí. Výpočtový model železobetonového rámu zázemí nyní přesně odpovídá konstrukčnímu výkresu této části. Tím dojde ještě k většímu zpřesnění výsledků a chování konstrukce jako celku.

Model bude vytvořen z těchto rámu opakuujících se po osové vzdálenosti pěti metrů. Mezi těmito rámy budou vytvořeny prostorové vztahy pomocí příčných ztužidel a zavětrovacích křížů.



Obrázek 5.8 Výpočetní model konstrukce rámu vytvořený ve Scia engineer



Obrázek 5.9 Výpočetní 3D model konstrukce vytvořený ve Scia engineer

5.3.1 Zatížení modelu

Model je zatížen zatěžovacími stavy vycházejícími z ručního výpočtu dle normy ČSN EN 1991. Zatížení od vlastní tíhy konstrukce program scia generuje automaticky. Ručně bylo doplněno zatížení od stálého a užitného, které bylo vypočteno v předchozí kapitole. Dále bylo vloženo zatížení od účinků sněhu a větru.

Protože se jedná o netypický tvar konstrukce, pro který zejména klimatická normativní zatížení lze jen přibližně odvodit, byl na určení těchto zatížení použit také generátor v samotném programu. Zatížení z ručního výpočtu a zatížení z generátoru budou dohromady vložena do výsledných kombinací zatěžovacích stavů. Tímto se docílí minimalizace možné chyby při určení zatížení na atypickou konstrukci.

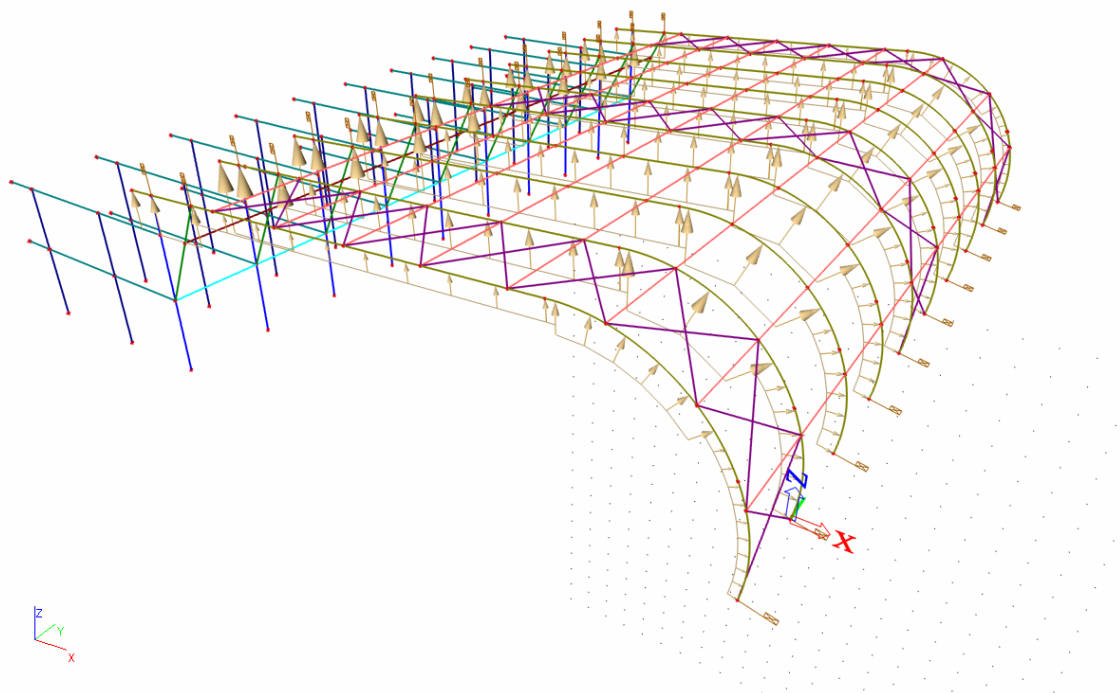
Zatěžovací stavy

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení	Typ zatížení
LC1		Stálé	LG1	Vlastní tíha
LC2	stálé zatížení	Stálé	LG1	Standard
LC3	užitné zatížení	Nahodilé	LG2	Statické
VTR 2.2	R - zatížení větrem příčné - ruční výpočet	Nahodilé	Větr	Statické
VTR 2.1	L - zatížení větrem příčné- ruční výpočet	Nahodilé	Větr	Statické
VTR 1.1	příčný L	Nahodilé	Větr	Statické
VTR 1.2	příčný P	Nahodilé	Větr	Statické
SN 1.1	zatížení sněhem	Nahodilé	Sněh	Statické
SN 1.2	zatížení sněhem	Nahodilé	Sněh	Statické
SN 1.3	zatížení sněhem	Nahodilé	Sněh	Statické
SN 2.1	zatížení sněhem - ruční výpočet	Nahodilé	Sněh	Statické
SN 2.2	zatížení sněhem - ruční výpočet	Nahodilé	Sněh	Statické
SN 2.3	zatížení sněhem - ruční výpočet	Nahodilé	Sněh	Statické
VTR 3.1	zatížení větrem podélné -ruční výpočet	Nahodilé	Větr	Statické

Tabulka 5.1 Zatěžovací stavy na konstrukci

Veškerá zatížení jsou vložena na prutové prvky rámové konstrukce. Vypočtená plošná zatížení střešního pláště byla přeočtena na liniová s odpovídající zatěžovací šířkou.

Ručně vypočtená zatížení větrem a sněhem jsou v modelu přiřazena pouze části zastřešení sportovní haly. Vygenerovaná klimatická zatížení programem jsou určena pro celou konstrukci včetně rámové konstrukce sportovního zázemí.



Obrázek 5.10 Ukázka vloženého zatížení – vítr – zatěžovací stav VTR2.1

Náhled na velikosti všech použitých zatížení je možný v příloze diplomové práce.

5.3.2 Kombinace zatěžovacích stavů

Z vytvořených zatěžovacích stavů byly následně určeny jejich kombinace. Kombinace jsou určeny pro mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti. Ke kombinacím dochází dle vzorců uvedených v ČSN EN 1990 – Zásady navrhování konstrukcí.

EN – MSÚ (STR) – Mezní stav únosnosti

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

EN – MSP char. – Mezní stav použitelnosti

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Scia engineer obsahuje vlastní generátor kombinací. Stačí proto pouze zadat parametry kombinace a určit zatěžovací stavy, kterých se kombinace týká. Následně program sám generuje množství kombinací dle zadaných kritérií. Veškeré kombinace jsou uvedeny v příloze k DP.

Kombinace

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
CO1	EN- MSÚ (STR/GEO) soubor B	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	LC1	1,00
			LC2 - stálé zatížení	1,00
			LC3 - užité zatížení	1,00
			VTR 1.1 - příčný L	1,00
			VTR 1.2 - příčný P	1,00
			SN 1.1 - zatížení sněhem	1,00
			SN 1.2 - zatížení sněhem	1,00
			SN 1.3 - zatížení sněhem	1,00
			VTR 2.1 - L - zatížení větrem příčné- ruční výpočet	1,00
			VTR 2.2 - R - zatížení větrem příčné - ruční výpočet	1,00
			VTR 3.1 - zatížení větrem podélné -ruční výpočet	1,00
			SN 2.1 - zatížení sněhem - ruční výpočet	1,00
			SN 2.2 - zatížení sněhem - ruční výpočet	1,00
			SN 2.3 - zatížení sněhem - ruční výpočet	1,00
			CO2	EN- MSP- charakteristická
LC2 - stálé zatížení	1,00			
LC3 - užité zatížení	1,00			
VTR 1.1 - příčný L	1,00			
VTR 1.2 - příčný P	1,00			
SN 1.1 - zatížení sněhem	1,00			
SN 1.2 - zatížení sněhem	1,00			
SN 1.3 - zatížení sněhem	1,00			
VTR 2.1 - L - zatížení větrem příčné- ruční výpočet	1,00			
VTR 2.2 - R - zatížení větrem příčné - ruční výpočet	1,00			
VTR 3.1 - zatížení větrem podélné -ruční výpočet	1,00			
SN 2.1 - zatížení sněhem - ruční výpočet	1,00			
SN 2.2 - zatížení sněhem - ruční výpočet	1,00			
SN 2.3 - zatížení sněhem - ruční výpočet	1,00			

Tabulka 5.2 Kombinace zatěžovacích stavů

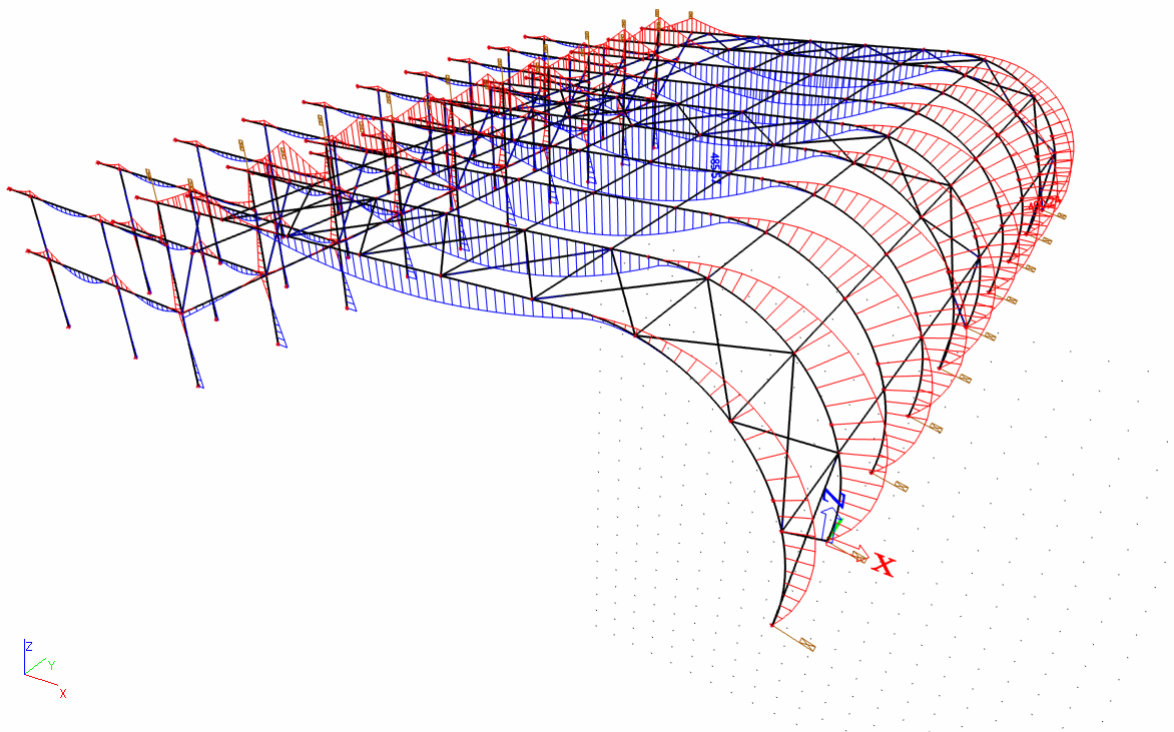
5.3.3 Výpočet a výsledky

Po provedení MKP výpočtu v programu scia, byly určeny výsledné vnitřní síly na konstrukci. Výsledky byly určeny obálkovou metodou. Zajímají nás proto extrémy těchto vzniklých sil.

Vnitřní síly na rámové konstrukci skeletu sportovního zázemí není nutné blíže specifikovat. Tato část není dalším řešením této práce. Určující jsou výsledky na části konstrukce sportovní haly, zejména na zakřiveném nosníku.

Výstup těchto sil a deformací je potřebný pro dimenzování a posouzení jednotlivých konstrukčních prvků a spojů. Získaná data jsou vnitřní síly na jednotlivých prutech, reakce v podporách a deformace konstrukce.

Je potřeba zjistit extrémní hodnoty vnitřních sil na jednotlivých prvcích konstrukce. Proto získáme výpis hodnot z obálky jednotlivých sil na každém typu prutu. Každý typ prvku poté posoudíme na získanou maximální hodnotu namáhání.



Obrázek 5.11 Obálka momentu M_y na celé konstrukci

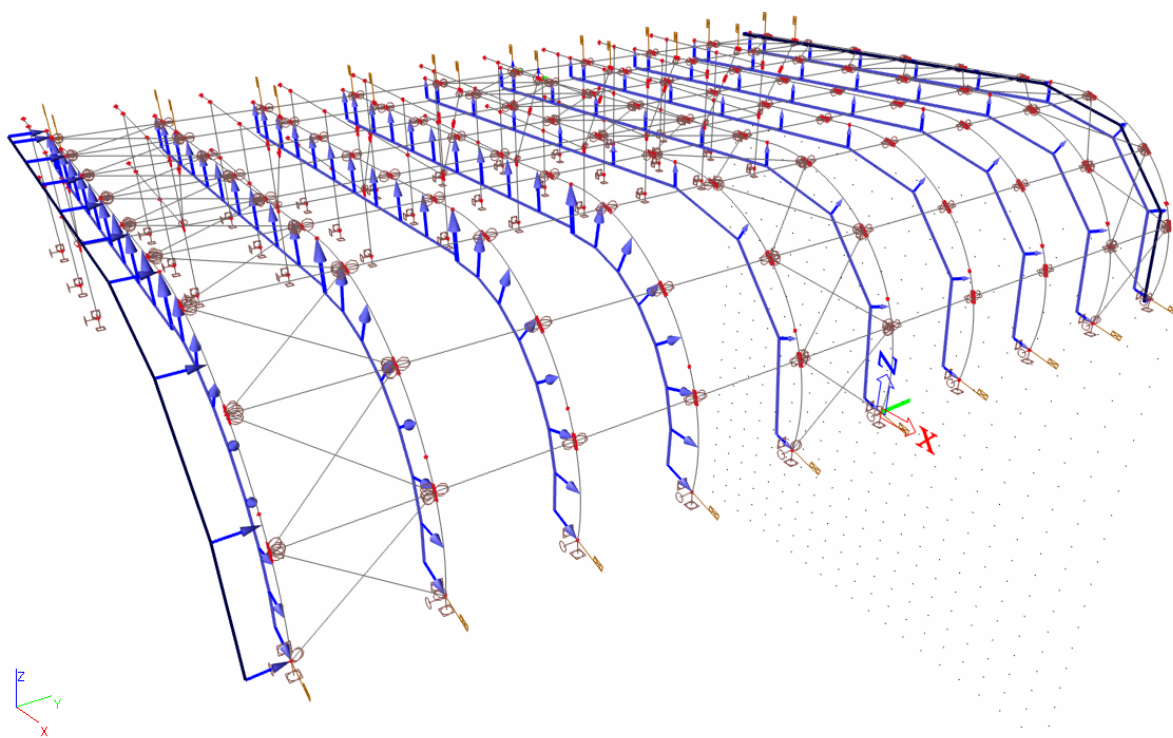
5.3.3.1 Účinky od klimatických zatížení

U velkorozponových konstrukcí a zejména u obloukových halových objektů je nutné dbát zvýšené pozornosti na účinky od povětrnostních vlivů, tedy od účinků větru a sněhu. V reálných situacích může často nastat nesymetrické zatížení konstrukce, které vyvodí nerovnoměrné namáhání konstrukce, se kterým je nutno počítat.

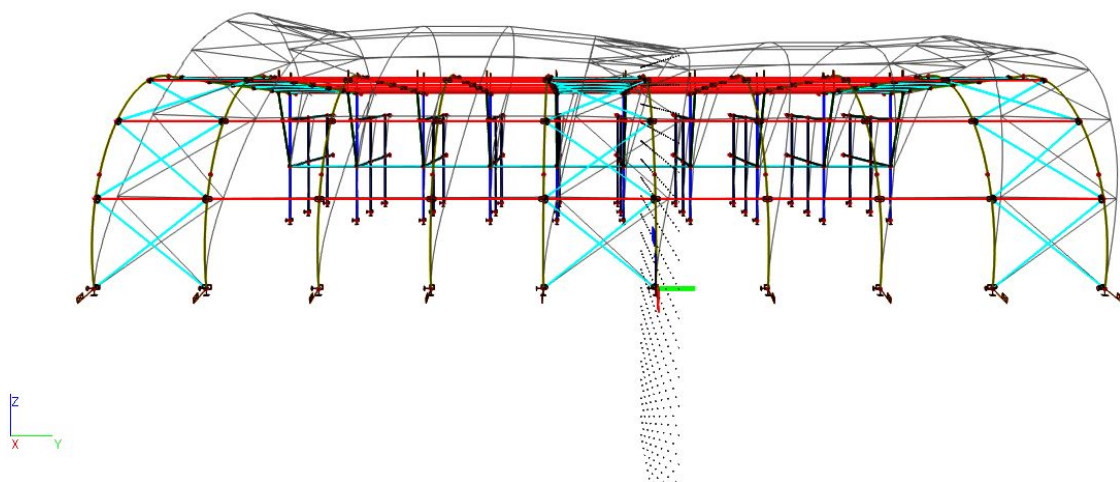
Všechny výsledné hodnoty sil namáhání jsou číselně vyjádřeny v tabulkách vyexportovaných z programu scia jako součást obálky všech zatěžovacích stavů. Výsledky jsou uvedeny v další kapitole.

Zatížení větrem - podélné

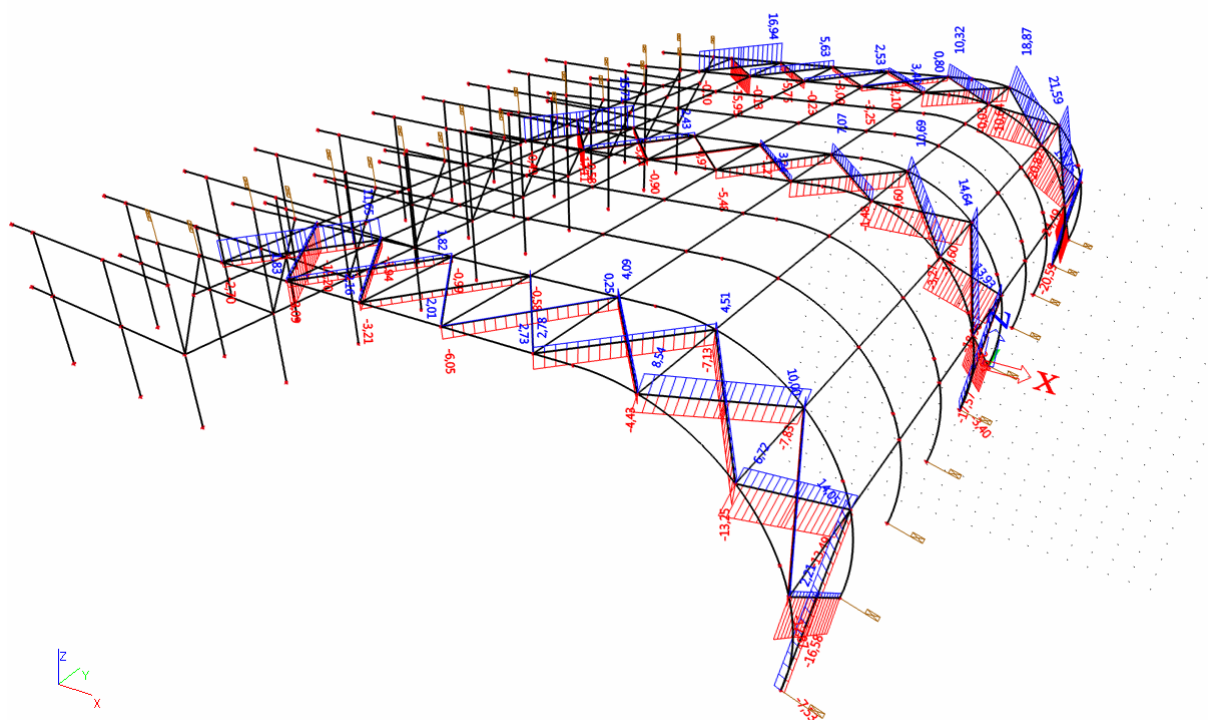
U zatížení větrem je z pohledu návrhu ztužidel a zavětrovacích prvků důležité zejména zatížení v podélném směru. V tomto směru vykazují konstrukce nejmenší tuhost. Veškeré zatížení budou přenášet ztužující prvky a proto je nutné je správně nadimenzovat.



Obrázek 5.12 Zatěžovací stav VTR 3.1- podélné zatížení větrem

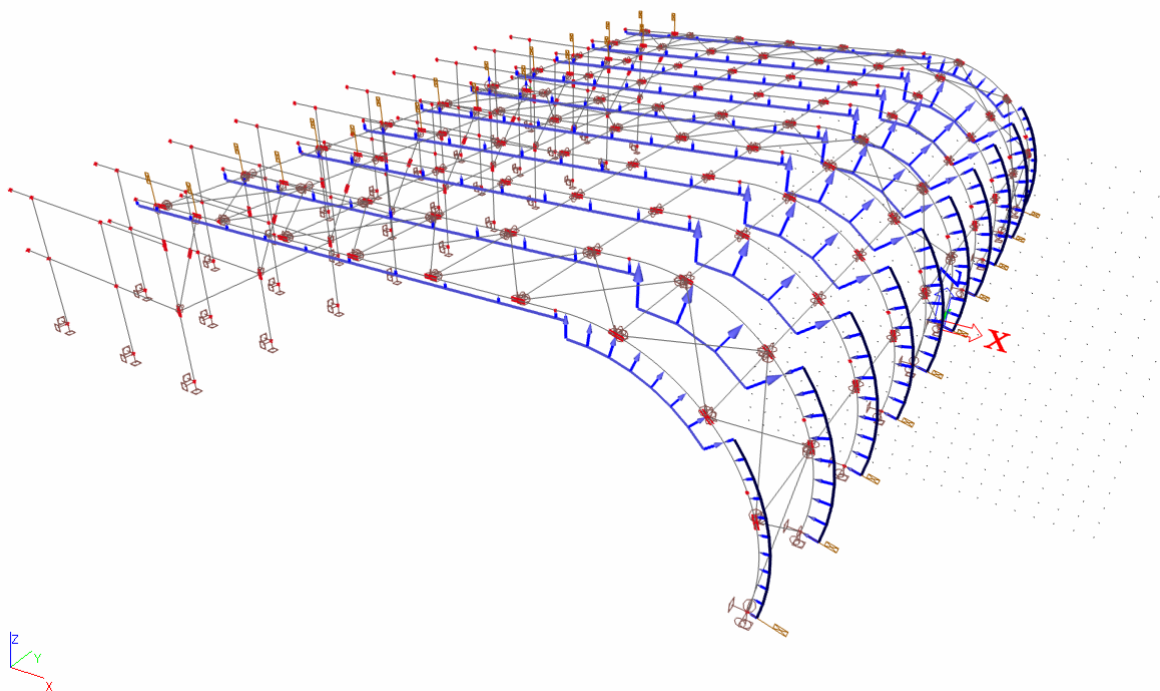


Obrázek 5.13 Deformace od podélného zatížení větrem (stav VTR3.1)

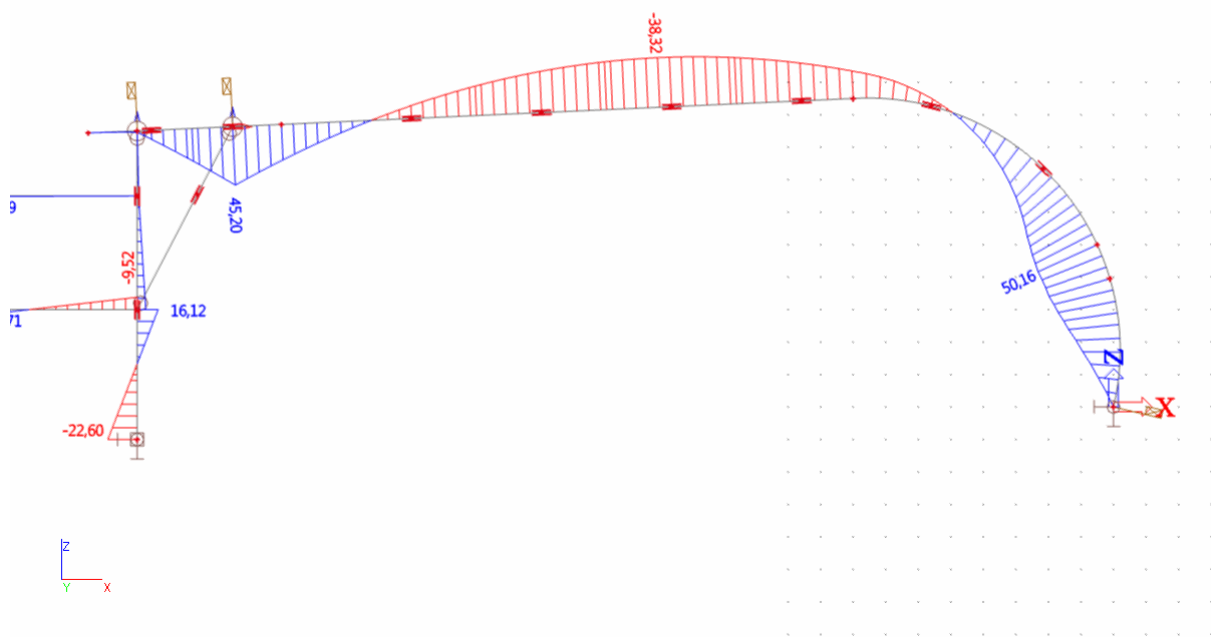


Obrázek 5.14 Normálové síly v křížovém zavětrování od podélného zatížení větrem

Zatížení větrem – příčné



Obrázek 5.15 Zatěžovací stav VTR2.2 –příčné zatížení větrem

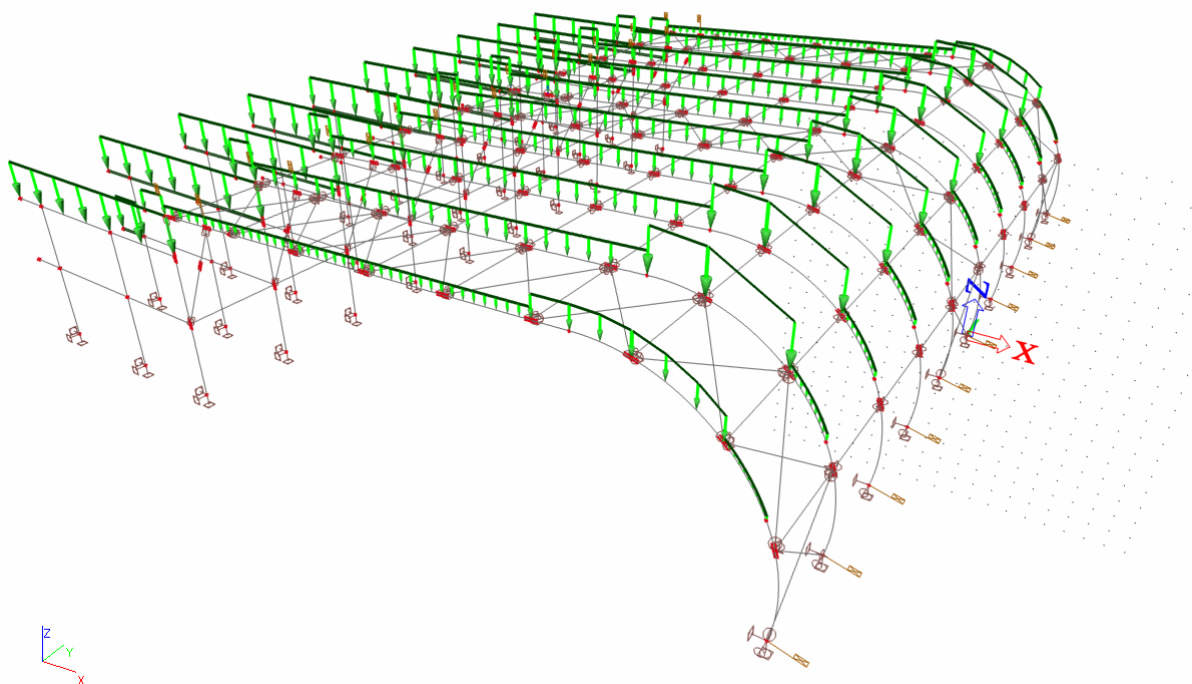


Obrázek 5.16 Moment M_y vyvozený zatěžovacím stavem VTR2.2

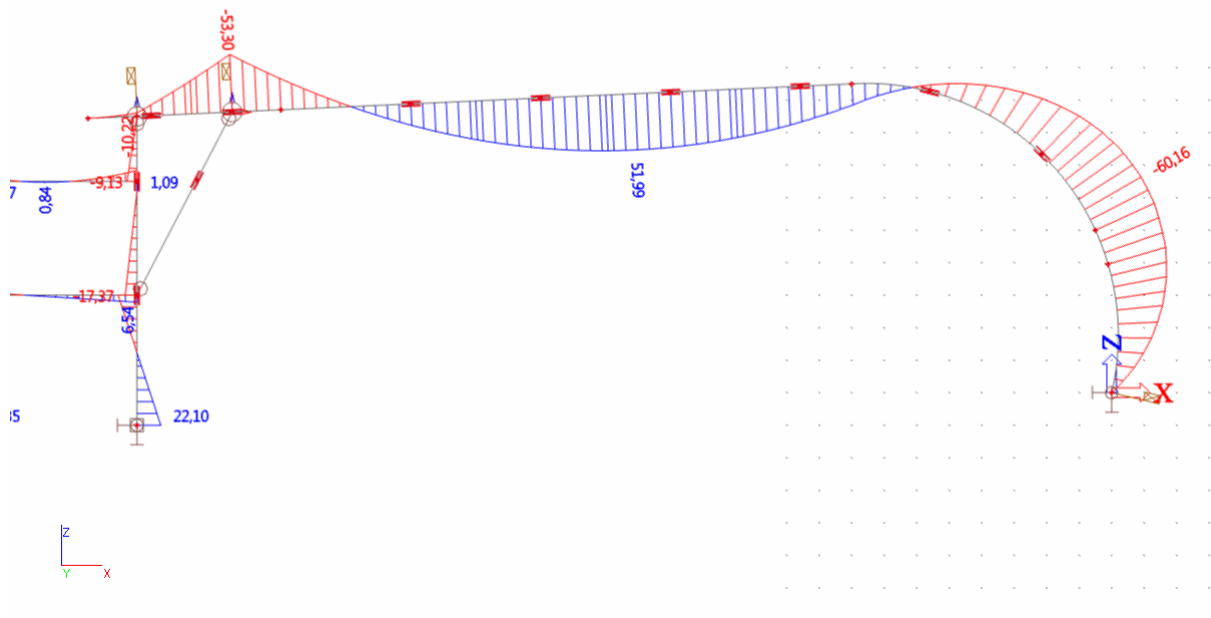
Příčné zatížení větrem se v ohledu na vnitřní síly promítne především do průběhu ohybového momentu M_y . Vliv na ztužující prvky je minimální a veškeré zatížení přenesou hlavní nosníky svojí tuhostí v příčném směru.

Zatížení sněhem

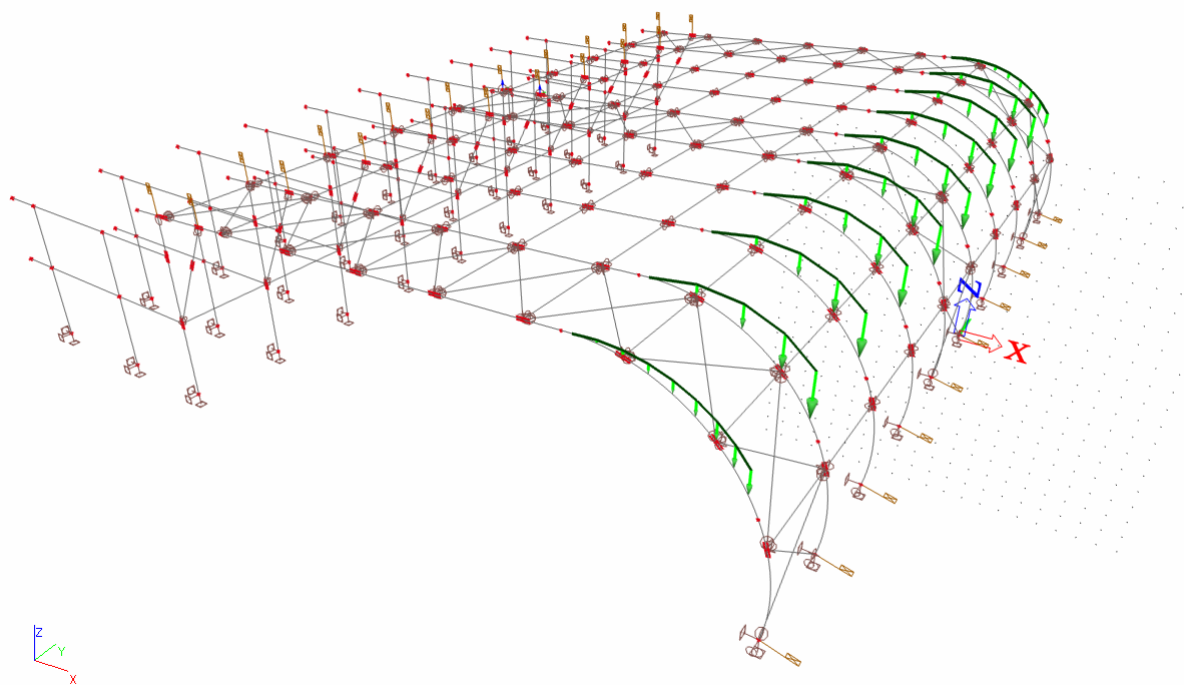
Při zatížení sněhem velkorozponových konstrukcí je důležité zejména nesymetrické zatížení. Vzhledem k tomu, že u řešené konstrukce jde o poloviční rám, není vliv nesymetrického zatížení příliš velký. Nesymetrické zatížení vyvozuje přibližně stejný tvar momentových průběhů, vyjma lokálního zatížení sněhovým navátím na vrcholu obloukové části.



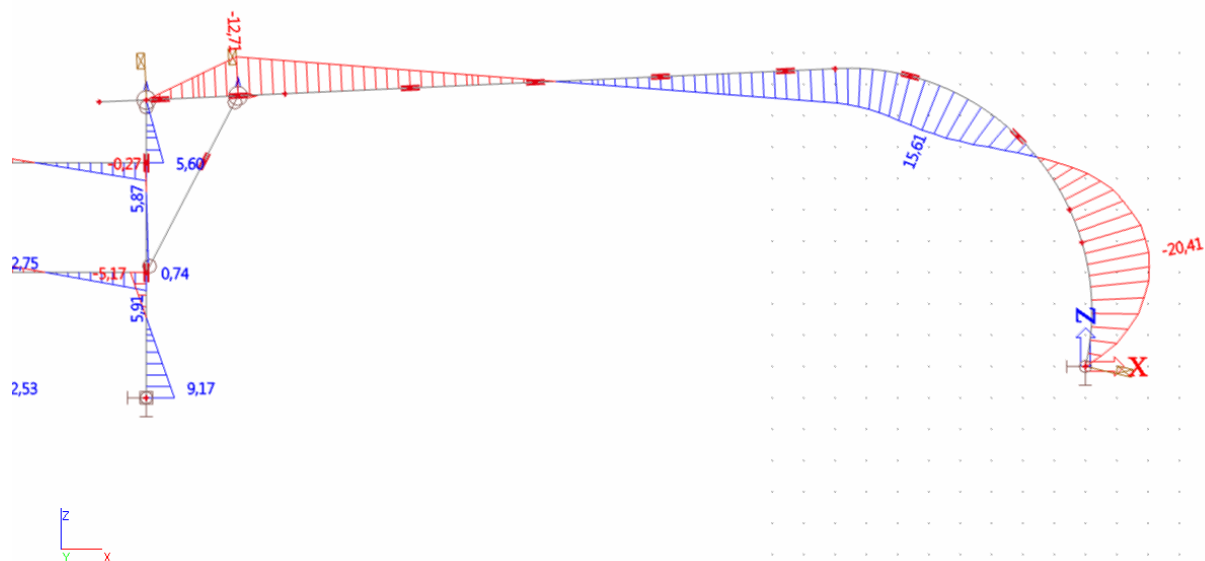
Obrázek 5.17 Zatěžovací stav SN 1.2- nerovnoměrné zatížení sněhem



Obrázek 5.18 Ohybový moment M_y vyvozený zatěžovacím stavem SN1.2



Obrázek 5.19 Zatěžovací stav SN 2.3- zatížení sněhovým navátím v obloukové části



Obrázek 5.20 Ohybový moment M_y vyvozený lokálním sněhovým navátím (SN2.3)

5.3.3.2 Výsledky obálky MSÚ všech zatěžovacích stavů

Vnitřní síly – hlavní lepený nosník

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vše
Kombinace : CO1
Průřez : CS1 - OBDEL (200; 1400)

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B76	CS1 - OBDEL	1,999	CO1/1	-267,89	-0,25	-111,85	0,07	-293,39	0,19
B52	CS1 - OBDEL	33,499	CO1/1	65,96	0,06	170,13	0,03	-456,15	-0,06
B1	CS1 - OBDEL	36,434	CO1/2	10,75	-10,22	2,61	-0,10	-0,50	-12,13
B1	CS1 - OBDEL	27,998	CO1/2	0,69	8,23	-1,84	-0,10	4,41	-4,65
B122	CS1 - OBDEL	0,000	CO1/1	-257,96	0,12	-182,47	0,02	0,00	-0,35
B14	CS1 - OBDEL	33,499	CO1/1	61,48	0,29	170,84	0,04	-458,22	0,13
B1	CS1 - OBDEL	11,996	CO1/3	-17,07	6,73	14,56	-0,69	-9,83	-3,81
B14	CS1 - OBDEL	0,000	CO1/7	-127,72	1,14	-89,15	1,05	0,00	-4,14
B122	CS1 - OBDEL	5,836	CO1/1	-241,92	-0,03	2,71	0,01	-490,24	0,11
B122	CS1 - OBDEL	21,596	CO1/1	-118,91	-0,01	2,35	-0,01	485,57	0,02
B191	CS1 - OBDEL	36,434	CO1/3	33,34	-6,83	74,03	0,01	-8,57	-17,03
B14	CS1 - OBDEL	31,999	CO1/2	-11,77	3,80	-37,62	0,00	-53,96	13,54

Tabulka 5.3 Výsledné extrémy vnitřních sil na hlavních nosnících

Z výsledků je patrné, že největšího namáhání je dosaženo u zakřiveného nosníku pod označením B122. Proto budou použity vnitřní síly z 2D řezu tímto prvkem.

Vnitřní síly – pruty křížového zavětrování

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Vše

Kombinace : CO1

Průřez : CS10 - Plný kruh (19)

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B267	CS10 - Plný kruh	6,376	CO1/3	-24,49	0,00	-0,07	0,00	0,00	0,00
B266	CS10 - Plný kruh	6,376	CO1/3	21,59	0,00	-0,07	0,00	0,00	0,00
B238	CS10 - Plný kruh	0,000	CO1/106	-8,63	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00
B244	CS10 - Plný kruh	6,403	CO1/22	0,24	0,00	-0,09	0,00	0,00	0,00
B244	CS10 - Plný kruh	0,000	CO1/22	0,24	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00
B273	CS10 - Plný kruh	0,000	CO1/1	-2,04	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00
B245	CS10 - Plný kruh	0,000	CO1/1	-2,04	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00
B238	CS10 - Plný kruh	0,000	CO1/8	-3,70	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00
B244	CS10 - Plný kruh	3,202	CO1/22	0,24	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00
B238	CS10 - Plný kruh	0,000	CO1/10	-3,20	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00

Tabulka 5.6 Výsledné extrémy vnitřních sil na prutech zavětrování

5.4 ZÁVĚR TVORBY VÝPOČETNÍHO MODELU

Výsledky vnitřních sil na 3D výpočetním modelu konstrukce odpovídaly přibližně výsledkům na předchozím zjednodušeném 2D modelu. Na základě toho lze prohlásit tyto výsledky za platné. Veškeré podrobné výsledky jsou obsaženy v příloze práce ve výpočtovém protokolu z programu Scia engineer.

Nyní když známe nejvíce namáhané pruty konstrukce a hodnoty velikosti těchto sil, můžeme prvky na tyto síly nadimenzovat a posoudit.

6 DIMENZOVÁNÍ PRVKŮ

Předmětem této práce je řešení nosné konstrukce zastřešení sportovní haly, proto budou nadimenzovány a posouzeny všechny její součásti. Důraz je kladen na posudek hlavních nosníků z LLD a případné možnosti zesilování a úprav profilu nosníku v případě potřeby. Vedle toho budou také navrženy a posouzeny všechny prvky ztužení, spoje a přípoje na okolní konstrukce.

Posudky se týkají těchto prvků:

- hlavní nosníky z LLD
- příčná ztužidla z LLD
- ocelové křížové zavětrování
- čepové uložení nosníků
- spoje pomocí přesných svorníků a kolíků.

Návrh a posudky budou provedeny podle technických norem:

- ČSN EN 1995-1-1 a ČSN 73 1702 pro dřevěné prvky
- ČSN EN 1993-1-8 pro ocelové prvky
- ČSN EN 1992-1-1 pro betonové prvky

6.1 DIMENZOVÁNÍ NOSNÍKU Z LLD

Pro dimenzování nosníku z LLD je nutné vzhledem k jeho složité geometrii a z toho vyplývajících namáhání dřeva potřebné rozsáhlejší posouzení. Důležité je posoudit zejména zakřivenou část nosníku. Proto bude nutné na některá kritéria posoudit zvlášť přímou a zakřivenou část.

Nosník je navržen konstantního průřezu v celé jeho délce. Lze ovšem předpokládat, že v závislosti posouzení na různá namáhání, bude nutné jeho profil upravit.

Při dimenzování těchto prvků jsou často rozhodující napětí v tahu kolmo k vláknům.

Ta mohou způsobit porušení (rozvrstvení) nosníků a tak snížit jejich ohybovou tuhost. Napětí v tahu kolmo k vláknům vznikají v zakřivených oblastech. Při navrhování zakřivených nosníků nebývají mimo zachycení tahu kolmo k vláknům žádné větší potíže. A nosník se posuzuje způsobem podobným přímému nebo sedlovému nosníku. V případě nevyhovění nosníku na tyto síly, lze je zachytit pomocí dodatečných vyztužení závitovými tyčemi, rohoží ze skelných vláken, případně za pomoci jiného opatření.

U zakřivených nosníků s malými poloměry zakřivení se musí uvážit vedle napětí od vnějších účinků také napětí vznikající ohýbáním jednotlivých lamel před lepením.

Nutné je také věnovat pozornost posouzení na tlak kolmo k vláknům v místě podepření nosníku a správný návrh velikosti těchto podpor.

Nosník je tedy potřeba posuzovat na:

- pevnost v ohybu na okraji rovnoběžně s vlákny
- pevnost v tahu kolmo k vláknům ve vrcholovém průřezu zakřivené části
- pevnost ve smyku za ohybu v místě podepření
- pevnost v tlaku kolmo k vláknům v místě podepření
- posouzení stability na vzpěrnou pevnost a klopení
- deformace

6.1.1 Materiálové charakteristiky

Třída pevnosti GL28h

Pevnost v ohybu $f_{m,g,k} = 28N / mm^2$

Pevnost v tahu $f_{t,0,g,k} = 19,5N / mm^2$

$$f_{t,90,g,k} = 0,45N / mm^2$$

Pevnost v tlaku $f_{c,0,g,k} = 26,5N / mm^2$

$$f_{c,90,g,k} = 3,0N / mm^2$$

Pevnost ve smyku $f_{v,g,k} = 3,2N / mm^2$

Modul pružnosti $E_{0,g,mean} = 12600N / mm^2$

$$E_{0,g,05} = 10200N / mm^2$$

$$E_{90,g,mean} = 420N / mm^2$$

Modul pružnosti ve smyku $G_{g,mean} = 780N / mm^2$

Hustota $\rho_{g,k} = 410kg / m^3$

Návrhové pevnosti:

$\gamma_M = 1,25$ (lepené lamelové dřevo)

Třída provozu 1

$k_{mod} = 0,8$ (dle EC 5 Tab. 3.1- Hodnoty K_{mod})

Pevnost v ohybu $f_{m,g,d} = k_{mod} \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{28}{1,25} = 17,92N / mm^2$

Pevnost v tahu $f_{t,0,g,d} = k_{mod} \frac{f_{t,0,g,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{19,5}{1,25} = 12,48N / mm^2$

$$f_{t,90,g,d} = k_{mod} \frac{f_{t,90,g,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{0,45}{1,25} = 0,29N / mm^2$$

$$\text{Pevnost v tlaku} \quad f_{c,0,g,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{26,5}{1,25} = 16,96 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,g,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{c,90,g,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{3,0}{1,25} = 1,92 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Pevnost ve smyku} \quad f_{v,g,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{3,2}{1,25} = 2,05 \text{ N/mm}^2$$

Předběžné dimenzování:

Smyk v podpoře:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1 \rightarrow \frac{3 V_{z,d}}{2 b h} \leq 1$$

-volím $b=200 \text{ mm}$

$$\tau_{v,d,2} = \frac{3 V_{z,d}}{2 b h} = \frac{3 \cdot 180,47 \cdot 10^3}{2 \cdot 200 \cdot 1400} = 0,967 \text{ N/mm}^2$$

$$\rightarrow h \geq \frac{1,5 V_{z,d}}{b \cdot f_{v,d}} = \frac{1,5 \cdot 180,47 \cdot 10^3}{200 \cdot 2,05} = 660 \text{ mm}$$

Průhyb:

$$w_{\text{inst}} = \frac{5 \cdot E_{d,\text{inst}} \cdot l^4}{384 \cdot E_{\text{mean}} \cdot I} = \frac{5 \cdot E_{d,\text{inst}} \cdot l^4}{384 \cdot E_{\text{mean}} \cdot \frac{b \cdot h^3}{12}} \leq \frac{l}{200}$$

$$\rightarrow h \geq \sqrt[3]{\frac{200 \cdot 12 \cdot 5 \cdot E_{d,\text{inst}} \cdot l^3}{384 \cdot E_{\text{mean}} \cdot b}} = \sqrt[3]{\frac{200 \cdot 12 \cdot 5 \cdot 0,062 \cdot 2841^3}{384 \cdot 1260 \cdot 20}} \approx 1220 \text{ mm}$$

NÁVRH: Průřez 200 x 1400 mm

Průřezové charakteristiky:

Profil 200x1400 mm

$$A = b \cdot h = 200 \cdot 1400 = 280000 \text{ mm}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} 200 \cdot 1400^3 = 4,573 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

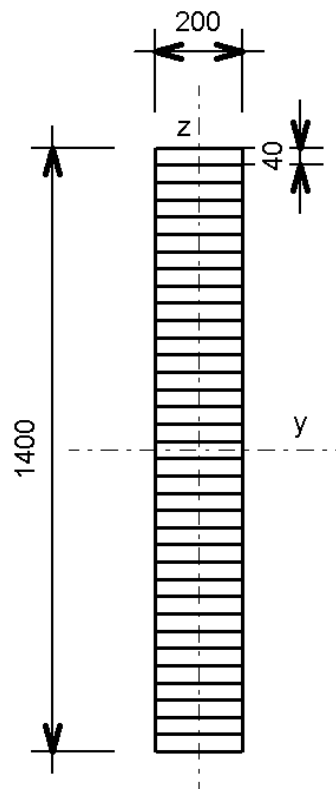
$$I_z = \frac{1}{12} h \cdot b^3 = \frac{1}{12} 1400 \cdot 200^3 = 9,333 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} b \cdot h^2 = \frac{1}{6} 200 \cdot 1400^2 = 6,533 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$

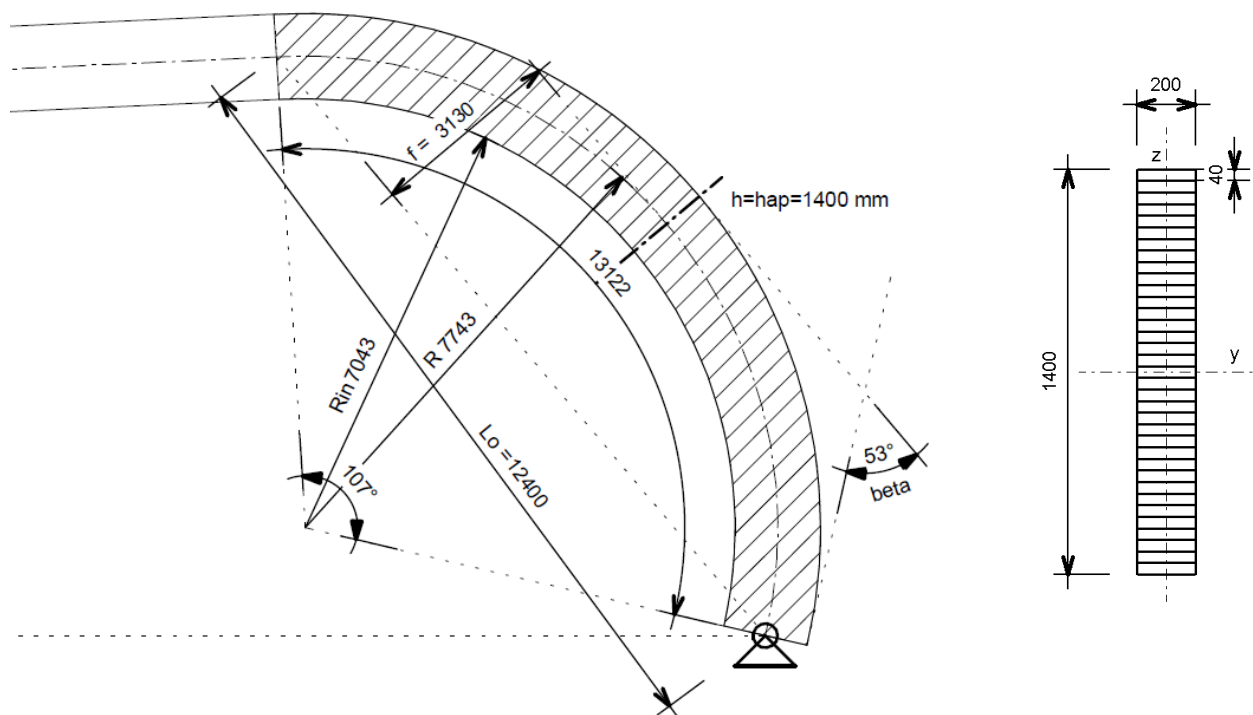
$$W_z = \frac{1}{6} h \cdot b^2 = \frac{1}{6} 1400 \cdot 200^2 = 9,333 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$i_y = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{1400}{\sqrt{12}} = 404,1 \text{ mm}$$

$$i_z = \frac{b}{\sqrt{12}} = \frac{200}{\sqrt{12}} = 57,7 \text{ mm}$$



6.1.2 Posouzení zakřivené části nosníku na ohyb a tah kolmo k vláknům



Obrázek 6.1 Schéma zakřivené části nosníku

Geometrické charakteristiky:

$t = 40 \text{ mm}$ (tloušťka lamel)

$r = 7,743 \text{ mm}$ (poloměr zakřivení nosníku)

$r_{in} = 7,743 \text{ mm}$ (poloměr zakřivení u spodních vláken)

$h = h_{ap} = 1400 \text{ mm}$

$b = 200 \text{ mm}$

$\alpha = 0^\circ$ (nosník konstantního průřezu)

$\beta = 53^\circ$

Výpočet návrhových hodnot napětí v ohybu a napětí v tahu:

Návrhový moment (výstup z programu Scia)

$$M_{ap,d} = -490,24 \text{ kN.m}$$

Návrhová hodnota největšího napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,d} = k_l \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2}$$

$$\text{kde } k_l = \left(k_1 + k_2 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^3 \right)$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \operatorname{tg} \alpha + 5,4 \operatorname{tg}^2 \alpha$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \operatorname{tg} \alpha$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \operatorname{tg} \alpha - 7,8 \operatorname{tg}^2 \alpha$$

$$k_4 = 6 \operatorname{tg}^2 \alpha$$

$$k_1 = 1,0$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} 0^\circ = 0 \Rightarrow k_2 = 0,35$$

$$k_3 = 0,6$$

$$k_4 = 0$$

$$k_l = \left(1 + 0,35 \frac{1,40}{7,74} + 0,6 \left(\frac{1,40}{7,74} \right)^2 \right) = 1 + 0,0638 + 0,0199 = 1,084$$

$$\sigma_{m,d} = 1,084 \frac{6,490 \cdot 10^6}{200 \cdot 1400^2} = 8,02 \text{ N / mm}^2$$

Návrhová hodnota napětí v tahu kolmo k vláknům:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2}$$

kde

$$k_p = \left(k_5 + k_6 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 \right)$$

$$k_5 = 0,2 \operatorname{tg} \alpha$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \operatorname{tg} \alpha + 2,6 \operatorname{tg}^2 \alpha$$

$$k_7 = 2,1 \operatorname{tg} \alpha - 4 \operatorname{tg}^2 \alpha$$

$$k_5 = 0$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} 0^\circ = 0 \Rightarrow k_6 = 0,25$$

$$k_7 = 0$$

$$k_p = 0,25 \frac{h_{ap}}{r}$$

$$k_p = 0,25 \frac{1,4}{7,74} = 0,045$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,045 \frac{6.490.10^6}{200.1400^2} = 0,34 N / mm^2$$

Napětí v ohybu musí vyhovovat těmto podmínkám:

$$\sigma_{m,d} \leq k_r f_{m,d}$$

kde

$$k_r = 1 \quad \text{pro } r_{in}/t \geq 240$$

$$k_r = 0,76 + 0,001 r_{in} / t \quad \text{pro } r_{in}/t < 240$$

U zakřivených nosníků s malými poloměry zakřivení se musí uvážit vedle napětí od vnějších účinků také napětí vznikající ohýbáním jednotlivých lamel před lepením. To se provede za pomoci součinitele k_r .

$$r_{in} / t = 7043 / 40 = 176 \text{ mm} \quad k_r = 0,76 + 0,001.7043 / 40 = 0,936$$

Návrhové napětí v tahu kolmo k vláknům musí vyhovovat podmínce:

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} (V_0 / V)^{0,2} f_{t,90,g,d}$$

kde k_{dis} je součinitel, kterým se uvažuje rozdělení napětí v tahu kolmo k vláknům.

Exponent podílu referenčního objemu $V_0=0,01 \text{ m}^3$ a objemu V namáhaného příčným tahem uvažuje vliv objemu na pevnost v tahu kolmo k vláknům. Do výpočtu se nemá zavádět více než 2/3 celkového objemu nosníku V_b .

Pro zakřivený nosník stálého průřezu je

$$k_{dis} = 1,4$$

$$V = \frac{\beta\pi}{180} b (h_{ap}^2 + 2r_{in} h_{ap}) , \text{ nejvýše však } 2/3 V_b$$

$$V = \frac{53\pi}{180} 0,2(1,4^2 + 2.7,04.1,4) = 3,25 \text{ m}^3 \leq \frac{2}{3} b.h.l = \frac{2}{3} .0,2.1,4.14,4 = 2,61 \text{ m}^3$$

Jelikož se jedná o atypický případ, použijeme ruční výpočet namáhané oblasti. Lze předpokládat, že tahem kolmo k vláknům bude zatížena celá zakřivená oblast, proto výpočet bude mít tvar:

$$V = l_{oblouku} \cdot b \cdot h_{ap} = 14,4 \cdot 0,2 \cdot 1,4 = 4,03 m^2$$

$$\left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{2,61}\right)^{0,2} = 0,33$$

Posouzení:

Napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,d} = 8,02 N / mm^2 \leq k_r \cdot f_{m,g,d} = 17,92 \cdot 0,936 = 16,77 N / mm^2$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

Využití průřezu je 50%.

Tah kolmo k vláknům:

$$\sigma_{t,90,d} = 0,340 N / mm^2 \leq k_{dis} \cdot (V_0 / V)^{0,2} \cdot f_{t,90,g,d} = 1,4 \cdot 0,33 \cdot 0,29 = 0,134 N / mm^2$$

PRŮŘEZ NEVYHOVUJE

Využití průřezu je 253%.

ZÁVĚR:

Průřez nevyhověl na tah kolmo k vláknům.

Nyní je možné několik variant řešení:

- Zvýšit třídu materiálu (z GL28h na GL32h, GL36h)
- Zvětšit průřez nosníku v obloukové části
- Použít zesílení konstrukce v obloukové části (závitové tyče, skelná vlákna)

Zvýšení třídy materiálu bude mít na zvýšení únosnosti v tahu kolmo k vláknům pouze malý efekt. Rozdíl pevnosti v tahu kolmo k vláknům u tříd GL28h a GL32h je pouze cca 10% nárůst.

Efektivnější řešení je zvětšení profilu nosníku nebo zesílení konstrukce pomocí závitových tyčí, případně rohoží z usměrněných skelných vláken. Možná je i kombinace obou řešení dohromady.

6.1.2.1 Varianty řešení tahu kolmo k vláknům

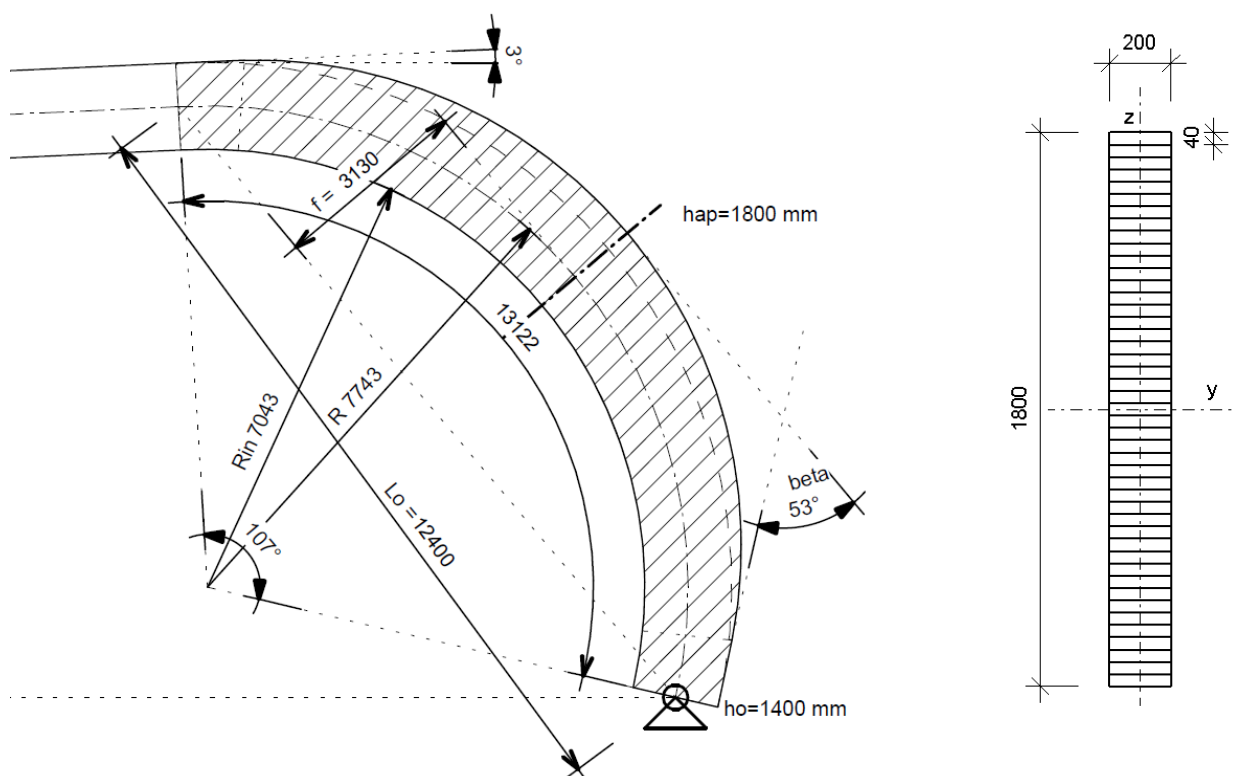
A) Zesílení zvětšením průřezu

A.1) Zesílení ve vrcholu oblouku na 200x1800 mm:

Dostaneme nové průřezové charakteristiky:

0,2 x 1,800 m

$\alpha = 3^\circ$ (úhel přeřezání vláken)



Obrázek 6.2 Schéma zvýšeného průřezu oblouku ($h_{ap}=1800$ mm)

Návrhová hodnota napětí v tahu kolmo k vláknům:

$$M_{ap,d} = -490,24 \text{ kN.m}$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2}$$

kde

$$k_p = \left(k_5 + k_6 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 \right)$$

$$k_5 = 0,2 \text{tg} \alpha$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \operatorname{tg} \alpha + 2,6 \operatorname{tg}^2 \alpha$$

$$k_7 = 2,1 \operatorname{tg} \alpha - 4 \operatorname{tg}^2 \alpha$$

$$k_5 = 0,0104$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} 3^\circ = 0,052 \Rightarrow k_6 = 0,179$$

$$k_7 = 0,098$$

$$k_p = 0,0104 + 0,179 \frac{h_{ap}}{r} + 0,098 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2$$

$$k_p = 0,0104 + 0,179 \frac{1,8}{7,743} + 0,098 \left(\frac{1,8}{7,743} \right)^2 = 0,057$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,057 \frac{6.490.10^6}{200.1800^2} = 0,26 \text{ N/mm}^2$$

Návrhové napětí v tahu kolmo k vláknům musí vyhovovat podmínce:

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} (V_0 / V)^{0,2} f_{t,90,g,d}$$

$$k_{dis} = 1,4$$

$$V = \frac{\beta \pi}{180} b (h_{ap}^2 + 2r_{in} h_{ap}), \text{ nejvýše však } 2/3 V_b$$

$$V = \frac{53\pi}{180} 0,2 (1,8^2 + 2 \cdot 7,04 \cdot 1,8) = 5,29 \text{ m}^3 \leq \frac{2}{3} b \cdot h \cdot l_o = \frac{2}{3} 0,2 \cdot 1,7 \cdot 14 = 3,17 \text{ m}^3$$

$$\left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{3,17} \right)^{0,2} = 0,32$$

Posouzení:

$$\sigma_{t,90,d} = 0,26 \text{ N/mm}^2 \leq k_{dis} (V_0 / V)^{0,2} f_{t,90,g,d} = 1,4 \cdot 0,32 \cdot 0,29 = 0,13 \text{ N/mm}^2$$

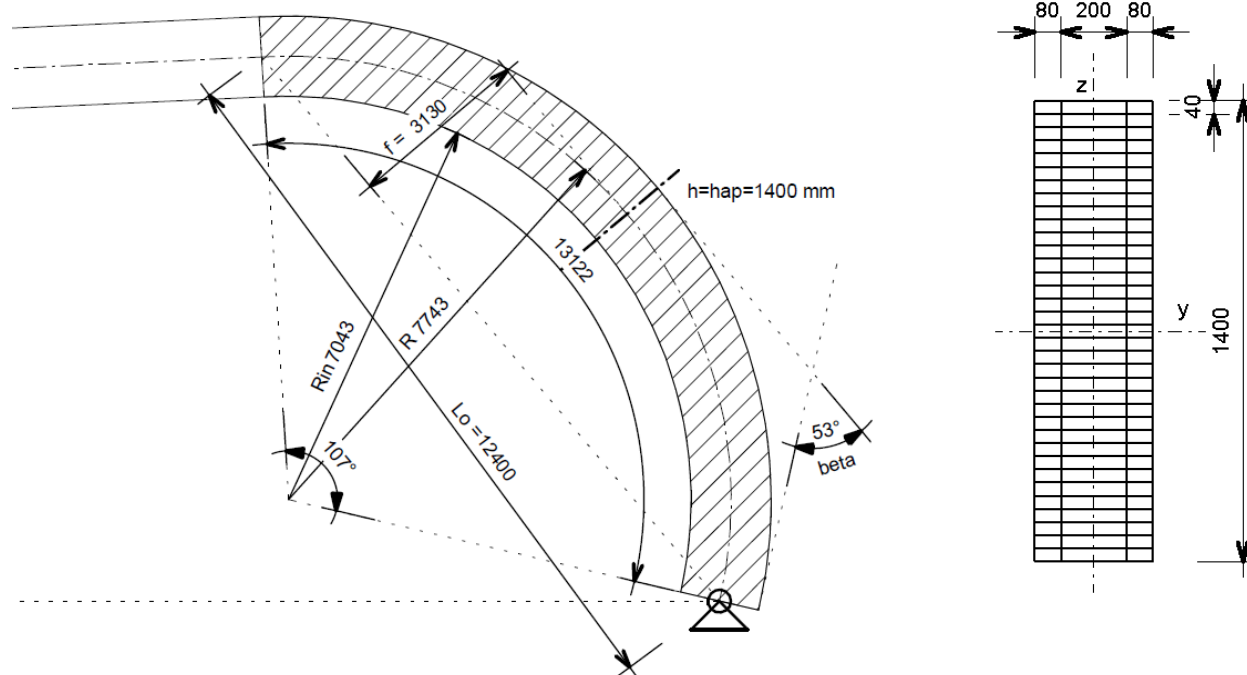
NEYHOVUJE

Využití průřezu je 200%.

Tah kolmo k vláknům v zakřivené oblasti nevyhověl ani přes zesílení průřezu v místě největšího namáhání (zvětšení výšky h_{ap}). Pouze se snížilo využití průřezu z 253% na 200%. Je tedy nutné najít jiné řešení problému s tahem kolmo k vláknům.

Nosník můžeme opatřit zesílením, které může přenést celou tahovou sílu kolmo k vláknům.

A.2) Rozšíření profilu bočnicemi na 360x1400 mm



Obrázek 6.3 Schéma rozšířeného profilu oblouku bočnicemi

Geometrické charakteristiky:

$$t = 40 \text{ mm} \quad (\text{tloušťka lamel})$$

$$r = 7,74 \text{ m} \quad (\text{poloměr zakřivení nosníku})$$

$$h = h_{ap} = 1400 \text{ mm}$$

$$b = 360 \text{ mm}$$

$$\alpha = 0^\circ \quad (\text{nosník konstantního průřezu})$$

$$\beta = 53^\circ$$

Výpočet návrhových hodnot napětí v ohybu a napětí v tahu:

Návrhový moment (výstup z programu Scia)

$$M_{ap,d} = -490,24 \text{ kN.m}$$

Návrhová hodnota největšího napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,d} = k_l \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b h_{ap}^2}$$

$$\sigma_{m,d} = 1,084 \frac{6 \cdot 490 \cdot 10^6}{360 \cdot 1400^2} = 4,52 \text{ N/mm}^2$$

Návrhová hodnota napětí v tahu kolmo k vláknům:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2}$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,045 \frac{6.490.10^6}{360.1400^2} = 0,188 N / mm^2$$

Posouzení:

Napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,d} = 4,52 N / mm^2 \leq k_r f_{m,g,d} = 17,92.0,936 = 16,77 N / mm^2$$

PRŮŘEZ VYHOVUJE

Využití průřezu je 27%.

Tah kolmo k vláknům:

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} (V_0 / V)^{0,2} f_{t,90,g,d}$$

Pro zakřivený nosník stálého průřezu je

$$k_{dis} = 1,4$$

$$V = \frac{\beta\pi}{180} b(h_{ap}^2 + 2r_{in}h_{ap}), \text{ nejvýše však } 2/3 V_b$$

$$V = \frac{53\pi}{180} 0,36(1,4^2 + 2.7,04.1,4) = 7,21 m^3 \leq \frac{2}{3} b.h.l = \frac{2}{3} .0,36.1,4.14 = 4,7 m^3$$

$$\left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{4,7}\right)^{0,2} = 0,29$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,188 N / mm^2 \leq k_{dis} (V_0 / V)^{0,2} f_{t,90,g,d} = 1,4.0,29.0,29 = 0,12 N / mm^2$$

PRŮŘEZ NEVYHOVUJE

Využití průřezu je 157%.

Průřez opět nevyhověl. Využití průřezu v tahu kolmo k vláknům se pouze snížilo na 157%.

B) Zesílení pomocí závitových tyčí

B.1) Zesílení závitovými tyčemi na rozšířeném průřezu (360 x1400 mm):

Je navrženo, aby byl nosník opatřen zesílením, které může přenést celou tahovou sílu kolmo k vláknům.

Síla na jednotku délky:

$$F_{t,90,d} = \sigma_{t,90,d} \cdot b$$

$$F_{t,90,d} = 0,188 \cdot 360 = 67,68 \text{ N / mm}$$

Modul pružnosti kolmo k vláknům je $E_{90,g,mean} = 420 \text{ N / mm}^2$. Na základě tohoto vychází tuhost na jednotku délky $420 \cdot 360 \cdot 10^{-3} = 151,2 \text{ kN / mm}$.

Délka oblasti namáhané tahem kolmo k vláknům

$$l_t = \frac{4 \cdot r_{in} \cdot \pi \cdot \beta}{360^\circ} = \frac{4 \cdot 7,04 \cdot \pi \cdot 53}{360} = 13 \text{ m}$$

zvoleno: $a_1 = 500 \text{ mm}$

NÁVRH: závitové tyče M18 podle DIN 975 po 500 mm

Pevnostní třída 4.6, ocel S235

$$A_s = 192 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_M = 1,1$$

Za předpokladu napětí na mezi kluzu 235 N/mm^2 vychází návrhová pevnost:

$$\frac{192 \cdot 235}{1,1 \cdot 500} = 82,04 \text{ N / mm} \geq F_{t,90,d} = 67,68 \text{ N / mm}$$

S hodnotou $E=210 \text{ kN/mm}^2$ vychází tuhost na jednotku délky hodnotou:

$$\frac{192 \cdot 210}{500} = 80,64 \text{ kN / mm}$$

a napětí dřeva v tahu kolmo k vláknům se redukuje součinitelem

$$\frac{151,2}{151,2 + 80,64} = 0,65$$

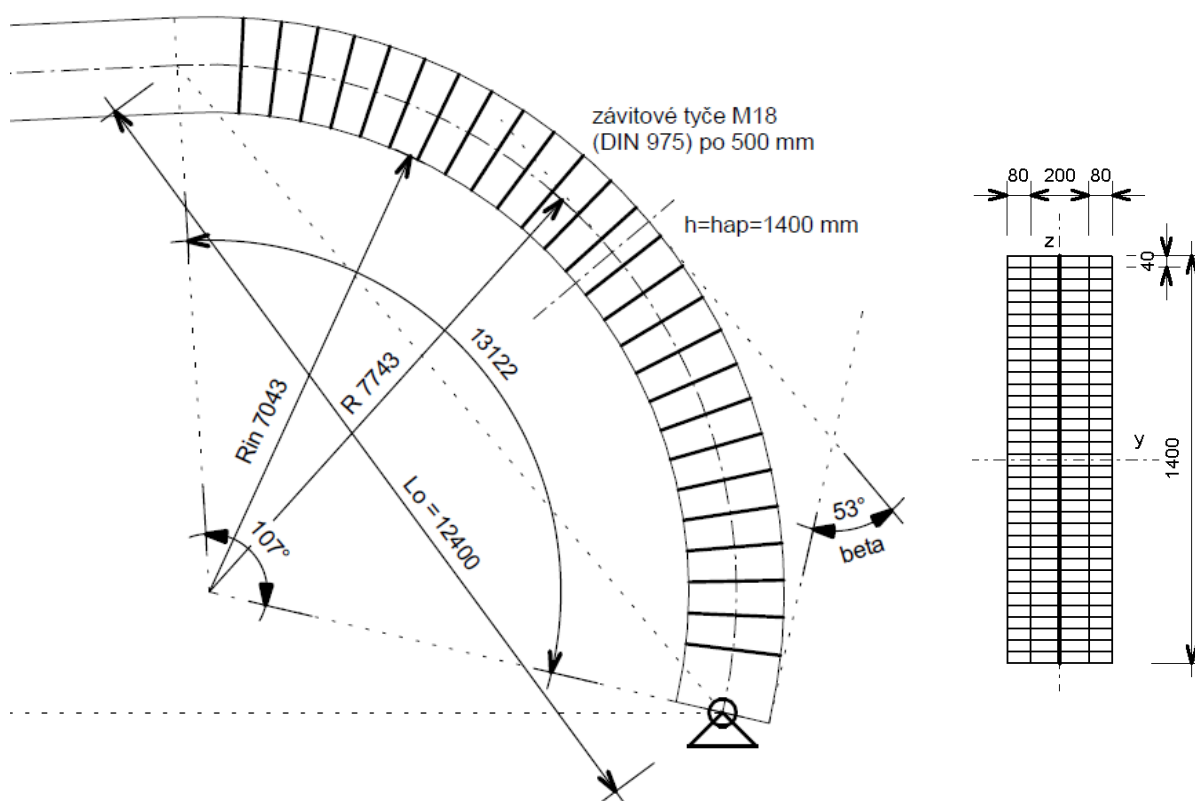
Posouzení:

Při předpokladu přenosu celé tahové síly kolmo k vláknům zesílení lze zanedbat vliv objemu a rozdělení napětí, tj. $k_{dis} (V_0 / V)^{0,2} = 1$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,65 \cdot 0,188 = 0,123 \text{ N / mm} \leq f_{t,90,g,d} = 0,29 \text{ N / mm}$$

VYHOVUJE

Využití průřezu je 42%.



Obrázek 6.4 Rozmístění závitových tyčí - řešení B.1

B.2) Zesílení závitovými tyčemi na zesíleném průřezu oblouku (200 x1800 mm):

Je navrženo, aby byl nosník opatřen zesílením, které může přenést celou tahovou sílu kolmo k vláknům.

Síla na jednotku délky:

$$F_{t,90,d} = \sigma_{t,90,d} \cdot b$$

$$F_{t,90,d} = 0,26 \cdot 200 = 52,0 \text{ N / mm}$$

Modul pružnosti kolmo k vláknům je $E_{90,g,mean} = 420 \text{ N / mm}^2$. Na základě tohoto vychází tuhost na jednotku délky $420 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 84,0 \text{ kN / mm}$.

Délka oblasti namáhané tahem kolmo k vláknům

$$l_t = \frac{4 \cdot r_{in} \cdot \pi \cdot \beta}{360^\circ} = \frac{4 \cdot 7,04 \cdot \pi \cdot 53}{360} = 13 \text{ m}$$

zvoleno: $a_1 = 500 \text{ mm}$

NÁVRH: závitové tyče M16 podle DIN 975 po 500 mm

Pevnostní třída 4.6, ocel S235

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_M = 1,1$$

Za předpokladu napětí na mezi kluzu 235 N/mm^2 vychází návrhová pevnost:

$$\frac{157 \cdot 235}{1,1 \cdot 500} = 66,23 \text{ N / mm} \geq F_{t,90,d} = 52,0 \text{ N / mm}$$

S hodnotou $E = 210 \text{ kN/mm}^2$ vychází tuhost na jednotku délky hodnotou:

$$\frac{157 \cdot 210}{500} = 65,1 \text{ kN / mm}$$

a napětí dřeva v tahu kolmo k vláknům se redukuje součinitelem

$$\frac{84,0}{84,0 + 65,1} = 0,56$$

Posouzení:

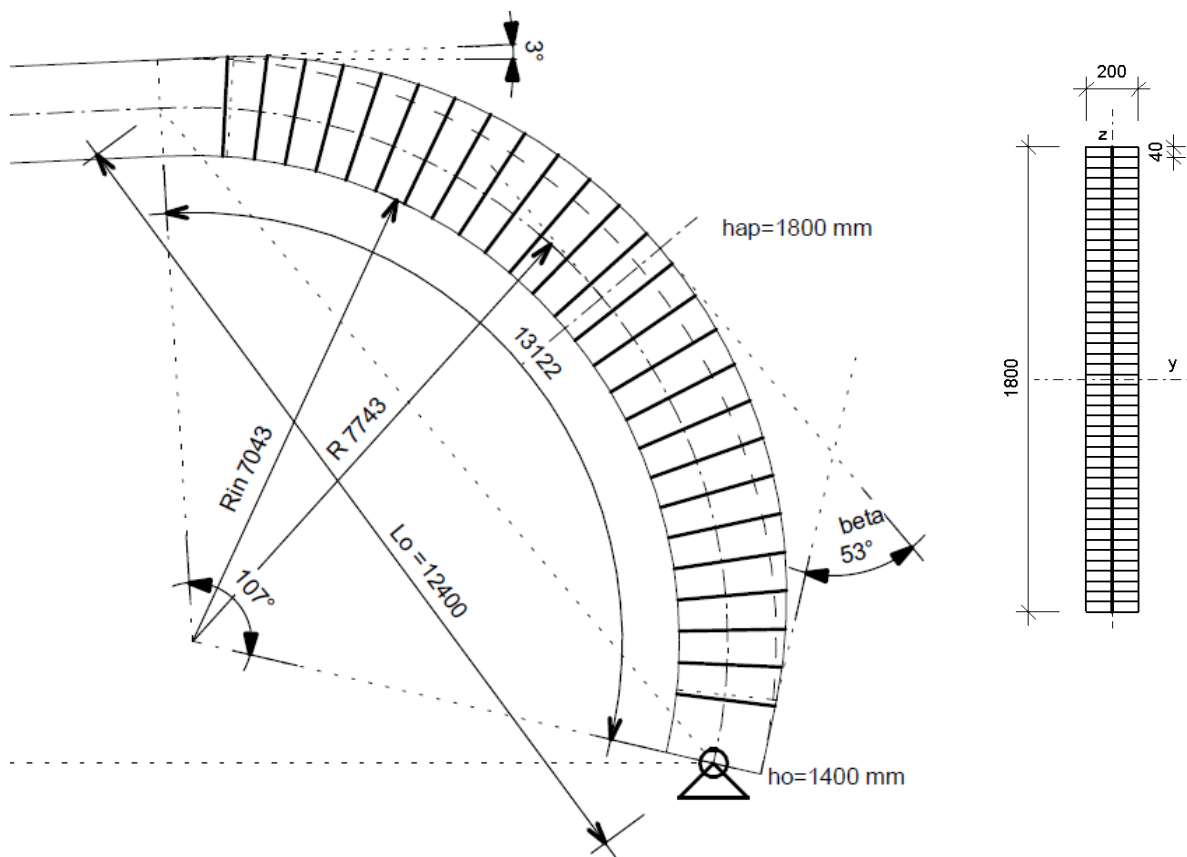
Při předpokladu přenosu celé tahové síly kolmo k vláknům zesílení lze zanedbat vliv

objemu a rozdělení napětí, tj. $k_{dis} (V_0 / V)^{0,2} = 1$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,56 \cdot 0,26 = 0,15 \text{ N / mm} \leq f_{t,90,g,d} = 0,29 \text{ N / mm}$$

VYHOVUJE

Využití průřezu je 52%.



Obrázek 6.5 Rozmístění závitových tyčí - řešení B.2

B.3) Zesílení závitovými tyčemi na zesíleném průřezu oblouku (200 x1800 mm) s větším rozestupem:

Síla na jednotku délky:

$$F_{t,90,d} = \sigma_{t,90,d} \cdot b$$

$$F_{t,90,d} = 0,26 \cdot 200 = 52,0 N / mm$$

Modul pružnosti kolmo k vláknům je $E_{90,g,mean} = 420 N / mm^2$. Na základě tohoto vychází tuhost na jednotku délky $420 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 84,0 kN / mm$.

Délka oblasti namáhané tahem kolmo k vláknům

$$l_t = \frac{4 \cdot r_{in} \cdot \pi \cdot \beta}{360^\circ} = \frac{4 \cdot 7,04 \cdot \pi \cdot 53}{360} = 13 m$$

zvoleno: $a_1 = 1000 mm$

NÁVRH: závitové tyče M20 podle DIN 975 po 1000 mm

Pevnostní třída 4.6, ocel S235

$$A_s = 245 mm^2$$

$$\gamma_M = 1,1$$

Za předpokladu napětí na mezi kluzu $235 N/mm^2$ vychází návrhová pevnost:

$$\frac{245 \cdot 235}{1,1 \cdot 1000} = 52,34 N / mm \geq F_{t,90,d} = 52,0 N / mm$$

S hodnotou $E = 210 kN/mm^2$ vychází tuhost na jednotku délky hodnotou:

$$\frac{245 \cdot 210}{1000} = 51,45 kN / mm$$

a napětí dřeva v tahu kolmo k vláknům se redukuje součinitelem

$$\frac{84,0}{84,0 + 51,45} = 0,62$$

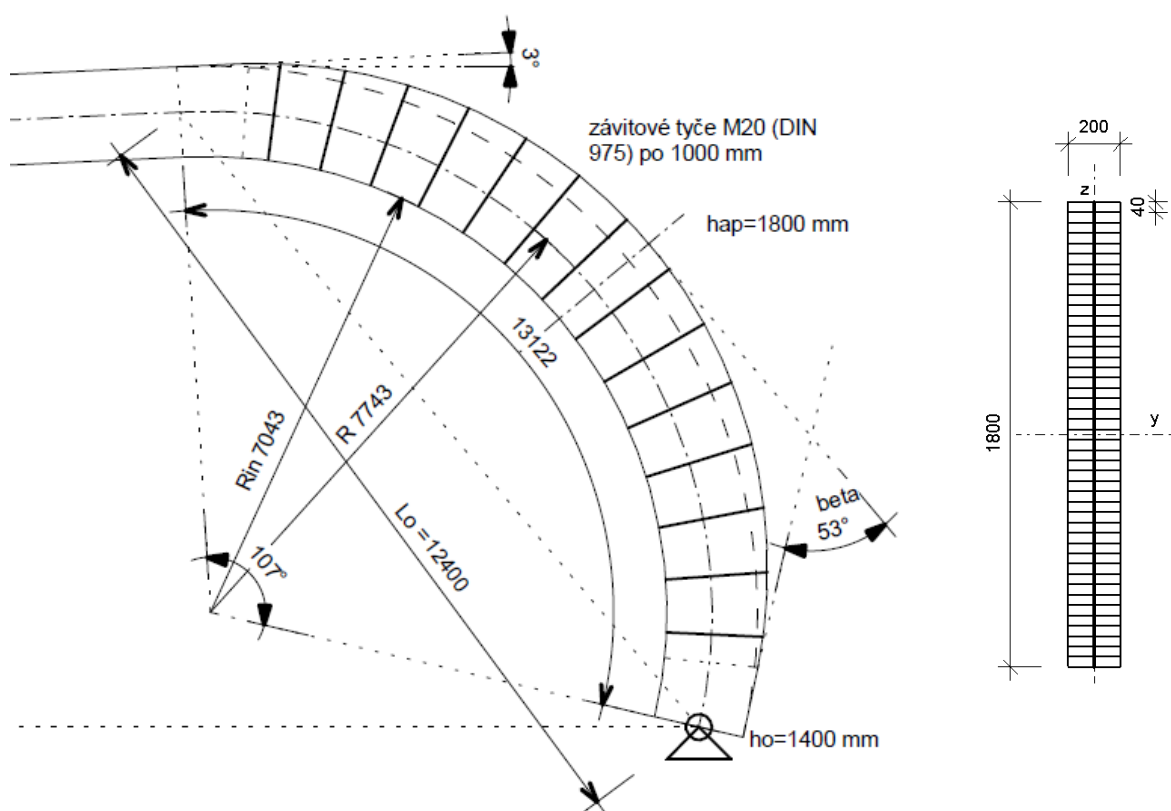
Posouzení:

Při předpokladu přenosu celé tahové síly kolmo k vláknům zesílení lze zanedbat vliv objemu a rozdělení napětí, tj. $k_{dis} (V_0 / V)^{0,2} = 1$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,62 \cdot 0,26 = 0,16 \text{ N/mm} \leq f_{t,90,g,d} = 0,29 \text{ N/mm}$$

VYHOVUJE

Využití průřezu je 56%.



Obrázek 6.6 Rozmístění závitových tyčí - řešení B.3

B.4) Zesílení závitovými tyčemi na původním průřezu (200x1400 mm):

Síla na jednotku délky:

$$F_{t,90,d} = \sigma_{t,90,d} \cdot b$$

$$F_{t,90,d} = 0,34 \cdot 200 = 68,0 \text{ N/mm}$$

Modul pružnosti kolmo k vláknům je $E_{90,g,mean} = 420 \text{ N/mm}^2$. Na základě tohoto vychází tuhost na jednotku délky $420 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 84,0 \text{ kN/mm}$.

Délka oblasti namáhané tahem kolmo k vláknům

$$l_t = \frac{4 \cdot r_{in} \cdot \pi \cdot \beta}{360^\circ} = \frac{4 \cdot 7,04 \cdot \pi \cdot 53}{360} = 13 \text{ m}$$

zvoleno: $a_1 = 500 \text{ mm}$

NÁVRH: závitové tyče M18 podle DIN 975 po 500 mm

Pevnostní třída 4.6, ocel S235

$$A_s = 192 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_M = 1,1$$

Za předpokladu napětí na mezi kluzu 235 N/mm^2 vychází návrhová pevnost:

$$\frac{192 \cdot 235}{1,1 \cdot 500} = 82,04 \text{ N/mm} \geq F_{t,90,d} = 68,0 \text{ N/mm}$$

S hodnotou $E = 210 \text{ kN/mm}^2$ vychází tuhost na jednotku délky hodnotou:

$$\frac{192 \cdot 210}{500} = 80,64 \text{ kN/mm}$$

a napětí dřeva v tahu kolmo k vláknům se redukuje součinitelem

$$\frac{84,0}{84,0 + 80,64} = 0,51$$

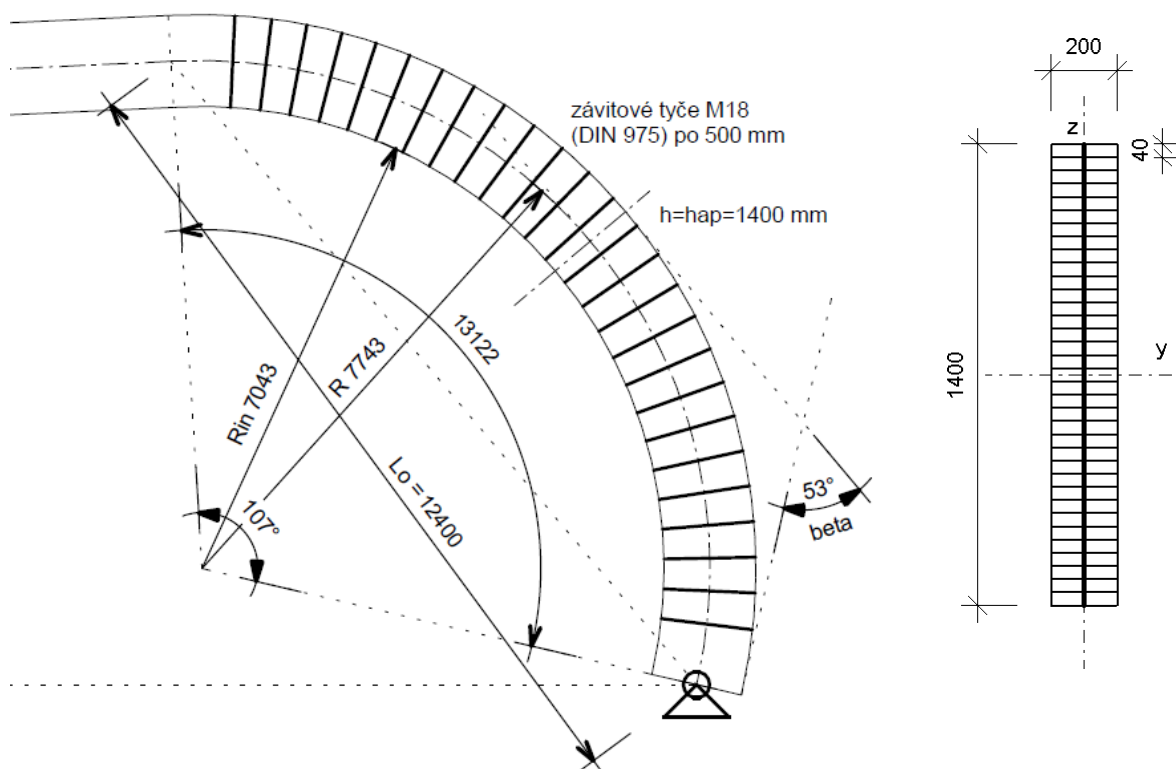
Posouzení:

Při předpokladu přenosu celé tahové síly kolmo k vláknům zesílení lze zanedbat vliv objemu a rozdělení napětí, tj. $k_{dis} (V_0 / V)^{0,2} = 1$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,51 \cdot 0,34 = 0,17 \text{ N/mm} \leq f_{t,90,g,d} = 0,29 \text{ N/mm}$$

VYHOVUJE

Využití průřezu je 59%.



Obrázek 6.7 Rozmístění závitových tyčí - řešení B.4

C) Zesílení pomocí skelných vláken:

C.1) Na rozšířeném průřezu (200x1800 mm):

Zesílení na obou stranách nosníku z pásů 200 g/m^2 s usměrněnými skleněnými vlákny. Střední úhel mezi silou a směrem skleněných vláken je menší než 5° a jeho vliv na pevnost a tuhost je nepatrný.

Tuhost na jednotku délky:

$$(tE_g)_0 = 4.3000.10^{-3} = 12,0 \text{ kN/mm}$$

Návrhová pevnost je vyhovující, protože

$$F_{t,90,d} = 0,26.200 = 52,0 \text{ N/mm} \leq F_{g,d} = 100 \text{ N/mm}$$

$$F_{g,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4.60/1,1 = 218 \text{ N/mm} \\ \frac{2}{1,3} \sqrt{12000.0,35} \sqrt{1 + \frac{12000}{165400}} = 100 \text{ N/mm} \end{array} \right.$$

Napětí dřeva v tahu kolmo k vláknům je redukováno součinitelem

$$84,0/(84,0 + 12,0) = 0,88$$

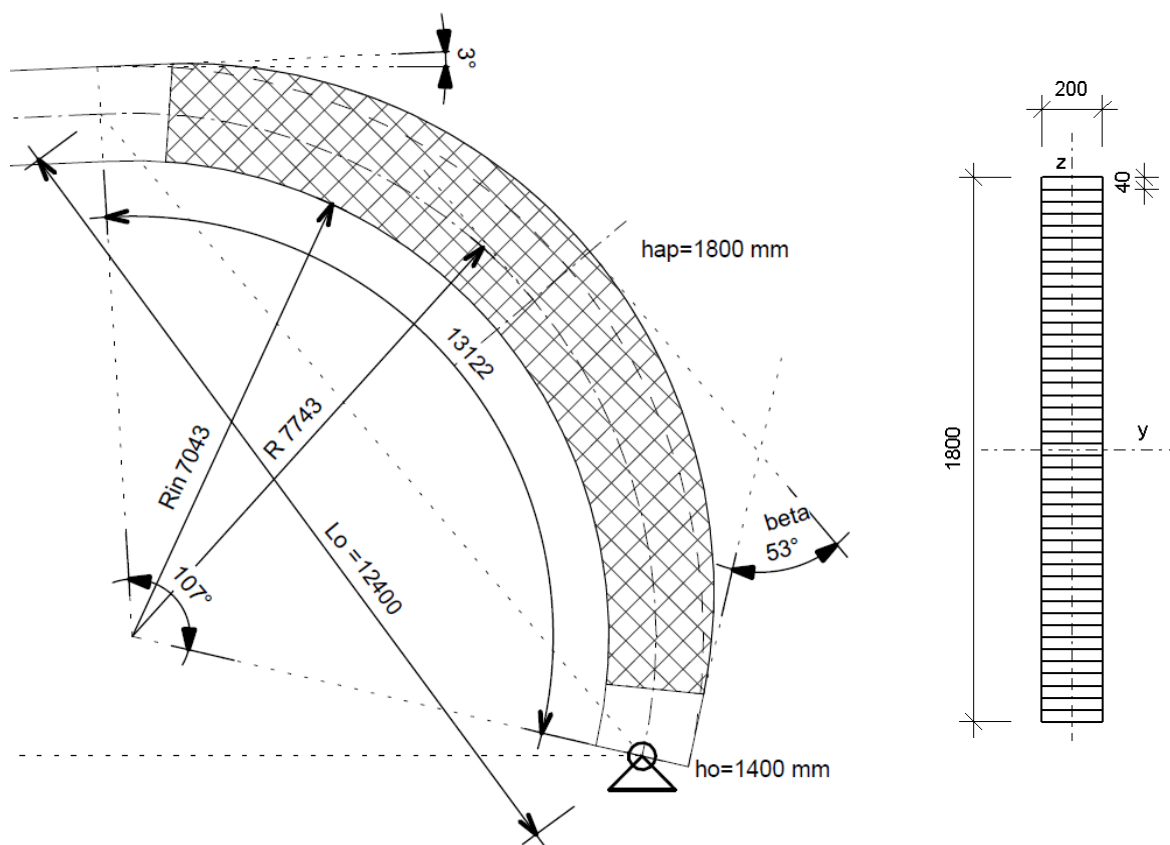
Posouzení:

Při předpokladu přenosu celé tahové síly kolmo k vláknům zesílením lze zanedbat vliv objemu a rozdělení napětí, tj. $k_{dis} (V_0/V)^{0,2} = 1$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,88.0,26 = 0,23 \text{ N/mm} \leq f_{t,90,g,d} = 0,29 \text{ N/mm}$$

VYHOVUJE

Využití průřezu je 79%.



Obrázek 6.8 Schéma zesílení průřezu pomocí skelných vláken

6.1.2.2 Porovnání variant zesílení na tah kolmo k vláknům

Varianta řešení	Popis	Schéma	Profil	Využití průřezu na tah kolmo k vláknům	
				Před zesílením [%]	Po zesílení [%]
A.1) Zesílení ve vrcholu oblouku na 200x1800 mm	Zesílení profilu oblouku; hap=1800 mm			253%	200%
A.2) Rozšíření profilu bočnicemi na 360x1400 mm	Úprava šířky profilu pomocí nalepených bočnic 2x80 mm			253%	157%
B.1) Zesílení závitovými tyčemi na rozšířeném průřezu (360x1400mm)	Zesílení vlepěnými závitovými tyčemi Ø18 po 500mm u průřezu 360x1400mm (var. A.2)			157%	42%
B.2) Zesílení závitovými tyčemi na zesíleném průřezu oblouku (200x1800mm)	Zesílení vlepěnými závitovými tyčemi Ø16 M16 podle DIN 975 po 500mm u průřezu 200x1800mm (var. A.1)			200%	52%

Tabulka 6.1 Varianty zesílení na tah kolmo k vláknům (1/2)

Varianta řešení	Popis	Schéma	Profil	Využití průřezu na tah kolmo k vláknům	
				Před zesílením [%]	Po zesílení [%]
B.3) Zesílení závitovými tyčemi na zesíleném průřezu oblouku (200 x 1800mm) s větším rozstupem	Zesílení vlepenými závitovými tyčemi Ø20 M20 podle DIN 975 po 1000 mm u průřezu 200x1800 mm (var. A.1)			200%	56%
B.4) Zesílení závitovými tyčemi na původním průřezu (200x1400mm)	Zesílení vlepenými závitovými tyčemi Ø18 M18 podle DIN 975 po 500 mm u průřezu 200x1400 mm			253%	59%
C.1) Zesílení skelnými vlákny na rozšířeném průřezu (200x1800 mm)	Zesílení nalepenými pásy 200g/m ² s usměrněnými skleněnými vlákny na profilu 200x1800mm			200%	79%

Tabulka 6.2 Varianty zesílení na tah kolmo k vláknům (2/2)

Dle předpokladu nastal největší problém při posouzení na tah kolmo k vláknům ve vrcholové části zakřiveného průřezu.

U varianty A1 a A2 bylo provedeno zesílení průřezu. Varianta A1 zvyšuje výšku průřezu ve vrcholu h_{ap} na 1800 mm. U varianty A2 došlo k zesílení pomocí bočních nalepených příložek z LLD v tloušťce 80 mm. Zesilování průřezu v případě velké křivosti oblouku se neukázalo jako příliš efektivní, avšak alespoň znatelně snížilo velikost namáhání. Je však nutné zvětšený profil dále zesílit pomocí jiných metod.

Nejlepším řešením se zdá být zachycení těchto sil pomocí závitových tyčí, jak bylo provedeno u variant B1-B4. Navrženy byly závitové tyče rozestupů 500 a 1000 mm a průřezů M16, M18 a M20. Toto řešení vyhovělo jako doplněk u zesíleného průřezu nosníku, ale také u původního konstantního průřezu, ve všech případech.

Jedno posouzení bylo také provedeno pro zesílení pomocí rohoží ze skelných vláken. Toto řešení v posudku na tah kolmo k vláknům také s rezervou vyhovělo, avšak dosáhlo horšího výsledku než u použití závitových tyčí.

6.1.2.3 Závěr dimenzování na tah kolmo k vláknům

Nejvhodnější varianta úpravy nosníku v obloukové části z důvodu namáhání na tah kolmo k vláknům se jeví kombinace varianty **A1/B3**.

Zvětšení profilu nosníku pomocí zvýšení výšky ve vrcholu h_{ap} bude technologicky méně náročné než rozšiřování profilu nalepovanými bočnicemi a také úspornější na spotřebu materiálu.

U doplňkového zesílení bylo zvoleno zesílení pomocí závitových tyčí. Rohože ze skelných vláken by narušovaly architektonický vzhled nosníků. Rozestup tyčí byl zvolen větší (1000 mm) z důvodu menší technologické náročnosti provedení a menšího oslabování průřezu vazníku.

Zvolena varianta: A1/B3 - Zesílení závitovými tyčemi M20 po 1000 mm na zvýšeném průřezu oblouku 200 x 1800 mm

Pozn.: Lze předpokládat, že pokud vyhoví slabší průřez na další typy namáhání, musel by vyhovět také průřez zesílený. Vnesení nekonstantního průřezu do výpočtu by přineslo riziko vnesení chyby z důvodu příliš komplikovaného výpočtu na takto netypické konstrukci. Proto bude nosník na další typy namáhání posouzen stále jako konstantního průřezu.

6.1.3 Smyk za ohybu

Musí být splněna podmínka:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,g,d}} \leq 1,0$$

Návrhová smyková síla (výstup z programu Scia)

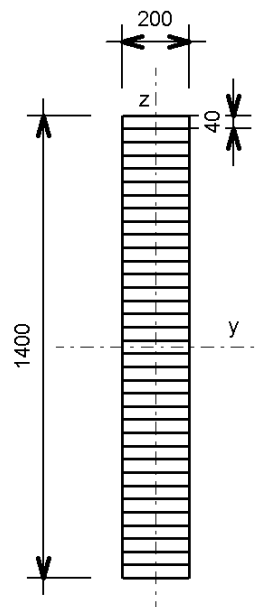
$$V_{z,d,1} = 170,47 \text{ kN}$$

$$V_{z,d,2} = 182,47 \text{ kN}$$

Návrhové smykové napětí

$$\tau_{v,d,1} = \frac{3 V_{z,d}}{2 b \cdot h} = \frac{3 \cdot 170,47 \cdot 10^3}{2 \cdot 200 \cdot 1400} = 0,913 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{v,d,2} = \frac{3 V_{z,d}}{2 b \cdot h} = \frac{3 \cdot 180,47 \cdot 10^3}{2 \cdot 200 \cdot 1400} = 0,967 \text{ N/mm}^2$$



Posouzení:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,g,d}} = \frac{0,967}{2,3} = 0,42 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

Využití průřezu je 42%.

6.1.4 Tlak kolmo k vláknům

a) Posouzení v napojení vzpěry

Posouzení na tlak kolmo k vláknům je nutné v místě podepření vzpěrou.

Úhel mezi vzpěrou a lepeným nosníkem se je $\alpha = 60^\circ$. Síla se bude přenášet pod tímto úhlem, proto je nutné přepočítat únosnost.

$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{k_{c,\alpha} \cdot f_{c,\alpha,d}} \leq 1$$

Únosnost v tlaku po úhlem $\alpha = 60^\circ$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\sqrt{\left(\frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{c,0,d}}{1,4 \cdot 1,5 \cdot f_{v,d}} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha\right)^2 + \cos^4 \alpha}}$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{16,96}{\sqrt{\left(\frac{16,96}{2 \cdot 1,92} \cdot \sin^2 60\right)^2 + \left(\frac{16,96}{1,4 \cdot 1,5 \cdot 2,05} \cdot \sin 60^\circ \cdot \cos 60^\circ\right)^2 + \cos^4 60^\circ}} = 4,54 \text{ N/mm}^2$$

Návrhová síla od vzpěry (výstup z programu Scia)

$$F_{c,\alpha,d} = 383,30 \text{ kN}$$

$$k_{c,\alpha} = 1,0$$

Výpočet délky podpory

$$l_{podpory} \geq \frac{F_{c,\alpha,d}}{k_{c,\alpha} \cdot f_{c,\alpha,d} \cdot b} = \frac{383,30 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 4,54 \cdot 200} = 422 \text{ mm}$$

NÁVRH: $l_{podpory} = 500 \text{ mm}$

Výpočet návrhového napětí

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F_{c,\alpha,d}}{b \cdot l} = \frac{383,3 \cdot 10^3}{200 \cdot 500} = 3,83 \text{ N/mm}^2$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{k_{c,\alpha} \cdot f_{c,\alpha,d}} = \frac{3,83}{1,0 \cdot 4,54} = 0,84 \leq 1$$

VYHOVUJE

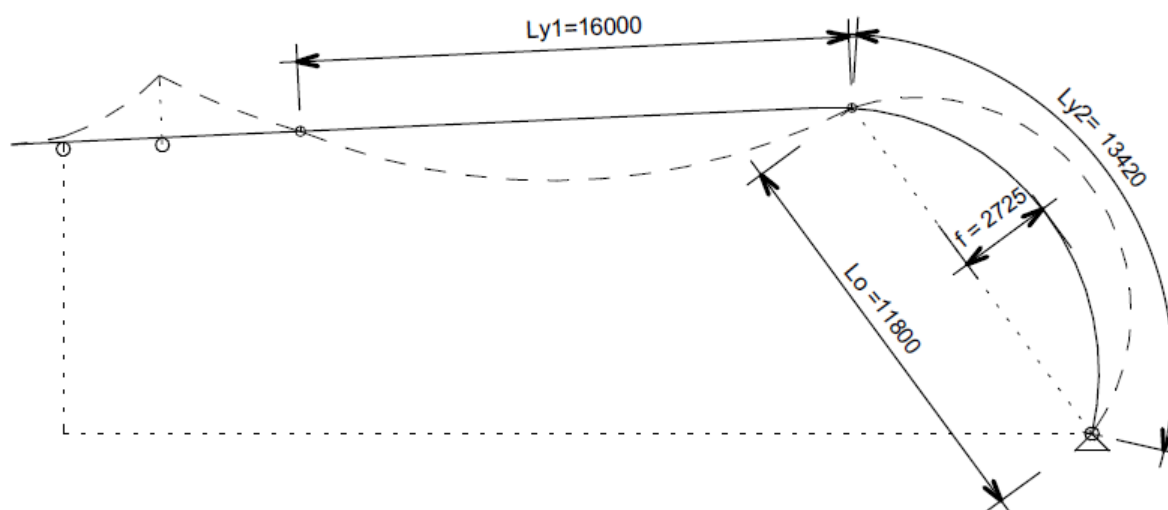
Využití průřezu je 84%.

6.1.5 Posudek na vzpěrnou pevnost

Pro posudek na vzpěrnou pevnost musíme určit vzpěrné délky. Využijeme předpokladu, že složité konstrukce můžeme stabilně vyšetřovat jako imperfektní prostý nosník. Vzpěrné délky určíme jako vzdálenost inflexních bodů vlastního tvaru vybočení (míst s nulovým momentem).

Protože inflexní body mění svoji polohu na prutu v závislosti na vybrané zatěžovací kombinaci, určíme jejich polohu jako průměrnou z obálky zatěžovacích stavů MSÚ. Pro výpočet vybočení v rovině lepeného nosníku postačí dvě nejdelší vzpěrné délky L_y – v přímé části nosníku a zakřivená oblouková část.

Pro výpočet vzpěru ve vybočení z roviny vazníku bude vzpěrná délka rovna vzdálenosti prvků podélného ztužení - $L_z = 4000 \text{ mm}$.



Obrázek 6.9 Schéma vzpěrných délek v rovině nosníku

6.1.5.1 Posouzení přímé části vazníku

a) Kombinace vzpěru a ohybu v rovině vazníku

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0$$

$$k_m = 0,7 \quad (\text{součinitel redistribuce napětí- obdélníkový průřez})$$

$$L_{y1} = 16,0m$$

$$\beta = 1,0 \quad (\text{součinitel vzpěrné délky})$$

$$L_{cr,y} = \beta \cdot L_y = 1,0 \cdot 16,0 = 16,0m$$

Kritická štíhlost

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{16,0}{0,404} = 39,6$$

$$i_y = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{1400}{\sqrt{12}} = 404mm$$

Poměrná štíhlost

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{26,5}{64,2}} = 0,642$$

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 \frac{E_{0,05}}{\lambda^2} = \pi^2 \frac{10200}{39,6^2} = 64,20MPa$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\beta_c = 0,1 \quad (\text{lepené lamelové dřevo})$$

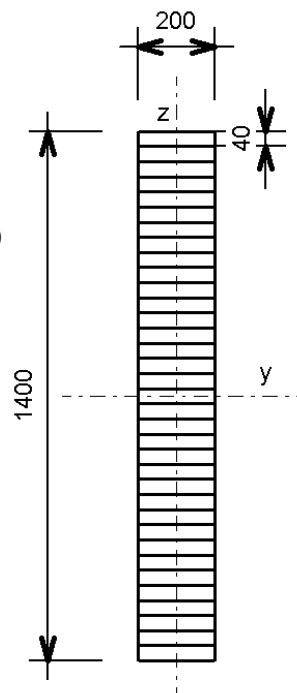
$$k = 0,5 \left[1 + \beta_c (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2 \right]$$

$$k = 0,5 \left[1 + 0,1(0,642 - 0,3) + 0,642^2 \right] = 0,723$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{0,723 + \sqrt{0,723^2 - 0,642^2}} = 0,947$$

Návrhové napětí za tlaku

$$N_{Ed} = 124,33kN \quad (\text{návrhová osová síla})$$



$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{124,33 \cdot 10^3}{200 \cdot 1400} = 0,444 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí za ohybu

$$M_{y,Ed} = 485,57 \text{ kN.m} \quad (\text{návrhové zatížení momentem})$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{M_{y,Ed}}{\frac{1}{6}bh^2} = \frac{485,57 \cdot 10^3}{\frac{1}{6} \cdot 200 \cdot 1400^2} = 7,43 \text{ N/mm}^2$$

Posouzení:

Ohybové namáhání ve směru z je možné zanedbat z důvodu téměř nulových momentových sil ve směru z.

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,444}{0,946 \cdot 16,3} + \frac{7,43}{17,2} = 0,46 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

Využití průřezu je 46%.

b) Kombinace vzpěru z roviny vazníku a ohybu

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0$$

$$k_m = 0,7 \quad (\text{obdélníkový průřez})$$

$$\beta = 1,0 \quad (\text{součinitel vzpěrné délky})$$

$$L_{cr,z} = 4,0 \text{ m}$$

Kritická štíhlost

$$\lambda = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{4,0}{0,0577} = 69,3$$

$$i_z = \frac{b}{\sqrt{12}} = \frac{200}{\sqrt{12}} = 57,74 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = 69,3$$

Poměrná štíhlost

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{26,5}{20,96}} = 1,12 = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{69,3}{\pi} \sqrt{\frac{26,5}{10200}} = 1,12$$

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 \frac{E_{0,05}}{\lambda^2} = \pi^2 \frac{10200}{69,3^2} = 20,96 \text{ MPa}$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\beta_c = 0,1 \quad (\text{lepené lamelové dřevo})$$

$$k = 0,5 \left[1 + \beta_c (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2 \right]$$

$$k = 0,5 \left[1 + 0,1(1,12 - 0,3) + 1,12^2 \right] = 1,168$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{1,168 + \sqrt{1,168^2 - 1,12^2}} = 0,667$$

Návrhové napětí za tlaku

$$N_{Ed} = 124,33 \text{ kN} \quad (\text{návrhová osová síla})$$

$$\sigma_{c,0,d} = 0,444 \text{ N/mm}^2$$

Návrhové napětí za ohybu

$$M_{y,Ed} = 485,57 \text{ kN.m} \quad (\text{návrhové zatížení momentem})$$

$$\sigma_{m,y,d} = 7,43 \text{ N/mm}^2$$

Posouzení:

Ohybové namáhání ve směru z je možné zanedbat z důvodu téměř nulových momentových sil ve směru z.

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,444}{0,667 \cdot 16,3} + 0,7 \frac{7,43}{1,0 \cdot 17,2} = 0,34 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

Využití průřezu je 34%.

6.1.5.2 Posouzení obloukové části nosníku

a) Kombinace vzpěru a ohybu v rovině vazníku

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0$$

$$k_m = 0,7 \quad (\text{obdélníkový průřez})$$

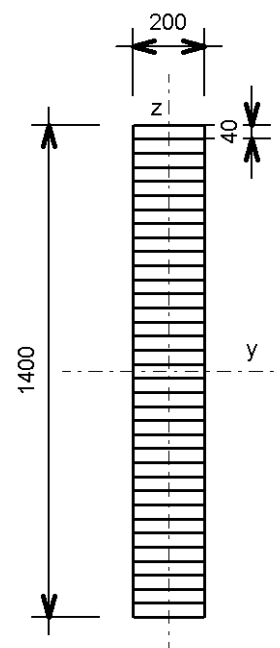
$$L_{y1} = 13,42m$$

$$\frac{f}{L_o} = \frac{2,73}{11,8} = 0,23$$

$$\Rightarrow \beta_y = 1,26 \quad (\text{součinitel vzpěrné délky})$$

Určeno dle tabulky součinitele β pro oblouk.

$$L_{cr,y} = \beta \cdot L_y = 1,26 \cdot 13,42 = 16,91m$$



Kritická štíhlost

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{16,91}{0,404} = 41,86$$

$$i_y = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{1400}{\sqrt{12}} = 404mm$$

Poměrná štíhlost

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{26,5}{57,45}} = 0,679$$

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 \frac{E_{0,05}}{\lambda^2} = \pi^2 \frac{10200}{41,86^2} = 57,45MPa$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\beta_c = 0,1 \quad (\text{lepené lamelové dřevo})$$

$$k = 0,5 \left[1 + \beta_c (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2 \right]$$

$$k = 0,5 \left[1 + 0,1(0,679 - 0,3) + 0,679^2 \right] = 0,749$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{0,749 + \sqrt{0,749^2 - 0,679^2}} = 0,938$$

Návrhové napětí za tlaku

$$N_{Ed} = 266,63kN \quad (\text{návrhová osová síla})$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{266,63 \cdot 10^3}{200 \cdot 1400} = 0,952MPa$$

Návrhové napětí za ohybu

$$M_{y,Ed} = 490,24kN \cdot m \quad (\text{návrhové zatížení momentem})$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{M_{y,Ed}}{\frac{1}{6}bh^2} = \frac{490,24 \cdot 10^3}{\frac{1}{6} \cdot 200 \cdot 1400^2} = 7,50N / mm^2$$

Posouzení:

Ohybové namáhání ve směru z je možné zanedbat z důvodu téměř nulových momentových sil ve směru z.

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,952}{0,938 \cdot 16,96} + \frac{7,50}{17,92} = 0,48 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

Využití průřezu je 48%.

b) Kombinace vzpěru z roviny vazníku a ohybu

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0$$

$$k_m = 0,7 \quad (\text{obdélníkový průřez})$$

$$\beta = 1,0 \quad (\text{součinitel vzpěrné délky})$$

$$L_{cr,z} = 4,0m$$

Kritická štíhlost

$$\lambda = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{4,0}{0,0577} = 69,3$$

$$i_z = \frac{b}{\sqrt{12}} = \frac{200}{\sqrt{12}} = 57,74mm$$

$$\lambda_z = 69,3$$

Poměrná štíhlost

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{26,5}{20,96}} = 1,12 = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{69,3}{\pi} \sqrt{\frac{26,5}{10200}} = 1,12$$

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 \frac{E_{0,05}}{\lambda^2} = \pi^2 \frac{10200}{69,3^2} = 20,96 \text{ MPa}$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\beta_c = 0,1 \quad (\text{lepené lamelové dřevo})$$

$$k = 0,5 \left[1 + \beta_c (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2 \right]$$

$$k = 0,5 \left[1 + 0,1(1,12 - 0,3) + 1,12^2 \right] = 1,168$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{1,168 + \sqrt{1,168^2 - 1,12^2}} = 0,667$$

Návrhové napětí za tlaku

$$N_{Ed} = 266,63 \text{ kN} \quad (\text{návrhová osová síla})$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{266,63 \cdot 10^3}{200 \cdot 1400} = 0,95 \text{ N/mm}^2$$

Návrhové napětí za ohybu

$$M_{y,Ed} = 490,24 \text{ kN.m} \quad (\text{návrhové zatížení momentem})$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{490,24 \cdot 10^3}{6,533 \cdot 10^7} = 7,50 \text{ N/mm}^2$$

Posouzení:

Ohybové namáhání ve směru z je možné zanedbat z důvodu téměř nulových momentových sil ve směru z.

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,95}{0,667 \cdot 16,3} + 0,7 \frac{7,5}{17,92} = 0,38 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

Využití průřezu je 38%.

6.1.6 Klopení

Napětí musí splňovat podmínku:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \leq 1,0$$

Návrhové napětí v ohybu

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{490,24 \cdot 10^3}{6,533 \cdot 10^7} = 7,50 \text{ N/mm}^2$$

Účinná délka nosníku

$$L_{ef} = 0,95 \cdot L_{crz} = 0,9 \cdot 4000 = 3800 \text{ mm}$$

Poměrná štíhlost pro ohyb

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{28}{59,82}} = 0,684$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2 E_{0,05}}{h \cdot l_{ef}} = \frac{0,78 \cdot 200^2 \cdot 10200}{1400 \cdot 3800} = 59,82 \text{ MPa}$$

Součinitel klopení (příčné a torzní stability)

$$\lambda_{rel,m} \leq 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} = \frac{7,5}{1,0 \cdot 17,92} = 0,42 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

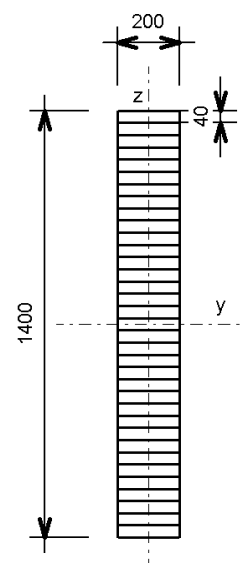
Klopení nenastane. Využití průřezu je 42%.

Kombinace klopení a tlaku:

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} = \left(\frac{7,5}{1,0 \cdot 17,92} \right)^2 + \frac{0,95}{0,667 \cdot 16,96} = 0,26 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

Využití průřezu je 26%.



6.1.7 Deformace

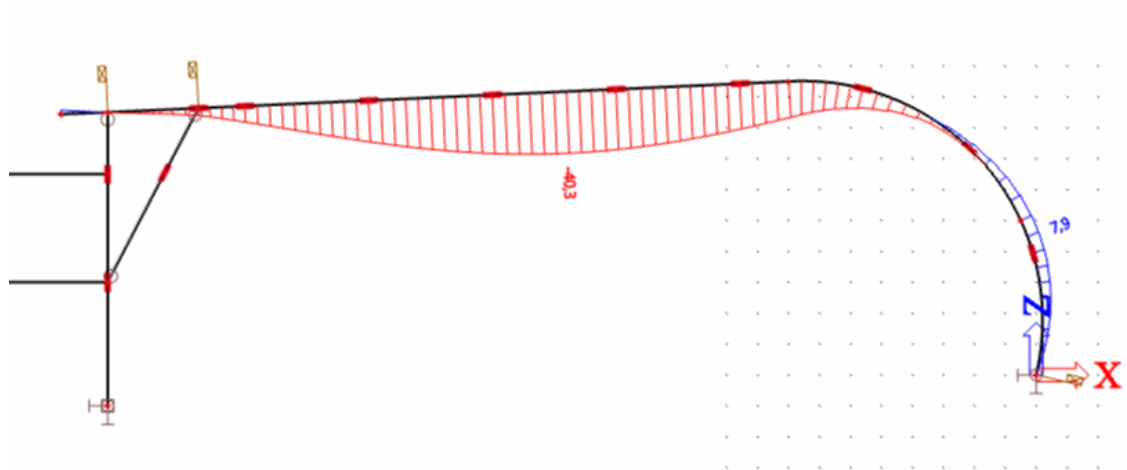
Posouzení deformací je provedeno pomocí výstupu z prutového modelu z programu Scia. Zde byla určena velikost okamžitého průhybu w_{inst} pro charakteristickou kombinaci dle EN. Pro určení konečného průhybu musíme ještě připočítat složku w_{creep} , která zohledňuje vliv dotvarování nosníku v závislosti na druhu provozu.

Deformace určené z kombinace:

EN – MSP charakteristická – Mezní stav použitelnosti

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} " + " P " + " Q_{k,1} " + " \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Výsledné hodnoty z programu Scia:



Obrázek 6.10 Hodnoty deformací na hlavním zakřiveném nosníku

Deformace na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální

Výběr : Vše

Kombinace : CO2

Průřez : CS1 - OBDEL (200; 1400)

Prvek	dx [m]	Stav	ux [mm]	uy [mm]	uz [mm]	fix [mrad]	fiy [mrad]	fiz [mrad]	Výslednice [mm]
B122	8,997	CO2/116	-6,3	0,0	-0,3	0,0	2,5	0,0	6,3
B145	14,406	CO2/130	3,2	0,1	-11,3	0,0	1,5	0,0	11,7
B14	29,998	CO2/115	-0,7	-10,8	-9,1	0,6	-1,7	0,0	14,1
B214	13,201	CO2/116	-1,3	0,7	-11,0	-0,3	2,1	0,0	11,1
B122	21,596	CO2/116	1,5	0,0	-40,3	0,0	0,1	0,0	40,4
B122	4,557	CO2/116	-2,9	-0,1	7,9	0,0	-0,3	0,0	8,5
B1	3,998	CO2/131	-0,5	-1,3	2,0	-0,3	-0,2	-0,5	2,5
B1	36,434	CO2/115	0,1	-6,4	-0,1	1,5	-0,3	0,5	6,4
B122	29,998	CO2/116	1,2	0,0	-19,0	0,0	-3,8	0,0	19,0
B122	13,201	CO2/116	-2,7	0,1	-18,4	0,0	3,7	0,0	18,6
B1	8,997	CO2/131	-1,6	-4,7	-0,1	0,1	0,6	-0,9	5,0
B14	33,918	CO2/115	-0,7	-6,6	-2,1	0,6	-1,2	1,9	7,0

Tabulka 6.3 Hodnoty deformací na hlavních nosnících (výstup scia)

$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c = w_{fin} - w_c$$

$$w_{net,fin} \leq \frac{L}{300} = \frac{28412}{300} = 94,7mm$$

$$w_c = 0 \quad (\text{nadvýšení})$$

$$w_{creep} = w_{inst} \cdot k_{def} \quad (\text{vliv dotvarování})$$

$$k_{def} = 0,8 \quad (\text{třída provozu 2})$$

$$w_{net,fin} = 40,3 + (40,3 \cdot 0,8) - 0 = 72,54mm$$

Posouzení na mezní limity deformací:

$$w_{net,fin} = w_{fin} = 72,54mm \leq 94,7mm$$

VYHOVUJE

6.2 POSOUZENÍ ČEPOVÉHO ULOŽENÍ NOSNÍKU NA ZÁKLAD

6.2.1 Dimenzování styčnickového plechu

Navržená tloušťka:

$$t_0 = 1 \text{ mm}$$

$$t_1 = 25 \text{ mm}$$

Ocel S355

Nutná tloušťka:

$$t \geq 0,7 \sqrt{\frac{F_{V,Ed} \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \sqrt{\frac{316,68 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{355}} = 20,91 \text{ mm}$$

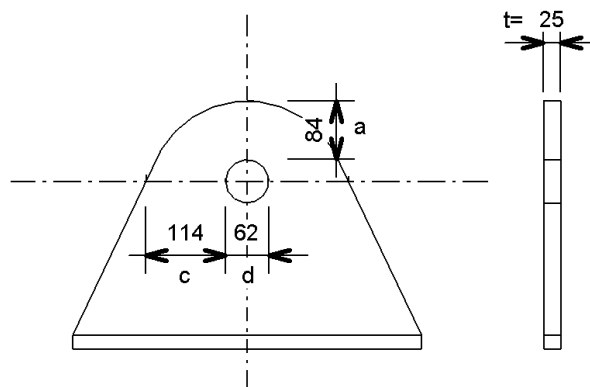
→ návrh $t = 25 \text{ mm}$

$$a \geq \frac{F_{V,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{316,68 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 25 \cdot 355} + \frac{2 \cdot 62}{3} = 59,17 \text{ mm}$$

→ návrh $a = 84 \text{ mm}$

$$c \geq \frac{F_{V,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{316,68 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 25 \cdot 355} + \frac{62}{3} = 38,51 \text{ mm}$$

→ návrh $c = 114 \text{ mm}$



6.2.2 Posouzení čepu na smyk

Návrh čepu → Ø60 mm, pevnost 5.8

Průměr čepu $d = 60 \text{ mm}$

Otvor pro čep $d_0 = 62 \text{ mm}$

Mez pevnosti čepu $f_{up} = 500 \text{ MPa}$

Mez kluzu čepu $f_{yp} = 355 \text{ MPa}$

Návrhové zatížení čepového spoje

$$R_{x,\max} = 182,31kN$$

$$R_{y,\max} = 15,03kN$$

$$R_{z,\max} = 258,94kN$$

Výslednice reakcí na čep

$$F_{v,Ed} = \sqrt{R_x^2 + R_z^2} = \sqrt{182,31^2 + 258,94^2} = 316,68kN$$

Návrhová únosnost čepu ve smyku

$$F_{V,Rd} = \frac{2,0,6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = \frac{2,0,6 \cdot \frac{\pi \cdot 60^2}{4} \cdot 510}{1,25} = 1384,3kN$$

$$F_{V,Rd} = 1384,3kN \geq F_{v,Ed} = 316,68kN$$

VYHOVUJE

6.2.3 Posouzení čepu na ohyb

Návrhová únosnost čepu v ohybu

$$M_{Ed} = \frac{F_{v,Ed}}{8} (t + 4t_0 + 2t_1)$$

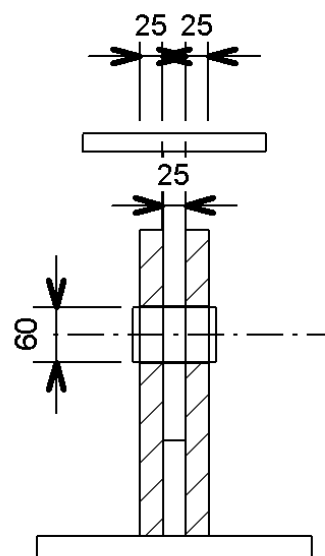
$$M_{Ed} = \frac{316,68 \cdot 10^3}{8} (25 + 4 \cdot 1 + 2 \cdot 25) = 3,127kN.m$$

Návrhový moment únosnosti

$$M_{Rd} = \frac{0,8 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,8 \cdot \frac{\pi \cdot 60^3}{32} \cdot 355}{1,0} = 6,022kN.m$$

$$M_{Rd} = 6,022kN.m \geq M_{Ed} = 3,127kN.m$$

VYHOVUJE



6.2.4 Posouzení čepu - kombinace ohybu a smyku

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}}\right)^2 \leq 1,0$$

$$\left(\frac{3,127}{6,022}\right)^2 + \left(\frac{316,68}{1384,3}\right)^2 = 0,321 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

6.2.5 Posouzení únosnosti plechu a čepu v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot d \cdot t \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 60 \cdot 25 \cdot 355}{1,0} = 798,75 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 798,75 \text{ kN} \geq F_{V,Ed} = 316,68 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

6.2.6 Posouzení betonu pod patní deskou

Návrhové síly

$$N_{Ed} = F_{V,Ed} = 316,68 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = R_{x,d} \cdot e = 182,31 \cdot 0,46 = 83,86 \text{ kN.m}$$

Kombinace maximálního tlaku a maximálního momentu

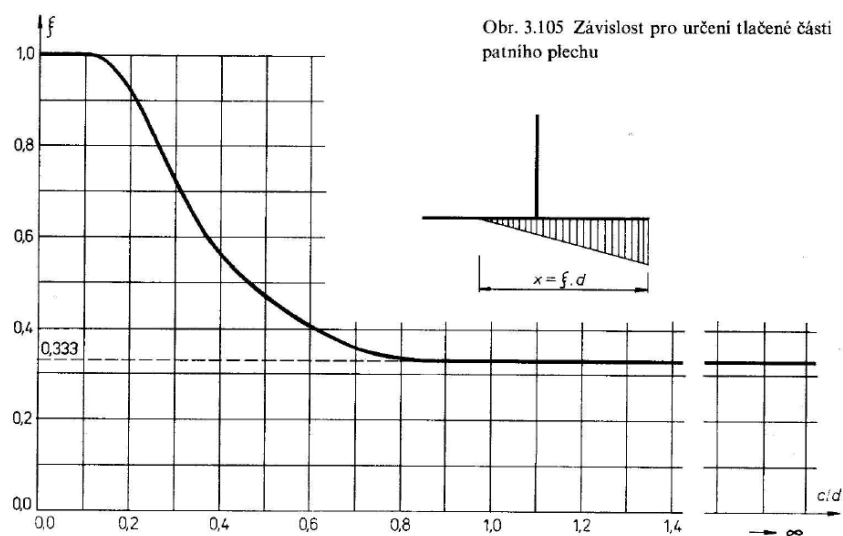
$$c = \frac{M}{N} = \frac{83,86}{316,68} = 0,26$$

Rozměry patního plechu

$$d_{ppl} = 700 \text{ mm}$$

$$b_p = 400 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{d_{ppl}} = \frac{0,26}{0,7} = 0,38 \rightarrow \xi$$



Obrázek 6.11 Graf závislosti pro určení tlačené oblasti patního plechu

ξ - určíme z grafu pro určení tlačené části patního plechu

$$\rightarrow \xi = 0,58$$

$$x = \xi \cdot d_{ppl} = 0,58 \cdot 0,7 = 0,406m$$

$$a = 50 \text{ mm}$$

$$r = d_{ppl} - a - \frac{x}{3} = 0,7 - 0,05 - \frac{0,406}{3} = 0,515m$$

$$c_0 = c + \frac{d_{ppl}}{2} - a = 0,26 + \frac{0,7}{2} - 0,05 = 0,56m$$

Výslednice tlakového obrazce

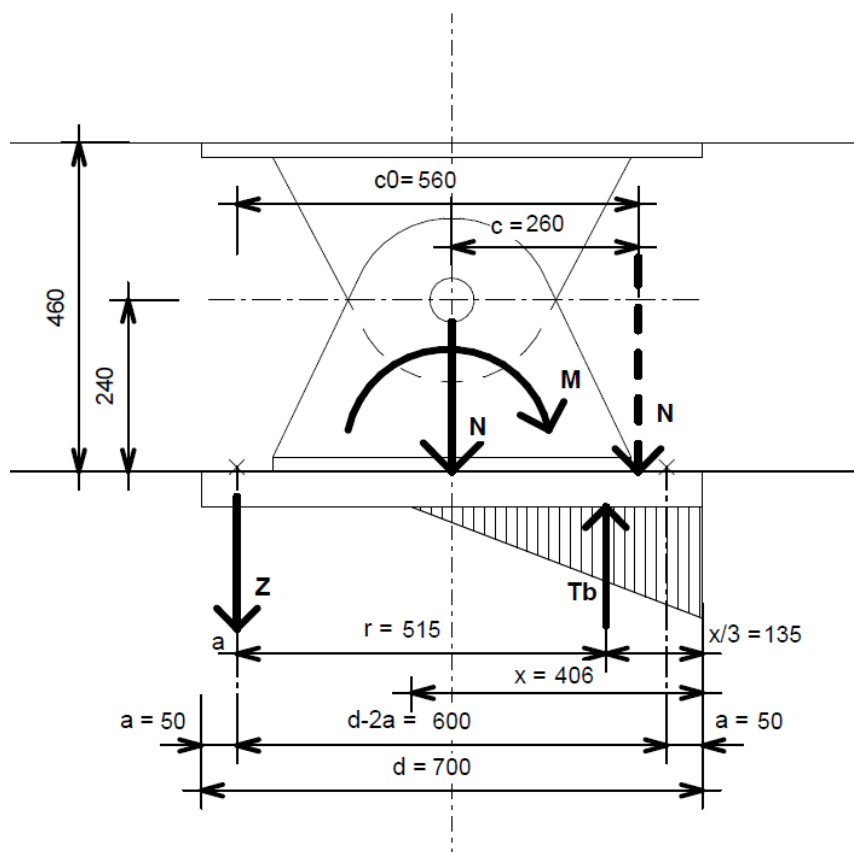
$$T_b = \frac{N \cdot c_0}{r} = \frac{316,68 \cdot 0,56}{0,515} = 344,35kN$$

$$Z = T_b - N = 344,35 - 316,68 = 27,67kN$$

Maximální normálové napětí

$$\sigma_{b,\max} = \frac{2T_b}{x \cdot b_p} \leq R_{bi}$$

$$\sigma_{b,\max} = \frac{2 \cdot 344,35 \cdot 10^3}{0,406 \cdot 0,4} = 4,24MPa$$



Obrázek 6.12 Síly působící na kotevní desku pod čepovým uložením

Návrhová pevnost betonu

C30/37

$$f_{c,k} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{c,d} = 1,0 \cdot \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

Posouzení

$$\sigma_{b,\max} = 4,24 \text{ MPa} \leq f_{c,d} = 20 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

6.2.7 Posouzení únosnosti nosníku ve smyku

$$\tau_{v,d} = \frac{3 V_{Ed}}{2 h b} = \frac{3 \cdot 182,47 \cdot 10^3}{2 \cdot 1400 \cdot 200} = 0,98 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} = \frac{0,98}{2,3} = 0,43 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

6.2.8 Přenos tlakové osové síly - dřevo - ocelová deska

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{Ed,z}}{A} = \frac{258,94 \cdot 10^3}{700 \cdot 200} = 1,85 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} = \frac{1,85}{19,08} = 0,097 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

6.2.9 Přenos posouvající síly - dřevo - boční ocelová deska

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{V_{Ed}}{A}$$

$$A = b \cdot h$$

$$h \geq \frac{V_{Ed}}{b \cdot f_{c,90,d}} = \frac{182,47 \cdot 10^3}{200 \cdot 2,16} = 422 \text{ mm}$$

→ Návrh boční deska – $h = 430 \text{ mm}$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{V_{Ed}}{b \cdot h} = \frac{182,47 \cdot 10^3}{430 \cdot 200} = 2,12 \text{ N/mm}^2 \leq f_{c,90,d} = 2,16 \text{ N/mm}^2$$

VYHOVUJE

6.2.10 Návrhová únosnost svorníků a kolíků

$$d = 24\text{mm}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 800 \cdot 24^{2,6} = 930,594 \cdot 10^3 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$t_1 = 94\text{mm}$$

$$\rho_{g,k} = 410\text{kg} / \text{m}^3$$

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 24) \cdot 410 = 25,55\text{N} / \text{mm}^2$$

Rozhodující návrhová únosnost na jednu stříhovou plochu

$$F_{v,R,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,R,k}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,R,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \end{array} \right\}$$

$$F_{v,R,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} 25,55 \cdot 94 \cdot 24 \\ 25,55 \cdot 94 \cdot 24 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 930,594 \cdot 10^3}{25,55 \cdot 94 \cdot 24^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{930,594 \cdot 10^3 \cdot 25,55 \cdot 24} \end{array} \right\}$$

$$F_{v,R,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} 57640,8\text{N} \\ 67199\text{N} \\ 54942,6\text{N} \end{array} \right\} = 54942,6\text{N}$$

$$F_{v,R,d} = k_{\text{mod}} \frac{F_{v,R,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{54942,6}{1,3} = 38037\text{N} = 38,037\text{kN}$$

$$\rightarrow \text{Dvojtřížný spoj } F_{v,R,d} = 2 \times 38,04\text{kN} = 76,08\text{kN}$$

Excentricita centra spoje od osy čepu

$$r_e = 475\text{mm}$$

Návrhové zatížení jednoho spojovacího prvku

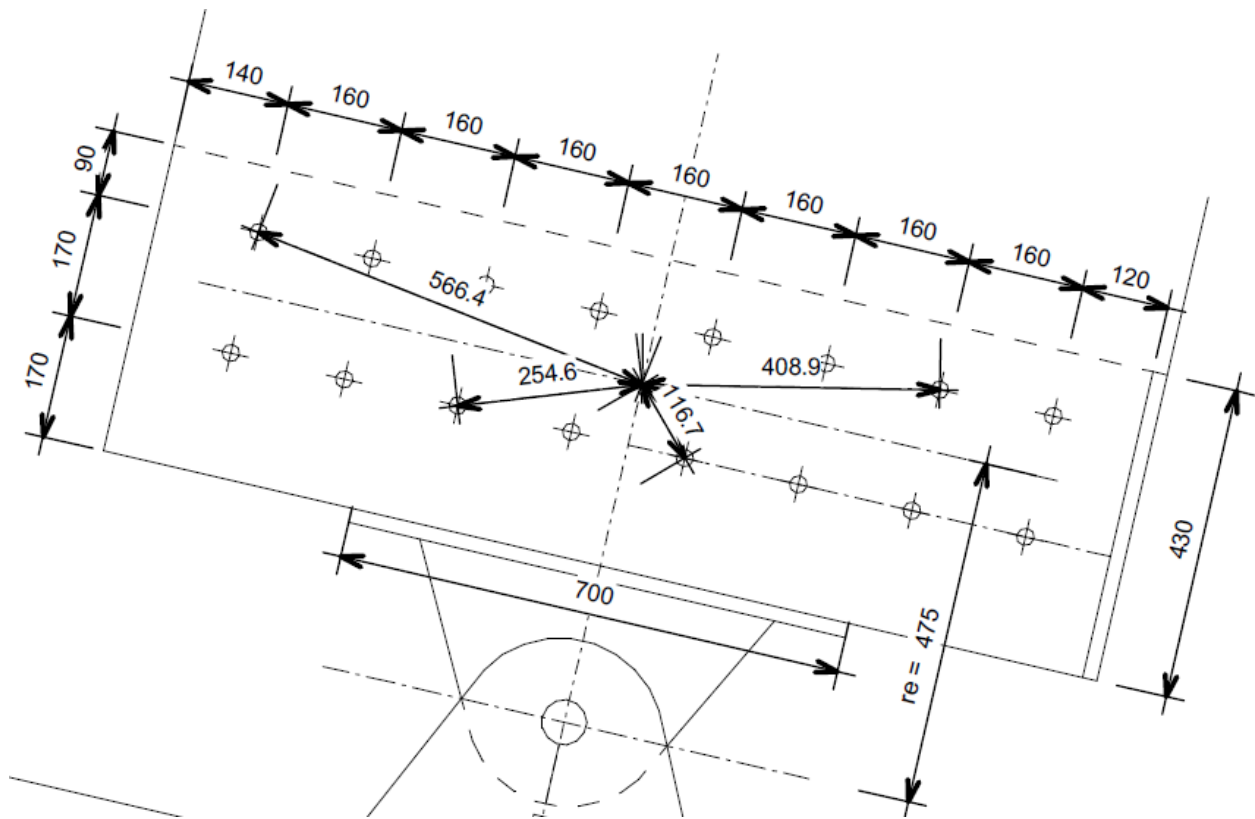
$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot r_e = 182,47 \cdot 0,475 = 86,67\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$F_{V,Ed,1} = \frac{M_{Ed} \cdot r_1}{\sum r_i^2} = \frac{86,67 \cdot 0,566}{4 \cdot (0,566^2 + 0,408^2 + 0,255^2 + 0,117^2)} = 21,68\text{kN}$$

Posouzení spojovacího prostředku

$$F_{V,Ed,1} = 21,68kN \leq F_{V,Rd} = 76,08kN$$

VYHOVUJE



Obrázek 6.13 Vzdálenosti spojovacích prvků od těžiště spoje

6.2.11 Nutné minimální vzdálenosti spojovacích prostředků

$$\alpha = 0^\circ$$

$$a_{1,t} = (4 + 3 \cos \alpha) d = 7.24 = 168 \text{ mm}$$

$$a_{2,t} = 4d = 4.24 = 96 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} = \max[7d; 80] = \max[168; 80] = 168 \text{ mm}$$

$$a_{3,c} = \max[(1 + 6 \sin \alpha) \cdot d; 4d] = \max[24; 96] = 96 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = \max[(2 + 2 \sin \alpha) \cdot d; 3d] = \max[48; 72] = 72 \text{ mm}$$

$$a_{4,c} = 3d = 3.24 = 72 \text{ mm}$$

6.2.12 Posouzení tloušťky patní desky (ocel - beton)

$$M_{Ed} = \sigma_{b,max} \cdot l \cdot \frac{l}{2} = 4,24 \cdot 163 \cdot \frac{163}{2} = 56,32 kN \cdot m$$

$$W_y = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} 1,0 \cdot 25^2 = 104,16 mm^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Rd}}{W} = \frac{56,32 \cdot 10^3}{104,16} = 540,7 MPa$$

$$\sigma_{m,d} = 540,7 MPa \leq f_{c,d} = 355 MPa$$

NEVYHOVUJE

→ Nutno zvětšit tl. desky

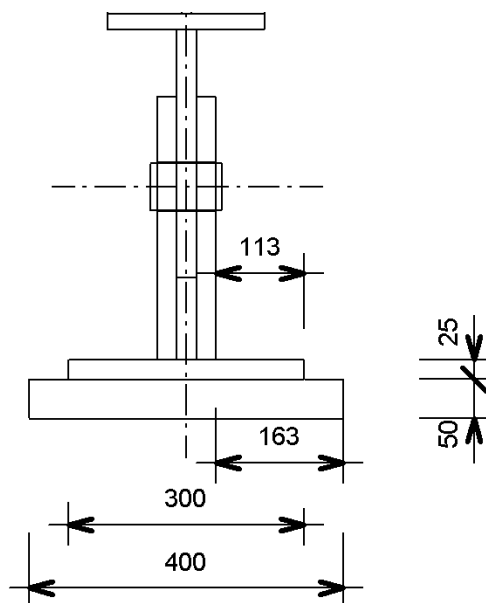
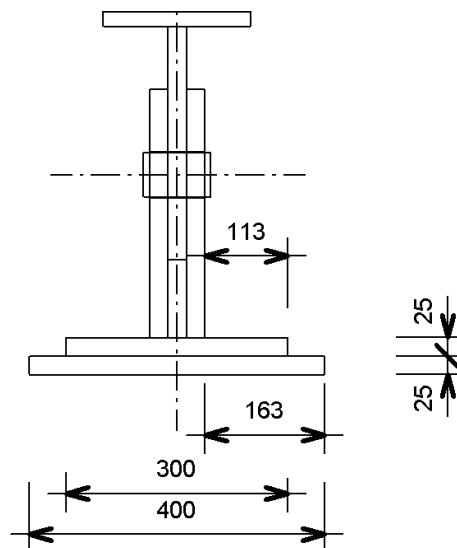
Nový návrh tloušťky – 50 mm

$$W_y = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} 1,0 \cdot 50^2 = 416,67 mm^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W} = \frac{56,32 \cdot 10^3}{416,67} = 135,17 MPa$$

$$\sigma_{m,d} = 135,17 MPa \leq f_{c,d} = 355 MPa$$

VYHOVUJE



6.2.13 Posouzení přípoje dřevěného vazníku vloženým plechem

Navrženo:

-vložený plech tl. 12 mm

-ocelové kolíky Ø24 mm

Tlak od patního plechu na oslabeném průřezu

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_c} = \frac{316,68 \cdot 10^3}{131600} = 2,41 \text{ MPa}$$

$$A_c = 94 \cdot 2 \cdot 700 = 131600 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{c,0,d} = 2,41 \text{ MPa} \leq f_{c,0,g,d} = 19,08 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

6.2.14 Posouzení patního plechu (ocel – dřevo)

Navržena tl. plechu 20 mm.

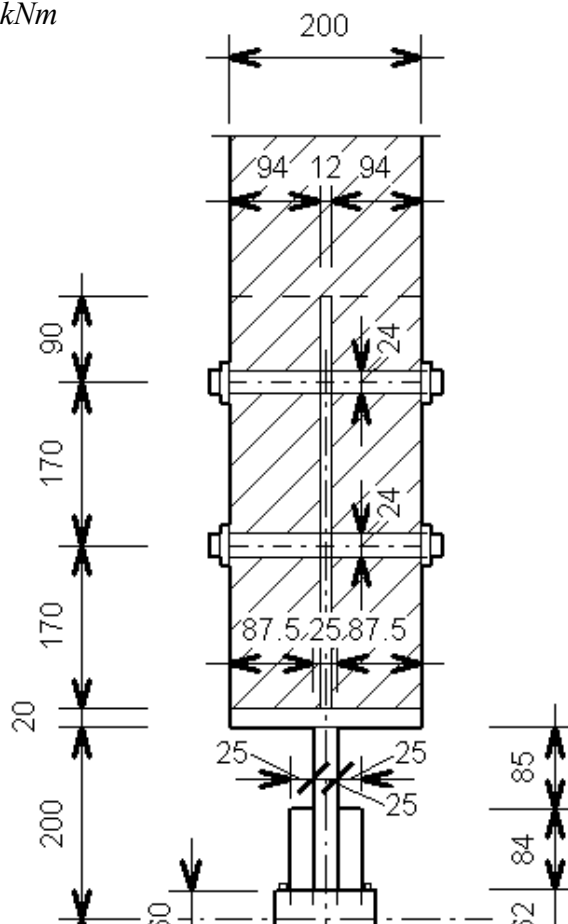
$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 1,0 \cdot 20^2 = 66,67 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = \sigma_{c,0,d} \cdot l \cdot \frac{l}{2} = 2,41 \cdot 87,5 \cdot \frac{87,5}{2} = 9,225 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Rd}}{W} = \frac{9,225 \cdot 10^3}{66,67} = 138,38 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d} = 138,38 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE



6.3 POSOUZENÍ ČEPOVÉHO SPOJE SE VZPĚROU

6.3.1 Dimenzování styčnickového plechu

Návrhové zatížení čepového spoje

$$R_{x,\max} = 177,47 \text{ kN}$$

$$R_{z,\max} = 339,74 \text{ kN}$$

Výslednice reakcí na čep

$$F_{v,Ed} = \sqrt{R_x^2 + R_z^2} = \sqrt{177,47^2 + 339,74^2} = 383,30 \text{ kN}$$

Navržená tloušťka:

$$d_0 = 62 \text{ mm}$$

$$t_0 = 1 \text{ mm}$$

$$t_1 = 25 \text{ mm}$$

Ocel S355

Nutná tloušťka:

$$t \geq 0,7 \sqrt{\frac{F_{v,Ed} \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \sqrt{\frac{383,30 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{355}} = 23 \text{ mm}$$

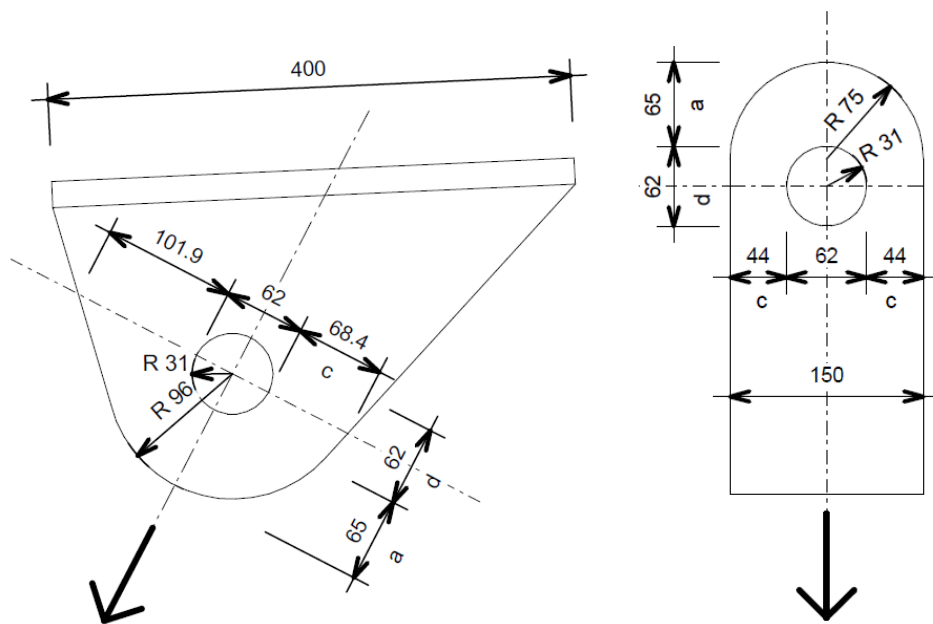
→ návrh $t = 25 \text{ mm}$

$$a \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{383,30 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 25 \cdot 355} + \frac{2 \cdot 62}{3} = 62,9 \text{ mm}$$

→ návrh $a = 65 \text{ mm}$

$$c \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{383,3 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 25 \cdot 355} + \frac{62}{3} = 42,26 \text{ mm}$$

→ návrh $c = 45 \text{ mm}$



6.3.2 Posouzení čepu na smyk

Návrh čepu → Ø60 mm, pevnost 5.8

Průměr čepu $d = 60\text{mm}$

Otvor pro čep $d_0 = 62\text{mm}$

Mez pevnosti čepu $f_{up} = 500\text{MPa}$

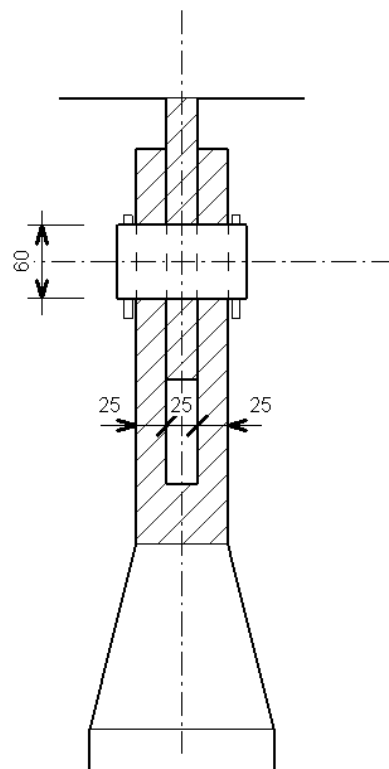
Mez kluzu čepu $f_{yp} = 355\text{MPa}$

Návrhová únosnost čepu ve smyku

$$F_{V,Rd} = \frac{2,0,6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = \frac{2,0,6 \cdot \frac{\pi \cdot 60^2}{4} \cdot 510}{1,25} = 1384,3\text{kN}$$

$$F_{V,Rd} = 1384,3\text{kN} \geq F_{V,Ed} = 383,3\text{kN}$$

VYHOVUJE



6.3.3 Posouzení čepu na ohyb

Návrhová únosnost čepu v ohybu

$$M_{Ed} = \frac{F_{V,Ed}}{8}(t + 4t_0 + 2t_1)$$

$$M_{Ed} = \frac{383,3 \cdot 10^3}{8}(25 + 4 \cdot 1 + 2 \cdot 2,5) = 3,785 \text{ kN.m}$$

Návrhový moment únosnosti

$$M_{Rd} = \frac{0,8 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,8 \cdot \frac{\pi \cdot 60^3}{32} \cdot 355}{1,0} = 6,022 \text{ kN.m}$$

$$M_{Rd} = 6,022 \text{ kN.m} \geq M_{Ed} = 3,785 \text{ kN.m}$$

VYHOVUJE

6.3.4 Posouzení čepu - kombinace ohybu a smyku

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}}\right)^2 \leq 1,0$$

$$\left(\frac{3,785}{6,022}\right)^2 + \left(\frac{383,3}{1384,3}\right)^2 = 0,47 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

6.3.5 Posouzení únosnosti plechu a čepu v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot d \cdot t \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 60 \cdot 25 \cdot 355}{1,0} = 798,75 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 798,75 \text{ kN} \geq F_{V,Ed} = 383,4 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

6.3.6 Posouzení únosnosti nosníku ve smyku

$$\tau_{v,d,1} = \frac{3 V_{z,d}}{2 b \cdot h} = \frac{3 \cdot 170,47 \cdot 10^3}{2 \cdot 200 \cdot 1400} = 0,913 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} = \frac{0,913}{2,3} = 0,40 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

6.3.7 Návrhová únosnost svorníků a kolíků

$$d = 24\text{mm}$$

$$\alpha = 60^\circ \quad (\text{úhel mezi směrem vláken a zatěžovací síly})$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 800 \cdot 24^{2,6} = 930,594 \cdot 10^3 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$t_1 = 94\text{mm}$$

$$\rho_{g,k} = 410\text{kg}/\text{m}^3$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 24) \cdot 410 = 25,55\text{N}/\text{mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{25,55}{1,71 \cdot \sin^2 60 + \cos^2 60} = 16,67\text{N}/\text{mm}^2$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d = 1,71$$

Rozhodující návrhová únosnost na jednu stříhovou plochu

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \end{array} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 16,67 \cdot 94 \cdot 24 \\ 16,67 \cdot 94 \cdot 24 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 930,594 \cdot 10^3}{16,67 \cdot 94 \cdot 24^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{930,594 \cdot 10^3 \cdot 16,67 \cdot 24} \end{array} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 37607,52\text{N} \\ 55459,8\text{N} \\ 44379,4\text{N} \end{array} \right\} = 37607,5\text{N}$$

$$F_{v,R,d} = k_{\text{mod}} \frac{F_{v,R,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{37607,5}{1,3} = 26036N = 26,04kN$$

$$\rightarrow \text{Dvojstržný spoj} \rightarrow F_{v,R,d} = 2 \times 26,04kN = 52,08kN$$

Excentricita centra spoje od osy čepu

$$r_{ex} = 293mm$$

$$r_{ez} = 69mm$$

Svislou tlakovou složku reakce ve spoji ($F_{Ed,z}$) přeneše patní deska \rightarrow zatížení spojovacích prostředků může nastat pouze od vodorovné složky reakce ($F_{Ed,x}$).

Návrhové zatížení jednoho spojovacího prvku

$$M_{Ed,x} = F_{Ed,x} \cdot r_{ex} = 177,47 \cdot 0,293 = 52kN \cdot m$$

$$M_{Ed,z} = F_{Ed,z} \cdot r_{ez} = -339,74 \cdot 0,068 = -23,1kN \cdot m$$

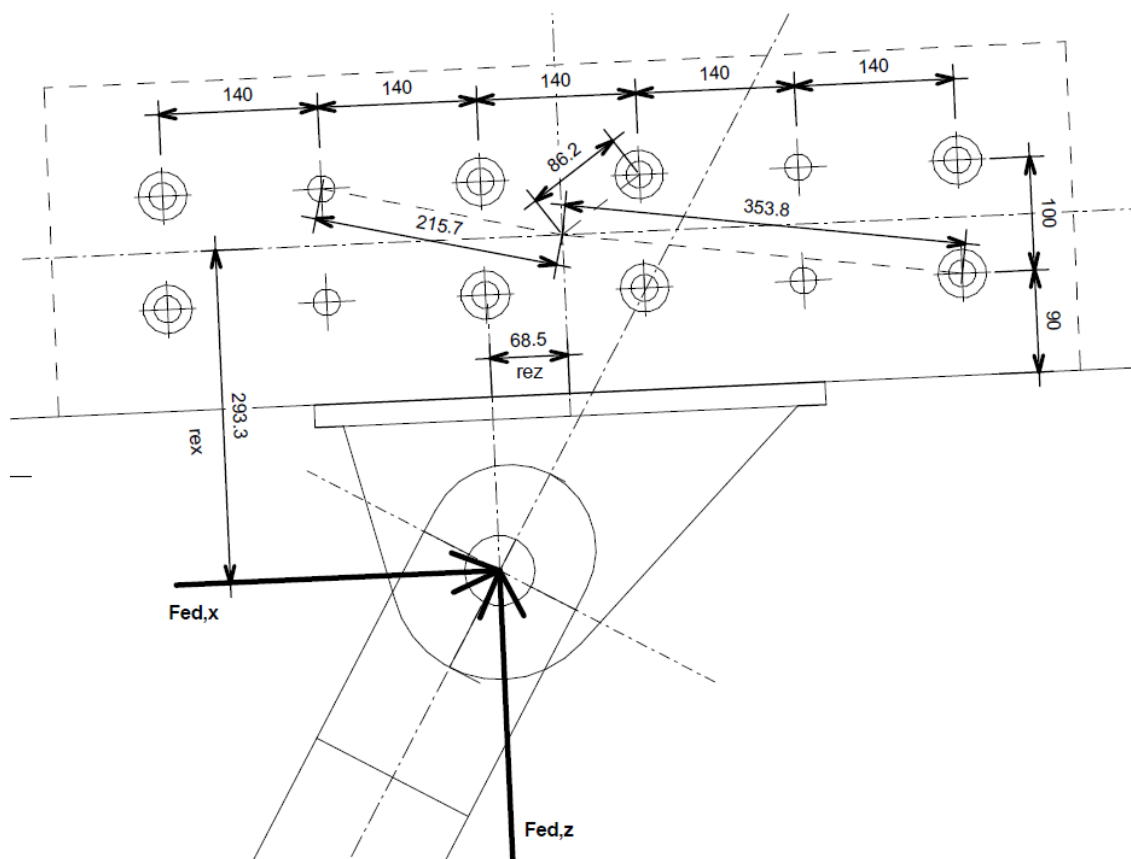
$$M_{Ed} = M_{Ed,x} + M_{Ed,z} = 52 - 23,1 = 28,9kN \cdot m$$

$$F_{V,Ed,1} = \frac{M_{Ed} \cdot r_1}{\sum r_i^2} = \frac{52 \cdot 0,354}{3 \cdot (0,354^2 + 0,216^2 + 0,086^2)} = 34,2kN$$

Posouzení spojovacího prostředku

$$F_{V,Ed,1} = 34,2kN \leq F_{V,Rd} = 52,08kN$$

VYHOVUJE



Obrázek 6.14 Vzdálenosti spojovacích prvků od těžiště spoje

6.3.8 Nutné minimální vzdálenosti spojovacích prostředků

$$\alpha = 60^\circ$$

$$a_1 = (4 + 3 \cdot \cos \alpha) d = 5,5 \cdot 24 = 132 \text{ mm}$$

$$a_2 = 4d = 4 \cdot 24 = 96 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} = \max[7d; 80] = \max[168; 80] = 168 \text{ mm}$$

$$a_{3,c} = \max[(1 + 6 \sin \alpha) \cdot d; 4d] = \max[149; 96] = 149 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = \max[(2 + 2 \sin \alpha) \cdot d; 3d] = \max[89,6; 72] = 90 \text{ mm}$$

$$a_{4,c} = 3d = 3 \cdot 24 = 72 \text{ mm}$$

6.3.9 Posouzení přípoje dřevěného vazníku vloženým plechem

Navrženo:

- vložený plech tl. 12 mm
- ocelové kolíky $\text{Ø}24$ mm

Tlak od patního plechu na oslabeném průřezu

Únosnost v tlaku pod úhlem $\alpha = 60^\circ$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\sqrt{\left(\frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{c,0,d}}{1,4 \cdot 1,5 \cdot f_{v,d}} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha\right)^2 + \cos^4 \alpha}}$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{16,96}{\sqrt{\left(\frac{16,96}{2 \cdot 1,92} \cdot \sin^2 60\right)^2 + \left(\frac{16,96}{1,4 \cdot 1,5 \cdot 2,05} \cdot \sin 60^\circ \cdot \cos 60^\circ\right)^2 + \cos^4 60^\circ}} = 4,54 \text{ N/mm}^2$$

Návrhová síla od vzpěry (výstup z programu Scia)

$$F_{c,\alpha,d} = 383,30 \text{ kN}$$

$$k_{c,\alpha} = 1,0$$

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{N_d}{A_c} = \frac{383,3 \cdot 10^3}{94000} = 4,07 \text{ MPa}$$

$$A_c = 94 \cdot 2 \cdot 500 = 94000 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{f_{c,\alpha,d}} = \frac{4,07}{4,54} = 0,90 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

6.3.10 Posouzení patního plechu (ocel – dřevo)

Navržena tl. plechu 20 mm

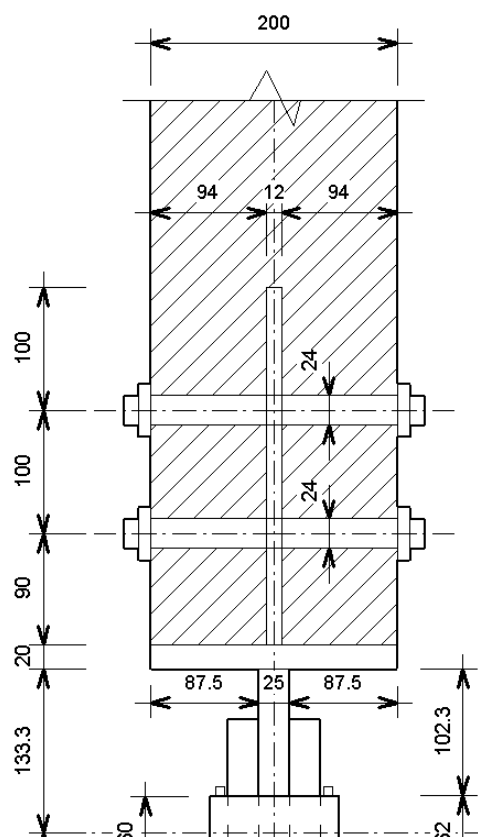
$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 1,0 \cdot 20^2 = 66,67 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = \sigma_{c,0,d} \cdot I \cdot \frac{l}{2} = 4,07 \cdot 87,5 \cdot \frac{87,5}{2} = 15,58 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Rd}}{W} = \frac{15,58 \cdot 10^3}{66,67} = 233,69 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d} = 233,69 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE



6.4 POSOUZENÍ ČEPOVÉHO ULOŽENÍ NA SLOUP

6.4.1 Dimenzování styčnickového plechu

Návrhové zatížení čepového spoje

$$R_{x,\max} = -58,08 \text{ kN}$$

$$R_{z,\max} = -113,01 \text{ kN}$$

Výslednice reakcí na čep

$$F_{v,Ed} = \sqrt{R_x^2 + R_z^2} = \sqrt{58,08^2 + 113,01^2} = 127,06 \text{ kN}$$

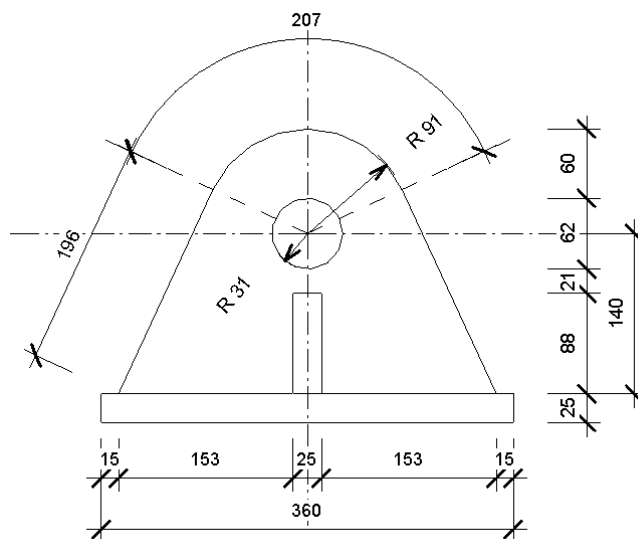
Navržená tloušťka:

$$d_0 = 62 \text{ mm}$$

$$t_0 = 1 \text{ mm}$$

$$t_1 = 25 \text{ mm}$$

Ocel S355



Nutná tloušťka:

$$t \geq 0,7 \sqrt{\frac{F_{V,Ed} \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \sqrt{\frac{127,06 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{355}} = 13,24 \text{ mm}$$

→ návrh $t = 25 \text{ mm}$

$$a \geq \frac{F_{V,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{127,06 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 25 \cdot 355} + \frac{2 \cdot 62}{3} = 48,5 \text{ mm}$$

→ návrh $a = 60 \text{ mm}$

$$c \geq \frac{F_{V,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{127,06 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 25 \cdot 355} + \frac{62}{3} = 27,8 \text{ mm}$$

→ návrh $c = 69 \text{ mm}$

6.4.2 Posouzení čepu na smyk

Návrh čepu → Ø60 mm, pevnost 5.8

Průměr čepu $d = 60\text{mm}$

Otvor pro čep $d_0 = 62\text{mm}$

Mez pevnosti čepu $f_{up} = 500\text{MPa}$

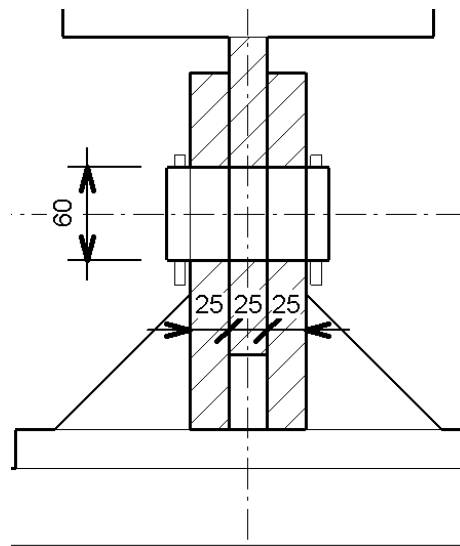
Mez kluzu čepu $f_{yp} = 355\text{MPa}$

Návrhová únosnost čepu ve smyku

$$F_{V,Rd} = \frac{2,0,6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = \frac{2,0,6 \cdot \frac{\pi \cdot 60^2}{4} \cdot 510}{1,25} = 1384,3\text{kN}$$

$$F_{V,Rd} = 1384,3\text{kN} \geq F_{V,Ed} = 127,06\text{kN}$$

VYHOVUJE



6.4.3 Posouzení čepu na ohyb

Návrhová únosnost čepu v ohybu

$$M_{Ed} = \frac{F_{V,Ed}}{8} (t + 4t_0 + 2t_1)$$

$$M_{Ed} = \frac{127,06 \cdot 10^3}{8} (25 + 4 \cdot 1 + 2 \cdot 25) = 1,255\text{kN.m}$$

Návrhový moment únosnosti

$$M_{Rd} = \frac{0,8 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,8 \cdot \frac{\pi \cdot 60^3}{32} \cdot 355}{1,0} = 6,022\text{kN.m}$$

$$M_{Rd} = 6,022\text{kN.m} \geq M_{Ed} = 1,255\text{kN.m}$$

VYHOVUJE

6.4.4 Posouzení čepu - kombinace ohybu a smyku

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} \right)^2 \leq 1,0$$

$$\left(\frac{1,255}{6,022}\right)^2 + \left(\frac{127,06}{1384,3}\right)^2 = 0,052 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

6.4.5 Posouzení únosnosti plechu a čepu v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot d \cdot t \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 60 \cdot 25 \cdot 355}{1,0} = 798,75 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 798,75 \text{ kN} \geq F_{V,Ed} = 127,06 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

6.4.6 Posouzení únosnosti nosníku ve smyku

$$\tau_{v,d} = \frac{3 V_{Ed}}{2 h \cdot b} = \frac{3 \cdot 130,63 \cdot 10^3}{2 \cdot 1400 \cdot 200} = 0,70 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} = \frac{0,70}{2,3} = 0,30 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

6.4.7 Návrhová únosnost svorníků a kolíků

$$d = 24 \text{ mm}$$

$$\alpha = 60^\circ \quad (\text{úhel mezi směrem vláken a zatěžovací síly})$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 800 \cdot 24^{2,6} = 930,594 \cdot 10^3 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$t_1 = 94 \text{ mm}$$

$$\rho_{g,k} = 410 \text{ kg/m}^3$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 24) \cdot 410 = 25,55 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{25,55}{1,71 \cdot \sin^2 60 + \cos^2 60} = 16,67 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d = 1,71$$

Rozhodující návrhová únosnost na jednu stříhovou plochu

$$F_{v,R,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,R,k}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,R,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \end{array} \right\}$$

$$F_{v,R,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} 16,67 \cdot 94,24 \\ 16,67 \cdot 94,24 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 930,594 \cdot 10^3}{16,67 \cdot 94,24^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{930,594 \cdot 10^3 \cdot 16,67 \cdot 24} \end{array} \right\}$$

$$F_{v,R,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} 37607,52N \\ 55459,8N \\ 44379,4N \end{array} \right\} = 37607,5N$$

$$F_{v,R,d} = k_{\text{mod}} \frac{F_{v,R,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{37607,5}{1,3} = 26036N = 26,04kN$$

$$\rightarrow \text{Dvojstřížný spoj} \rightarrow F_{v,R,d} = 2 \times 26,04kN = 52,08kN$$

Excentricita centra spoje od osy čepu

$$r_e = 650mm$$

Návrhové zatížení jednoho spojovacího prvku

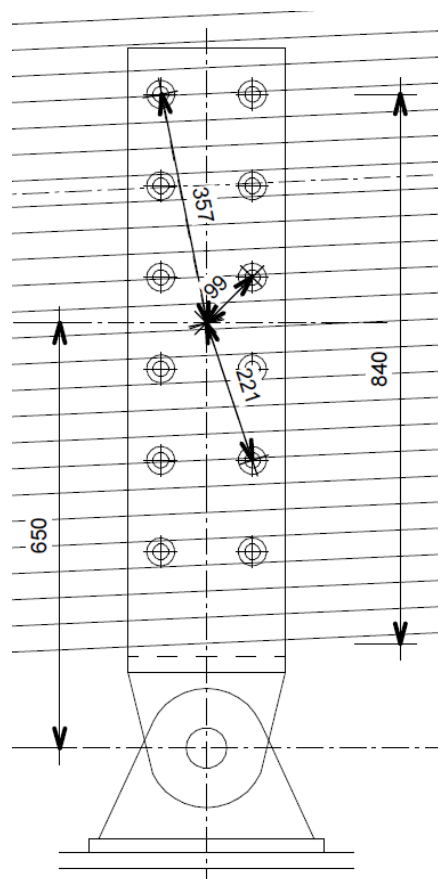
$$M_{Ed} = F_{Ed} \cdot r_{ex} = 127,06 \cdot 0,650 = 82,59kN \cdot m$$

$$F_{V,Ed,1} = \frac{M_{Ed} \cdot r_1}{\sum r_i^2} = \frac{82,59 \cdot 0,357}{4 \cdot (0,357^2 + 0,221^2 + 0,099^2)} = 39,6kN$$

Posouzení spojovacího prostředku

$$F_{V,Ed,1} = 39,6kN \leq F_{V,Rd} = 52,08kN$$

VYHOVUJE



6.4.8 Nutné minimální vzdálenosti spojovacích prostředků

Lepené lamelové dřevo

$$\alpha = 60^\circ$$

$$a_1 = (4 + 3 \cdot \cos \alpha) d = 5,5 \cdot 24 = 132 \text{ mm}$$

$$a_2 = 4d = 4 \cdot 24 = 96 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} = \max[7d; 80] = \max[168; 80] = 168 \text{ mm}$$

$$a_{3,c} = \max[(1 + 6 \sin \alpha) \cdot d; 4d] = \max[149; 96] = 149 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = \max[(2 + 2 \sin \alpha) \cdot d; 3d] = \max[89,6; 72] = 90 \text{ mm}$$

$$a_{4,c} = 3d = 3 \cdot 24 = 72 \text{ mm}$$

Ocelové příložky

$$e_1 = 2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 24 = 60 \text{ mm}$$

$$e_2 = 2 \cdot d = 2 \cdot 24 = 48 \text{ mm}$$

$$p_1 = 3,5 \cdot d = 3,5 \cdot 24 = 84 \text{ mm}$$

$$p_2 = 3,5 \cdot d = 3,5 \cdot 24 = 84 \text{ mm}$$

6.4.9 Namáhání tahem kolmo k vláknům (riziko trhlin)

Ověření podle EC5:

$$V_d \leq \frac{2 \cdot f_{v,d} \cdot b_e \cdot t}{3}$$

při předpokladu

$$b_e \geq 0,5h \rightarrow 0,84 \text{ m} \geq 0,5 \cdot 1,4 = 0,7 \text{ m}$$

$$V_d = \frac{F_{v,Ed} \cdot \sin \alpha}{2} = \frac{127,06 \cdot \sin 60^\circ}{2} = \frac{110,037}{2} = 55,02 \text{ kN}$$

$$V_d = 55,02 \text{ kN} \leq \frac{2 \cdot f_{v,d} \cdot b_e \cdot t}{3} = \frac{2 \cdot 2,3 \cdot 3,840 \cdot 200}{3} \cdot 10^{-3} = 257 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Ověření na základě lomové mechaniky:

$$\frac{M_d}{V_d h} = \frac{15,3 \cdot 10^6}{55,02 \cdot 10^3 \cdot 1400} = 0,2 \leq 2,1 \Rightarrow$$

$$V_d \leq \frac{2 \cdot f_{v,d} \cdot b_e \cdot t}{3} \sqrt{\frac{130}{h} \cdot \frac{2,1}{M_d / (V_d \cdot h)}}$$

$$V_d = 55,02 \text{ kN} \leq \frac{2 \cdot 2,3 \cdot 840 \cdot 200}{3} \sqrt{\frac{130}{1400} \cdot \frac{2,1}{15,3 \cdot 10^6 / (55,02 \cdot 10^3 \cdot 1400)}} = 255,2 \text{ kN}$$

VYHOVUJE → Riziko vzniku trhlin je minimální

6.4.10 Posouzení příložkového plechu na tah

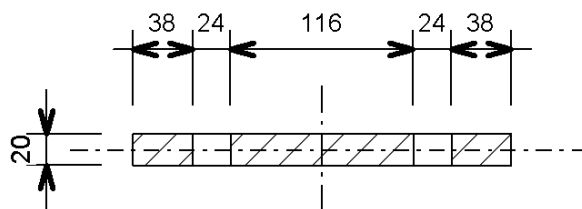
Posouzení v oslabeném průřezu plechu:

$$\sigma_d = \frac{F_{v,Ed} / 2}{A_{ef}} = \frac{127,06 \cdot 10^3 / 2}{3840} = 16,54 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{ef} = (240 \cdot 20) - 2 \cdot (24 \cdot 20) = 3840 \text{ mm}^2$$

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} = \frac{235}{1,15} = 204,35 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_d = 16,54 \text{ N/mm}^2 \leq f_d = 204,35 \text{ N/mm}^2$$



VYHOVUJE

6.4.11 Posouzení únosnosti plechu a svorníku v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot d \cdot t \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 24 \cdot 20 \cdot 235}{1,0} = 169,2 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 169,2 \text{ kN} \geq F_{V,Ed,1} = 39,6 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

6.4.12 Posouzení patního spoje ocelových příložek na ohyb

Navržena tl. plechu 25 mm

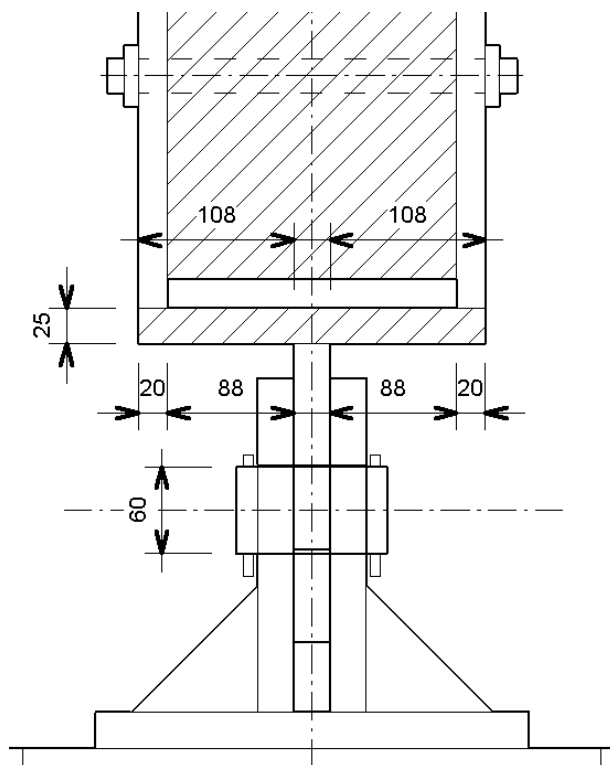
$$W_y = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6} \cdot 1,0 \cdot 25^2 = 104,17 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{F_{v,Ed}}{2} \cdot l = \frac{127,06}{2} \cdot 0,108 = 6,86 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Rd}}{W} = \frac{6,86 \cdot 10^3}{104,17} = 65,87 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,d} = 65,87 \text{ N/mm}^2 \leq f_{yd} = 235 \text{ N/mm}^2$$

VYHOVUJE



6.5 POSOUZENÍ MONTÁŽNÍHO STYKU

Návrhové síly ve spoji

$$M_{Ed} = 113,99 \text{ kN.m}$$

$$V_{Ed} = 103,64 \text{ kN.m}$$

$$N_{Ed} = 113,99 \text{ kN.m}$$

S355

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$f_u = 510 \text{ N/mm}^2$$

Svorníky M24, 8.8

$$f_u = 800 \text{ N/mm}^2$$

6.5.1 Návrhové zatížení jednoho spojovacího prostředku

$$F_{m,ed,1} = \frac{M_{ed} \cdot r_1}{\sum r_i^2} = \frac{113,99 \cdot 0,654}{5,226} = 14,27 \text{ kN}$$

$$\sum r_i^2 = 2 \cdot (0,654^2 + 0,678^2 + 0,625^2 + 0,676^2 + 0,591^2 + 0,530^2 + 0,606^2 + 0,509^2 + 0,437^2) + 2 \cdot (0,202^2 + 0,388^2 + 0,375^2 + 0,175^2 + 0,388^2 + 0,202^2 + 0,425^2 + 0,266^2 + 0,480^2 + 0,347^2)$$

$$= 13,287 + 2,312 = 5,226 \text{ m}$$

$$n = 28$$

$$F_{v,ed,1} = \frac{V_{ed}}{n} = \frac{103,64}{28} = 3,7 \text{ kN}$$

$$F_{N,ed,1} = \frac{N_{ed}}{n} = \frac{113,99}{28} = 4,07 \text{ kN}$$

$$F_{ed,1} = \sqrt{(F_{m,ed,1} + F_{v,ed,1})^2 + F_{N,ed,1}^2} = \sqrt{(14,27 + 3,7)^2 + 4,07^2} = 18,43 \text{ kN}$$

$$\alpha = \arctg \frac{F_{m,ed,1} + F_{v,ed,1}}{F_{N,ed,1}} = \arctg \frac{14,27 + 3,7}{4,07} = 75^\circ$$

6.5.2 Nutné minimální vzdálenosti spojovacích prostředků

Lepené lamelové dřevo

$$\alpha = 75^\circ$$

$$a_1 = (4 + 3 \cdot \cos \alpha)d = 4,78.24 = 114,6\text{mm}$$

$$a_2 = 4d = 4.24 = 96\text{mm}$$

$$a_{3,t} = \max[7d;80] = \max[168;80] = 168\text{mm}$$

$$a_{3,c} = \max[(1 + 6 \sin \alpha).d;4d] = \max[163;96] = 163\text{mm}$$

$$a_{4,t} = \max[(2 + 2 \sin \alpha).d;3d] = \max[94;72] = 94\text{mm}$$

$$a_{4,c} = 3d = 3.24 = 72\text{mm}$$

Ocelové příložky

$$e_1 = 2,5.d = 2,5.24 = 60\text{mm}$$

$$e_2 = 2.d = 2.24 = 48\text{mm}$$

$$p_1 = 3,5.d = 3,5.24 = 84\text{mm}$$

$$p_2 = 3,5.d = 3,5.24 = 84\text{mm}$$

6.5.3 Návrhová únosnost svorníků a kolíků

$$d = 24\text{mm}$$

$$\alpha = 75^\circ \quad (\text{úhel mezi směrem vláken a zatěžovací síly})$$

$$M_{y,Rk} = 0,3.f_{u,k}.d^{2,6} = 0,3.800.24^{2,6} = 930,594.10^3 \text{ N.mm}$$

$$t_1 = 94\text{mm}$$

$$\rho_{g,k} = 410\text{kg/m}^3$$

$$f_{h,0,k} = 0,082.(1 - 0,01.d)\rho_k = 0,082.(1 - 0,01.24).410 = 25,55\text{N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{25,55}{1,71 \cdot \sin^2 75 + \cos^2 75} = 15,37\text{N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d = 1,71$$

Rozhodující návrhová únosnost na jednu stříhovou plochu

$$F_{v,R,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,R,k}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,R,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \end{array} \right\}$$

$$F_{v,R,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} 15,37,94,24 \\ 15,37,94,24 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 930,594 \cdot 10^3}{15,37,94,24^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{930,594 \cdot 10^3 \cdot 15,37,24} \end{array} \right\}$$

$$F_{v,R,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} 34674,72N \\ 55459,8N \\ 44379,4N \end{array} \right\} = 34674,72N$$

$$F_{v,R,d} = k_{\text{mod}} \frac{F_{v,R,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{34674,72}{1,3} = 24005N = 24,01kN$$

→ Dvojstřížný spoj → $F_{v,R,d} = 2 \times 24,01kN = 48,02kN$

Posouzení spojovacího prostředku

$$F_{Ed,1} = 18,43kN \leq F_{V,Rd} = 24,01kN$$

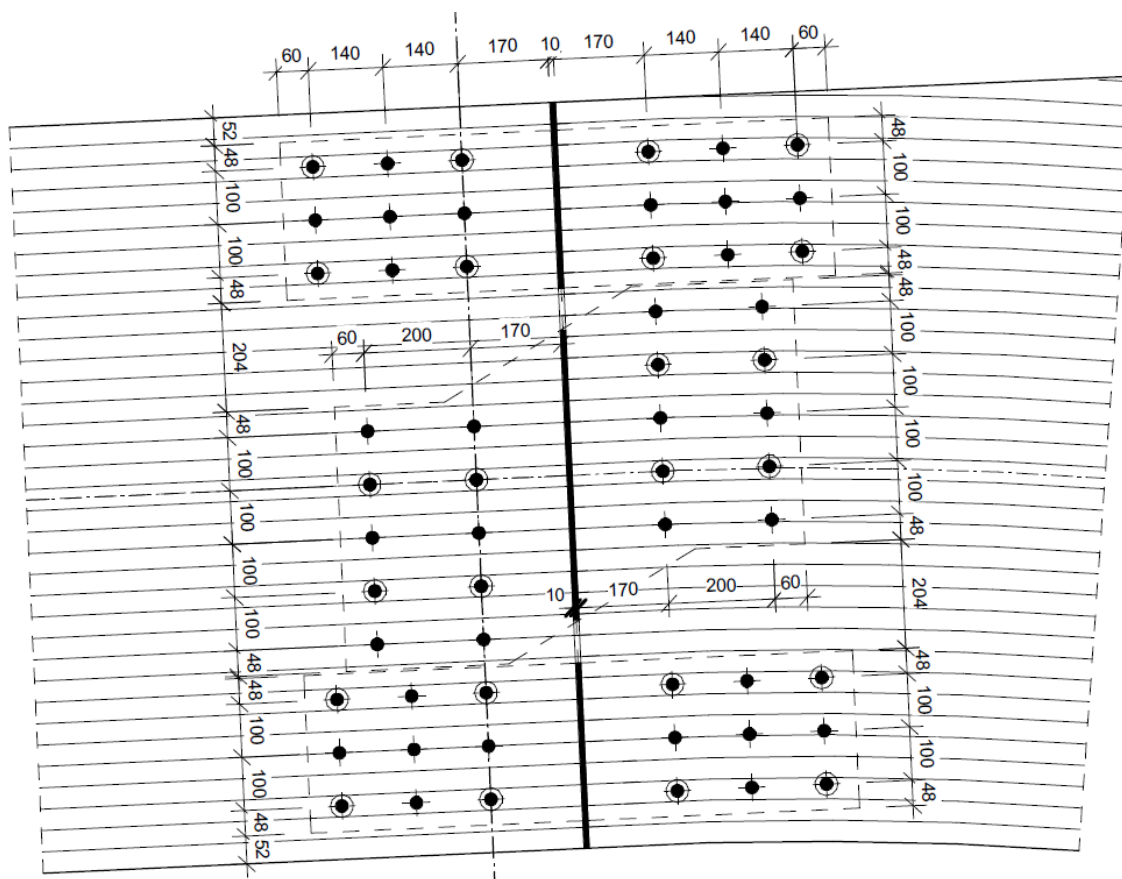
VYHOVUJE

6.5.4 Posouzení únosnosti plechu a svorníku v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot d \cdot t \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 24 \cdot 12 \cdot 235}{1,0} = 101,52kN$$

$$F_{b,Rd} = 101,52kN \geq F_{V,Ed,1} = 18,43kN$$

VYHOVUJE



Obrázek 6.15 Montážní spoj – rozmístění spojovacích prostředků

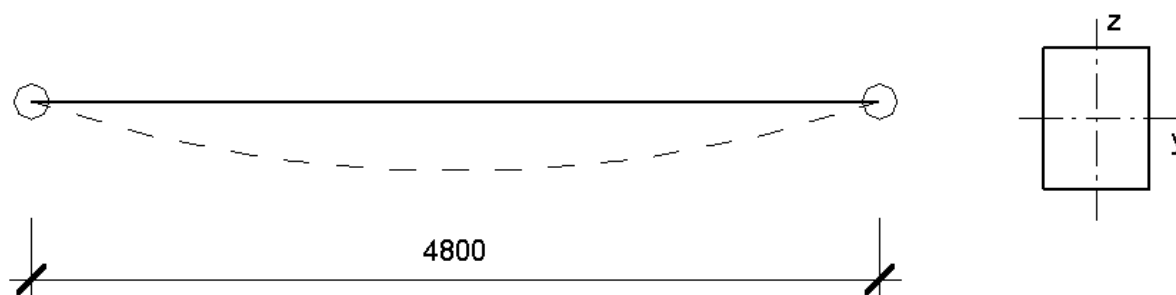
6.6 POSOUZENÍ PODÉLNÝCH ZTUŽIDEL

Návrhová osová síla:

$$N_{ed,1} = -19,31kN \quad (\text{tlak})$$

$$N_{ed,2} = 12,92kN \quad (\text{tah})$$

$$L = L_{cr} = 4,8m$$



6.6.1 Materiálové charakteristiky

Lepené lamelové dřevo GL28h

$$k_{mod} = 0,8$$

$$k_{def} = 0,8$$

$$\gamma_M = 1,25$$

Pevnost v ohybu $f_{m,g,d} = k_{mod} \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{28}{1,25} = 17,92N/mm^2$

Pevnost v tahu $f_{t,0,g,d} = k_{mod} \frac{f_{t,0,g,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{19,5}{1,25} = 12,48N/mm^2$

$$f_{t,90,g,d} = k_{mod} \frac{f_{t,90,g,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{0,45}{1,25} = 0,29N/mm^2$$

Pevnost v tlaku $f_{c,0,g,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{26,5}{1,25} = 16,96N/mm^2$

$$f_{c,90,g,d} = k_{mod} \frac{f_{c,90,g,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{3,0}{1,25} = 1,92N/mm^2$$

Pevnost ve smyku $f_{v,g,d} = k_{mod} \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{3,2}{1,25} = 2,05N/mm^2$

Modul pružnosti $E_{0,g,mean} = 12600 N / mm^2$

$$E_{0,g,05} = 10200 N / mm^2$$

$$E_{90,g,mean} = 420 N / mm^2$$

Charakteristický modul pružnosti

$$E_{0,05} = \frac{5}{6} \cdot E_{0,mean} = \frac{5}{6} \cdot 12600 = 10500 N / mm^2$$

6.6.2 Dimenzování na vzpěr

$$\frac{\frac{F_{c,0,d}}{A_n}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1,0$$

$$k_{c,z} = \min \left\{ \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,c,z}^2}}, 1 \right\}$$

kde $k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,z} - 0,3) + \lambda_{rel,c,z}^2]$

$\beta_c = 0,1$ (lepené lamelové dřevo)

$$\lambda_{rel,c,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05} \cdot (1 + k_{def})}}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef}}{i_z} = \frac{4,8}{0,289 \cdot 0,14} = 119$$

$$\lambda_{rel,c,z} = \frac{119}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{26,5}{10500 \cdot (1 + 0,8)}} = 2,55$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (2,55 - 0,3) + 2,55^2] = 3,976$$

$$k_{c,z} = \min \left\{ \frac{1}{3,976 + \sqrt{3,976^2 - 2,55^2}}, 1 \right\} = 0,142$$

$$\frac{F_{c,0,d}}{A_n} = \frac{19310}{140 \cdot d_{req}} \leq 1,0$$

$$k_{c,z} \cdot f_{c,0,d} = 0,142 \cdot 16,96$$

$$\rightarrow d_{req} \geq \frac{19310}{1,0 \cdot 0,142 \cdot 16,96 \cdot 140} = 57,3 \text{ mm}$$

Návrh: 140 x 160 mm

6.6.3 Posouzení na vzpěr k ose z (slabší osa)

$$\frac{F_{c,0,d}}{A_n} = \frac{19310}{140 \cdot 160} = 0,36 \leq 1,0$$

$$k_{c,z} \cdot f_{c,0,d} = 0,142 \cdot 16,96$$

VYHOVUJE

(Využití průřezu je 36%.)

6.6.4 Posouzení na kombinaci vzpěru s ohybem

Návrhové napětí za ohybu

$$M_{y,Ed} = 0,32 \text{ kN.m} \quad (\text{návrhové zatížení momentem})$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{M_{y,Ed}}{\frac{1}{6}bh^2} = \frac{0,32 \cdot 10^6}{\frac{1}{6} \cdot 140 \cdot 160^2} = 0,536 \text{ N/mm}^2$$

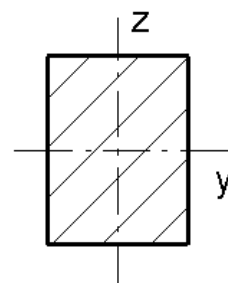
a) Kombinace vzpěru k ose z a ohybu k ose y

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0$$

$$k_m = 0,7 \quad (\text{obdélníkový průřez})$$

$$\frac{0,86}{0,142 \cdot 16,96} + 0,7 \frac{0,536}{17,92} = 0,38 \leq 1,0$$

VYHOVUJE



a) Kombinace vzpěru k ose z a ohybu k ose z

-vzpěry v obloukové části (sklopené horizontálně)

Návrhové napětí za ohybu

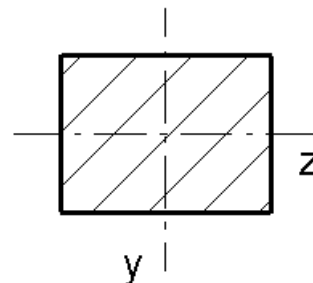
$$M_{y,Ed} = 0,32 \text{ kN.m} \quad (\text{návrhové zatížení momentem})$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{M_{y,Ed}}{\frac{1}{6}bh^2} = \frac{0,32 \cdot 10^6}{\frac{1}{6} \cdot 160 \cdot 140^2} = 0,612 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0$$

$$k_m = 0,7 \quad (\text{obdélníkový průřez})$$

$$\frac{0,86}{0,142 \cdot 16,96} + \frac{0,612}{17,92} = 0,391 \leq 1,0$$



VYHOVUJE

(Využití průřezu je 39%)

6.6.5 Dimenzování styčnickového plechu

Návrhové zatížení čepového spoje

$$F_{v,Ed} = 19,31 \text{ kN}$$

Navržená tloušťka:

$$d_0 = 22 \text{ mm}$$

$$t_0 = 1 \text{ mm}$$

$$t_1 = 8 \text{ mm}$$

Ocel S355

Nutná tloušťka:

$$t \geq 0,7 \sqrt{\frac{F_{v,Ed} \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \sqrt{\frac{19,31 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{355}} = 5,17 \text{ mm}$$

→ návrh $t = 8 \text{ mm}$

$$a \geq \frac{F_{v,Ed} \gamma_{M0}}{2t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{19,31 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 8 \cdot 355} + \frac{2 \cdot 22}{3} = 18,1 \text{ mm}$$

→ návrh $a = 20 \text{ mm}$

$$c \geq \frac{F_{V,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{19,31 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 2,8 \cdot 355} + \frac{22}{3} = 10,7 \text{ mm}$$

→ návrh $c = 20 \text{ mm}$

6.6.6 Návrhová únosnost svorníků a kolíků

$$d = 10 \text{ mm}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 800 \cdot 10^{2,6} = 95,545 \cdot 10^3 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$t_1 = 66 \text{ mm}$$

$$\rho_{g,k} = 410 \text{ kg/m}^3$$

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 10) \cdot 410 = 30,26 \text{ N/mm}^2$$

Rozhodující návrhová únosnost na jednu stříhovou plochu

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \end{array} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 30,26 \cdot 66 \cdot 10 \\ 30,26 \cdot 66 \cdot 10 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 95,545 \cdot 10^3}{30,26 \cdot 66 \cdot 10^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{95,545 \cdot 10^3 \cdot 30,26 \cdot 10} \end{array} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 19971 \text{ N} \\ 19538 \text{ N} \\ 12367 \text{ N} \end{array} \right\} = 12367 \text{ N}$$

$$F_{v,R,d} = k_{\text{mod}} \frac{F_{v,R,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{12367}{1,3} = 8562 \text{ N} = 8,562 \text{ kN}$$

→ Dvojstřížný spoj → $F_{v,R,d} = 2 \times 8,562 \text{ kN} = 17,12 \text{ kN}$

Návrhové zatížení jednoho spojovacího prvku

$$n = 2$$

$$F_{v,Ed,1} = \frac{19,31}{2} = 9,65kN$$

Posouzení spojovacího prostředku

$$F_{V,Ed,1} = 9,65kN \leq F_{V,Rd} = 17,12kN$$

VYHOVUJE

6.6.7 Nutné minimální vzdálenosti spojovacích prostředků

Lepené lamelové dřevo

$$\alpha = 0^\circ$$

$$a_1 = (4 + 3 \cdot \cos \alpha)d = 7 \cdot 10 = 70mm$$

$$a_2 = 4d = 4 \cdot 10 = 40mm$$

$$a_{3,t} = \max[7d; 80] = \max[70; 80] = 80mm$$

$$a_{3,c} = \max[(1 + 6 \sin \alpha) \cdot d; 4d] = \max[10; 40] = 40mm$$

$$a_{4,t} = \max[(2 + 2 \sin \alpha) \cdot d; 3d] = \max[20; 30] = 30mm$$

$$a_{4,c} = 3d = 3 \cdot 10 = 30mm$$

6.7 POSOUZENÍ KŘÍŽOVÝCH ZTUŽIDEL

Návrhová osová síla ve ztužidle

$$N_{ed} = 21,59kN$$

Je uvažováno pouze zatížení tahem. V případě tlaku lano vybočí.

Návrh:

-ztužidla lanového systému Macalloy – systém s koncovkou a napínákem

Jednoprámenné vinuté lano 1x19 – průměr lana 10mm

6.7.1 Posouzení lana v tahu

Modul pružnosti lana –

$$E = 107 \text{ kN/mm}^2$$

Maximální zatížitelnost lana

$$F_{d,max} = 71,1kN$$

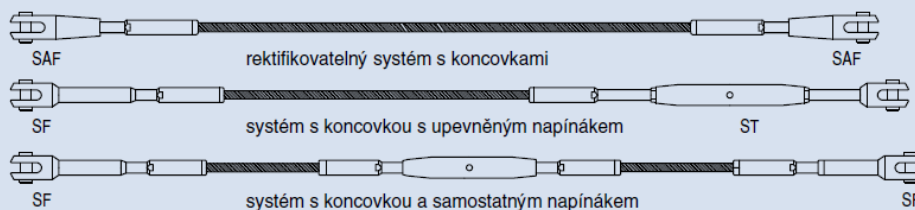
Posouzení:

$$F_{ed} = 21,59kN \leq F_{d,max} = 71,1kN$$

VYHOVUJE

Tabulka 5: Maximální zatížení lanového systému Macalloy

Průměr lana	mm	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	19	22	26
Jednoprámenné vinuté lano 1 x 19	kN	7,1	12,6	19,6	28,2	34,8	45,5	71,1	102,0	139,0	182,0	212,0	285,0	398,0
Kompaktní pramen	kN		17,4	23,9	34,8	48,1	60,3	95,0	141,2	189,2	251,0	313,7		
Šestiprámenné lano s drátěnou duší	kN	5,0	8,9	13,9	20,0	27,3	35,6	55,6	80,0	109,0	143,1			



Tabulka 6.4 Hodnoty maximální zatížitelnosti lanového zavětrování

6.7.2 Dimenzování styčnickového plechu

Návrhové zatížení čepového spoje

$$F_{v,Ed} = 21,59kN$$

Navržená tloušťka:

$$d_0 = 12 \text{ mm}$$

$$t_0 = 1 \text{ mm}$$

$$t_1 = 8 \text{ mm}$$

Ocel S355

Nutná tloušťka:

$$t \geq 0,7 \sqrt{\frac{F_{v,Ed} \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \sqrt{\frac{21,59 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{355}} = 5,45 \text{ mm}$$

→ návrh $t = 10 \text{ mm}$

$$a \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{21,59 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 10 \cdot 355} + \frac{2 \cdot 12}{3} = 11,04 \text{ mm}$$

→ návrh $a = 20 \text{ mm}$

$$c \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{21,59 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 10 \cdot 355} + \frac{12}{3} = 7,04 \text{ mm}$$

→ návrh $c = 20 \text{ mm}$

Alternativa:

Systém ocelových táhel Halfen Detan

Táhla Ø20

S460

Maximální zatížitelnost táhla

$$F_{d,max} = 110,2kN$$

Posouzení:

$$F_{ed} = 21,59kN \leq F_{d,max} = 110,2kN$$

VYHOVUJE

7 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ DIMENZOVÁNÍ

Po dimenzování prvků byly zjištěny následující faktory ovlivňující posuzování prvků z lepeného lamelového dřeva a jeho přípojí.

7.1 TAH KOLMO K VLÁKNŮM

Dle počátečního předpokladu rozhodoval o únosnosti zakřiveného nosníkového prvku tah kolmo k vláknům. Tento tah vyvozují ohybové momenty v zakřivené oblasti nosníku.

Nosník konstantního průřezu 200x1400 mm v zakřivené oblasti na toto namáhání nevyhověl (využití průřezu dosáhlo 253%).

Následně bylo provedeno několik variant zesílení:

- zvýšení průřezu na 1800 mm v místě vrcholu zakřivení
- rozšíření průřezu o 2x 80 mm
- zesílení pomocí závitových tyčí
- zesílení pomocí rohoží ze skelných vláken

Varianty jsou porovnány v tab. 7.1 a 7.2. U takto zakřivené konstrukce nepřineslo zesilování průřezu na výšku ani na šířku takový efekt, aby v namáhání tahu kolmo k vláknům vyhověla.

Musí být splněna podmínka:

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} (V_0 / V)^{0,2} f_{t,90,g,d}$$

Zvětšení plochy průřezu sníží hodnotu napětí v namáhání tahem kolmo k vláknům. V případě zvětšení výšky průřezu ovšem dojde k nárůstu hodnoty součinitele k_p , jelikož je v jeho výpočtu zahrnuta výška průřezu h_{ap} .

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2} ;$$
$$k_p = \left(k_5 + k_6 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 \right)$$

Zároveň dojde také k redukci únosnosti v tahu kolmo k vláknům z důvodu započtení vlivu objemu.

$$\left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2}$$

Vliv objemu je založen na teorii nejslabšího článku. K porušení materiálu prvotně dojde v místě s největším oslabením (např. místo se sukem). Navyšováním objemu posuzovaného prvku tedy zvyšujeme pravděpodobnost výskytu oslabeného místa. To je do výpočtu promítnuto za pomoci vzorce uvedeného výše.

Z těchto důvodů není v tomto případě hospodárné redukovat tah kolmo k vláknům pouze za pomoci zvětšování průřezových hodnot.

7.1.1 Zachycení tahu kolmo k vláknům

Nejvýhodnějším se ukázalo použít k zachycení těchto tahů vlepované závitové tyče (technologie jejich provedení je popsána v následující kapitole). Tyče se navrhují v průřezu a rozestupu takovém, aby byly schopné přenést vyvozená namáhání. Zatížení kolmo k vláknům se rozděluje v poměru tuhostí lepeného lamelového dřeva a závitových tyčí, čímž dojde ke snížení namáhání. Zesílení se zpravidla navrhuje tak, aby přeneslo celou tahovou sílu kolmo k vláknům. Dle zkoušek s lepenými lamelovými nosníky² je možné v daném případě uvažovat vliv objemu a rozdělení napětí

$$k_{dis} (V_0 / V)^{0,2} = 1,0.$$

Díky tomuto dojde k navýšení hodnoty únosnosti v tahu kolmo k vláknům zároveň se snížením namáhání.

Alternativně byl proveden jeden výpočet na zesílení pomocí nalepovaných rohoží ze skelných vláken. Pro posuzování se používá obdobný postup jako v případě závitových tyčí.

7.1.2 Závěr dimenzování na tah kolmo k vláknům

Nejvhodnější varianta úpravy nosníku v obloukové části z důvodu namáhání na tah kolmo k vláknům se jeví kombinace varianty **A1/B3** (viz. Tab 6.1 a 6.2).

² Larsen a Enquist, 1993

V této variantě nosníku bylo provedeno zvýšení výšky profilu ve vrcholové oblasti oblouku na 1800 mm. Zvětšení profilu nosníku pomocí zvýšení výšky ve vrcholu h_{ap} bude technologicky méně náročné než rozšiřování profilu nalepovanými bočnicemi a také úspornější na spotřebu materiálu.

U doplňkového zesílení bylo zvoleno zesílení pomocí závitových tyčí. Rohože ze skelných vláken by narušovaly architektonický vzhled nosníků. Rozestup tyčí byl zvolen větší (1000 mm) z důvodu menší technologické náročnosti provedení a menšího oslabování průřezu vazníku.

7.2 NAMÁHÁNÍ V OHYBU A SMYKU

V posouzení namáhání na ohyb a smyk nastaly žádné problémy. Posouzení odpovídá přímému, případně sedlovému nosníku.

U namáhání ohybem je pouze nutné redukovat únosnost v ohybu zakřivené části součinitelem k_r . Tento součinitel zohledňuje napětí vznikající ohýbáním jednotlivých lamel před lepením. Součinitelem se únosnost redukuje pouze v případě velké křivosti dle kritérií uvedených níže.

$$\sigma_{m,d} \leq k_r f_{m,d}, \text{ kde}$$

$$k_r = 1 \quad \text{pro } r_{in}/t \geq 240$$

$$k_r = 0,76 + 0,001r_{in}/t \quad \text{pro } r_{in}/t < 240$$

Všechny části nosníku vyhověly na ohyb i smyk ve všech jeho částech s rezervou minimálně 40%.

7.3 POSOUZENÍ STABILITY

Hlavní lepený nosník byl v rámci posudku stability posouzen na vzpěrnou pevnost ve vybočení v rovině vazníku, vybočení z roviny vazníku, kombinaci ohybu a vzpěru a klopení.

Bylo využito předpokladu, že složitá konstrukce lze stabilně vyšetřovat jako imperfektní prostý nosník. Vzpěrné délky pro určení vybočení v rovině vazníku byly určeny jako vzdálenosti inflexních bodů. Vzpěrná délka pro vybočení z roviny vazníku byla určena rozestupem prutů podélného ztužení (4 m).

Veškeré posouzení proběhlo standardním způsobem a ve všech případech vyhovělo s rezervou přibližně 50-40%.

7.4 TLAK KOLMO K VLÁKNŮM

Posouzení na tlak kolmo k vláknům bylo nutné provést v místech uložení vazníku, ve kterých dochází ke koncentraci napětí v tlaku na malé ploše.

Konkrétně se jednalo o tato místa:

- posouzení v místě podepření vzpěrou
- posouzení smykové desky u čepového uložení na základ

Přenos tlaku kolmo k vláknům je navržen pomocí ocelových stykových desek. Jejich rozměr byl navržen na hodnoty maximálního napětí s rezervou 10%.

U posouzení napojení vzpěry bylo nutné přepočítat únosnost v tlaku kolmo k vláknům za 90° na 60° pevnost, aby odpovídala směru síly od vzpěry.

7.5 TAH KOLMO K VLÁKNŮM U PŘÍPOJŮ

V místě přípoje lepeného vazníku na sloup železobetonového skeletu se objevilo riziko vzniku trhlin způsobených tahem kolmo k vláknům. Navržený spoj bude namáhaný tahem kolmo k vláknům vazníku, a proto bylo nutné respektovat některé zásady a výpočty, aby se riziko vzniku trhlin omezilo.

Byly respektovány tyto zásady:

- spojovací prostředky rozmístit co nejbližší nenamáhanému okraji vazníku (min. do ½ h)
- rozdělení spojovacích prostředků do více řad

Následné ověření vzniku trhlin bylo provedeno podle zásad EC5 a přesnější ověření na základě teorie odvozené od lomové mechaniky³.

V obou případech spoj vyhoví a riziko trhlin je tímto vyloučeno.

³ Van der Put, 1990

7.6 SPOJE

Spoje typu ocel-dřevo byly navrženy jako vložené styčnickové plechy s přesnými svorníky a kolíky a spoje s ocelovými příložkami. Veškeré spoje byly navrženy jako dvojtřížné. Posudek byl proveden na základě norem pro dřevo ČSN EN 1995-1-1 a ČSN 73 1702. Ocelové spojovací prvky byly navrženy na základě normy pro ocelové konstrukce ČSN EN 1993-1-8.

Na základě uspořádání spojovacích prvků ve spoji bylo stanoveno zatížení jednoho spojovacího prostředku a to bylo porovnáno s jeho únosností. Určeny byly veškeré vzdálenosti spojovacích prvků důležité pro návrh spoje.

Spoje typu ocel-beton byly posouzeny na základě Eurokódu pro betonové konstrukce ČSN EN 1992-1-1 a pro ocelové konstrukce ČSN EN 1993-1-8. Betonová konstrukce základu byla posouzena pouze na otláčení. Posudek kotvení a únosnosti samotné betonové konstrukce není předmětem této práce.

Veškeré spoje byly standardně navrženy, posouzeny a vyhověly ve všech případech.

7.7 OSTATNÍ KONSTRUKCE

Posouzení zavětrovacích křížů bylo provedeno zjednodušeným výpočtem na základě porovnání normálové síly v prvku s únosností, kterou udává výrobce. Zavětrovací kříže jsou tvořeny ocelovými lany a počítá se pouze s přenosem tahového zatížení. V případě tlaku by prvek vybočil. Prvky zavětrování vyhověly s rezervou min. 60%. Alternativně byla navržena ocelová táhla systému Halfen-Detan průměru 20 mm, která také vyhověla s velkou rezervou.

Ocelová vzpěra podpírající hlavní vazník byla posouzena dle EC3 programem Scia engineer. Podrobný protokol posouzení je připojen v příloze.

8 POPIS NAVRŽENÉ KONSTRUKCE

8.1 POPIS KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

8.1.1 Hlavní konstrukční systém

Konstrukci zastřešení sportovní haly tvoří prostorová konstrukce na půdoryse o rozměrech 30 x 45 m složená z jednotlivých ráků (přesněji půlráků) opakujících se po osové vzdálenosti 5 m.

Jednotlivé ráky jsou tvořeny vazníky z lepeného lamelového dřeva třídy GL28h a ocelovými vzpěrami z ocelových trubek S355. Staticky působí jako atypický zakřivený rám s převislým koncem podporovaný dvěma pevnými klouby a kloubovým podepřením vzpěrou. Rozpětí ráků je 30 m a vzepětí 9,5 m. Profil vazníku je v přímé části konstantní 200 x 1400 mm a v obloukové části je ve vrcholu profil 200 x 1800 mm. Tento nadvýšený profil se od vrcholu obloukové části snižuje k původní výšce profilu 1400 mm. Vazníky jsou tvořeny jednotlivými lepenými lamelami v tloušťce 40 mm.

Vazníky jsou ve všech kloubech uloženy pomocí čepového ložiska. V nejnižším místě je vazník uložen na základové betonové patky. Na protější straně je podporován železobetonovým sloupem o rozměrech 450 x 450 mm, který je součástí skeletu konstrukce sportovního zázemí haly. Ve vzdálenosti 2,9 m od uložení na sloupu je vazník podporován ocelovou trubkovou vzpěrou, která je uložena po obou koncích kloubově pomocí čepového ložiska. Sklon vzpěry od střednice vazníku je 60° a dolním koncem je uložena také na železobetonový sloup skeletu zázemí.

Vzpěra je navržena z ocelové trubky profilu 152,4 / 10 mm, třídy oceli S355. Napojení vzpěry na sloup a k vazníku je za pomoci ocelových svařovaných botek pevnosti třídy S355 se styčnickovými plechy s ložisky průměru 60 mm (S355). Přejechod mezi trubkou a botkou je řešen za pomoci speciální ocelové tvarovky z oceli S355, která se vsune do profilu trubky a přivaří. Napojení na železobetonový sloup je řešeno pomocí vložené ocelové desky, která je kotvena a zalita ve sloupu. Na tuto desku je přivařena ocelová botka čepového ložiska.

Založení konstrukce je na betonových patkách C25/30 (návrh není součástí této práce). K patkám je čepové ložisko uloženo pomocí svařované botky z oceli S355, která je připevněna k základové konstrukci ocelovou deskou s kotevními šrouby. Čepy jsou průměru 60 mm z oceli S355.

Čepové uložení vazníku na železobetonový sloup je tvořeno ocelovou botkou přivařenou na patní desku 450 x 450 mm, tl. 25 mm (S355), která tvoří zhlaví sloupu a je kotvena do výztuže sloupu.

8.1.2 Ztužující prvky konstrukce

Mezi jednotlivé rámy jsou rozepřeny podélná ztužidla z lepeného lamelového dřeva GL28h v příčné osově vzdálenosti 4 m. Mají profil 140 x 180 mm s tloušťkou jednotlivých lamel 40 mm a jsou kotvené na bočnice hlavních nosníků v jejich středové ose.

V rovině uložení hlavních nosníků na železobetonové sloupy jsou jednotlivá pole rozepřena ocelovými trubkovými rozpěrami zabraňujícími klopení. Rozpěry tvoří příhradovou konstrukci z ocelových trubek profilu 73/4,5 mm. Ta je tvořena horní trubkou kotvenou vruty do bočních stěn nosníku, dolní kotvenou pomocí styčnickového plechu přivařeného k botce čepového spoje a diagonálou, která je mezi ně rozepřena.

Zavětrování střešní roviny je řešeno táhly, která tvoří zavětrovací kříže v polích mezi podélnými ztužidly. Táhla jsou navržena ve dvou krajních a středovém poli. Jsou navržena jako ocelový lanový systém s koncovkami a upevněným napínákem Macalloy, konkrétně jednopramenné vinuté lano 1x19 průměru 10 mm.

8.1.3 Montážní spoj

Vazník je rozdělen kvůli transportním kapacitám na dvě části, které jsou spojeny montážním spojem. Montážní spoj je navržen v místě přechodu přímé části příčle vazníku do zakřivené. Je navržen s ohledem na namáhání konstrukce. V tomto místě je dle obalové křivky momentů rozmezí, kde se bude pohybovat inflexní bod, a tedy bude nejméně namáháno ohybovými momenty. Zároveň je místo výhodné také z důvodu výroby, protože rozděluje nosník na přímou a obloukovou část

Spoj je navržen pomocí tří vložených plechů tloušťky 12 mm z oceli S355, ocelových kolíků a přesných svorníků průměru 24 mm pevnosti 8.8. Normálová síla mezi oběma segmenty bude přenesena pomocí styčných plechů tl. 10 mm, které budou přivařeny kolmo k vloženým plechům a budou tvořit čelní desky spoje. Střední vložený plech je navržen pod úhlem, aby lépe přenášel smykové zatížení v místě spoje.

8.1.4 Spoje ocel-dřevo

Veškeré spoje mezi ocelovými prvky a lepeným lamelovým dřevem jsou řešeny pomocí ocelových vložených (tl. 12 mm), případně příložkových plechů z oceli S355. Jako spojovací prvky jsou navrženy přesné svorníky a kolíky M24, pevnosti 8.8, u málo namáhaných spojů vruty.

U uložení oblouku na základovou konstrukci je kolmo k vloženému plechu navařena patní deska tl. 25 mm (S355) pro přenos tlakového namáhání a po bocích desky rozměru 430x200 / 20 mm (S355) pro přenos smykové síly.

Spoje podélných ztužidel s boční stěnou vazníku jsou řešeny zároveň jako uložení pro zavětrovací křížová táhla. Jsou tvořeny ocelovými svařovanými botkami, na které je v centru čepově uloženo podélné ztužidlo pomocí styčnickových plechů a bočními styčnickovými plechy s kruhovým otvorem pro napojení táhla. Botka je k vazníku připevněna pomocí vrutů.

Veškeré pomocné ocelové konstrukce, ložiska, botky a styčnickové plechy jsou opatřeny žárovým zinkováním.

8.1.5 Zesílení závitovými tyčemi

V zakřivené obloukové části je navrženo zesílení pomocí vlepovaných závitových tyčí. Závitové tyče jsou rozmístěny v rozestupech 1000 mm (měřeno ve střednici nosníku) v osovému středu nosníku. Použity jsou závitové tyče M20 podle DIN 975, pevnostní třídy 4.6, ocel S235 se svislou drážkou kvůli lepšímu rozložení lepidla.

Tyče budou nařezány podle výšek proměnného profilu, aby pokryly celou výšku nosníku. Pro tyče budou předvrtány otvory průměru 15 mm a následně vyplněny fenolrezorcínovým lepidlem. Po vyplnění otvoru lepidlem se zašroubuje závitová tyč.

8.2 STABILITA A ZTUŽENÍ KONSTRUKCE

Jednotlivé rámy tvoří štíhlé vysoké nosníky, které je nutno zajistit proti klopení a vybočení ze své roviny. V případě nezajištění vznikají u takto velkých rozponů velká přídavná namáhání. Také je potřeba zajistit dostatečnou tuhost střešní roviny a ztužení v příčném a podélném směru.

Tuhost rámu ve své rovině (v příčném směru) je zajištěna vlastní tuhostí rámu a také ji zvyšuje železobetonový skelet sportovního zázemí, u kterého jsou rámové vazby orientovány také v příčném směru.

Zajištění v podélném směru je provedeno pomocí dřevěných ztužidel z lepeného lamelového dřeva profilu 140x180 mm. Ztužidla jsou rozmístěna mezi jednotlivé rámy v rozestupu 4 m ve střednici hlavních lepených nosníků. Mimo zajištění tuhosti v podélném směru zajišťují nosníky také proti klopení.

Rámy jsou v podélném směru zajištěny také pomocí ocelových příhradových ztužidel umístěných v rovině uložení rámu na železobetonový sloup. Jsou tvořeny horním a dolním pasem a diagonálou z ocelových trubek. Mimo podélného ztužení také zajišťují štíhlý profil nosníku proti klopení. Částečně bude k tuhosti přispívat také střešní opláštění.

Příhradové příčné ztužidlo je tvořeno z ocelových táhel. Tato táhla tvoří zavětrovací kříže v jednotlivých polích o rozměrech 4 x 5 metrů a jsou kotvena do bočnic lepeného rámu v rovině uložení podélných ztužidel, se kterými spolupůsobí. Toto křížové ztužení je provedeno ve dvou krajních a středním poli.

8.3 MONTÁŽ A DOPRAVA

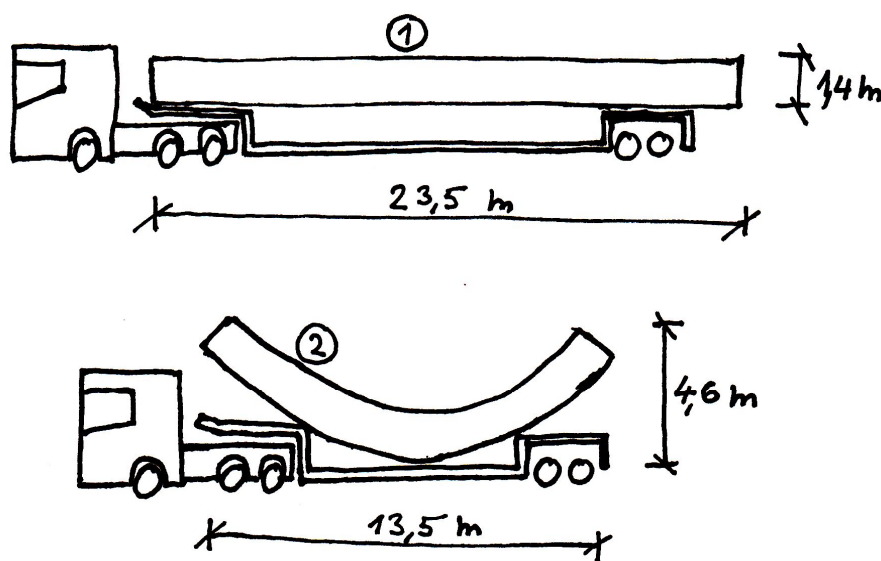
8.3.1 Doprava

Přeprava segmentů z lepeného lamelového dřeva nezpůsobuje v ohledu na užité zatížení vozidel žádné problémy vzhledem k nízké objemové hmotnosti materiálu ($400\text{-}500\text{ kg/m}^3$). Problémy mohou nastat vzhledem ke tvaru a rozměrům prvků.

Rámové segmenty jsou rozděleny montážním spojem na dva dílce – obloukový a přímý. Obloukový segment má přepravní rozměry $13,5 \times 4,6\text{ m}$ a bude přepraven dle schématu za pomoci hlubinného návěsového podvalníku. Na návěsu bude popruhy zajištěn proti klopení.

Druhý přímý segment má přepravní rozměry $23,5 \times 1,4\text{ m}$ a bude transportován na nízkoložném návěsovém podvalníku odpovídající délky. Všechn náklad bude zajištěn odpovídajícím způsobem proti uvolnění.

Maximální výška a délka nákladu bez povolení o nadměrném nákladu jsou $4,00\text{ m}$ x $18,75\text{ m}$. Souprava překročila míry stanovené vyhláškou č. 341/2002 Sb., je nutné povolení k přepravě nadměrného nákladu. Důležité bude také posoudit podjezdové výšky na trase z důvodu výšky obloukového segmentu a poloměry zatáček a křižovatek z důvodu délky přímého segmentu.



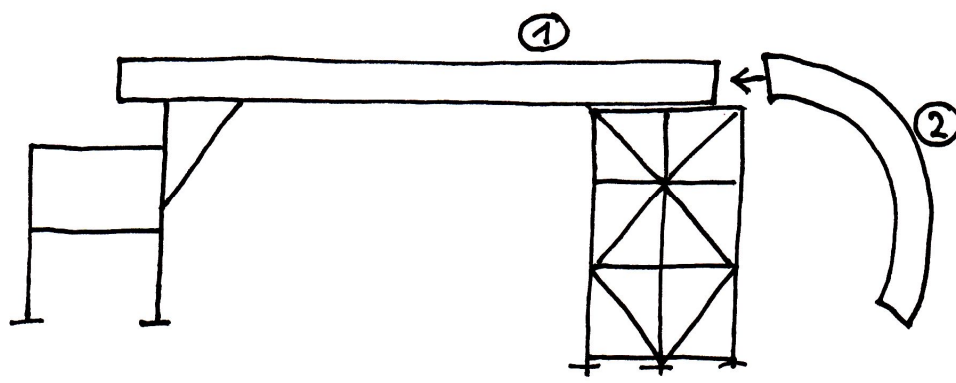
Obrázek 8.1 Schéma přepravních rozměrů jednotlivých segmentů

8.3.2 Montáž

Po dopravení rámových segmentů na staveniště se musí dbát na jejich správné skladování. Musí být chráněny před zemní vlhkostí, deštěm, případně sněhem. Aby toho bylo dosaženo, musí být vyloučen kontakt dílců se zemí a v případě deště zakryt vodotěsnou plachtou.

Veškeré dílce budou již z výrobního závodu osazeny kováním a všemi jejich součástmi, u kterých je to možné. Před zahájením montáže bude na místě zkontrolováno, zda jsou všechny části nosné konstrukce vyrobeny v souladu s výkresovým zadáním a zda odpovídají svojí jakostní kvalitou. Rovněž se zkontroluje, zda je na místě k dispozici všechen materiál a náčiní nutné k samotné montáži.

Nejprve se osadí a vyrovnají hlavní rámové dílce. Před započatím jejich montáže se pod místem budoucího montážního spoje sestaví na požadovanou výšku mostní lešení Pižmo (viz. schéma níže), které bude provizorně podporovat přímou část č. 1. Tato část se pomocí autojeřábu usadí po jedné straně na připravené čepové uložení na již zbudovaném železobetonovém skeletu sportovního zázemí a na straně druhé se provizorně usadí na lešení Pižmo. Přesnost usazení bude kontrolována za pomoci geodetického měření. Prvky se provizorně zajistí proti klopení. Provede se spojení s ocelovou vzpěrrou.



Obrázek 8.2 Schéma postupu montáže jednotlivých dílců

Na dílci č. 1 budou předem osazeny styčnickové vložené plechy montážního spoje včetně části, která se vsune do druhého dílce. U dílce č. 2 bude v místě montážního spoje z výroby vyfrézována drážka a otvory pro přesné svorníky a kolíky. Nebude osazen kováním,

pouze ve spodní části čela profilu bude osazen 5 mm plech se čtyřmi vruty se západovou hlavou. Tímto plechem bude v protější čelní části osazen také dílec č. 1 se čtyřmi otvory pro západové hlavy. Díky tomuto bude usnadněno usazení druhého dílce. Ten bude zvednut jeřábem a usazen čepovým spojem na základovou patku a v horní části bude do zářezu dílce vsunuta druhá polovina styčnickového plechu upevněná na dílci č. 1. Dosednutí a provizorní zajištění se zajistí pomocí vrutů se západovou hlavou a následně dojde ke spojení vloženého plechu s dílcem pomocí přesných kolíků a svorníků do předem předvrtaných otvorů.

Po spojení hlavních dílců budou smontovány ztužující konstrukce a následně odstraněno provizorní zajištění.

9 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo řešení problematiky lepených lamelových konstrukcí pro zastřešení halových objektů. Seznámení s obecnými poznatky a následný demonstrativní návrh konstrukce zastřešení pro víceúčelovou sportovní halu.

Konstrukce zastřešení byla nejprve optimalizována z hlediska statického působení s ohledem na hospodárnost návrhu, konstrukční možnosti materiálu a funkčnost. Byla vybrána optimální varianta, pro kterou bylo následně vypočteno odpovídající zatížení dle návrhu konstrukce a klimatických podmínek.

Následně byl vytvořen prostorový model celé konstrukce ve výpočetním programu Scia engineer 2013, ze kterého byly po výpočtu získány veškeré hodnoty namáhání potřebné pro dimenzování konstrukčních prvků.

V části zabývající se dimenzováním prvků byla na konkrétních příkladech předvedena problematika posuzování nosníků z lepeného lamelového dřeva, souvisejících konstrukcí a spojů dle platných norem ČSN EN. Po dokončení posouzení byla provedena zpětná analýza a zhodnocení výsledků včetně zdůraznění problémových částí posudku.

V závěrečné části byla popsána navržená konstrukce, její stabilitní zajištění a naznačeny dopravní a montážní postupy.

Výkresová část, která je součástí přílohy byla vytvořena v programu Autodesk Revit Architecture 2012. Součástí této práce jsou přílohy a CD s jednotlivými přílohami ve formátu PDF.

POUŽITÁ LITERATURA

- ČSN EN 1991-1-1 (73 0035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1991-1-3 (73 0035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- ČSN EN 1991-1-4 (73 0035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem)
- ČSN EN 1995-1-1 - Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN 73 1702 - Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí - Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, 2007
- ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků, 2005
- ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, 2006
- ČSN EN 14080 - Dřevěné konstrukce - Lepené lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo – Požadavky, 2013

- Volker Kramer, Dr. Ing., Dřevěné konstrukce - Příklady a řešení podle ČSN 73 1702. 1. vyd., informační centrum ČKAIT, sokolská 15, Praha 2, 2009
- Koželouh Bohumil, Ing. CSc., Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5 STEP 1, 1. vyd., Zlín, 1998
- Koželouh Bohumil, Ing. CSc., Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5 STEP 2, 1. vyd., Praha, 2004
- prof. Ing. Milan Holický, DrSc.; doc. Ing. Jana Marková, Ph.D.; Ing. Miroslav Sýkora, Ph.D.; Zatížení stavebních konstrukcí - Příručka k ČSN EN 1991, Praha, 2009
- Kuklík Petr, Doc. Ing. CSc., Dřevěné konstrukce 10 – skriptum ČVUT, Praha, 2000

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 2.1 Lisování a lepení obloukového nosníku (ČDZ Praha, a.s.).....	13
Obrázek 3.1 Schematické varianty možností řešení rámu.....	19
Obrázek 3.2 Studiový návrh konstrukce sportovní haly – perspektivní pohled.....	21
Obrázek 4.1 Varianty zakřivení obloukového nosníku.....	23
Obrázek 4.2 Průběh vnitřních sil na prutu - M_y	25
Obrázek 4.3 Průběh deformací na prutu.....	26
Obrázek 4.4 Varianty uložení – vlevo kloubové, vpravo vetknutím.....	28
Obrázek 4.5 Varianty uložení nosníku.....	29
Obrázek 4.6 Průběh vnitřních sil na prutu- M_y	31
Obrázek 4.7 Průběh vnitřních sil na prutu – N	31
Obrázek 4.8 Hodnoty deformací na nosnících – modrá- ve směru x, červená – ve směru z.....	33
Obrázek 4.9 Hodnoty vnějších reakcí konstrukce.....	34
Obrázek 4.10 Výpočetní model konstrukce s uložení na rám skeletu.....	35
Obrázek 4.11 Průběh vnitřních sil na modelu - M_y	36
Obrázek 4.12 Průběh vnitřních sil na modelu - N	36
Obrázek 4.13 Návrh nového modelu konstrukce se vzpěrou.....	37
Obrázek 4.14 Průběh vnitřních sil na modelu se vzpěrou - M_y	37
Obrázek 4.15 Průběh vnitřních sil na modelu se vzpěrou - N	38
Obrázek 5.1 Schéma konstrukce haly a určení místa oblouku se sklonem $\geq 60^\circ$	42
Obrázek 5.2 Schéma zatěžovacího stavu I – rovnoměrné zatížení sněhem.....	42
Obrázek 5.3 Schéma zatěžovacího stavu II – s lokálním navátím.....	43
Obrázek 5.4 Schéma zatěžovacího stavu III – uvažováno pouze lokální navátí sněhu.....	44
Obrázek 5.5 Schéma zatěžovacího stavu I – vítr od západu (zprava).....	46
Obrázek 5.6 Schéma zatěžovacího stavu II – vítr od východu (zleva).....	46
Obrázek 5.7 Schéma rozložení součinitelů $C_{pe,10}$ při podélném zatížení větrem.....	47
Obrázek 5.8 Výpočetní model konstrukce rámu vytvořený ve Scia engineer.....	48
Obrázek 5.9 Výpočetní 3D model konstrukce vytvořený ve Scia engineer.....	49
Obrázek 5.10 Ukázka vloženého zatížení – vítr – zatěžovací stav VTR2.1.....	50
Obrázek 5.11 Obálka momentu M_y na celé konstrukci.....	52
Obrázek 5.12 Zatěžovací stav VTR 3.1- podélné zatížení větrem.....	53
Obrázek 5.13 Deformace od podélného zatížení větrem (stav VTR3.1).....	54
Obrázek 5.14 Normálové síly v křížovém zavětrování od podélného zatížení větrem.....	54
Obrázek 5.15 Zatěžovací stav VTR2.2 –příčné zatížení větrem.....	55
Obrázek 5.16 Moment M_y vyvozený zatěžovacím stavem VTR2.2.....	55
Obrázek 5.17 Zatěžovací stav SN 1.2- nerovnoměrné zatížení sněhem.....	56
Obrázek 5.18 Ohybový moment M_y vyvozený zatěžovacím stavem SN1.2.....	57

Obrázek 5.19 Zatěžovací stav SN 2.3- zatížení sněhovým navátím v obloukové části	57
Obrázek 5.20 Ohybový moment M_y vyvozený lokálním sněhovým navátím (SN2.3).....	58
Obrázek 5.21 Obálka momentu M_y na řezu prvkem B122	59
Obrázek 5.22 Obálka pos. síly V_z na řezu prvkem B122	60
Obrázek 5.23 obálka normálové síly N na řezu prvkem B122	60
Obrázek 6.1 Schéma zakřivené části nosníku.....	67
Obrázek 6.2 Schéma zvýšeného průřezu oblouku ($h_{ap}=1800$ mm)	71
Obrázek 6.3 Schéma rozšířeného profilu oblouku bočnicemi	73
Obrázek 6.4 Rozmístění závitových tyčí - řešení B.1	76
Obrázek 6.5 Rozmístění závitových tyčí - řešení B.2	78
Obrázek 6.6 Rozmístění závitových tyčí - řešení B.3	80
Obrázek 6.7 Rozmístění závitových tyčí - řešení B.4	82
Obrázek 6.8 Schéma zesílení průřezu pomocí skelných vláken	84
Obrázek 6.9 Schéma vzpěrných délek v rovině nosníku.....	90
Obrázek 6.10 Hodnoty deformací na hlavním zakřiveném nosníku	98
Obrázek 6.11 Graf závislosti pro určení tlačené oblasti patního plechu.....	103
Obrázek 6.12 Síly působící na kotevní desku pod čepovým uložením	104
Obrázek 6.13 Vzdálenosti spojovacích prvků od těžiště spoje	107
Obrázek 6.14 Vzdálenosti spojovacích prvků od těžiště spoje	115
Obrázek 6.15 Montážní spoj – rozmístění spojovacích prostředků.....	127
Obrázek 8.1 Schéma přepravních rozměrů jednotlivých segmentů	145
Obrázek 8.2 Schéma postupu montáže jednotlivých dílců	146
Tabulka 4.1 Vnitřní síly na nosnících (výstup Scia engineer)	25
Tabulka 4.2 Hodnoty deformace na nosnících.....	26
Tabulka 4.3 Vnitřní síly na nosnících (výstup Scia engineer)	30
Tabulka 4.4 Hodnoty deformací na nosnících (výstup Scia engineer)	32
Tabulka 5.1 Zatěžovací stavy na konstrukci.....	50
Tabulka 5.2 Kombinace zatěžovacích stavů.....	51
Tabulka 5.3 Výsledné extrémy vnitřních sil na hlavních nosnících	58
Tabulka 5.4 Výsledné extrémy vnitřních sil na prutu vzpěry	59
Tabulka 5.5 Výsledné extrémy vnitřních sil na podélných ztužidlech	60
Tabulka 5.6 Výsledné extrémy vnitřních sil na prutech zavětrování	61
Tabulka 6.1 Varianty zesílení na tah kolmo k vláknům (1/2).....	85
Tabulka 6.2 Varianty zesílení na tah kolmo k vláknům (2/2).....	86
Tabulka 6.3 Hodnoty deformací na hlavních nosnících (výstup scia).....	98
Tabulka 6.5 Hodnoty maximální zatížitelnosti lanového zavětrování.....	134

SEZNAM PŘÍLOH

VÝKRESOVÁ ČÁST:

- 1) Pohled na nosnou konstrukci 1:50
- 2) Řez nosnou konstrukcí 1:50
- 3) Výkres pole se ztužujícími táhly 1:20
- 4) Výkres pole bez ztužujících táhel 1:20
- 5) Detail čepového uložení na základ 1:10
- 6) Detail čepového uložení na vzpěru 1:5
- 7) Detail čepového uložení na sloup 1:5
- 8) Detail montážního styku 1:10
- 9) Detail napojení ztužidel 1:5
- 10) Pohled na podélné ztužení ocelovými trubkami 1:20
- 11) Perspektivní pohledy na nosnou konstrukci
- 12) Perspektivní koncepční pohledy na celou halu
- 13) Koncepční řez celou halou 1:100

OSTATNÍ:

- 14) Výpočtové protokoly Scia Engineer (pouze na přiloženém CD)