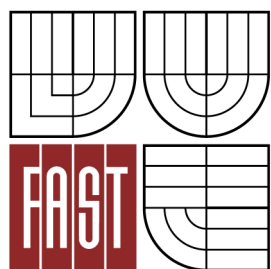


FAST VUT v BRNĚ
2013/2014

ÚSTAV STAVEBNÍ MECHANIKY Bc. PETRA ŠIGUTOVÁ



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV STAVEBNÍ MECHANIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STRUCTURAL MECHANICS

ŘEŠENÍ DŘEVĚNÝCH HALOVÝCH KONSTRUKCÍ SOLUTION OF TIMBER HALL STRUCTURES

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. PETRA ŠIGUTOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ROSTISLAV ZÍDEK, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav stavební mechaniky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Petra Šigutová
Název	Řešení dřevěných halových konstrukcí
Vedoucí diplomové práce	Ing. Rostislav Zídek, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2013
Datum odevzdání diplomové práce	17. 1. 2014
V Brně dne 31. 3. 2013	

.....
prof. Ing. Drahomír Novák, DrSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- [1] EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí.
- [2] EN 1991-1-1-1 Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb.
- [3] EN 1991-1-1-3 Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem.
- [4] EN 1991-1-1-4 Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem.
- [5] EN 1995-1-1: Navrhování dřevěných konstrukcí, Část 1-1: Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [6] ČSN 73 1702: Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [7] BOHUMIL KOŽELOUH (překlad a redakce) Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí, Komentář k ČSN 73 1702, ČKAIT, Praha, 2008.

Zásady pro vypracování

V současné době se používá řada konstrukčních řešení dřevěných hal (zemědělských, skladovacích, výrobních). Cílem diplomové práce je statická analýza různých typů dřevěných halových konstrukcí a vyhodnocení jejich vhodnosti pro různé použití. Dílčí cíle představuje nalezení vhodného výpočtového modelu, zajištění prostorové tuhosti objektu a dimenzace spojů. Pro výpočet vnitřních sil a přemístění bude využit vhodný MKP program. Výchozími předpisy pro stanovení zatížení a provedení posudků bude systém Eurokodů [1-5], popřípadě platná norma [6].

Předepsané přílohy

.....
Ing. Rostislav Zídek, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Předmětem mé diplomové práce je statická analýza různých typů příhradových nosníků na velké rozpětí. V úvodu se věnuji příhradovým nosníkům – jejich geometrii, statickému působení a namáhání prutů. V hlavní části se zabývám vytvořením rovinného modelu nosníku na rozpětí 18 metrů. Řešena je hlavně problematika spojů konstrukci. V závěru je navržen příhradový nosník a posouzeny spoje.

Klíčová slova

dřevěná hala, rovinné modely, spoje, velké rozpětí

Abstract

The subject of my thesis is a static analysis of a different trusses of a great span length. The preface is devoted to the trusses their creation of plane models of a girder with the extent of 18 metres. The questions of construction's joints are mainly solid. The conclusion is dedicated to the creation of the girder and joints' formation.

Keywords

wooden hall, two-dimensional models, joints, span length

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Petra Šigutová *Řešení dřevěných halových konstrukcí*. Brno, 2014. 58 s., 67 s. příl.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební
mechaniky. Vedoucí práce Ing. Rostislav Zídek, Ph.D..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15.1.2014

.....
podpis autora
Bc. Petra Šigutová

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 15.1.2014

.....
podpis autora
Bc. Petra Šigutová

Poděkování:

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé diplomové práce Ing. Rostislavu Zídkovi, PhD. za trpělivost, důvěru a cenné rady. Také bych chtěla poděkovat své rodině za velkou podporu při studiu.

V Brně dne 15.1.2014

OBSAH

ÚVOD

1	DŘEVO	12
1.1	OBEČNĚ	12
1.2	FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI DŘEVA.....	12
1.3	MECHANICKÉ VLASTNOSTI DŘEVA	12
2	NAVRHOVANÁ KONSTRUKCE	13
2.1	GEOMETRIE, FUNKCE, POŽADAVKY	13
2.2	TYPY NOSNÍKŮ	14
3	ZATÍŽENÍ, ZATĚŽOVACÍ STAVY	15
4	KOMBINACE ZATÍŽENÍ	16
5	VNITŘNÍ SÍLY NA PŘÍHRADOVÉM NOSNÍKU	17
5.1	PŘÍHRADOVÝ NOSNÍK	17
5.2	VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL	18
5.3	POSOUZENÍ NA I. MEZNÍ STAV	19
5.4	POSOUZENÍ NA II. MEZNÍ STAV.....	20
6	PŘÍČNÉ ROZPĚTÍ KONSTRUKCE – 12 METRŮ	21
6.1	GEOMETRIE	21
6.2	VNITŘNÍ SÍLY	22
6.2.1	HORNÍ A DOLNÍ PÁS	22
6.2.2	SVISLICE A DIAGONÁLY.....	23
6.3	POSUDKY A ZHODNOCENÍ	24
7	PŘÍČNÉ ROZPĚTÍ KONSTRUKCE – 18 METRŮ	26
7.1	GEOMETRIE	26
7.2	VNITŘNÍ SÍLY	27
7.2.1	HORNÍ PÁS	27
7.2.2	DOLNÍ PÁS	28
7.2.3	SVISLICE A DIAGONÁLY.....	29
7.3	POSUDKY A ZHODNOCENÍ	30
8	NÁVRH HALY S ROZPĚTÍM 18 METRŮ	31
9	SPOJE V DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍCH	33
9.1	VŠEOBECNĚ	33
9.2	TYPY	33

9.3	MECHANICKÉ SPOJE	34
9.3.1	SPOJE OCEL x DŘEVO.....	34
9.3.2	NAMÁHÁNÍ STYČNÍKOVÉ DESKA S PROLISOVANÝMI TRNY.....	36
9.3.3	NAMÁHÁNÍ STYČNÍKOVÉ DESKY S KOLÍKY	38
9.4	TUHOST SPOJŮ.....	39
9.5	PROKLUZ SPOJŮ	39
10	NÁVRH SPOJŮ.....	40
10.1	SPOJENÍ PODPOROVÉ SVISLICE S HORNÍM PÁSEM.....	40
10.2	SPOJENÍ DÍLŮ HORNÍHO A DOLNÍHO PÁSU.....	42
10.2.1	SPOJENÍ DÍLŮ DOLNÍHO PÁSU.....	44
10.2.2	SPOJENÍ DÍLŮ HORNÍHO PÁSU	48
10.3	SPOJENÍ DIAGONÁL V KRAJI NOSNÍKU.....	50
10.4	SPOJENÍ DIAGONÁL V POLI NOSNÍKU	53
11	ZÁVĚR	54

ÚVOD

Předmětem diplomové práce je studium statického působení zastřešení konstrukcí na velká rozpětí. Řešeny a porovnávány jsou varianty na 12 a 18 metrů rozpětí. Modely vycházejí z požadavků na ekonomickou stránku stavby, požadované rozpětí, omezení vnitřního prostoru a estetičnost. Chování různých typů uspořádání je mezi sebou porovnáváno a vyhodnoceno.

Dřevěné haly na velká rozpětí nejsou v praxi pouze skladovací prostory, ale v mnohých případech jízdárny, či jiné volnočasové budovy. Z tohoto důvodu bylo jako materiálu použito dřevo a celá konstrukce byla navržena vzdušná a lehká.

Pro prostorové modelování a výpočet byl použit program SCIA Engineer. Nejprve jsou řešeny rovinné modely základních typů příhradových nosníků. Ze zkušeností, získaných z rovinných modelů, je navržen nosník a na něm následně řešeny spoje. Výsledky od zatížení jsou mezi sebou porovnány a zhodnoceny.

1 DŘEVO

1.1 OBECNĚ

Dřevo jako stavební materiál je dostupné v různých druzích a jakostech. Při návrhu je nutno zohlednit funkci dřeva v konstrukci, a tím požadavky na vlastnosti tohoto materiálu. Druhy úprav, zpracování a výroby dřeva dávají v dnešní době možnost využití i u konstrukcí s náročnějšími požadavky na nosné prvky, a tím je dřevo jako stavební materiál konkurenceschopné.

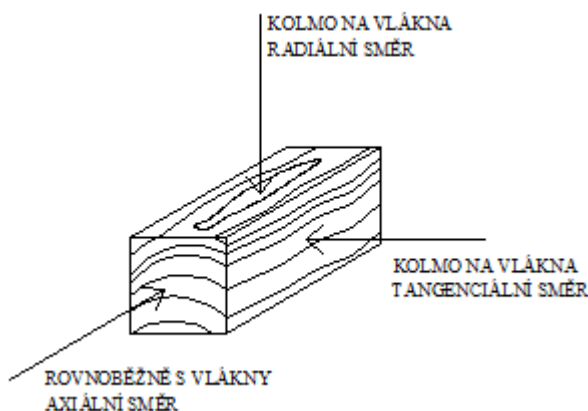
Dřevozpracující průmysl má v České republice vhodné podmínky, a proto využití této přírodní obnovitelné suroviny vzrostlo i v oblasti stavebnictví, kde v posledních letech převládal jako stavební materiál beton a ocel. Výhodami dřeva je velmi dobrá pevnost, a to při malé objemové hmotnosti, malé tepelné vodivosti a lehké opracovatelnosti. Za negativní vlastnosti lze považovat vysokou hořlavost, možnost oslabení biologickými a živočišnými škůdci, podléhání atmosférickým vlivům a v neposlední řadě je ovlivněno vlhkostí. To vše klade vysoké nároky na ošetřování. Dřevo je energeticky nenáročné a cenově přijatelné.

1.2 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI DŘEVA

Objemová hmotnost a vlhkost dřeva závisí na množství vody, které je ve dřevě obsaženo. Příčinou tvarových deformací dřevěných prvků jsou změny v objemu vody v sušíně – vysychání a bobtnání. Je-li bráněno tvarové deformaci prvků, dochází k popraskání vlivem vzniklého napětí. Proto je u dřevěných prvků nezbytné zajistit konstrukční opatření, které minimalizuje nebo zcela zamezí tvarové deformaci.

1.3 MECHANICKÉ VLASTNOSTI DŘEVA

Dřevo je organický, nehomogenní a anizotropní materiál. Při udávání mechanických vlastností dřeva je nutné respektovat jednotlivé roviny, ke kterým se vlastnosti vztahují. Výrazně se od sebe liší vlastnosti v kolmém a rovnoběžném směru s vlákny. Kolmo k vláknům dále rozlišujeme směr tangenciální a radiální. Nejlepší parametry tuhosti a pevnosti dřevo vykazuje ve směru rovnoběžném s vlákny.



Obr. 1.1 Roviny dřeva pro udávání charakteristických vlastností

Norma uvádí rozdělení dřeva do tříd pevností. Pro každou třídu jsou uvedeny charakteristické hodnoty pevnosti, hustoty a tuhosti. Pro tuto práci bylo navrženo a počítáno se dřevem C24. Charakteristické hodnoty jsou uvedeny v tabulce *tab. 1.1*.

TŘÍDY PEVNOSTI		C24	
pevnost v ohybu	$f_{m,k}$	24	[MPa]
pevnost v tahu	$f_{t,0,k}$	14	[MPa]
	$f_{t,90,k}$	0,4	[MPa]
pevnost v tlaku	$f_{c,0,k}$	21	[MPa]
	$f_{c,90,k}$	5,3	[MPa]
pevnost ve smyku	$f_{v,k}$	2,5	[MPa]
modul pružnosti v tahu, tlaku	$E_{0,mean}$	11	[MPa]
	$E_{0,05}$	7,4	[GPa]
	$E_{90, mean}$	0,37	[GPa]
modul pružnosti ve smyku	G_{mean}	0,69	[GPa]
hustota	ρ_k	350	[kg/m ³]

Tab. 1.1 Materiálové vlastnosti rostlého dřeva použitého v návrhu

2 NAVRHOVANÁ KONSTRUKCE

2.1 GEOMETRIE, FUNKCE, POŽADAVKY

V této práci se budu zabývat problematikou řešení dřevěných halových konstrukcí. V praxi se jedná zejména o sportovní haly, zemědělské haly, skladiště a jízdárny. Ve všech těchto konstrukcích jsou dány tyto požadavky:

- velké rozpětí konstrukce
- volný vnitřní prostor
- sklon střechy minimálně 10°
- materiál nosných dílců – dřevo
- ekonomičnost stavby
- estetika stavby (jízdárny, sportovní haly)

Hlavní komplikací při návrhu je nutnost překonat velké rozpětí a zároveň zachovat vnitřní prostor volný. Dílčí části konstrukce musí vyhovět na namáhání dle platné normy, a to při posouzení I. mezního stavu i II. mezního stavu. Pro dřevěné konstrukce s velkým rozpětím je typické, že na jejich celkové působení má velký vliv únosnost a poddajnost spojů.

2.2 TYPY NOSNÍKŮ

Pro konstrukce na velká rozpětí se navrhují nosníky příhradové či plnostěnné. Maximální rozměry rostlého dřeva jsou přibližně 240x280mm s délkou 6 až 9 metrů. Pro průřezy větších dimenzí se pruty navrhují jako lepené. Celkové rozměry nosníků jsou omezeny dopravními možnostmi.

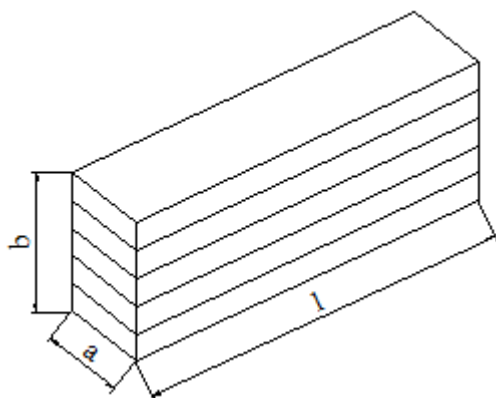
- PŘÍHRADOVÝ NOSNÍK Z ROSTLÉHO DŘEVA A LEPENÉHO DŘEVA

U dřevěných konstrukcí jsou příhradové nosníky často používaným typem. Horní pás, který je namáhán tlakem a ohybem, je svým sklonem přizpůsoben tvaru střechy. Dolní pás je zpravidla vodorovný a namáhán tahem a ohybem. Jeho geometrie je ovlivněna požadavky na světlost vnitřního prostoru pod nosníkem. Diagonály a svislice jsou uspořádány tak, aby tvořily trojúhelníkovou síť. Styčníky v příhradovém systému je vhodné navrhovat s větší vzdáleností, a tím snížit výrobní náklady na konstrukci. Příhradové nosníky jsou hospodárným návrhem do rozpětí 12-18 metrů, lze však navrhnout nosníky i pro rozpětí až 30 metrů. Navrhování z rostlého dřeva je omezeno jeho rozměrem, který je daný průřezem a délkou řeziva. Při větších rozpětích ($L > 30\text{m}$) je nutno navrhovat příhradové nosníky z lepeného lamelového dřeva (*obr. 2.1*), vrstveného dřeva, nebo plnostěnné nosníky.

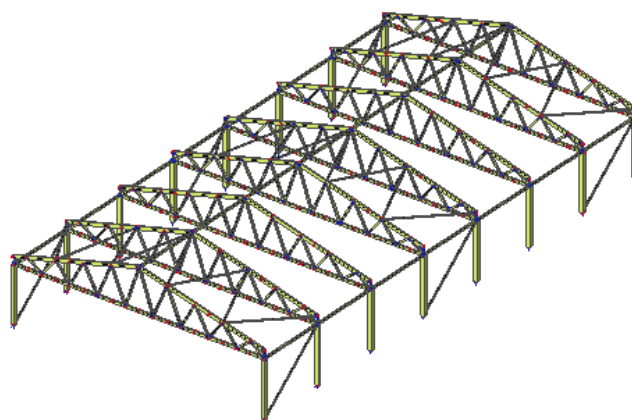
Příhradové nosníky se vyznačují tím, že oproti plnostěnným nosníkům mají poměrně velkou konstrukční výšku a jsou velmi náročné na provedení spojů ve styčnicích.

Příklad haly z příhradových nosníků je uveden na *obr. 2.2*.

U konstrukcí s větším rozpětím nebo tam, kde má povrch dřeva zůstat bez trhlin se používají nosníky z lepeného lamelového dřeva. U příhradových částí, kde jsou návrhy průřezů větší, než možnosti rostlého dřeva, se pruty navrhují také z lepeného lamelového dřeva.



Obr. 2.1 Skladba lepeného lamelového dřeva



Obr. 2.2 Schéma příhradové haly ve 3D

3 ZATÍŽENÍ, ZATĚŽOVACÍ STAVY

Byla uvažována zatížení stálá a nahodilá. Zatížení působí na konstrukci po celou dobu její životnosti a to v hodnotách, které jsou uvedeny v *příloze č.1*. Pro výpočet byl zvolen program SCIA ENGINEER. V tomto výpočetním programu byly vytvořeny jednotlivé zatěžovací stavy a skupiny zatížení, které následně vstupovaly do kombinace dle rovnice (1), (2) a (3).

- VLASTNÍ TÍHA

Vlastní tíha konstrukce byla generována automaticky programem SCIA ENGINEER. Rozměry navržených normalizovaných profilů byly programem přenásobeny charakteristickou hodnotou objemové tíhy použitého dřeva.

- OSTATNÍ STÁLÉ

Na prvky působí hmotnost skladby střechy. Zatížení vrstvou zateplení, laťováním a tíhou krytiny je vypočteno v příloze.

- UŽITNÉ

Užitné zatížení je vypočteno dle ČSN EN 1991-1-1, pro **kategorii H** – nepřístupné střechy s výjimkou běžné údržby a oprav.

- SNÍH

Pro klimatické zatížení sněhem byla použita norma ČSN EN 1991-1-3. Stavba byla zařazena do **III. sněhové oblasti** se základní tíhou sněhu na zemi $S_k=1,5$ [kN/m²].

- VÍTR

Posledním zatížením na konstrukci je vítr. Zatížení větrem bylo vypočteno dle ČSN EN 1991-1-4. Na mapě větrných oblastí byla konstrukce zařazena do **III. větrné oblasti s II. kategorií terénu**. Výchozí rychlost větru $v_{b,0} = 25$ m/s.

4 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

Zatěžovací stavy a skupiny zatížení byly vytvořeny v programu SCIA Engineer *tab. 4.1*.

	ZATĚŽOVACÍ STAV	ZATĚŽOVACÍ SKUPINA	TYP
1	vlastní tíha	STÁLÉ	standard
2	ostatní stálé		
3	užitné	UŽITNÉ	standard
4	sníh plný	SNÍH	výběrová
5	sníh vlevo		
6	sníh vpravo		
7	vítr podélný max	VÍTR	výběrová
8	vítr podélný min		
9	vítr příčný max		
10	vítr příčný min		

Tab. 4.1 Zatížení a zatěžovací skupiny vstupující do kombinace

Kombinace zatížení pro I. mezní stav únosnosti byly stanoveny dle rovnice (1) a (2), kde se vnitřní síly pro posudky stanovují z té méně příznivé. Pro stanovení mezních deformací na konstrukci z kombinace zatížení na II. mezní stav použitelnosti, bylo postupováno dle rovnice (3).

(1)

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

(2)

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

Obr. 4.1 Kombinace zatížení 6.10a, 6.10b pro mezní stav únosnosti

Hodnoty součinitelů zatížení γ a ψ se stanovily podle [9- příloha A1].

(3)

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

Obr. 4.2 Kombinace zatížení 6.14 pro mezní stav použitelnosti

5 VNITŘNÍ SÍLY NA PŘÍHRADOVÉM NOSNÍKU

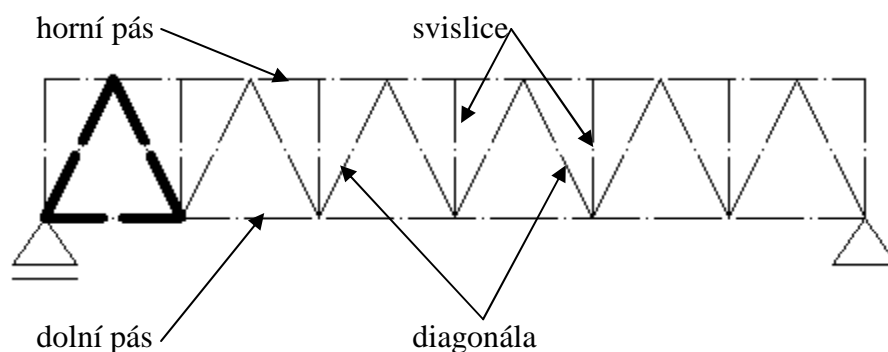
5.1 PŘÍHRADOVÝ NOSNÍK

Rovinný kloubový příhradový nosník vznikne kloubovým spojením konců přímých prutů. Osy všech těchto prutů, styčniců a zatížení leží v jedné rovině. Základním skladebním prvkem je příhrada, což jsou tři pruty kloubově spojené ve třech vrcholech trojúhelníku – tvoří tedy trojúhelníkovou soustavu. Tato soustava je vnitřně staticky i kinematicky určitá.

Uplatnění příhradových nosníků nalezneme zejména u konstrukcí mostů nebo **střech na velká rozpětí**.

- POPIS

Pruty v příhradové konstrukci:

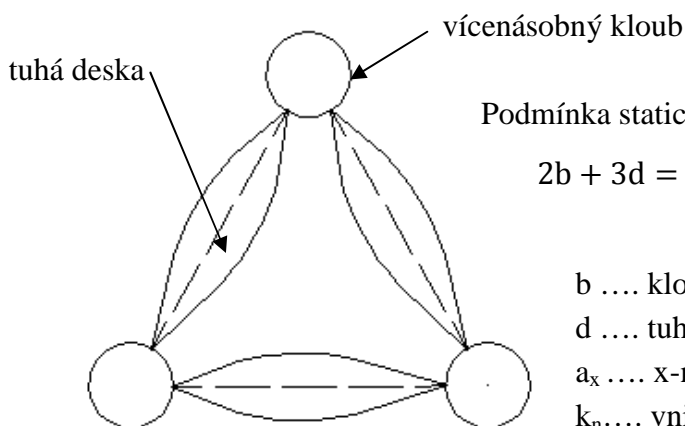


Obr. 5.1 Popis prutů v příhradové konstrukci

- STATICKÉ PŮSOBNÍ

Na skladbu rovinné kloubové prutové soustavy můžeme pohlížet ze dvou hledisek:

- Složená soustava vytvořená z tuhých desek v rovině vzájemně spojených vícenásobnými vnitřními klouby *obr. 5.2*.



Podmínka statické určitosti:

$$2b + 3d = a_1 + 2a_2 + 3a_3 + 2 \sum_{n=3,4,\dots} (n-1)k_n \quad (4)$$

b kloubové uzly

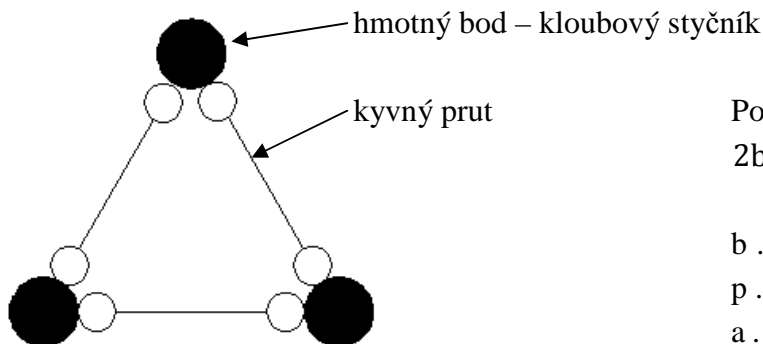
d tuhé desky

a_x x-násobné vazby

k_n vnitřní klouby spojující $n > 2$ desek

Obr. 5.2 Tuhé desky s vnitřními klouby

- Jednotlivé styčníky pokládáme za hmotné body, a jednotlivé pruty považujeme za kyvné pruty *obr. 5.3*. Každý styčník má 2 stupně volnosti a každý prut odebírá soustavě 1 stupeň volnosti.



Podmínka statické určitosti:
 $2b = p + a$ (5)

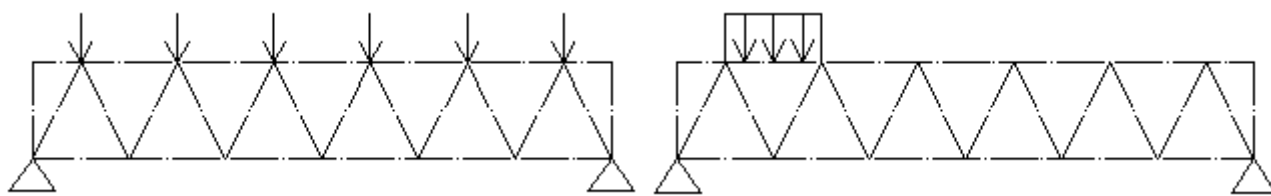
b hmotný bod
p počet vnitřních prutů
a složky reakcí vnějších vazeb

Obr. 5.3 Kyvné pruty a hmotné body

5.2 VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL

Má-li být příhradová konstrukce v rovnováze, musí být v rovnováze i každý styčník soustavy. Pro každý styčník v rovině se stanoví dvě silové podmínky rovnováhy. Soustava je podepřena vnějšími vazbami, které brání posunu.

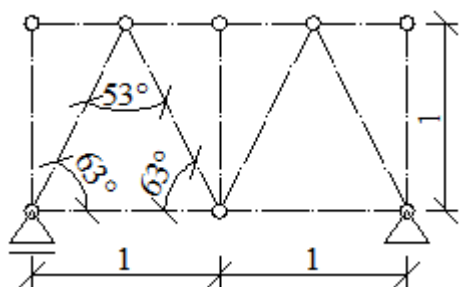
Mimostyčné zatížení lze pro výpočet vnitřních sil převést na ekvivalentní zatížení do styčníků. Od síly působící ve styčníku vznikají v prutech normálové síly. Od zatížení mimo styčníky jsou pruty namáhány i ohybovým momentem a posouvající silou. Pro výpočet lze použít metodu **průsečnou** nebo **styčníkovou**.



Obr. 5.4 a) zatížení do styčníků

b) mimostyčné spojité zatížení

Tyto metody byly použity pro vypočtení hodnot vnitřních sil v příhradovém nosníku dle *obr. 5.5* a byly porovnány s hodnotami vnitřních sil vypočtených programem SCIA Engineer. Výpočet je uveden v *příloze č.7*.



Obr. 5.5 Příhradový nosník

Ručním výpočtem vnitřních sil v prutech se docílilo relativně stejných výsledků. Za nejméně přesnou považuji styčníkovou metodu. Vlivem zaokrouhlování postupně narůstají v dalších výpočtech nepřesnosti.

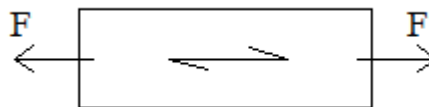
5.3 POSOUZENÍ NA I. MEZNÍ STAV

ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY NAMÁHÁNÍ

- TAH ROVNOBĚŽNĚ S VLÁKNY

Podmínka: $\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$ (6)

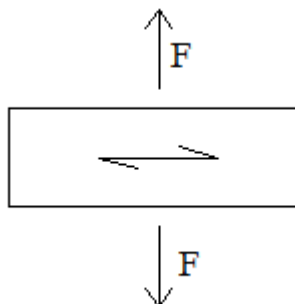
návrhové napětí v tahu $\sigma_{t,0,d}$
návrhová pevnost v tahu ... $f_{t,0,d}$



- TAH KOLMO K VLÁKNŮM

Podmínka: $\sigma_{t,90,d} \leq f_{t,90,d}$ (7)

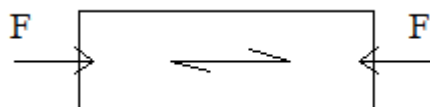
návrhové napětí v tahu..... $\sigma_{t,90,d}$
návrhová pevnost v tahu $f_{t,90,d}$



- TLAK ROVNOBĚŽNĚ S VLÁKNY

Podmínka: $\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$ (8)

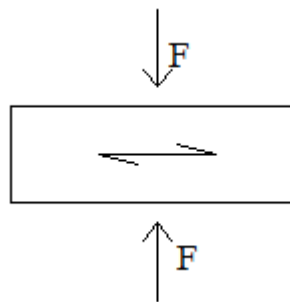
návrhové napětí v tlaku..... $\sigma_{c,0,d}$
návrhová pevnost v tlaku ... $f_{c,0,d}$



- TLAK KOLMO K VLÁKNŮM

Podmínka: $\sigma_{c,\alpha,d} \leq f_{t,\alpha,d}$ (9)

návrhové napětí v tlaku..... $\sigma_{c,\alpha,d}$
návrhová pevnost v tlaku $f_{c,\alpha,d}$



- OHYB

Podmínka: $k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$ (10)

$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$ (11)

návrhové napětí v ohybu k hlavním osám..... $\sigma_{m,y,d}$ a $\sigma_{m,z,d}$
návrhová pevnost v ohybu $f_{m,y,d}$ a $f_{m,z,d}$
součinitel pro šikmý ohyb k_m

- SMYK

$$\text{Podmínka: } \tau_{v,d} \leq f_{v,d} \quad (12)$$

návrhové napětí ve smyku..... $\tau_{v,d}$

návrhová pevnost ve smyku..... $f_{v,d}$

- KROUCENÍ

$$\text{Podmínka: } \tau_{tor,d} \leq f_{v,d} \quad (13)$$

návrhové smykové napětí od kroucení..... $\tau_{tor,d}$

návrhová pevnost ve smyku..... $f_{v,d}$

V praxi se často vyskytují prvky, které jsou namáhány hned několika způsoby najednou. V těchto případech se prvky posuzují na kombinaci dílčích namáhání.

5.4 POSOUZENÍ NA II. MEZNÍ STAV

Konečná deformace konstrukce způsobená účinky zatížení nesmí překročit příslušné meze. Je nutné věnovat pozornost nejen okamžitému přetvoření, ale zejména konečné deformaci konstrukce vlivem dotvarování dřeva.

$$\text{podmínka: } w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c \leq w_{lim} \quad (14)$$

čistý konečný průhyb..... $w_{net,fin}$

okamžitý průhyb..... w_{inst}

průhyb od dotvarování..... w_{creep}

nadvýšení..... w_c

mezní průhyb..... w_{lim}

$$\text{konečný průhyb: } w_{fin} = w_{inst} + w_{creep} \quad (15)$$

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q1} + w_{fin,Qj} \quad (16)$$

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} + (1 + k_{def}) \quad (17)$$

$$w_{fin,Q1} = w_{inst,Q1} + (1 + \psi_{2,1} k_{def}) \quad (18)$$

$$w_{fin,Qj} = w_{inst,Qj} + (1 + \psi_{2,j} k_{def}) \quad (19)$$

součinitel dotvarování a vlhkosti..... k_{def}

okamžité deformace pro příslušné zatížení..... w_{inst}

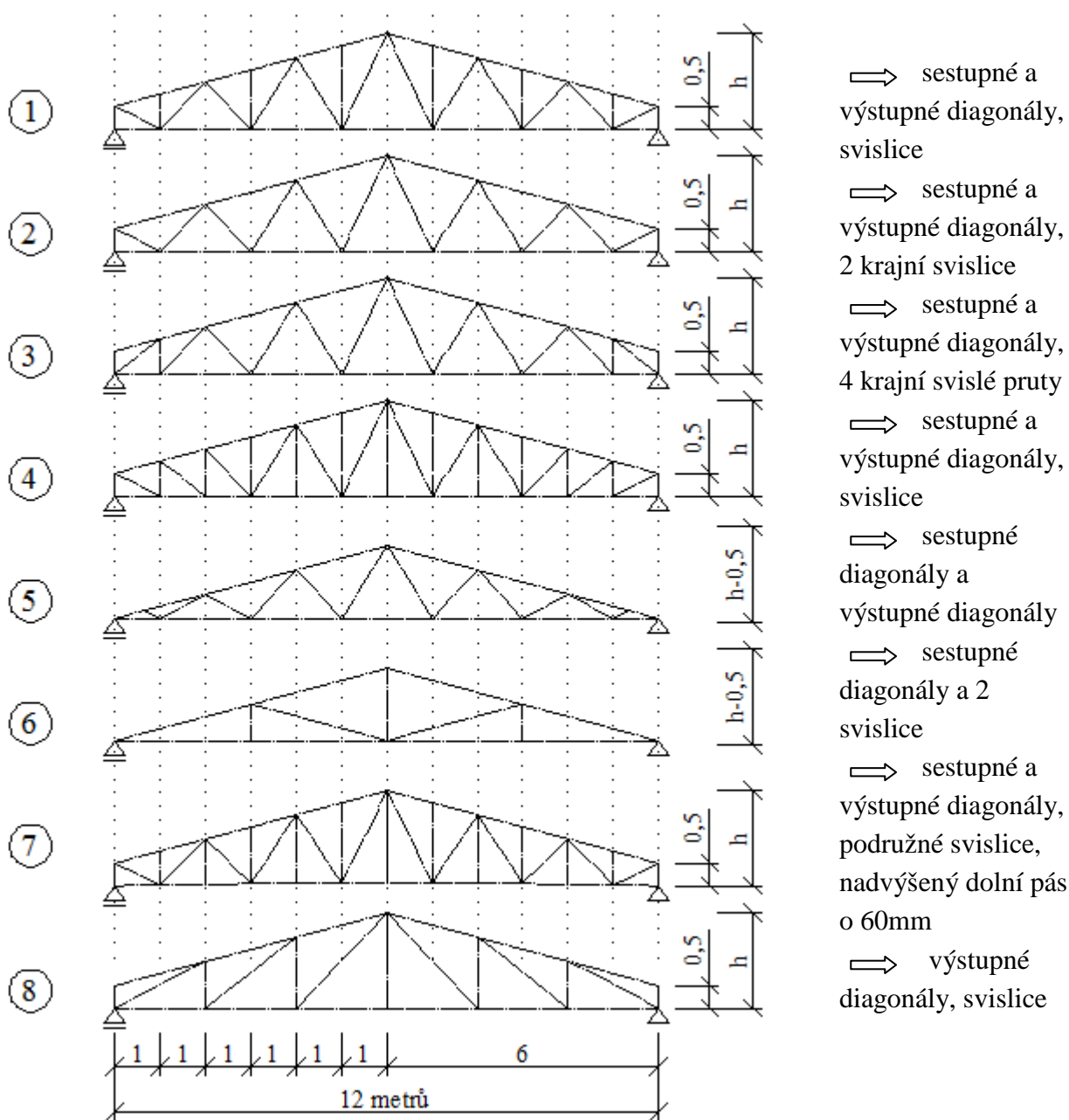
konečná deformace pro příslušné zatížení..... $w_{fin,Q1}$

součinitel pro kombinační hodnotu zatížení..... $\psi_{2,1}$

6 PŘÍČNÉ ROZPĚTÍ KONSTRUKCE – 12 METRŮ

6.1 GEOMETRIE

Modely pro rozpětí 12 metrů byly navrženy z rostlého dřeva třídy C24 a zatíženy dle *tab. 4.1*. Osová vzdálenost vazníků je 5 metrů. Ze skladebného hlediska se jedná o rovinnou konstrukci vytvořenou z prutů (příhradová soustava). Vazník je podepřen na okrajích, a tím ze statického hlediska vytváří prostě podepřený nosník. Pruty jsou kloubově připojeny ve styčnicích. Bylo namodelováno 8 variant příhradového nosníku dle *obr. 6.1* pro sklon 15° a 20° . Stabilitu horního pásu v podélném směru zajišťuje ztužení. Výška nosníku uprostřed rozpětí h je pro 15° rovna 2,1m a pro sklon 20° je výška 2,7 m.

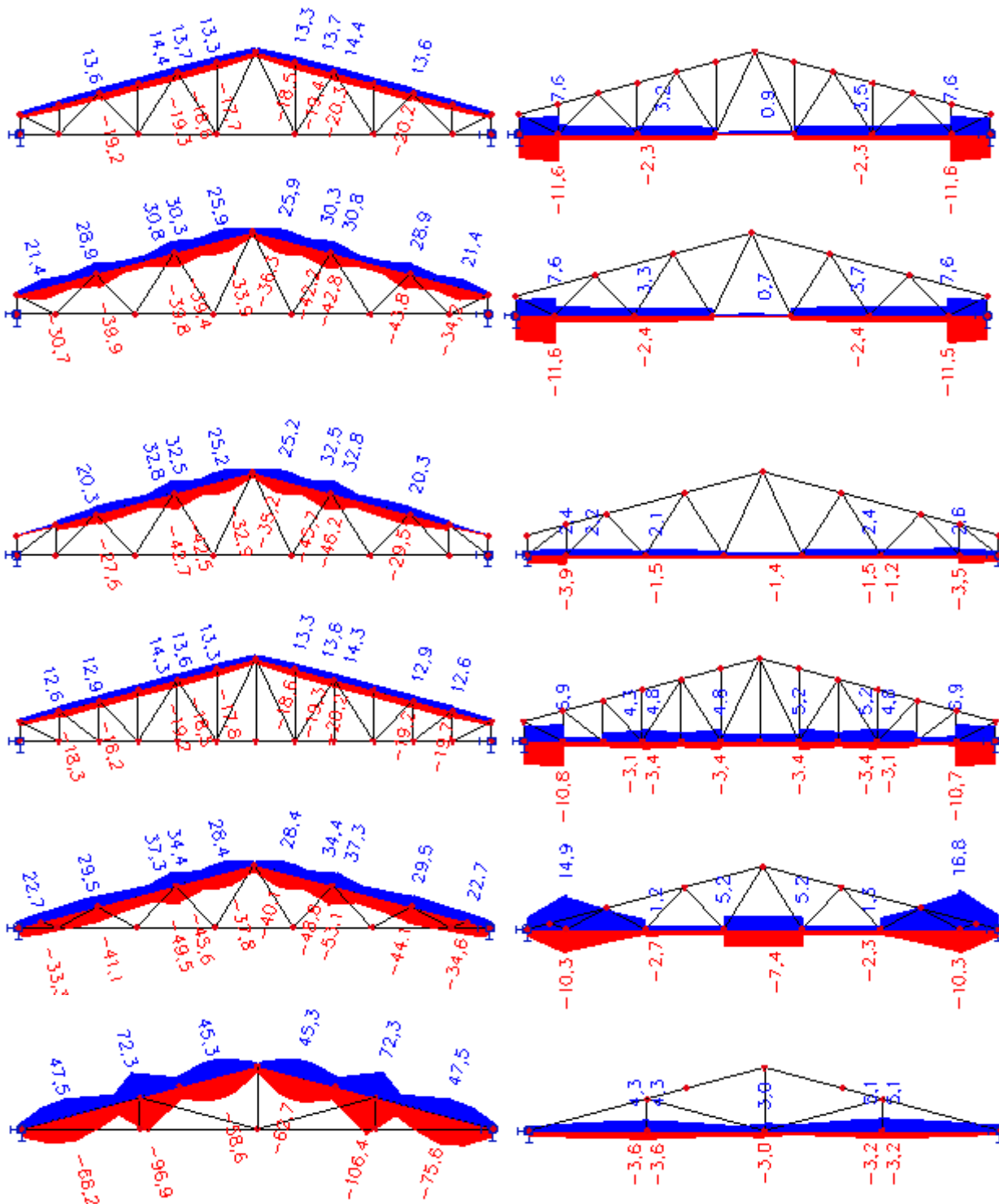


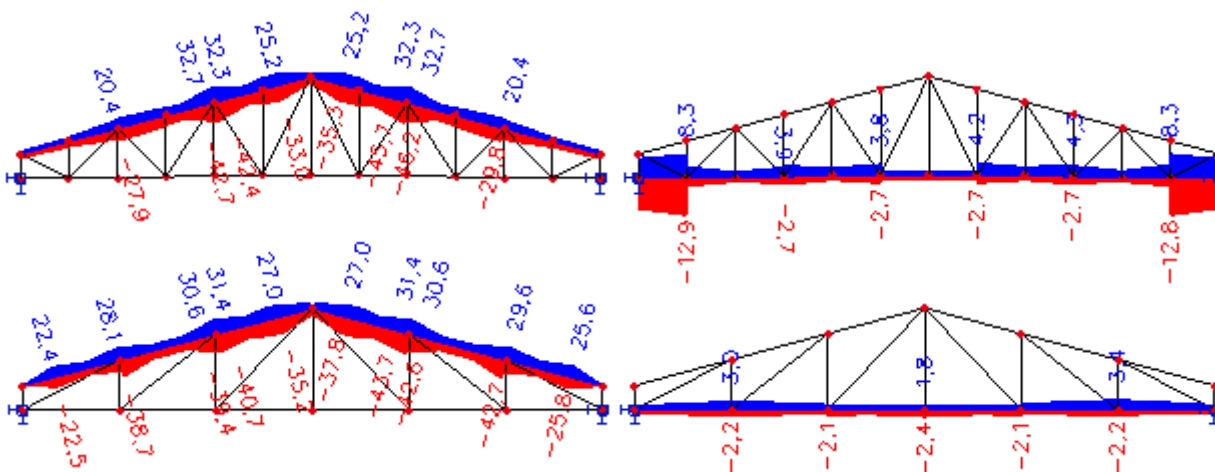
Obr. 6.1 Modely příhradového nosníku pro rozpětí 12 metrů

6.2 VNITŘNÍ SÍLY

6.2.1 HORNÍ A DOLNÍ PÁS

Vlivem zatížení na konstrukci vznikají v prutech normálová napětí dle *obr 6.2*. Prut horního pásu musí čelit daleko většímu namáhání oproti ostatním prvkům v nosníku. Proto v návrhu příhradové konstrukce je průřez horního pásu největším profilem. Nutno zdůraznit, že ohybový moment vznikající v dolním páse je do značné míry ovlivněn rozměry a tuhosti pásu horního.





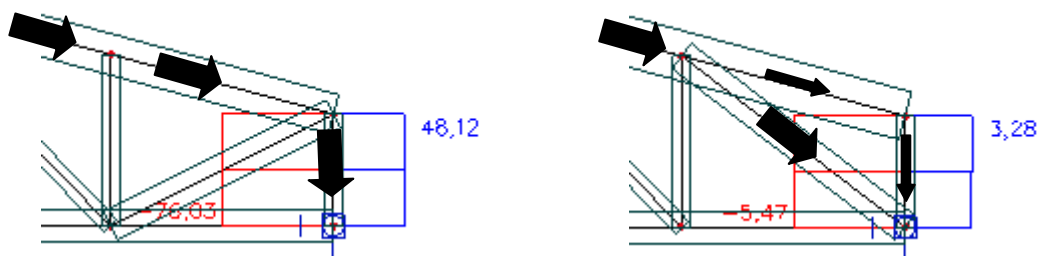
Obr. 6.2 Průběh normálového napětí (-) a (+) v prutu horního pásu a dolního pásu pro návrh se sklonem 15°; kombinace pro I.M.S.; pro jednotný průřez prutu 100x100mm = 0,01 m²[MPa]

6.2.2 SVISLICE A DIAGONÁLY

Návrh vnitřních prutů v příhradové konstrukci je závislý na průřezu horního a dolního pásu, na návrhu spojovacích prostředků ve styčnicích a na vnitřní síle v prutu. Zatížení působící na konstrukci vyvozuje ve vnitřních prutech pouze **tahové** nebo **tlakové** osově síly. Ohybový moment ve svislících a diagonálách nevzniká.

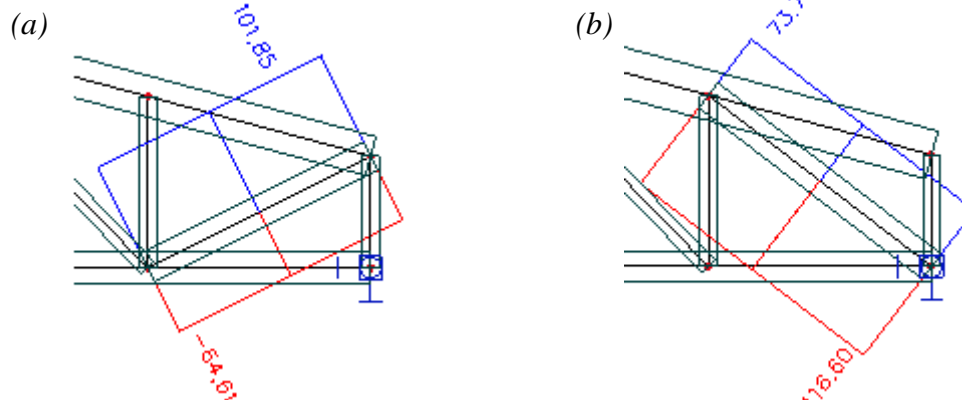
Nejvíce namáhány jsou krajní pruty (*krajní svislice a první diagonála*).

- krajní svislice tlakem vždy



Obr. 6.3 vlevo: normálová síla ve svislici (model 1); vpravo: normálová síla ve svislici (model 3), sklon 15°; kombinace pro I.M.S.; [kN]

- první diagonála namáhána tahem(a) nebo tlakem(b)

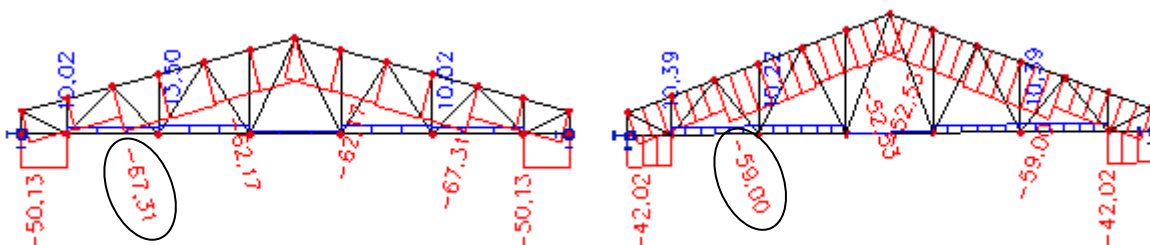


Obr. 6.4 vlevo: normálová síla v krajní diagonále (model 1); vpravo: normálová síla v krajní diagonále (model 3); sklon 15°; kombinace pro I.M.S.; [kN]

6.3 POSUDKY A ZHODNOCENÍ

Všechny dílčí komponenty příhradového nosníku byly posouzeny na mezní stav únosnosti dle kapitoly 5.3. Výpočty jsou uvedeny v příloze XXX.

Snížením úhlu sklonu střechy se zvýší namáhání prvků od vnějšího zatížení. (obr. 6.5)

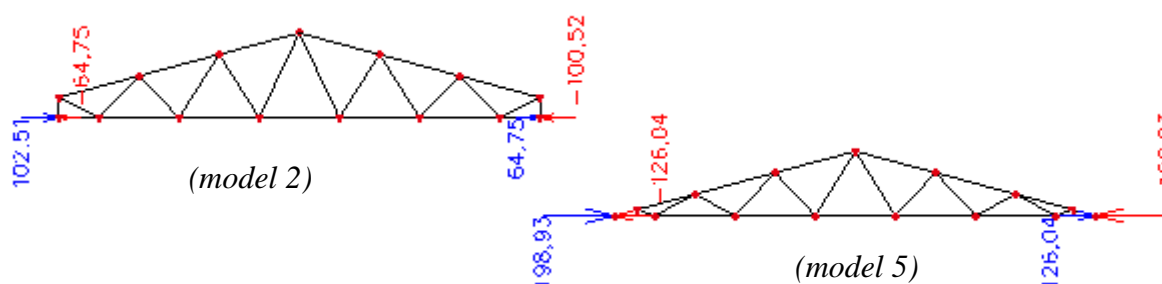


Obr. 6.5 Normálová síla v horním a dolním pásu (model 1); vlevo: sklon 15° ; vpravo: sklon 20° ; zatěžovací stav ZS4-sníh plný; [kN]

Nejvyššímu namáhání čelí horní pás. Ten je navržen z celistvého průřezu. Pokud bude navržen z jednoho kusu přes celé rozpětí poloviny vazníku, staticky působí jako spojitý nosník o několika polích. V místě středních podpor (svislice, diagonály) vznikne od zatížení záporný ohybový moment. Jeho velikost je ovlivněna poddajností styčníku.

Z montážních důvodů se může horní pás navrhnout ze dvou částí spojených kloubově. Pokud osa svislice nebo diagonály prochází spojením dvou částí horního pásu, ohybový moment je v tomto místě nulový.

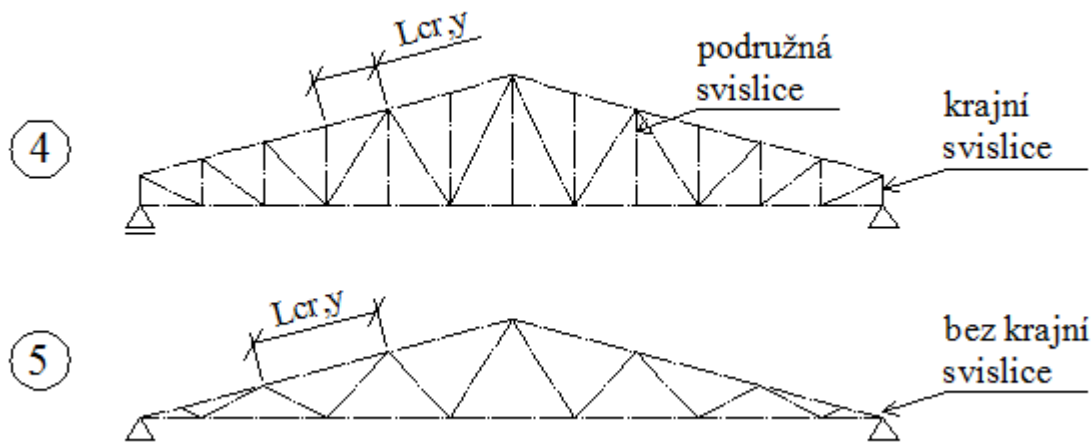
Pokud geometrii nosníku navrhne s krajním svislým prutem, zvýšíme konstrukční výšku příhradového nosníku právě o délku navržené svislice. Jejím odstraněním dosáhneme snížení nosníku, avšak ze statického hlediska se zvýší vodorovné reakce v podporách obr. 6.6. Tyto reakce mohou způsobit značné komplikace při návrhu. Viz kapitola spoje.



Obr. 6.6 Reakce R_x pro nosník s krajní svislicí a bez, sklon 15° ; [kN]

Styčníky diagonál a svislíc se navrhují z ekonomických důvodů co nejdále. Odstraníme-li však svislice a snížíme počet diagonál, zvětší se nám vzpěrná délka horního a dolního pásu pro stabilitní posudek obr. 6.7, což vede k návrhu větších profilů v prutech horního a dolního pásu.

Svislice, které se stýkají s diagonálami ve styčnicku u horního pásu (*podružné svislice*), jsou namáhány osovou silou daleko méně, než svislice spojené s diagonálami ve styčnicku u dolního pásu.

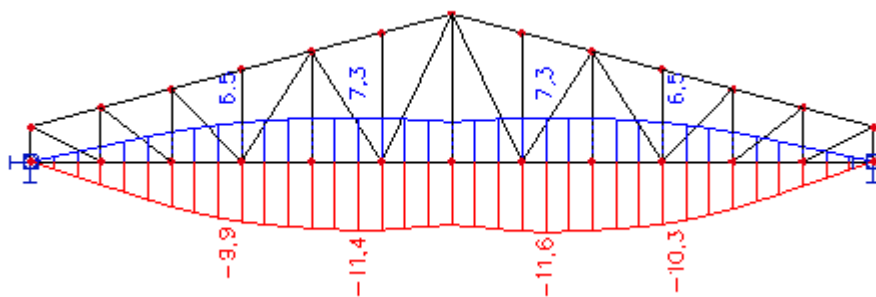


Obr. 6.7 Příhradový nosník model 4 a 5 – vzpěrné délky, krajní svislice

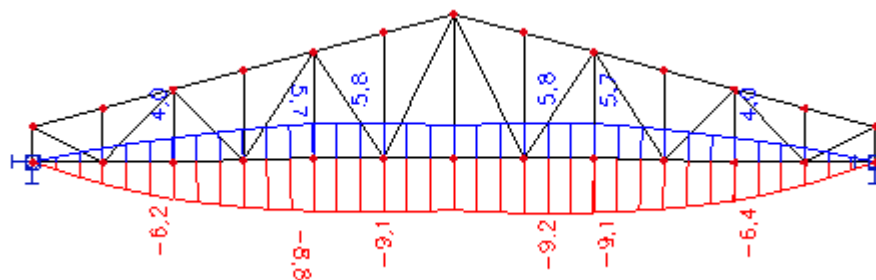
Pro daná zatížení dle *tab.4.1* a rozpětí příhradového vazníku 12 metrů je nejvhodnější řešení z hlediska spotřeby materiálu a počtu styčnicků při návrhu na mezní stav únosnosti varianta 8 se sklonem 20°.

Při řešení nebylo uvažováno s posuzováním a návrhem spojů. Touto problematikou se budu zabývat v kapitole 9 - spoje.

Abychom zmenšili konečné průhyby příhradových nosníků, navrhujeme je často s nadvýšeným dolním pásem. Nadvýšení se provádí v polovině rozpětí nebo ve třetinách rozpětí. Na *obr. 6.8 a 6.9* jsou porovnány model 4 a model 7, kde dolní pás u modelu 7 je navržen s nadvýšením 60 mm. Z výsledků je patrné, že nadvýšením se okamžitý průhyb neomezí, výhoda zalomení dolního pásu se projeví až po dotvarování dřeva při výpočtu konečného průhybu (15).



Obr. 6.8 Průhyb dolního pásu pro model 4; kombinace na II.MS; [mm]



Obr. 6.9 Průhyb dolního pásu pro model 7; kombinace na II.MS; [mm]

Vnitřní síly (tah, tlak) v diagonálách se liší dle navrženého geometrického uspořádání a způsobu zatížení nosníku. Pro modely vyššího rozpětí jsem už nadále neuvažovala s modelem číslo 7, který má zalomený spodní pás. Zaměřila jsem se více na funkci vnitřních prutů (diagonály a svislice) a přerozdělení vnitřních sil jejich postupným odstraněním.

Při rozpětí 12 metrů můžeme navrhnout vyšší sklon střechy (až 20°), protože konstrukční výška uprostřed se při tomto rozpětí příliš nenavýší. Při nižších sklonech se zvýší namáhání prutů v konstrukci.

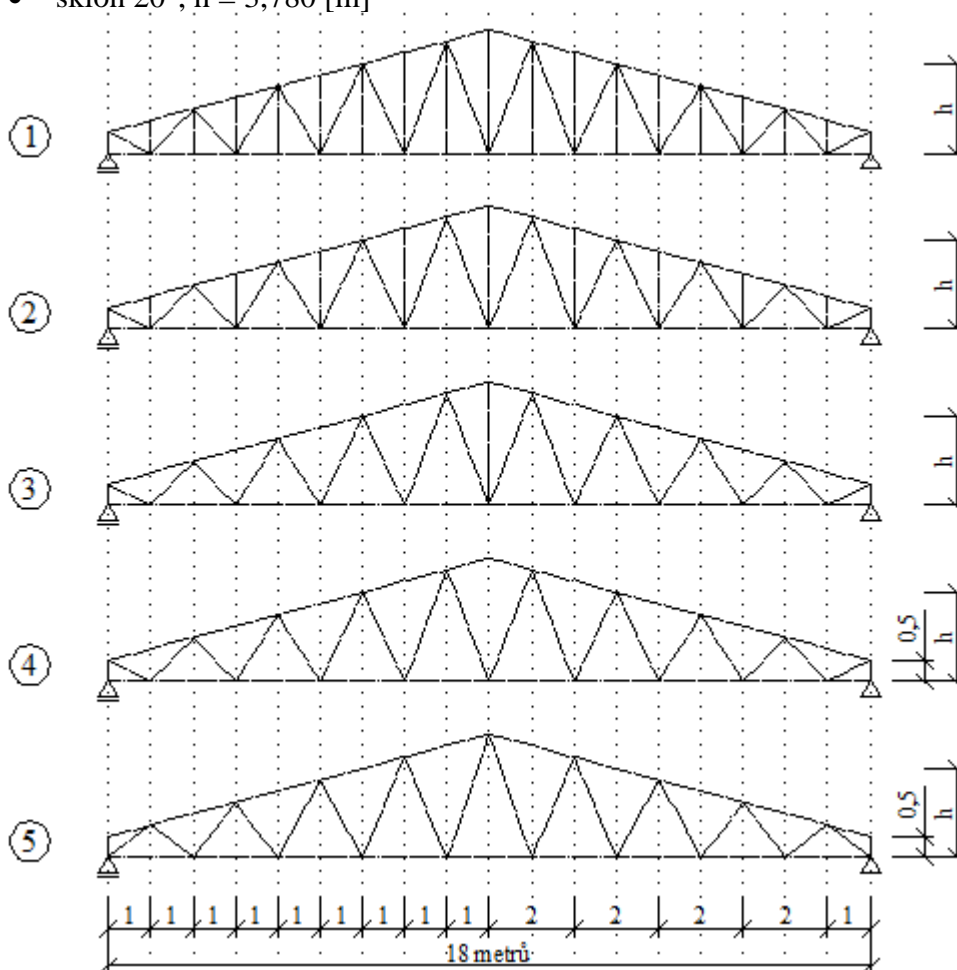
Na délky nosníků $L > 12$ metrů by vysoký sklon vedl k nevhodným řešením s velkou konstrukční výškou nosníku uprostřed.

7 PŘÍČNÉ ROZPĚTÍ KONSTRUKCE – 18 METRŮ

7.1 GEOMETRIE

Pokud zvětšíme rozpětí příhradového nosníku, zvýší se namáhání jednotlivých dílčích prutů. V tomto případě jsem zachovala osovou vzdálenost vazníků 5 metrů. Sklon jsem zvolila 15°. Při větších sklonech horního pásu vede návrh k značné výšce příhradového nosníku uprostřed rozpětí.

- sklon 15°, $h = 2,910$ [m]
- sklon 20°, $h = 3,780$ [m]

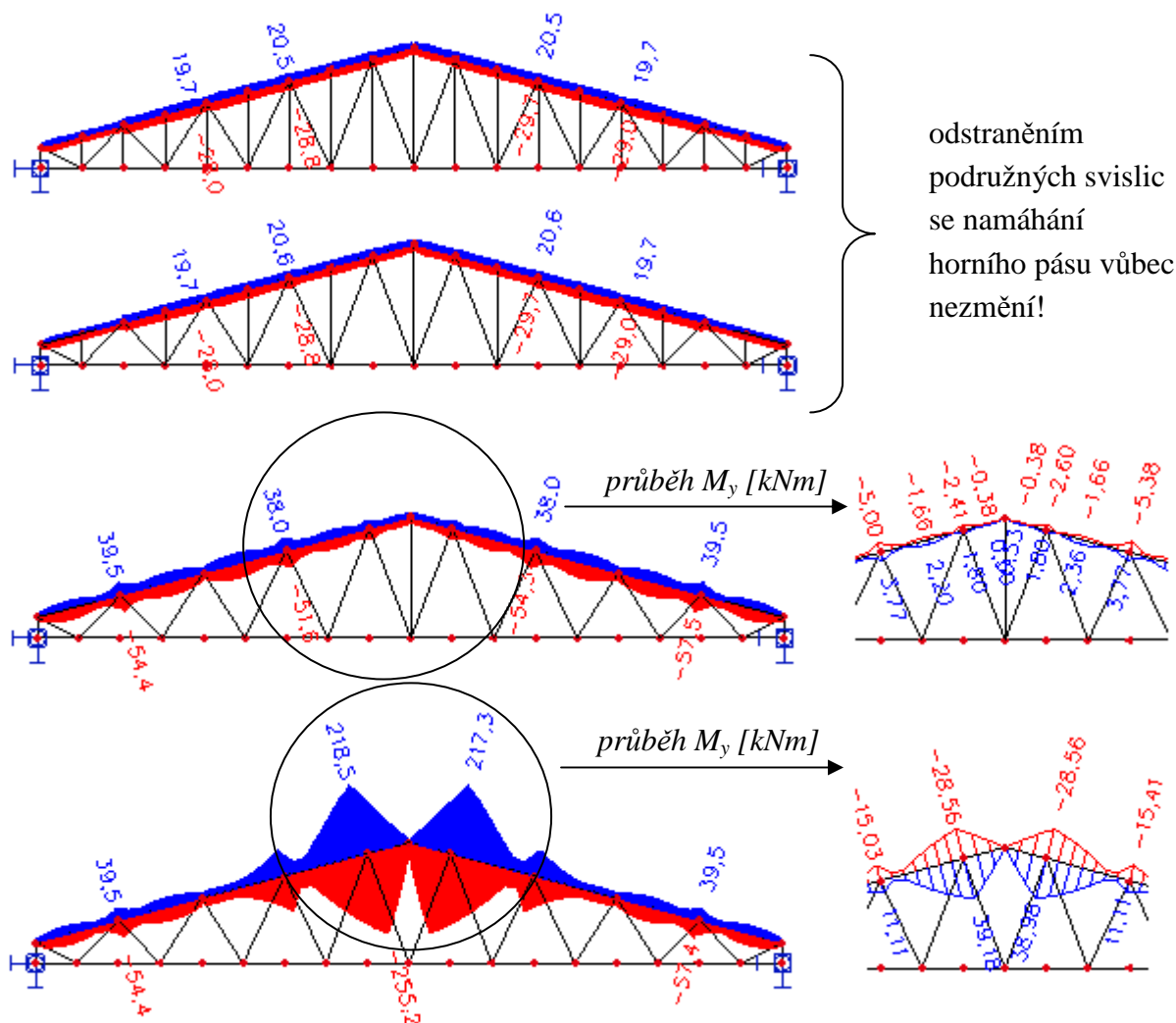


Obr. 7.1 Modely příhradového nosníku pro rozpětí 18 metrů

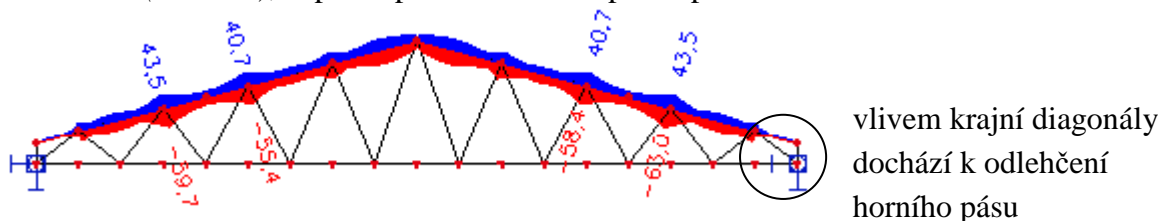
Příhradové konstrukce na rozpětí 18 metrů jsou navrženy trojúhelníkového tvaru. Nejprve byl navržen a posouzen model 1, a následně byly odebírány svislice a porovnáno přerozdělení vnitřních sil. Tímto postupem jsem chtěla obecně zhodnotit vliv svislic v konstrukci.

7.2 VNITŘNÍ SÍLY

7.2.1 HORNÍ PÁS

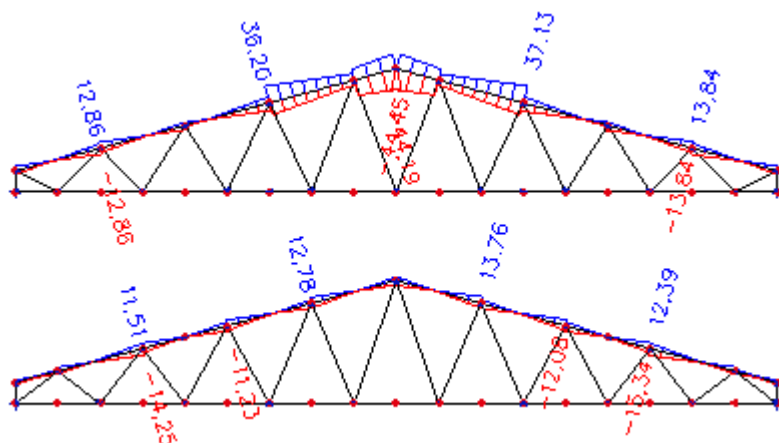


- Odstraněním svislice uprostřed se navýší posouvající síly a ohybový moment v horním pásu. Nevhodné řešení (*model 4*)! Pokud ovšem otočíme směr diagonál (*model 5*), napětí v průřezu horního pásu opět klesne.



Obr. 7.2 Průběhy normálového napětí (-) a (+) v prutu horního pásu; kombinace pro I.MS; pro jednotný průřez prutu $100 \times 100 \text{ mm} = 0,01 \text{ m}^2$; [MPa]

Pro návrh průřezu prutu horního pásu jsou důležité nejen vnitřní síly, ale i vzpěrná délka, která se u modelů bez svislic zdvojnásobí.



Obr. 7.3 Průběh posouvajících sil V_z model 4 a 5; [kN]

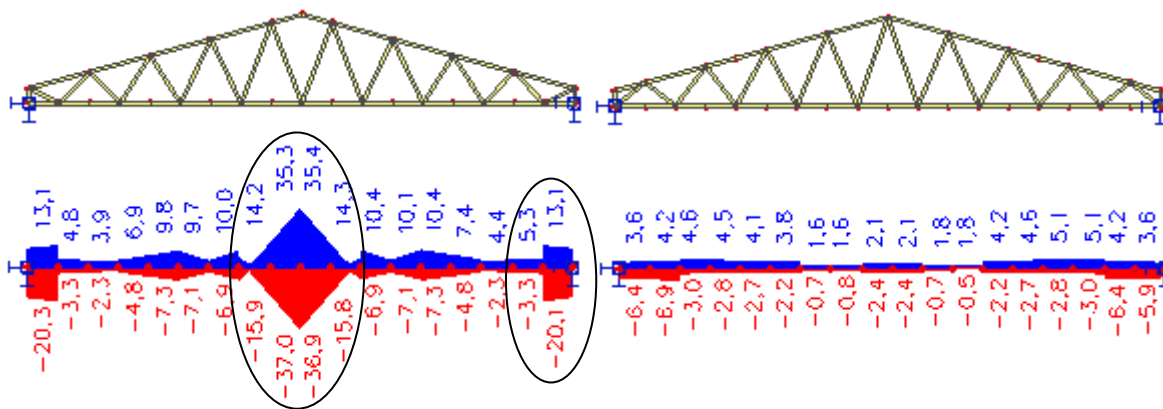
Zajímavé je porovnání posledních dvou modelů, kde pouhým otočením směru diagonál, naprosto změním namáhání horního pásu v nosníku. Na obr. 7.3 jde vidět rozdílná hodnota posouvající síly uprostřed rozpětí.

7.2.2 DOLNÍ PÁS

Velikost a přerozdělení vnitřních sil v dolním páse je závislá na velikosti vnějšího zatížení, uspořádání diagonál a návrhu horního pásu. Z obr. 7.4 je patrné, že pokud osa krajní diagonály prochází styčným u podpory, namáhání dolního pásu v krajích se až **4x sníží**. Opět je zřetelně vidět vliv odstranění prostřední svislice.

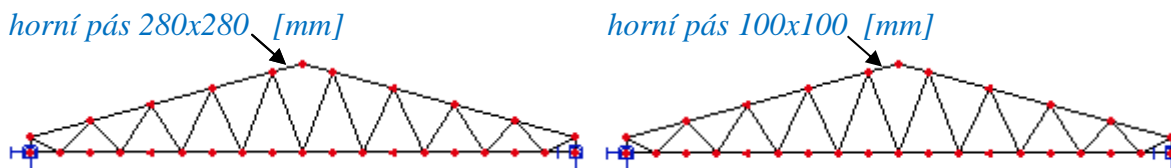
model 4

model 5

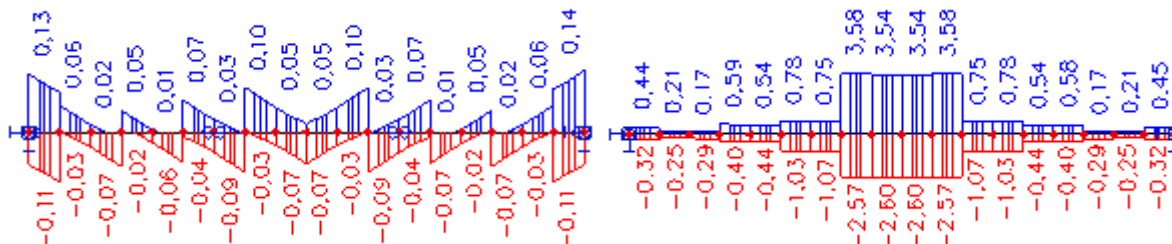


Obr. 7.4 Průběhy normálového napětí (-) a (+) v prutu dolního pásu; kombinace pro I.M.S.; pro jednotný průřez prutu $100 \times 100 \text{ mm} = 0,01 \text{ m}^2$; [MPa]

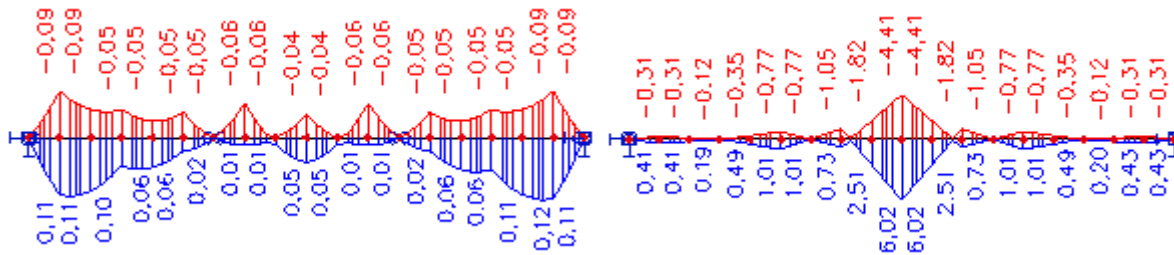
Vliv návrhu průřezu horního pásu na vnitřní síly v páse dolním je zobrazen na následujících obrázcích. Rozdílné ohybové momenty M_y a posouvající síly V_z jsou způsobeny změnou profilu horního pásu.



Obr. 7.5 Geometrie modelu 4 (bez svislice uprostřed)



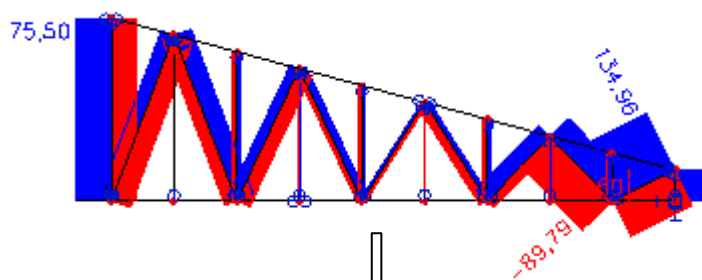
Obr. 7.6 Průběhy posouvajících sil V_z v prutu dolního pásu; kombinace pro I.MS; [kN]



Obr. 7.7 Průběhy ohybových momentů M_y v prutu dolního pásu; kombinace pro I.MS; [kNm]

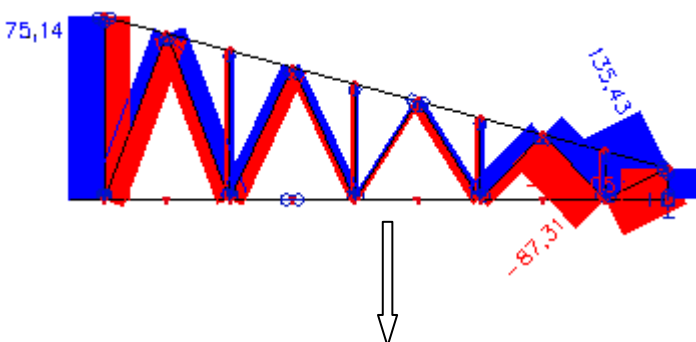
7.2.3 SVISLICE A DIAGONÁLY

Model 1



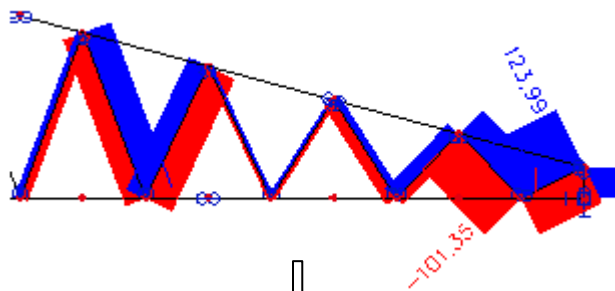
Z průběhu normálových sil na příhradovém nosníku typu 1 lze vypočítat, které svislice jsou namáhány zanedbatelně.

Model 2



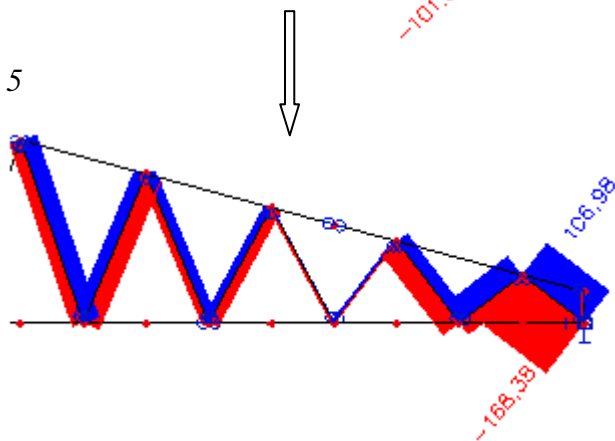
V modelu č.2 byly tyto svislice odstraněny, a tím došlo k přerozdělení vnitřních sil zcela minimálně.

Model 3 a 4



V dalším kroku byly odstraněny všechny svislice a ponechána pouze svislice krajní a prostřední. Tím došlo k navýšení namáhání krajních diagonál tlakem.

Model 5



Kvůli nevyhovujícímu průběhu namáhání dolního a horního pásu obr. 7.4 a obr. 7.2, byl směr diagonál otočen. Tím se krajní diagonála stala tlačena místo tažené tab. 7.1.

PREROZDĚLENÉ NORMALOVÉ SÍLY V DIAGONALÁCH		1	2	3	4	5	6	7	8	9
TYP	SCHEMA	N [kN]								
1		135,0	-90,0	34,0	-18,0	-8,0	15,0	-31,0	38,0	-43,0
2		135,0	-87,0	35,0	-17,0	-7,0	16,0	-30,0	40,0	-43,0
3		130,0	-99,0	26,0	-22,0	-9,5	9,5	-36,0	35,0	-45,0
4		124,0	-102,0	28,0	-22,0	-7,0	6,0	-57,0	60,0	-14,0
5		-170,0	62,0	-53,0	7,0	-6,0	-25,0	25,0	-45,0	44,0

Tab. 7.1 Prerozdělení normálové síly ve vnitřních prutech příhradového nosníku

7.3 POSUDKY A ZHODNOCENÍ

Pro příhradové nosníky je velmi důležité dodržet směr a geometrii diagonál. Jejich odstraněním nebo otočením můžeme zcela změnit chování celé konstrukce.

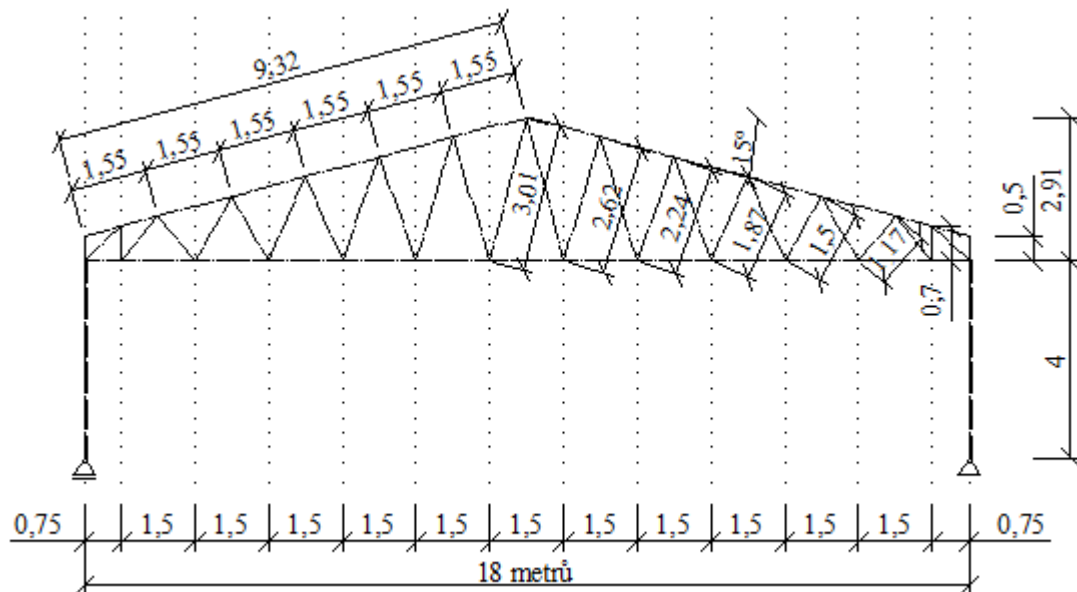
Model č. 4 má uspořádání, kdy diagonály nepodpírají horní pás uprostřed rozpětí a tímto jsou pruty nadměrně namáhány. Řešením by byl návrh horního pásu z dostatečně tuhého profilu.

Po odebrání svislíc nebylo namáhání okolních prvků navýšeno, pouze se ovlivnil stabilitní posudek pro horní a dolní pás zkrácením kritické délky prutu.

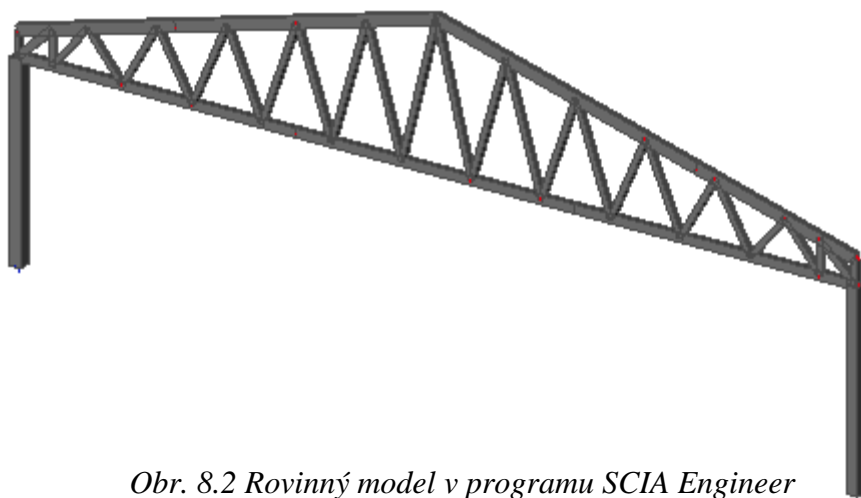
Nejvhodnější řešení pro rozpětí 18 metrů je z daných variant poslední model číslo 5.

8 NÁVRH HALY S ROZPĚTÍM 18 METRŮ

Z předchozích zkušeností byl navržen příhradový nosník dle obr. 8.1.



Obr. 8.1 Geometrie navrženého nosníku



Obr. 8.2 Rovinný model v programu SCIA Engineer

Osová vzdálenost vazníků je 3,5 metrů. A zatížen dle tab. 4.1. Pro dané namáhání byly navrženy tyto profily v příhradovém nosníku (příloha č.2):

Prut: ($a \times b$)

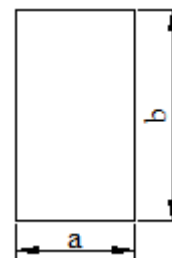
Horní pás: 110x230 mm

Dolní pás: 110x180 mm

Svislice: 110x110 mm

Diagonály krajní: 110x150 mm

Ostatní diagonály: 110x110 mm



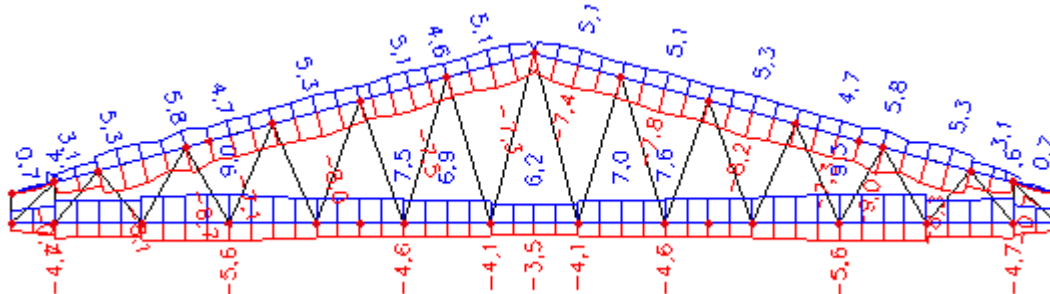
Obr. 8.3 Rozměry průřezu

Horní pás: 110x230 mm

• Ohyb a tlak – stabilita:	0,74 < 1	VYHOVUJE
• Smyk :	0,54 < 1	VYHOVUJE
• Ohyb a tah:	0,65 < 1	VYHOVUJE
• Průhyb:	0,91 < 1	VYHOVUJE

Dolní pás: 110x180 mm

• Ohyb a tlak – stabilita:	0,54 < 1	VYHOVUJE
• Smyk :	0,05 < 1	VYHOVUJE
• Ohyb a tah:	0,98 < 1	VYHOVUJE
• Průhyb:	0,63 < 1	VYHOVUJE



Obr. 8.4 Výsledné normálové napětí (+ a (-) v pásech, [MPa]

Svislice: 110x110 mm

• Tlak – stabilita:	0,18 < 1	VYHOVUJE
• Tah:	0,43 < 1	VYHOVUJE

Diagonály krajní: 110x150 mm

• Tlak – stabilita:	0,55 < 1	VYHOVUJE
• Tah:	0,47 < 1	VYHOVUJE

Diagonály uprostřed: 110x110 mm

• Tlak – stabilita:	0,40 < 1	VYHOVUJE
• Tah:	0,31 < 1	VYHOVUJE

Ostatní diagonály: 110x110 mm

• Tlak – stabilita:	0,42 < 1	VYHOVUJE
• Tah:	0,35 < 1	VYHOVUJE

9 SPOJE V DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍCH

9.1 VŠEOBECNĚ

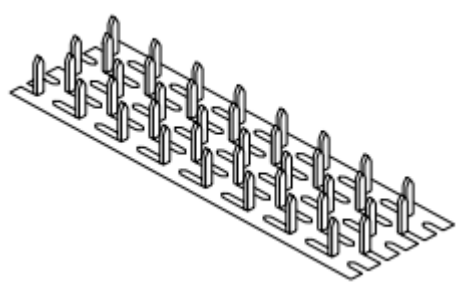
Jeden ze zásadních faktorů ovlivňujících únosnost celé konstrukce jsou spoje. Je nutné zvolit vhodný typ připojení, který vyhoví na požadavky únosnosti i použitelnosti. Spoje ovlivňují nejen dimenzi jednotlivých prutů, ale i skladbu a statické chování konstrukce jako celku. Je nutné vyšetřit vliv poddajnosti spojů na únosnost celého příhradového systému. V případě dřevěných konstrukcí se jedná o zásadní problém, zejména u konstrukcí větších rozpětí s velkým počtem mechanických spojů a u konstrukcí se silně namáhanými spoji.

TYPY

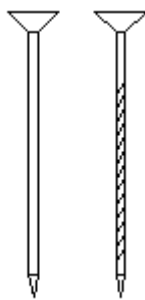
Spoje můžeme dělit:

- dle použitého materiálu: dřevěné spojovací prostředky
kovové spojovací prostředky
- dle způsobu provedení: lepené
mechanické
tesařské
- dle počtu stříhů: jednostřížné
dvojstřížné
vícestřížné

Ve své práci se zaměřím na spoje mechanické s kovovými komponenty. Mohou to být styčnickové desky s prolisovanými trny, hřebíky, kolíky, svorníky a sponky.



styčnicková deska [18]



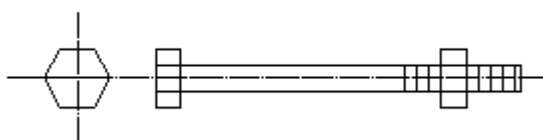
hřebíky



kolíky



sponky

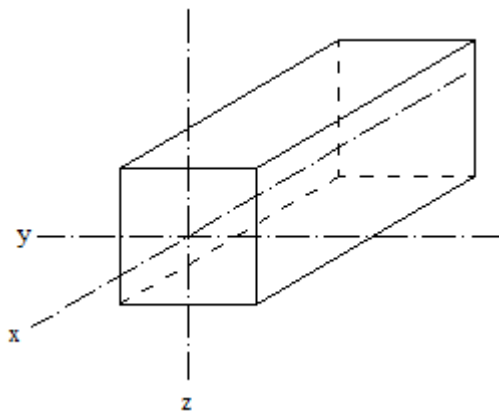


svorníky

9.2 MECHANICKÉ SPOJE

Spoj musí být navržen tak, aby byl schopen přenést veškeré vnitřní síly a momenty.

Nosník v místě přípoje může být namáhán:



- osovou silou ve směru x
- krouticím momentem k ose x
- ohybovým momentem k ose y a z
- posouvající silou ve směru osy y a z

Obr. 9.1 Lokální osy nosníku

Mechanické spoje jsou svým charakterem poddajné. Pokud je průřez prvku složen z několika částí, které jsou k sobě připojeny mechanickými přípoji, musí se při posouzení uvážit prokluz ve spojích.

Chování spojů je ovlivněno:

- použitým materiálem dřeva
- použitým materiálem spojovacího prostředku
- geometrií spoje
- typem zatížení
- dobou trvání zatížení
- vlhkostí a teplotou
- výrobou a provedením spoje

9.2.1 SPOJE OCEL x DŘEVO

Ve své práci se zaměřím na styčnickové desky s prolisovanými trny a na spojovací desky s kolíky. Nedostatečná únosnost stávajících mechanických spojů vedla k návrhům moderních spojení s využitím styčnickových desek a ocelových kolíkových prvků.

V místě spojení je nutné omezit vady dřeva, aby nedošlo ke snížení únosnosti spoje.

SPOJOVACÍ DESKA S KOLÍKY

Jedná se o typ spoje *ocel x dřevo*, který využívá vyšší pevnost ocelových spojovacích prvků k přenosu sil v dřevěné konstrukci. Desky mohou být vnější nebo vkládány dovnitř prutu. Vložením spojovací desky dovnitř prutu zamezíme působení nepříznivých účinků vnějších vlivů na desku. Kolíkové části spoje mohou být navrženy z hřebíku a kolíku. Aby se zamezilo rozevírání spoje vlivem zatížení, je často spoj zpevněn svorníkem.

Návrh se provádí dle platné normy [13]. Zde je velmi dobře zdokumentováno působení jednotlivých komponentů spoje, avšak při návrhu skupiny spojovacích prostředků nelze jednoznačně určit shodu s reálným působením spoje. Proto se v dnešní době provádí řada výzkumů a experimentů, ověřujících působení spojovacích prostředků ve skupině.

STYČNÍKOVÁ DESKA S PROLISOVANÝMI TRNY

Opět se jedná o typ *ocel x dřevo*. Tento druh spojení je také nazýván gang-nail systém. Ocelová deska je s prolisovanými nebo navařenými trny a princip montáže je založen na strojním zalisování. Únosnost spoje je dána schopností trnů přenést sílu ze dřeva na desku a pevností samotné desky. Styčnicková deska s trny může být vnější (častěji), ale i uvnitř spoje.

Ačkoli spoje s vkládanými styčnickovými deskami navyšují cenu konstrukce, jejich tuhost, odolnost proti vnějším vlivům a pevnost je vyšší než u spojů s vnějšími deskami.



Obr. 9.2 Styčnicková deska s prolisovanými trny spojující 4 pruty, zdroj [16]



Obr. 9.3 Styčnickové desky vložené do prutu a připevněny ocelovými hřebíky, zdroj [15]

9.2.2 NAMÁHÁNÍ STYČNÍKOVÉ DESKY S PROLISOVANÝMI TRNY

PŘENOS SIL ZE DŘEVA NA DESKU (PEVNOST TRNŮ)

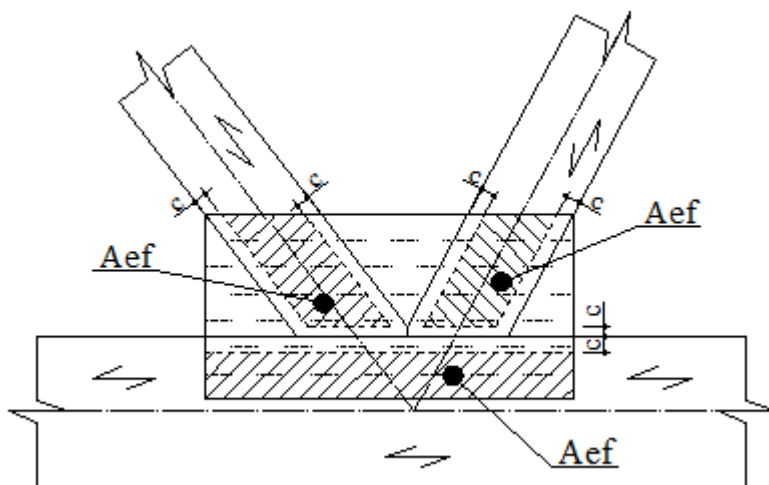
Podmínky: $\tau_{F,d} \leq f_{a,\alpha,\beta,d}$ (20)

$$\tau_{M,d} \leq f_{a,0,0,d} \quad (21)$$

$$\left(\frac{\tau_{F,d}}{f_{a,\alpha,\beta,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{M,d}}{f_{a,0,0,d}}\right)^2 \leq 1 \quad (22)$$

návrhové napětí v připojení desky trny..... $\tau_{a,d}$

návrhová pevnost v připojení desky trny $f_{a,\alpha,\beta,d}$ (tabulková hodnota)



Obr. 9.4 Styčníková deska

- šířka okrajových pásů: $c = 5\text{mm} + 6 * t_a * \sin \delta$ (23)

tloušťka navržené styčníkové desky t_a

úhel mezi směrem vláken dřeva a hranou dřeva δ

- namáhání tahem (tlakem): $\tau_{F,d} \leq \frac{F_{ED}}{2 * A_{ef}}$ (24)

účinná plocha desky ... A_{ef}

tahová (tlaková) síla F_{ED}

- namáhání smykem: $\tau_{F,d} \leq \frac{F_{ED}}{2 * A_{ef}}$ (25)

účinná plocha desky ... A_{ef}

tahová (tlaková) síla F_{ED}

- namáhání ohybem: $\tau_{M,d} \leq \frac{M_{ED}}{2 * W_p}$ (26)

průřezový modul W_p

ohybový moment M_{ED}

PŘENOS SIL DESKOU (ÚNOSNOST DESKY)

Podmínky: $F_{c,Ed} \leq F_{c,\gamma,Rd}$ (27)

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,\gamma,Rd} \quad (28)$$

$$F_{t,Ed} \leq F_{t,\gamma,Rd} \quad (29)$$

$$\left(\frac{F_{c(t),Ed}}{F_{c(t),\gamma,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,\gamma,Rd}}\right)^2 \leq 1 \quad (30)$$

návrhové únosnost desky v tlaku $F_{c,\gamma,Rd}$ (tabulková hodnota)

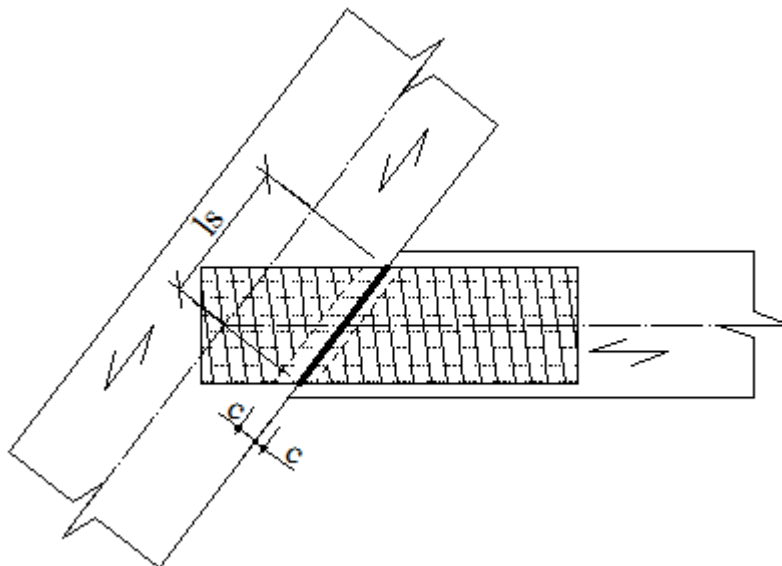
návrhové únosnost desky v tahu $F_{t,\gamma,Rd}$ (tabulková hodnota)

návrhové únosnost desky ve smyku $F_{v,\gamma,Rd}$ (tabulková hodnota)

návrhová tlaková síla v krit. řezu $F_{c,Ed}$

návrhová tahová síla v krit. řezu $F_{t,Ed}$

návrhová smyková síla v krit. řezu $F_{v,Ed}$



Obr. 9.5 Účinná šířka styčnickové desky

- namáhání tahem (tlakem): $F_{t(c),ED} \leq \frac{F_{ED}}{2 \cdot l_s}$ (31)

účinná šířka desky l_s

tahová (tlaková) síla F_{ED}

- namáhání smykem: $F_{v,ED} \leq \frac{F_{ED}}{2 \cdot l_s}$ (32)

účinná šířka desky l_s

tahová (tlaková) síla F_{ED}

- namáhání ohybem: $F_{t(c),ED} \leq \frac{3M_{ED}}{l_s^2}$ (33)

účinná šířka desky l_s

ohybový moment M_{ED}

9.2.3 NAMÁHÁNÍ STYČNÍKOVÉ DESKY S KOLÍKY

- kolíky $d = 6$ až 30 mm
- nutno dodržet min. rozteče dle normy tab.8.5 EC5

- charit. hodnota plast. mom. únosnosti: $M_{y,Rk} = 0,3 * f_{u,k} * d^{2,6}$ (34)

- návrh. hodnota plast. mom. únosnosti: $M_{y,Rd} = \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_m}$ (35)

- charit. pevnost dřeva v otláčení: $f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$ (36)

$$f_{h,0,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * d) * \rho_k \quad (37)$$

- návrhová pevnost dřeva v otláčení: $f_{h,\alpha,d} = k_{mod} * \frac{f_{h,\alpha,k}}{\gamma_m}$ (38)

průměr navrženého kolíku d [mm]

úhel zatížení směrem k vláknům..... α [°]

součinitel zohledňující druh dřeva..... k_{90}

hustota dřeva ρ [kg/m³]

charakteristická pevnost v tahu..... $f_{u,k}$ [MPa]

modifikační součinitel k_{mod}

součinitel materiálu γ_m

- charak. únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku $F_{v,Rk}$
- výpočet se stanoví dle druhu desky (tlustá, tenká) dle umístění desky (vně, vevnitř)
- stanoví se v závislosti na (35), (38), průměru spojovacího prvku d , tloušťce dřevěného prvku t

- návrhová únosnost jedné řady spojovacích prostředků rovnoběžně s vlákny:

$$F_{v,ef,Rd} = n_{ef} * F_{v,Rd} \quad (39)$$

účinný počet spojovacích prostředků v přímce rovnoběžně s vlákny n_{ef}

- celková únosnost spoje:

$$F_{Rd} = F_{v,ef,Rd} * x * y \quad (40)$$

celkový počet stříhů ve spoji x

celkový počet řad spojovacích prostředků v přímce rovnoběžně s vlákny... y

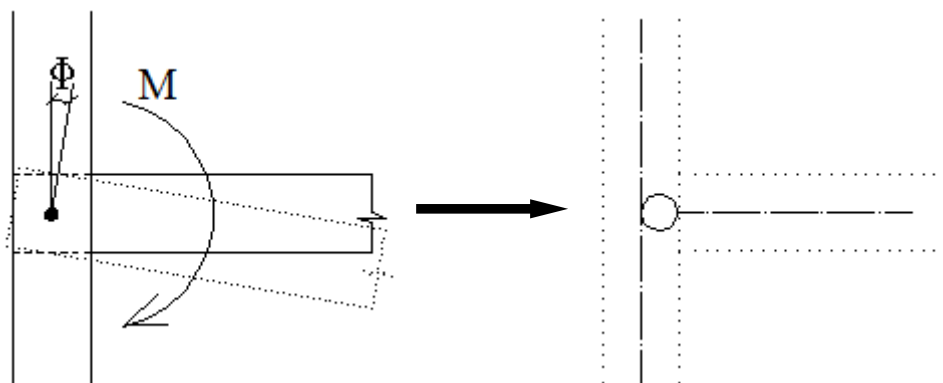
- Podmínka: $F_{Ed} \leq F_{Rd}$ (41)

návrhová síla ve spoji F_{Ed}

návrhová únosnost spoje F_{Rd}

9.3 TUHOST SPOJŮ

Ve dřevěných konstrukcích se při navrhování styčníků nejčastěji setkáme s kloubovým spojem. Jako čistý kloub, který přenáší pouze normálové a posouvající síly lze považovat například spojení s kolíkovými prvky, *obr. 9.6*. Vlivem ohybového momentu dojde k deformaci natočením prutu ve styčniku, který není schopen momentovému namáhání odolat. Proto se snažíme kloubové spoje navrhovat do míst s malým ohybovým namáháním, a tím předejít pootočení prutů. Naopak za dokonale tuhý styčník se považuje spoj lepený.



Obr. 9.6 Deformace styčniku při zatížení ohybovým momentem

Ale i kolíkové spojovací prostředky lze rozmístit tak, že jsou schopny část momentu přenést. V dnešní době se provádí řada experimentů pro ověření reálného chování styčníků. Z výsledků měření je patrné, že spoje se skupinou kolíků nebo se spojovací deskou s kolíky částečně přenáší i moment – jsou tedy **polotuhé**.

- 1) spoj tuhý (rámový): přenáší síly i moment
 - při vysokém namáhání momentem vznikají malé deformace a pootočení
- 2) spoj polotuhý: přenáší síly a část momentu
- 3) spoj kloubový: přenáší pouze síly
 - již při působení malého ohybového momentu se ve spoji projevuje velké pootočení

9.4 PROKLUZ SPOJŮ

Prokluz spoje uvažujeme v lineární závislosti na síle. Do výpočtu se zahrnuje prostřednictvím modulu prokluzu jednoho stříhu jednoho spojovacího prostředku K_{ser} [N/mm] pro případ mezního stavu použitelnosti a K_u pro posouzení na mezní stav únosnosti.

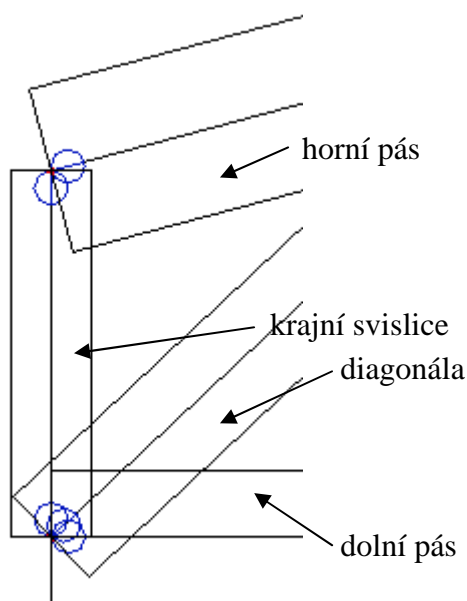
- okamžitý modul prokluzu: $K_{ser} = \frac{\rho_k^{1,5} \cdot d}{23}$ [N/mm] \longrightarrow **síla potřebná k posunutí o 1 mm** (42)

charakteristická hustota materiálu ρ_k [kg/m³]

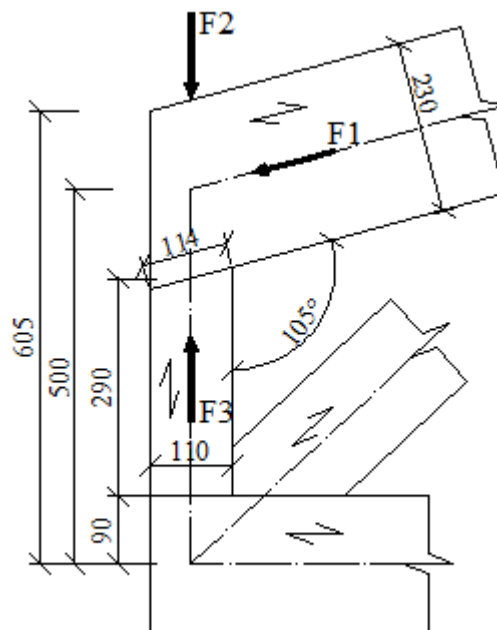
průměr spojovacího prvku d [mm]

10 NÁVRH SPOJŮ

10.1 SPOJENÍ PODPOROVÉ SVISLICE S HORNÍM PÁSEM



Obr. 10.1 Model spoje



Obr. 10.2 Geometrie a síly ve spoji

Na dané vnitřní a vnější síly působící na spoj byla navržena styčnicková deska dle obr. 10.3 (příloha č.3a) a vnitřní spojovací deska s kolíky obr. 10.4 (příloha č.3b). Při relativně malém namáhání je styčnicková deska s trny ideálním řešením. Princip přenesení sil mezi pruty je založen na únosnosti trnů a desky. Ačkoli je statický model vytvořen se všemi spoji kloubovými, styčnicková deska je typ poměrně tuhého spoje (polotuhý spoj). Tím je bráněno volnému pootočení prutu kolem spoje vlivem ohybového momentu.

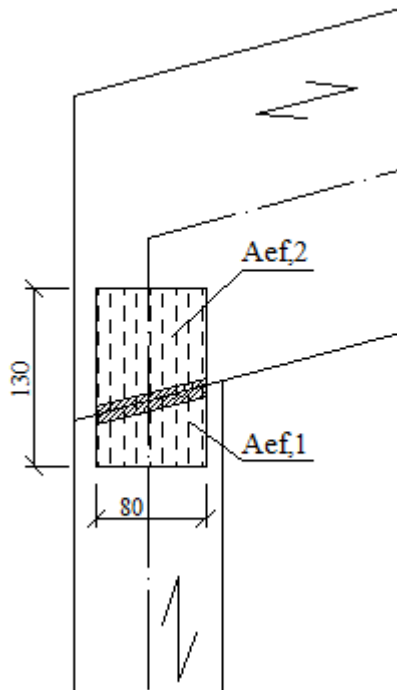
Díky geometrii příhradového nosníku, zejména orientaci diagonál, je svislice namáhána tlakem ve velmi malé míře ($F_3 = -3,4$ kN). Samotný průřez svislice je ovlivněn nejen únosností, ale i **nutností zachovat stejnou šířku jako profil horního pásu**. Styčnickové desky s prolisovanými trny se používají na spoje v příhradovém nosníku pro pruty stejné tloušťky a umísťují se symetricky z obou stran spojovaných prutů.

Nejlepší spojovací vlastnosti styčnickové desky mají, pokud jsou orientovány rovnoběžně s hlavní hranou prutu a rovnoběžně se směrem síly. V případě, že jsou styčnickové desky s prolisovanými trny navrženy ve sklonu k směru síly nebo k hlavní hraně prutů, jejich únosnost klesá a to až na polovinu!

Komplikace u spojů dřevěných konstrukcí nastávají tedy u spojení prutů s velkým namáháním a u nosníků s rozpětím $L > 20$ metrů, kde se únosnost styčnickových desek snižuje.

Využitím styčnickových desek dochází k úspoře materiálu dřeva. U použití kolíkových spojů musí být často pruty zdvojené a profil přizpůsoben roztečím mezi kolíky. Možnou variantou je použití kolíků v kombinaci s vnitřní spojovací deskou.

VYHODNOCENÍ: Síly: $F_1 = 1,1$ [kN], kombinace pro I.MS, Scia Engineer
 $F_2 = 6,4$ [kN], kombinace 6.10.
 $F_3 = 3,4$ [kN], kombinace pro I.MS, Scia Engineer
 $M = 0$ [kNm], spoj uvažují jako kloub



Únosnost trnů:

$A_{ef,1} = 3240$ [mm²] 0,22 < 1 **VYHOVÍ**

$A_{ef,2} = 6100$ [mm²] 0,82 < 1 **VYHOVÍ**

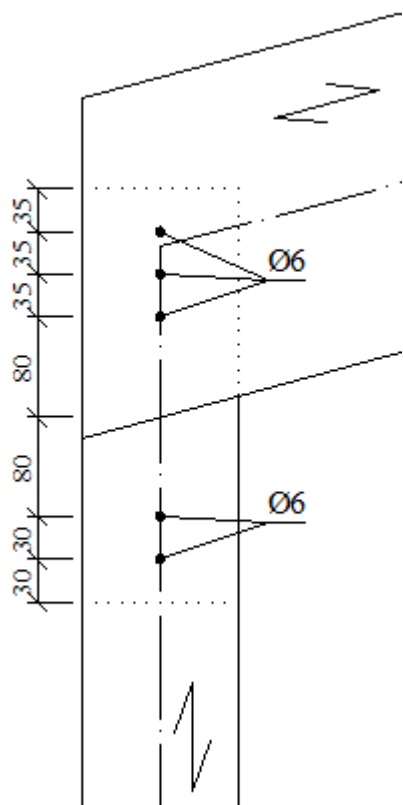
Únosnost desky:

$l_s = 80$ [mm] 0,14 < 1 **VYHOVÍ**

Návrh:

$a = 80$ [mm]
 $b = 130$ [mm]
 $A = 10400$ [mm²]

Obr. 10.3 Návrh stýčnickové desky



Svislice:

$\Phi = 6$ [mm]
 $n = 2$ [ks] 0,43 < 1 **VYHOVÍ**

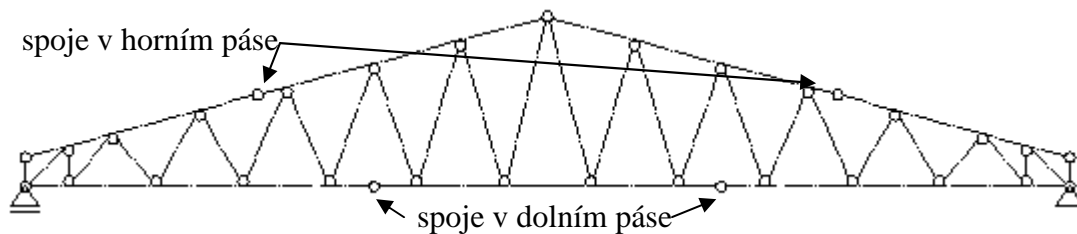
Horní pás:

$\Phi = 6$ [mm]
 $n = 3$ [ks] 0,74 < 1 **VYHOVÍ**

Návrh:

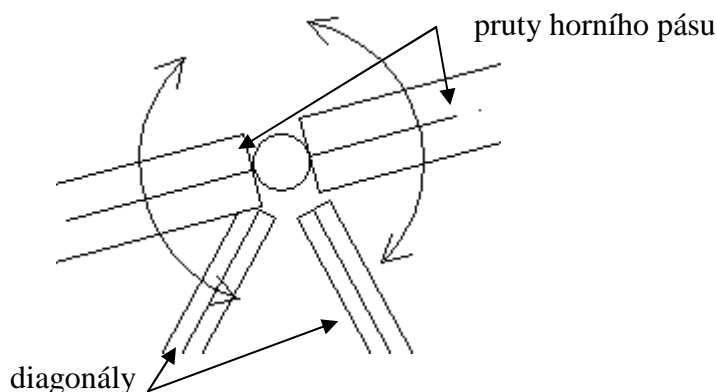
$\Phi = 6$ [mm]
 $n = 5$ [ks]
 $a = 80$ [mm]
 $b = 325$ [mm]

Obr. 10.4 Návrh spojovací desky s kolíky

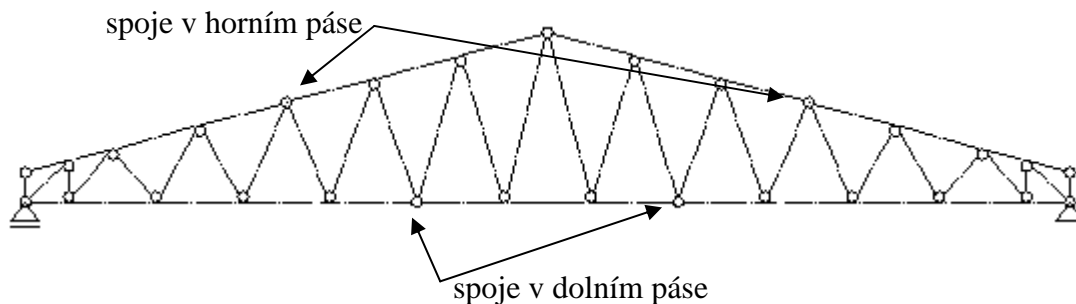


Obr. 10.7 Spojení dílů horního a dolního pásu

Spoje pásu lze také navrhnout do místa styčnicku diagonál (obr. 10.8). Vzniklý kloub spojuje více tuhých prutů, a je tedy vícenásobný a konstrukci odebírá $(n-1)$ stupňů volnosti, kdy n je počet prutů ve spoji. Konstrukce je opět staticky neurčitá a kinematicky pře určitá s počtem stupňů volnosti = 20 .



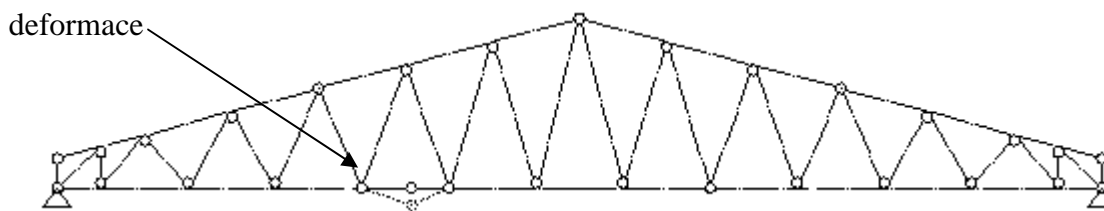
Obr. 10.8 Vícenásobný kloub spojující 4 tuhé pruty



Obr. 10.9 Spojení dílů horního a dolního pásu

Při návrhu spojů pro dílčí pruty horního a dolního pásu je nutné se vyvarovat takovému umístění kloubu, které by mohlo snížit stabilitu konstrukce a zvýšit deformace příhradového nosníku.

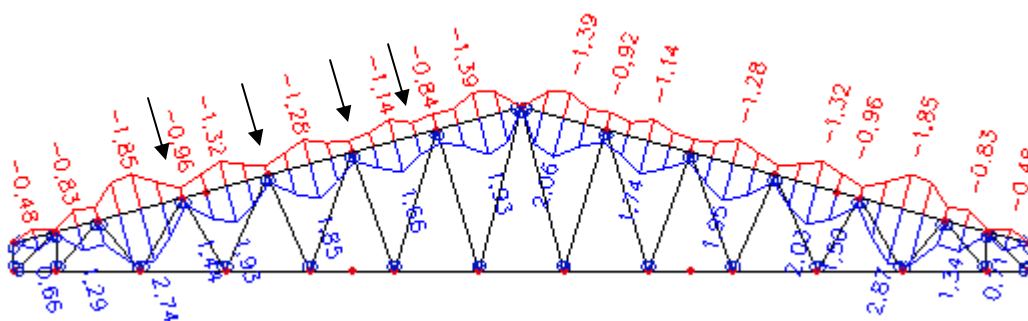
- tři klouby (kloubové spoje) nesmí ležet v jedné přímce na prutu obr. 10.10 .



Obr. 10.10 Deformace prutu vlivem špatného umístění kloubových spojů

- návrh s takovým počtem vnitřních kloubů, kdy se konstrukce stává staticky přeuročitá a kinematicky neurčitá – vzniká mechanismus, který je nepoužitelný.

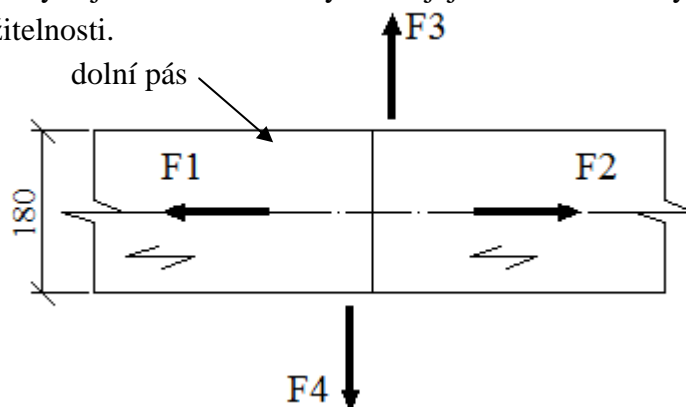
Pokud pás nelze navrhnout z jednoho kusu řeziva, je nejvhodnější umístit spoje mezi diagonály do místa s nejnižším ohybovým momentem nebo přímo do styčnicku. Tímto způsobem se snažíme minimalizovat pootočení konců prutů.



Obr. 10.11 Průběh momentů M_y se zvýrazněnými vhodnými místy pro spoj; [kNm]

10.2.1 SPOJENÍ DÍLŮ DOLNÍHO PÁSU

Dolní pás je prvek s nejdelší konstrukční délkou v příhradovém nosníku. U konstrukcí s rozpětím $L > 9$ metrů se musí dolní pás navrhnout z dílčích prutů a ty vzájemně spojit. Tyto spoje jsou namáhány zejména tahem a smykem a jejich návrh musí vyhovět na mezní stavy únosnosti a použitelnosti.



Obr. 10.12 Síly ve spoji dolního pásu

Do statického modelu se tento spoj navrhuje jako kloubový. Při řešení haly jsem příhradové nosníky navrhla s osovou vzdáleností $b_r = 3,5$ metrů. Na takto velkou vzdálenost pro dané zatížení by návrh styčnickové desky vedl k nereálným rozměrům:

VYHODNOCENÍ: Síly pro $b_r = 3,5$ [m]

$$F_1 = F_2 = 141 \text{ [kN]}, \text{ kombinace pro I. MS, Scia Engineer}$$

$$F_3 = F_4 = 0,06 \text{ [kN]}, \text{ kombinace pro I. MS, Scia Engineer}$$

Síly pro $b_r = 1,0 [m]$

$F_1 = F_2 = 44 [kN]$, kombinace pro I.M.S, Scia Engineer

$F_3 = F_4 = 0,02 [kN]$, kombinace pro I.M.S, Scia Engineer

Aby spoj na dané vnitřní síly vyhověl, musela by mít styčnicková deska tyto rozměry:

Návrh pro $b_r = 3,5 [m]$

$a = 170 [mm]$

$b = 340 [mm]$

$A = 57800 [mm^2]$

Návrh pro $b_r = 1,0 [m]$

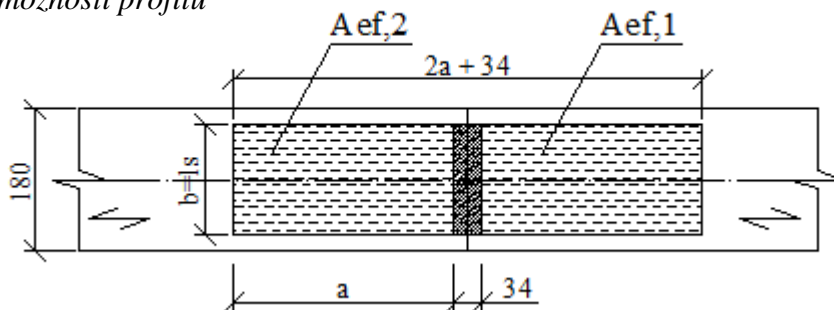
$a = 170 [mm]$

$b = 110 [mm]$

$A = 18700 [mm^2]$

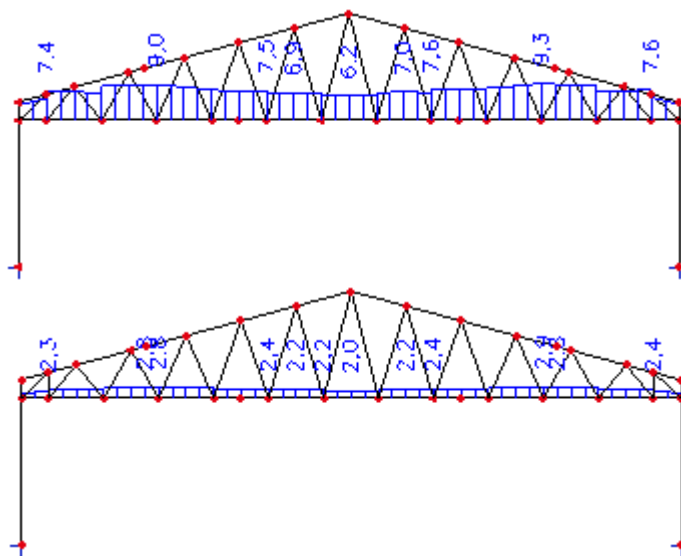
NEVYHOVÍ: požadovaný kritický řez je delší než možnosti profilu

VYHOVÍ: při snížení osové vzdálenosti na 1 metr



Obr. 10.13 Geometrie navržené styčnickové desky

Pokud snížíme zatížení na příhradový nosník změnou osové vzdálenosti nosníků na 1 metr, můžeme spoje i zde navrhovat ze styčnickových desek s prolisovanými trny. Vede to ovšem k velké spotřebě materiálu dřeva, a tím k nárůstu celkové ceny stavby. Je tedy vhodné pokusit se najít takové řešení spojení prutů v příhradové konstrukci, které dokáže přenést síly vyšší, a tím zachovat konstrukční vzdálenosti nosníků.



Vzdálenost vazníku $b_r = 3,5$ metrů.
Profil 110x180 mm.

Vzdálenost vazníku $b_r = 1,0$ metr.
Profil 70x120 mm.

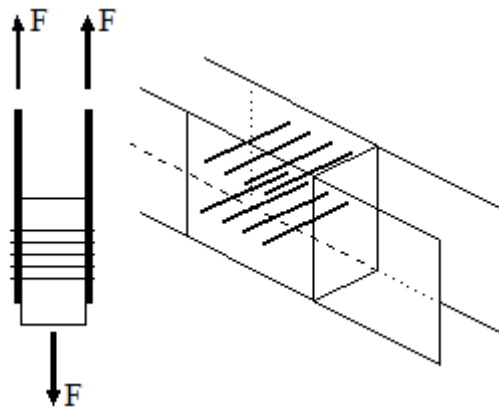
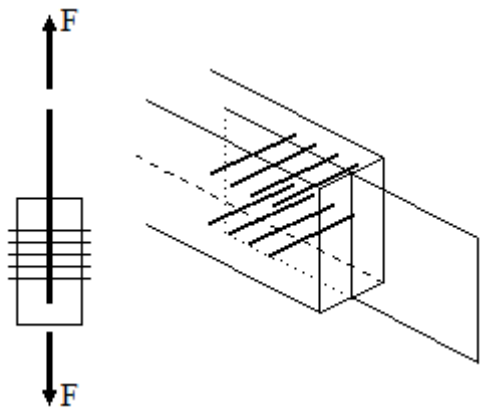
Obr. 10.14 Průběh normálového napětí (+); kombinace pro I.M.S; [MPa]

Jako možná alternativa spoje dolního pásu se jeví použití styčnickových plechů a mechanických kolíkových spojovacích prostředků (hřebíky, kolíky, svorníky).

Na tahovou sílu působící na spoj, je možné navrhnout spoj:

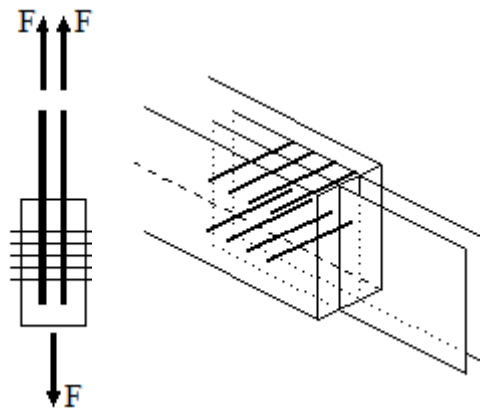
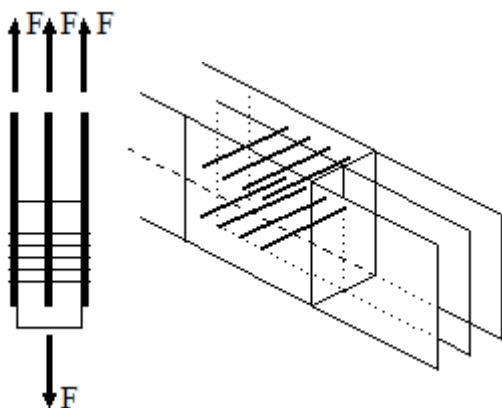
- *dřevo x ocel x dřevo (a)*

- *ocel x dřevo x ocel (b)*



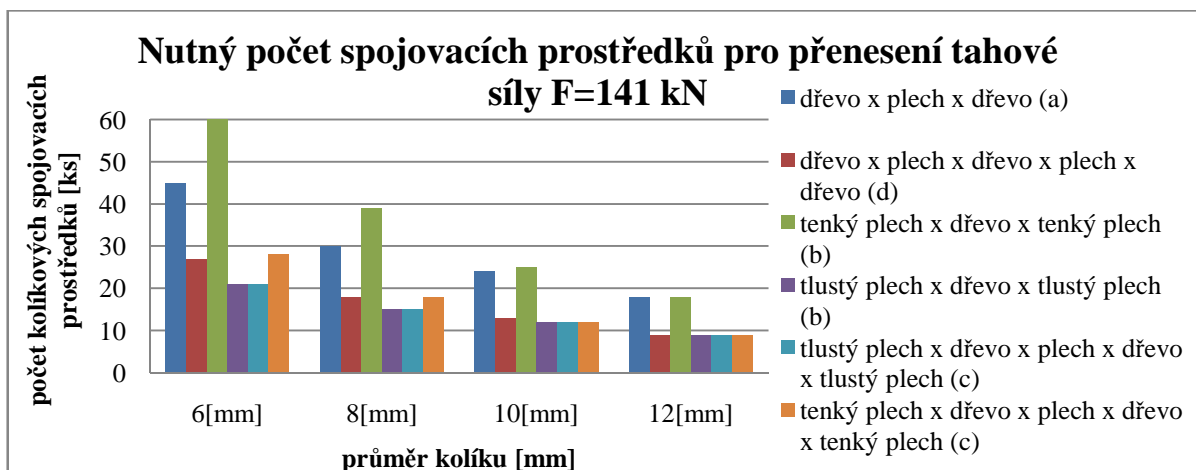
- *ocel x dřevo x ocel x dřevo x ocel (c)*

- *dřevo x ocel x dřevo x ocel x dřevo (d)*



Únosnost spoje s ocelovou deskou je závislá na charakteristické únosnosti použitých kolíkových prvků, pevnosti v otláčení ve dřevěném prvku a únosnosti samotné desky.

Pro návrh spoje jsem uvažovala s kolíky $d=6,8,10,12$ [mm], a plechy tloušťky $t \leq 0,5d$ [mm] (tenké plechy) a $t \geq d$ [mm] (tlusté plechy). (výpočty v příloze č.4)

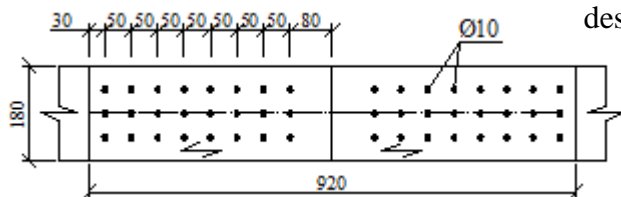


Tab. 10.1 Porovnání návrhu spoje se styčnickovou deskou a kolíky $\Phi=6;8;10;12$ [mm]

Pro konečný návrh jsem volila kolíky $\phi=10\text{ mm}$, *te. desku* $t=5\text{ mm}$, *tl. desku* $t=10\text{mm}$.

VYHODNOCENÍ:

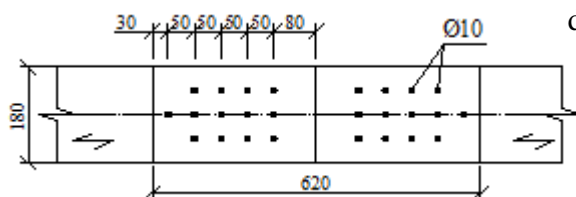
1. *dřevo x plech x dřevo:*



kolíky: $n = 48$ [ks]
deska: $a = 920$ [mm]
 $b = 180$ [mm]

$0,91 < 1$ **VYHOVÍ**

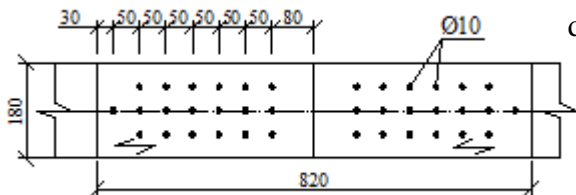
2. *dřevo x plech x dřevo x plech x dřevo:*



kolíky: $n = 26$ [ks]
deska: $a = 620$ [mm]
 $b = 180$ [mm]

$0,96 < 1$ **VYHOVÍ**

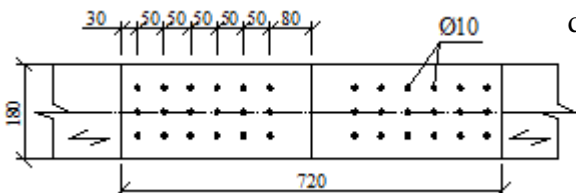
3. *tl. plech x dřevo x tn .plech:*



kolíky: $n = 50$ [ks]
deska: $a = 820$ [mm]
 $b = 180$ [mm]

$0,97 < 1$ **VYHOVÍ**

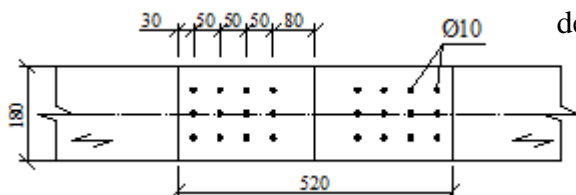
4. *tl. plech x dřevo x tl. plech:*



kolíky: $n = 36$ [ks]
deska: $a = 720$ [mm]
 $b = 180$ [mm]

$0,96 < 1$ **VYHOVÍ**

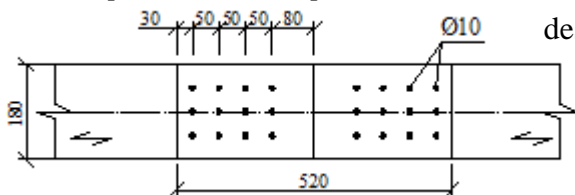
5. *tl.plech x dřevo x plech x dřevo x tl.plech:*



kolíky: $n = 24$ [ks]
deska: $a = 520$ [mm]
 $b = 180$ [mm]

$0,88 < 1$ **VYHOVÍ**

6. *dřevo x plech x dřevo x plech x dřevo:*



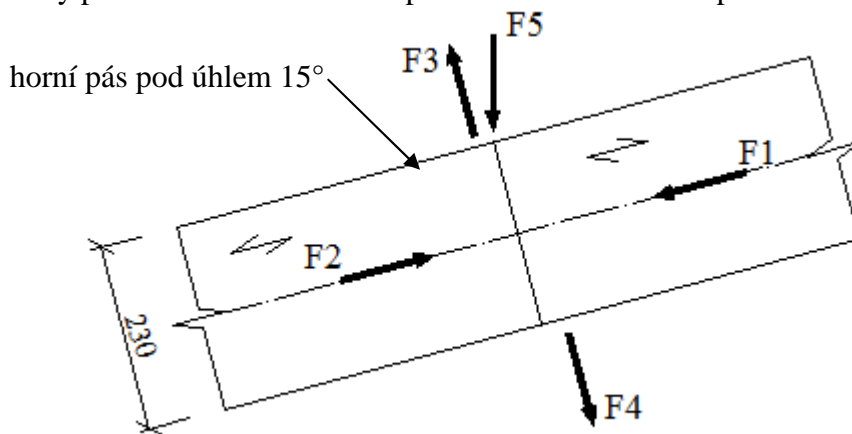
kolíky: $n = 24$ [ks]
deska: $a = 520$ [mm]
 $b = 180$ [mm]

$0,89 < 1$ **VYHOVÍ**

10.2.2 SPOJENÍ DÍLŮ HORNÍHO PÁSU

Řešení horního pásu je obdobné, ovšem spoj není namáhán primárně na tah, jako je tomu u dolního pásu, nýbrž na tlak.

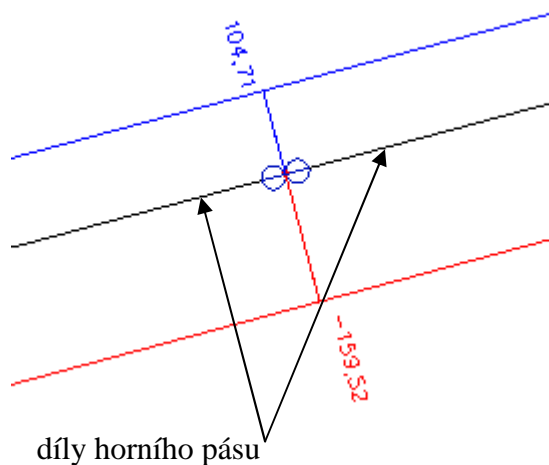
Při použití spoje styčnickovou deskou s prolisovanými trny je nutné tlakovou sílu navýšit o 10%. Samotná styčnicková deska se ale navrhuje na sílu poloviční, jelikož předpokládáme, že část síly přeneše samotné kolmé opření dvou dílů horního pásu.



Obr. 10.15 Síly ve spoji horního pásu

Tlaková síla v místě spoje: $1,1 \cdot F_{1,2} =$

- $0,5 \cdot 1,1 \cdot F_{1,2}$ – přeneše opření
- $0,5 \cdot 1,1 \cdot F_{1,2}$ – přeneše spoj



Obr. 10.16 Maximální hodnoty normálové síly; kombinace pro I.M.S; [kN]

Při návrhu je nutno zohlednit i kombinaci zatížení pro I.M.S způsobující v horním páse tah. Často tak může rozhodovat o únosnosti spoje tahová síla v prutech, která se neredukuje opřením prutů o sebe.

VYHODNOCENÍ: Síly: $F_1 = 160$ [kN] (tlak) kombinace pro I.M.S, Scia Engineer
 $F_2 = 160$ [kN], (tlak) kombinace pro I.M.S, Scia Engineer
 $F_1 = 105$ [kN] (tah) kombinace pro I.M.S, Scia Engineer
 $F_2 = 105$ [kN], (tah) kombinace pro I.M.S, Scia Engineer
 $F_3 = 5,4$ [kN], kombinace pro I.M.S, Scia Engineer
 $F_4 = 5,4$ [kN], kombinace pro I.M.S, Scia Engineer
 $F_5 = 12,7$ [kN], kombinace 6.10.
 $M = 0$ [kNm], spoj uvažuji jako kloub

Nejprve jsem navrhla spojení kolíky $\phi=12\text{ mm}$ a dvě tenké vnitřní desky $t=5\text{ mm}$ dle obr. 10.17, příloha č.5.

1. *dřevo x plech x dřevo x plech x dřevo*:

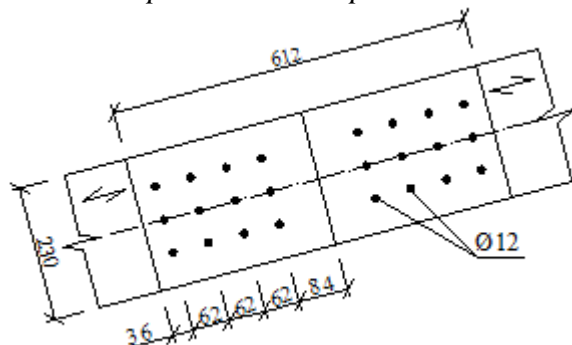
kolíky:

$n = 24$ [ks]

deska:

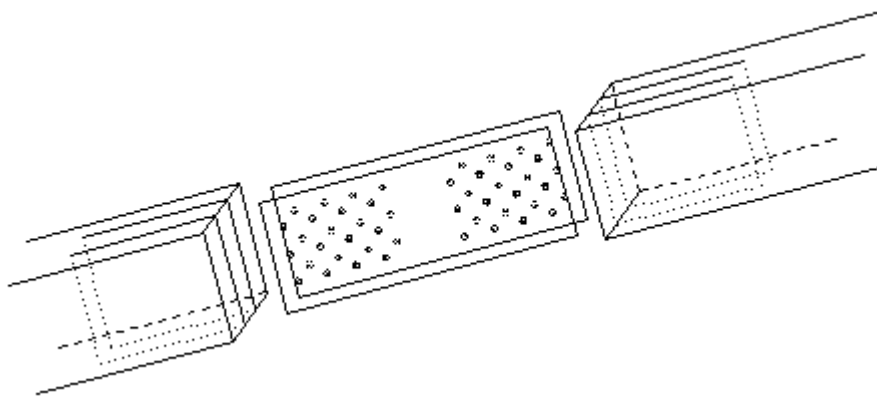
$a = 612$ [mm]

$b = 230$ [mm]



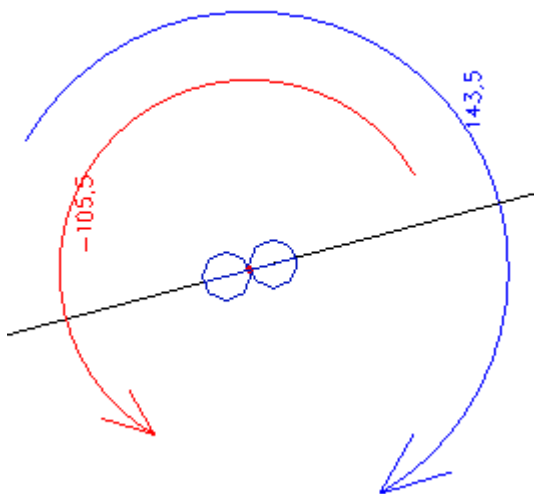
$0,88 < 1$ **VYHOVÍ**

Obr. 10.17 Geometrie navrženého spoje

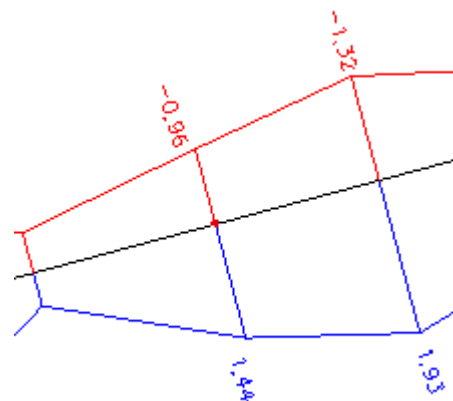


Obr. 10.18 Prostorový pohled na části spoje

Při takto navrženém kloubovém spoji dochází k velké deformaci natočením konců prutů vlivem ohybového momentu v horním páse.



Obr. 10.19 Pootočení konců prutů;
kombinace pro I.MS, [mrad]



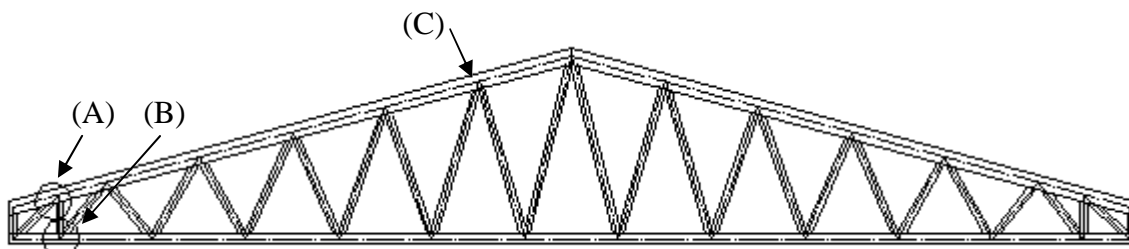
Obr. 10.20 Ohybový moment v místě
spoje, kombinace pro I.MS; [kNm]

- pootočení 143,5 [mrad] = 8,22 [°]
- pootočení 105,5 [mrad] = 6,04 [°]

Reálné chování spoje však není čistě kloubové. Geometrie rozmístění kolíků částečně zabraňuje volnému pootočení konců prutů. Abych toto natočení snížila, nabízí se návrh styčnickovou deskou s prolisovanými trny. Při použití samotné styčnickové desky, spoj nepřenese tlakové síly a nevyhoví. Ovšem lze navrhnout variantu kombinovanou se vkládanými plechy uvnitř a styčnickovou deskou vně. Toto spojení přenesse tlakové síly v horním páse a i část momentu.

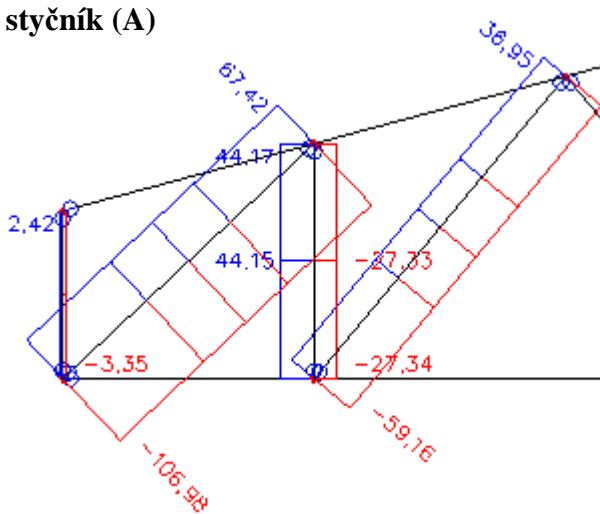
10.3 SPOJENÍ DIAGONÁL V KRAJI NOSNÍKU

Nejvíce namáhány jsou krajní diagonály. Spoj budu řešit pro styčníky (A) a (B) dle obr. 10.21.

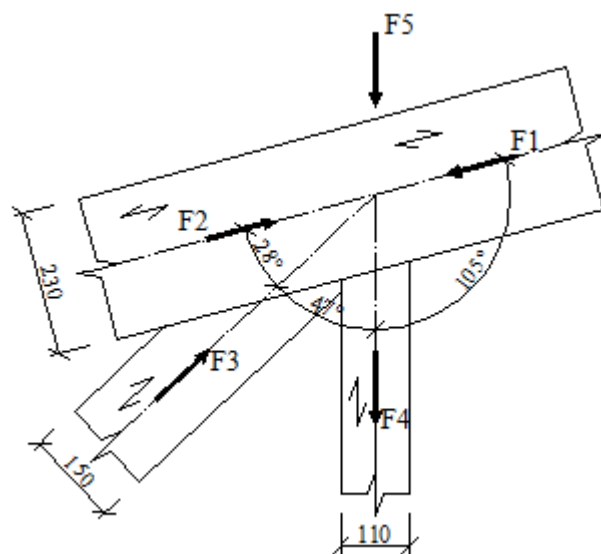


Obr. 10.21 Řešené styčníky (A), (B), (C)

styčník (A)



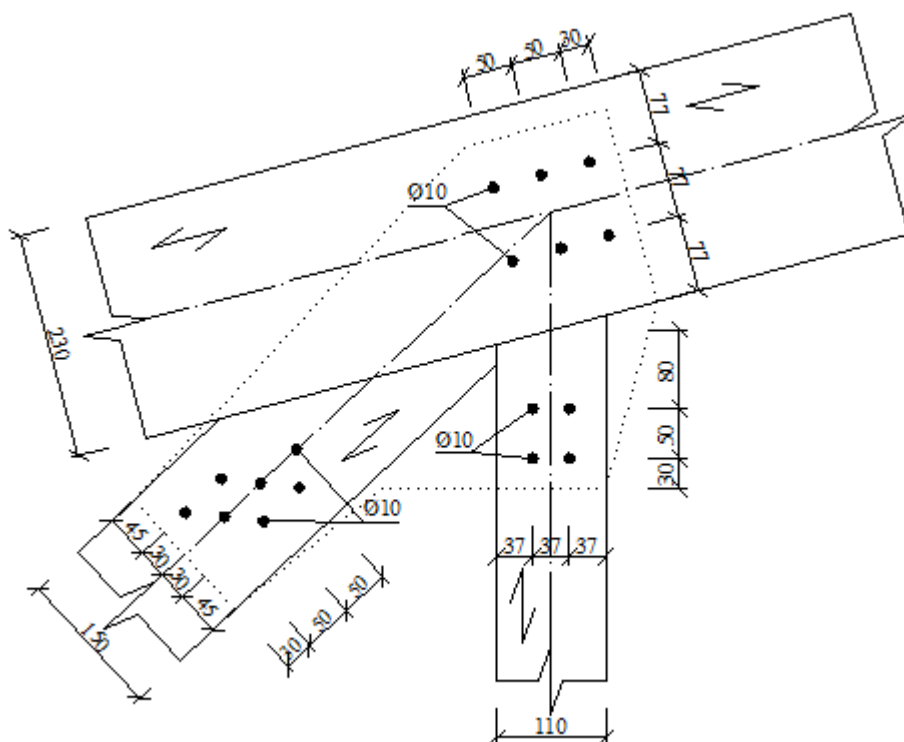
Obr. 10.22 Normálové síly v diagonálách;
pro kombinaci na I.MS; [kN]



Obr. 10.23 Geometrie a síly působící na spoj

Diagonály jsou namáhány pouze osovými normálovými silami. Spoje krajních prutů jsou nejkomplicovanější z důvodů velkého namáhání a stísněného prostoru pro umístění spoje. Pro přenesení sil bylo nutno navrhnout spoj s kolíky $\Phi=10$ mm a 3 tenké vnitřní desky $t=5$ mm dle obr. 10.24, příloha č.6. Návrh spojení nejvíce ovlivnila krajní tlačенá diagonála.

VYHODNOCENÍ: Síly: $F_1= 82,2$ [kN], kombinace pro I.MS, Scia Engineer
 $F_2= 1,1$ [kN], kombinace pro I.MS, Scia Engineer
 $F_3= 107$ [kN], kombinace pro I.MS, Scia Engineer
 $F_4= 44,2$ [kN], kombinace pro I.MS, Scia Engineer
 $F_5= 12,7$ [kN], kombinace 6.10.



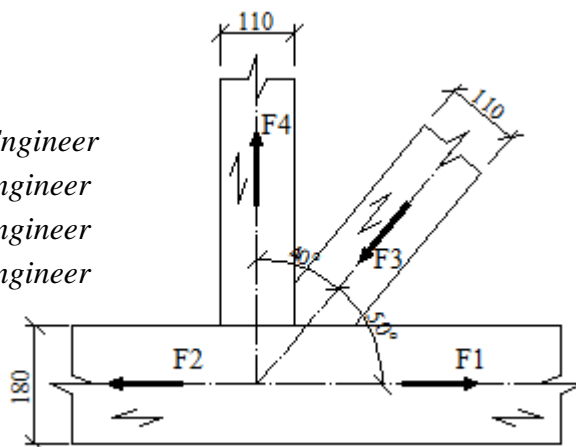
Obr. 10.24 Geometrie navrženého spoje

Svislice:	kolíky:	$\Phi = 10$ [mm]	
		$n = 4$ [ks]	$0,63 < 1$ VYHOVÍ
	deska:	$t = 5$ [mm]	
		$n = 3$ [ks]	$0,17 < 1$ VYHOVÍ
Horní pás:	kolíky:	$\Phi = 10$ [mm]	
		$n = 6$ [ks]	$0,9 < 1$ VYHOVÍ
	deska:	$t = 5$ [mm]	
		$n = 3$ [ks]	$0,15 < 1$ VYHOVÍ
Diagonála:	kolíky:	$\Phi = 10$ [mm]	
		$n = 7$ [ks]	$0,89 < 1$ VYHOVÍ
	deska:	$t = 5$ [mm]	
		$n = 3$ [ks]	$0,3 < 1$ VYHOVÍ

styčník (B)

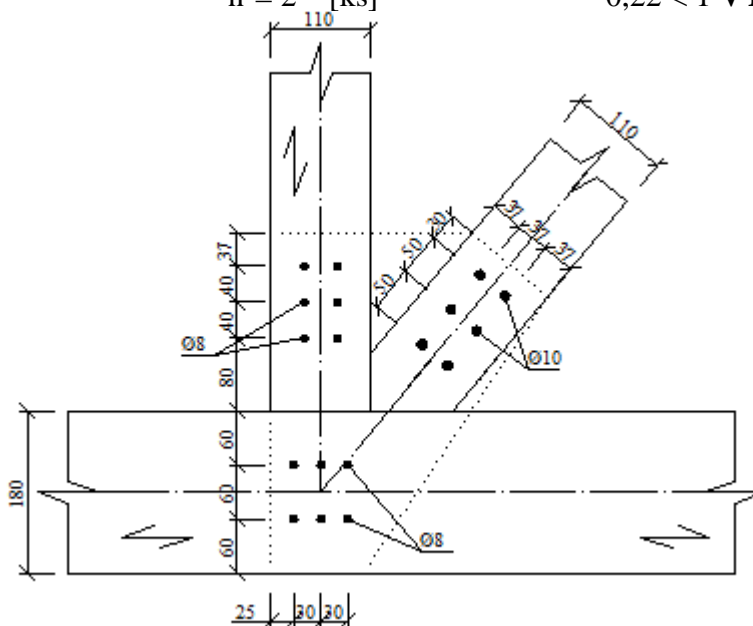
VYHODNOCENÍ:

Síly: $F_1 = 114$ [kN], kom. pro I.MS, Scia Engineer
 $F_2 = 76,5$ [kN], kom. pro I.MS, Scia Engineer
 $F_3 = 59$ [kN], kom. pro I.MS, Scia Engineer
 $F_4 = 44,2$ [kN], kom. pro I.MS, Scia Engineer



Obr. 10.25 Geometrie a síly působící na spoj

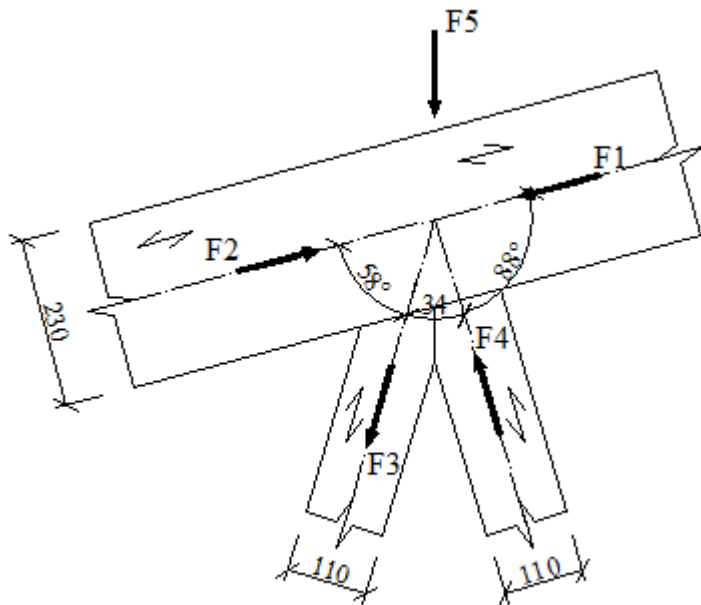
Svislice:	kolíky:	$\Phi = 8$ [mm]	
		$n = 6$ [ks]	$0,63 < 1$ VYHOVÍ
	deska:	$t = 5$ [mm]	
		$n = 2$ [ks]	$0,25 < 1$ VYHOVÍ
Dolní pás:	kolíky:	$\Phi = 8$ [mm]	
		$n = 6$ [ks]	$0,76 < 1$ VYHOVÍ
	deska:	$t = 5$ [mm]	
		$n = 2$ [ks]	$0,53 < 1$ VYHOVÍ
Diagonála:	kolíky:	$\Phi = 10$ [mm]	
		$n = 6$ [ks]	$0,75 < 1$ VYHOVÍ
	deska:	$t = 5$ [mm]	
		$n = 2$ [ks]	$0,22 < 1$ VYHOVÍ



Obr. 10.26 Geometrie navrženého spoje

10.4 SPOJENÍ DIAGONÁL V POLI NOSNÍKU

Za všechny styčníky byl řešen vzorově jeden v místě (C) dle obr. 10.21 .



Obr. 10.27 Geometrie a síly působící na spoj

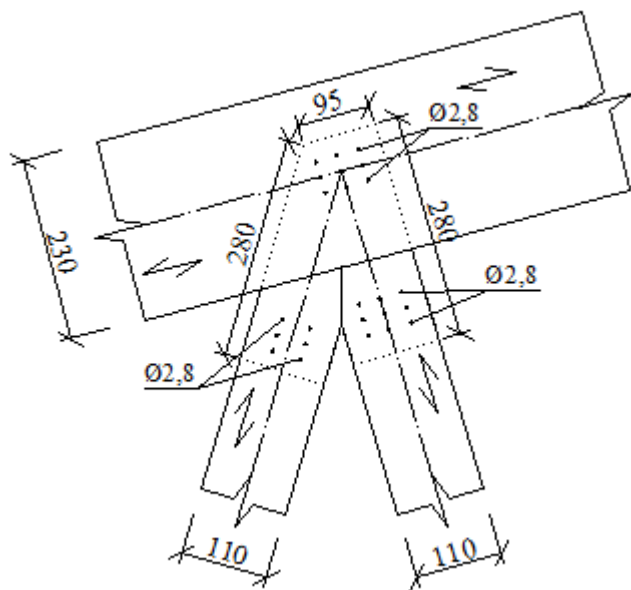
Osové síly v ostatních diagonálách nejsou tak velké jako v prutech krajních. Zde lze tedy navrhnout spoje s vkládanými plechy a místo kolíku použít hřebíky.

U tohoto druhu spoje je tloušťka plechu menší (cca 1 – 3 mm) a pro hřebíky není nutno mít v ocelové desce otvory. Jednodušší pro výrobu – hřebíky se nastřelují.

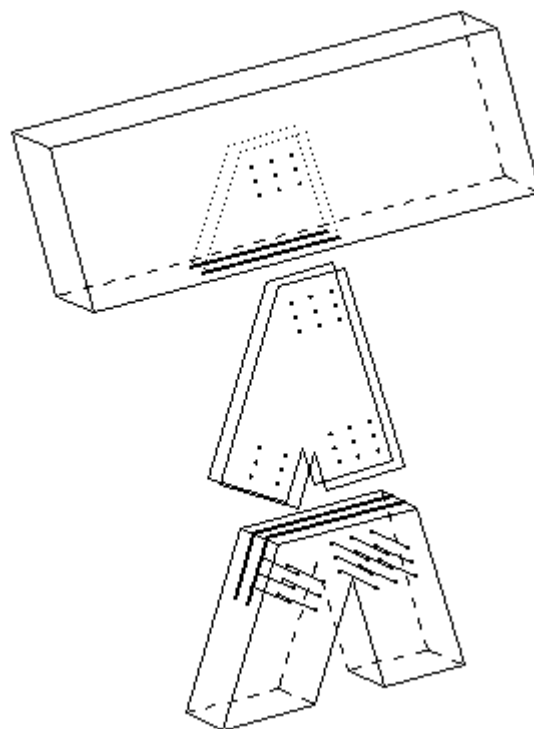
VYHODNOCENÍ:

Síly: $F_1 = 136,0$ [kN], kombinace pro I.MS, Scia Engineer
 $F_2 = 146,5$ [kN], kombinace pro I.MS, Scia Engineer
 $F_3 = 19,7$ [kN], kombinace pro I.MS, Scia Engineer
 $F_4 = 29,6$ [kN], kombinace. pro I.MS, Scia Engineer
 $F_5 = 12,7$ [kN], kombinace 6.10.

Diagonála levá:	hřebíky:	$\Phi = 2,8$ [mm] $n = 9$ [ks]	$0,86 < 1$ VYHOVÍ
	deska:	$t = 1,5$ [mm] $n = 2$ [ks]	$0,25 < 1$ VYHOVÍ
Diagonála pravá:	hřebíky:	$\Phi = 2,8$ [mm] $n = 12$ [ks]	$0,97 < 1$ VYHOVÍ
	deska:	$t = 1,5$ [mm] $n = 2$ [ks]	$0,38 < 1$ VYHOVÍ
Horní pás:	hřebíky:	$\Phi = 2,8$ [mm] $n = 9$ [ks]	$0,79 < 1$ VYHOVÍ
	deska:	$t = 1,5$ [mm] $n = 2$ [ks]	$0,17 < 1$ VYHOVÍ



Obr. 10.28 Geometrie navrženého spoje



Obr. 10.29 Prostorový pohled na části spoje

Návrh kolíků v pásu horního prutu se dimenzuje na rozdíl sil všech mezipásových vnitřních prutů jdoucích do jednoho styčníku.

11 ZÁVĚR

Byl navržen příhradový nosník s rozpětím 18 metrů. V této práci jsem chtěla vyhodnotit chování konstrukce při vyšší osově vzdálenosti jednotlivých vazníků mezi sebou. ($b_r = 3,5$ metrů). Cílem bylo pochopit namáhání vnitřních prutů, přerozdělení vnitřních sil, a tím nalézt nejvhodnější geometrii nosníku.

Důležitou částí samotného návrhu jsou spoje. Bylo uvažováno s možností spojení styčnickovými deskami s prolisovanými trny a spojovacími deskami s kolíky nebo hřebíky.

Dřevěné halové konstrukce jsou stavby s širokým využitím. Přestože jsou možnosti návrhu ovlivněny specifickými vlastnostmi dřeva, při správném pochopení chování konstrukce lze stavbu vyřešit efektivně, moderně a bezpečně.

KNIŽNÍ PUBLIKACE

- [1] *Dřevěné konstrukce podle eurokódu 5*. Vyd. 1. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2004. ISBN 80-867-6913-5.
- [2] STRAKA, Bohumil. *Navrhování dřevěných konstrukcí*. 1. vyd. Brno: CERM, 1996. ISBN 80-720-4015-4.
- [3] STRAKA, Bohumil a Jana PECHALOVÁ. *Dřevěné konstrukce*. 1. vyd. Brno: CERM, 1996, 401 s. ISBN 80-720-4017-0.
- [4] KUKLÍK, Petr. *Navrhování dřevěných konstrukcí*. 1. vyd. Praha: Český svaz stavebních inženýrů, 1997, 188 s. ISBN 80-238-3981-0.
- [5] KUKLÍK, Petr, Anna KUKLÍKOVÁ a Karel MIKEŠ. *Dřevěné konstrukce 1: cvičení*. Vyd. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2008, 188 s. Technická knihovna autorizovaného inženýra a technika. ISBN 978-80-01-03980-9.
- [6] KADLČÁK, Jaroslav a Jiří KYTÝR. *Statika stavebních konstrukcí*. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2001, 431 s. Učebnice (VUTIUM). ISBN 80-214-1648-3.
- [7] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*. Vyd. 1. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-010-3310-4.

NORMY

- [8] ČSN EN 1990; Eurokód 0: *Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: ČNI, 2010.
- [9] ČSN EN 1991-1-1; Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení – objemové tíhy, vlastní tíha užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: ČNI, 2010.
- [10] ČSN EN 1991-1-4; Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - zatížení větrem*. Praha: ČNI, 2010.
- [11] ČSN EN 1991-1-3; Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení – zatížení sněhem*. Praha: ČNI, 2010.
- [12] ČSN EN 338: *Konstrukční dřevo – třídy pevnosti*
- [13] ČSN EN 1995-1-1; Eurokód 5: *Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla – společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: ČNI, 2010.
- [14] ČSN EN 1990; Eurokód 0: *Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: ČNI, 2010.

WEBOVÉ STRÁNKY

- [15] *Analýza spojů typu dřevo-ocel pomocí vkládaných styčnickových plechů* [online]. [cit. 2014-01-16]. Dostupné z: <http://www.vejpush.cz/Vyzkum/?page=2/>
- [16] *ASB-portál, odborný portál* [online]. [cit. 2014-01-16]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/>
- [17] *Konstrukce, odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství* [online]. [cit. 2014-01-16]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/moznosti-vyuziti-a-vyhody-prihradovych-konstrukci-spojovanych-styčnickovou-deskou-s-prolisovanymi-trny/>
- [18] *BOVA - technologie a kování pro stavební konstrukce* [online]. [cit. 2014-01-16]. Dostupné z: <http://www.bova-nail.cz/>

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1.1* Roviny dřeva pro udávání charakteristických vlastností
- Obr. 2.1* Skladba lepeného lamelového dřeva
- Obr. 2.2* Schéma příhradové haly ve 3D
- Obr. 4.1* Kombinace zatížení 6.10a, 6.10b pro mezní stav únosnosti
- Obr. 4.2* Kombinace zatížení 6.14 pro mezní stav použitelnosti
- Obr. 5.1* Popis prutů v příhradové konstrukci
- Obr. 5.2* Tuhé desky s vnitřními klouby
- Obr. 5.3* Kyvné pruty a hmotné body
- Obr. 5.4* a) zatížení do styčnic b) mimostyčné spojitě zatížení
- Obr. 5.5* Příhradový nosník
- Obr. 6.1* Modely příhradového nosníku pro rozpětí 12 metrů
- Obr. 6.2* Průběh normálového napětí (-) a (+) v prutu horního pásu a dolního pásu pro návrh se sklonem 15°; kombinace pro I.MS; pro jednotný průřez prutu 100x100mm = 0,01 m² [MPa]
- Obr. 6.3* vlevo: normálová síla ve svislici (model 1); vpravo: normálová síla ve svislici (model 3), sklon 15°; kombinace pro I.MS; [kN]
- Obr. 6.4* vlevo: normálová síla v krajní diagonále (model 1); vpravo: normálová síla v krajní diagonále (model 3); sklon 15°; kombinace pro I.MS; [kN]
- Obr. 6.5* Normálová síla v horním a dolním pásu (model 1); vlevo: sklon 15°; vpravo: sklon 20°; zatěžovací stav ZS4-sníh plný; [kN]
- Obr. 6.6* Rekce Rx pro nosník s krajní svislicí a bez, sklon 15°; [kN]
- Obr. 6.7* Příhradový nosník model 4 a 5 – vzpěrné délky, krajní svislice
- Obr. 6.8* Průhyb dolního pásu pro model 4; kombinace na II.MS; [mm]
- Obr. 6.9* Průhyb dolního pásu pro model 7; kombinace na II.MS; [mm]
- Obr. 7.1* Modely příhradového nosníku pro rozpětí 18 metrů
- Obr. 7.2* Průběhy normálového napětí (-) a (+) v prutu horního pásu; kombinace pro I.MS; pro jednotný průřez prutu 100x100mm = 0,01 m²; [MPa]
- Obr. 7.3* Průběh posouvajících sil Vz model 4 a 5; [kN]
- Obr. 7.4* Průběhy normálového napětí (-) a (+) v prutu dolního pásu; kombinace pro I.MS; pro jednotný průřez prutu 100x100mm = 0,01 m²; [MPa]
- Obr. 7.5* Geometrie modelu 4 (bez svislice uprostřed)
- Obr. 7.6* Průběhy posouvajících sil Vz v prutu dolního pásu; kombinace pro I.MS; [kN]
- Obr. 7.7* Průběhy ohybových momentů My v prutu dolního pásu; kombinace pro I.MS; [kNm]
- Obr. 8.1* Geometrie navrženého nosníku
- Obr. 8.2* Rovinný model v programu SCIA Engineer
- Obr. 8.3* Rozměry průřezu
- Obr. 8.4* Výsledné normálové napětí (+ a (-) v pásech, [MPa]
- Obr. 9.1* Lokální osy nosníku
- Obr. 9.2* Styčnicková deska s prolisovanými trny spojující 4 pruty
- Obr. 9.3* Styčnickové desky vložené do prutu a připevněny ocelovými hřebíky

- Obr. 9.4 Styčnicková deska*
Obr. 9.5 Účinná šířka styčnickové desky
Obr. 9.6 Deformace styčnicku při zatížení ohybovým momentem
Obr. 10.1 Model spoje
Obr. 10.2 Geometrie a síly ve spoji
Obr. 10.3 Návrh styčnickové desky
Obr. 10.4 Návrh spojovací desky s kolíky
Obr. 10.5 Průběh ohybového momentu M_y v horním pásu příhradového nosníku
Obr. 10.6 Kloub spojující dva tuhé pruty tvořící horní pás
Obr. 10.7 Spojení dílů horního a dolního pásu
Obr. 10.8 Vícenásobný kloub spojující 4 tuhé pruty
Obr. 10.9 Spojení dílů horního a dolního pásu
Obr. 10.10 Deformace prutu vlivem špatného umístění kloubových spojů
Obr. 10.11 Průběh momentů M_y se zvýrazněnými vhodnými místy pro spoj; [kNm]
Obr. 10.12 Síly ve spoji dolního pásu
Obr. 10.13 Geometrie navržené styčnickové desky
Obr. 10.14 Průběh normálového napětí (+); kombinace pro I.MS; [MPa]
Obr. 10.15 Síly ve spoji horního pásu
Obr. 10.16 Maximální hodnoty normálové síly; kombinace pro I.MS; [kN]
Obr. 10.17 Geometrie navrženého spoje
Obr. 10.18 Prostorový pohled na části spoje
Obr. 10.19 Pootočení konců prutů; kombinace pro I.MS, [mrad]
Obr. 10.20 Ohybový moment v místě spoje, kombinace pro I.MS; [kNm]
Obr. 10.21 Řešené styčnický (A), (B), (C)
Obr. 10.22 Normálové síly v diagonálách; pro kombinaci na I.MS; [kN]
Obr. 10.23 Geometrie a síly působící na spoj
Obr. 10.24 Geometrie navrženého spoje
Obr. 10.25 Geometrie a síly působící na spoj
Obr. 10.26 Geometrie navrženého spoje
Obr. 10.27 Geometrie a síly působící na spoj
Obr. 10.28 Geometrie navrženého spoje
Obr. 10.29 Prostorový pohled na části spoje

SEZNAM TABULEK

- Tab. 1.1 Materiálové vlastnosti rostlého dřeva použitého v návrhu*
Tab. 4.1 Zatížení a zatěžovací skupiny vstupující do kombinace
Tab. 7.1 Přerozdělení normálové síly ve vnitřních prutech příhradového nosníku
Tab. 10.1 Porovnání návrhu spoje se styčnickovou deskou a kolíky $\Phi = 6; 8; 10; 12$ [mm]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: zatížení konstrukce

Příloha č. 2: posouzení profilů prutů v nosníku

Příloha č. 3: spojení krajní svislíce s horním pásem

Příloha č. 4: spojení dílů dolního pásu

Příloha č. 5: spojení dílů horního pásu

Příloha č. 6: spojení krajní diagonály

Příloha č. 7: výpočet vnitřních sil