



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍ MECHANIKY  
INSTITUTE OF STRUCTURAL MECHANICS

STUDIE STYČNÍKŮ RÁMOVÝCH OCELOVÝCH  
KONSTRUKCÍ  
STUDY OF JOINTS OF FRAME STEEL STRUCTURES

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. Ondřej Cikánek

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. ROSTISLAV ZÍDEK, Ph.D.

BRNO 2017



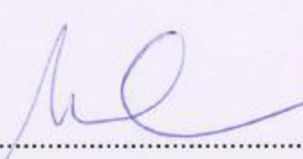
# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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. Ondřej Cikánek
NÁZEV	Studie styčníků rámových ocelových konstrukcí
VEDOUcí DIPLOMOVÉ PRÁCE	Ing. Rostislav Zídek, Ph.D.
DATUM ZADÁNÍ	31. 3. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016

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



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



## PODKLADY A LITERATURA

- [1] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí.
- [2] ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [3] ČSN EN 1993-1-8 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků.
- [4] <http://www.idea-rs.com/cs>

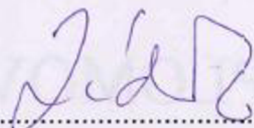
## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

Statická analýza vybraných typů styčníků rámových ocelových konstrukcí. Vyjde se z přibližných, inženýrských metod analýzy napjatosti pomocí normových nebo jiných osvědčených postupů. Vytvoří se prostorový MKP model ve vhodném MKP softwaru, popřípadě specializovaném softwaru (Idea RS). Výsledky se porovnaní a budou z nich vyvozeny závěry.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Rostislav Zídek, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce „Studie styčnicků rámových ocelových konstrukcí“ se zabývá analýzou některých typů rámových ocelových styčnicků, které jsou analyzovány jednak metodou komponent a jednak pomocí specializovaného softwaru IDEA-RS. Získané výsledky jsou porovnávány oběma metodami, a to jak z hlediska únosnosti, tak z hlediska tuhosti. V úvodní části se práce zabývá teoretickým návrhem styčnicků dle normy ČSN EN 1993-1-8. V druhé části jsou styčnický navržený na vnitřní síly a momenty, které vznikly od účinků kombinací zatížení a následně jsou analyzovány.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Ocelová konstrukce

Metoda komponent

Svařovaný styčník

Šroubovaný styčník s čelní deskou

Tuhost styčnicku

Únosnost styčnicku

## **ABSTRACT**

Master's thesis „Study of joints of frame steel structures“ examine certain analysis types of frame steel joints, which are analysed both by component method and by specialized software IDEA-RS. Obtained results are compared by both methods, in terms of load-bearing capacity and in terms of stiffness. Theoretical joints stiffness calculation according to standard ČSN EN 1993-1-8 is included in the introductory part of the thesis. In the second part, joints are designed to bear inner forces and moments, which were created by load combination effects and then analysed.

## **KEYWORDS**

Steel structure

Component method

Welded joint

Bolted joint with the front plate

Joint stiffness

Joint bearing capacity

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Ondřej Cikánek *Studie styčnicků rámových ocelových konstrukcí*. Brno, 2017. 97 s., 57 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 samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13. 1. 2017

---

Bc. Ondřej Cikánek  
autor práce



PODĚKOVÁNÍ: Děkuji vedoucímu práce Ing. Rostislavu Zídkovi, Ph.D. za cenné rady, vstřícný přístup při konzultacích a odborné vedení diplomové práce. Také bych chtěl poděkovat Ing. Ondřeji Perháčovi za poskytnutí výpočtového programu IDEA-RS. Na závěr bych chtěl poděkovat své rodině za to, že mi umožnila studium a také mě v něm podporovala.

# OBSAH

1	ÚVOD.....	4
2	STYČNÍKY OCELOVÝCH PRUTOVÝCH KONSTRUKCÍ.....	5
2.1	MATERIÁL STYČNÍKŮ .....	5
2.2	VLASTNOSTI OCELI .....	6
2.2.1	Fyzikální vlastnosti oceli .....	6
2.2.2	Mechanické vlastnosti oceli .....	6
3	ZPŮSOBY NAPOJENÍ PRUTŮ .....	7
3.1	SVAŘOVANÉ SPOJE.....	7
3.2	ŠROUBOVÉ SPOJE.....	9
3.2.1	Šrouby .....	9
3.2.2	Rozmístění otvorů pro šrouby.....	11
4	METODA KOMPONENT .....	12
4.1	PANEL STĚNY SLOUPU VE SMYKU .....	12
4.2	STĚNA SLOUPU V PŘÍČNÉM TLAKU .....	13
4.3	STĚNA SLOUPU V PŘÍČNÉM TAHU .....	15
4.4	PÁSNICE SLOUPU V PŘÍČNÉM OHYBU.....	15
4.5	ČELNÍ DESKA V OHYBU .....	18
4.6	PÁSNICE A STĚNA NOSNÍKU NEBO SLOUPU V TLAKU .....	20
4.7	STOJINA NOSNÍKU V TAHU.....	20
4.8	NÁVRHOVÁ MOMENTOVÁ ÚNOSNOST STYČNÍKU .....	21
4.8.1	Svařovaný přípoj.....	21
4.8.2	Šroubovaný přípoj čelní deskou s jednou řadou šroubů v tahu.....	21
4.8.3	Šroubovaný přípoj čelní deskou s dvěma a více řadami šroubů v tahu .....	22
5	KLASIFIKACE STYČNÍKŮ.....	23
5.1	KLASIFIKACE STYČNÍKŮ PODLE TUHOSTI.....	23
5.1.1	Tuhý styčník.....	24
5.1.2	Polotuhý styčník .....	24
5.1.3	Kloubový styčník.....	24
5.2	KLASIFIKACE STYČNÍKŮ PODLE ÚNOSNOSTI .....	25
5.2.1	Kloubový styčník.....	25
5.2.2	Styčník s částečnou únosností.....	25
5.2.3	Styčník s plnou únosností.....	25

6	VÝBĚR PRUŽNÝCH SOUČINITELŮ PRO VÝPOČET ROTAČNÍ TUHOSTI STYČNÍKU .....	26
7	VÝPOČET PRUŽNÝCH SOUČINITELŮ ZÁKLADNÍCH KOMPONENT PRO STYČNÍK A ROTAČNÍ TUHOSTI .....	27
7.1	PRUŽNÉ SOUČINITELE .....	27
7.1.1	Panel stěny sloupu ve smyku .....	27
7.1.2	Stěna sloupu v příčném tlaku .....	27
7.1.3	Stěna sloupu v příčném tahu.....	28
7.1.4	Pásnice nosníku v ohybu .....	28
7.1.5	Čelní deska v ohybu.....	28
7.1.6	Šrouby v tahu .....	28
7.1.7	Náhradní součinitel tuhosti pro příslušné základní komponenty v tahu .....	29
7.2	ROTAČNÍ TUHOST.....	30
7.2.1	Počáteční tuhost styčnicku .....	30
7.2.2	Sečná tuhost styčnicku.....	30
8	VÝPOČET ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE.....	31
8.1	ZATĚŽOVACÍ STAVY .....	32
8.2	KOMBINACE .....	33
9	VÝPOČETNÍ MODELY STYČNÍKŮ .....	35
9.1	SVAŘOVANÝ STYČNÍK BEZ VÝZTUH .....	37
9.1.1	Únosnost, napětí a přetvoření .....	37
9.1.2	Tuhost.....	39
9.2	SVAŘOVANÝ STYČNÍK S PŘÍČNÝMI VÝZTUHAMÍ .....	41
9.2.1	Únosnost, napětí a přetvoření .....	41
9.2.2	Tuhost.....	43
9.3	SVAŘOVANÝ STYČNÍK S DIAGONÁLNÍ VÝZTUHOU .....	45
9.3.1	Únosnost, napětí a přetvoření .....	45
9.3.2	Tuhost.....	47
9.4	SVAŘOVANÝ STYČNÍK S NÁBĚHEM.....	49
9.4.1	Únosnost, napětí a přetvoření .....	49
9.4.2	Tuhost.....	51
9.5	SVAŘOVANÝ STYČNÍK S PŘÍČNÝMI VÝZTUHAMÍ A NÁBĚHEM.....	53
9.5.1	Únosnost, napětí a přetvoření .....	53
9.5.2	Tuhost.....	55

9.6	SVAŘOVANÝ STYČNÍK S PŘÍČNOU A DIAGONÁLNÍ VÝZTUHOU .....	57
9.6.1	Únosnost, napětí a přetvoření .....	57
9.6.2	Tuhost.....	59
9.7	SVAŘOVANÝ STYČNÍK S DIAGONÁLNÍ VÝZTUHOU A NÁBĚHEM .....	61
9.7.1	Únosnost, napětí a přetvoření .....	61
9.7.2	Tuhost.....	63
9.8	SVAŘOVANÝ STYČNÍK S PŘÍČNOU A DIAGONÁLNÍ VÝZTUHOU A NÁBĚHEM .....	65
9.8.1	Únosnost, napětí a přetvoření .....	65
9.8.2	Tuhost.....	67
9.9	ŠROUBOVANÝ STYČNÍK S ČELNÍ DESKOU .....	69
9.9.1	Únosnost, napětí a přetvoření .....	69
9.9.2	Tuhost.....	71
9.10	ŠROUBOVANÝ STYČNÍK S ČELNÍ DESKOU A PŘÍČNÝMI VÝZTUHAMÍ .....	73
9.10.1	Únosnost, napětí a přetvoření .....	73
9.10.2	Tuhost.....	75
9.11	ŠROUBOVANÝ STYČNÍK S ČELNÍ DESKOU S VÝZTUHAMÍ MEZI ŠROUBY NA SLOUPU .....	77
9.11.1	Únosnost, napětí a přetvoření .....	77
9.11.2	Tuhost.....	79
9.12	ŠROUBOVANÝ STYČNÍK S ČELNÍ DESKOU S VÝZTUHAMÍ MEZI ŠROUBY NA SLOUPU A ČELNÍ DESCE .....	81
9.12.1	Únosnost, napětí a přetvoření .....	81
9.12.2	Tuhost.....	83
10	SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ.....	85
10.1	SVAŘOVANÉ STYČNÍKY .....	85
10.2	ŠROUBOVANÉ STYČNÍKY .....	87
11	ZÁVĚR .....	89
12	POUŽITÁ LITERATURA .....	90
	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	91
	SEZNAM TABULEK .....	94
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	95
	SEZNAM PŘÍLOH.....	97



# 1 ÚVOD

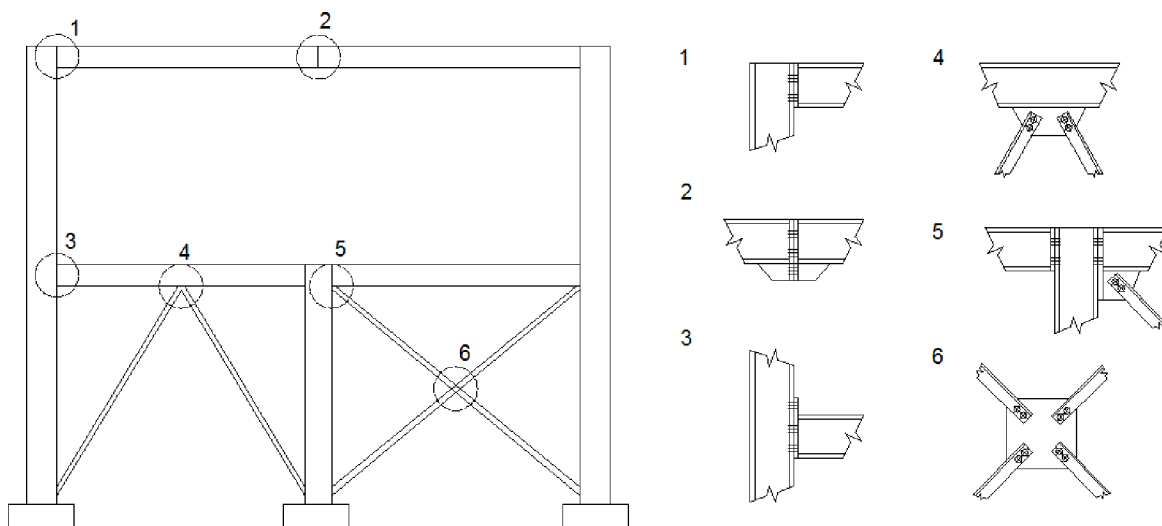
Jedním z problémů, se kterými se potýká statik ocelových konstrukcí, jsou styčníky. Ty musí splňovat řadu požadavků. Musí být nejen dostatečně únosné, ale i tuhé a v případě montážních styků musí umožnit snadnou montáž. Jejich výroba by neměla být drahá a v případě pohledových konstrukcí by měly být esteticky zajímavé. Dalším požadavkem může být, v případě exteriérové expozice, snadný odtok dešťové vody.

Rozložení napětí ve styčnicích bývá velmi komplikované. Je to část konstrukce, kde neplatí Navierova hypotéza o zachování rovinatosti průřezu po deformaci. Řešení styčnicku tedy není možné pomocí základní nosníkové teorie, ale je třeba nasadit sofistikovanější prostředky. Běžnou praxí je styčnick maximálně zjednodušit a na takto jednoduchý model aplikovat základní pravidla stavební mechaniky. Obvykle je lepším řešením metoda komponent podle normy [ČSN EN 1993-1-8]. Další způsoby řešení se neobejdou bez softwarové podpory. Jedná se o zejména deskostěnové konečněprvkové modely. Je možno použít obecné programy (SCIA Engineer, ANSYS) nebo specializovaný software.

Předkládaná diplomová práce se zabývá analýzou některých typů rámových styčnicků, které jsou analyzovány jednak metodou komponent a jednak pomocí specializovaného softwaru IDEA-RS. V první části práce je prezentován teoretický základ. Byl vytvořen a vypočten jednoduchý rám. Vnitřní síly jsou pak použity pro zatížení styčnicků. Pro daný rámový styčnick byla vytvořena řada variant a to jak šroubovaných tak svařovaných. Ty byly analyzovány metodou komponent a pomocí programu IDEA-RS. Jsou porovnávány výsledky získané oběma metodami a to jak z hlediska únosnosti, tak z hlediska tuhosti. Výsledky jsou prezentovány přehledně pomocí tabulek a grafů. Z výsledků lze usuzovat na vypovídací schopnost obou metod i na účinnost různého uspořádání často používaného typu styčnicku.

## 2 STYČNÍKY OCELOVÝCH PRUTOVÝCH KONSTRUKCÍ

Všechny ocelové konstrukce, které mají plnit svou funkci správně, musí být vhodně navrženy a staticky posouzeny. Tato kritéria platí i pro styčníky, které nosnost a tuhost celé konstrukce výrazně ovlivňují. Návrh konstrukce závisí na správně zvolených dimenzích jednotlivých prutů a následném modelování a zasazení do celkového modelu. Mezi jednotlivými pruty konstrukce se navrhují styčníky. Zvláštním typem styčníku je kotvení patní desky k betonovému základu.



Obrázek 1. Typy styčníků

1. Jednostranné připojení nosníku na ukončený sloup
2. Spojení dvou nosníků
3. Jednostranné připojení nosníku na průběžný sloup
4. Připojení diagonál ztužidel na nosník
5. Připojení diagonály ztužidla na nosník a sloup
6. Křížové spojení diagonál ztužidel

### 2.1 MATERIÁL STYČNÍKŮ

Pro kovové stavební konstrukce se styčníky běžně vyrábějí z oceli. Výběr oceli závisí na velikosti zatížení a na ostatních vlivech. Pro únosnost se vybírá z jakosti oceli S235, S275, S355 a S450. Tato diplomová práce se zabývá styčníky vyrobenými výhradně z oceli S235.

## 2.2 VLASTNOSTI OCELI

### 2.2.1 Fyzikální vlastnosti oceli

Ocel jako taková je homogenní izotropní látka. To znamená, že má ve všech směrech působení stejné vlastnosti. Pro izotropní materiály platí vztah:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

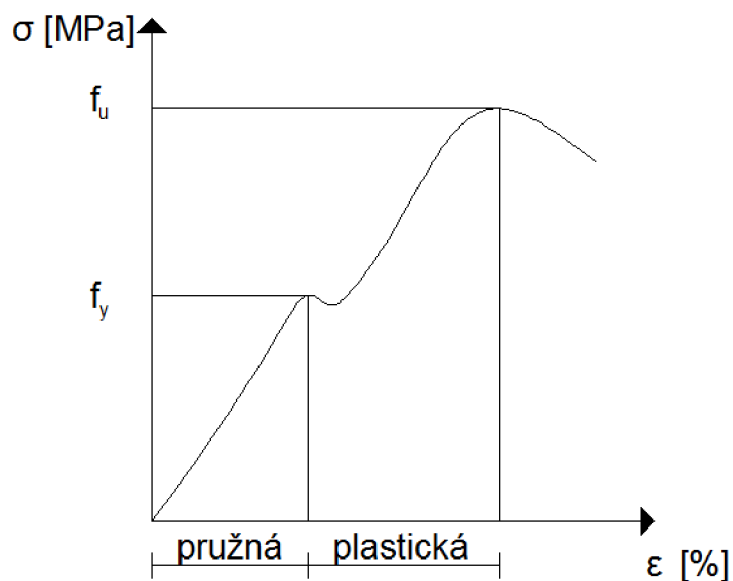
kde:	G=81	modul pružnosti ve smyku [GPa]
	E=210	Youngův modul pružnosti v tlaku i tahu [GPa]
	$\nu=0,3$	Poissonovo číslo, součinitel příčné kontrakce [-]
	$\rho=7850$	objemová hustota oceli [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]

(POZN. výše uvedené hodnoty jsou pouze orientační, závisí na podílu uhlíku v oceli)

### 2.2.2 Mechanické vlastnosti oceli

Mechanické vlastnosti oceli mají velký význam pro návrh a výpočet ocelových konstrukcí a jejich bezpečnost. Jsou závislé na chemickém složení základních materiálů a na tepelném zpracování.

Mezi základní mechanické vlastnosti oceli patří: pružnost, plasticita, tažnost a pevnost.



Obrázek 2. Pracovní diagram oceli

kde:	$\sigma$	napětí [Mpa]
	$\epsilon$	deformace [%]
	$f_u$	mez pevnosti [Mpa]
	$f_y$	mez kluzu [Mpa]

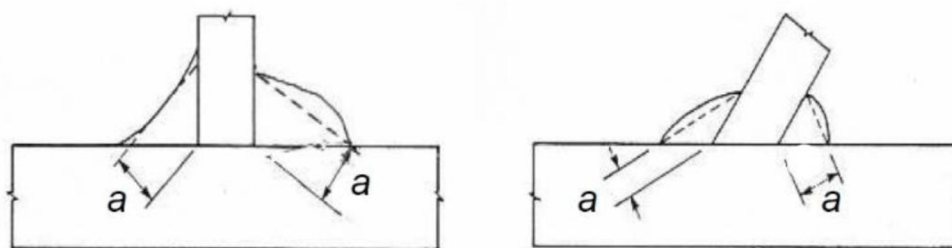
### 3 ZPŮSOBY NAPOJENÍ PRUTŮ

Styčník vzniká spojením dvou či více prutů, proto existuje nespočetné množství konstrukčních řešení. Musí být bráno v úvahu působící zatížení i samotné působení konstrukce.

V diplomové práci jsou popsány dva způsoby vytváření styčníků a to svařované spoje a šroubované spoje.

#### 3.1 SVAŘOVANÉ SPOJE

Svařování je základní technologií pro spojování kovových částí. Nejčastěji se používá svařování elektrickým obloukem, u kterého je nejmenší přípustná tloušťka svařovaného materiálu 4mm. Nejběžněji se používá koutový svar, jehož účinná tloušťka by neměla být menší než 3mm a je vyznačena na obrázku 3. Dnes je zakázáno použití jednostranného koutového svaru v případech, kdy je možno použít oboustranný koutový svar.



Obrázek 3. Účinná tloušťka koutového svaru (obr. 4.3 z [3])

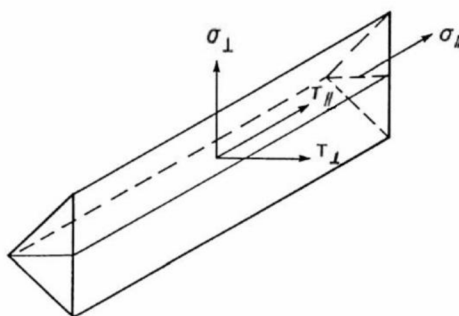
Návrhová únosnost koutového svaru se dá určit zjednodušenou metodou nebo metodou uvažující směr namáhání.

U zjednodušené metody se návrhová únosnost koutového svaru bere jako dostatečná, jestliže výslednice sil splňuje podmínku:

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$$

kde:  $F_{w,Ed}$  návrhová hodnota síly působící na jednotku délky svaru  
 $F_{w,Rd}$  návrhová únosnost svaru na jednotku délky svaru

V metodě uvažující směr namáhání se síla působící na svar rozkládá do rovnoběžných a příčných složek vzhledem k podélné ose svaru a kolmých a příčných vzhledem k účinné rovině svaru.



Obrázek 4. Napětí v účinném průřezu koutového svaru (obr. 4.4 z [3])

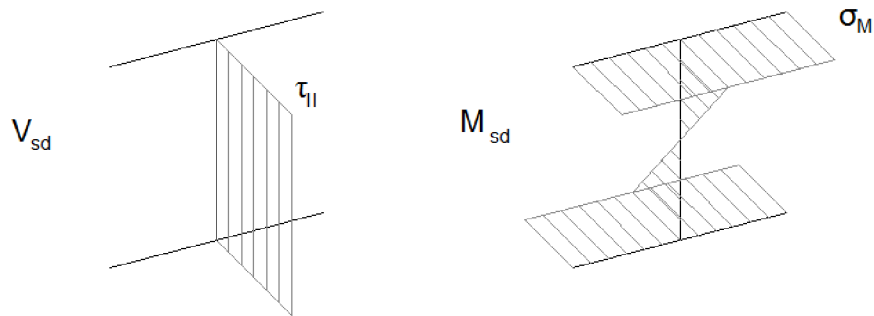


A musí splňovat podmínku:

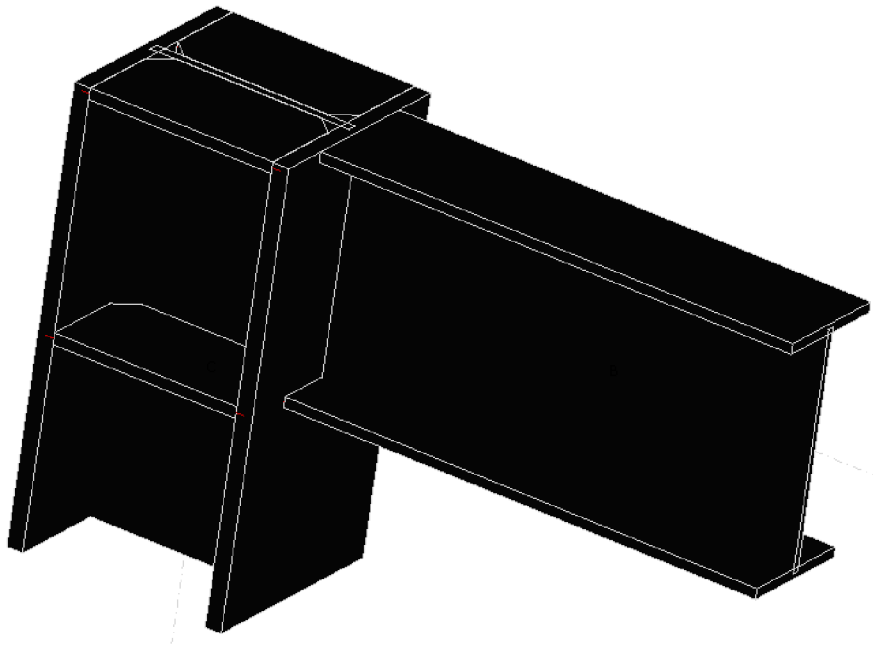
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \text{a zároveň} \quad \sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

- kde
- $\sigma_{\perp}$  normálové napětí, kolmé na účinnou plochu
  - $\tau_{\perp}$  smykové napětí, kolmé na podélnou osu svaru
  - $\tau_{\parallel}$  smykové napětí, rovnoběžné s podélnou osou svaru
  - $f_u$  jmenovitá mez pevnosti spojovaného materiálu
  - $\beta_w$  korelační součinitel
  - $\gamma_{M2}$  dílčí součinitel spolehlivosti;  $\gamma_{M2}=1,25$

Předpokladem při navrhování metodou komponent je, že smykové síly se přenáší pouze svarem na stojině nosníku a ohybový moment se přeneše všemi svary, viz obrázek 5.



Obrázek 5. Rozložení napětí od smykové síly a ohybového momentu



Obrázek 6. Příklad svařovaného spoje

## 3.2 ŠROUBOVÉ SPOJE

Šroubové spoje také patří mezi jedny ze základních a univerzálních spojovacích prostředků. Ke spojování dochází pomocí šroubu, podložky a matice.

Šroubové spoje se rozdělují do pěti kategorií podle druhu namáhání, návrhová posouzení spojů jsou shrnuta v tabulce 1.

Kategorie	Kritérium	Poznámky
Spoje ve smyku		
A Spoje namáhané ve stříhu a v otlacení	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Nevyžaduje se předpětí Mají se používat šrouby tříd 4.6 až 10.9
B Spoje odolné prokluzu v mezním stavu použitelnosti	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Mají se používat předpjeté šrouby tříd 8.8 nebo 10.9 Únosnost v prokluzu v mezním stavu použitelnosti, viz 3.9 ČSN EN 1993-1-8
C Spoje odolné prokluzu v mezním stavu únosnosti	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $\Sigma F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	Mají se používat předpjeté šrouby tříd 8.8 nebo 10.9. Únosnost v prokluzu v mezním stavu únosnosti, viz 3.9 ČSN EN 1993-1-8
Spoje v tahu		
D Nepředpjeté šroubové spoje	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Nevyžaduje se předpětí Mají se používat šrouby tříd 4.6 až 10.9
E Předpjeté šroubové spoje	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Mají se používat předpjeté šrouby tříd 8.8 nebo 10.9

**Tab. 1. Kategorie šroubových spojů (Tab. 3.2 z [3])**

V diplomové práci jsou použity šrouby pevnostní třídy 8.8 a šroubové spoje se zařazením do kategorie A (spoje namáhané ve stříhu a v otlacení) a D (nepředpjeté šroubové spoje).

### 3.2.1 Šrouby

Obvykle se při stavbě ocelových konstrukcí používají šrouby s šestihrannou hlavou o průměrech M16; M20; M24; M27. Zcela výjimečně mohou být použity šrouby o průměrech M12 a M30. Nejběžnější povrchovou úpravou šroubu je žárové pozinkování.

Pro předpjeté šrouby lze použít pouze pevnostní třídy 8.8, 10.9 a 12.9, viz tabulka 1. V běžné praxi se pak užívají šrouby 8.8 a 10.9.

Šrouby jsou rozděleny do deseti pevnostních tříd, podle pevnosti materiálu na mezi kluzu  $f_{yb}$  a na mezi pevnosti  $f_{ub}$ . Tyto mechanické vlastnosti jsou popsány v samotném značení šroubů. Například v označení 5.6 udává první číslo setinu jmenovité pevnosti v tahu  $f_{ub}=500\text{MPa}$ , druhé číslo je násobitel kterým získáme mez kluzu  $f_{yb}=0,6 \cdot f_{ub}=300\text{MPa}$ . Další hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2.

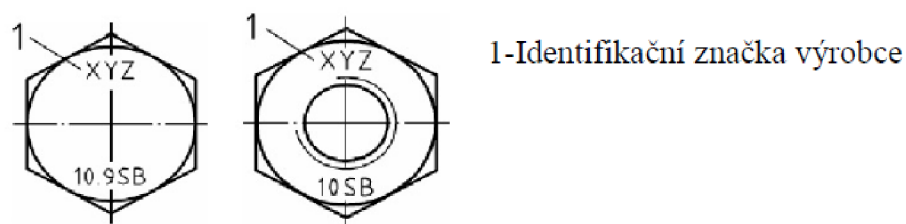
Třída pevnosti	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9
Jmenovitá pevnost v tahu [MPa]	300	400		500		600	800	900	1000	1200
Jmenovitá pevnost v kluzu [MPa]	180	240	320	300	400	480	640	720	900	1080

**Tab. 2. Jmenovité hodnoty meze kluzu a meze pevnosti pro šrouby**

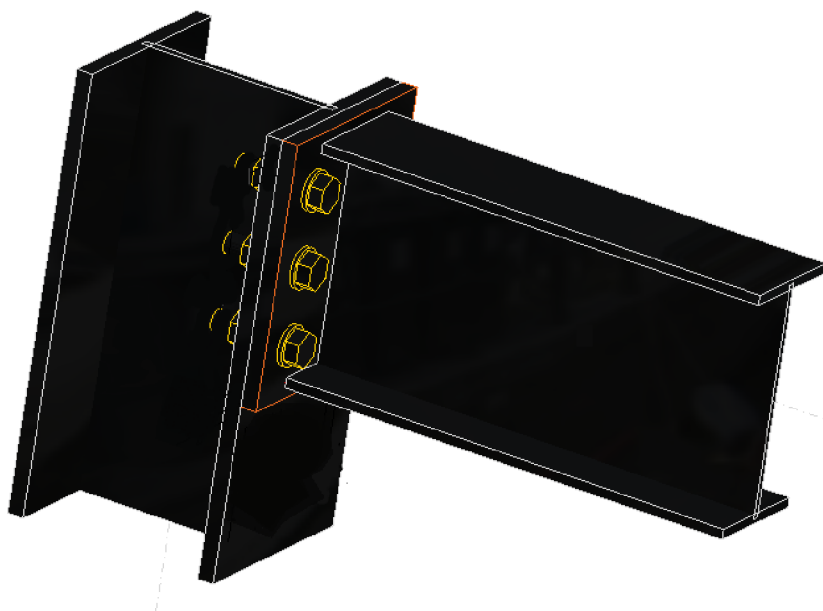
Matice se používají stejně jako šrouby šestihranné s metrickým závitem a výšce 0,8d. Podložky se zpravidla vkládají jak pod matici, tak pod hlavu šroubu. Použití podložky roznáší tlak na větší plochu, snižuje se tak možnost oděru materiálu při utahování šroubu. Vnitřní průměr podložky je volen o 1mm větší než je průměr šroubu.

Průměr otvoru na šrouby se volí v závislosti na průměru šroubu a povrchové úpravě, protože barva nebo zinek můžou zmenšit velikost otvoru. Konkrétně je velikost otvoru o 1 až 3mm větší než průměr šroubu (1mm pro M12, 2mm pro M16; M20; M24 a 3mm pro M27; M30).

Šrouby a matice pro ocelové konstrukce musí být podle evropské normy ČSN EN 15048-1 označeny uvedením třídy pevnosti podle EN ISO 898-1 nebo EN ISO 3506-1 pro šrouby a EN 20898-2 nebo EN ISO 3506-2 pro matice, identifikační značkou výrobce a speciálním označením „SB“ ( pro konstrukční šroubové spoje).



**Obrázek 7. Příklad značení šroubů a matic**



**Obrázek 8. Příklad šroubového spoje**

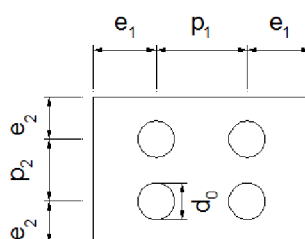
### 3.2.2 Rozmístění otvorů pro šrouby

Vzdálenosti od konce a kraje prvku a největší a nejmenší rozteče jsou pro šrouby uvedeny v tabulce 3.

Vzdálenosti a rozteče	Nejméně	Nejvíce <sup>1)2)3)</sup>		
		Konstrukce vyrobené z ocelí, které odpovídají EN10025, kromě ocelí, které odpovídají 10025-5		Konstrukce vyrobené z ocelí, které odpovídají EN10025-5
		Pruty vystavené vlivu povětrnosti nebo jiným korozivním vlivům	Pruty nevystavené vlivu povětrnosti nebo jiným korozivním vlivům	Použité pruty nejsou chráněny proti korozi
Vzdálenost od konce $e_1$	$1,2 d_0$	$4t + 40$ mm		větší než $8t$ nebo 125 mm
Vzdálenost od kraje $e_2$	$1,2 d_0$	$4t + 40$ mm		větší než $8t$ nebo 125 mm
Vzdálenost $e_3$ v prodlouženém otvoru	$1,5 d_0^{4)}$			
Vzdálenost $e_4$ v prodlouženém otvoru	$1,5 d_0^{4)}$			
Rozteč $p_1$	$2,2 d_0$	menší než 14t nebo 200 mm	menší než 14t nebo 200 mm	menší než $14t_{\min}$ nebo 175 mm
Rozteč $p_{1,0}$		menší než 14t nebo 200 mm		
Rozteč $p_{1,i}$		menší než 28t nebo 400 mm		
Rozteč $p_2^{5)}$	$2,4 d_0$	menší než 14t nebo 200 mm	menší než 14t nebo 200 mm	menší než $14t_{\min}$ nebo 175 mm

1)	Největší hodnoty roztečí a vzdáleností od konce a od okraje nejsou omezeny s výjimkou následujících případů:
2)	- odstranění místního vybočení a zabránění korozi nechráněných částí tlačných prvků, pro které jsou rozteče omezeny v tabulce - zabránění korozi nechráněných tažených prvků
3)	Únosnost plechu v tlaku při místním vybočení mezi spojovacími prostředky se má vypočítat podle EN 1993-1-1 pro vzpěrnou délku $0,6 p_1$ . Místní vybočení mezi spojovacími prostředky se nemusí prověřovat, je-li $p_1/t$ menší než 9e. Vzdálenost k hraně nemá přesáhnout požadavky pro místní vybočení volného konce tlačného prutu, viz EN 1993-1-1. Těmito požadavky není ovlivněna koncová vzdálenost.
4)	$t$ je tloušťka tenší přípojné části
5)	Omezení rozměrů prodloužených otvorů jsou uvedena v souvisejících normách 1.2.7: skupina 7. Pro vystřídání řady spojovacích prostředků lze použít nejmenší vzdálenost os $p_2=1,2 d_0$ za předpokladu, že nejmenší vzdálenost L mezi dvěma spojovacími prostředky je větší nebo rovna $2,4 d_0$

Tab. 3. Vzdálenosti od kraje a konce prvku, největší a nejmenší rozteče (Tab. 3.3 z [3])



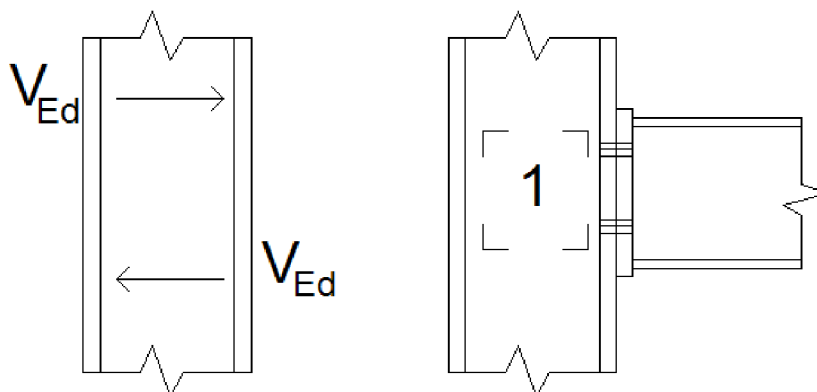
Obrázek 9. Označení vzdálenosti od konce a okraje prvku a rozteče spojovacích prostředků



## 4 METODA KOMPONENT

Tato metoda spočívá v rozložení styčnicků na jednotlivé komponenty, které jsou namáhány tlakem, tahem nebo smykem. Každý prvek je následně posuzován samostatně. U každé z komponent lze spočítat její konstrukční vlastnosti. Rozhodující komponenta je ta, která má nejmenší momentovou únosnost. Nesmíme opomenout, že tato metoda je pouze přibližná, nikoli úplně přesná. Diplomová práce dále obsahuje jednotlivé použité komponenty.

### 4.1 PANEL STĚNY SLOUPU VE SMYKU



Obrázek 10. Působící síly a umístění v komponentě 1

Tato komponenta je aktivní u jednostranného styčnicku nebo u oboustranného v případě, že nosníky nejsou stejné nebo na ně nepůsobí stejné zatížení. U stejných nosníků se smykové působení vyruší a tuto komponentu není potřeba řešit. Plastická únosnost ve smyku se má stanovit dle výrazu:

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{y,wc} \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

kde  $f_{y,wc}$  hodnota meze kluzu materiálu sloupu  
 $A_{vc}$  smyková plocha sloupu, viz [2]  
 $\gamma_{M0}$  součinitel materiálu,  $\gamma_{M0}=1,00$

V případě, že jsou u sloupu použity výztuhy v rovinách přírub připojeného nosníku, lze návrhovou únosnost panelu stěny sloupu  $V_{wp,Rd}$  zvýšit o  $V_{wp,add,Rd}$  výrazem:

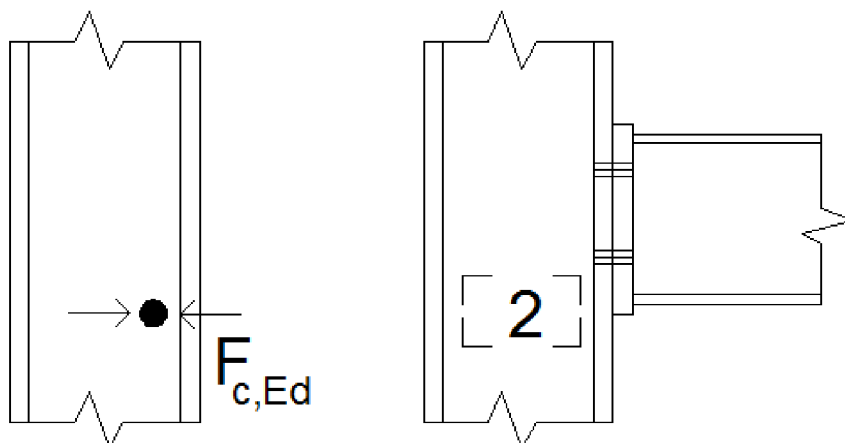
$$V_{wp,add,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,fc,Rd} + 2 \cdot M_{pl,st,Rd}}{d_s}$$

kde  $M_{pl,fc,Rd}$  návrhová plastická momentová únosnost pásnice sloupu  
 $M_{pl,st,Rd}$  návrhová plastická momentová únosnost výztuhy  
 $d_s$  osová vzdálenost výztuhy

Pak se celková smyková únosnost rovná součtu dílčích smykových únosností, tedy:

$$V_{wp,Rd,tot} = V_{wp,Rd} + V_{wp,add,Rd}$$

## 4.2 STĚNA SLOUPU V PŘÍČNÉM TLAKU



Obrázek 11. Působící síla a umístění v komponentě 2

Tato komponenta je aktivní jak u jednostranného, tak u oboustranného styčnicku. Lze ji však vyloučit použitím výztuh v rovinách přírub nosníku. Návrhová únosnost nevyztužené stěny sloupu v příčném tlaku se pak určí vztahem:

$$F_{c,wc,Rd} = \frac{\omega \cdot k_{wc} \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} \quad \text{a platí: } F_{c,wc,Rd} \leq \frac{\rho \cdot \omega \cdot k_{wc} \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}}{\gamma_{M1}}$$

kde  $\omega$  redukční součinitel zahrnující v panelu stěny sloupu možný vliv interakce se smykem podle tabulky 6.3 z [3]

$k_{wc}$  redukční součinitel stanovený v 6.2.6.2 v [3]

$\rho$  redukční součinitel boulení stěny:

jestliže:  $\bar{\lambda}_p \leq 0,72$ ;  $\rho = 1,00$

jestliže  $\bar{\lambda}_p \leq 0,72$ ;  $\rho = (\bar{\lambda}_p - 0,2) / \bar{\lambda}_p^2$

$\bar{\lambda}_p$  desková štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = 0,932 \sqrt{\frac{b_{eff,c,wc} \cdot d_{wc} \cdot f_{y,wc}}{E \cdot t_{wc}^2}}$$

pro válcované průřezy sloupů I a H:  $d_{wc} = h_c - 2(t_{fc} + r_c)$

pro svařované průřezy sloupů I a H:  $d_{wc} = h_c - 2(t_{fc} + \sqrt{2}a_c)$

$b_{eff,c,wc}$  účinná šířka stěny sloupu v tlaku pro svařovaný spoj:

$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} \cdot a_b + 5(t_{fc} + s)$$

šroubovaný spoj čelní deskou

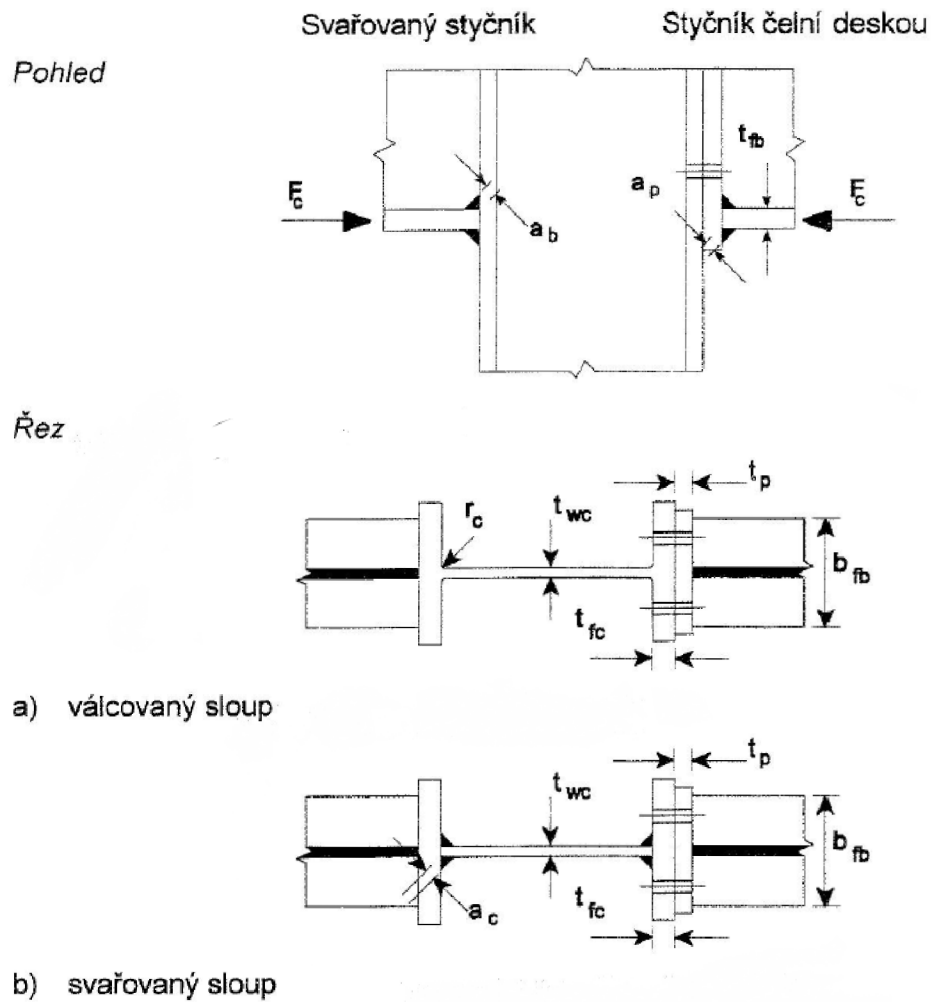
$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} \cdot a_p + 5(t_{fc} + s) + s_p$$

kde  $s_p$  délka, která se získá rozkladem napětí čelní deskou pod  $45^\circ$  (nejméně  $t_p$  a až  $2t_p$  za předpokladu, že přesah čelní desky pod pásnicí je dostatečný)

$s=r_c$  pro válcované průřezy sloupu I a H

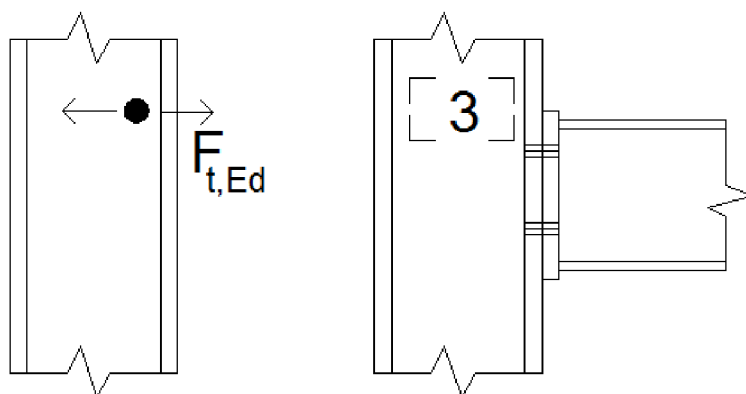
$s=\sqrt{2}a_c$  pro svařované průřezy sloupu I a H

$a_p, r_c, a_b, a_c$  jsou vyznačeny na obrázku 12



Obrázek 12. Příčný tlak na nevyztužený sloup (obr. 6.6 z [3])

### 4.3 STĚNA SLOUPU V PŘÍČNÉM TAHU



Obrázek 13. Působící síla a umístění komponenty 3

Podobně jako u komponenty 2 je tato komponenta aktivní jak u jednostranného, tak u oboustranného styčníku. Opět ji lze vyloučit přidáním výztuhy v rovině přírub nosníku. Návrhová únosnost nevyztužené stěny sloupu v příčném tahu se pak určí vztahem:

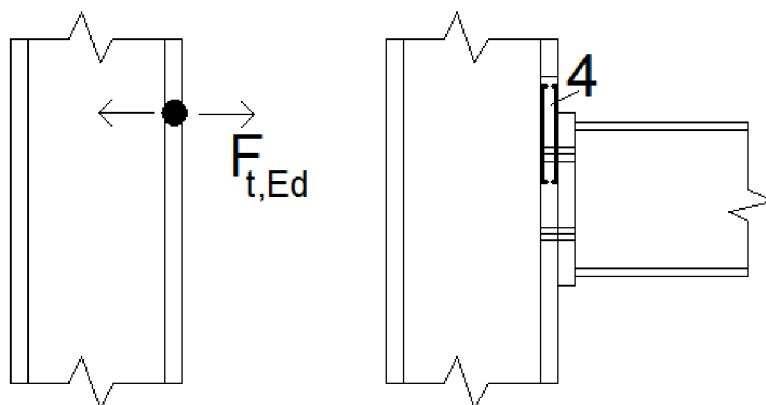
$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}$$

Příčemž pro svařovaný spoj se  $b_{eff,t,wc}$  určuje stejně jako u komponenty 2, tedy:

$$b_{eff,t,wc} = b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} \cdot a_b + 5(t_{fc} + s)$$

Pro šroubový spoj se  $b_{eff,t,wc}$  bere jako rozhodující efektivní šířka  $l_{eff}$  určená v komponentě 4 pro horní řadu šroubů.

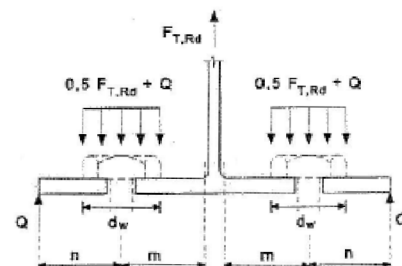
### 4.4 PÁSNICE SLOUPU V PŘÍČNÉM OHYBU



Obrázek 14. Působící síla a umístění komponenty 4

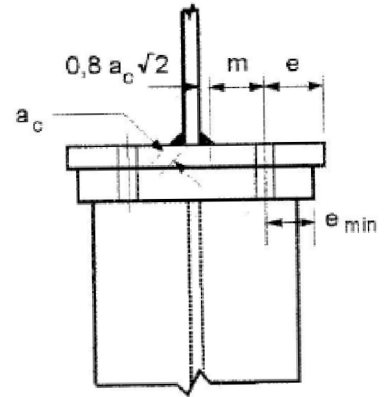
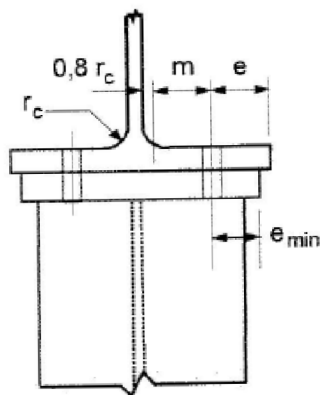
Komponenta 4 je typická pro šroubové spoje, u svařovaných se nepoužívá. Opět je aktivní jak pro jednostranné, tak oboustranné styčníky. V této diplomové práci se budeme zabývat nevyztuženou pásnicí sloupu. Návrhová únosnost a způsob porušení nevyztužené pásnice sloupu v příčném ohybu, spolu s přidruženými šrouby v tahu, se má uvažovat jako pásnice náhradního T profilu. Postup výpočtu je následovný:

	Páčící síly mohou vzniknout, např. $L_b \leq L_b^*$		Bez páčících sil
<b>1. způsob</b>	1. metoda	2. metoda (variantní)	
Bez příložek	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$	$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$
S příložkami	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd} + 2M_{bp,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd} + 4nM_{bp,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$	
<b>2. způsob</b>	$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n\Sigma F_{t,Rd}}{m+n}$		
<b>3. způsob</b>	$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd}$		
<p>1. způsob: úplná plastifikace pásnice  2. způsob: porušení šroubu s plastifikací pásnice  3. způsob: porušení šroubu</p> <p><math>L_b</math> je - natahovaná délka šroubu, která se uvažuje rovna svěrné délce (celková tloušťka materiálu a podložek) a polovině výšky hlavy a matice šroubu, nebo  - natahovaná délka kotevního šroubu, která se uvažuje rovna součtu osminásobku jmenovitého průměru šroubu, vrstvy malty, tloušťky patní desky, podložce a polovině výšky matice.</p> <p><math>L_b^* = \frac{8,8m^3 A_s}{\Sigma \ell_{eff,i} t_f^3}</math></p> <p><math>F_{T,Rd}</math> návrhová únosnost pásnice T profilu v tahu;  <math>Q</math> páčící síla;  <math>M_{pl,1,Rd} = 0,25 \Sigma \ell_{eff,1} t_f^2 f_y / \gamma_{MO}</math>  <math>M_{pl,2,Rd} = 0,25 \Sigma \ell_{eff,2} t_f^2 f_y / \gamma_{MO}</math>  <math>M_{bp,Rd} = 0,25 \Sigma \ell_{eff,i} t_{bp}^2 f_{y,bp} / \gamma_{MO}</math>  <math>n = e_{min}</math> ale <math>n \leq 1,25m</math>  <math>F_{t,Rd}</math> návrhová únosnost šroubu v tahu, viz tabulka 3.4;  <math>\Sigma F_{t,Rd}</math> celková hodnota <math>F_{t,Rd}</math> pro všechny šrouby v T profilu;  <math>\Sigma \ell_{eff,1}</math> hodnota <math>\Sigma \ell_{eff}</math> pro 1. způsob;  <math>\Sigma \ell_{eff,2}</math> hodnota <math>\Sigma \ell_{eff}</math> pro 2. způsob;  <math>e_{min}, m</math> a <math>t_f</math> jsou znázorněny na obrázku 6.2  <math>f_{y,bp}</math> mez kluzu příložek;  <math>t_{bp}</math> tloušťka příložek;  <math>e_w = d_w/4</math>;  <math>d_w</math> průměr podložky nebo příčných vzdáleností na hlavě případně matici šroubu.</p> <p>POZNÁMKA 1 Ve styčných nosníku se sloupem nebo ve spojích nosníků lze předpokládat vznik páčících sil.  POZNÁMKA 2 Ve 2. metodě se předpokládá, že jsou síly ve šroubu působící na pásnici T profilu rovnoměrně rozloženy pod podložkou, hlavou šroubu nebo případně maticí, viz obrázek, místo jejich koncentrace v ose šroubu. Předpoklad vede k vyšší hodnotě u 1. způsobu porušení, ale ponechává nezměněny hodnoty <math>F_{T,1-2,Rd}</math> pro 2. a 3. způsob.</p>			

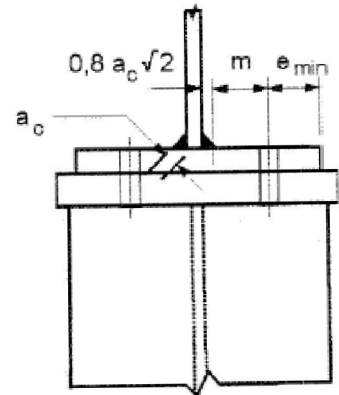
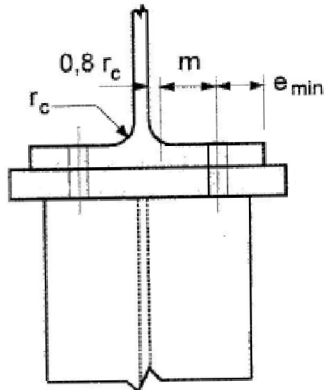


**Tab. 4. Návrhová únosnost  $F_{T,Rd}$  pásnice náhradního T profilu (Tab. 6.2 z [3])**

Pro zjištění maximální únosnosti komponenty je potřeba spočítat návrhovou únosnost třemi způsoby, viz tabulka 4. V případě obdobného výsledku způsobu 1 s ostatními je třeba pro úplnou plastifikaci pásnice provést zpřesňující přepočítání 2. metodou (variantní). Přičemž rozhodující způsob bude ten s nejmenší hodnotou. Pro výpočet je však potřeba zjistit dílčí koeficienty  $e_{min}$ ,  $m$ ,  $t_f$ , které jsou uvedeny na obrázku 15. Dále pro výpočet způsobu 1 a 2 je potřeba zjistit plastický moment únosnosti  $M_{pl,i,Rd}$ , který závisí na účinné délce nevyztužené pásnice. Ta lze zjistit z tabulky 5. Nesmí být opomenuto, jakou řadu šroubu je třeba v danou situaci počítat. Rozhodující délkou je ta s nejmenší hodnotou.



a) čelní deska užší než pásnice sloupu



b) čelní deska širší než pásnice sloupu

Obrázek 15. Definice  $e$ ,  $e_{\min}$ ,  $r_c$  a  $m$  (obr. 6.8 z [3])

Poloha řady šroubů	Řada šroubů uvažovaná samostatně		Řada šroubů uvažovaná jako součást skupiny řad šroubů	
	Kruhové porušení $l_{\text{eff,cp}}$	Nekruhové porušení $l_{\text{eff,nc}}$	Kruhové porušení $l_{\text{eff,cp}}$	Nekruhové porušení $l_{\text{eff,nc}}$
Vnitřní řada šroubů	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	$p$
Koncová řada šroubů	menší z: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	menší z: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	menší z: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	menší z: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
1. způsob	$l_{\text{eff},1} = l_{\text{eff,nc}}$ ale $l_{\text{eff},1} \leq l_{\text{eff,cp}}$		$\Sigma l_{\text{eff},1} = \Sigma l_{\text{eff,nc}}$ ale $\Sigma l_{\text{eff},1} \leq \Sigma l_{\text{eff,cp}}$	
2. způsob	$l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff,nc}}$		$\Sigma l_{\text{eff},2} = \Sigma l_{\text{eff,nc}}$	

Tab. 5. Účinné délky nevyztužené pásnice sloupu (tab. 6.4 z [3])

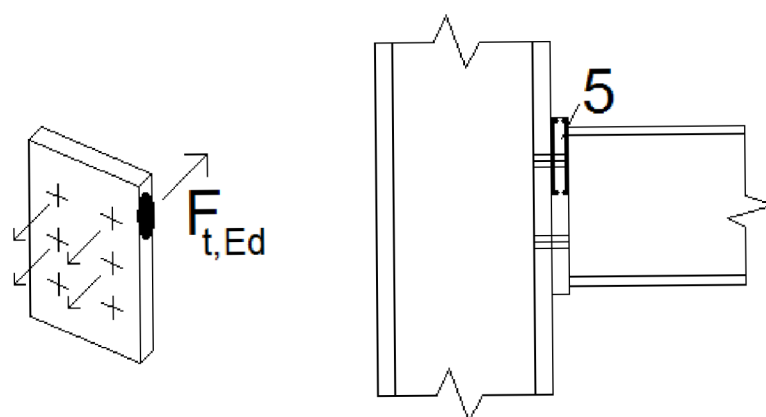
Poslední neznámou je návrhová únosnost šroubu v tahu  $F_{t,Rd}$ :

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

kde  $k_2=0,63$  pro zapuštěné šrouby, jinak  $k_2=0,9$   
 $\gamma_{M2}=1,25$  materiálový součinitel

Uvedený postup je pro 1 řadu šroubů. V případě více řad šroubů je třeba postup výpočtu opakovat pro všechny řady.

## 4.5 ČELNÍ DESKA V OHYBU



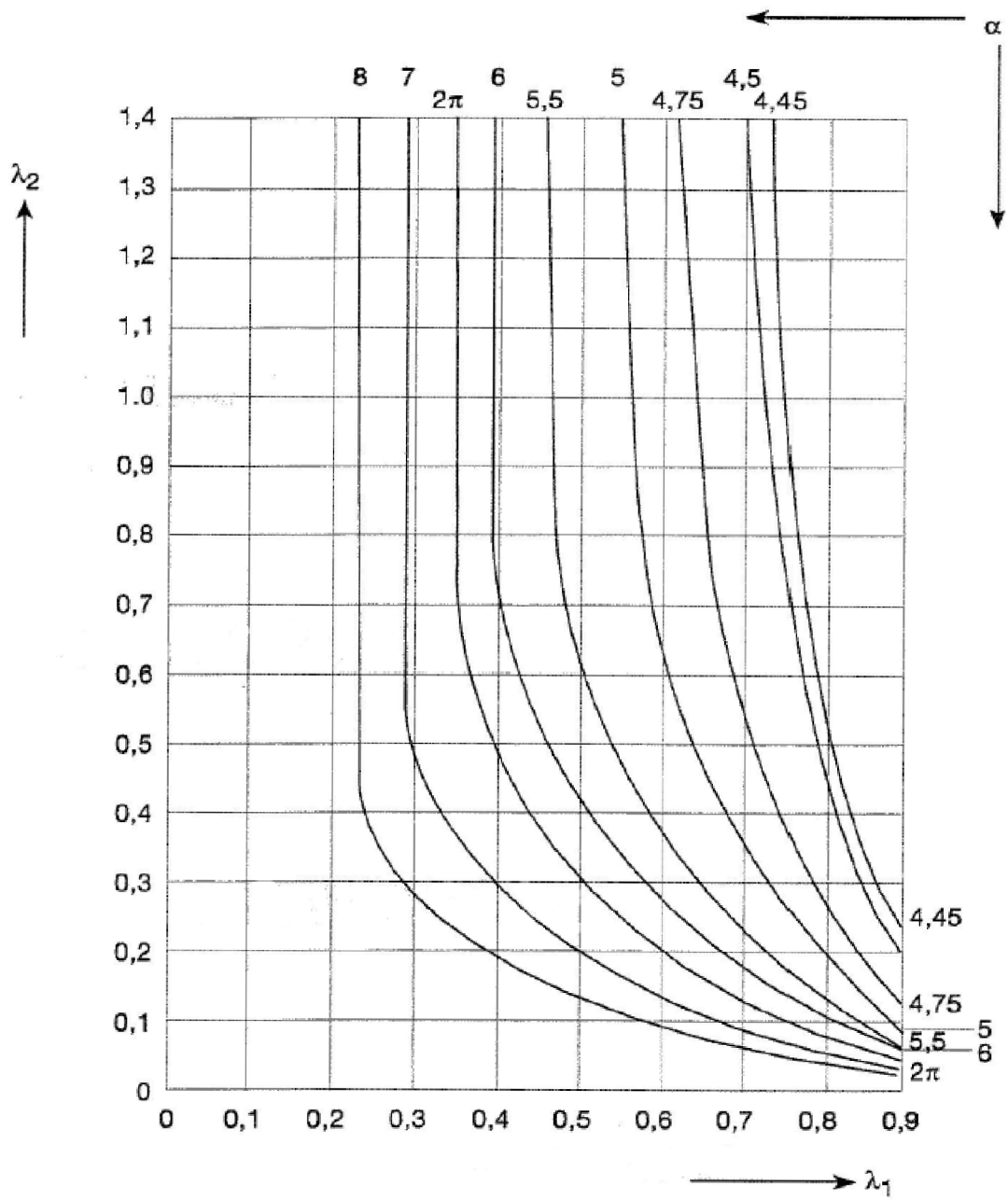
Obrázek 16. Působící síla a umístění komponenty 5

Stejně jako předchozí komponenta je komponenta 5 určena pro šroubové spoje s čelní deskou. Aktivní je jak u jednostranných, tak u oboustranných styčnicků. Návrhová únosnost a způsob porušení čelní desky v ohybu, spolu s přidruženými šrouby v tahu, se má uvažovat stejně jako v předchozí komponentě. Samotný postup určení návrhové únosnosti probíhá stejně jako u komponenty 4 s malým rozdílem. Účinné délky pásnice náhradního T profilu se liší. Pro každou řadu šroubu se musí určit podle tabulky 6.

Poloha řady šroubů	Řada šroubů uvažovaná samostatně		Řada šroubů uvažovaná jako součást skupiny řad šroubů	
	Kruhové porušení $l_{eff,cp}$	Nekruhové porušení $l_{eff,nc}$	Kruhové porušení $l_{eff,cp}$	Nekruhové porušení $l_{eff,nc}$
Řada šroubů vně tažené pásnice nosníku	nejmenší z: $2\pi m_x$ $\pi m_x + w$ $\pi m_x + 2e$	nejmenší z: $4m_x + 1,25e_x$ $e + 2m_x + 0,625e_x$ $0,5b_p$ $0,5w + 2m_x + 0,625e_x$	–	–
Řada šroubů pod taženou pásnicí nosníku	$2\pi m$	$\alpha m$	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m$ $-(2m + 0,625e)$
Vnitřní řada šroubů	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	$p$
Koncová řada šroubů	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$\pi m + p$	$2m + 0,625e + 0,5p$
1. způsob	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ ale $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc}$ ale $\Sigma l_{eff,1} \leq \Sigma l_{eff,cp}$	
2. způsob	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		$\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc}$	
$\alpha$ se má získat z obrázku 6.11.				

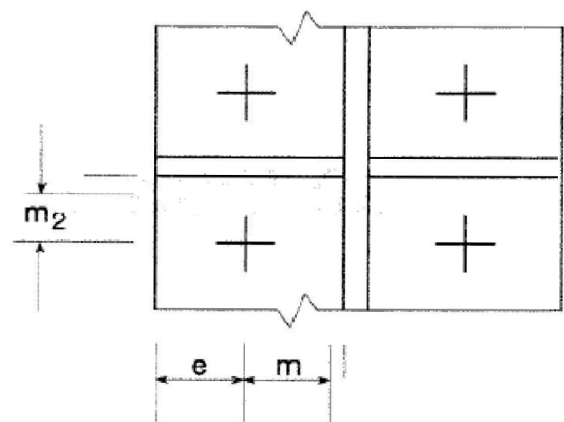
Tab. 6. Účinné délky pro čelní desku (tab. 6.6 z [3])

V diplomové práci nebude používána řada šroubů vně taženou pásnicí nosníku, takže vstupní hodnoty pro výpočet nebudou blíže specifikovány. Avšak pro řadu šroubů pod taženou pásnicí je třeba určit koeficient  $\alpha$ , který lze pomocí proměnných  $\lambda_1$  a  $\lambda_2$  vyčíst z grafu na obrázku 17.



$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e}$$

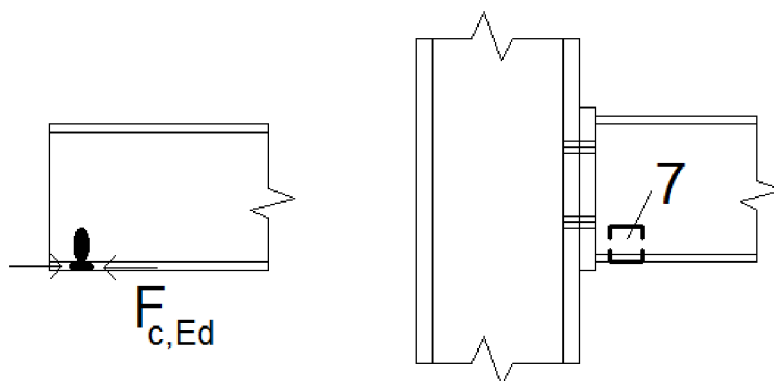
$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$$



Obrázek 17. Hodnoty  $\alpha$  pro čelní desku (obr. 6.11 z [3])



## 4.6 PÁSNICE A STĚNA NOSNÍKU NEBO SLOUPU V TLAKU



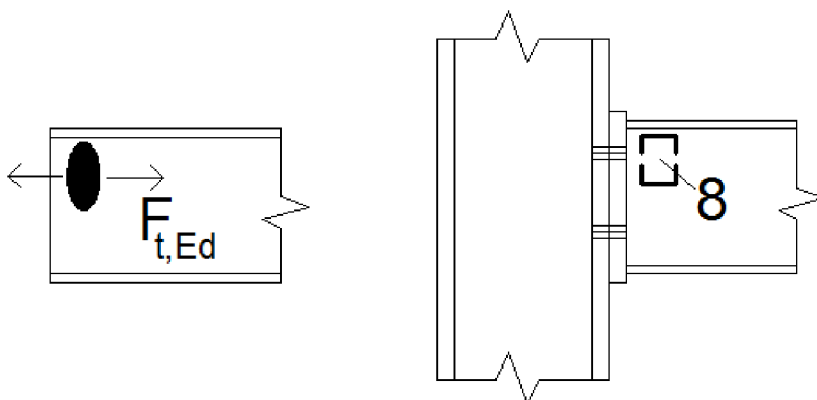
Obrázek 18. Působící síla a umístění komponenty 7

Jedna z nejčastěji užívaných komponent. Je aktivní pro jednostranné i oboustranné styčníky. Oproti ostatním komponentám se jedná o rychlý výpočet. Návrhová únosnost pásnice a stěny nosníku v tlaku se stanoví podle výrazu:

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{b,Rd}}{(h_b - t_{fb})}$$

kde  $h_b$  výška připojovaného nosníku  
 $M_{b,Rd}$  návrhová momentová únosnost průřezu nosníku, která v případě potřeby redukuje vlivem smyku, viz [2]. Pro nosník s náběhem lze pro  $M_{b,Rd}$  zanedbat mezilehlou pásnici

## 4.7 STOJINA NOSNÍKU V TAHU



Obrázek 19. Působící síla a umístění komponenty 8

Komponenta 8 je typická pro šroubové spoje, u svařovaných spojů nevzniká. Opět je aktivní jak u jednostranných tak oboustranných styčníků. Návrhová únosnost stojiny nosníku se ve šroubovaných přípojích s čelní deskou určuje jako:

$$F_{t,wb,Rd} = \frac{b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb}}{\gamma_{M0}}$$

kde je účinná výška  $b_{eff,t,wb}$  stojiny nosníku v tahu rovna účinné délce náhradního T profilu jako u komponenty 5 (čelní deska v ohybu).

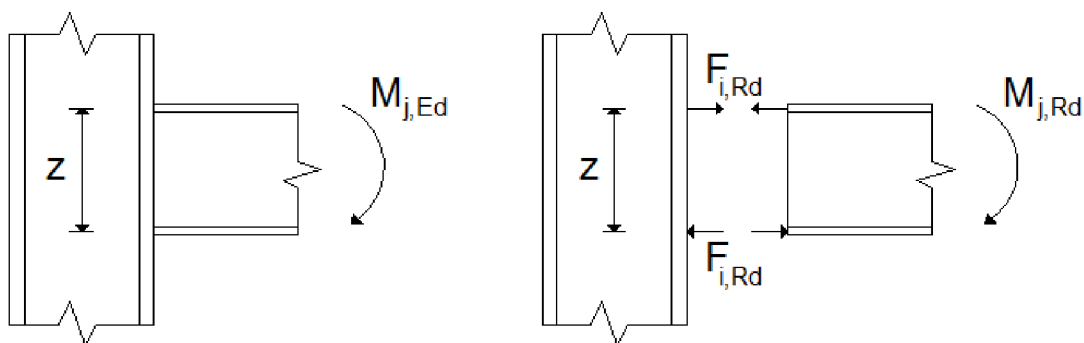
## 4.8 NÁVRHOVÁ MOMENTOVÁ ÚNOSNOST STYČNÍKU

Všeobecně musí působící návrhový moment  $M_{j,Rd}$  splňovat podmínku:

$$\frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} \leq 1,0$$

Z metody komponent jsou zjištěny maximální síly, působící v daných komponentách. Ještě je třeba určit ramena působících sil, které se liší podle druhu připojení nosníku ke sloupu.

### 4.8.1 Svařovaný přípoj



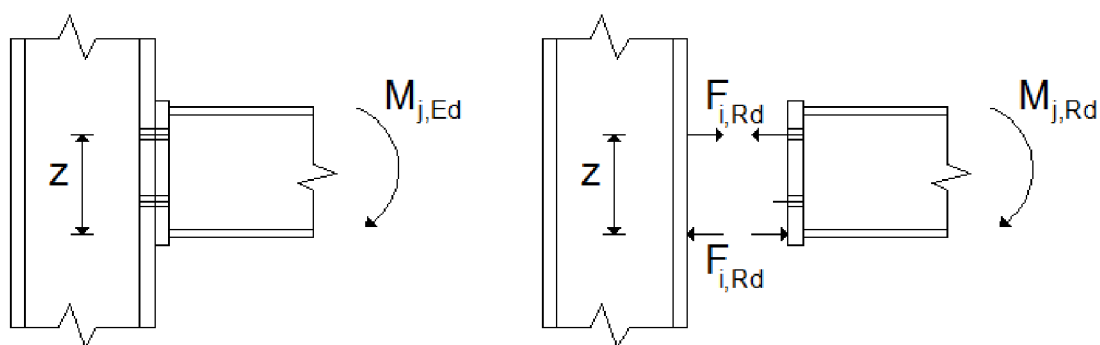
**Obrázek 20. Rameno z a rozdělení sil pro stanovení momentové únosnosti  $M_{j,Rd}$**

Střed tlaku se nachází v přímce vedené středem tloušťky tlacené pásnice. Návrhový moment únosnosti pro svařovaný přípoj se určí:

$$M_{j,Rd} = F_{i,Rd} \cdot z = F_{i,Rd} \cdot (h - t_{fb})$$

kde  $F_{i,Rd}$       nejnižší (rozhodující) síla z vybraných komponent, použitých pro určení maximální únosnosti styčnicku  
 $h$               výška připojovaného nosníku  
 $t_{fb}$              tloušťka pásnice nosníku

### 4.8.2 Šroubovaný přípoj čelní deskou s jednou řadou šroubů v tahu



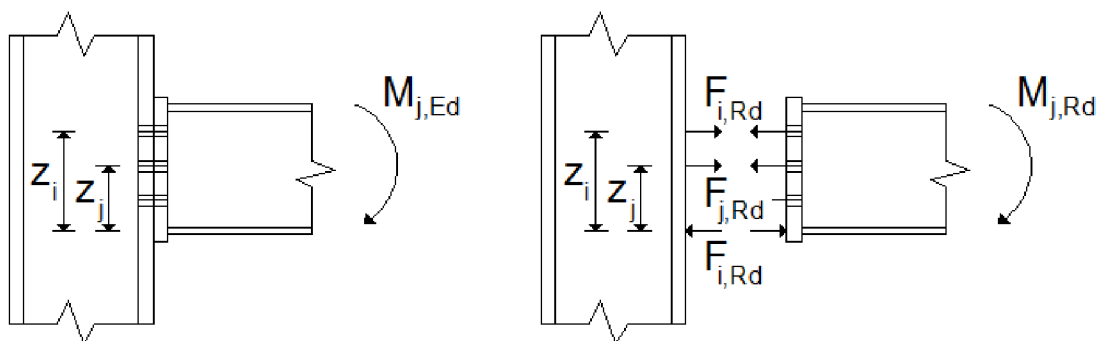
**Obrázek 21. Rameno z a rozdělení sil pro stanovení momentové únosnosti  $M_{j,Rd}$**

Střed tlaku se nachází v přímce vedené středem tloušťky tlacené pásnice. Návrhový moment únosnosti pro svařovaný přípoj se určí:

$$M_{j,Rd} = F_{i,Rd} \cdot z$$

kde  $F_{i,Rd}$       nejnižší (rozhodující) síla z vybraných komponent pro šroubový přípoj, použitých pro určení maximální únosnosti styčnicku  
 $z$                 vzdálenost středu tlaku a řady šroubu v tahu

### 4.8.3 Šroubovaný přípoj čelní deskou s dvěma a více řadami šroubů v tahu



Obrázek 22. Ramena z a rozdělení sil pro stanovení momentové únosnosti  $M_{j,Rd}$

Střed tlaku se nachází v přímce vedené středem tloušťky tlačené pásnice. Na obrázku 22 je příklad dvou řad šroubů v tahu. Návrhový moment únosnosti pro svařovaný přípoj se určí:

$$M_{j,Rd} = \sum_r z_r \cdot F_{i,Rd}$$

kde  $F_{i,Rd}$  účinná návrhová únosnost řady šroubů  $r$  v tahu  
 $z_r$  vzdálenost řady šroubů  $r$  ke středu tlaku  
 $r$  číslo řady šroubů

Konkrétně pak pro dvě řady šroubů vypadá vztah následovně:

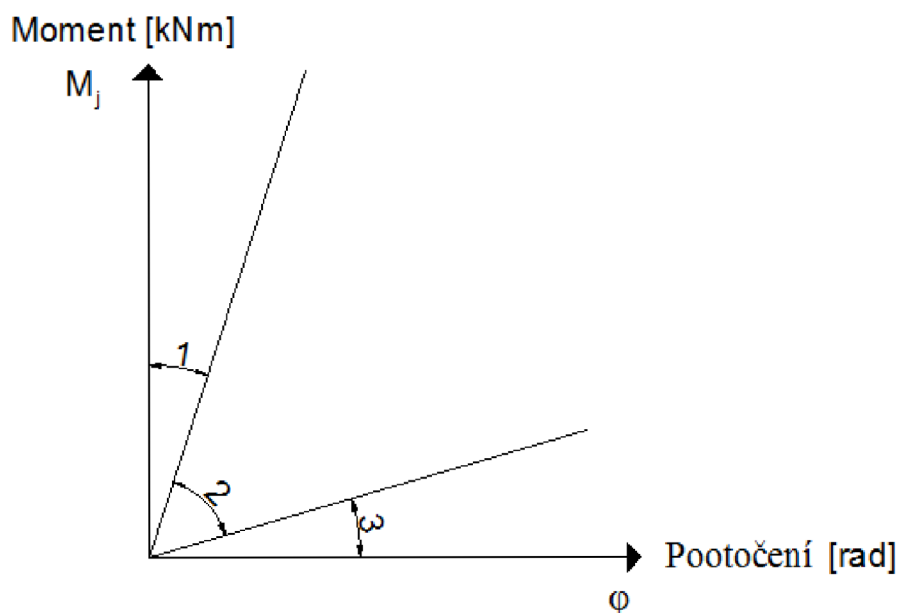
$$M_{j,Rd} = F_{i,Rd} \cdot z_i + F_{j,Rd} \cdot z_j$$

kde  $F_{i,Rd}$  účinná návrhová únosnost 1. řady šroubů v tahu  
 $z_i$  vzdálenost 1. řady šroubů ke středu tlaku  
 $F_{j,Rd}$  účinná návrhová únosnost 2. řady šroubů v tahu  
 $z_j$  vzdálenost 2. řady šroubů ke středu tlaku

## 5 KLASIFIKACE STYČNÍKŮ

### 5.1 KLASIFIKACE STYČNÍKŮ PODLE TUHOSTI

Styčníky lze podle rotační tuhosti rozdělit do 3 skupin na tuhé, polotuhé a kloubové. Na základě počáteční tuhosti  $S_{j,ini}$  jsou tyto skupiny rozděleny hraničními liniemi na oblasti a znázorněny na obrázku 23.



Obrázek 23. Klasifikace styčnicků podle tuhosti

Oblast 1: Tuhý styčník, jestliže platí:

$$S_{j,ini} \geq \frac{k_b \cdot E \cdot I_b}{L_b}$$

Oblast 2: Polotuhý styčník spadá do druhé oblasti, pokud nejsou splněna kritéria pro oblast 1 nebo 3.

Oblast 3: Kloubový styčník, jestliže platí:

$$S_{j,ini} \leq \frac{0,5 \cdot E \cdot I_b}{L_b}$$

kde  $S_{j,ini}$  počáteční tuhost připoje [Nm/rad],  
 $k_b=25$  nevyztužený rám,  
 $k_b=8$  vyztužený rám.  
 $E$  modul pružnosti oceli [Pa]  
 $I_b$  moment setrvačnosti nosníku [m<sup>4</sup>]  
 $L_b$  rozpětí nosníku [m]



Obrázek 24. Nevyztužený a vyztužený rám

### 5.1.1 Tuhý styčník

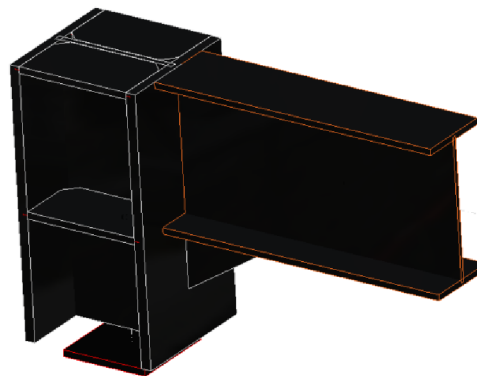
Lze u něj předpokládat významnou rotační tuhost, která u analýzy konstrukce umožňuje využít plné spojitosti. Styčník přenáší všechny vnitřní síly. V praxi lze tuhého styčníku dosáhnout svařováním podstatně jednodušeji než pomocí šroubů.



Obrázek 25. Tuhý styčník

### 5.1.2 Polotuhý styčník

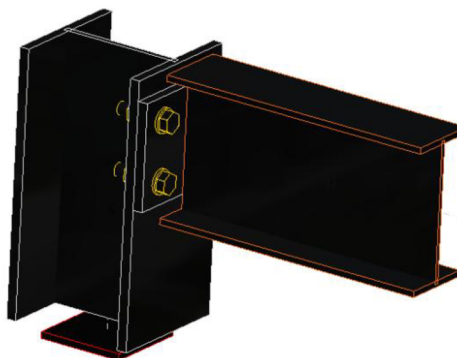
Spadá do skupiny styčnicků, které nesplňují podmínky pro tuhý ani kloubový styčník. Měl by být schopen přenášet všechny vnitřní síly. Jedná se o nejběžnější typ styčníku.



Obrázek 26. Polotuhý styčník

### 5.1.3 Kloubový styčník

Měl by být schopen přenášet některé vnitřní síly, však bez velkých momentů, které by mohly ovlivnit konstrukci jako celek. V praxi se pro kloubové styčníky využívají převážně šrouby.



Obrázek 27. Kloubový styčník

## 5.2 KLASIFIKACE STYČNÍKŮ PODLE ÚNOSNOSTI

Všeobecně lze styčníky rozdělit podle únosnosti na 3 skupiny: kloubové styčníky, styčníky plnou únosností a styčníky s částečnou únosností vzhledem k porovnání návrhové únosnosti  $M_{j,Rd}$  a návrhové únosnosti připojovaného prutu. Při návrhu styčníku se rozlišuje spoj navrhovaný na plnou únosnost připojovaného prutu nebo na síly, které ve styčníku skutečně působí.

### 5.2.1 Kloubový styčník

Definice je stejná jako v předchozím dělení. Styčník by měl přenášet některé vnitřní síly, však bez významných momentů, které by mohly ovlivnit konstrukci jako celek. Kloubový styčník umožňuje natočení od návrhového zatížení. V případě, že má styčník dostatečnou rotační tuhost, tak jej stále lze klasifikovat jako kloubový, jestliže jeho návrhová momentová únosnost  $M_{j,Rd}$  není větší než 25% z požadované návrhové únosnosti pro styčník s plnou únosností.

### 5.2.2 Styčník s částečnou únosností

O styčník s částečnou únosností se jedná v případě, kdy nesplňuje podmínky pro kloubový styčník nebo styčník s plnou únosností.

### 5.2.3 Styčník s plnou únosností

Jak vyplývá z názvu, tak by návrhová únosnost styčníku neměla být menší než návrhová únosnost připojovaného prvku. Dále lze styčník klasifikovat jako styčník s plnou únosností, jestliže splňuje podmínky uvedené na obrázku 28.



Obrázek 28. Styčník s plnou únosností (obr. 5.5 z [3])

kde  $M_{b,pl,Rd}$  návrhová plastická momentová únosnost nosníku  
 $M_{c,pl,Rd}$  návrhová plastická momentová únosnost sloupu

## 6 VÝBĚŘ PRUŽNÝCH SOUČINITELŮ PRO VÝPOČET ROTAČNÍ TUHOSTI STYČNÍKU

Rotační tuhost styčnicku se určuje podle pružnosti jeho základních komponent, které jsou popsány pružným součinitelem tuhosti  $k_i$ . Ještě před samotným výpočtem je třeba zařadit styčnicku podle typu přípoje do tabulky 7 nebo 8, aby bylo zjištěno, které pružné součinitele je třeba použít.

Styčnicku nosníku se sloupem se svařovanými přípoji	Součinitel tuhosti $k_i$
Jednostranný	$k_1; k_2; k_3$
Oboustranný – stejné a opačné momenty	$k_2; k_3$
Oboustranný – nestejně momenty	$k_1; k_2; k_3$
Styčnicku nosníku se sloupem s přípoji úhelníky na pásnici	Součinitel tuhosti $k_i$
Jednostranný	$k_1; k_2; k_3; k_4; k_6; k_{10}; k_{11}^{*); k_{12}^{**)}$
Oboustranný – stejné a opačné momenty	$k_2; k_3; k_4; k_6; k_{10}; k_{11}^{*); k_{12}^{**)}$
Oboustranný – nestejně momenty	$k_1; k_2; k_3; k_4; k_6; k_{10}; k_{11}^{*); k_{12}^{**)}$
*) dva součinitele $k_{11}$ , každý pro jednu stranu	
**) čtyři součinitele $k_{12}$ , jeden pro každou pásnici a jeden pro každý úhelník na pásnici nosníku	

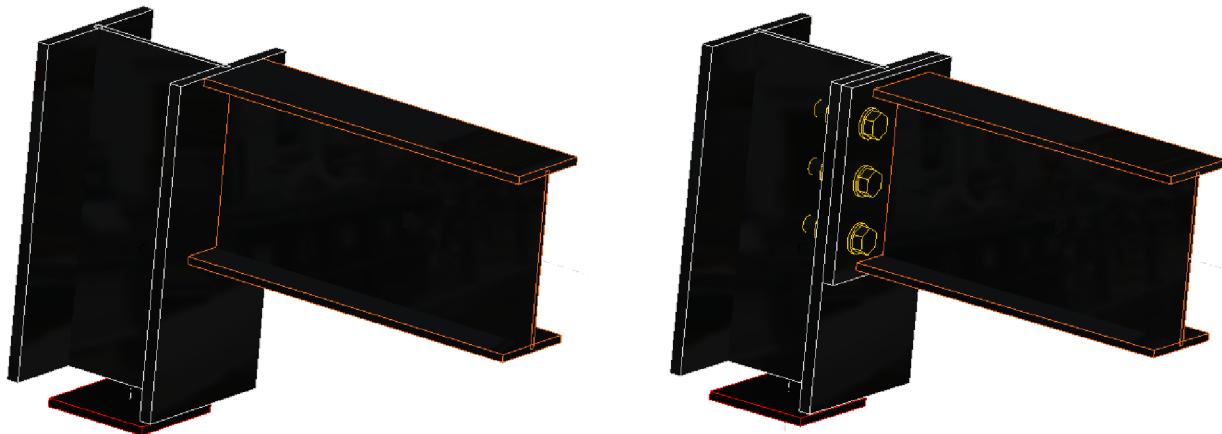
Tab. 7. Styčnicku se svařovanými přípoji nebo šroubovanými přípoji úhelníky na pásnici nosníku (Tab. 6.9 z [3])

Styčnicku nosníku se sloupem se šroubovanými přípoji čelní deskou	Počet řad šroubů v tahu	Součinitel tuhosti $k_i$
Jednostranný	Jedna	$k_1; k_2; k_3; k_4; k_5; k_{10}$
	Dvě nebo více	$k_1; k_2; k_{eq}$
Oboustranný – stejné a opačné momenty	Jedna	$k_2; k_3; k_4; k_5; k_{10}$
	Dvě nebo více	$k_2; k_{eq}$
Oboustranný – nestejně momenty	Jedna	$k_1; k_2; k_3; k_4; k_5; k_{10}$
	Dvě nebo více	$k_1; k_2; k_{eq}$
Spoj nosníků šroubovanou čelní deskou	Počet řad šroubů v tahu	Součinitel tuhosti $k_i$
Oboustranný – stejné a opačné momenty	Jedna	$K_5$ (vlevo); $k_5$ (vpravo); $k_{10}$
	Dvě nebo více	$k_{eq}$
Kotvení patní deskou	Počet řad šroubů v tahu	Součinitel tuhosti $k_i$
Kotvení patní deskou	Jedna	$k_{13}; k_{15}; k_{16}$
	Dvě nebo více	$k_{13}; k_{15}; k_{16}$ (pro každou řadu šroubů)

Tab. 8. Styčnicku se šroubovanými přípoji čelní a patní deskou (Tab. 6.10 z [3])

## 7 VÝPOČET PRUŽNÝCH SOUČINITELŮ ZÁKLADNÍCH KOMPONENT PRO STYČNÍK A ROTAČNÍ TUHOSTI

Výpočet pružných součinitelů byl v této diplomové práci prováděn výhradně pro jednostranný rohový styčník, a to pro svařovaný přípoj pásnice sloupu a nosníku s různými typy výztuh nebo pro šroubovaný přípoj s čelní deskou přivařenou k nosníku a šroubově spojenou s pásnicí sloupu. U šroubového styčníku jsou dvě řady šroubů v tahu.



Obrázek 29. Příklad svařovaného a šroubového styčníku pro výpočet pružných součinitelů

Styčníky odpovídají styčníkům v tabulkách 7 a 8. Pro výpočet tuhosti je třeba určit pružné součinitele odpovídající vybraným styčníkům. Pro komponentu 7: *Pásnice a stěna nosníku nebo sloupu v tlaku* a pro komponentu 8: *Stojina nosníku v tahu* se pružný součinitel tuhosti nepočítá. Pro ostatní použité komponenty je postup výpočtu následovný:

### 7.1 PRUŽNÉ SOUČINITELE

#### 7.1.1 Panel stěny sloupu ve smyku

$$k_1 = \frac{0,38 \cdot A_{vc}}{\beta \cdot z}$$

kde  $A_{vc}$  smyková plocha sloupu [mm<sup>2</sup>]  
 $\beta$  převodní součinitel [-]; (tab. 5.4 z [3])  
 $z$  rameno [mm]; [obr. 6.15 z [3])

V případě, že bude panel stěny sloupu vyztužen příložkou, tak se považuje za plně tuhý a součinitel pružné tuhosti  $k_1$  se nebude uvažovat. Tloušťka příložky však nesmí být menší než tloušťka stěny sloupu. Délka příložky by měla přesahovat účinnou šířku stěny sloupu v tahu a tlaku. Její šířka by měla dosahovat nejméně k počátku poloměru zaoblení sloupu.

#### 7.1.2 Stěna sloupu v příčném tlaku

$$k_2 = \frac{0,7 \cdot b_{\text{eff},c,wc} \cdot t_{wc}}{d_c}$$

kde  $b_{\text{eff},c,wc}$  účinná výška stěny sloupu v tlaku [mm]  
 $t_{wc}$  tloušťka stojiny sloupu [mm]  
 $d_c$  čistá výška stěny sloupu [mm]



Je možné stěnu sloupu v tlaku vyztužit vodorovnou výztuhou. Tloušťka výztuhy by měla mít minimálně tloušťku pásnice připojovaného nosníku a měla by být plně přivařena ke sloupu (na obě pásnice i stojinu). V případě, že je u sloupu použita smyková výztuha, poté se považuje za plně tuhý a pružný součinitel  $k_2$  se nezapočítává.

### 7.1.3 Stěna sloupu v příčném tahu

$$k_3 = \frac{0,7 \cdot b_{\text{eff,t,wc}} \cdot t_{\text{wc}}}{d_c}$$

kde	$b_{\text{eff,t,wc}}$	účinná výška stěny sloupu v tahu [mm]
	$t_{\text{wc}}$	tloušťka stojiny sloupu [mm]
	$d_c$	čistá výška stěny sloupu [mm]

Stejně jako v předchozím případě, lze stěnu sloupu vyztužit vodorovnou výztuhou. Tloušťka výztuhy by měla mít minimálně tloušťku pásnice připojovaného nosníku a měla by být plně přivařena ke sloupu (na obě pásnice i stojinu). V případě, že je u sloupu použita smyková výztuha, tak se považuje za plně tuhý a pružný součinitel  $k_3$  se nezapočítává.

### 7.1.4 Pásnice nosníku v ohybu

$$k_4 = \frac{0,9 \cdot l_{\text{eff}} \cdot t_{\text{fc}}^3}{m^3}$$

kde	$l_{\text{eff}}$	nejmenší z účinných délek pro řadu šroubů pro pásnici sloupu [mm]
	$t_{\text{fc}}$	tloušťka pásnice sloupu [mm]
	$m$	vzdálenost [mm]; (obr. 6.8 z z [3])

Pro nevyztuženou pásnici se účinná délka  $l_{\text{eff}}$  uvažuje podle tab. 6.4 z [3]. V případě dvou a více řad šroubů se pružný součinitel musí počítat pro všechny aktivní řady šroubů.

### 7.1.5 Čelní deska v ohybu

$$k_5 = \frac{0,9 \cdot l_{\text{eff}} \cdot t_p^3}{m^3}$$

kde	$l_{\text{eff}}$	nejmenší z účinných délek pro řadu šroubů pro pásnici sloupu [mm]
	$t_p$	tloušťka čelní desky [mm]
	$m$	vzdálenost [mm]; (obr. 6.11 z [3])

Pro čelní desku se účinná délka  $l_{\text{eff}}$  uvažuje podle tabulky 6.6 z [3]. V případě dvou a více řad šroubů se pružný součinitel musí počítat pro všechny aktivní řady šroubů.

### 7.1.6 Šrouby v tahu

$$k_{10} = \frac{1,6 \cdot A_s}{L_b}$$

kde	$A_s$	plocha šroubu [mm <sup>2</sup> ]
	$L_b$	prodlužovaná délka, která je rovna celkové tloušťce materiálu a podložek plus polovina součtu výšky hlavy a výšky matice [mm]

### 7.1.7 Náhradní součinitel tuhosti pro příslušné základní komponenty v tahu

$$k_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} \cdot h_r}{z_{eq}}$$

kde  $k_{eff,r}$  účinný součinitel řady šroubů  $r$  [mm]  
 $h_r$  vzdálenost řady šroubů  $r$  ke středu tlaku [mm]  
 $z_{eq}$  náhradní rameno [mm]

Pro výpočet náhradního součinitele tuhosti je potřeba určit účinný součinitel tuhosti  $k_{eff,r}$ , který se určuje vždy pro příslušnou řadu šroubů.

$$k_{eff,r} = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{k_{i,r}}}$$

kde  $k_{i,r}$  součinitel tuhosti představující komponentu  $i$  pro řadu  $r$  šroubů [mm]

Ještě je třeba určit si náhradní rameno  $z_{eq}$ :

$$z_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} \cdot h_r^2}{\sum_r k_{eff,r} \cdot h_r}$$

U styčnicku s čelní deskou je součinitel tuhosti  $k_{i,r}$  nahrazen součiniteli pro:

- stěnu sloupu v tahu ( $k_3$ )
- pásnici nosníku v ohybu ( $k_4$ )
- čelní desku v ohybu ( $k_5$ )
- šrouby v tahu ( $k_{10}$ )

## 7.2 ROTAČNÍ TUHOST

### 7.2.1 Počáteční tuhost styčnicku

$$S_{j,ini} = \frac{E \cdot z^2}{\mu \cdot \sum_i \frac{1}{k_i}}$$

kde	E	Youngův modul pružnosti v tahu [Pa]
	z	rameno [mm], v případě šroubovaného spoje s více řadami šroubů se použije náhradní rameno $z_{eq}$
	$\mu$	poměr tuhosti - pro počáteční tuhost styčnicku se stanoví $\mu=1,0$
	$k_i$	součinitel tuhosti základní komponenty

Na základě počáteční tuhosti styčnicku  $s_{j,ini}$  se styčnický rozdělují do skupin, viz kapitola 5.1.

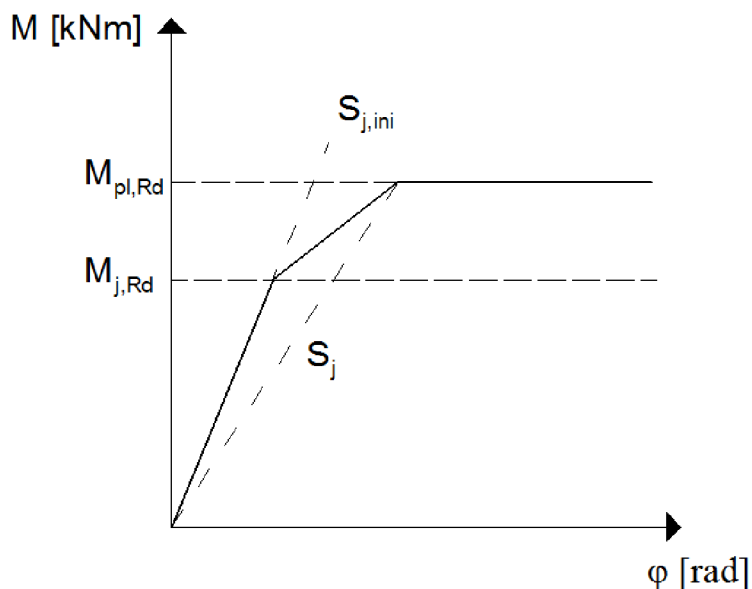
### 7.2.2 Sečná tuhost styčnicku

$$S_j = \frac{S_{j,ini}}{\mu}$$

kde	$S_{j,ini}$	počáteční tuhost styčnicku [Nm/rad]
	$\mu$	poměr tuhosti pro $M_{j,Ed} \leq \frac{2}{3} M_{j,Rd} = 1$

$$\text{pro } \frac{2}{3} M_{j,Rd} < M_{j,Ed} < M_{j,Rd} = \left( \frac{1,5 M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} \right)^\psi$$

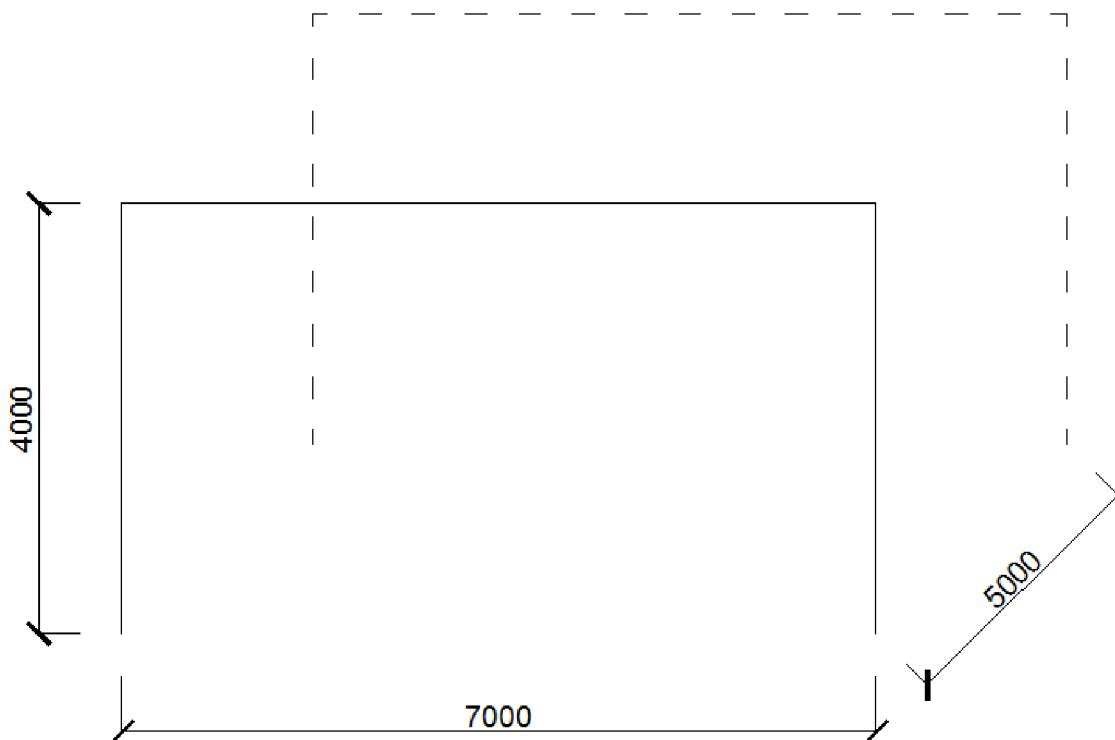
$\psi$	součinitel (tab. 6.8 z [3])
--------	-----------------------------



Obrázek 30. Pracovní diagram styčnicku

## 8 VÝPOČET ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE

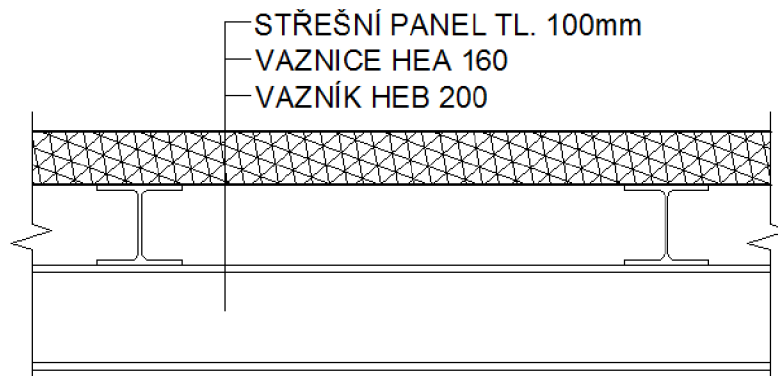
Konstrukce pro výpočet je rám jednoduchého halového objektu. Vzdálenost sloupů je 7,0m, výška sloupu jsou 4,0m. Konstrukce byla analyzována rovinným prutovým modelem. Plošné zatížení je vynásobené rozpětím sloupů v podélném směru haly o šířce 5,0m. Pro konstrukci haly byly použity profily HEB 200.



Obrázek 31. Schéma modelu

Zatížení konstrukce je tvořeno vlastní tíhou, ostatním stálým zatížením, nahodilým zatížením větrem a nahodilým zatížením sněhem. Nahodilé užité zatížení pro běžné opravy a údržbu pro střechu bylo vyloučeno, kvůli nahodilému zatížení sněhem. Budova bude sloužit pro skladování a průmyslovou činnost, kategorie budovy E.

Střešní konstrukce je tvořena vaznicemi HEA 160, na kterých jsou uloženy izolační a zateplovací panely z polyuretanu tloušťky 100mm. Osová vzdálenost vaznic je 1000mm, proto není zatížení modelováno pomocí osamělých břemen ve styku vaznice a vazníku, nýbrž pomocí spojitěho zatížení na celou délku vazníku.



Obrázek 32. Skladba střešní konstrukce

## 8.1 ZATĚŽOVACÍ STAVY

Jednotlivá zatížení, působící na konstrukci, je třeba rozdělit do zatěžovacích stavů, podle norem zatížení konstrukcí. V programu Scia Engineer je možné ke každému zatěžovacímu stavu přidělit normovou skupinu zatížení, která usnadňuje automatické generování kombinací zatěžovacích stavů. Podle skupin lze jednoduše poznat, které zatěžovací stavy mohou nebo naopak nesmí být kombinovány mezi sebou.

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení	Vztah	Velikost	Jednotky
ZS1	Vlastní tíha OK	Stálé	LG1	Standard	automaticky	[kN/m]
ZS2	Stálé zatížení	Stálé	LG2	Standard	2,15	[kN/m]
ZS3	Vítr +x	Nahodilé	LG3	Výběrová, vítr	2,21/-1,33	[kN/m]
ZS4	Vítr -x	Nahodilé	LG3	Výběrová, vítr	2,21/-1,33	[kN/m]
ZS5	Sníh	Nahodilé	LG4	Výběrová, sníh	4	[kN/m]

Tab. 9. Tabulka zatěžovacích stavů

### ZS1 Vlastní tíha Ocelové konstrukce

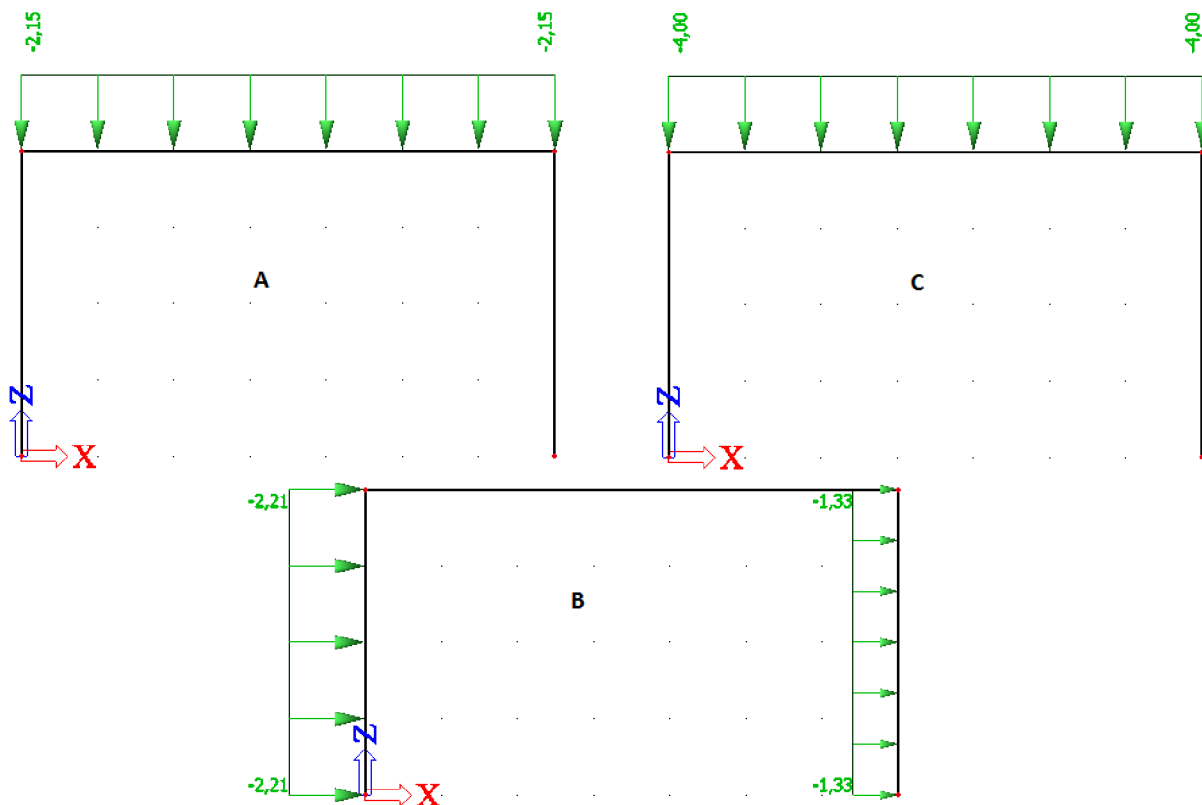
Je počítaná automaticky programem Scia Engineer.

### ZS2 Stálé zatížení

Je tvořeno konstrukcí střechy: vaznicí HEA 160 a střešními panely z polyuretanové pěny tl. 100mm

Střešní panel	$0,13 \text{ kN/m}^2 \cdot 5 \text{ m}$	0,65 kN/m
Vaznice HEA 160	$0,3 \text{ kN/m}^2 \cdot 5 \text{ m}$	1,5 kN/m
	$\Sigma$	2,15 kN/m

Ostatní ZS, viz příloha



Obrázek 33. A) ZS2 Stálé zatížení, B) ZS3 Vítr zleva, C) ZS5 Sníh

## 8.2 KOMBINACE

Kombinace zatížení jsou uvažovány dle vzorců uvedených v ČSN EN 1990 - Zásady navrhování konstrukcí.

$$6.10.a \quad \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

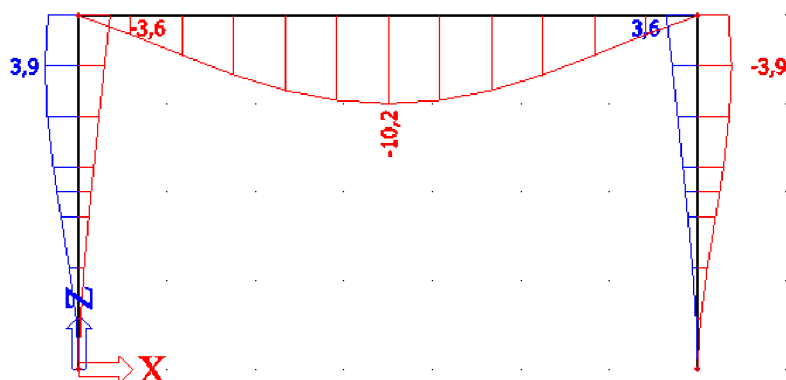
$$6.10.b \quad \sum_{j \geq 1} \xi_j \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Součinitele zatížení:  $\gamma_G=1,00$  a  $1,35$  pro příznivé a nepříznivé účinky

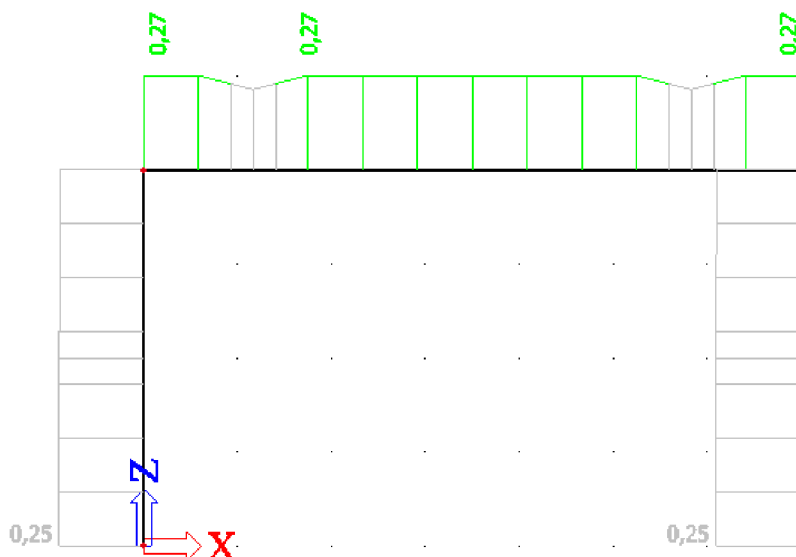
$\gamma_Q=1,00$  a  $1,50$  pro příznivé a nepříznivé účinky

Kombinační součinitel:  $\psi_0=1,00$  pro skladovací prostory

Pro kombinace v programu Scia Engineer byl použit typ kombinací EN-MSÚ (GEO/STR) Soubor B, který by měl postupovat přesně podle normových rovnic 6.10.a a 6.10.b.

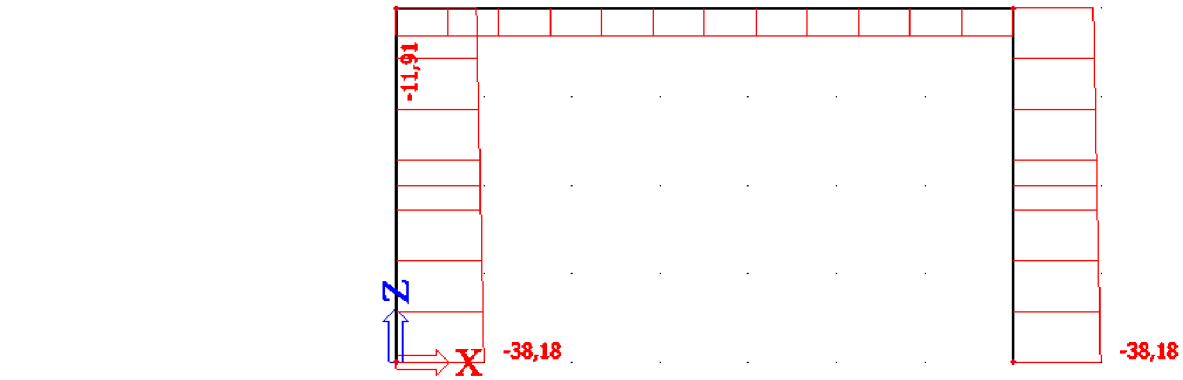


Obrázek 34. Hodnoty relativního posunu  $u_z$  v lokálních souřadnicích, od kombinace zatížení [mm]

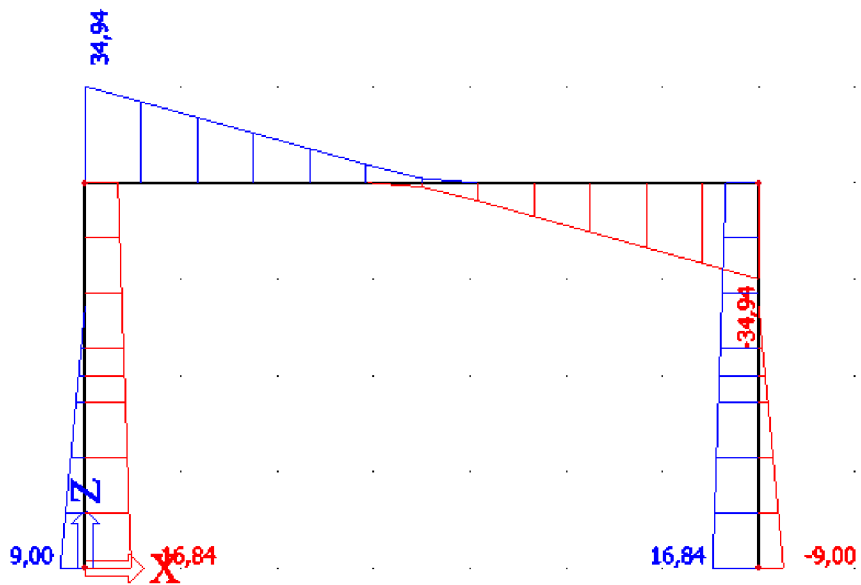


Obrázek 35. Využití profilů od kombinace v intervalu (0;1)

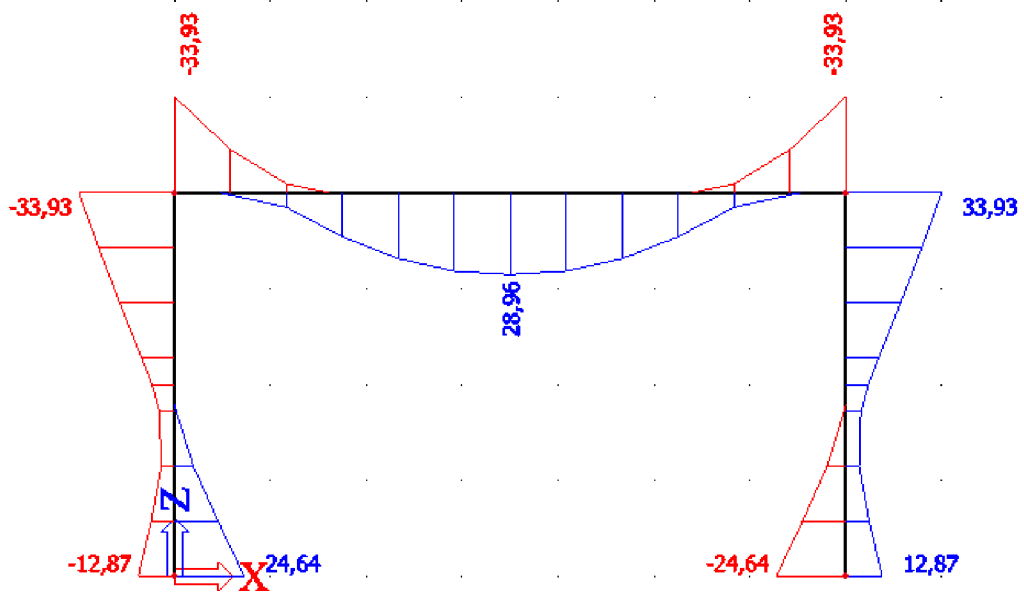
Z využití profilů je patrné, že dimenze prutů jsou zvoleny neohospodárně, využití je maximálně 27%. Dimenze i zatížení jsou však zvoleny tak, aby u styčnicku nebylo nedosaženo maximální únosnosti. Kdyby byly styčnický modelovány na hranici únosnosti, tak by se na pracovním diagramu styčnicku dostávaly do plastické oblasti, odkud mohou být výsledky velmi zkreslené. Proto se u jednodušších styčnicků dosaženo 80% max. únosnosti a u sofistikovanějších styčnicků 30% max. únosnosti.



Obrázek 36. Průběh normálových sil  $N$  od kombinace zatížení [kN]



Obrázek 37. Průběh posouvajících sil  $V_z$  od kombinace zatížení [kN]



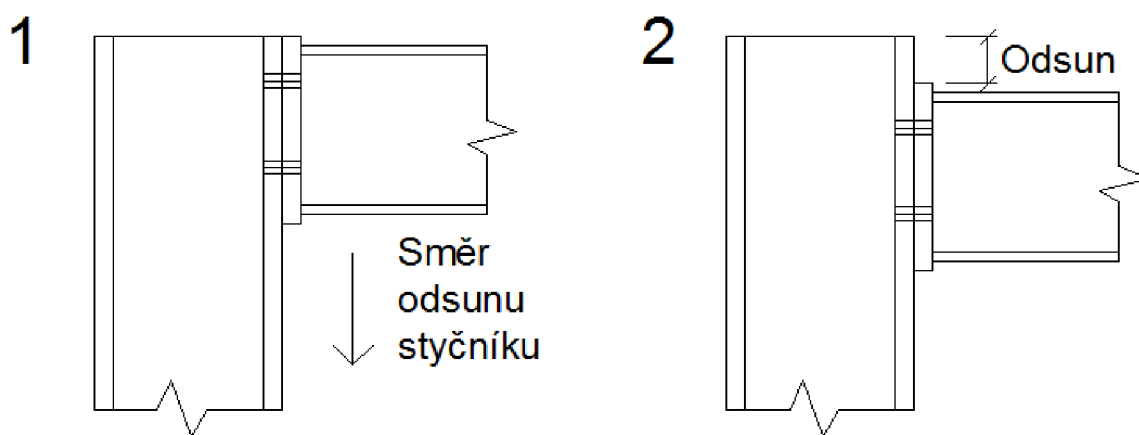
Obrázek 38. Průběh ohybových momentů  $M_y$  od kombinace zatížení [kNm]

## 9 VÝPOČETNÍ MODELY STYČNÍKŮ

V diplomové práci byl pro modelování vybraných styčnicků využit výpočetní software Idea StatiCa STEEL, který se užívá pro vyhodnocení statické analýzy a dimenzování konstrukcí či jejich částí. Mimo navrhování samotných styčnicků lze výpočetní program využít pro návrh prutů, přípojů, detailů a průřezů ocelových konstrukcí.

Pro výpočet používá program unikátní metodu CBFEM (Component Based Finite Element Model), která umožňuje návrh a analýzu všech druhů ocelových přípojů. Je kombinací MKP (Metoda konečných prvků) a CAD (Computer aided design), proto lze vcelku jednoduše vymodelovat požadovaný styčnick. Navíc lze importovat data z dalších výpočetních programů.

Tato diplomová práce se zabývá chováním rohových styčnicků, u kterých se zjišťuje závislost tuhosti styčnicků v závislosti na volné délce sloupu nad styčnickem (odsunu), viz obrázek 39, vývoj tuhosti při postupném zatěžování a maximální únosnost styčnicku opět při odsunu nosníku u styčnicku. Výsledky jsou srovnávány s výpočtovou metodou komponent.



Obrázek 39. Ukázka odsunu styčnicku

Tuhost všech styčnicků bude zjišťována při neměnném zatížení, které bylo získáno z vymodelovaného rámu z programu Scia Engineer. Zatížení styčnicku bude momentem  $M_y$ , posouvající silou  $V_z$  a normálovou silou  $N$ . Odsun nosníku u styčnicků je vždy stejný a to postupně od 0mm do 50mm, po 10mm. Pro zjištění maximální únosnosti a vývoje tuhosti při postupném zatěžování styčnicku je z důvodu úspory času zachován poměr mezi  $M_y$ ,  $V_z$  a  $N$ .

Ve výpočtových modelech byly použity pro sloup i nosník stejné profily typu HEB 200, i přes nevhodné využití, které je u zatížení pro výpočet tuhosti na hranici 27%. Volba profilů však byla vědomá, aby při zjišťování maximální únosnosti výpočet nekolaboval na únosnosti profilu. Pro zvyšování únosnosti styčnicku byly užívány různé druhy výtuh a jejich vzájemné kombinace, které jsou používány při navrhování ocelových konstrukcí.

V následující práci jsou modelovány svařované a šroubované styčnick. Konstantní zatížení vnitřními silami je pro zjišťování tuhosti styčnicku následovné:

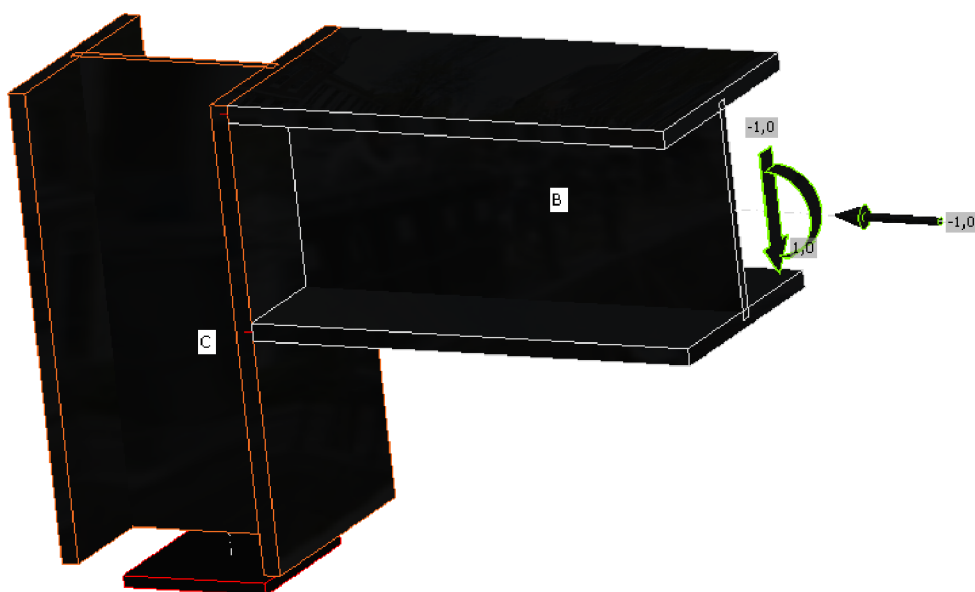
$M_y$	33,93	[kNm]
$V_z$	-34,94	[kN]
$N$	-11,91	[kN]



## IDEA Connection VÝPOČETNÍ MODEL

Využívá se pro kompletní návrh a výpočet ocelového přípoje. Lze vytvářet přípoje s různým počtem prutů s libovolným uspořádáním a zatěžováním. Je možno volit mezi 2D rámem, 3D rámem, kotvením a obecnou volbou. Samotný výpočtový model je tvořen pomocí jednoduchých operací, jako jsou například: řezy, plechy, výztuhy, svary, šrouby, atd. Pomocí volby typu styčnicku a kombinace jednoduchých operací s nespočetným množstvím profilů a prvků lze vytvořit téměř nekonečné množství konstrukčních řešení styčnicku, bez jakéhokoli limitování.

Diplomová práce se zabývá výpočtem 2D rámu rohového styčnicku, který je v různých variantách podrobován analýze. V následující kapitole bude popsáno podepření modelu styčnicku, způsob zatížení a postup výpočtu.

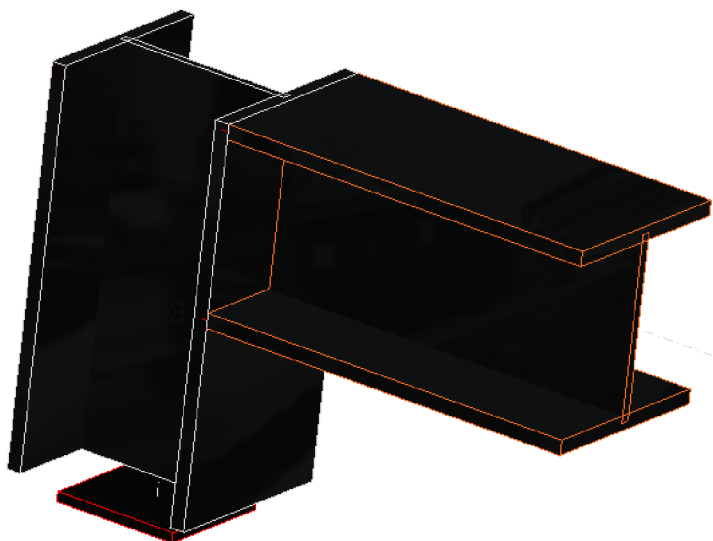


Obrázek 40. Výpočetní model styčnicku

Model rohového styčnicku je tvořen dvěma pruty, sloupem (C-column) a nosníkem (B-beam). Na spodní části sloupu je umístěná podpora, která zajišťuje pevné uchycení konstrukce styčnicku. Zatížení je vnášeno do sloupu pomocí aplikace vnitřních sil na připojený nosník. Což znamená, že se jedná o nevyrovnaný výpočtový model. V diplomové práci bylo voleno zatížení ohybovým momentem  $M_y$ , posouvající silou  $V_z$  a normálovou silou  $N$ .

Pro výpočet používá program unikátní metodu CBFEM (Component Based Finite Element Model). Výpočet spočívá v rozdělení styčnicku na jednotlivé komponenty, kde všechny plechy jsou modelovány MKP (Metodou konečných prvků) s uvažováním ideálně plastického materiálu. Program si sám rozdělí nosníky na deskostěnové prvky, na kterých automaticky vytvoří rovnoměrnou síť konečných prvků. Šrouby a svary jsou modelovány jako nelineární pružiny. Výsledky určené na všech komponentách jsou počítány pomocí MKP. Všechny plechy jsou posouzeny na mezní plastické přetvoření 5% EC3 a každá komponenta je posouzena dle příslušných vzorců metody komponent.

## 9.1 SVAŘOVANÝ STYČNÍK BEZ VÝZTUH



Obrázek 41. Model svařovaného styčnicku bez výztuh

Jedná se o nejjednodušší typ rohového svařovaného styčnicku.

### 9.1.1 Únosnost, napětí a přetvoření

#### Únosnost

Vliv odsunu nosníku (volné délka sloupu nad styčnickem, viz obr. 39) má výrazný vliv na maximální únosnost styčnicku. Postupným odsouváním je možné, dle výsledků generovaných programem Idea StatiCa STEEL, zvýšit maximální únosnost styčnicku.

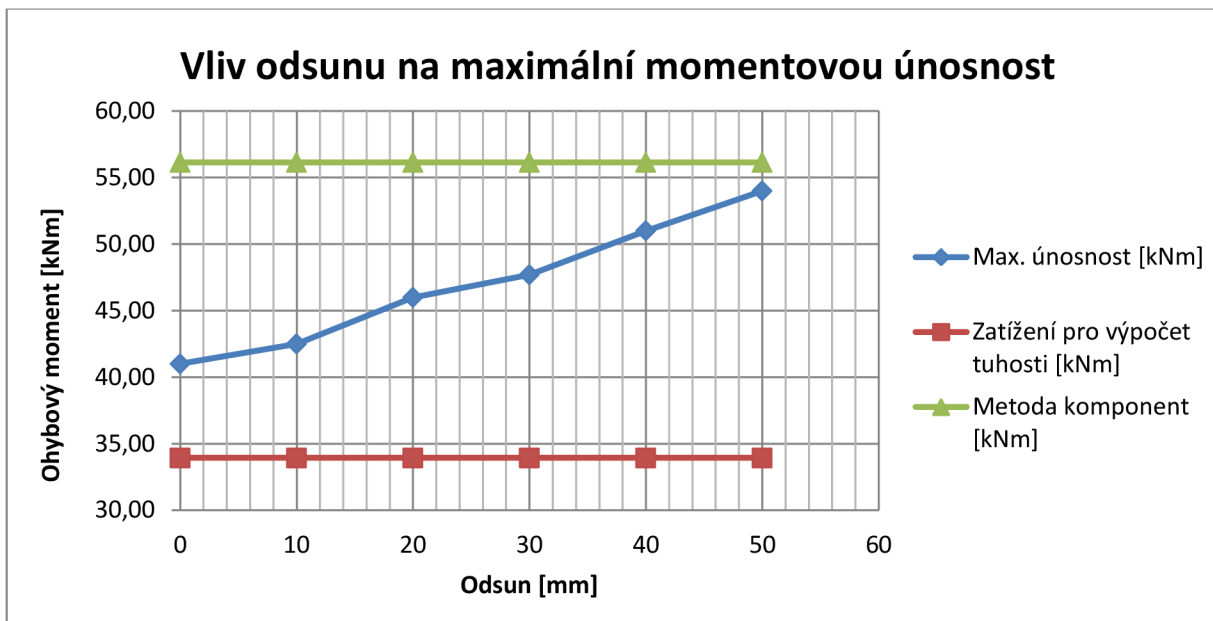
V tomto případě lze odsunem nosníku o 50mm zvýšit maximální únosnost o 31,71%. Metoda komponent nebere v úvahu vliv odsunu nosníku, proto je ve všech případech maximální únosnost stejná, a hodnota únosnosti spočtená metodou komponent je 56,14kNm. Srovnáním výsledků získaných programem s metodou komponent, která na rozdíl od výpočtového programu neuvažuje plastické přetvoření styčnicku, nebylo ani v jednom z odsunů dosaženo maximální únosnosti vypočtené metodou komponent.

Hlavním důvodem může být vliv posouvající a normálové síly, které se u metody komponent nezahrnují do výpočtu. V ojedinělých případech lze započítat vliv normálové síly, překročí-li normálová síla 5% plastické únosnosti průřezu nosníku. V tomto případě ji lze zanedbat.

Únosnost styčnicku je znázorněna tabulkou 10 a obrázkem 42.

Odsun [mm]	Zatížení pro výpočet tuhosti [kNm]	Max. únosnost [kNm]	<u>Max. únosnost</u> <u>Met. komponent</u>	Metoda komponent [kNm]
0	33,93	41,0 (100,00%)	73,03%	56,14
10	33,93	42,5 (103,67%)	75,70%	56,14
20	33,93	46,0 (112,20%)	81,94%	56,14
30	33,93	47,7 (116,34%)	84,97%	56,14
40	33,93	51,0 (124,39%)	90,84%	56,14
50	33,93	54,0 (131,71%)	96,19%	56,14

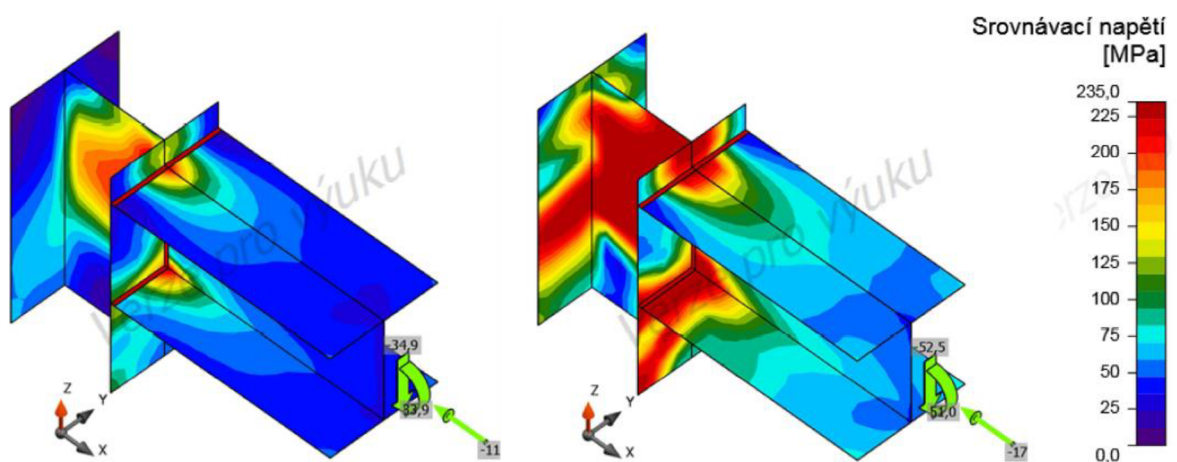
Tab. 10. Únosnost styčnicku v závislosti na odsunu nosníku



**Obrázek 42. Graf únosnosti svařovaného styčnicku v závislosti na odsunu**

Z grafického znázornění na obrázku 42 lze vidět, že nárůst maximální momentové únosnosti závisí na odsunu téměř lineárně. Zatížení pro výpočet tuhosti je vloženo pouze pro ilustraci.

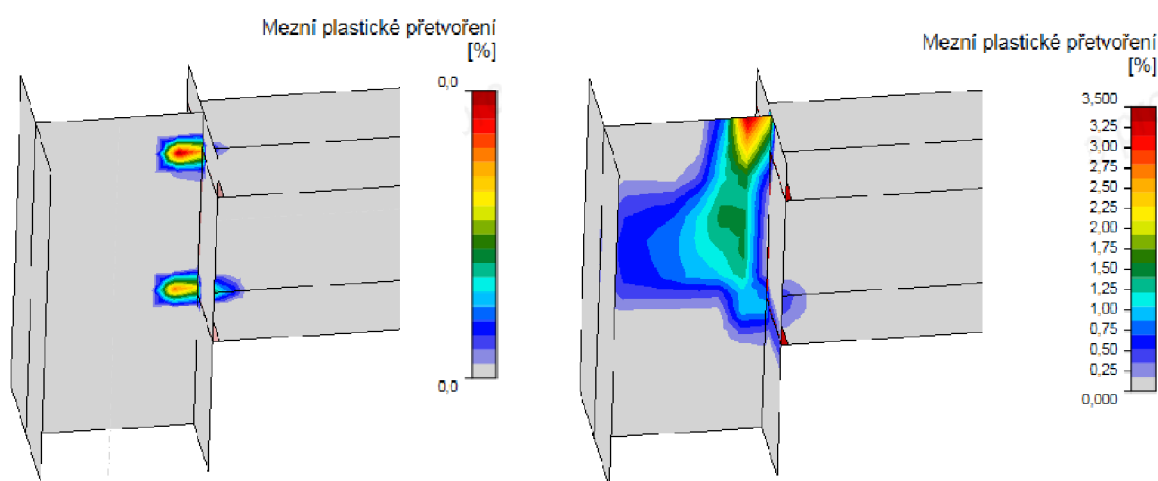
## Napětí



**Obrázek 43. Srovnání napětí ve styčnicku pro konstantní a maximální zatížení, odsun 40mm**

Na obrázku 43 je rozložení napětí ve styčnicku a na obrázku 44 je průběh plastického přetvoření pro odsun 40mm. Průběh napětí a plastického přetvoření spolu úzce souvisí. Na obrázcích vlevo je pro zajímavost uveden průběh pro konstantní zatížení. Vpravo jsou uvedeny průběhy pro maximální zatížení. Napětí se v některých částech dostává za mez kluzu, což je způsobeno plastickým přetvořením styčnicku. Ve vrchní části sloupu dochází k limitnímu plastizování, které může být redukováno výztuhou.

## Přetvoření



Obrázek 44. Srovnání plastického přetvoření pro konstantní a maximální zatížení, odsun 40mm

### 9.1.2 Tuhost

Odsun nosníku (volná délka sloupu nad styčником, viz obr. 39) má stejně jako u únosnosti výrazný vliv na velikost tuhosti styčnicku. Zatížení pro výpočet tuhosti bylo voleno tak, aby zjišťovaná tuhost styčnicku byla stále na lineární části pracovního diagramu styčnicku.

Z hodnot v tabulce 11 lze pozorovat nárůst tuhosti s nárůstem odsunu. Zprvu je vliv odsunu poměrně vysoký, ale s každým dalším odsunem tuhost konverguje k ustálené hodnotě. Kdyby se odsun stále zvyšoval, tak po určité vzdálenosti se tuhost ustálí. Při odsunu 50mm byla zvýšená tuhost o 58,29%.

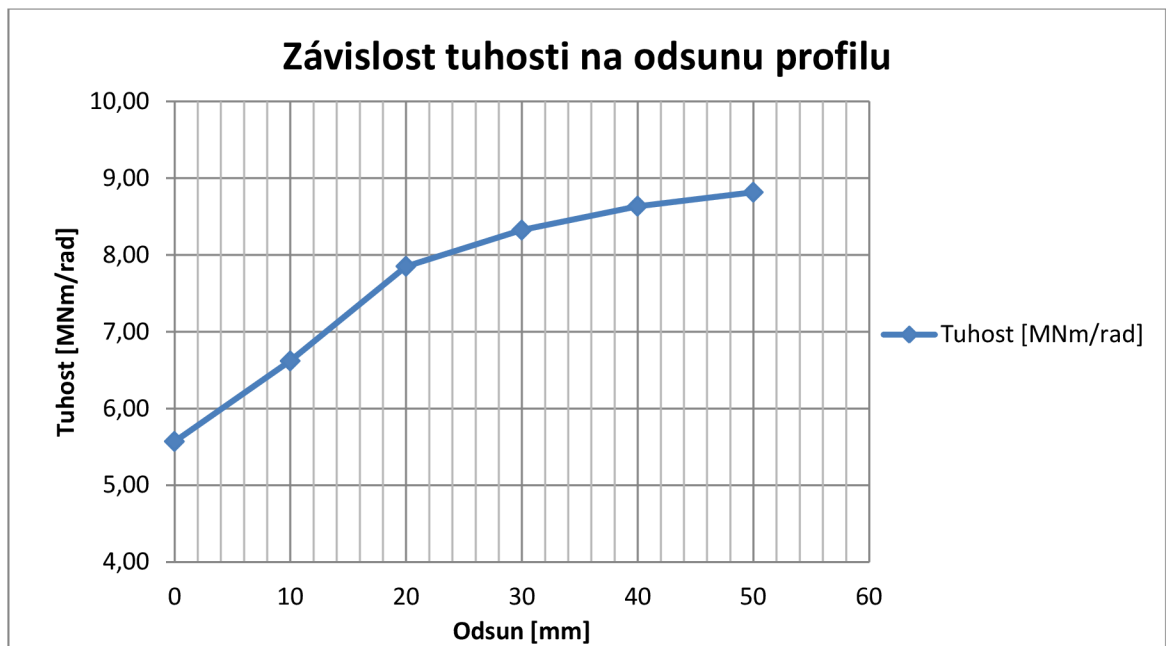
Dle výpočtového programu je styčnick klasifikován jako polotuhý. Mezní hodnota klasifikace pro tuhý styčnick je  $S_r=42,7\text{MNm/rad}$  a mezní hodnota klasifikace pro kloubový styčnick je  $S_p=0,9\text{MNm/rad}$ . Klasifikace styčnicku záleží na konkrétní konstrukci.

Hlavní vliv na rotační tuhost styčnicku má velikost ohybového momentu  $M_y$ . Vliv posouvající síly  $V_z$  je zanedbatelný na rozdíl od normálové síly  $N$ . Působí-li normálová síla  $N$  směrem do styčnicku jako v tomto případě, tak má vliv na zvýšení rotační tuhosti asi o 10%. Konkrétní hodnoty zatížení pro výpočet tuhosti jsou uvedeny v kapitole 9.

Grafické znázornění tuhosti v závislosti na odsunu zkoumaného styčnicku je na obrázku 45.

Odsun [mm]	Zatížení pro výpočet tuhosti [kNm]	Pootočení [mrad]	Tuhost [MNm/rad]	Procentuální zvyšování tuhosti
0	33,93	6,091	5,5705	100,00%
10	33,93	5,126	6,6192	118,83%
20	33,93	4,321	7,8523	140,96%
30	33,93	4,076	8,3243	149,44%
40	33,93	3,929	8,6358	155,03%
50	33,93	3,848	8,8176	158,29%

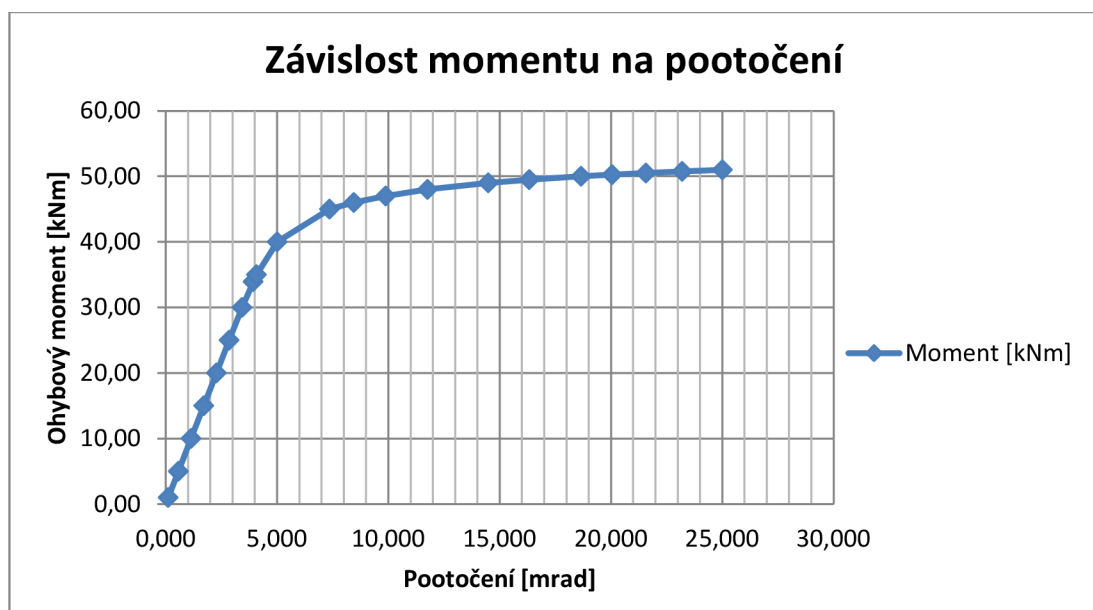
Tab. 11. Tuhost styčnicku v závislosti na odsunu nosníku



**Obrázek 45. Graf závislosti tuhosti na odsunu nosníku pro vnitřní síly  $M_y$ ,  $V_z$  a  $N$**

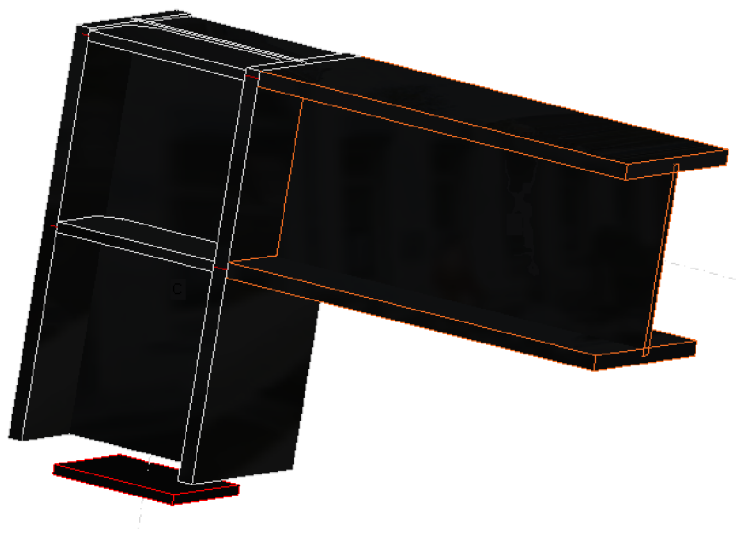
Pracovní diagram styčnicku pro odsun 40mm je na obrázku 45 a byl získán postupným zatěžováním  $M_y$ ,  $V_z$  a  $N$ . Pracovní diagram je lineární až do zatížení ohybovým momentem 40kNm. Poté lze vidět plastickou část diagramu, která konverguje k ustálené hodnotě. V bodě maximálního zatížení klesla hodnota sečné tuhosti na  $S_j=2,039\text{MNm/rad}$ .

Lineární část diagramu má tuhost okolo  $S_j=8,75\text{MNm/rad}$ . Počáteční rotační tuhost spočtená metodou komponent je  $S_{j,ini}=17,709\text{MNm/rad}$ . Srovnáním výsledků lze usuzovat, že tuhost zjištěná výpočtním programem je zhruba na polovině rotační tuhosti zjištěné metodou komponent. Podle tuhosti spočtené metodou komponent je styčnick klasifikován stejně jako podle výpočtového programu čili jako polotuhý. Mezní hodnota pro klasifikaci je pro tuhý styčnick  $S_r=42,75\text{MNm/rad}$  a pro kloubový  $S_p=0,86\text{MNm/rad}$ .



**Obrázek 46. Pracovní diagram svařovaného styčnicku pro odsun 40mm**

## 9.2 SVAŘOVANÝ STYČNÍK S PŘÍČNÝMI VÝZTUHAMÍ



Obrázek 47. Model svařovaného styčnicku s příčnou výztuhou

Tento model styčnicku byl vyztužen příčnými výztuhami sloupu v rovinách pásnic připojovaného nosníku. Tloušťka výztuh je 10mm a osová vzdálenost výztuh je 190mm.

### 9.2.1 Únosnost, napětí a přetvoření

#### Únosnost

Odsun nosíku (volná délka sloupu nad styčnickem, viz obr. 39) má opět vliv na maximální únosnost styčnicku. Rozdíl únosnosti však není tak výrazný jako u nevyztuženého styčnicku. Je to dáno vlivem výztuhy na celkovou tuhost konstrukce, která je popsána dále.

V tomto případě lze odsunem nosíku o 50mm zvýšit maximální únosnost o 10,58%. Jak již bylo zmíněno, tak metoda komponent nebere v úvahu vliv odsunu nosíku na maximální únosnost, takže spočtená hodnota maximální únosnosti je ve všech případech stejná a její velikost je 63,57kNm. Srovnáním výsledků získaných programem s metodou komponent lze pozorovat, že obdobné maximální únosnosti bylo dosaženo už odsunem 30mm.

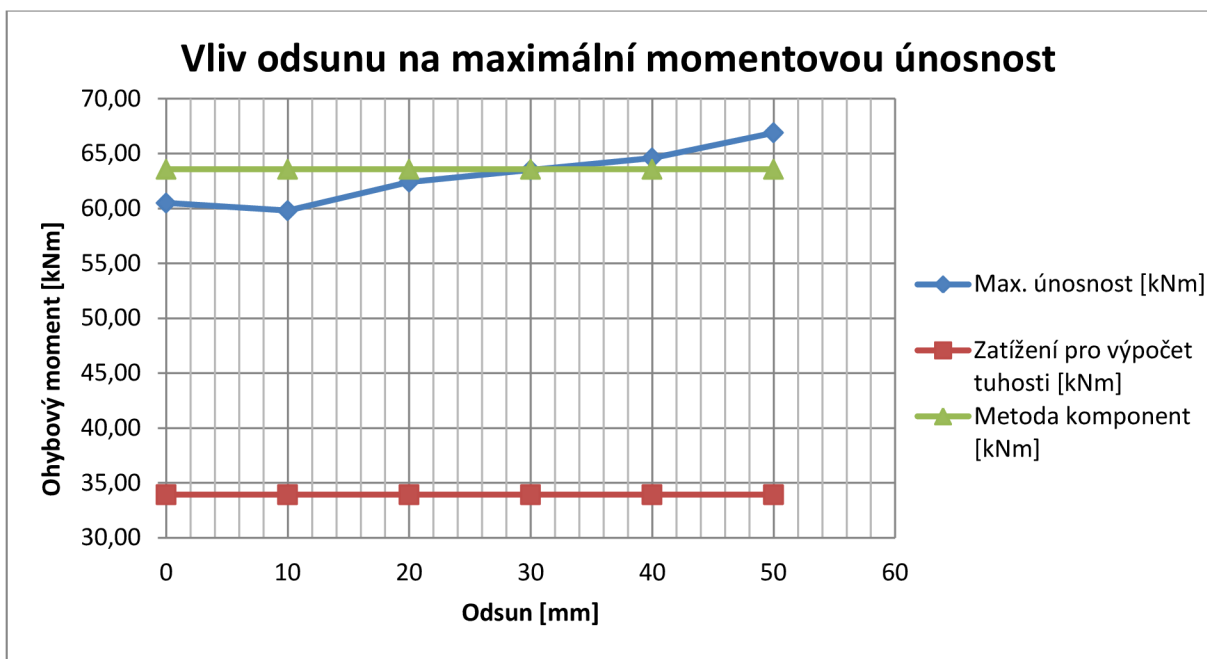
S ohledem na výsledky je možné říct, že pro tento typ vyztužení styčnicku jsou výsledky maximální únosnosti dosti podobné, protože i metoda komponent uvažuje vliv příčné výztuhy na maximální únosnost.

Únosnost styčnicku je znázorněna tabulkou 12 a obrázkem 48.

Odsun [mm]	Zatížení pro výpočet tuhosti [kNm]	Max. únosnost [kNm]	Max. únosnost Met. komponent	Metoda komponent [kNm]
0	33,93	60,5 (100,00%)	95,17%	63,57
10	33,93	59,8 (98,84%)	94,07%	63,57
20	33,93	62,4 (103,14%)	98,16%	63,57
30	33,93	63,5 (104,96%)	99,89%	63,57
40	33,93	64,6 (106,78%)	101,62%	63,57
50	33,93	66,9 (110,58%)	105,24%	63,57

Tab. 12. Únosnost styčnicku v závislosti na odsunu nosíku

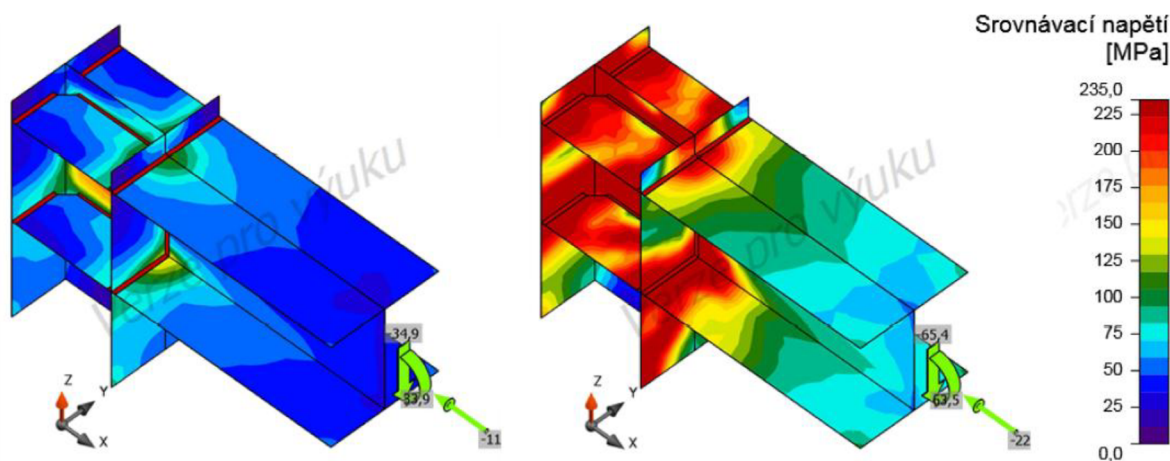




**Obrázek 48. Graf únosnosti svařovaného styčnicku v závislosti na odsunu**

Z grafického znázornění na obrázku 48 lze vidět nárůst momentové únosnosti společně s nárůstem odsunu. Hodnota při odsunu 10mm nebude brána v úvahu, protože neodpovídá korelaci výsledků (podrobněji popsáno u tuhosti styčnicku). Zatížení pro výpočet tuhosti je vloženo pouze pro ilustraci.

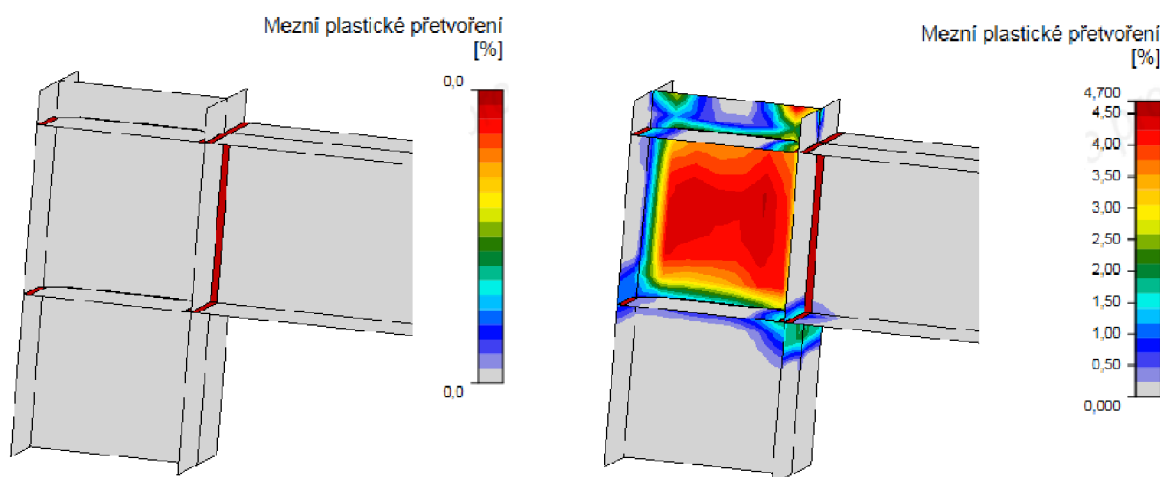
## Napětí



**Obrázek 49. Srovnání napětí ve styčnicku pro konstantní a maximální zatížení, odsun 30mm**

Na obrázku 49 je rozložení napětí ve styčnicku a na obrázku 50 je průběh plastického přetvoření pro odsun 30mm. Průběh napětí a plastického přetvoření spolu úzce souvisí. Na obrázcích vlevo je pro zajímavost uveden průběh pro konstantní zatížení. Vpravo jsou uvedeny průběhy pro maximální zatížení. Napětí se ve všech částech kromě horní pásnice nosníku dostává za mez kluzu, což je způsobeno plastickým přetvořením. K limitnímu plastickému přetvoření dochází opět ve stojině sloupu. Zajímavý je průběh plastického přetvoření mezi příčnými výztuhami, kde hodnoty průběhu tvoří něco jako diagonálu.

## Přetvoření



Obrázek 50. Srovnání plastického přetvoření pro konstantní a maximální zatížení, odsun 30mm

### 9.2.2 Tuhost

Díky příčné výztuze je styčnický ztuhlý, i proto rozdíl tuhostí vlivem odsunu (volné délky sloupu nad styčnickem, viz obr. 39) není tak velký jako v prvním modelu styčnicku.

Z hodnot v tabulce 13 lze opět pozorovat zvyšující nárůst tuhosti s nárůstem odsunu. Výjimkou je však hodnota tuhosti při odsunu 10mm, která je překvapivě nižší než při odsunu 0mm. Zvláštnímu chování při odsunu 10mm by bylo třeba se podrobně věnovat, je to však mimo rozsah diplomové práce. Možným vysvětlením je konkrétní výpočtový model včetně výpočtového modelu svaru, jehož celková konfigurace může u daného odsunu způsobovat nestandardní chování. (program IDEA RS neumožňuje náhled skutečného výpočtového modelu). Při odsunu 50mm byla zvýšená tuhost o 5,76%.

Dle výpočtového programu je styčnický klasifikován jako polotuhlý. Mezní hodnota klasifikace pro tuhý styčnický je  $S_r=42,7\text{MNm/rad}$  a mezní hodnota klasifikace pro kloubový styčnický je  $S_p=0,9\text{MNm/rad}$ . Klasifikace styčnicku závisí na konkrétní konstrukci.

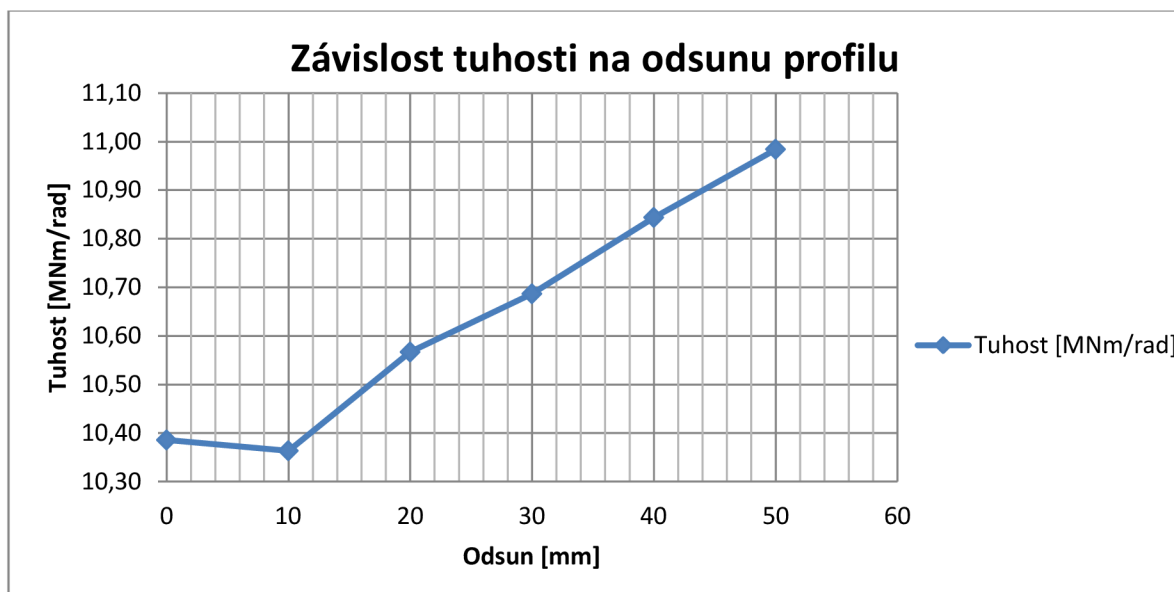
Konkrétní hodnoty zatížení pro výpočet tuhosti jsou uvedeny v kapitole 9.

Grafické znázornění tuhosti v závislosti na odsunu zkoumaného styčnicku je na obrázku 51.

Odsun [mm]	Zatížení pro výpočet tuhosti [kNm]	Pootočení [mrad]	Tuhost [MNm/rad]	Procentuální zvyšování tuhosti
0	33,93	3,267	10,3857	100,00%
10	33,93	3,274	10,3635	99,79%
20	33,93	3,211	10,5668	101,74%
30	33,93	3,175	10,6866	102,90%
40	33,93	3,129	10,8437	104,41%
50	33,93	3,089	10,9841	105,76%

Tab. 13. Tuhost styčnicku v závislosti na odsunu nosníku

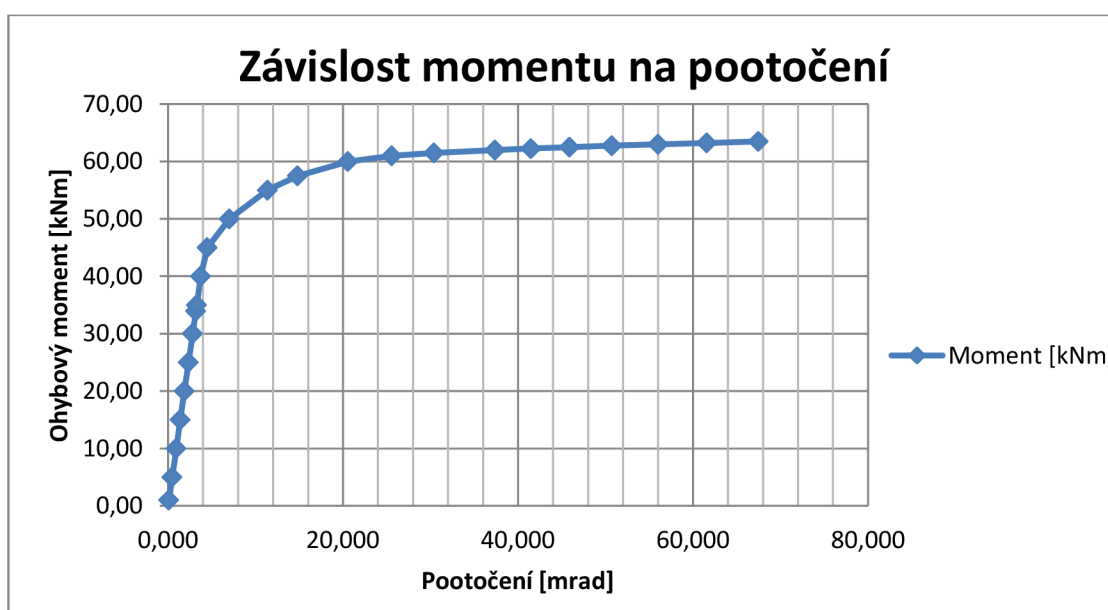




Obrázek 51. Graf závislosti tuhosti na odsunu nosníku pro vnitřní síly  $M_y$ ,  $V_z$  a  $N$

Pracovní diagram styčnicku pro odsun 30mm je znázorněn na obrázku 52 a byl získán postupným zatěžováním  $M_y$ ,  $V_z$  a  $N$ . Opět je patrná lineární větev pracovního diagramu, která by měla odpovídat počáteční tuhosti styčnicku a oproti prvnímu případu se posunula na hranici 45kNm. Poté lze vidět plastickou část diagramu, která je menší a lépe konverguje k ustálené hodnotě. V bodě maximálního zatížení klesla hodnota sečné tuhosti na  $S_j=0,941\text{MNm/rad}$ .

Lineární část diagramu má tuhost okolo  $S_j=10,65\text{MNm/rad}$ . Počáteční rotační tuhost spočtená metodou komponent je  $S_{j,ini}=36,686\text{MNm/rad}$ . Srovnáním výsledků lze usuzovat, že tuhost zjištěná výpočetním programem je zhruba na 30% rotační tuhosti zjištěné metodou komponent. Podle tuhosti spočtené metodou komponent je styčnick klasifikován stejně jako podle výpočtového programu čili jako polotuhý. Mezní hodnota pro klasifikaci je pro tuhý styčnick  $S_r=42,75\text{MNm/rad}$  a pro kloubový  $S_p=0,86\text{MNm/rad}$ .



Obrázek 52. Pracovní diagram svařovaného styčnicku pro odsun 30mm

## 9.3 SVAŘOVANÝ STYČNÍK S DIAGONÁLNÍ VÝZTUHOU



Obrázek 53. Model svařovaného styčnicku s diagonální výztuhou

Tento model styčnicku byl vyztužen diagonální výztuhou sloupu a je připojen v rovinách pásnic nosníku. Tloušťka výztuhy je 10mm a sklon výztuhy od vodorovné osy je  $49,2^\circ$ .

### 9.3.1 Únosnost, napětí a přetvoření

#### Únosnost

Odsun (volná délka sloupu nad styčnickem, viz obr. 39) nosíku má opět vliv na maximální únosnost styčnicku. Relativní rozdíl maximální únosnosti je menší než v případě příčné výztuhy. Diagonální výztuha nejspíše lépe odpovídá rozložení vnitřních sil.

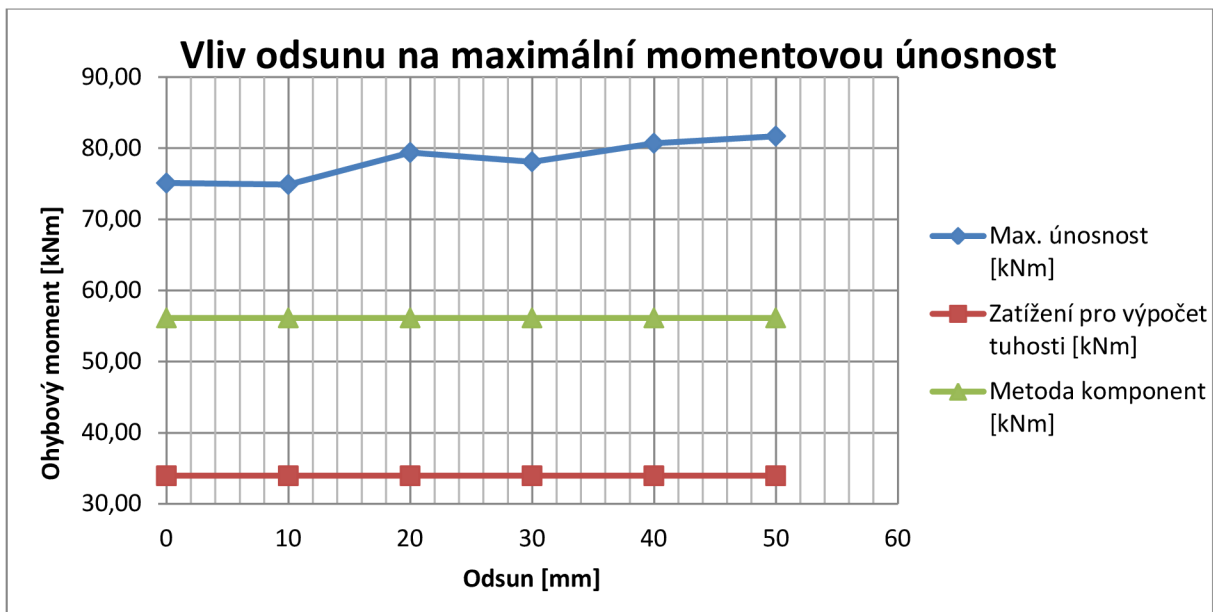
V tomto případě lze odsunem nosníku o 50mm zvýšit maximální únosnost o 8,78%. Jelikož metoda komponent nebere v úvahu vliv odsunu nosníku a zároveň nepočítá s vlivem diagonální výztuhy na maximální únosnost styčnicku, tak je hodnota maximální únosnosti stejná jako u nevyztuženého styčnicku a to 56,14kNm. Srovnáním výsledků získaných programem s metodou komponent lze pozorovat, že díky diagonální výztuze je dosaženo vyšší maximální únosnosti, už od nulového odsunu, nežli metodou komponent.

Vzhledem k výsledkům získaných výpočetním programem lze konstatovat, že diagonální výztuha má lepší vlastnosti nežli výztuha příčná. Opět se objevila anomálie u odsunu 10mm.

Únosnost styčnicku je popsána tabulkou 14 a obrázkem 54.

Odsun [mm]	Zatížení pro výpočet tuhosti [kNm]	Max. únosnost [kNm]	Max. únosnost Met. komponent	Metoda komponent [kNm]
0	33,93	75,1 (100,00%)	133,77%	56,14
10	33,93	74,9 (99,73%)	133,42%	56,14
20	33,93	79,4 (105,73%)	141,43%	56,14
30	33,93	78,1 (103,99%)	139,12%	56,14
40	33,93	80,7 (107,46%)	143,75%	56,14
50	33,93	81,7 (108,79%)	145,53%	56,14

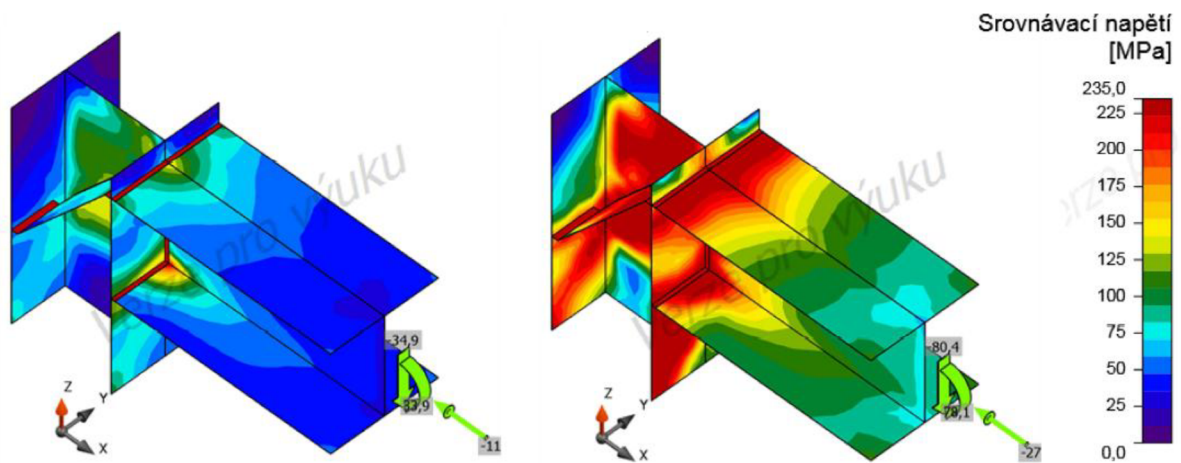
Tab. 14. Únosnost styčnicku v závislosti na odsunu nosníku



Obrázek 54. Graf únosnosti svařovaného styčnicku v závislosti na odsunu

Z grafického znázornění na obrázku 54 lze pozorovat nárůst maximální momentové únosnosti styčnicku. Výjimkami jsou hodnoty pro odsuny 10mm a 30mm, kdy nastává nereálný případ, že se únosnost styčnicku odsunem zmenší. Pravděpodobně je to dáno charakterem nelineárního výpočtu. Zatížení pro výpočet tuhosti je vloženo pouze pro ilustraci.

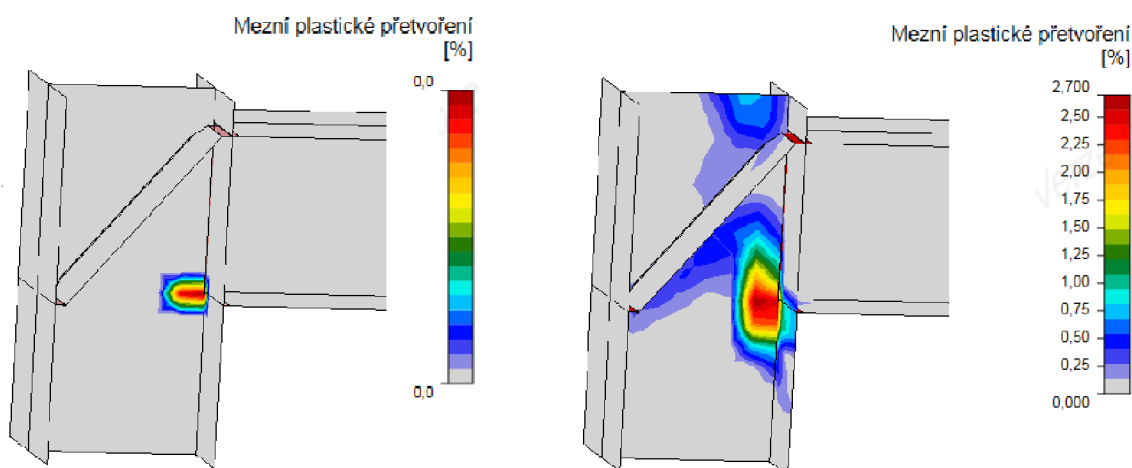
## Napětí



Obrázek 55. Srovnání napětí ve styčnicku pro konstantní a maximální zatížení, odsun 30mm

Na obrázku 55 je rozložení napětí ve styčnicku a na obrázku 56 je průběh plastického přetvoření pro odsun 30mm. Průběh napětí a plastického přetvoření spolu úzce souvisí. Na obrázcích vlevo je pro zajímavost uveden průběh pro konstantní zatížení. Vpravo jsou uvedeny průběhy pro maximální zatížení. Díky diagonální výztuze je mez kluzu výrazně překročena pouze u sloupu. K limitnímu plastickému přetvoření dochází ve stojině sloupu, v místě kde dolní pásnice nosníku tlačí do sloupu.

## Přetvoření



Obrázek 56. Srovnání plastického přetvoření pro konstantní a maximální zatížení, odsun 30mm

### 9.3.2 Tuhost

Díky diagonální výztuze je styčník obdobně tuhý jako v případě příčné výztuhy, je však nepatrně tužší, což vyplývá z přiložených hodnot.

Z hodnot v tabulce 15 lze opět pozorovat zvyšující nárůst tuhosti s nárůstem odsunu (volné délky sloupu nad styčníkem, viz obr. 39). Z výsledných hodnot lze pozorovat, že ve všech odsunech se zvyšuje tuhost styčníku, ale stejně jako u maximální únosnosti vystupují z korelace hodnoty u odsunu 10mm a 30mm, rozdíl však není znatelný a odpovídá průběhu tuhosti. Při odsunu 50mm byla zvýšená tuhost o 8,15%.

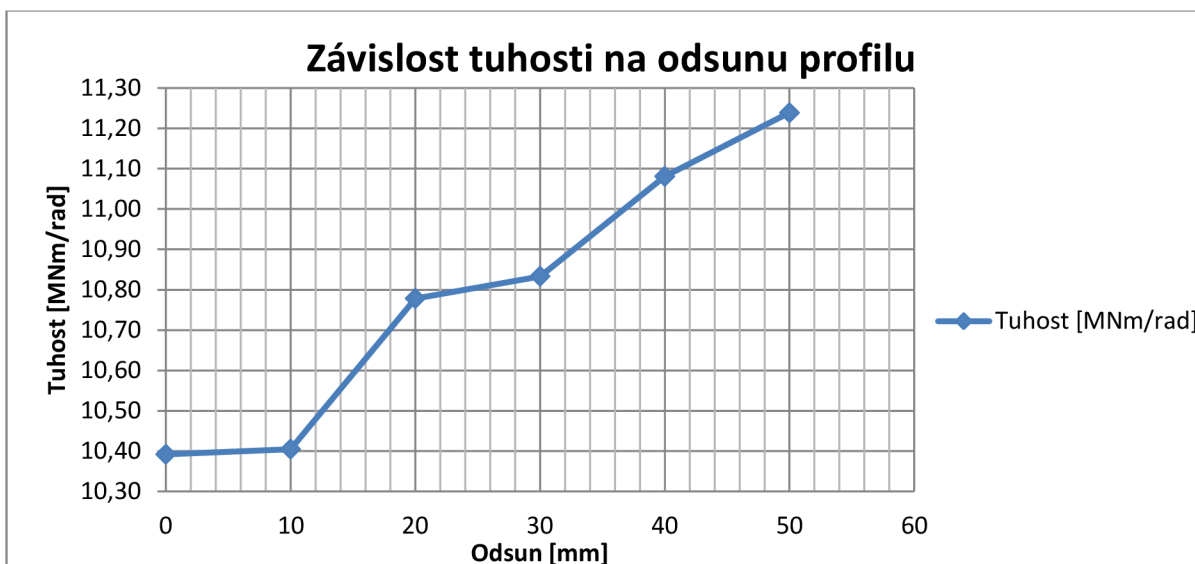
Hlavní vliv na rotační tuhost styčníku má velikost ohybového momentu  $M_y$ . Vliv posouvající síly  $V_z$  je zanedbatelný na rozdíl od normálové síly  $N$ . Působí-li normálová síla  $N$  směrem do styčníku jako v tomto případě, tak má vliv na zvýšení rotační tuhosti asi o 10%. Konkrétní hodnoty zatížení pro výpočet tuhosti jsou uvedeny v kapitole 9.

Dle výpočtového programu je styčník klasifikován jako polotuhý. Mezní hodnota klasifikace pro tuhý styčník je  $S_i=42,7\text{MNm/rad}$  a mezní hodnota klasifikace pro kloubový styčník je  $S_p=0,9\text{MNm/rad}$ . Klasifikace styčníku záleží na konkrétní konstrukci.

Grafické znázornění tuhosti v závislosti na odsunu zkoumaného styčníku je na obrázku 57.

Odsun [mm]	Zatížení pro výpočet tuhosti [kNm]	Pootočení [mrad]	Tuhost [MNm/rad]	Procentuální zvyšování tuhosti
0	33,93	3,265	10,3920	100,00%
10	33,93	3,261	10,4048	100,12%
20	33,93	3,148	10,7783	103,72%
30	33,93	3,132	10,8333	104,25%
40	33,93	3,062	11,0810	106,63%
50	33,93	3,019	11,2388	108,15%

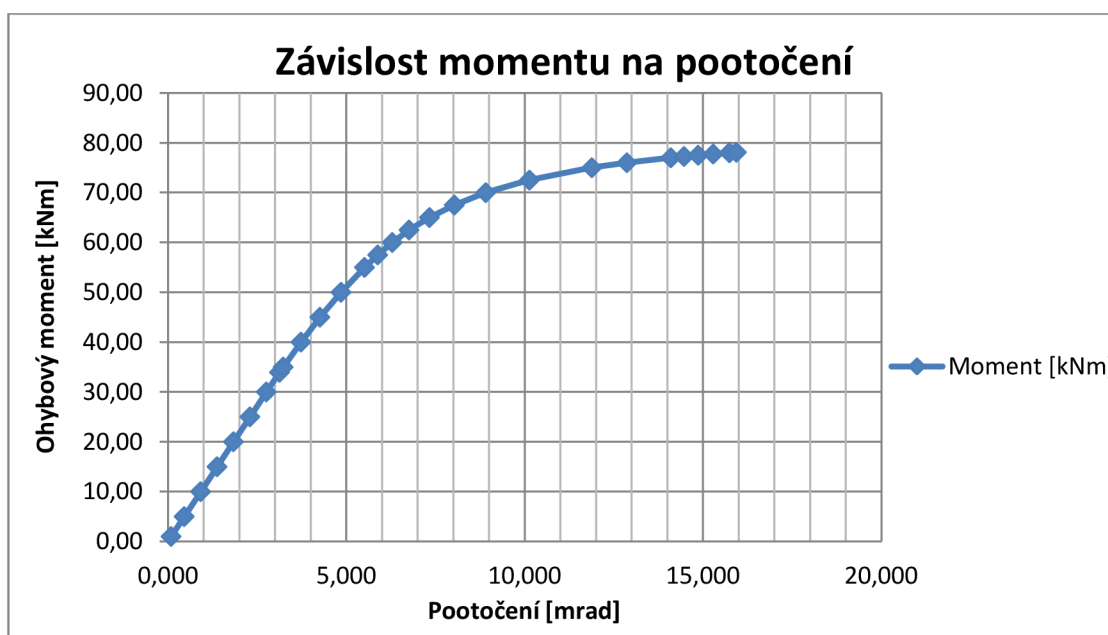
Tab. 15. Tuhost styčníku v závislosti na odsunu nosníku



Obrázek 57. Graf závislosti tuhosti na odsunu nosníku pro vnitřní síly  $M_y$ ,  $V_z$  a  $N$

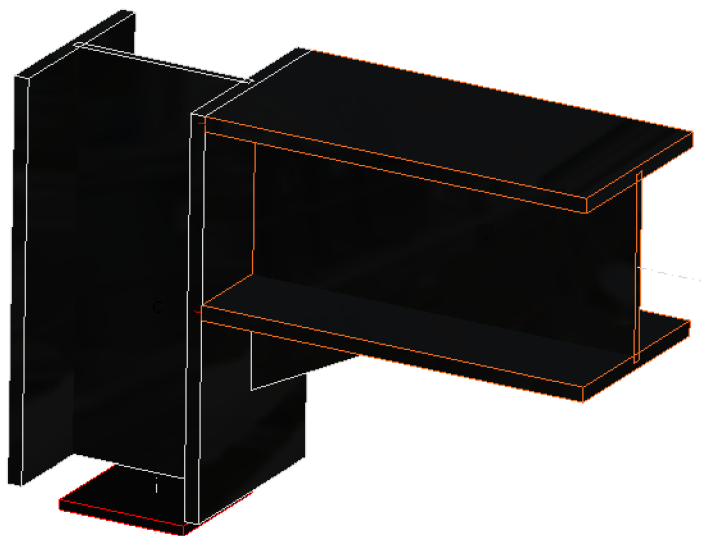
Pracovní diagram styčnicku pro odsun 30mm je znázorněn na obrázku 58 a byl získán postupným zatěžováním  $M_y$ ,  $V_z$  a  $N$ . Lineární větev pracovního diagramu v případě diagonální výztuhy plynule přechází v plastickou část diagramu a to na hranici okolo 50kNm. Plastická větev zaujímá poměrně velkou část diagramu a nekonverguje tak brzo jako u příčné výztuhy. V bodě maximálního zatížení klesla hodnota sečné tuhosti na  $S_j=4,899\text{MNm/rad}$ , což je podstatně větší hodnota než u příčné výztuhy.

Lineární část diagramu má tuhost okolo  $S_j=10,86\text{MNm/rad}$ . Počáteční rotační tuhost spočtená metodou komponent je  $S_{j,ini}=17,709\text{MNm/rad}$ . Když srovnáme výsledky, tak bylo výpočtovým programem dosaženo vyšší tuhosti, která je zhruba na 60% rotační tuhosti zjištěné metodou komponent. Podle tuhosti spočtené metodou komponent je styčnick klasifikován stejně jako podle výpočtového programu čili jako polotuhý. Mezní hodnota pro klasifikaci je pro tuhý styčnick  $S_r=42,75\text{MNm/rad}$  a pro kloubový  $S_p=0,86\text{MNm/rad}$ .



Obrázek 58. Pracovní diagram svařovaného styčnicku pro odsun 30mm

## 9.4 SVAŘOVANÝ STYČNÍK S NÁBĚHEM



Obrázek 59. Model svařovaného styčnicku s náběhem

Tento model styčnicku byl vyztužen trojúhelníkovým náběhem bez pásnice o šířce 200mm a výšce 100mm, tloušťka náběhu je 9mm.

### 9.4.1 Únosnost, napětí a přetvoření

#### Únosnost

Na změnu maximální momentové únosnosti odsunem (volnou délkou sloupu nad styčnickem, viz obr. 39) má náběh větší vliv nežli styčnick vyztužený příčnou nebo diagonální výztuhou.

V tomto případě lze odsunem nosníku o 50mm zvýšit maximální únosnost o 25,10%. Protože metoda komponent nepočítá s vlivem odsunu nosníku a v případě náběhu bez pásnice a zároveň nepřekročí-li výška náběhu společně s připojovaným nosníkem výšku 600mm, tak se náběh do výpočtu nezahrnuje, pak maximální únosnosti je stejná jako u nevyztuženého styčnicku a to 56,14kNm. Srovnáním výsledků získaných programem s metodou komponent je patrné, že je dosaženo maximální únosnosti jako v metodě komponent už při odsunu 20mm.

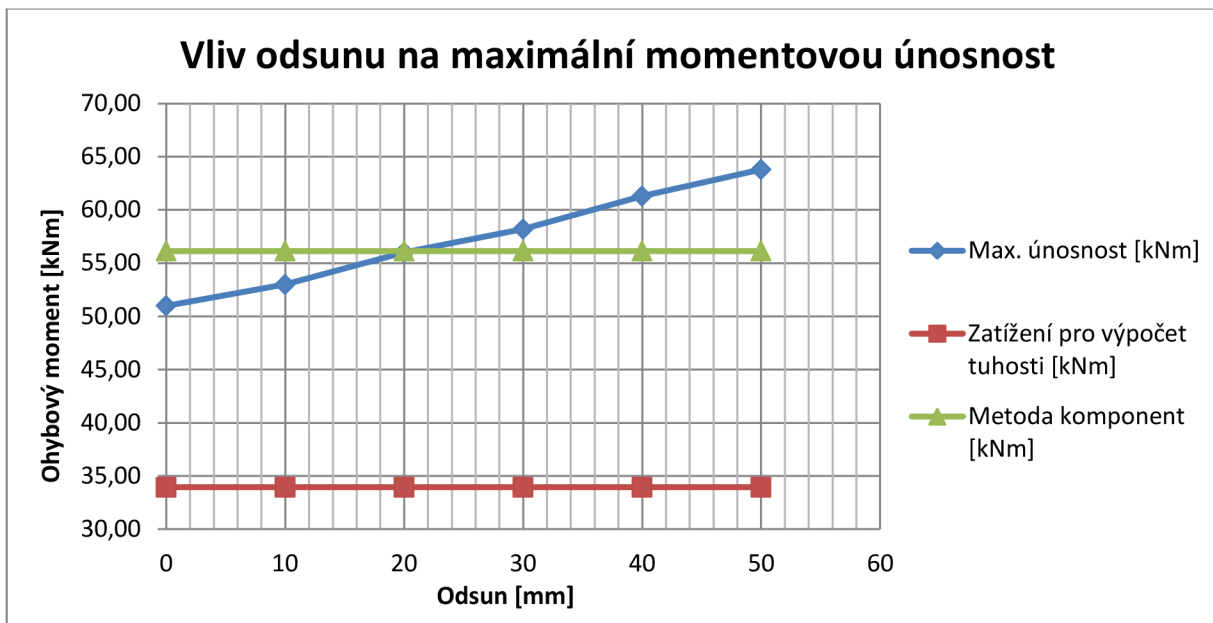
Z výsledků tak vyplývá, že použití i relativně malého náběhu má podstatný vliv na maximální únosnost, která je srovnatelná s únosností získanou s metodou komponent

Únosnost styčnicku je popsána tabulkou 16 a obrázkem 60.

Odsun [mm]	Zatížení pro výpočet tuhosti [kNm]	Max. únosnost [kNm]	Max. únosnost Met. komponent	Metoda komponent [kNm]
0	33,93	51,0 (100,00%)	90,84%	56,14
10	33,93	53,0 (103,92%)	94,41%	56,14
20	33,93	56,0 (109,80%)	99,75%	56,14
30	33,93	58,2 (114,12%)	103,67%	56,14
40	33,93	61,3 (120,20%)	109,19%	56,14
50	33,93	63,8 (125,10%)	113,64%	56,14

Tab. 16. Únosnost styčnicku v závislosti na odsunu nosníku

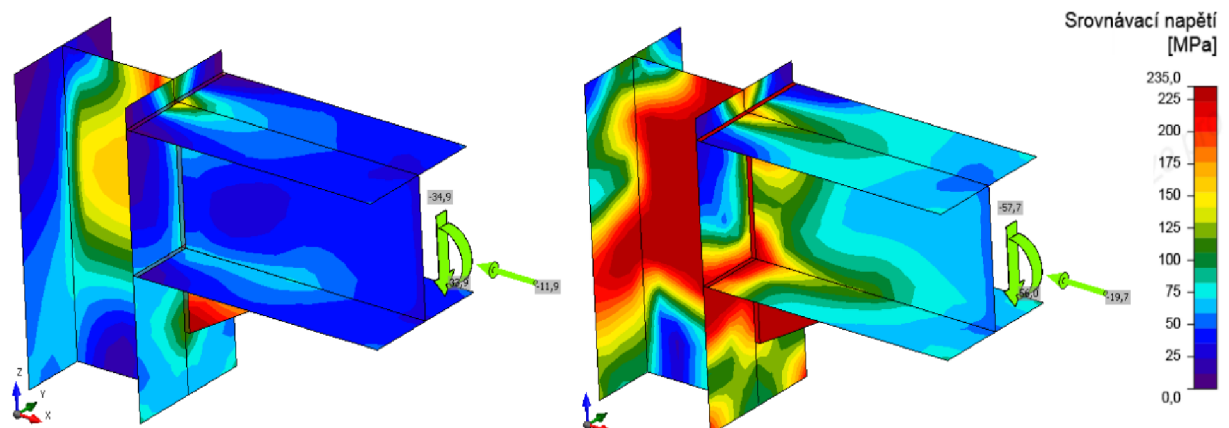




**Obrázek 60. Graf únosnosti svařovaného styčníku v závislosti na odsunu**

Z grafického znázornění na obrázku 60 lze vidět, že nárůst maximální momentové únosnosti závisí na odsunu téměř lineárně. Zatížení pro výpočet tuhosti je vloženo pouze pro ilustraci, slouží pro výpočet tuhosti.

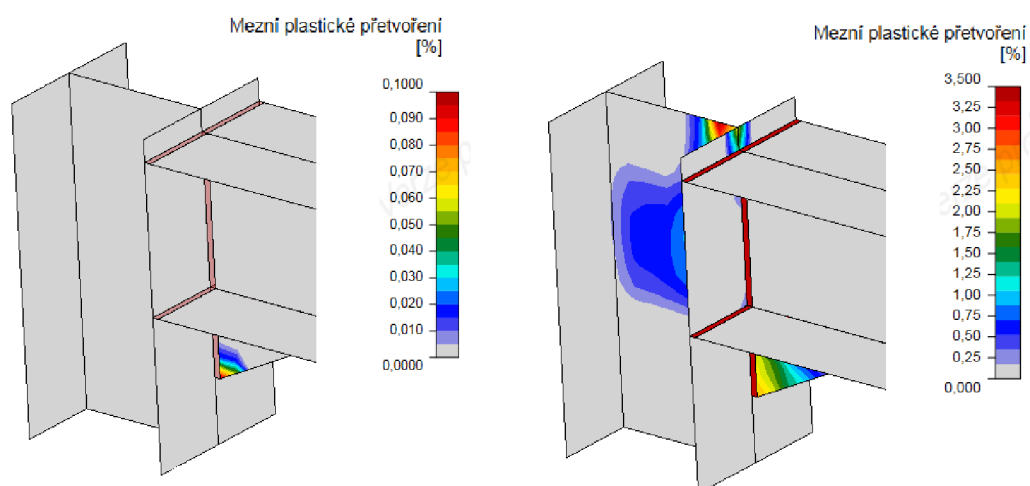
## Napětí



**Obrázek 61. Srovnání napětí ve styčníku pro konstantní a maximální zatížení, odsun 20mm**

Na obrázku 61 je rozložení napětí ve styčníku a na obrázku 62 je průběh plastického přetvoření pro odsun 20mm. Průběh napětí a plastického přetvoření spolu úzce souvisí. Na obrázcích vlevo je pro zajímavost uveden průběh pro konstantní zatížení. Vpravo jsou uvedeny průběhy pro maximální zatížení. Napětí se v některých částech dostává za mez kluzu, což je způsobeno plastickým přetvořením styčníku. K limitnímu plastickému přetvoření dochází ve vrchní části stojiny sloupu, stejně jako u nevyztuženého styčníku.

## Přetvoření



Obrázek 62. Srovnání plastického přetvoření pro konstantní a maximální zatížení, odsun 20mm

### 9.4.2 Tuhost

Přestože náběh nemá velký vliv na maximální únosnost, tak na tuhost má naopak vliv velký. Styčnick se s postupným odsunem (volnou délkou sloupu nad styčnickem, viz obr. 39) jeví jako tužší nežli ve dvou předchozích případech.

Z hodnot v tabulce 17 lze pozorovat nárůst tuhosti s nárůstem odsunu. Relativní změna tuhosti je také větší než s příčnou či diagonální výtuhou. Průběh zvyšování tuhosti odsunem je však velmi podobný nevyztuženému styčnicku. Se zvyšujícím odsunem hodnoty konvergují k ustálené hodnotě. V případě dalšího odsouvání nosníku by se hodnota tuhosti ustálila. Při odsunu 50mm byla zvýšená tuhost o 19,00%.

Hlavní vliv na rotační tuhost styčnicku má velikost ohybového momentu  $M_y$ . Vliv posouvající síly  $V_z$  je zanedbatelný na rozdíl od normálové síly  $N$ . Působí-li normálová síla  $N$  směrem do styčnicku jako v tomto případě, tak má vliv na zvýšení rotační tuhosti asi o 10%. Konkrétní hodnoty zatížení pro výpočet tuhosti jsou uvedeny v kapitole 9.

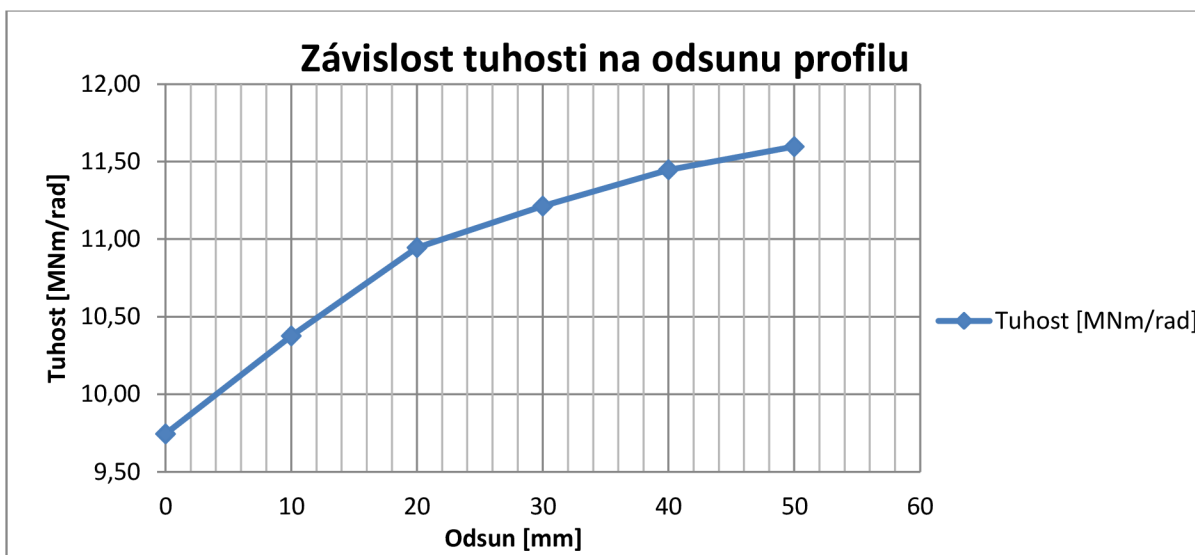
Dle výpočtového programu je styčnick klasifikován jako polotuhý. Mezní hodnota klasifikace pro tuhý styčnick je  $S_r=42,7\text{MNm/rad}$  a mezní hodnota klasifikace pro kloubový styčnick je  $S_p=0,9\text{MNm/rad}$ . Klasifikace styčnicku záleží na konkrétní konstrukci.

Grafické znázornění tuhosti v závislosti na odsunu zkoumaného styčnicku je na obrázku 63.

Odsun [mm]	Zatížení pro výpočet tuhosti [kNm]	Pootočení [mrad]	Tuhost [MNm/rad]	Procentuální zvyšování tuhosti
0	33,93	3,482	9,7444	100,00%
10	33,93	3,270	10,3761	106,48%
20	33,93	3,100	10,9452	112,32%
30	33,93	3,026	11,2128	115,07%
40	33,93	2,964	11,4474	117,48%
50	33,93	2,926	11,5960	119,00%

Tab. 17. Tuhost styčnicku v závislosti na odsunu nosníku

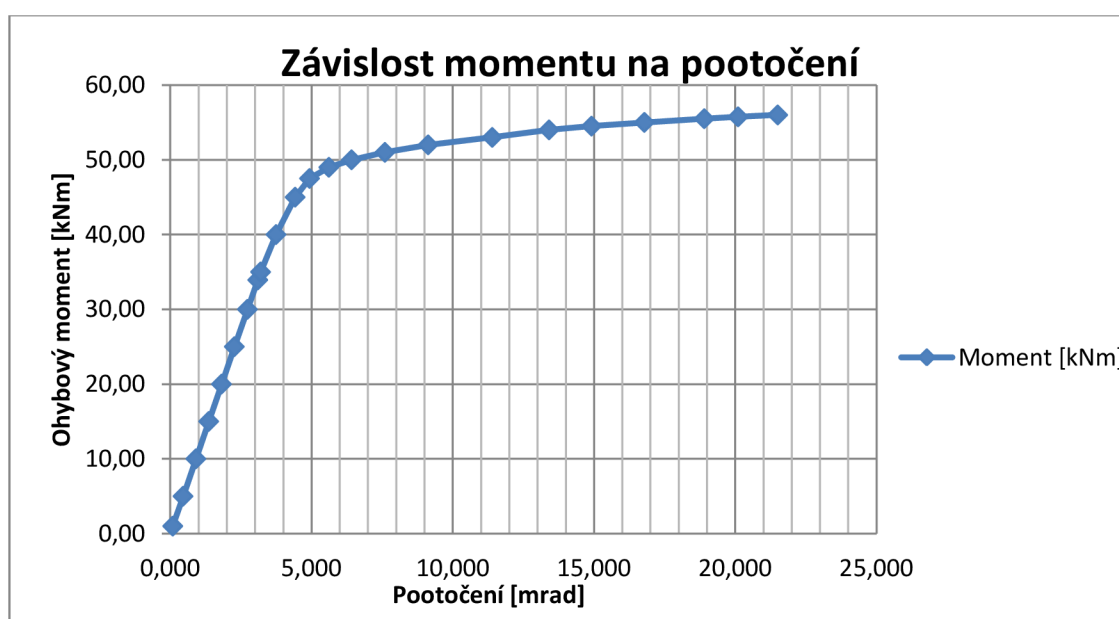




Obrázek 63. Graf závislosti tuhosti na odsunu nosníku pro vnitřní síly  $M_y$ ,  $V_z$  a  $N$

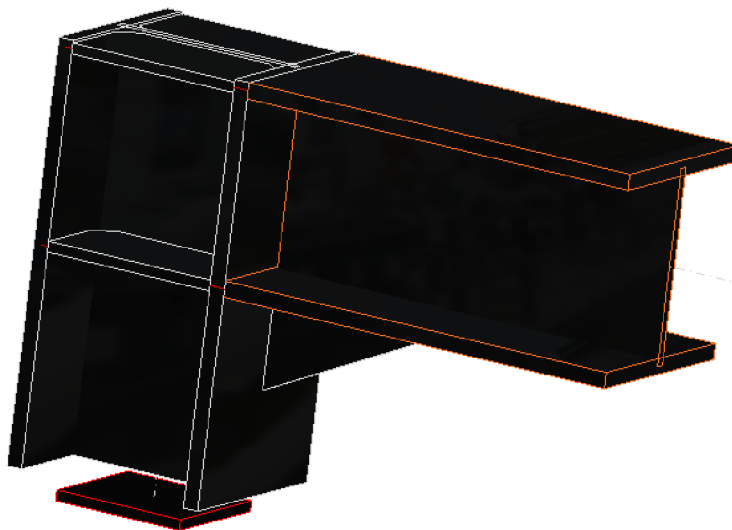
Pracovní diagram styčnicku pro odsun 20mm je na obrázku 64 a byl získán postupným zatěžováním  $M_y$ ,  $V_z$  a  $N$ . Samotný pracovní diagram má obdobný průběh jako u prvních dvou případů. Lineární větev má konstantní sklon až do hodnoty ohybového momentu 45kNm. Plastická větev diagramu je však menší a tvarem odpovídá idealizovanému pracovnímu diagramu styčnicku. V bodě maximálního zatížení klesla hodnota sečné tuhosti na  $S_j=2,604\text{MNm/rad}$ .

Lineární část diagramu má tuhost okolo  $S_j=11,01\text{MNm/rad}$ . Počáteční rotační tuhost spočtená metodou komponent je  $S_{j,ini}=17,709\text{MNm/rad}$ . Náběhem bylo sice dosaženo vyšší tuhosti než u diagonální výztuhy, ale srovnáním výsledků z výpočtového programu bylo dosaženo okolo 60% rotační tuhosti zjištěné metodou komponent. Podle tuhosti spočtené metodou komponent je styčnick klasifikován stejně jako podle výpočtového programu čili jako polotuhý. Mezní hodnota pro klasifikaci je pro tuhý styčnick  $S_r=42,75\text{MNm/rad}$  a pro kloubový  $S_p=0,86\text{MNm/rad}$ .



Obrázek 64. Pracovní diagram svařovaného styčnicku pro odsun 20mm

## 9.5 SVAŘOVANÝ STYČNÍK S PŘÍČNÝMI VÝZTUHAMÍ A NÁBĚHEM



Obrázek 65. Model svařovaného styčnicku s příčnými výztuhami a náběhem

Pro tento model styčnicku byla použita kombinace dvou výztuh. Použita je příčná výztuha sloupu a náběh o stejných rozměrech jako v předchozích typech styčnicků.

### 9.5.1 Únosnost, napětí a přetvoření

#### Únosnost

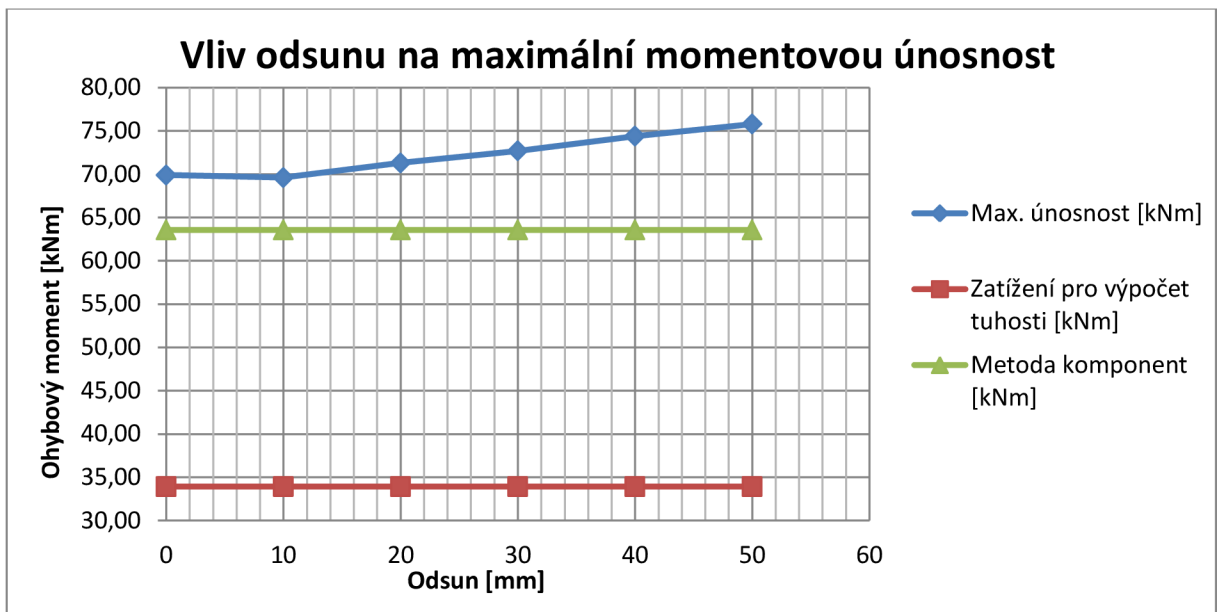
Kombinace příčných výztuh a náběhu není moc výhodná, maximální momentová únosnost je sice vyšší než u samostatného použití jednotlivých výztuh, ale menší než u použití diagonální výztuhy. Odsun (volná délka sloupu nad styčnickem, viz obr. 39) však má pořad vliv na maximální momentovou únosnost.

V tomto případě lze odsunem nosníku o 50mm zvýšit maximální únosnost o 8,44%. Přestože metoda komponent nepočítá s vlivem odsunu, je možno opět zahrnout do výpočtu vliv příčné výztuhy, takže hodnota únosnosti bude 63,57kNm. Vzhledem k výsledkům lze opět považovat odsun 10mm za neobvyklý. Zvláštnímu chování při odsunu 10mm by bylo třeba se podrobně věnovat, je to však mimo rozsah diplomové práce. Možným vysvětlením je konkrétní výpočtový model včetně výpočtového modelu svaru, jehož celková konfigurace může u daného odsunu způsobovat nestandardní chování. (program IDEA RS neumožňuje náhled skutečného výpočtového modelu).

Únosnost styčnicku je popsána tabulkou 18 a obrázkem 66.

Odsun [mm]	Zatížení pro výpočet tuhosti [kNm]	Max. únosnost [kNm]	Max. únosnost Met. komponent	Metoda komponent [kNm]
0	33,93	69,9 (100,00%)	109,96%	63,57
10	33,93	69,6 (99,57%)	109,49%	63,57
20	33,93	71,3 (102,00%)	112,16%	63,57
30	33,93	72,7 (104,01%)	114,36%	63,57
40	33,93	74,4 (106,44%)	117,04%	63,57
50	33,93	75,8 (108,44%)	119,24%	63,57

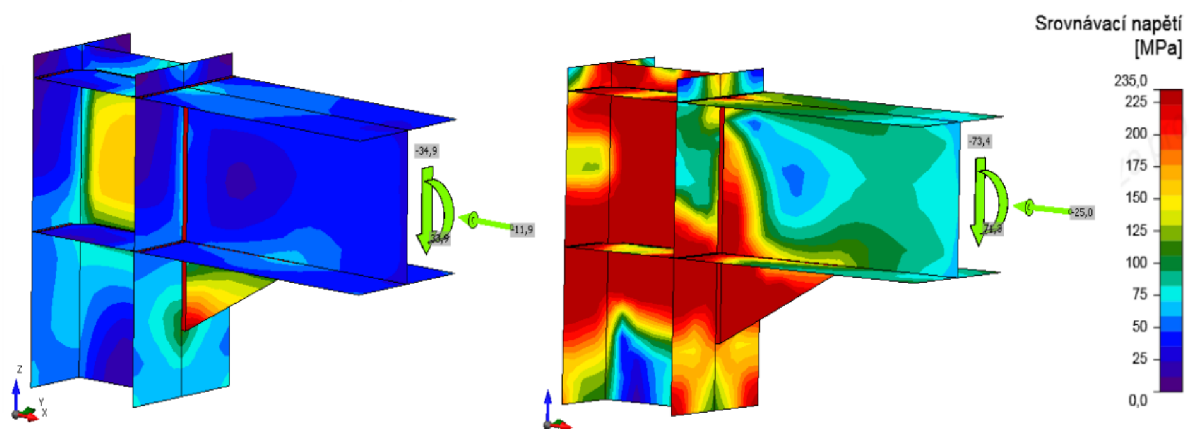
Tab. 18. Únosnost styčnicku v závislosti na odsunu nosníku



**Obrázek 66. Graf únosnosti svařovaného styčnicku v závislosti na odsunu**

Z grafického znázornění na obrázku 66 lze vidět, že nárůst maximální momentové únosnosti závisí na odsunu téměř lineárně až na výjimku při odsunu 10mm. Zatížení pro výpočet tuhosti je vloženo pouze pro ilustraci.

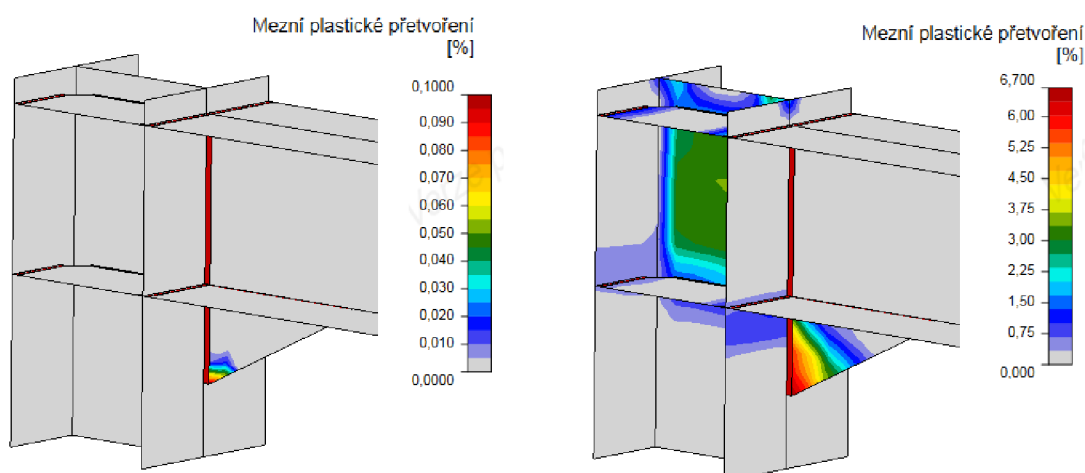
## Napětí



**Obrázek 67. Srovnání napětí ve styčnicku pro konstantní a maximální zatížení, odsun 20mm**

Na obrázku 67 je rozložení napětí ve styčnicku a na obrázku 68 je průběh plastického přetvoření pro odsun 20mm. Průběh napětí a plastického přetvoření spolu úzce souvisí. Na obrázcích vlevo je pro zajímavost uveden průběh pro konstantní zatížení. Vpravo jsou uvedeny průběhy pro maximální zatížení. Napětí za mezí kluzu je dosaženo téměř ve všech částech styčnicku, až na horní pásnici připojovaného nosníku. To znamená lepší využití styčnicku oproti prvním případům. K limitnímu plastickému přetvoření dochází v náběhu.

## Přetvoření



Obrázek 68. Srovnání plastického přetvoření pro konstantní a maximální zatížení, odsun 20mm

### 9.5.2 Tuhost

Tato kombinace výztuh sice nemá podstatný vliv na maximální únosnost, ale tuhost je větší než v předchozích případech. Dokonce i odsunem nosníku (volnou délkou sloupu nad styčником, viz obr. 39) se tuhost zřetelně zvyšuje. Relativní rozdíl tuhostí není tak vysoký jako u použití samotného náběhu, ale překvapivě větší než u použití samotné příčné výztuhy.

Z hodnot v tabulce 18 lze opět pozorovat zvyšující se nárůst tuhosti s nárůstem odsunu. S ohledem na hodnoty a grafické znázornění je nárůst tuhosti téměř lineární, pro použitý odsun výsledky nekonvergují. Takže by bylo možné zvýšit tuhost styčnicku dalším odsunem nosníku. Při odsunu 50mm byla zvýšená tuhost o 6,40%.

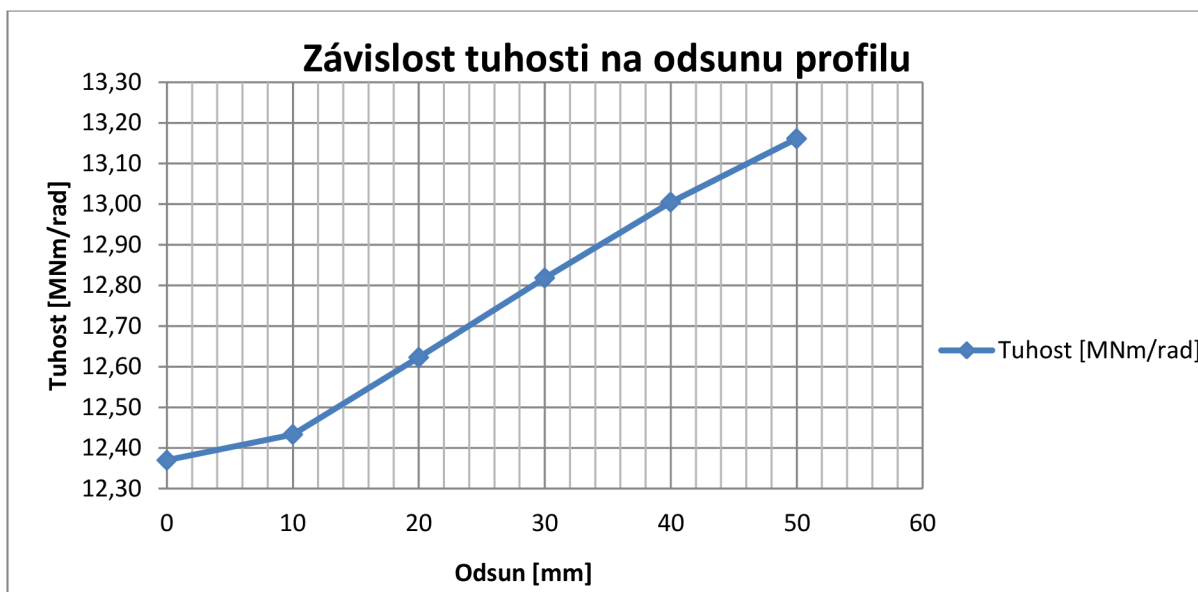
Dle výpočtového programu je styčnick klasifikován jako polotuhý. Mezní hodnota klasifikace pro tuhý styčnick je  $S_r=42,7\text{MNm/rad}$  a mezní hodnota klasifikace pro kloubový styčnick je  $S_p=0,9\text{MNm/rad}$ . Klasifikace styčnicku záleží na konkrétní konstrukci.

Konkrétní hodnoty zatížení pro výpočet tuhosti jsou uvedeny v kapitole 9.

Grafické znázornění tuhosti v závislosti na odsunu zkoumaného styčnicku je na obrázku 69.

Odsun [mm]	Zatížení pro výpočet tuhosti [kNm]	Pootočení [mrad]	Tuhost [MNm/rad]	Procentuální zvyšování tuhosti
0	33,93	2,743	12,3697	100,00%
10	33,93	2,729	12,4331	100,51%
20	33,93	2,688	12,6228	102,05%
30	33,93	2,647	12,8183	103,63%
40	33,93	2,609	13,0050	105,14%
50	33,93	2,578	13,1614	106,40%

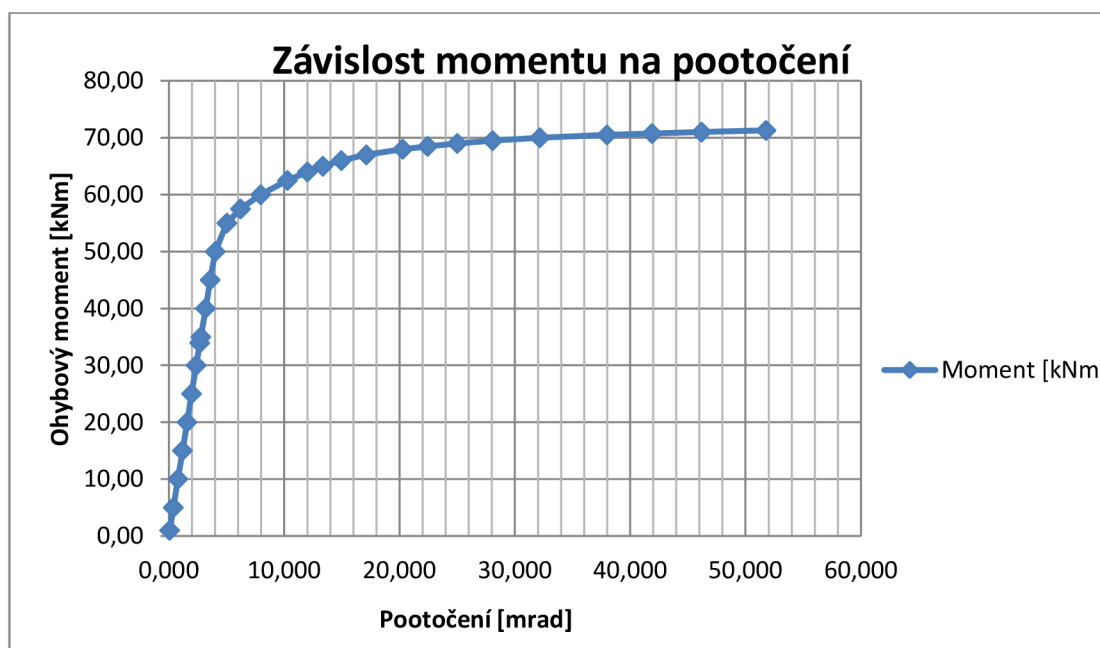
Tab. 18. Tuhost styčnicku v závislosti na odsunu nosníku



Obrázek 69. Graf závislosti tuhosti na odsunu nosníku pro vnitřní síly  $M_y$ ,  $V_z$  a  $N$

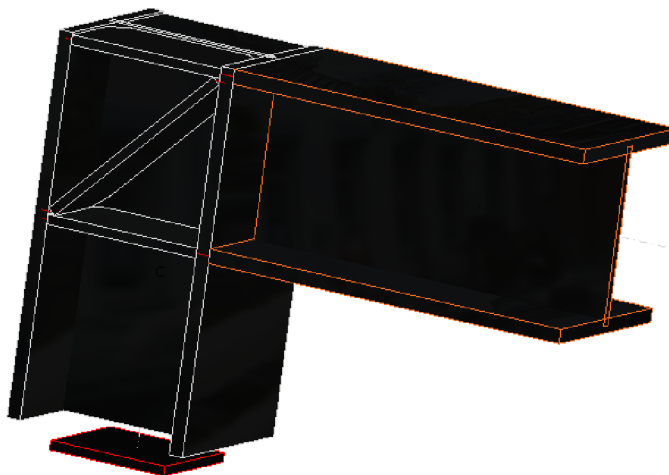
Pracovní diagram styčnicku pro odsun 20mm je na obrázku 70 a byl získán postupným zatěžováním  $M_y$ ,  $V_z$  a  $N$ . Opět je patrná lineární větev pracovního diagramu, která by měla odpovídat počáteční tuhosti styčnicku a oproti prvnímu případu se posunula na hranici 50kNm. Poté lze vidět plastickou část diagramu, která je menší a lépe konverguje k ustálené hodnotě. V bodě maximálního zatížení klesla hodnota sečné tuhosti na  $S_j=1,377\text{MNm/rad}$ .

Lineární část diagramu má tuhost okolo  $S_j=12,65\text{MNm/rad}$ . Počáteční rotační tuhost spočtená metodou komponent je  $S_{j,ini}=36,686\text{MNm/rad}$ . Porovnáním tuhostí získaných programem a metodou komponent vidíme, že programová tuhost je třetinová. Podle tuhosti spočtené metodou komponent je styčník klasifikován stejně jako podle výpočtového programu čili jako polotuhý. Mezní hodnota pro klasifikaci je pro tuhý styčník  $S_t=42,75\text{MNm/rad}$  a pro kloubový  $S_p=0,86\text{MNm/rad}$ .



Obrázek 70. Pracovní diagram svařovaného styčnicku pro odsun 20mm

## 9.6 SVAŘOVANÝ STYČNÍK S PŘÍČNOU A DIAGONÁLNÍ VÝZTUHOU



Obrázek 71. Model svařovaného styčnicku s příčnou a diagonální výztuhou

Pro tento model styčnicku byla použita kombinace dvou výztuh. Použita je příčná a diagonální výztuha sloupu o stejných rozměrech jako v předchozích typech styčnicků. Pouze natočení diagonální výztuhy je  $46^\circ$ , aby se vešla mezi příčné výztuhy sloupu.

### 9.6.1 Únosnost, napětí a přetvoření

#### Únosnost

Kombinace příčné a diagonální výztuhy je velmi efektivní. Nárůst maximální ohybové únosnosti je podstatně vyšší než v předchozích případech. Relativní nárůst únosnosti je však menší než v předchozích případech, je to dáno vysokým ztužením styčnicku.

V tomto případě lze odsunem nosníku o 50mm zvýšit maximální únosnost pouze o 2,68%. Přestože metoda komponent nepočítá s vlivem odsunu a diagonální výztuhy, je možno zahrnout do výpočtu vliv příčné výztuhy, která ovlivní velikost maximální momentové únosnosti, která je stejná jako v případě použití příčných výztuh a to 63,57kNm. Vzhledem k výsledkům lze opět považovat odsuny 10mm a 30mm za neobvyklé (jak už bylo popsáno v předchozích kapitolách), jelikož je maximální únosnost menší.

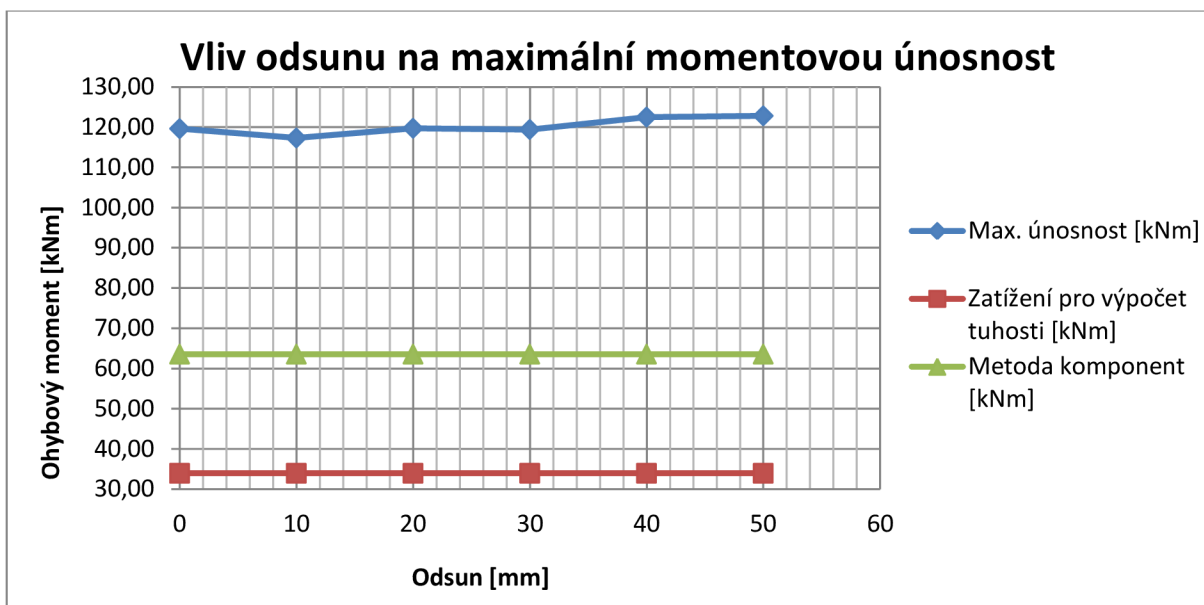
Z výsledných hodnot je zřejmé, že použití příčné a diagonální výztuhy je velmi užitečné, je-li potřeba získat vysokou momentovou únosnost styčnicku. Maximální momentová únosnost je už od nulového odsunu téměř dvojnásobná ve srovnání s únosností dle metody komponent.

Únosnost styčnicku je popsána tabulkou 20 a obrázkem 72.

Odsun [mm]	Zatížení pro výpočet tuhosti [kNm]	Max. únosnost [kNm]	Max. únosnost Met. komponent	Metoda komponent [kNm]
0	33,93	119,6 (100,00%)	188,14%	63,57
10	33,93	117,3 (98,08%)	184,52%	63,57
20	33,93	119,7 (100,08%)	188,30%	63,57
30	33,93	119,4 (99,83%)	187,82%	63,57
40	33,93	122,5 (102,42%)	192,70%	63,57
50	33,93	122,8 (102,68%)	193,17%	63,57

Tab. 20. Únosnost styčnicku v závislosti na odsunu nosníku

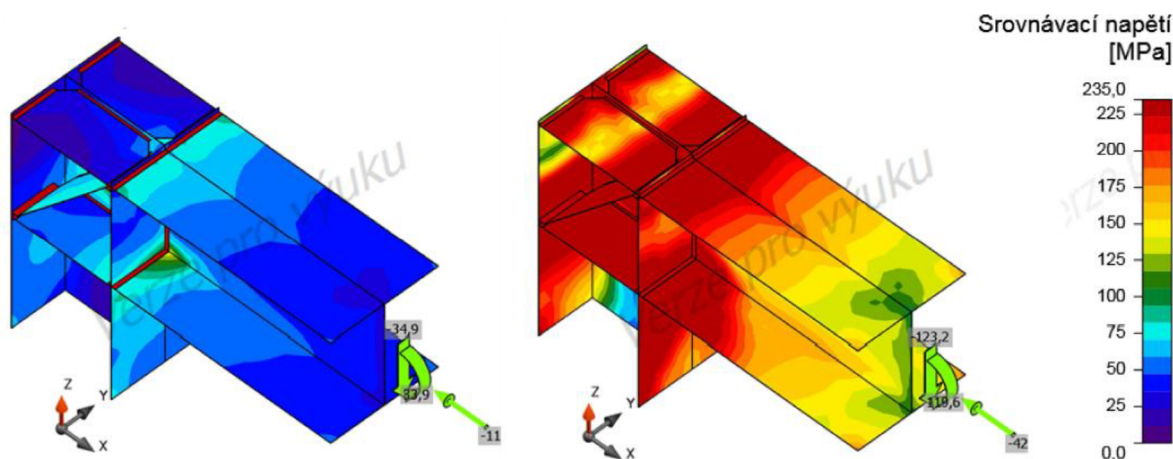




**Obrázek 72. Graf únosnosti svařovaného styčnicku v závislosti na odsunu**

Z grafického znázornění na obrázku 71 lze pozorovat postupný nárůst maximální momentové únosnosti styčnicku až na výjimky při odsunu 10mm a 30mm. U tak velkého zatížení nesmí být opomenuta pružná a plastická únosnost samotného nosníku. Pružná únosnost profilu HEB200 je rovna  $M_{y,Rd}=133,95\text{kNm}$  a plastická únosnost průřezu je  $M_{pl,y}=150,87\text{kNm}$ . Takže je nosník při odsunu 50mm využit na 91,68% bez plastizování průřezu. Zatížení pro výpočet tuhosti je vloženo pouze pro ilustraci.

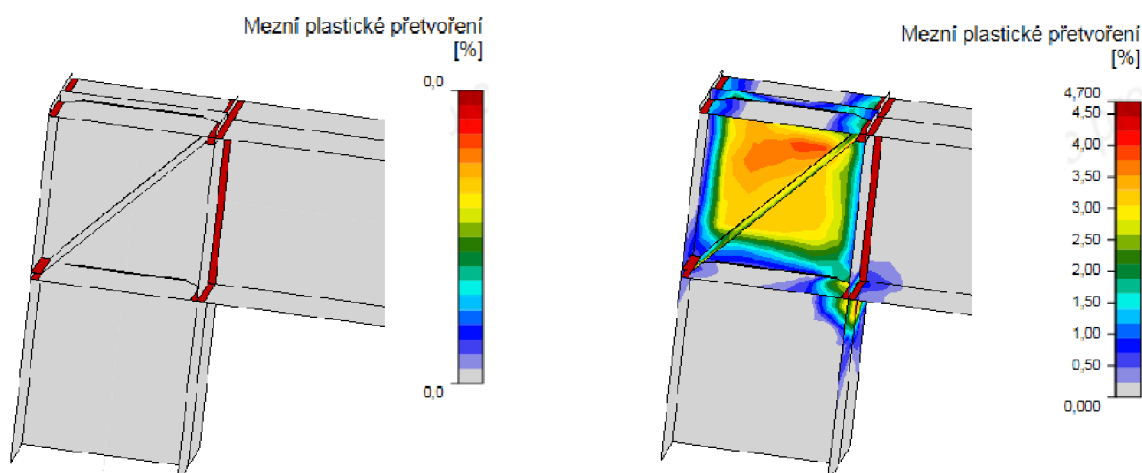
## Napětí



**Obrázek 73. Srovnání napětí ve styčnicku pro konstantní a maximální zatížení, odsun 0mm**

Na obrázku 72 je rozložení napětí ve styčnicku a na obrázku 73 je průběh plastického přetvoření pro odsun 0mm. Průběh napětí a plastického přetvoření spolu úzce souvisí. Na obrázcích vlevo je pro zajímavost uveden průběh pro konstantní zatížení. Vpravo jsou uvedeny průběhy pro maximální zatížení. Napětí se u všech částí styčnicku dostává až za mez kluzu. To znamená, že plastizují všechny části styčnicku současně. Limitní plastické přetvoření je však dosaženo v pásnici sloupu připojeného k nosníku.

## Přetvoření



Obrázek 74. Srovnání plastického přetvoření pro konstantní a maximální zatížení, odsun 0mm

### 9.6.2 Tuhost

Použití kombinace příčné a diagonální výztuhy je přínosné nejen pro maximální únosnost, ale i pro získání vysoké tuhosti styčnicku. Už při nulovém odsunu je tuhost vyšší než u všech předchozích modelů styčnicků.

Z hodnot v tabulce 21 lze pozorovat zvyšující se nárůst tuhosti s každým odsunem. Rozdíl mezi samotnými tuhostmi při odsunech už není tak velký jako v předchozích případech z důvodu vysokého ztužení styčnicku. Vzhledem k hodnotám a grafickému znázornění je nárůst rotační tuhosti téměř lineární opět až na výjimku při odsunu 10mm (anomálie byla popsána v předchozích modelech styčnicku). Takže by tuhost dalším odsunem mohla být ještě zvýšena. Při odsunu 50mm byla zvýšená tuhost o 5,20%.

Konkrétní hodnoty zatížení pro výpočet tuhosti jsou uvedeny v kapitole 9.

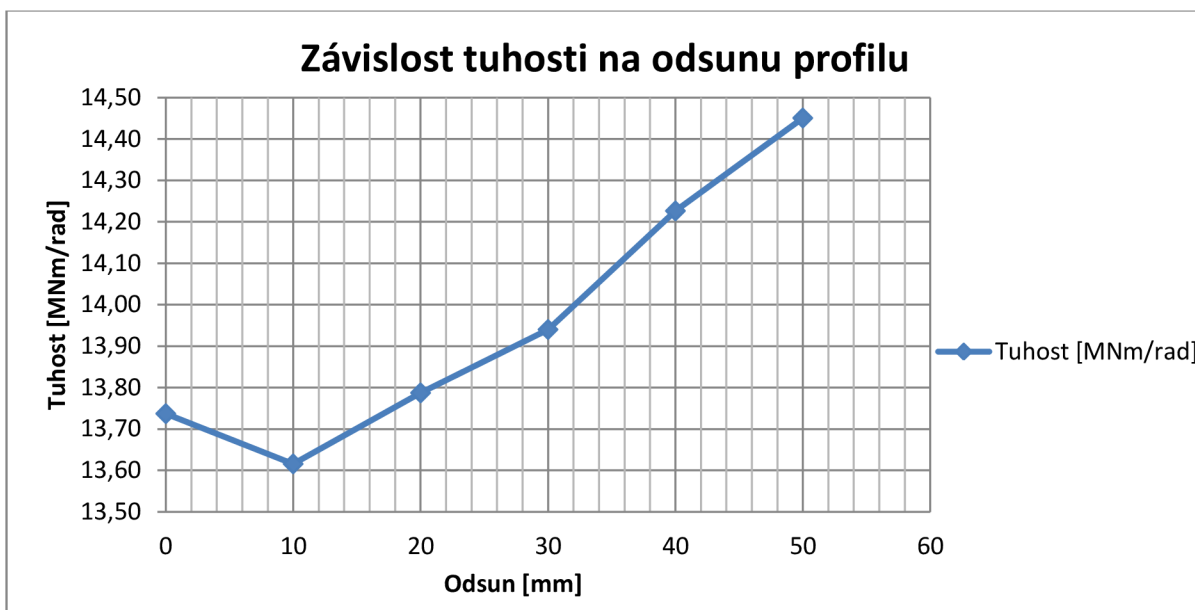
Dle výpočtového programu je styčnick klasifikován jako polotuhý. Mezní hodnota klasifikace pro tuhý styčnick je  $S_r=42,7\text{MNm/rad}$  a mezní hodnota klasifikace pro kloubový styčnick je  $S_p=0,9\text{MNm/rad}$ . Klasifikace styčnicku záleží na konkrétní konstrukci.

Grafické znázornění tuhosti v závislosti zkoumaného styčnicku je na obrázku 75.

Odsun [mm]	Zatížení pro výpočet tuhosti [kNm]	Pootočení [mrad]	Tuhost [MNm/rad]	Procentuální zvyšování tuhosti
0	33,93	2,470	13,7368	100,00%
10	33,93	2,492	13,6156	99,12%
20	33,93	2,461	13,7871	100,37%
30	33,93	2,434	13,9400	101,48%
40	33,93	2,385	14,2264	103,56%
50	33,93	2,348	14,4506	105,20%

Tab. 21. Tuhost styčnicku v závislosti na odsunu nosníku

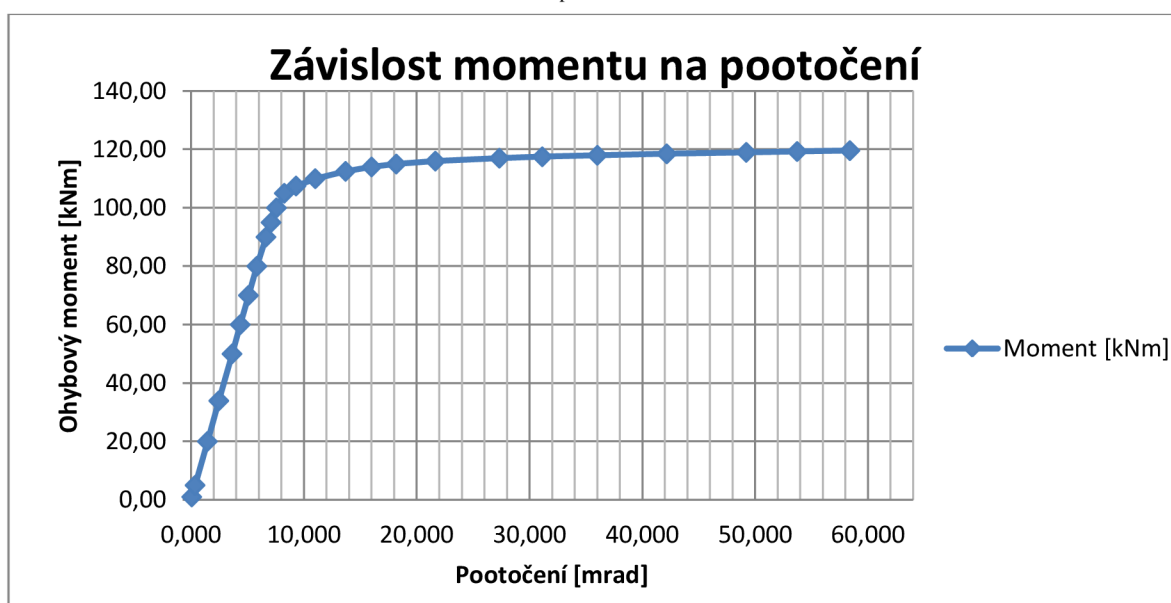




**Obrázek 75. Graf závislosti tuhosti na odsunu nosníku pro vnitřní síly  $M_y$ ,  $V_z$  a  $N$**

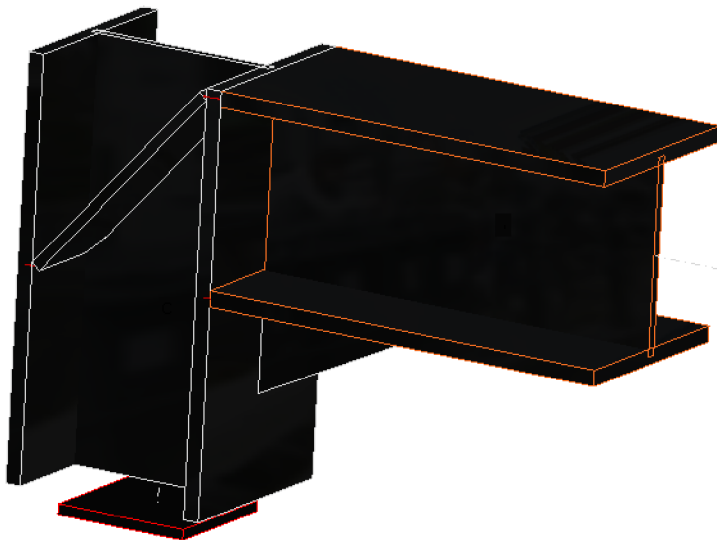
Pracovní diagram styčnicku pro odsun 20mm je na obrázku 76 a byl získán postupným zatěžováním  $M_y$ ,  $V_z$  a  $N$ . Lineární část pracovního diagramu je téměř konstantní až do ohybového momentu 100kNm. Plastická část pak postupně konverguje k ustálené hodnotě. Díky vysokému ztužení pracovní diagram pak vypadá téměř jako idealizovaný pracovní diagram styčnicku. V bodě maximálního zatížení klesla hodnota sečné tuhosti na  $S_j=2,047\text{MNm/rad}$ .

Lineární část diagramu má tuhost okolo  $S_j=13,70\text{MNm/rad}$ . Počáteční rotační tuhost spočtená metodou komponent je  $S_{j,ini}=36,686\text{MNm/rad}$ . Přestože je použité malé zatížení a relativně velké ztužení nedaří se programem zajistit tak vysokou tuhost jako je vypočtená metodou komponent. Podle tuhosti spočtené metodou komponent je styčnick klasifikován stejně jako podle výpočtového programu čili jako polotuhý. Mezní hodnota pro klasifikaci je pro tuhý styčnick  $S_r=42,75\text{MNm/rad}$  a pro kloubový  $S_p=0,86\text{MNm/rad}$ .



**Obrázek 76. Pracovní diagram svařovaného styčnicku pro odsun 0mm**

## 9.7 SVAŘOVANÝ STYČNÍK S DIAGONÁLNÍ VÝZTUHOU A NÁBĚHEM



Obrázek 77. Model svařovaného styčnicku s diagonální výztuhou a náběhem

Pro tento model styčnicku byla použita kombinace dvou výztuh. Použita je diagonální výztuha sloupu a náběh o stejných rozměrech jako v předchozích typech styčnicků.

### 9.7.1 Únosnost, napětí a přetvoření

#### Únosnost

Kombinace diagonální výztuhy a náběhu je poměrně výhodné, maximální momentová únosnost je sice nižší než u kombinace příčné a diagonální výztuhy, ale průběh únosnosti při odsunu (volná délka sloupu nad styčnickem, viz obr. 39) je plynulejší. Odsun nosníku má dostatečný vliv na maximální momentovou únosnost.

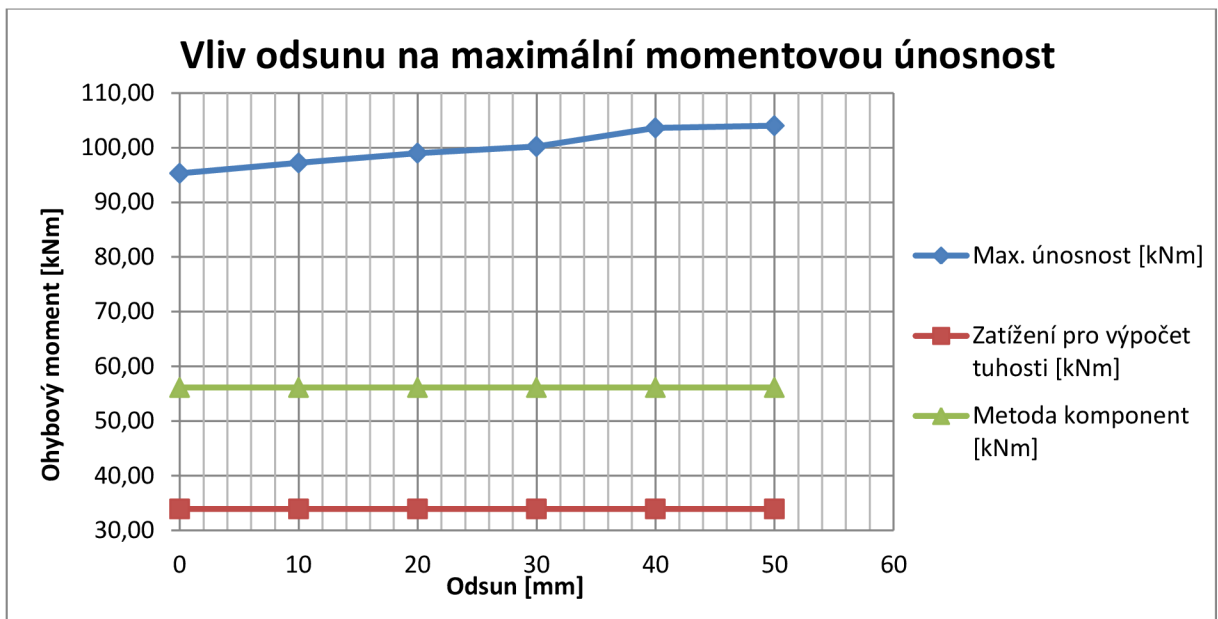
V tomto případě lze odsunem nosníku o 50mm zvýšit maximální únosnost o 9,13%. Protože metoda komponent nezohledňuje do výpočtu vliv diagonální výztuhy, užitého náběhu a ani odsun nosníku, tak je momentová únosnost stanovena stejná jako u nevyztuženého styčnicku, která je 56,14kNm. S ohledem na výsledky je průběh maximální únosnosti plynulý a s odsunem konverguje k ustálené hodnotě.

Vzhledem k výsledkům lze říci, že použití této kombinace výztuhy a náběhu je v porovnání s kombinací příčné výztuhy a náběhu velmi užitečné, nejen pro maximální únosnost, ale i pro tuhost styčnicku, která bude popsána dále.

Únosnost styčnicku je popsána tabulkou 22 a obrázkem 78.

Odsun [mm]	Zatížení pro výpočet tuhosti [kNm]	Max. únosnost [kNm]	Max. únosnost Met. komponent	Metoda komponent [kNm]
0	33,93	95,3 (100,00%)	169,75%	56,14
10	33,93	97,2 (101,99%)	173,14%	56,14
20	33,93	99,0 (103,88%)	176,34%	56,14
30	33,93	100,2 (105,14%)	178,48%	56,14
40	33,93	103,6 (108,71%)	184,54%	56,14
50	33,93	104,0 (109,13%)	185,25%	56,14

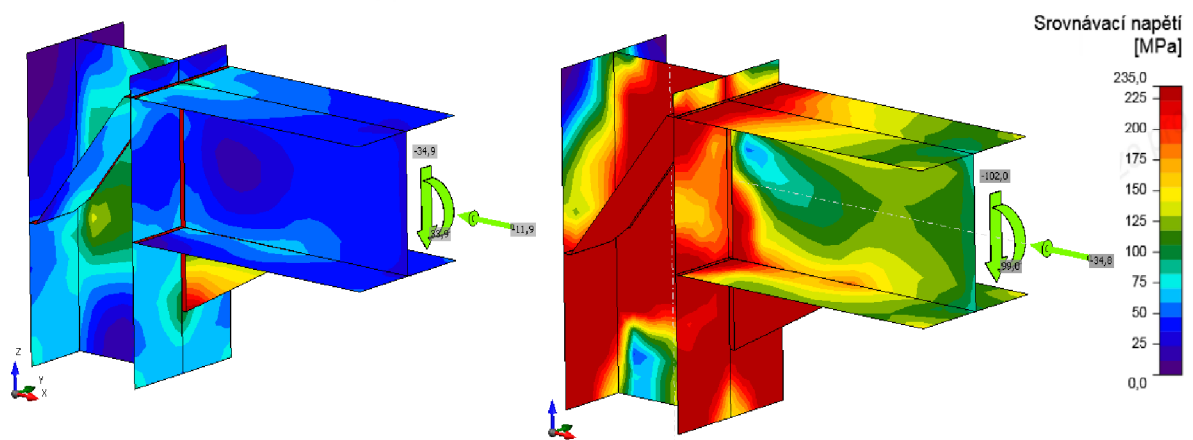
Tab. 22. Únosnost styčnicku v závislosti na odsunu nosníku



**Obrázek 78. Graf únosnosti svařovaného styčnicku v závislosti na odsunu**

Z grafického znázornění na obrázku 78 lze vidět postupný nárůst momentové únosnosti s nárůstem odsunu. Zatížení pro výpočet tuhosti je vloženo pouze pro ilustraci.

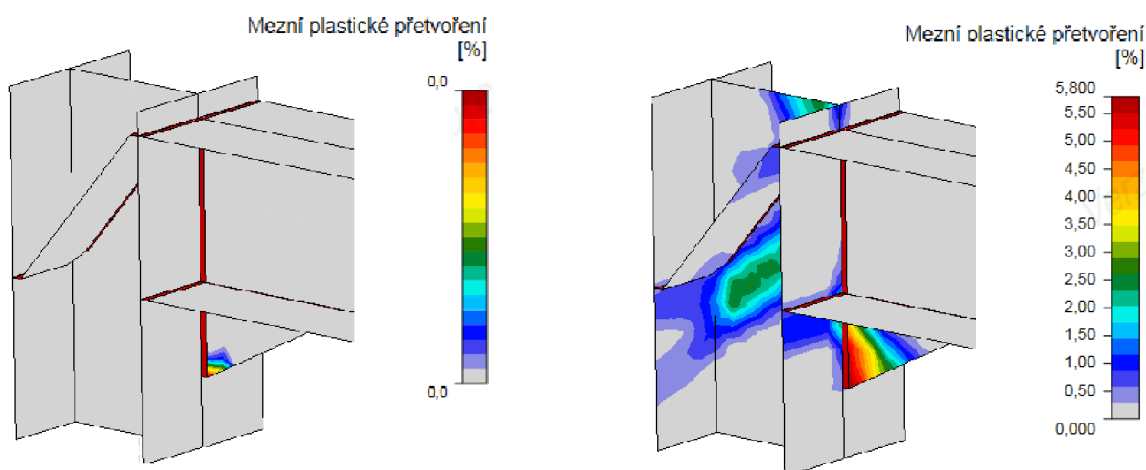
## Napětí



**Obrázek 79. Srovnání napětí ve styčnicku pro konstantní a maximální zatížení, odsun 20mm**

Na obrázku 79 je rozložení napětí ve styčnicku a na obrázku 80 je průběh plastického přetvoření pro odsun 20mm. Průběh napětí a plastického přetvoření spolu úzce souvisí. Na obrázcích vlevo je pro zajímavost uveden průběh pro konstantní zatížení. Vpravo jsou uvedeny průběhy pro maximální zatížení. Kromě nosníku a diagonální výtzuhy plastizují všechny ostatní části styčnicku. Limitní plastické přetvoření je ve stojině sloupu v místě napojení dolní pásnice nosníku.

## Přetvoření



Obrázek 80. Srovnání plastického přetvoření pro konstantní a maximální zatížení, odsun 20mm

### 9.7.2 Tuhost

Použití kombinace diagonální výztuhy a náběhu má sice nižší únosnost nežli kombinace příčné a diagonální výztuhy, ale tuhost je srovnatelná. Tuhost se však odsunem (volnou délkou sloupu nad styčником, viz obr. 39) zvyšuje více než v předchozím případě.

Z hodnot v tabulce 23 lze pozorovat konstantní nárůst tuhosti s nárůstem odsunu. Rozdíl mezi samotnými tuhostmi každým odsunem je sice malý, ale větší než v předchozím případě. Z grafického znázornění lze pozorovat téměř lineární nárůst tuhosti. Tuhost postupným odsunem nijak výrazně nekonverguje, takže by požadovaná tuhost mohla být zvýšena dalším posunem nosníku. Při odsunu 50mm byla zvýšená tuhost o 8,55%.

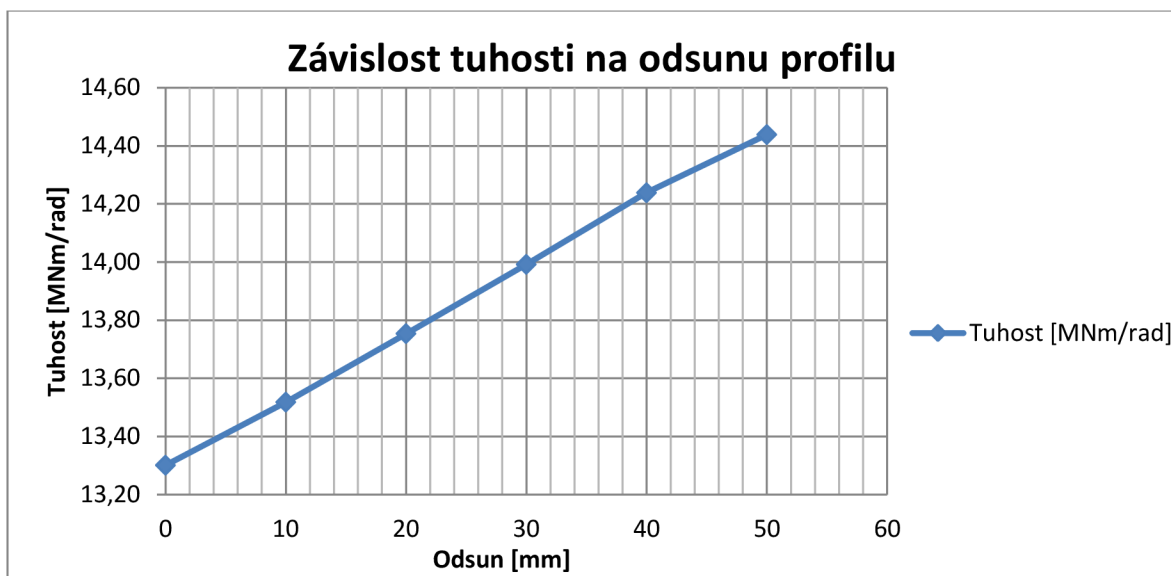
Hlavní vliv na rotační tuhost styčnicku má velikost ohybového momentu  $M_y$ . Vliv posouvající síly  $V_z$  je zanedbatelný na rozdíl od normálové síly  $N$ . Působí-li normálová síla  $N$  směrem do styčnicku jako v tomto případě, tak má vliv na zvýšení rotační tuhosti asi o 10%. Konkrétní hodnoty zatížení pro výpočet tuhosti jsou uvedeny v kapitole 9.

Dle výpočtového programu je styčnick klasifikován jako polotuhý. Mezní hodnota klasifikace pro tuhý styčnick je  $S_r=42,7\text{MNm/rad}$  a mezní hodnota klasifikace pro kloubový styčnick je  $S_p=0,9\text{MNm/rad}$ . Klasifikace styčnicku záleží na konkrétní konstrukci.

Grafické znázornění tuhosti v závislosti zkoumaného styčnicku je na obrázku 81.

Odsun [mm]	Zatížení pro výpočet tuhosti [kNm]	Pootočení [mrad]	Tuhost [MNm/rad]	Procentuální zvyšování tuhosti
0	33,93	2,551	13,3007	100,00%
10	33,93	2,510	13,5179	101,63%
20	33,93	2,467	13,7535	103,40%
30	33,93	2,425	13,9918	105,20%
40	33,93	2,383	14,2384	107,05%
50	33,93	2,350	14,4383	108,55%

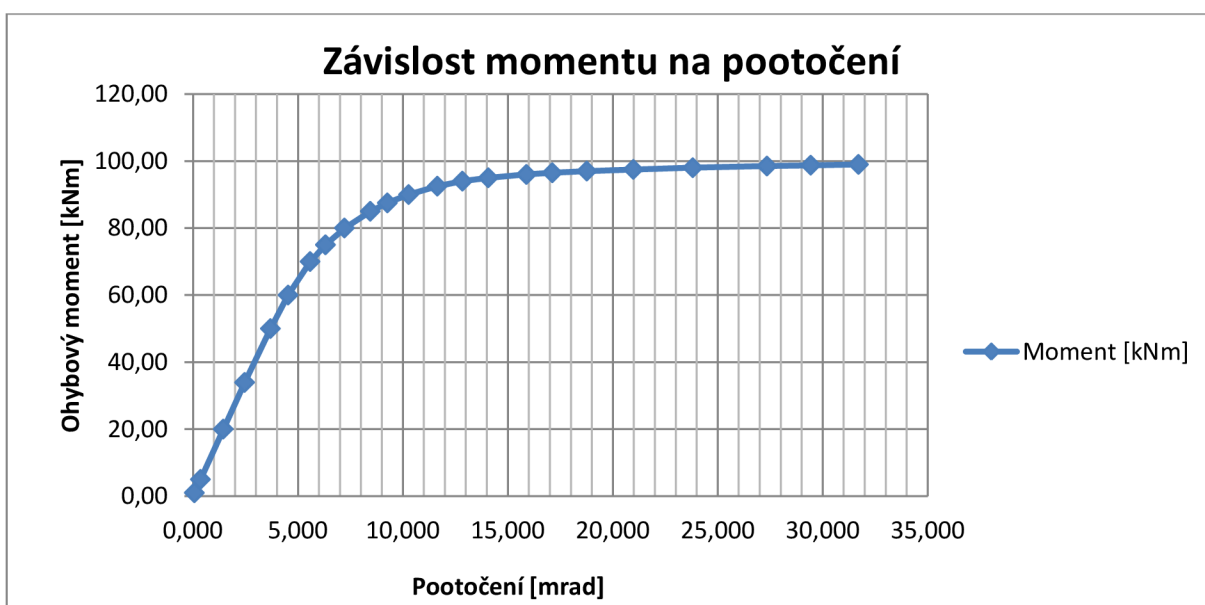
Tab. 23. Tuhost styčnicku v závislosti na odsunu nosníku



Obrázek 81. Graf závislosti tuhosti na odsunu nosníku pro vnitřní síly  $M_y$ ,  $V_z$  a  $N$

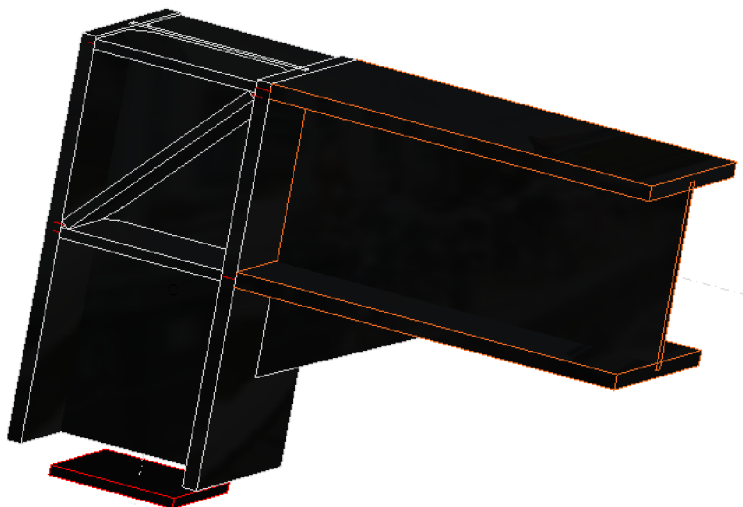
Pracovní diagram styčnicku pro odsun 20mm je na obrázku 82 a byl získán postupným zatěžováním  $M_y$ ,  $V_z$  a  $N$ . Lineární část pracovního diagramu není tak velká jako v předchozím případě, dostává se zhruba k hodnotě 70kNm. Plastická část je sice větší než v předchozím případě, ale pak postupně konverguje k ustálené hodnotě. Opět díky vysokému ztužení je pracovní diagram velmi podobný idealizovanému. V bodě maximálního zatížení klesla hodnota sečné tuhosti na  $S_j=3,122\text{MNm/rad}$ .

Lineární část diagramu má tuhost okolo  $S_j=13,75\text{MNm/rad}$ . Počáteční rotační tuhost spočtená metodou komponent je  $S_{j,ini}=17,709\text{MNm/rad}$ . Přestože je použité malé zatížení a relativně velké ztužení nedaří se programem zajistit tak vysokou tuhost jako v metodě komponent. Podle tuhosti spočtené metodou komponent je styčnick klasifikován stejně jako podle výpočtového programu čili jako polotuhý. Mezní hodnota pro klasifikaci je pro tuhý styčnick  $S_r=42,75\text{MNm/rad}$  a pro kloubový  $S_p=0,86\text{MNm/rad}$ .



Obrázek 82. Pracovní diagram svařovaného styčnicku pro odsun 20mm

## 9.8 SVAŘOVANÝ STYČNÍK S PŘÍČNOU A DIAGONÁLNÍ VÝZTUHOU A NÁBĚHEM



**Obrázek 83. Model svařovaného styčnicku s příčnou a diagonální výztuhou a náběhem**

Pro tento model styčnicku byla použita kombinace tří výztuh. Použita je příčná a diagonální výztuha sloupu a náběh o stejných rozměrech jako v předchozích typech styčnicků. Pouze natočení diagonální výztuhy je  $46^\circ$ , aby se vešla mezi příčné výztuhy sloupu.

### 9.8.1 Únosnost, napětí a přetvoření

#### Únosnost

Kombinace příčné a diagonální výztuhy a náběhu je pravděpodobně nejlepším způsobem pro získání maximální momentové únosnosti styčnicku.

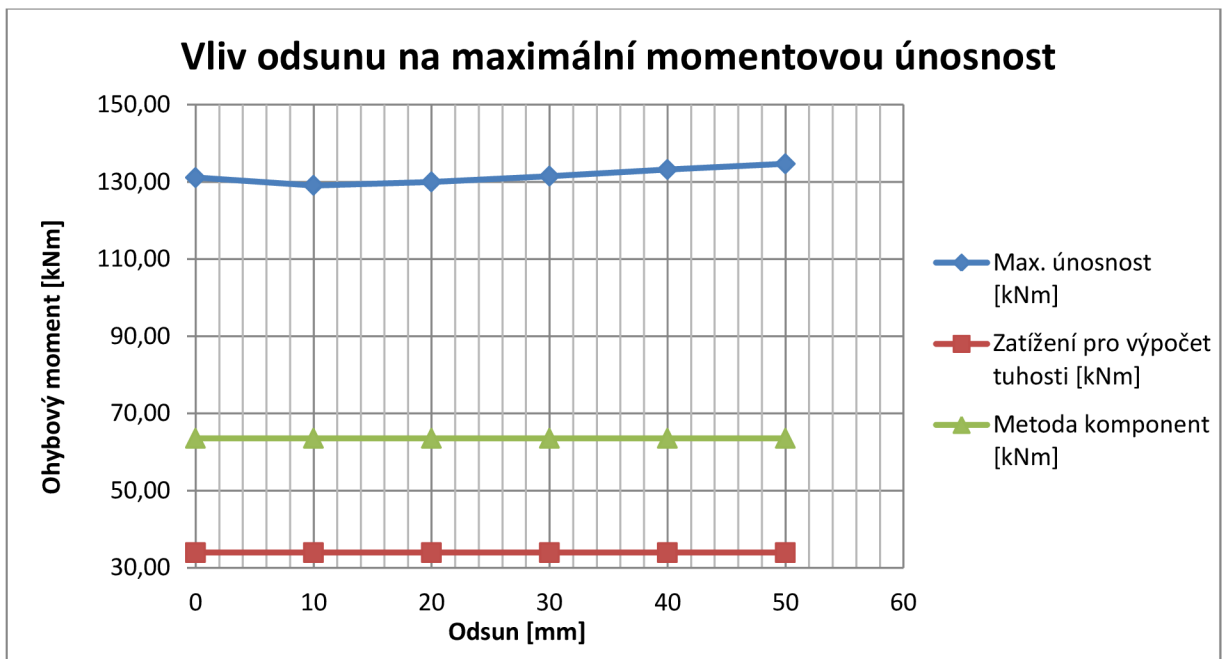
V tomto případě lze odsunem nosníku o 50mm zvýšit maximální únosnost o 2,75%, jedná se o nejmenší relativní zvýšení únosnosti ze všech případů pro svařovaný styčnick. V metodě komponent se nezohledňuje kromě příčných výztuh žádná jiná výztuha a ani odsun nosníku (volnou délkou sloupu nad styčnickem, viz obr. 39), takže hodnota únosnosti je 63,57kNm. Vzhledem k hodnotám únosnosti jsou výsledky při odsunu 10mm a 20mm velmi neobvyklé (popsáno v předchozích kapitolách).

S ohledem na výsledky lze usoudit, že kombinace je co se týče maximální únosnosti nejvýhodnější, protože tak vysoké únosnosti nedosáhl žádný z modelů.

Únosnost styčnicku je popsána tabulkou 24 a obrázkem 84.

Odsun [mm]	Zatížení pro výpočet tuhosti [kNm]	Max. únosnost [kNm]	Max. únosnost Met. komponent	Metoda komponent [kNm]
0	33,93	131,1 (100,00%)	206,23%	63,57
10	33,93	129,1 (98,47%)	203,08%	63,57
20	33,93	130,0 (99,16%)	204,50%	63,57
30	33,93	131,5 (100,31%)	206,86%	63,57
40	33,93	133,2 (101,60%)	209,53%	63,57
50	33,93	134,7 (102,75%)	211,89%	63,57

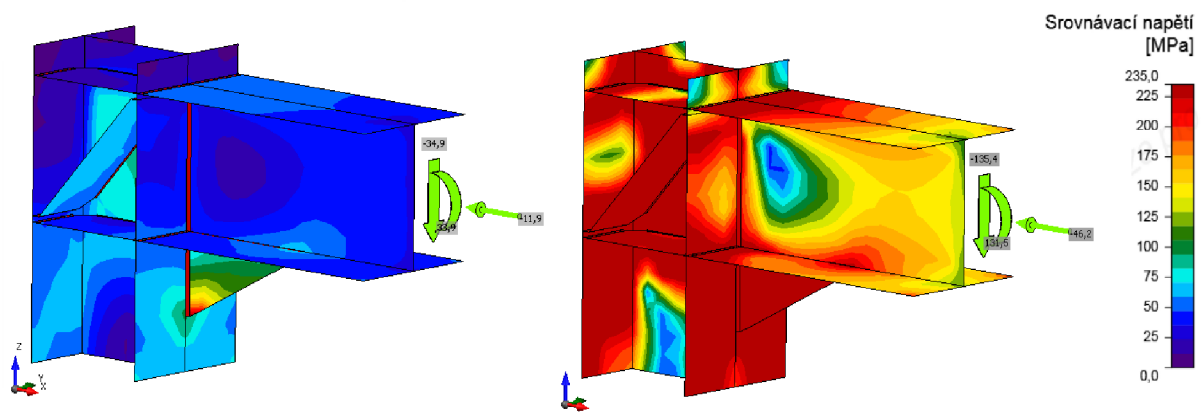
**Tab. 24. Únosnost styčnicku v závislosti na odsunu nosníku**



**Obrázek 84. Graf únosnosti svařovaného styčnicku v závislosti na odsunu**

Z grafického znázornění na obrázku 84 je zřetelný nárůst maximální momentové únosnosti. Jsou patrné i chybné hodnoty únosnosti při odsunu 10mm a 20mm, u kterých se maximální únosnost odsunem zmenšila. U tak velkého zatížení nesmí být opomenuta pružná a plastická únosnost samotného nosníku. Pružná únosnost profilu HEB200 je rovna  $M_{y,Rd}=133,95\text{kNm}$  a plastická únosnost průřezu je  $M_{pl,y}=150,87\text{kNm}$ . Jelikož je při odsunu 50mm pružné využití na hodnotě 100,56%, dochází k plastizování průřezu. Využití v plastické oblasti je 89,26%. Zatížení pro výpočet tuhosti je vloženo pouze pro ilustraci.

## Napětí

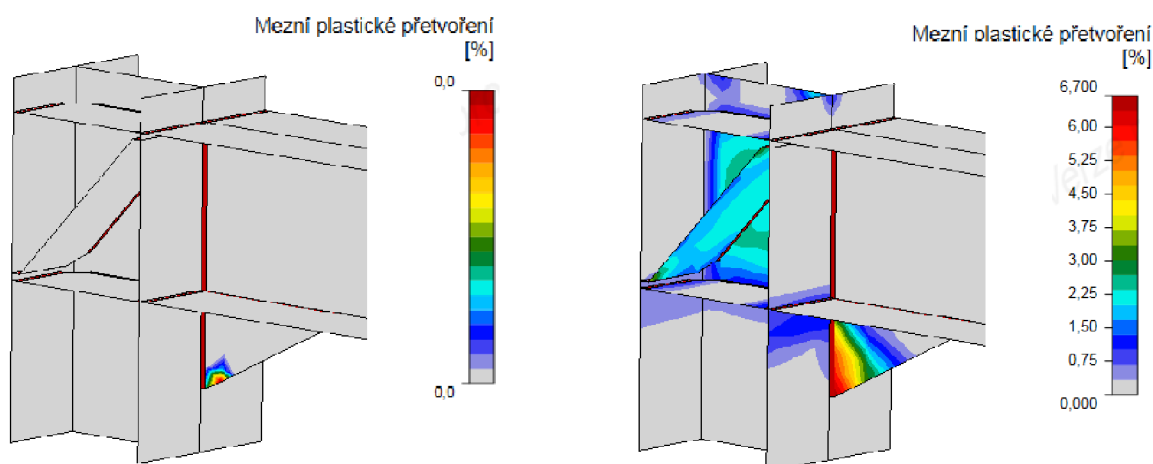


**Obrázek 85. Srovnání napětí ve styčnicku pro konstantní a maximální zatížení, odsun 30mm**

Na obrázku 85 je rozložení napětí ve styčnicku a na obrázku 86 je průběh plastického přetvoření pro odsun 30mm. Průběh napětí a plastického přetvoření spolu úzce souvisí. Na obrázcích vlevo je pro zajímavost uveden průběh pro konstantní zatížení. Vpravo jsou uvedeny průběhy pro maximální zatížení. Napětí za meze kluzu je ve všech částech styčnicku, což značí maximální využití styčnicku. Přesto, že je v náběhu nejmenší napětí ze všech částí styčnicku, dochází v něm k limitnímu plastickému přetvoření.



## Přetvoření



Obrázek 86. Srovnání plastického přetvoření pro konstantní a maximální zatížení, odsun 30mm

### 9.8.2 Tuhost

Použití kombinace příčné a diagonální výztuhy a náběhu má nejvyšší maximální momentovou únosnost a zároveň nejvyšší rotační tuhost.

Z hodnot v tabulce 25 lze pozorovat, že nárůst momentové únosnosti s nárůstem odsunu (volnou délkou sloupu nad styčником, viz obr. 39) je vzhledem k vysokému ztužení značný, větší než u kombinace příčné a diagonální výztuhy. Zvláštní je hodnota tuhosti při odsunu 10mm, která je rovna tuhosti při nulovém odsunu. Další zajímavostí je, že i přes nižší maximální únosnost při odsunu 20mm tuhost správně koreluje s ostatními výsledky. Z grafického znázornění je patrný lineární nárůst tuhosti, který vůbec nekonverguje, proto by dalším odsunem mohla být tuhost ještě zvýšena. Při odsunu 50mm byla zvýšená tuhost o 6,44%.

Konkrétní hodnoty zatížení pro výpočet tuhosti jsou uvedeny v kapitole 9.

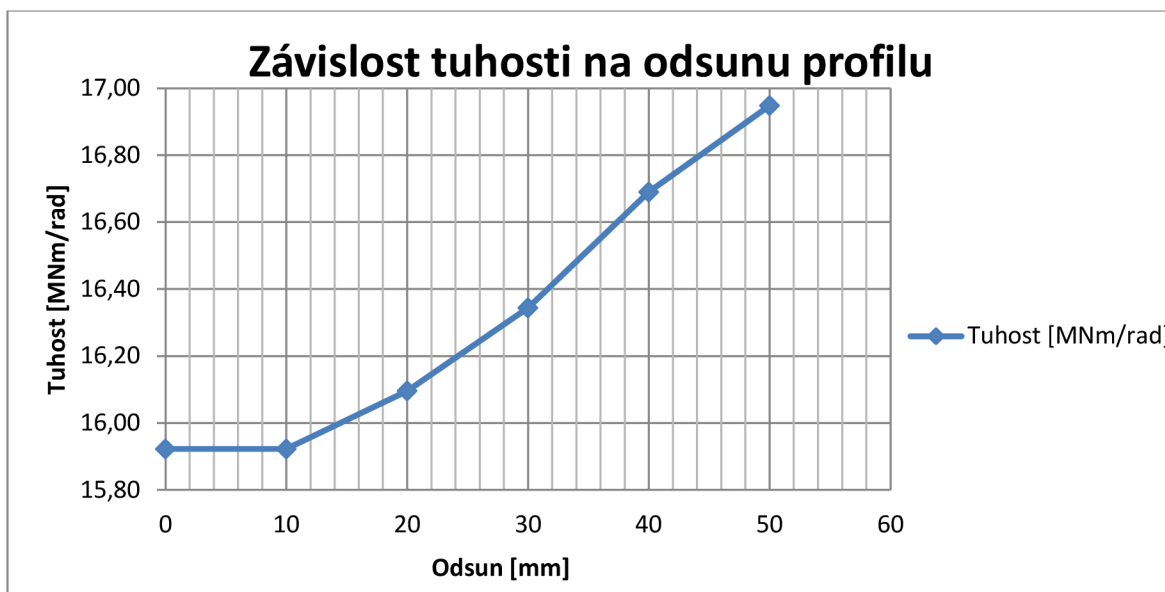
Dle výpočtového programu je styčnik klasifikován jako polotuhý. Mezní hodnota klasifikace pro tuhý styčnik je  $S_r=42,7\text{MNm/rad}$  a mezní hodnota klasifikace pro kloubový styčnik je  $S_p=0,9\text{MNm/rad}$ . Klasifikace styčniku závisí na konkrétní konstrukci.

Grafické znázornění tuhosti v závislosti zkoumaného styčniku je na obrázku 87.

Odsun [mm]	Zatížení pro výpočet tuhosti [kNm]	Pootočení [mrad]	Tuhost [MNm/rad]	Procentuální zvyšování tuhosti
0	33,93	2,131	15,9221	100,00%
10	33,93	2,131	15,9221	100,00%
20	33,93	2,108	16,0958	101,09%
30	33,93	2,076	16,3439	102,65%
40	33,93	2,033	16,6896	104,82%
50	33,93	2,002	16,9481	106,44%

Tab. 25. Tuhost styčniku v závislosti na odsunu nosníku

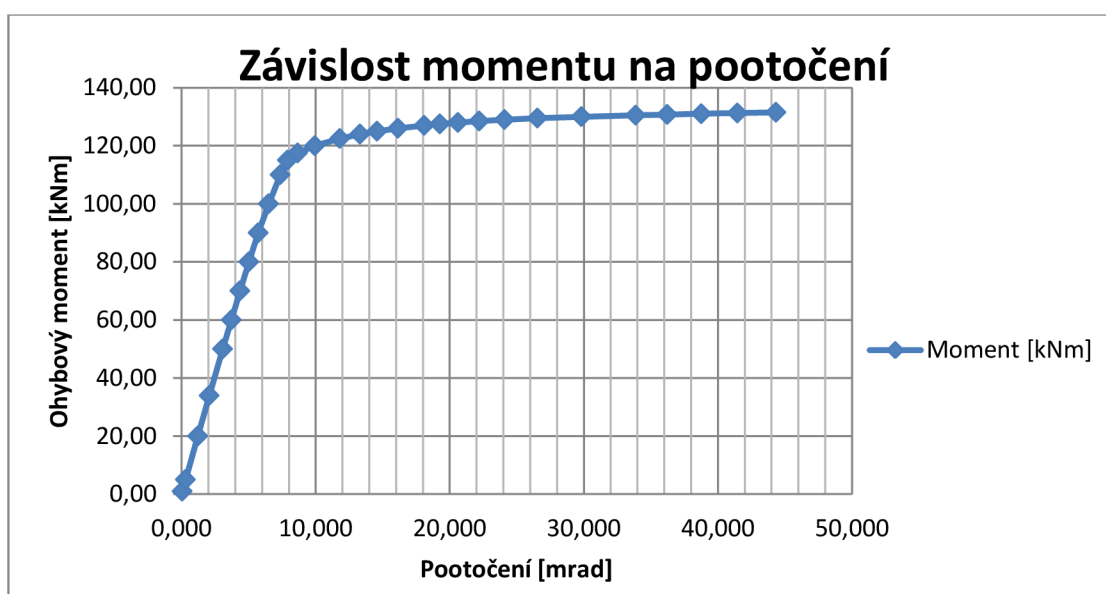




Obrázek 87. Graf závislosti tuhosti na odsunu nosníku pro vnitřní síly  $M_y$ ,  $V_z$  a  $N$

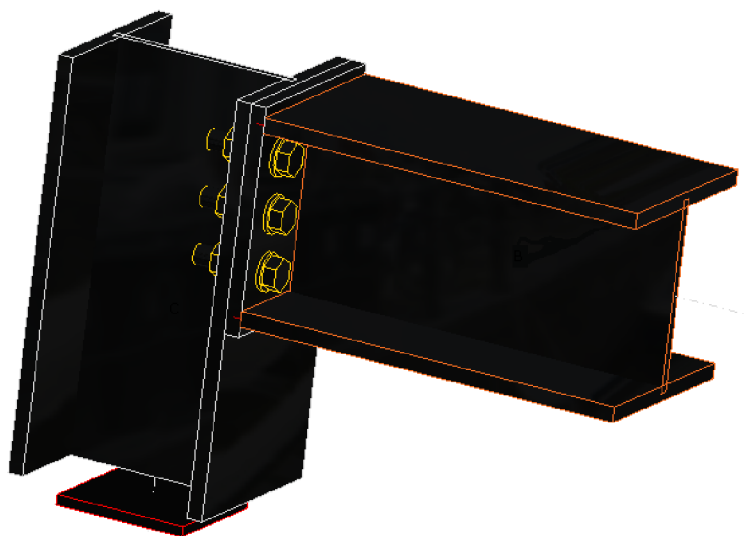
Pracovní diagram styčnicku pro odsun 30mm je na obrázku 88 a byl získán postupným zatěžováním  $M_y$ ,  $V_z$  a  $N$ . Lineární větev pracovního diagramu je pro daný styčnick je až do zatížení 115kNm. Plastická větev je pro tento případ velmi plochá a výrazně koreluje k ustálené hodnotě. Průběh pracovního diagramu odpovídá téměř idealizovanému pracovnímu diagramu styčnicku. V bodě maximálního zatížení klesla hodnota sečné tuhosti na  $S_j=2,966\text{MNm/rad}$ .

Lineární část diagramu má tuhost okolo  $S_j=16,35\text{MNm/rad}$ . Počáteční rotační tuhost spočtená metodou komponent je  $S_{j,ini}=36,686\text{MNm/rad}$ . Přestože je použité malé zatížení a výrazné ztužení nedaří se použitím programu zajistit tak vysokou tuhost jako v metodě komponent. Podle tuhosti spočtené metodou komponent je styčnick klasifikován stejně jako podle výpočtového programu čili jako polotuhý. Mezní hodnota pro klasifikaci je pro tuhý styčnick  $S_r=42,75\text{MNm/rad}$  a pro kloubový  $S_p=0,86\text{MNm/rad}$ .



Obrázek 88. Pracovní diagram svařovaného styčnicku pro odsun 30mm

## 9.9 ŠROUBOVANÝ STYČNÍK S ČELNÍ DESKOU



Obrázek 89. Model šroubovaného styčnicku s čelní deskou

Jedná se o jednoduchý typ rohového šroubovaného styčnicku čelní deskou.

### 9.9.1 Únosnost, napětí a přetvoření

#### Únosnost

Odsun (volná délka sloupu nad styčnickem, viz obr. 39) má pro daný šroubovaný styčnick čelní deskou zřetelný vliv na maximální únosnost. Ve srovnání s jednoduchým nevyztuženým svařovaným je však únosnost řádově menší.

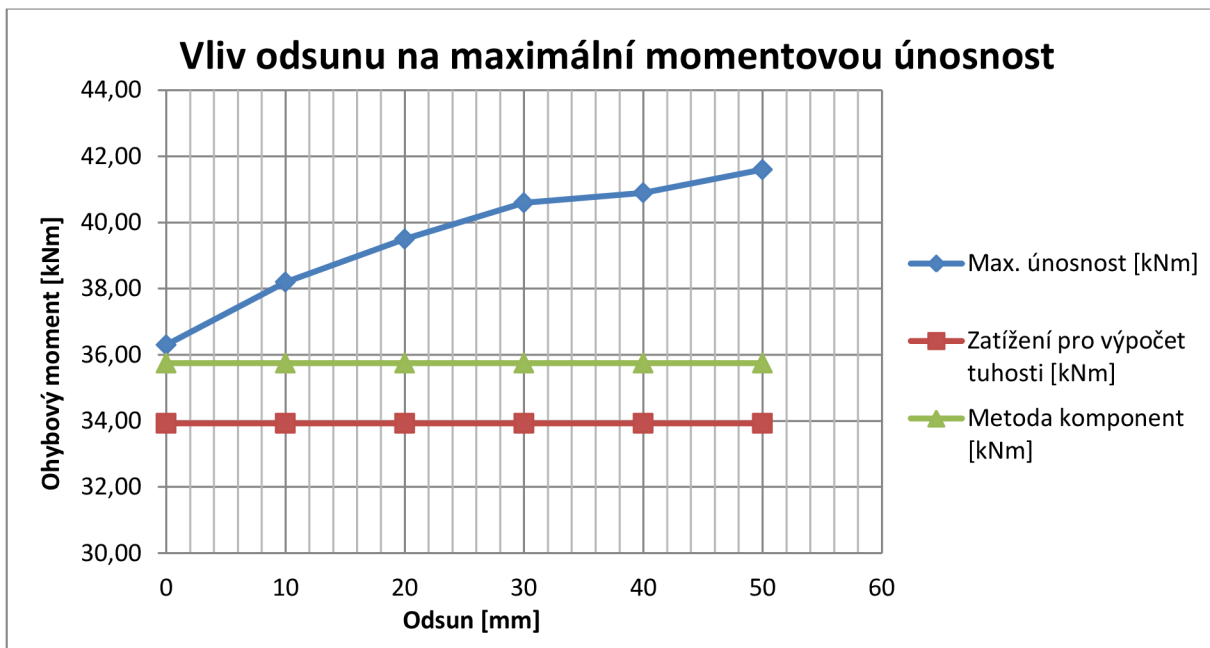
V tomto případě lze odsunem nosníku o 50mm zvýšit maximální únosnost o 14,60%. Metoda komponent nebere v úvahu vliv odsunu nosníku, proto je ve všech případech maximální únosnost stejná a to 35,75kNm. Při srovnání výsledků vyhodnocených výpočtovým programem s metodou komponent byla dosažena maximální únosnost už při nulovém odsunu a s každým dalším odsunem únosnost viditelně roste. Z hodnot únosnosti je zřetelná konvergence únosnosti s každým odsunem.

Hlavní důvod rozdílu únosnosti mezi metodou komponent a výpočtovým programem může být zohlednění plastizování styčnicku při výpočtu programem. Tím pak zvýšit maximální momentovou únosnost.

Únosnost styčnicku je popsána tabulkou 26 a obrázkem 90.

Odsun [mm]	Zatížení pro výpočet tuhosti [kNm]	Max. únosnost [kNm]	Max. únosnost Met. komponent	Metoda komponent [kNm]
0	33,93	36,3 (100,00%)	101,54%	35,75
10	33,93	38,2 (105,23%)	106,85%	35,75
20	33,93	39,5 (108,82%)	110,49%	35,75
30	33,93	40,6 (111,85%)	113,57%	35,75
40	33,93	40,9 (112,67%)	114,41%	35,75
50	33,93	41,6 (114,60%)	116,36%	35,75

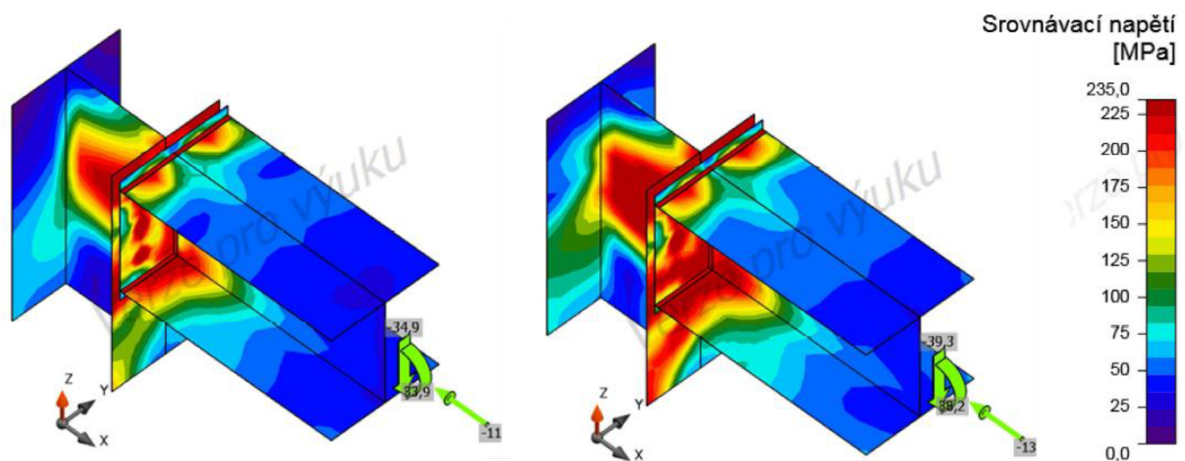
Tab. 26. Únosnost styčnicku v závislosti na odsunu nosníku



Obrázek 90. Graf únosnosti šroubového styčníku v závislosti na odsunu

Z grafického znázornění na obrázku 90 lze vidět hladký průběh zvyšování maximální únosnosti v závislosti na odsunu nosníku. Výsledky přijatelně konvergují, až na výjimku při odsunu 40mm. Hodnota je však přijatelná. Zatížení pro výpočet tuhosti je vloženo pouze pro ilustraci.

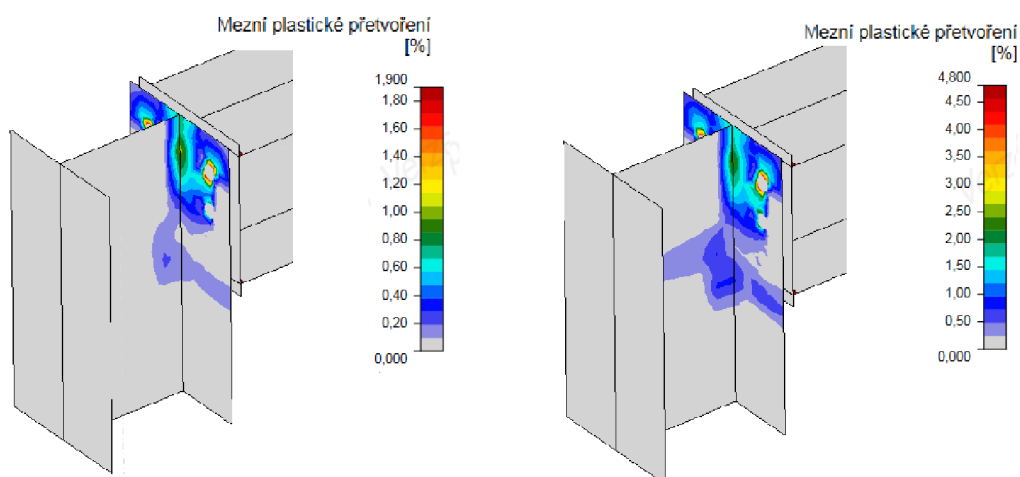
## Napětí



Obrázek 91. Srovnání napětí ve styčníku pro konstantní a maximální zatížení, odsun 10mm

Na obrázku 91 je rozložení napětí ve styčníku a na obrázku 92 je průběh plastického přetvoření pro odsun 10mm. Průběh napětí a plastického přetvoření spolu úzce souvisí. Na obrázcích vlevo je pro zajímavost uveden průběh pro konstantní zatížení. Vpravo jsou uvedeny průběhy pro maximální zatížení. Napětí překračující mez kluzu je u většiny částí styčníku. Limitní plastické přetvoření nastává u pásnice sloupu připojené k nosíku v místě otvorů pro horní šrouby.

## Přetvoření



Obrázek 92. Srovnání plastického přetvoření pro konstantní a maximální zatížení, odsun 10mm

### 9.9.2 Tuhost

Tuhost je u šroubových styčníků výrazně nižší než u svařovaných. Avšak odsun nosníku (volná délka sloupu nad styčником, viz obr. 39) má velký vliv na růst rotační tuhosti styčniku.

Z hodnot v tabulce 27 lze pozorovat nárůst tuhosti s nárůstem odsunu. Zprvu je vliv odsunu poměrně vysoký, ale s každým dalším odsunem tuhost konverguje k ustálené hodnotě, podobně jako u nevyztuženého svařovaného styčniku. Kdyby se odsun stále zvyšoval, tak se po určité vzdálenosti tuhost ustálí. Jediná hodnota, která vystupuje z korelace je tuhost při odsunu 30mm, ta je však v přijatelných mezích. Při odsunu 50mm byla zvýšená tuhost o 67,49%.

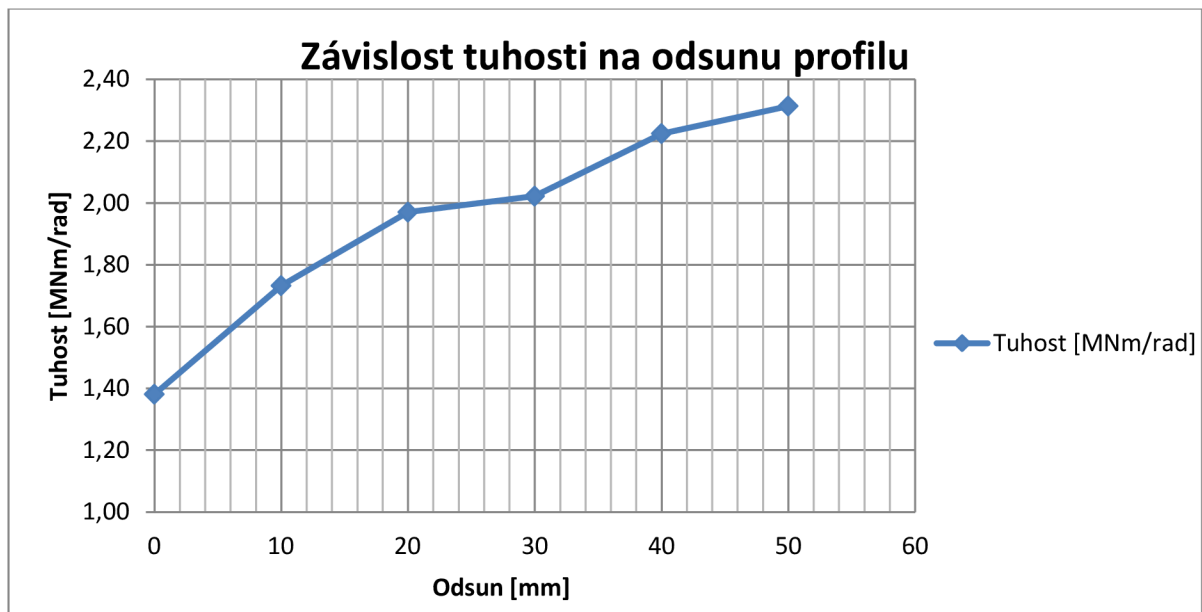
Hlavní vliv na rotační tuhost styčniku má velikost ohybového momentu  $M_y$ . Vliv posouvající síly  $V_z$  je zanedbatelný na rozdíl od normálové síly  $N$ . Působí-li normálová síla  $N$  směrem do styčniku jako v tomto případě, tak má vliv na zvýšení rotační tuhosti asi o 10%. Konkrétní hodnoty zatížení pro výpočet tuhosti jsou uvedeny v kapitole 9.

Dle výpočtového programu je styčnik klasifikován jako polotuhý. Mezní hodnota klasifikace pro tuhý styčnik je  $S_r=42,7\text{MNm/rad}$  a mezní hodnota klasifikace pro kloubový styčnik je  $S_p=0,9\text{MNm/rad}$ . Klasifikace styčniku záleží na konkrétní konstrukci.

Grafické znázornění tuhosti v závislosti zkoumaného styčniku je na obrázku 93.

Odsun [mm]	Zatížení pro výpočet tuhosti [kNm]	Pootočení [mrad]	Tuhost [MNm/rad]	Procentuální zvyšování tuhosti
0	33,93	24,564	1,3813	100,00%
10	33,93	19,586	1,7324	125,42%
20	33,93	17,221	1,9703	142,64%
30	33,93	16,781	2,0219	146,38%
40	33,93	15,254	2,2243	161,03%
50	33,93	14,666	2,3135	167,49%

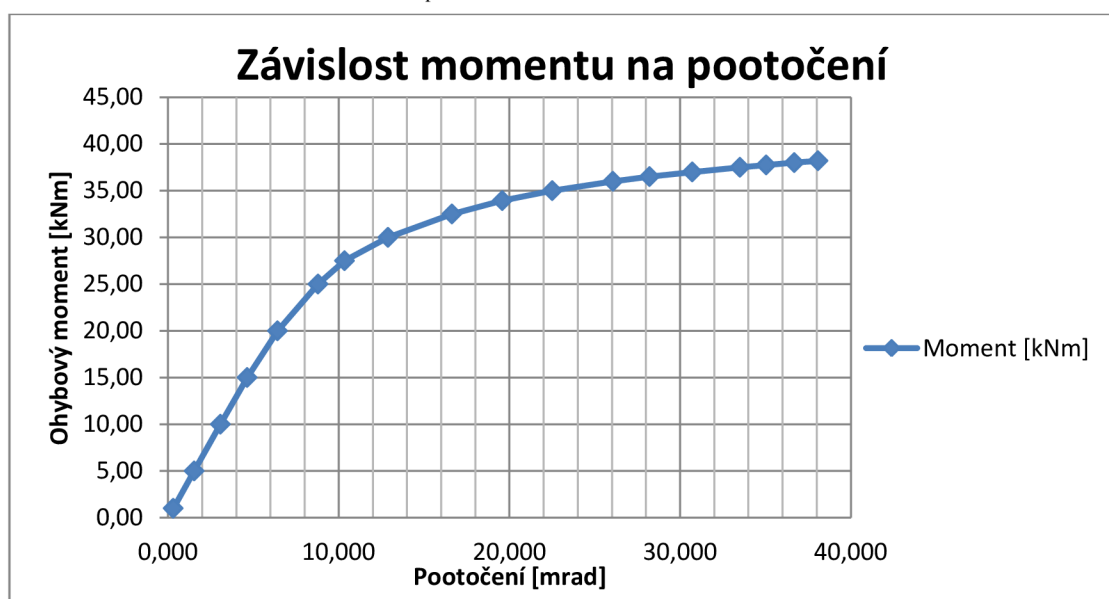
Tab. 27. Tuhost styčniku v závislosti na odsunu nosníku



Obrázek 93. Graf závislosti tuhosti na odsunu nosníku pro vnitřní síly  $M_y$ ,  $V_z$  a  $N$

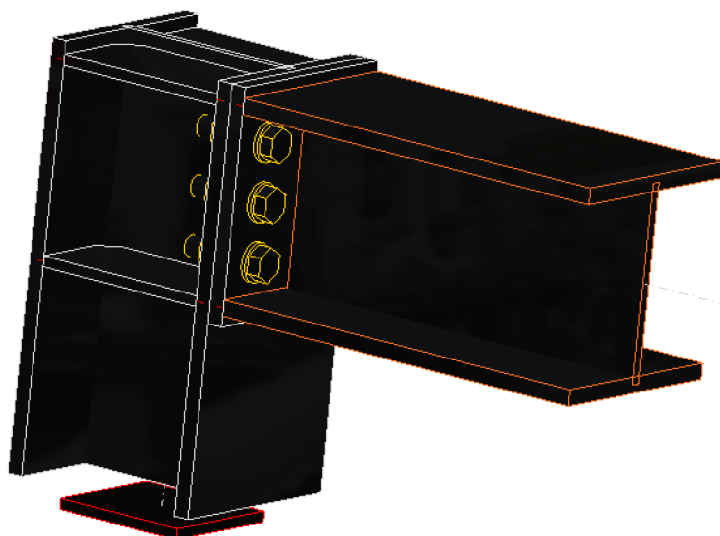
Pracovní diagram styčnicku pro odsun 10mm je na obrázku 94 a byl získán postupným zatěžováním  $M_y$ ,  $V_z$  a  $N$ . Lineární větev pracovního diagramu je u tohoto styčnicku velmi krátká, končí zhruba u ohybového momentu i hodnotě 20kNm. Zbytek diagramu zaujímá plastická větev, která je v poměru k lineární větvi asi největší ze všech zkoumaných styčnicků, v závěru dostatečně konverguje. V bodě maximálního zatížení klesla hodnota sečné tuhosti na  $S_j=1,003\text{MNm/rad}$ .

Lineární část diagramu má tuhost okolo  $S_j=3,25\text{MNm/rad}$ . Počáteční rotační tuhost spočtená metodou komponent je  $S_{j,\text{ini}}=5,746\text{MNm/rad}$ . Porovnáním výsledů získaných programem a metodou komponent bylo modelováním dosaženo nejbližší rotační tuhosti. Podle tuhosti spočtené metodou komponent je styčnick klasifikován stejně jako podle výpočtového programu čili jako polotuhý. Mezní hodnota pro klasifikaci je pro tuhý styčnick  $S_r=42,75\text{MNm/rad}$  a pro kloubový  $S_p=0,86\text{MNm/rad}$ .



Obrázek 94. Pracovní diagram šroubového styčnicku pro odsun 10mm

## 9.10 ŠROUBOVANÝ STYČNÍK S ČELNÍ DESKOU A PŘÍČNÝMI VÝZTUHAMÍ



Obrázek 95. Model šroubovaného styčnicku s čelní deskou a příčnými výztuhami

Tento model styčnicku byl vyztužen příčnou výztuhou sloupu v rovinách pásnic připojovaného nosníku. Tloušťka výztuhy je 10mm a osová vzdálenost výztuh je 190mm.

### 9.10.1 Únosnost, napětí a přetvoření

#### Únosnost

Použití výztuhy u šroubového styčnicku má velký vliv na maximální únosnost. Oproti předchozímu případu je maximální únosnost vyšší. Při použití příčné výztuhy už nemá odsun (volná délka sloupu nad styčnickem, viz obr. 39) tak velký vliv na únosnost styčnicku

V tomto případě lze odsunem nosníku o 50mm zvýšit maximální únosnost pouze o 3,61%. Což je ve srovnání s předchozím případem hodnota zanedbatelná. Jelikož metoda komponent nepočítá s vlivem odsunu nosníku a i přes zahrnutí příčné výztuhy do výpočtu stále o maximální únosnosti spočtené metodou komponent rozhoduje jiná komponenta, čili stanovená únosnost se nemění a je 35,75kNm. Průběh nárůstu únosnosti je téměř lineární, pouze hodnota únosnosti při odsunu 10mm je nižší než při nulovém odsunu. Tato anomálie bude popsána dále u tuhosti styčnicku.

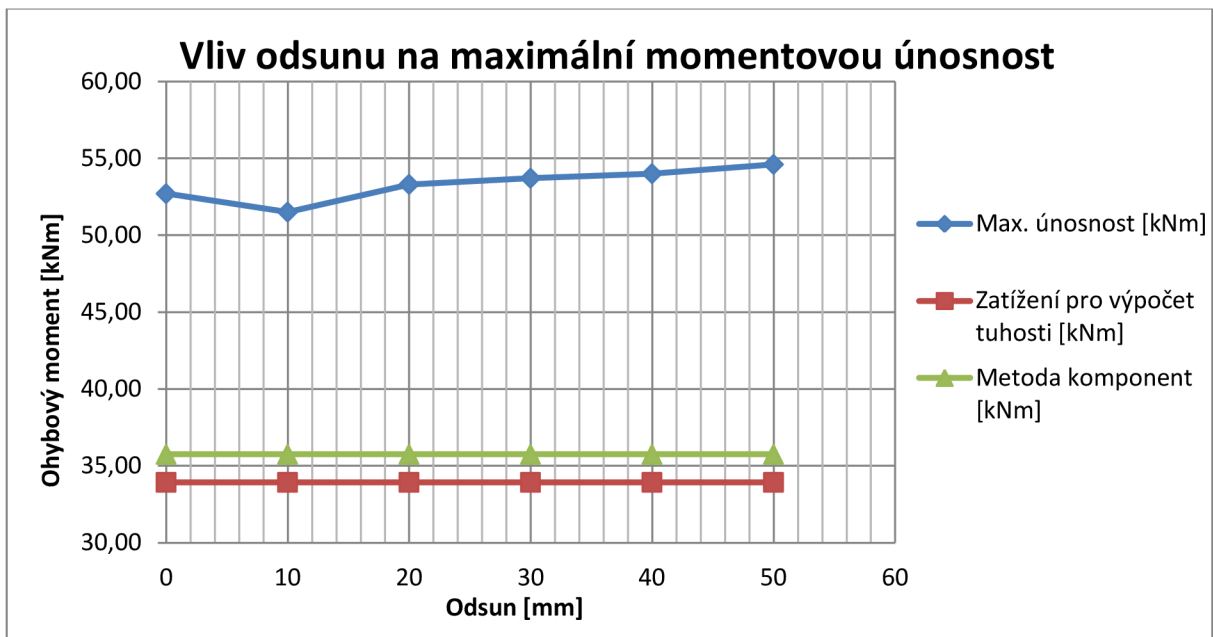
Vzhledem k výsledkům je hodnota maximální únosnosti daná výpočtovým programem vyšší už při nulovém odsunu než hodnota únosnosti spočtená metodou komponent.

Únosnost styčnicku je popsána tabulkou 28 a obrázkem 96.

Odsun [mm]	Zatížení pro výpočet tuhosti [kNm]	Max. únosnost [kNm]	Max. únosnost Met. komponent	Metoda komponent [kNm]
0	33,93	52,7 (100,00%)	147,41%	35,75
10	33,93	51,5 (97,72%)	144,06%	35,75
20	33,93	53,3 (101,14%)	149,09%	35,75
30	33,93	53,7 (101,90%)	150,21%	35,75
40	33,93	54,0 (102,47%)	151,05%	35,75
50	33,93	54,6 (103,61%)	152,73%	35,75

Tab. 28. Únosnost styčnicku v závislosti na odsunu nosníku

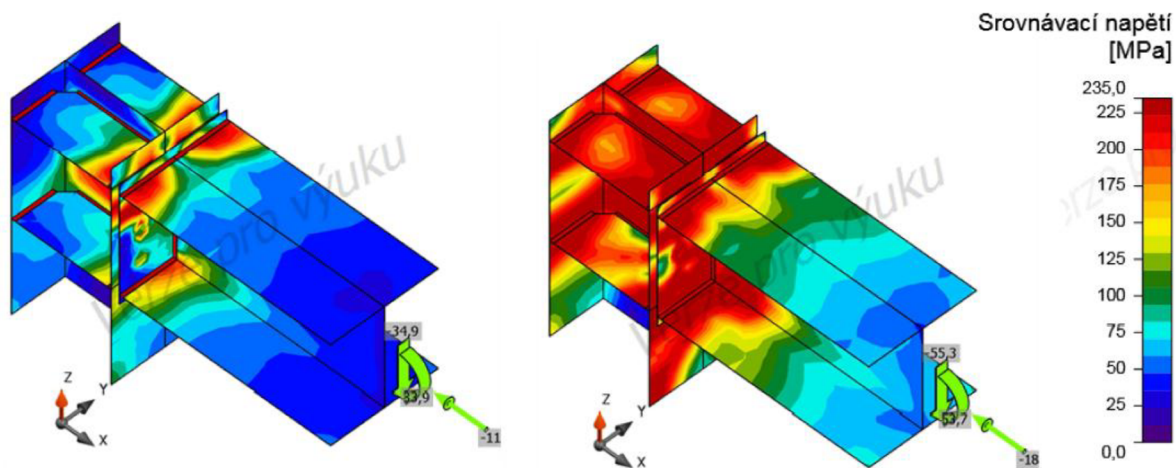




Obrázek 96. Graf únosnosti šroubového styčnicku v závislosti na odsunu

Z grafického znázornění na obrázku 96 je zřetelný nárůst maximální únosnosti až na nepříznivý výsledek při odsunu 10mm. Zatížení pro výpočet tuhosti je vloženo pouze pro ilustraci.

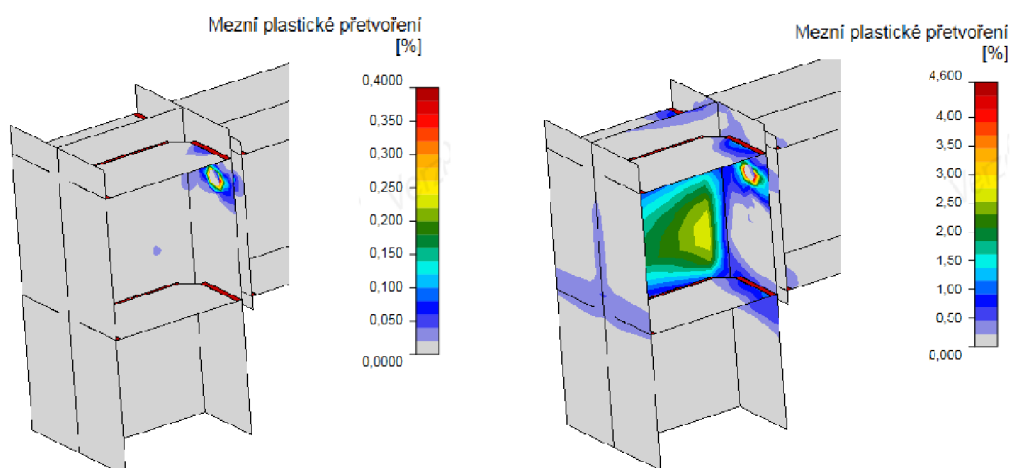
## Napětí



Obrázek 97. Srovnání napětí ve styčnicku pro konstantní a maximální zatížení, odsun 30mm

Na obrázku 97 je rozložení napětí ve styčnicku a na obrázku 98 je průběh plastického přetvoření pro odsun 30mm. Průběh napětí a plastického přetvoření spolu úzce souvisí. Na obrázcích vlevo je pro zajímavost uveden průběh pro konstantní zatížení. Vpravo jsou uvedeny průběhy pro maximální zatížení. Díky příčné výztuze se dostává napětí ve všech částech styčnicku za mez kluzu. Limitní plastické přetvoření nastává opět u pásnice sloupu připojené k nosíku v místě otvorů pro horní šrouby.

## Přetvoření



Obrázek 98. Srovnání plastického přetvoření pro konstantní a maximální zatížení, odsun 30mm

### 9.10.2 Tuhost

Díky příčným výztuhám se celková tuhost styčnicku více než zdvojnásobila ve srovnání s předchozím modelem styčnicku, ale pořád je tuhost podstatně nižší než u svařovaných přípojí.

Z hodnot v tabulce 29 lze pozorovat nepatrný nárůst tuhosti s nárůstem odsunu (volné délky sloupu nad styčnickem, viz obr. 39). Při odsunu 10mm a 20mm lze pozorovat nepřírozené tuhosti. Zvláštnímu chování při odsunu 10mm a 20mm by bylo třeba se podrobně věnovat, je to však mimo rozsah diplomové práce. Možným vysvětlením je konkrétní výpočtový model včetně výpočtového modelu svaru, jehož celková konfigurace může u daného odsunu způsobovat nestandardní chování. (program IDEA RS neumožňuje náhled skutečného výpočtového modelu). Změna tuhosti je však velmi malá a z přiložených hodnot nelze přesně určit zda-li je odsun přínosný pro zvyšování tuhosti. Při odsunu 50mm byla zvýšená tuhost o 4,05%.

Konkrétní hodnoty zatížení pro výpočet tuhosti jsou uvedeny v kapitole 9.

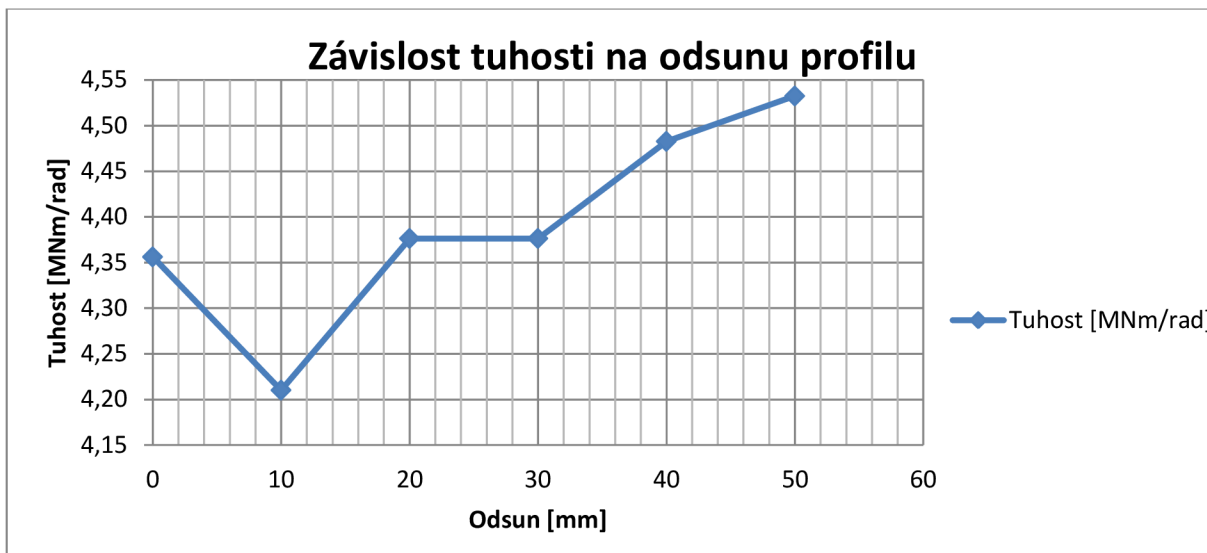
Dle výpočtového programu je styčnick klasifikován jako polotuhý. Mezní hodnota klasifikace pro tuhý styčnick je  $S_r=42,7\text{MNm/rad}$  a mezní hodnota klasifikace pro kloubový styčnick je  $S_p=0,9\text{MNm/rad}$ . Klasifikace styčnicku záleží na konkrétní konstrukci.

Grafické znázornění tuhosti v závislosti zkoumaného styčnicku je na obrázku 99.

Odsun [mm]	Zatížení pro výpočet tuhosti [kNm]	Pootočení [mrad]	Tuhost [MNm/rad]	Procentuální zvyšování tuhosti
0	33,93	7,789	4,3561	100,00%
10	33,93	8,059	4,2102	96,65%
20	33,93	7,753	4,3764	100,46%
30	33,93	7,753	4,3764	100,46%
40	33,93	7,569	4,4828	102,91%
50	33,93	7,486	4,5325	104,05%

Tab. 29. Tuhost styčnicku v závislosti na odsunu nosníku

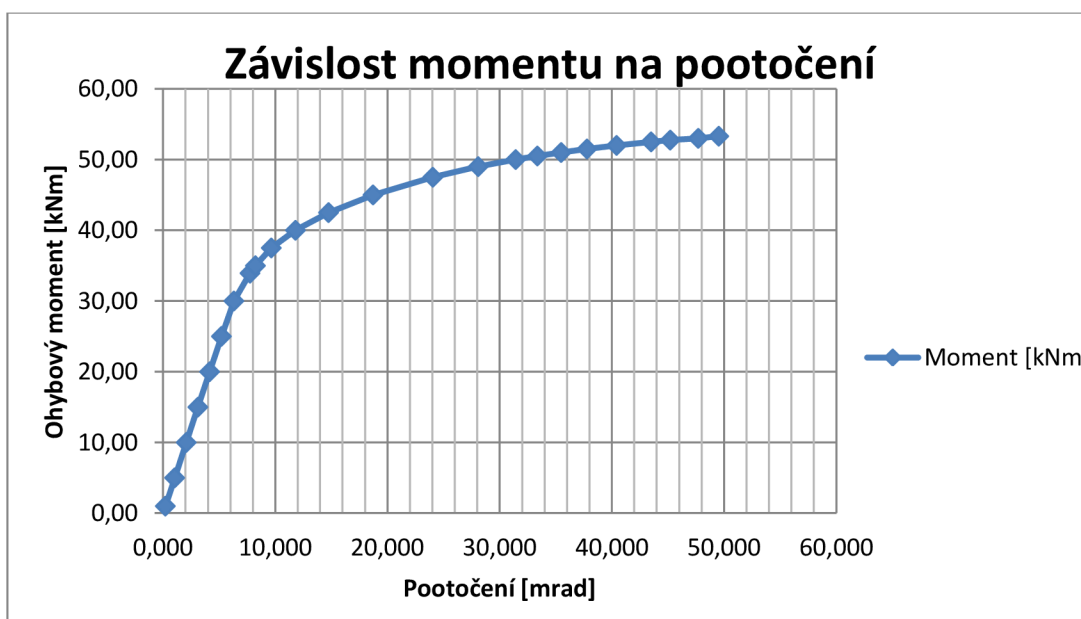




Obrázek 99. Graf závislosti tuhosti na odsunu nosníku pro vnitřní síly  $M_y$ ,  $V_z$  a  $N$

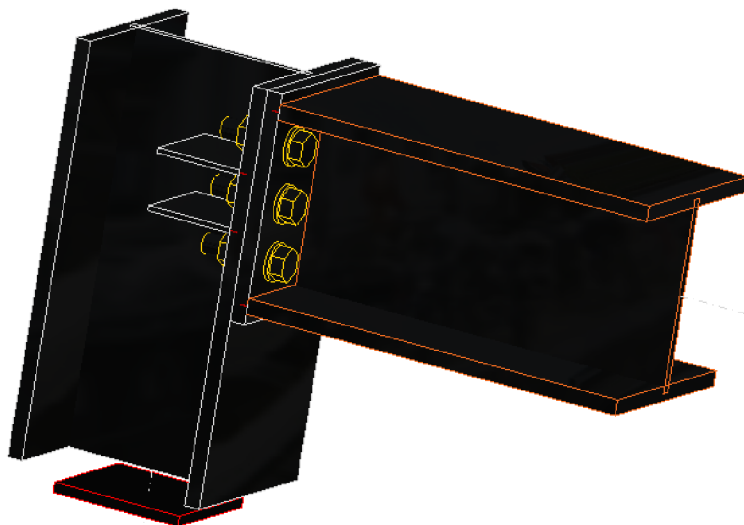
Pracovní diagram styčnicku pro odsun 30mm je na obrázku 100 a byl získán postupným zatěžováním  $M_y$ ,  $V_z$  a  $N$ . Díky příčným výztuhám se lineární větev protáhla až na hodnotu momentu 30kNm. Plastická větev stejně jako v předchozím příkladu zaujímá velkou část pracovního diagramu styčnicku a přes velký sklon plastické větve pracovní diagram v závěru dostatečně konverguje. V bodě maximálního zatížení klesla hodnota sečné tuhosti na  $S_j=2,039\text{MNm/rad}$ .

Lineární část diagramu má tuhost okolo  $S_j=4,80\text{MNm/rad}$ . Počáteční rotační tuhost spočtená metodou komponent je  $S_{j,ini}=7,795\text{MNm/rad}$ . Ze srovnání výsledků vyplývá, že tuhost zjištěná programem je stále podstatně nižší než tuhosti spočtené metodou komponent. Podle tuhosti spočtené metodou komponent je styčnick klasifikován stejně jako podle výpočtového programu čili jako polotuhý. Mezní hodnota pro klasifikaci je pro tuhý styčnick  $S_r=42,75\text{MNm/rad}$  a pro kloubový  $S_p=0,86\text{MNm/rad}$ .



Obrázek 100. Pracovní diagram šroubového styčnicku pro odsun 30mm

## 9.11 ŠROUBOVANÝ STYČNÍK S ČELNÍ DESKOU S VÝZTUHAMÍ MEZI ŠROUBY NA SLOUPU



Obrázek 101. Model šroubovaného styčnicku s čelní deskou s výztuhami mezi šrouby na sloupu

Tento model styčnicku byl vyztužen výztuhami mezi šrouby proti skupinovému porušení šroubu. O rozměru 95x85mm a tloušťka výztuhy je 5mm.

### 9.11.1 Únosnost, napětí a přetvoření

#### Únosnost

Použitý výztuh mezi šrouby by mělo zamezit skupinovému porušení šrouby a tím zvýšit maximální únosnost styčnicku. Odsun nosníku (volná délka sloupu nad styčnickem, viz obr. 39) má znatelný vliv na maximální únosnost styčnicku.

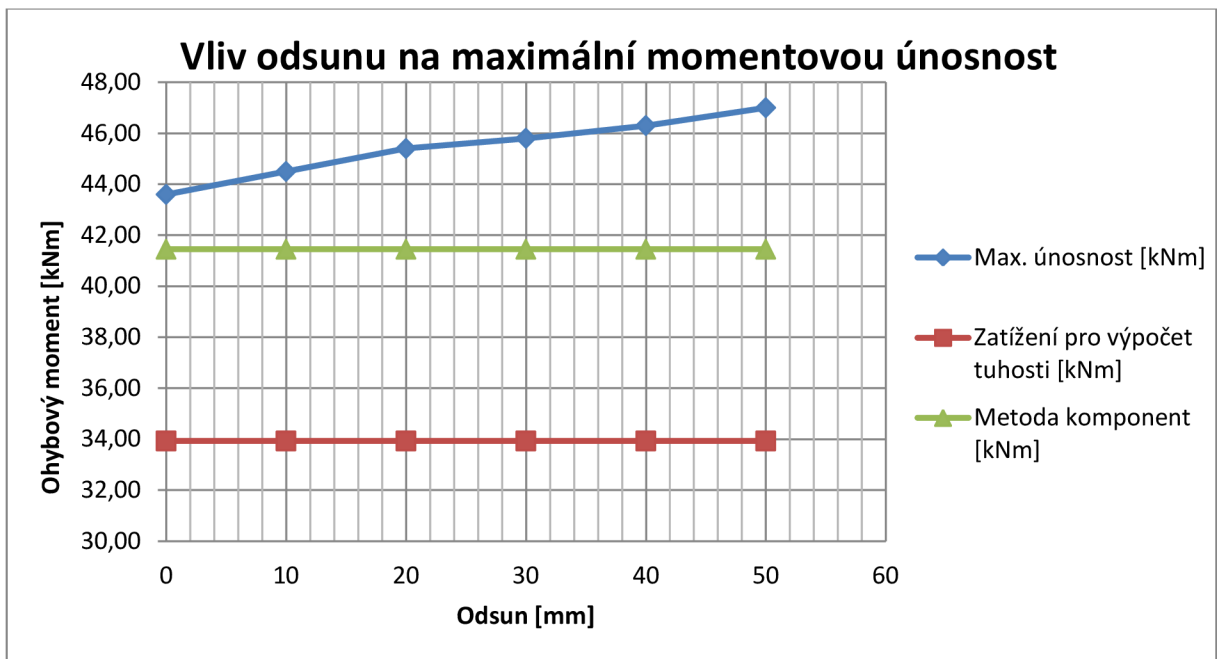
V tomto případě lze odsunem nosníku o 50mm zvýšit maximální únosnost o 7,80%. Metoda komponent zohledňuje použití výztuhy proti skupinovému porušení šroubu, pro tento případ však rozhoduje jiná komponenta, která však zvedla únosnost dle metody komponent na 41,45kNm. Dle výsledků je zřejmé, že hodnoty maximální únosnosti zjištěné výpočtovým programem jsou už při nulovém odsunu vyšší než u metody komponent.

Ve srovnání s nevyztuženým šroubovaným styčnickem je maximální únosnost styčnicku viditelně vyšší. Relativní změna únosnosti je však nižší.

Únosnost styčnicku je popsána tabulkou 30 a obrázkem 102.

Odsun [mm]	Zatížení pro výpočet tuhosti [kNm]	Max. únosnost [kNm]	Max. únosnost Met. komponent	Metoda komponent [kNm]
0	33,93	43,6 (100,00%)	105,19%	41,45
10	33,93	44,5 (102,06%)	107,36%	41,45
20	33,93	45,4 (104,13%)	109,53%	41,45
30	33,93	45,8 (105,05%)	110,49%	41,45
40	33,93	46,3 (106,19%)	111,70%	41,45
50	33,93	47,0 (107,80%)	113,39%	41,45

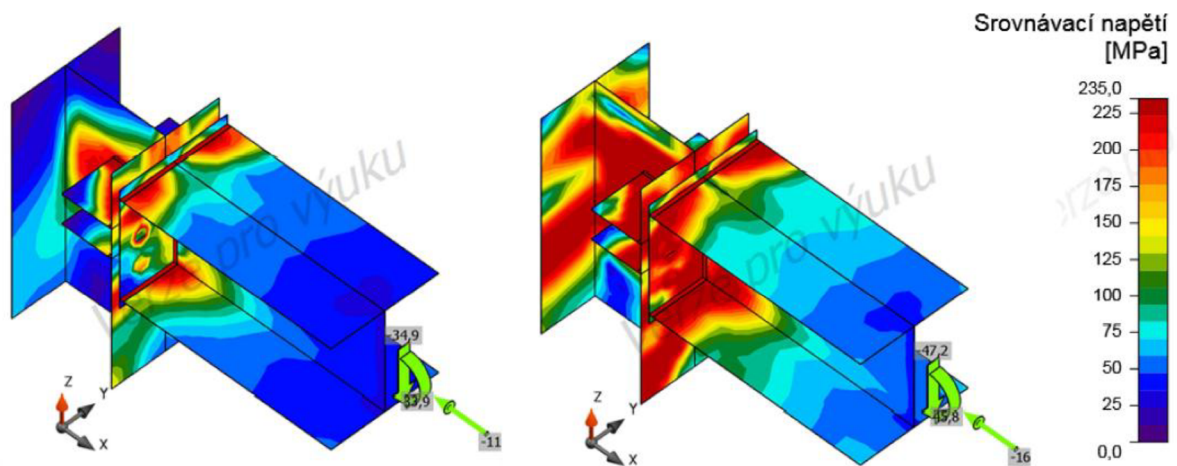
Tab. 30. Únosnost styčnicku v závislosti na odsunu nosníku



**Obrázek 102. Graf únosnosti šroubového styčnicku v závislosti na odsunu**

Z grafického znázornění na obrázku 102 lze pozorovat téměř lineární průběh zvyšování maximální únosnosti bez patrných výkyvů. Zatížení pro výpočet tuhosti je vloženo pouze pro ilustraci.

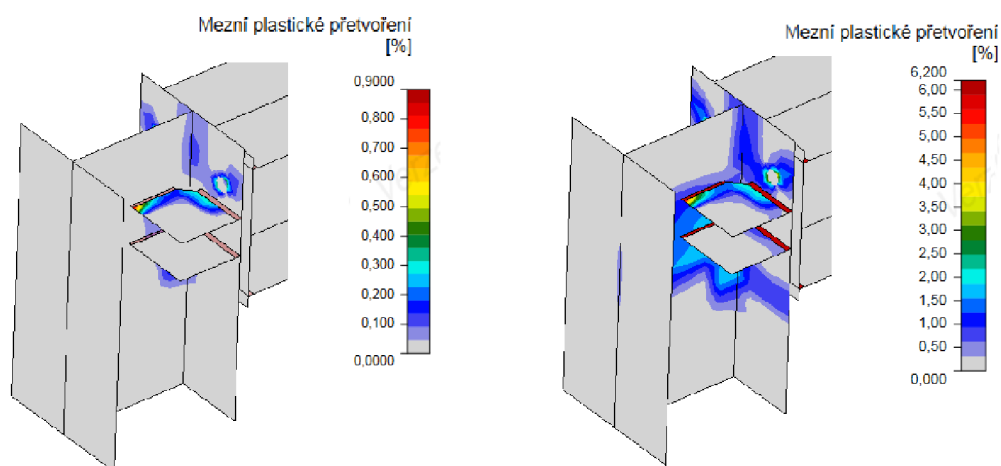
## Napětí



**Obrázek 103. Srovnání napětí ve styčnicku pro konstantní a maximální zatížení, odsun 30mm**

Na obrázku 103 je rozložení napětí ve styčnicku a na obrázku 104 je průběh plastického přetvoření pro odsun 30mm. Průběh napětí a plastického přetvoření spolu úzce souvisí. Na obrázcích vlevo je pro zajímavost uveden průběh pro konstantní zatížení. Vpravo jsou uvedeny průběhy pro maximální zatížení. Napětí se dostává za mez kluzu ve všech částech styčnicku. K limitnímu plastickému přetvoření dochází v horní výztuze v místě kontaktu se stojinou sloupu.

## Přetvoření



Obrázek 104. Srovnání plastického přetvoření pro konstantní a maximální zatížení, odsun 30mm

### 9.11.2 Tuhost

Výztuha proti skupinovému porušení šroubů, částečně zvyšuje i tuhost styčnicku. Ve srovnání se styčnickem vyztuženým příčnými výztuhami je tuhost menší, ale ve srovnání s nevyztuženým šroubovým styčnickem je tuhost téměř dvakrát vyšší. Odsun (volná délka sloupu nad styčnickem, viz obr. 39) má velký vliv na relativní zvýšení tuhosti styčnicku.

Z hodnot v tabulce 31 lze pozorovat nárůst tuhosti s nárůstem odsunu. Ve srovnání s nevyztuženým šroubovým styčnickem je změna tuhosti malá, je to patrně dáno použitím výztuhy. Na grafickém znázornění lze pozorovat mírnou konvergenci u posledních odsunů. Při odsunu 50mm byla zvýšená tuhost o 18,20%.

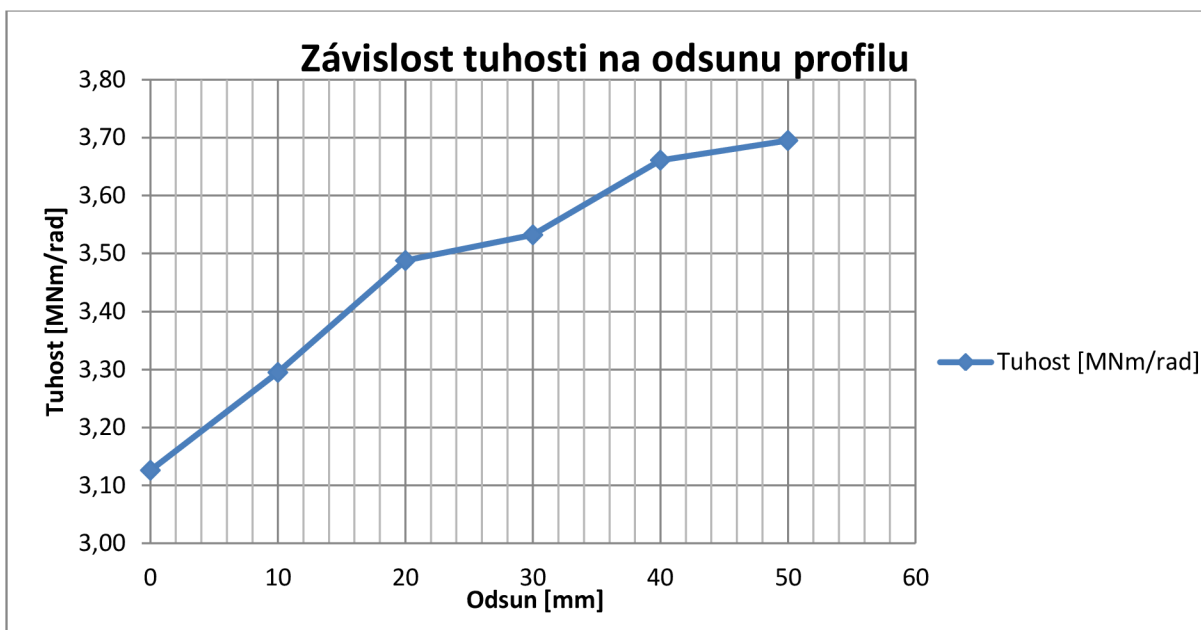
Hlavní vliv na rotační tuhost styčnicku má velikost ohybového momentu  $M_y$ . Vliv posouvající síly  $V_z$  je zanedbatelný na rozdíl od normálové síly  $N$ . Působí-li normálová síla  $N$  směrem do styčnicku jako v tomto případě, tak má vliv na zvýšení rotační tuhosti asi o 10%. Konkrétní hodnoty zatížení pro výpočet tuhosti jsou uvedeny v kapitole 9.

Dle výpočtového programu je styčnick klasifikován jako polotuhý. Mezní hodnota klasifikace pro tuhý styčnick je  $S_r=42,7\text{MNm/rad}$  a mezní hodnota klasifikace pro kloubový styčnick je  $S_p=0,9\text{MNm/rad}$ . Klasifikace styčnicku záleží na konkrétní konstrukci.

Grafické znázornění tuhosti v závislosti zkoumaného styčnicku je na obrázku 105.

Odsun [mm]	Zatížení pro výpočet tuhosti [kNm]	Pootočení [mrad]	Tuhost [MNm/rad]	Procentuální zvyšování tuhosti
0	33,93	10,854	3,1260	100,00%
10	33,93	10,298	3,2948	105,40%
20	33,93	9,728	3,4879	111,57%
30	33,93	9,606	3,5322	112,99%
40	33,93	9,268	3,6610	117,11%
50	33,93	9,183	3,6949	118,20%

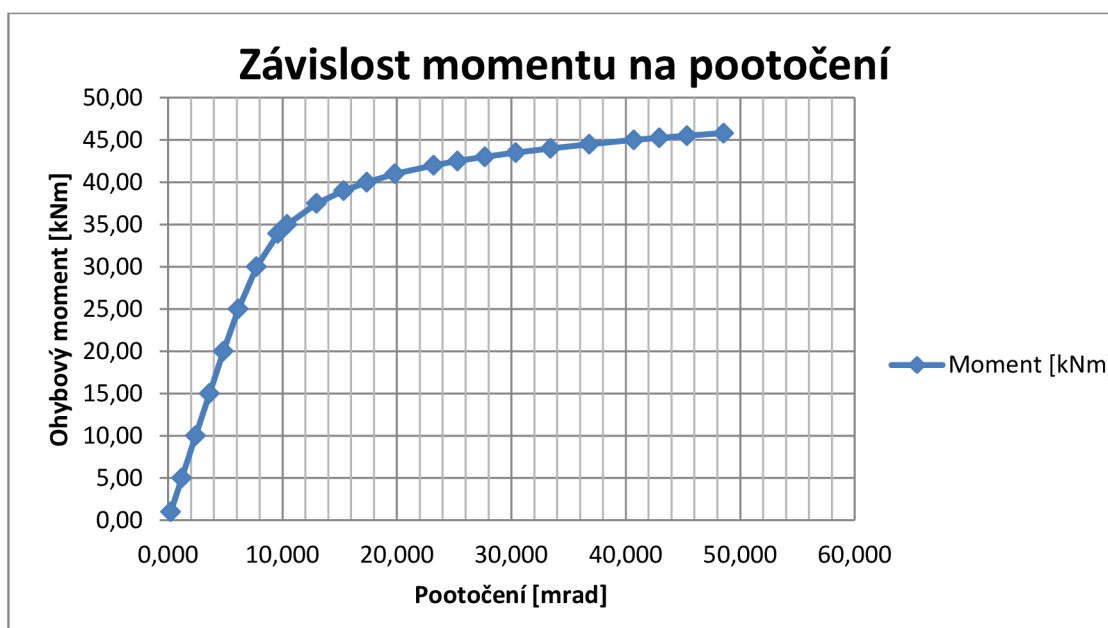
Tab. 31. Tuhost styčnicku v závislosti na odsunu nosníku



Obrázek 105. Graf závislosti tuhosti na odsunu nosníku pro vnitřní síly  $M_y$ ,  $V_z$  a  $N$

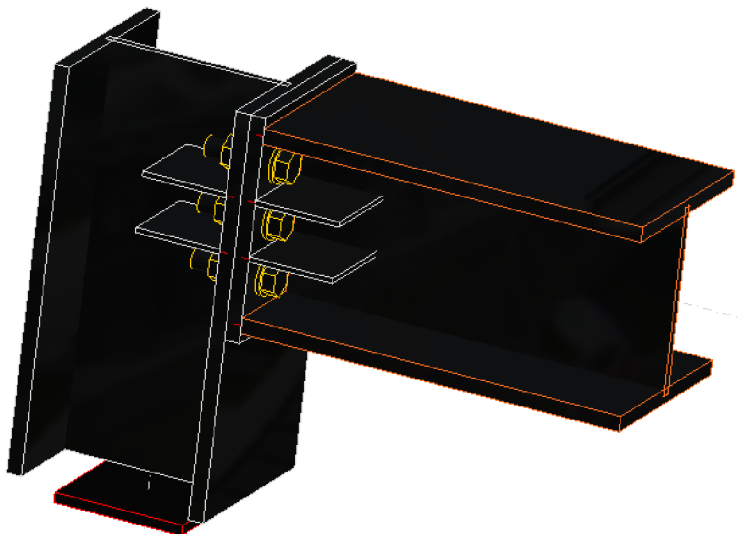
Pracovní diagram styčnicku pro odsun 30mm je na obrázku 106 a byl získán postupným zatěžováním  $M_y$ ,  $V_z$  a  $N$ . Lineární větev vede až do zatížení 30kNm. Plastická část diagramu už nezaujímá tak velkou část pracovního diagramu a výsledky lépe konvergují k ustálené hodnotě. V bodě maximálního zatížení klesla hodnota sečné tuhosti na  $S_j=0,930\text{MNm/rad}$ .

Lineární část diagramu má tuhost okolo  $S_j=4,10\text{MNm/rad}$ . Počáteční rotační tuhost spočtená metodou komponent je  $S_{j,ini}=7,137\text{MNm/rad}$ . Srovnáním výsledků lze usuzovat, že tuhost zjištěná výpočetním programem je stále na 60% rotační tuhosti zjištěné metodou komponent. Podle tuhosti spočtené metodou komponent je styčnick klasifikován stejně jako podle výpočtového programu čili jako polotuhý. Mezní hodnota pro klasifikaci je pro tuhý styčnick  $S_r=42,75\text{MNm/rad}$  a pro kloubový  $S_p=0,86\text{MNm/rad}$ .



Obrázek 106. Pracovní diagram šroubového styčnicku pro odsun 30mm

## 9.12 ŠROUBOVANÝ STYČNÍK S ČELNÍ DESKOU S VÝZTUHAMÍ MEZI ŠROUBY NA SLOUPU A ČELNÍ DESCE



Obrázek 107. Model šroubovaného styčnicku s čelní deskou s výztuhami mezi šrouby na sloupu a čelní desce

Tento model styčnicku byl vyztužen výztuhami mezi šrouby proti skupinovému porušení šroubu i na čelní desce. O rozměru 95x85mm a tloušťka výztuhy je 5mm.

### 9.12.1 Únosnost, napětí a přetvoření

#### Únosnost

Použití výztuhy proti skupinovému porušení i na čelní desce neplní účel tak jako použití těchto výztuh na sloupu, bylo však otázkou jestli ovlivní maximální únosnost styčnicku. S odsunem (volnou délkou sloupu nad styčnickem, viz obr. 39) se maximální únosnost zvyšuje obdobně jako u předchozího modelu styčnicku.

V tomto případě lze odsunem nosníku o 50mm zvýšit maximální únosnost o 8,47%. Metoda komponent nezohledňuje použití dodatečné výztuhy na čelní desce, takže postup výpočtu pro zjištění maximální únosnosti podle metody komponent je stejná jako v předchozím případě a to 41,45kNm. S ohledem na hodnoty je patrné že i při nulovém odsunu je maximální momentová únosnost získaná programem vyšší než z metody komponent.

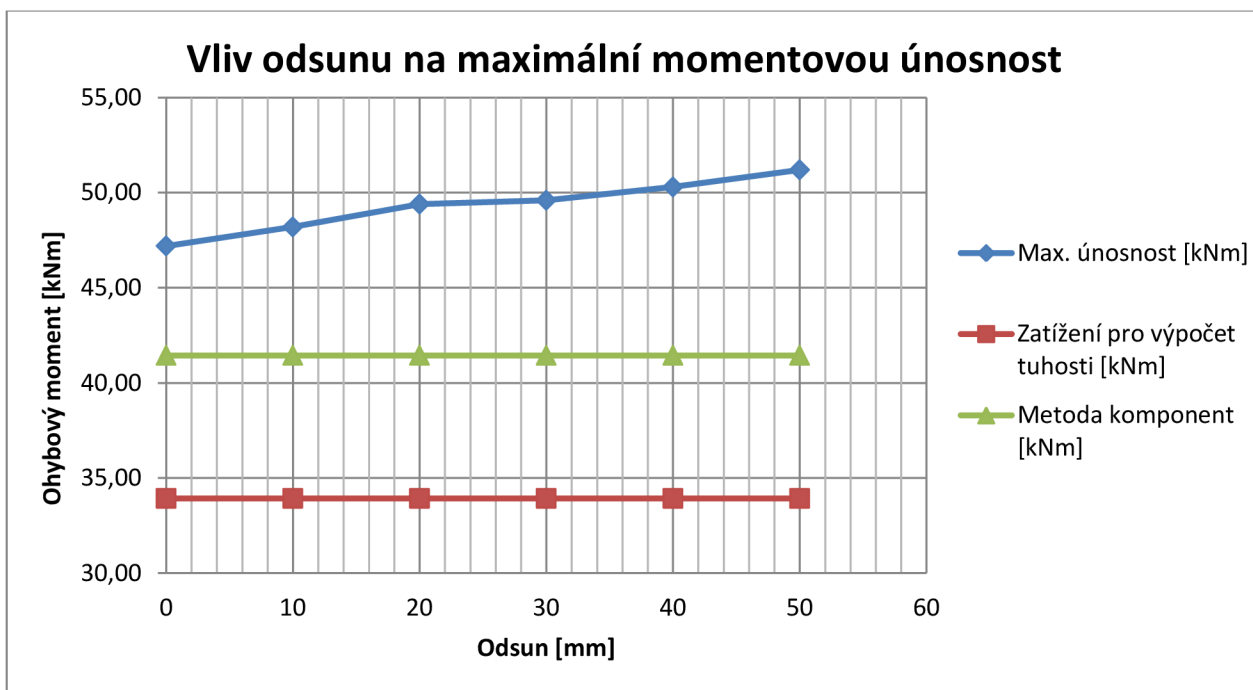
Ve srovnání s předchozím případem je průběh výsledků obdobný, akorát je jejich hodnota částečně vyšší, což bylo předmětem analýzy styčnicku.

Únosnost styčnicku je popsána tabulkou 32 a obrázkem 108.

Odsun [mm]	Zatížení pro výpočet tuhosti [kNm]	Max. únosnost [kNm]	Max. únosnost Met. komponent	Metoda komponent [kNm]
0	33,93	47,2 (100,00%)	113,87%	41,45
10	33,93	48,2 (102,12%)	116,28%	41,45
20	33,93	49,4 (104,66%)	119,18%	41,45
30	33,93	49,6 (105,08%)	119,66%	41,45
40	33,93	50,3 (106,57%)	121,35%	41,45
50	33,93	51,2 (108,47%)	123,52%	41,45

Tab. 32. Únosnost styčnicku v závislosti na odsunu nosníku

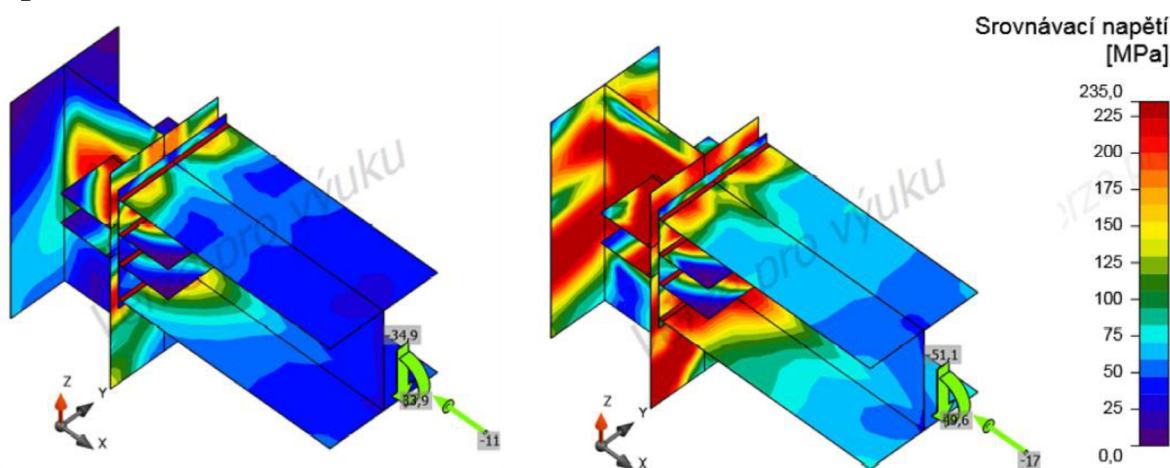




**Obrázek 108. Graf únosnosti šroubového styčnicku v závislosti na odsunu**

Z grafického znázornění na obrázku 108 lze vidět, že průběh zvyšování maximální únosnosti odsunem nosníku je velmi podobný jako v předchozím případě, bez jakýchkoli výkyvů. Zatížení pro výpočet tuhosti je vloženo pouze pro ilustraci.

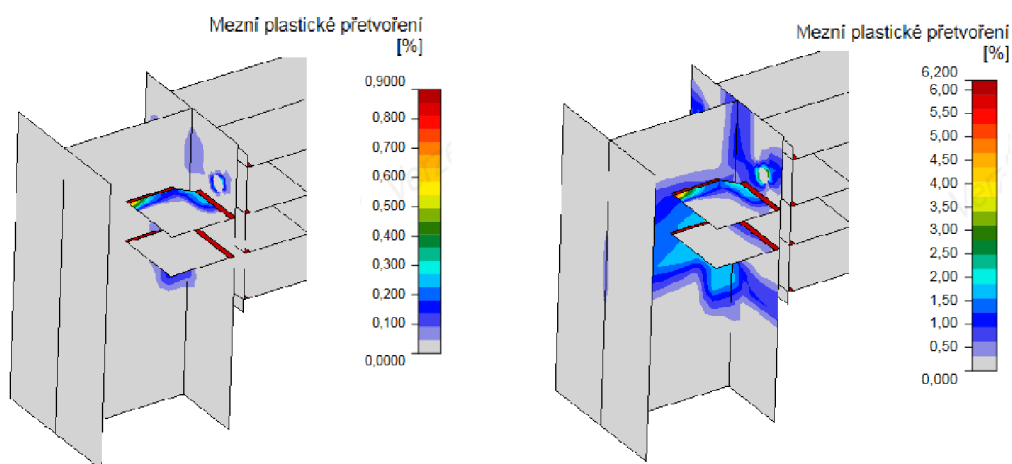
## Napětí



**Obrázek 109. Srovnání napětí ve styčnicku pro konstantní a maximální zatížení, odsun 30mm**

Na obrázku 109 je rozložení napětí ve styčnicku a na obrázku 110 je průběh plastického přetvoření pro odsun 30mm. Průběh napětí a plastického přetvoření spolu úzce souvisí. Na obrázcích vlevo je pro zajímavost uveden průběh pro konstantní zatížení. Vpravo jsou uvedeny průběhy pro maximální zatížení. Všechny části styčnicku kromě dolních výztuh a stojiny připojovaného nosníku se dostávají za mez kluzu. Limitní plastické přetvoření je, stejně jako v předchozím případě, v horní výztuze na sloupu.

## Přetvoření



Obrázek 110. Srovnání plastického přetvoření pro konstantní a maximální zatížení, odsun 30mm

### 9.12.2 Tuhost

I když by použití výztuh proti skupinovému porušení na čelní desce nemělo mít podle metody komponent žádný vliv na ovlivnění tuhosti, tak jejich použití zřetelně zvedlo tuhost styčnicku.

Z hodnot v tabulce 33 lze vidět postupný nárůst tuhosti vlivem odsunu (volné délky sloupu nad styčnickem, viz obr. 39). Relativní rozdíl tuhosti při odsunu je částečně menší než v předchozím případě, ale hodnota tuhosti je, jak již bylo řečeno, vyšší. Z grafického znázornění je viditelná konvergence hodnot k ustálené hodnotě, takže dalšími odsuny by se hodnota tuhosti postupně ustálila.

Konkrétní hodnoty zatížení pro výpočet tuhosti jsou uvedeny v kapitole 9.

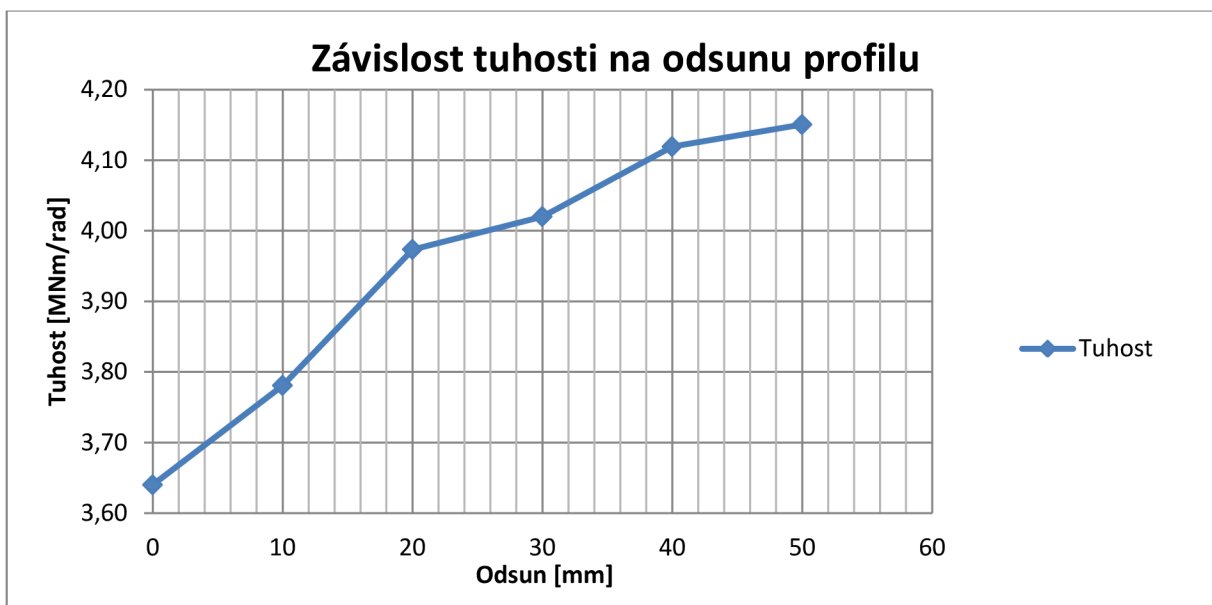
Dle výpočtového programu je styčnick klasifikován jako polotuhý. Mezní hodnota klasifikace pro tuhý styčnick je  $S_r=42,7\text{MNm/rad}$  a mezní hodnota klasifikace pro kloubový styčnick je  $S_p=0,9\text{MNm/rad}$ . Klasifikace styčnicku záleží na konkrétní konstrukci.

Grafické znázornění tuhosti v závislosti zkoumaného styčnicku je na obrázku 111.

Odsun [mm]	Zatížení pro výpočet tuhosti [kNm]	Pootočení [mrad]	Tuhost [MNm/rad]	Procentuální zvyšování tuhosti
0	33,93	9,321	3,6402	100,00%
10	33,93	8,974	3,7809	103,87%
20	33,93	8,539	3,9735	109,16%
30	33,93	8,440	4,0201	110,44%
40	33,93	8,237	4,1192	113,16%
50	33,93	8,175	4,1505	114,02%

Tab. 33. Tuhost styčnicku v závislosti na odsunu nosníku

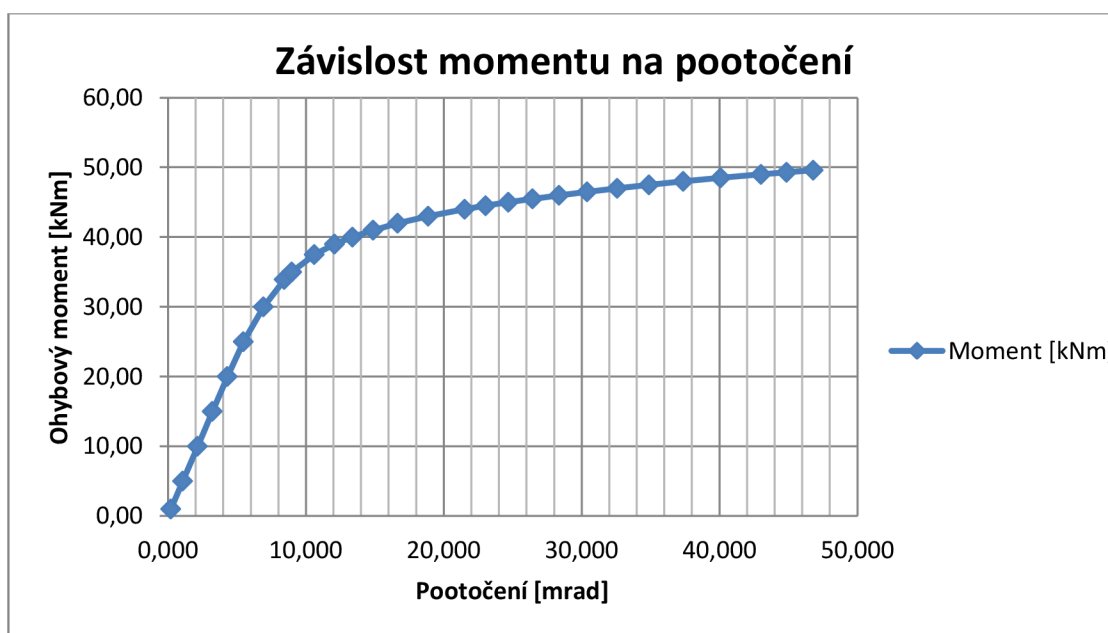




**Obrázek 111. Graf závislosti tuhosti na odsunu nosníku pro vnitřní síly  $M_y$ ,  $V_z$  a  $N$**

Pracovní diagram styčnicku pro odsun 30mm je na obrázku 112 a byl získán postupným zatěžováním  $M_y$ ,  $V_z$  a  $N$ . Lineární větev je podobná jako v předchozím případě a vede až do zatížení 30kNm. Rozdíl je u plastické části, kde přidané výztuhy zvětšily tuhost v plastické oblasti a křivka obdobně jako v předchozím případě konverguje. V bodě maximálního zatížení klesla hodnota sečné tuhosti na  $S_j=1,060\text{MNm/rad}$ .

Lineární část diagramu má tuhost okolo  $S_j=4,65\text{MNm/rad}$ . Počáteční rotační tuhost spočtená metodou komponent je  $S_{j,ini}=7,137\text{MNm/rad}$ . Použitím výztuh se podařilo ještě více přiblížit hodnotě vypočtené metodou komponent, je však stále nízká. Podle tuhosti spočtené metodou komponent je styčnick klasifikován stejně jako podle výpočtového programu čili jako polotuhý. Mezní hodnota pro klasifikaci je pro tuhý styčnick  $S_r=42,75\text{MNm/rad}$  a pro kloubový  $S_p=0,86\text{MNm/rad}$ .

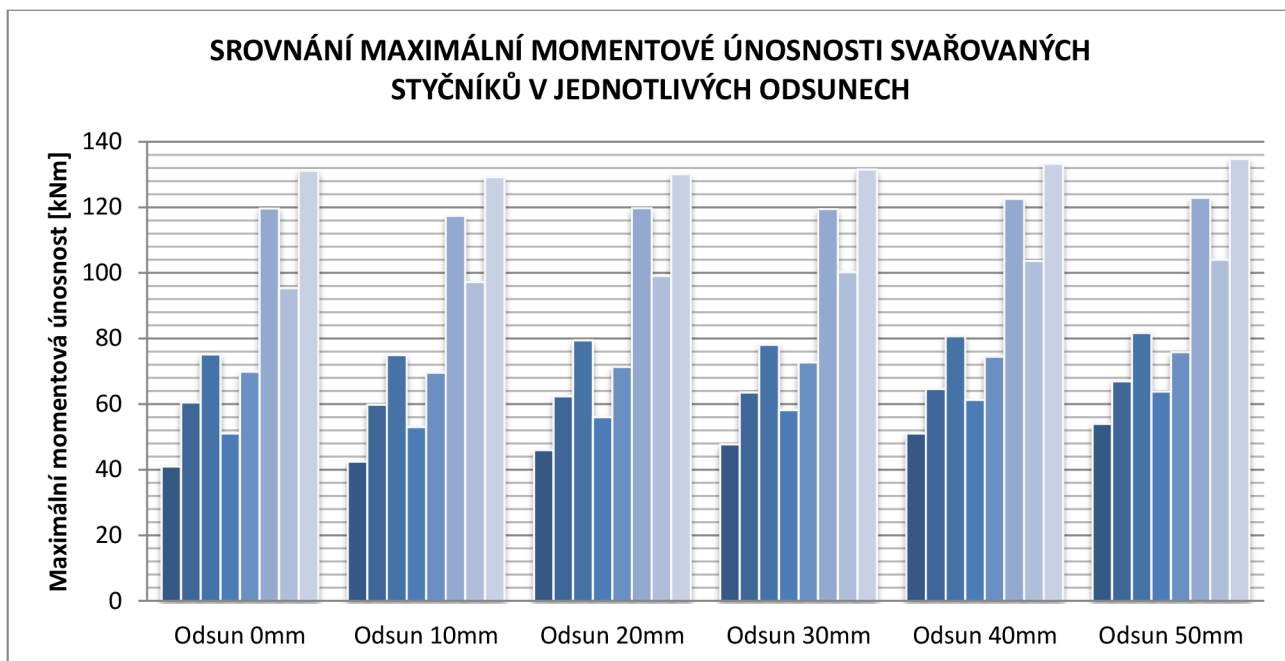


**Obrázek 112. Pracovní diagram šroubového styčnicku pro odsun 30mm**

# 10 SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ

## 10.1 SVAŘOVANÉ STYČNÍKY

### MAXIMÁLNÍ ÚNOSNOST

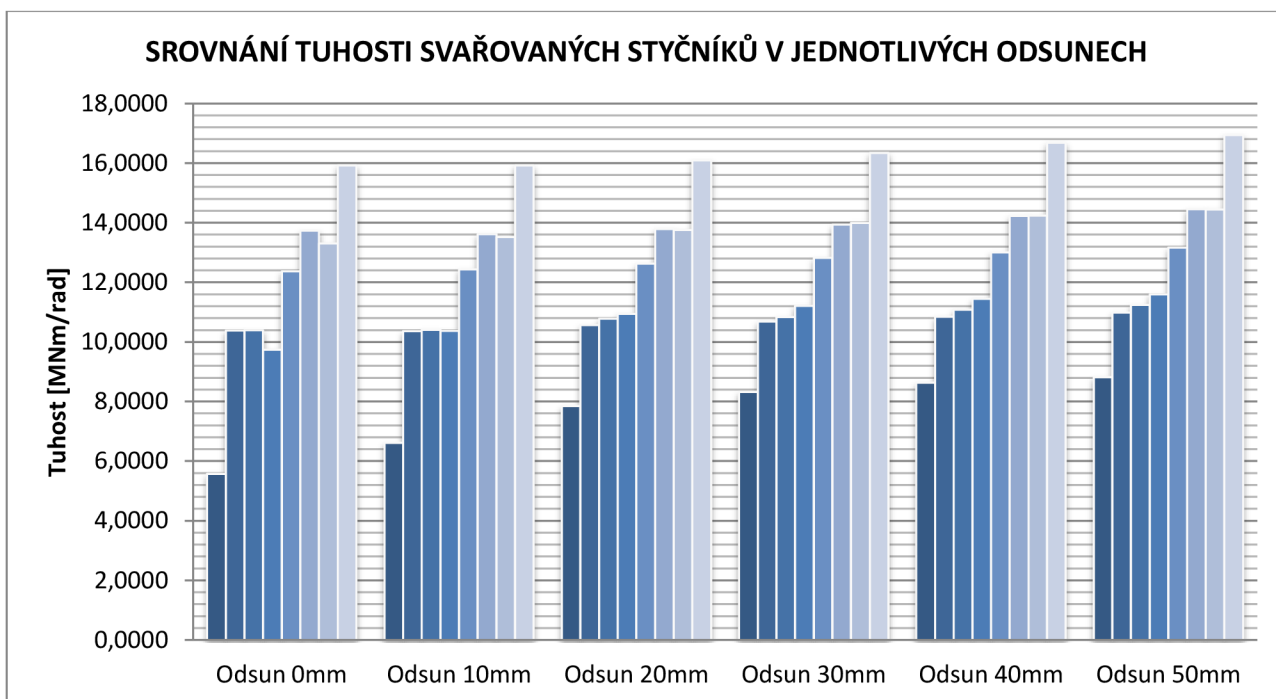


**Obrázek 113. Srovnání maximální momentové únosnosti svařovaných styčníků v jednotlivých odsunech**

- Svařovaný styčník bez výztuh
- Svařovaný styčník s příčnými výztuhami
- Svařovaný styčník s diagonální výztuhou
- Svařovaný styčník s náběhem
- Svařovaný styčník s příčnými výztuhami a náběhem
- Svařovaný styčník s příčnou a diagonální výztuhou
- Svařovaný styčník s diagonální výztuhou a náběhem
- Svařovaný styčník s příčnou a diagonální výztuhou a náběhem

Na obrázku 113 je srovnání maximálních momentových únosností svařovaných styčníků v jednotlivých odsunech (volných délkách sloupu nad styčником, viz obr. 39). U všech odsunů nosníku výrazně vystupují 2 typy styčnicku a to *svařovaný styčník s příčnou a diagonální výztuhou* a *svařovaný styčník s příčnou a diagonální výztuhou a náběhem*. Nejvyšší momentové únosnosti dosahuje *svařovaný styčník s příčnou a diagonální výztuhou a náběhem*. Zatěžování probíhalo nejen pomocí ohybového momentu  $M_y$ , ale i pomocí posouvající a normálové síly. Velikost posouvající síly byla uvažována jako  $V_z = -1,0298 \cdot M_y$  a velikost normálové síly byla uvažována jako  $N = -0,3510 \cdot M_y$ . Koeficienty vychází z poměru vnitřní síly a momentu, získaných ze zatížení určeného pro výpočet tuhosti.

## TUHOST



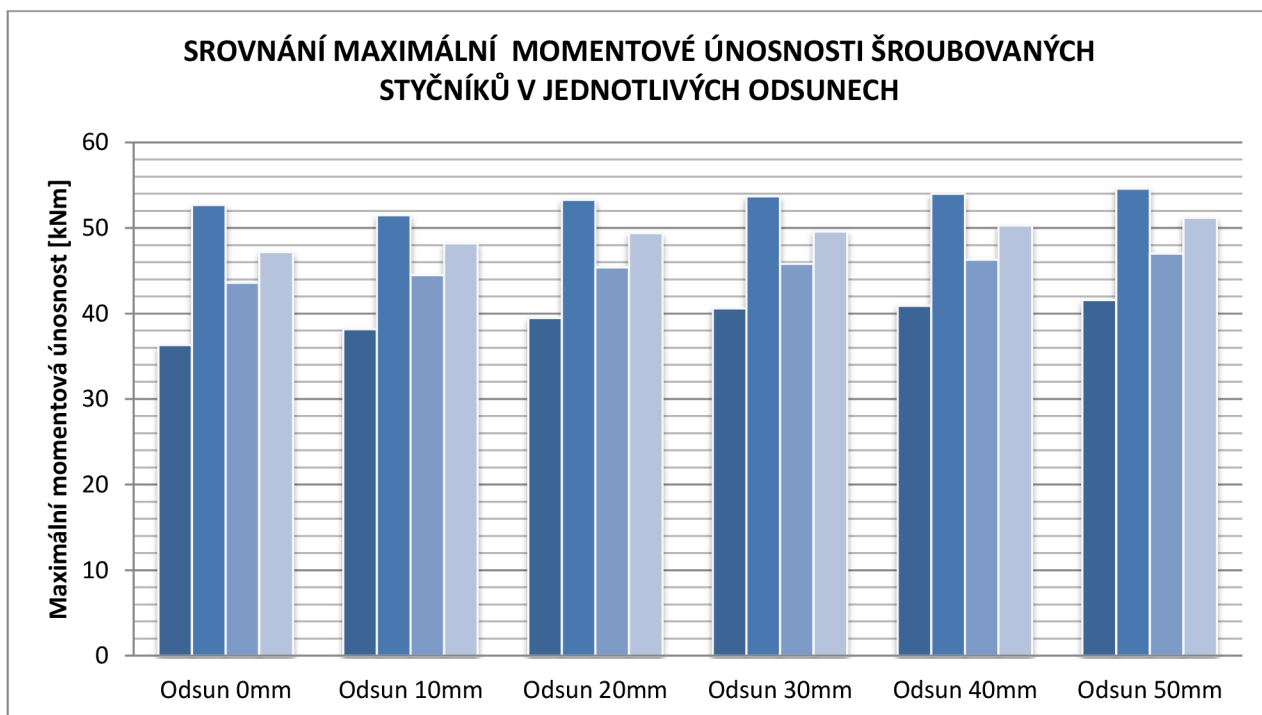
Obrázek 114. Srovnání tuhosti svařovaných styčníků v závislosti na odsunu

- Svařovaný styčník bez výztuh
- Svařovaný styčník s příčnými výztuhami
- Svařovaný styčník s diagonální výztuhou
- Svařovaný styčník s náběhem
- Svařovaný styčník s příčnými výztuhami a náběhem
- Svařovaný styčník s příčnou a diagonální výztuhou
- Svařovaný styčník s diagonální výztuhou a náběhem
- Svařovaný styčník s příčnou a diagonální výztuhou a náběhem

Na obrázku 114 je srovnání tuhosti svařovaných styčníků v jednotlivých odsunech (volných délkách sloupu nad styčником, viz obr. 39) při úrovni zatížení určené pro výpočet tuhosti. Dle průběhů tuhosti lze pozorovat zvláštní rozdělení styčníků do 4 skupin podle hodnoty tuhosti. Nevyztužený styčník má výrazně nižší tuhost než ostatní styčnky. Do druhé skupiny patří styčnky vyztužené jednou výztuhou, které mají velmi obdobné tuhosti. Stejně tak styčnky vyztužené kombinací dvou výztuh, které mají také podobné tuhosti. Co se týče maximální tuhosti tak hodnotou vystupuje, stejně jako u únosnosti, styčník s kombinací všech tří výztuh (*svařovaný styčník s příčnou a diagonální výztuhou a náběhem*). Všechna konstrukční uspořádání jsou klasifikována jako polotuhý styčník.

## 10.2 ŠROUBOVANÉ STYČNÍKY

### MAXIMÁLNÍ ÚNOSNOST

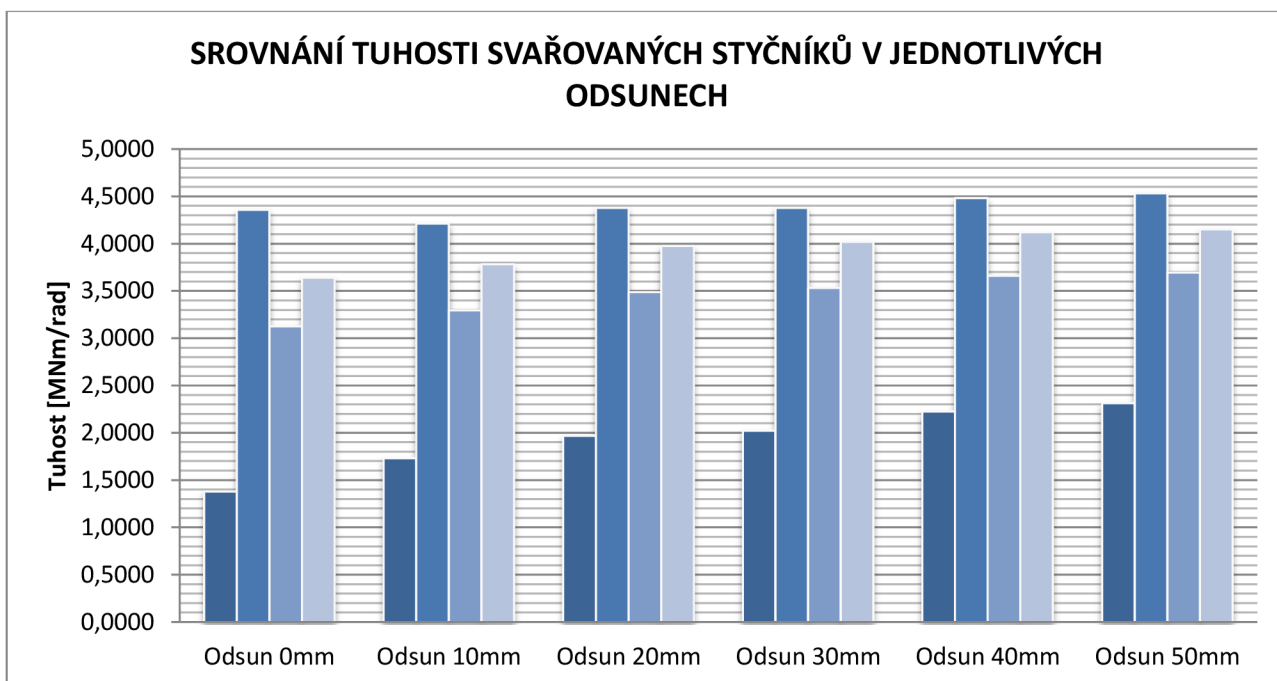


Obrázek 115. Srovnání maximální momentové únosnosti šroubovaných styčnicků v jednotlivých odsunech

- Šroubovaný styčník s čelní deskou
- Šroubovaný styčník s čelní deskou s příčnými výztuhami
- Šroubovaný styčník s čelní deskou s výztuhami mezi šrouby
- Šroubovaný styčník s čelní deskou s výztuhami mezi šrouby i na čelní desce

Na obrázku 115 je srovnání maximálních momentových únosností šroubovaných styčnicků v jednotlivých odsunech (volných délkách sloupu nad styčnickem, viz obr. 39). Rozdíly mezi únosnostmi styčnicků jsou ve všech odsunech podobné. Nejvyšší únosnosti dosahuje šroubovaný styčník s čelní deskou s příčnými výztuhami. Zatěžování probíhalo nejen pomocí ohybového momentu  $M_y$ , ale i pomocí posouvající a normálové síly. Velikost posouvající síly byla uvažována jako  $V_z = -1,0298 \cdot M_y$  a velikost normálové síly byla uvažována jako  $N = -0,3510 \cdot M_y$ . Koeficienty vychází z poměru vnitřní síly a momentu, získaných ze zatížení určeného pro výpočet tuhosti.

## TUHOST



**Obrázek 116. Srovnání tuhosti šroubovaných styčnicků v jednotlivých odsunech**

- Šroubovaný styčnick s čelní deskou
- Šroubovaný styčnick s čelní deskou s příčnými výztuhami
- Šroubovaný styčnick s čelní deskou s výztuhami mezi šrouby
- Šroubovaný styčnick s čelní deskou s výztuhami mezi šrouby i na čelní desce

Na obrázku 114 je srovnání tuhosti svařovaných styčnicků v jednotlivých odsunech (volných délkách sloupu nad styčnickem, viz obr. 39) při úrovni zatížení určené pro výpočet tuhosti. Nevýztužený šroubovaný styčnick s čelní deskou dosahuje mizivé tuhosti ve srovnání s ostatními. Nejvyšší tuhosti dosahuje šroubovaný styčnick s čelní deskou s příčnými výztuhami. Všechna konstrukční uspořádání jsou klasifikována jako polotuhý styčnick.

## 11 ZÁVĚR

Styčníky ocelových konstrukcí představují obtížně analyzovatelné místo ocelové konstrukce. V předkládané práci byly použity dva prostředky - metoda komponent a CBFEM (Component Based Finite Element Model) programu IDEA-RS. Byl vytvořen jednoduchý rám, který byl zatížen a analyzován. Rámový styčník byl uvažován v řadě variant a to jako svařovaný, tak i šroubovaný. Ve všech případech byla účinná výška svarů volena tak, aby nelimitovala únosnost. Jednotlivé varianty byly analyzovány oběma metodami. Výsledky jsou uspořádány do tabulek a grafů.

Z hlediska únosnosti a tuhosti styčnicků jsou závěry očekávatelné. Svařovaný styčník byl řešen celkem v osmi variantách. Od nejjednodušší bez výztuh až po styčník s příčnou a diagonální výztuhou a náběhem. Nejúnosnější a nejtuzší je, samozřejmě, nejkomplicovanější varianta. V případě šroubovaných styčnicků je řešený sortiment poněkud skromnější. Byly modelovány čtyři varianty. Z nich se jako nejúnosnější a nejtuzší ukázal styčník s čelní deskou s příčnými výztuhami.

Ve všech případech se ukázalo jako velmi užitečné odsunutí vodorovného nosníku od konce svíslého sloupu. Tento tzv. „odsun“ byl studován v rozsahu 0 až 50 mm v kroku po 10 mm. Vliv odsunu na tuhost i únosnost je prezentován na grafech. Nad 50 mm roste tuhost i únosnost, u většiny případů, již nevýznamně.

Během práce se ukázalo, že model implementovaný do programu IDEA RS je velmi dobrý a užitečný. Poskytuje nejen číselné výsledky tuhosti či únosnosti, ale i představu o rozložení napjatosti a plastizaci styku. Jistým problémem se ukázal odsun 10 mm pro většinu variant. Výsledky pro tento odsun jsou často neočekávané (viz např. obrázek 75 na straně 60) a nezapadají do celkových výsledků daného typu styčnicku. O příčině lze jenom spekulovat. Pravděpodobně souvisí s konkrétním výpočtovým modelem programu IDEA-RS. Podrobná analýza by si vyžádala další výpočty. V rámci této diplomové práce nebyla provedena.

Jako mnohem problematičtější se ukázala metoda komponent. Touto metodou nelze postihnout některé aspekty uspořádání styčnicku jako je odsunutí vodorovného prutu od volného konce svíslého nebo šikmá výztuha. Navíc se některé výsledky značně liší od CBFEM metody v programu IDEA RS (viz např. kap 9.6). Bohužel, výsledky obdržené metodou komponent dávají větší tuhost a menší únosnost. Jsou tak na stranu nebezpečnou.

Předkládaná práce si neklade ambice být vyčerpávající studií styčnicků ocelových konstrukcí. Může však být pomůckou pro pochopení chování různého uspořádání styčnicků a pro vyhodnocení dvou přístupů pro jejich analýzu.

## 12 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ČSN-EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [2] ČSN-EN 1993-1-1. *Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [3] ČSN-EN 1993-1-8. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [4] WALD, František a Zdeněk SOKOL. *Navrhování styčníků*. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 1999, 144 s. ISBN 80-010-2073-8.
- [5] Uživatelská příručka IDEA Connection, IDEA-RS [online]. [cit. 2016-01-12]. Dostupné z: <http://www.idea-rs.com/wp-content/uploads/release7/docs/Connection.pdf>
- [6] IDEA StatiCa STEEL, IDEA-RS [online]. [cit. 2016-01-12]. Dostupné z: <http://www.idea-rs.com/cs/produkty/idea-statica-steel/>

## SEZNAM POUŽITÝCH PROGRAMŮ

- [P1] Scia Engineer, verze programu 2015.3 – Program pro výpočet konstrukcí pomocí metody konečných prvků
- [P2] IDEA StatiCa STEEL, verze programu 6.3.25 – Specializovaný software pro návrh a posouzení ocelových konstrukcí
- [P3] AutoCAD, verze programu 2013 – software pro navrhování ve 2D a 3D



# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Typy styčnicků.....	5
Obrázek 2. Pracovní diagram oceli.....	6
Obrázek 3. Účinná tloušťka koutového svaru (obr. 4.3 z [3]).....	7
Obrázek 4. Napětí v účinném průřezu koutového svaru (obr. 4.4 z [3]).....	7
Obrázek 5. Rozložení napětí od smykové síly a ohybového momentu.....	8
Obrázek 6. Příklad svařovaného spoje.....	8
Obrázek 7. Příklad značení šroubů a matic.....	10
Obrázek 8. Příklad šroubového spoje.....	10
Obrázek 9. Označení vzdálenosti od konce a okraje prvku a rozteče spojovacích prostředků.....	11
Obrázek 10. Působící síly a umístění v komponentě 1.....	12
Obrázek 11. Působící síla a umístění v komponentě 2.....	13
Obrázek 12. Příčný tlak na nevyztužený sloup (obr. 6.6 z [3]).....	14
Obrázek 13. Působící síla a umístění komponenty 3.....	15
Obrázek 14. Působící síla a umístění komponenty 4.....	15
Obrázek 15. Definice $e$ , $e_{min}$ , $r_c$ a $m$ (obr. 6.8 z [3]).....	17
Obrázek 16. Působící síla a umístění komponenty 5.....	18
Obrázek 17. Hodnoty $\alpha$ pro čelní desku (obr. 6.11 z [3]).....	19
Obrázek 18. Působící síla a umístění komponenty 7.....	20
Obrázek 19. Působící síla a umístění komponenty 8.....	20
Obrázek 20. Rameno z a rozdělení sil pro stanovení momentové únosnosti $M_{j,Rd}$ .....	21
Obrázek 21. Rameno z a rozdělení sil pro stanovení momentové únosnosti $M_{j,Rd}$ .....	21
Obrázek 22. Ramena z a rozdělení sil pro stanovení momentové únosnosti $M_{j,Rd}$ .....	22
Obrázek 23. Klasifikace styčnicků podle tuhosti.....	23
Obrázek 24. Nevyztužený a vyztužený rám.....	23
Obrázek 25. Tuhý styčník.....	24
Obrázek 26. Polotuhý styčník.....	24
Obrázek 27. Kloubový styčník.....	24
Obrázek 28. Styčník s plnou únosností (obr. 5.5 z [3]).....	25
Obrázek 29. Příklad svařovaného a šroubového styčnicku pro výpočet pružných součinitelů.....	27
Obrázek 30. Pracovní diagram styčnicku.....	30
Obrázek 31. Schéma modelu.....	31
Obrázek 32. Skladba střešní konstrukce.....	31
Obrázek 33. A) ZS2 Stálé zatížení, B) ZS3 Vítr zleva, C) ZS5 Sníh.....	32
Obrázek 34. Hodnoty relativního posunu $u_z$ v lokálních souřadnicích, od kombinace zatížení [mm]..	33
Obrázek 35. Využití profilů od kombinace v intervalu (0;1).....	33
Obrázek 36. Průběh normálových sil $N$ od kombinace zatížení [kN].....	34
Obrázek 37. Průběh posouvajících sil $V_z$ od kombinace zatížení [kN].....	34
Obrázek 38. Průběh ohybových momentů $M_y$ od kombinace zatížení [kNm].....	34
Obrázek 39. Ukázka odsunu styčnicku.....	35
Obrázek 40. Výpočetní model styčnicku.....	36
Obrázek 41. Model svařovaného styčnicku bez výztuh.....	37
Obrázek 42. Graf únosnosti svařovaného styčnicku v závislosti na odsunu.....	38
Obrázek 43. Srovnání napětí ve styčnicku pro konstantní a maximální zatížení, odsun 40mm.....	38

Obrázek 44. Srovnání plastického přetvoření pro konstantní a maximální zatížení, odsun 40mm.....	39
Obrázek 45. Graf závislosti tuhosti na odsunu nosníku pro vnitřní síly $M_y$ , $V_z$ a $N$ .....	40
Obrázek 46. Pracovní diagram svařovaného styčnicku pro odsun 40mm.....	40
Obrázek 47. Model svařovaného styčnicku s příčnou výztuhou.....	41
Obrázek 48. Graf únosnosti svařovaného styčnicku v závislosti na odsunu.....	42
Obrázek 49. Srovnání napětí ve styčnicku pro konstantní a maximální zatížení, odsun 30mm.....	42
Obrázek 50. Srovnání plastického přetvoření pro konstantní a maximální zatížení, odsun 30mm.....	43
Obrázek 51. Graf závislosti tuhosti na odsunu nosníku pro vnitřní síly $M_y$ , $V_z$ a $N$ .....	44
Obrázek 52. Pracovní diagram svařovaného styčnicku pro odsun 30mm.....	44
Obrázek 53. Model svařovaného styčnicku s diagonální výztuhou .....	45
Obrázek 54. Graf únosnosti svařovaného styčnicku v závislosti na odsunu.....	46
Obrázek 55. Srovnání napětí ve styčnicku pro konstantní a maximální zatížení, odsun 30mm.....	46
Obrázek 56. Srovnání plastického přetvoření pro konstantní a maximální zatížení, odsun 30mm.....	47
Obrázek 57. Graf závislosti tuhosti na odsunu nosníku pro vnitřní síly $M_y$ , $V_z$ a $N$ .....	48
Obrázek 58. Pracovní diagram svařovaného styčnicku pro odsun 30mm.....	48
Obrázek 59. Model svařovaného styčnicku s náběhem .....	49
Obrázek 60. Graf únosnosti svařovaného styčnicku v závislosti na odsunu.....	50
Obrázek 61. Srovnání napětí ve styčnicku pro konstantní a maximální zatížení, odsun 20mm.....	50
Obrázek 62. Srovnání plastického přetvoření pro konstantní a maximální zatížení, odsun 20mm.....	51
Obrázek 63. Graf závislosti tuhosti na odsunu nosníku pro vnitřní síly $M_y$ , $V_z$ a $N$ .....	52
Obrázek 64. Pracovní diagram svařovaného styčnicku pro odsun 20mm.....	52
Obrázek 65. Model svařovaného styčnicku s příčnými výztuhami a náběhem.....	53
Obrázek 66. Graf únosnosti svařovaného styčnicku v závislosti na odsunu.....	54
Obrázek 67. Srovnání napětí ve styčnicku pro konstantní a maximální zatížení, odsun 20mm.....	54
Obrázek 68. Srovnání plastického přetvoření pro konstantní a maximální zatížení, odsun 20mm.....	55
Obrázek 69. Graf závislosti tuhosti na odsunu nosníku pro vnitřní síly $M_y$ , $V_z$ a $N$ .....	56
Obrázek 70. Pracovní diagram svařovaného styčnicku pro odsun 20mm.....	56
Obrázek 71. Model svařovaného styčnicku s příčnou a diagonální výztuhou .....	57
Obrázek 72. Graf únosnosti svařovaného styčnicku v závislosti na odsunu.....	58
Obrázek 73. Srovnání napětí ve styčnicku pro konstantní a maximální zatížení, odsun 0mm.....	58
Obrázek 74. Srovnání plastického přetvoření pro konstantní a maximální zatížení, odsun 0mm.....	59
Obrázek 75. Graf závislosti tuhosti na odsunu nosníku pro vnitřní síly $M_y$ , $V_z$ a $N$ .....	60
Obrázek 76. Pracovní diagram svařovaného styčnicku pro odsun 0mm.....	60
Obrázek 77. Model svařovaného styčnicku s diagonální výztuhou a náběhem .....	61
Obrázek 78. Graf únosnosti svařovaného styčnicku v závislosti na odsunu.....	62
Obrázek 79. Srovnání napětí ve styčnicku pro konstantní a maximální zatížení, odsun 20mm.....	62
Obrázek 80. Srovnání plastického přetvoření pro konstantní a maximální zatížení, odsun 20mm.....	63
Obrázek 81. Graf závislosti tuhosti na odsunu nosníku pro vnitřní síly $M_y$ , $V_z$ a $N$ .....	64
Obrázek 82. Pracovní diagram svařovaného styčnicku pro odsun 20mm.....	64
Obrázek 83. Model svařovaného styčnicku s příčnou a diagonální výztuhou a náběhem .....	65
Obrázek 84. Graf únosnosti svařovaného styčnicku v závislosti na odsunu.....	66
Obrázek 85. Srovnání napětí ve styčnicku pro konstantní a maximální zatížení, odsun 30mm.....	66
Obrázek 86. Srovnání plastického přetvoření pro konstantní a maximální zatížení, odsun 30mm.....	67
Obrázek 87. Graf závislosti tuhosti na odsunu nosníku pro vnitřní síly $M_y$ , $V_z$ a $N$ .....	68
Obrázek 88. Pracovní diagram svařovaného styčnicku pro odsun 30mm.....	68

Obrázek 89. Model šroubovaného styčnicku s čelní deskou .....	69
Obrázek 90. Graf únosnosti šroubového styčnicku v závislosti na odsunu .....	70
Obrázek 91. Srovnání napětí ve styčnicku pro konstantní a maximální zatížení, odsun 10mm .....	70
Obrázek 92. Srovnání plastického přetvoření pro konstantní a maximální zatížení, odsun 10mm.....	71
Obrázek 93. Graf závislosti tuhosti na odsunu nosníku pro vnitřní síly $M_y$ , $V_z$ a $N$ .....	72
Obrázek 94. Pracovní diagram šroubového styčnicku pro odsun 10mm .....	72
Obrázek 95. Model šroubovaného styčnicku s čelní deskou a příčnými výztuhami.....	73
Obrázek 96. Graf únosnosti šroubového styčnicku v závislosti na odsunu .....	74
Obrázek 97. Srovnání napětí ve styčnicku pro konstantní a maximální zatížení, odsun 30mm .....	74
Obrázek 98. Srovnání plastického přetvoření pro konstantní a maximální zatížení, odsun 30mm.....	75
Obrázek 99. Graf závislosti tuhosti na odsunu nosníku pro vnitřní síly $M_y$ , $V_z$ a $N$ .....	76
Obrázek 100. Pracovní diagram šroubového styčnicku pro odsun 30mm .....	76
Obrázek 101. Model šroubovaného styčnicku s čelní deskou s výztuhami mezi šrouby na sloupu.....	77
Obrázek 102. Graf únosnosti šroubového styčnicku v závislosti na odsunu .....	78
Obrázek 103. Srovnání napětí ve styčnicku pro konstantní a maximální zatížení, odsun 30mm .....	78
Obrázek 104. Srovnání plastického přetvoření pro konstantní a maximální zatížení, odsun 30mm....	79
Obrázek 105. Graf závislosti tuhosti na odsunu nosníku pro vnitřní síly $M_y$ , $V_z$ a $N$ .....	80
Obrázek 106. Pracovní diagram šroubového styčnicku pro odsun 30mm .....	80
Obrázek 107. Model šroubovaného styčnicku s čelní deskou s výztuhami mezi šrouby na sloupu a čelní desce .....	81
Obrázek 108. Graf únosnosti šroubového styčnicku v závislosti na odsunu .....	82
Obrázek 109. Srovnání napětí ve styčnicku pro konstantní a maximální zatížení, odsun 30mm .....	82
Obrázek 110. Srovnání plastického přetvoření pro konstantní a maximální zatížení, odsun 30mm....	83
Obrázek 111. Graf závislosti tuhosti na odsunu nosníku pro vnitřní síly $M_y$ , $V_z$ a $N$ .....	84
Obrázek 112. Pracovní diagram šroubového styčnicku pro odsun 30mm .....	84
Obrázek 113. Srovnání maximální momentové únosnosti svařovaných styčnicků v jednotlivých odsunech .....	85
Obrázek 114. Srovnání tuhosti svařovaných styčnicků v závislosti na odsunu.....	86
Obrázek 115. Srovnání maximální momentové únosnosti šroubovaných styčnicku v jednotlivých odsunech .....	87
Obrázek 116. Srovnání tuhosti šroubovaných styčnicků v jednotlivých odsunech .....	88

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Kategorie šroubových spojů (Tab. 3.2 z [3]) .....	9
Tab. 2. Jmenovité hodnoty meze kluzu a meze pevnosti pro šrouby .....	10
Tab. 3. Vzdálenosti od kraje a konce prvku, největší a nejmenší rozteče (Tab. 3.3 z [3]) .....	11
Tab. 4. Návrhová únosnost $F_{T,Rd}$ pásnice náhradního T profilu (Tab. 6.2 z [3]) .....	16
Tab. 5. Účinné délky nevyztužené pásnice sloupu (tab. 6.4 z [3]) .....	17
Tab. 6. Účinné délky pro čelní desku (tab. 6.6 z [3]) .....	18
Tab. 7. Styčníky se svařovanými přípoji nebo šroubovanými přípoji úhelníky na pásnici nosníku (Tab. 6.9 z [3]) .....	26
Tab. 8. Styčníky se šroubovanými přípoji čelní a patní deskou (Tab. 6.10 z [3]) .....	26
Tab. 9. Tabulka zatěžovacích stavů .....	32
Tab. 10. Únosnost styčníku v závislosti na odsunu nosníku .....	37
Tab. 11. Tuhost styčníku v závislosti na odsunu nosníku .....	39
Tab. 12. Únosnost styčníku v závislosti na odsunu nosníku .....	41
Tab. 13. Tuhost styčníku v závislosti na odsunu nosníku .....	43
Tab. 14. Únosnost styčníku v závislosti na odsunu nosníku .....	45
Tab. 15. Tuhost styčníku v závislosti na odsunu nosníku .....	47
Tab. 16. Únosnost styčníku v závislosti na odsunu nosníku .....	49
Tab. 17. Tuhost styčníku v závislosti na odsunu nosníku .....	51
Tab. 18. Únosnost styčníku v závislosti na odsunu nosníku .....	53
Tab. 19. Tuhost styčníku v závislosti na odsunu nosníku .....	55
Tab. 20. Únosnost styčníku v závislosti na odsunu nosníku .....	57
Tab. 21. Tuhost styčníku v závislosti na odsunu nosníku .....	59
Tab. 22. Únosnost styčníku v závislosti na odsunu nosníku .....	61
Tab. 23. Tuhost styčníku v závislosti na odsunu nosníku .....	63
Tab. 24. Únosnost styčníku v závislosti na odsunu nosníku .....	65
Tab. 25. Tuhost styčníku v závislosti na odsunu nosníku .....	67
Tab. 26. Únosnost styčníku v závislosti na odsunu nosníku .....	69
Tab. 27. Tuhost styčníku v závislosti na odsunu nosníku .....	71
Tab. 28. Únosnost styčníku v závislosti na odsunu nosníku .....	73
Tab. 29. Tuhost styčníku v závislosti na odsunu nosníku .....	75
Tab. 30. Únosnost styčníku v závislosti na odsunu nosníku .....	77
Tab. 31. Tuhost styčníku v závislosti na odsunu nosníku .....	79
Tab. 32. Únosnost styčníku v závislosti na odsunu nosníku .....	81
Tab. 33. Tuhost styčníku v závislosti na odsunu nosníku .....	83

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$G$	modul pružnosti ve smyku [GPa]
$E$	Youngův modul pružnosti v tlaku i tahu [GPa]
$\nu$	Poissonovo číslo, součinitel příčné kontrakce [-]
$\sigma$	napětí [Mpa]
$\varepsilon$	deformace [%]
$f_u$	mez pevnosti [Mpa]
$f_y$	mez kluzu [Mpa]
$F_{w,Ed}$	návrhová hodnota síly působící na jednotku délky svaru [kN]
$F_{w,Rd}$	návrhová únosnost svaru na jednotku délky svaru [kN]
$\sigma_{\perp}$	normálové napětí, kolmé na účinnou plochu [Mpa]
$\tau_{\perp}$	smykové napětí, kolmé na podélnou osu svaru [Mpa]
$\tau_{\parallel}$	smykové napětí, rovnoběžné s podélnou osou svaru [Mpa]
$\beta_w$	korelační součinitel [-]
$\gamma_{Mi}$	dílčí součinitel spolehlivosti [-]
$d$	jmenovitý průměr šroubu [mm <sup>2</sup> ]
$d_0$	průměr otvoru pro šroub [mm <sup>2</sup> ]
$d_c$	čistá výška stěny sloupu [mm]
$e_1$	vzdálenost středu šroubu k přilehlému konci čelní desky nebo nosníku ve směru zatížení [mm]
$e_2$	vzdálenost středu šroubu k přilehlému konci čelní desky nebo nosníku, která se měří v pravém úhlu ke směru zatížení [mm]
$p_1$	rozteč šroubů ve směru zatížení [mm]
$p_2$	rozteč šroubů kolmo ke směru zatížení [mm]
$f_{y,wc}$	hodnota meze kluzu materiálu sloupu
$A_{vc}$	smyková plocha sloupu [mm <sup>2</sup> ]
$M_{pl,fc,Rd}$	návrhová plastická momentová únosnost pásnice sloupu [kNm]
$M_{pl,st,Rd}$	návrhová plastická momentová únosnost výztuhy [kNm]
$d_s$	osová vzdálenost výztuhy [mm]
$\omega$	redukční součinitel zahrnující v panelu stěny sloupu možný vliv interakce se smykem podle tabulky 6.3 v ČSN EN 1993-1-8
$k_{wc}$	redukční součinitel stanovený v 6.2.6.2 v ČSN EN 1993-1-8
$\rho$	redukční součinitel boulení stěny [-]
$\bar{\lambda}_p$	desková štíhlost [-]
$A_c$	Plocha průřezu sloupu [mm <sup>2</sup> ]
$A_b$	Plocha průřezu nosníku [mm <sup>2</sup> ]
$W_{pl,y}$	Plastický modul k tuhé ose [mm <sup>3</sup> ]

$I_y$	Moment setrvačnosti k tuhé ose [ $\text{mm}^4$ ]
$h_c$	Výška průřezu sloupu [mm]
$h_b$	Výška průřezu nosníku [mm]
$b_c$	Šířka průřezu sloupu [mm]
$b_b$	Šířka průřezu nosníku [mm]
$t_{fc}$	Tloušťka pásnice sloupu [mm]
$t_{fb}$	Tloušťka pásnice nosníku [mm]
$t_{wc}$	Tloušťka stojiny sloupu [mm]
$t_{wb}$	Tloušťka stojiny nosníku [mm]
$r_c$	Poloměr zaoblení průřezu sloupu [mm]
$r_b$	Poloměr zaoblení průřezu nosníku [mm]
$M_{b,pl,Rd}$	návrhová plastická momentová únosnost nosníku [kNm]
$M_{c,pl,Rd}$	návrhová plastická momentová únosnost sloupu [kNm]
$A_{vc}$	smyková plocha sloupu [ $\text{mm}^2$ ]
$\beta$	převodní součinitel [-]; [tab. 5.4 v ČSN EN 1993-1-8]
$b_{eff,c,wc}$	účinná výška stěny sloupu v tlaku [mm]
$d_c$	čistá výška stěny sloupu [mm]
$b_{eff,t,wc}$	účinná výška stěny sloupu v tahu [mm]
$t_p$	tloušťka čelní desky [mm]
$A_s$	plocha šroubu [ $\text{mm}^2$ ]
$L_b$	prodlužovaná délka, která je rovna celkové tloušťce materiálu a podložek plus polovina součtu výšky hlavy a výšky matice [mm]
$k_{eff,r}$	účinný součinitel řady šroubů r [mm]
$h_r$	vzdálenost řady šroubů r ke středu tlaku [mm]
$z_{eq}$	náhradní rameno [mm]
$k_{i,r}$	součinitel tuhosti představující komponentu i pro řadu r šroubů [mm]
$z$	rameno [mm]
$\mu$	poměr tuhosti [-]
$S_{j,ini}$	počáteční tuhost styčnicku [Nm/rad]
$\mu$	poměr tuhosti [-]

## **SEZNAM PŘÍLOH**

1. Výpočet zatížení větrem a sněhem
2. Výpočet svařovaných styčnicků
3. Výpočet šroubovaných styčnicků