



FAKULTA ústav
STAVEBNÍ kovových
a dřevěných konstrukcí

ANALÝZA STYČNÍKU PRUTŮ TRUBKOVÉHO PRŮŘEZU A JEHO PRAKTICKÉ VYUŽITÍ V NOSNÉ OCELOVÉ KONSTRUKCI LÁVKY PRO PĚŠÍ

ANALYSIS OF A JOINT OF STEEL TUBES MEMBERS AND ITS PRACTICAL USE IN
LOAD-BEARING STRUCTURE OF A PEDESTRIAN BRIDGE

TEORETICKÁ ČÁST
THE THEORETICAL PART

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Olga Kuttelwascherová

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ PEŠEK, Ph.D.

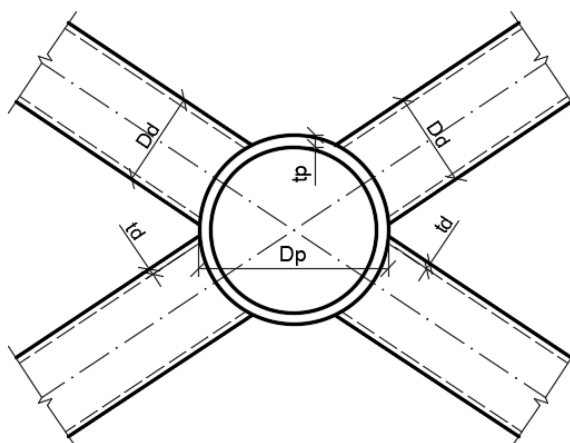
BRNO 2024

Obsah

1	Úvod.....	3
2	Experimentální analýza.....	4
2.1	Metodologie.....	4
2.1.1	Zkušební tělesa	4
2.1.2	Zkušební sestava.....	6
2.1.3	Měřicí přístroje	8
2.2	Průběh zkoušky	9
2.3	Výsledky a analýza dat	9
2.4	Fotodokumentace	12
2.5	Materiálové zkoušky oceli.....	14
2.5.1	Metodologie	14
2.5.2	Průběh zkoušky.....	17
2.5.3	Výsledky a analýza dat.....	17
2.5.4	Závěr	20
2.5.5	Fotodokumentace.....	20
3	Numerická analýza	22
3.1	Metodologie.....	22
3.1.1	Modely	22
3.1.2	Rozměry použitých trubek	24
3.1.3	Pracovní diagram oceli	25
3.2	Výsledky a analýza dat	28
4	Porovnání výsledků experimentů a numerické analýzy.....	30
5	Parametrická studie	33
5.1	Metodologie.....	33
5.1.1	Referenční model.....	34
5.1.2	Deskostěnový model	35
5.1.3	Parametry	37
5.2	Výsledky	40
6	Závěr	78
7	Použitá literatura	80

1 Úvod

Předmětem teoretické části práce je zpracování podrobné analýzy styčnicku. Předmětné řešení umožňuje spojení vzájemně se křížících prvků. Typické využití je možné najít např. v místě křížení diagonál ztužidel. Umožní tak propojení ztužidel uzavřených průřezů, které je poměrně jednoduše proveditelné v praxi. Konstrukční uspořádání detailu je patrné z obr 1.01.



Obr. 1.01: Geometrie řešeného detailu

Cílem této práce je zjistit, jaká je vzájemná závislost vstupních parametrů na chování takového typu styčnicku. Výsledky práce mohou zjednodušit návrh takového detailu.

Hlavním cílem je stanovit minimální tloušťku prstence t_p , která je potřebná k tomu, aby křížení s prstencem mělo podobnou tuhost jako klasické křížení.

Analýza styčnicku se skládá z několika kroků. Nejprve byla provedena experimentální analýza přípoje na dvou sadách zkušebních těles. Součástí experimentální analýzy byly taktéž materiálové zkoušky oceli. Dále byla provedena numerická analýza detailu. Byly vytvořeny deskostěnové modely v programu Dlubal RFEM. Výsledky obou částí jsou vzájemně porovnány v samostatné kapitole. Účelem porovnání je ověřit, že numerický model vykazuje stejné chování jako v případě experimentální analýzy. Na základě shodného chování je možné numerický model použít na vypracování parametrická studie předmětného detailu.

2 Experimentální analýza

Tato kapitola je zaměřená na experimentální analýzu předmětného detailu. Experimentální analýza umožňuje stanovení hledaných vlastností na základě reálného chování zkušebních vzorků.

Analýza byla provedena na zjednodušeném modelu detailu. Jedná se o prstenec, na který navazují pouze dvě trubky, tedy jedna diagonála. Důvodem výběru geometrie pro experiment je skutečnost, že by nebylo možné během zkoušky vnést sílu do obou diagonál současně.

Experiment byl proveden na dvou sadách zkušebních těles. Každá zkušební sada obsahovala tři zkušební tělesa. Celkem tedy bylo provedeno 6 zatěžovacích zkoušek. Konstrukční třída oceli, ze které byly jednotlivé trubky vyrobeny, nebyla předem známá. Proto byly následně provedeny materiálové zkoušky.

2.1 Metodologie

Následující podkapitoly popisují zkušební tělesa, zkušební sestavu a způsob zatěžování. Dále je zde uveden výčet měřených veličin, použitých měřicích přístrojů a průběh zkoušky.

2.1.1 Zkušební tělesa

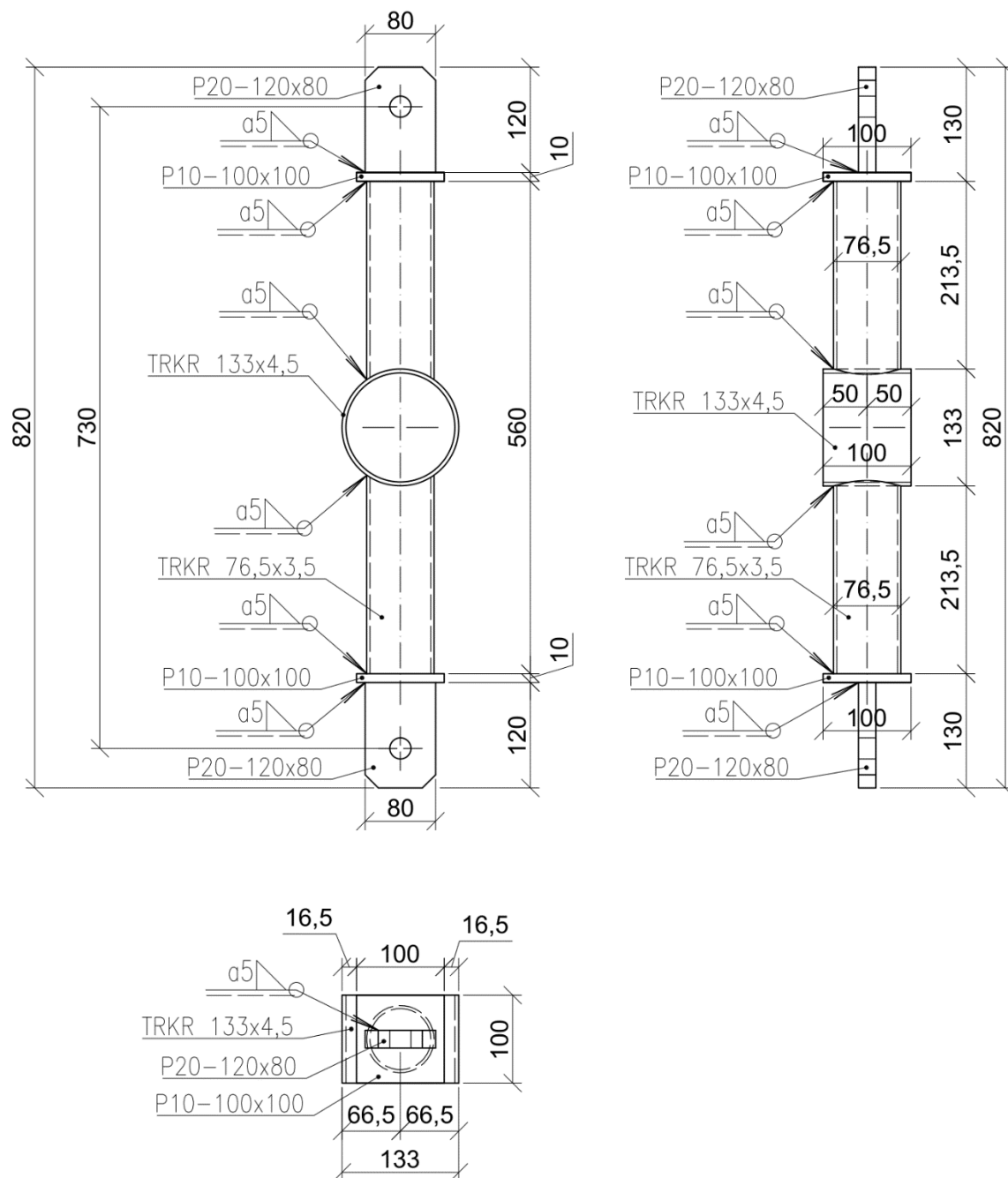
Každé zkušební těleso se skládá z dvojice podélných ocelových kruhových trubek vzájemně spojených ocelovým prstencem (viz obr. 2.01 a 2.02). Prstenec je vyroben z úpalku ocelové trubky.

Jak již bylo zmíněno, experiment se prováděl na dvou sadách zkušebních těles. Následující výčet shrnuje, z jakých trubek byly jednotlivé sady vzorků vyrobeny:

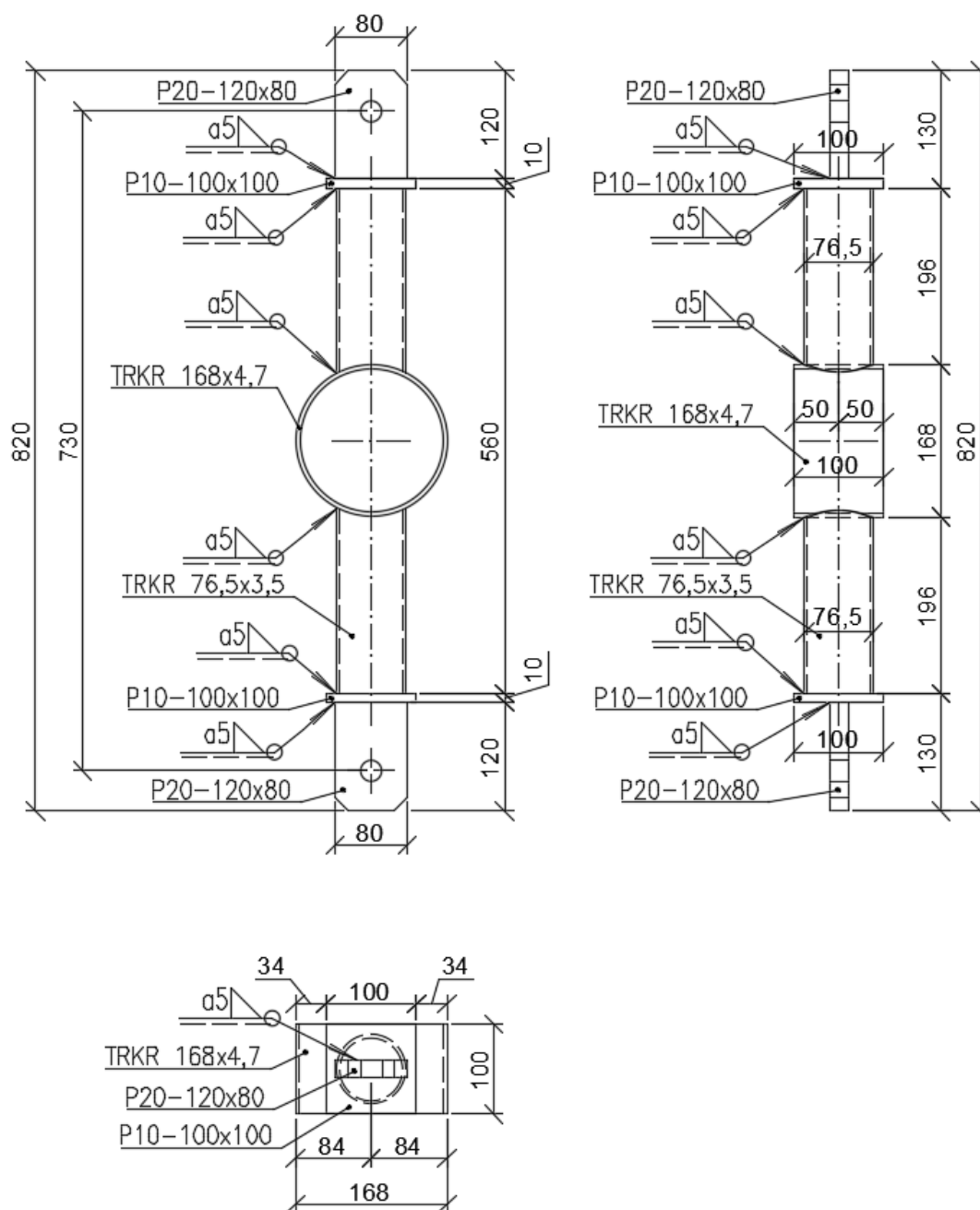
1. sada zkušebních těles: tělesa T1, T2, T3
 - Prstenec: TRKR 133×4,5 mm
 - Podélné trubky: TRKR 76,5×3,5 mm
2. sada zkušebních těles: tělesa T4, T5, T6
 - Prstenec: TRKR 168×4,7 mm
 - Podélné trubky: TRKR 76,5×3,5 mm

Rozměry trubek (průměr i tloušťka stěny) pro výrobu zkušebních těles byly naměřeny, výsledky jsou uvedené v kap. 3.1.2. Výše jsou uvedeny průměrné hodnoty.

Podélné prvky byly přivařeny k prstenci tupými svary po celém obvodu připojované podélné trubky. Účinná tloušťka svaru byla $a = 5$ mm. Na konce podélných trubek byly přivařeny čelní desky s čepovým spojem, aby bylo možné zkušební tělesa upevnit do zkušebního lisu.



Obr. 2.01: Geometrie zkušebních těles T1-T3



Obr. 2.02: Gometrie zkušebních těles T4-T6

Pro ověření jakosti materiálu použitého na výrobu ocelových trubek byly provedeny materiálové zkoušky oceli viz podkapitola 2.5.

2.1.2 Zkušební sestava

Zkušební sestava se skládá z hlavního rámu (na obr. 2.03 červené prvky), na který je připevněn hydraulický lis (šedý válec). Na obou koncích zkušebního tělesa jsou čepové desky s otvorem, aby těleso mohlo být upevněno do zkušební sestavy pomocí čepů. Do

hydraulického lisu je upevněna horní část zkušebního tělesa. Spodní část tělesa je upevněna k patní desce, která je pomocí dvou šroubů ukotvena k podlaze zkušebny.

Pro zatěžovací zkoušky byly použity hydraulické lisy s následujícími parametry:

1. Sada zkušebních těles – prstenec vyroben z TR 133×4,5 mm:
 - Test 1: $F_{\max} = 400$ kN; rychlost zatěžování: 0,2 kN/s
 - Test 2: $F_{\max} = 400$ kN; rychlost zatěžování: 0,2 kN/s
 - Test 3: $F_{\max} = 100$ kN; rychlost zatěžování: 0,2 mm/s
2. Sada zkušebních těles – prstenec vyroben z TR 168×4,7 mm:
 - Test 4: $F_{\max} = 100$ kN; rychlost zatěžování: 0,2 mm/s
 - Test 5: $F_{\max} = 100$ kN; rychlost zatěžování: 0,1 mm/s
 - Test 6: $F_{\max} = 100$ kN; rychlost zatěžování: 0,1 mm/s



Obr. 2.03: Fotografie zkušební sestavy

2.1.3 Měřicí přístroje

Každé zkušební těleso bylo zatěžováno postupným navyšováním tahové síly. V průběhu zatěžovací zkoušky byly v čase zaznamenávány veličiny, které jsou společně s typem použitého měřicího zařízení uvedeny v následujícím výčtu:

- Tahová síla F_z : zabudovaný tenzometrický siloměr GTM 100 kN, $t_p = 0,02$
- Poměrné přetvoření prstence: odporové tenzometry LY11 – 3/350, HBM
- Podélný posun z : indukčnostní snímač polohy WA 50-T, HBM
- Příčný posun x : potenciometrický snímač polohy WPS – 250 – MK30 – P10 $\mu\epsilon$ Bechyně

Tenzometry byly umístěny z vnější strany prstence uprostřed jeho šířky v nejvzdálenějším místě od podélné osy vzorku na obou stranách prstence, viz obrázek 2.04.



Obr. 2.04: Umístění tenzometrů na prstenci

Pro zachycení příčných deformací byl použit potenciometrický snímač polohy. Skládá se z měřicího zařízení, ze kterého vede lanko, které se upevnilo tak, aby zaznamenávalo příčné deformace prstence v jeho vodorovném průměru, viz obrázek 2.05. Pro zachycení podélných deformací v průběhu zatěžování byl zkušební vzorek osazen indukčnostním snímačem polohy viz obr. 2.06.



Obr. 2.05: Umístění potenciometrického snímače polohy



Obr. 2.06: Umístění indukčního snímače polohy

2.2 Průběh zkoušky

Na počátku zatěžovací zkoušky byl hydraulický lis vysunutý směrem dolů, aby bylo možné instalovat zkušební těleso a aby nedocházelo k natahování vzorku. Těleso se osadilo měřicími přístroji – tenzometry a snímači polohy. Pro hydraulický lis byla nastavena rychlost zatěžování. Poté bylo spuštěno měření pro zaznamenávání jednotlivých veličin v čase – působící tahové síly, poměrného přetvoření prstence, podélné a příčné deformace prstence.

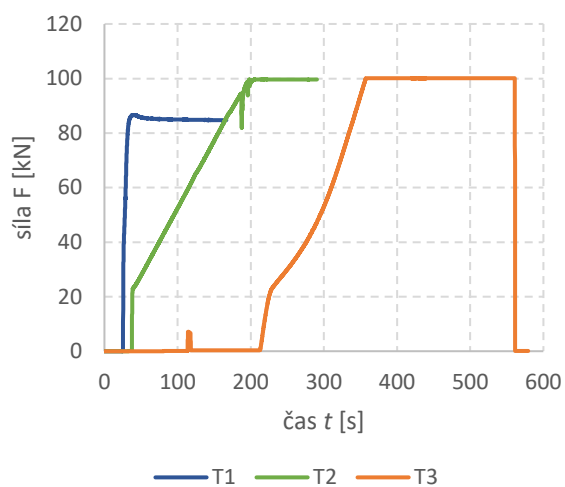
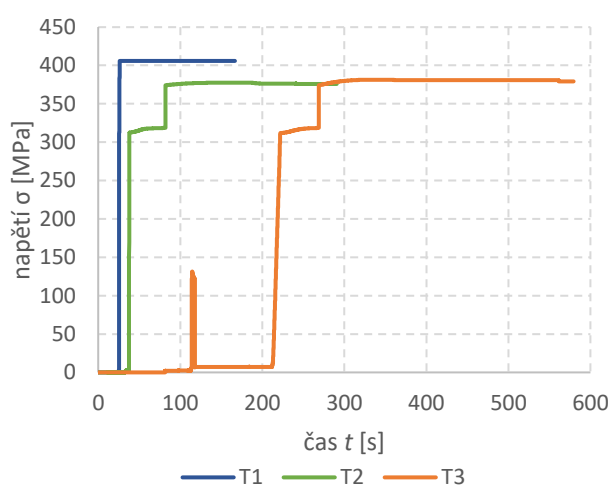
Následně bylo zkušební těleso zatěžováno posunem pístu hydraulického lisu. Posun hydraulického lisu byl vyvolán postupným navyšováním síly, což způsobovalo v tělese tahové namáhání.

Pokus se zastavil v momentě, kdy tahová síla dosáhla hodnoty cca 100 kN.

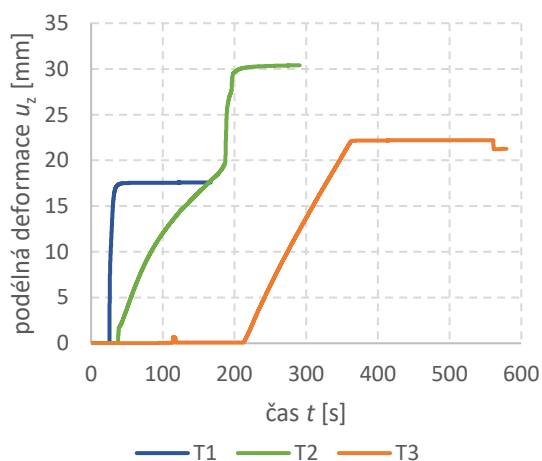
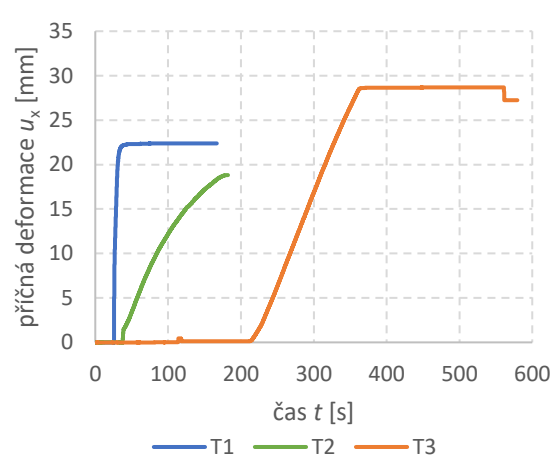
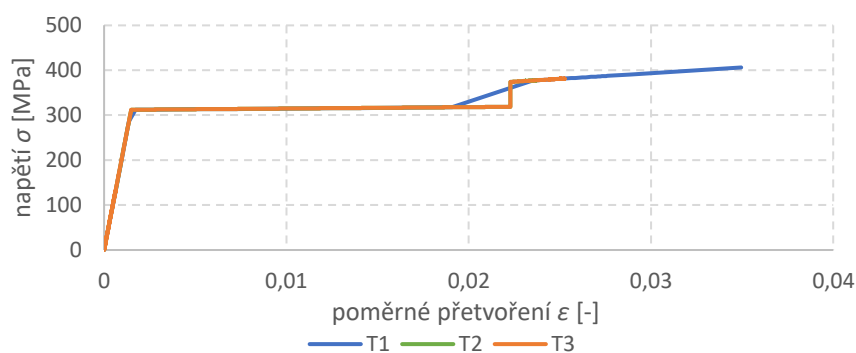
2.3 Výsledky a analýza dat

Výstupem každé zkoušky byl soubor dat naměřených veličin. Data byla zpracována do grafické podoby, viz grafy níže. Jsou zde znázorněny časové záznamy měřených veličin, dále také pracovní diagram a další vzájemné závislosti naměřených veličin.

Grafy pro tělesa s prstencem TR 133 – T1, T2, T3:

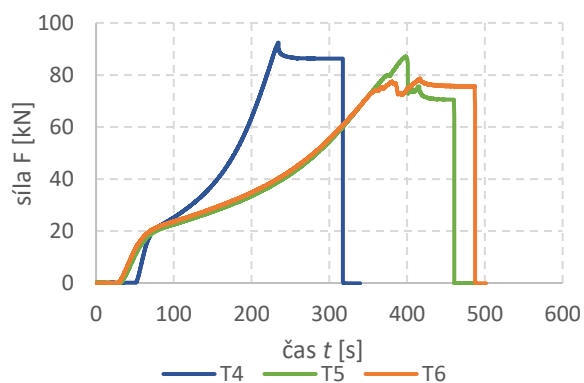
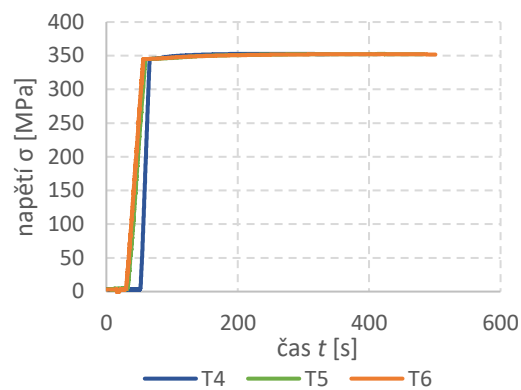
Graf 2.01: Časový průběh rostoucí síly F 

Graf 2.02: Časový průběh napětí v místech tenzometrů

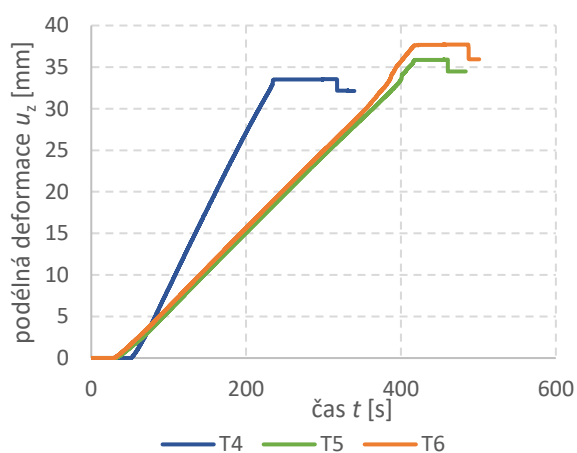
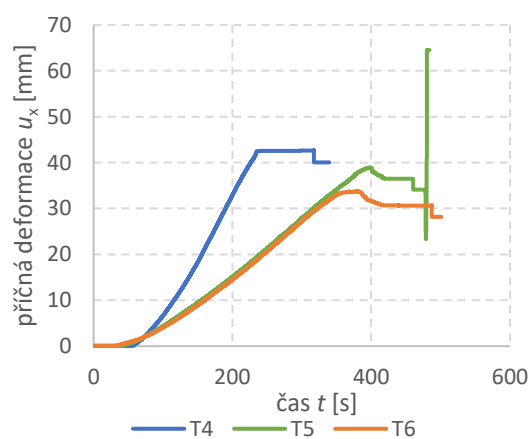
Graf 2.03: Časový průběh podélné def. u_z Graf 2.04: Časový průběh příčné def. u_x 

Graf 2.05: Pracovní diagram

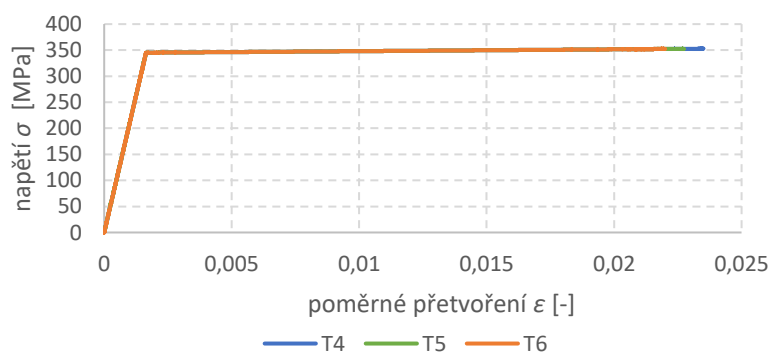
Grafy pro tělesa s prstencem TR 168 – T4, T5, T6:

Graf 2.06: Časový průběh rostoucí síly F 

Graf 2.07: Časový průběh napětí v místech tenzometrů

Graf 2.08: Časový průběh podélné def. u_z 

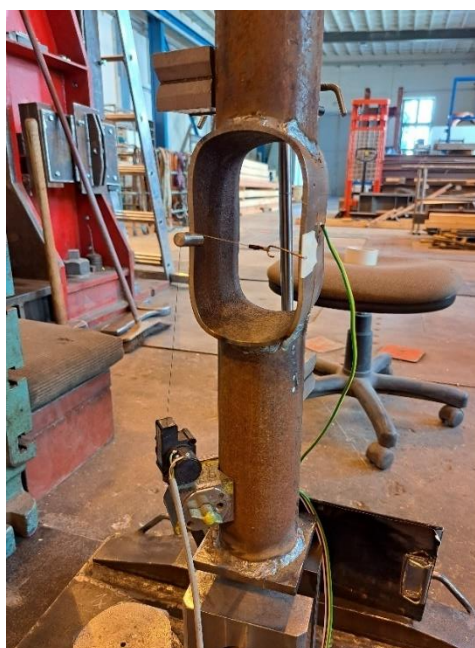
Graf 2.09: Čas. průběh příčného posunu



Graf 2.10: Pracovní diagram

2.4 Fotodokumentace

Tato kapitola obsahuje fotografie pořízené během příprav experimentů, v samotného průběhu zkoušky a také zdeformovaná tělesa po provedení tahové zkoušky.



Obr. 2.07: Těleso T3 – osazené měřicími přístroji (vlevo), deformované po provedení zkoušky (vpravo)



Obr. 2.08: Těleso T4 – osazené měřicími přístroji (vlevo), deformované po provedení zkoušky (vpravo)



Obr. 2.09: Tělesa T1-T3 po zkoušce- boční pohled (vlevo) a pohled zepředu (vpravo)



Obr. 2.10: Tělesa T4-T6 po zkoušce- boční pohled (vlevo) a pohled zepředu (vpravo)

2.5 Materiálové zkoušky oceli

Důvodem pro provedení materiálových zkoušek byla především nutnost znát vlastnosti materiálu, což je stěžejní pro správné vstupní materiálové parametry numerického modelu. Bylo potřeba zjistit mez kluzu f_y a mez pevnosti f_u použitých trubek.

Průběh i vyhodnocení zkoušek probíhal v souladu s normou ČSN EN 10002-1 Kovové materiály – Zkoušení tahem – Část 1: Zkušební metoda za okolní teploty.

2.5.1 Metodologie

Byla provedena tahová zkouška na 3 sadách zkušebních vzorků. Celkem bylo provedeno 14 zatěžovacích zkoušek.

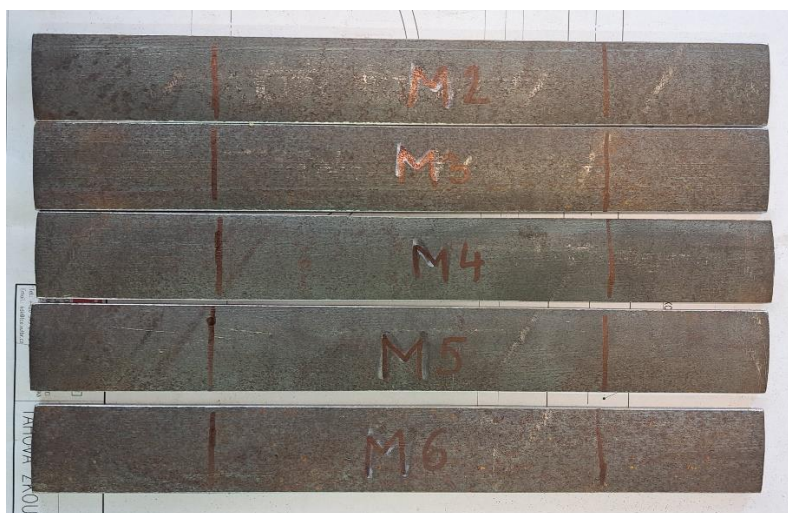
2.5.1.1 Zkušební vzorky

Tělesa byla vyrobena z částí trubek, které byly použity na výrobu zkušebních vzorků pro experimentální analýzu. Z každé trubky byl podélně vyříznutý pásek o délce 250 mm a šířce 30 mm pro vzorky z trubek TR133 a TR168 a délce 150 mm a šířce 30 mm pro vzorky z trubek TR76.

Sady zkušebních vzorků byly pracovně pojmenovány následovně:

- M – vzorky z trubky TRKR 133 (5 zkušebních vzorků)
- V – vzorky z trubky TRKR 168 (5 zkušebních vzorků)
- N – vzorky z trubky TRKR 76 (4 zkušební vzorky)

Fotodokumentace vzorků:



Obr. 2.11: Vzorky M – TRKR 168×4,7 mm



Obr. 2.12: Vzorky V – TRKR 133×4,5 mm



Obr. 2.13: Vzorky N – TRKR 76,5×3,5 mm

2.5.1.2 Měřicí přístroje

Každý zkušební vzorek byl zatěžován postupným navyšováním tahové síly. V průběhu zatěžovací zkoušky byly v čase zaznamenávány veličiny, které jsou společně s typem použitého měřicího zařízení uvedeny v následujícím výčtu:

- Tahová síla F_z : zaznamenávána prostřednictvím trhačího stroje
- Podélný posun z : indukční snímač polohy WA 50-T, HBM



Obr. 2.14: Umístění indukčního snímače polohy

2.5.1.3 Zkušební sestava

Zkoušky byly prováděny na trhacím stroji viz. Obr.2.15-2.17.



Obr. 2.15: Trhací stroj



Obr. 2.16: Ovládací zařízení



Obr. 2.17: Trhací stroj (vpravo) s přístrojem pro zaznamenávání průběhu zkoušky (vlevo)

2.5.2 Průběh zkoušky

Na počátku zatěžovací zkoušky byl hydraulický lis vysunutý směrem dolů, aby bylo možné instalovat zkušební těleso tak, aby bylo upevněno volně a nebylo namáháno tahem. Zkušební těleso se uchytilo na obou koncích do čelistí. Před každou zkouškou bylo zkontrolováno, že nedochází k prokluzu zkušebního tělesa mezi čelistmi. Zkušební sestava se osadila indukčností snímačem polohy.

Poté bylo spuštěno měření pro zaznamenávání jednotlivých veličin v čase – působící tahové síly a podélného posunu vzorku.

Následně bylo zkušební těleso zatěžováno posunem hydraulického lisu. Posun hydraulického lisu byl vyvolán postupným navyšováním síly, což způsobovalo ve zkušebním vzorku tahové namáhání.

Zkouška byla ukončena ve chvíli, kdy došlo k úplnému přetržení vzorku.

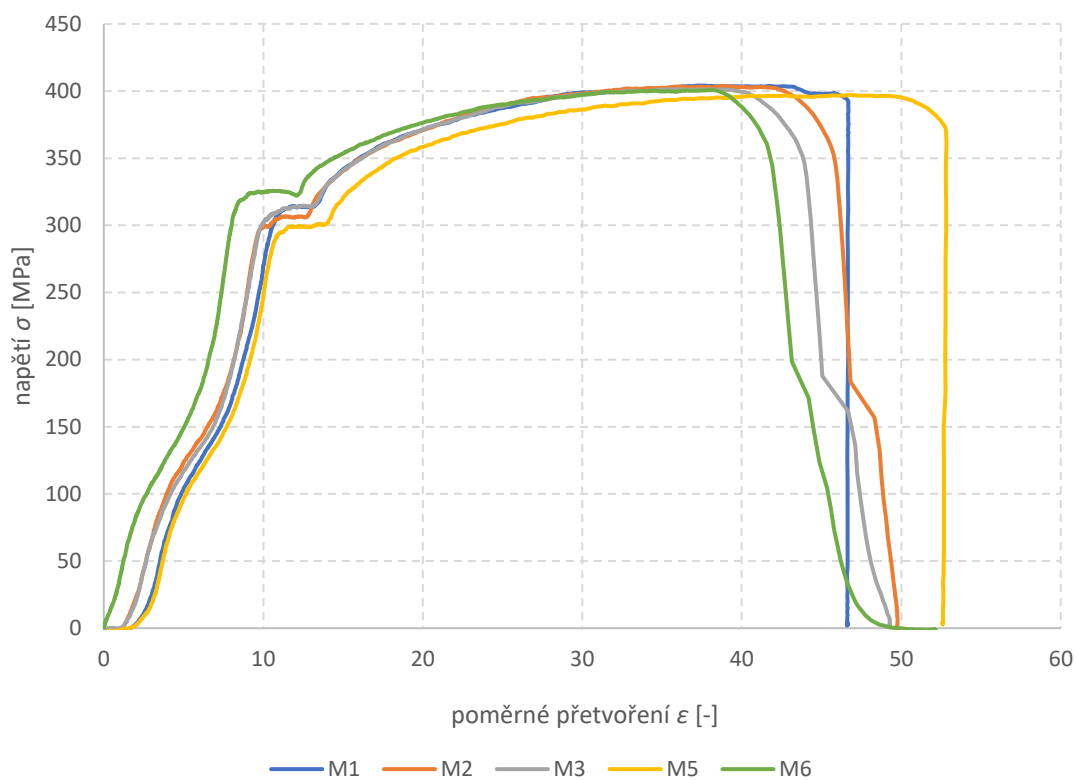
2.5.3 Výsledky a analýza dat

Výstupem každé zkoušky byl časový průběh tahové síly a podélného prodloužení zkušebního vzorku. Plocha průřezu vzorku byla známá, protože proběhlo měření vzorků. Bylo tedy možné stanovit napětí dle vzorce:

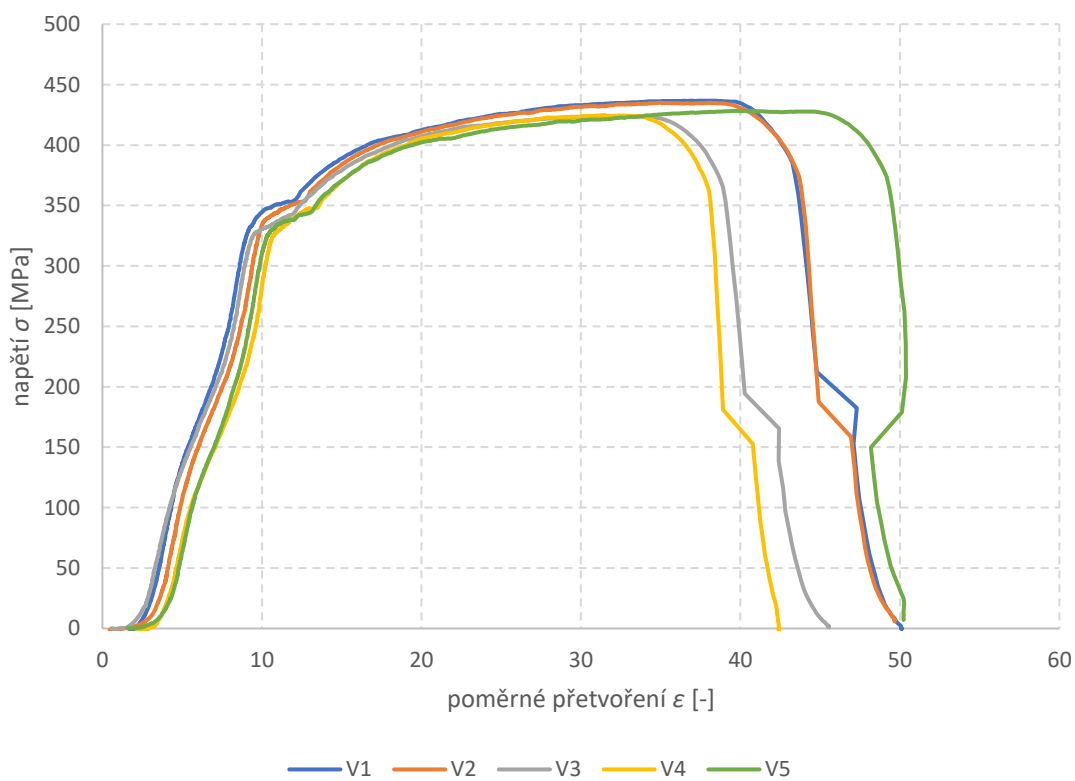
$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{F}{b \cdot t}$$

Při známém napětí bylo možné sestavit graf závislosti napětí na poměrném přetvoření, tedy pracovní diagram oceli. Z jeho průběhu byla stanovena mez kluzu f_y a mez pevnosti f_u . Vyhodnocení tahových zkoušek, tedy stanovení mezí kluzu a mezí pevnosti bylo v souladu s normou ČSN EN 10002-1.

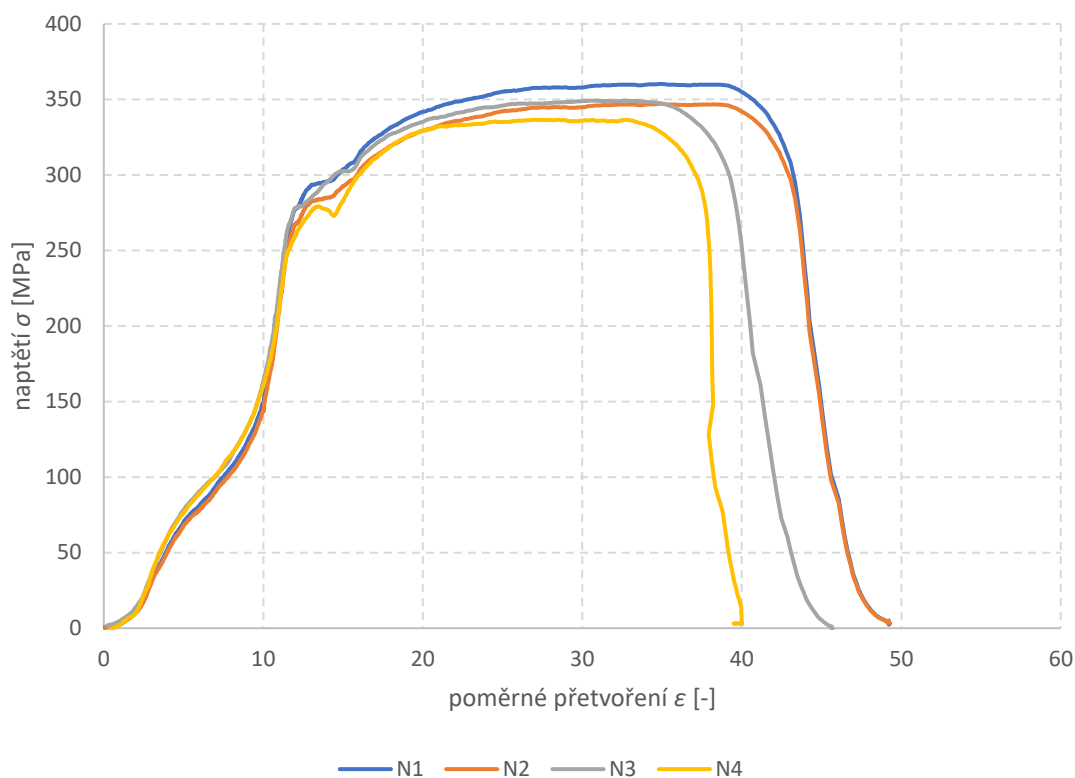
Pro zjištění podélného prodloužení vzorku byl použit indukčností snímač polohy, který měřil pouze posun čelistí. Pro přesné naměření hodnot prodloužení by bylo zapotřebí použití extenzometru. Z tohoto důvodu je nutno konstatovat, že naměřená prodloužení jsou pouze orientační a slouží k určení meze kluzu. Nebylo ale možné stanovit modul pružnosti E .



Graf 2.11: Pracovní diagramy vzorků M



Graf 2.12: Pracovní diagramy vzorků V



Graf 2.13: Pracovní diagramy vzorků N

Z grafů tedy byly následně stanoveny hodnoty meze kluzu a meze pevnosti. Výsledky jsou shrnuty v tabulce níže.

Naměřené hodnoty meze kluzu f_y [MPa]			
číslo vzorku	vzorek M	vzorek V	vzorek N
1	314,34	351,50	294,47
2	306,03	348,94	284,49
3	310,24	337,17	291,90
4	-	343,83	276,91
5	299,03	337,90	-
6	325,62	-	-
Výsledky:			
Vzorek	TR133	TR168	TR76
Průměrná hodnota f_y :	311,05	343,87	286,94
Použitá ocel:	ocel S235	ocel S235	ocel S235

Tab. 2.01: Výsledné hodnoty meze kluzu

Naměřené hodnoty meze pevnosti f_u [MPa]			
číslo vzorku	vzorek M	vzorek V	vzorek N
1	403,75	436,67	360,22
2	403,76	434,71	347,04
3	401,19	423,95	349,07
4	-	424,43	336,46
5	397,03	428,26	-
6	400,25	-	-
Výsledky:			
Vzorek:	TR133	TR168	TR76
Průměrná hodnota f_u :	401,20	429,60	348,20
Použitá ocel:	ocel S235	ocel S235	ocel S235

Tab. 2.02: Výsledné hodnoty meze pevnosti

2.5.4 Závěr

Z grafů i tabulek obsažených v podkapitole 2.4.3 je patrné, že ve všech případech se mez kluzu oceli nachází pod hranicí 355 MPa. Lze tedy konstatovat, že všechny trubky použité na výrobu zkušebních těles byly vyrobeny z konstrukční oceli S235.

2.5.5 Fotodokumentace

Tato kapitola obsahuje fotografie z průběhu materiálových zkoušek.



Obr. 2.13: Vzorky M – porovnání těles před zkouškou a po zkoušce



Obr. 2.14: Vzorky V – po zkoušce



Obr. 2.15: Vzorky N – porovnání těles před zkouškou a po zkoušce



Obr. 2.16: Vzorky N – po zkoušce

3 Numerická analýza

Cílem numerické analýzy je sestavit ve vybraném softwaru model, který co možná nejpřesněji reprezentuje chování detailu a především validovat vytvořený numerický model dle experimentu. Tato kapitola poskytuje detailní informace o numerických modelech, použité typy nelinearit, způsob zatěžování a dosažené výsledky.

3.1 Metodologie

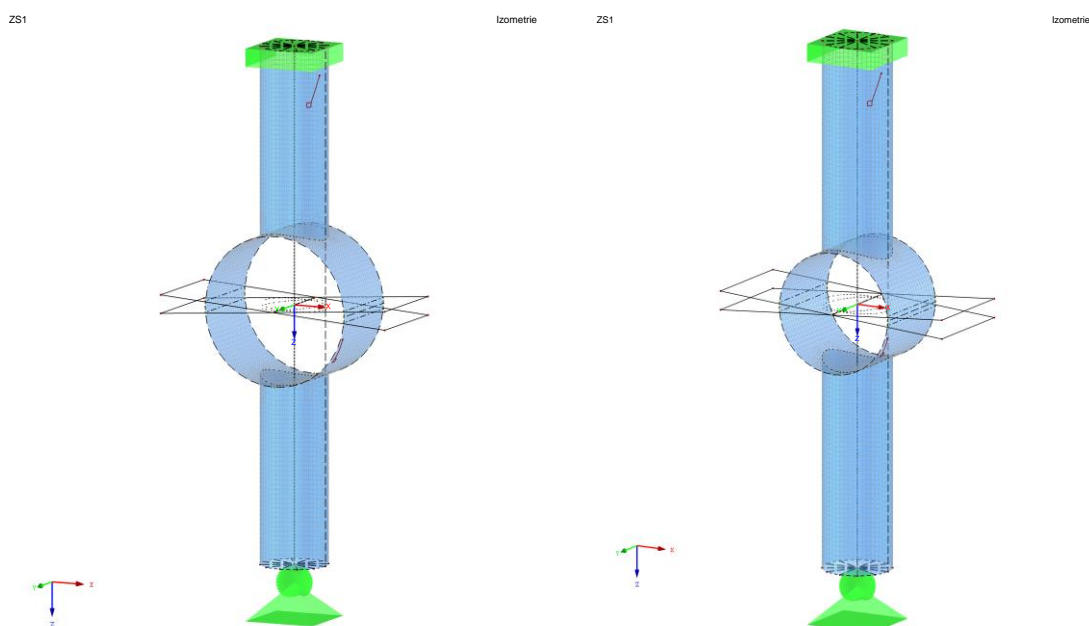
Numerická analýza byla kompletně provedena v programu Dlubal RFEM 5.31. Byly vytvořeny celkem 2 numerické modely:

1. Prstenec z trubky TR133x4,5 – ocel S235
2. Prstenec z trubky TR168x4,5 – ocel S235

Další informace o materiálu viz 3.1.3.

3.1.1 Modely

Byly vytvořeny deskostěnové modely, jejichž geometrie odpovídala geometrii zkušebních těles z experimentální analýzy, viz obr. 3.01 a 3.02. Všechny prvky, tedy podélné trubky i středový prstenec, jsou vymodelovány pomocí deskostěn.



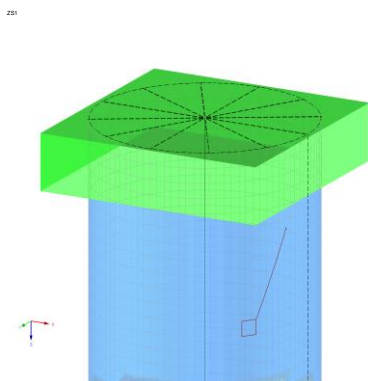
Obr. 3.01: Model TR168

Obr. 3.02: Model TR133

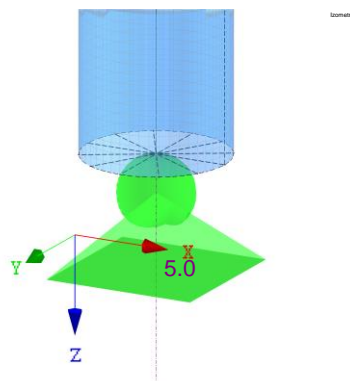
Statický model

Na horním konci tělesa je vetknutí, zatímco na dolním konci je posuvná podpora. Podepření je v obou případech uzlové. Aby bylo možné deskostěnový model podepřít v uzlu, byly na obou koncích tělesa vymodelovány tuhé pruty, které spojují deskostěnu s podélnou osou

tělesa v jediném bodě, kde je provedeno podepření (viz obr. 3.03). Těleso je zatíženo vynuceným poklesem spodní podpory (viz obr. 3.04), což vyvolá v tělese tahové namáhání.



Obr. 3.03: Tuhé pruty v místě podepření



Obr. 3.04: Zatížení – pokles podpory

Analýza

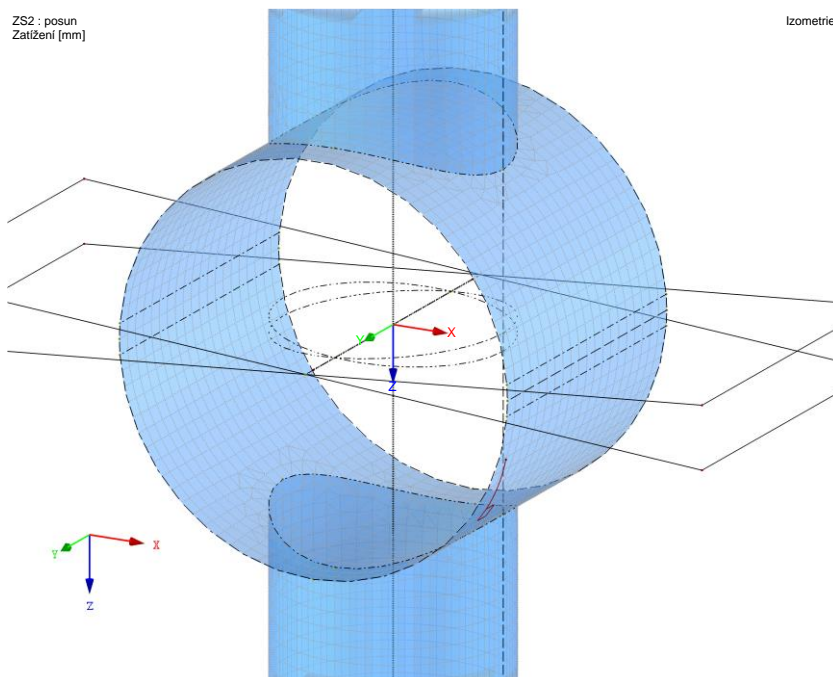
Použitý typ analýzy je GMNA.

Analýza byla provedena podle teorie velkých deformací. Model má ideální geometrii, tedy bez počátečních imperfekcí. Materiál je dle výsledků materiálových zkoušek ocel S235, která má quad-lineární materiálový model viz 3.1.3.

Nastavení sítě prvků

Tvar konečných prvků: trojúhelníky a čtyřúhelníky

Délka konečného prvku: 0,005 m



Obr. 3.05: Síť konečných prvků

3.1.2 Rozměry použitých trubek

Aby byl numerický model co nejpřesnější, bylo provedeno měření trubek, které byly použity pro výrobu zkušebních těles. Měřil se průměr trubky a tloušťka stěny. Pro každou trubku byla provedena 4 měření průměru a 8 měření tloušťky. V numerickém modelu byly použity průměrné hodnoty naměřených rozměrů. Následující tabulky obsahují výčet naměřených hodnot.

VZOREK 1		VZOREK 2	
D [mm]	t [mm]	D [mm]	t [mm]
168,00	4,97	167,90	4,89
167,80	4,21	167,80	4,87
	4,90		4,68
	4,95		4,22
167,90	4,47	168,20	4,84
168,10	4,42	167,80	4,68
	5,37		4,56
	4,75		4,85
167,95	4,76	167,93	4,70

Finální rozměry pro numerickou
analýzu:

D [mm]	t [mm]
167,9	4,7

Tab. 3.01: Naměřené rozměry trubky TR168

VZOREK 3		VZOREK 4	
D [mm]	t [mm]	D [mm]	t [mm]
132,99	4,13	133,32	4,06
133,26	4,35	132,95	4,32
	4,59		4,12
	4,38		4,79
133,04	4,12	133,01	3,98
133,08	4,23	133,96	4,24
	4,25		4,14
	4,49		4,35
133,09	4,32	133,31	4,25

Finální rozměry pro numerickou
analýzu:

D [mm]	t [mm]
133,2	4,3

Tab. 3.02: Naměřené rozměry trubky TR133

VZOREK 5	
D mm	t mm
75,98	3,18
77,15	3,18
	3,63
	3,40
76,36	3,61
76,48	3,12
	3,72
	3,22
76,49	3,38

VZOREK 6	
D mm	t mm
76,17	3,31
76,86	3,48
	3,49
	3,17
76,26	3,17
77,07	3,25
	3,58
	3,60
76,59	3,38

VZOREK 7	
D mm	t mm
76,29	3,20
77,23	3,26
	3,64
	3,38
76,56	3,16
76,58	3,30
	3,29
	3,35
76,67	3,32

Finální rozměry pro numerickou
analýzu:

D [mm]	t [mm]
76,6	3,4

Tab. 3.03: Naměřené rozměry trubky TR76

3.1.3 Pracovní diagram oceli

Pro stanovení pracovního diagramu oceli pro numerický model byly stěžejní výsledky materiálových zkoušek viz 2.4. Výsledkem materiálových zkoušek bylo stanovení meze kluzu a meze pevnosti použitých typů trubek. Následující výčet shrnuje naměřené výsledky:

TR168:

$$f_y = 343,87 \text{ MPa}$$

$$f_u = 429,60 \text{ MPa}$$

TR133:

$$f_y = 311,05 \text{ MPa}$$

$$f_u = 401,20 \text{ MPa}$$

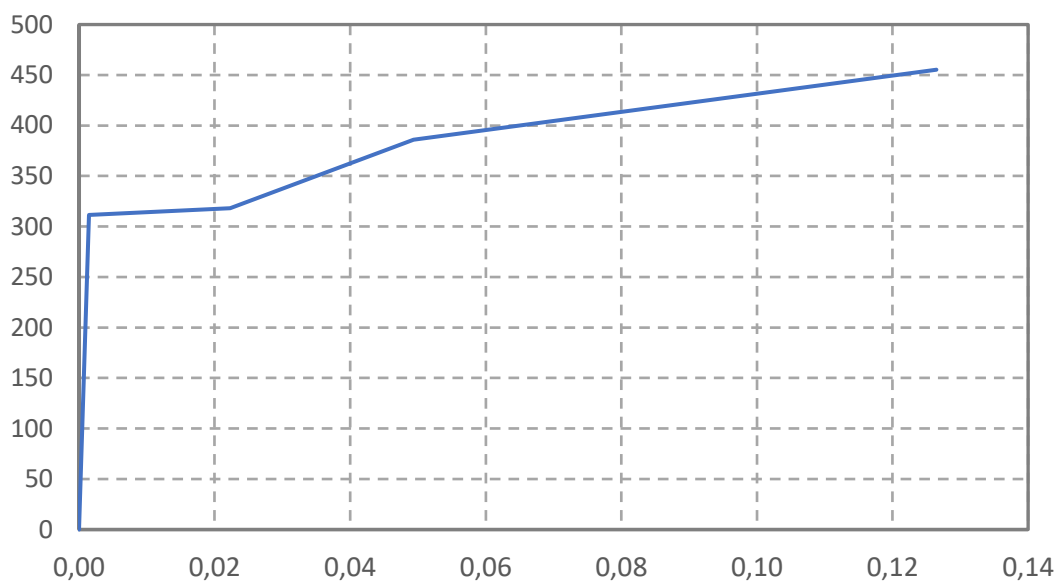
TR76:

$$f_y = 286,94 \text{ MPa}$$

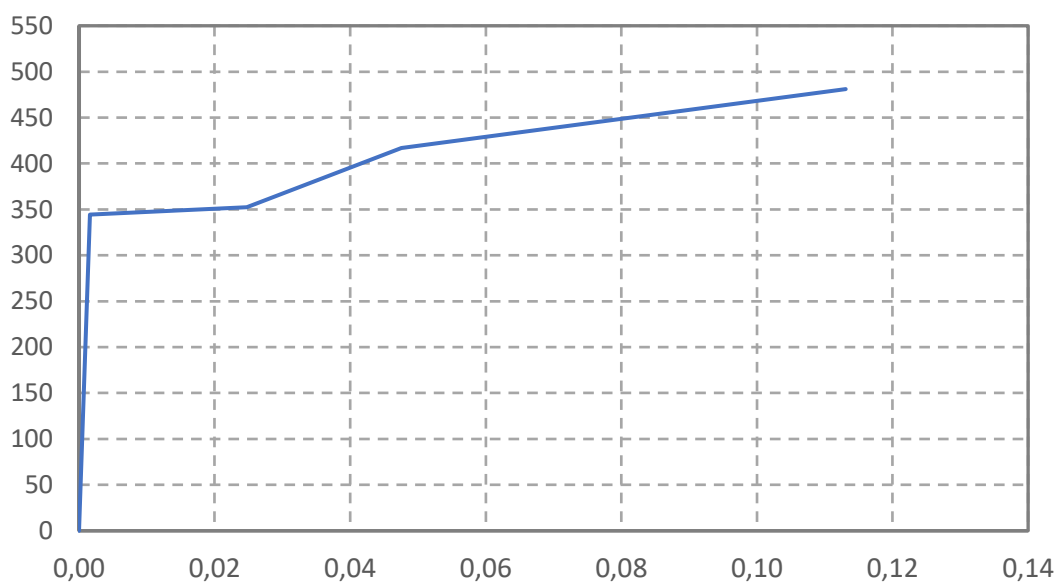
$$f_u = 348,20 \text{ MPa}$$

Použitý materiálový model má quad-lineární pracovní diagram, což je v souladu s normou EN 1993-1-14.

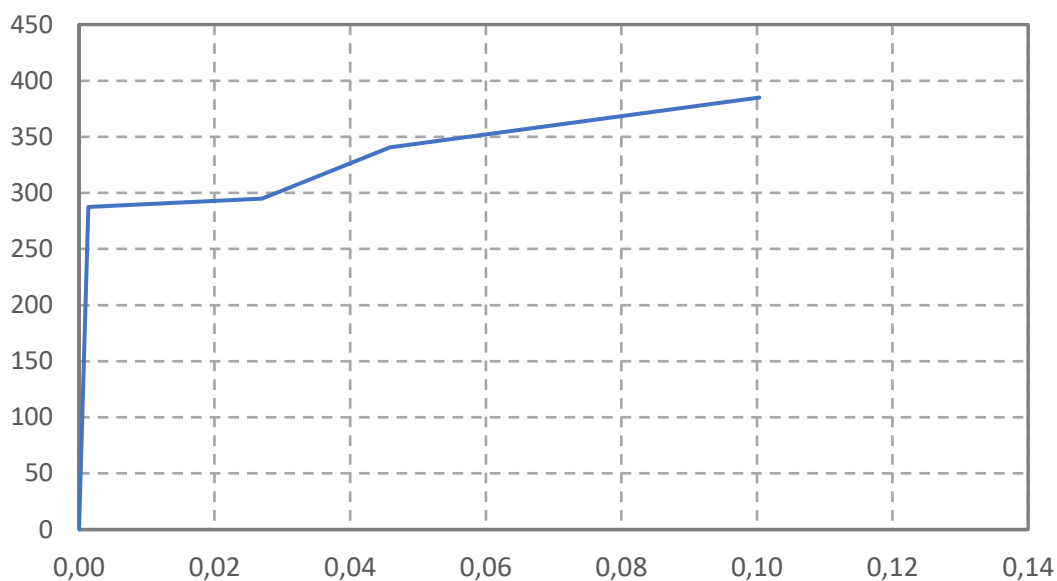
Každý typ trubek má vlastní pracovní diagram. Následující grafy reprezentují použité materiálové modely. Hodnotu modulu pružnosti E bylo nutné uvažovat dle normy jako 210 GPa.



Graf 3.01: Pracovní diagram TR133 pro numerickou analýzu



Graf 3.02: Pracovní diagram TR168 pro numerickou analýzu



Graf 3.03: Pracovní diagram TR76 pro numerickou analýzu

Aby bylo možné získat z numerických modelů průběh závislosti posunu na vzrůstající tahové síle, bylo potřeba provést postupné zatěžování.

Nastavení výpočtu postupným zatěžováním pro jednotlivé modely

Model s prstencem TR168:

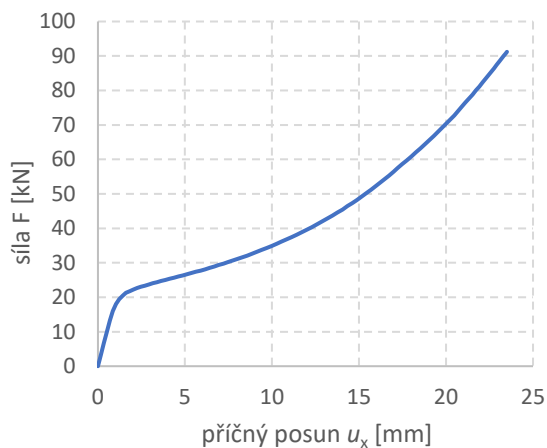
- Vynucený pokles podpory: $u_z = 10$ mm
- Počáteční součinitel zatížení: $k_0 = 0,04$
- Přírůstek faktoru zatížení: $\Delta k = 0,04$
- Maximální počet přírůstků zatížení pro postupné zvyšování zatížení: 100

Model s prstencem TR133:

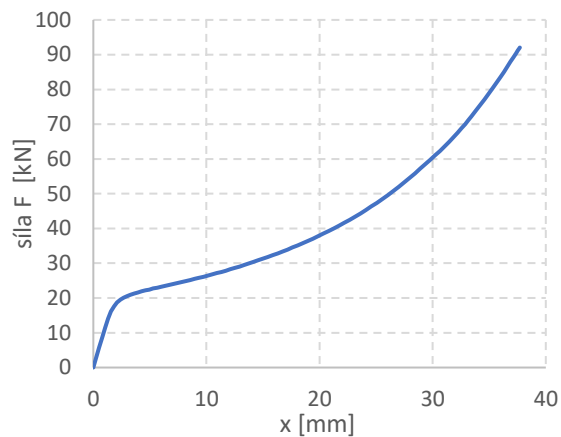
- Vynucený pokles podpory: $u_z = 5$ mm
- Počáteční součinitel zatížení: $k_0 = 0,05$
- Přírůstek faktoru zatížení: $\Delta k = 0,05$
- Maximální počet přírůstků zatížení pro postupné zvyšování zatížení: 100

3.2 Výsledky a analýza dat

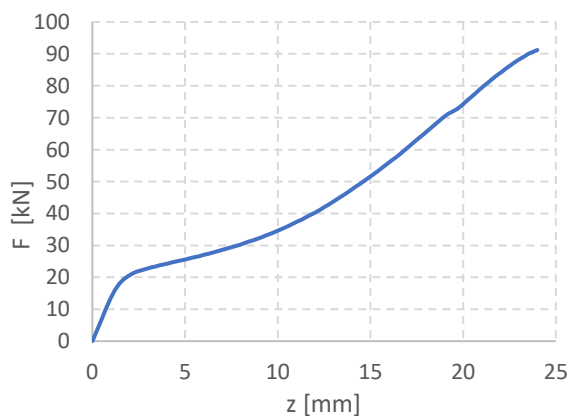
Výsledkem numerické analýzy je průběh závislosti postupně se zvyšující tahové síly F na podélném posunu u_z a na příčném posunu prstence u_x .



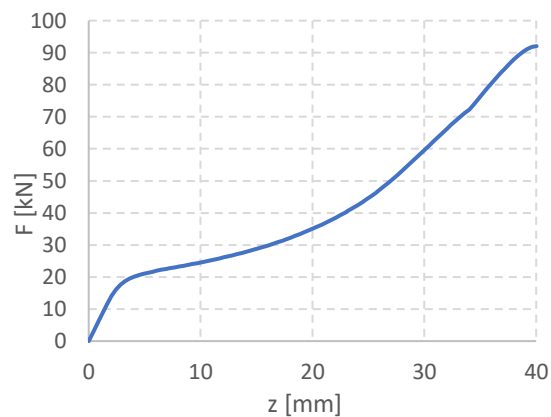
Graf 3.04: Příčný posun – prstenec
z trubky TR133x4,5



Graf 3.05: Příčný posun – prstenec
z trubky TR168x4,7

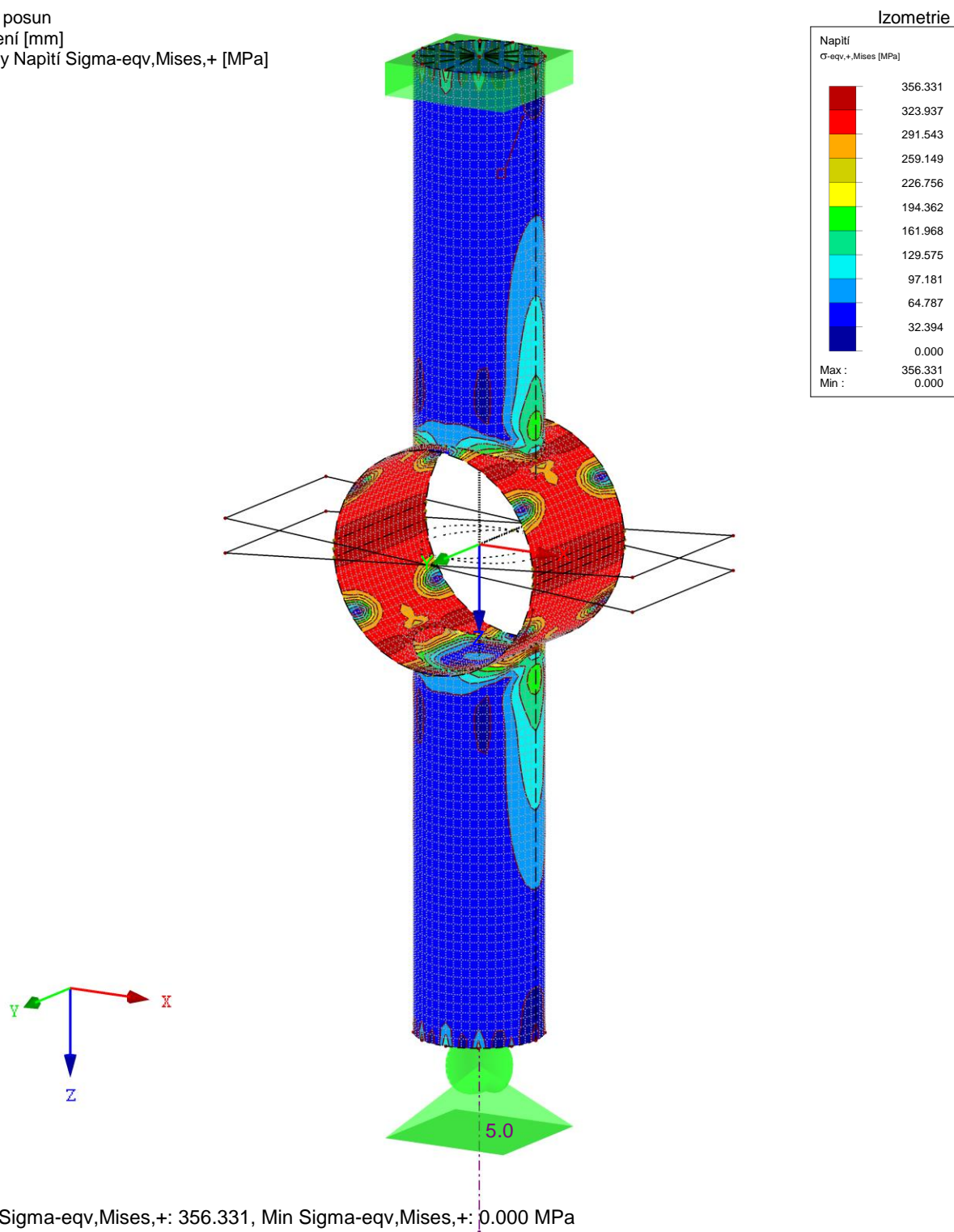


Graf 3.06: Podélný posun – prstenec
z trubky TR133x4,5



Graf 3.07: Podélný posun – prstenec
z trubky TR168x4,7

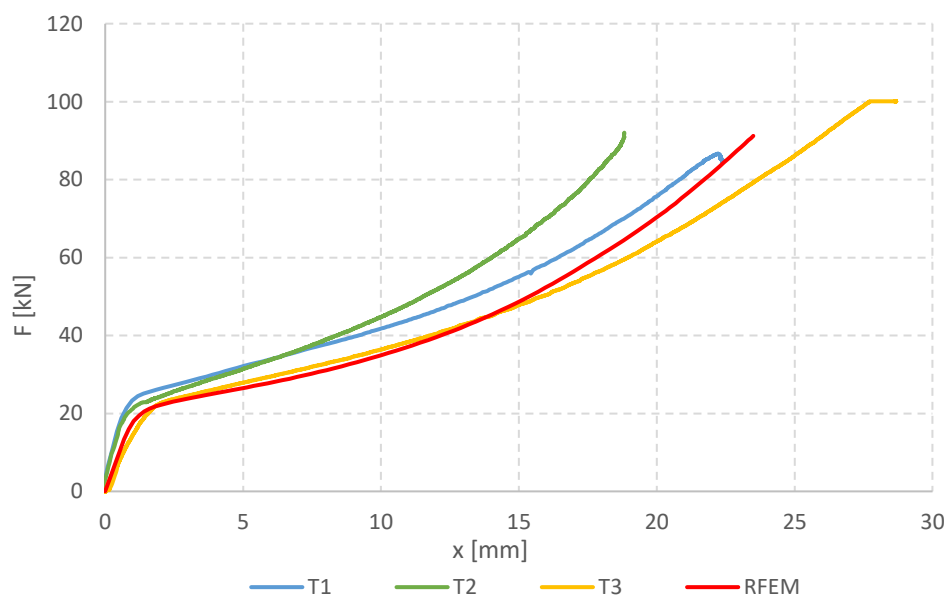
ZS2 : posun
 Zatížení [mm]
 Plochy Napětí Sigma-eqv,Mises,+ [MPa]



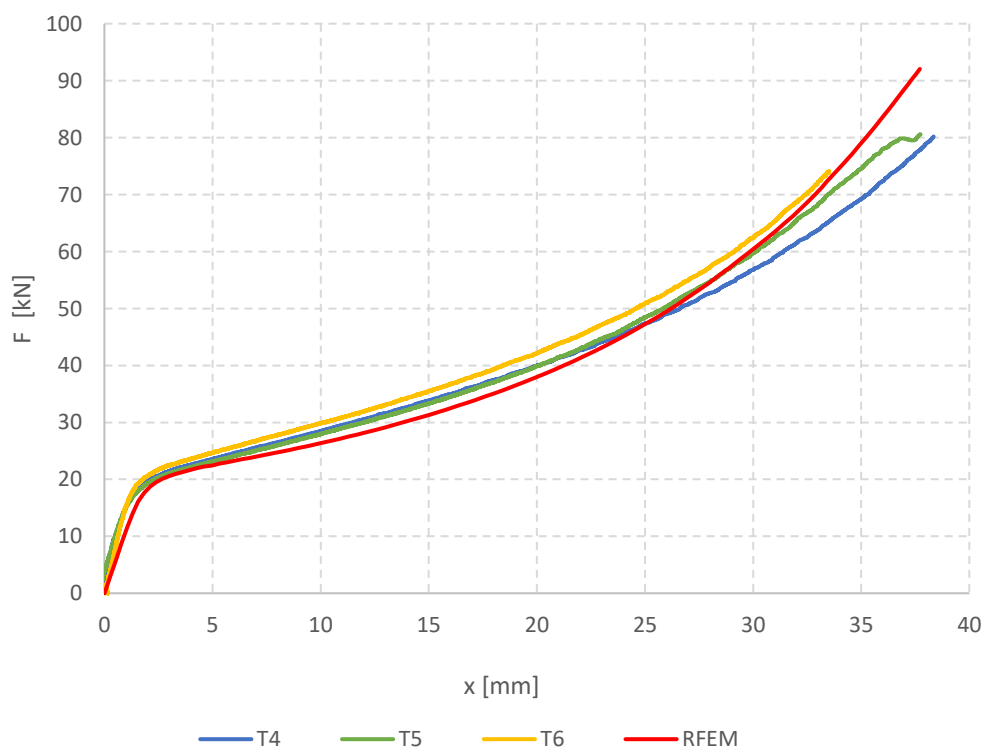
Obr. 3.06: Průběh napětí na numerickém modelu TR133

4 Porovnání výsledků experimentů a numerické analýzy

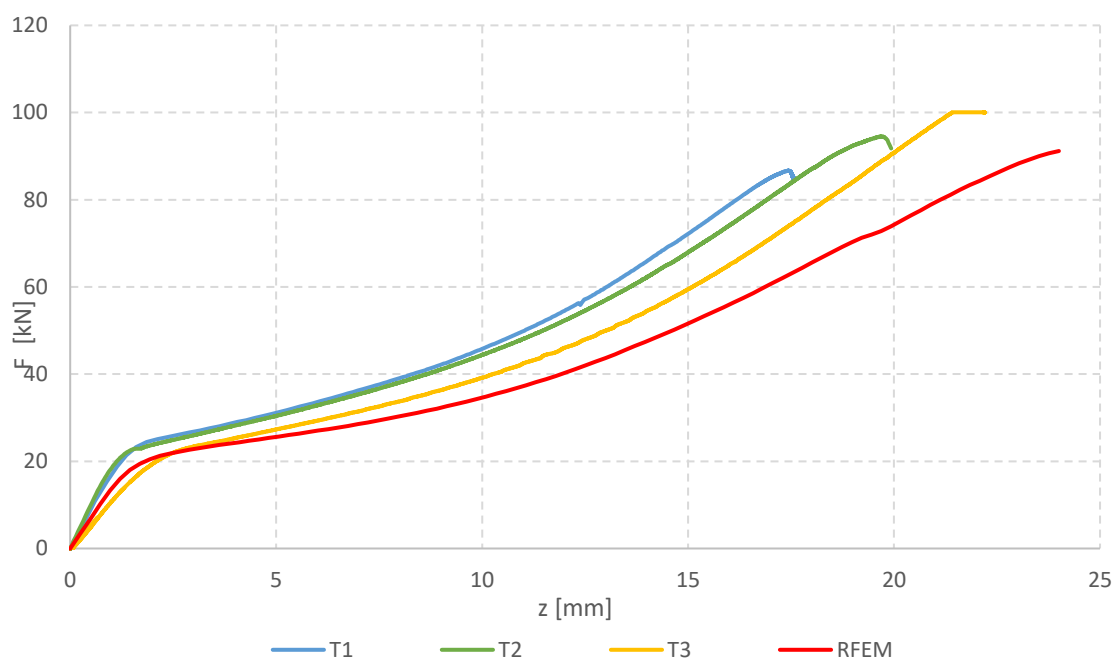
V této kapitole jsou porovnány výsledky experimentální analýzy (v grafu vzorky T1 – T6) s výsledky získané z numerického modelu postupným zatěžováním (v grafu červeně). Následující grafy reprezentují závislost příčného posunu (ve směru x) a podélného posunu (ve směru z) na vzrůstající zatěžovací síle.



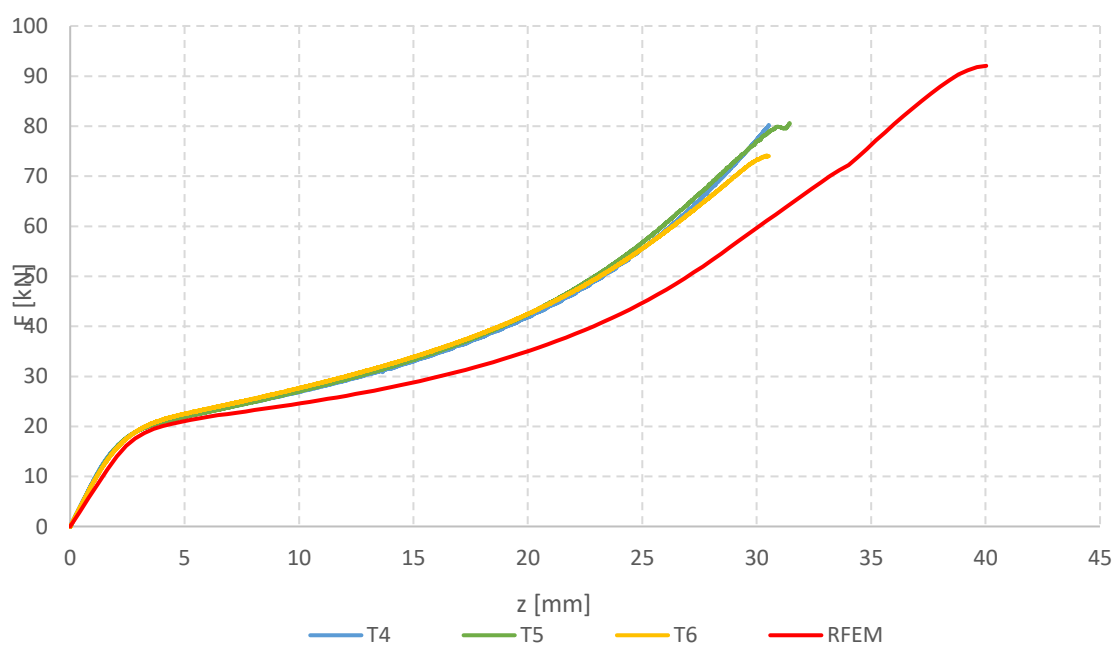
Graf 4.01: Příčný posun – prstenec z trubky TR133x4,5



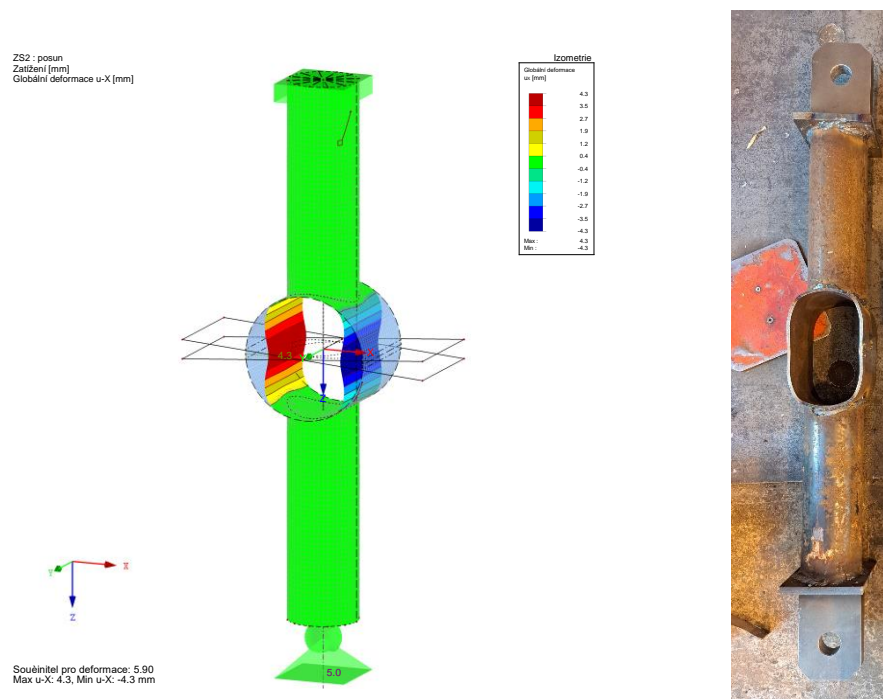
Graf 4.02: Příčný posun – prstenec z trubky TR168x4,7



Graf 4.03: Podélný posun – prstenec z trubky TR133x4,5



Graf 4.04: Podélný posun – prstenec z trubky TR168x4,7



Obr. 4.01: Porovnání průběhu deformací u_z tělesa numerického modelu a experimentálního modelu

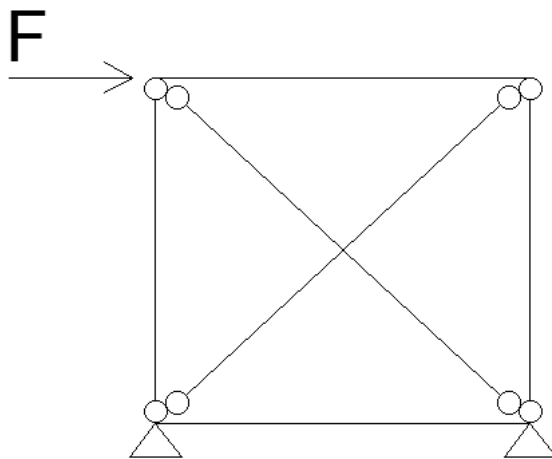
Z grafů je patrné, že výsledky z numerické analýzy mají velmi podobný průběh jako výsledky z experimentální analýzy. Výraznější rozdíl mezi experimentem a numerickou analýzou nastává až ve chvíli, kdy prstenec začne plastizovat. V praktickém návrhu ale tato situace nastane až po překročení mezního stavu. Závěrem lze konstatovat, že numerický model vystihuje skutečné chování přípoje a je tedy možné takový koncept použít jako výchozí pro parametrickou studii přípoje.

5 Parametrická studie

Předchozí kapitoly potvrdily, že chování numerického modelu odpovídá reálnému chování přípoje. Proto je tedy možné parametrickou studii postavit na konceptu modelování, který vychází z numerické analýzy. Tato kapitola představí použité modely, způsob zatěžování

5.1 Metodologie

Pro parametrickou studii byl zvolen koncept rámu ztuženého dvěma zkříženými diagonálami, který je zatížen vodorovnou silou.



Obr. 5.01: Schéma geometrie modelu pro parametrickou studii

Rám se skládá z obvodových prutů a diagonál. Obvodové pruty jsou vymodelovány jako tuhé pruty, aby jejich deformace neovlivňovala konečný výsledek. Boční pruty mají na obou koncích klouby. Diagonály jsou vymodelovány jako nosníky s klouby na koncích a mají kruhový průřez.

Aby bylo možné vyvodit závěry z parametrické studie, bylo potřeba vytvořit model, který bude reprezentovat tradiční řešení a ze kterého budou zjišťovány výchozí hodnoty. Dále bylo potřeba vytvořit model, který bude reprezentovat řešení křížení pomocí prstence. Jak již bylo zmíněno, pro tento účel je vhodný deskostěnový model vycházející z numerické analýzy. Je ale potřeba vytvořit takový model, aby bylo možné jednoduše měnit jednotlivé parametry a ze kterého budou vycházet data pro parametrickou studii.

Proto jsou v parametrické studii rozlišovány 2 typy modelů:

- Referenční model
- Deskostěnový model

V následujících podkapitolách jsou detailně představeny.

5.1.1 Referenční model

Referenční model reprezentuje tradiční řešení, tedy běžné křížení ztužidel. Slouží jako základ pro stanovení hodnot deformací, se kterými se porovnávají výsledky z deskostěnového modelu.

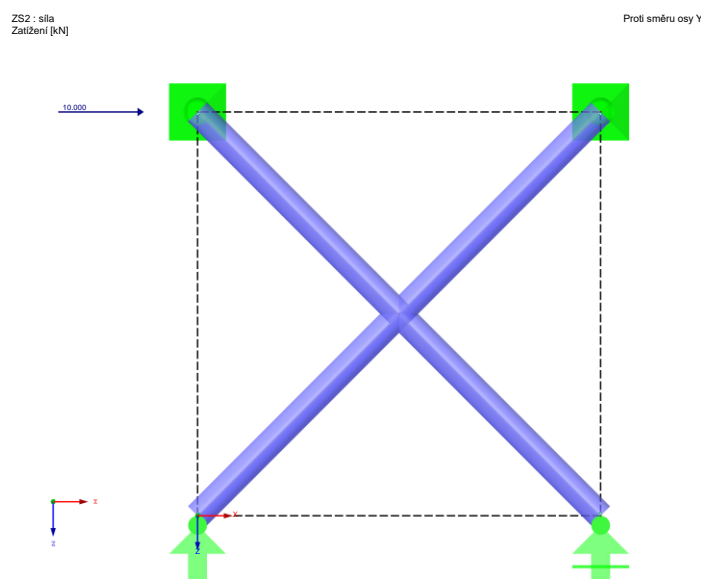
Z referenčního modelu jsou stanoveny výchozí hodnoty deformací. Platí tedy, že pro každý případ parametrické studie má referenční model stejné parametry geometrie a použitých dimenzí průřezu a stejný materiál.

Geometrie

Jedná se o rám, který je podepřen ve dvou spodních uzlech pevnou a posuvnou podporou, ve dvou horních uzlech jsou podpory pevné ve směru y , jak je patrné z obrázku 5.02.

Rám je ztužen dvěma křížovými ztužidly, které mají typ prvku nosník. V místě křížení diagonál je vytvořený uzel, aby se diagonály protínaly v jediném bodě. V místě křížení se uvažuje tuhé připojení. Nejsou zde použity žádné deskostěnové prvky.

Rám je zatížen vodorovnou silou $F = 10$ kN, která působí ve směru osy x v levém horním uzlu. Síla vyvolá deformaci u_x . Právě vodorovná deformace je výchozí hodnotou pro porovnávání s výsledky deskostěnového modelu.



Obr. 5.02: Referenční model

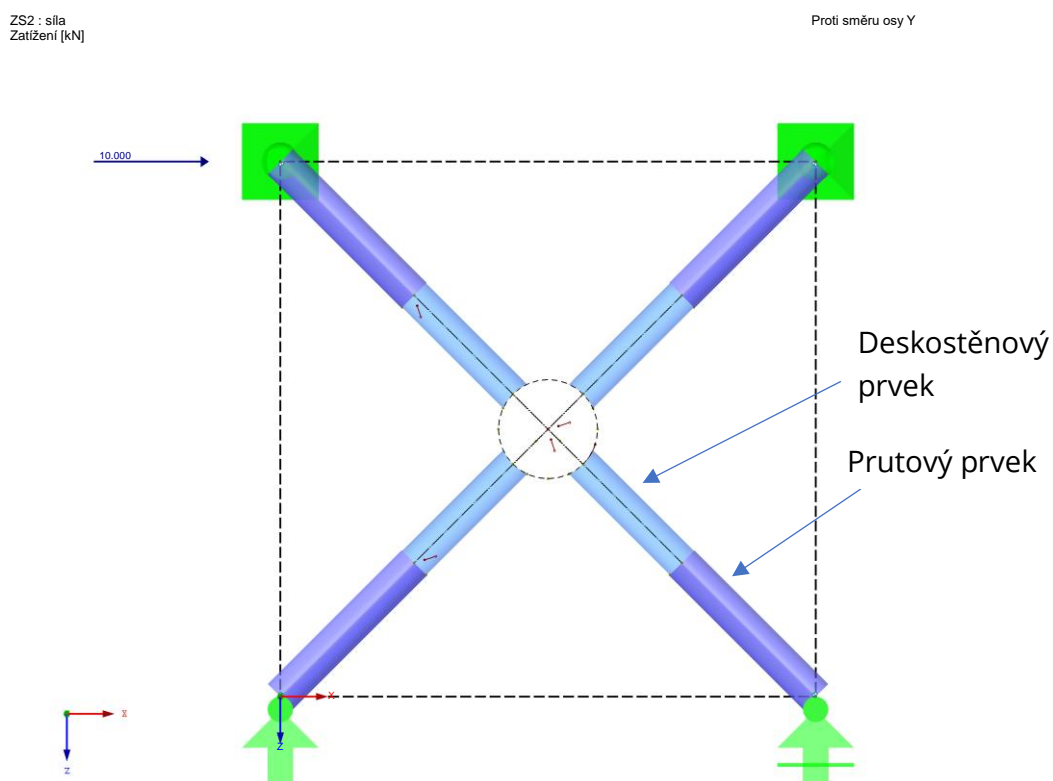
Analýza

Zvolený typ analýzy je GNA.

Jako metoda analýzy byla zvolena analýza velkých deformací. Materiál diagonál je konstrukční ocel S235, který má lineárně pružný pracovní diagram. Geometrie rámu je ideální, tedy bez počátečních imperfekcí.

5.1.2 Deskostěnový model

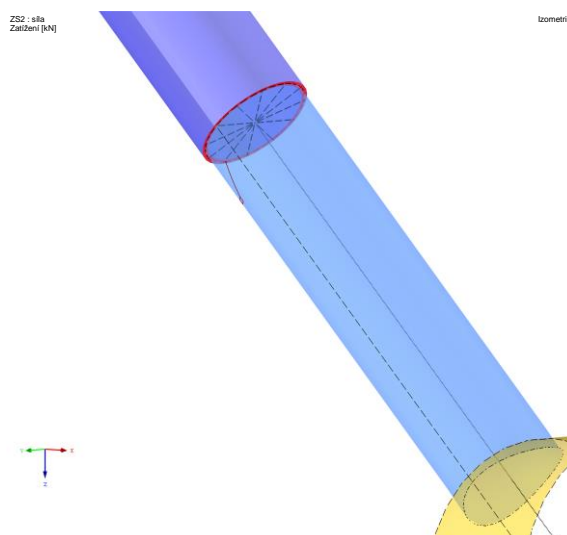
Deskostěnový model byl zvolen jako výchozí pro výsledky parametrické studie. Jedná se o stejnou geometrii, jako v případě referenčního modelu, tedy rám ztužený dvěma diagonálami. Rozdíl oproti referenčnímu modelu je v místě křížení diagonál. V místě křížení je pomocí deskostěn vymodelovaný prstenec s průměrem D_P , tloušťkou stěny t_P a délkou prstence L_P . Části diagonál přilehlé k místu vzájemného křížení jsou vymodelovány taktéž pomocí deskostěn a mají průměr D_D a tloušťkou stěny t_D .



Obr. 5.03: Deskostěnový model

Aby došlo ke vzájemnému spolupůsobení deskostěn jednotlivých prvků, je proveden průnik deskostěn a deaktivace nepotřebných komponent. Nepotřebné komponenty jsou v tomto případě části diagonál, které se nachází uvnitř prstence.

Propojení deskostěn a nosníků je provedeno pomocí tuhých prutů, které spojují střednici nosníku se střednicí deskostěny. Díky tomu nedochází k nespojitosti v místě spojení deskostěny a nosníku.



Obr. 5.04: Napojení diagonál pomocí tuhých prutů

Aby bylo možné jednoduše měnit parametry (viz dále 5.1.3), bylo v tomto modelu použito parametrické zadávání. Každé deskostěně je možné jednoduše měnit její tloušťku a průměr. V případě prstence i délku. Lze měnit i geometrii celého rámu.

Upravit parametry

Seznam parametrů

	A	B	C	D	E	F	G
	Parametr	Typ jednotky	Hodnota	Jednotka	Vzorec	Rozsah hodnot	Komentář
1	b	Délka	1.500	m			šířka ramu
2	h	Délka	1.500	m			výška ramu
3	D1	Délka	0.100	m			průměr trubky diagonaly
4	t1	Délka	0.005	m			tloušťka trubky diagonaly
5	D2	Délka	0.100	m			průměr trubky D2
6	t2	Délka	0.005	m			tloušťka trubky D2
7	D3	Délka	0.300	m			průměr středové trubky
8	t3	Délka	0.022	m			tloušťka středové trubky
9	L3	Délka	0.120	m			délka prstence
10							

Komentář

Jméno parametru (např. 'Šířka_b', zakázány: 'e' a 'PI')

OK Storno

Obr. 5.02: Příklad parametrického zadávání

Analýza

Zvolený typ analýzy je GMNA:

- Geometrická: analýza velkých deformací.
- Materiálová: materiál deskostěn je konstrukční ocel S235, bilineární materiálový model.
- Geometrie rámu je ideální, tedy bez počátečních imperfekcí.

Části diagonál, které jsou vymodelovány jako nosníky, jsou vymodelované z oceli S235, která má lineárně pružný materiálový model.

Napojení dvou částí diagonál (deskostěny a nosníku) je zprostředkováno pomocí dvanácti tuhých prutů, které spojují střednici deskostěny se střednicí nosníku. Je to proto, aby v tomto místě nedošlo ke vzniku singularity.

Deskostěny

- Tvar – trojúhelník nebo čtyřúhelník
- Délka jednoho prvku – 0,005 m

5.1.3 Parametry

Princip parametrické studie spočívá v postupné změně jednotlivých parametrů a na základě výsledků stanovit vliv změn na hledaný výsledek.

V této parametrické studii je cílem nalézt takovou tloušťku prstence, při které pro dané parametry má deskostěnový model srovnatelnou vodorovnou deformaci u_x jako referenční model.

Následující výčet obsahuje všechny měněné parametry:

- Průměr diagonál D_D
- Poměr šířky b a výšky h pole
- Poměr průměru prstence D_P a průměru diagonál D_D

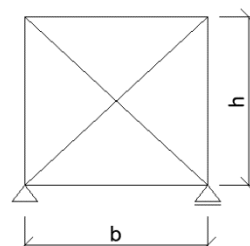
Všechny parametry se mění v omezené míře.

Uvažované průměry diagonál jsou následující:

- $D_D = 40 \text{ mm}$
- $D_D = 60 \text{ mm}$
- $D_D = 80 \text{ mm}$
- $D_D = 100 \text{ mm}$

Poměry stran pole jsou uvažovány na základě následujících rovností:

- $b = 1 \times h$
- $b = 1,25 \times h$
- $b = 1,5 \times h$

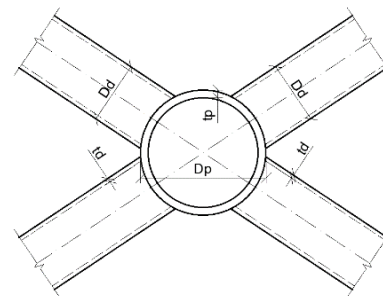


Obr. 5.03: Parametry geometrie rámu

Poměry průměrů prstence a diagonál jsou uvažovány následovně:

- h) $D_p = 2 \times D_D$
- i) $D_p = 2,5 \times D_D$
- j) $D_p = 3 \times D_D$

Pro parametrickou studii bylo sestaveno celkem 36 jednotlivých případů, které obsahují všechny kombinace výše zmíněných parametrů a) – j). Pro přehlednost je výčet všech případů spolu s číslem případu uveden v následující tabulce 5.001.



Obr. 5.04: Parametry průřezů

Číslo případu	Průměry diagonál	Průměry prstence a diagonál	Rozměry rámu
1	40	$D_p = 2 D_D$	$b = h$
2	60		
3	80		
4	100		
5	40	$D_p = 2,5 D_D$	
6	60		
7	80		
8	100		
9	40	$D_p = 3 D_D$	
10	60		
11	80		
12	100		

Číslo případu	Průměry diagonál	Průměry prstence a diagonál	Rozměry rámu
25	40	$D_p = 2 D_D$	$b = 1,5 h$
26	60		
27	80		
28	100		
29	40	$D_p = 2,5 D_D$	
30	60		
31	80		
32	100		
33	40	$D_p = 3 D_D$	
34	60		
35	80		
36	100		

Číslo případu	Průměry diagonál	Průměry prstence a diagonál	Rozměry rámu
13	40	$D_p = 2 D_D$	$b = 1,25 h$
14	60		
15	80		
16	100		
17	40	$D_p = 2,5 D_D$	
18	60		
19	80		
20	100		
21	40	$D_p = 3 D_D$	
22	60		
23	80		
24	100		

Tab. 5.001: Seznam uvažovaných případů parametrické studie

Návrh prstence ovlivňují také parametry, které nejsou zahrnuté do měněných parametrů. Jsou uvažovány buď konstantní hodnotou pro všechny případy parametrické studie, případně jsou závislé na vybraném měněném parametru.

Jedná se o tyto parametry:

- Výška rámu h : pro všechny případy shodná $h = 1,5$ m
- Tloušťka diagonál t_D : je neměnná, pro všechny případy uvažována $t_D = 5$ mm
- Šířka prstence = délka úpalku L_P : pro všechny případy platí, že $L_P = D_P + (2 \times 10 \text{ mm})$

Pro každý případ parametrické studie byl proveden výpočet na deskostěnovém modelu hned několikrát, aby bylo možné vysledovat závislost změny tloušťky na vodorovném posunu. Pro každý výpočet se měnila tloušťka stěny prstence t_P . Pro každou tloušťku se do tabulky zaznamenala získaná hodnota vodorovného posunu u_x a následně i tuhost rámu k dle vzorce

$$k = \frac{F}{u_x}$$

k ... tuhost rámu

F ... působící vodorovná síla

u_x ... maximální vodorovný posun vyvozený silou F

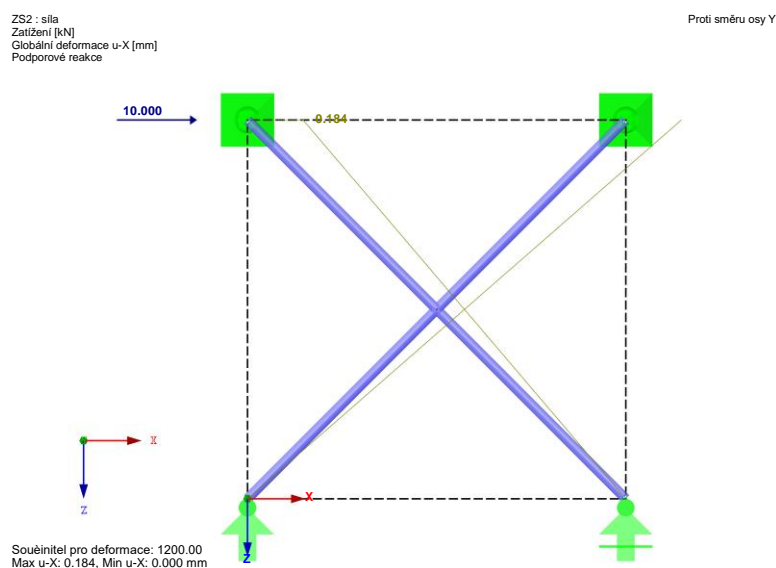
5.2 Výsledky

Výsledkem každého případu parametrické studie je tabulka tlouštěk prstence a graf závislosti příčného posunu pole u_x na tloušťce stěny prstence t_p .

Případ 1

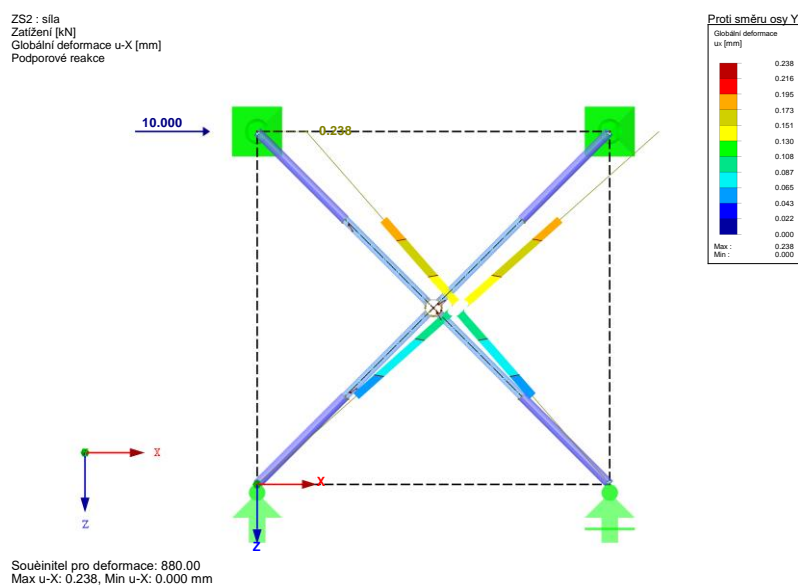
Na prvním případě bude detailně vysvětlen koncept získání a interpretace výsledků. Pro případy 2-36 je přístup shodný.

Výsledek z referenčního modelu:



Obr. 5.05: Výsledky z referenčního modelu pro případ 1

Výsledek z deskostěnového modelu pro tloušťku prstence 10 mm:



Obr. 5.06: Výsledky deskostěnového modelu pro případ 1 a tloušťku prstence $t_p = 10$ mm

Úvodní tabulka obsahuje vstupní parametry geometrie a informace o dimenzích použitých v deskostěnovém modelu. Dále jsou zde obsaženy výsledky z referenčního modelu, a sice vodorovný posun u_x , vodorovný posun s tolerancemi 5 % a 10 % (později použito pro reprezentaci výsledků) a tuhost referenčního modelu. Referenční model má dimenze diagonál i rozměry rámu vždy shodné s dimenzemi použitými v deskostěnovém modelu.

1 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	40 mm
Průměr prstence	D_P	80 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	60 mm
$b = h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	1,5 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun pole	u_x	0,1840 mm
Tolerance	5 %	0,1932 mm
Tolerance	10 %	0,2024 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,0544 MN/mm

Tab. 5.002: Úvodní informace – případ 1

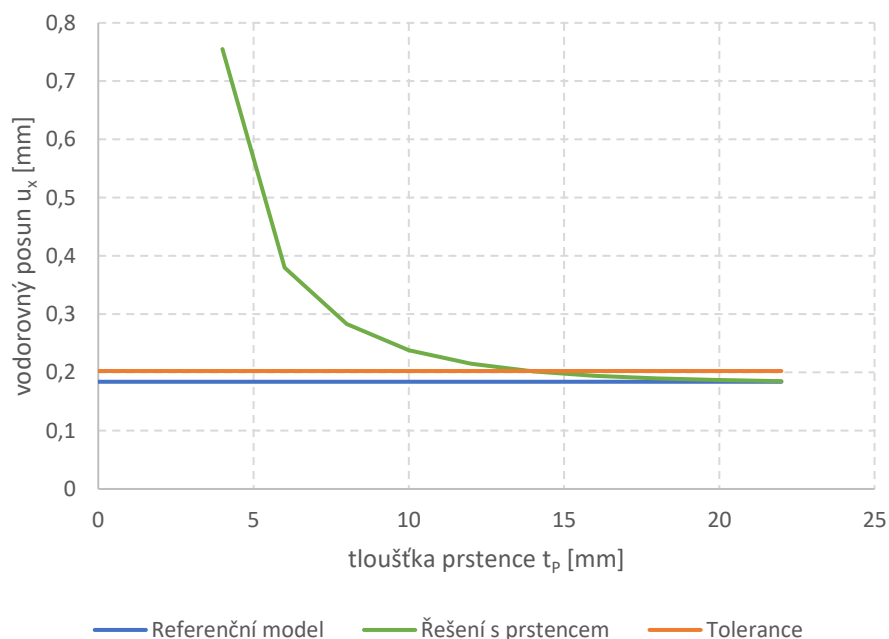
Následuje tabulka výsledků, která obsahuje tloušťky stěny prstence a k nim odpovídající vodorovný posun a tuhost modelu.

Tloušťka prstence	vodorovný posun rámu	tuhost
t_P	u_x	F/u_x
[mm]	[mm]	[MN/mm]
4	0,755	0,01325
6	0,380	0,02632
8	0,283	0,03534
10	0,238	0,04202
12	0,215	0,04651
14	0,202	0,04950
16	0,194	0,05155
18	0,190	0,05263
20	0,187	0,05348
22	0,185	0,05405

Tab. 5.003: Tabulka výsledků – případ 1

Výsledky uvedené v tabulce výsledků (zde viz Tab 5.003) jsou ještě doplněny o grafické znázornění. Jsou zde znázorněny tři křivky:

- Křivka znázorňující výsledky referenčního modelu (modrá)
- Křivka znázorňující výsledky referenčního modelu s tolerancí 10 % (červená)
- Křivka znázorňující závislost vodorovného posunu na změně tloušťky prstence v deskostěnovém modelu (zelená)



Graf 5.01: Graf výsledků případu 1

Pro každý případ parametrické studie je stanovena minimální tloušťka stěny prstence, přičemž platí, že s tolerancí 5 %, resp. 10 % má deskostěnový model tuhost shodnou s referenčním modelem. V případě, že shodná tuhost modelů se nachází mezi dvěma následujícími hodnotami tloušťky, je mezi nimi provedena lineární interpolace. Proto výsledná hodnota minimální tloušťky prstence nemusí být celé číslo.

Hodnoty minimální tloušťky prstence pro jednotlivé tolerance jsou uvedeny v tabulce níže.

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	13,938
5 %	16,400

Tab. 5.004: Minimální tloušťka prstence – případ 1

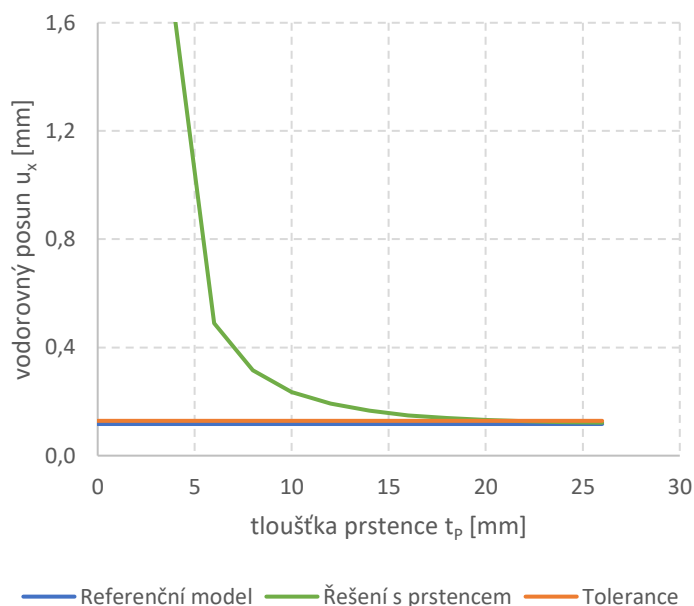
Případ 2

2 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	60 mm
Průměr prstence	D_P	120 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	80 mm
$b = h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	1,5 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,1170 mm
Tolerance	5 %	0,1229 mm
Tolerance	10 %	0,1287 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,0855 MN/mm

Tab. 5.005: Úvodní informace – případ 2

tloušťka prstence t_p [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
4	1,606	0,00623
6	0,489	0,02045
8	0,315	0,03175
10	0,235	0,04255
12	0,192	0,05208
14	0,166	0,06024
16	0,149	0,06711
18	0,139	0,07194
20	0,132	0,07576
22	0,127	0,07874
24	0,124	0,08065
26	0,122	0,08197

Tab. 5.006: Tabulka výsledků – případ 2



Graf 5.02: Graf výsledků případu 2

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	21,320
5 %	25,150

Tab. 5.007: Minimální tloušťka prstence – případ 2

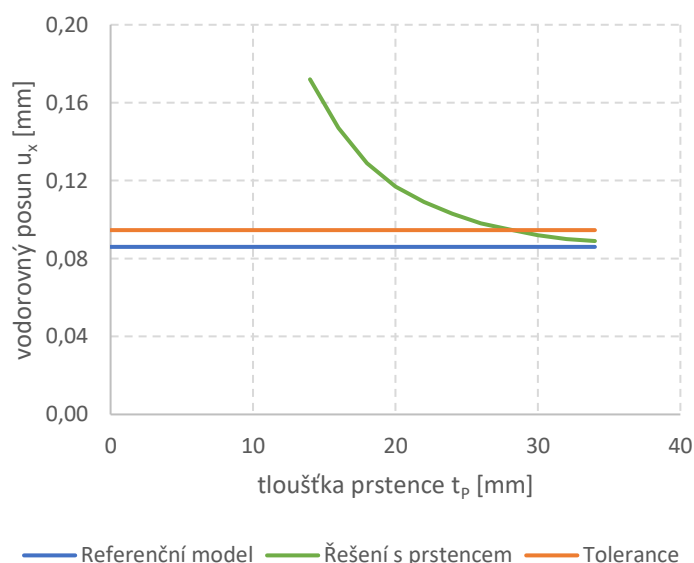
Případ 3

3 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	80 mm
Průměr prstence	D_P	160 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	100 mm
$b = h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	1,5 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,0860 mm
Tolerance	5 %	0,0903 mm
Tolerance	10 %	0,0946 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,1163 MN/mm

Tab. 5.008: Úvodní informace – případ 3

tloušťka prstence t_p [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
14	0,172	0,05814
16	0,147	0,06803
18	0,129	0,07752
20	0,117	0,08547
22	0,109	0,09174
24	0,103	0,09709
26	0,098	0,10204
28	0,095	0,10526
30	0,092	0,10870
32	0,090	0,11111
34	0,089	0,11236

Tab. 5.009: Tabulka výsledků – případ 3



Graf 5.03: Graf výsledků případu 3

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	26,267
5 %	31,700

Tab. 5.010: Minimální tloušťka prstence – případ 3

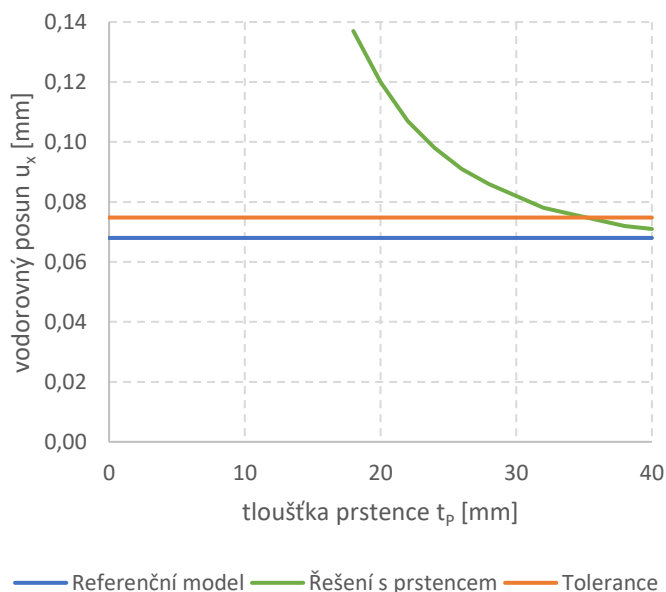
Případ 4

4 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	100 mm
Průměr prstence	D_P	200 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	120 mm
$b = h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	1,5 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,0680 mm
Tolerance	5 %	0,0714 mm
Tolerance	10 %	0,0748 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,1471 MN/mm

Tab. 5.011: Úvodní informace – případ 4

tloušťka prstence t_p [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
18	0,137	0,07299
20	0,120	0,08333
22	0,107	0,09346
24	0,098	0,10204
26	0,091	0,10989
28	0,086	0,11628
30	0,082	0,12195
32	0,078	0,12821
34	0,076	0,13158
36	0,074	0,13514
38	0,072	0,13889
40	0,071	0,14085

Tab. 5.012: Tabulka výsledků – případ 4



Graf 5.04: Graf výsledků případu 4

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	35,200
5 %	39,200

Tab. 5.013: Minimální tloušťka prstence – případ 4

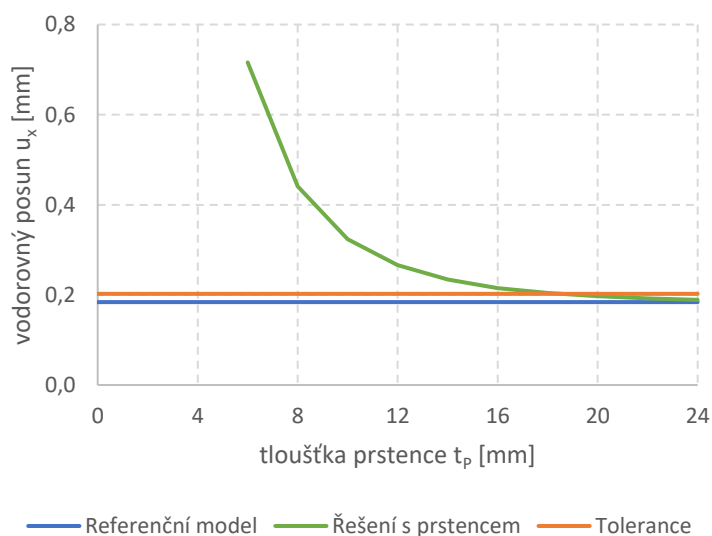
Případ 5

5 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2,5 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	40 mm
Průměr prstence	D_P	100 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	60 mm
$b = h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	1,5 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,1840 mm
Tolerance	5 %	0,1932 mm
Tolerance	10 %	0,2024 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,0544 MN/mm

Tab. 5.014: Úvodní informace – případ 5

tloušťka prstence t_P [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
6	0,716	0,01397
8	0,441	0,02268
10	0,324	0,03086
12	0,266	0,03759
14	0,234	0,04274
16	0,215	0,04651
18	0,204	0,04902
20	0,197	0,05076
22	0,192	0,05208
24	0,189	0,05291

Tab. 5.015: Tabulka výsledků – případ 5



Graf 5.05: Graf výsledků případu 5

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	18,457
5 %	21,520

Tab. 5.016: Minimální tloušťka prstence – případ 5

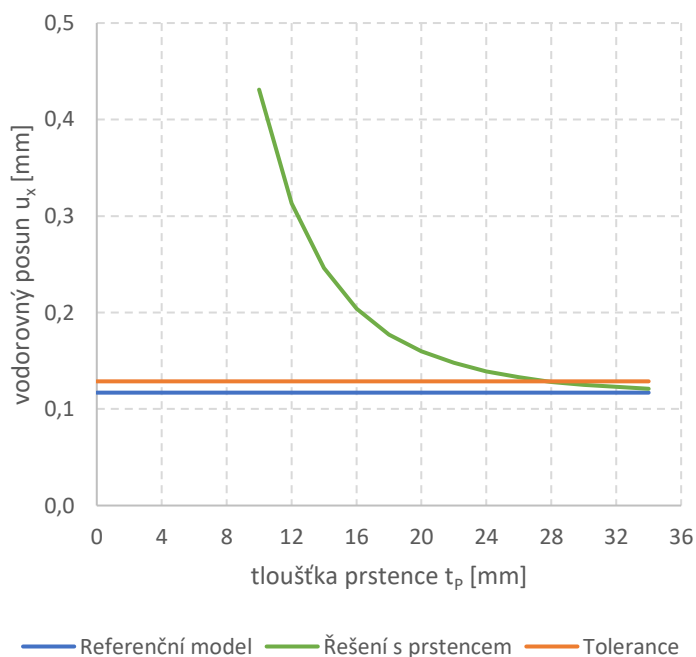
Případ 6

6 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2,5 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	60 mm
Průměr prstence	D_P	150 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	80 mm
$b = h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	1,5 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,1170 mm
Tolerance	5 %	0,1226 mm
Tolerance	10 %	0,1287 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,0855 MN/mm

Tab. 5.017: Úvodní informace – případ 6

tloušťka prstence t_P [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
10	0,431	0,02320
12	0,313	0,03195
14	0,246	0,04065
16	0,204	0,04902
18	0,177	0,05650
20	0,160	0,06250
22	0,148	0,06757
24	0,139	0,07194
26	0,133	0,07519
28	0,128	0,07813
30	0,125	0,08000
32	0,123	0,08130
34	0,121	0,08264

Tab. 5.018: Tabulka výsledků – případ 6



Graf 5.06: Graf výsledků případu 6

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	27,720
5 %	32,150

Tab. 5.019: Minimální tloušťka prstence – případ 6

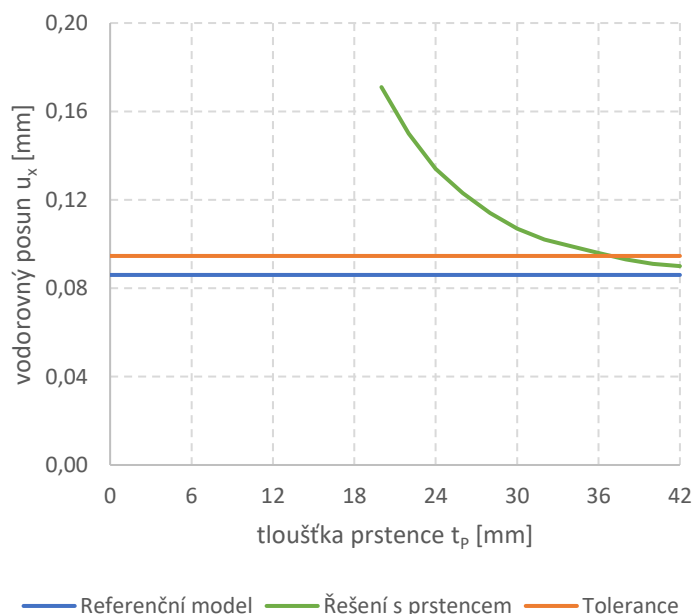
Případ 7

7 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2,5 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	80 mm
Průměr prstence	D_P	200 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	100 mm
$b = h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	1,5 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,0860 mm
Tolerance	5 %	0,0903 mm
Tolerance	10 %	0,0946 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,1163 MN/mm

Tab. 5.020: Úvodní informace – případ 7

tloušťka prstence t_p [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
20	0,171	0,05848
22	0,150	0,06667
24	0,134	0,07463
26	0,123	0,08130
28	0,114	0,08772
30	0,107	0,09346
32	0,102	0,09804
34	0,099	0,10101
36	0,096	0,10417
38	0,093	0,10753
40	0,091	0,10989
42	0,090	0,11111

Tab. 5.021: Tabulka výsledků – případ 7



Graf 5.07: Graf výsledků případu 7

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	36,933
5 %	41,400

Tab. 5.022: Minimální tloušťka prstence – případ 7

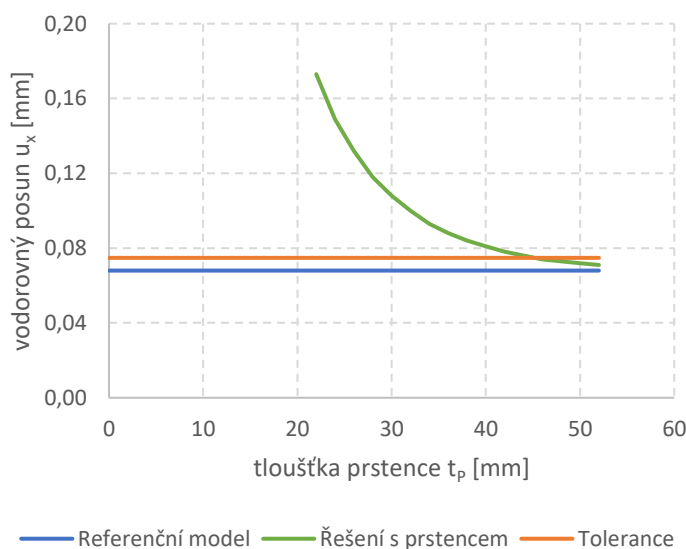
Případ 8

8 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	100 mm
Průměr prstence	D_P	250 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	120 mm
$b = h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	1,5 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,0680 mm
Tolerance	5 %	0,0714 mm
Tolerance	10 %	0,0748 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,1471 MN/mm

Tab. 5.023: Úvodní informace – případ 8

tloušťka prstence t_p [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
22	0,173	0,05780
24	0,149	0,06711
26	0,132	0,07576
28	0,118	0,08475
30	0,108	0,09259
32	0,100	0,10000
34	0,093	0,10753
36	0,088	0,11364
38	0,084	0,11905
40	0,081	0,12346
42	0,078	0,12821
44	0,076	0,13158
46	0,074	0,13514
48	0,073	0,13699
50	0,072	0,13889
52	0,071	0,14085

Tab. 5.024: Tabulka výsledků – případ 8



Graf 5.08: Graf výsledků případu 8

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	41,200
5 %	51,200

Tab. 5.025: Minimální tloušťka prstence – případ 8

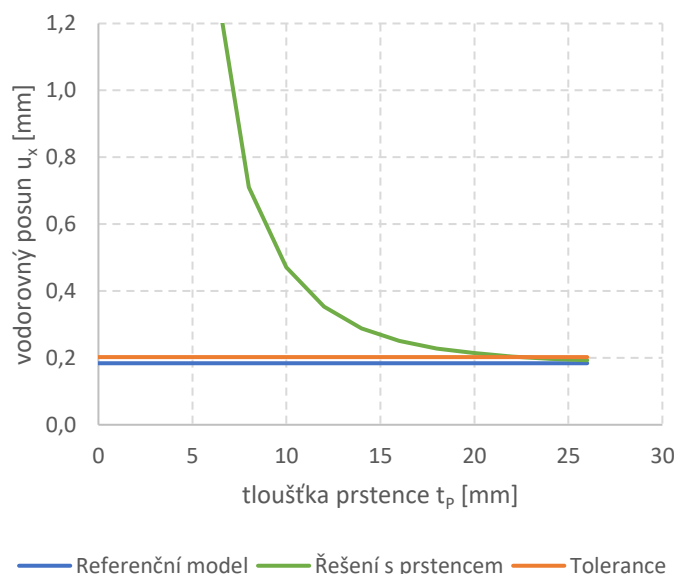
Případ 9

9 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 3 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	40 mm
Průměr prstence	D_P	120 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	60 mm
$b = h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	1,5 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,1840 mm
Tolerance	5 %	0,1932 mm
Tolerance	10 %	0,2024 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,0544 MN/mm

Tab. 5.026: Úvodní informace – případ 9

tloušťka prstence t_p [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
6	1,410	0,00709
8	0,710	0,01408
10	0,471	0,02123
12	0,353	0,02833
14	0,288	0,03472
16	0,251	0,03984
18	0,228	0,04386
20	0,214	0,04673
22	0,204	0,04902
24	0,197	0,05076
26	0,193	0,05181

Tab. 5.027: Tabulka výsledků – případ 9



Graf 5.09: Graf výsledků případu 9

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	22,457
5 %	25,900

Tab. 5.028: Minimální tloušťka prstence – případ 9

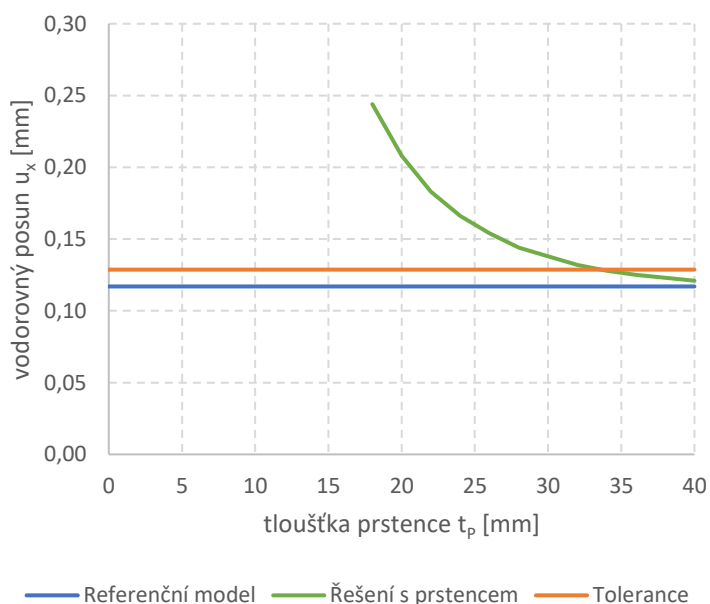
Případ 10

10 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 3 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	60 mm
Průměr prstence	D_P	180 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	80 mm
$b = h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	1,5 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,1170 mm
Tolerance	5 %	0,1229 mm
Tolerance	10 %	0,1287 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,0855 MN/mm

Tab. 5.029: Úvodní informace – případ 10

tloušťka prstence t_p [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
18	0,244	0,04098
20	0,208	0,04808
22	0,183	0,05464
24	0,166	0,06024
26	0,154	0,06494
28	0,144	0,06944
30	0,138	0,07246
32	0,132	0,07576
34	0,128	0,07813
36	0,125	0,08000
38	0,123	0,08130
40	0,121	0,08264

Tab. 5.030: Tabulka výsledků – případ 10



Graf 5.10: Graf výsledků případu 10

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	33,650
5 %	38,150

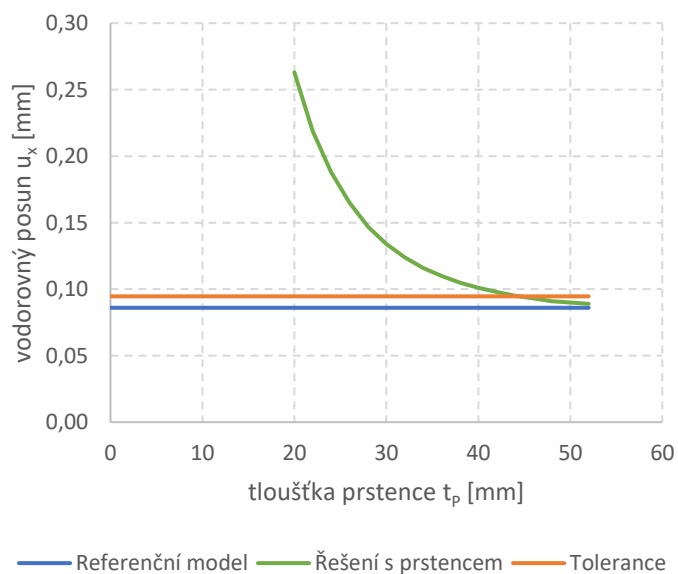
Tab. 5.031: Minimální tloušťka prstence – případ 10

Případ 11

11 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 3 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	80 mm
Průměr prstence	D_P	240 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	100 mm
$b = h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	1,5 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,0860 mm
Tolerance	5 %	0,0903 mm
Tolerance	10 %	0,0946 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,1163 MN/mm

Tab. 5.032: Úvodní informace – případ 11

tloušťka prstence t_P [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
20	0,263	0,03802
22	0,219	0,04566
24	0,188	0,05319
26	0,165	0,06061
28	0,147	0,06803
30	0,134	0,07463
32	0,124	0,08065
34	0,116	0,08621
36	0,110	0,09091
38	0,105	0,09524
40	0,101	0,09901
42	0,098	0,10204
44	0,095	0,10526
46	0,093	0,10753
48	0,091	0,10989
50	0,090	0,11111
52	0,089	0,11236



Graf 5.11: Graf výsledků případu 11

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	44,400
5 %	49,400

Tab. 5.033: Tab. výsledků – případ 11

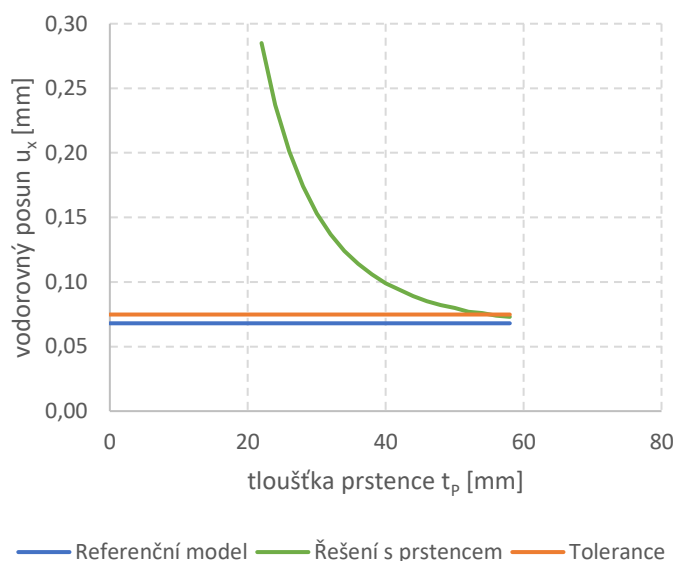
Tab. 5.034: Min. tloušťka prstence – případ 11

Případ 12

12 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 3 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	100 mm
Průměr prstence	D_P	300 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence $b = h$	L_P	120 mm
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	1,5 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,0680 mm
Tolerance	5 %	0,0714 mm
Tolerance	10 %	0,0748 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,1471 MN/mm

Tab. 5.035: Úvodní informace – případ 12

tloušťka prstence t_p [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
22	0,285	0,03509
24	0,237	0,04219
26	0,201	0,04975
28	0,174	0,05747
30	0,153	0,06536
32	0,137	0,07299
34	0,124	0,08065
36	0,114	0,08772
38	0,106	0,09434
40	0,099	0,10101
42	0,094	0,10638
44	0,089	0,11236
46	0,085	0,11765
48	0,082	0,12195
50	0,080	0,12500
52	0,077	0,12987
54	0,076	0,13158
56	0,074	0,13514
58	0,073	0,13699
60	0,072	0,13889
62	0,071	0,14085



Graf 5.12: Graf výsledků případu 12

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	55,200
5 %	61,200

Tab. 5.037: Min. tloušťka prstence – případ 12

← Tab. 5.036: Tabulka výsledků – případ 12

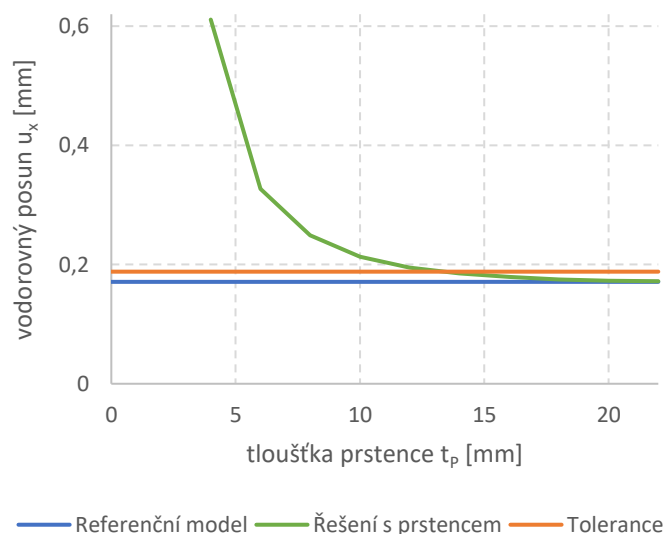
Případ 13

13 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	40 mm
Průměr prstence	D_P	80 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	60 mm
$b = 1,25 h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	1,875 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,1710 mm
Tolerance	5 %	0,1796 mm
Tolerance	10 %	0,1881 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,0585 MN/mm

Tab. 5.038: Úvodní informace – případ 13

tloušťka prstence t_p [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
4	0,611	0,01637
6	0,327	0,03058
8	0,249	0,04016
10	0,213	0,04695
12	0,195	0,05128
14	0,185	0,05405
16	0,179	0,05587
18	0,175	0,05714
20	0,173	0,05780
22	0,172	0,05814

Tab. 5.039: Tabulka výsledků – případ 13



Graf 5.13: Graf výsledků případu 13

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	13,380
5 %	15,817

Tab. 5.040: Minimální tloušťka prstence – případ 13

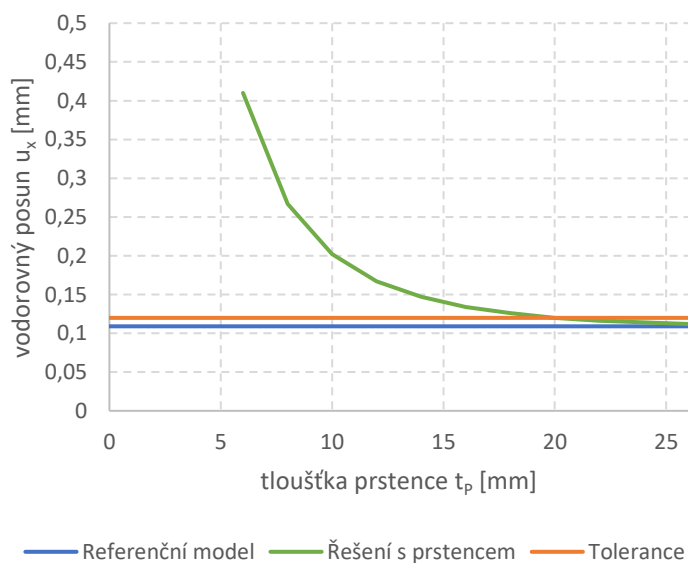
Případ 14

14 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	60 mm
Průměr prstence	D_P	120 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	80 mm
$b = 1,25 h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	1,875 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,1090 mm
Tolerance	5 %	0,1145 mm
Tolerance	10 %	0,1199 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,0917 MN/mm

Tab. 5.041: Úvodní informace – případ 14

tloušťka prstence t_p [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
6	0,410	0,02439
8	0,267	0,03745
10	0,202	0,04950
12	0,167	0,05988
14	0,147	0,06803
16	0,134	0,07463
18	0,126	0,07937
20	0,120	0,08333
22	0,116	0,08621
24	0,114	0,08772
26	0,112	0,08929

Tab. 5.042: Tabulka výsledků – případ 14



Graf 5.14: Graf výsledků případu 14

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	20,050
5 %	23,550

Tab. 5.043: Minimální tloušťka prstence – případ 14

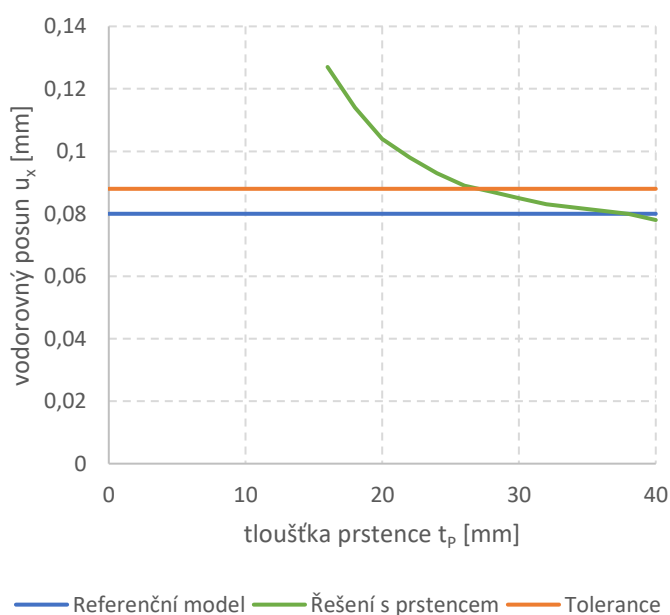
Případ 15

15 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	80 mm
Průměr prstence	D_P	160 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	100 mm
$b = 1,25 h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	1,875 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,080 mm
Tolerance	5 %	0,084 mm
Tolerance	10 %	0,088 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,125 MN/mm

Tab. 5.044: Úvodní informace – případ 15

tloušťka prstence t_P [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
16	0,127	0,07874
18	0,114	0,08772
20	0,104	0,09615
22	0,098	0,10204
24	0,093	0,10753
26	0,089	0,11236
28	0,087	0,11494
30	0,085	0,11765
32	0,083	0,12048
34	0,082	0,12195
36	0,081	0,12346
38	0,080	0,12500
40	0,078	0,12821

Tab. 5.045: Tabulka výsledků – případ 15



Graf 5.15: Graf výsledků případu 15

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	27,000
5 %	31,000

Tab. 5.046: Minimální tloušťka prstence – případ 15

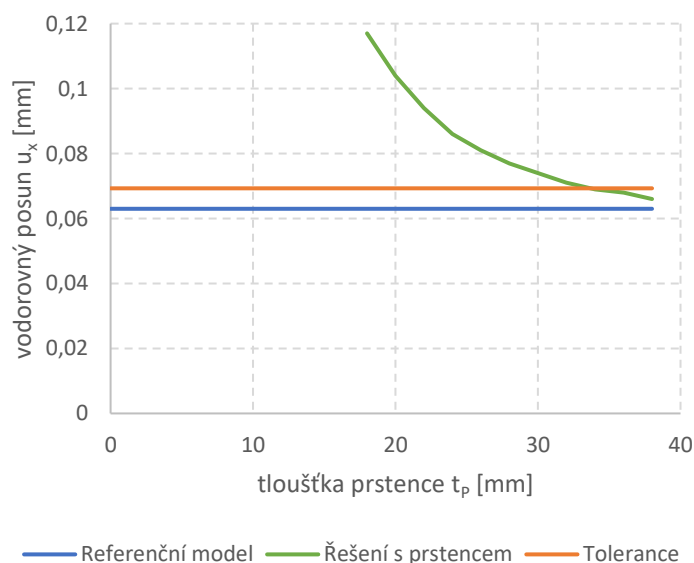
Případ 16

16 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	100 mm
Průměr prstence	D_P	200 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	120 mm
$b = 1,25 h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	1,875 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,0630 mm
Tolerance	5 %	0,0662 mm
Tolerance	10 %	0,0693 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,1587 MN/mm

Tab. 5.047: Úvodní informace – případ 16

tloušťka prstence t_p [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
18	0,117	0,08547
20	0,104	0,09615
22	0,094	0,10638
24	0,086	0,11628
26	0,081	0,12346
28	0,077	0,12987
30	0,074	0,13514
32	0,071	0,14085
34	0,069	0,14493
36	0,068	0,14706
38	0,066	0,15152

Tab. 5.048: Tabulka výsledků – případ 16



Graf 5.16: Graf výsledků případu 16

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	33,700
5 %	37,850

Tab. 5.049: Minimální tloušťka prstence – případ 16

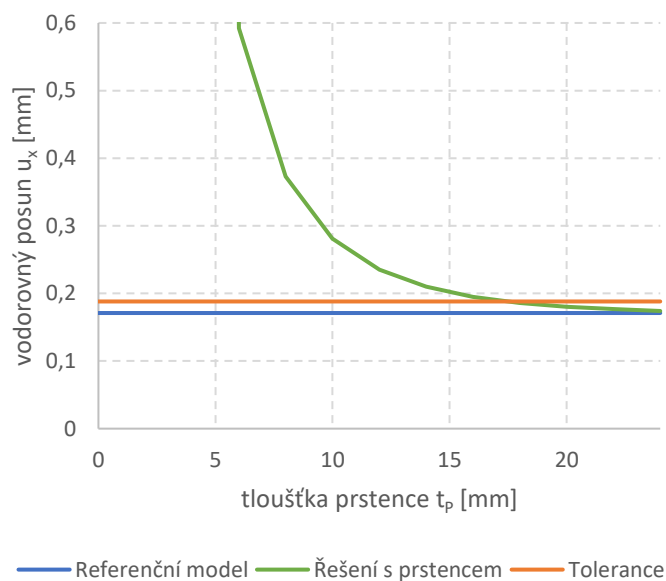
Případ 17

17 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2,5 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	40 mm
Průměr prstence	D_P	100 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	60 mm
$b = 1,25 h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	1,875 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,1710 mm
Tolerance	5 %	0,1796 mm
Tolerance	10 %	0,1881 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,0585 MN/mm

Tab. 5.050: Úvodní informace – případ 17

tloušťka prstence t_p [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
4	5,738	0,00174
6	0,592	0,01689
8	0,373	0,02681
10	0,281	0,03559
12	0,235	0,04255
14	0,210	0,04762
16	0,195	0,05128
18	0,186	0,05376
20	0,180	0,05556
22	0,177	0,05650
24	0,174	0,05747

Tab. 5.051: Tabulka výsledků – případ 17



Graf 5.17: Graf výsledků případu 17

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	17,533
5 %	20,300

Tab. 5.052: Minimální tloušťka prstence – případ 17

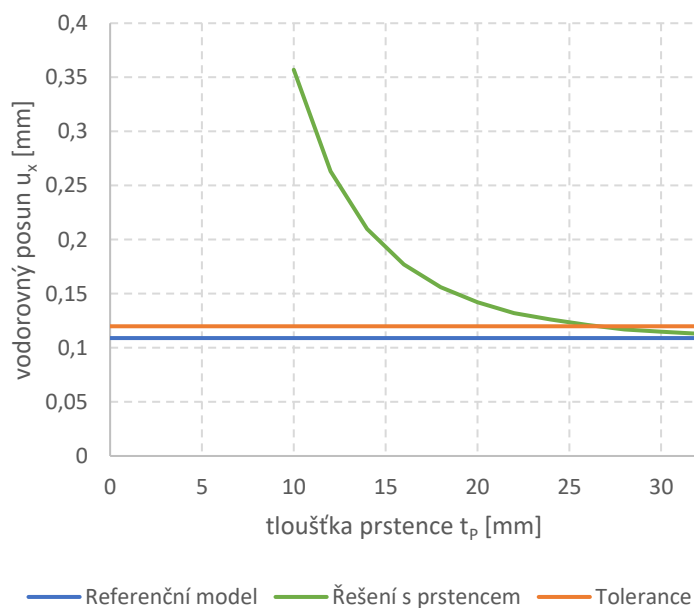
Případ 18

18 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	60 mm
Průměr prstence	D_P	150 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	80 mm
$b = 1,25 h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	1,875 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,1090 mm
Tolerance	5 %	0,1145 mm
Tolerance	10 %	0,1199 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,0917 MN/mm

Tab. 5.053: Úvodní informace – případ 18

tloušťka prstence t_p [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
10	0,357	0,02801
12	0,263	0,03802
14	0,210	0,04762
16	0,177	0,05650
18	0,156	0,06410
20	0,142	0,07042
22	0,132	0,07576
24	0,126	0,07937
26	0,121	0,08264
28	0,117	0,08547
30	0,115	0,08696
32	0,113	0,08850

Tab. 5.054: Tabulka výsledků – případ 18



Graf 5.18: Graf výsledků případu 18

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	26,550
5 %	30,550

Tab. 5.055: Minimální tloušťka prstence – případ 18

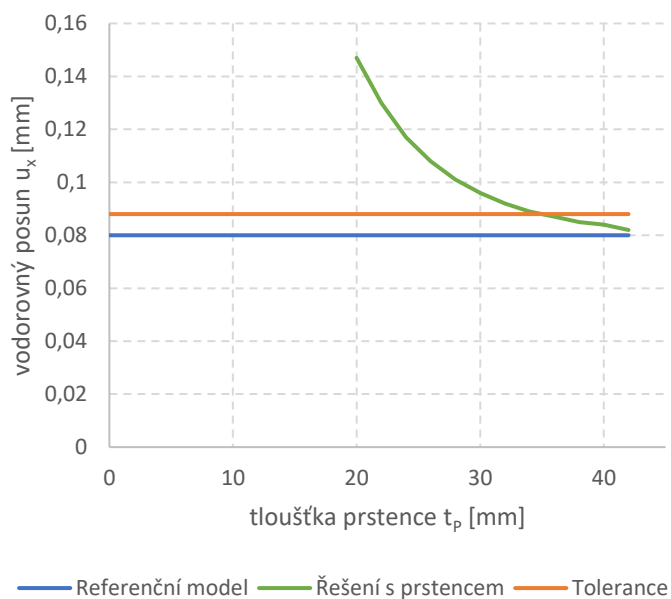
Případ 19

19 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	80 mm
Průměr prstence	D_P	200 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	100 mm
$b = 1,25 h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	1,875 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,080 mm
Tolerance	5 %	0,084 mm
Tolerance	10 %	0,088 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,125 MN/mm

Tab. 5.056: Úvodní informace – případ 19

tloušťka prstence t_p [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
20	0,147	0,06803
22	0,130	0,07692
24	0,117	0,08547
26	0,108	0,09259
28	0,101	0,09901
30	0,096	0,10417
32	0,092	0,10870
34	0,089	0,11236
36	0,087	0,11494
38	0,085	0,11765
40	0,084	0,11905
42	0,082	0,12195

Tab. 5.057: Tabulka výsledků – případ 19



Graf 5.19: Graf výsledků případu 19

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	35,000
5 %	40,000

Tab. 5.058: Minimální tloušťka prstence – případ 19

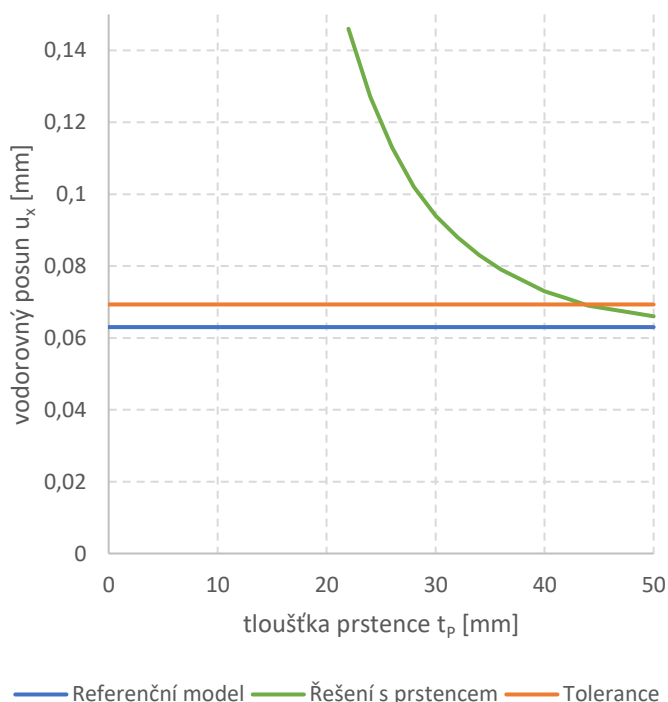
Případ 20

20 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	100 mm
Průměr prstence	D_P	250 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence $b = 1,25 h$	L_P	120 mm
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	1,875 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,0630 mm
Tolerance	5 %	0,0662 mm
Tolerance	10 %	0,0693 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,1587 MN/mm

Tab. 5.059: Úvodní informace – případ 20

tloušťka prstence t_p [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
22	0,146	0,06849
24	0,127	0,07874
26	0,113	0,08850
28	0,102	0,09804
30	0,094	0,10638
32	0,088	0,11364
34	0,083	0,12048
36	0,079	0,12658
38	0,076	0,13158
40	0,073	0,13699
42	0,071	0,14085
44	0,069	0,14493
46	0,068	0,14706
48	0,067	0,14925
50	0,066	0,15152

Tab. 5.060: Tabulka výsledků – případ 20



Graf 5.20: Graf výsledků případu 20

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	43,700
5 %	49,700

Tab. 5.061: Minimální tloušťka prstence – případ 20

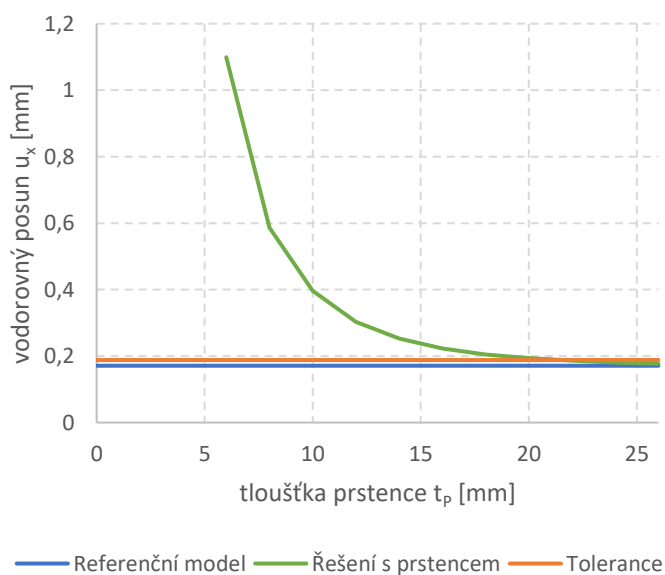
Případ 21

21 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2,5 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	40 mm
Průměr prstence	D_P	120 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	60 mm
$b = 1,25 h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	1,875 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,1710 mm
Tolerance	5 %	0,1796 mm
Tolerance	10 %	0,1881 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,0585 MN/mm

Tab. 5.062: Úvodní informace – případ 21

tloušťka prstence t_P [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
6	1,099	0,00910
8	0,586	0,01706
10	0,396	0,02525
12	0,303	0,03300
14	0,253	0,03953
16	0,223	0,04484
18	0,205	0,04878
20	0,194	0,05155
22	0,186	0,05376
24	0,181	0,05525
26	0,177	0,05650

Tab. 5.063: Tabulka výsledků – případ 21



Graf 5.21: Graf výsledků případu 21

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	21,475
5 %	24,725

Tab. 5.064: Minimální tloušťka prstence – případ 21

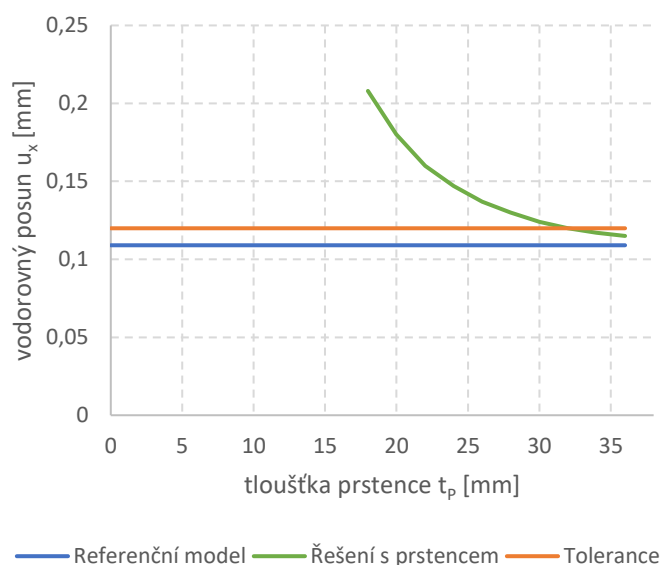
Případ 22

22 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	60 mm
Průměr prstence	D_P	180 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	80 mm
$b = 1,25 h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	1,875 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,1090 mm
Tolerance	5 %	0,1145 mm
Tolerance	10 %	0,1199 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,0917 MN/mm

Tab. 5.065: Úvodní informace – případ 22

tloušťka prstence t_p [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
18	0,208	0,04808
20	0,180	0,05556
22	0,160	0,06250
24	0,147	0,06803
26	0,137	0,07299
28	0,130	0,07692
30	0,124	0,08065
32	0,120	0,08333
34	0,117	0,08547
36	0,115	0,08696
38	0,113	0,08850

Tab. 5.066: Tabulka výsledků – případ 22



Graf 5.22: Graf výsledků případu 22

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	32,067
5 %	36,550

Tab. 5.067: Minimální tloušťka prstence – případ 22

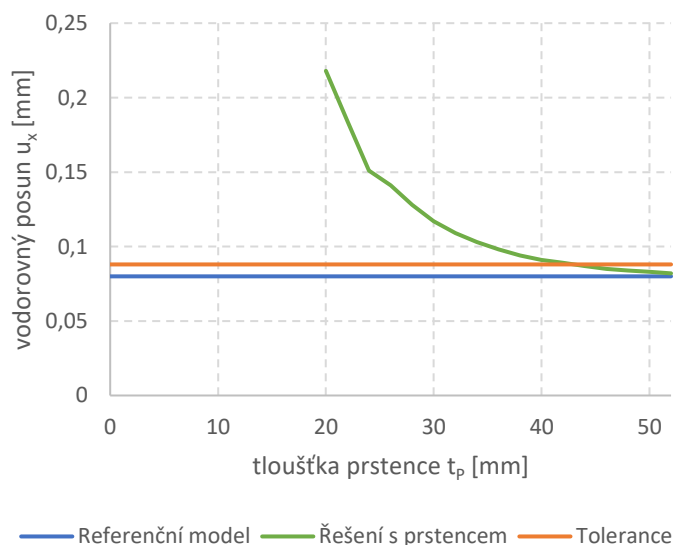
Případ 23

23 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$\underline{D_P} = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	80 mm
Průměr prstence	D_P	240 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	100 mm
$b = 1,25 h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	1,875 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,080 mm
Tolerance	5 %	0,084 mm
Tolerance	10 %	0,088 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,125 MN/mm

Tab. 5.068: Úvodní informace – případ 23

tloušťka prstence t_p [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
20	0,218	0,04587
22	0,184	0,05435
24	0,151	0,06623
26	0,141	0,07092
28	0,128	0,07813
30	0,117	0,08547
32	0,109	0,09174
34	0,103	0,09709
36	0,098	0,10204
38	0,094	0,10638
40	0,091	0,10989
42	0,089	0,11236
44	0,087	0,11494
46	0,085	0,11765
48	0,084	0,11905
50	0,083	0,12048
52	0,082	0,12195

Tab. 5.069: Tabulka výsledků – případ 23



Graf 5.23: Graf výsledků případu 23

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	43,000
5 %	48,000

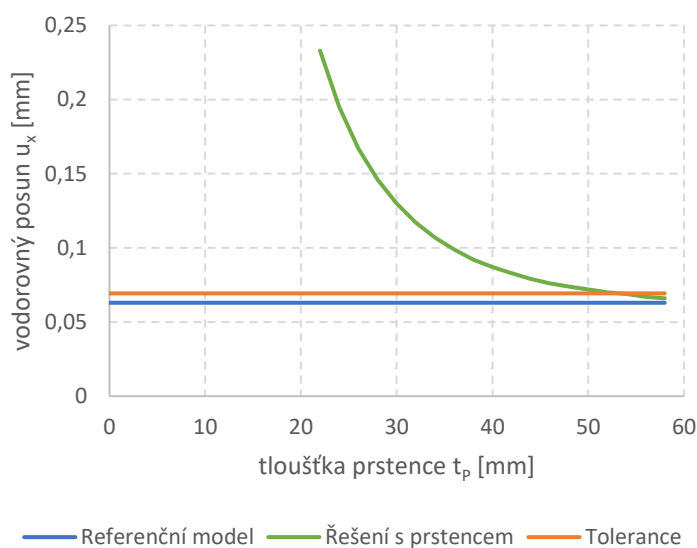
Tab. 5.070: Minimální tloušťka prstence – případ 23

Případ 24

24 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	100 mm
Průměr prstence	D_P	300 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence $b = 1,25 h$	L_P	120 mm
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	1,875 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,0630 mm
Tolerance	5 %	0,0662 mm
Tolerance	10 %	0,0693 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,1587 MN/mm

Tab. 5.071: Úvodní informace – případ 24

tloušťka prstence t_p [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
22	0,233	0,04292
24	0,195	0,05128
26	0,167	0,05988
28	0,146	0,06849
30	0,130	0,07692
32	0,117	0,08547
34	0,107	0,09346
36	0,099	0,10101
38	0,092	0,10870
40	0,087	0,11494
42	0,083	0,12048
44	0,079	0,12658
46	0,076	0,13158
48	0,074	0,13514
50	0,072	0,13889
52	0,070	0,14286
54	0,069	0,14493
56	0,067	0,14925
58	0,066	0,15152



Graf 5.24: Graf výsledků případu 24

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	53,400
5 %	57,700

Tab. 5.073: Min. tloušťka prstence – případ 24

Tab. 5.072: Tabulka výsledků – případ 24

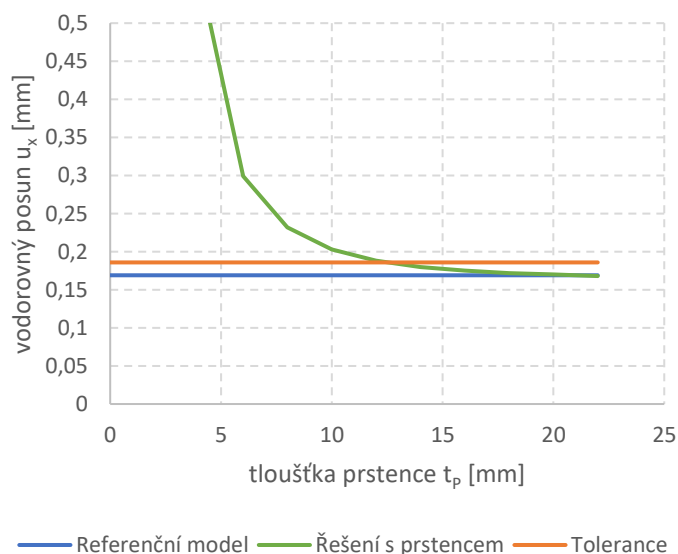
Případ 25

25 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	40 mm
Průměr prstence	D_P	80 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	60 mm
$b = 1,5 h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	2,25 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,1690 mm
Tolerance	5 %	0,1775 mm
Tolerance	10 %	0,1859 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,0592 MN/mm

Tab. 5.074: Úvodní informace – případ 25

tloušťka prstence t_p [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
4	0,568	0,01761
6	0,299	0,03344
8	0,232	0,04310
10	0,203	0,04926
12	0,188	0,05319
14	0,180	0,05556
16	0,175	0,05714
18	0,172	0,05814
20	0,170	0,05882
22	0,168	0,05952

Tab. 5.075: Tabulka výsledků – případ 25



Graf 5.25: Graf výsledků případu 25

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	12,525
5 %	15,020

Tab. 5.076: Minimální tloušťka prstence – případ 25

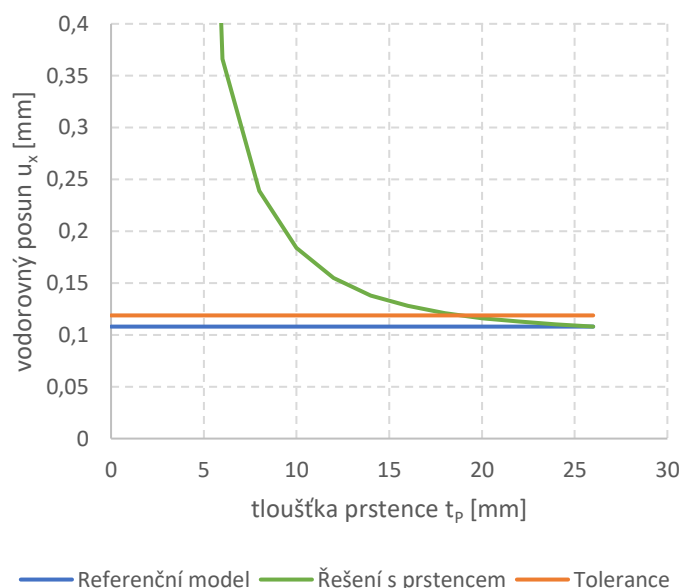
Případ 26

26 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	60 mm
Průměr prstence	D_P	120 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	80 mm
$b = 1,5 h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	2,25 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,1080 mm
Tolerance	5 %	0,1134 mm
Tolerance	10 %	0,1188 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,0926 MN/mm

Tab. 5.077: Úvodní informace – případ 26

tloušťka prstence t_P [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
4	1,381	0,00724
6	0,366	0,02732
8	0,239	0,04184
10	0,184	0,05435
12	0,155	0,06452
14	0,138	0,07246
16	0,128	0,07813
18	0,121	0,08264
20	0,116	0,08621
22	0,113	0,08850
24	0,110	0,09091
26	0,108	0,09259

Tab. 5.078: Tabulka výsledků – případ 26



Graf 5.26: Graf výsledků případu 26

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	18,880
5 %	21,733

Tab. 5.079: Minimální tloušťka prstence – případ 26

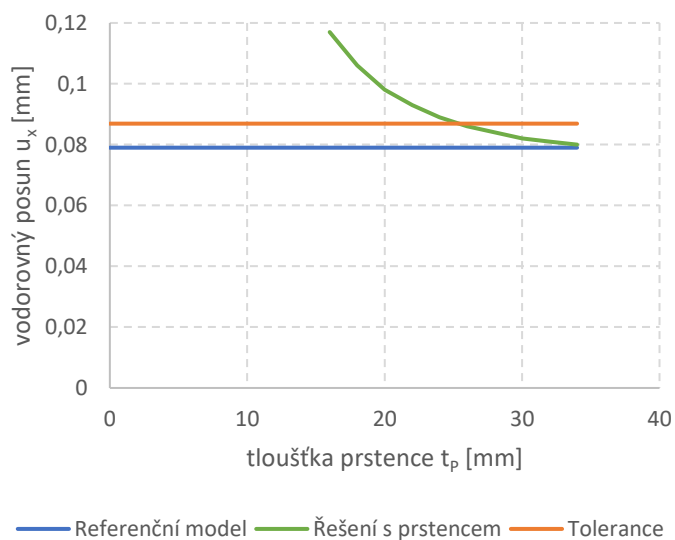
Případ 27

27 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	80 mm
Průměr prstence	D_P	160 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	100 mm
$b = 1,5 h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	2,25 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,0790 mm
Tolerance	5 %	0,0829 mm
Tolerance	10 %	0,0869 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,1266 MN/mm

Tab. 5.080: Úvodní informace – případ 27

tloušťka prstence t_P [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
16	0,117	0,08547
18	0,106	0,09434
20	0,098	0,10204
22	0,093	0,10753
24	0,089	0,11236
26	0,086	0,11628
28	0,084	0,11905
30	0,082	0,12195
32	0,081	0,12346
34	0,080	0,12500

Tab. 5.081: Tabulka výsledků – případ 27



Graf 5.27: Graf výsledků případu 27

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	25,400
5 %	29,050

Tab. 5.082: Minimální tloušťka prstence – případ 27

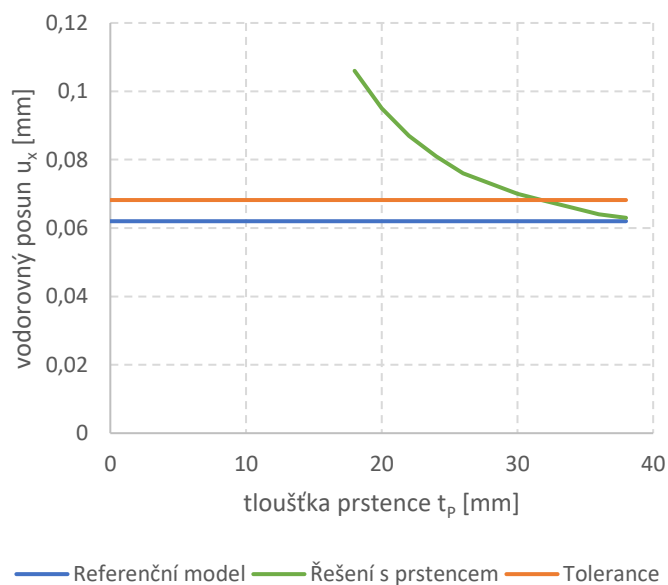
Případ 28

28 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	100 mm
Průměr prstence	D_P	200 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	120 mm
$b = 1,5 h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	2,25 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,0620 mm
Tolerance	5 %	0,0651 mm
Tolerance	10 %	0,0682 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,1613 MN/mm

Tab. 5.083: Úvodní informace – případ 28

tloušťka prstence t_p [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
18	0,106	0,09434
20	0,095	0,10526
22	0,087	0,11494
24	0,081	0,12346
26	0,076	0,13158
28	0,073	0,13699
30	0,070	0,14286
32	0,068	0,14706
34	0,066	0,15152
36	0,064	0,15625
38	0,063	0,15873

Tab. 5.084: Tabulka výsledků – případ 28



Graf 5.28: Graf výsledků případu 28

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	31,800
5 %	34,900

Tab. 5.085: Minimální tloušťka prstence – případ 28

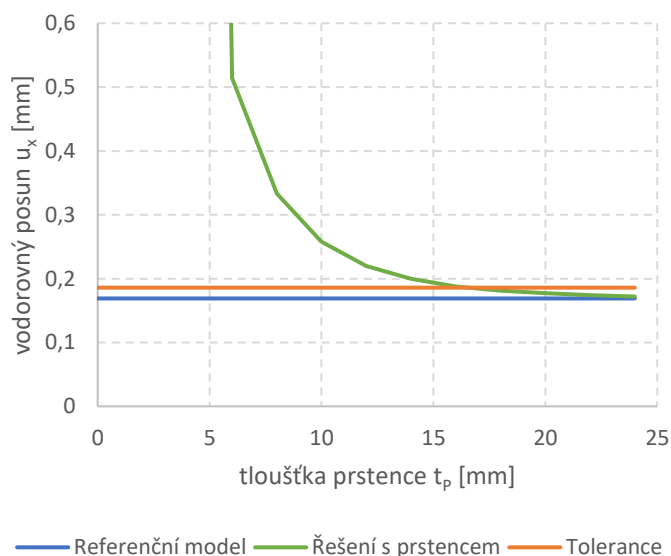
Případ 29

29 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	40 mm
Průměr prstence	D_P	100 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	60 mm
$b = 1,5 h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	2,25 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,1690 mm
Tolerance	5 %	0,1775 mm
Tolerance	10 %	0,1859 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,0592 MN/mm

Tab. 5.86: Úvodní informace – případ 29

tloušťka prstence t_p [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
4	4,842	0,00207
6	0,514	0,01946
8	0,333	0,03003
10	0,258	0,03876
12	0,220	0,04545
14	0,200	0,05000
16	0,188	0,05319
18	0,181	0,05525
20	0,177	0,05650
22	0,174	0,05747
24	0,172	0,05814

Tab. 5.087: Tabulka výsledků – případ 29



Graf 5.29: Graf výsledků případu 29

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	16,600
5 %	19,775

Tab. 5.088: Minimální tloušťka prstence – případ 29

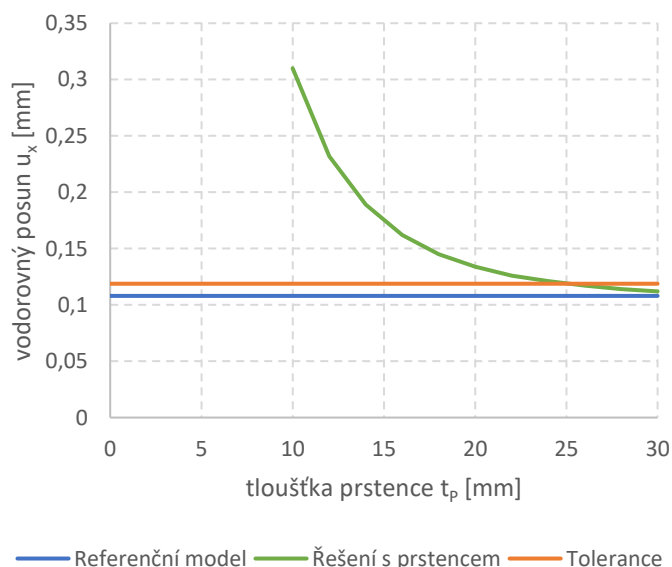
Případ 30

30 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_p = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	60 mm
Průměr prstence	D_p	150 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_p	80 mm
$b = 1,5 h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	2,25 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,1080 mm
Tolerance	5 %	0,1134 mm
Tolerance	10 %	0,1188 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,0926 MN/mm

Tab. 5.089: Úvodní informace – případ 30

tloušťka prstence t_p [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
10	0,310	0,03226
12	0,232	0,04310
14	0,189	0,05291
16	0,162	0,06173
18	0,145	0,06897
20	0,134	0,07463
22	0,126	0,07937
24	0,121	0,08264
26	0,117	0,08547
28	0,114	0,08772
30	0,112	0,08929

Tab. 5.090: Tabulka výsledků – případ 30



Graf 5.30: Graf výsledků případu 30

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	25,100
5 %	28,600

Tab. 5.091: Minimální tloušťka prstence – případ 30

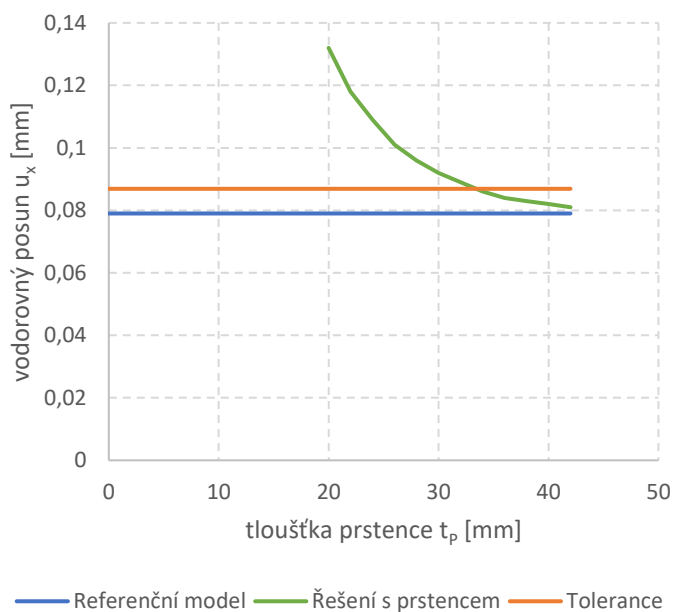
Případ 31

31 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	80 mm
Průměr prstence	D_P	200 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	100 mm
$b = 1,5 h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	2,25 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,0790 mm
Tolerance	5 %	0,0829 mm
Tolerance	10 %	0,0869 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,1265 MN/mm

Tab. 5.092: Úvodní informace – případ 31

tloušťka prstence t_P [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
20	0,132	0,07576
22	0,118	0,08475
24	0,109	0,09174
26	0,101	0,09901
28	0,096	0,10417
30	0,092	0,10870
32	0,089	0,11236
34	0,086	0,11628
36	0,084	0,11905
38	0,083	0,12048
40	0,082	0,12195
42	0,081	0,12346

Tab. 5.093: Tabulka výsledků – případ 31



Graf 5.31: Graf výsledků případu 31

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	33,400
5 %	38,100

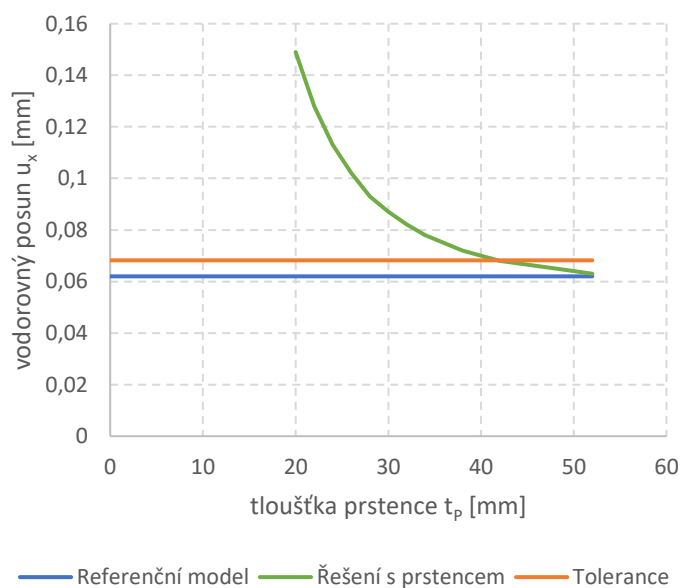
Tab. 5.094: Minimální tloušťka prstence – případ 31

Případ 32

32 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	100 mm
Průměr prstence	D_P	250 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	120 mm
$b = 1,5 h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	2,25 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,0620 mm
Tolerance	5 %	0,0651 mm
Tolerance	10 %	0,0682 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,1613 MN/mm

Tab. 5.095: Úvodní informace – případ 32

tloušťka prstence t_p [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
20	0,149	0,06711
22	0,128	0,07813
24	0,113	0,08850
26	0,102	0,09804
28	0,093	0,10753
30	0,087	0,11494
32	0,082	0,12195
34	0,078	0,12821
36	0,075	0,13333
38	0,072	0,13889
40	0,070	0,14286
42	0,068	0,14706
44	0,067	0,14925
46	0,066	0,15152
48	0,065	0,15385
50	0,064	0,15625
52	0,063	0,15873



Graf 5.32: Graf výsledků případu 32

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	41,800
5 %	47,800

Tab. 5.096: Tab. výsledků – případ 32

Tab. 5.097: Min. tloušťka prstence – případ 32

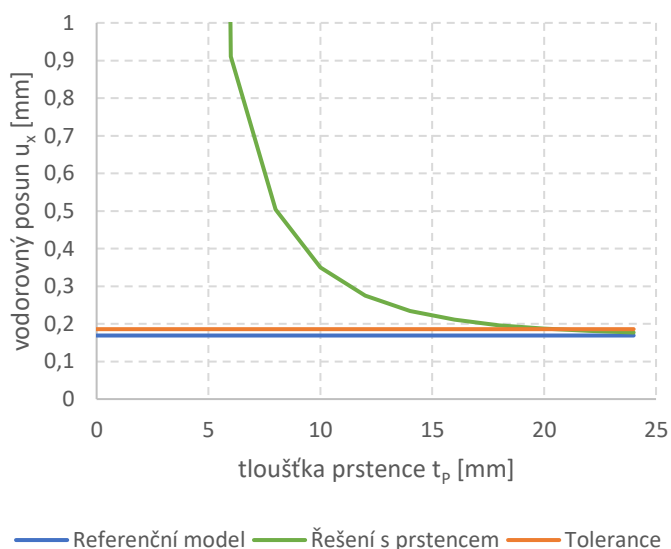
Případ 33

33 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	40 mm
Průměr prstence	D_P	120 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	60 mm
$b = 1,5 h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	2,25 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,1690 mm
Tolerance	5 %	0,1775 mm
Tolerance	10 %	0,1859 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,0592 MN/mm

Tab. 5.098: Úvodní informace – případ 33

tloušťka prstence t_p [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
4	12,484	0,00080
6	0,911	0,01098
8	0,504	0,01984
10	0,350	0,02857
12	0,275	0,03636
14	0,234	0,04274
16	0,211	0,04739
18	0,196	0,05102
20	0,187	0,05348
22	0,181	0,05525

Tab. 5.099: Tabulka výsledků – případ 33



Graf 5.33: Graf výsledků případu 33

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	20,367
5 %	23,775

Tab. 5.100: Minimální tloušťka prstence – případ 33

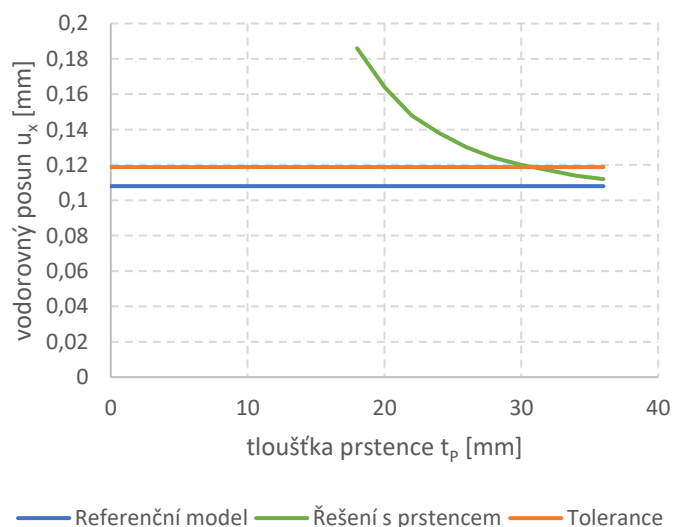
Případ 34

34 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	60 mm
Průměr prstence	D_P	180 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	80 mm
$b = 1,5 h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	2,25 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,1080 mm
Tolerance	5 %	0,1134 mm
Tolerance	10 %	0,1188 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,0926 MN/mm

Tab. 5.101: Úvodní informace – případ 34

tloušťka prstence t_p [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
18	0,186	0,05376
20	0,164	0,06098
22	0,148	0,06757
24	0,138	0,07246
26	0,130	0,07692
28	0,124	0,08065
30	0,120	0,08333
32	0,117	0,08547
34	0,114	0,08772
36	0,112	0,08929

Tab. 5.102: Tabulka výsledků – případ 34



Graf 5.34: Graf výsledků případu 34

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	30,800
5 %	34,600

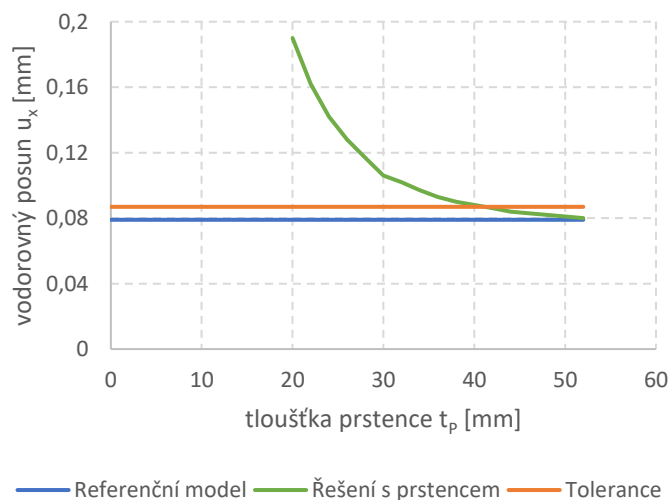
Tab. 5.103: Minimální tloušťka prstence – případ 34

Případ 35

35 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	80 mm
Průměr prstence	D_P	240 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	100 mm
$b = 1,5 h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	2,25 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,0790 mm
Tolerance	5 %	0,0829 mm
Tolerance	10 %	0,0869 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,1266 MN/mm

Tab. 5.104: Úvodní informace – případ 35

tloušťka prstence t_p [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
20	0,190	0,05263
22	0,162	0,06173
24	0,142	0,07042
26	0,128	0,07813
28	0,117	0,08547
30	0,106	0,09434
32	0,102	0,09804
34	0,097	0,10309
36	0,093	0,10753
38	0,090	0,11111
40	0,088	0,11364
42	0,086	0,11628
44	0,084	0,11905
46	0,083	0,12048
48	0,082	0,12195
50	0,081	0,12346
52	0,080	0,12500



Graf 5.35: Graf výsledků případu 35

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	41,400
5 %	46,100

Tab. 5.106: Min. tloušťka prstence – případ 35

35

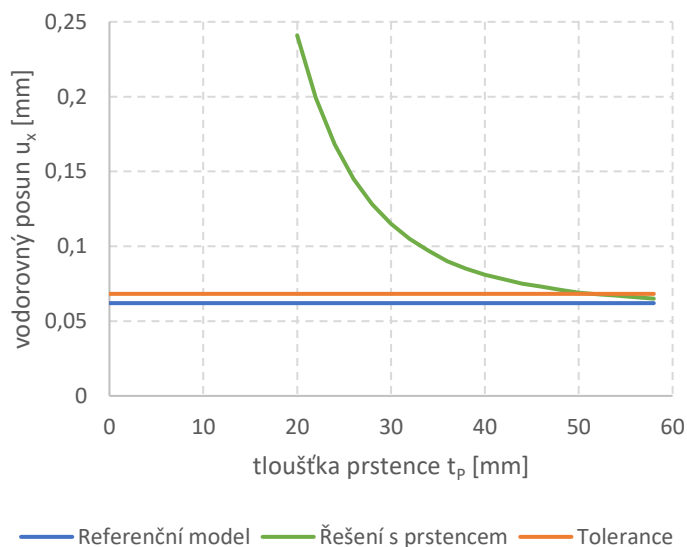
Tab. 5.105: Tabulka výsledků – případ 35

Případ 36

36 VSTUPNÍ PARAMETRY GEOMETRIE:		
$D_P = 2 D_D$		
Průměr diagonál	D_D	100 mm
Průměr prstence	D_P	300 mm
Tloušťka diagonál	t_D	5 mm
Šířka prstence	L_P	120 mm
$b = 1,5 h$		
Výška pole	h	1,5 mm
Šířka pole	b	2,25 mm
Působící vodorovná síla	F	10 kN
REFERENČNÍ MODEL:		
Vodorovný posun rámu	u_x	0,0620 mm
Tolerance	5 %	0,0651 mm
Tolerance	10 %	0,0682 mm
Tuhost referenčního modelu	F/u_x	0,1613 MN/mm

Tab. 5.107: Úvodní informace – případ 36

tloušťka prstence t_P [mm]	vodorovný posun rámu u_x [mm]	tuhost F/u_x [MN/mm]
20	0,241	0,04149
22	0,199	0,05025
24	0,168	0,05952
26	0,145	0,06897
28	0,128	0,07813
30	0,115	0,08696
32	0,105	0,09524
34	0,097	0,10309
36	0,090	0,11111
38	0,085	0,11765
40	0,081	0,12346
42	0,078	0,12821
44	0,075	0,13333
46	0,073	0,13699
48	0,071	0,14085
50	0,069	0,14493
52	0,068	0,14706
54	0,067	0,14925
56	0,066	0,15152
58	0,065	0,15385



Graf 5.36: Graf výsledků případu 36

Tolerance	Minimální tloušťka prstence [mm]
10 %	13,938
5 %	16,400

Tab. 5.109: Min. tloušťka prstence – případ 36

← Tab. 5.108: Tabulka výsledků – případ 36

6 Závěr

Byla provedena parametrická studie, která byla rozdělena do 36 případů. Základními uvažovanými parametry byly rozměry rámu, průměr diagonál, průměr prstence a jejich vzájemná závislost. Hledaným parametrem byla tloušťka prstence.

Výsledkem studie je minimální tloušťka prstence stanovená pro každý případ 1-36. Cílem parametrické studie bylo zjistit, jaký je vzájemný vztah mezi průměrem prstence a tloušťkou prstence, protože oba parametry jsou stěžejní pro návrh.

Pro vzájemné porovnání výsledků jednotlivých případů a vyvození závěru byl tedy stanoven poměr D_p/t_p . Tabulka 6.1 shrnuje zadání jednotlivých případů a výsledky parametrické studie. Z výsledků je patrné, že poměr D_p/t_p se ve všech případech pohybuje v rozmezí hodnot 4,5 – 5,5.

Zjednodušeně lze konstatovat, že křížení prutů trubkového průřezu prostřednictvím prstence má stejnou tuhost jako tuhé křížení v případě, že návrh respektuje následující doporučení:

$$t_p \approx \frac{1}{5} \cdot D_p$$

Rozměry pole	Průměry prstence a diagonál	Číslo případu	Průměr diagonál	Průměr prstence	tol. 10 %	tol. 5 %	tol. 10 %	tol. 5 %	Vodorovný posun referečního modelu	tol. 10 %	tol. 5 %	tol. 10 %	tol. 5 %	tol. 10 %	tol. 5 %
					Minimální tloušťka prstence	Minimální tloušťka prstence	Poměr průměru a tloušťky prstence	Poměr průměru a tloušťky prstence		Vodorovný posun	Vodorovný posun	Tuhost přípoje	Tuhost přípoje	Poměr průměru a tloušťky prstence	Poměr průměru a tloušťky prstence
			D_D [mm]	D_p [mm]	t_p [mm]	t_p [mm]	D_p/t_p [-]	D_p/t_p [-]	u_x [mm]	u_x [mm]	u_x [mm]	k [MN/mm]	k [MN/mm]	D_p/t_p [-]	D_p/t_p [-]
$b = h$	$D_p = 2 D_D$	1	40	80	13,938	16,400	5,740	4,878	0,184	0,20240	0,19320	0,04941	0,05176	5,68	4,95
		2	60	120	21,320	25,150	5,629	4,771	0,117	0,12870	0,12285	0,07770	0,08140		
		3	80	160	28,267	31,700	5,660	5,047	0,086	0,09460	0,09030	0,10571	0,11074		
		4	100	200	35,200	39,200	5,682	5,102	0,068	0,07480	0,07140	0,13369	0,14006		
	$D_p = 2,5 D_D$	5	40	100	18,457	21,520	5,418	4,647	0,184	0,20240	0,19320	0,04941	0,05176	5,44	4,76
		6	60	150	27,720	32,150	5,411	4,666	0,117	0,12870	0,12285	0,07770	0,08140		
		7	80	200	36,933	41,400	5,415	4,831	0,086	0,09460	0,09030	0,10571	0,11074		
		8	100	250	45,200	51,200	5,531	4,883	0,068	0,07480	0,07140	0,13369	0,14006		
	$D_p = 3 D_D$	9	40	120	22,457	25,900	5,344	4,633	0,184	0,20240	0,19320	0,04941	0,05176	5,38	4,78
		10	60	180	33,650	38,150	5,349	4,718	0,117	0,12870	0,12285	0,07770	0,08140		
		11	80	240	44,400	49,400	5,405	4,858	0,086	0,09460	0,09030	0,10571	0,11074		
		12	100	300	55,200	61,200	5,435	4,902	0,068	0,07480	0,07140	0,13369	0,14006		
$b = 1,25 h$	$D_p = 2 D_D$	13	40	80	13,380	15,817	5,979	5,058	0,171	0,18810	0,17955	0,05316	0,05569	5,96	5,15
		14	60	120	20,050	23,550	5,985	5,096	0,109	0,11990	0,11445	0,08340	0,08737		
		15	80	160	27,000	31,000	5,926	5,161	0,080	0,08800	0,08400	0,11364	0,11905		
		16	100	200	33,700	37,850	5,935	5,284	0,063	0,06930	0,06615	0,14430	0,15117		
	$D_p = 2,5 D_D$	17	40	100	17,533	20,300	5,704	4,926	0,171	0,18810	0,17955	0,05316	0,05569	5,7	4,97
		18	60	150	26,550	30,550	5,650	4,910	0,109	0,11990	0,11445	0,08340	0,08737		
		19	80	200	35,000	40,000	5,714	5,000	0,080	0,08800	0,08400	0,11364	0,11905		
		20	100	250	43,700	49,700	5,721	5,030	0,063	0,06930	0,06615	0,14430	0,15117		
	$D_p = 3 D_D$	21	40	120	21,475	24,725	5,588	4,853	0,171	0,18810	0,17955	0,05316	0,05569	5,6	4,99
		22	60	180	32,067	36,550	5,613	4,925	0,109	0,11990	0,11445	0,08340	0,08737		
		23	80	240	43,000	48,000	5,581	5,000	0,080	0,08800	0,08400	0,11364	0,11905		
		24	100	300	53,400	57,700	5,618	5,199	0,063	0,06930	0,06615	0,14430	0,15117		
$b = 1,5 h$	$D_p = 2 D_D$	25	40	80	12,525	15,020	6,387	5,326	0,169	0,18590	0,17745	0,05379	0,05635	6,33	5,52
		26	60	120	18,880	21,733	6,356	5,522	0,108	0,11880	0,11340	0,08418	0,08818		
		27	80	160	25,400	29,050	6,299	5,508	0,079	0,08690	0,08295	0,11507	0,12055		
		28	100	200	31,800	34,900	6,289	5,731	0,062	0,06820	0,06510	0,14663	0,15361		
	$D_p = 2,5 D_D$	29	40	100	16,600	19,775	6,024	5,057	0,169	0,18590	0,17745	0,05379	0,05635	5,99	5,2
		30	60	150	25,100	28,600	5,976	5,245	0,108	0,11880	0,11340	0,08418	0,08818		
		31	80	200	33,400	38,100	5,988	5,249	0,079	0,08690	0,08295	0,11507	0,12055		
		32	100	250	41,800	47,800	5,981	5,230	0,062	0,06820	0,06510	0,14663	0,15361		
	$D_p = 3 D_D$	33	40	120	20,367	23,775	5,892	5,047	0,169	0,18590	0,17745	0,05379	0,05635	5,85	5,16
		34	60	180	30,800	34,600	5,844	5,202	0,108	0,11880	0,11340	0,08418	0,08818		
		35	80	240	41,100	46,100	5,839	5,206	0,079	0,08690	0,08295	0,11507	0,12055		
		36	100	300	51,600	57,800	5,814	5,190	0,062	0,06820	0,06510	0,14663	0,15361		

Tab. 6.1: Shrnutí a výsledky parametrické studie

	D_p/t_p tol. 10 %	D_p/t_p tol. 5 %
$b = h$	5,50	4,83
$b = 1,25 h$	5,75	5,04
$b = 1,5 h$	6,06	5,29

	D_p/t_p tol. 10 %	D_p/t_p tol. 5 %
$D_p = 2 D_D$	5,99	5,21
$D_p = 2,5 D_D$	5,71	4,98
$D_p = 3 D_D$	5,61	4,98

Tab. 6.2: Výsledky parametrické studie

Důležité je ale také zmínit fakt, že sortiment kruhových trubek je omezený. Pokud by byla snaha navrhovat prstence z běžně dostupných průřezů tak, aby tuhost s uvažovanou 5-10 % tolerancí odpovídala tuhému připojení, může být problém takový průřez sehnat. To se týká především větších průměrů prstence, pro které minimální tloušťka vychází velká a v běžném sortimentu již nejsou takové tloušťky k dispozici.

Pokud by z nějakého důvodu nebylo možné navrhnout prstenec na základě závěrů z parametrické studie, je potřeba konkrétní řešení vymodelovat pomocí deskostěnových prvků, nebo v případě známé tuhosti pomocí pružin. Alternativní možností je vyrobit prstenec jinak než z běžně dostupné kruhové trubky.

Závěrem lze konstatovat, že provedené experimenty potvrdily správnost numerických modelů. Obě zmíněné části byly klíčové k vytvoření parametrické studie. Závěry vyvozené z parametrické studie mohou být nápomocné k návrhu takových typů styčnicku.

7 Použitá literatura

- [1] ČSN EN 10002-1: Kovové materiály – Zkoušení tahem – Část 1: Zkušební metoda za okolní teploty
- [2] prEN 1993-1-14 (2020):Eurocode 3: Design of steel structure – Part 1-14: Design assisted by finite element analysis
- [3] ČSN EN 1993-1-1: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby