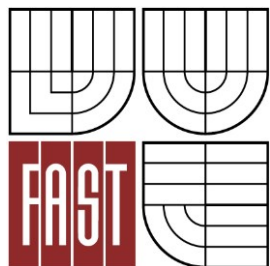




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV STAVEBNÍ MECHANIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF STRUCTURAL MECHANICS

# ANALÝZA TAHOVÉ ZKOUŠKY SPOJOVACÍHO OCELOVÉHO ZÁMKU SILNIČNÍCH SVODIDEL

ANALYSIS OF THE TENSILE TEST OF STEEL LOCK THE CONCRETE ROAD BARRIERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

PETR TOMEČEK

VEDOUcí PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. PETR HRADIL, Ph.D.



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

**Studijní program** B3607 Stavební inženýrství  
**Typ studijního programu** Bakalářský studijní program s prezenční formou studia  
**Studijní obor** 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby  
**Pracoviště** Ústav stavební mechaniky

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Student** Petr Tomeček


**Název** Analýza tahové zkoušky spojovacího ocelového zámku silničních svodidel

**Vedoucí bakalářské práce** Ing. Petr Hradil, Ph.D.

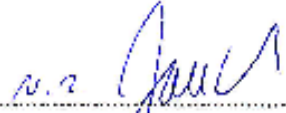
**Datum zadání bakalářské práce** 30. 11. 2011

**Datum odevzdání bakalářské práce** 25. 5. 2012

V Brně dne 30. 11. 2011

  
.....  
prof. Ing. Drahomír Novák, Dr.Sc.  
Vedoucí ústavu



  
.....  
prof. Ing. Kostiřlav Drochytka, C.Sc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

**Podklady a literatura**

ČSN EN 1992-1 Navrhování betonových konstrukcí

ČSN EN 1993-1 Navrhování ocelových konstrukcí

ANSYS, Inc., Theory, Release 13.0, 2010

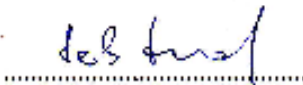
Hughes T.J.R. The finite element method, linear statics and dynamic finite element analysis, Prentice-Hall International, ISBN 0-13-317017-9

**Zásady pro vypracování**

Studium zadané literatury, podkladů. Seznámení se s prostředím programu ANSYS. Sestavení výpočtových modelů se zaměřením na analýzu konstrukce ocelového zámku. Provedení výpočtů a vyhodnocení výsledků.

**Předepsané přílohy**

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací



Ing. Petr Hradil, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **Abstrakt**

Cílem bakalářské práce je ověření výsledků tahové zkoušky kovového zámku betonového svodidla pomocí výpočtového programu. Úkolem bylo sestavit výpočtový model, provést výpočet a vyhodnotit výsledky. Výpočet byl proveden v pracovním prostředí WORKBENCH programu ANSYS.

## **Klíčová slova**

metoda konečných prvků, tahová zkouška, nelineární vlastnosti, výpočtový model, okrajové podmínky, WORKBENCH

## **Abstract**

The main task of the bachelor's thesis is to analyse the tensile test of steel lock the concrete road barriers by numerical programme. My task was to construct numerical model, to make calculation and to evaluate results. Calculation was done in working environment WORKBENCH of numerical programme ANSYS.

## **Keywords**

finite element method, tensile test, nonlinear characteristics, numerical model, boundary conditions, WORKBENCH

## **Bibliografická citace VŠKP**

TOMEČEK, Petr. *Analýza tahové zkoušky spojovacího ocelového zámku silničních svodidel*.  
Brno, 2012. 28

s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky. Vedoucí práce Ing. Petr Hradil, Ph.D..

**Prohlášení:**

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

V Brně dne 23.5.2012

*Tomáš*

.....  
podpis autora

### **Poděkování**

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Hradilovi, PhD. především za odbornou pomoc a také za trpělivost, kterou se mnou měl při dlouhých odborných rozpravách. Děkuji také svým rodičům za podporu v průběhu dosavadního studia.



## Obsah

1. Úvod .....	9
2. Model .....	10
2.1. Popis řešené konstrukce .....	10
2.2. Výpočtový model .....	11
3. Systém ANSYS .....	16
3.1. Princip systému .....	16
3.2. Pracovní prostředí WORKBENCH .....	16
3.3. Použité typy konečných prvků .....	17
3.3.1. SOLID185 .....	17
3.3.2. CONTA174 .....	17
3.3.3. TARGE170 .....	18
4. Vlastnosti modelu .....	19
4.1. Materiálové charakteristiky .....	19
4.2. Okrajové podmínky .....	20
4.3. Způsob zatížení .....	20
5. Výsledky .....	22
5.1. Tahová zkouška .....	22
5.2. Průběh zatěžování .....	22

# Kapitola 1

## Úvod

Dnes již běžným postupem řešení numerické analýzy a tvorby modelů je využití metody konečných prvků, kterou využívá mnoho výpočetních programů. Model by měl být vytvořen tak, aby co nejdříveji vystihoval geometrii konstrukce a její mechanické vlastnosti.

V této práci se zabývám analýzou tahové zkoušky spojovacího ocelového zámku silničních svodidel. Konstrukce je navržena pro zlepšení bezpečnostních prvků v silniční dopravě. Zajišťuje vzájemné propojení betonových svodidel při působení vysokých zatížení, především nárazů vozidel.

S ohledem na složitost geometrie a zatížení konstrukce byl zvolen výpočet pomocí programu založeného na principu metody konečných prvků. Výpočtové programy jsou dnes schopny řešit i velmi náročné konstrukce a obecně jsou tedy velmi využívány, zejména pro svou univerzálnost. Důležitá byla tvorba geometrie a okrajových podmínek a s tím související volba výpočtového modelu.

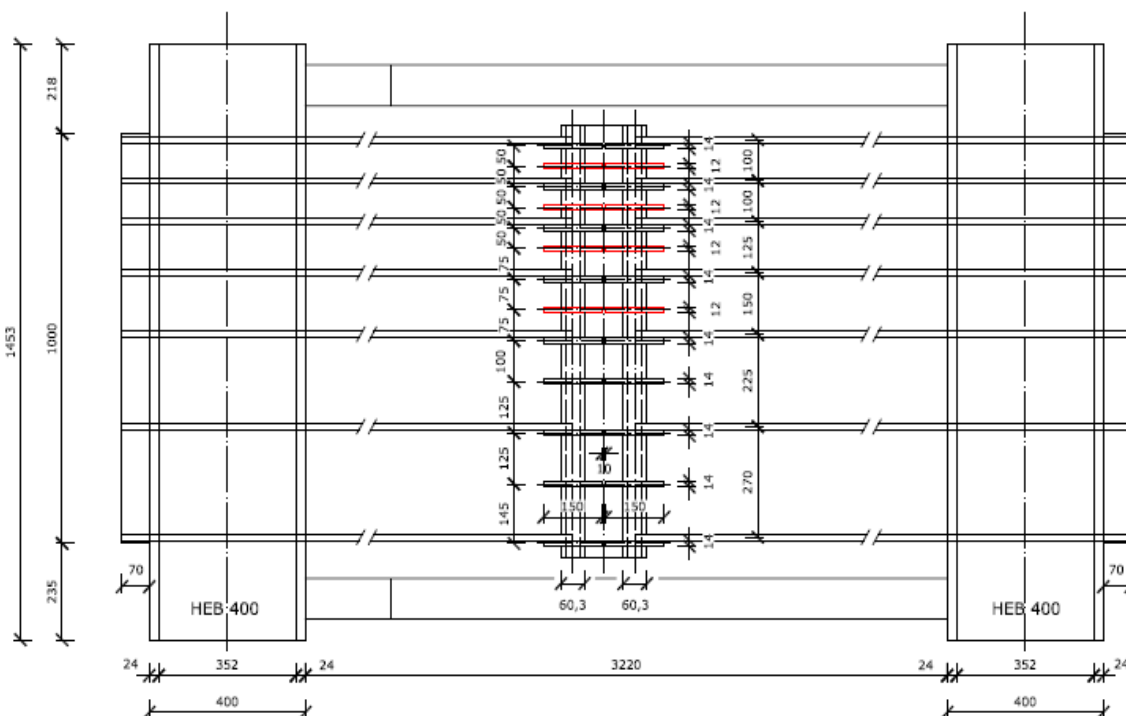
Při zpracování této práce jsem se seznámil s výpočtovým programem ANSYS, zejména s jeho pracovním prostředím WORKBENCH.

## Kapitola 2

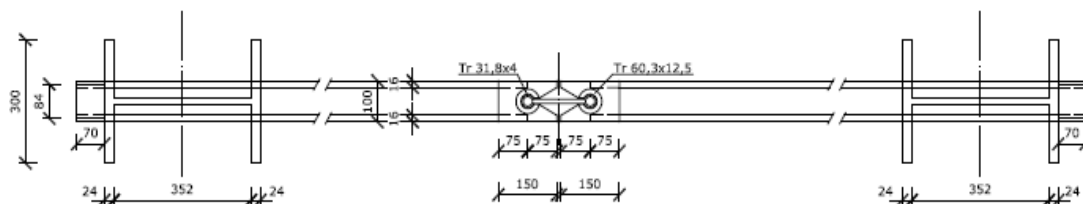
### Model

#### 2.1. Popis řešené konstrukce

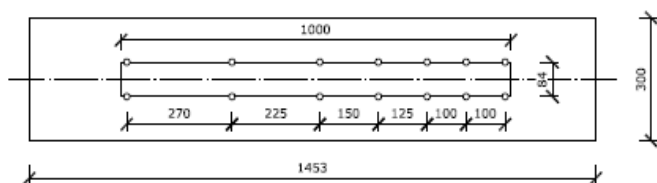
Ocelová konstrukce zámku se skládá ze 2 C profilů získaných z trubek o průměru 60,3 mm a tloušťky 12,5 mm. Na každý C profil je navařeno 9 plechů tloušťky 14 mm a 4 plechy tloušťky 12 mm v horní části. Na plechy tloušťky 14 mm jsou přivařeny koutovými svary 2 ks betonářské výztuže průměru 16 mm a délky 2000 mm. Výztuž prochází HEB 400 a je přivařena koutovým svarem délky 70 mm k ocelovému kvádru průřezu 84 x 70 mm délky 1000 mm. Propojení svodidel je řešeno pomocí spojky ve tvaru „brýlí“, které vznikly spojením 2 trubek průměru 31,8 mm a tloušťky 4 mm a plechu průřezu 70 x 10. Mezi HEB profily jsou umístěny 2 kvádry 100 x 100 mm a délky 220 mm a délky 3000 mm, které přenášejí zatížení do konstrukce zámku.



Obr. 2.1.a – Půdorys konstrukce



Obr. 2.1.b – Příčný řez konstrukce



Obr. 2.1.c – Podélný řez konstrukce

## 2.2. Výpočtový model

Vytvořením vhodného výpočtového modelu je zajištěna přesnost výpočtu. Při analýze se tím eliminují odchylky od výsledků při tahové zkoušce. Hlavním cílem při tvorbě modelu je najít optimální stav mezi rozměry jednotlivých prvků a celkovým počtem těchto prvků, respektive mezi přesností modelu a časovou, datovou náročností.

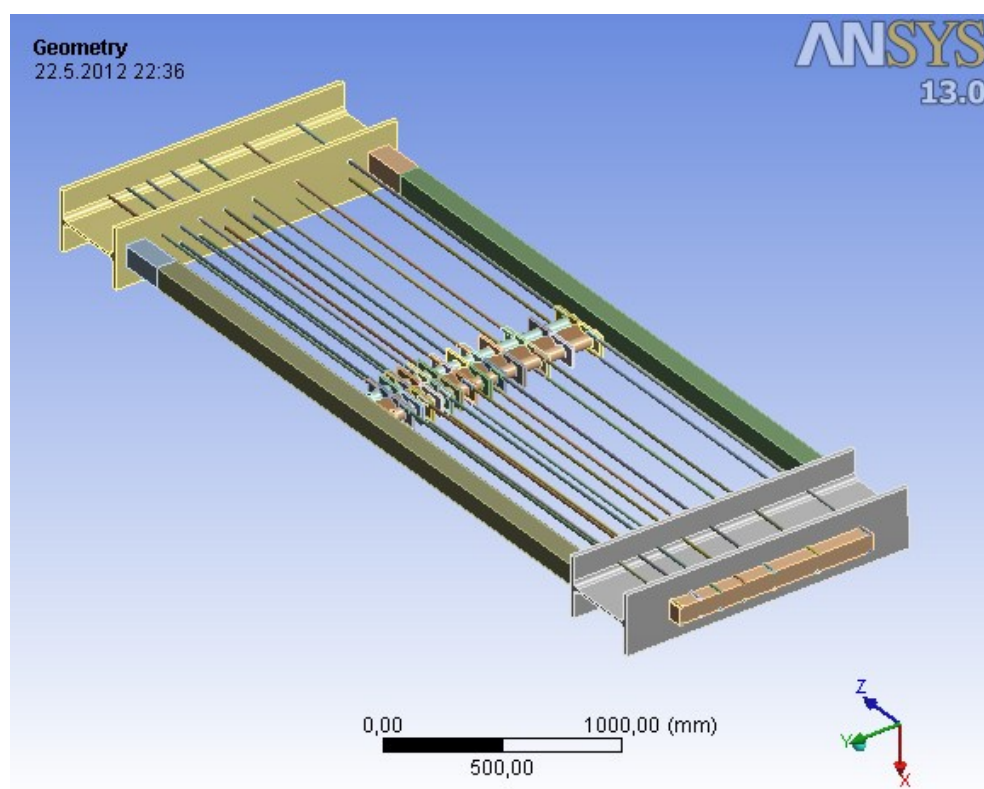
Z geometrie uvedené tahové zkoušky byl sestaven geometrický model konstrukce a ten následně pokryt sítí konečných prvků. V místě očekávaných největších namáhání byla zjemněna na rozměr nepřesahující 12 mm. V dalších částech zámku nebylo potřeba zjemňovat síť konečných prvků, rozměr prvku dosahuje maximálně 75 mm. Síť byla vytvořena z prostorových konečných prvků SOLID185. Na spojení konstrukčních dílů byly použity prvky TARGE170 a CONTA174. Výpočtový model je složen celkem z 196940 prvků a 109119 uzlů.

Jednotlivé prvky vytvořené v geometrickém modelu byly sloučeny do skupin dílů, čímž je zaručena interakce mezi prvky při sestavování sítě konečných prvků. Partů bylo vytvořeno 5. Na dotyku 2 konstrukčních prvků byl umístěn kontakt, který zajistí interakci

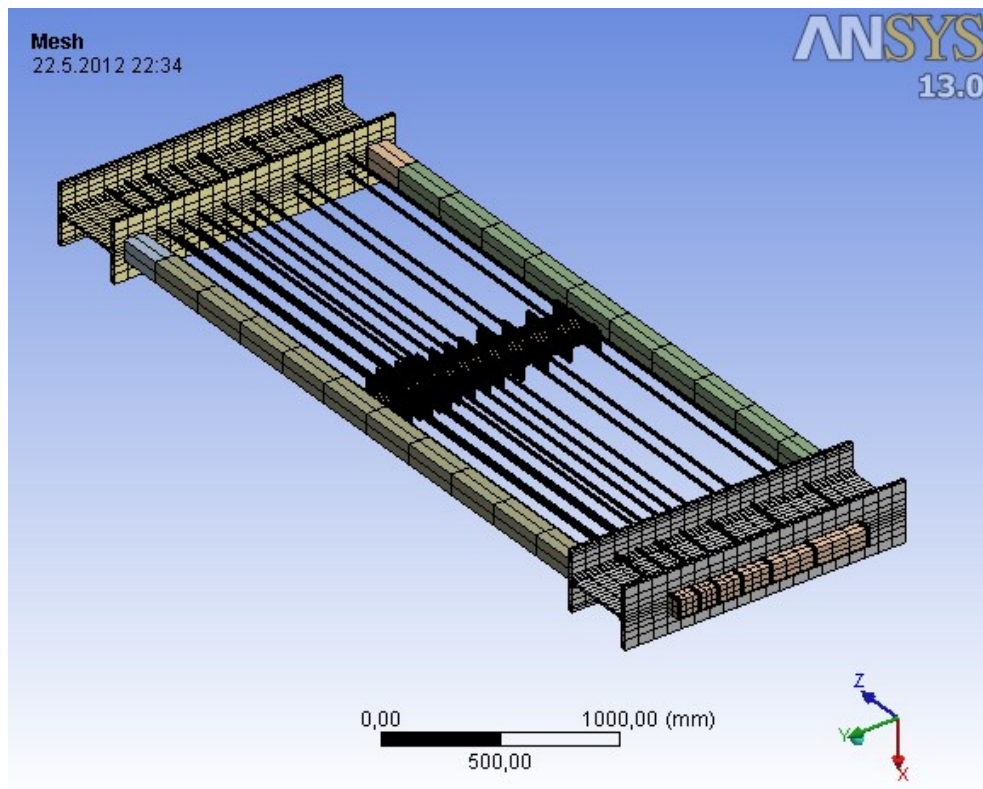
mezi prvky. Na virtuálním dotyku C profilu a „brýlí“ byl vytvořen kontakt s koeficientem tření 0,1. Ostatní kontakty zajišťují pevná spojení mezi konstrukčními díly.

Část konstrukce	Počet prvků	Počet uzlů
„Brýle“	1120	2058
HEB 400	2680	4536
Žebra, výztuž	193052	102291
Vzpěry	80	198
Prvky pro zatížení	8	36
<b>Celkem</b>	<b>196640</b>	<b>109119</b>

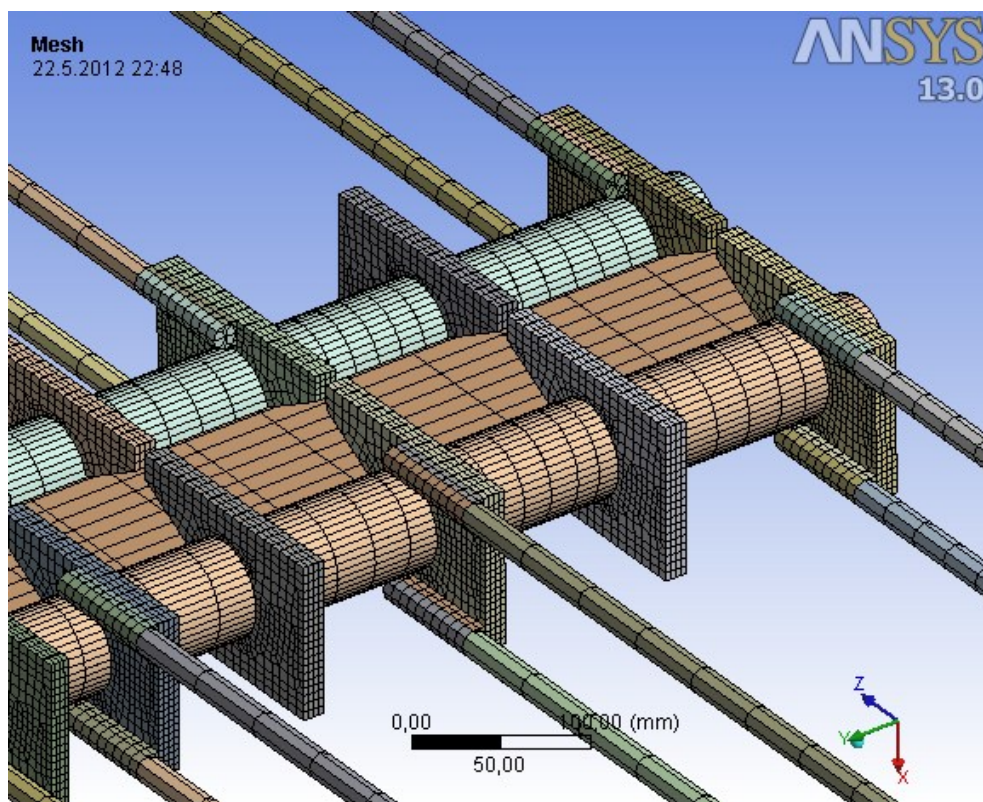
Tab. 2.2. – Počty konečných prvků, uzlů



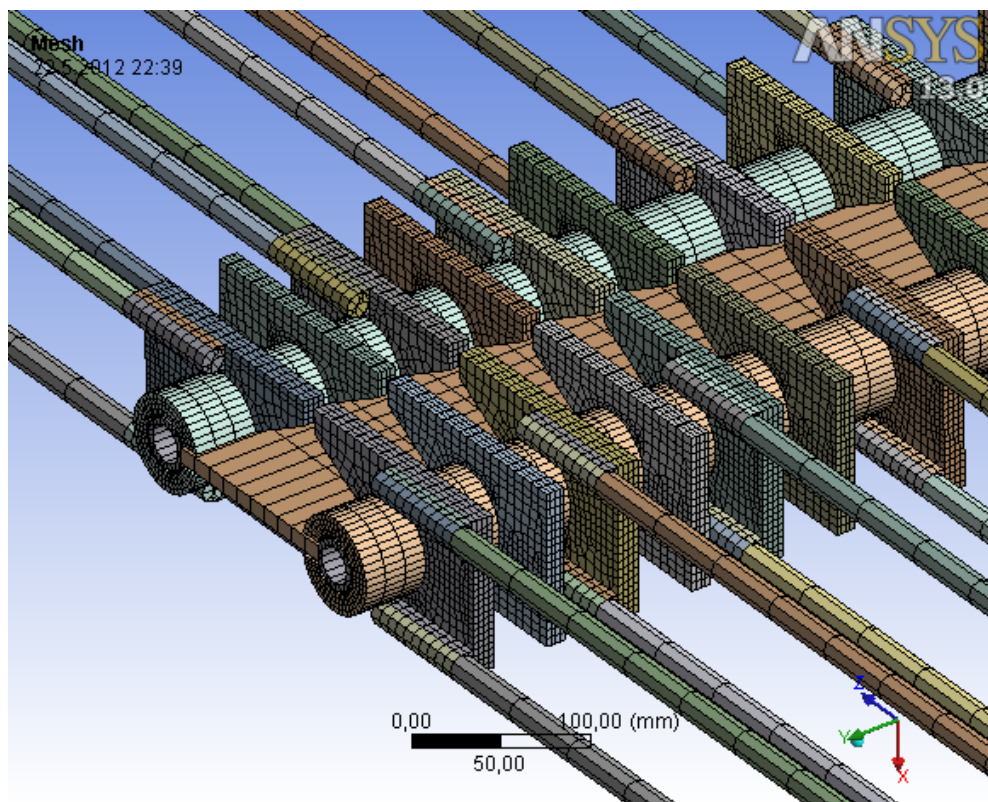
Obr. 2.2.a – Geometrie výpočtového modelu



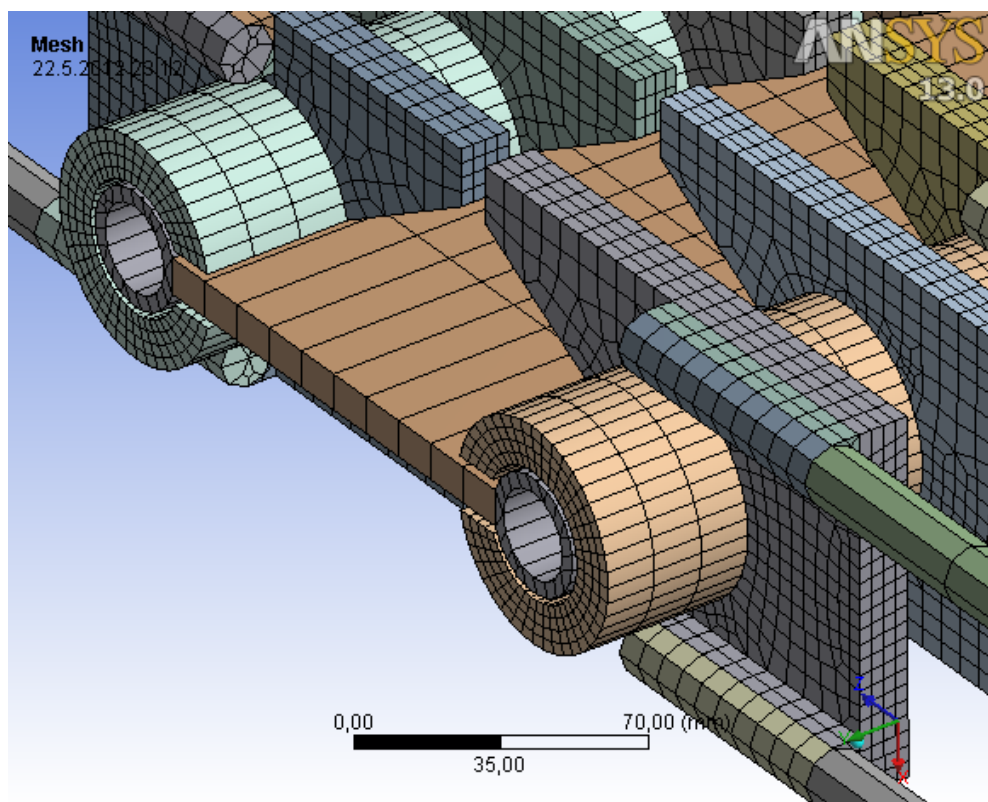
Obr. 2.2.b – Výpočtový model – dělení na prvky



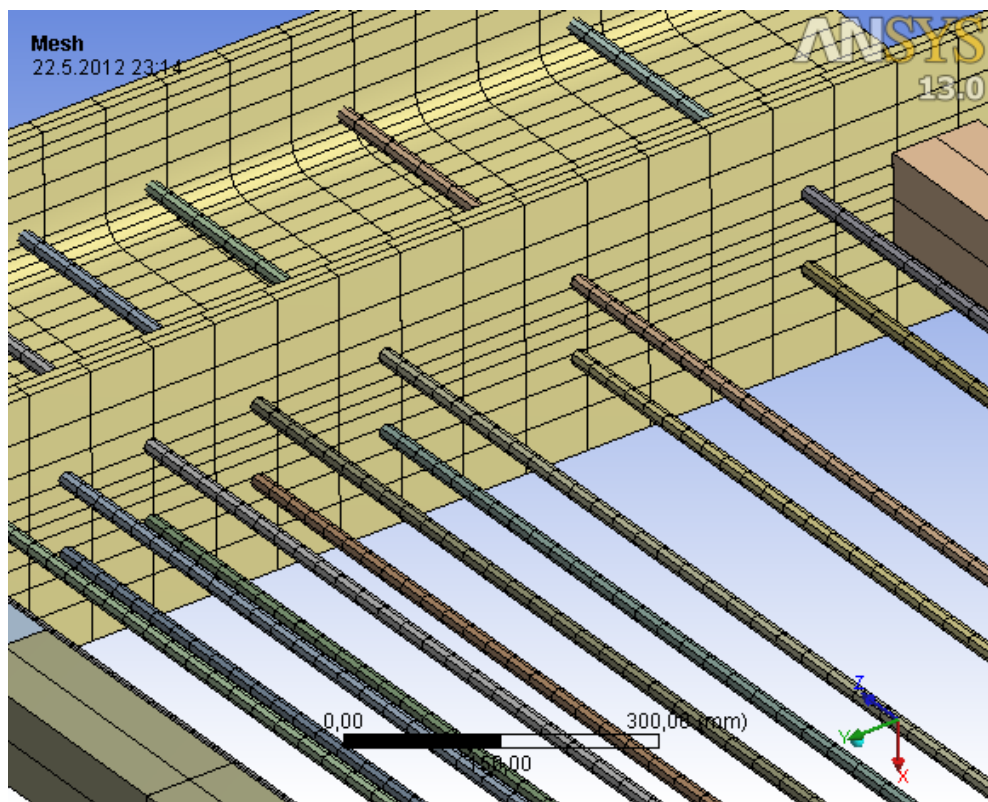
Obr. 2.2.c – Výpočtový model – dolní část - dělení na prvky



*Obr. 2.2.d – Výpočtový model – horní část - dělení na prvky*



*Obr. 2.2.e – Výpočtový model – detail horní části - dělení na prvky*



*Obr. 2.2.b – Výpočtový model – pohled na HEB - dělení na prvky*



## Kapitola 3

### System ANSYS

#### 3.1. Princip systému

Výpočtový systém ANSYS je založen na řešení numerického modelu metodou konečných prvků. Výsledným výstupem řešení úlohy je průběh posunutí, průběh napětí a deformací na konstrukci, z něhož jsou následně dopočítány vnitřní síly.

Nejprve je vytvořen geometrický model konstrukce, na kterém je následně vygenerována síť konečných prvků. Síť může být generována automaticky. V případě, že uživateli nevyhovuje automaticky vygenerovaná síť, umožňuje ANSYS uživatelské nastavení sítě dané velikostí nebo typem prvku. Je také umožněno zhušťování sítě v exponovaných oblastech. Zředňování sítě konečných prvků naopak vede ke snížení počtu prvků a tím ke snížení přesnosti modelu, ale zároveň k úspoře času.

#### 3.2. Pracovní prostředí WORKBENCH

Pracovní prostředí WORKBENCH funguje jako preprocessor a postprocessor. Je graficky velmi přehledné s celkově jednoduchým uspořádáním ovládacích panelů.

Preprocessor slouží k vytváření geometrického modelu, definování materiálových charakteristik, zadávání okrajových podmínek a účinků zatížení a generování sítě konečných prvků.

Vyhodnocení řešené úlohy je prováděno postprocesorem. Výsledky jsou k dispozici v grafické i textové podobě. Pracovní prostředí uživateli umožňuje předem si zvolit požadovaný grafický výstup.

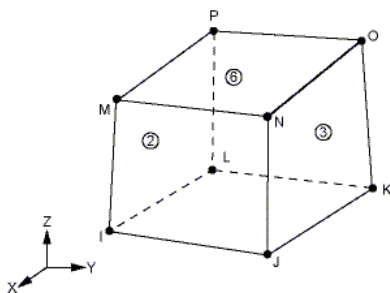
Vlastní výpočet probíhá mimo pracovní prostředí WORKBENCH, jako řešič je využíváno klasické prostředí ANSYS, APDL systém. Do řešiče jsou přeposlána data z preprocessoru. V preprocessoru je dokonce možné zadávání příkazů využívaných APDL systémem.

### 3.3. Použité typy konečných prvků

Ve výpočtu byly uvažovány pouze prostorové typy konečných prvků a prvky zohledňující kontakty jednotlivých „partů“.

#### 3.3.1. SOLID185

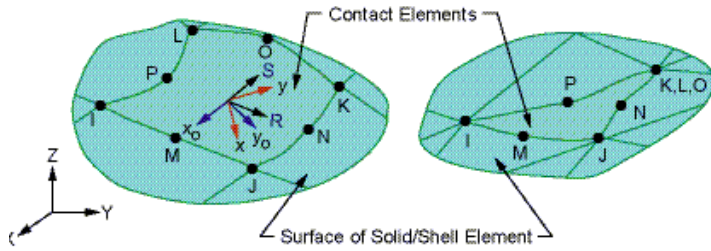
Tento prvek se používá pro 3D modely konstrukcí. Je definován osmi uzly, kde každý uzel má 3 stupně volnosti – posun ve směru x, y, z. Pomocí tohoto prvku lze modelovat plastické deformace, velká přetvoření, dotvarování. Lze také modelovat pružnoplastické chování, popřípadě nestlačitelné chování materiálu.



Obr. 3.3.1. – SOLID185

#### 3.3.2. CONTA174

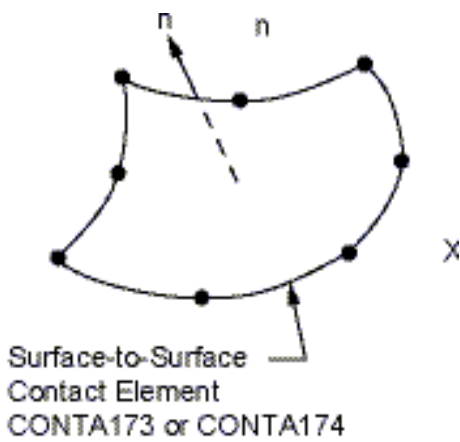
CONTA174 definuje kontakt a posuv mezi 3D povrchem a deformovatelným povrchem definovaným tímto kontaktem. Kontakt je použitelný pro řešení kontaktů 3D prvků a spřažených konstrukcí. Prvek má stejné geometrické vlastnosti jako plocha prostorových nebo skořepinových prvků, na které je napojen.



Obr. 3.3.2. – CONTACT174

### 3.3.3. TARGET170

TARGET170 představuje rozličné 3D povrchy pro spojení s kontaktními prvky (CONTACT174). Kontaktní prvky společně překrývají prostorové, skořepinové nebo liniové prvky popisující rozhraní mezi deformovatelným tělesem a jsou potenciálně v kontaktu s cílovou plochou.



Obr. 3.3.3. – CONTACT174

## Kapitola 4

### Vlastnosti modelu

#### 4.1. Materiálové charakteristiky

Jelikož výpočet uvažují za mezí kluzu  $f_y$ , je nutné zadat nelineární vlastnosti materiálu. Nelinearita je zohledněna pomocí bilineárních diagramů oceli viz tab. doplněné navíc o mez kluzu  $f_y$  a tangentu úhlu odklonu druhé větve diagramu  $tg\beta$ .

Objemová hmotnost  $\rho = 7850 \text{ kgm}^{-3}$ , součinitel teplotní roztažnosti  $\alpha = 1,2\text{E-}5 \text{ K}^{-1}$ , Poissonův součinitel  $\nu = 0,3$ .

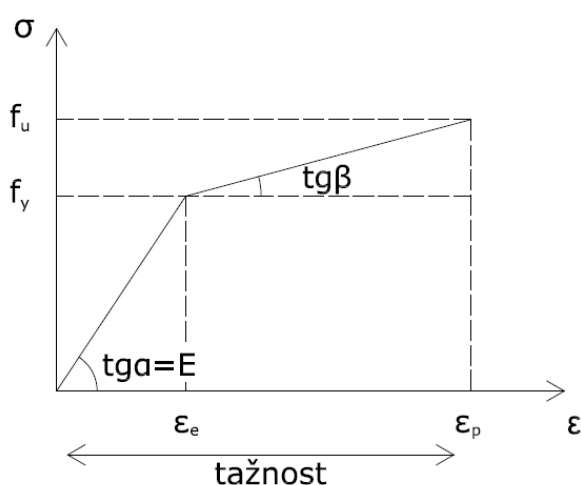
C profil 60,3 x 12,5	
E [GPa]	210,00
$f_y$ [MPa]	281,25
$f_u$ [MPa]	390,00
Tažnost [-]	0,25

Plech tloušťky 12, 14 mm	
E [GPa]	210,00
$f_y$ [MPa]	293,75
$f_u$ [MPa]	405,00
Tažnost [-]	0,24

Svary	
E [GPa]	200,00
$f_y$ [MPa]	600,00
$f_u$ [MPa]	675,00
Tažnost [-]	0,10

Betonářská výztuž	
E [GPa]	200,00
$f_y$ [MPa]	575,00
$f_u$ [MPa]	646,87
Tažnost [-]	0,10

Tab. 4.1. – Materiálové charakteristiky



Obr. 4.1. – Bilineární diagram

#### 4.2. Okrajové podmínky

Na konstrukci byly použity kluzné podpory, které zamezují pohybu pouze v jednom směru (v mém případě byl zvolen směr osy x). Dále bylo nutno pomocí příkazu v APDL systému zamezit ještě pohybu ve směru osy y. Tímto definováním okrajových podmínek byl umožněn pohyb konstrukce ve směru zatěžování, ve směru osy z.

#### 4.3. Způsob zatížení

HEB profily byly použity pro vyvození zatížení a pro zohlednění soudržnosti mezi výztuží a betonem. Kvádry 100 x 100 mm a délky 3000 mm zohledňující lisy jsou umístěny mezi HEB profily tak, aby roznášely zatížení. Na konstrukci byly zatěžovány kvádry 100 x

100 mm a délky 220 mm pomocí rostoucí teploty. Konstrukce byla zatěžována vzrůstající teplotou. Součet sil vyvozených oběma kvádry byl 1380 kN. Zámek byl zatěžován tahem do meze porušení.

## Kapitola 5

### Výsledky

#### 5.1. Tahová zkouška

Zkouška probíhala ve vodorovné poloze. Pomocí 2 tlakových hydraulických válců opřených mezi HEB profily byly do konstrukce vneseny silové účinky. Pohyb hydraulických válců byl kontrolován siloměrem. Tenzometr byl umístěn na profilovaný plech. Zatěžovací síly a deformace byly ukládány a dále zpracovány. K porušení zámku došlo při zatížení 1280 kN ve spodní části. Důvodem bylo odtržení plechu od C profilu.

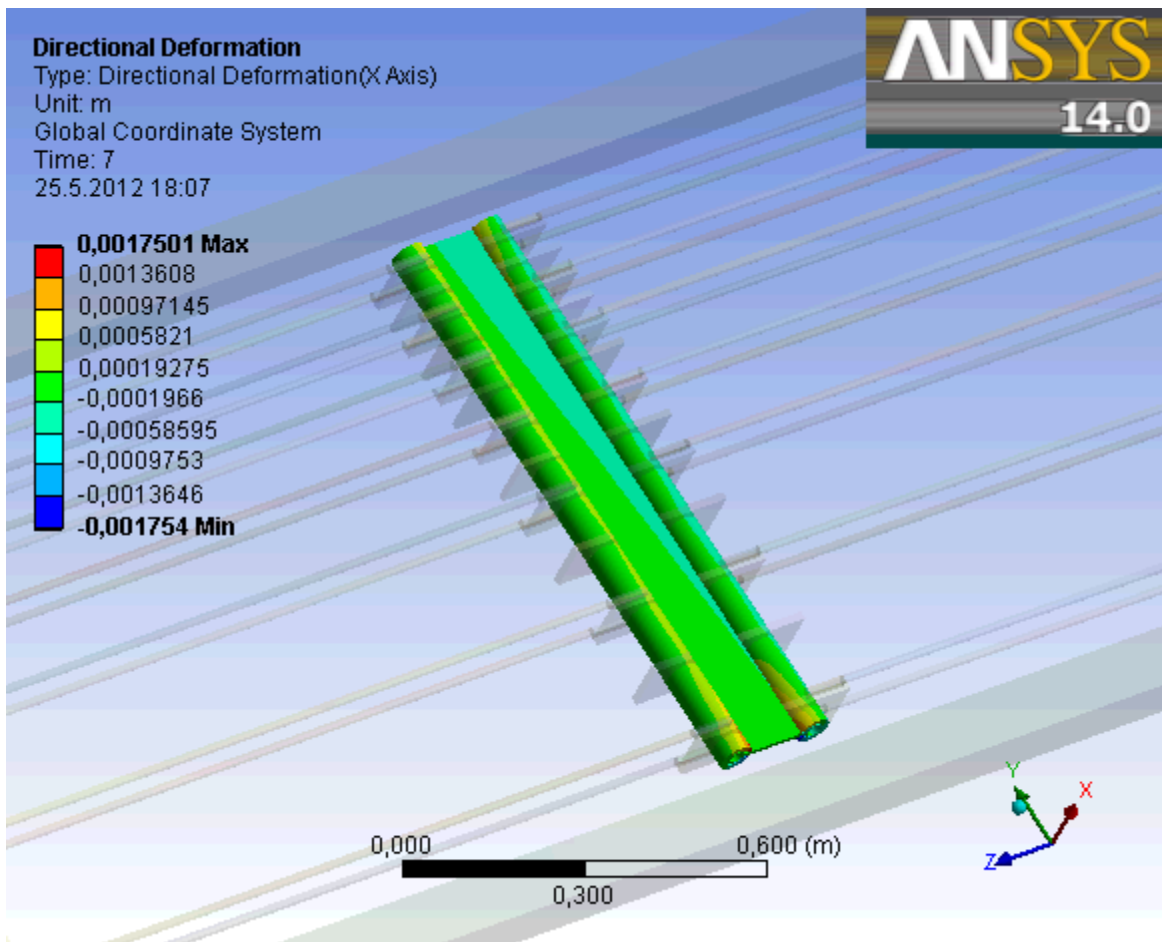
#### 5.2 Průběh zatěžování

Zatěžování bylo prováděno v několika krocích. Zatížení bylo vyvozeno pomocí teploty. Jako výchozí, byla nastavena teplota 0°C a v jednotlivých krocích byla teplota zvýšena vždy o 1000°C. Výpočet byl ukončen při zatížení 1380 kN, což odpovídá teplotě 7000°C. Během zatěžování byly sledovány hodnoty reakcí v obou válcových lisech. Tyto hodnoty byly následně porovnány s hodnotami získanými při tahové zkoušce.

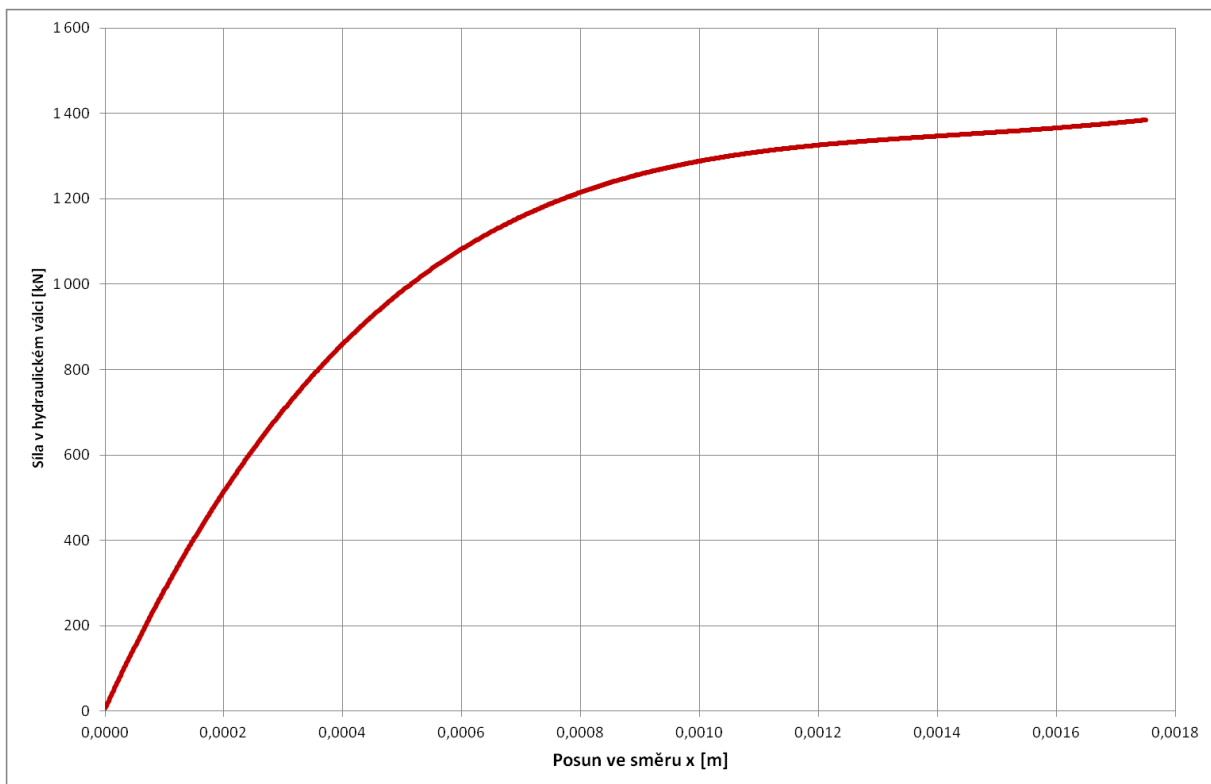
#### 5.3 Vyhodnocení výsledků

Výpočtem byly zjištěny hodnoty přemístění, deformaci a napětí pro hodnotu 1380 kN.

Na obrázku 5.3a je zobrazena deformovaná část zámku při zatížení 1380 kN. Je vidět zvýšená lokální deformace ve spodní a horní části zámku (C-profil). Na obrázku 5.3b je zobrazen detail deformované části zámku.

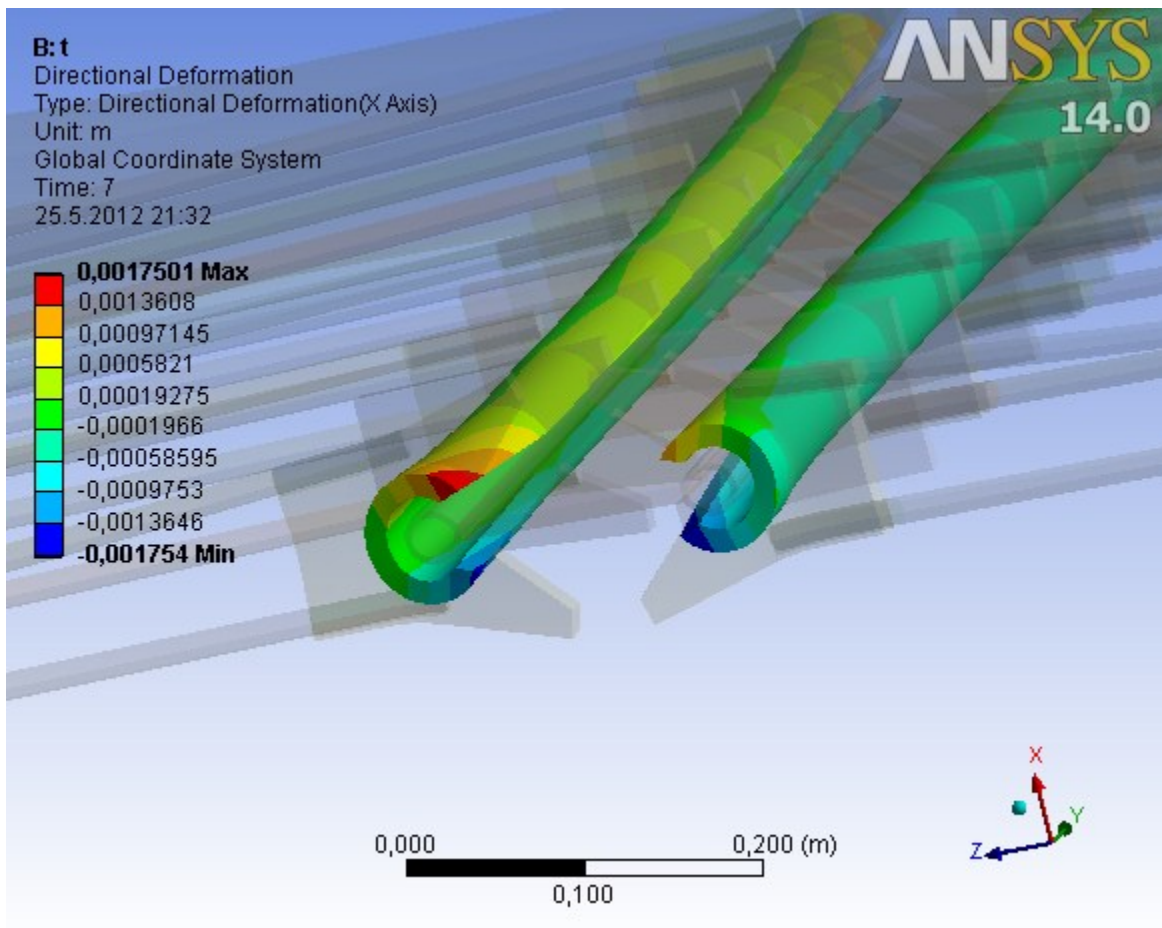


Obr. 5.3a. – Posun ve směru x

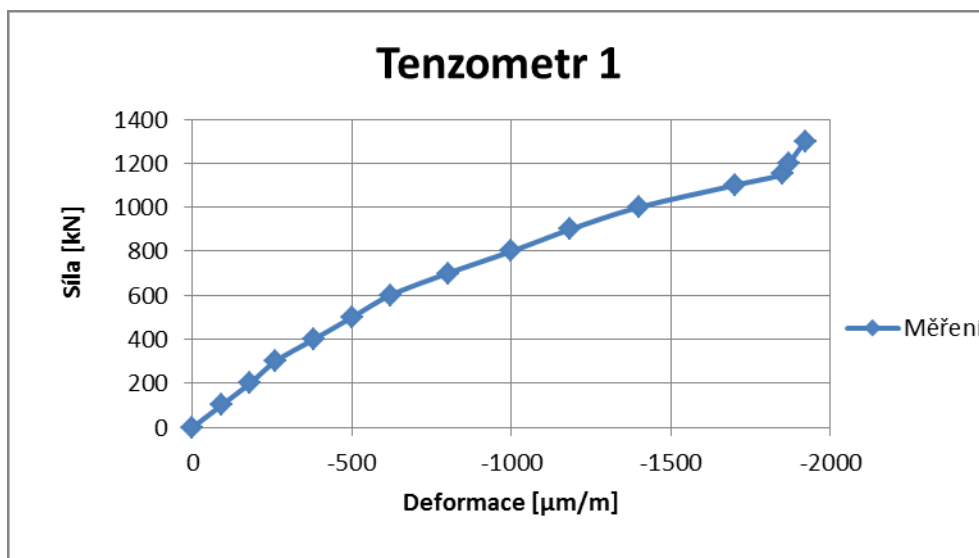


Graf. 5.3. – Závislost posunu na síle v hydraulickém válci





Obr. 5.3.b – Posun ve směru  $x$  - detail spodní části



Obr. 5.3.c - Závislost plastické deformace na síle v hydraulickém válci

## Kapitola 6

### Závěr

V bakalářské práci byla provedena analýza tahové zkoušky kovového zámku betonového svodidla. Byl sestaven geometrický model, který byl následně pokryt sítí konečných prvků. Byly použity pouze prostorové konečné prvky. V exponovaných místech byla síť zjemněna. Po vytvoření numerického modelu byl proveden výpočet a vyhodnocení výsledků. Výsledky získané výpočtem byly následně porovnány s průběhem tahové zkoušky.

Nelineární chování materiálu bylo ve výpočtu zohledněno pomocí nelineární charakteristiky oceli. Plastické chování oceli je definováno nevratnými okamžitými deformacemi vznikajícími při dosažení mezní úrovně napětí. Pro popis pružně – plastického chování oceli byl zvolen nelineární materiálový model s bilineárním izotropním zpevněním.

Konstrukce zatěžována teplotou od základní hodnoty 0°C na hodnotu 7000 °C, což odpovídá 1380 kN. Zatěžování bylo prováděno v několika krocích. Jako výchozí, byla nastavena teplota 0°C a v jednotlivých krocích byla teplota zvýšena vždy o 1000°C.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] ČSN EN 1991 – 1 Zatížení konstrukcí
- [2] ČSN EN 1993 – 1 Navrhování ocelových konstrukcí
- [3] ANSYS, Inc., Theory, Release 13.0, 2010
- [4] Hughes T.J.R. The finite element method, linear statics and dynamic finite element analysis, Prentice – Hall International, ISBN 0-13-317017-9
- [5] Bucelem M. L., Bathe K. J., The mechanics of solids and structures – hierarchical modeling and the finite element solution, ISBN 978-3-540-26331-2

## Seznam symbolů

$f_y$	mez kluzu
$\operatorname{tg}\beta$	tangenta úhlu odklonu nelineární větve pracovního diagramu od horizontály
$\rho$	objemová hmotnost
$\alpha$	součinitel teplotní roztažnosti
$\nu$	Poissonův součinitel
$E$	Youngův modul pružnosti
$f_u$	mez pevnosti
$\sigma$	napětí
$\varepsilon$	přetvoření

## Seznam tabulek a obrázků

<i>Obr. 2.1.a – Půdorys konstrukce</i>	10
<i>Obr. 2.1.b – Příčný řez konstrukce</i>	11
<i>Obr. 2.1.c – Podélný řez konstrukce</i>	11
<i>Tab. 2.2. – Počty konečných prvků, uzlů</i>	12
<i>Obr. 2.2.a – Geometrie výpočtového modelu</i>	12
<i>Obr. 2.2.b – Výpočtový model – dělení na prvky</i>	13
<i>Obr. 2.2.c – Výpočtový model – dolní část - dělení na prvky</i>	13
<i>Obr. 2.2.d – Výpočtový model – horní část - dělení na prvky</i>	14
<i>Obr. 2.2.e – Výpočtový model – detail horní části - dělení na prvky</i>	14
<i>Obr. 2.2.b – Výpočtový model – pohled na HEB - dělení na prvky</i>	15
<i>Obr. 3.3.1. – SOLID185</i>	17
<i>Obr. 3.3.2. – CONTA174</i>	18
<i>Obr. 3.3.3. – TARGE170</i>	18
<i>Tab. 4.1. – Materiálové charakteristiky</i>	20
<i>Obr.a 4.1. – Bilineární diagram</i>	20
<i>Obr.b 5.3.a – Posun ve směru x</i>	23
<i>Graf. 5.3. – Závislost posunu na síle v hydraulickém válci</i>	23
<i>Obr. 5.3.b – Posun ve směru x - detail spodní části</i>	24
<i>Obr. 5.3.c - Závislost plastické deformace na síle v hydraulickém válci</i>	24