



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## SROVNÁNÍ MKP MODELŮ SPOJŮ

COMPARISON OF FEM MODELS OF JOINTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MARTIN HLAVÁČ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PŘEMYSL POKORNÝ, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Akademický rok: 2010/11

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Martin Hlaváč

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Automobilní a dopravní inženýrství (2301T038)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Srovnání MKP modelů spojů**

v anglickém jazyce:

### **Comparision of FEM models of joints**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Srovnání náhradních zjednodušených modelů spojů používaných v rámci komplexních MKP modelů s podrobnými modely detailů spojů.

Cíle diplomové práce:

Vytvořte zjednodušené a detailní modely níže definovaných typů spojení. Proved'te simulace požadovaných zatěžovacích stavů a srovnajte výsledky simulací z odpovídajících si modelů.

vytvořte modely pro:

- šroubové spoje
- s lícovaným šroubem
- s běžným šroubem

- svarové spoje
- napojení ve tvaru T
- přeplátování

Zatěžovací stavy a případné další typy spojů dle pokynů vedoucího DP.



Seznam odborné literatury:

KLIMEŠ, P.: Části a mechanismy strojů, Akademické nakladatelství CERM, 2003

JANČÍK, L.: Části a mechanismy strojů, ČVUT Praha, 2004

MEDEK J.: Mechanické pochody, FSI VUT v Brně, 1998, ISBN 80-214-1264-X .

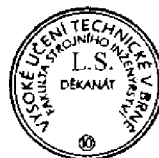
PACAS, B. a kol.: Teorie stavebních strojů, STNL Praha, 1983

Vedoucí diplomové práce: Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 8.11.2010

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.  
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan

## **Abstrakt:**

Tato diplomová práce se zabývá problematikou srovnávání náhradních zjednodušených modelů spojů používaných v rámci komplexních MKP modelů s podrobnými modely detailů spojů. Jedná se především o šroubové spojení s běžným a lícovaným šroubem, svarové spojení ve tvaru T a překládané svarové spojení. Jednotlivé spoje jsou porovnány v rámci výsledků simulací odpovídajících si modelů.

## **Klíčová slova:**

šroub, matice, podložka, šroubový spoj, svarový spoj, koutový svar, metoda konečných prvků

## **Abstract:**

This thesis deals with the comparison of alternative models of the simplified joints used in the FEM models of complex models with detailed joint details. This is essentially a screw connection with dowel bolt and standard bolt, weld connection "T" and overlap weld connection. Individual connections are compared in the simulation results of matching models.

## **Keywords:**

screw, nut, washer, screw joint, weld joint, fillet weld, finite element method

## **Čestné prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce pana Ing. Přemysla Pokorného, Ph.D. a s použitím uvedené literatury.

V Brně, dne:.....

Podpis:.....

Bc. Martin Hlaváč

## **Bibliografická citace:**

HLAVÁČ, M. *Srovnání MKP modelů spojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 100 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.

## **Poděkování:**

Chtěl bych poděkovat všem, kteří mi byli nápomocni při tvoření této práce, zejména pak vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Přemyslu Pokornému, Ph.D. za cenné rady a dostatečné poskytnutí informací ke splnění diplomové práce.

Zároveň bych poděkoval svým rodičům za všestrannou podporu v celém období studia.

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Cíle práce</b> .....	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Šroubový spoj</b> .....	<b>10</b>
3.1	Hlavní části .....	10
3.1.1	Šroub .....	10
3.1.2	Matice .....	11
3.1.3	Podložka .....	11
3.1.4	Spojovaná součást .....	12
3.2	Tuhost .....	12
3.2.1	Tuhost šroubu .....	13
3.2.2	Tuhost spojovaných součástí .....	14
3.3	Zatěžovací stavy .....	15
3.4	Výpočtový model objemový .....	17
3.4.1	Běžný šroub .....	17
3.4.2	Lícovaný šroub .....	21
3.5	Výpočtový model skořepinový .....	24
3.6	Porovnání výsledků objemového a skořepinového modelu .....	27
3.6.1	Předpětí .....	27
3.6.2	Běžný šroub .....	29
3.6.3	Lícovaný šroub .....	31
<b>4</b>	<b>Svarový spoj</b> .....	<b>33</b>
4.1	Základní charakteristika .....	33
4.1.1	Svařitelnost .....	33
4.1.2	Druhy svarových spojů .....	35
4.1.3	Návrhová únosnost koutového svaru .....	35
4.2	Napojení typu „T“ .....	36
4.2.1	Zatěžující stavy .....	36
4.2.2	Řez 2D .....	37
4.2.3	Skořepinový model .....	40
4.2.4	Porovnání výsledků .....	42
4.3	Přeplátování .....	46
4.3.1	Zatěžující stavy .....	46
4.3.2	Řez 2D .....	47
4.3.3	Skořepinový model .....	49
4.3.4	Porovnání výsledků .....	51
<b>5</b>	<b>Závěr</b> .....	<b>53</b>
<b>6</b>	<b>Seznam použitých zdrojů</b> .....	<b>54</b>
<b>7</b>	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů</b> .....	<b>55</b>
<b>8</b>	<b>Seznam obrázku a tabulek</b> .....	<b>56</b>
<b>9</b>	<b>Seznam příloh</b> .....	<b>58</b>

# 1 Úvod

Při konstrukční činnosti se často setkáváme s problematikou konstruování spojů. Obecně se dají spoje rozdělit do dvou základních skupin, na spoje rozebíratelné a nerozebíratelné.

Mezi spoje rozebíratelné lze zařadit spoje s použitím šroubu, kolíku, klínu či pera. Podstatou těchto spojů je schopnost spojit více konstrukčních prvků v jeden celek, který je schopen přenášet požadované zatížení. Výhodou rozebíratelných spojů již z názvu značí, možnost demontáže spojovacích částí, aniž by došlo k jejich poškození. Další výhodou takových to spojů je schopnost nevnášet nežádoucí přídatné zatížení do spoje.

Do skupiny nerozebíratelných spojů patří lepené, svařované a nýtované spoje. Podstata těchto spojů je obdobná jako u rozebíratelných spojů. Oproti rozebíratelným spojům je možnost demontáže obtížná, ve většině případů pomocí destruktivních metod.

Tato práce se zabývá posuzováním rozdílných přístupů řešení MKP modelů v oblasti vybraných rozebíratelných a nerozebíratelných spojů, především šroubových a svarových spojů. Při analýze chování jednotlivých modelů jsou posuzovány zjednodušené náhrady spojů ve skořepinových MKP modelech, tvořené programem I-DEAS (lineární analýza). Naproti tomu jsou vytvořeny detailní objemové MKP modely srovnatelných spojů, se zahrnutím např. kontaktního tření. Objemové modely jsou tvořeny pomocí programu MSC MARC (nelineární analýza).

## 2 Cíle práce

Cílem diplomové práce je srovnávání náhradních zjednodušených modelů spojů používaných v rámci komplexních MKP modelů s podrobnými modely detailů spojů. Jsou vybrány dva typy spojů (šroubový spoj, svarový spoj) u kterých se provede simulace požadovaných zatěžovacích stavů dle pokynů vedoucího DP.

Pro šroubový spoj bude navržen náhradní model šroubového spojení s běžným šroubem a šroubem lícovaným. Z náhradního modelu je vytvořen zjednodušený skořepinový MKP model pomocí programu I-DEAS. Detailnější výpočtový model bude řešen jako objemový MKP model za pomoci programu MSC MARC. Na závěr proběhne porovnání výsledků vybraných analýz odpovídajících si modelů, za předpokladu stejných okrajových podmínek a navržených zatěžovacích stavů.

Pro svarový spoj bude vytvořen náhradní model svarového spojení „napojení ve tvaru T“ a přeplátování. Oba tyto spoje tvoří koutový svar. Z náhradního modelu je vytvořen zjednodušený skořepinový MKP model taktéž pomocí programu I-DEAS. Detailní MKP model bude řešen jako řez 2D jednotlivými spojeními pomocí programu MSC MARC. V závěru dojde k porovnání výsledku vybraných analýz s odpovídajícími okrajovými podmínkami a navrženými stavy zatížení.

### 3 Šroubový spoj

V této kapitole jsou podrobněji rozebrány jednotlivé části šroubového spoje. Dále jsou vytvořeny a porovnávány výsledky analýz šroubových spojů ve skořepinových MKP modelech a objemových MKP modelech. Jedná se o šroubové spojení s běžným a lícovaným pevnostním šroubem. Je provedena analýza pouze statického zatížení.

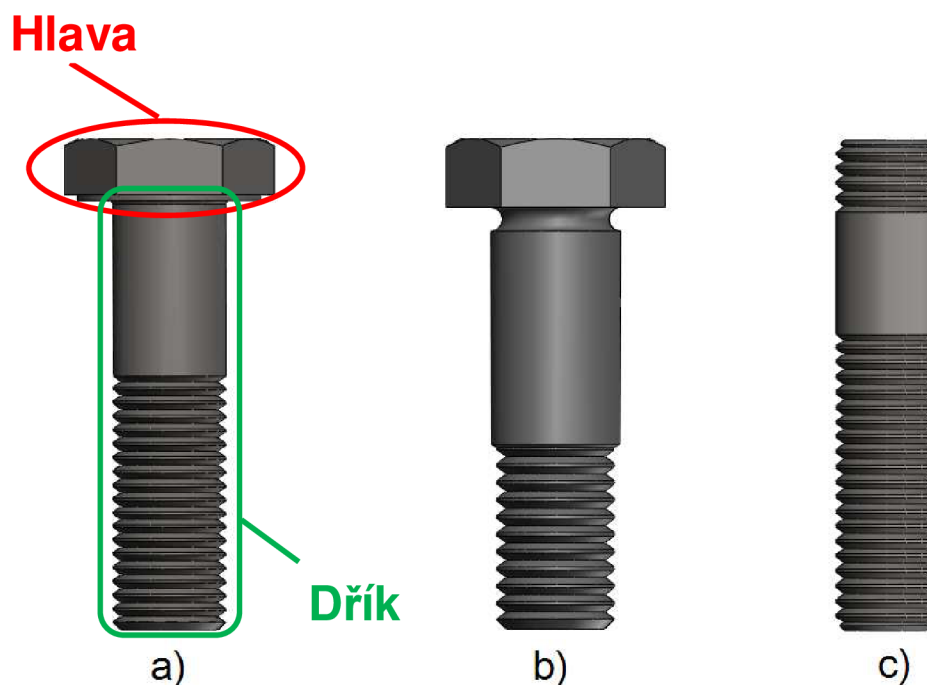
#### 3.1 Hlavní části

Šroubové spoje bývají ve většině případů složeny ze šroubu, matice, podložky a spojovaných součástí. V níže uvedených podkapitolách jsou jednotlivé části blíže představeny.

##### 3.1.1 Šroub

Šroub tvoří ve většině případů dvě hlavní části, a to hlavu a dřík. Hlava může být tvořena různými tvary, nebo závitovým dříkem. Dřík lze rozdělit na oblast bez závitu a oblast se závitem.

V praxi se lze setkat s celou řadou normovaných typů, tvarů a velikostí šroubů podle ČSN, ISO a EN (Příloha A1). Pro názornost je na Obr. 3.1 vyobrazen základní přehled často používaných typů šroubů v ocelových konstrukcích.



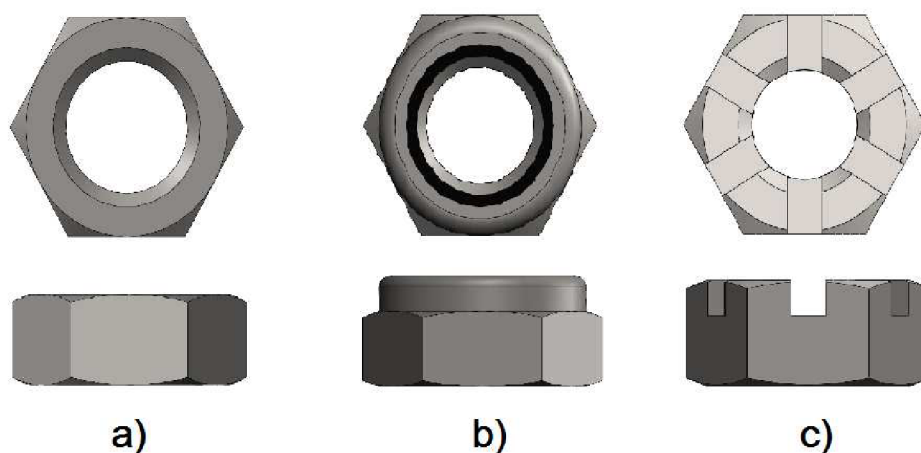
Obr. 3.1 Přehled nejčastěji používaných typů šroubů  
a) Šroub se šestihrannou hlavou (norma ISO 4014), b) Lícovaný šroub (norma ČSN 02 1111), c) Závrtný šroub (norma ČSN 02 1174)



### 3.1.2 Matice

Další částí šroubového spojení je matice. Nejčastěji tvořena šestihranným, někdy i čtyřhranným tvarem. Pomocí tohoto tvarování je možno utahování matice vůči šroubu. Hlavním účelem matice je zajištění spojení spojovaných částí, spolu se šroubem.

Jak šrouby, tak i matice mají typ, velikost a tvar normován podle ČSN, ISO a EN (Příloha A2). Existují různé typy matic. Na Obr. 3.2 jsou vyobrazeny základní typy matic pro ocelové konstrukce.

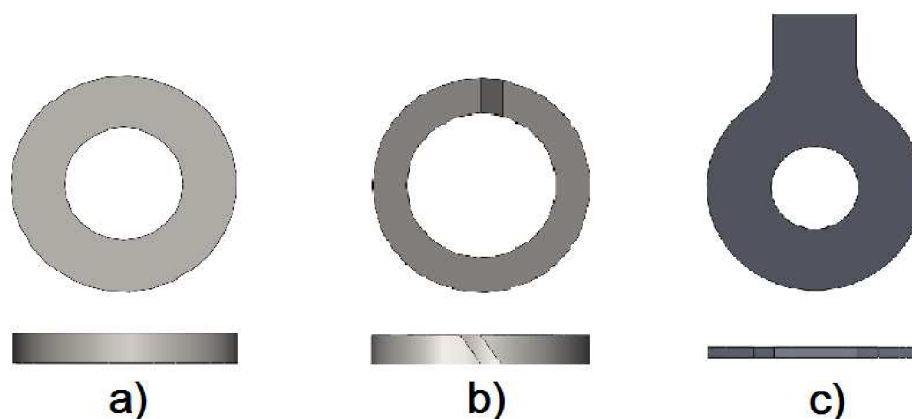


Obr. 3.2 Přehled nejčastěji používaných typů matic  
a) Šestihranná matice (norma ISO 4032), b) Samojistná šestihranná matice (norma ISO 7040), c) Korunová matice (norma ČSN 02 1411)

### 3.1.3 Podložka

Mezi často používané součásti šroubového spoje patří podložka, která může plnit více funkcí. Například pružná podložka eliminuje vibrace mezi maticí a spojovanou součástí. Bez této podložky by hrozilo vlivem vibrací k povolení matice vůči šroubu a tím i ke ztrátě svěrného spojení. Dalším často používaným typem je plochá kruhová podložka, která slouží pro lepší rozložení kontaktního tlaku od hlavy šroubu nebo matice. Také eliminuje případné třecí síly při utahování matice mezi maticí a spojovanou součástí.

Příloha A3 obsahuje různé typy podložek dle norem. Obr. 3.3 ukazuje nejčastěji používané typy podložek v ocelových konstrukcích.



Obr. 3.3 Přehled nejčastěji používaných typů podložek  
a) Plochá kruhová podložka (norma ISO 7040), b) Pružná podložka (norma ČSN 02 1740), c) Pojistná podložka s jazýčkem (norma ČSN 02 1751)

### 3.1.4 Spojovaná součást

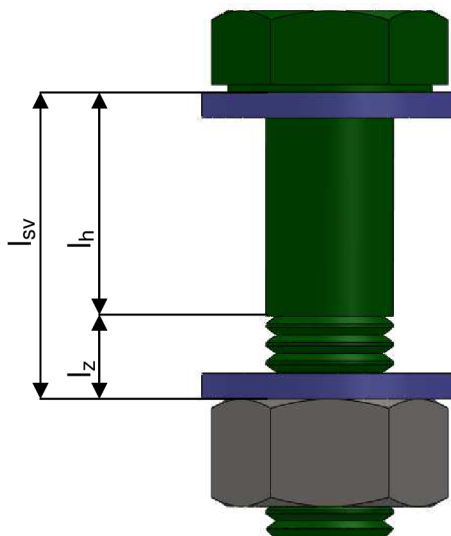
Hlavním důvodem proč se využívá šroubové spojení, je potřeba spojit více součástí do jednoho celku. V praxi se šroubové spojení využívá například tam, kde je obtížné spojit různorodé materiály k sobě, nebo jiný typ spojení by nebyl efektivní a ekonomický pro daný případ.

U ocelových konstrukcí se nejčastěji jedná o spojení plechů, profilů nebo přírub. Pro průchozí díry platí norma ČSN EN 20 273 (Příloha A4), kde rozměry těchto děr norma stanovuje.

## 3.2 Tuhost

Při návrhu a kontrole předepjatých šroubových spojení, je zapotřebí znát tuhost jednotlivých dílčích částí. Tuhost se řadí do oblasti deformační charakteristiky, kterou lze vyjádřit jako poměr mezi silou působící na součást a deformací, která vzniká od působení této síly.

### 3.2.1 Tuhost šroubu



Obr. 3.4 Délka svěrného spojení u šroubu

Pro výpočet tuhosti šroubu je potřeba znát svěrnou délku šroubu. Svěrnou délku tvoří vzdálenost  $l_{sv}$  mezi dosedací plochou šroubu a matice (Obr. 3.4). Tato vzdálenost je rozhodující pro výpočet tuhosti šroubu. Je zapotřebí rozlišovat, zda celou svěrnou délku tvoří pouze závit  $l_z$  nebo i hladká část  $l_h$ .

Platí vztah dle [3]:

$$l_{sv} = l_z + l_h \quad (3.1)$$

Kde:

$L_{sv}$	[mm]	svěrná délka celého šroubu
$L_z$	[mm]	závitová část
$L_h$	[mm]	hladká část

Pokud je svěrná délka šroubu rozdělena na závitovou a hladkou část, pak každá z těchto částí vlastní hodnotu tuhosti. Celková tuhost je hodnotou součtu převrácených hodnot jednotlivých tuhostí (3.2)

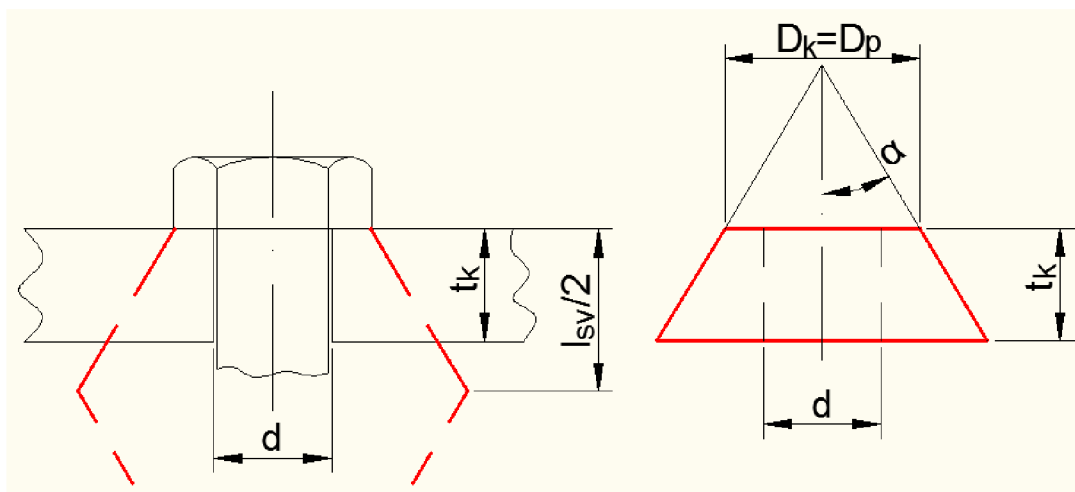
Celková tuhost šroubu dle [3]:

$$k_{cš} = \frac{S_d \cdot A_s \cdot E}{S_d \cdot l_h + A_s \cdot l_z} \quad (3.2)$$

Kde:

$k_{cš}$	[Nmm <sup>-1</sup> ]	celková tuhost šroubu
$A_s$	[mm <sup>2</sup> ]	výpočtový průřez závitu
$S_d$	[mm <sup>2</sup> ]	průřez dříku
$E$	[MPa]	modul pružnosti v tahu

### 3.2.2 Tuhost spojovaných součástí



Obr. 3.5 Tlakové rozložení ve spojované součásti

Stanovení tuhosti u spojovaných šroubových spojů je poněkud složitější, než v předchozí podkapitole u šroubů. Existuje celá řada různých teorií, které se zabývají analytickým výpočtem této hodnoty, ovšem s přibližným výsledkem. Pomocí vhodného vrcholového úhlu  $2\alpha$  komolého kužele (Obr. 3.5), dosedající plochy (matice, hlavy šroubu nebo podložky) na svěrnou součást a délky svěrného spojení, je určen komolý kužel pro výpočet tuhosti. Přesnějším způsobem jak tuto hodnotu zjistit je experimentální měření.

Vzorec pro výpočet tuhosti jedné spojované součástí (plechů, přírub, podložek, atd.) je proveden dle [3]:

$$k_p = \frac{\pi \cdot E \cdot d \cdot \tan \alpha}{\ln \frac{(2t_k \cdot \tan \alpha + D_k - d)(D_k + d)}{(2t_k \cdot \tan \alpha + D_k + d)(D_k - d)}} \quad (3.3)$$

Výpočet celkové tuhosti spojovaných součástí dle [3]:

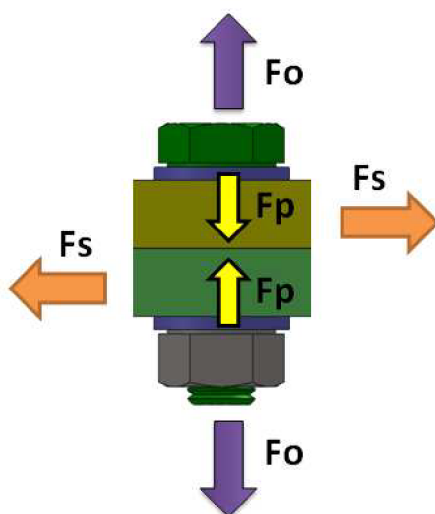
$$k_{pc} = \frac{\pi \cdot E \cdot d \cdot \tan \alpha}{2 \ln \frac{(l_{sv} \cdot \tan \alpha + D_p - d)(D_p + d)}{(l_{sv} \cdot \tan \alpha + D_p + d)(D_p - d)}} \quad (3.4)$$

Kde:

d	[mm]	průměr otvoru dutého kužele
$D_k$	[mm]	průměr nejmenší podstavy kužele
$D_p$	[mm]	průměr nejmenší podstavy od použité podložky odpovídající největšímu průměru podložky ( $d_2$ )
$t_k$	[mm]	tloušťka jedné ze spojovaných součástí
$\alpha$	[°]	úhel komolého kužele; $25^\circ \leq \alpha \leq 33^\circ$ dle [3]
$k_p$	[Nmm <sup>-1</sup> ]	tuhost kužele nahrazující spojovanou součást
$k_{cp}$	[Nmm <sup>-1</sup> ]	tuhost kužele nahrazující celou spojovanou součást

Použitím podložek může dojít k významnému snížení tuhosti šroubu a zvýšení tuhosti spojovaných součástí. [3]

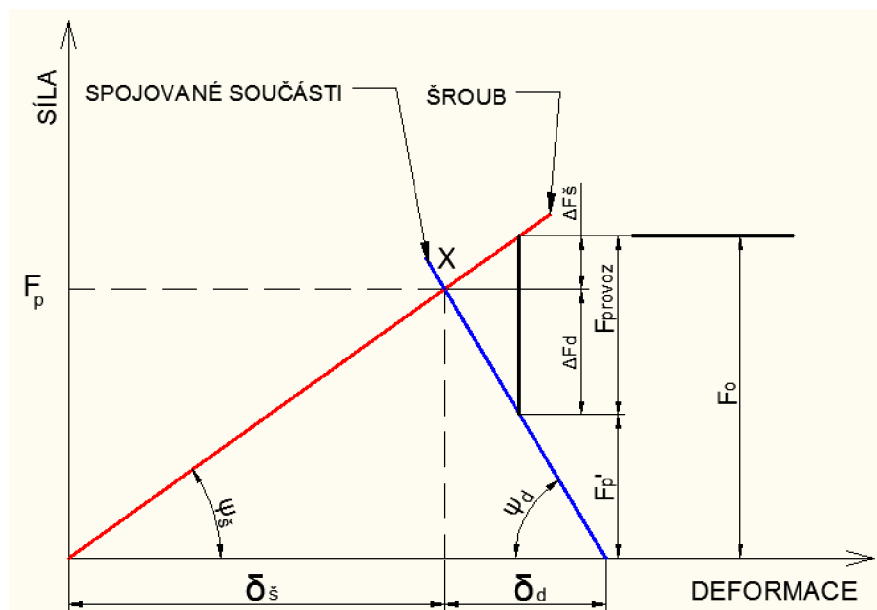
### 3.3 Zatěžovací stavy



Obr. 3.6 Síly působící na šroubovém spoji

Šroubové spoje bývají nejčastěji namáhány na tah (**F<sub>o</sub>**) nebo stříh (**F<sub>s</sub>**). Tahové namáhání působí v ose šroubu (Obr. 3.6). Může mít charakter konstantního nebo cyklického průběhu. Střížná síla působí kolmo k ose šroubu (Obr. 3.6) taktéž s konstantním, či cyklickým průběhem. V této práci je uvažován pouze konstantní průběh.

Další silou, která může být ve šroubovém spoji, je předpětí (**F<sub>p</sub>**). Tato síla působí v ose šroubu v opačném směru, než síla tahová viz (Obr. 3.6). Určení velikosti předpětí lze provést pomocí **provozního diagramu** (Obr. 3.7).



Obr. 3.7 Provozní diagram šroubového spoje

Na Obr. 3.7 je zobrazen provozní diagram předepjatého šroubového spoje. Červená a modrá přímka představují tuhost šroubu a spojovaných součástí, kdy tangenty úhlu  $\psi_s$  a  $\psi_d$  reprezentují právě tyto tuhosti. Průmět bodu (X) do osy (SÍLA) určuje velikost předpětí  $F_p$ . Provozní síla  $F_o$  působící v tomto případě konstantně, vytváří přírůstek síly ve šroubu  $\Delta F_s$  a naopak úbytek síly  $\Delta F_d$  ve spojované součásti. Celková síla působící na spojované součásti značí hodnota ( $F_p'$ ).

### Tabulka stavů zatížení

SMYK \ TAH	0 %	50 %	100 %
	0 %	Předpětí	1. STAV
50 %	3. STAV	4. STAV	5. STAV
100 %	6. STAV	7. STAV	8. STAV

Tab. 1: Přehled stavu zatížení

Pro výpočtové modely šroubových spojů je stanoveno osm zatěžujících stavů. Jedná se o kombinaci tahového a střížného zatížení šroubu v procentuálních poměrech. Každý stav je navíc zatížen předpětím (samostatný stav).

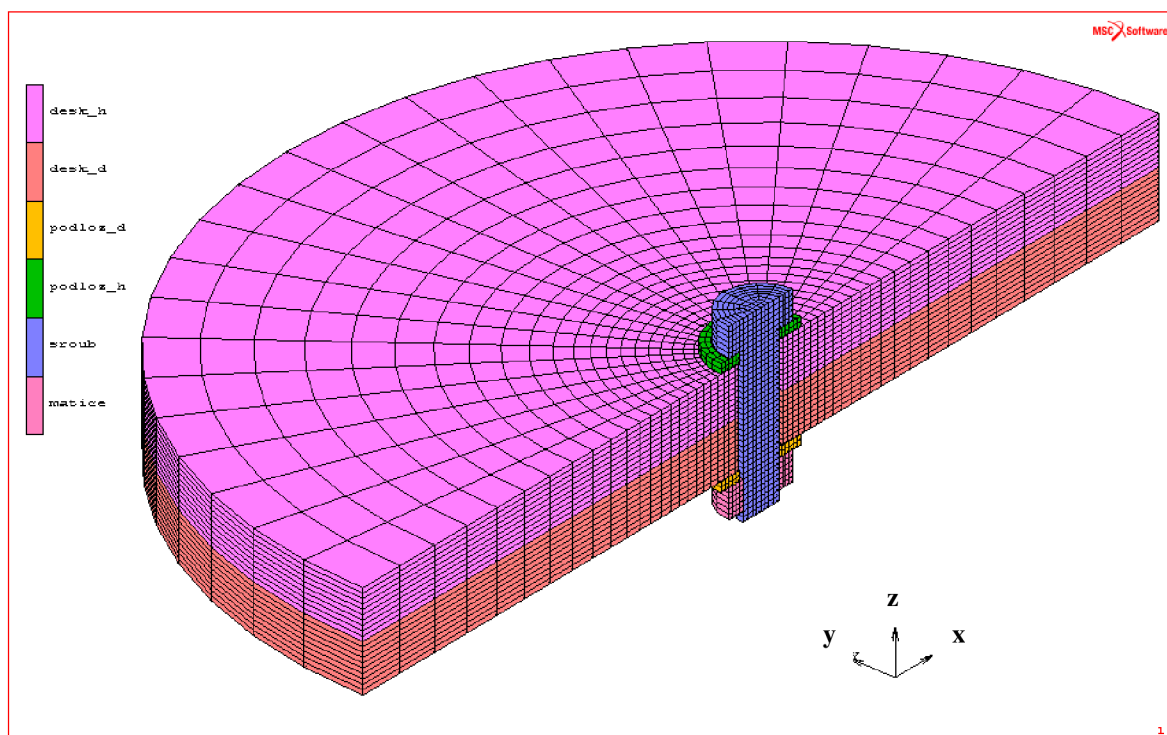
Šroubový spoj spojený běžným šroubem je namáhán kompletní sadou stavů dle **Tab. 1**. Hodnota tahového zatížení **TAH = 1 mm**. Hodnota smykového zatížení **SMYK = 1,5 mm**. Pro šroubový spoj s lícovaným šroubem platí pouze stavy obsahující smyk (Předpětí, 3. STAV, 6. STAV), kde **SMYK = 1 mm**. Velikost předpětí odpovídá hodnotě **20 kN**.

### 3.4 Výpočtový model objemový

Pevnostní analýza je provedena pomocí objemového MKP (Metoda konečných prvků) modelu v programu MSC MARC. Jedná se o výpočtový program, v kterém lze řešit nelineární úlohy (např. kontaktní úlohy řešené v čase) a řadu dalších úloh. Pro lepší orientaci je model zobrazován polovičně (Obr. 3.8).

#### 3.4.1 Běžný šroub

##### Model



Obr. 3.8 Výpočtový objemový model šroubového spoje – běžný šroub

Aby se dalo zjistit, jak se chová šroubový spoj v ocelové konstrukci, bylo zapotřebí vytvořit náhradní model s běžným šroubem (Příloha C1), na kterém jsou simulovány jednotlivé stavy zatížení.

Výpočtový model (Obr. 3.8) je oproti náhradnímu zjednodušen. Především styk závitu šroubu s maticí je zjednodušen na styk válcových ploch o rozměru středního průměru závitu ( $d_2$ ). Tvar hlavy šroubu i matice je taktéž zjednodušen viz (Příloha C2).

Celá síť je tvořena pomocí mapovaných prvků **HEX 8** (Příloha A5) s nejmenší velikostí prvku **1mm**.

Jako výpočtový materiál je zvolen materiál s označením **C35**, který obsahuje knihovna Marcu. Tento materiál je přiřazen deskám a podložkám. Parametry výpočtového materiálu: *Youngův modul* = **2,17.10<sup>5</sup> MPa**, *Poissonův poměr* = **0,3**, *hustota* = **7,85.10<sup>3</sup> kg.m<sup>-3</sup>**.

Pro šroub a matici je navržen vlastní materiál s hodnotami *Youngova modulu*, *Poissonova poměru* a *hustoty* stejné jako **C35**. Navíc je nastaveno konstantní plastické chování šroubu s hodnotou **R<sub>p0,2</sub> = 610 MPa** [1]. V praxi to znamená, že po překročení této hodnoty materiál vykazuje 100% plastické chování.

## Kontaktní tabulka

Jednotlivé součásti výpočtového modelu jsou tvořeny jako samostatná deformovatelná kontaktní tělesa (Obr. 3.8), kterým lze přiřadit součinitel tření. V této úloze mají všechna kontaktní tělesa přiřazený statický součinitel tření **f = 0,15** dle [4]. Kontakty mezi jednotlivými tělesy jsou dány kontaktními tabulkami (**Tab. 2**), ve kterých se nastavují jednotlivé parametry pro každou kontaktní dvojici.

	BODY NAME	BODY TYPE	1	2	3	4	5	6
1	desk_h	deformable		T		T	T	
	desk_d	deformable	T		T			T
	podloz_d	deformable		T				T
	podloz_h	deformable	T				T	
	sroub	deformable	T			T		T
	matice	deformable		T	T		T	
2	desk_h	deformable		T		T	T	
	desk_d	deformable	T		T		T	T
	podloz_d	deformable		T				T
	podloz_h	deformable	T				T	
	sroub	deformable	T	T		T		G
	matice	deformable		T	T		G	

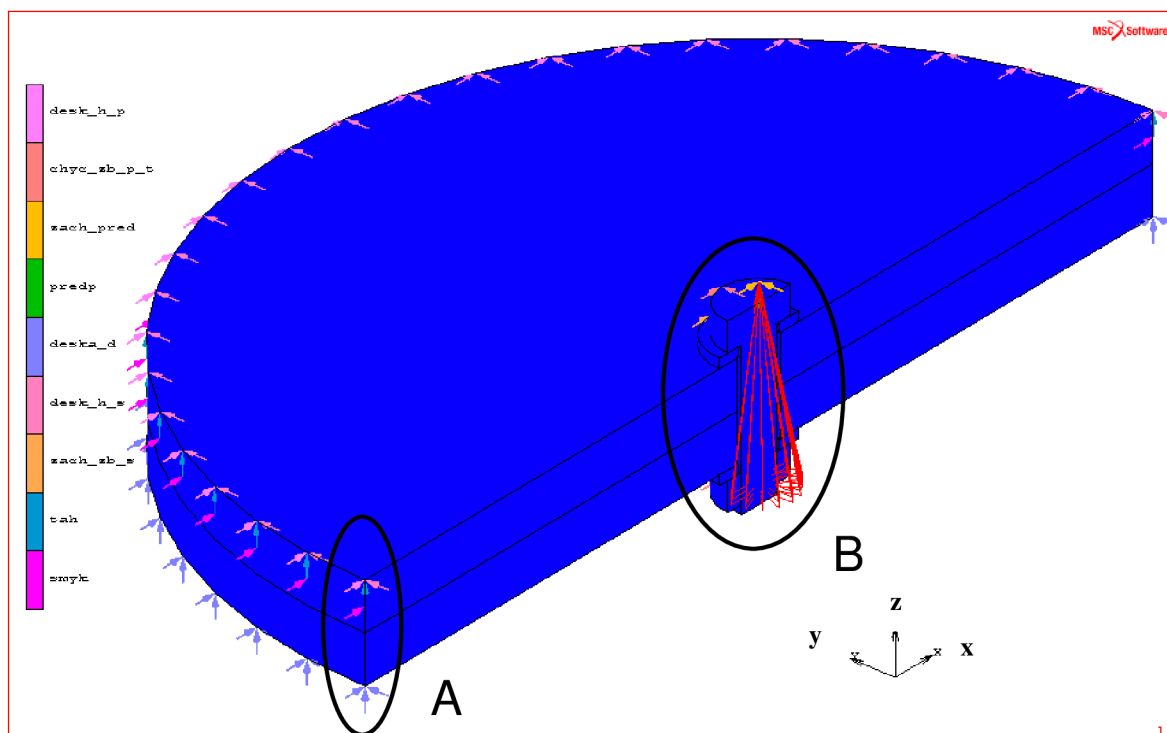
Tab. 2 : Kontaktní tabulky běžného šroubu  
1 - tabulka kontaktů pro předpětí, 2 - tabulka kontaktů pro zatížení

**(T) Touching** – kontakt mezi dvěma tělesy, kdy dochází ke smyku kontaktních ploch těchto těles

**(G) Glue** – kontakt mezi dvěma tělesy, kdy nedochází ke smyku kontaktních ploch těchto těles, automaticky nastavený vysoký součinitel tření



## Okrajové podmínky



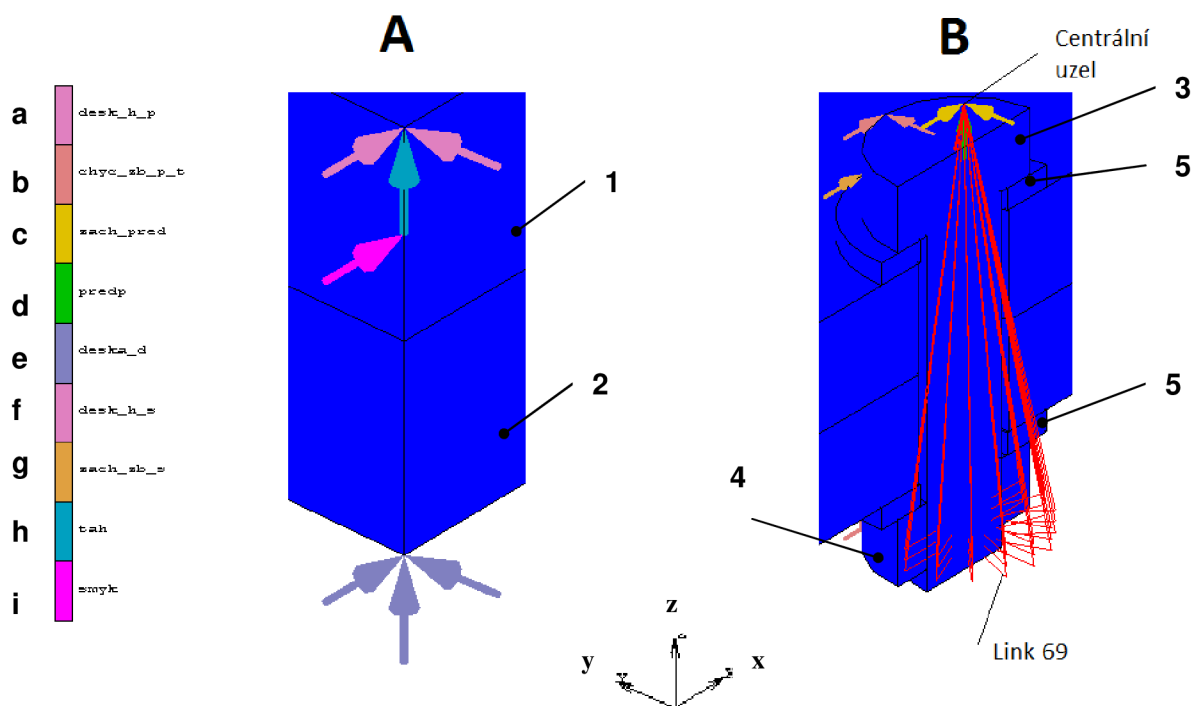
Obr. 3.9 Okrajové podmínky pro běžný šroub

Výpočtový model obsahuje řadu okrajových podmínek (Obr. 3.9). Pro výpočet jsou vytvořeny dva Loadcasey. Loadcase tvoří kontaktní tabulka, sada okrajových podmínek, aj., které jsou analyzovány v časovém průběhu. Výsledky těchto analýz na sebe mohou navazovat, čehož je zde využito, tj. že výsledky analýzy z prvního loadcasu ovlivňují výsledky analýzy druhého loadcasu – nastavení předpětí s následným zatížením.

Prvním Loadcase je vytvořen pro nastavení předpětí. Zde je aktivní vazba (Obr. 3.10A-e), kde dolní desce zamezuje posuv ve všech směrech. Dále je aktivní vazba (Obr. 3.10A-a) pro desku horní. Opět je zamezen posuv ve všech směrech. Šroub, matice a podložky jsou zachyceny pomocí aktivní vazby (Obr. 3.10B-b) se zamezením posuvu v ose  $x$  a  $y$ . Pro vyvození předpětí je použit speciální typ linku 69 (Obr. 3.10B). Jedná se o typ propojení dvou uzlů s uzlem centrálním, kdy velikost zatížení v centrálním uzlu vytváří stejnou hodnotu jako u propojovaných uzlů. Pro tento model je použito 48 těchto linků. Velikost předpětí (Obr. 3.10B-d) je nastavena na hodnotu **20 kN**. Působí v kladném směru osy  $z$  do centrálního uzlu. V centrálním uzlu je aktivní vazba (Obr. 3.10B-c), kdy je zamezen posuv v ose  $x$  a  $y$ . Pro tento loadcase je aktivní „kontaktní tabulka 1“ (**Tab. 2**).

V druhém Loadcasu je opět aktivní vazba (Obr. 3.10A-e). Dále je aktivní vazba (Obr. 3.10A-f) pro horní desku, která má zamezený posuv osy  $y$ . Podložky mají aktivní vazbu (Obr. 3.10B-g), kde je zamezen rovněž posuv v ose  $y$ . Tahové zatížení (Obr. 3.10A-h)

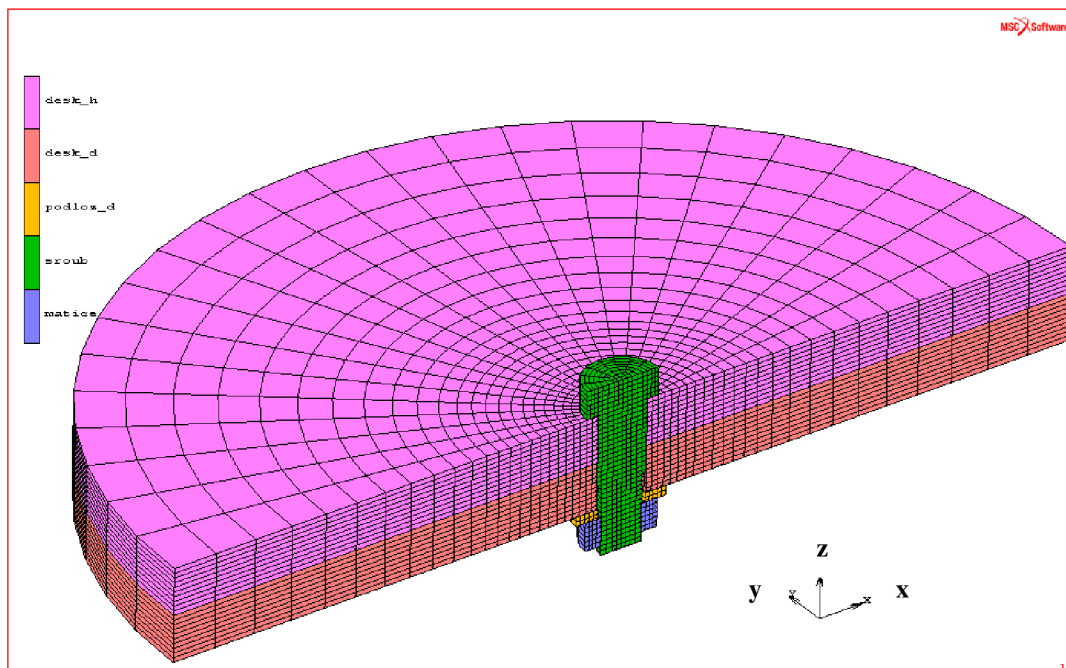
působí na horní desku posunutím v ose z o **1mm**. Smykové zatížení (Obr. 3.10A-i) působí ve středu horní desky po obvodu ve směru osy x o **1,5mm**. V tomto loadcasu je aktivní „kontaktní tabulka 2“ (**Tab. 2**).



Obr. 3.10 Okrajové podmínky pro běžný šroub – detail  
1 – deska horní, 2 – deska dolní, 3 – běžný šroub, 4 – matice, 5 - podložky

### 3.4.2 Lícovaný šroub

#### Model



Obr. 3.11 Výpočtový objemový model šroubového spoje – lícovaný šroub

Náhradní model s lícovaným šroubem (Příloha C1) je vytvořen obdobně jako u náhradního modelu s běžným šroubem.

Výpočtový model (Obr. 3.11) je oproti náhradnímu modelu také zjednodušen obdobně jako u běžného šroubu (Příloha C2). Celá síť je tvořena pomocí mapovaných prvků **HEX 8** a **PENTA 6** (Příloha A5) s nejmenším rozměrem prvku **1mm**.

Jako výpočtový materiál je zvolen materiál s označením **C35**, který obsahuje knihovna Marcu. Tento materiál je přiřazen deskám a podložce. Parametry výpočtového materiálu: Youngův modul =  **$2,17 \cdot 10^5 \text{MPa}$** , Poissonův poměr = **0,3**, hustota =  **$7,85 \cdot 10^3 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$** .

Pro šroub a matici je navržen vlastní materiál s hodnotami Youngova modulu, Poissonova poměru a hustoty stejné jako **C35**. Navíc kde bylo nastaveno konstantní plastické chování šroubu hodnotou  **$R_{p0,2} = 610 \text{MPa}$**  [1].

## Kontaktní tabulka

Stejně jako u běžného šroubu jsou všechna tělesa výpočtového modelu tvořena jako deformovatelná kontaktní tělesa se součinitelem statického tření  $f = 0,15$  dle [4]. Kontakty mezi jednotlivými tělesy určuje (**Tab. 3**).

	BODY NAME	BODY TYPE	1	2	3	4	5
1	desk_h	deformable		T		T	
2	desk_d	deformable	T		T		T
3	podloz_d	deformable		T			T
4	sroub	deformable	T				T
5	matice	deformable		T	T	T	

1

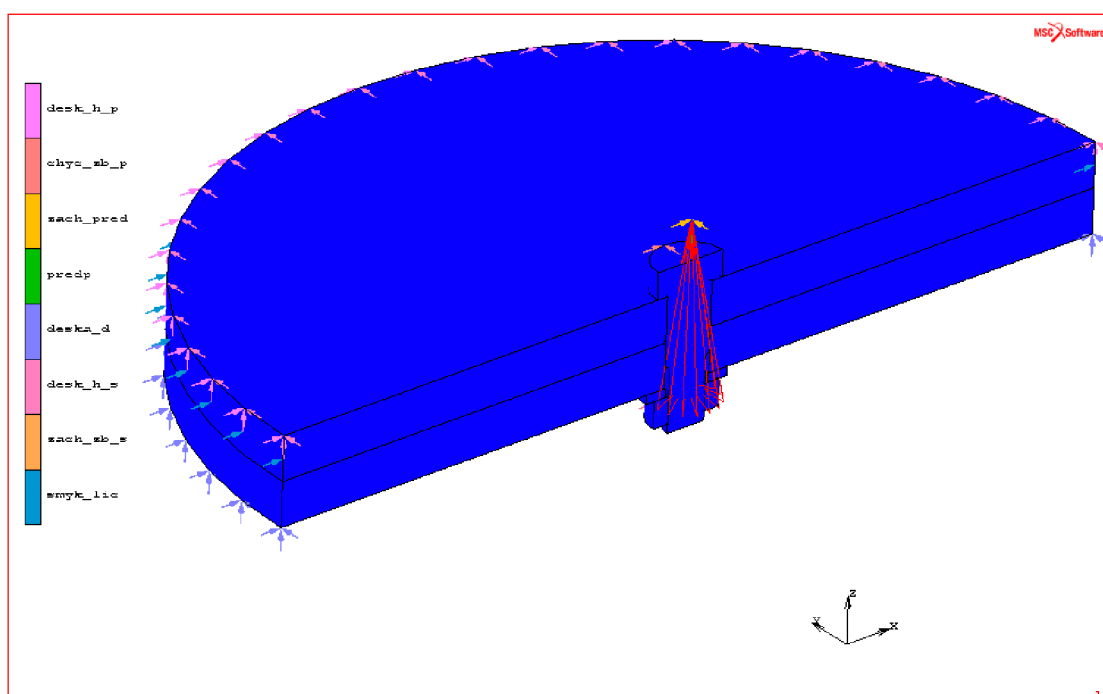
  

	BODY NAME	BODY TYPE	1	2	3	4	5
1	desk_h	deformable		T		T	
2	desk_d	deformable	T		T	T	T
3	podloz_d	deformable		T			T
4	sroub	deformable	T	T		G	
5	matice	deformable		T	T	G	

2

Tab. 3: Kontaktní tabulky lícovaného šroubu  
1 - tabulka kontaktů pro předpětí, 2 - tabulka kontaktů pro zatížení

## Okrajové podmínky

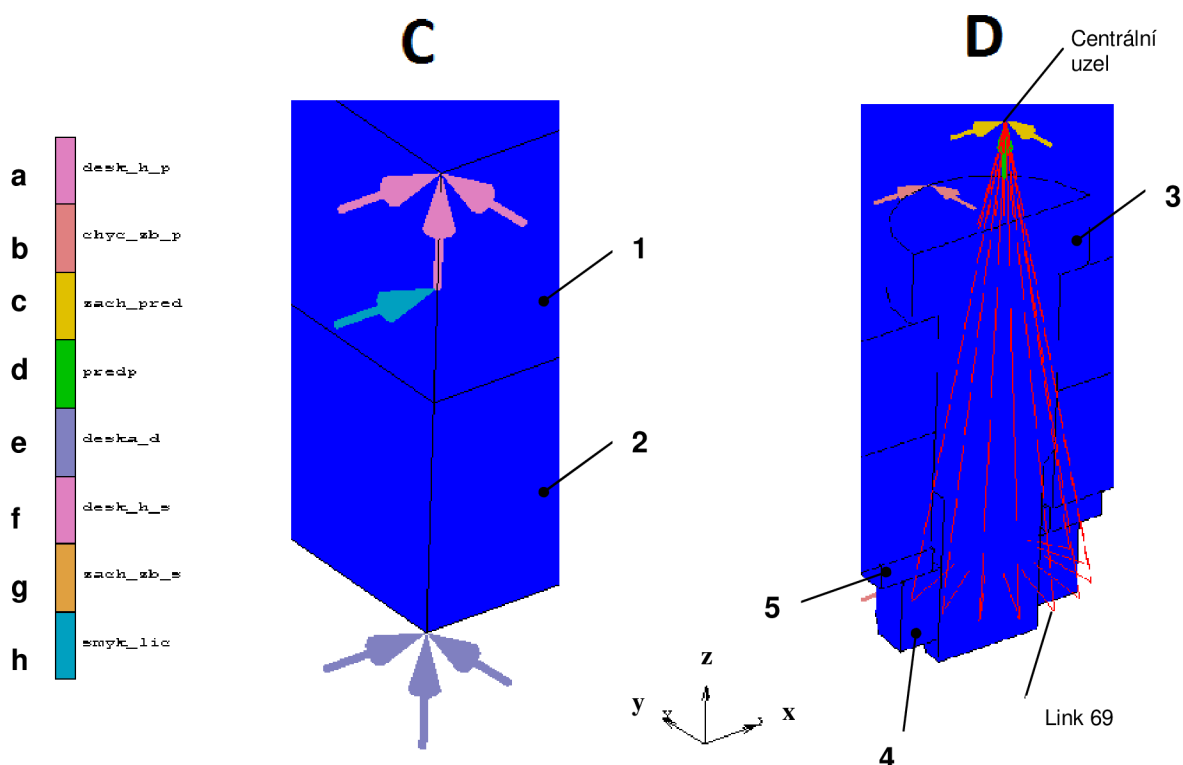


Obr. 3.12 Okrajové podmínky pro lícovaný šroub

Výpočtový model pro lícovaný šroub obsahuje okrajové podmínky (Obr. 3.12) podobné jako u běžného šroubu opět se dvěma loadcasey .

U předpětí obsahuje loadcase menu zachycení dolní desky (Obr. 3.13C-e) se zamezením posuvu ve všech směrech. Zachycení horní desky (Obr. 3.13C-a) taktéž se zamezením posuvu ve všech směrech. Předpětí je vytvořeno pomocí 16 linky **typu 69** (Obr. 3.13D). Velikost síly v předpětí (Obr. 3.13D-d) je **20 kN**. Tato síla působí v kladném směru osy z do centrálního uzlu. Ten je zachycen vazbou (Obr. 3.13D-c) proti pohybu v ose x a y. Šroub, matice a podložka jsou zachyceny pomocí vazby (Obr. 3.13D-b) proti posuvu v ose x a y. Platí zde „kontaktní tabulka 1“ (Tab. 3).

V druhém loadcasu je aktivní vazba (Obr. 3.13C-e) pro dolní desku, vazba (Obr. 3.13C-f) pro horní desku, kde je zamezen posuv v ose y. Dále je aktivní vazba pro podložku (Obr. 3.13D-g), kde je zamezen posuv v ose y. Smykové zatížení (Obr. 3. 13C-h) působí na horní desce ve směru osy x o hodnotě **1mm**. Platí zde „kontaktní tabulka 2“ (**Tab. 3**)



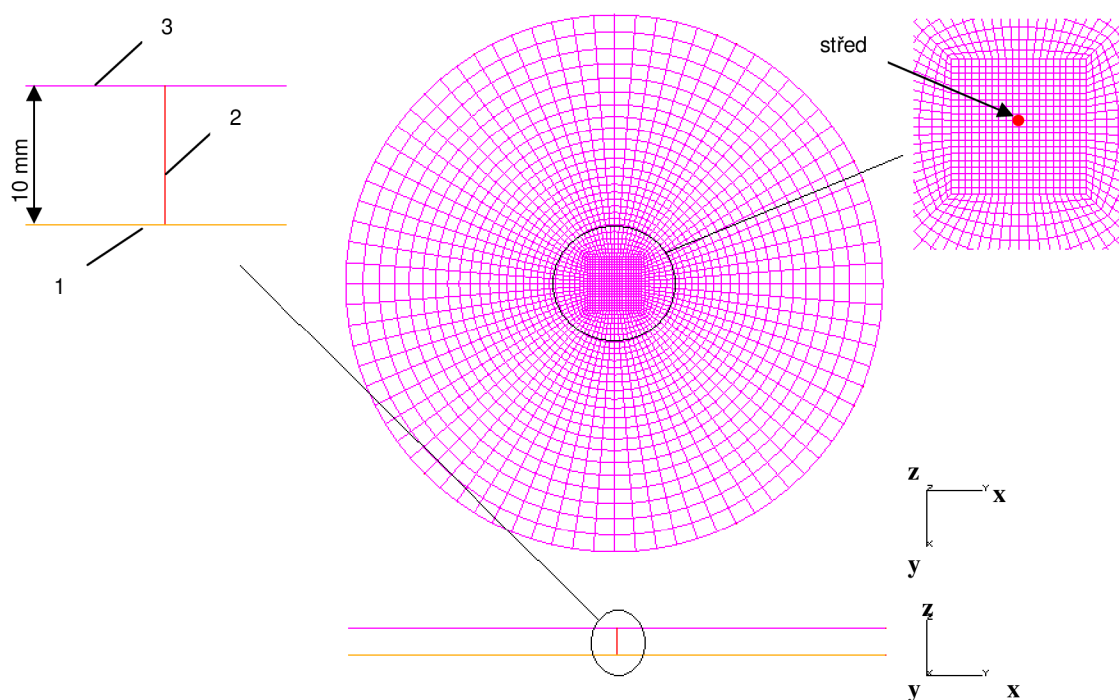
Obr. 3.13 Okrajové podmínky pro lícovaný šroub - detail  
1 – deska horní, 2 – deska dolní, 3 – lícovaný šroub, 4 – matice, 5 – podložka

..

### 3.5 Výpočtový model skořepinový

Dalším způsobem jak provést pevnostní analýzu šroubového spoje lze pomocí komplexního skořepinového MKP modelu v programu I-DEAS. Jedná se o lineární analýzu, která nemá časový průběh. Není zahrnuto tření mezi jednotlivými součástmi, jako tomu bylo v předchozí kapitole (kap. 3.4).

#### Model



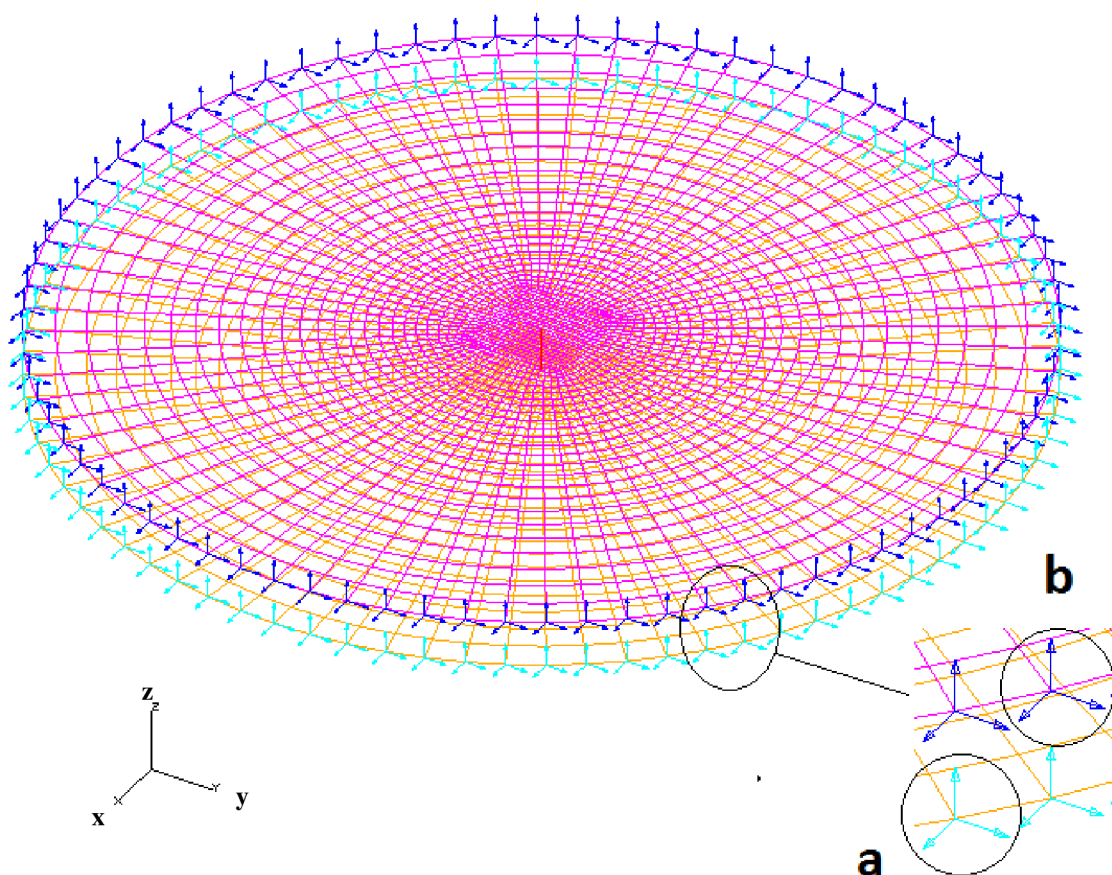
Obr. 3.14 Skořepinový model šroubového spoje  
1 – deska dolní; 2 – rigid; 3 – deska horní

Výpočtový skořepinový model (Obr. 3.14) je vytvořen na základě náhradního modelu šroubového spoje (Příloha C1). Rozměry výpočtového modelu obsahuje Příloha C2. Model tvoří dvě tenkostěnné skořepiny (Obr. 3.14–1,3) s přiřazenou tloušťkou „Thin shell“ 10 mm. Skořepiny reprezentují střednice spojovaných plechů a jsou rovnoběžné ve vzdálenosti 10 mm.

Jednotlivé skořepiny mají identicky vytvořenou síť. Celá síť je mapována, to znamená, že jednotlivé prvky „elementy“ sítě mají přesně definovaný tvar a rozměr. Jedná se o prvky typu **QUAD4** (Příloha A5) s nejmenší velikostí 1mm. Velikost elementu se od středu zvětšuje. Celkový počet elementu v modelu je  $10^4$ .

Jako náhrada za spojení šroubu, matice a podložek byl zvolen prvek „**Rigid**“ (Obr. 3.14-2). Jedná se o dokonale tuhý prvek, kterým se propojují jednotlivé uzly sítě. V tomto případě byl „Rigid“ použit v propojení středových uzlů skořepin (Obr. 3.14)

### Okrajové podmínky



Obr. 3.15 Okrajové podmínky skořepinového modelu šroubového spoje  
a – restraint (deska dolní), restraint (deska horní)

Aby bylo možné porovnávat výsledky MKP modelu skořepinového a objemového, musí mít oba tyto modely shodné okrajové podmínky. U skořepinového modelu není uvažováno namáhání šroubového spoje předpětím. Jedná se o ukázkou náhrady šroubového spoje pro komplexní MKP modely.

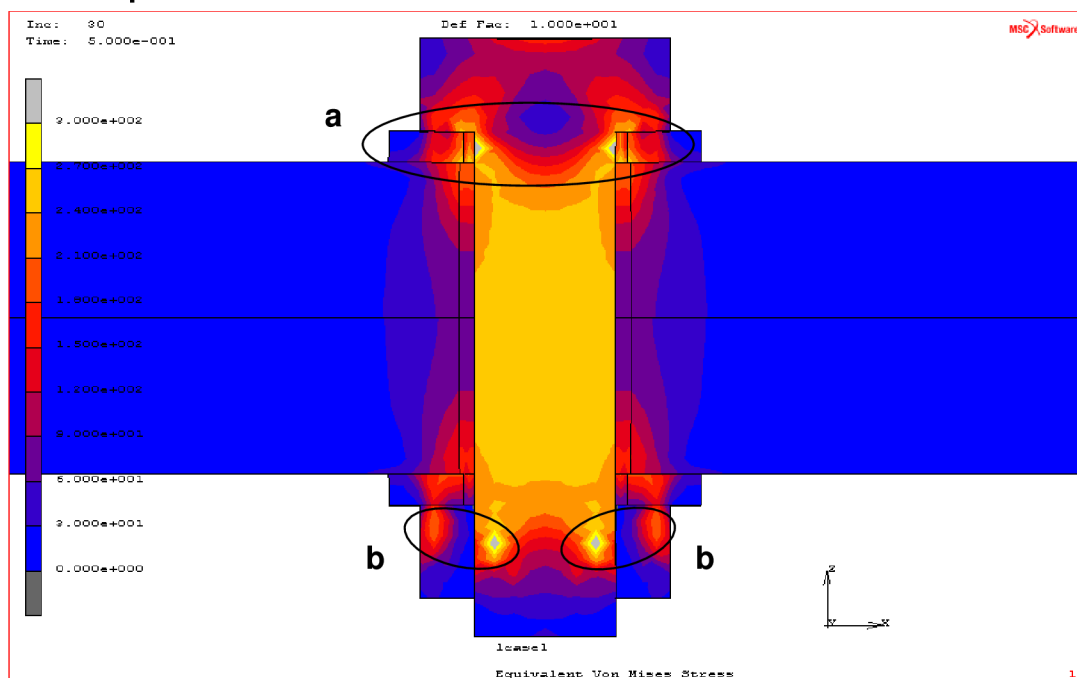
Zachycení dolní desky (Obr. 3.14-1) je pomocí prvku „restraint“ (Obr. 3.15a), u kterého je zamezen posuv ve všech směrech. Pro tahové a smykové zatížení horní desky (Obr. 3.14-3) jsou použity opět prvky „restraint“ (Obr. 3.15b), kde je zamezen posuv v ose  $y$ . Pro tah je nastavena hodnota posuvu v ose  $z$  **1 mm** dle kap. 3.3. Pro smyk je nastavena hodnota posuvu v ose  $x$  **1,5** a **1 mm** dle kap 3.3.

Výpočtový materiál odpovídá svými vlastnostmi materiálu náhradního modelu. Z knihovny materiálů I-DEASU je zvolen materiál „**Generic\_isotropic\_steel**“, který má parametry: *Youngův modul* =  **$2,1 \cdot 10^5$  MPa**, *Poissonův poměr* = **0,29** a *hustota* =  **$7,8 \cdot 10^3$  kg.m<sup>-3</sup>**



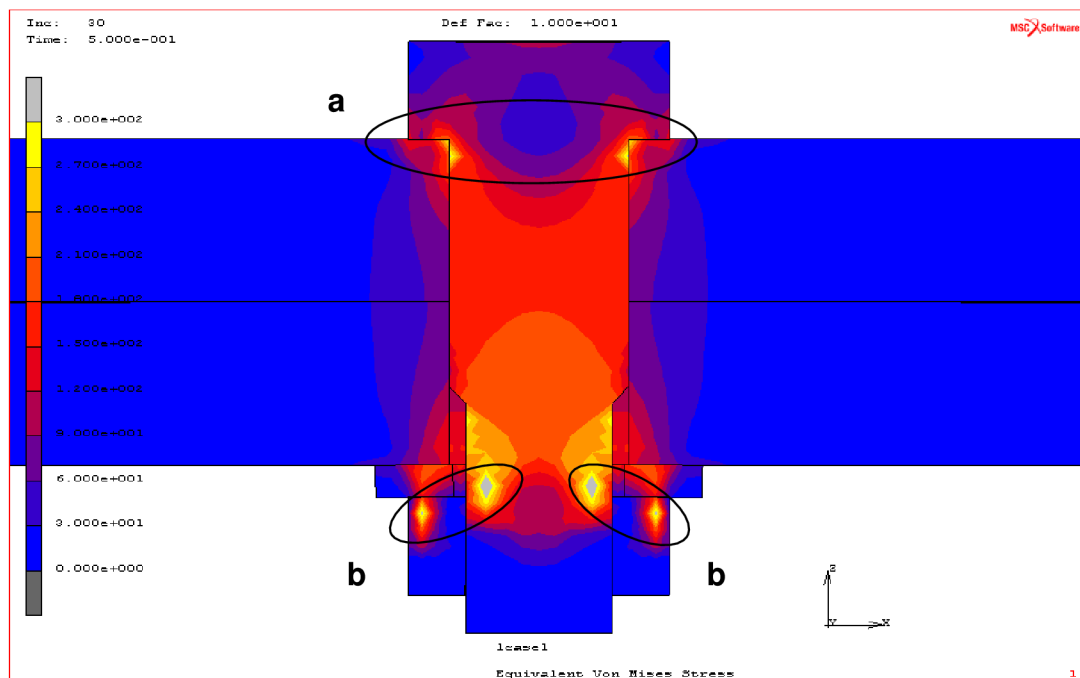
## 3.6 Porovnání výsledků objemového a skořepinového modelu

### 3.6.1 Předpětí



Obr. 3.16 Napětí v běžném šroubu

zobrazení: **objemový model v rovině xz (detail)**, zatěžovací stav: **Předpětí**, srovnávací napětí: **HMH**, legenda: **0 – 300 MPa**, extrémní napětí: **377 MPa**, deformované (def. factor: 10)

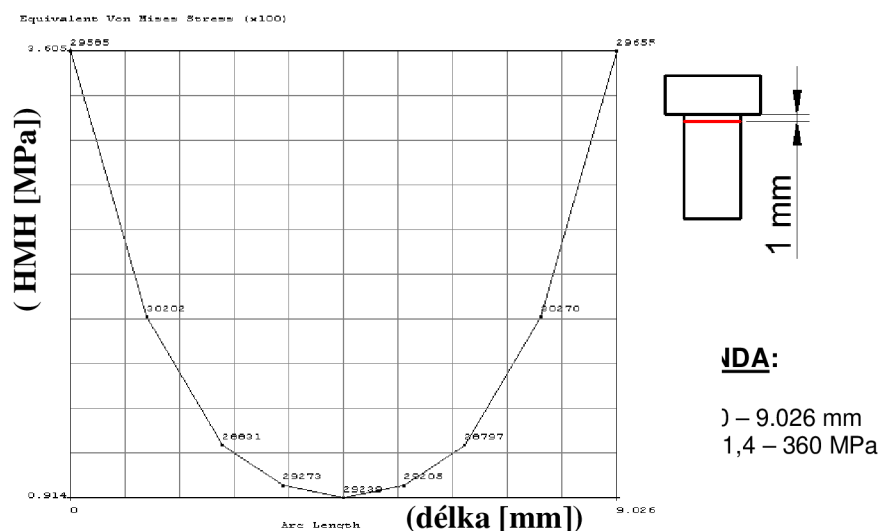


Obr. 3.17 Napětí v lícovaném šroubu

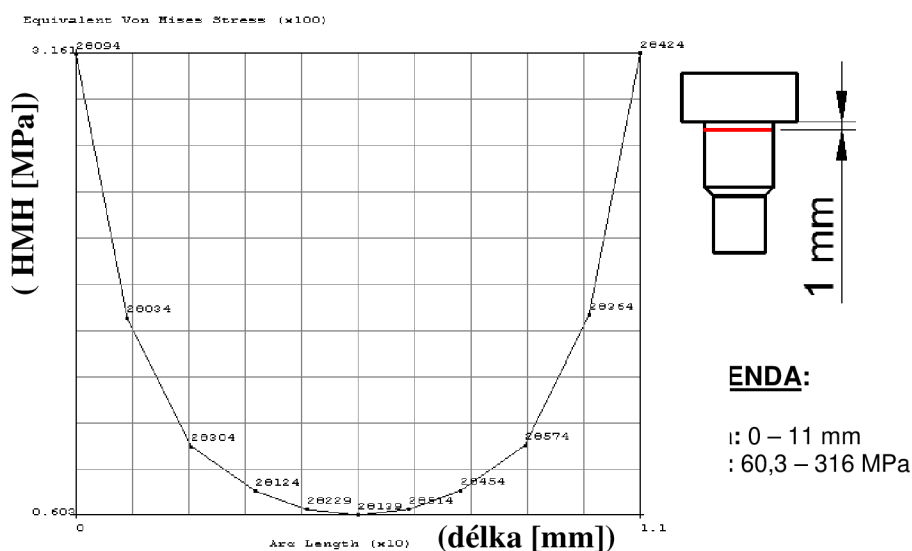
zobrazení: **objemový model v rovině xz (detail)**, zatěžovací stav: **Předpětí**, srovnávací napětí: **HMH**, legenda: **0 – 300 MPa**, extrémní napětí: **355 MPa**, deformované (def. factor: 10)

Jako první je vybráno srovnání výsledků analýzy objemových MKP modelů šroubových spojů s běžným a lícovaným šroubem v zatěžujícím stavu **PŘEDPĚTÍ** (20kN). Na (Obr. 3.16) a (Obr. 3.17) je vyobrazen průběh napětí HMM v rovině xz polovičního modelu v detailním zobrazení.

Z obou obrázků je patrné, že rozložení napětí u spojovaných desek vykazuje elipsoidní průběh, kdy směr hlavní osy elipsoidu je totožný se směrem osy šroubu. Extrémní hodnoty napětí vykazují oba výsledky v místě „a“ a „b“. Extrémní napětí v místě „b“ je způsobeno od zachycení **LINKU 69** do uzlů sítě. Extrémní napětí v oblasti „a“ vzniká od přechodové oblasti mezi hlavou a dříkem šroubu. Průběhy HMM napětí porovnávaného místa dříků jsou vyobrazeny na (obr. 3.16a) a (obr. 3.17a). Rozložení napětí po průřezu u obou šroubů vykazuje parabolický průběh.

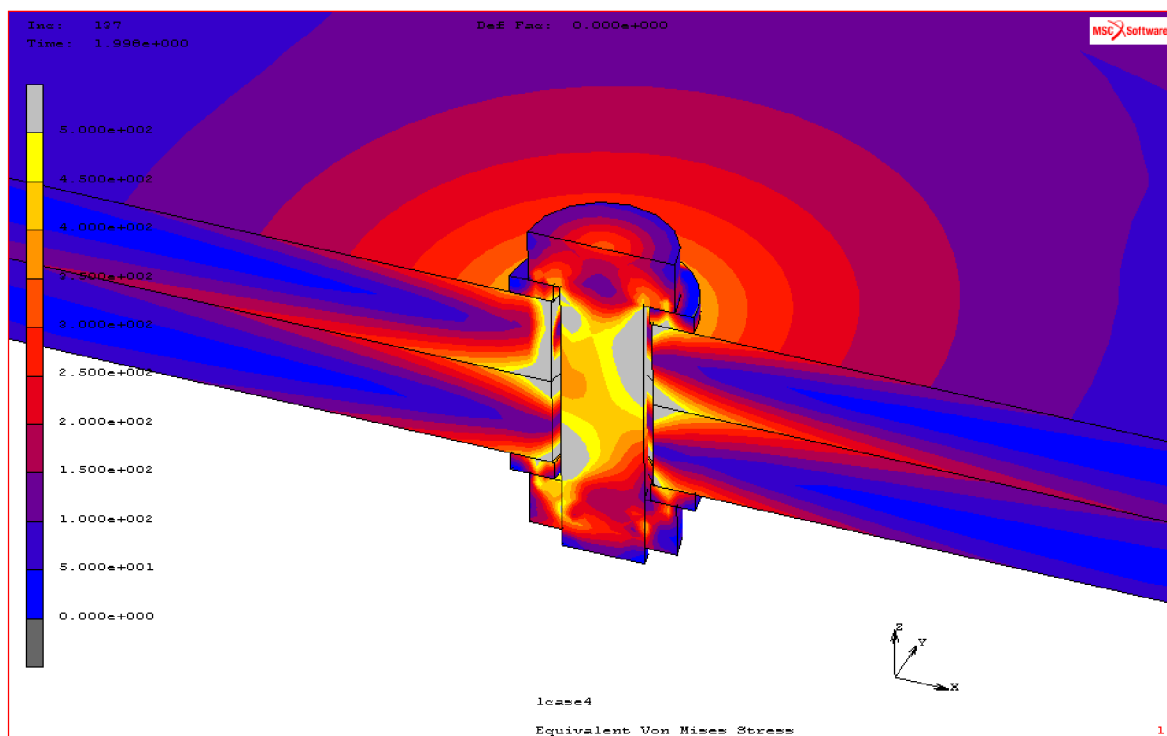


Obr. 3.16a Rozložení HMM napětí v určeném průřezu běžného šroubu

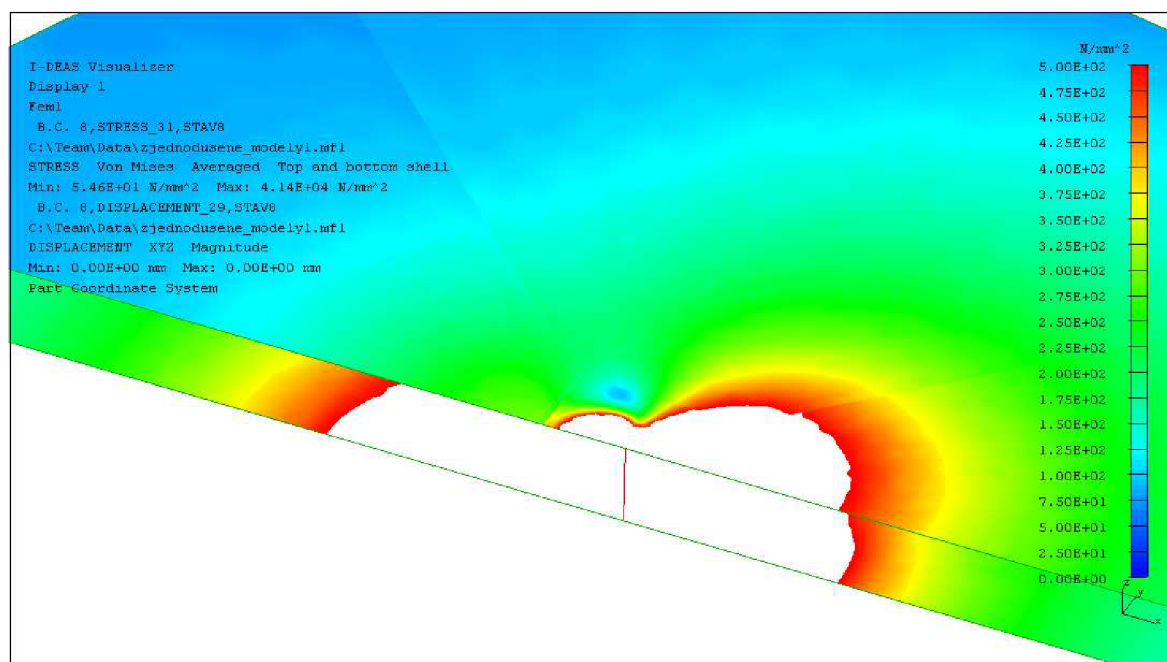


Obr. 3.17a Rozložení HMM napětí v určeném průřezu lícovaného šroubu

## 3.6.2 Běžný šroub



Obr. 3.18 Napětí ve šroubovém spoji s běžným šroubem  
zobrazení: poloviční objemový model (detail), zatěžovací stav: 8. stav, srovnávací napětí: HMH, legenda: 0 – 500 MPa, extrémní napětí: 593 MPa, nedeformované (def. Factor: 0)



Obr. 3.19 Napětí ve šroubovém spoji (1)  
zobrazení: poloviční skořepinový model (detail) - top and bottom shell, zatěžovací stav: 8. stav, srovnávací napětí: HMH (průměrováno), legenda: 0 – 500 MPa, extrémní napětí: 4,14.10<sup>4</sup> MPa, nedeformované,

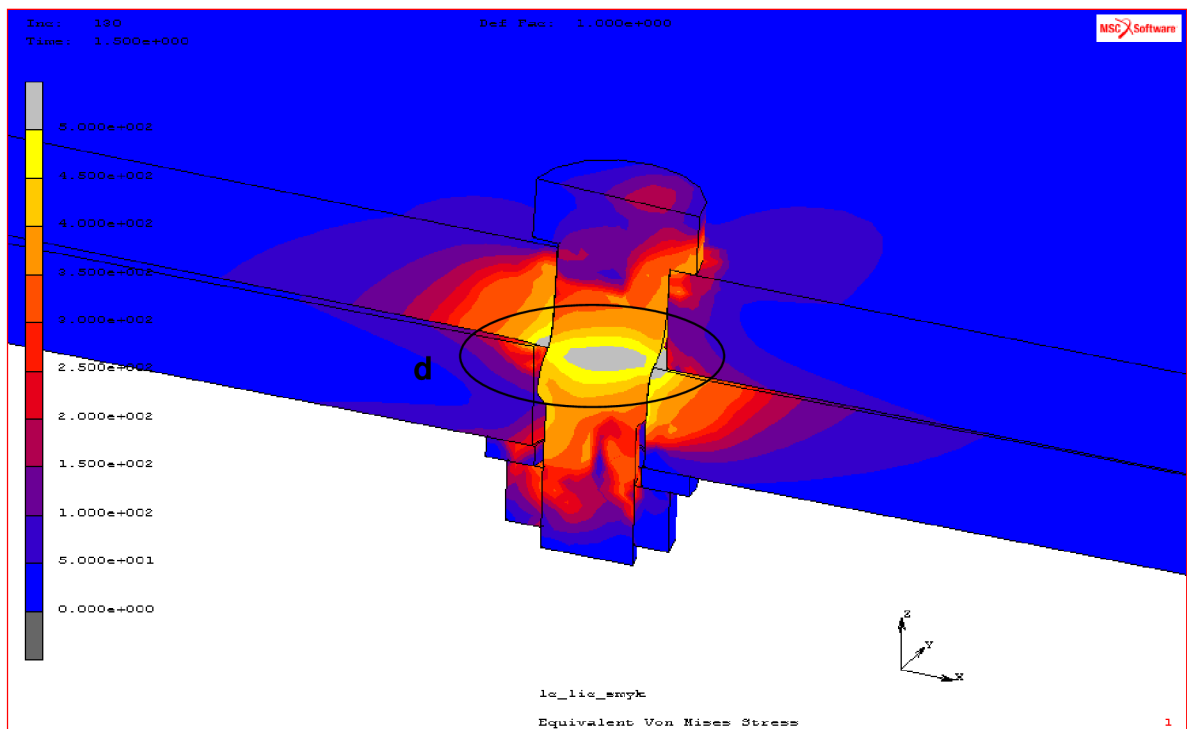
Jako další srovnání výsledků analýzy u šroubového spoje je spojení s běžným šroubem při **8. STAVU** (tah = 1mm, střih = 1,5 mm, přepětí = 20kN) zatížení. Jde o nevyšší možné zatížení tohoto typu spojení dle navržených zatěžovacích stavů. Na (Obr. 3.18) je vidět detailní pohled polovičního MKP modelu objemového. Jako srovnávací model byl vybrán zjednodušený skořepinový MKP model (Obr. 319) ve stejném pohledu a zatěžovacím stavu. Pro oba obrázky je vykresleno srovnávací napětí H<sub>MH</sub>.

Je patrné, že zvolený stav namáhání zatěžuje extrémně šroubový spoj v oblasti šroubu, tak i v oblasti spojovaných desek. U objemového modelu je možno vidět, že spojované desky vykazují extrémní hodnotu napětí na hranách kruhového otvoru pro šroub. Směrem od středu toto napětí v deskách klesá. Jelikož jsou obě desky namáhané především na ohyb, tak dochází k větší napjatosti u krajních vláken desek.

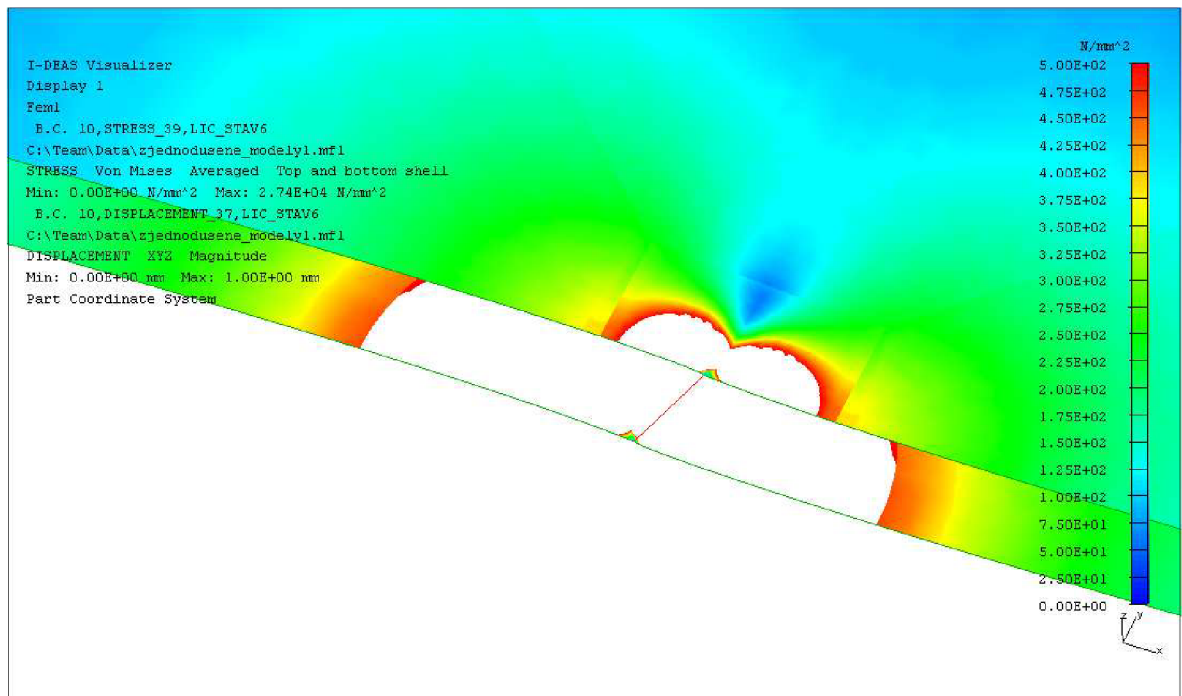
Na první pohled skořepinový model (Obr. 3.19) vykazuje extrémní hodnoty napětí o dva řády vyšší, než tomu je u objemového modelu. Důvod takového rozdílu může způsobit náhrada šroubu prvkem **rigid**, který je vyznačován dokonalou tuhostí, tudíž je veškeré zatížení přenášeno do spojovaných desek a není částečně převedeno do šroubu a podložek, které disponují schopností se deformovat viz (Obr. 3.18).

Jednotlivé průběhy napjatosti ve výpočtových modelech běžného šroubu, pro určené stavy zatížení obsahují Přílohy B1 až B16.

## 3.6.3 Lícovaný šroub



Obr. 3.20 Napětí ve šroubovém spoji s lícovaným šroubem  
zobrazení: poloviční objemový model (detail), zatěžovací stav: 6. stav, srovnávací  
napětí: HMH, legenda: 0 – 500 MPa, extrémní napětí: 601 MPa, deformované (def.  
Factor 1)



Obr. 3.21 Napětí ve šroubovém spoji (2)  
zobrazení: poloviční skořepinový model (detail) - top and bottom shell, zatěžovací  
stav: 6. stav, srovnávací napětí: HMH(průměrováno), legenda: 0 – 500 MPa, extrémní  
napětí:  $2,74 \cdot 10^4$  MPa, deformované (scale factor 10)

Poslední srovnání analýz u šroubového spoje je vybráno zatížení lícovaného šroubu na stříh s největším zatěžujícím stavem - **6. STAV** (stříh = 1mm, předpětí = 20kN). Na (Obr. 3.20) je znázorněn detailní objemový MKP model v polovičním zobrazení oproti tomu na (Obr. 3.21) je zobrazen zjednodušený skořepinový MKP model. U obou analýz je zobrazen průběh srovnávacího napětí HMM stejně jako u běžného šroubu.

U výsledků zatížení objemového MKP modelu je patrné lepší vykreslení rozložení napjatosti ve šroubovém spoji ve srovnání se skořepinovým. Jelikož se jedná o stříh lícovaného šroubu, lze pozorovat extrémní napjatost dřívku (max. HMM = 601 MPa) šroubu ve střížné rovině spojovaných desek (detail „d“). Jedná se o zárodek plastického chování šroubu. Kdyby se hodnota zatížení zvyšovala, došlo by ke stříhu šroubu. Stejně jako u lícovaného šroubu tak i ve spojovaných deskách dochází k deformaci středových děr, kterými lícovaný šroub prochází. Extrémní hodnoty napětí se nacházejí v místě styku se šroubem na hranách děr.

Na výsledku průběhu napjatosti skořepinového MKP modelu lze vidět rozložení napětí do jednotlivých skořepin. Extrémní napětí vychází dva řady vyšší, než tomu bylo u objemového modelu. Důvodem je opět použití dokonale tuhé náhrady bez možnosti deformace náhrady. Nelze vyčíst průběh napjatosti v lícovaném šroubu.

Jednotlivé průběhy napjatosti ve výpočtových modelech lícovaného šroubu, pro určené stavy zatížení obsahují Přílohy B17 až B20.

## 4 Svarový spoj

Tato kapitola je zaměřena na porovnávání komplexního MKP modelu skořepinového a 2D řezu vybraných svarových spojů (napojení T, přeplátování) v detailním provedení. Jsou porovnávány pouze výsledky ze statického zatěžování.

### 4.1 Základní charakteristika

Svařování je technologický proces, při kterém dochází ke spojování kovů podmíněného vznikem meziatomových vazeb, a to za působení tepla nebo tepla a tlaku s případným použitím přídavného materiálu. [7]

Svarové spoje lze rozdělit do několika skupin podle druhu spojení. V kapitole 4.1.2 jsou představeny základní druhy svarových spojů. Charakteristickou vlastností svařovaných dílců je svařitelnost ocelí. V kapitole 4.1.1 je tato problematika blíže popsána. Návrhová únosnost koutových svarů je popsána v kapitole 4.1.3.

#### 4.1.1 Svařitelnost

U nízkouhlíkových ocelí s obsahem uhlíku do 0,25 % lze obecně říct, že jsou dobře svařitelné. Jelikož se vyskytují v těchto ocelích i přísadové prvky, mělo by se dbát na to, aby tyto prvky neovlivňovaly svařitelnost těchto ocelí. Pomocí **uhlíkového ekvivalentu** (Ce) lze určit schopnost svařitelnosti dané oceli dle rovnice (4.1) [5]

$$Ce = C + \frac{1}{2} \cdot P + \frac{1}{4} \cdot Mo + \frac{1}{5} \cdot Cr + \frac{1}{6} \cdot Mn + \frac{1}{13} \cdot Cu + \frac{1}{15} \cdot Ni \quad (4.1)$$

Kde:

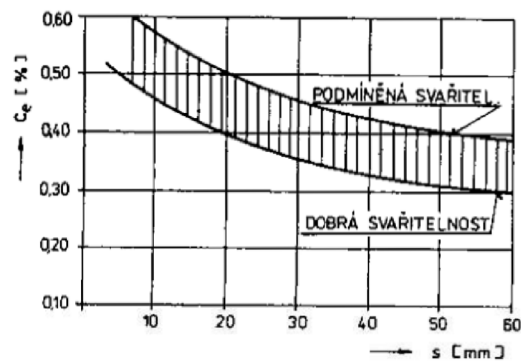
Ce	[%]	uhlíkový ekvivalent
C	[%]	procentuelní zastoupení uhlíku
P	[%]	procentuelní zastoupení fosforu
Mo	[%]	procentuelní zastoupení molybdenu
Cr	[%]	procentuelní zastoupení chromu
Mn	[%]	procentuelní zastoupení manganu
Cu	[%]	procentuelní zastoupení mědi
Ni	[%]	procentuelní zastoupení niklu

Výsledný uhlíkový ekvivalent se dělí do tří základních skupin dle tab. 4.

$C_e \leq 0,4\%$	Svařitelnost zaručená
$0,4\% < C_e \leq 0,6\%$	Svařitelnost podmíněná
$0,6\% < C_e$	Svařitelnost obtížná

Tab. 4: Skupiny svařitelnosti dle [5]

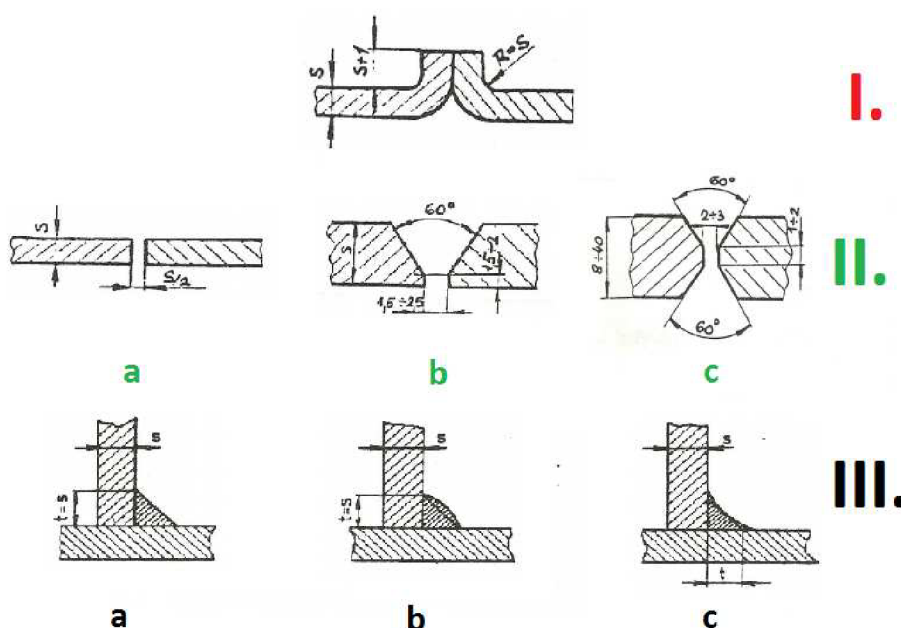
Pro vyšší tloušťky svařovaných dílců vychází stupeň svařitelnosti z grafu na Obr. 4.1 dle [6]



Obr. 4.1 Vliv tloušťky dílců na jejich svařitelnost dle [6]



### 4.1.2 Druhy svarových spojů



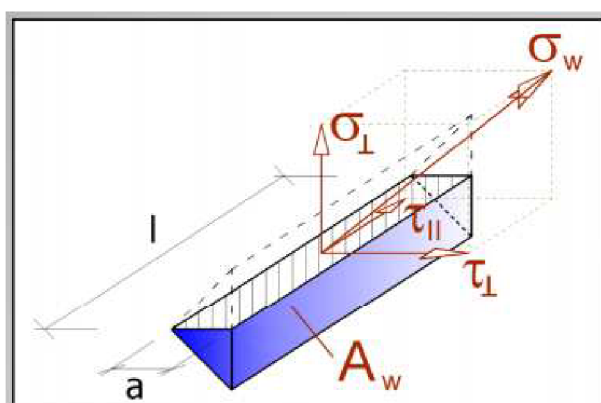
Obr. 4.2 Svarové spoje - výběr [5]

lemový svar-I.; tupý svar-typ „I“-II.a, typ „V“-II.b, typ „X“ – II.c; koutový svar – nepřevýšený – III. a, převýšený – III. b, konvexní – III.c

Na obrázku 4.2 jsou vidět nejčastěji používané druhy svarových spojů. V celé kapitole 4 jsou analyzovány modifikace koutového svaru nepřevýšeného (Obr. 4.2 – III. a)

### 4.1.3 Návrhová únosnost koutového svaru

Při namáhání svarového spoje dochází k vytváření napjatosti ve svaru. Tyto napjatosti se dělí na normálová a smyková napětí. Pro jejich určení je potřeba znát směr a velikost zatěžujících síly a účinnou plochu svaru. Rozložení napětí ve svaru je ukázáno na Obr. 4.3.



Obr. 4.3 Rozložení napětí ve svaru [9]

$a$  – účinná výška svaru,  $l$  – účinná délka svaru,  $A_w$  – účinná plocha svaru,  $\sigma$  – normálové napětí,  $\tau$  – smyková napětí (kolmé, rovnoběžné)

Pro výpočet únosnosti koutového svaru lze vycházet z rovnice (4.2) [9], kde únosnost svarového spoje určuje tzv. návrhová únosnost koutového svaru.

$$\left\langle \sqrt{\sigma_1^2 + 3(\tau_1^2 + \tau_2^2)} \right\rangle \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (4.2)$$

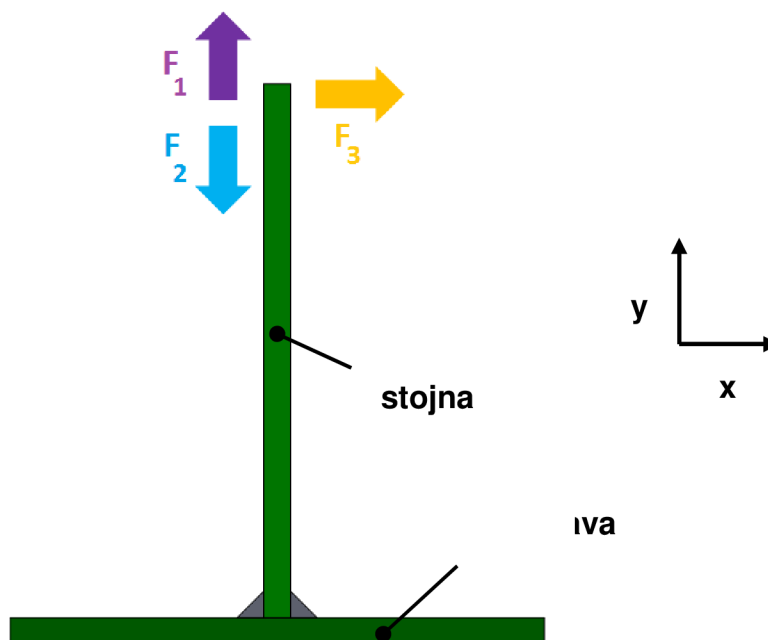
Kde:

$\sigma_1$	[MPa]	normálové napětí, kolmé na účinnou plochu
$\tau_1$	[MPa]	smykové napětí, kolmé na podélnou osu svaru
$\tau_2$	[MPa]	smykové napětí, rovnoběžné s podélnou osou svaru
$f_u$	[MPa]	jmenovitá mez pevnosti spojovaného materiálu
$\beta_w$	[-]	korekční součinitel dle [9]
$\gamma_{M2}$	[-]	dílčí součinitel spolehlivosti dle [9]

## 4.2 Napojení typu „T“

U koutového svaru spojení typu „T“ jsou porovnávány výsledky nelineární analýzy 2D řezu plošného MKP modelu (MSC MARC) s lineární analýzou skořepinového MKP modelu (I-DEAS). Pro oba modely platí stejné zatěžující stavy i okrajové podmínky aby byla zaručena objektivnost vyhodnocování.

### 4.2.1 Zatěžující stavy



Obr. 4.4 Zatěžující stavy pro koutový svar typu „T“

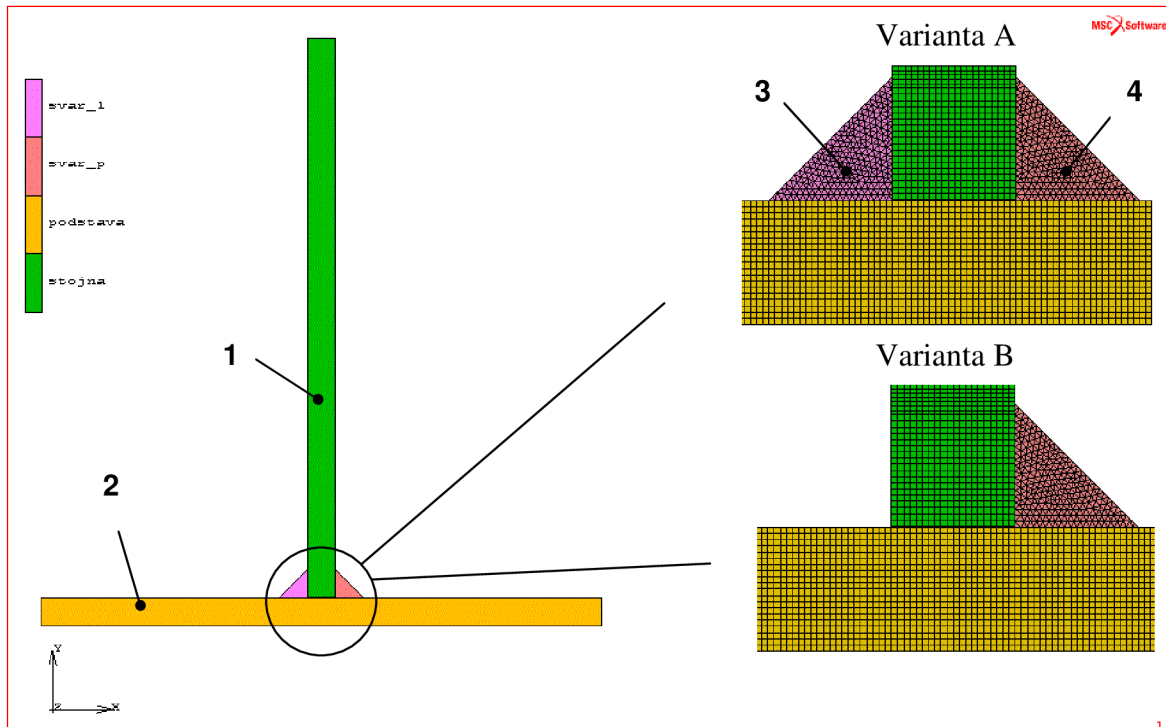
Pro tento typ koutového svaru jsou vytvořeny tři základní zatěžující stavy (Obr. 4.4). Namáhání tahové ( $F_1$ ), které působí v ose  $y$  na stojnu. Dále pak tlakové namáhání ( $F_2$ ) působící proti směru osy  $y$  a namáhání ve směru osy  $x$  ( $F_3$ ), které vnáší do modelu ohybové namáhání. Velikosti sil jednotlivých namáhání udává (Tab. 5) a také další kombinace těchto tří základních stavů.

$F_1 = 7000\text{N}; F_2 = -7000\text{N}; F_3 = 3500\text{N}$	
Stav	Působící síly
I.	$F_1$
II.	$F_2$
III.	$F_3$
IV.	$F_1+F_3$
V.	$F_2+F_3$

Tab. 5 : Zatěžující stavy pro napojení typu „T“

#### 4.2.2 Řez 2D

##### Model



Obr. 4.5 Výpočtový model koutového svaru typu „T“  
1 – stojna , 2 – podstava, 3 – koutový svar levý, 4 – koutový svar pravý

Jako nelineární výpočtový MKP model je zvolen 2D řez dle návrhového modelu (Příloha C3). Jedná se o plošný model vytvořený v rovině  $xy$  pomocí programu MSC MARC. Stejně jako tomu bylo u šroubových spojů, tak i zde tvoří model kontaktní tělesa. Aby byla zajištěna porovnatelnost výsledků se skořepinovým modelem, tak jednotlivým plošným tělesům se zadala geometrická vlastnost „plane strain“ o hodnotě 200 mm.

Síť modelu je tvořena pomocí volného a mapovaného síťování. Detailnější zobrazení s rozměry okolí koutového svaru obsahuje Příloha C4. Mapovaná síť náleží stojně a podstavě (Obr. 4.5 – 1,2), kde je použit prvek **QUAD4** (Příloha A5) o nejmenší velikosti 0,5 mm s postupným zvětšováním od konce koutového svaru. Mezi stojnou a podstavou je vytvořena distanční mezera o hodnotě **0,1 mm**. Volné síť tvoří jednotlivé koutové svary (Obr. 4.4 – 3,4) s velikostí prvku **TRIA3** (Příloha A5) 0,5 mm. Koutový svar je tvořen jako rovnoramenný trojúhelník.

Dle pokynu vedoucího práce jsou vytvořeny dvě varianty řešení koutového svaru (Obr. 4.5). Všechna kontaktní tělesa mají zvolený materiál výpočtového modelu **C35**. Parametry materiálu: *Youngův modul* =  **$2,17 \cdot 10^5$  MPa**, *Poissonův poměr* = **0,3**, *hustota* =  **$7,85 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$** .

### Kontaktní tabulka

#### Varianta A

1	svar_l	deformable			G	G
2	svar_p	deformable			G	G
3	podstava	deformable	G	G		T
4	stojna	deformable	G	G	T	

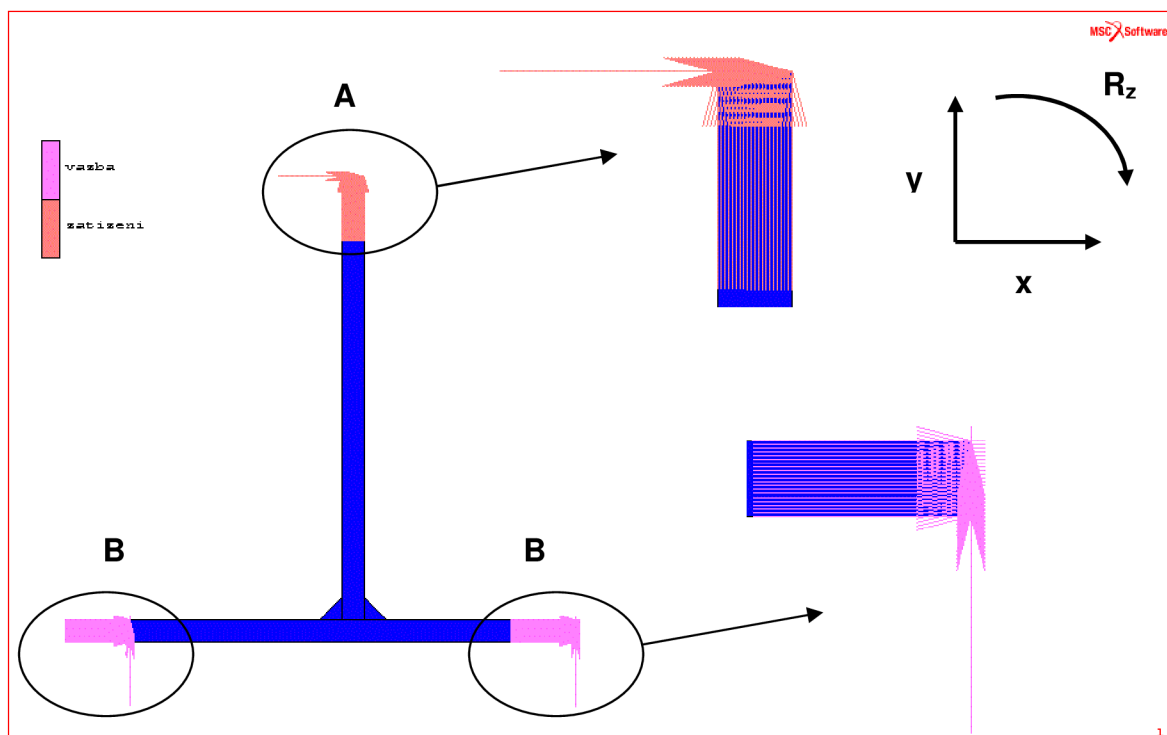
#### Varianta B

1	svar_p	deformable		G	G
2	podstava	deformable	G		T
3	stojna	deformable	G	T	

Tab. 6: Kontaktní tabulky pro koutový svar typu „T“

Pro jednotlivá kontaktní tělesa je vytvořena kontaktní tabulka, kde jsou nastaveny dva druhy kontaktu. Jelikož výpočtový model tvoří dvě varianty řešení tak existují dvě varianty kontaktních tabulek (Tab. 6). Kontakt typu (T) tvoří třecí kontakt se součinitelem statického tření  **$f = 0,15$**  dle [4]. Pro nahrazení svarového styku je použit kontakt typu (G).

## Okrajové podmínky



Obr. 4.6 Okrajové podmínky pro koutový svar typu „T“  
A – zatížení, B - vazba

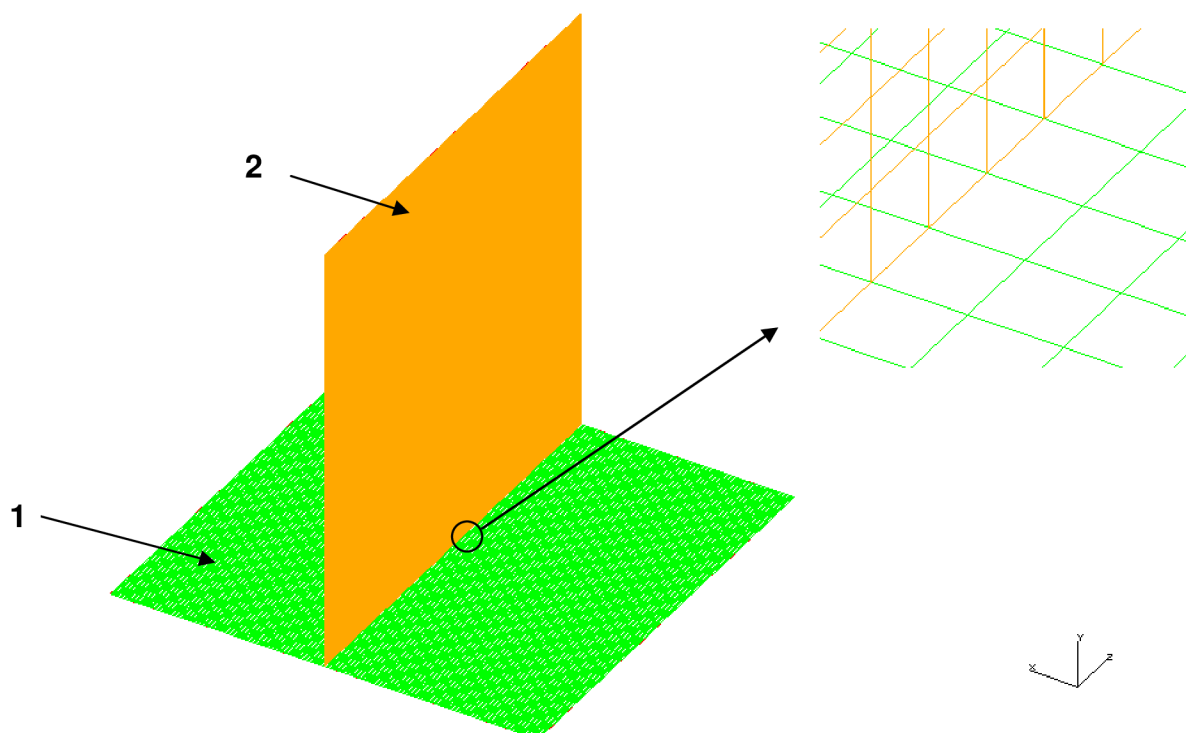
Pro řez 2D koutovým svarem s napojením typu „T“ jsou vytvořeny dvě okrajové podmínky. Jednou z těchto podmínek je zachycení volných konců podstavy svařence (Obr. 4.6B), kde vazba zamezuje posuv obou konců podstavy ve směru osy  $x$  a  $y$ . Dále je zamezena rotace kolem osy  $z$  ( $R_z$ ) obou volných konců.

Zatěžující stavy realizuje dvojice sil (Obr. 4.6A), působící ve směru osy  $x$  a  $y$  na horní hraně stojny do uzlů (21 uzlů), které hrana sítě obsahuje. Do uzlů je dvojice sil rovnoměrně rozdělena.

Tepelné namáhání vyvolané svařováním zde nebylo uvažováno. Okrajové podmínky pro ten model platí pro obě varianty A a B.

### 4.2.3 Skořepinový model

#### Model

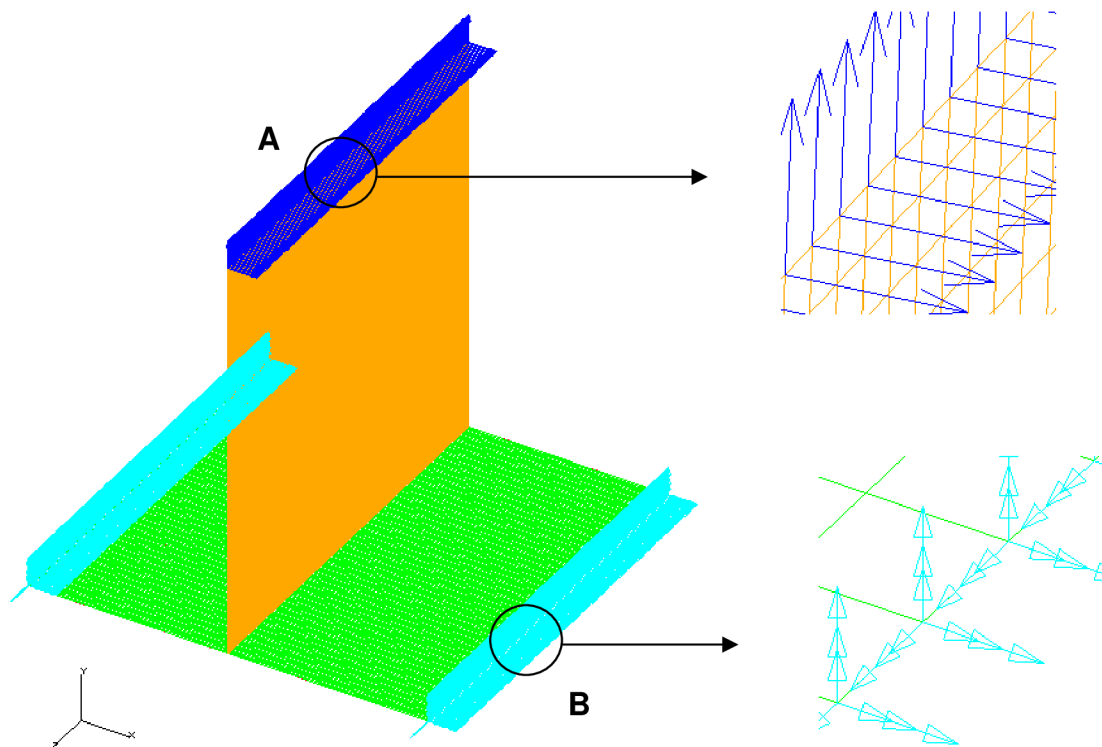


Obr. 4.7 Skořepinový model koutového svaru typu „T“  
1 – Podstava, 2 – stojna

Skořepinový model vychází z náhradního modelu (Příloha C3). Rozměry skořepinového modelu obsahuje Příloha C6. Model je vytvořen jako spojení dvou střednicových sítí podstavy a stojny svařence (Obr. 4.7 – 1,2), kterým byla přiřazena tloušťka „thin shell“ o velikosti 10 mm.

Sítě tvořeny mapované prvky QAUD4 (Příloha A5) o velikosti 1 mm. Důvodem vytvoření takto jemné sítě, je nenáročnost výpočtového modelu, tudíž i výpočtový čas úlohy je řádově v desítkách vteřin. Celkový počet prvků v modelu je  $8 \cdot 10^4$ .

## Okrajové podmínky



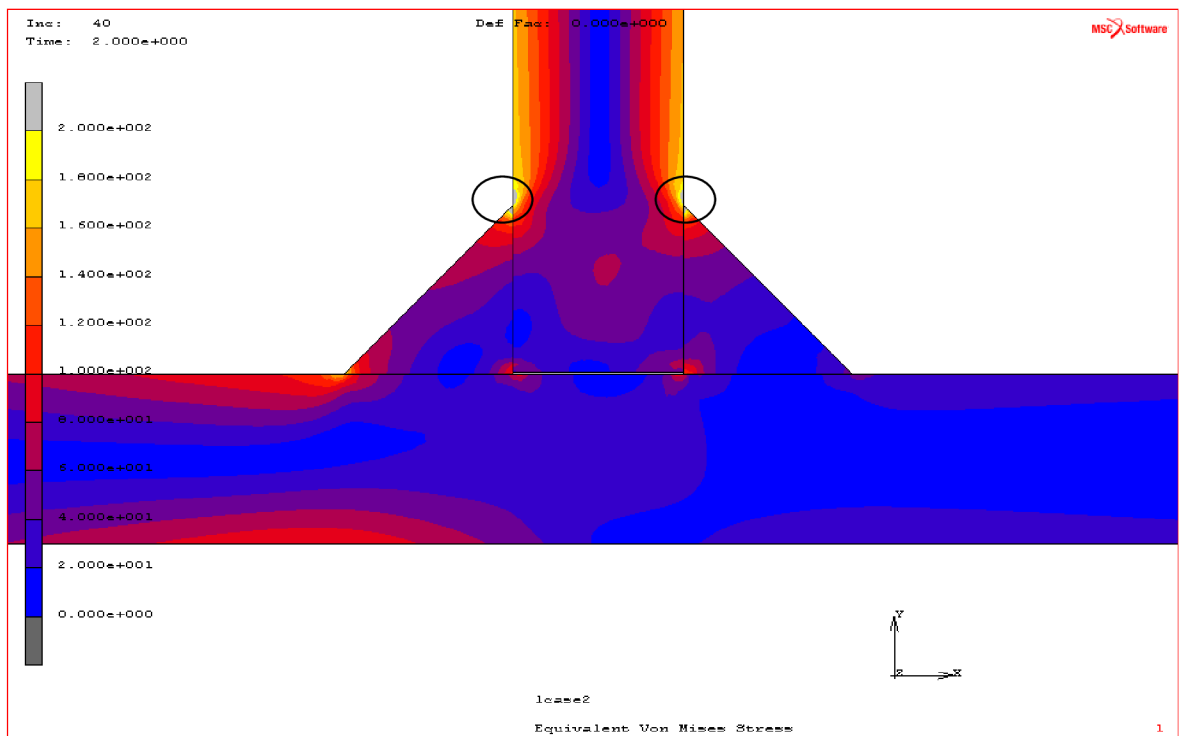
Obr. 4.8 Okrajové podmínky skořepinového modelu - napojení typu „T“  
A – zatížení, B – vazba

Stejně jako tomu bylo u okrajových podmínek 2D řezu, tak i zde jsou volné konce postavy chyceny pomocí vazby „restraint“ (Obr. 4.8B), kde uzly příslušným volných konců (hran) střednicové sítě podstavy mají zamezený posuv a natočení ve všech směrech. Pro zatížení modelu je zvolena sada okrajových podmínek „load set“ (Obr. 4.8A), kdy síla v uzlech na horní hraně střednicové sítě stojny působí ve směru osy  $x$  a  $y$  dle zatěžujících stavů (Tab. 5). Opět platí rozdělení celkové síly mezi jednotlivé uzly (201 uzlů)

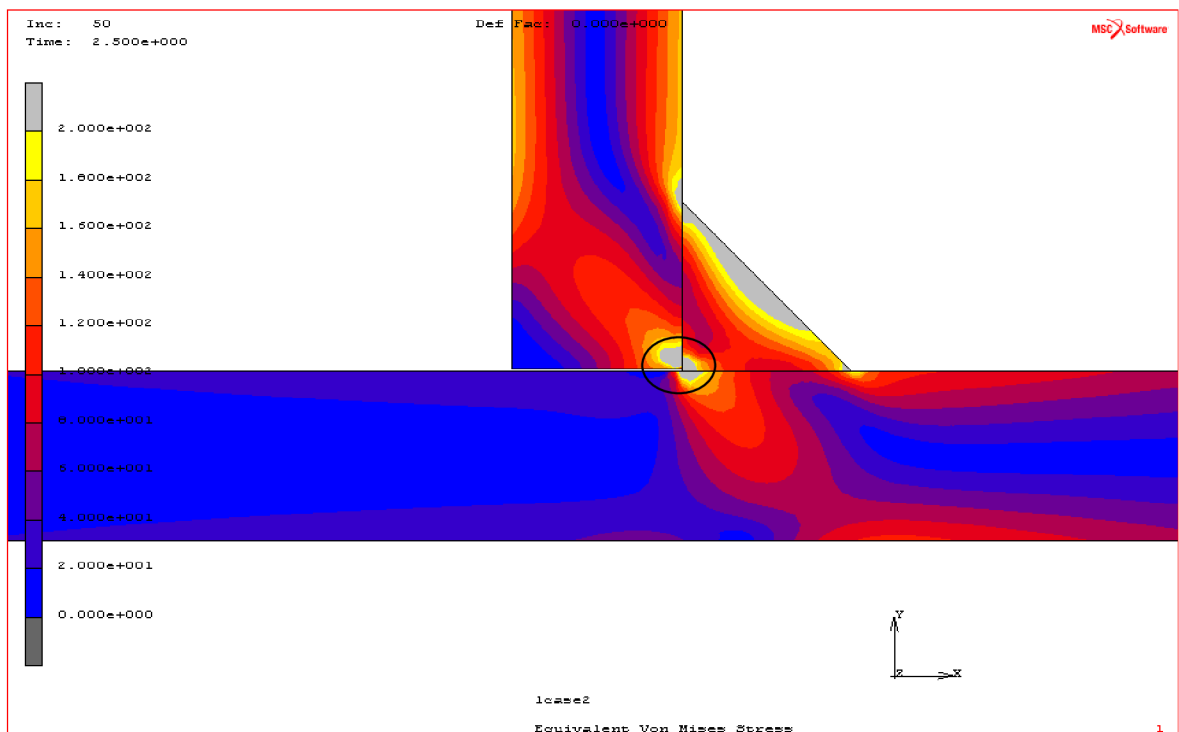
Z knihovny materiálů I-DEASU je zvolen materiál „**Generic\_isotropic\_steel**“, který má parametry: Youngův modul =  **$2,1 \cdot 10^5 \text{MPa}$** , Poissonův poměr = **0,29** a hustota =  **$7,8 \cdot 10^3 \text{kg.m}^{-3}$**

Tepelné namáhání v okolí svaru od svařování není uvažováno.

## 4.2.4 Porovnání výsledků



Obr. 4.9 Napětí v 2D řezu napojení „T“ (1)-(varianta A)  
 zobrazení: rovina xy (detail), zatěžovací stav: IV. stav, srovnávací napětí: HMH,  
 legenda: 0 – 200 MPa, extrémní napětí: 222 MPa, nedeformované



Obr. 4.10 Napětí v 2D řezu napojení „T“ (varianta B)  
 zobrazení: rovina xy (detail), zatěžovací stav: IV. stav, srovnávací napětí: HMH,  
 legenda: 0 – 200 MPa, extrémní napětí: 601 MPa, nedeformované

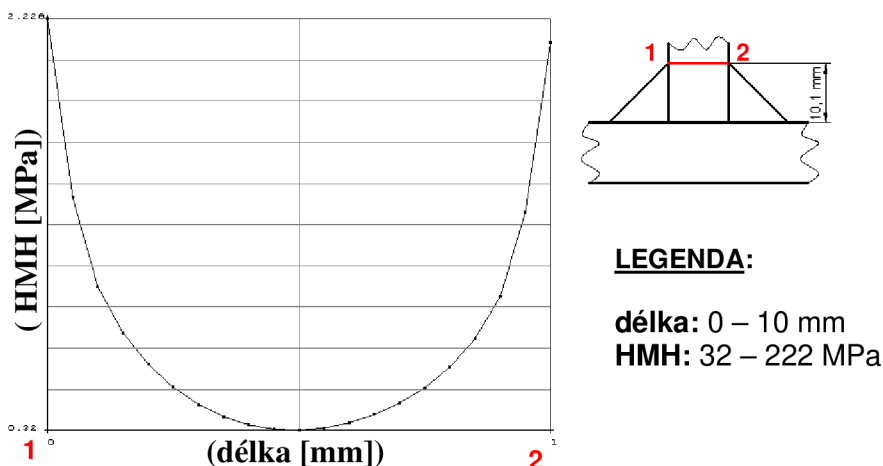


Jako první srovnání analýz u napojení typu „T“ jsou vybrány výsledky průběhu napjatosti podle HMH u 2D řezu tohoto napojení s variantou koutového svaru A a B. Obě analýzy vychází ze **4. STAVU** ( $F_1 = 7000 \text{ N}$ ,  $F_3 = 3500 \text{ N}$ ) zatížení.

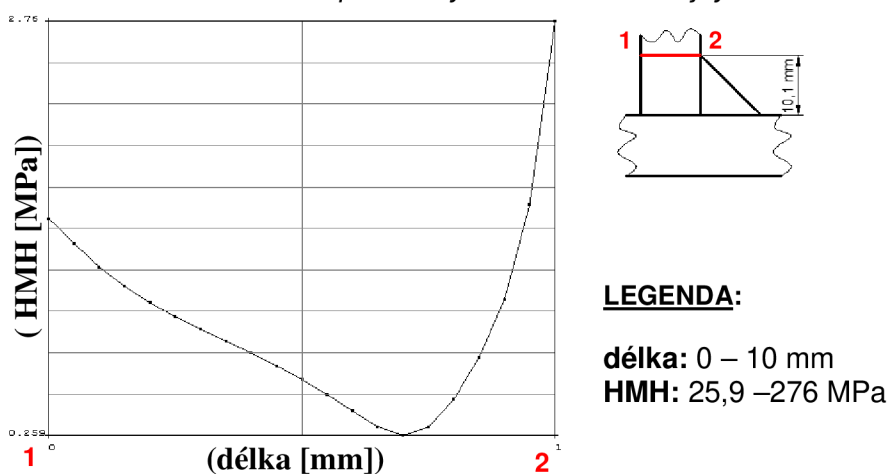
Na první pohled je patrné, že výsledky průběhu napětí v oblasti koutového svaru se významně liší mezi jednotlivými variantami. U varianty „A“ (Obr. 4.9) je plynulý průběh napjatosti mezi stojnou, koutovými svary a postavou. Stojna i podstava jsou namáhány na ohyb směrem od svarového spojení. Dochází především k většímu namáhání krajových vláken svařovaných dílců. Extrémní hodnoty napětí (označeny) se nacházejí v přechodových oblastech mezi jednotlivými sítěmi.

U varianty „B“ vychází průběh napjatosti daleko vyšší, než tomu bylo v předchozí variantě. Důvodem je přenos namáhání mezi stojnou a podstavou pouze jednostranným koutovým svarem. Extrémní napětí se nachází v označeném místě koutového svaru.

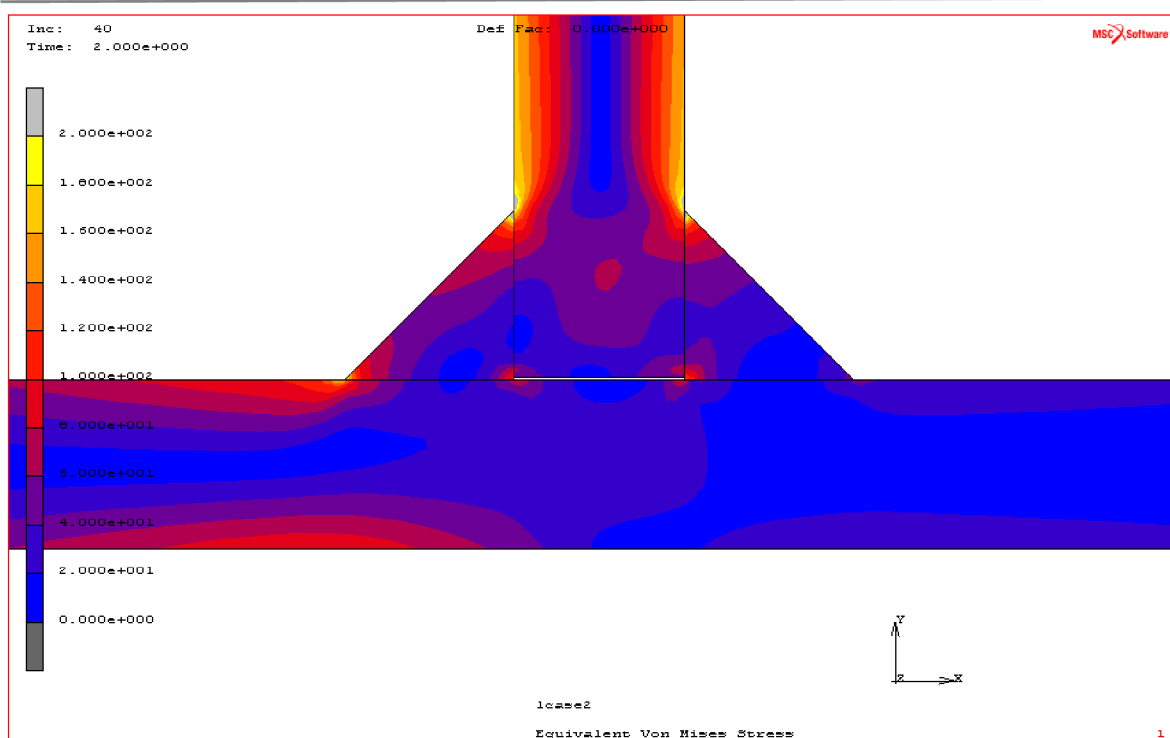
Na (Obr. 4.9a , Obr. 4.10a) je vykreslen průběh HMH napětí v určeném řezu stojnou varianty „A“ a „B“. Stojna, která je spojena oboustranným koutovým svarem, vykazuje symetrický průběh napětí od krajních vláken ke středu desky. Naproti tomu u jednostranného koutového svaru je tento průběh nesymetrický s vyšší hodnotou na straně svaru.



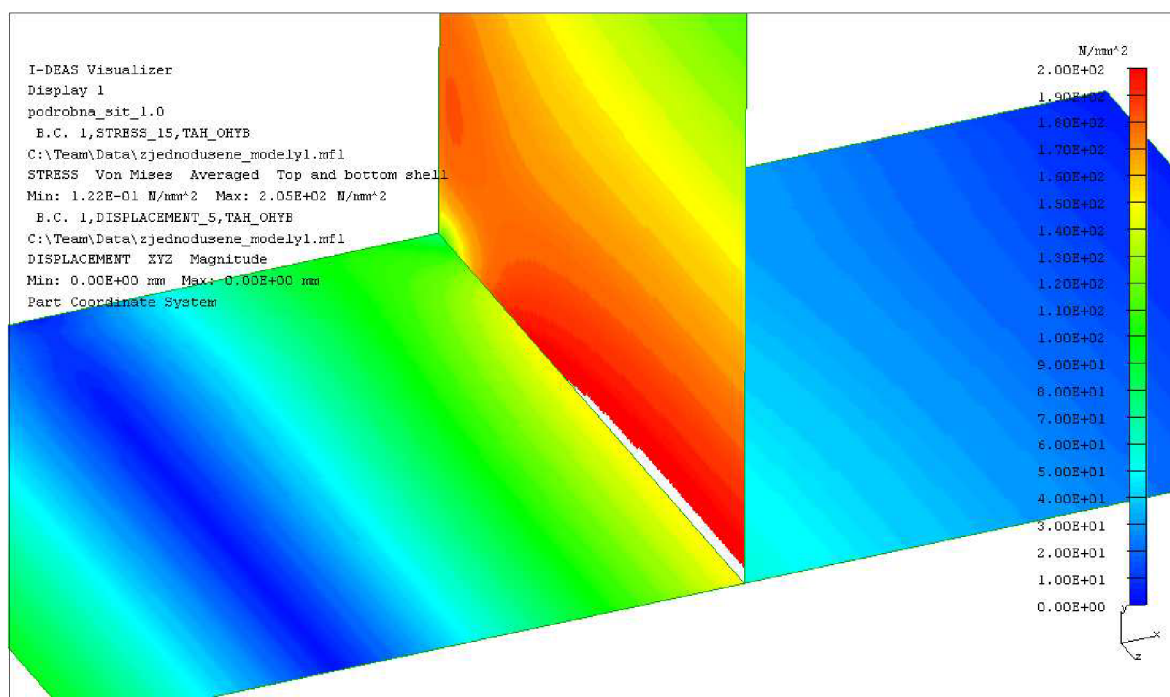
Obr. 4.9a Rozložení HMH napětí ve vybraném místě stojny – varianta A



Obr. 4.10a Rozložení HMH napětí ve vybraném místě stojny – varianta B



Obr. 4.11 Napětí v 2D řezu napojení „T“ (2)-(varianta A)  
zobrazení: rovina xy (detail), zatěžovací stav: IV. stav, srovnávací napětí: HMM,  
legenda: 0 – 200 MPa, extrémní napětí: 222 MPa, nedeformované



Obr. 4.12 Napětí ve skořepinovém modelu napojení „T“  
zobrazení: detail – (polovina modelu) top and bottom, zatěžovací stav: IV. stav,  
srovnávací napětí: HMM(průměrováno), legenda: 0 – 200 MPa, extrémní napětí: 205  
MPa, nedeformované

---

Pro porovnání výsledků analýzy detailního MKP modelu 2D řezu – varianta A (Obr. 4.11) svarovým spojem s napojením typu „T“ a zjednodušeným skořepinovým MKP modelem (Obr. 4.12) je vybrán **4. STAV** ( $F_1 = 7000 \text{ N}$ ,  $F_3 = 3500 \text{ N}$ ) zatížení. Opět dochází k porovnání rozložení napětí podle HMM.

U 2D řezu je vidět průběh napjatosti od stojny přes koutové svary do podstavy. Podle očekávání jsou extrémní hodnoty napětí v ostrých přechodech mezi sítěmi koutových svarů a stojny či podstavy.

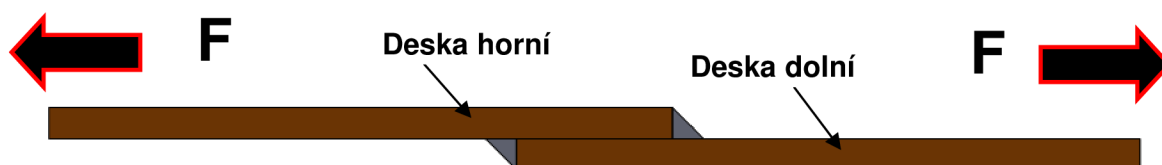
U skořepinového modelu se průběhy napjatosti tvoří obdobným způsobem, jako tomu bylo u 2D řezu. Extrémní hodnoty napětí se objevují ve spojení sítí skořepin vlivem kolmého přechodu sítí. Model ovšem neumí interpretovat přesnější průběh napjatosti v koutovém svaru.

Jednotlivé průběhy napjatosti ve výpočtových modelech napojení typu T, pro určené stavy zatížení obsahují Přílohy B21 až B35.

### 4.3 Překlátování

Obdobně jako tou bylo u svarového napojení typu „T“ je analyzována varianta koutového svaru ve formě překlátování. Je provedena nelineární analýza 2D řezem překlátovaného svaru pomocí MSC MARC v porovnání s lineární analýzou skořepinového modelu překlátovaného svaru v programu I-DEAS. Obě analýzy zkoumají navržený náhradní model (Příloha C3).

#### 4.3.1 Zatěžující stavy

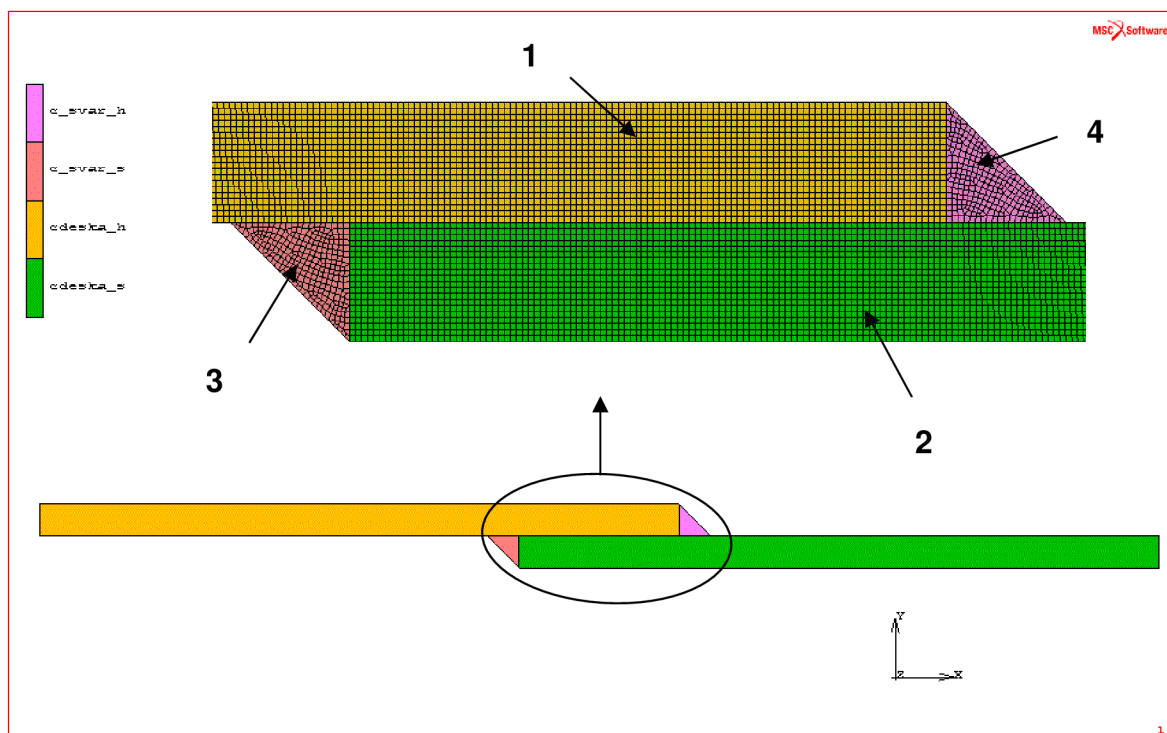


Obr. 4.13 Zatěžující stav pro překlátovaný svarový spoj

Pro tento typ modelu je zvolen pouze jeden zatěžovací stav. Na horní a spodní desku (Obr. 4.12) působí síla  $F = 30 \text{ kN}$  (stav **ZATÍŽENÍ**).

### 4.3.2 Řez 2D

#### Model



Obr. 4.14 Výpočtový model 2D řezu překládaného svaru  
1 – deska horní, 2 – deska dolní, 3 – koutový svar dolní, 4 - koutový svar horní

Stejně jako tomu bylo u 2D řezu koutovým svarem typu „T“ tak i zde je vytvořen plošný 2D MKP model (Obr. 4.14) programem MSC MARC v rovině  $xy$  dle náhradního modelu (Příloha C3). Jedná se o sestavu 4 deformovatelných kontaktních těles, a to desky horní (Obr. 4.14-1), desky dolní (Obr. 4.14-2) a dvojice koutových svarů (Obr. 4.14-3,4). Všechny tělesa mají přiřazenu geometrickou vlastnost „plane strain“ s hodnotou **200 mm**. Rozměry výpočtového modelu obsahuje Příloha C5.

Síť modelu je tvořena dvěma způsoby. Pro desku horní i dolní je použita mapovaná síť prvky **QUAD4** (Příloha A5) o rozměru 0,5 mm. Svary jsou tvořeny volnou sítí prvky **QUAD4** (Příloha A5) o rozměru 0,5mm. Koutový svar je tvořen jako rovnoramenný trojúhelník.

Jako výpočtový materiál je zvolen materiál s označením **C35**. Parametry výpočtového materiálu: Youngův modul =  **$2,17 \cdot 10^5 \text{MPa}$** , Poissonův poměr = **0,3**, hustota =  **$7,85 \cdot 10^3 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$** .

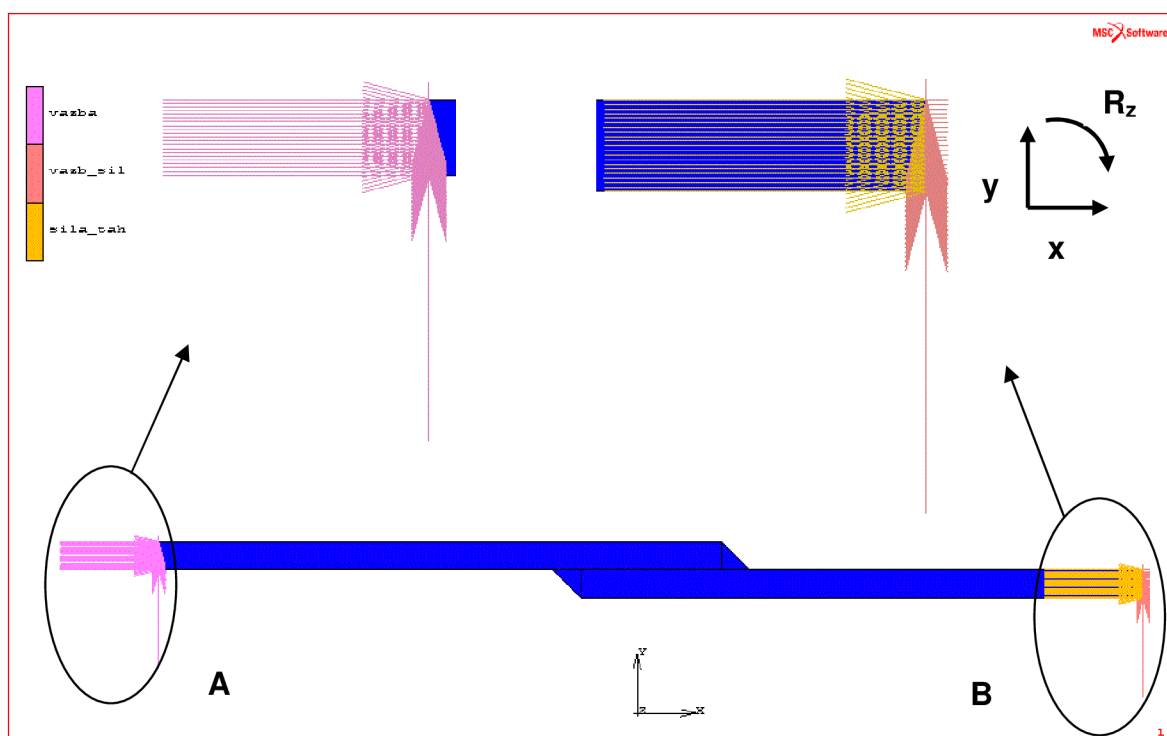
## Kontaktní tabulka

1	c_svar_h	deformable			G	G
2	c_svar_s	deformable			G	G
3	cdeska_h	deformable	G	G		T
4	cdeska_s	deformable	G	G	T	

Tab. 7: Kontaktní tabulka pro překládaný svar

Kontaktní tabulka (Tab. 7) určuje vztahy mezi jednotlivými tělesy stejným způsobem, jako tomu bylo u předchozích kapitol. Spojení desek a svarů nahrazuje kontakt typu „G“. Kontakt typu „T“ tvoří třecí kontakt se součinitelem statického tření  $f = 0,15$  dle [4].

## Okrajové podmínky



Obr. 4.15 Okrajové podmínky pro překládaný svar  
A – vazba, B – vazba+zatížení

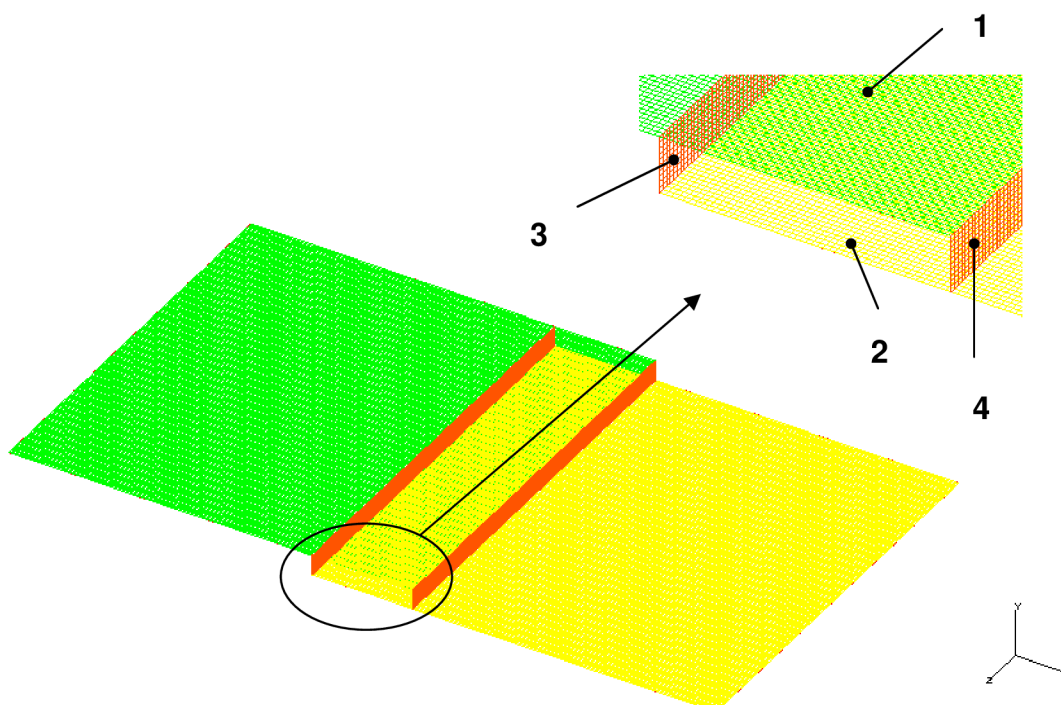
Obdobně jako v kap. 4.2.2 byly vytvořeny dva typy okrajových podmínek. Vazební podmínky tvoří zachycení volného konce desky horní (Obr. 4.15A), kde uzlům hrany sítě je zamezen posuv v ose  $x$ ,  $y$  a rotace kolem osy  $z$ . Dále pak u dolní desky byl volný konec zachycen vazbou dle (Obr. 4.15B), kdy kde jsou chyceny opět uzly sítě na hraně, kterým je zamezen posuv v ose  $y$  a rotace kolem osy  $z$  ( $R_z$ ).

Zatěžující stav byl proveden pomocí působení síly v ose  $x$  o hodnotě 30 kN, kde došlo k rovnoměrnému rozdělení síly mezi 21 hranových uzlů sítě (Obr. 4.15B).

Tepelné namáhání vyvolané svařováním zde nebylo uvažováno. Provedena pouze statická analýza.

### 4.3.3 Skořepinový model

#### Model



Obr. 4.16 Skořepinový model přeplátovaného svaru  
1 – deska horní, 2 – deska dolní, 3 – svar dolní, 4 – svar horní

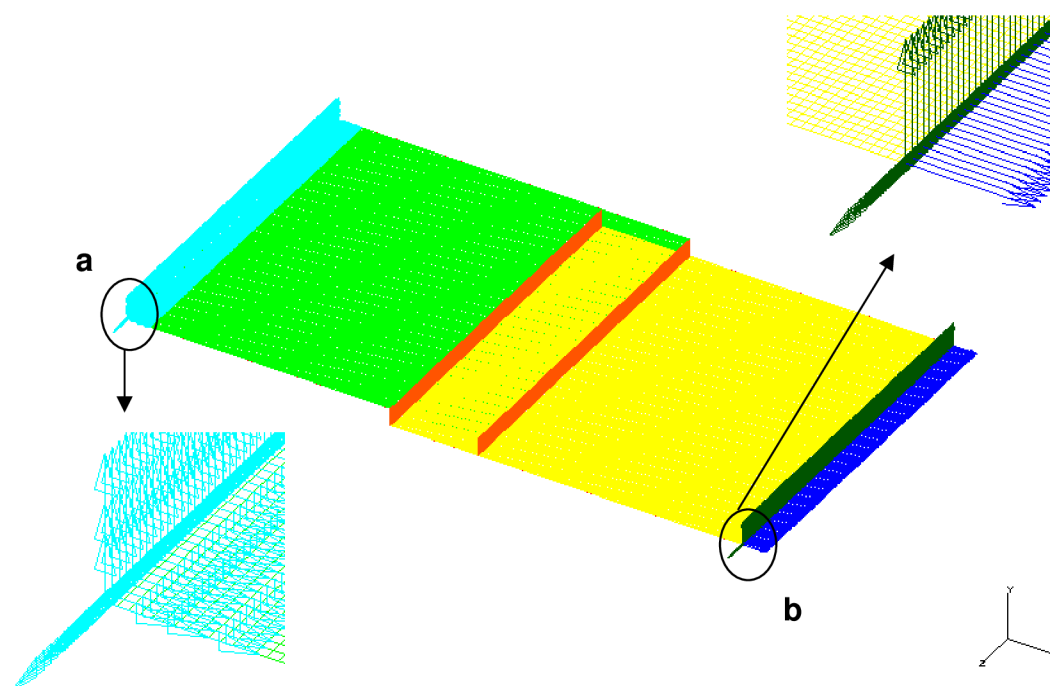
Skořepinový MKP model přeplátovaného svarového spoje je tvořen na základě náhradního modelu (Příloha C3) jako soustava dvou střednicových sítí (Obr. 4.16-1,2) ve vzdálenosti 10 mm od sebe. Nahrazení svaru je provedeno pomocí propojení dalších dvou střednicových sítí (Obr. 4.16-3,4), které jsou kolmé na síť desky horní a dolní. Rozměry skořepinového modelu obsahuje Příloha C6.

Jednotlivým skořepinovým sítím je přiřazena geometrická vlastnost „thin shell“. Pro desku horní a spodní 10mm. Pro svary 7 mm. Celý skořepinový model je mapován **QUAD4**

prvky (Příloha A5) o velikosti **1mm**. Síť je tvořena jemně ze stejného důvodu jako skořepinový model „T“ napojení. Celkový počet prvků v síti je  $8,4 \cdot 10^4$ .

Z knihovny materiálů I-DEASU je zvolen materiál „**Generic\_isotropic\_steel**“, který má parametry: Youngův modul =  $2,1 \cdot 10^5 \text{MPa}$ , Poissonův poměr = **0,29**, hustota =  $7,8 \cdot 10^3 \text{kg.m}^{-3}$ .

### Okrajové podmínky



Obr. 4.17 Okrajové podmínky překlátování  
a – vazba, b – vazba + zatížení

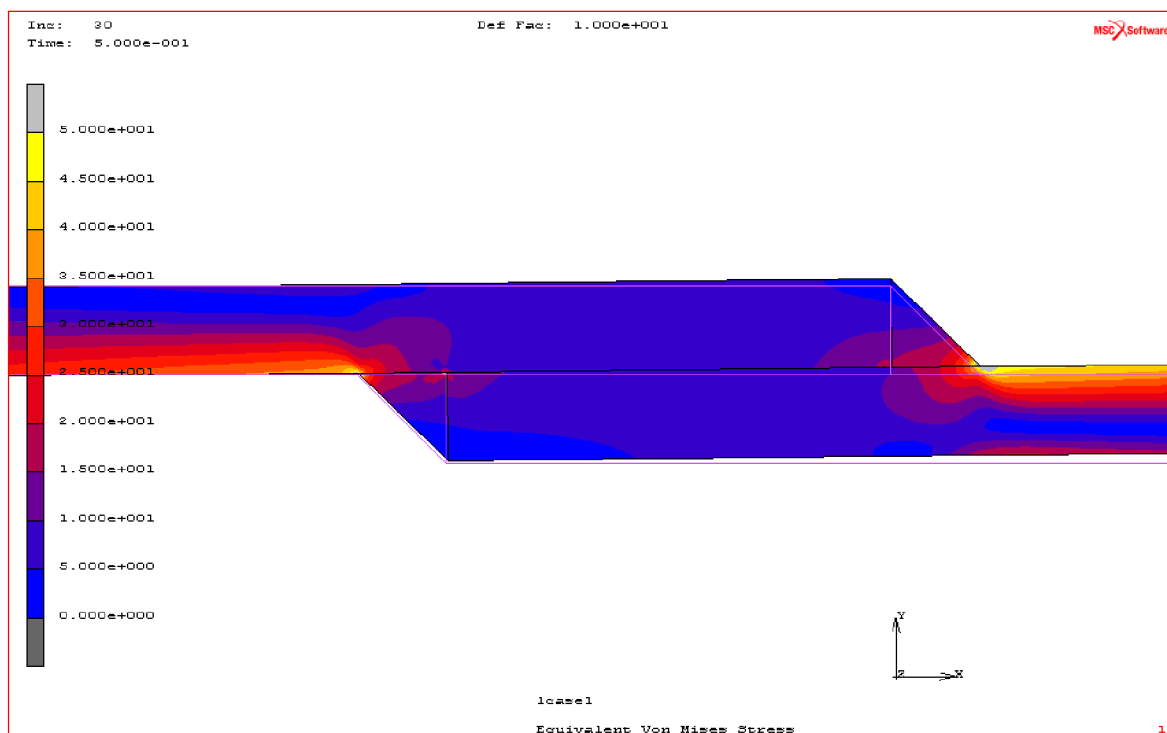
Stejně jako tomu bylo u okrajových podmínek pro 2D řez překlátovaným svarem, tak i zde je volný konec desky horní chycen pomocí vazby dle (Obr. 4.17a) za uzly ležící na hraně sítě. Všem těmto uzlům je zamezen posuv a natočení podle osy  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Volný konec desky dolní obsahuje vazbu (Obr. 4.17b), kde uzlům ležící na hraně sítě je zamezen posuv v ose  $y$  a  $z$ . Dále je pak zamezena rotace kolem osy  $z$ .

Zatížení je provedeno pomocí síly (Obr. 4.17b) působící v ose  $x$ . Velikost síly udává kap. 4.3.1, která je následně rovnoměrně rozdělena do 201 uzlů náležící hraně sítě dolní desky.

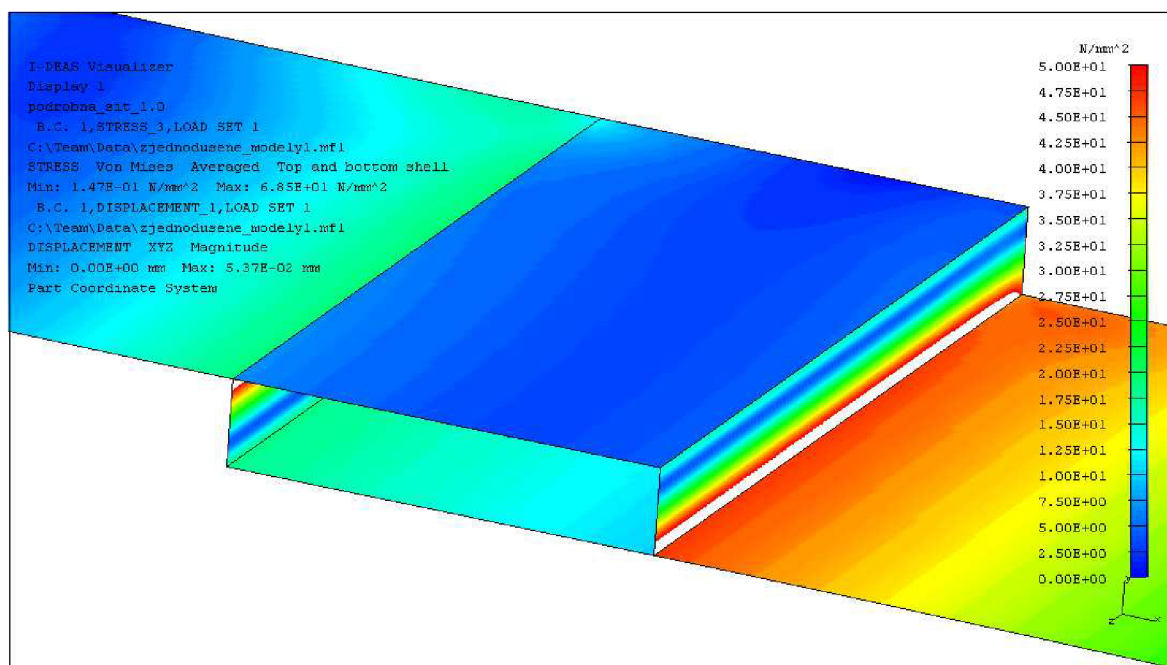
Tepelné namáhání vyvolané svařováním zde nebylo uvažováno. Provedeno pouze statické zatížení.



## 4.3.4 Porovnání výsledků



Obr. 4.18 Napětí v 2D řezu překlátovaného spoje  
zobrazení: rovina xy (detail), zatěžovací stav: zatížení, srovnávací napětí: HMH,  
legenda: 0 – 50 MPa, extrémní napětí: 68 MPa, deformované (def. Factor 10)

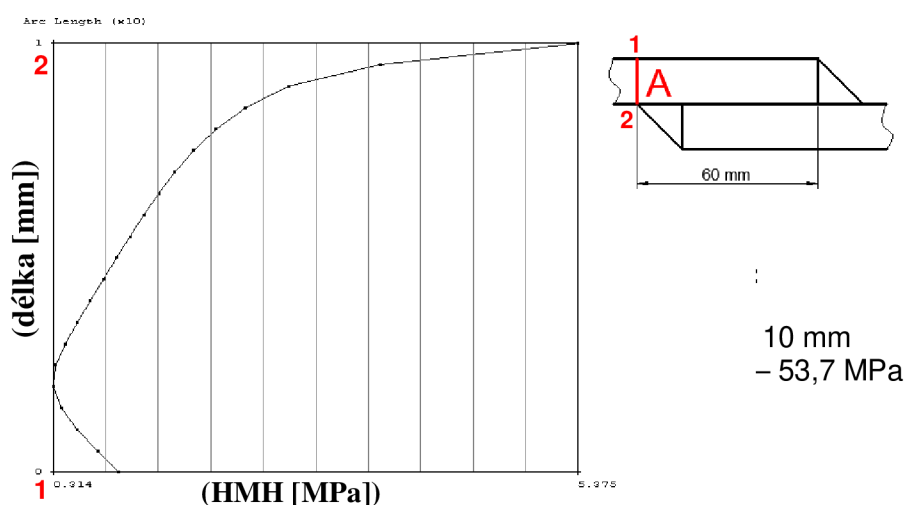


Obr. 4.19 Napětí ve skořepinovém modelu napojení „T“  
zobrazení: detail - (polovina modelu), top and bottom, zatěžovací stav: zatížení,  
srovnávací napětí: HMH (průměrováno), legenda: 0 – 50 MPa, extrémní napětí: 68 MPa,  
nedeformované

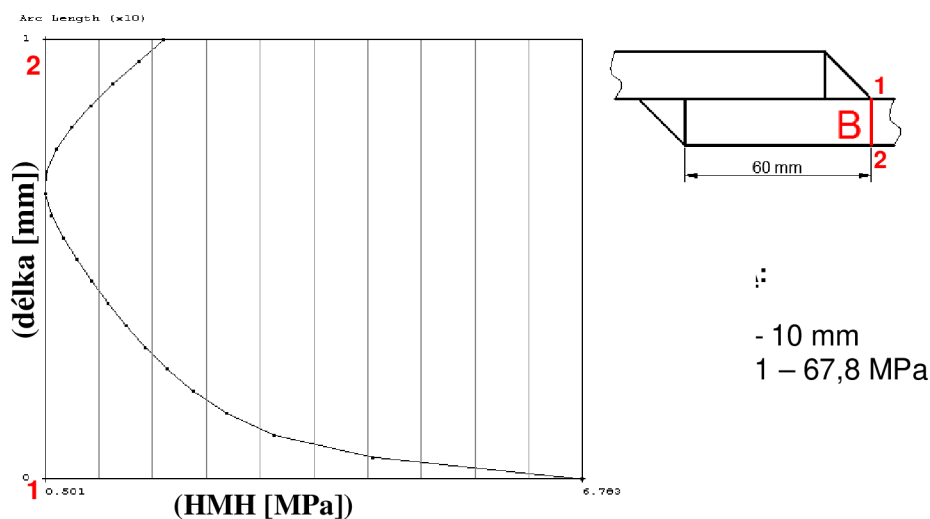
Pro přeplátovaný svarový spoj je vybrán, k porovnání, 2D řez (Obr. 4.18) a skořepinový model s maximálním navrženým zatížením (**ZATÍŽENÍ**,  $F = 30 \text{ kN}$ ). Srovnání výsledků modelů proběhlo dle průběhu napjatosti (HMH) v jednotlivých modelech.

Oba modely vykazují obdobný průběh napětí při zadaném zatížení. Extrémní napětí, které vzniká v přechodu, mezi svarem a deskou, mají oba modely ve shodné hodnotě.

U 2D řezu je navíc vykreslen průběh napětí v určených místech (přechod desky s koutovým svarem) po celé tloušťce jednotlivých desek (Obr. 4.18a , Obr. 4.18b). Z jednotlivých průběhů je patrné, že extrémní hodnoty napětí vznikají na hranici přechodu s koutovým svarem a postupně napětí klesá směrem od daného přechodu.



Obr. 4.18a Rozložení HMH napětí v určeném místě desky horní



Obr. 4.18b Rozložení HMH napětí v určeném místě desky dolní

## 5 Závěr

Úkolem této diplomové práce bylo srovnání náhradních zjednodušených modelů spojů používaných v rámci komplexních MKP modelů s podrobnými modely detailů spojů. Konkrétně jde o posouzení šroubového spoje s běžným a lícovaným šroubem, dále svarové spoje s napojením typu T a přeplátování. Jednotlivé zatěžovací stavy byly zvoleny po domluvě s vedoucím diplomové práce.

První část práce se zabývá problematikou šroubového spoje, který vychází z navrženého náhradního modelu s běžným šroubem a lícovaným šroubem. Pro náhradní model byl vytvořen zjednodušený skořepinový MKP model programem I-DEAS. V Detailnějším zpracování byl vytvořen objemový MKP model programem MSC MARC. Oproti skořepinovému modelu měl model schopnost vyvození předpětí ve spoji, a zároveň bylo zahrnuto statické tření mezi jednotlivými částmi modelu. Okrajové podmínky a zvolené zatěžující stavy měly oba modely totožné. Z výsledků porovnání bylo zjištěno, že skořepinové náhrady šroubů vykazují extrémní hodnoty napjatosti v okolí nahrazení. Ovšem pro komplexní řešení výpočtového modelu jsou tyto náhrady dostačujícím řešením. Kladou nesrovnatelně menší nároky na výpočtový čas v porovnání s detailními modely. Bohužel při tomto zjednodušení nejsou žádné plnohodnotné informace o chování napjatosti v samotném šroubu, matici, podložkách a blízkém okolí šroubového spojení. Tento deficit u skořepinových modelů lze řešit zavedením objemového MKP modelu daného šroubového spoje. Lze vidět detailnější průběhy napjatosti u všech částí šroubového spoje. Ovšem zavedení jmenovaných modelů představuje vysoké nároky na výpočtový čas. Skořepinový model není tolik náročný.

Druhá část práce je zaměřena na problematiku svarového spoje, kde byly vytvořeny náhradní modely svarového spoje s napojením typu T (jednostranným a oboustranným koutovým svarem) a přeplátování. Pro navržené modely byly vytvořeny zjednodušené skořepinové MKP modely programem I-DEAS. Detailnější provedení bylo vytvořeno pomocí plošných MKP modelů 2D řezů, programem MSC MARC dle rozměrů odpovídající návrhovým modelům. Bylo zahrnuto statické tření dotýkajících se ploch. Přejít mezi svarem a svařovaným dílcem byl realizován pomocí speciálního kontaktu. Okrajové podmínky a zatěžující stavy byly shodné pro oba typy MKP modelů. Z výsledků porovnávání jsem zjistil, že průběh napjatosti u obou typů modelů je velice podobný i extrémní hodnoty napětí vykazují oba typy modelů na obdobných místech (přejít mezi svarem a svařovaným dílcem). Nevýhodou u skořepinového modelu s napojením typu T je, že pomocí tohoto nahrazení není patrné o jaký typ koutového svaru se jedná (jednostranný, oboustranný, atd.). Tento problém je možné vyřešit zavedením 2D řezu zkoumaného místa, kterým lze získat objektivní výsledky o průběhu napjatosti v přechodu mezi svařovanými dílci a svarem.

Cílem práce bylo srovnání MKP modelů vybraných spojů, čehož bylo docíleno.

## 6 Seznam použitých zdrojů

### Literatura

- [1] ADENSAM, Adolf; BENEŠ, Václav; BOLEK, Alfred. *Šrouby a šroubové spoje*. Praha: Technickoekonom. výzku. ústav. hut. prům, 1977. 258 s.
- [2] SVOBODA, Pavel; BRANDEJS, Jan; PROKEŠ, František. *Výběr z norem pro konstrukční cvičení*. 1. vydání. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2006. 223 s. ISBN 80-7204-465-6.
- [3] SHIGLEY, Joseph Edward; MISCHKE, Charles R; BUDYNAS, Richard G et al. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2010. 1159 s. ISBN 978-802-1426-290.
- [4] LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky : pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 2. dopl. vyd. Úvaly : ALBRA, 2005. 907 s. ISBN 80-736-1011-6.
- [5] KLIMEŠ, Pavel. *Části a mechanismy strojů I: Spolehlivost, dimenzování, pružiny, spoje a hřídele*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 97 s. ISBN 80-214-2421-4.
- [6] BOHÁČEK, František. *Části a mechanismy strojů I. Zásady konstruování. Spoje*. 4. vyd. Brno: VUT Brno, 1997. 319 s.

### Webové stránky

- [7] *Fakulta stavební VUT v Brně* [online]. 2011-05-18 [cit. 2011-05-18]. Fakulta stavební VUT v Brně. Dostupné z WWW: <[www.fce.vutbr.cz/KDK/pilgr.m/BO02/BO02\\_cvi\\_05.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/KDK/pilgr.m/BO02/BO02_cvi_05.pdf)>.
- [8] *SVARINFO* [online]. 2011-05-18 [cit. 2011-05-18]. Porovnání značení ocel. Dostupné z WWW: <<http://www.svarbazar.cz/phprs/showpage.php?name=oceli>>.
- [9] *Svarové spoje* [online]. 2011-05-18 [cit. 2011-05-18]. Koutový svar. Dostupné z WWW: <<http://www.ocel.wz.cz/svarove-spoje/koutovy-svar.php>>.
- [10] *FSv ČVUT* [online]. 2011-05-18 [cit. 2011-05-18]. FSv ČVUT. Dostupné z WWW: <<http://people.fsv.cvut.cz/~pkabele/YNAK/YNAK-pr03.pdf>>

## 7 Seznam použitých zkratk a symbolů

Značka	Význam	Jednotka
$A_s$	výpočtový průřez závitů	[mm <sup>2</sup> ]
C	procentuelní zastoupení uhlíku	[%]
Ce	uhlíkový ekvivalent	[%]
Cr	procentuelní zastoupení chromu	[%]
Cu	procentuelní zastoupení mědi	[%]
D	průměr otvoru dutého kužele	[mm]
$D_k$	průměr nejmenší podstavy kužele	[mm]
$D_p$	průměr nejmenší podstavy od použité podložky odpovídající největšímu průměru podložky ( $d_2$ )	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
$f_u$	jmenovitá mez pevnosti spojovaného materiálu	[MPa]
$k_{cp}$	tuhost kužele nahrazující celou spojovanou součást	[Nmm <sup>-1</sup> ]
$k_{cš}$	celková tuhost šroubu	[Nmm <sup>-1</sup> ]
$k_p$	tuhost kužele nahrazující spojovanou součást	[Nmm <sup>-1</sup> ]
$L_h$	hladká část	[mm]
$L_{sv}$	svěrná délka celého šroubu	[mm]
$L_z$	závitová část	[mm]
Mn	procentuelní zastoupení manganu	[%]
Mo	procentuelní zastoupení molybdenu	[%]
Ni	procentuelní zastoupení niklu	[%]
P	procentuelní zastoupení fosforu	[%]
$S_d$	průřez dřívku	[mm <sup>2</sup> ]
$t_k$	tloušťka jedné ze spojovaných součástí	[mm]
$\alpha$	úhel komolého kužele; $25^\circ \leq \alpha \leq 33^\circ$	[°]
$\beta_w$	korekční součinitel	[-]
$\gamma_{M2}$	dílčí součinitel spolehlivosti	[-]
$\sigma_1$	normálové napětí, kolmé na účinnou plochu	[MPa]
$\tau_1$	smykové napětí, kolmé na podélnou osu svaru	[MPa]
$\tau_2$	smykové napětí, rovnoběžné s podélnou osou svaru	[MPa]

## 8 Seznam obrázku a tabulek

### Seznam Obrázků

Obr. 3.1 Přehled nejčastěji používaných typů šroubů .....	10
Obr. 3.2 Přehled nejčastěji používaných typů matic .....	11
Obr. 3.3 Přehled nejčastěji používaných typů podložek.....	12
Obr. 3.4 Délka svěrného spojení u šroubu .....	13
Obr. 3.5 Tlakové rozložení ve spojované součásti.....	14
Obr. 3.6 Síly působící na šroubovém spoji .....	15
Obr. 3.7 Provozní diagram šroubového spoje.....	16
Obr. 3.8 Výpočtový objemový model šroubového spoje – běžný šroub .....	17
Obr. 3.9 Okrajové podmínky pro běžný šroub .....	19
Obr. 3.10 Okrajové podmínky pro běžný šroub – detail .....	20
Obr. 3.11 Výpočtový objemový model šroubového spoje – lícovaný šroub.....	21
Obr. 3.12 Okrajové podmínky pro lícovaný šroub.....	22
Obr. 3.13 Okrajové podmínky pro lícovaný šroub - detail .....	23
Obr. 3.14 Skořepinový model šroubového spoje .....	24
Obr. 3.15 Okrajové podmínky skořepinového modelu šroubového spoje .....	25
Obr. 3.16 Napětí v běžném šroubu.....	27
Obr. 3.17 Napětí v lícovaném šroubu .....	27
Obr. 3.16a Rozložení HMH napětí v určeném průřezu běžného šroubu .....	28
Obr. 3.17a Rozložení HMH napětí v určeném průřezu lícovaného šroubu .....	28
Obr. 3.18 Napětí ve šroubovém spoji s běžným šroubem.....	29
Obr. 3.19 Napětí ve šroubovém spoji (1) .....	29
Obr. 3.20 Napětí ve šroubovém spoji s lícovaným šroubem .....	31
Obr. 3.21 Napětí ve šroubovém spoji (2) .....	31
Obr. 4.1 Vliv tloušťky dílců na jejich svařitelnost dle [6] .....	34
Obr. 4.2 Svarové spoje - výběr [5] .....	35
Obr. 4.3 Rozložení napětí ve svaru [9] .....	35
Obr. 4.4 Zatěžující stavy pro koutový svar typu „T“.....	36
Obr. 4.5 Výpočtový model koutového svaru typu „T“ .....	37
Obr. 4.6 Okrajové podmínky pro koutový svar typu „T“.....	39
Obr. 4.7 Skořepinový model koutového svaru typu „T“ .....	40
Obr. 4.8 Okrajové podmínky skořepinového modelu - napojení typu „T“ .....	41
Obr. 4.9 Napětí v 2D řezu napojení „T“ (1)-(varianta A).....	42
Obr. 4.10 Napětí v 2D řezu napojení „T“ (varianta B) .....	42
Obr. 4.9a Rozložení HMH napětí ve vybraném místě stojny – varianta A.....	43
Obr. 4.10a Rozložení HMH napětí ve vybraném místě stojny – varianta B.....	43
Obr. 4.11 Napětí v 2D řezu napojení „T“ (2)-(varianta A).....	44
Obr. 4.12 Napětí ve skořepinovém modelu napojení „T“ .....	44

Obr. 4.13 Zatěžující stav pro přeplátovaný svarový spoj .....	46
Obr. 4.14 Výpočtový model 2D řezu přeplátovaného svaru .....	47
Obr. 4.15 Okrajové podmínky pro přeplátovaný svar .....	48
Obr. 4.16 Skořepinový model přeplátovaného svaru .....	49
Obr. 4.17 Okrajové podmínky přeplátování .....	50
Obr. 4.18 Napětí v 2D řezu přeplátovaného spoje .....	51
Obr. 4.19 Napětí ve skořepinovém modelu napojení „T“ .....	51
Obr. 4.18a Rozložení HMM napětí v určeném místě desky horní .....	52
Obr. 4.18b Rozložení HMM napětí v určeném místě desky dolní .....	52

## Seznam tabulek

Tab. 1: Přehled stavu zatížení .....	16
Tab. 2 : Kontaktní tabulky běžného šroubu .....	18
Tab. 3: Kontaktní tabulky lícovaného šroubu .....	22
Tab. 4: Skupiny svařitelnosti .....	34
Tab. 5 : Zatěžující stavy pro napojení typu „T“ .....	37
Tab. 6: Kontaktní tabulky pro koutový svar typu „T“ .....	38
Tab. 7: Kontaktní tabulka pro přeplátovaný svar .....	48

## 9 Seznam příloh

### Přílohy A

- A1** - Přehled normalizovaných šroubů
- A2** - Přehled normalizovaných matic
- A3** - Přehled normalizovaných podložek
- A4** - Normalizované rozměry děr pro šrouby
- A5** - Prvky výpočtových modelů

### Přílohy B

- B1** - Napjatost ve šroubovém spoji s běžným šroubem (1. stav)
- B2** - Napjatost ve šroubovém spoji – běžný šroub (1. Stav)
- B3** - Napjatost ve šroubovém spoji s běžným šroubem (2. stav)
- B4** - Napjatost ve šroubovém spoji – běžný šroub (2. Stav)
- B5** - Napjatost ve šroubovém spoji s běžným šroubem (3. stav)
- B6** - Napjatost ve šroubovém spoji – běžný šroub (3. Stav)
- B7** - Napjatost ve šroubovém spoji s běžným šroubem (4. stav)
- B8** - Napjatost ve šroubovém spoji – běžný šroub (4. Stav)
- B9** - Napjatost ve šroubovém spoji s běžným šroubem (5. stav)
- B10** - Napjatost ve šroubovém spoji – běžný šroub (5. Stav)
- B11** - Napjatost ve šroubovém spoji s běžným šroubem (6. stav)
- B12** - Napjatost ve šroubovém spoji – běžný šroub (6. Stav)
- B13** - Napjatost ve šroubovém spoji s běžným šroubem (7. stav)
- B14** - Napjatost ve šroubovém spoji – běžný šroub (7. Stav)
- B15** - Napjatost ve šroubovém spoji s běžným šroubem (8. stav)
- B16** - Napjatost ve šroubovém spoji – běžný šroub (8. Stav)
- B17** - Napjatost ve šroubovém spoji s lícovaným šroubem (3. stav)
- B18** - Napjatost ve šroubovém spoji – lícovaný šroub (3. stav)
- B19** - Napjatost ve šroubovém spoji s lícovaným šroubem (6. stav)
- B20** - Napjatost ve šroubovém spoji – lícovaný šroub (6. stav)
- B21** - Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) - jednostranný koutový svar (1. st.)
- B22** - Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) - oboustranný koutový svar (1. st.)
- B23** - Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) – skořepina (1. st.)
- B24** - Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) - jednostranný koutový svar (2. st.)
- B25** - Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) - oboustranný koutový svar (2. st.)
- B26** - Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) – skořepina (2. st.)
- B27** - Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) - jednostranný koutový svar (3. st.)
- B28** - Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) - oboustranný koutový svar (3. st.)
- B29** - Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) – skořepina (3. st.)
- B30** - Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) - jednostranný koutový svar (4. st.)
- B31** - Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) - oboustranný koutový svar (4. st.)
- B32** - Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) – skořepina (4. st.)
- B33** - Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) - jednostranný koutový svar (5. st.)



- 
- B34** - Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) - oboustranný koutový svar (5. st.)
  - B35** - Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) – skořepina (5. st.)
  - B36** - Napjatost ve svarovém spoji - přeplátování
  - B37** - Napjatost ve svarovém spoji (přeplátování) - skořepina

### **Přílohy C**

- C1** - Náhradní model šroubového spoje
- C2** - Tělesa pro objemový a skořepinový model
- C3** - Náhradní modely napojení "T" a přeplátování
- C4** - 2D řez koutovým svarem napojení typu "T"
- C5** - 2D řez koutovým svarem - přeplátování
- C6** - Skořepinový model napojení "T" a přeplátování










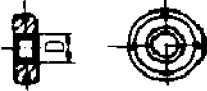

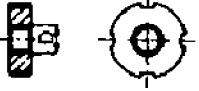












# Příloha A1

ČSN EN ISO 4014 (02 1101)	ČSN EN 24017 (02 1105)	ČSN 02 1104	ČSN 02 1105
ČSN 02 1111	ČSN 02 1112	ČSN 02 1115	ČSN 02 1116
ČSN 02 1121	ČSN 02 1122	ČSN 02 1124	ČSN 02 1128
ČSN 02 1130	ČSN EN ISO 1207 (02 1131)	ČSN 02 1135	ČSN EN ISO 4762 (02 1143)
ČSN 02 1146	ČSN EN ISO 2009 (02 1151)	ČSN EN ISO 2010 (02 1155)	ČSN 02 1161
ČSN 02 1162	ČSN 02 1167	ČSN 02 1173	ČSN 02 1176
ČSN 02 1174	ČSN 02 1178	ČSN EN 24766 (02 1181)	ČSN EN 27436 (02 1182)
ČSN EN 27435 (02 1183)	ČSN EN 27434 (02 1185)	ČSN 02 1186	ČSN 02 1187

ČSN 02 1189	ČSN 02 1191	ČSN 02 1201	ČSN 02 1203
ČSN 02 1205	ČSN 02 1207	ČSN 02 1208	ČSN 02 1226
ČSN 02 1227	ČSN 02 1228	ČSN 02 1229	ČSN EN ISO 1481 (02 1232)
ČSN EN ISO 7049 (02 1235)	ČSN EN ISO 1482 (02 1236)	ČSN EN ISO 1483 (02 1238)	ČSN 02 1240
ČSN 02 1318	ČSN 02 1242	ČSN EN 24016 (02 1301)	ČSN 02 1324
ČSN 02 1326	ČSN 02 1327	ČSN ISO 8677 (02 1319)	ČSN 02 1341
ČSN 02 1343	ČSN 02 1352	ČSN 02 1365	ČSN 02 1367

Přehled normalizovaných šroubů [2]

# Příloha A2

<p>ČSN EN 24032 (02 1401)</p> 	<p>ČSN 02 1402</p> 	<p>ČSN EN 24035 (02 1403)</p> 	<p>ČSN EN 24036 (02 1407)</p> 
<p>ČSN 02 1411</p> 	<p>ČSN 02 1412</p> 	<p>ČSN 02 1413</p> 	<p>ČSN 02 1416</p> 
<p>ČSN 02 1431</p> 	<p>ČSN 02 1441</p> 	<p>ČSN 02 1444</p> 	<p>ČSN 02 1449</p> 
<p>ČSN 02 1450</p> 	<p>ČSN 02 1461</p> 	<p>ČSN 02 1462</p> 	<p>ČSN 02 1491</p> 
<p>ČSN 02 1529</p> 	<p>ČSN 02 1535</p> 	<p>ČSN EN 24034 (02 1601)</p> 	<p>ČSN 02 1604</p> 
<p>ČSN 02 1609</p> 	<p>ČSN 02 1611</p> 	<p>ČSN 02 1624</p> 	<p>ČSN 02 1665</p>  <p>DO M10</p>

Přehled normalizovaných matic [2]

# Příloha A3

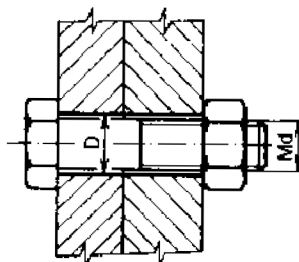
Název	Vyobrazení	ČSN
Podložky se čtvercovým otvorem pro dřevěné konstrukce		02 1728
Podložky pro konstrukce z tvrdého dřeva		02 1729
Výšňé podložky		02 1731
Průžné podložky průžnaté		02 1733
Průžné podložky průžnaté tenké		02 1734
Podložky pro tyče I, U, IE, UE		02 1739

Název	Vyobrazení	ČSN
Podložky pro tyčky se šestihrannou hlavou a šestihranné matice	Tvar B 	ČSN EN ISO 7089 (02 1720)
	Tvar A 	
Hrubé podložky		02 1721
Čtyřhranné podložky pro dřevěné konstrukce		02 1724
Podložky pod nýty		02 1726
Podložky pro dřevěné konstrukce		02 1727

Název	Vyobrazení	ČSN
Průžné podložky se čtvercovým průřezem		02 1740
Průžné podložky s obdélníkovým průřezem		02 1741
Ozubené podložky		02 1744
Výšňové podložky s vnějším ozubením		02 1745
Výšňové podložky s vnitřním ozubením		02 1746
Pojistné podložky s jazýčkem		02 1751
Pojistné podložky s nosem		02 1753

Přehled normalizovaných podložek [2]

# Příloha A4



Rozměry v mm

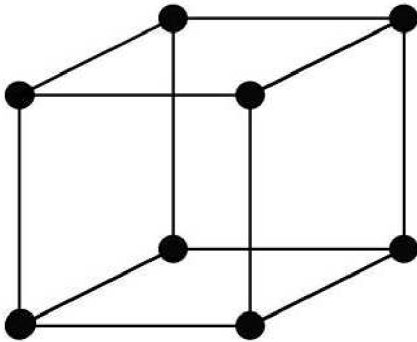
Imenovitý průměr závitů Md	Průměr díry D		
	jemná	Řada střední	hrubá
1,0	1,1	1,2	1,3
1,2	1,3	1,4	1,5
1,4	1,5	1,6	1,8
1,6	1,7	1,8	2,0
1,8	2,0	2,1	2,2
2,0	2,2	2,4	2,6
2,5	2,7	2,9	3,1
3,0	3,2	3,4	3,6
3,5	3,7	3,9	4,2
4,0	4,3	4,5	4,8
4,5	4,8	5,0	5,3
5,0	5,3	5,5	5,8
6,0	6,4	6,6	7,0
7,0	7,4	7,6	8,0
8,0	8,4	9,0	10,0
10,0	10,5	11,0	12,0

Imenovitý průměr závitů Md	Průměr díry D		
	jemná	Řada střední	hrubá
12	13	13,5	14,5
14	15	15,5	16,5
16	17	17,5	18,5
18	19	20	21
20	21	22	24
22	23	24	26
24	25	26	28
27	28	30	32
30	31	33	35
33	34	36	38
36	37	39	42
39	40	42	45
42	43	45	48
45	46	48	52
48	50	52	56
52	54	56	62

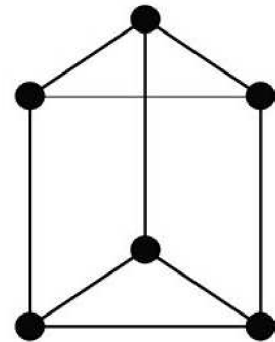
Normalizované rozměry děr pro šrouby [2]

# Příloha A5

## Objemové prvky

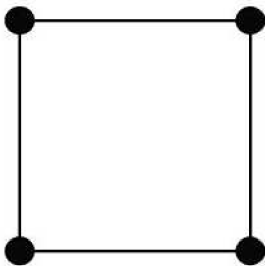


*HEX 8*

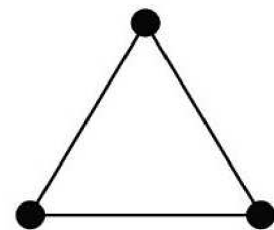


*PENTA 6*

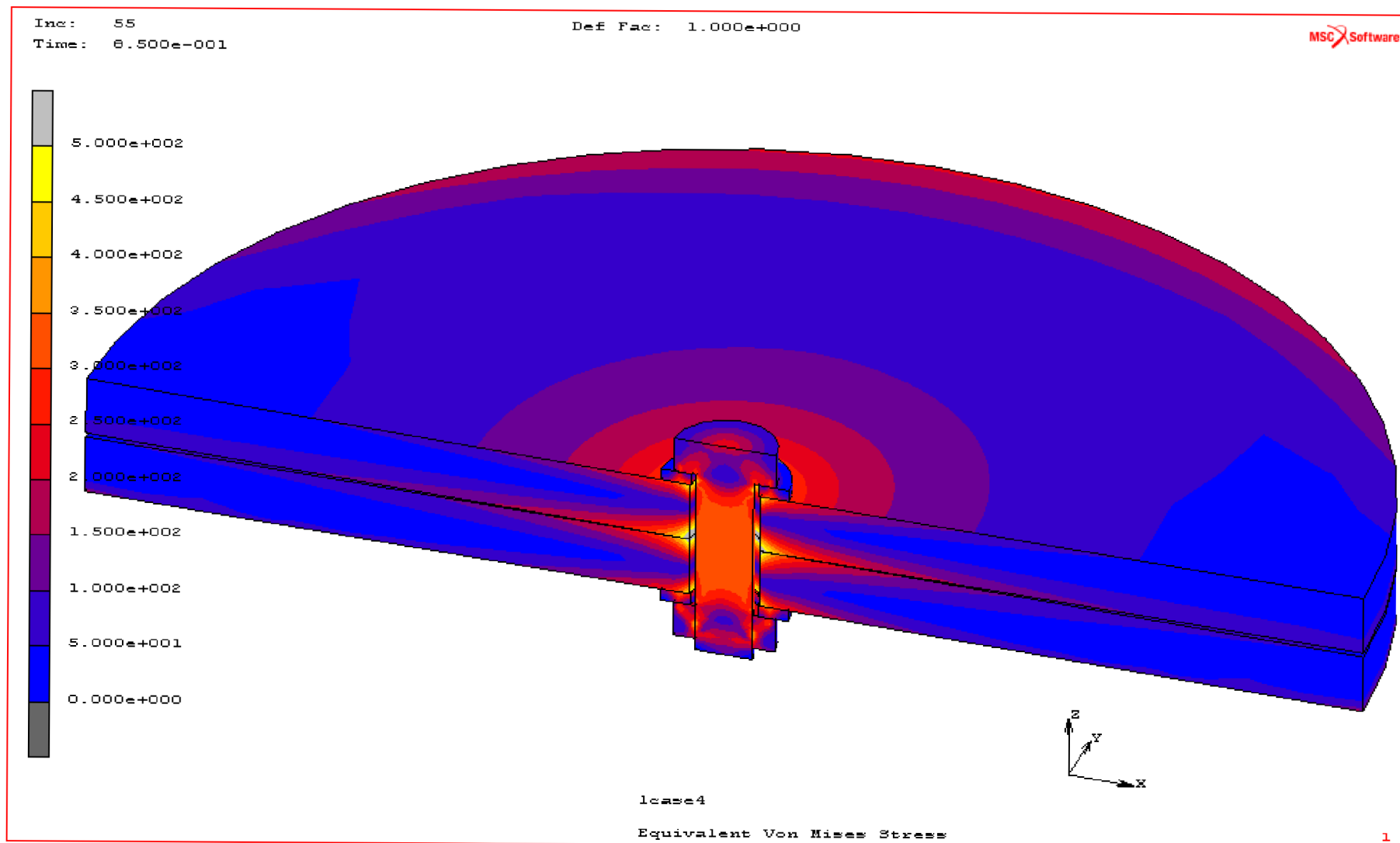
## Plošné prvky



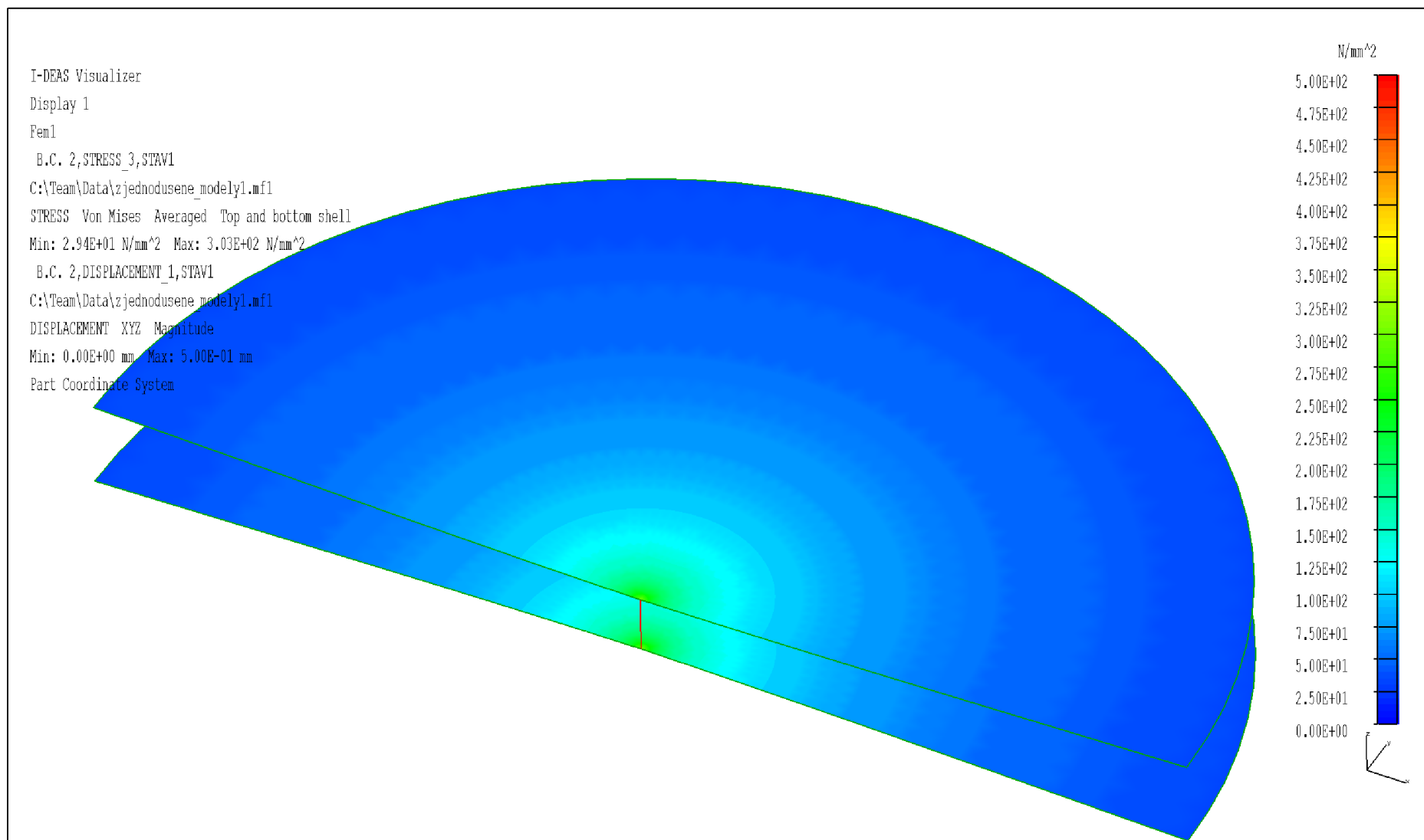
*QUAD 4*



*TRIA 3*

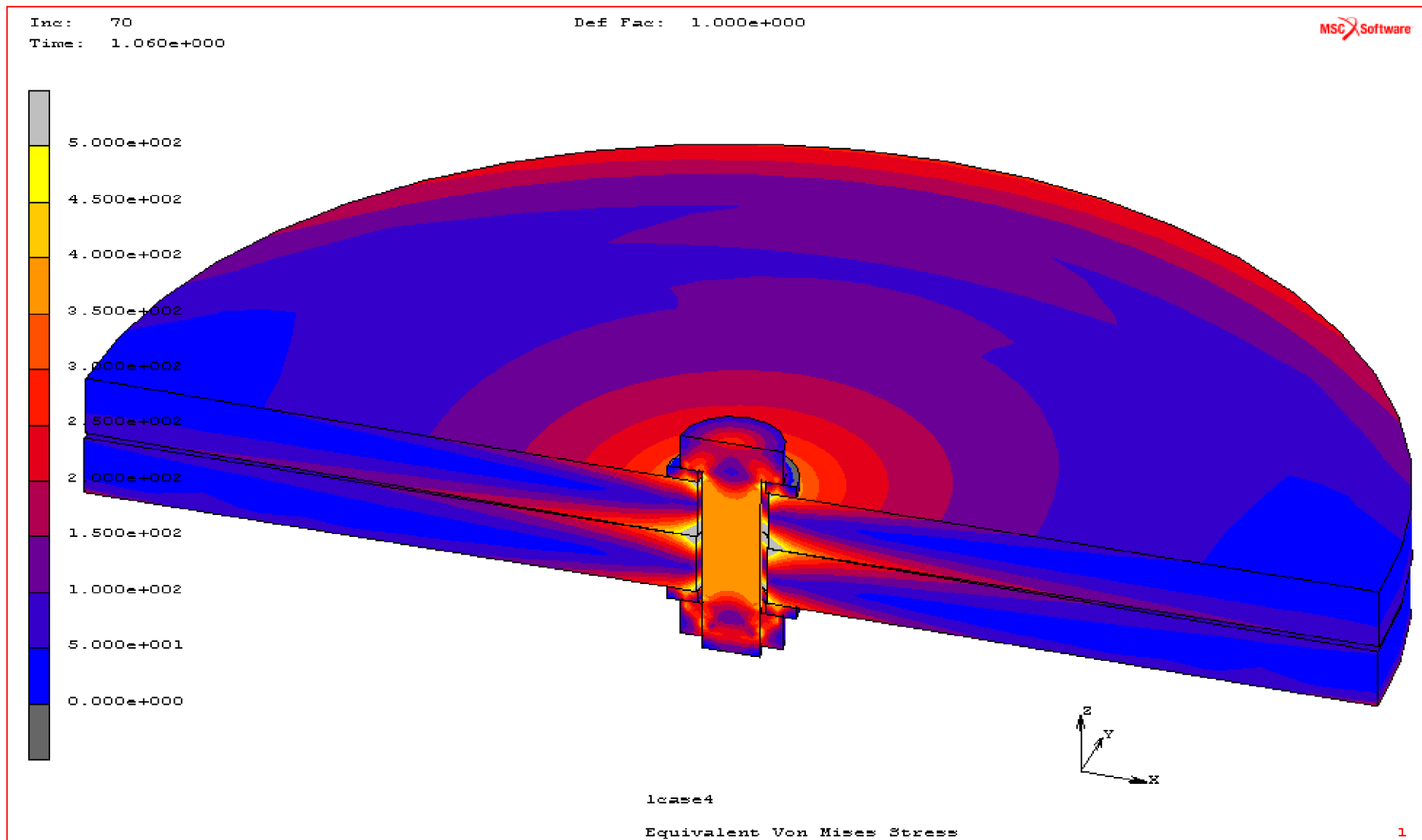


**Příloha B1-** Napjatost ve šroubovém spoji s běžným šroubem; *zobrazení: poloviční objemový model, zatěžující stav: 1. stav, srovnávací napětí: HMM, legenda: 0 – 500 MPa, extrémní napětí: 515 MPa, def. factor: 1 (deformované)*

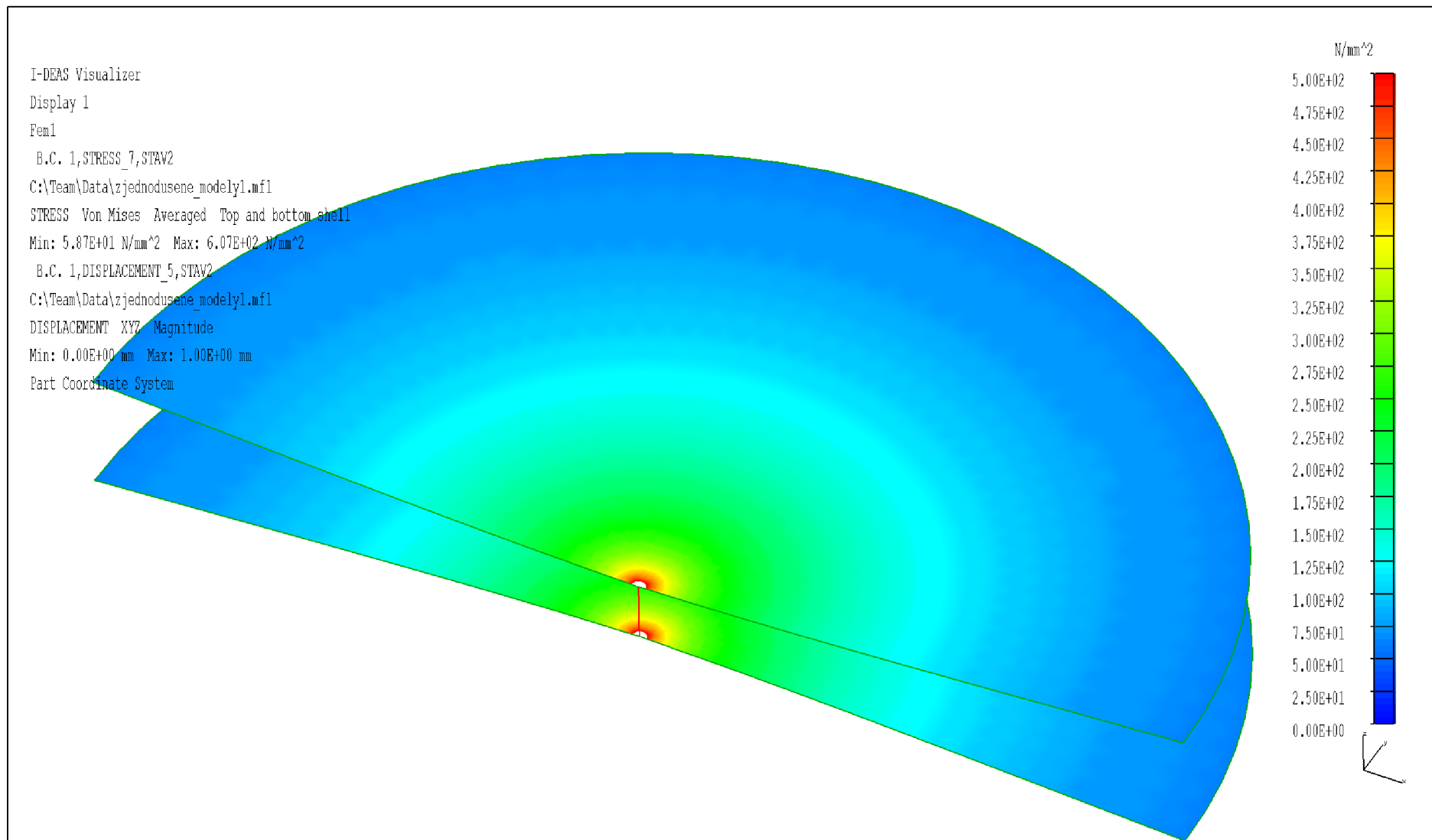


**Příloha B2** - Napjatost ve šroubovém spoji – běžný šroub; *zobrazení: poloviční skořepinový model (top and bottom shell), zatěžující stav: 1. stav, srovnávací napětí: HMH (průměrováno), legenda: 0 – 500 MPa, extrémní napětí: 303 MPa, scale factor: 10 (deformované)*

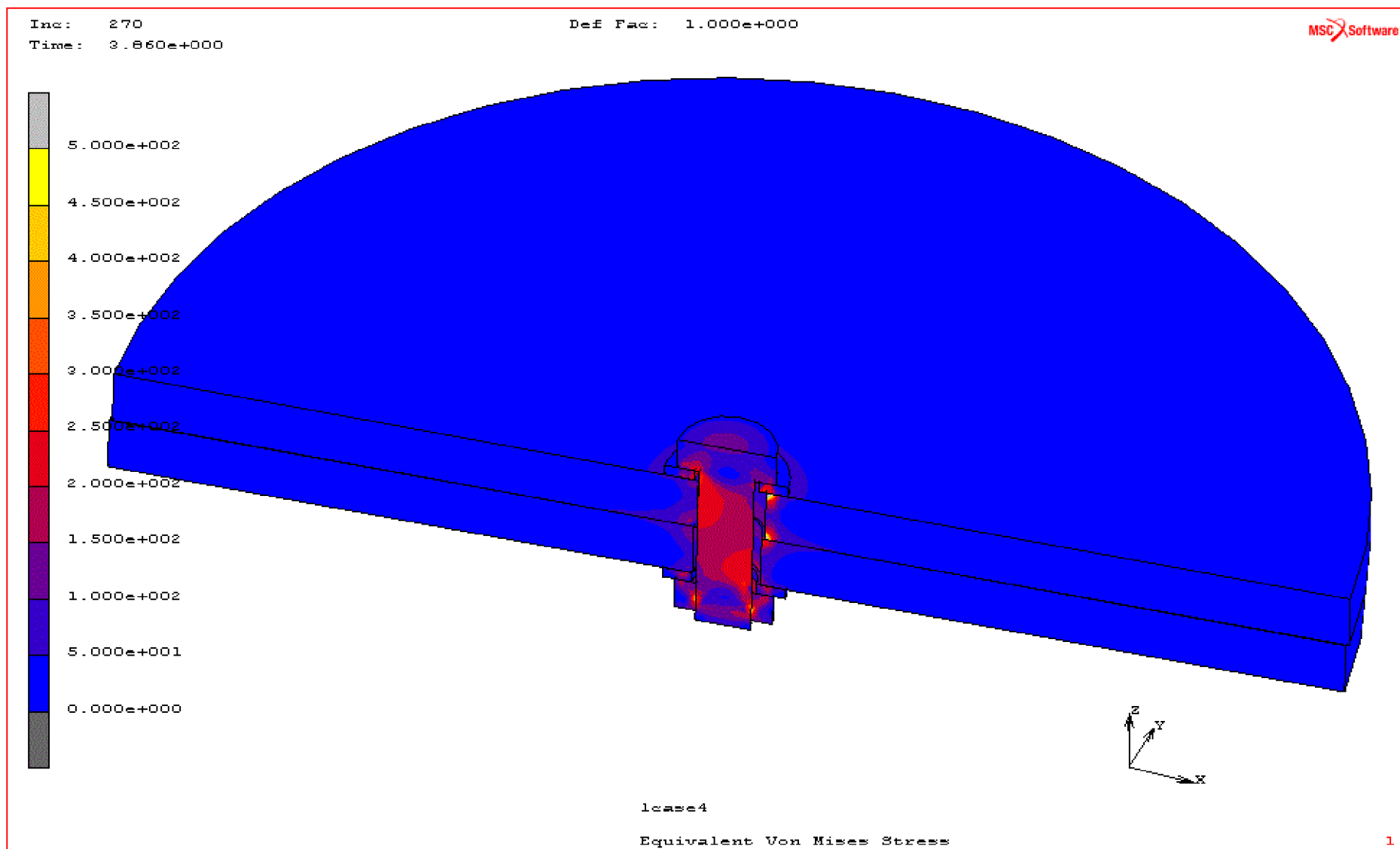




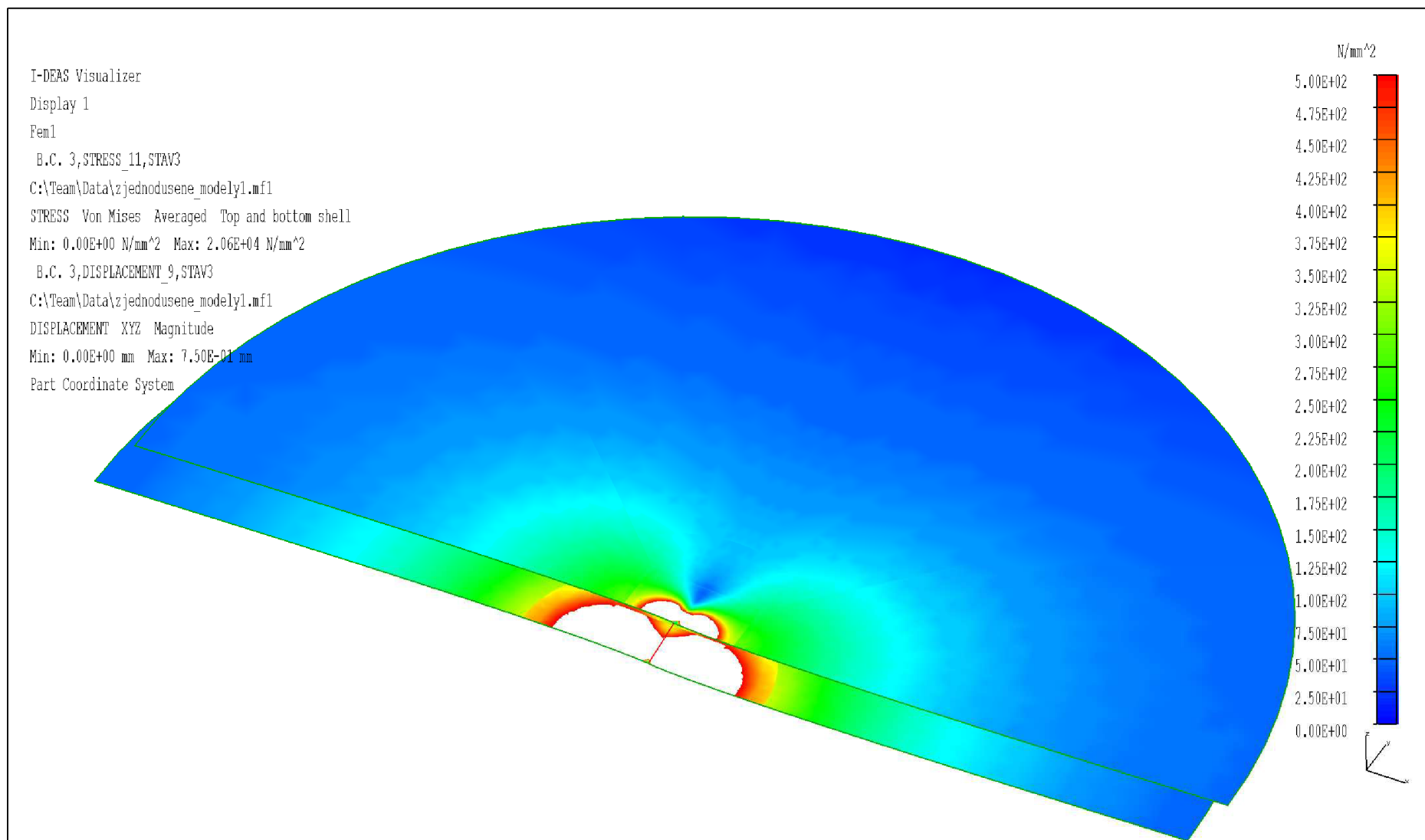
**Příloha B3** – Napjatost ve šroubovém spoji s běžným šroubem; *zobrazení: poloviční objemový model, zatěžující stav: 2. stav, srovnávací napětí: HMH, legenda: 0 – 500 MPa, extrémní napětí: 564 MPa, def. factor: 1 (deformované)*



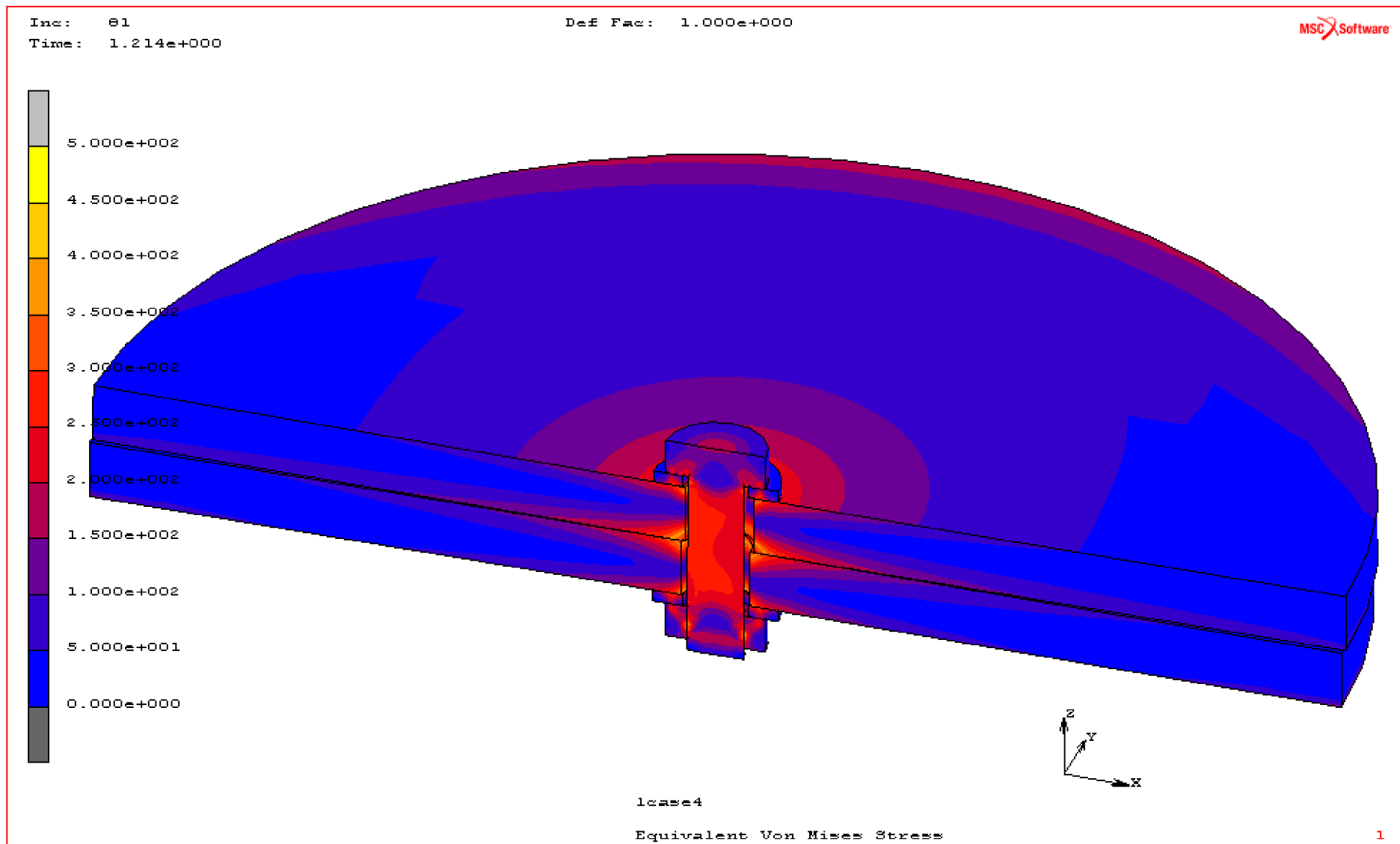
**Příloha B4** – Napjatost ve šroubovém spoji – běžný šroub; *zobrazení: poloviční skořepinový model (top and bottom shell), zatěžující stav: 2. stav, srovnávací napětí: HMH (průměrováno), legenda: 0 – 500 MPa, extrémní napětí: 607 MPa, scale factor: 10 (deformované)*



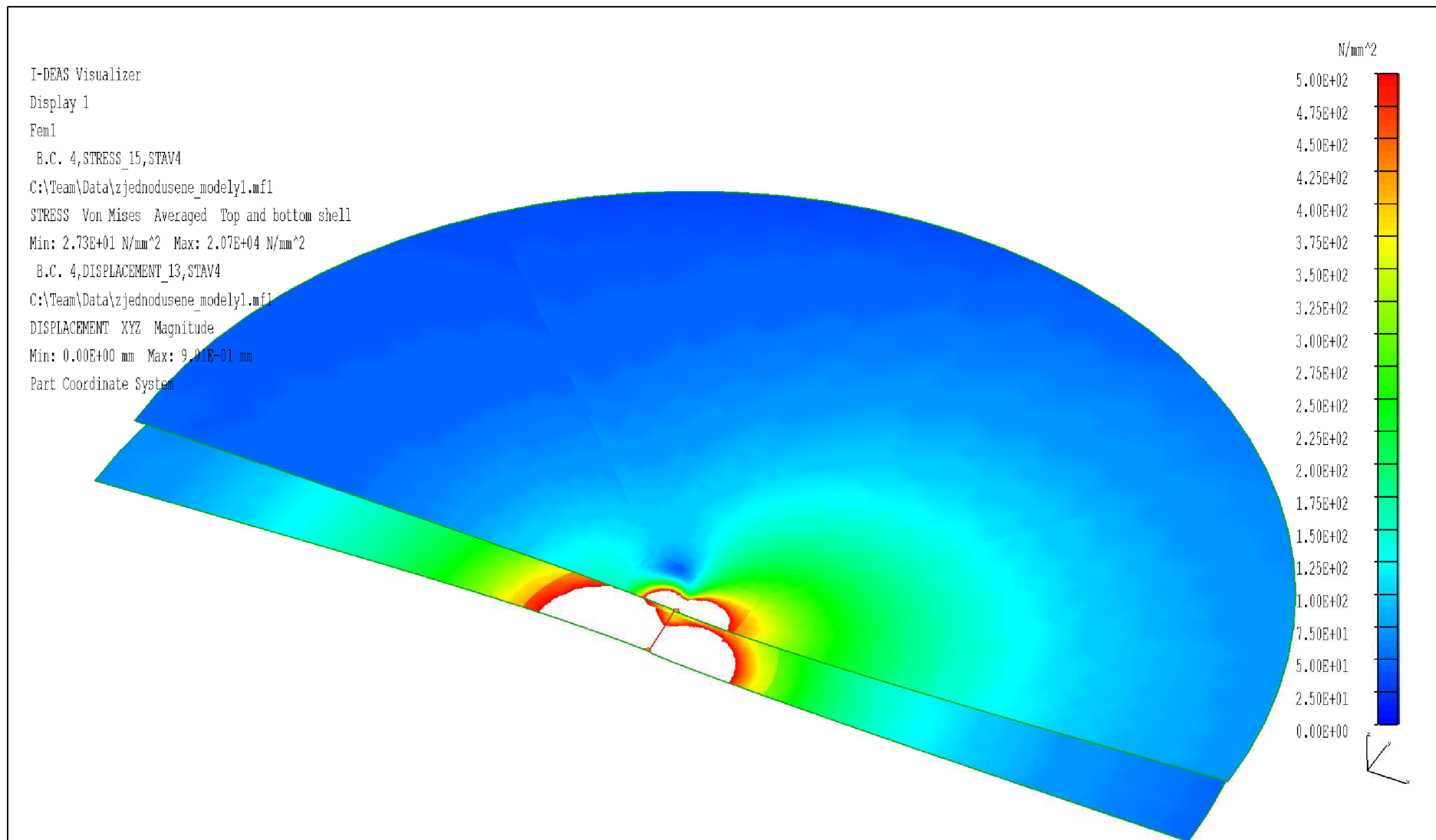
**Příloha B5** – Napjatost ve šroubovém spoji s běžným šroubem; *zobrazení: poloviční objemový model, zatěžující stav: 3. stav, srovnávací napětí: HMH, legenda: 0 – 500 MPa, extrémní napětí: 521 MPa, def. factor: 1 (deformované)*



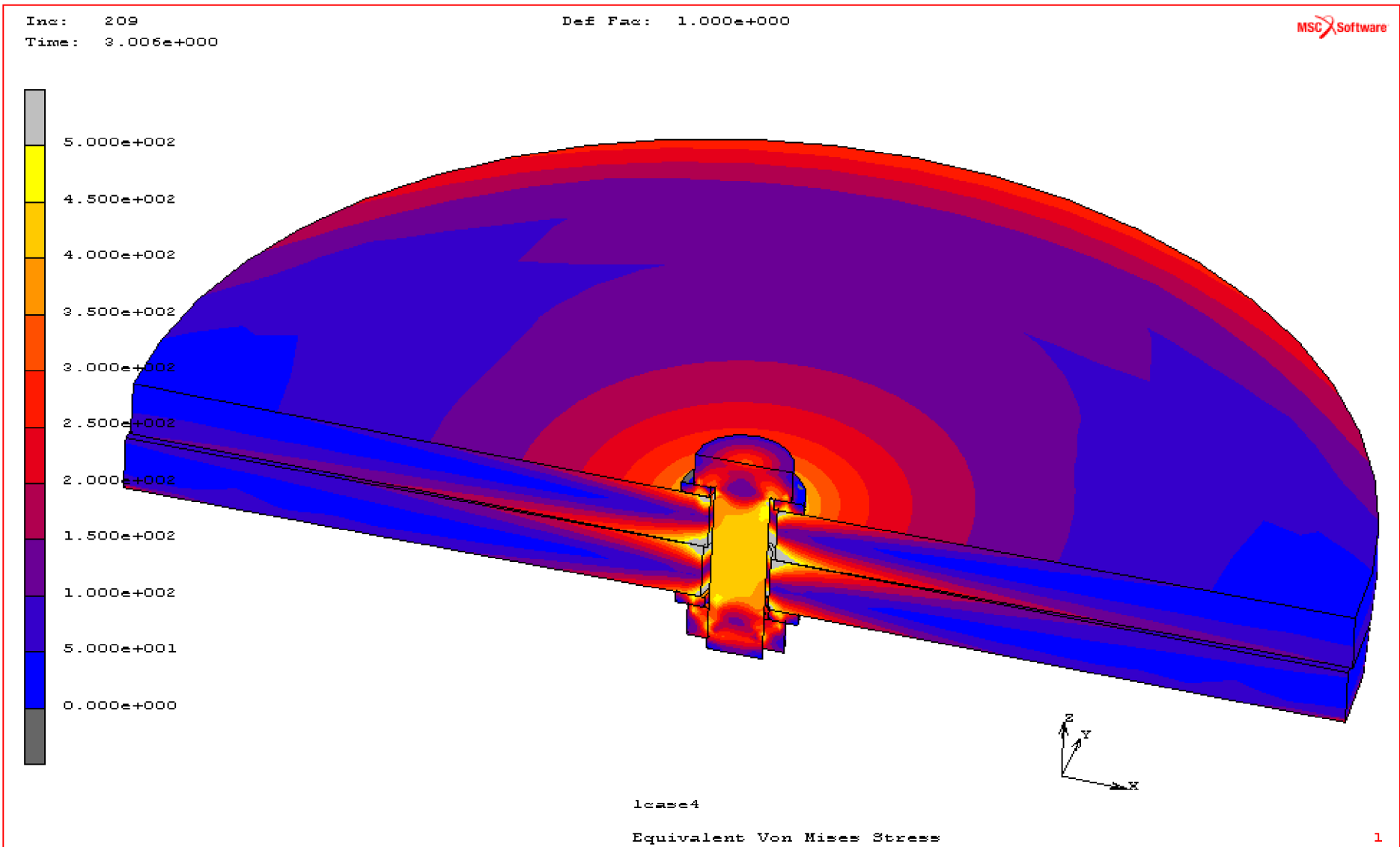
**Příloha B6** – Napjatost ve šroubovém spoji – běžný šroub; *zobrazení: poloviční skořepinový model (top and bottom shell), zatěžující stav: 3. stav, srovnávací napětí: HMH (průměrováno), legenda: 0 – 500 MPa, extrémní napětí:  $2,06 \cdot 10^4$  MPa, scale factor: 10 (deformované),*



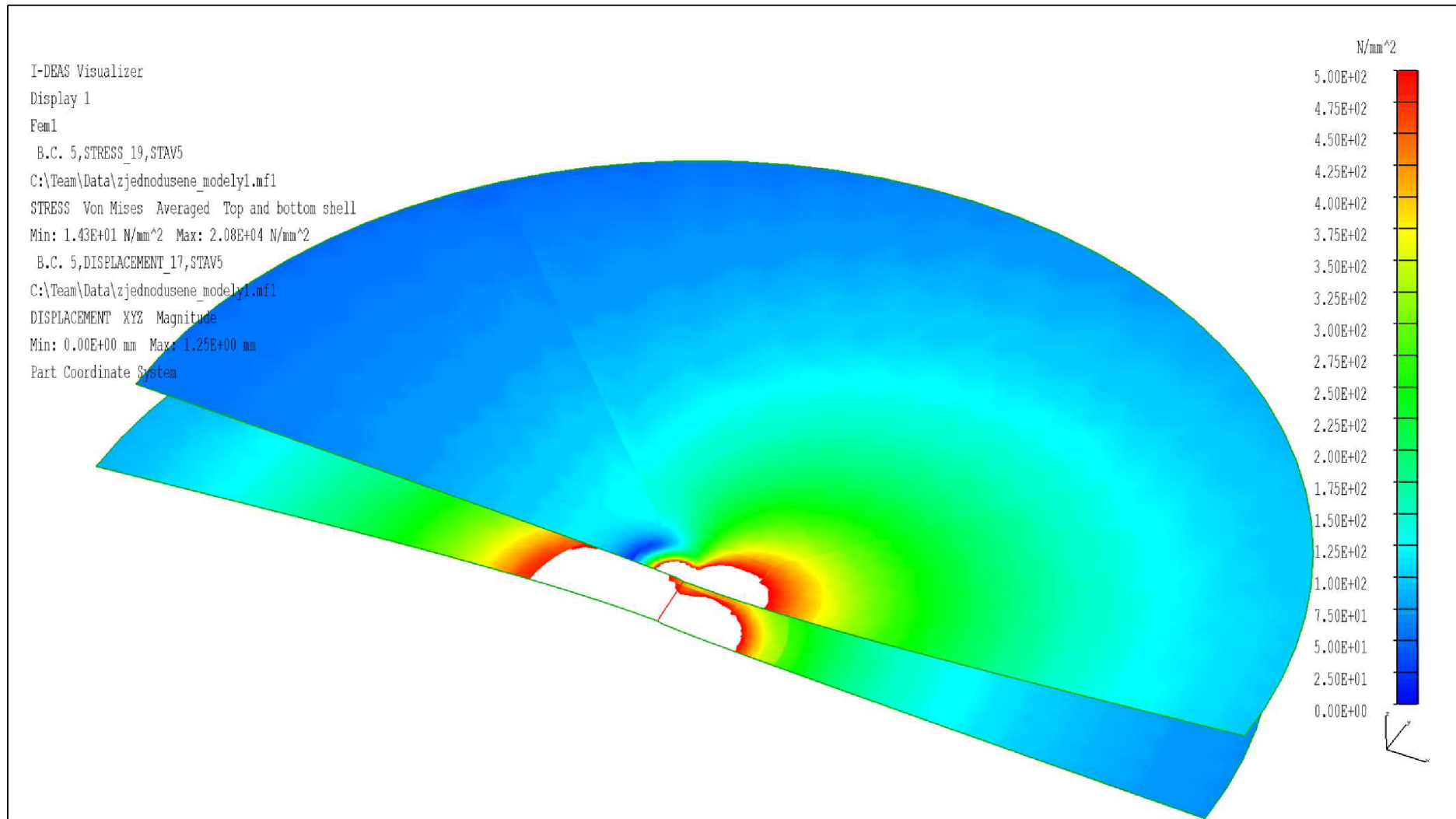
**Příloha B7** – Napjatost ve šroubovém spoji s běžným šroubem; *zobrazení: poloviční objemový model, zatěžující stav: 4. stav, srovnávací napětí: HMH, legenda: 0 – 500 MPa, extrémní napětí: 503MPa, def. factor: 1 (deformované)*



**Příloha B8** – Napjatost ve šroubovém spoji – běžný šroub; *zobrazení: poloviční skořepinový model (top and bottom shell), zatěžující stav: 4. stav, srovnávací napětí: HMH (průměrováno), legenda: 0 – 500 MPa, extrémní napětí:  $2,07 \cdot 10^4$  MPa, scale factor: 10 (deformované)*



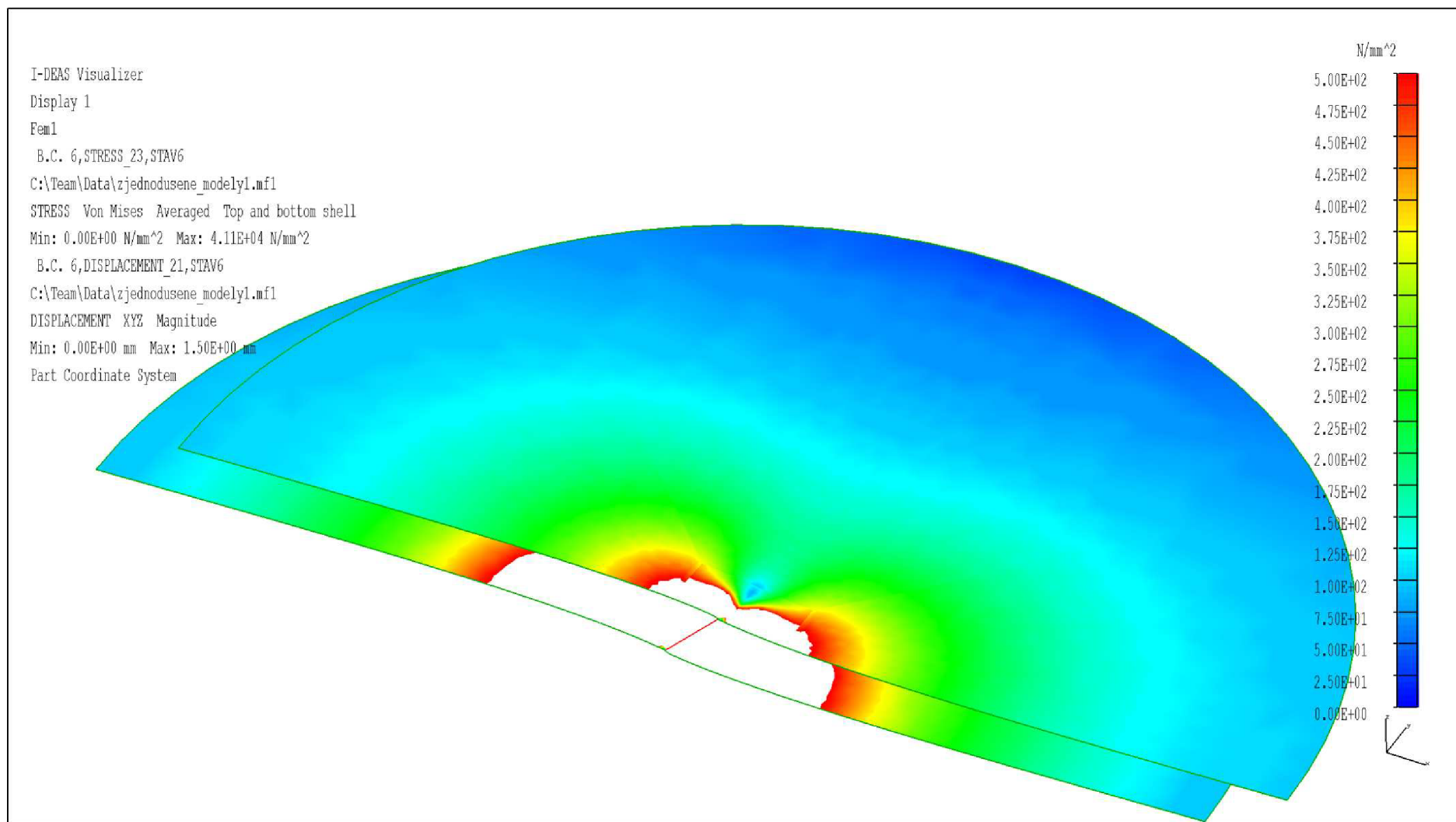
**Příloha B9** – Napjatost ve šroubovém spoji s běžným šroubem; zobrazení: poloviční objemový model, zatěžující stav: 5. stav, srovnávací napětí: HMH, legenda: 0 – 500 MPa, extrémní napětí: 552 MPa, def. factor: 1 (deformované)



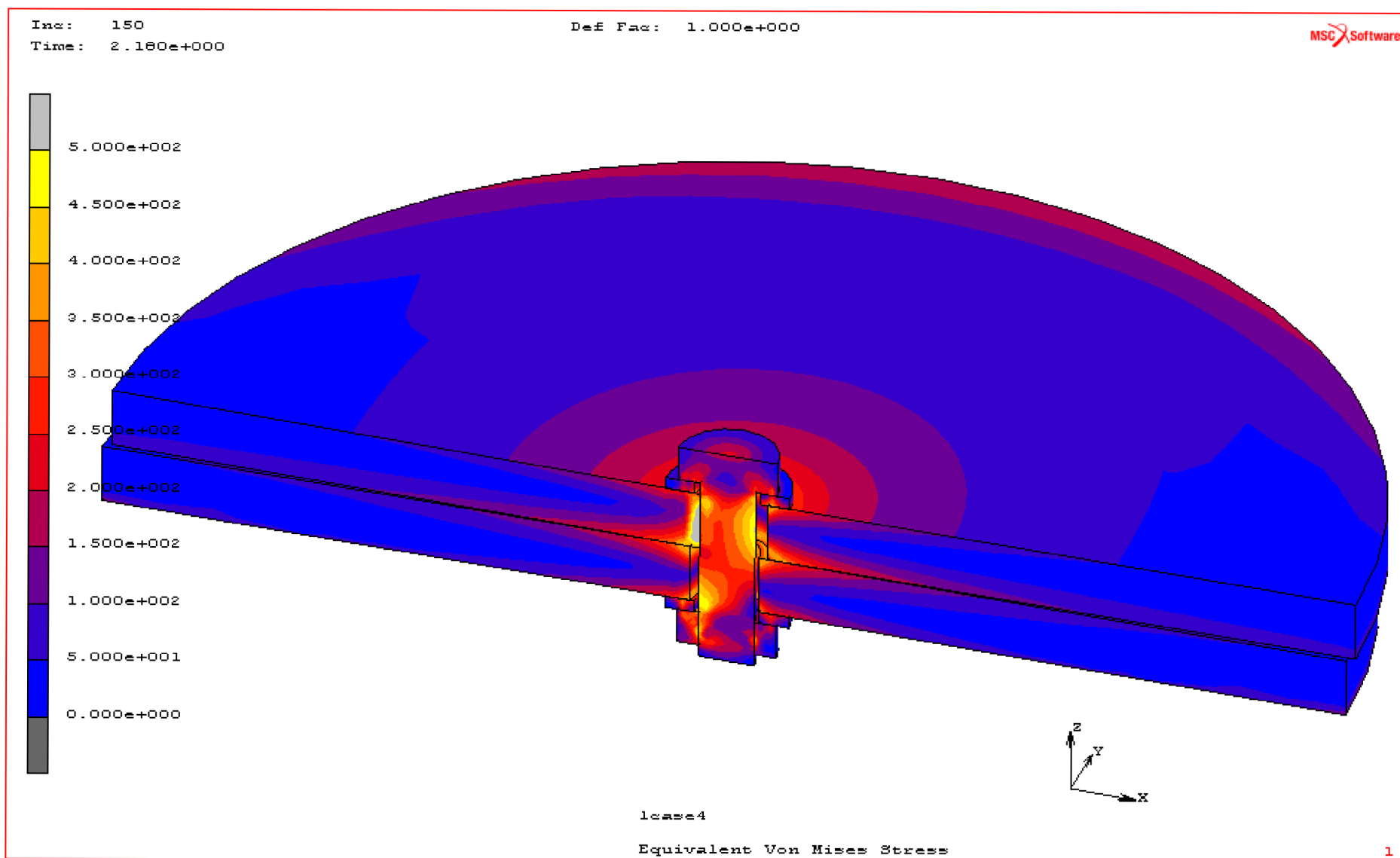
**Příloha B10** – Napjatost ve šroubovém spoji – běžný šroub; *zobrazení: poloviční skořepinový model (top and bottom shell), zatěžující stav: 5. stav, srovnávací napětí: HMM (průměrováno), legenda: 0 – 500 MPa, extrémní napětí:  $2,08 \cdot 10^4$  MPa, scale factor: 10 (deformované)*



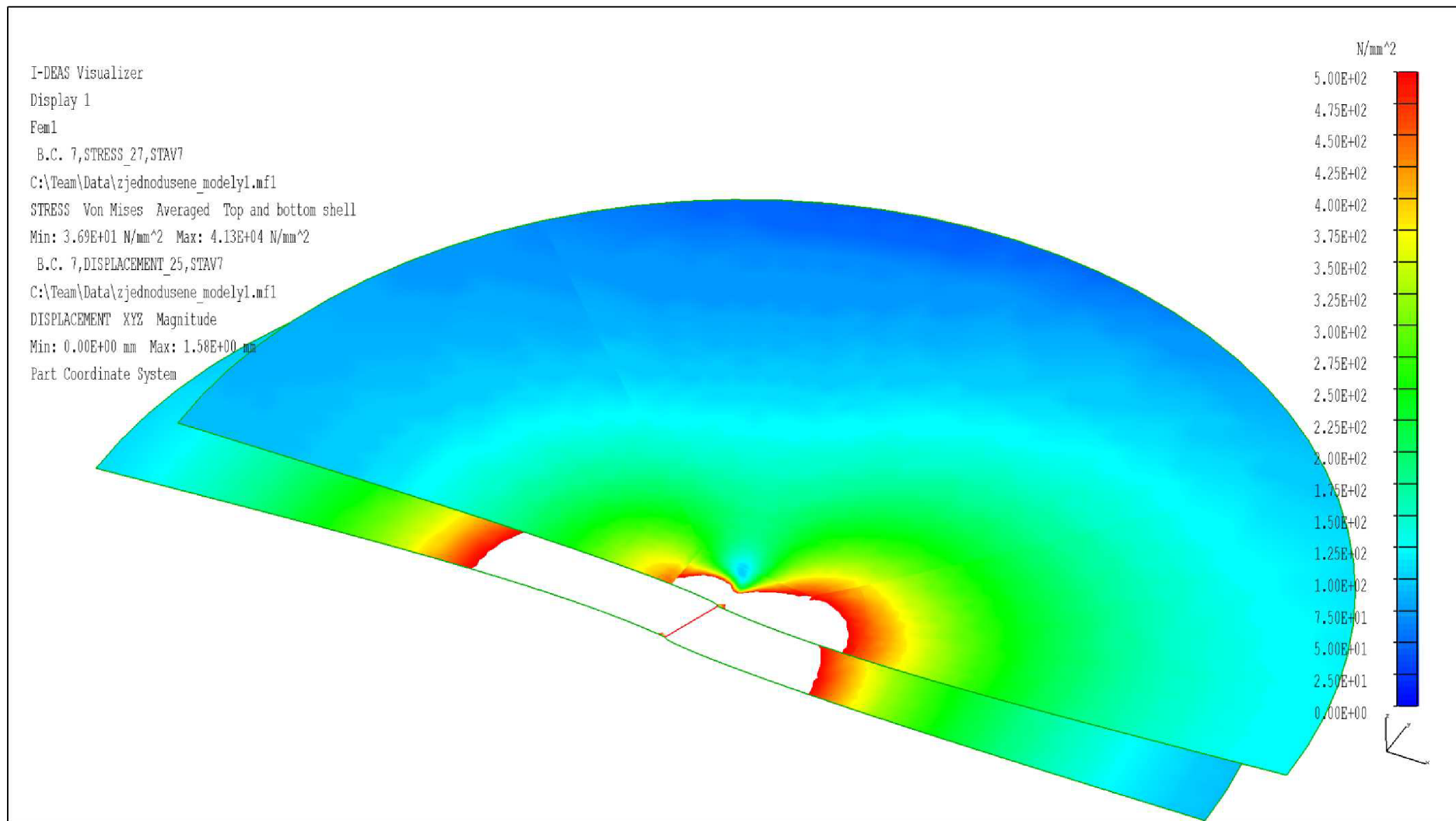




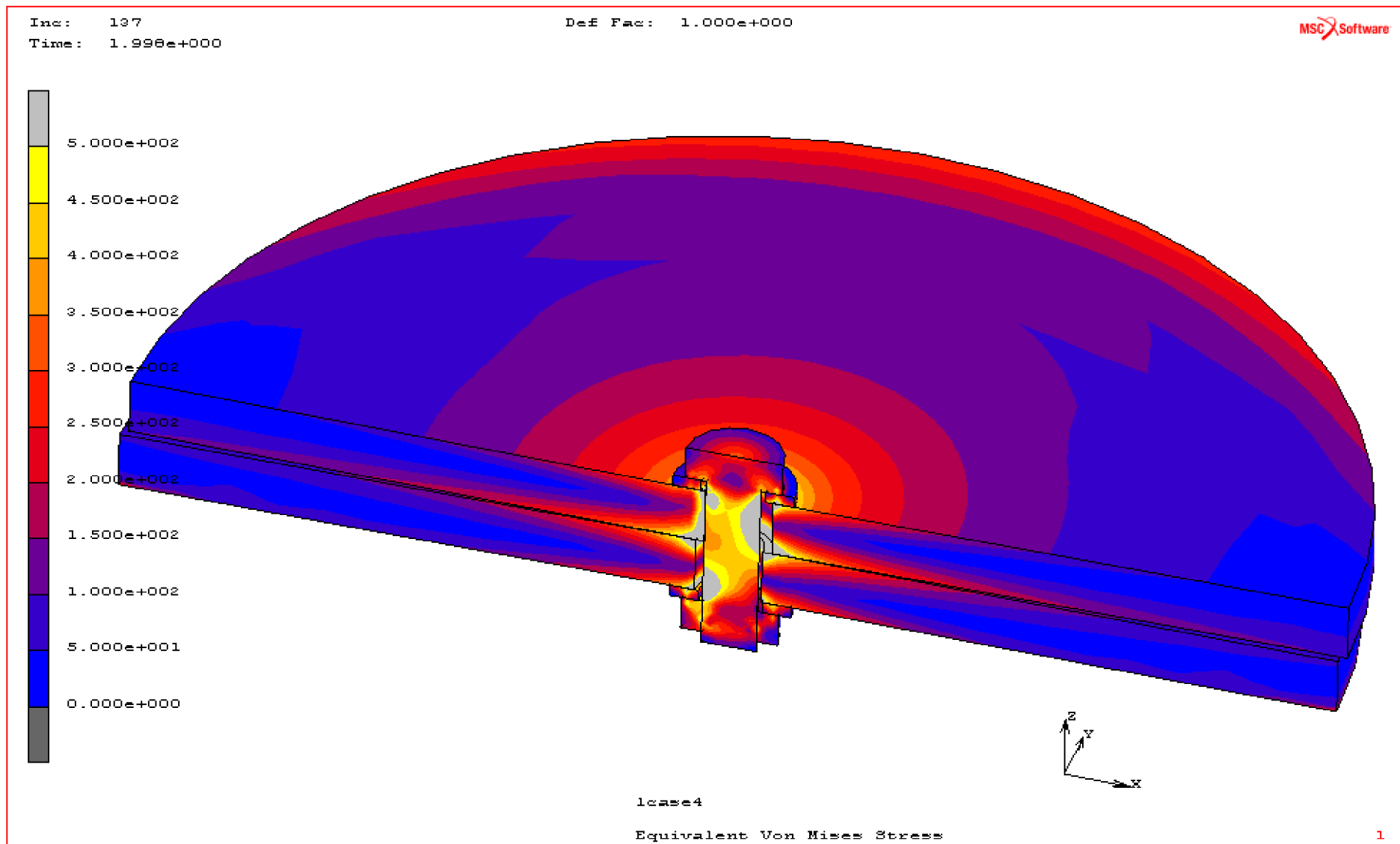
**Příloha B12** – Napjatost ve šroubovém spoji – běžný šroub; *zobrazení: poloviční skořepinový model (top and bottom shell), zatěžující stav: 6. stav, srovnávací napětí: HMH (průměrováno), legenda: 0 – 500 MPa, extrémní napětí:  $4,11 \cdot 10^4$  MPa, scale factor: 10 (deformované)*



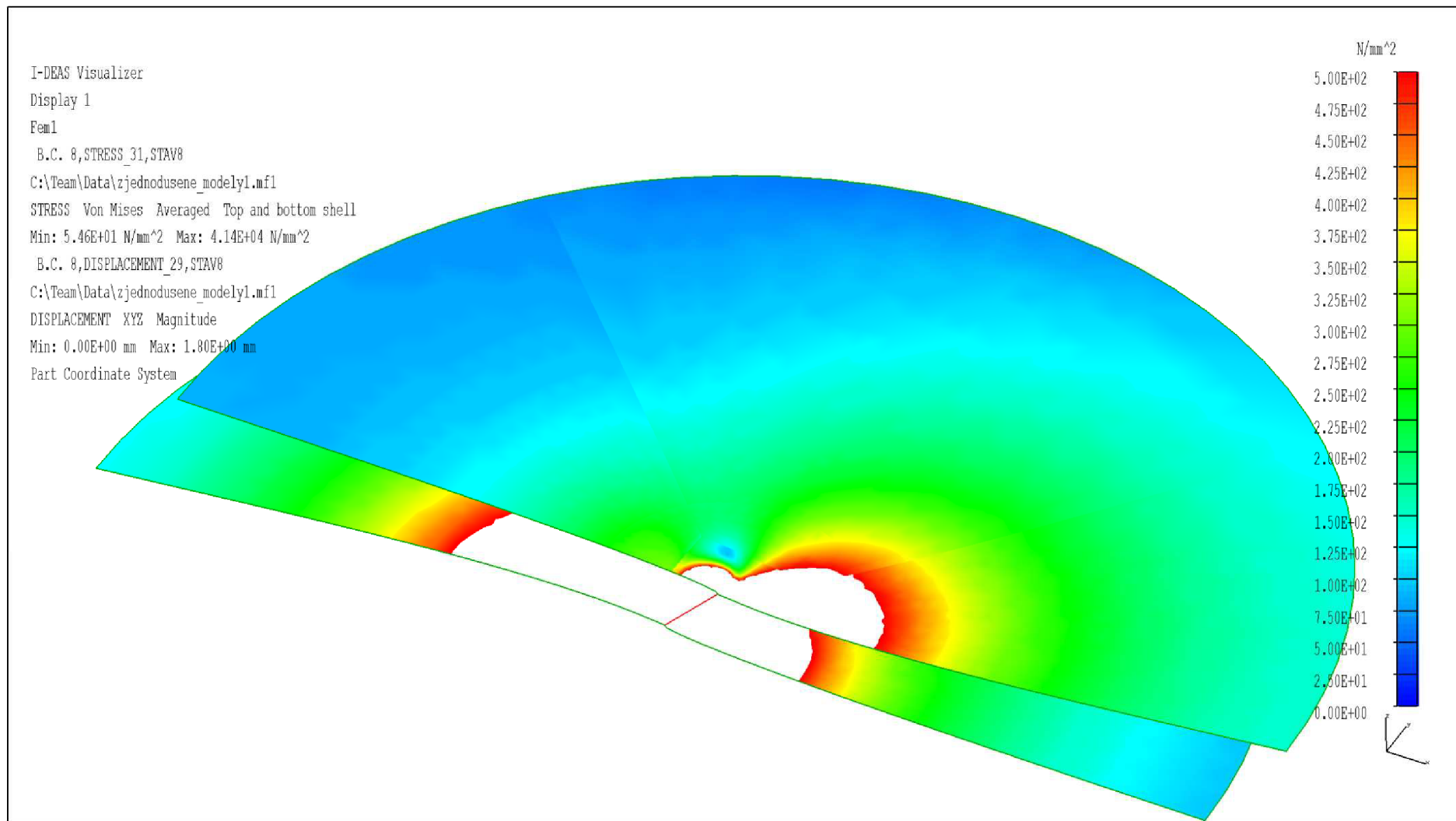
**Příloha B13** – Napjatost ve šroubovém spoji s běžným šroubem; *zobrazení: poloviční objemový model, zatěžující stav: 7. stav, srovnávací napětí: HMH, legenda: 0 – 500 MPa, extrémní napětí: 568 MPa, def. factor: 1 (deformované)*



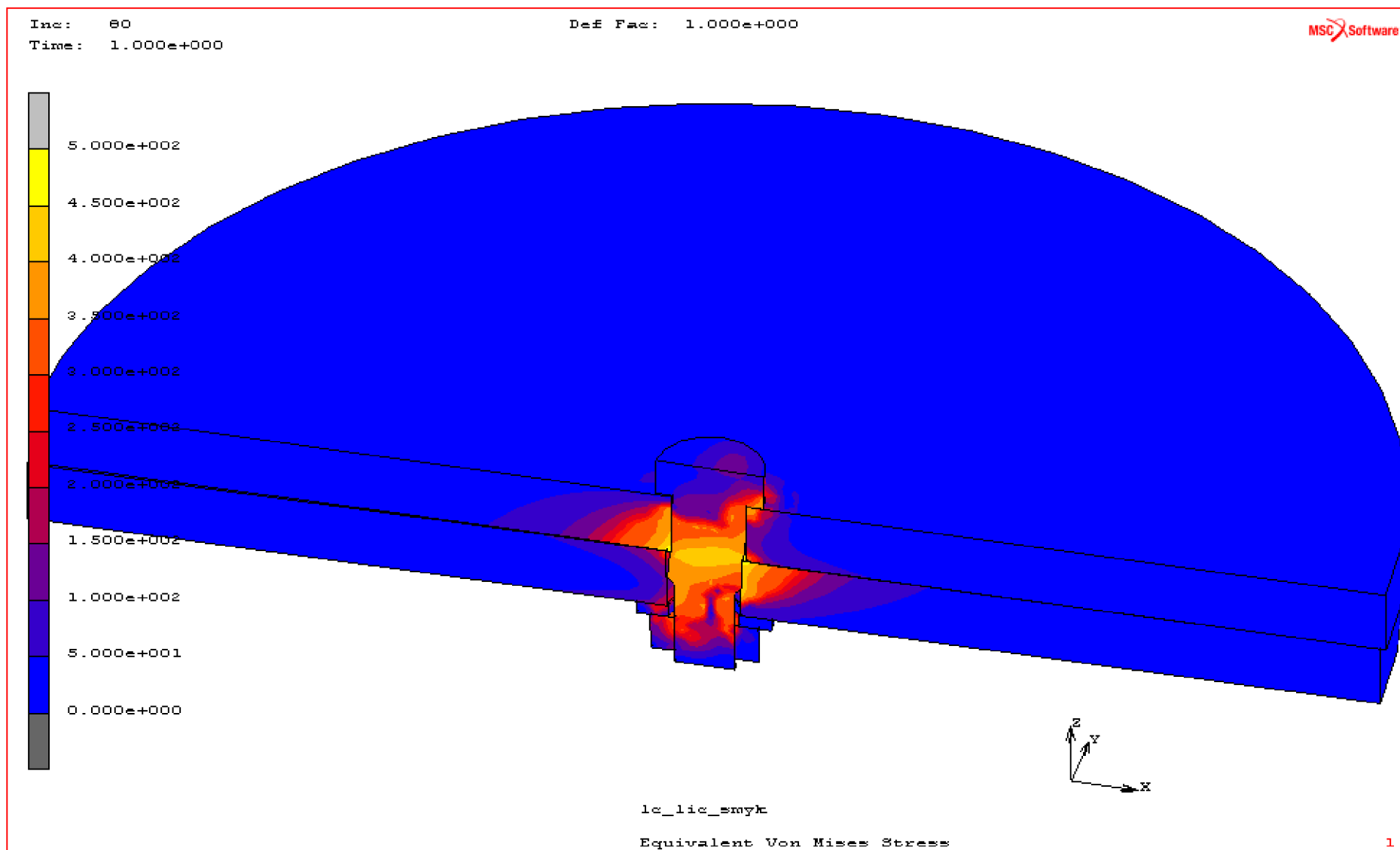
**Příloha B14** – Napjatost ve šroubovém spoji – běžný šroub; *zobrazení: poloviční skořepinový model (top and bottom shell), zatěžující stav: 7. stav, srovnávací napětí: HMM (průměrováno), legenda: 0 – 500 MPa, extrémní napětí: 4,13.10<sup>4</sup> MPa, scale factor: 10 (deformované),*



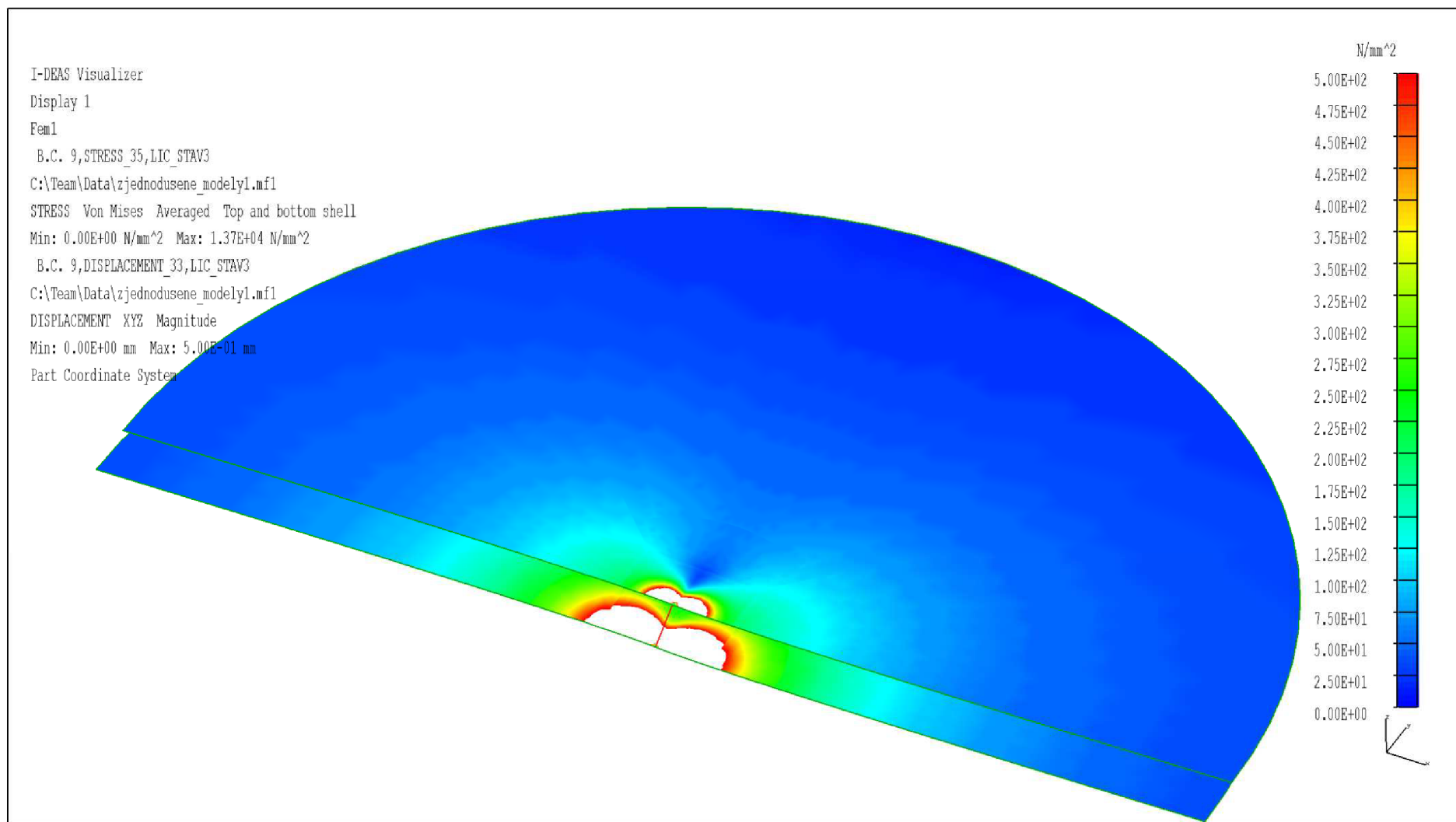
**Příloha B15** – Napjatost ve šroubovém spoji s běžným šroubem; *zobrazení: poloviční objemový model, zatěžující stav: 8. stav, srovnávací napětí: HMH, legenda: 0 – 500 MPa, extrémní napětí: 593 MPa, def. factor: 1 (deformované)*



**Příloha B16** – Napjatost ve šroubovém spoji – běžný šroub; *zobrazení: poloviční skořepinový model (top and bottom shell), zatěžující stav: 8. stav, srovnávací napětí: HMH (průměrováno), legenda: 0 – 500 MPa, extrémní napětí: 4,14.10<sup>4</sup> MPa, scale factor: 10 (deformované)*

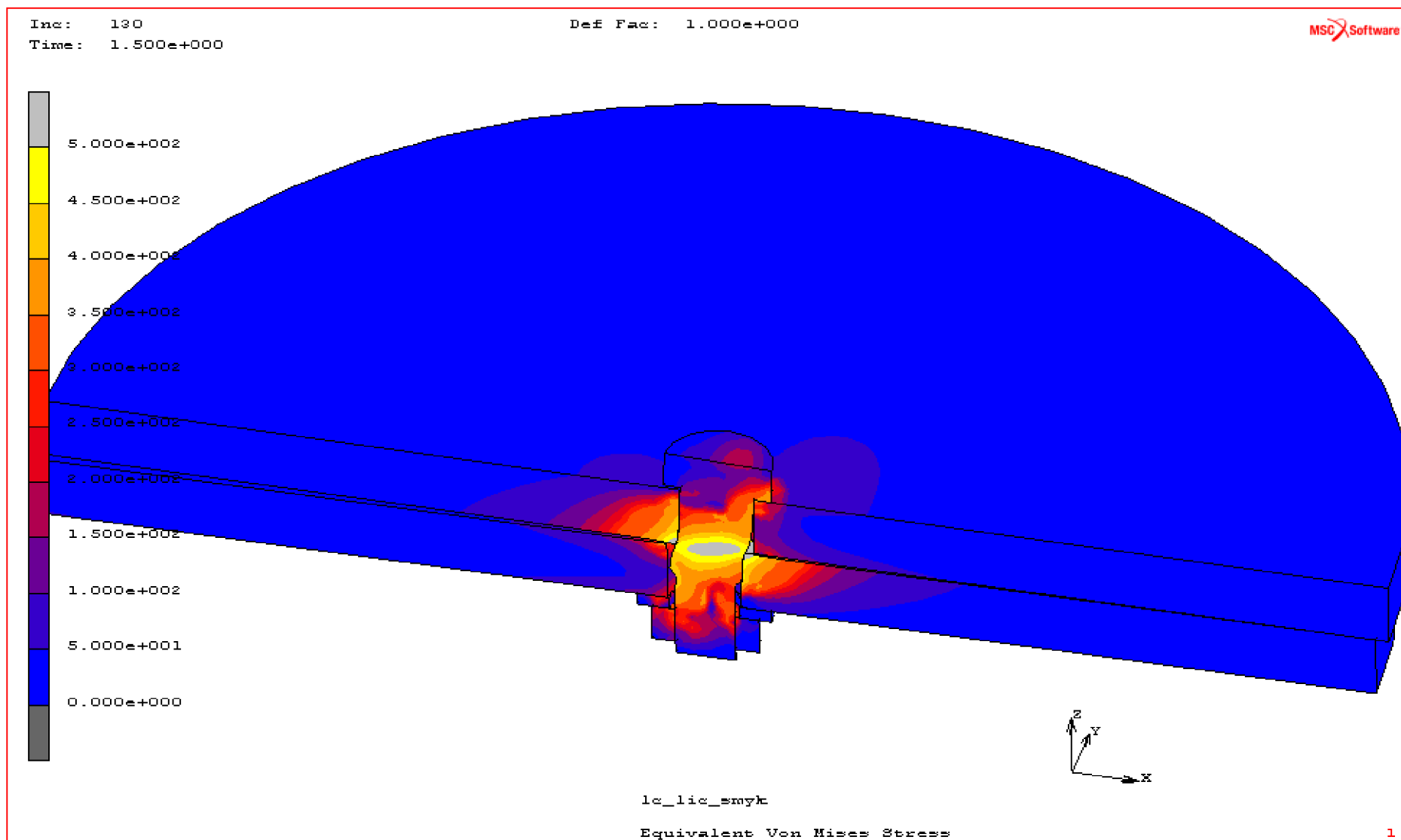


**Příloha B17** – Napjatost ve šroubovém spoji s lícovaným šroubem; *zobrazení: poloviční objemový model, zatěžující stav: 3. stav, srovnávací napětí: HMH, legenda: 0 – 500 MPa, extrémní napětí: 463 MPa, def. factor: 1 (deformované)*

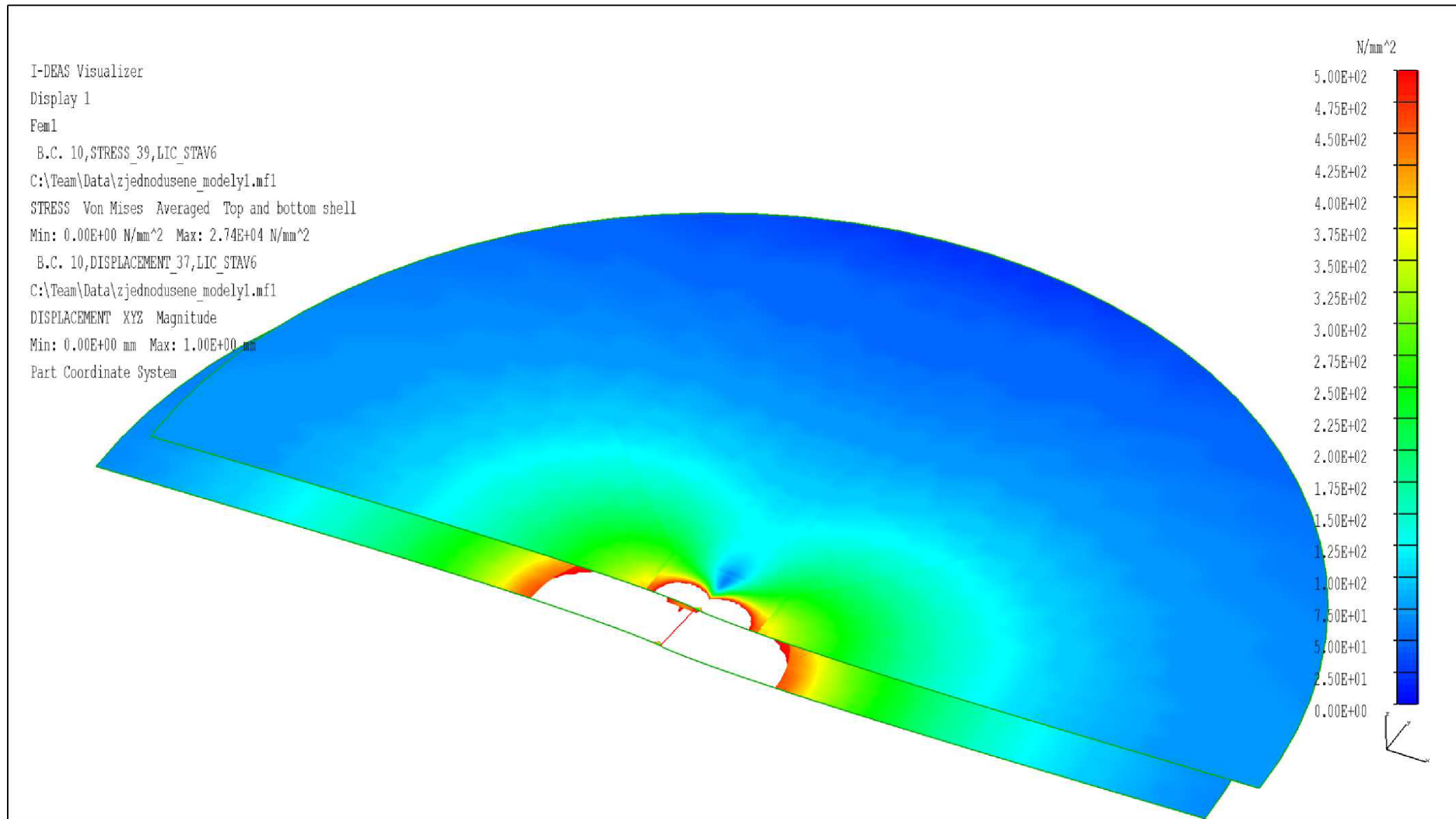


**Příloha B18** – Napjatost ve šroubovém spoji – lícovaný šroub; *zobrazení: poloviční skořepinový model (top and bottom shell), zatěžující stav: 3. stav, srovnávací napětí: HMM (průměrováno), legenda: 0 – 500 MPa, extrémní napětí:  $1,37 \cdot 10^4$  MPa, scale factor: 10 (deformované)*

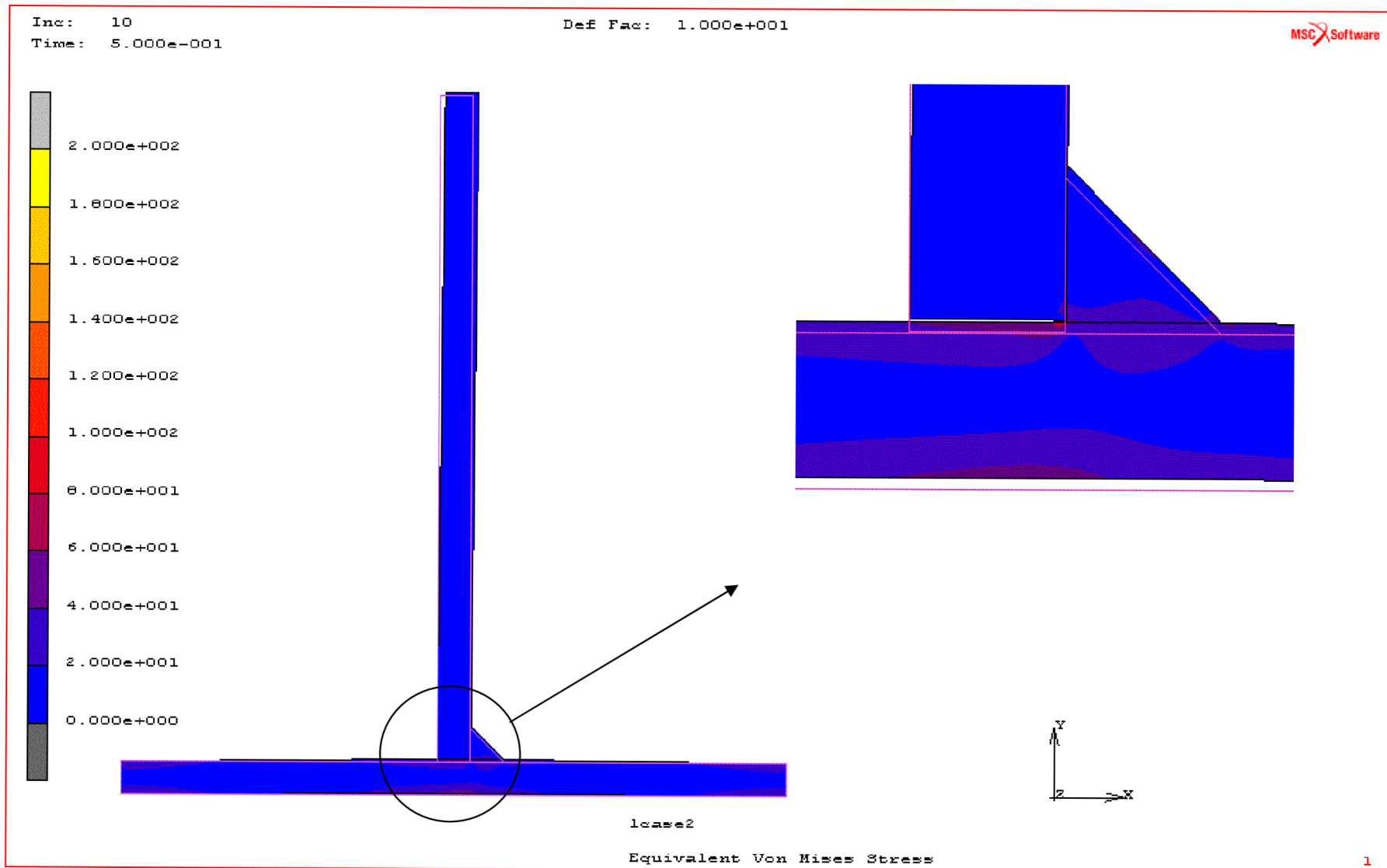




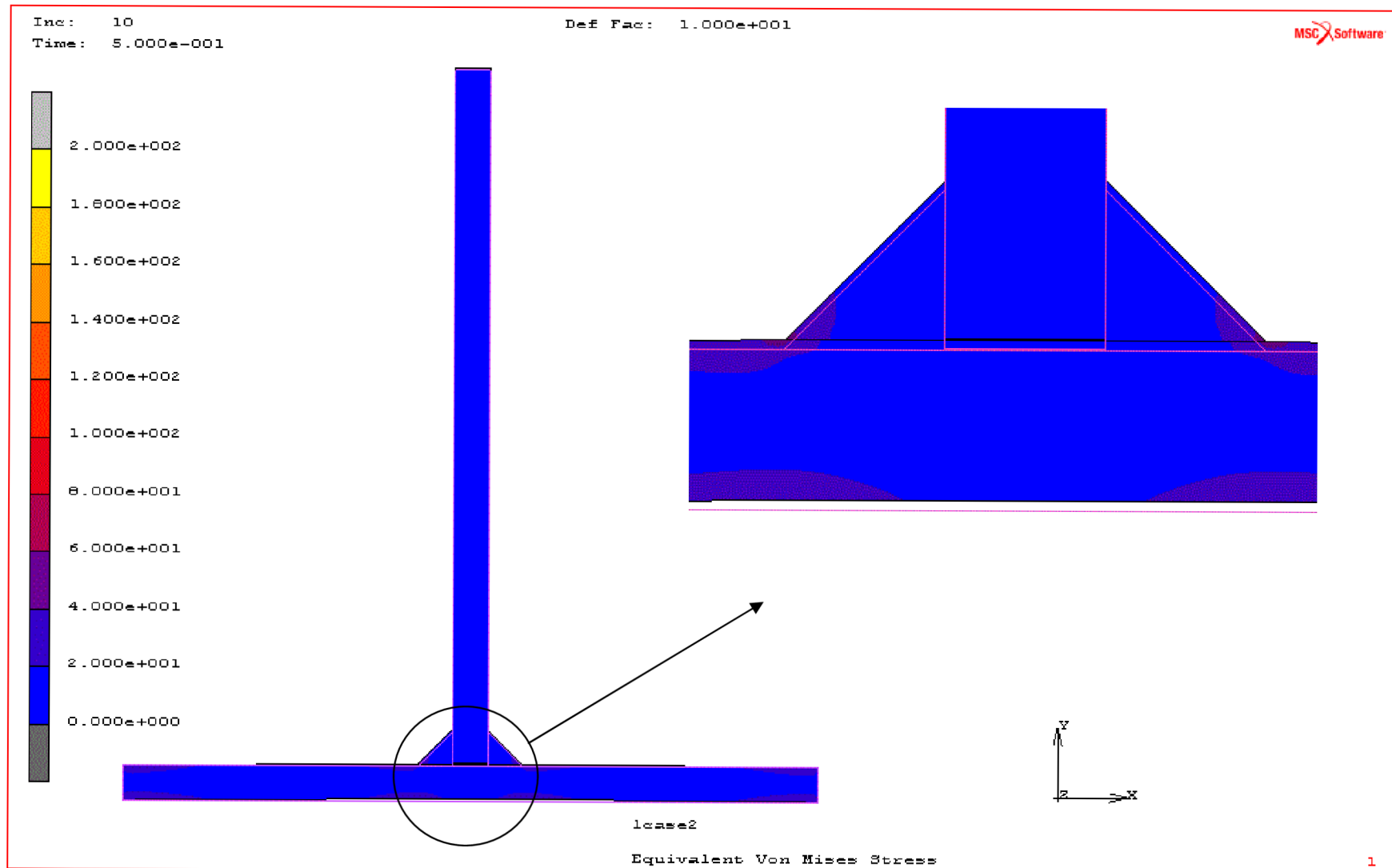
**Příloha B19** – Napjatost ve šroubovém spoji s lícovaným šroubem; *zobrazení: poloviční objemový model, zatěžující stav: 6. stav, srovnávací napětí: HMH, legenda: 0 – 500 MPa, extrémní napětí: 601 MPa, def. factor: 1 (deformované)*



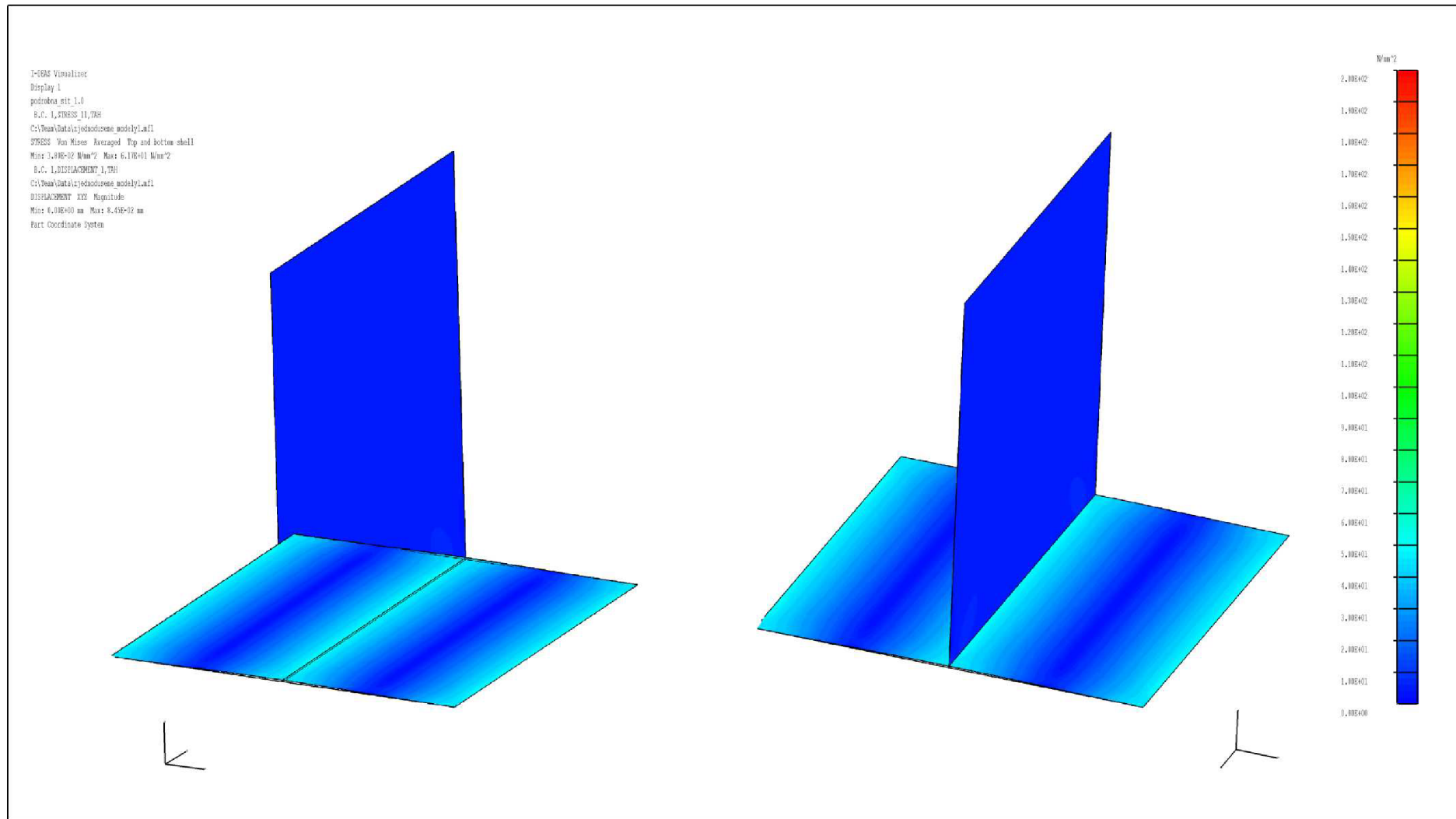
**Příloha B20** – Napjatost ve šroubovém spoji – běžný šroub; *zobrazení: poloviční skořepinový model (top and bottom shell), zatěžující stav: 6. stav, srovnávací napětí: HMH (průměrováno), legenda: 0 – 500 MPa, extrémní napětí:  $2,74 \cdot 10^4$  MPa, scale factor: 10 (deformované)*



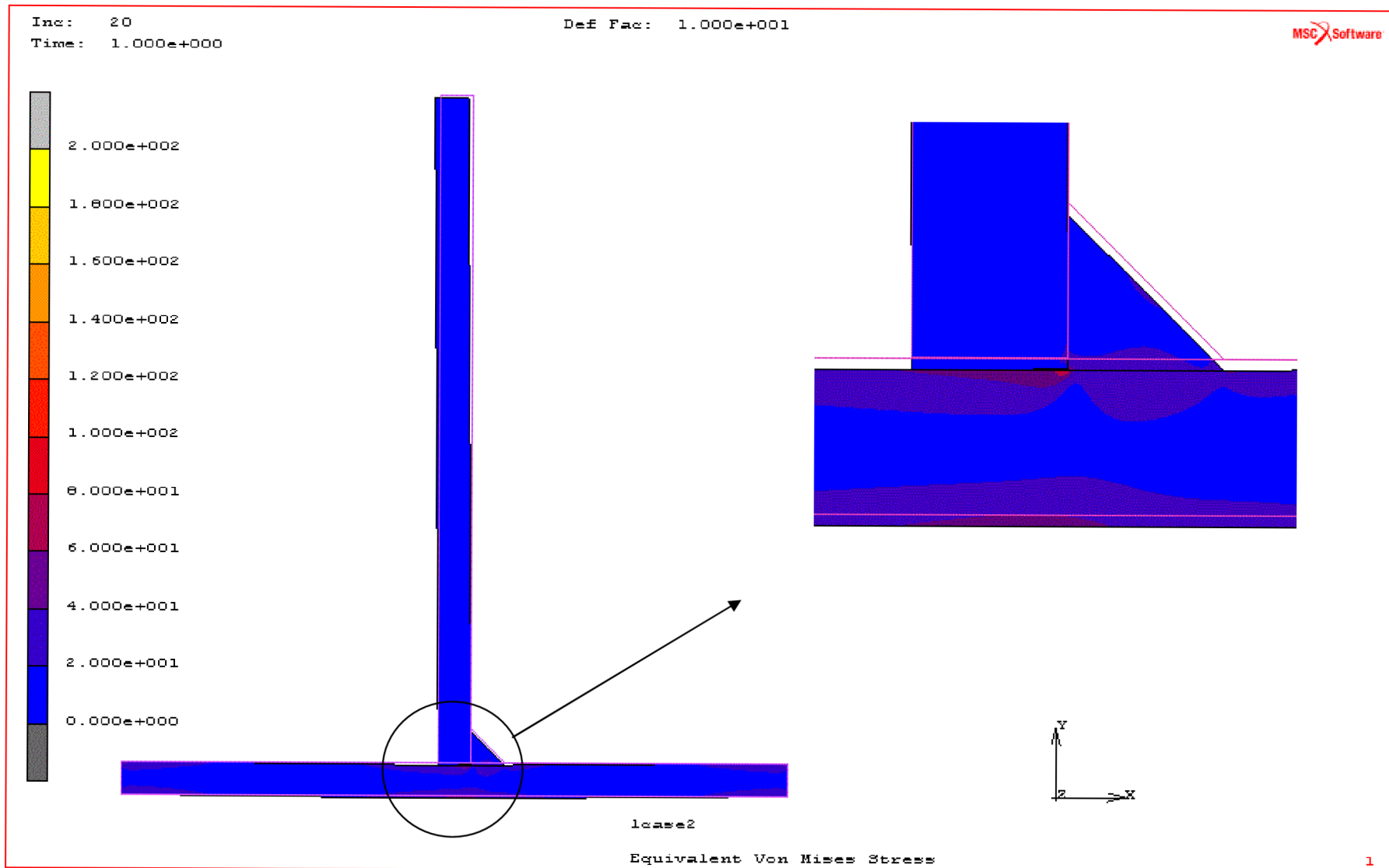
**Příloha B21** – Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) - jednostranný koutový svar; *zobrazení: řez 2D – rovina xy, zatěžující stav: 1. stav, srovnávací napětí: HMM, legenda: 0 – 200 MPa, extrémní napětí: 84 MPa, maximální deformace: 0,18 mm def. factor: 10 (deformované)*



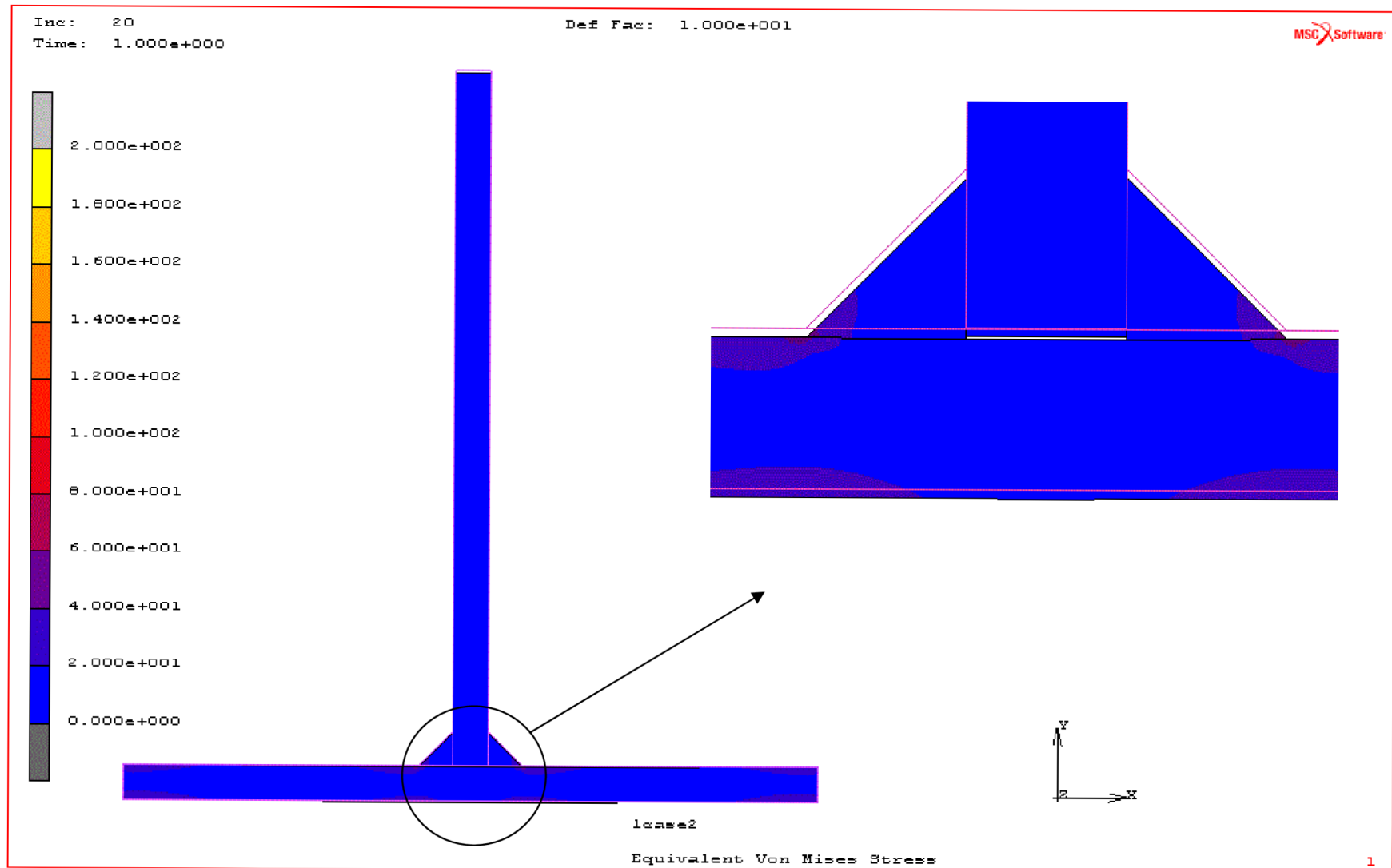
**Příloha B22** – Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) - oboustranný koutový svar; zobrazení: řez 2D – rovina xy, zatěžující stav: 1. stav, srovnávací napětí: **HMH**, legenda: **0 – 200 MPa**, extrémní napětí: **62 MPa**, maximální deformace: **0,062 mm** def. factor: **10** (deformované)



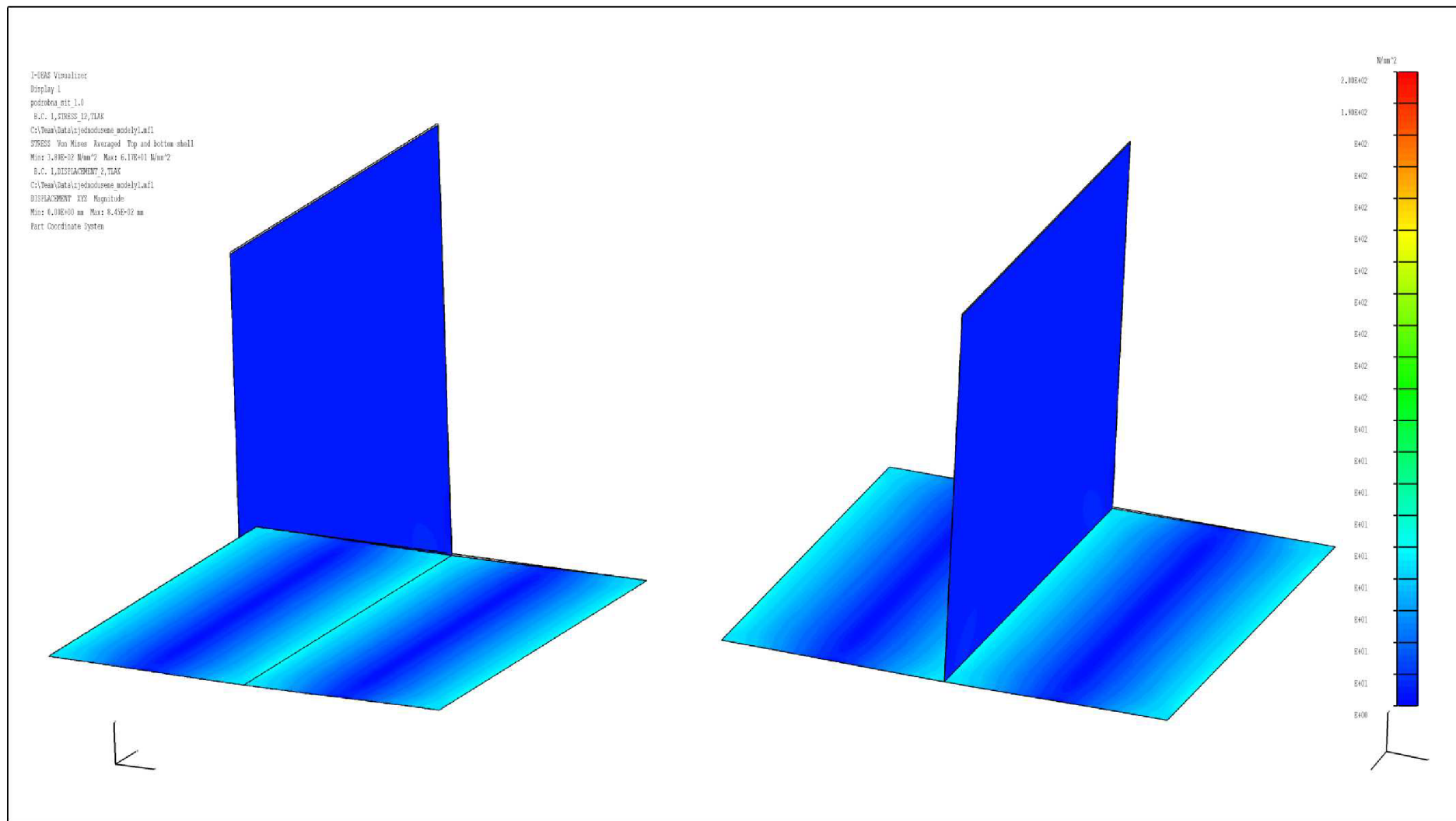
**Příloha B23** – Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) - skořepina; *zobrazení: skořepinový model (top and bottom shell), zatěžující stav: 1. stav, srovnávací napětí: HMH (průměrováno), legenda: 0 – 200 MPa, extrémní napětí: 61,7 MPa, maximální deformace: 0,08 mm, scale factor: 10 (deformované)*



**Příloha B24** – Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) - jednostranný koutový svar; *zobrazení: řez 2D – rovina xy, zatěžující stav: 2. stav, srovnávací napětí: HMH, legenda: 0 – 200 MPa, extrémní napětí: 84 MPa, maximální deformace: 0,18 mm def. factor: 10 (deformované)*

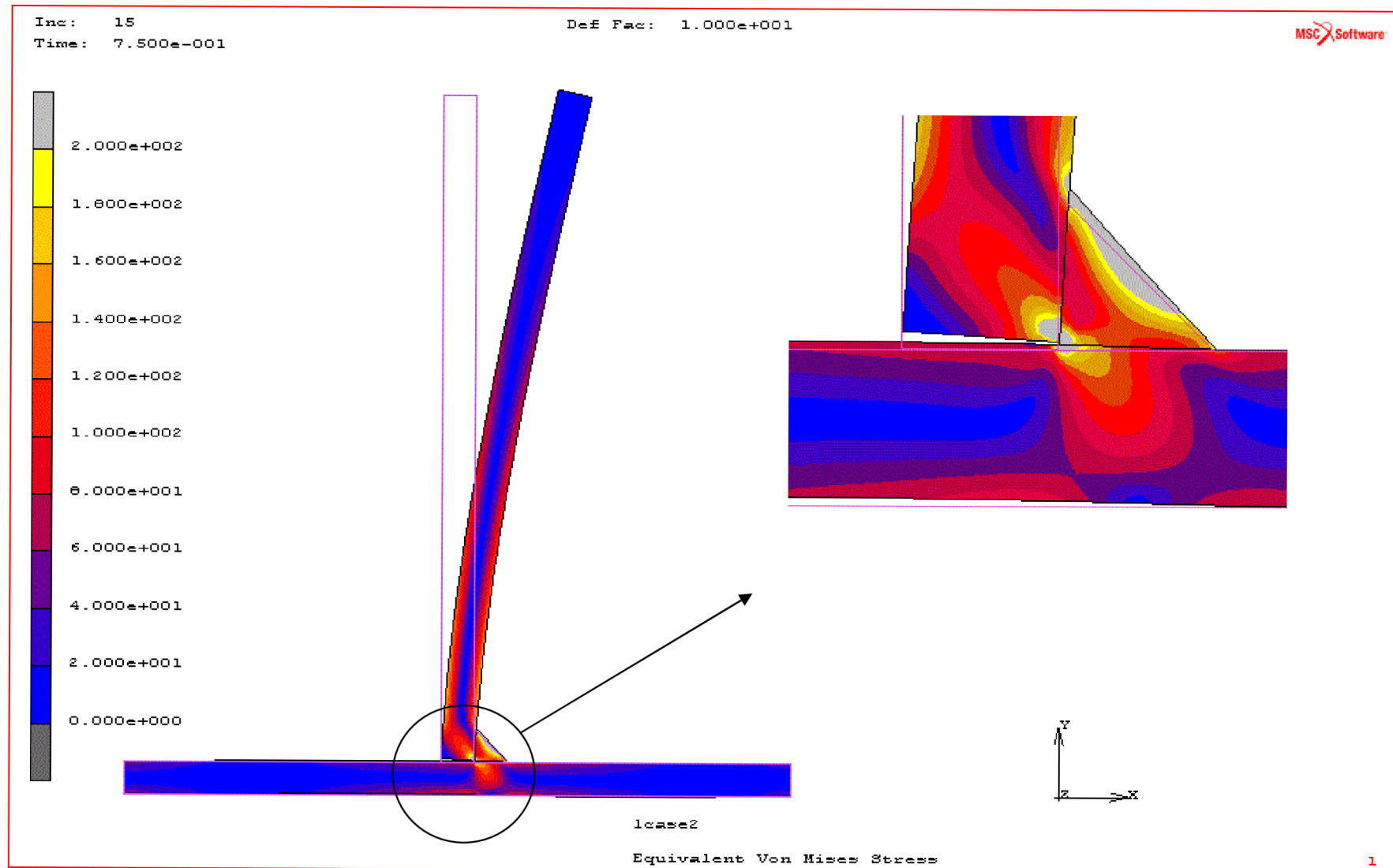


**Příloha B25** – Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) - oboustranný koutový svar; zobrazení: řez 2D – rovina xy, zatěžující stav: 2. stav, srovnávací napětí: HMH, legenda: 0 – 200 MPa, extrémní napětí: 62 MPa, maximální deformace: 0,062 mm def. factor: 10 (deformované)

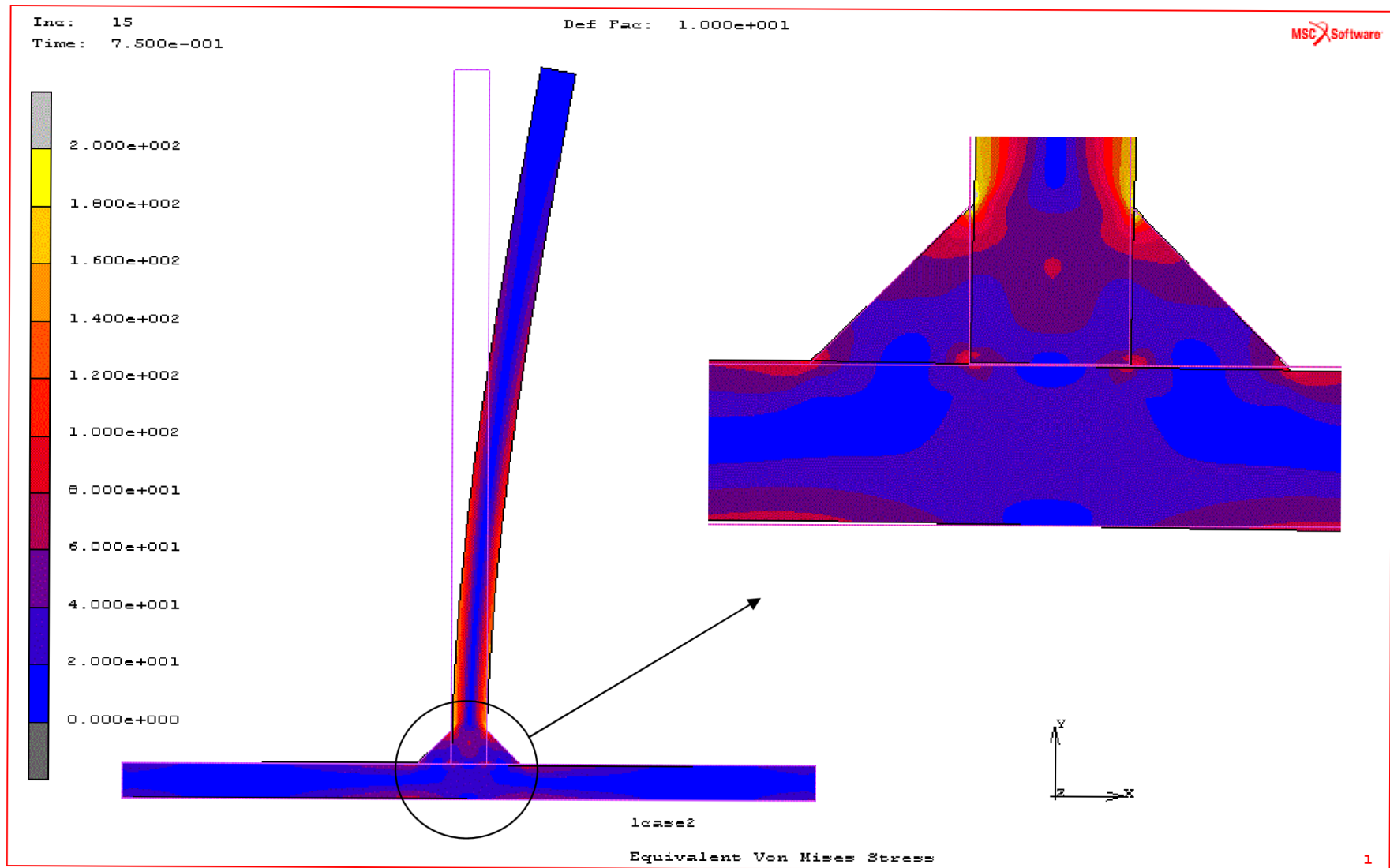


**Příloha B26** – Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) - skořepina; *zobrazení: skořepinový model (top and bottom shell), zatěžující stav: 2. stav, srovnávací napětí: HMH(průměrováno), legenda: 0 – 200 MPa, extrémní napětí: 61,7 MPa, maximální deformace: 0,08 mm, scale factor: 10 (deformované)*

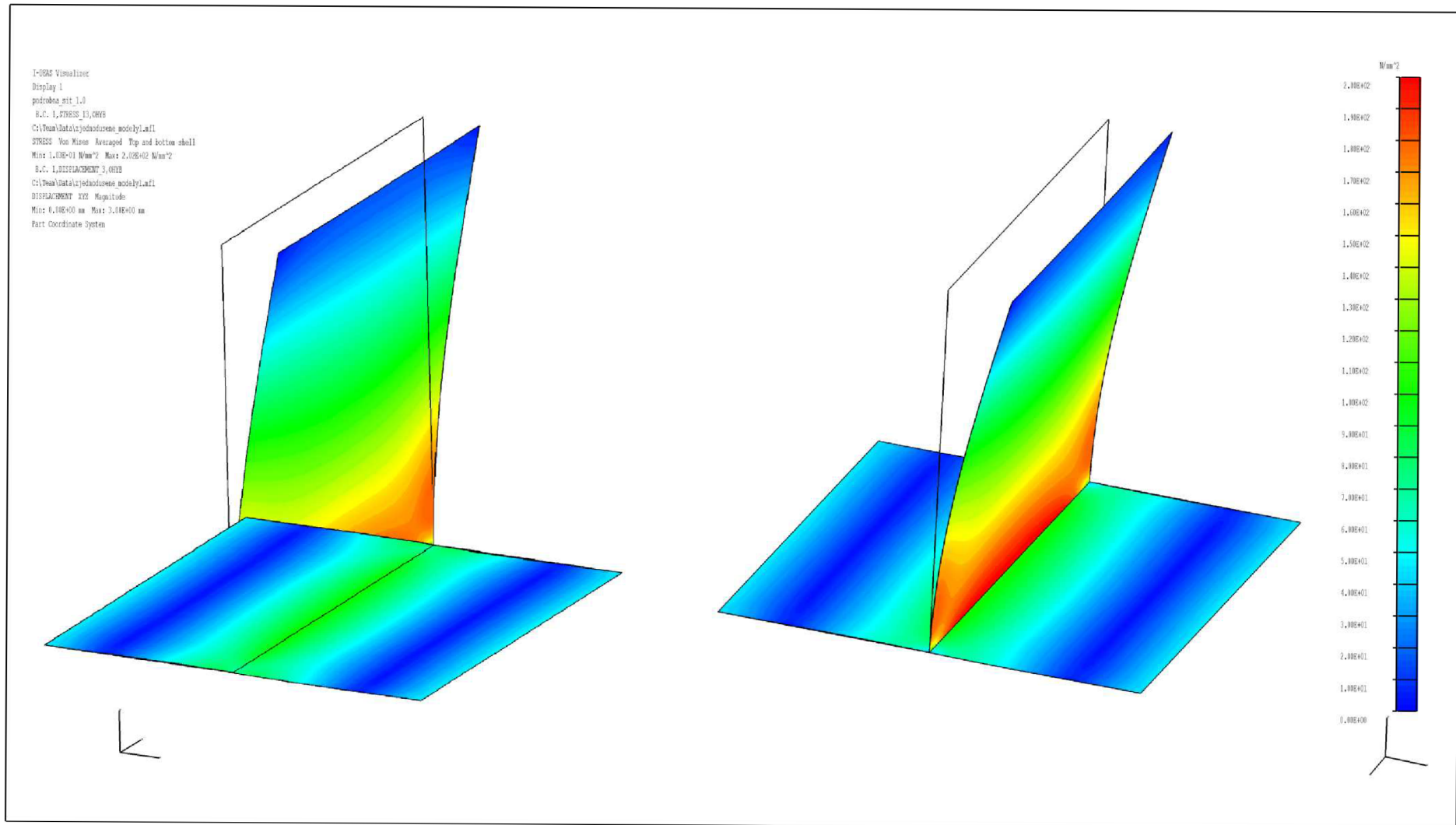




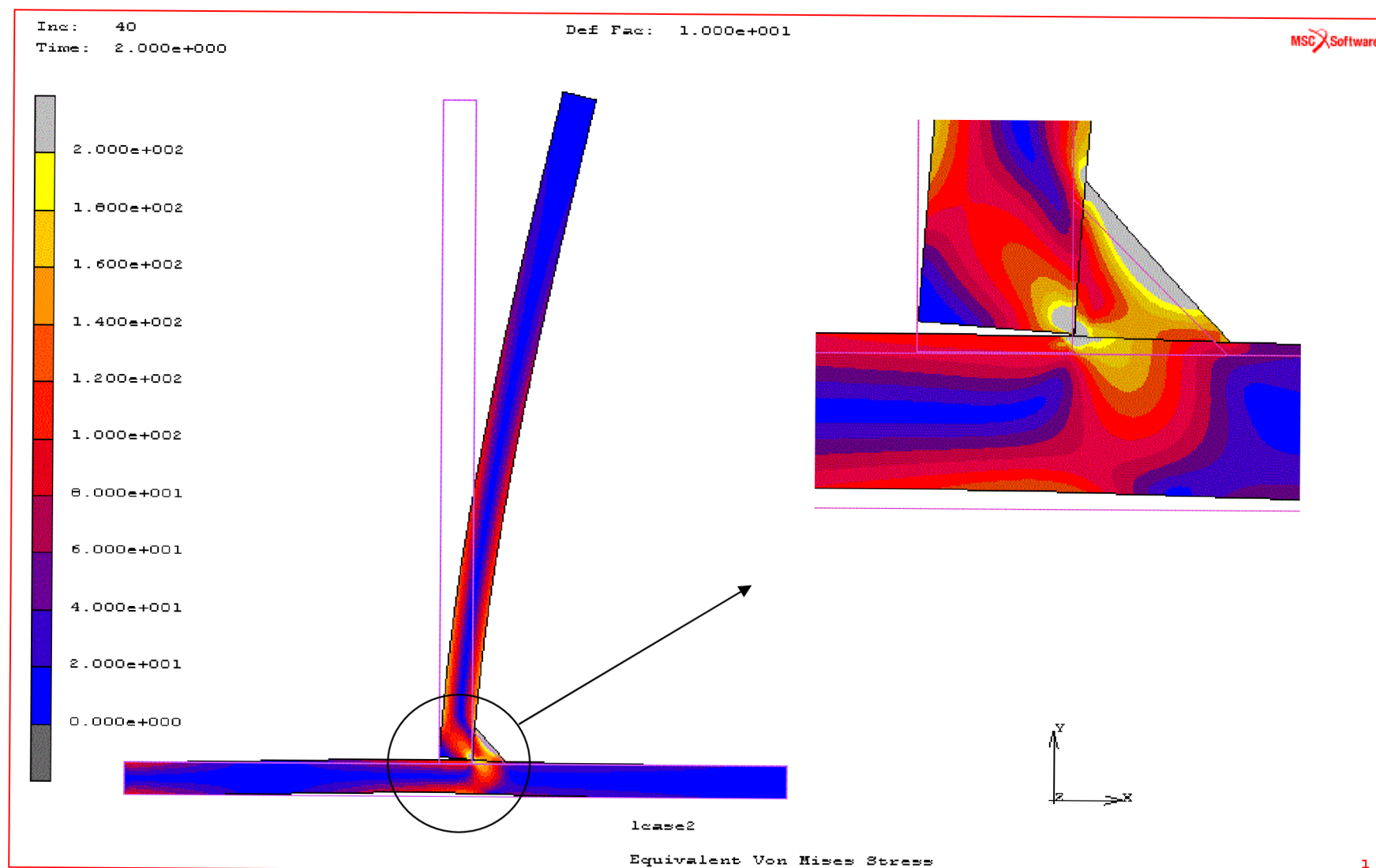
**Příloha B27** – Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) - jednostranný koutový svar; zobrazení: řez 2D – rovina xy, zatěžující stav: 3. stav, srovnávací napětí: HMH, legenda: 0 – 200 MPa, extrémní napětí: 601 MPa, maximální deformace: 3,45 mm def. factor: 10 (deformované)



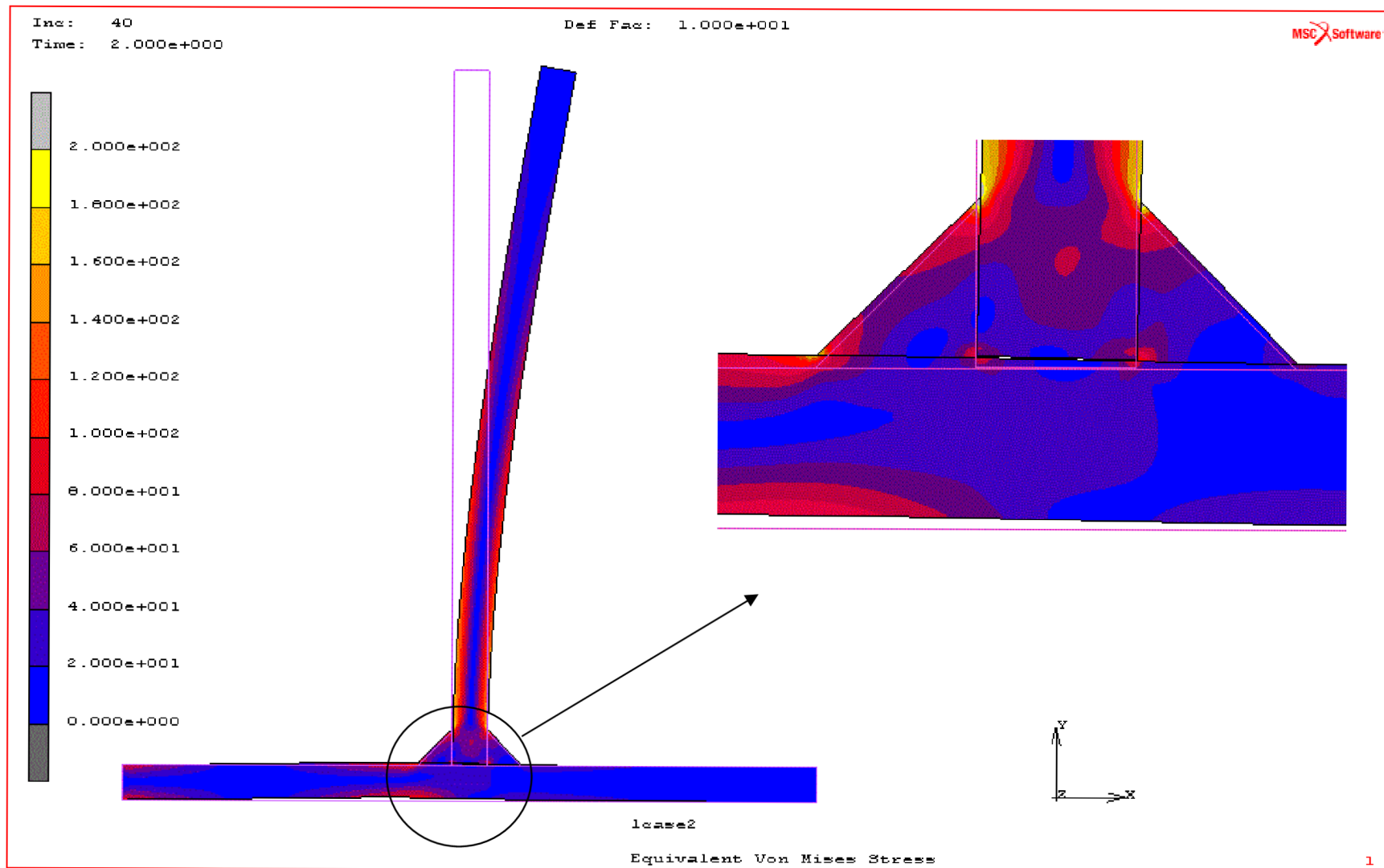
**Příloha B28** – Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) - oboustranný koutový svar; zobrazení: řez 2D – rovina xy, zatěžující stav: 3. stav, srovnávací napětí: HMH, legenda: 0 – 200 MPa, extrémní napětí: 217 MPa, maximální deformace: 2,5 mm def. factor: 10 (deformované)



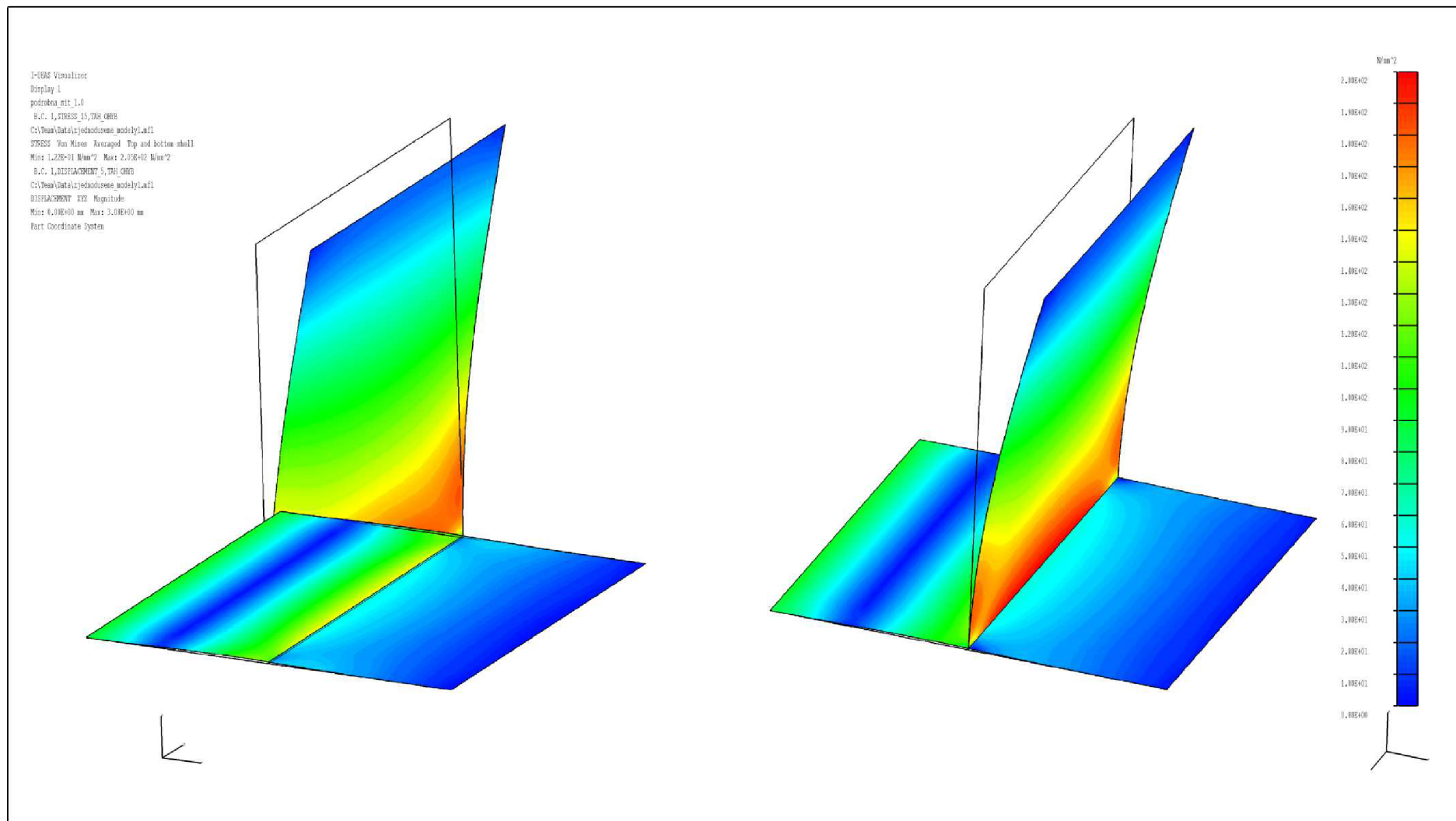
**Příloha B29** – Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) - skořepina; *zobrazení: skořepinový model (top and bottom shell), zatěžující stav: 3. stav, srovnávací napětí: HMM (průměrováno), legenda: 0 – 200 MPa, extrémní napětí: 202 MPa, maximální deformace: 3,08 mm, scale factor: 10 (deformované)*



**Příloha B30** – Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) - jednostranný koutový svar; *zobrazení: řez 2D – rovina xy, zatěžující stav: 4. stav, srovnávací napětí: HMH, legenda: 0 – 200 MPa, extrémní napětí: 601 MPa, maximální deformace: 3,61 mm def. factor: 10 (deformované)*

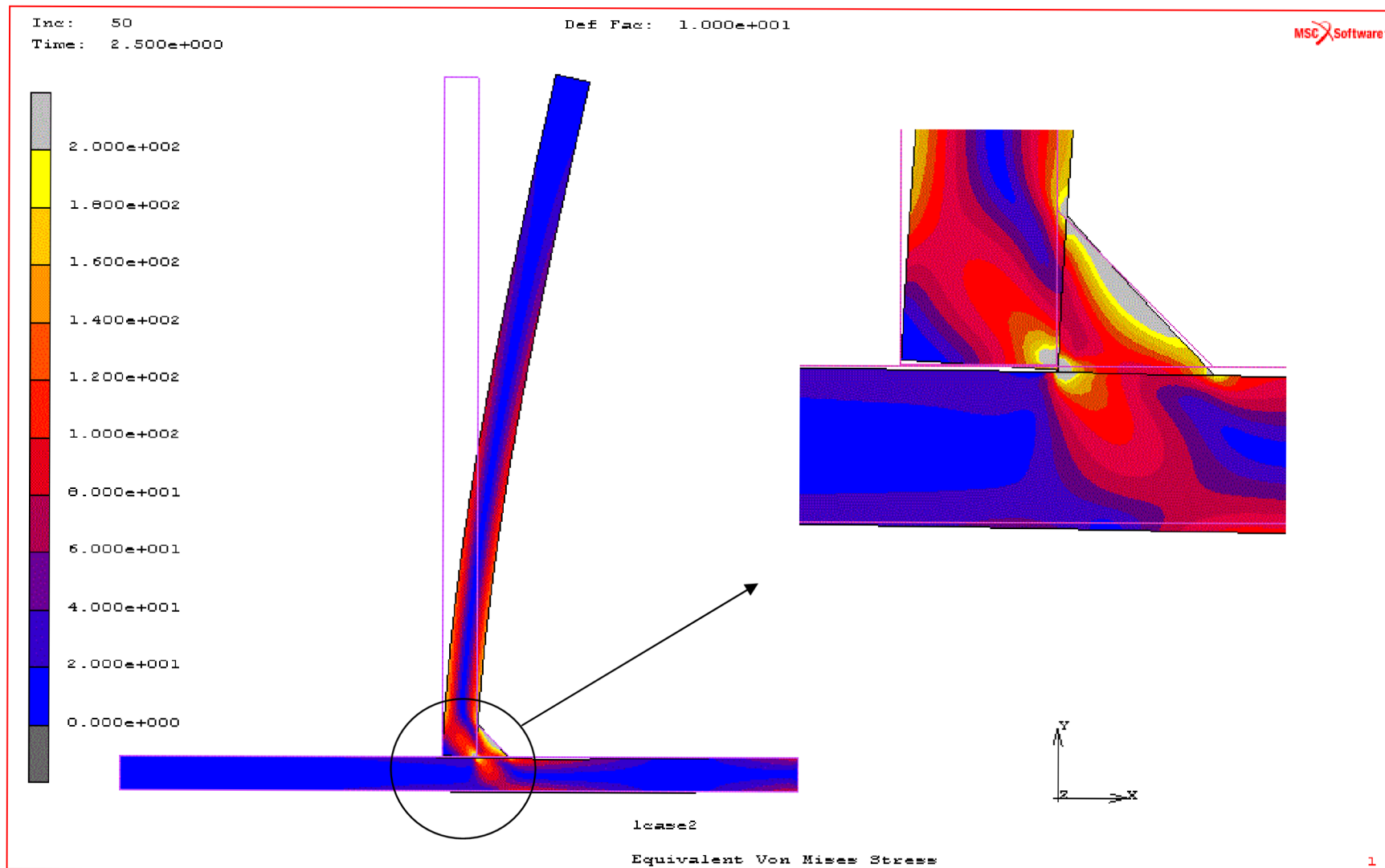


**Příloha B31** – Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) - oboustranný koutový svar; zobrazení: řez 2D – rovina xy, zatěžující stav: 4. stav, srovnávací napětí: HMM, legenda: 0 – 200 MPa, extrémní napětí: 222 MPa, maximální deformace: 2,5 mm def. factor: 10 (deformované)

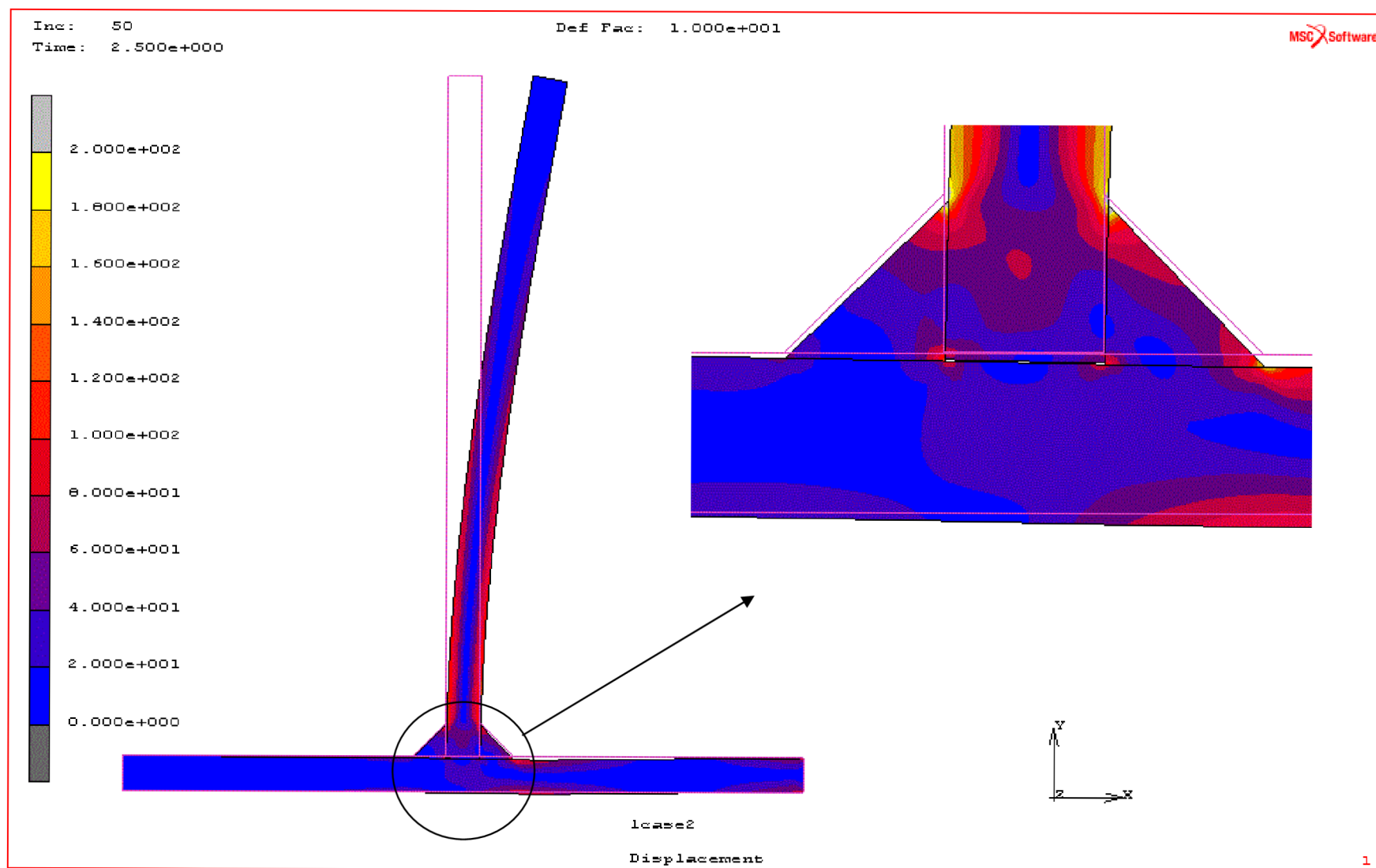


**Příloha B32** – Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) - skořepina; *zobrazení: skořepinový model (top and bottom shell), zatěžující stav: 4. stav, srovnávací napětí: HMM(průměrováno), legenda: 0 – 200 MPa, extrémní napětí: 205 MPa, maximální deformace: 3,08 mm scale factor: 10 (deformované),*



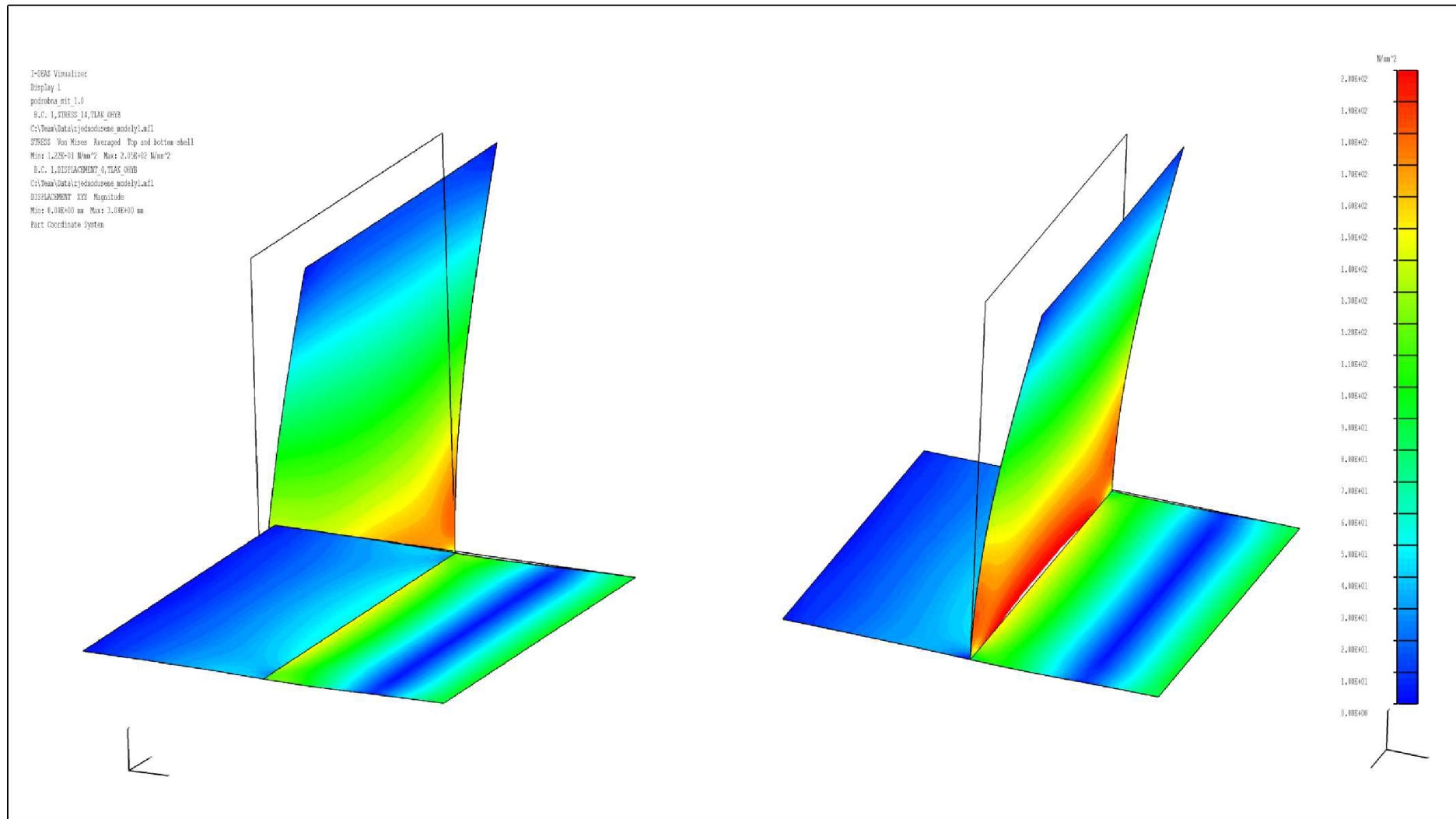


**Příloha B33** – Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) - jednostranný koutový svar; zobrazení: řez 2D – rovina xy, zatěžující stav: 5. stav, srovnávací napětí: HMM, legenda: 0 – 200 MPa, extrémní napětí: 531 MPa, maximální deformace: 3,29 mm def. factor: 10 (deformované)

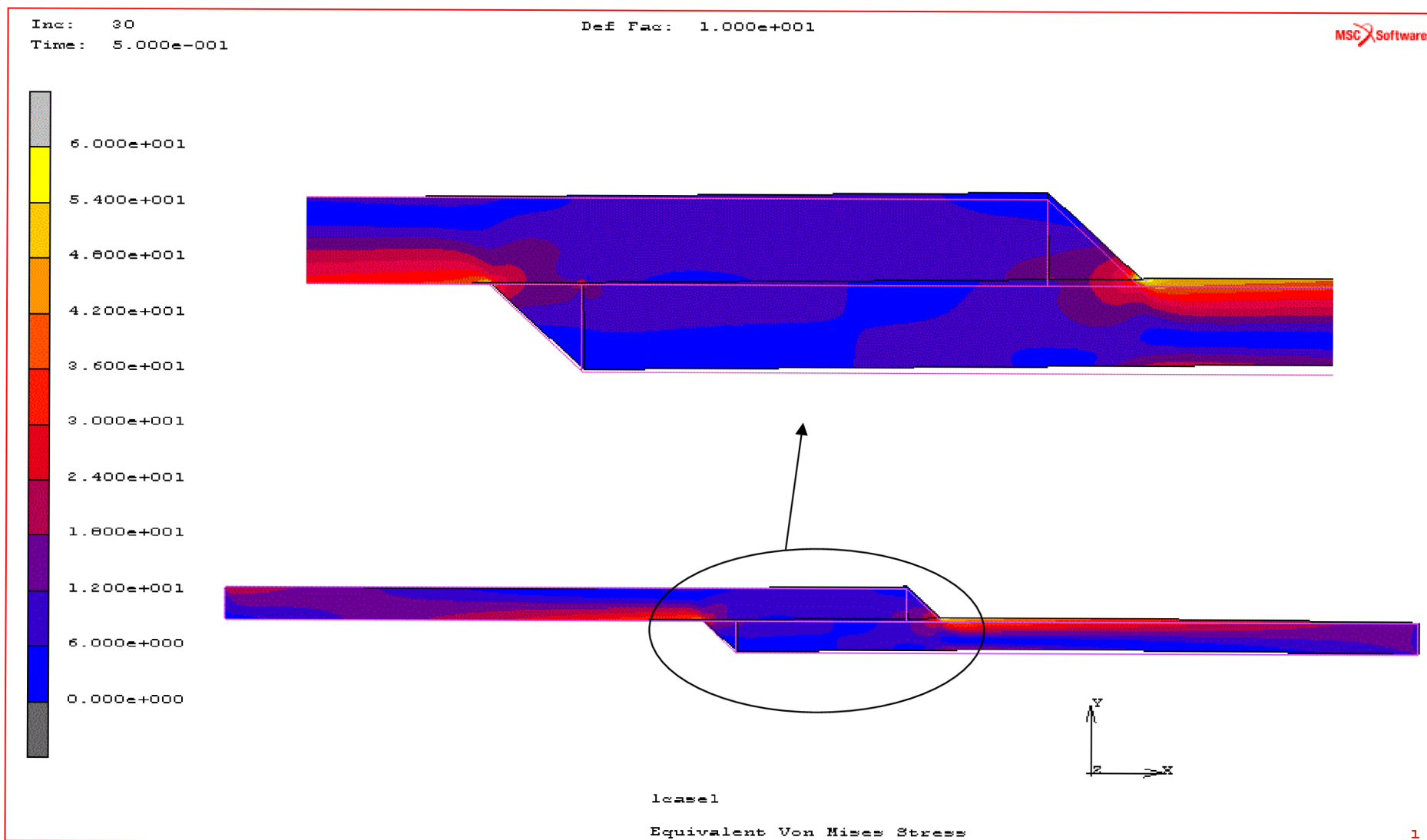


**Příloha B34** – Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) - oboustranný koutový svar; zobrazení: řez 2D – rovina xy, zatěžující stav: 5. stav, srovnávací napětí: HMM, legenda: 0 – 200 MPa, extrémní napětí: 221 MPa, maximální deformace: 3,29 mm def. factor: 10 (deformované)

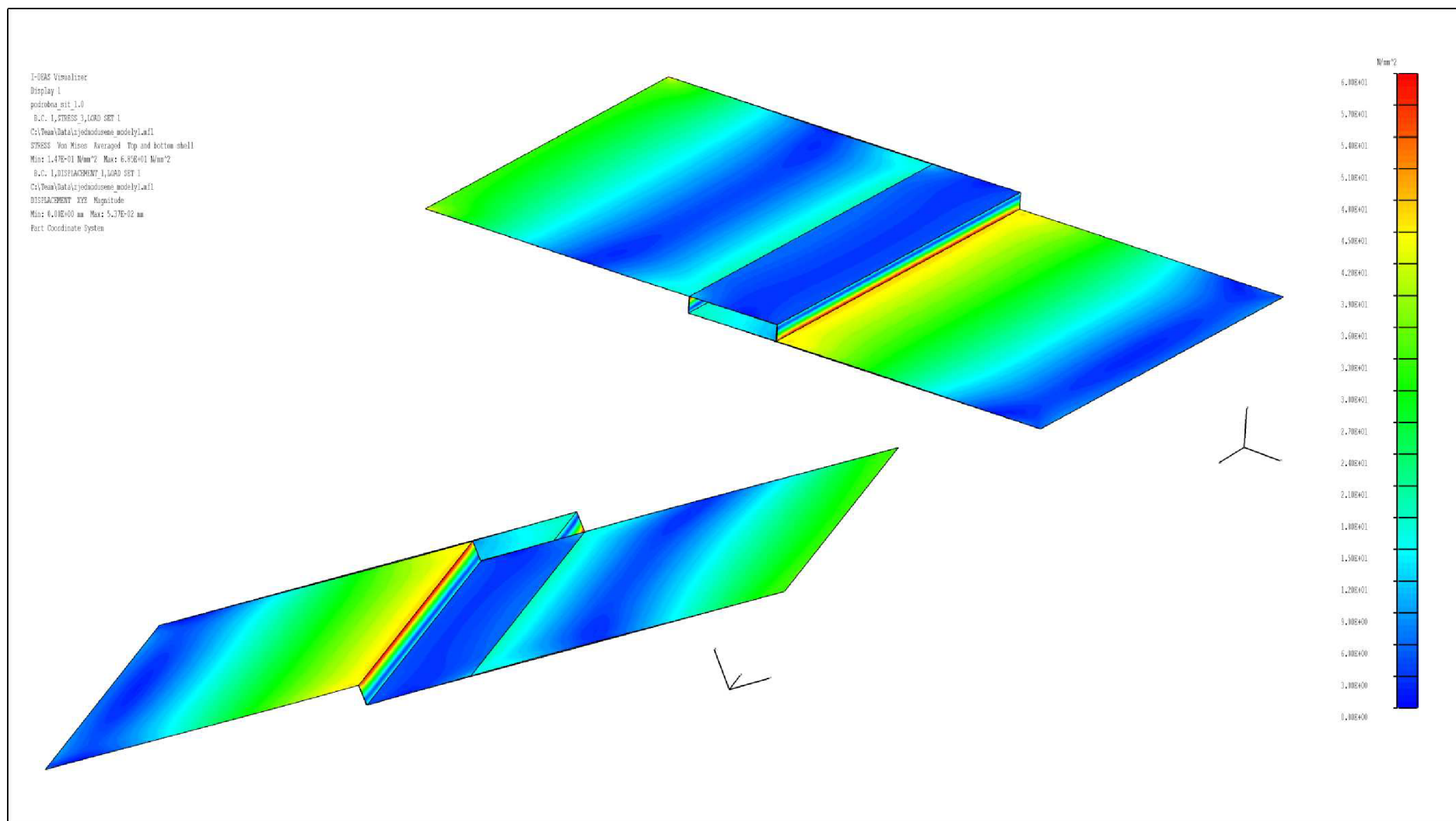




**Příloha B35** – Napjatost ve svarovém spoji (napojení „T“) - skořepina; *zobrazení: skořepinový model (top and bottom shell), zatěžující stav: 5. stav, srovnávací napětí: HMM(průměrováno), legenda: 0 – 200 MPa, extrémní napětí: 205 MPa, maximální deformace: 3,08 mm scale factor: 10 (deformované)*



**Příloha B36** – Napjatost ve svarovém spoji - přeplátování; *zobrazení: řez 2D – rovina xy, zatěžující stav: zatížení, srovnávací napětí: HMH, legenda: 0 – 60 MPa, extrémní napětí: 68 MPa, maximální deformace: 0,11 mm def. factor: 10 (deformované)*



**Příloha B37 – Napjatost ve svarovém spoji (překlátování) - skořepina; zobrazení: skořepinový model (top and bottom shell), zatěžující stav: zatížení, srovnávací napětí: HMM (průměrováno), legenda: 0 – 60 MPa, extrémní napětí: 68 MPa, maximální deformace: 0,053 mm scale factor: 10 (deformované)**