




**Projektová dokumentace pro výběrové řízení
na dodavatele a pro provedení stavby**

ANALÝZA STŘECHY - PŘETLAK

Hněvice (Roudnice) – objekt 230/02
(nádrž 10 000 m³)

Změna				Datum		Jméno		
	2. Doplnění značení				10/16		Ševčík	
	1. Oprava značení nádrže				02/16		Ševčík	
Vypracoval	Ševčík					NÁDRŽ H230/02 Sklad Hněvice, ČEPRO, a.s.		
Přezkoušel	Ing. Ševčík	Datum	12/2015					
D	ANALÝZA STŘECHY- PŘETLAK NÁDRŽ H230/02				IP-HNE-D-15-008		Revize	List
							2	1/16

ANOTACE

Předložený dokument obsahuje analýzu havarované střechy nádrže (objekt H 230/02) o objemu 10 000 m³, která se nachází ve skladu Hněvice (bývalý sklad Roudnice). Byla provedena analýza kritického mezního stavu konstrukce a postkritická analýza.

D	ANALÝZA STŘECHY – PŘETLAK NÁDRŽ H230/02	IP-HNE-D-15-008	Revize	List
			2	2/16

OBSAH

ANOTACE	2
OBSAH	3
ÚVOD	4
1. POPIS NÁDRŽE	4
2. TVORBA 3D MODELU	5
3. MODEL MKP	6
4. MKP VÝPOČET I – MEZNÍ STAV	8
4.1 Výsledky.....	8
5. MKP VÝPOČET II – POSTKRITICKÝ STAV	11
5.1 Výsledky.....	11
ZÁVĚR	16
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	16

D	ANALÝZA STŘECHY – PŘETLAK NÁDRŽ H230/02	IP-HNE-D-15-008	Revize	List
			2	3/16

ÚVOD

Práce se zabývá výpočtem kritického stavu při havárii nádrže o objemu 10 000 m³ (objekt 230/02), která se nachází ve skladu Hněvice (bývalý sklad Roudnice). Byla provedena stabilitní analýza, která si kladla za cíl simulovat podmínky při havárii. Jednak bylo cílem zjistit mezní (kritický) přetlak, který u tohoto typu nádrže způsobí ztrátu stability. Za druhé byl proveden postkritický výpočet, který měl simulovat stav konstrukce v momentě utržení střešní části od pláště. Výpočty byly provedeny pomocí MKP v programu ANSYS.

Nejprve byl vytvořen skořepinový 3D model střechy v CAD programu, následoval import do výpočtového programu ANSYS, kde byly nastaveny vlastnosti modelu a následně provedeny matematické simulace zatížení střechy zvoleným přetlakem.

1 POPIS NÁDRŽE

Jedná se nadzemní ocelovou stojatou válcovou nádrž s pevnou klenutou střechou a ochranou jímkou. Výstavba se datuje do roku 2008. Kapacita nádrže činí 10 000 m³, průměr válcové části 30 250 mm, výška válcové části 13 940 mm a výška kulového vrchlíku 2 962 mm.

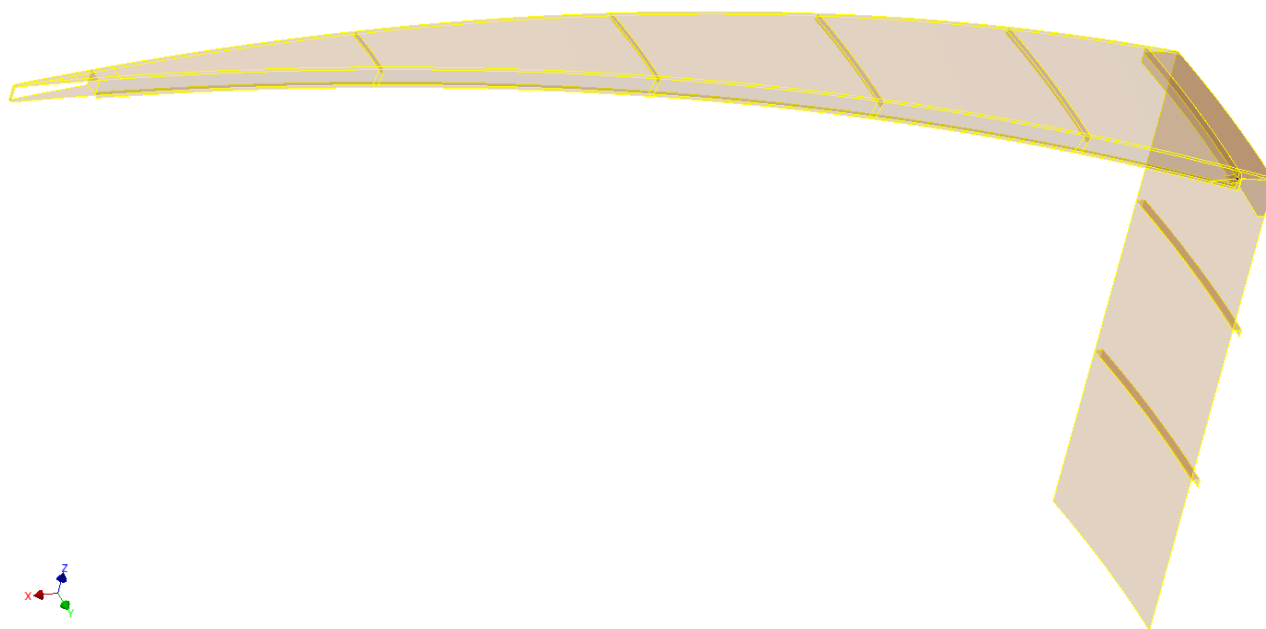
D	ANALÝZA STŘECHY – PŘETLAK NÁDRŽ H230/02	IP-HNE-D-15-008	Revize	List
			2	4/16

2 TVORBA 3D MODELU

Pro MKP analýzu byl nejprve vytvořen skořepinový model střechy ve 3D CAD softwaru Autodesk Inventor. Model byl vytvořen podle původní dokumentace. Jedná se o matematický model, proto jsou zanedbané geometrické nedokonalosti (vzniklé např. při výrobě, montáži) a také došlo k několika dalším zjednodušením, která však mají zanedbatelný vliv na přesnost řešení.

Střecha nádrže má kulovitý tvar a skládá se ze skořepiny (plechů střechy) a střešní konstrukce, která je tvořena z krokrových polí, lucerny (střed střechy) a patního věnce (vnější okraj střechy). Nádrž byla modelována se třemi horními luby. Celá konstrukce modelované střechy se skládá ze 44 krokrových polí. Byla vymodelována výseč (obr. 2.1), která se 44krát opakuje po celém obvodu. Model byl vytvořen v plochách, tloušťky komponent se přiřazují v ANSYS.

Hlavním nosným prvkem střešní konstrukce jsou **krokvová pole** z profilu IPE 200, který je příčně vyztužen profily L 60x60x6 a L 80x80x8. **Obvodový výztužný prstenec** je vytvořen z plechu o tloušťce 19 mm. **Lucerna**, kde se sbíhají krokve, je tvořena plechy o tloušťce 16 mm. Plechy **střešní skořepiny** mají tloušťku 5 mm. Tloušťka stěny **pláště** je 6 mm. **Výztuha pláště** je tvořena profilem L 100x100x6.



Obr. 2.1 CAD model – pohled na výseč

D	ANALÝZA STŘECHY – PŘETLAK NÁDRŽ H230/02	IP-HNE-D-15-008	Revize	List
			2	5/16

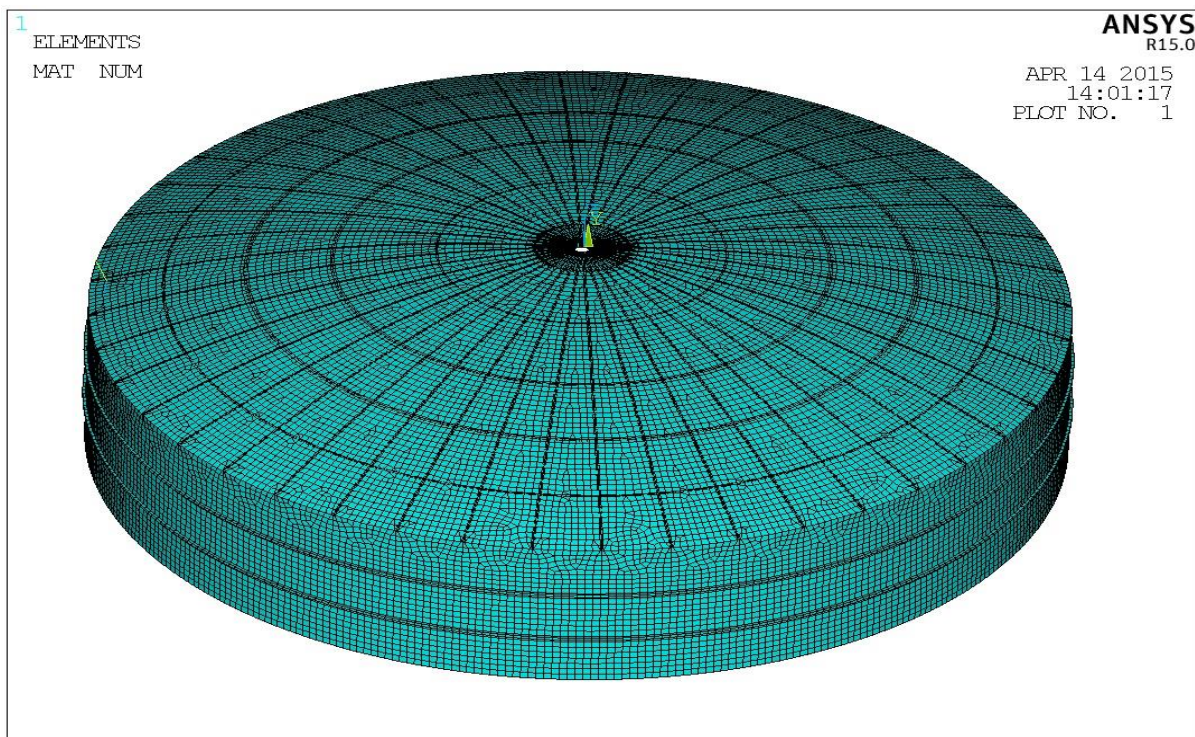
3 MODEL MKP

Po importu modelu do ANSYS byly nastaveny geometrické parametry (např. tvorba elementů MKP sítě – viz obr. 3.1), materiálové charakteristiky a okrajové podmínky (obr. 3.2). Model byl pevně ukotven v místě posledního modelovaného lubu pláště (UX, UY, UZ, ROTX = 0). Model byl zatížen vlastní vahou. Střešní skořepina a plášť byl zatížen přetlakem **15,17 kPa**. Byla použita bilineární materiálová charakteristika.

Do modelu byla zavedena imperfekce v podobě zeštíhlení jednoho z plechů obvodového výztužného prstence (obr. 3.3). Podle normy ČSN EN 10029 je maximální záporná tolerance tloušťky takového plechu 0,6 mm. Proto byl plech v tomto místě zeslaben z původních 19 mm na 18,4 mm.

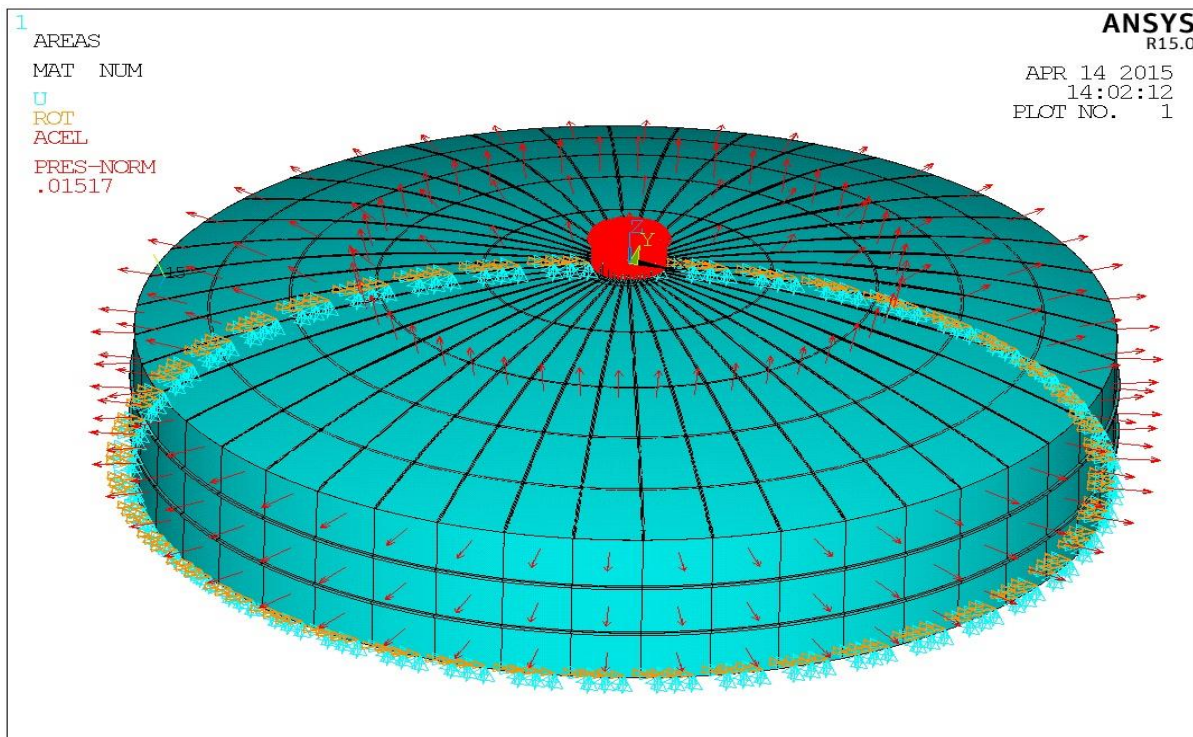
Seznam použitých parametrů pro nelineární výpočet:

- typ elementu: SHELL281
- počet elementů: 46 000
- modul pružnosti (E) = 210 000 MPa
- Poissonova konstanta (ν) = 0,3
- hustota oceli (ρ) = 7 850 kg.m⁻³
- gravitační zrychlení (g) = 9,81 m.s⁻²
- mez kluzu oceli (S_y) = 235 Mpa
- tečný modul (TANG MOD.) = 1 336 MPa

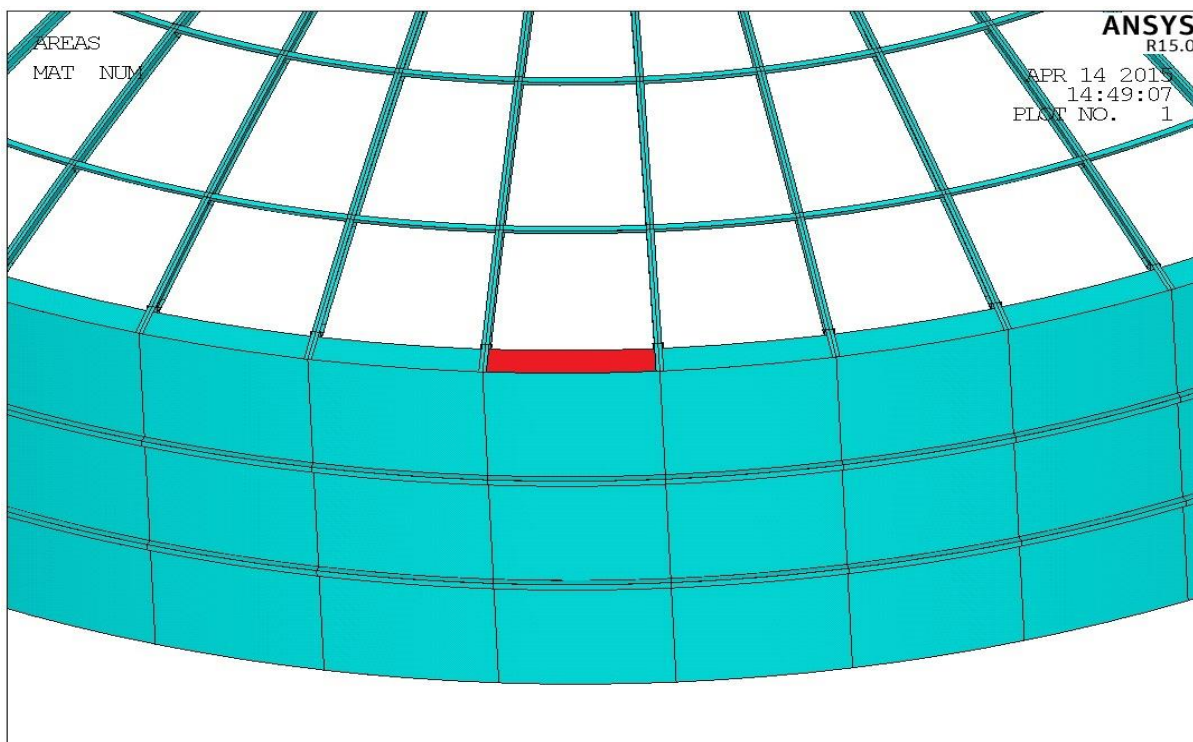


Obr. 3.1 Model MKP – síť elementů

D	ANALÝZA STŘECHY – PŘETLAK NÁDRŽ H230/02	IP-HNE-D-15-008	Revize	List
			2	6/16



Obr. 3.2 Model MKP – okrajové podmínky



Obr. 3.3 Model MKP – místo imperfekce

D	ANALÝZA STŘECHY – PŘETLAK NÁDRŽ H230/02	IP-HNE-D-15-008	Revize	List
			2	7/16

4 MKP VÝPOČET I – MEZNÍ STAV

První MKP výpočet měl za úkol zjistit kritický přetlak, který způsobil počáteční ztrátu stability nádrže - stav, kdy začne docházet k nevratným poškozením konstrukce. Byl použit nelineární statický výpočet s využitím stabilizace (Energy dissipation) = 0,1. Poměr stabilizační energie a deformační energie (STEN/SENE) činil 0,0022 (0,2 %).

V momentě, kdy dojde ke ztrátě stability konstrukce, nastává konec konvergence úlohy. Z času této události se vypočte hodnota působícího kritického zatížení podtlakem p_{KRI} pro nelineární výpočet:

$$p_{KRI} = t_K \cdot p_0,$$

kde:

p_{KRI} – kritický podtlak pro nelineární analýzu

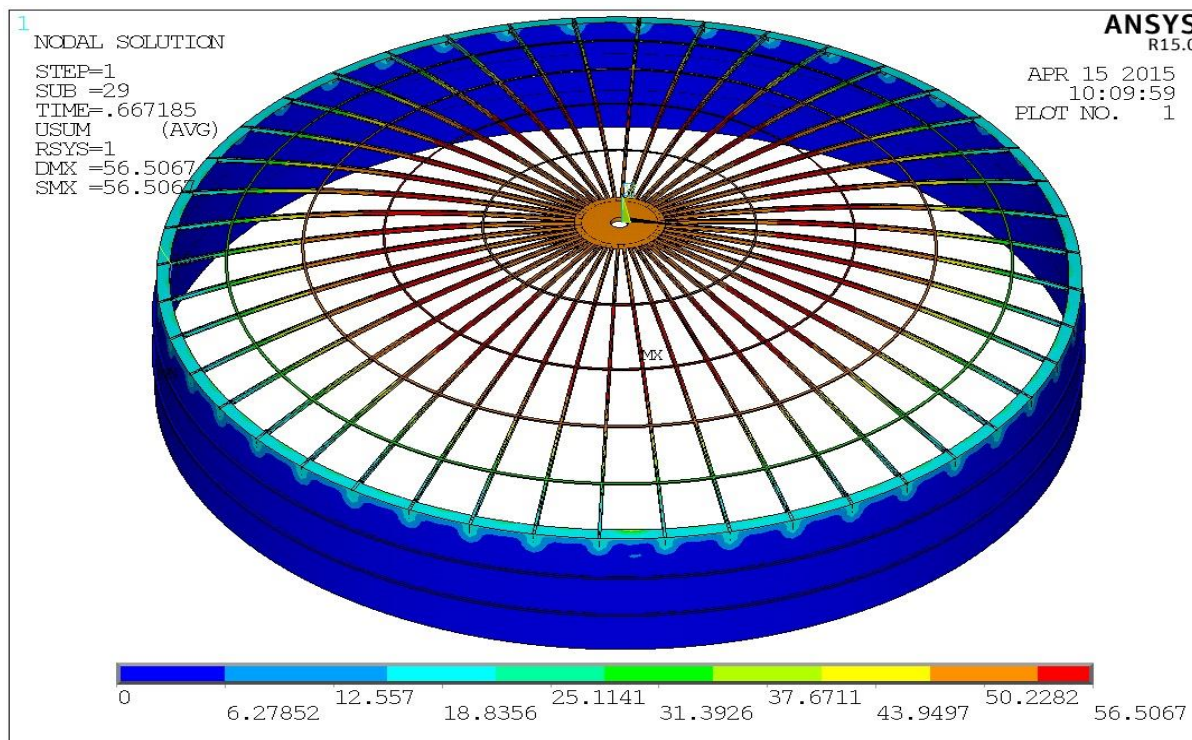
t_K – čas ukončení konvergence úlohy

p_0 – počáteční zatížení pod tlakem

4.1 Výsledky

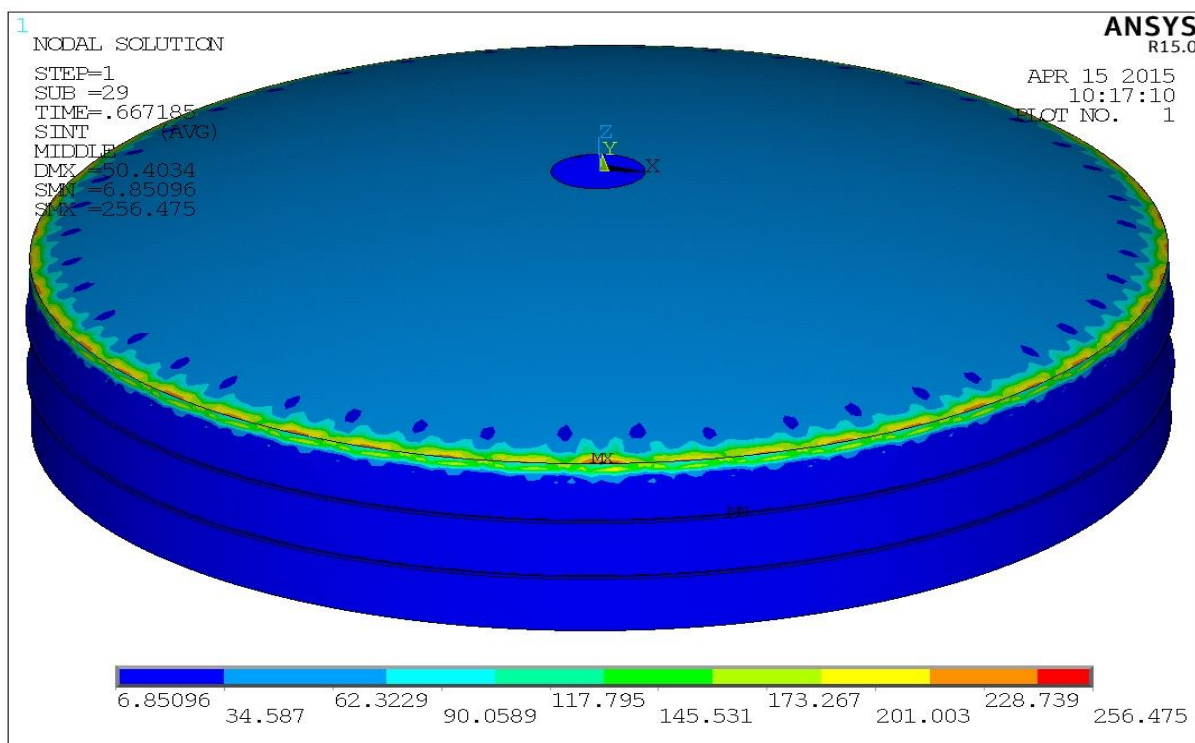
Kritická hodnota podtlaku byla vypočtena z času při ukončení konvergence úlohy, která nastala přibližně v 0,667, což odpovídá kritické hodnotě podtlaku (obr. 4.1 – 4.5):

$$p_{KRI} = t_K \cdot p_0 = 0,667 \cdot 15,17 = 10,12 \text{ kPa}$$

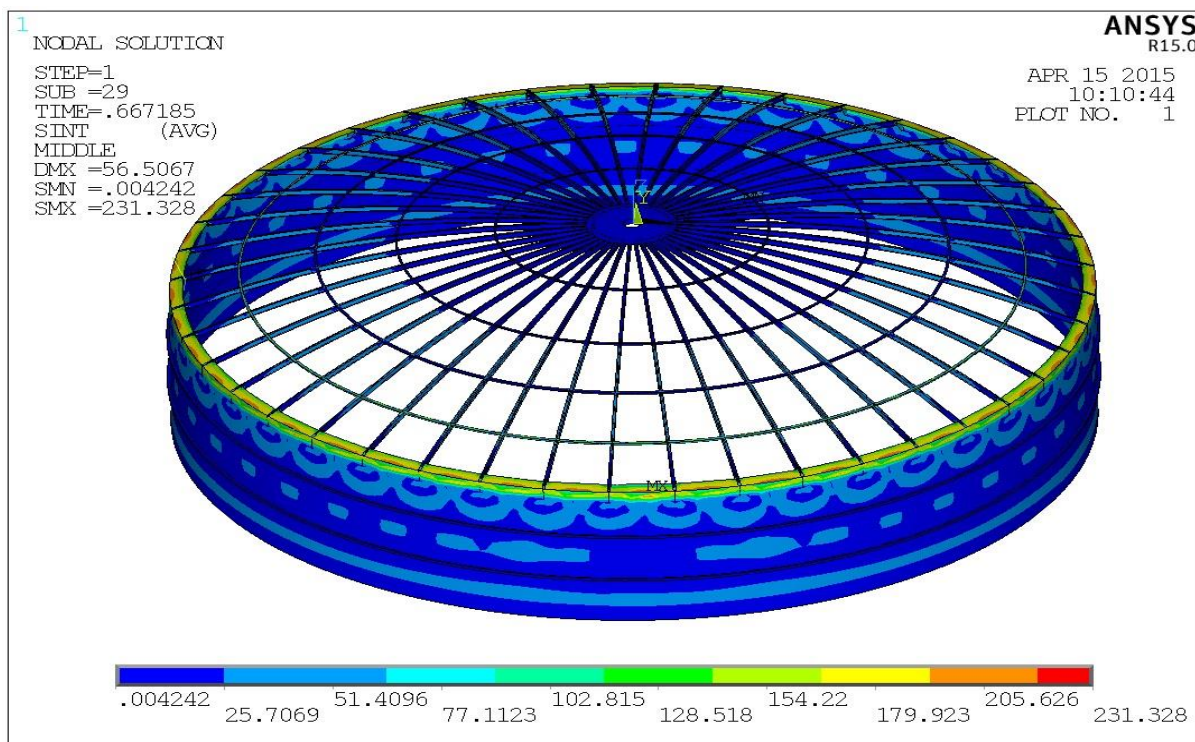


Obr. 4.1 Celková deformace konstrukce střechy (mm)

D	ANALÝZA STŘECHY – PŘETLAK NÁDRŽ H230/02	IP-HNE-D-15-008	Revize	List
			2	8/16

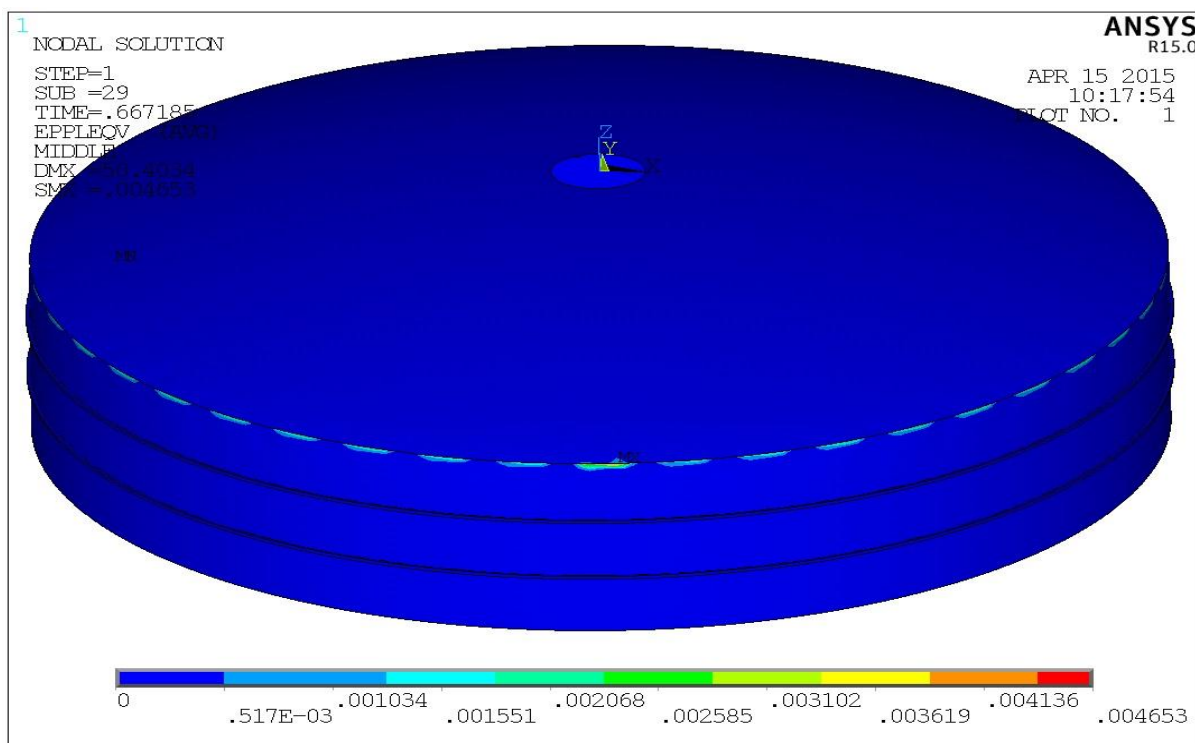


Obr. 4.2 Ekvivalentní napětí na střednici (Tresca) ve spoji plášť - střecha (MPa)

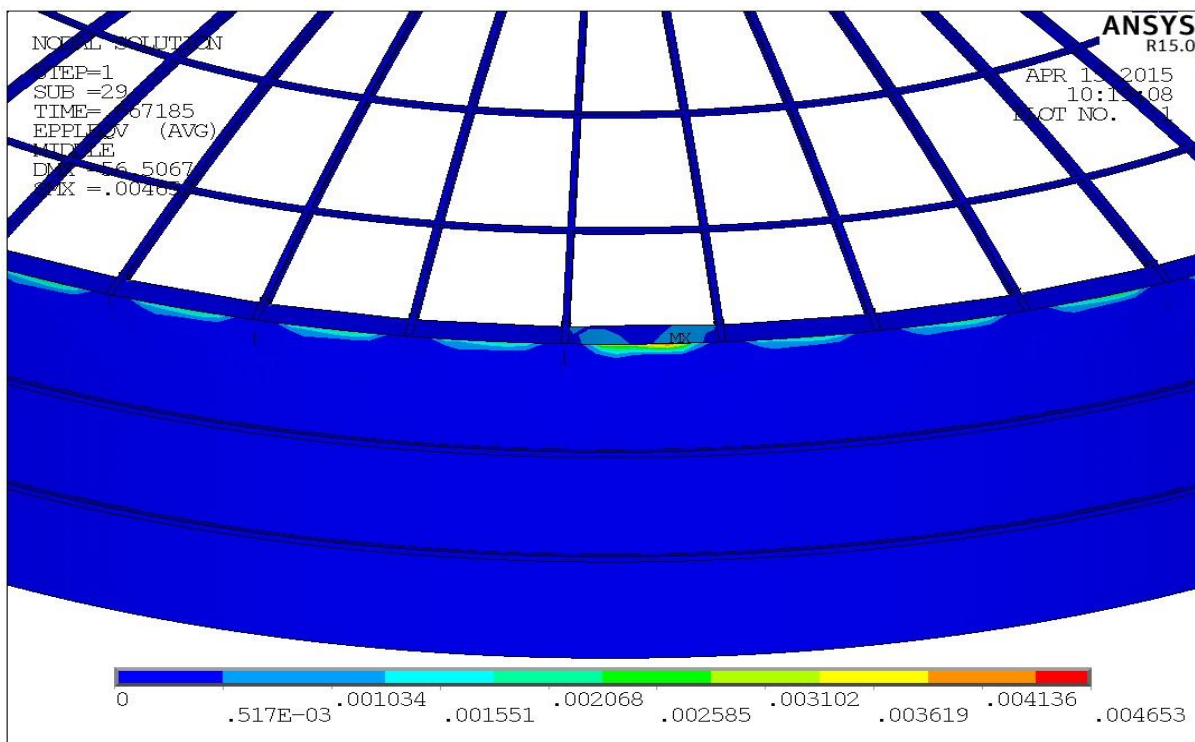


Obr. 4.3 Ekvivalentní napětí na střednici (Tresca) ve spoji konstrukce -plášť (MPa)

D	ANALÝZA STŘECHY – PŘETLAK NÁDRŽ H230/02	IP-HNE-D-15-008	Revize	List
			2	9/16



Obr. 4.4 Plastické deformace na spoji plášť - střeška (mm)



Obr. 4.5 Plastické deformace na spoji konstrukce -plášť (mm) - detail

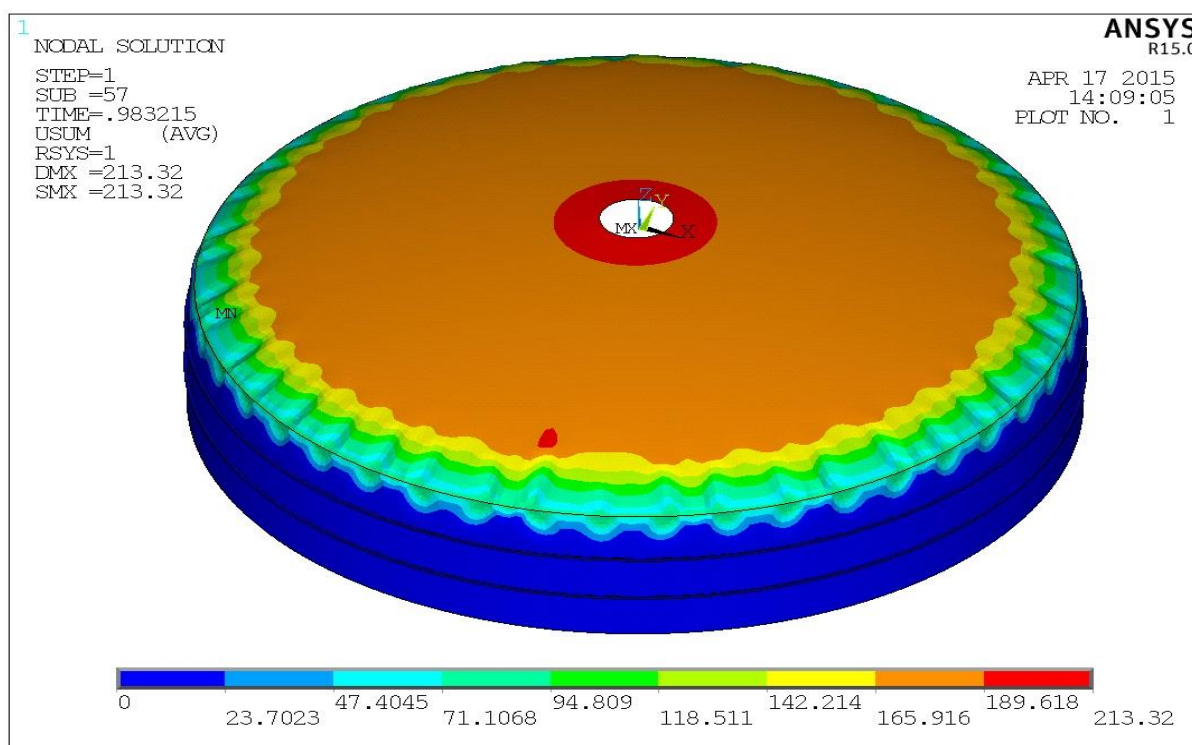
D	ANALÝZA STŘECHY – PŘETLAK NÁDRŽ H230/02	IP-HNE-D-15-008	Revize	List
			2	10/16

5 MKP VÝPOČET II – POSTKRITICKÝ STAV

Cílem MKP postkritického výpočtu bylo simulovat podmínky v momentě roztržení střechy nádrže (tj. při přetlaku **15,17 kPa**). Pro tento účel byla použita statická analýza s využitím velké stabilizace. Byla hledána nejmenší hodnota stabilizace, která umožní úloze konvergovat až do hodnoty přetlaku **15,17 kPa**. Iterační metodou byla nalezena stabilizace (Energy dissipation) = 15, která zajistí 98,3 % konvergence úlohy. Poměr stabilizační energie a deformační energie (STEN/SENE) činil v tomto případě 0,1366 (13,66 %).

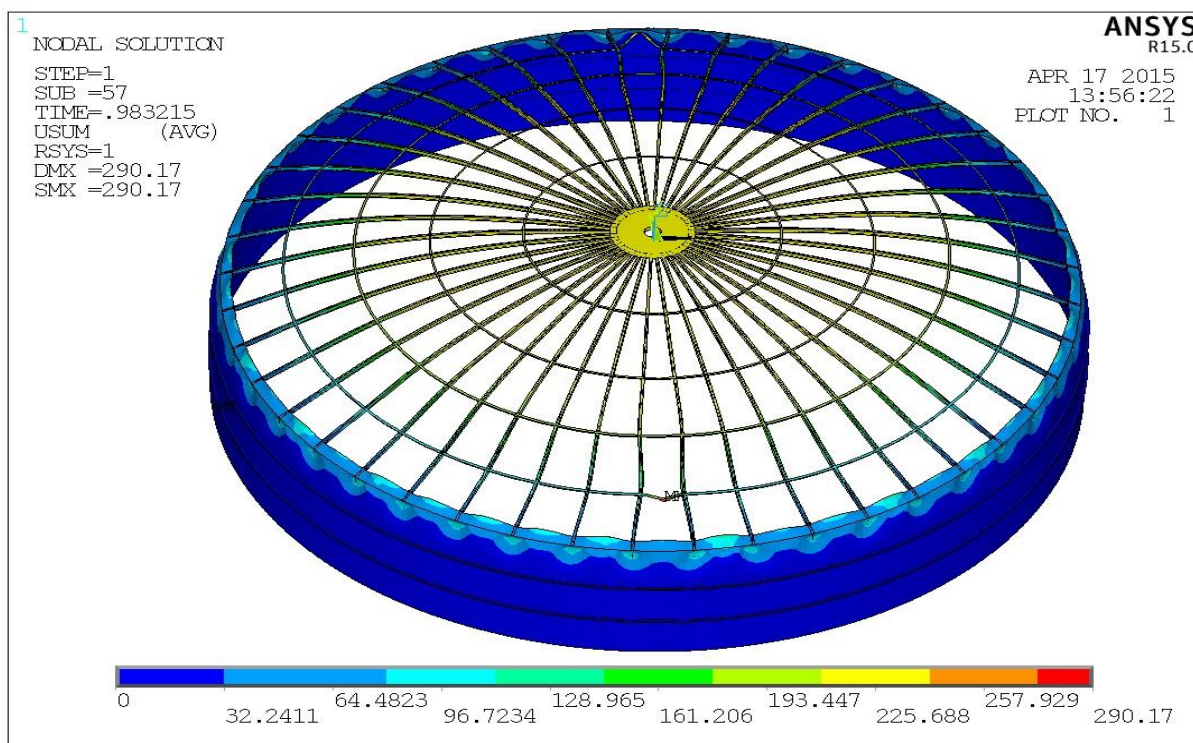
5.1 Výsledky

Využitím větší velikosti stabilizace úloha konvergovala až do času 0,983 (98,3 % z celkového zatížení **15,17 kPa**), což odpovídá přetlaku **14,91 kPa**. Výsledné napěťové a deformační stavy jsou na obrázcích 5.1 až 5.9.

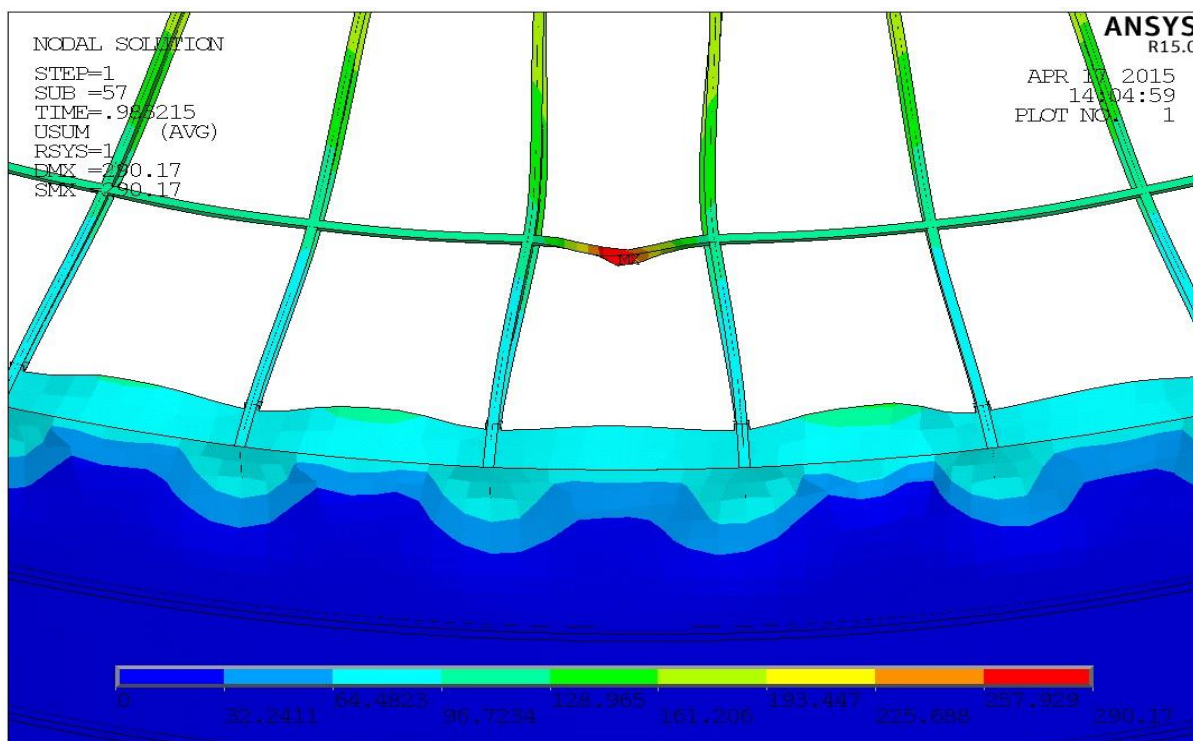


Obr. 5.1 Celkové deformace – skořepina a plášť (mm)

D	ANALÝZA STŘECHY – PŘETLAK NÁDRŽ H230/02	IP-HNE-D-15-008	Revize	List
			2	11/16

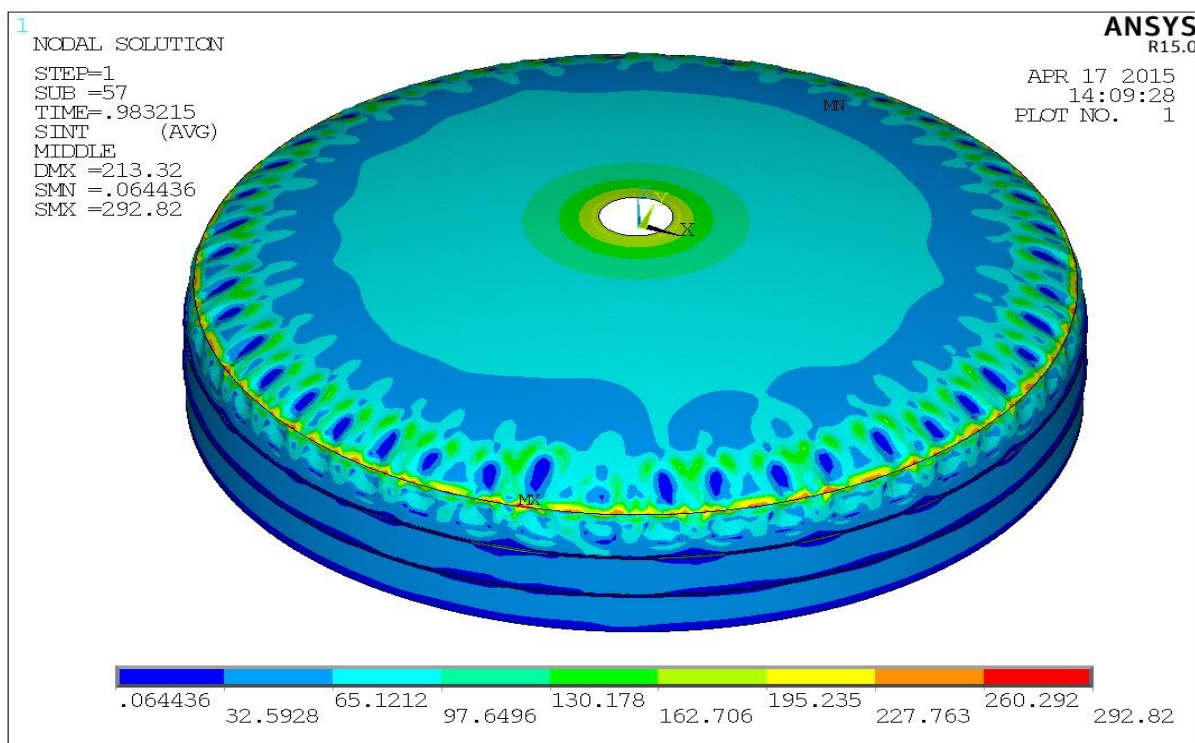


Obr. 5.2 Celkové deformace – konstrukce a plášť (mm)

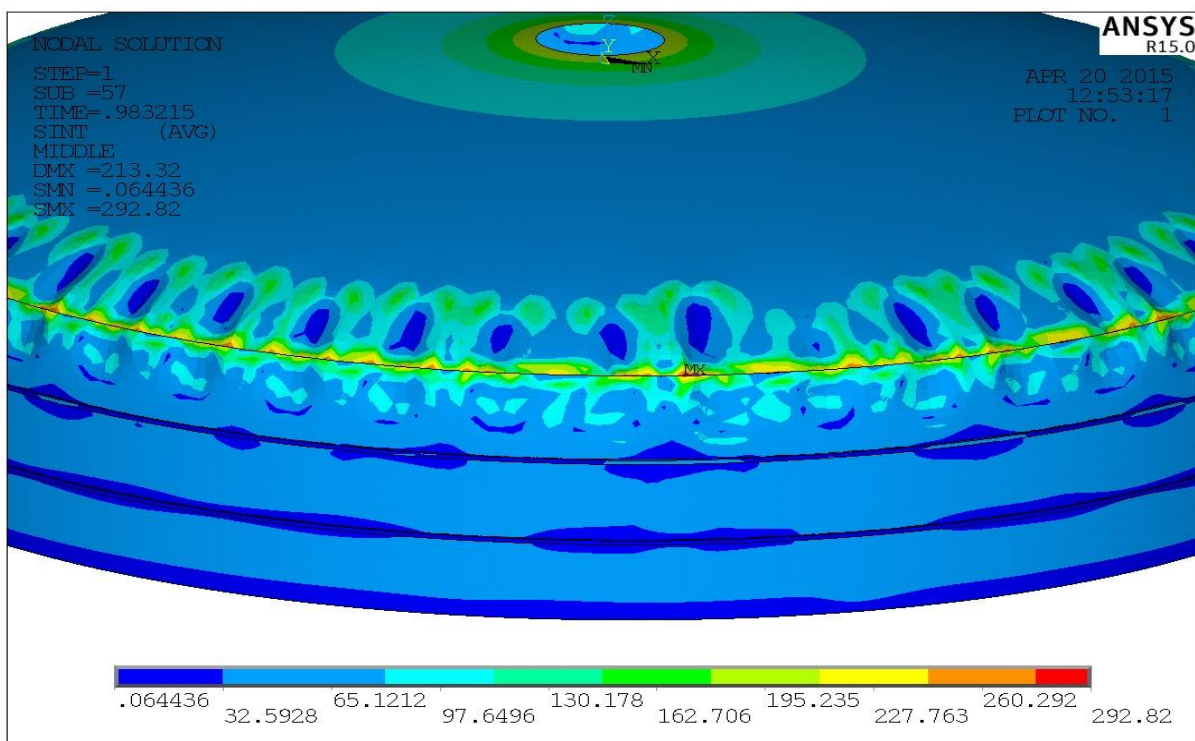


Obr. 5.3 Celkové deformace – konstrukce a plášť (mm) – detail

D	ANALÝZA STŘECHY – PŘETLAK NÁDRŽ H230/02	IP-HNE-D-15-008	Revize	List
			2	12/16

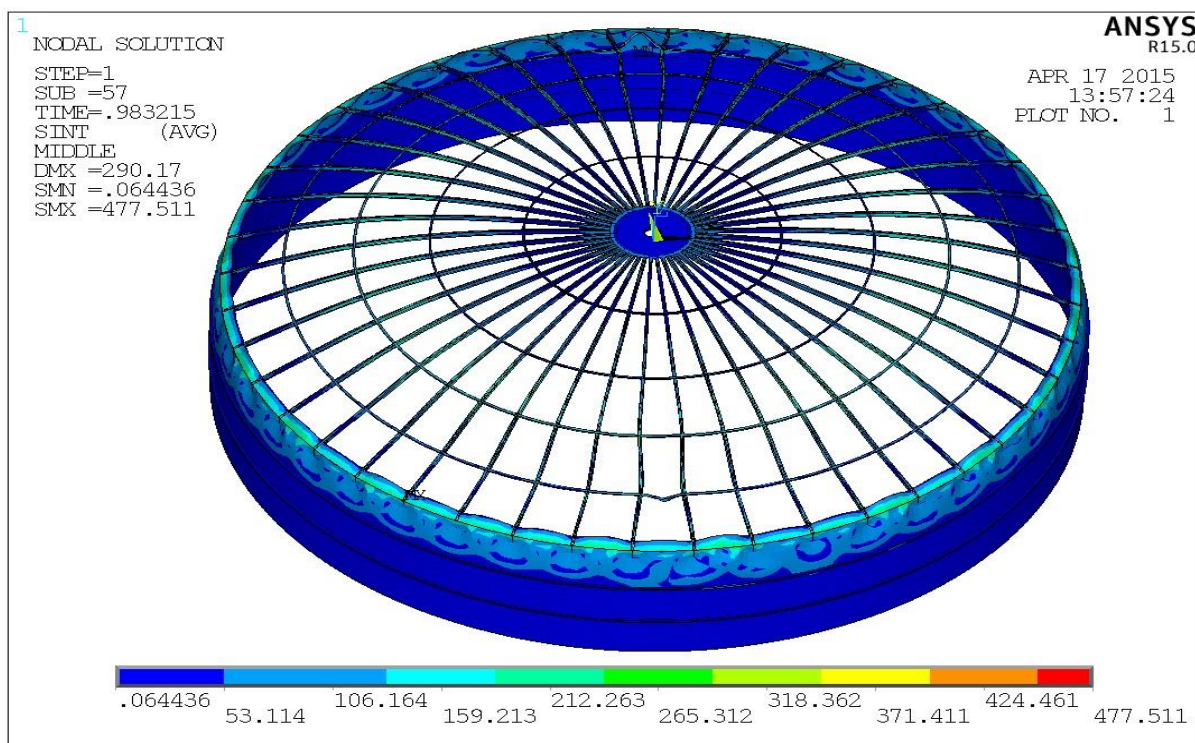


Obr. 5.4 Redukované napětí na střednici - Tresca (MPa) – skořepina a plášť

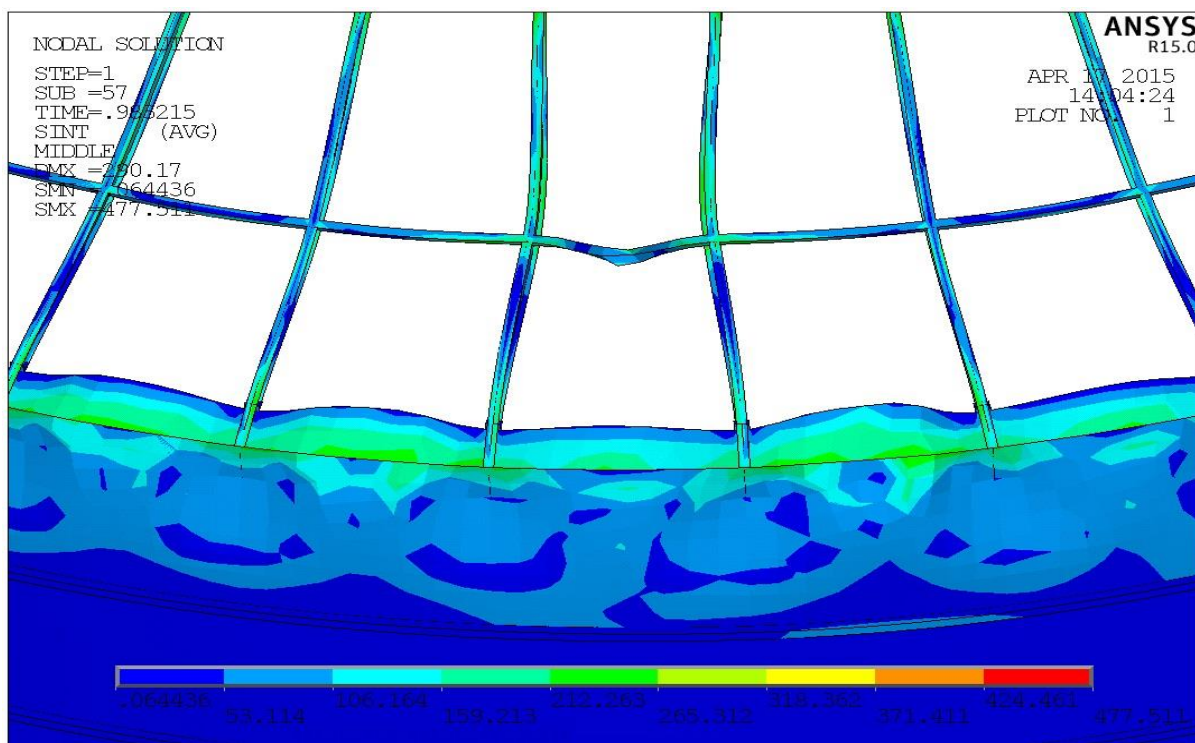


Obr. 5.5 Redukované napětí na střednici - Tresca (MPa) – skořepina a plášť - detail

D	ANALÝZA STŘECHY – PŘETLAK NÁDRŽ H230/02	IP-HNE-D-15-008	Revize	List
			2	13/16

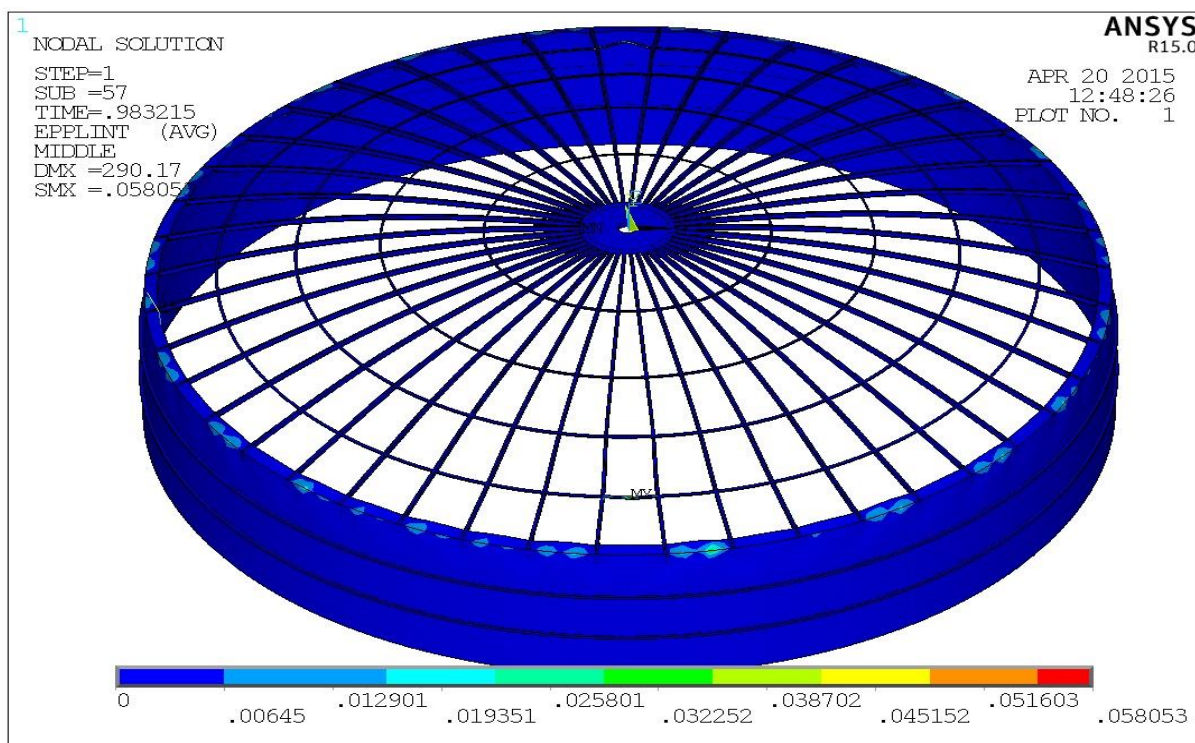


Obr. 5.6 Redukované napětí na střednici - Tresca (MPa)

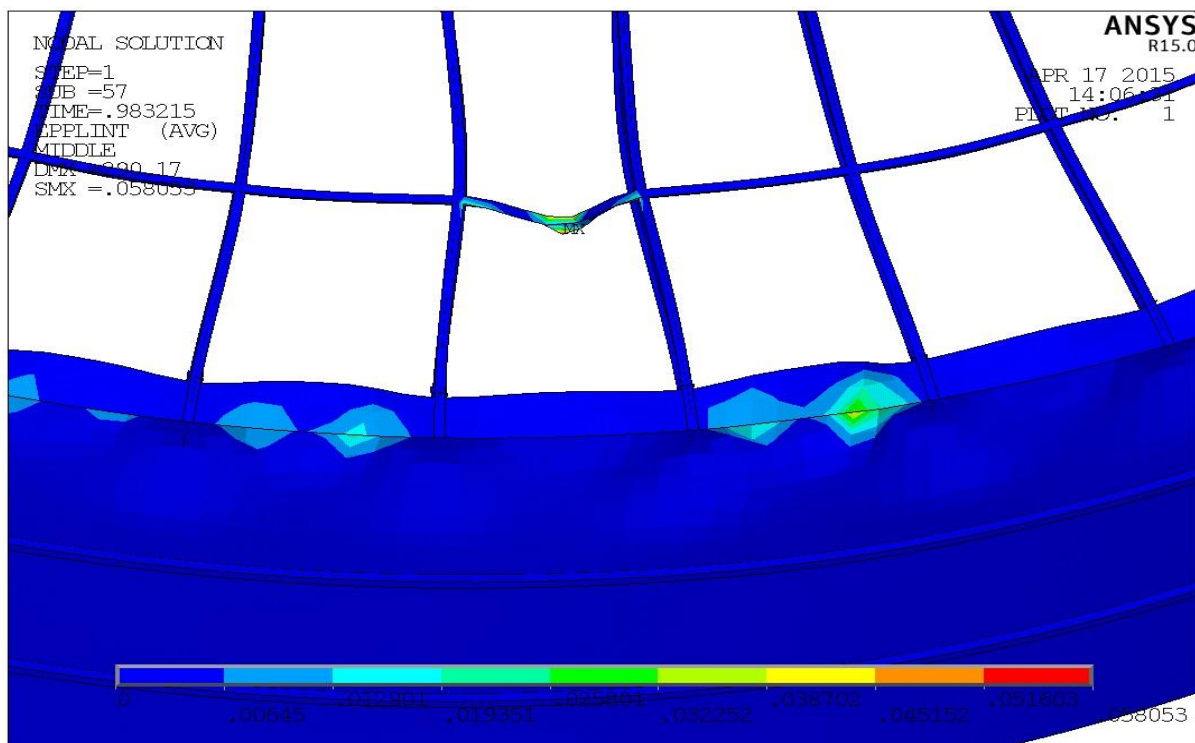


Obr. 5.7 Redukované napětí na střednici - Tresca (MPa) - detail

D	ANALÝZA STŘECHY – PŘETLAK NÁDRŽ H230/02	IP-HNE-D-15-008	Revize	List
			2	14/16



Obr. 5.8 Plastické deformace (mm)



Obr. 5.9 Plastické deformace (mm) - detail

D	ANALÝZA STŘECHY – PŘETLAK NÁDRŽ H230/02	IP-HNE-D-15-008	Revize	List
			2	15/16

ZÁVĚR

Předmětem této zprávy byl jednak výpočet kritické hodnoty přetlaku, při kterém střecha nádrže začne ztrácet svoji stabilitu. Za druhé byl proveden výpočet, který simuloval zatížení nádrže přetlakem působícím při skutečném roztržení nádrže.

První analýza určila jako kritickou hodnotu počátku ztráty stability **10,12 kPa**, při které začne plastizovat spoj skořepiny, střešní konstrukce a pláště.

Druhá analýza simulovala zatížení nádrže 98,3 % havarijního přetlaku, tj. v momentě utržení střechy od pláště (přetlak **14,91 kPa**). Z výsledků je patrné, že došlo k plastizaci po celém obvodu spoje skořepiny, střešní konstrukce a pláště. Navíc v místě imperfekce došlo k výraznému vybočení jednoho z obvodového L profilu (např. obr. 5.9). K vybočení tohoto profilu došlo i na opačné straně střechy.

Díky použité imperfekci, kdy došlo k zeslabení jednoho z plechů výztužného prstence (obr. 3.3) v mezích výrobní tolerance, se výsledky přibližují skutečným deformacím. Je však nutné podotknout, že oba výpočty jsou pouze teoretické a k vystižení reálného chování konstrukce by bylo třeba znát skutečné imperfekce. Další neznámou je vliv dějů, které nastaly po utržení střechy v kritickém místě, kdy došlo k úniku stlačeného vzduchu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] ASNYS, Inc. *Elements Reference*. Dostupné z:
http://www.vncold.vn/modules/cms/upload/10/AnPham/NamText/Download/aelem110_elements.pdf

[2] ČSN EN 10029. Plechy ocelové válcované za tepla, tloušťky od 3 mm. Mezní úchytky rozměrů, tvaru a hmotnosti. 1995.

D	ANALÝZA STŘECHY – PŘETLAK NÁDRŽ H230/02	IP-HNE-D-15-008	Revize	List
			2	16/16