

**VDNM, horní zdrž – modernizace segmentů přelivných polí,  
DSP**



**Statické posouzení hradící segmentové konstrukce přelivu č.1**

**( PRACOVNÍ VERZE 11. 4. 2024 )**

Vypracoval: Ing. Petr Jízdný  
Ing. František Svěrák

Dne: 04.03.2024

## OBSAH:

<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>3</b>
<b>2. PODKLADY.....</b>	<b>3</b>
<b>3. POPIS KONSTRUKCE .....</b>	<b>3</b>
3.1 PARAMETRY HRADÍCÍ KONSTRUKCE.....	3
3.2 SEGMENT S Klapkou - Č.v. 0 OCK 8548-262.....	3
3.2.1 <i>Krajní díl segmentu č.v. 0OCK8548-263a, 0OCK8548-264a</i> .....	4
3.2.2 <i>Střední díl segmentu – č.v. 0OCK8548-265a</i> .....	4
3.2.3 <i>Klapka č.v. 1OCK8548-268a, 1OCK8548-269a</i> .....	4
3.2.4 <i>Ramena segmentu pravé, levé č.v. 0OCK8548-266, 0OCK8548-267</i> .....	4
3.3 MATERIÁLOVÉ PROVEDENÍ.....	5
<b>4. POSOUZENÍ STÁVAJÍCÍ KONSTRUKCE SEGMENTOVÉHO UZÁVĚRU.....</b>	<b>5</b>
4.1 POPIS KONSTRUKCE.....	5
4.2 MODEL GEOMETRIE.....	6
4.3 SÍŤ KONEČNÝCH PRVKŮ .....	6
4.4 MATERIÁL .....	7
4.5 OKRAJOVÉ PODMÍNKY .....	8
4.6 ZATÍŽENÍ .....	8
4.7 HODNOCENÍ PEVNOSTI .....	9
4.8 DEFORMACE SEGMENTU CELKOVÁ.....	9
4.9 PRŮBĚH NAPĚTÍ.....	10
4.10 KONTROLA VZPĚRNÉ STABILITY.....	12
<b>5. ZÁVĚR - DOPORUČENÍ.....</b>	<b>17</b>
<b>6. LITERATURA.....</b>	<b>17</b>

## 1. ÚVOD

Horní nádrž vodního díla Nové mlýny byla uvedena do provozu v roce 1978. Do hlavní hráze mezi 1. a 2. nádrží jsou vsazena 4 přelivná pole délky 23,5 m, která jsou hrazena segmentovými uzávěry. Přelivná pole č. 2, 3, 4 jsou hrazena pevnými segmenty shodné konstrukce ovládanými oboustranně ze strojoven umístěných na přilehlých pilířích. Konstrukce segment č.1 je rozdílná a je osazena nesenou klapkou délky 14 m, která je ovládána pomocí Gallových řetězů ze strojoven na přilehlých pilířích. Gallovy řetězy zároveň zajišťují celkové vyhrazení segmentu. Klapka slouží k regulaci odtokových poměrů při běžných průtocích.

## 2. PODKLADY

Seznam podkladů:

1. Prohlídka strojoven a nezahrazeného segmentu ze dne 08. 02. 2024

Seznam výkresové dokumentace z archivu objednatele:

1. 0OCK8548-262 – SEGMENT S KLAPKOU + KUSOVNÍK
2. 0OCK8548-263a – KRAJNÍ DÍL SEGMENTU – LEVÝ
3. 0OCK8548-264a – KRAJNÍ DÍL SEGMENTU – PRAVÝ
4. 0OCK8548-265a – TĚLESO SEGMENTU
5. 0OCK8548-266 – RAMENO PRAVÉ
6. 0OCK8548-267 – RAMENO LEVÉ
7. 1OCK8548-268a – TĚLESO KLAPKY
8. 1OCK8548-269a – TĚLESO KLAPKY

Uvedené výkresy jsou přílohou této zprávy.

## 3. POPIS KONSTRUKCE

### 3.1 Parametry hradící konstrukce

Hrazená šířka přelivu.....	23 500 mm
Maximální hrazená výška .....	3 200 mm
Maximální zdvih segmentu.....	3 700 mm
Kóta hladiny vody nad prahem .....	171,50 m n. m.
Kóta prahu segmentu.....	168,30 m n. m.
Délka nesené klapky.....	14 000 mm.

### 3.2 Segment s klapkou - č.v. 0 OCK 8548-262

Segment je montážně tvořen ze tří částí. Dva krajní díly jsou zrcadlově souměrné dle osy segmentu a střední díl je snížený a uzpůsobený pro uchycení 2 dílů klapky.

### **3.2.1 Krajiní díl segmentu č.v. 00CK8548-263a, 00CK8548-264a**

Krajiní díl je tvořen pláštěm z plechu tloušťky 10 mm zakruženým s rádiusem R 7000 mm. Obšívkový plech je ve spodní části v celé šířce vyztužen dutým profilem lichoběžníkového tvaru o rozměrech 1233 x 1253 mm z plechu tloušťky 10 mm. Radiálně je plášť vyztužen 2 žebry z plechu tl. 10 mm a štítem přiléhajícím ke klapce z plechu tl. 10 mm, který je vyztužen profilem L 80x80. Boční štít přiléhajícím k pilíři je tvořen plechem tl. 16 mm s konzolou pro zdvihání segmentu a kulisou pro ovládání klapky. Plášť je v celé šířce horní a spodní části dále vyztužen profilem L120x80 a ten samý profil je použit pro 3 podélné výztuhy v celé šířce. Ovládání klapky je realizováno hřídelí tvořené trubkou 194x16 umístěnou od štítu klapky ke konzole pro zvedání segmentu. V místě připojení nosných ramen je krajiní díl segmentu vyztužen deskou tl.20 mm.

### **3.2.2 Střední díl segmentu – č.v. 00CK8548-265a**

Střední díl segmentu je tvořen pláštěm z plechu tloušťky 10 mm zakruženým s rádiusem R 7000 mm. Plášť je v celé šířce vyztužen dutým profilem lichoběžníkového tvaru o rozměrech 1200 x 1234 mm z plechu tloušťky 10 mm. Radiálně je plášť vyztužen 7 žebry z plechu tl. 10 mm. Plášť je uvnitř lichoběžníkového profilu v celé šířce vyztužen jedním profilem L120x80 a ten samý profil je použit pro podélnou výztuhu v dosedací části v místě prahového těsnění.

### **3.2.3 Klapka č.v. 10CK8548-268a, 10CK8548-269a**

Konstrukce pravé a levé části klapky je shodná osově souměrná dle osy celého segmentu. Každá část klapky je jednostranně ovládaná pomocí hřídele z krajního dílu segmentu. Středové spojení klapky je plochou gumou a slouží pouze k dotěsnění, bez přenosu sil. Konstrukce klapky je tvořena pláštěm z plechu tl. 10 mm zakruženým s rádiusem 4000 mm. Plášť je po šířce ze vzdušné strany vyztužen kruhovým profilem o rádiu 300 mm a pěti radiálními žebry. Dvě žebra jsou připojena na čep konzoly středního dílu segmentu a tvoří osu otáčení. Na přelivné hraně jsou osazeny rozražeče přelivného paprsku.

### **3.2.4 Ramena segmentu pravé, levé č.v. 00CK8548-266, 00CK8548-267**

Konstrukce obou ramen je shodná zrcadlově obrácená. Hlavní nosníky ramene jsou tvořeny profily I 400 - ČSN 42 5550 délky 6551 mm. Vzájemnou polohu nosníků zajišťují dvě příčná žebra z profilu I 400 - ČSN 42 5550 délky 532 a 894 mm a dvě diagonální výztuhy z profilu I 200 – ČSN 42 5550. Rameno je ukončeno ve válcovém náboji osazeným bronzovými pouzdry s vnitřním vrtáním  $\phi$  200 H8 pro nosný čep segmentu. Obě ramena byla připojena montážní svarem na stavbě k předem vyztuženému místu segmentu.

### 3.3 Materiálové provedení

Pro zhotovení tělesa segmentu a ramen by užít shodný materiál 11 373.0 – ČSN 41 1373.

ČSN 41 1373

STN 41 1373

Nelegovaná ocel obvyklých vlastností vhodná ke svařování pro ocelové konstrukce

11 373

Značka

Chemické složení [hm. %]

C	P	S	N
max 0,17	0,045	max 0,045	max 0,007

Dovolené úchytky chemického složení hotového výrobku

+0,04	+0,010	+0,010	+0,002
-------	--------	--------	--------

Polotovary

[1] tyče válcované za tepla

[2] tvarové tyče válcované za tepla

[3] dráty válcované za tepla

[4] tlusté plechy válcované za tepla

[5] široká ocel válcovaná za tepla

[6] tenké plechy válcované za tepla

[7] pásy válcované za tepla

[8] tyče tažené za studena

[9] tenké plechy válcované za studena

[10] pásy a pruhy válcované za studena

[11] pásy podélně dělené válcované za studena

[12] duté profily tvářené za studena

[13] široké ohýbané profily tvářené za studena

[14] tenkostěnné profily ocelové tvářené za studena

Mechanické vlastnosti

Polotovary	[1] [2] [3]			[4]		[5]	
Rozměr t, d [mm]	≤ 16	16–40	40–100	3–16	16–40	≤ 16	16–40
Stav	.0			.0 nebo .1		.0	
Mez kluzu R <sub>eH</sub> [MPa] min	235	225	205	235	225	235	225
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]	340–470			340–470		340–470	
Tažnost A <sub>5</sub> [%] podél min	26		25	24		26	
Nárazová práce KV [J] min	27			27		27	
Modul pružnosti E [GPa]	206						

Polotovary	[6]				[9]	
Rozměr t, d [mm]	1,5	1,5–2,0	2,0–2,5	2,5–3,0	0,5–2,0	
Stav	.1				.2	
Mez kluzu R <sub>eH</sub> [MPa] min	235				220	
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]	360–510				360–470	
Tažnost A <sub>90</sub> [%] napříč min	16	17	18	19	20	

Pro výrobu hradící konstrukce byly využity polotovary [1], [2], [4], [5].

## 4. POSOUZENÍ STÁVAJÍCÍ KONSTRUKCE SEGMENTOVÉHO UZÁVĚRU

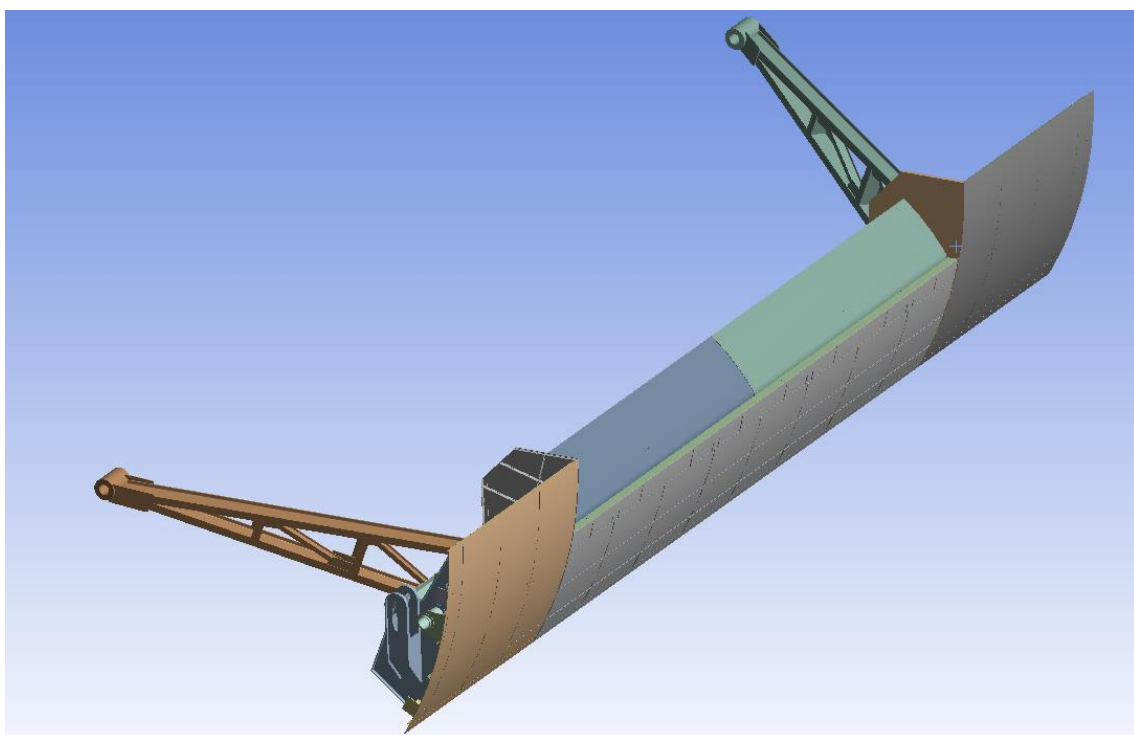
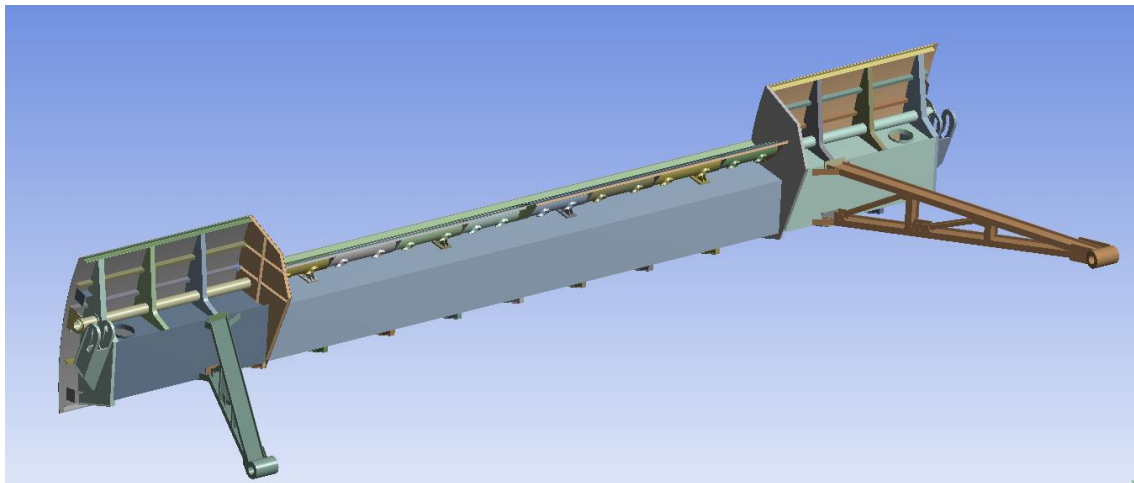
Účelem hodnocení je posouzení stávajícího segmentu v původním stavu a geometrii za účelem ověření návrhových parametrů – napětí, průhybů a vzpěrné stability konstrukce.

### 4.1 Popis konstrukce

Viz. kapitola 3. **POPIS KONSTRUKCE** v této zprávě.

## 4.2 Model geometrie

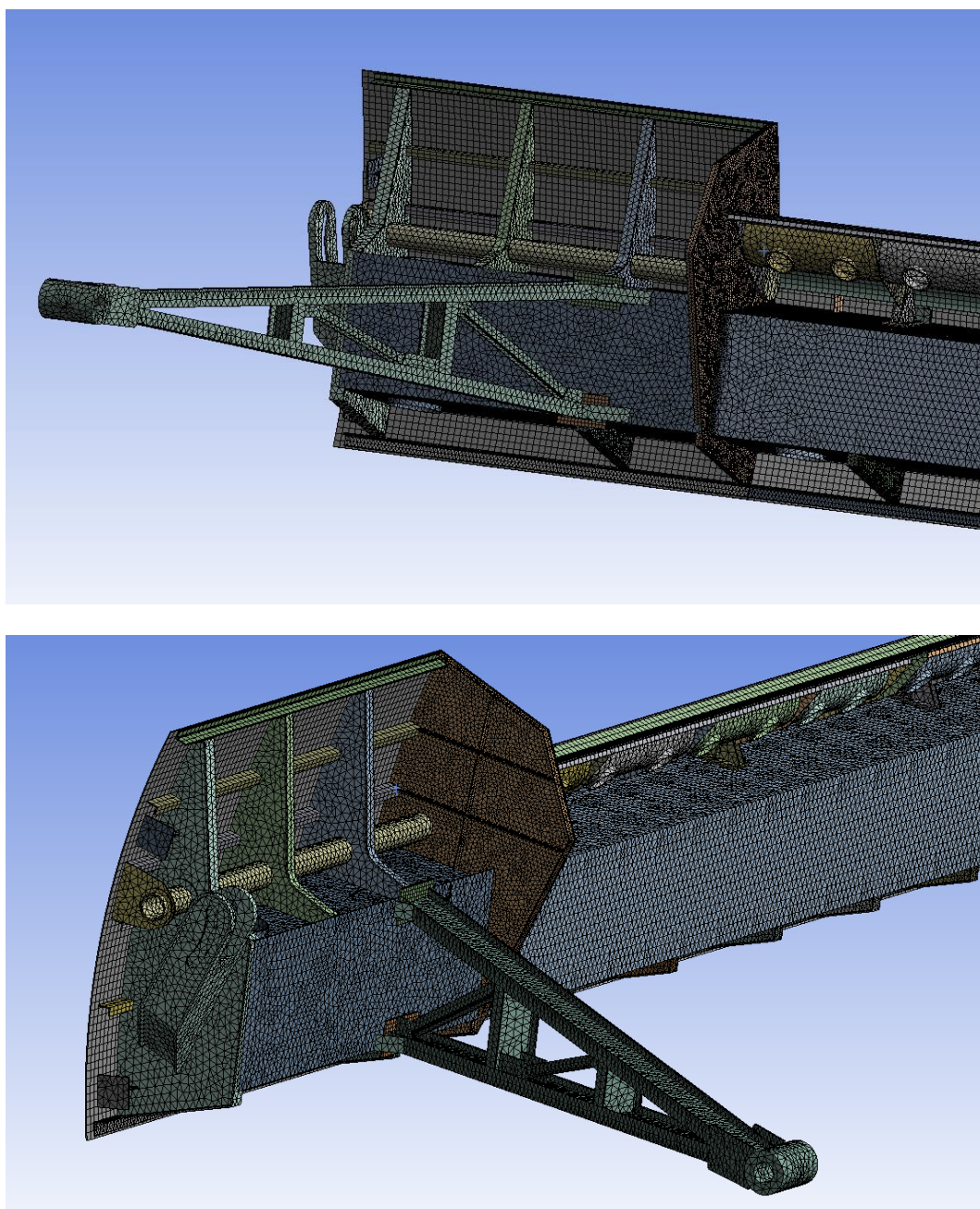
Model geometrie byl vytvořen na základě podkladů původní výrobní dokumentace bez možnosti ověření skutečného stavu na díle. Model byl vytvořen v programu Solidworks verze 2024.



## 4.3 Síť konečných prvků

Síť konečných prvků je vytvořena ve výpočtovém systému Solidworks verze 2018 – simulation. Počet prvků sítě je 401 163 a počet uzlů sítě je 970 584.





#### 4.4 Materiál

Podle konstrukční dokumentace je segment vyroben z ocelových plechů a válcovaných profilů z materiálu 11 373.0. Materiálový list je obsažen v kapitole **3.3 Materiálové provedení**

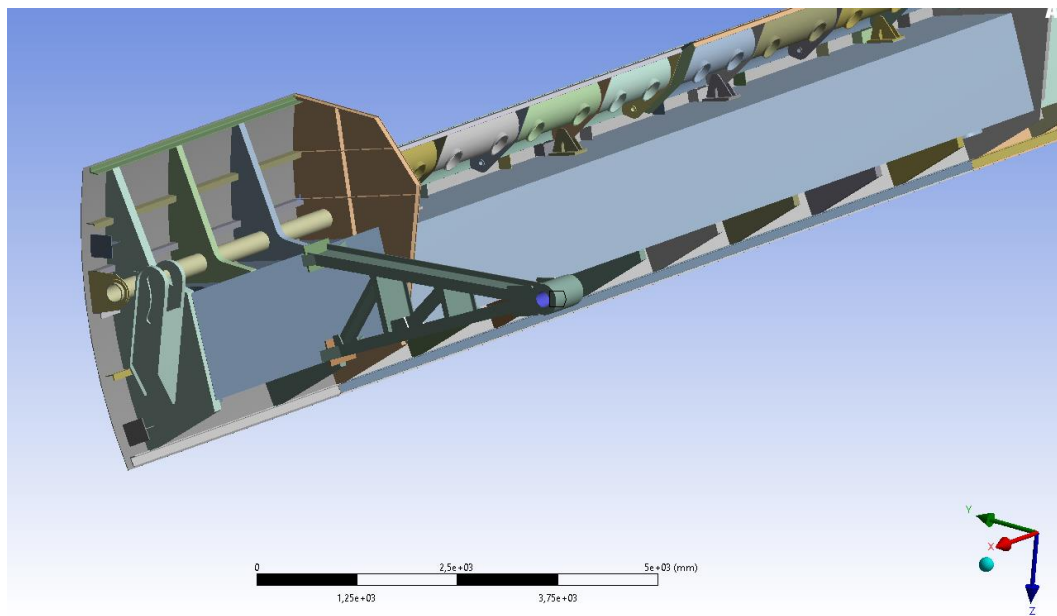
Mechanické vlastnosti materiálu:

$$E = 210\,000 \text{ MPa}$$
$$\mu = 0,3$$

Modul pružnosti v tahu  
Poissonovo číslo

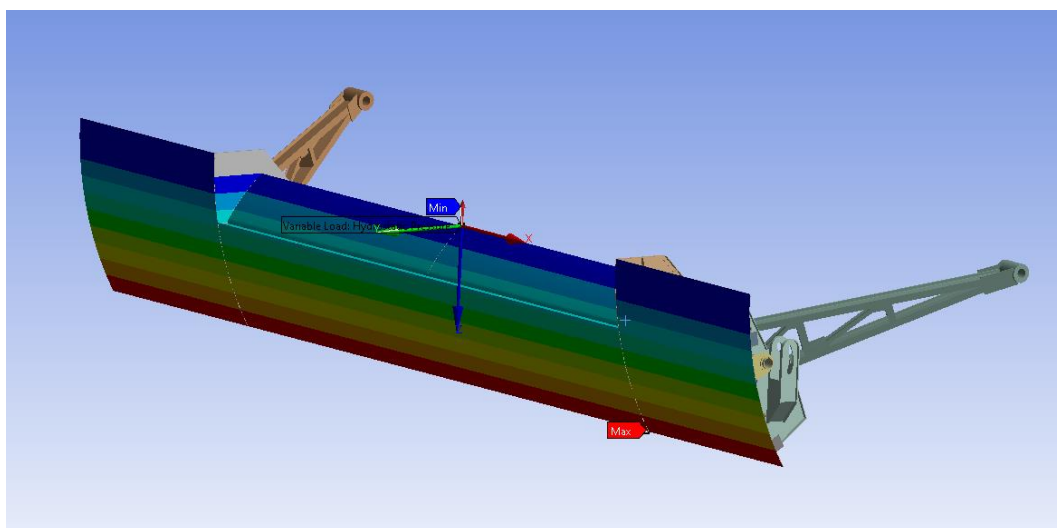
#### 4.5 Okrajové podmínky

Segment je směru osy Z podepřen v místě dosednutí na spodní práh. V místě čepu ramene je segment ukotven v radiálním a axiálním směru pro přenos sil do stavby.



#### 4.6 Zatížení

Segment je zatížen jednostranně tlakem vody s hydrostatickým rozložením do výšky horní hrany přelivu klapky při maximálním zvednutí a to je 3,2 m. Model zatížení zahrnuje vlastní hmotnost konstrukce segmentu.





#### 4.7 Hodnocení pevnosti

Pevnostní podmínku plechů a profilů podle [4] a [5] lze vyjádřit nerovností:

$$\sigma \leq \frac{f_y \cdot \gamma_u}{\gamma_M \cdot \gamma_F \cdot \phi} = f_{\sigma},$$

kde:

$\sigma$  jsou napětí vypočítaná MKP,

$f_y = 235$  - MPa je mez kluzu oceli,

$\gamma_u = 0,85$  - je součinitel podmínek působení,

$\gamma_M = 1,15$  - je dílčí součinitel spolehlivosti materiálu,

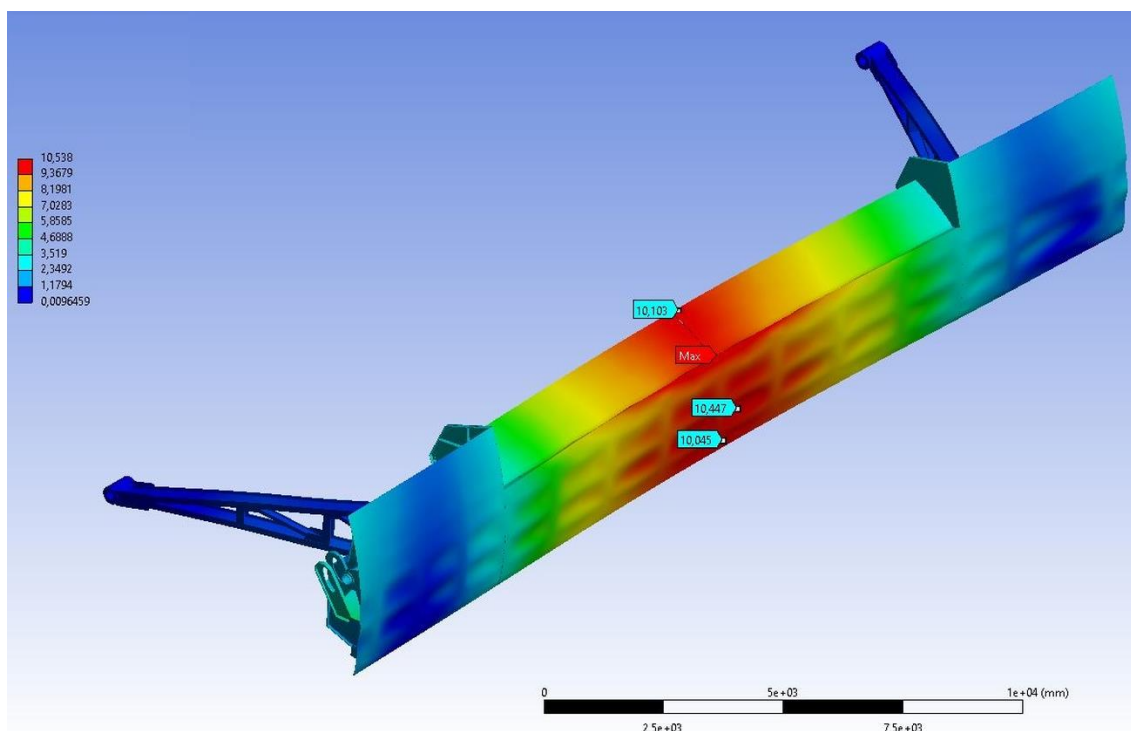
$\gamma_F = 1,2$  - je dílčí součinitel spolehlivosti zatížení při hrazení do průtoku,

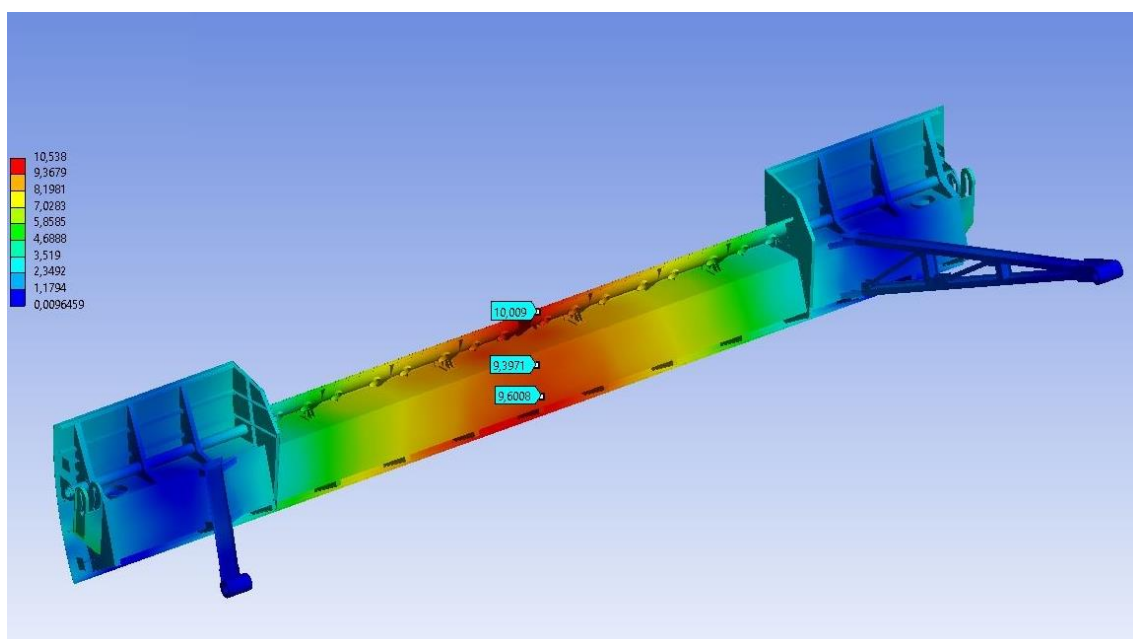
$\phi = 1,2$  - je dynamický součinitel, při hrazení do průtoku,

$f_{\sigma}$  - je přípustná hodnota napětí plechů a profilů

**Pro materiál 11 373.0 je  $f_{\sigma} = 120,7$  Mpa.**

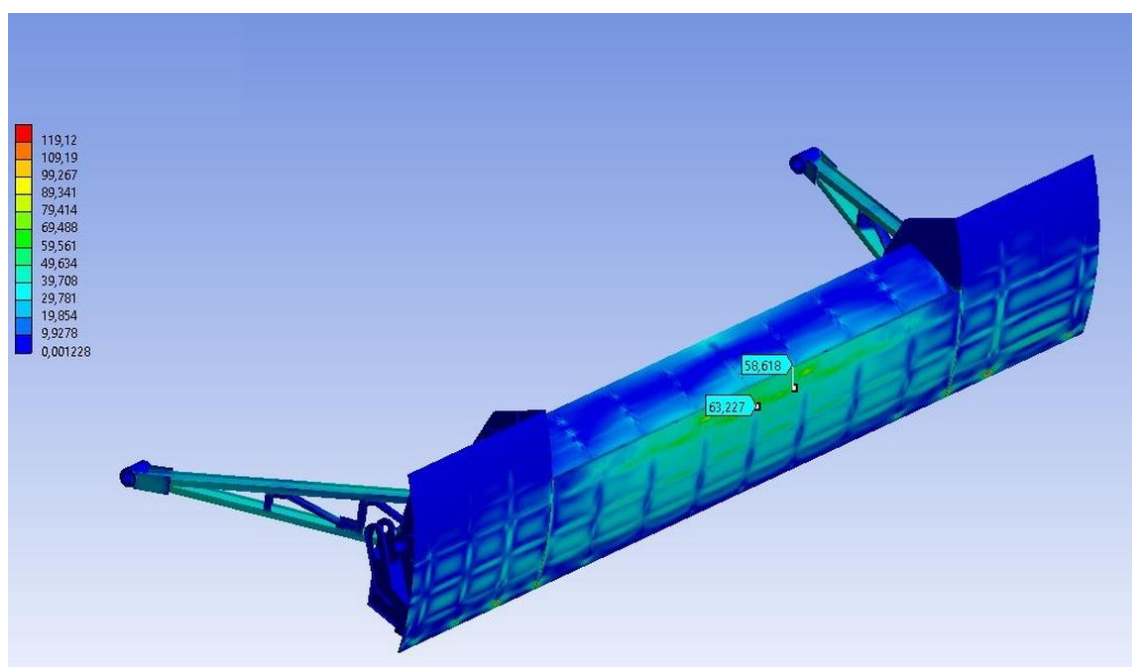
#### 4.8 Deformace segmentu celková



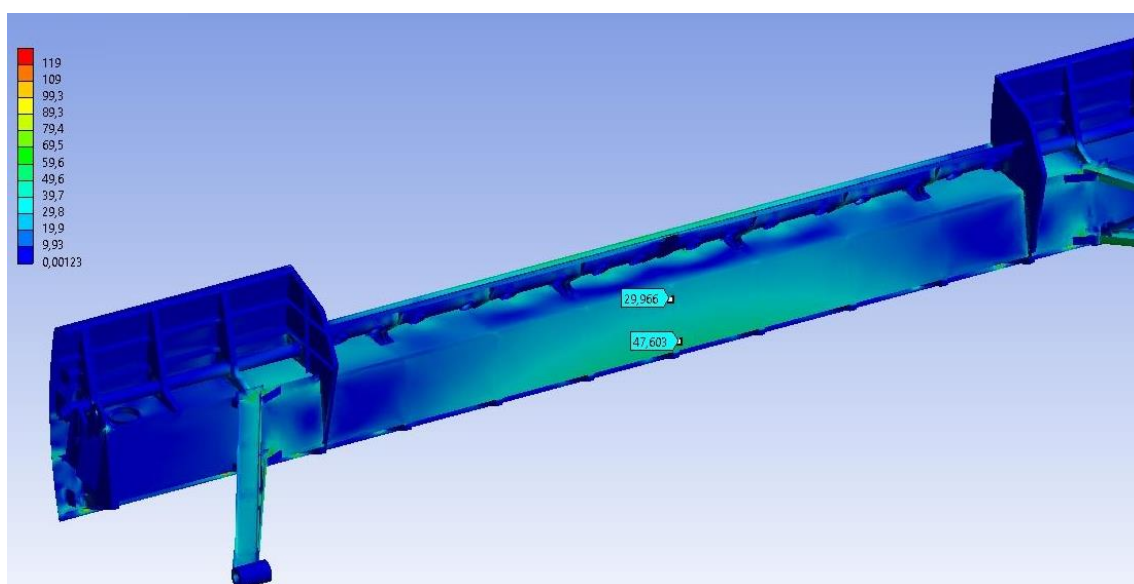


Maximální průhyb segmentu při statickém zatížení je 10,5 mm. Při šířce segmentu 23 500 mm je kritérium průhybu 1 / 2238 .

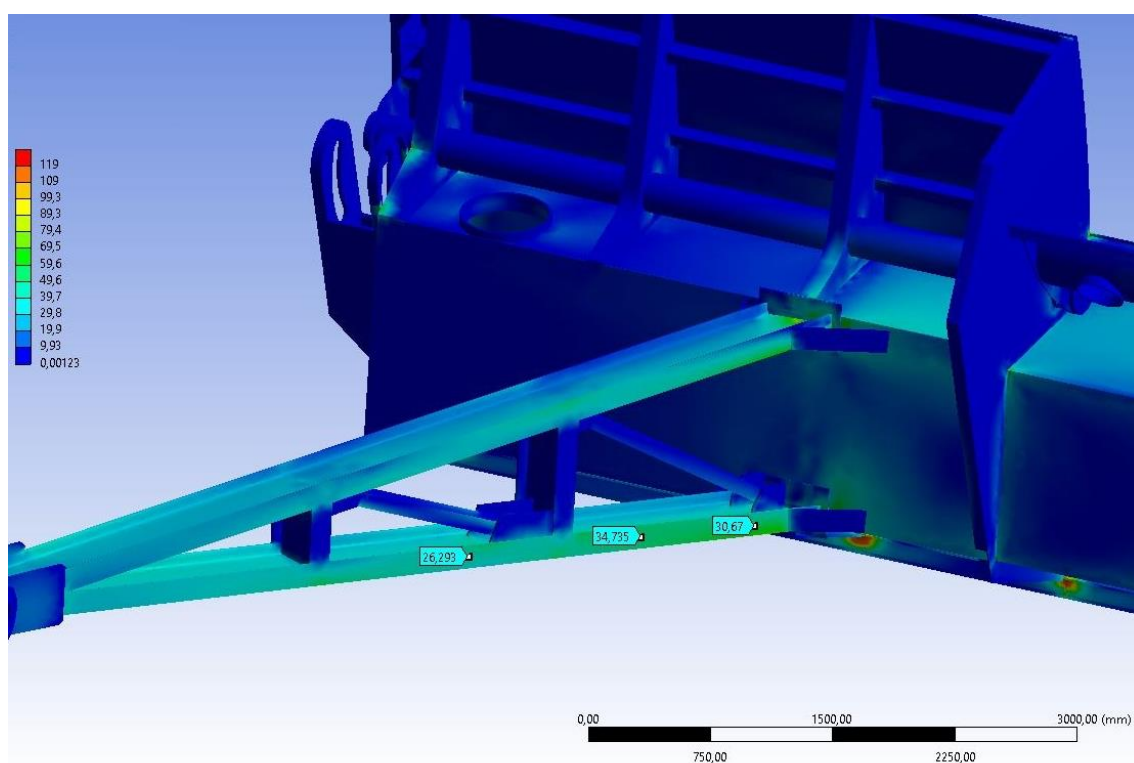
#### 4.9 Průběh napětí



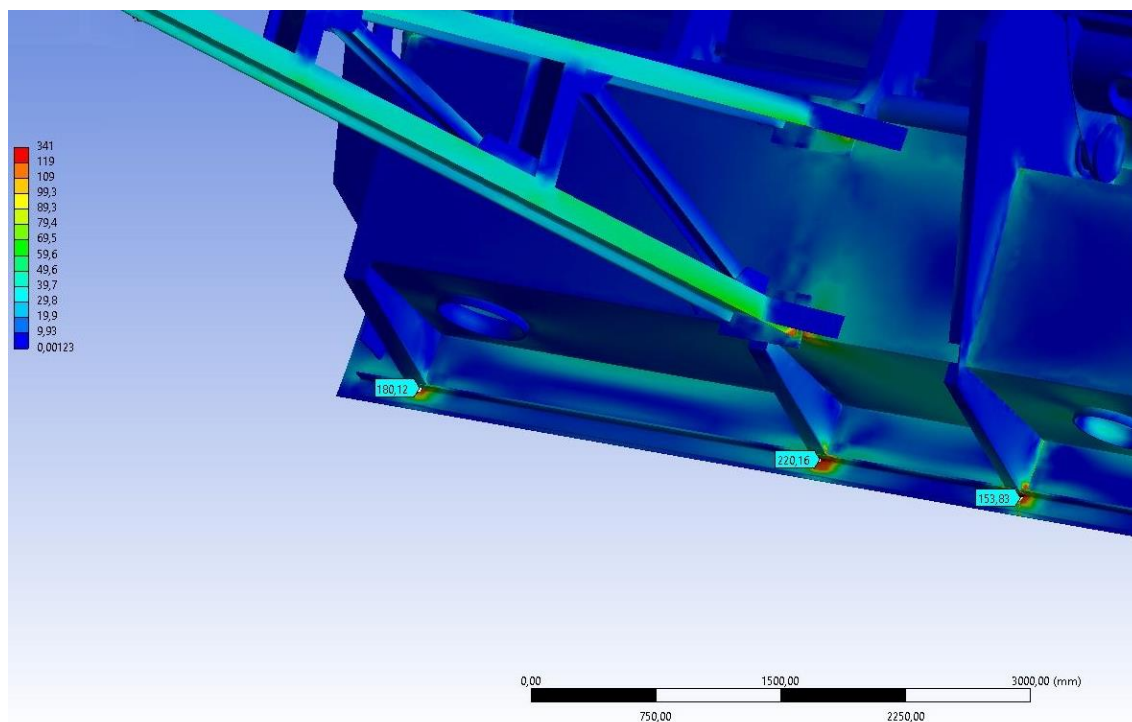
Obybové napětí z návodní strany segmentu



Obybové napětí z vzdušné strany segmentu



Napětí nosná ramena segmentu



Napětí výztuže spodního lemu pláště

- Napětí na plášti z návodní strany  $63,2 \text{ Mpa} \leq f_{\sigma}$  - **vyhovuje**.
- Napětí na v místě výztuže ze vzdušné strany  $47,6 \text{ Mpa} \leq f_{\sigma}$  - **vyhovuje**.
- Napětí na pásnici nosníku ramene  $34,7 \text{ Mpa} \leq f_{\sigma}$  - **vyhovuje**.
- Napětí v místě vetknutí krajních výztužných žebër spodního lemu pláště:  
 $220,2 \text{ MPa} \leq f_{\sigma}$  - **nevyhovuje**  
 $180,1 \text{ MPa} \leq f_{\sigma}$  - **nevyhovuje**  
 $153,8 \text{ MPa} \leq f_{\sigma}$  - **nevyhovuje**

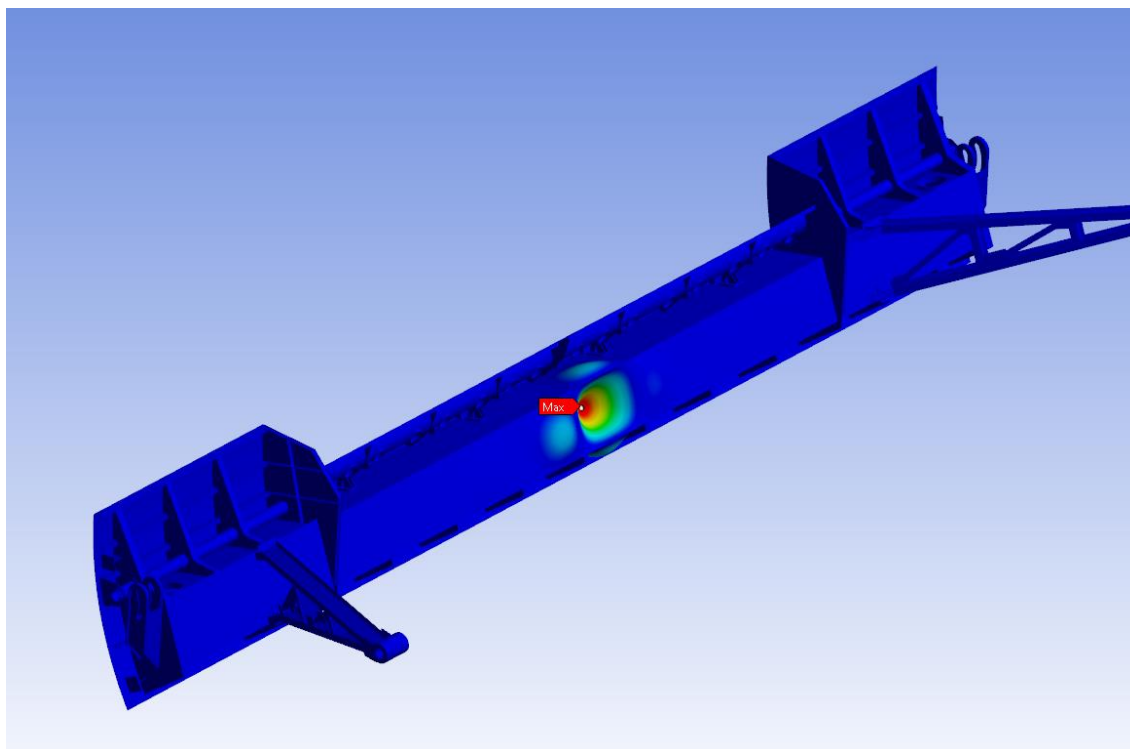
Koncentrace napětí je dána absencí lokální výztuh při přenosu sil do spodního lemu pláště.

#### 4.10 Kontrola vzpěrné stability

Výpočet zobrazuje vztah mezi zatížením, které na konstrukci působí a zatížením kritickým vedoucím ke ztrátě stability. Vlastní tvar vybočení části nebo celé konstrukce dává představu o možném mechanismu porušení. Pro návrh hradících konstrukcí se běžně v dnešní době užívá koeficient bezpečnosti 10 až 12.

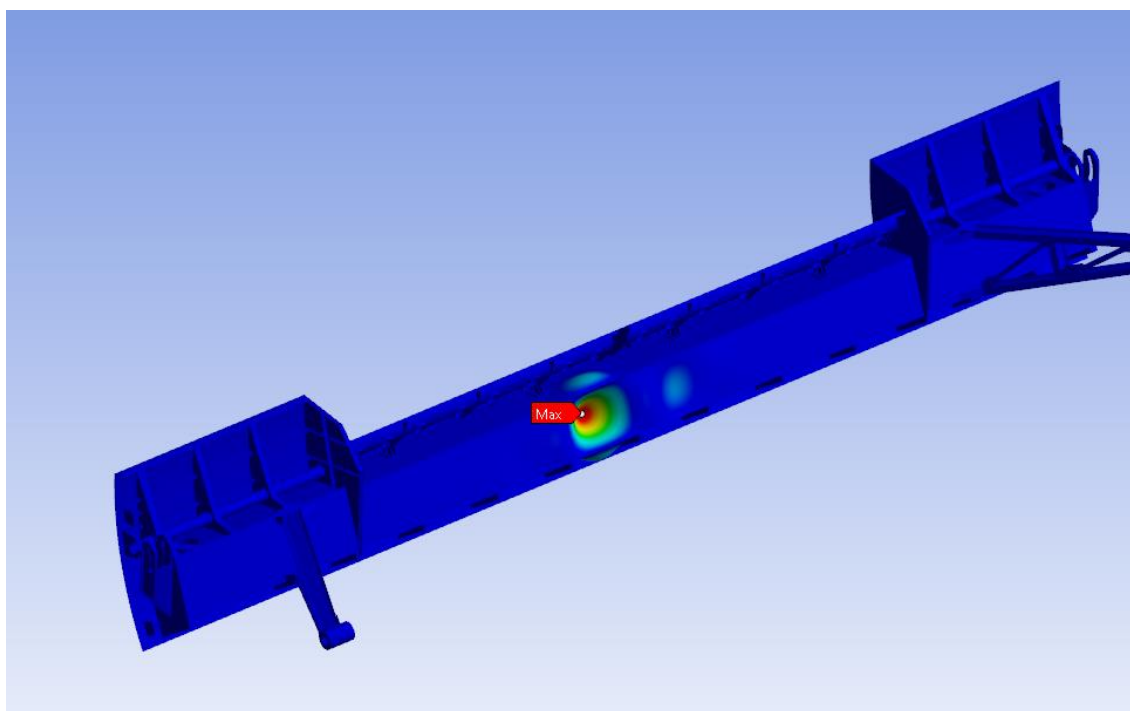
Následně jsou uvedeno 8 tvarů s nejnižším koeficientem bezpečností z celkových přibližně 35-ti, které nevyhovují.

## 1. Tvar porušení vzpěrné stability



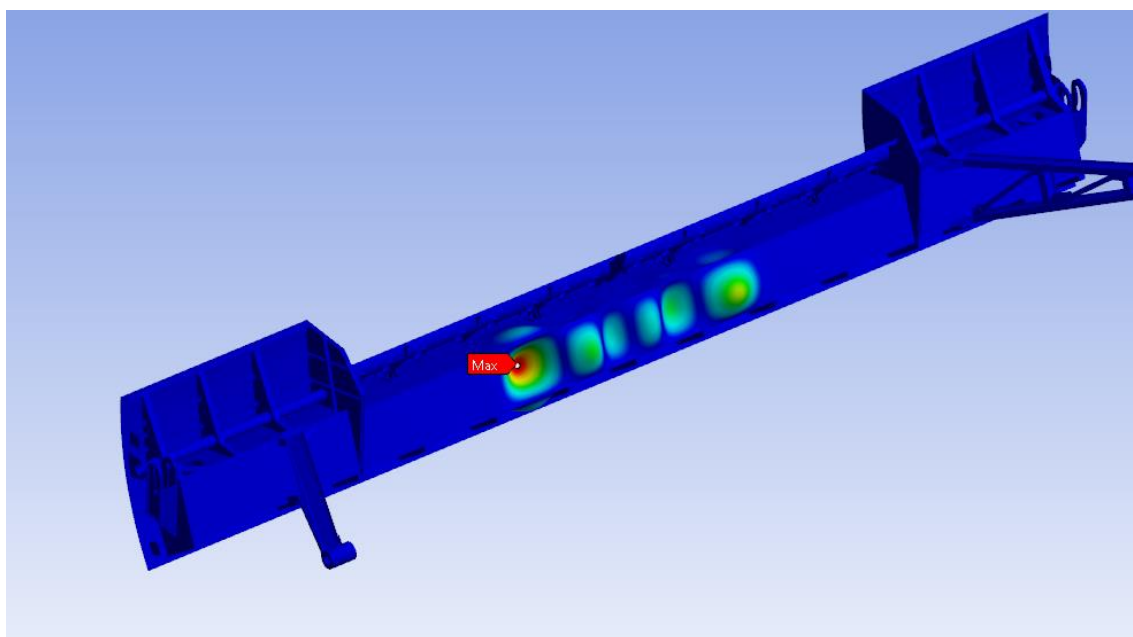
Kritický koeficient bezpečnosti 3,72 – **nevyhovuje.**

## 2. Tvar porušení vzpěrné stability



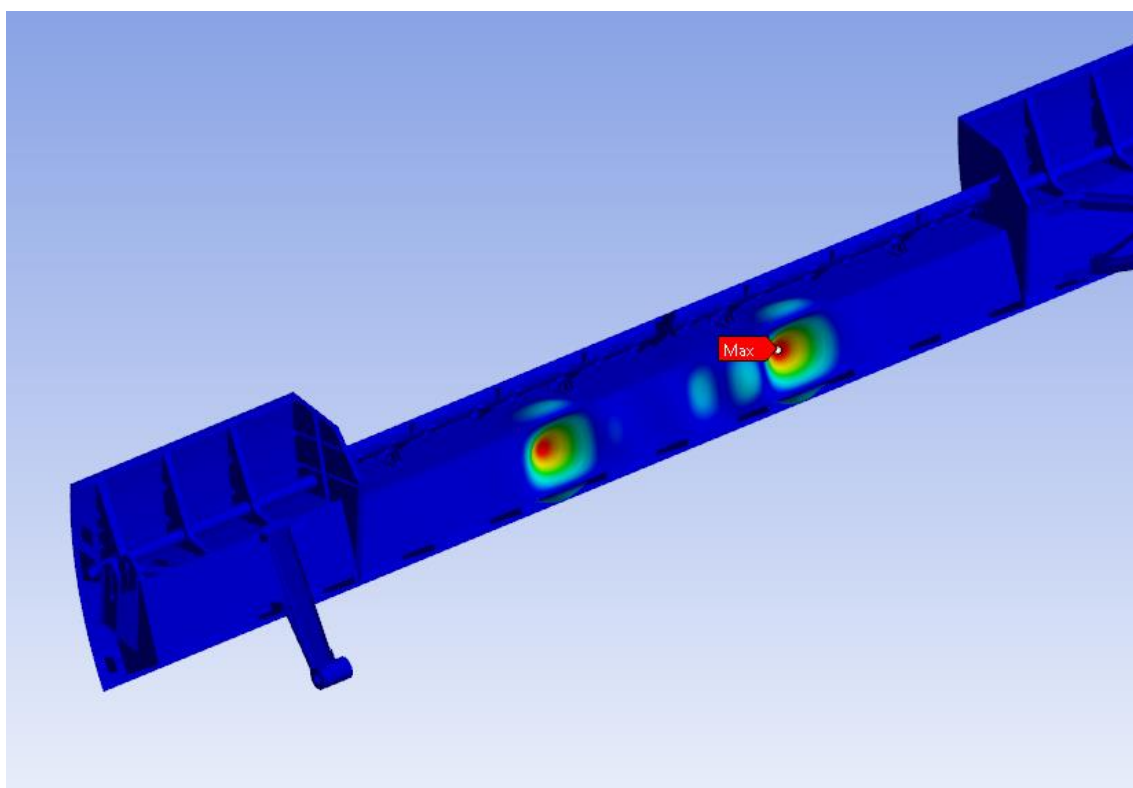
Kritický koeficient bezpečnosti 3,74 – **nevyhovuje.**

## 3. Tvar porušení vzpěrné stability



Kritický koeficient bezpečnosti 4,23 – **nevyhovuje.**

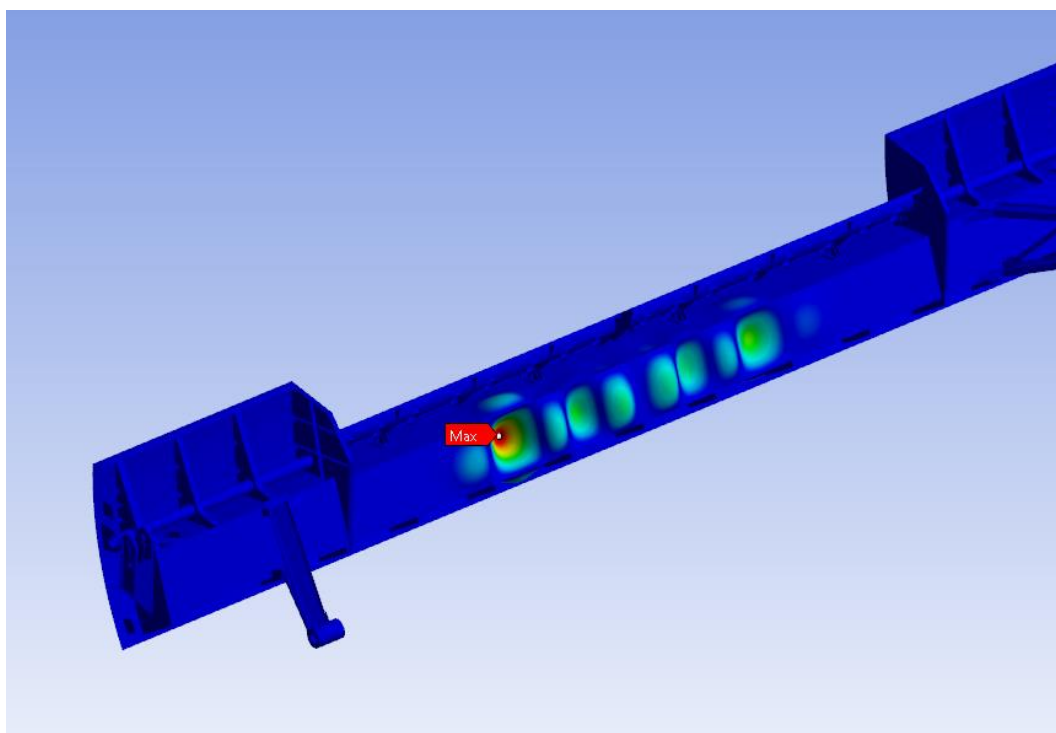
## 4. Tvar porušení vzpěrné stability



Kritický koeficient bezpečnosti 4,34 – **nevyhovuje.**

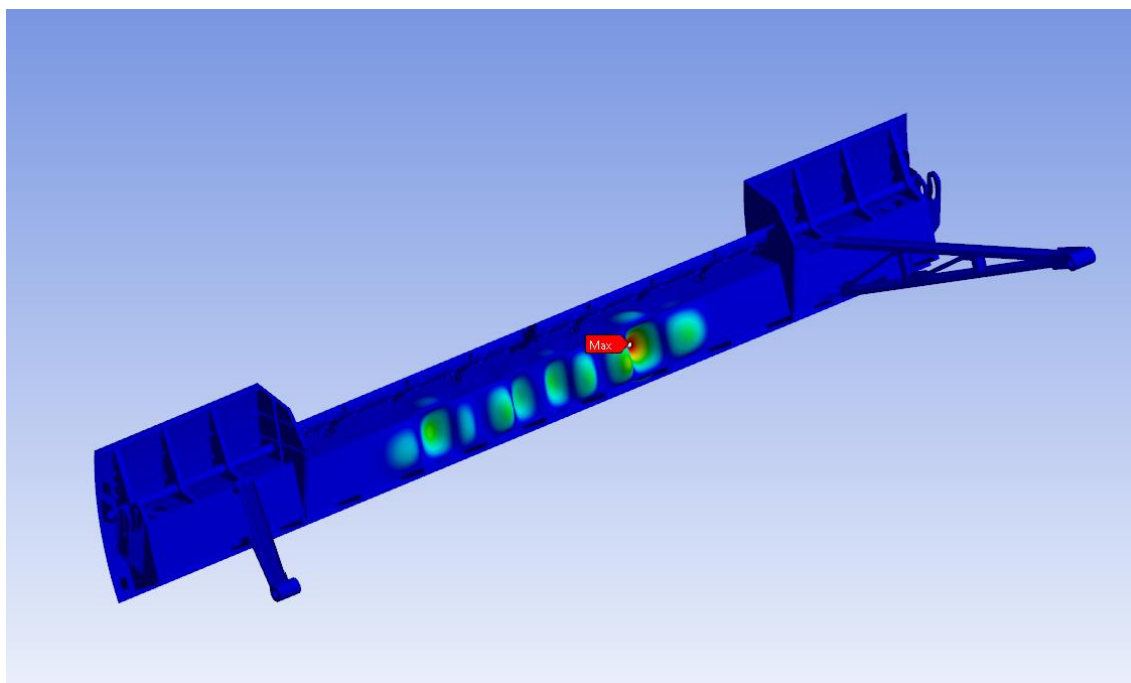


## 5. Tvar porušení vzpěrné stability



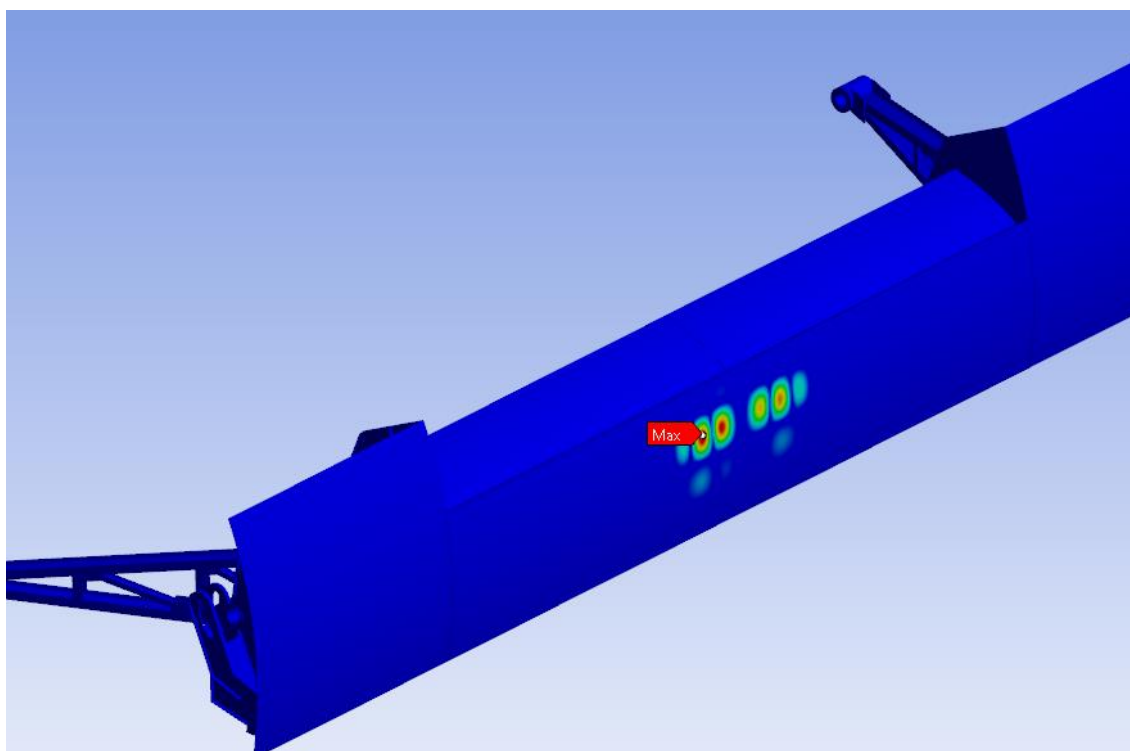
Kritický koeficient bezpečnosti 4,9 – **nevyhovuje.**

## 6. Tvar porušení vzpěrné stability



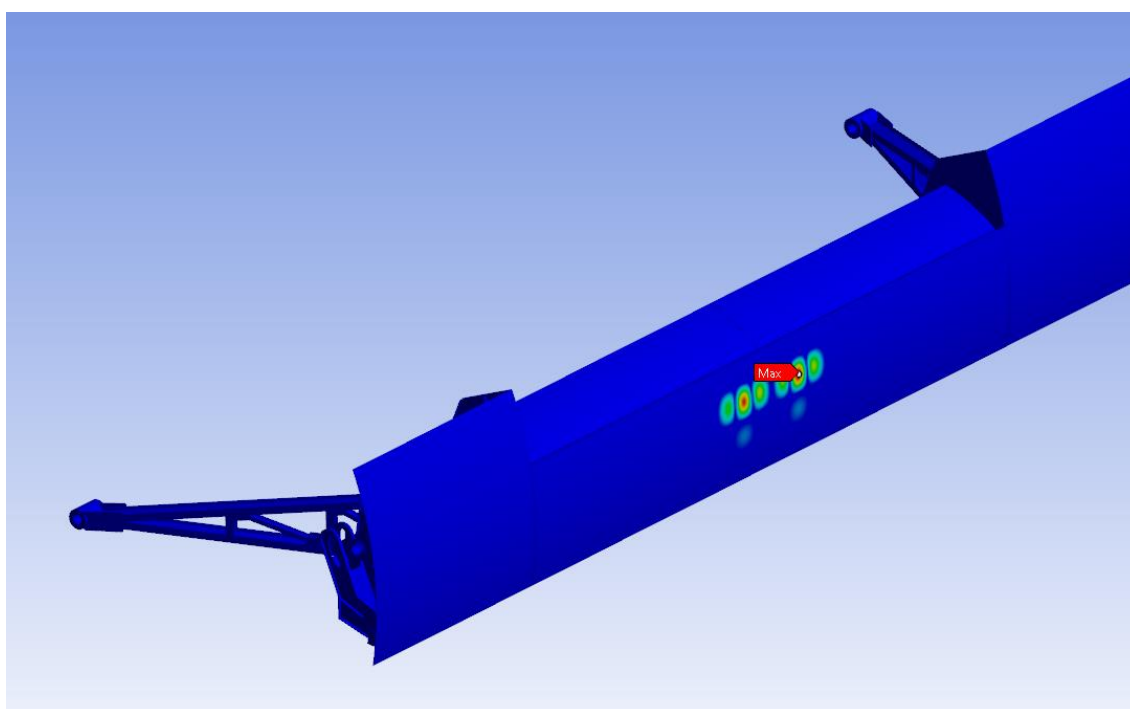
Kritický koeficient bezpečnosti 5,7 – **nevyhovuje.**

## 7. Tvar porušení vzpěrné stability



Kritický koeficient bezpečnosti 5,6 – **nevyhovuje**.

## 8. Tvar porušení vzpěrné stability



Kritický koeficient bezpečnosti 5,72 – **nevyhovuje**

## 5. ZÁVĚR - DOPORUČENÍ

- Celková deformace konstrukce segmentu při statickém zatížení je vyhovující bez výhrad.
- Kontrola průběhu napětí vyhovuje z hlediska maximálního ohybového napětí ve středu segmentu a konstrukci nosných ramen. Maximální lokální koncentrace napětí, které již nejsou vyhovující, jsou v místech dolního lemu pláště díky nízkému počtu výztužných žebírek.
- Kontrola vzpěrné stability hradící konstrukce je nevyhovující.

Nevyhovující vzpěrná stabilita středního dílu segmentu je dána použitím rovných nosných dílů z plechu tloušťky 10 mm ve velikostech 1200 x 1800 mm bez dodatečného vyztužení. Tím dochází k boulení nosného profilu v místech největšího ohybového napětí, které je co do velikosti jinak vyhovující. Je nutné zvážit i korozní úbytky nosných profilů za dobu 45 – letého provozu.

Doporučení:

- Provést kontrolu stavu segmentu po zahrazení a opískování z hlediska korozních úbytků nosných profilů.
- Provést vyztužení kritických profilů dodatečným žebrováním.

## 6. LITERATURA

1. ČSN 73 1401 Navrhování ocelových konstrukcí, březen 1998
2. ČSN 73 1404, Navrhování ocelových konstrukcí vodohospodářských staveb, březen 1999