

Názov stavby / Akcia:

Statický posudok

Zásobné Silo na Nebezpečný odpad



Miesto Stavby:

ZEVO Bratislava, Vlčie hrdlo 72, 821 07 Bratislava

Investor / Stavebník:

OLO a.s., Ivanská cesta 22, 821 04 Bratislava

Spracovateľ:

Ing. Marián Erby, Ľubor Pikula

Dátum spracovania:

10. 2020

OBSAH

A.	IDENTIFIKAČNÉ ÚDAJE ZHOTOVITEĽA POSUDKU	3
B.	IDENTIFIKAČNÉ ÚDAJE SILA ODPADU	3
C.	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	5
D.	CHARAKTERISTIKA ZAŤAŽENÍ PÔSOBIACICH NA KONŠTRUKCIU	5
E.	NÁVRH MATERIÁLOV	5
F.	INŽINIERSKO-GEOLOGICKÉ POMERY STAVENISKA	5
G.	POSUDOK - TEXTOVÁ ČASŤ	6
G.1.	ÚVOD	6
G.2.	PREDMET, ÚČEL A ROZSAH POSÚDENIA / NÁVRHU	6
G.3.	POPIS KONŠTRUKCIE	6
G.4.	SÚČASNÝ STAV – PORUCHY PLÁŠŤA	9
G.5.	MERANIE HRúbKY A SKLADBY PLÁŠŤA	9
H.	POSUDOK - VÝPOČTOVÁ ČASŤ	12
H.1.	ZAŤAŽENIE	12
H.2.	VÝPOČET NAPÄTÍ	21
H.3.	POROVNÁVACÍ VÝPOČET POMOCO U MKP MODELU	26
H.4.	NÁVRH SANÁCIE KONŠTRUKCIE	37
I.	ZÁVER A ZHODNOTENIE	43

PRÍLOHA 1 – FOTODOKUMENTÁCIA Z OBHLIADKY

A. IDENTIFIKAČNÉ ÚDAJE ZHOTOVITEĽA POSUDKU

Erby Statika stavieb, .s.r.o.
Matušková 8, 040 11 Košice

zapísaná na Okr. súde Košice I, oddiel: Sro, Vložka číslo:16825/V

IČO: 36595551
DIČ: 2022046653

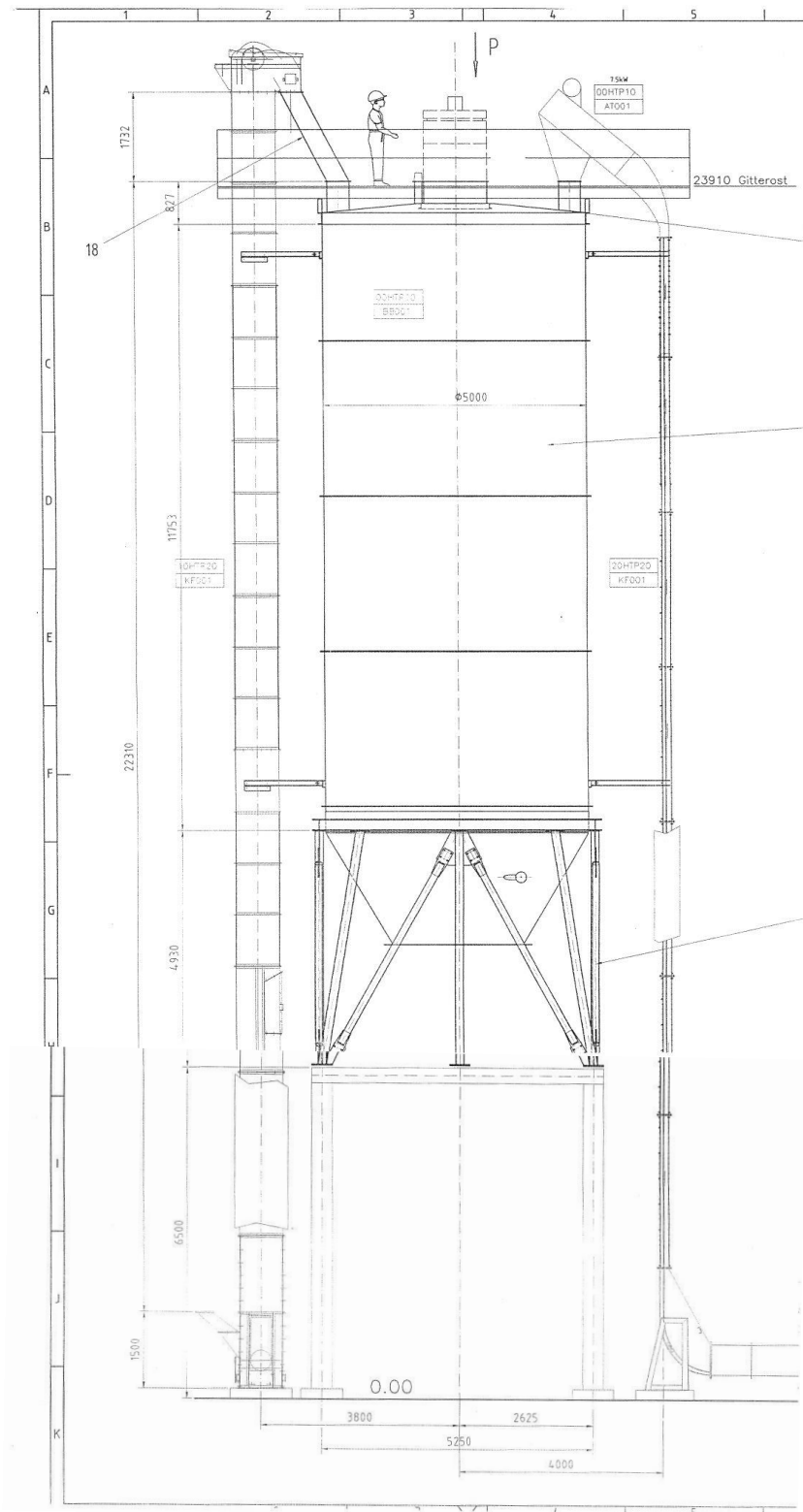
Zodp.projektant: Ing. Marián Erby, autorizovaný stavebný inžinier
Projektant: Ing. Ľubor Pikula, autorizovaný stavebný inžinier

B. IDENTIFIKAČNÉ ÚDAJE SILA ODPADU

Zásobné silo na nebezpečný odpad (ďalej iba „silo“)

Celkový objem sila:	250 m ³
Priemer valcovej časti:	5 m
Výška valcovej časti:	cca 12 m
Výška kužeľovej výsypky:	2,32 m
Vrcholový uhol kužeľa výsypky:	60°
Výšková úroveň podpornej konštrukcie:	+6,5 m
Výšková úroveň kontrolnej plošiny:	+23,91 m
Materiál plášťa:	oceľ S235 – hrúbka 5 až 10 mm
Izolácia – minerálna vlna	120 mm
Ochrana izolácie – oplechovanie	pozink. plech
Merná hmotnosť skladovaného materiálu:	500 kg/m ³ (údaj podľa zadávacích podmienok)
Celková hmotnosť náplne:	125 t
Merná hmotnosť skladovaného materiálu:	800 kg/m ³ (údaj podľa pôvodného výpočtu)
Celková hmotnosť náplne:	200 t
Zariadenia na strope sila:	
Zdvíhacie zariadenie	300 kg
Dopravníky	5000 kg
Filter	400 kg

Silo – Schéma (pôvodná projektová dokumentácia)



C. ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- Pôvodná projektová dokumentácia

IDO KLEIN s.r.o – 04/2001

1-IDO-820 Silogehäuse

1-IDO-821 Silo 250 m³

0-IDO-075 Dachsilos

2-IDO-1389/A Unerstutzung des Silos

Statický posudok – Ing. Rontšínský - č.005/2001

- Normy

STN EN 1990	Eurokód. Zásady navrhovania konštrukcií
STN EN 1991-1-1	Eurokód 1. Zaťaženia konštrukcií. Časť 1-1: Všeobecné zaťaženia. Objemová tiaž, vlastná tiaž a úžitkové zaťaženia budov
STN EN 1991-1-4	Eurokód 1. Zaťaženia konštrukcií. Časť 1-4: Všeobecné zaťaženia. Zaťaženie vetrom
STN EN 1991-4	Eurokód 1. Zaťaženia konštrukcií. Časť 4: Silá a nádrže
STN EN 1993-4-1	Eurokód 3. Navrhovanie oceľových konštrukcií. Časť 4-1: Silá

D. CHARAKTERISTIKA ZAŤAŽENÍ PÔSOBIACICH NA KONŠTRUKCIU

Vid' bod H.1

E. NÁVRH MATERIÁLOV

Materiály v konštrukcii sú uvažované podľa pôvodnej projektovej dokumentácie. Všetky časti sila sú realizované z ocele triedy S235 (11375, 11373, 11353).

F. INŽINIERSKO-GEOLOGICKÉ POMERY STAVENISKA

Predpokladá sa že podporná konštrukcia vrátane základových konštrukcií bola realizovaná v zmysle pôvodnej dokumentácie pre zaťaženie vyplývajúce z pôvodného statického výpočtu. Konštrukcia nevykazuje poruchy ktoré sú charakteristické pre nevhodné alebo porúchané zakladanie.

Posúdenie zakladania konštrukcie nie je súčasťou posudku. Rozsah posudku je uvedený v bode G.2.

G. POSUDOK - TEXTOVÁ ČASŤ

G.1. ÚVOD

Predmetom statického posúdenia je stanovenie mechanickej odolnosti a stability stavby v zmysle § 43, ods.1, písm. a, Zákona č. 50/1976 Zb. v znení neskorších predpisov a spoľahlivosti (t.j. bezpečnosti, použiteľnosti a trvanlivosti) predmetnej stavby v zmysle STN 73 0002 Navrhovanie nosných konštrukcií stavieb – Základné ustanovenia.

G.2. PREDMET, ÚČEL A ROZSAH POSÚDENIA / NÁVRHU

Predmetom tohto posúdenia je nosná konštrukcia plášťa existujúceho sila nebezpečného odpadu prevádzkovaného v spaľovni odpadov firmy OLO Bratislava. Účelom posúdenia je stanovenie únosnosti skorodovaného plášťa sila a stanovenie spôsobu jeho sanácie.

G.3. POPIS KONŠTRUKCIE

Konštrukcia sila je realizovaná ako membránová valcová konštrukcia priemeru 5 m, výšky 11,8 m, pozostávajúca z prstencov s odstupňovanou hrúbkou plechu od 5 mm v hornej časti po 10 mm v spodnej časti. Jednotlivé prstence boli v rámci zjednodušenia montáže združené do segmentov výšky max. 3m, ktoré boli opatrené prírubami s prepojovacími skrutkami. Každý prstenec bol navyše pôdorysne rozdelený na 3 časti. Tieto časti boli taktiež opatrené prírubami s prepojovacími VP skrutkami. Celá konštrukcia sa po zostavení navzájom zoskrutkovala a prevarila (taktiež prírubové skrutkové spoje). Súčasťou plášťa sú taktiež zvislé výstuhy pravidelne rozmiestnené v rasti 30 stupňov. Všetky príruby a výstuhy sú realizované z plechu hrúbky 8 resp. 10 mm, výšky 80 mm.

V spodnej časti je realizovaná kužeľová výsypka s hrúbkou plechu 10 mm. Na rozhraní valcovej časti a výsypky je zrealizovaný zvaraný úložný prah ktorý je ekvivalentom nosníka HEB 200. Tento je privarený priebežným kútoým zvarom cez výstužný prstenec hrúbky 8 mm na plášť valcovej časti. Úložný prah je podopieraný v ôsmich bodoch oceľovými stĺpmi kruhového prierezu d=159/8 mm. Oceľové stĺpy sú podpierané v úrovni +6,5 m mohutným oceľovým rámom (nie je súčasťou posudku).

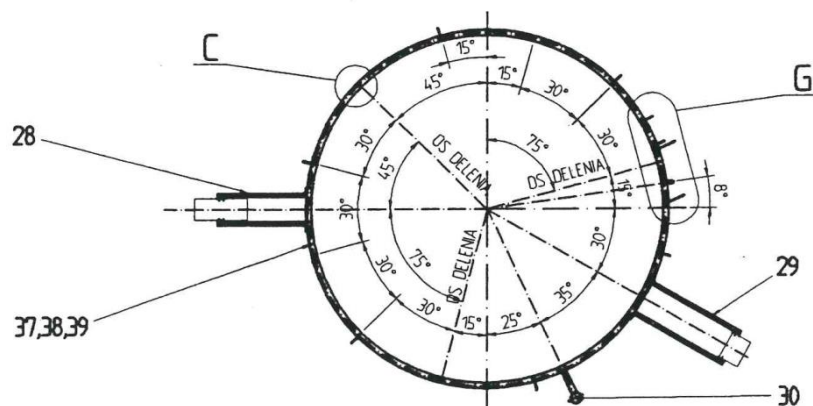
Strecha sila je realizovaná ako membránová s plechom hrúbky 3 mm, ktorý je podopieraný sústavou nosníkov U100 a obvodovým stužujúcim prstencom tvoreným prierezom U 220. Na streche je realizovaná pracovná plošina s pororoštom a osadenou technológiou.

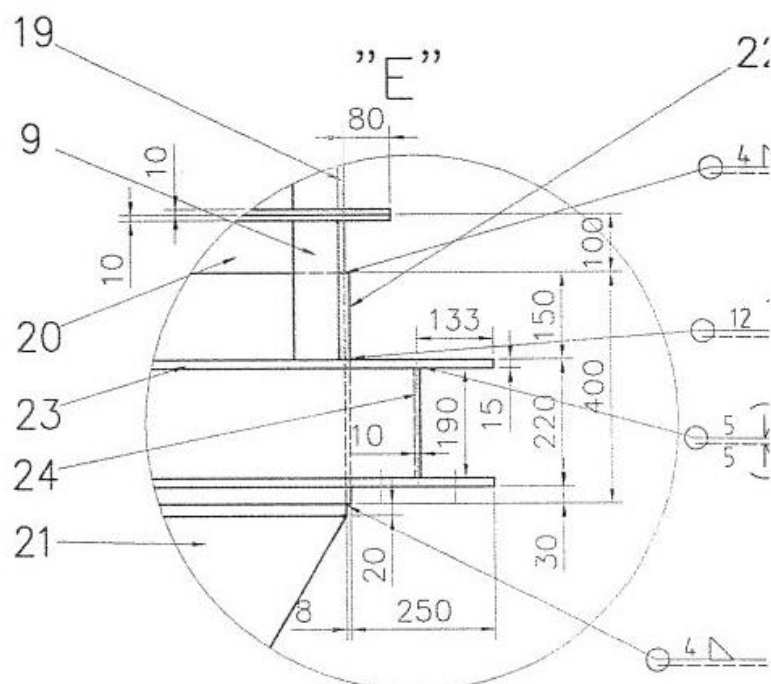
Technical drawing of a cylindrical structure with a conical base, showing dimensions and callouts. The drawing includes a side view (A-A) and a top view (B-B). The side view shows a cylinder with a diameter of $\phi 5000$ and a total height of 14123. The top view shows a cone with a base diameter of $\phi 2168$ and a top diameter of $\phi 3749$. The drawing includes various dimensions and callouts for different parts of the structure.

Dimensions and Callouts:

- Top View (B-B):
 - Base Diameter: $\phi 2168$
 - Top Diameter: $\phi 3749$
 - Height of Cone: 1360
 - Height of Base: 2973
 - Height of Base (inner): 220
 - Height of Base (outer): 276
 - Height of Base (inner): 310
 - Height of Base (outer): 250
- Side View (A-A):
 - Total Height: 14123
 - Height of Section 1: 3008
 - Height of Section 2: 3008
 - Height of Section 3: 3008
 - Height of Section 4: 3008
 - Height of Section 5: 3008
 - Height of Section 6: 3008
 - Height of Section 7: 3008
 - Height of Section 8: 3008
 - Height of Section 9: 3008
 - Height of Section 10: 3008
 - Height of Section 11: 3008
 - Height of Section 12: 3008
 - Height of Section 13: 3008
 - Height of Section 14: 3008
 - Height of Section 15: 3008
 - Height of Section 16: 3008
 - Height of Section 17: 3008
 - Height of Section 18: 3008
 - Height of Section 19: 3008
 - Height of Section 20: 3008
 - Height of Section 21: 3008
 - Height of Section 22: 3008
 - Height of Section 23: 3008
 - Height of Section 24: 3008
 - Height of Section 25: 3008
 - Height of Section 26: 3008
 - Height of Section 27: 3008
 - Height of Section 28: 3008
 - Height of Section 29: 3008
 - Height of Section 30: 3008
 - Height of Section 31: 3008
 - Height of Section 32: 3008
 - Height of Section 33: 3008
 - Height of Section 34: 3008
 - Height of Section 35: 3008
 - Height of Section 36: 3008
 - Height of Section 37: 3008
 - Height of Section 38: 3008
 - Height of Section 39: 3008
 - Height of Section 40: 3008
 - Height of Section 41: 3008
 - Height of Section 42: 3008
 - Height of Section 43: 3008
 - Height of Section 44: 3008
 - Height of Section 45: 3008
 - Height of Section 46: 3008
 - Height of Section 47: 3008
 - Height of Section 48: 3008
 - Height of Section 49: 3008
 - Height of Section 50: 3008

A - A



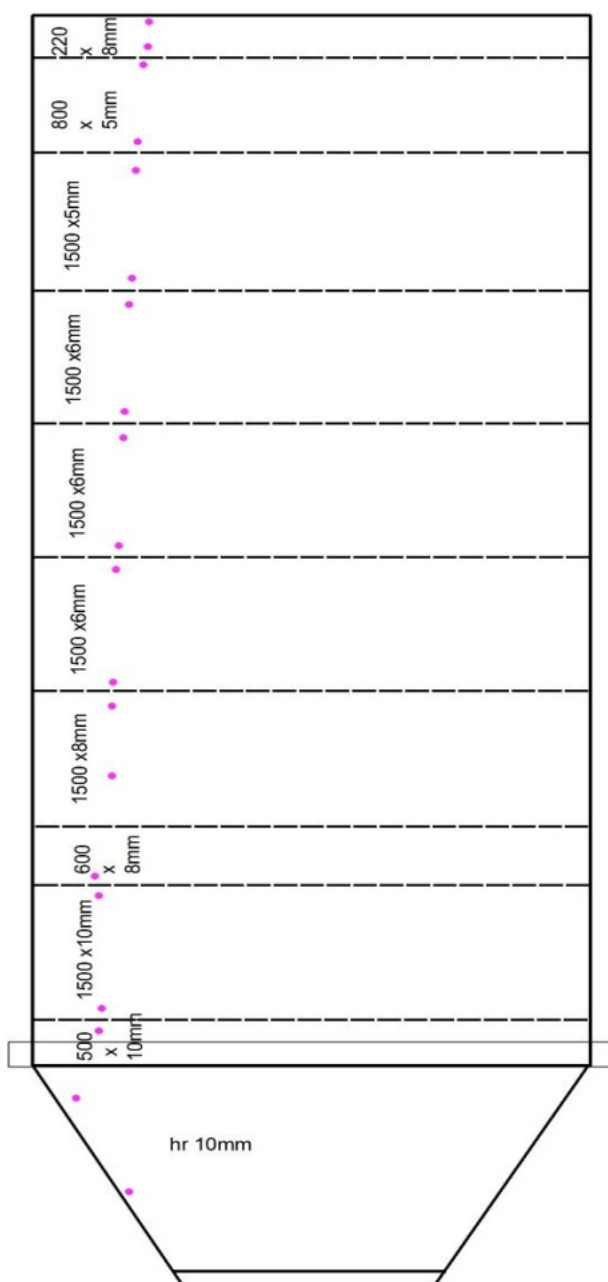
[illegible]

G.4. SÚČASNÝ STAV – PORUCHY PLÁŠŤA

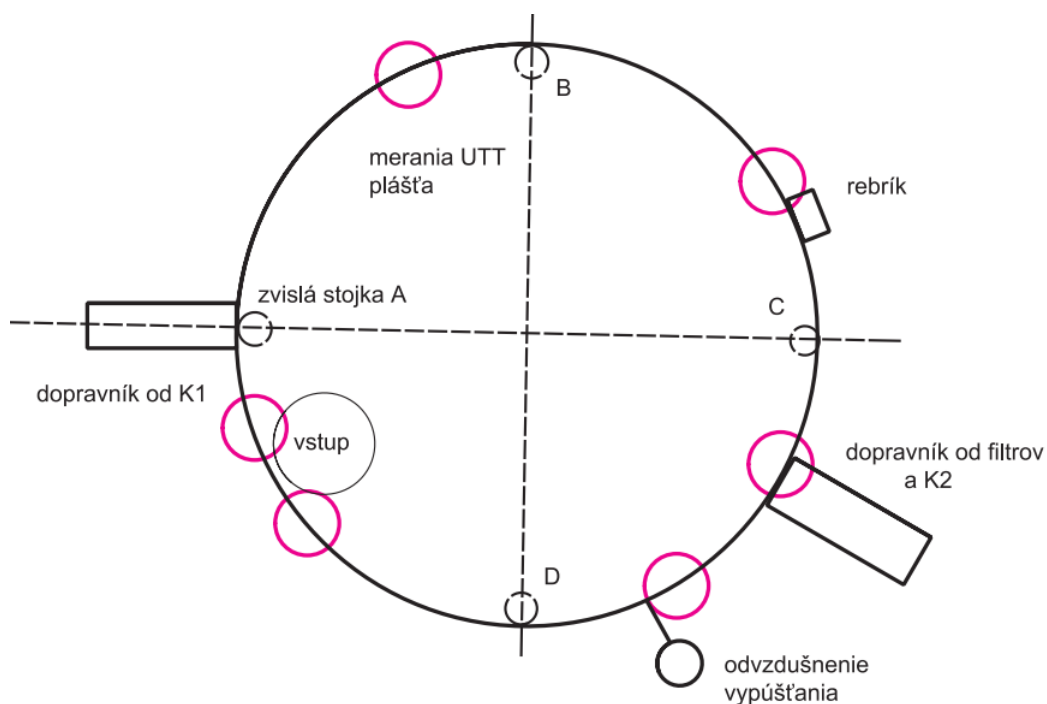
Konštrukcia sila je z vonkajšej časti chránená voči poveternostným vplyvom tepelnou izoláciou s oplechovaním. Vplyv náročnej prevádzky sa prejavil koróziou plášťa a to najmä v spodnej časti sila, kde došlo k veľmi nerovnomernej – jamkovej korózii. Korozívne úbytky sa prejavujú jednak vo výsypke a taktiež vo valcovej časti do výšky cca 3,2 (až 3,5) m nad spodnou hranou valca.

Fotodokumentácia – vid' príloha 1

G.5. MERANIE HRÚBKY A SKLADBY PLÁŠŤA



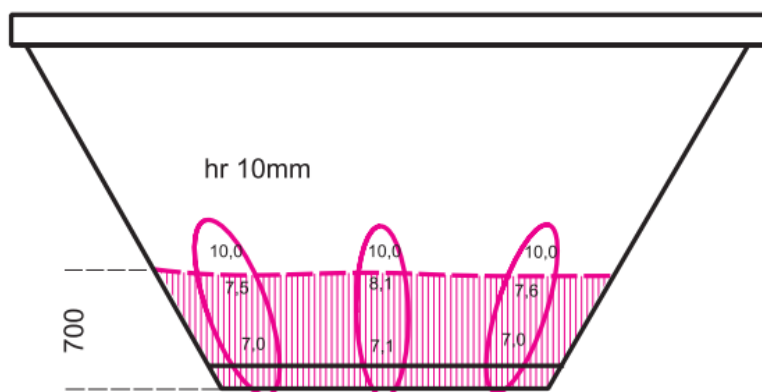
Situačný pôdorys



Namerané hodnoty hrúbky plášťa v spodnej časti sila

		pole merania									
		A3	A4	B3	B4	C1	C2	C3	D2	D3	pôvodná hr.
výška merania vo valcovej časti	3300									8,0	8,0
	3000								7,5	7,3	8,0
	2900								5,1		8,0
	2800								4,1	6,1	8,0
	2700								4,7	4,4	8,0
	2500			4,7				7,0	4,8	4,9	8,0
	2300			3,2				4,5	5,2	5,2	8,0
	2100			4,5			4,3	4,4		8,0	8,0
	1800			5,2				4,7			10,0
	1200			5,3	3,5	3,3					10,0
	700	10,0	10,0	5,5			5,1	5,0			10,0
	400	7,0	8,1	6,8	4,8	5,0	6,1	5,5			10,0
	300	6,6	7,5	7,5			7,0				10,0

Oblasť korózie vo výsypke



H. POSUDOK - VÝPOČTOVÁ ČASŤ

Pre stanovenie účinkov zaťaženia na silo bol zrealizovaný kontrolný statický výpočet skladajúci sa jednak z tabuľového výpočtu a jednak z podrobného modelu s použitím metódy konečných prvkov.

H.1. ZAŤAŽENIE

Zaťažovacie stavy

- 1) VI. tiaž konštrukcie
Objemovou hmotnosť ocele 7850 kN/m³
Plošná tiaž pre jednotlivé hrúbky plechov

5 mm	0,39 kN/m ²
6 mm	0,47 kN/m ²
8 mm	0,63 kN/m ²
10 mm	0,785 kN/m ²

- 2) Tiaž technológie umiestnenej na streche

Zdvíhacie zariadenie	300 kg
Dopravníky	5000 kg
Filter	400 kg
Spolu	5700 kg = 57 kN

Zaťaženie pôsobí po obvode na dĺžke cca 8,8 m
Líniové zaťaženie $q = 57 / 8,8 = 6,5 \text{ kN/m}$

3) Tiaž izolácie a oplechovania

Predpoklad – plošné zaťaženie v celej ploche $p = 0,15 \text{ kN/m}^2$

4) Zaťaženie od náplne

a) valcová časť

Merná hmotnosť skladovaného materiálu: 500 kg/m^3
(údaj podľa zadávacích podmienok)

Merná hmotnosť skladovaného materiálu: 800 kg/m^3
(údaj podľa pôvodného výpočtu)

Vo výpočte bude zohľadnená vyššia hodnota zaťaženia: $\gamma = 8,0 \text{ kN/m}^3$

Iné charakteristiky skladovaného materiálu nie sú známe, preto bude použitý postup so všeobecným materiálom podľa STN EN 1991-4 – tab.E.1

Stredná hodnota uhla vnútorného trenia	$\phi_m = 35^\circ$
Prevodný súčiniteľ uhla vnút. trenia	$a_\phi = 1,3$

Stredná hodnota pomeru tlakov	$K_m = 0,5$
Prevodný súčiniteľ pomeru tlakov	$a_k = 1,5$

Súčiniteľ trenia	- typ steny D2	$\mu_m = 0,39$
	-typ steny D3	$\mu_m = 0,50$
Prevodný súčiniteľ trenia		$a_\mu = 1,4$

Horná a dolná medza

Uhol vnútorného trenia
 $\phi_{\max} = \phi_m * a_\phi = 35 * 1,3 = 45,5^\circ$
 $\phi_{\min} = \phi_m / a_\phi = 35 / 1,3 = 26,9^\circ$

Pomer tlakov
 $K_{\max} = K_m * a_k = 0,5 * 1,5 = 0,75$
 $K_{\min} = K_m / a_k = 0,5 / 1,5 = 0,33$

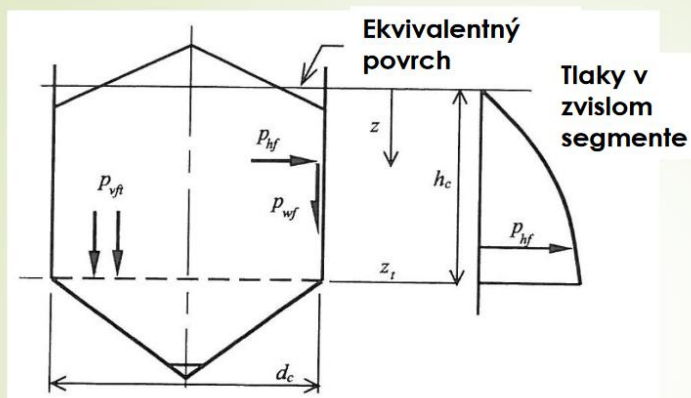
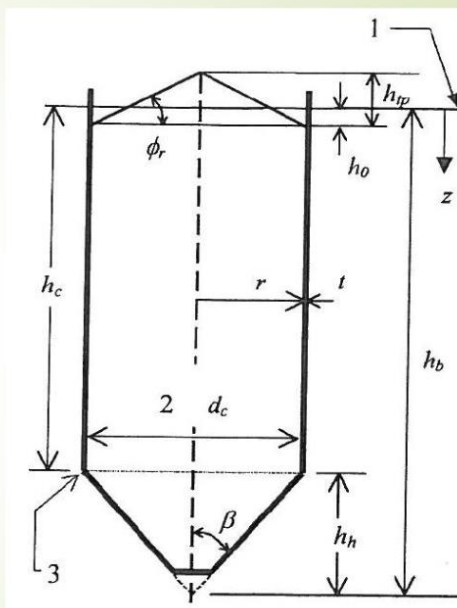
Súčiniteľ trenia
 $\mu_{\max} = \mu_m * a_\mu = 0,5 * 1,4 = 0,70$
 $\mu_{\min} = \mu_m / a_\mu = 0,39 / 1,4 = 0,28$

Súčiniteľ vodorovného tlaku pri vyprázdnení	$C_h = 1,15$
Súčiniteľ trecej sily pri vyprázdnení	$C_w = 1,10$

Priebehy zaťaženia na plášť sila od tlaku náplne

GEOMETRIA SILA

- d_c priemer kruhového sila
(resp. ekvivalentný priemer)
- r polomer sila
- t hrúbka steny sila
- h_b celková výška sila
- h_h výška sila od hrotu po prechod
- h_c výška segmentu sila
so zvislými stenami
- h_{tp} výška vrcholovej haldy
- β uhol odklonu steny výsypky
- 1 ekvivalentný povrch
- 3 prechod



vodorovný tlak

$$p_{hf}(z) = p_{ho} \cdot Y_j(z)$$

tracia trakcia

$$p_{wf}(z) = \mu \cdot p_{ho} \cdot Y_j(z)$$

zvislý tlak

$$p_{vf}(z) = \frac{p_{ho}}{K} \cdot Y_j(z)$$

$$p_{ho} = \gamma \cdot K \cdot z_o \quad z_o = \frac{1}{K \cdot \mu} \cdot \frac{A}{U} \quad Y_j = 1 - e^{-z/z_o} \quad (\text{Janssen})$$

γ charakteristická hodnota objemovej tiaže materiálu

μ charakteristická hodnota súčiniteľa trenia

K charakteristická hodnota pomeru tlakov

$$n_{zSk} = \int_0^z p_{wt}(z) dz = \mu \cdot p_{ho} \cdot [z - z_o \cdot Y_j(z)]$$

výsledná charakteristická
hodnota tlakovej sily na stene sila

Prípad 1 - Max vertikálny tlak P_v (kN/m²) – rozloženie po výške sila

Priemer sila	D	5000	mm
Výška valcovej časti	H _c	11800	mm
Výška výsypky	H _h	2325	mm
Objemová tiaž materiálu	γ	8	kN/m ³
Uhol vnútorného trenia	ϕ	35	
Súčiniteľ trenia o stenu	μ	0.278	
Pomer tlakov	K	0.33	
Vnútorný obvod	U	15.708	m
Plocha prierezu sila	A	19.635	m ²
Charakteristická hĺbka	z ₀	13.625	m
Asymp. Tlak	ph ₀	35.97	KN/m ²

hĺbka (z)	Y(z)	P _{vf} (z)	Ph _f (z)	P _{wf} (z)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.07	7.71	2.55	0.71
1.5	0.10	11.36	3.75	1.04
2	0.14	14.88	4.91	1.37
3	0.20	21.54	7.11	1.98
4	0.25	27.73	9.15	2.54
4.5	0.28	30.66	10.12	2.81
5	0.31	33.48	11.05	3.07
6	0.36	38.83	12.81	3.56
7	0.40	43.79	14.45	4.02
7.5	0.42	46.14	15.23	4.23
8	0.44	48.41	15.97	4.44
9	0.48	52.69	17.39	4.83
9.6	0.51	55.12	18.19	5.06
10	0.52	56.68	18.70	5.20
11	0.55	60.38	19.93	5.54
11.1	0.56	60.74	20.04	5.57
11.6	0.57	62.48	20.62	5.73

Prípad 2 - Max horizontálny tlak Ph (kN/m2) – rozloženie po výške sila

Priemer sila	D	5000	mm
Výška valcovej časti	Hc	11800	mm
Výška výsypky	Hh	2325	mm
Objemová tiaž materiálu	γ	8	kN/m3
Uhol vnútorného trenia	ϕ	35	
Súčiniteľ trenia o stenu	μ	0.28	
Pomer tlakov	K	0.75	
Vnútorný obvod	U	15.708	m
Plocha prierezu sila	A	19.635	m2
Charakteristická hĺbka	z0	5.952	m
Asymp. Tlak	ph0	35.71	KN/m2

hĺbka (z)	Y(z)	Pvf(z)	Phf(z)	Pwf(z)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.15	7.36	5.52	1.55
1.5	0.22	10.61	7.96	2.23
2	0.29	13.59	10.19	2.85
3	0.40	18.85	14.14	3.96
4	0.49	23.30	17.48	4.89
4.5	0.53	25.26	18.94	5.30
5	0.57	27.06	20.30	5.68
6	0.64	30.24	22.68	6.35
7	0.69	32.93	24.70	6.91
7.5	0.72	34.11	25.58	7.16
8	0.74	35.20	26.40	7.39
9	0.78	37.12	27.84	7.80
9.6	0.80	38.13	28.60	8.01
10	0.81	38.74	29.06	8.14
11	0.84	40.12	30.09	8.42
11.1	0.85	40.24	30.18	8.45
11.6	0.86	40.84	30.63	8.58

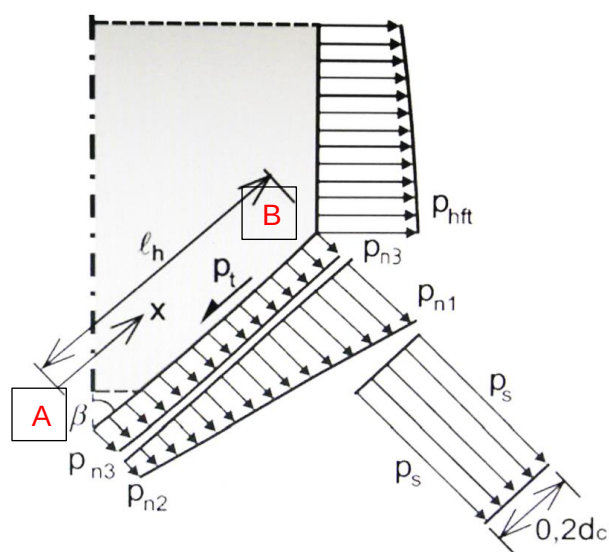
Prípad 3 - Max trecia sila Pw (kN/m²) – rozloženie po výške sila

Priemer sila	D	5000	mm
Výška valcovej časti	Hc	12000	mm
Výška výsypky	Hh	2325	mm
Objemová tiaž materiálu	γ	8	kN/m ³
Uhol vnútorného trenia	ϕ	35	
Súčiniteľ trenia o stenu	μ	0.7	
Pomer tlakov	K	0.75	
Vnútorný obvod	U	15.708	m
Plocha prierezu sila	A	19.635	m ²
Charakteristická hĺbka	z0	2.381	m
Asymp. Tlak	ph0	14.29	KN/m ²

hĺbka (z)	Y(z)	Pvf(z)	Phf(z)	Pwf(z)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.34	6.53	4.90	3.43
1.5	0.47	8.90	6.68	4.67
2	0.57	10.82	8.12	5.68
3	0.72	13.64	10.23	7.16
4	0.81	15.50	11.62	8.14
4.5	0.85	16.17	12.13	8.49
5	0.88	16.72	12.54	8.78
6	0.92	17.52	13.14	9.20
7	0.95	18.04	13.53	9.47
7.5	0.96	18.23	13.67	9.57
8	0.97	18.39	13.79	9.65
9	0.98	18.61	13.96	9.77
9.6	0.98	18.71	14.03	9.82
10	0.99	18.76	14.07	9.85
11	0.99	18.86	14.14	9.90
11.1	0.99	18.87	14.15	9.91
11.6	0.99	18.90	14.18	9.92

b) výsypka

podľa STN EN 1991-4 – Príloha G



Obrázok G.1 – Alternatívne pravidlo pre zaťaženia výsypky

Prípad 1

Zvislý tlak na úrovni prechodu	P_{vft}	62.48	kN/m ²
Zväčšujúci súčiniteľ	C_b	1.6	
odklon výsypky od zvislice	β	30	deg
trenie o stenu výsypky	μ_h	0.580	

Vnútorňý obvod	U	15.71	m
Plocha prierezu sila	A	19.63	m ²
Pomer tlakov	K	0.33	
Objemová tiaž materiálu	γ	8.00	kN/m ³

tlak od zvislého tlaku materiálu	p_{n1}	71.85	kN/m ²
	p_{n2}	24.99	kN/m ²
tlak od materiálu vo výsypke	p_{n3}	9.75	kN/m ²

výsledný tlak dole	p_{nA}	34.74	kN/m ²
výsledný tlak hore	p_{nB}	81.60	kN/m ²

trenie	p_{tA}	20.16	kN/m ²
	p_{tB}	47.34	kN/m ²

Prípad 2

Zvislý tlak na úrovni prechodu	Pvft	40.84	kN/m ²
Zväčšujúci súčiniteľ	Cb	1.6	
odklon výsypky od zvislice	β	30	deg
trenie o stenu výsypky	μ_h	0.217	
Vnútorň obvod	U	15.71	m
Plocha prierezu sila	A	19.63	m ²
Pomer tlakov	K	0.75	
Objemová tiaž materiálu	γ	8.00	kN/m ³
tlak od zvislého tlaku materiálu	pn1	46.96	kN/m ²
	pn2	16.33	kN/m ²
tlak od materiálu vo výsypke	pn3	36.27	kN/m ²
výsledný tlak dole	pnA	52.60	kN/m ²
výsledný tlak hore	pnB	83.23	kN/m ²
trenie	ptA	11.39	kN/m ²
	ptB	18.02	kN/m ²

Prípad 3

Zvislý tlak na úrovni prechodu	Pvft	18.90	kN/m ²
Zväčšujúci súčiniteľ	Cb	1.6	
odklon výsypky od zvislice	β	30	deg
trenie o stenu výsypky	μ_h	0.217	
Vnútorň obvod	U	15.71	m
Plocha prierezu sila	A	19.63	m ²
Pomer tlakov	K	0.75	
Objemová tiaž materiálu	γ	8.00	kN/m ³
tlak od zvislého tlaku materiálu	pn1	21.74	kN/m ²
	pn2	7.56	kN/m ²
tlak od materiálu vo výsypke	pn3	36.27	kN/m ²
výsledný tlak dole	pnA	43.83	kN/m ²
výsledný tlak hore	pnB	58.00	kN/m ²
trenie	ptA	9.49	kN/m ²
	ptB	12.56	kN/m ²

5) Zaťaženie vetrom

Lokalita je zaradená do vetrovej oblasti 2 so základnou rýchlosťou vetra $v_b = 26$ m/s

Reference velocity (EN1991-1-4, §4.2)

$v_{bo} = 26.00$ m/s, Slovakia STN EN, Zone: 2

$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{bo} = 26.00$ m/s

Terrain effects (EN1991-1-4, §4.3.2, Annex A)

Terrain category : III (EN1991-1-4, Tab.4.1)

Area with regular cover of vegetation or buildings (villages, suburban terrain, forest)

Roughness factor $C_r(z)$ (EN1991-1-4, §4.3.2)

Terrain category: III, $z = 24.000$ m, $z_o = 0.300$ m, $z_{min} = 5$ m, $z_{max} = 200$ m, $z_{oII} = 0.050$ m

$k_r = 0.19 \cdot (0.300/0.05)^{0.07} = 0.215$

$C_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_o) = 0.215 \times \ln(24.000/0.300) = 0.944$

Orography factor $C_o(z)$ (EN1991-1-4, §4.3.3)

$H/L_u = 50/600 = 0.08$, $0.05 < H/L_u = 0.08 < 0.30$, $L_e = 600.00$ m (EN1991-1-4, Tab.A.2)

$z = 50.00$ m, $X/L_e = 500/600 = 0.83$, $z/L_e = 50/600 = 0.10$, $s = 0.396$ (eq.A.7,...A.10)

$C_o(z) = 1 + 2 \times 0.396 \times 0.083 = 1.066$ (eq.A.2)

Turbulence factor K_t (EN1991-1-4, §4.4)

$K_t = 1.000$

Exposure factor $C_e(z)$ (EN1991-1-4, §4.5)

Terrain category: III (EN1991-1-4, Tab.4.1)

$z = 24.00$ m, $k_r = 0.215$, $l_v(z) = 0.214$, $C_e(z) = 2.529$ (EC1 EN1991-1-4:2005, eq.A.4.8, 4.7, 4.4, 4.3)

$q(z) = C_e(z) \cdot (\frac{1}{2} \rho) \cdot V_b^2 = [0.001] \times 2.529 \times 0.625 \times 26.00^2 = 1.069$ kN/m²

Wind peak velocity pressure $q(z) = C_e(z) \cdot q_b = C_e(z) \cdot (0.625) \cdot V_b^2$ (EN1991-1-4, §4.5)

$V_b = 26.00$ m/sec, $z = 24.000$ m, $C_r(z) = 0.944$, $C_o(z) = 1.066$, $K_t = 1.000$, $C_e(z) = 2.529$

$q(z) = C_e(z) \cdot (\frac{1}{2} \rho) \cdot V_b^2 = [0.001] \times 2.529 \times 0.625 \times 26.00^2 = 1.069$ kN/m²

Vo výpočte je uvažovaný konštantný tlak po celej výške sila so súčiniteľom tvaru $C_f = 1,20$

Parciálny súčiniteľ pre medzný stav únosnosti (ULS) - $\gamma_f = 1,35$ pre všetky zaťažovacie stavy.

H.2. VÝPOČET NAPÄTÍ

1) Max zvislé napätie v plášti

Hĺbka (vzdialenosť od vrchu plášťa)	Náplň Kumulatívna tredia sila	Plášť		Kumulatívna vodorovná sila	Vetor		Strecha	Celkové zaťaženie so zohľadnením súčiniteľa pri vyprázdnení Ch	Napätie v plášti		Hodnota max napätia pre stabilnú skupinu bez výstuh	Status	
		Nominálna Hrúbka plášťa	Skorodovaná Hrúbka plášťa		Kumulatívna tiaž plášťa	Kumulatívny ohybový moment			Prepočet na zvislé líniové zaťaženie	Nominálna hrúbka plášť			Skorodovaný plášť
m	kN/m	mm		kN	kNm/m	kN/m	kN/m	kN/m	MPa	MPa	MPa	-	
1	3.43	5	5	0.393	6.86	3.43	0.17	6.5	11.01	2.20	2.20	24.83	OK
1.5	5.77	5	5	0.589	10.30	7.72	0.39	6.5	14.11	2.82	2.82	24.83	OK
2	8.61	5	5	0.785	13.73	13.73	0.70	6.5	17.88	3.58	3.58	24.83	OK
3	15.77	5	5	1.178	20.59	30.89	1.57	6.5	27.39	5.48	5.48	24.83	OK
4	23.91	6	6	1.649	27.46	54.91	2.80	6.5	38.44	6.41	6.41	29.79	OK
4.5	28.15	6	6	1.884	30.89	69.50	3.54	6.5	44.30	7.38	7.38	29.79	OK
5	32.54	6	6	2.120	34.32	85.80	4.37	6.5	50.41	8.40	8.40	29.79	OK
6	41.74	6	6	2.591	41.18	123.55	6.29	6.5	63.38	10.56	10.56	29.79	OK
7	51.21	6	6	3.062	48.05	168.17	8.56	6.5	77.01	12.84	12.84	29.79	OK
7.5	55.99	6	8	3.297	51.48	193.05	9.83	6.5	84.02	14.00	10.50	39.72	OK
8	60.82	8	7.5	3.611	54.91	219.65	11.18	6.5	91.24	11.40	12.16	37.24	OK
9	70.59	8	4.4	4.239	61.78	277.99	14.16	6.5	106.07	13.26	24.11	21.85	nehovuje
9.6	76.48	8	3.2	4.616	65.89	316.29	16.11	6.5	115.18	14.40	35.99	15.89	nehovuje
10	80.42	10	3.3	4.930	68.64	343.20	17.48	6.5	121.39	12.14	36.79	16.39	nehovuje
11	90.33	10	5	5.715	75.50	415.27	21.15	6.5	137.24	13.72	27.45	24.83	nehovuje
11.1	91.32	10	4.8	5.793	76.19	422.86	21.53	6.5	138.84	13.88	28.92	23.83	nehovuje
11.6	96.28	10	5	6.186	79.62	461.81	23.52	6.5	146.92	14.69	29.38	24.83	nehovuje

Tabuľka na predchádzajúcej strane porovnáva charakteristické zvislé tlakové napätie od celkového namáhania s max. dovoleným tlakovým napätím pre nevystužené škrupiny podľa API 620. Z údajov vyplýva že pôvodná neskorodovaná konštrukcia bola stabilná aj bez výstuh. Po zohľadnení korózie by nevystužená škrupina stratila v spodnej časti stabilitu. Vzhľadom na to že škrupina je vystužená zvislými výstuhami je tento údaj iba informatívny.

Výpočet a posúdenie vystuženej škrupiny na zvislé tlakové namáhanie
Predpokladáme že časť škrupiny sa vplyvom tlaku bude vydúvať, pričom zvislé zaťaženie prisúdime T prierezu tvoreného skorodovanou škrupinou a zvislou výstuhou.

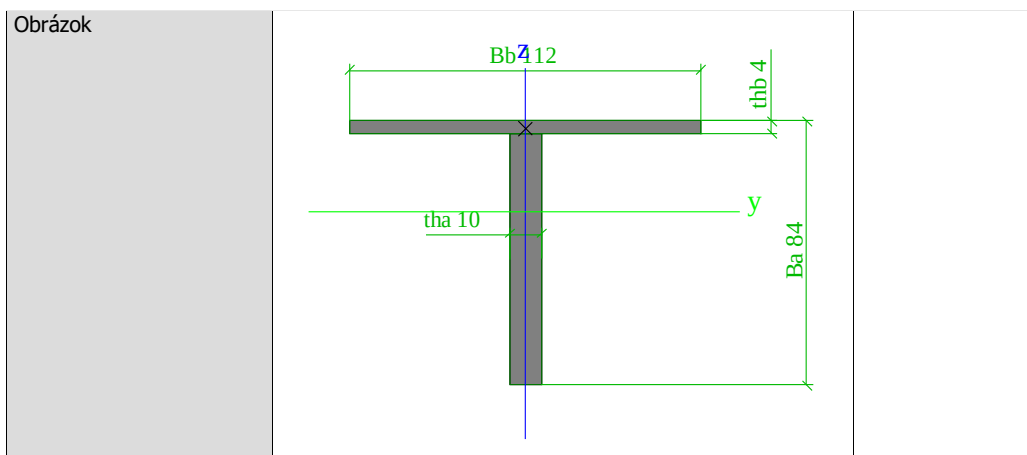
Počet zvislých výstuh: $n = 12$
Obvod plášťa: $o = p \cdot D = p \cdot 5 = 15,71 \text{ m}$
Zaťažovacia šírka: $beff = o / n = 15,71 / 12 = 1,31 \text{ m}$
Zaťaženie na jednu výstuhu: $N_{max} \cdot beff = 146,92 \cdot 1,31 = 19246 \text{ kN}$

Vzperná dĺžka = vzdialenosť výstužných prstencov (spodný segment) = 2,1 m

Účinný prierez so zohľadnením korózie plášťa
Predpokladaná priemerná hrúbka plášťa 4 mm
Efektívna šírka pásnice $14 \cdot t = 56 \text{ mm} \cdot 2$ (na obe strany od stojiny) = 112 mm
Stojina = Výstuha 80/10 mm

Prierezy

CS1		
Typ	Tw	
Detailný	84; 10; 112; 4	
Kód tvaru	6 - T prierez	
Typ tvaru	Tenkostenný	
Materiálová položka	S 235	
Výroba	zvarovaný	
Farba		
Rovinný vzper y-y, Rovinný vzper z-z	c	c
A [m ²]	1,2480e-03	
A _y [m ²], A _z [m ²]	4,6496e-04	7,3358e-04
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	3,9200e-01	3,9200e-01
C _{y,UCS} [mm], C _{z,UCS} [mm]	56	55
\f1 alfa [deg]	0,00	
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	9,3385e-07	4,7498e-07
i _y [mm], i _z [mm]	27	20
W _{el,y} [m ³], W _{el,z} [m ³]	1,6955e-05	8,4817e-06
W _{pl,y} [m ³], W _{pl,z} [m ³]	2,9798e-05	1,4544e-05
M _{pl,y,+} [Nm], M _{pl,y,-} [Nm]	7,00e+03	7,00e+03
M _{pl,z,+} [Nm], M _{pl,z,-} [Nm]	3,42e+03	3,42e+03
d _y [mm], d _z [mm]	0	27
I _t [m ⁴], I _w [m ⁶]	2,9723e-08	8,5567e-42
β _y [mm], β _z [mm]	-54	0



Osamelé zaťaženie v uzle

Názov	Uzol	Zaťažovací stav	Systém	Smer	Typ	Hodnota - F [kN]
F1	N2	LC1 - Plné zaťaženie	GSS	Z	Sila	-146,92

Kombinácie

Názov	Popis	Typ	Zaťažovacie stavy	Súč. [-]
CO1.1		Obálka - únosnosť	LC1 - Plné zaťaženie	1,35
CO1.2		Obálka - únosnosť	LC1 - Plné zaťaženie	1,00

Posudok oceľových prvkov na MSÚ EC-EN 1993

Lineárny výpočet
Kombinácia: CO1
Súradný systém: Hlavné
Extrém 1D: Globálny
Výber: Všetko

Posudok EN 1993-1-1

Národná príloha: Štandardná EN

Prvok B1	0,000 / 2,100 m	Tw (84; 10; 112; 4)	S 235	CO1	1,04 -
-----------------	------------------------	----------------------------	--------------	------------	---------------

Kľúč kombinácií
CO1 / 1.35*LC1

Parciálne súčinitele spoľahlivosti	
γ_{M0} pre odolnosť prierezov	1,00
γ_{M1} pre odolnosť pri strate stability	1,00
γ_{M2} pre odolnosť ťahaných prierezov	1,25

Materiál		
Medza klzu f_y	235,0	MPa
Medzná pevnosť f_u	360,0	MPa
Výroba	Zvarované	

....POSUDOK ODOLNOSTI:....

Kritický posudok je na pozícii 0,000 m

Vnútorne sily	Vypočítané	Jednotka
N_{Ed}	-198,34	kN
$V_{y,Ed}$	0,00	kN
$V_{z,Ed}$	0,00	kN
T_{Ed}	0,00	kNm

Vnútorne sily	Vypočítané	Jednotka
M _{y,Ed}	0,00	kNm
M _{z,Ed}	0,00	kNm

Klasifikácia pre návrh prierezu

Klasifikácia podľa EN 1993-1-1 článku 5.5.2

Klasifikácia vnútorných a prečnievajúcich častí podľa EN 1993-1-1 Tab. 5.2 List 1 a 2

Id	Typ	c [mm]	t [mm]	σ ₁ [kN/m ²]	σ ₂ [kN/m ²]	Ψ [-]	k _σ [-]	α [-]	c/t [-]	Trieda 1 Limit [-]	Trieda 2 Limit [-]	Trieda 3 Limit [-]	Trieda
1	SO	51	4	1,589e+05	1,589e+05	1,00	0,43	1,00	12,75	9,00	10,00	14,00	3
3	SO	51	4	1,589e+05	1,589e+05	1,00	0,43	1,00	12,75	9,00	10,00	14,00	3
4	UO	80	10	1,589e+05	1,589e+05	1,00	0,43	1,00	8,00	9,00	10,00	14,00	1

Poznámka: Limity klasifikácie boli nastavené podľa Semi-Comp+.

Prierez je klasifikovaný ako trieda 3

Posudok na tlak

Podľa EN 1993-1-1 článku 6.2.4 a rovnice (6.9)

A	1,2480e-03	m ²
N _{c,Rd}	293,28	kN
Jednotkový posudok	0,68	-

Prvok spĺňa podmienky posudku prierezu.

....:POSUDOK STABILITY:....

Klasifikácia pre návrh vzperu prvku

Rozhodujúca poloha pre klasifikáciu stability: 0,000 m

Klasifikácia podľa EN 1993-1-1 článku 5.5.2

Klasifikácia vnútorných a prečnievajúcich častí podľa EN 1993-1-1 Tab. 5.2 List 1 a 2

Id	Typ	c [mm]	t [mm]	σ ₁ [kN/m ²]	σ ₂ [kN/m ²]	Ψ [-]	k _σ [-]	α [-]	c/t [-]	Trieda 1 Limit [-]	Trieda 2 Limit [-]	Trieda 3 Limit [-]	Trieda
1	SO	51	4	1,589e+05	1,589e+05	1,00	0,43	1,00	12,75	9,00	10,00	14,00	3
3	SO	51	4	1,589e+05	1,589e+05	1,00	0,43	1,00	12,75	9,00	10,00	14,00	3
4	UO	80	10	1,589e+05	1,589e+05	1,00	0,43	1,00	8,00	9,00	10,00	14,00	1

Poznámka: Limity klasifikácie boli nastavené podľa Semi-Comp+.

Prierez je klasifikovaný ako trieda 3

Posudok rovinného vzperu

Podľa EN 1993-1-1 článku 6.3.1.1 a rovnice (6.46)

Parametre vzperu	yy	zz	
Typ posuvných styčníc	posuvné	neposuvné	
Systémová dĺžka L	2,100	2,100	m
Súčiniteľ vzperu k	1,00	0,10	
Vzperná dĺžka L _{cr}	2,100	0,210	m
Kritické Eulerovo zaťaženie N _{cr}	438,89	22322,98	kN
Štíhlosť λ	76,77	10,76	
Relatívna štíhlosť λ _{rel}	0,82	0,11	
Medzná štíhlosť λ _{rel,0}	0,20	0,20	
Vzper. krivka	c	c	
Imperfekcie √f1 alfa	0,49	0,49	
Redukčný súčiniteľ χ	0,65	1,00	
Vzperná odolnosť N _{b,Rd}	190,98	293,28	kN

Overenie rovinného vzperu		
Prierezová plocha A	1,2480e-03	m ²
Vzperná odolnosť N _{b,Rd}	190,98	kN
Jednotkový posudok	1,04	-

Posudok priestorového vzperu

Podľa EN 1993-1-1 článku 6.3.1.1 a rovnice (6.46)

Vzperná dĺžka pre priestorový vzper L_{cr}	2,100	m
Pružné kritické zaťaženie $N_{cr,T}$	1310,51	kN
Pružné kritické zaťaženie $N_{cr,TF}$	438,89	kN
Relatívna štíhlosť $\lambda_{rel,T}$	0,82	
Medzná štíhlosť $\lambda_{rel,0}$	0,20	
Vzper. krivka	c	
Imperfekcie χ	0,49	
Redukčný súčiniteľ χ	0,65	
Prierezová plocha A	1,2480e-03	m ²
Vzperná odolnosť $N_{b,Rd}$	190,98	kN
Jednotkový posudok	1,04	-

Prvok nespĺňa podmienky stabilitného posudku

Prvok nespĺňa podmienky stabilitného posudku.

Prierez Nevyhovuje

2) Max radiálne napätie v plášti

Predpokladáme skorodovaný plášť s hrúbkou 4 mm

Maximálny horizontálny tlak $P_h = 30,6 \text{ kN/m}^2$

Radiálne (Hoopovo) napätie $\sigma = P_h \cdot d / (2 \cdot t) = 30600 \cdot 5000 / (2 \cdot 4) = 19,1 \text{ MPa}$

$\chi_h = 1,15$

$\gamma_f = 1,35$

Posúdenie

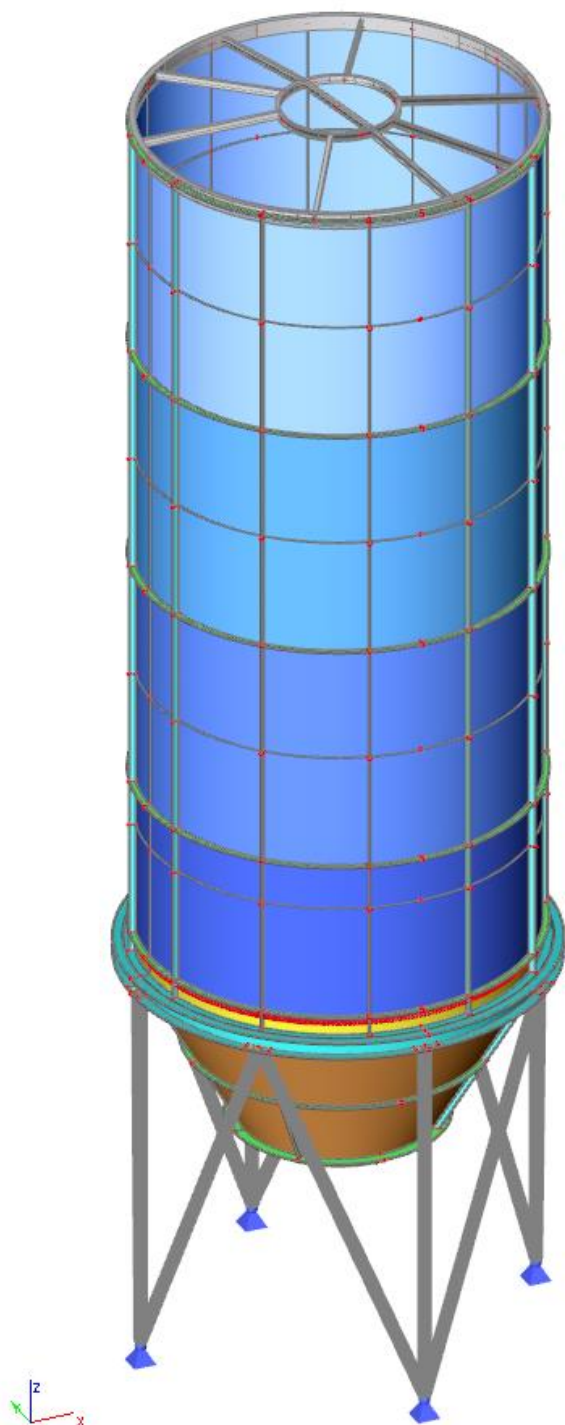
$\sigma_d = \sigma \cdot \chi_h \cdot \gamma_f = 19,1 \cdot 1,15 \cdot 1,35 = 29,7 \text{ MPa} \ll f_y = 235 \text{ MPa}$

Vyhovuje

H.3. POROVNÁVACÍ VÝPOČET POMOCOU MKP MODELU

Pre overenie výsledkov výpočtu a pre celkové overenie správania sa konštrukcie bol zrealizovaný porovnávací výpočet s použitím výpočtového programu SCIA Engineer.

3D Model



Výsledky so zohľadnením skorodovanej časti škrupiny

Max deformácia

2D premiestnenie

Hodnoty: U_{total}

Lineárny výpočet

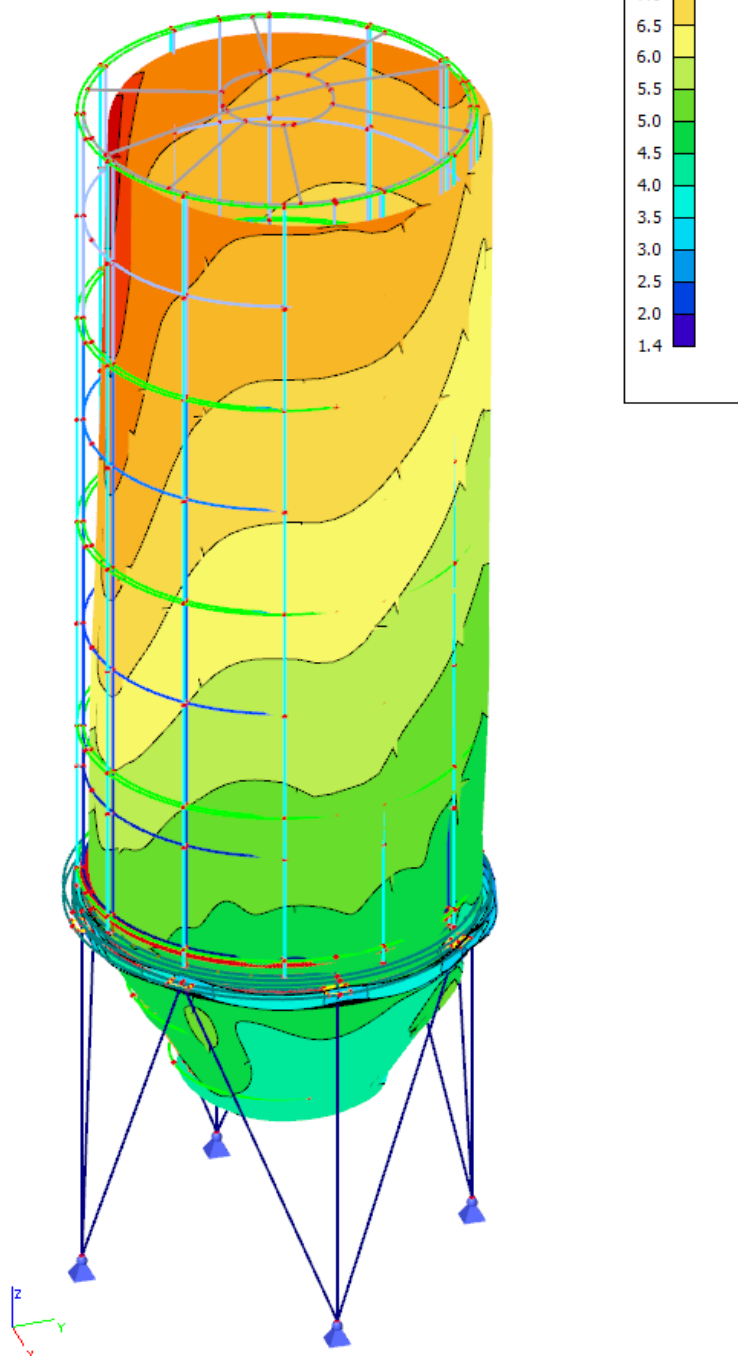
Kombinácia: C05

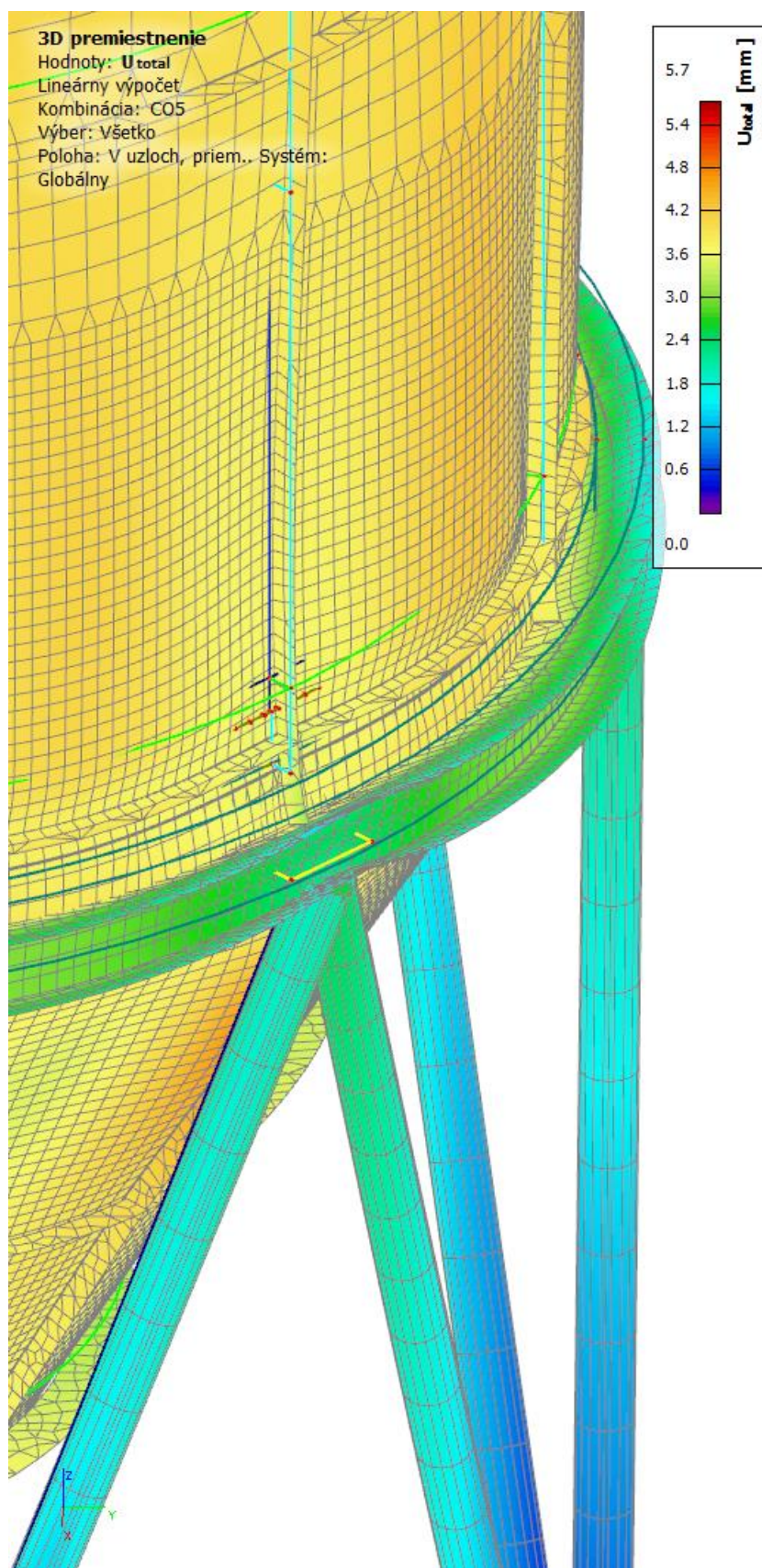
Výber: Všetko

Poloha: V uzloch, priem.. Systém:

Globálny

Extrém: Globálny





Max. zvislé napätie v plášti

2D napätie/pretvorenie

Hodnoty: σ_{m2}

Lineárny výpočet

Kombinácia: CO3

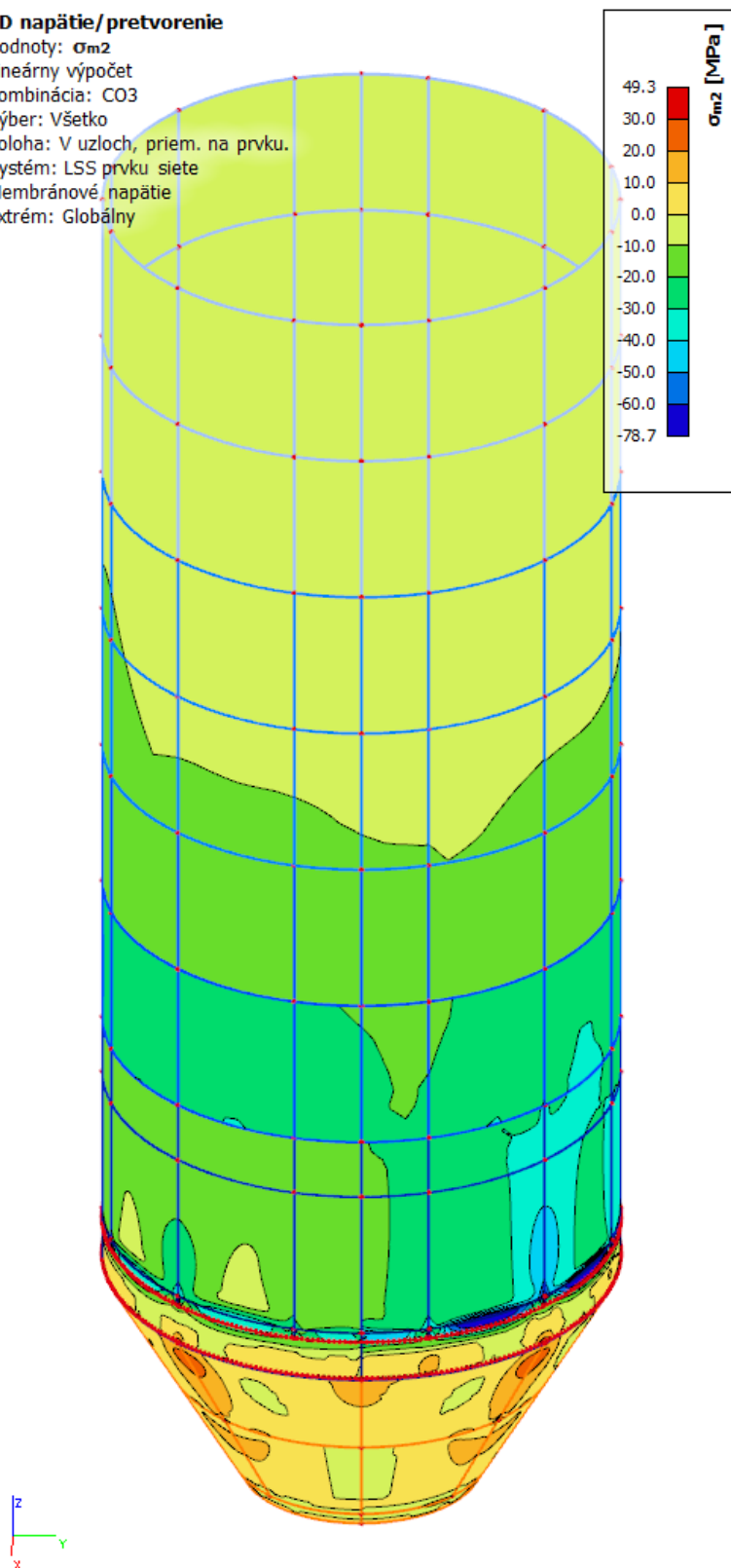
Výber: Všetko

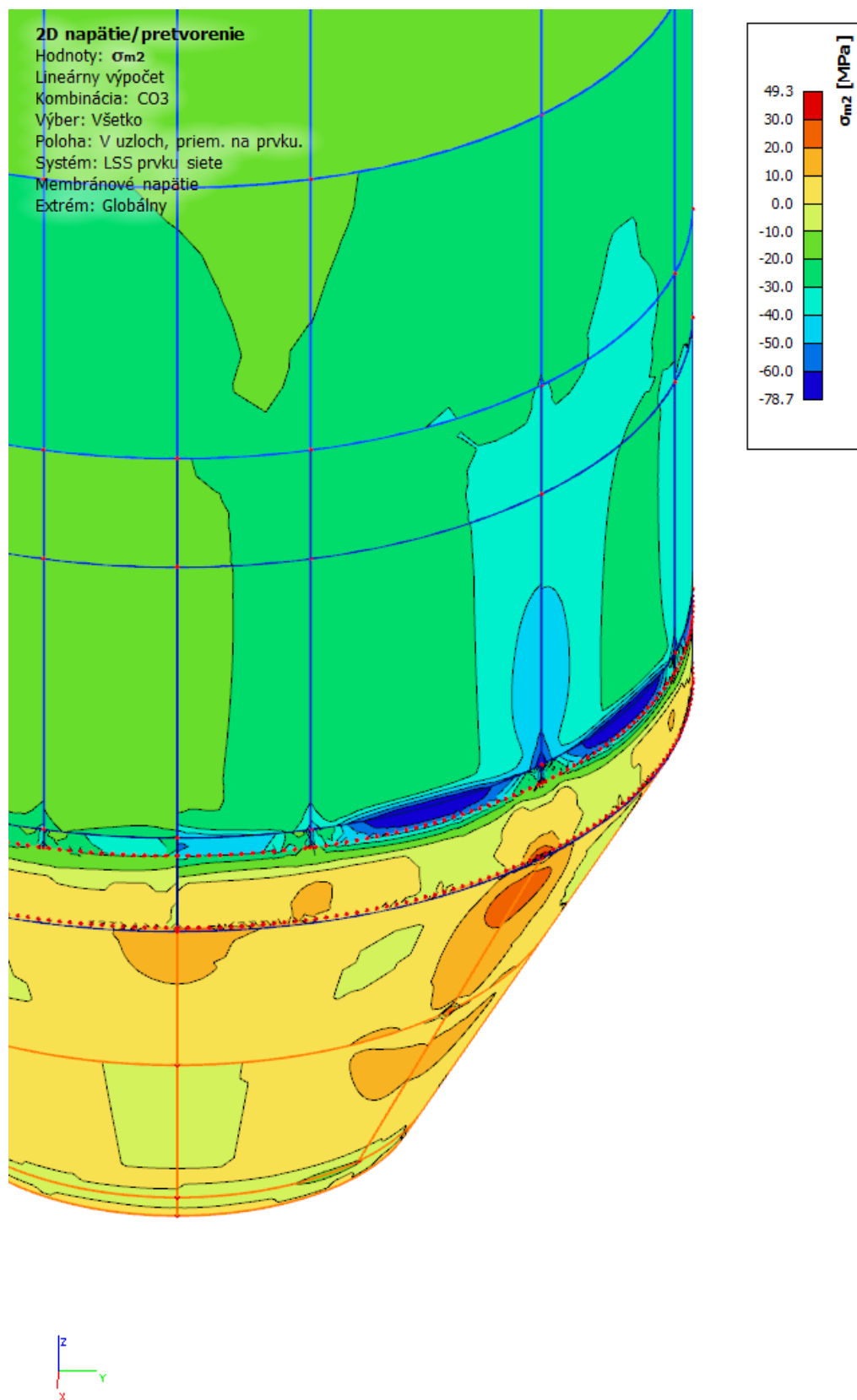
Poloha: V uzloch, priem. na prvku.

Systém: LSS prvku siete

Membránové napätie

Extrém: Globálny





Max. radiálne napätie v plášti

2D napätie/pretvorenie

Hodnoty: σ_{m1}

Lineárny výpočet

Kombinácia: CO2

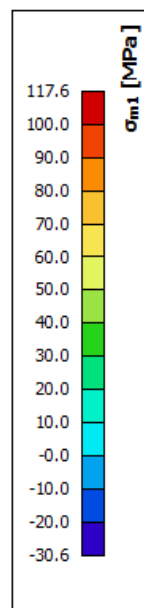
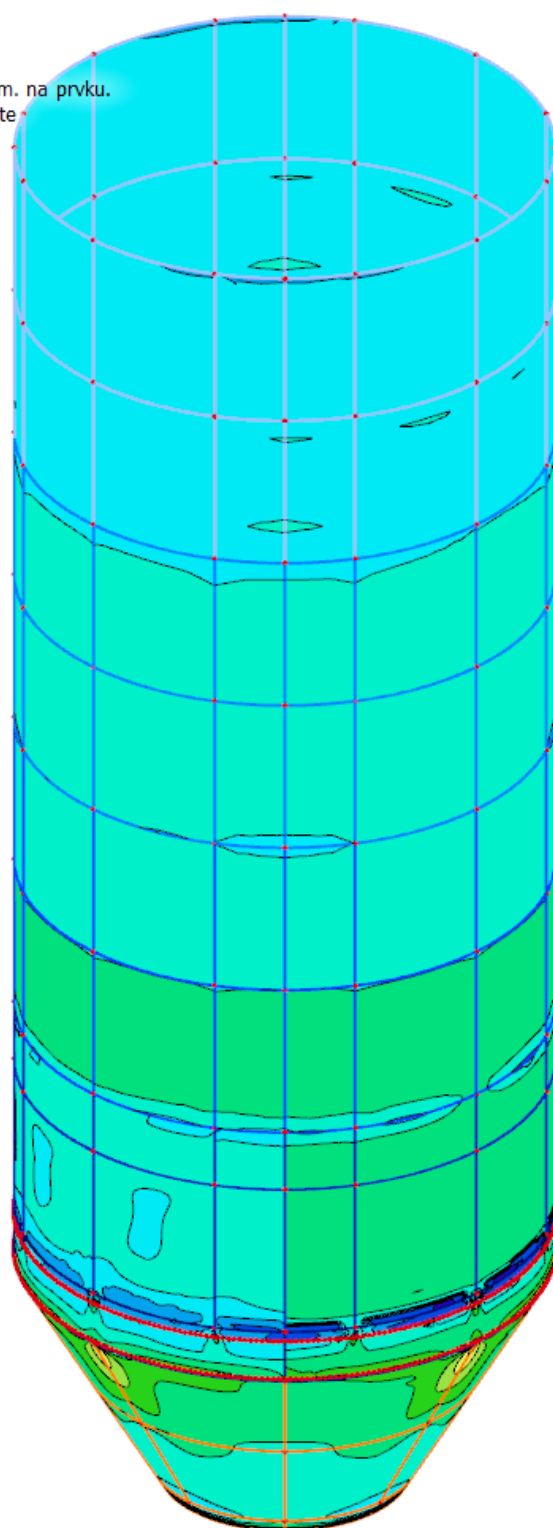
Výber: Všetko

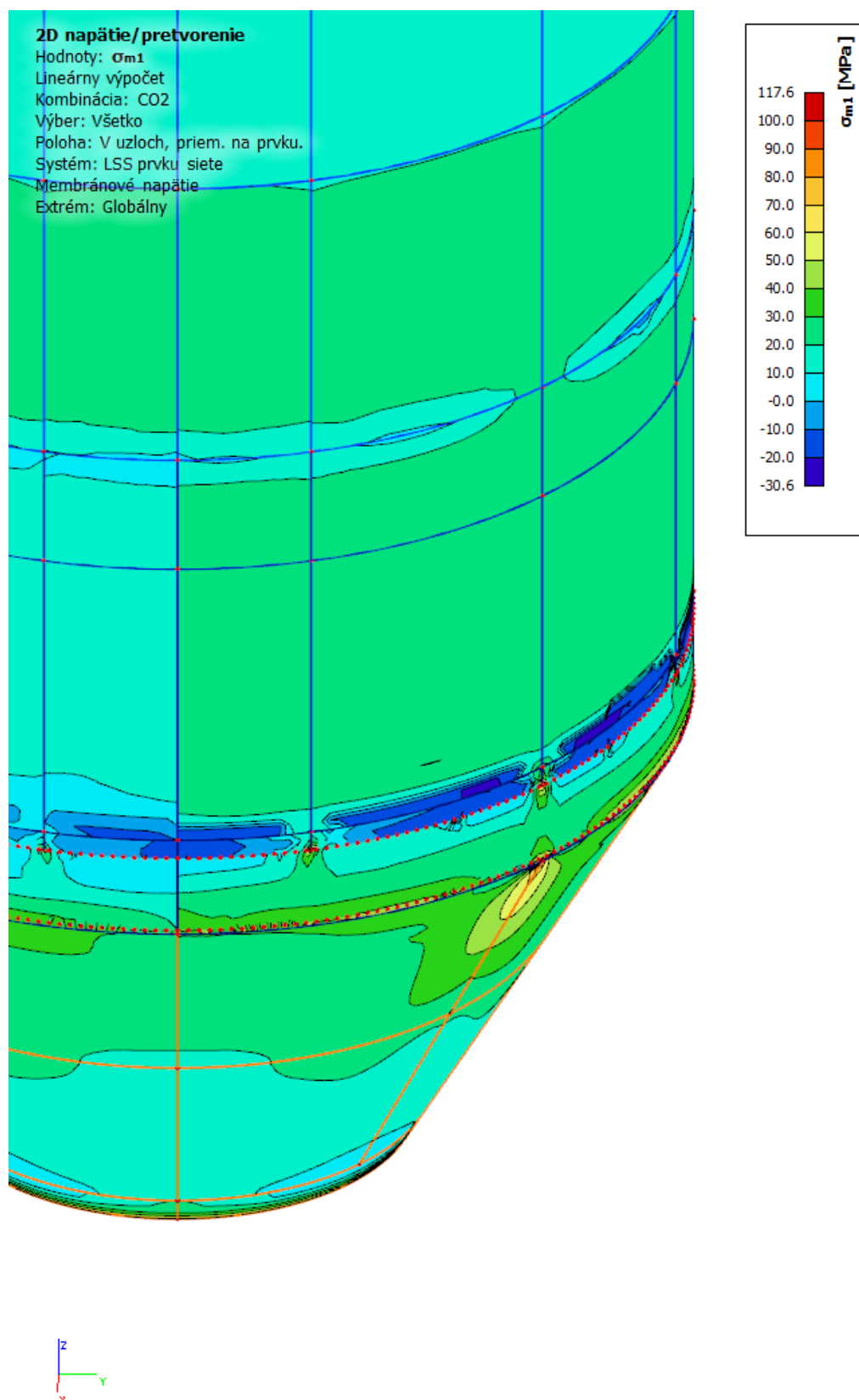
Poloha: V uzloch, priem. na prvku.

Systém: LSS prvku siete

Membránové napätie

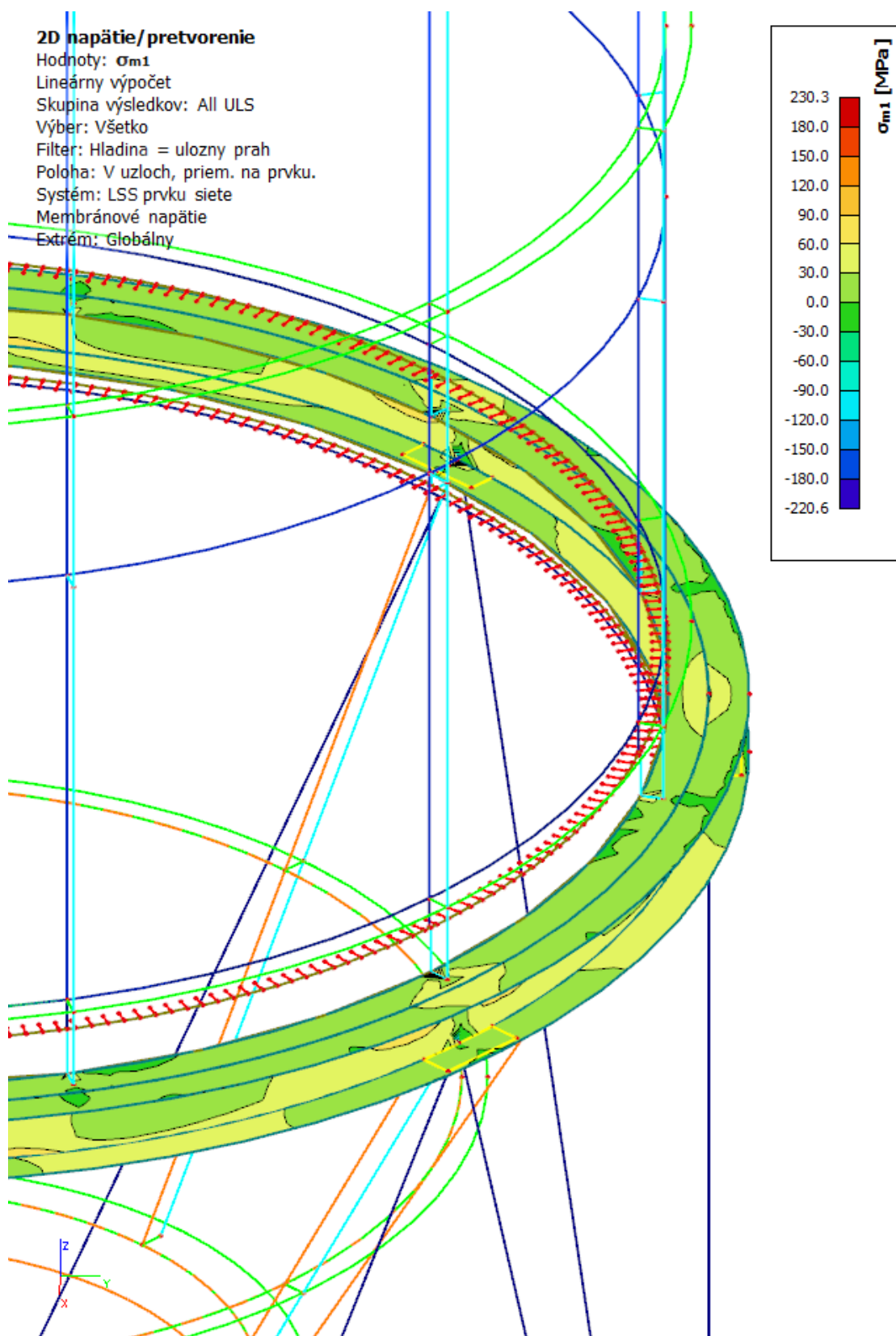
Extrém: Globálny

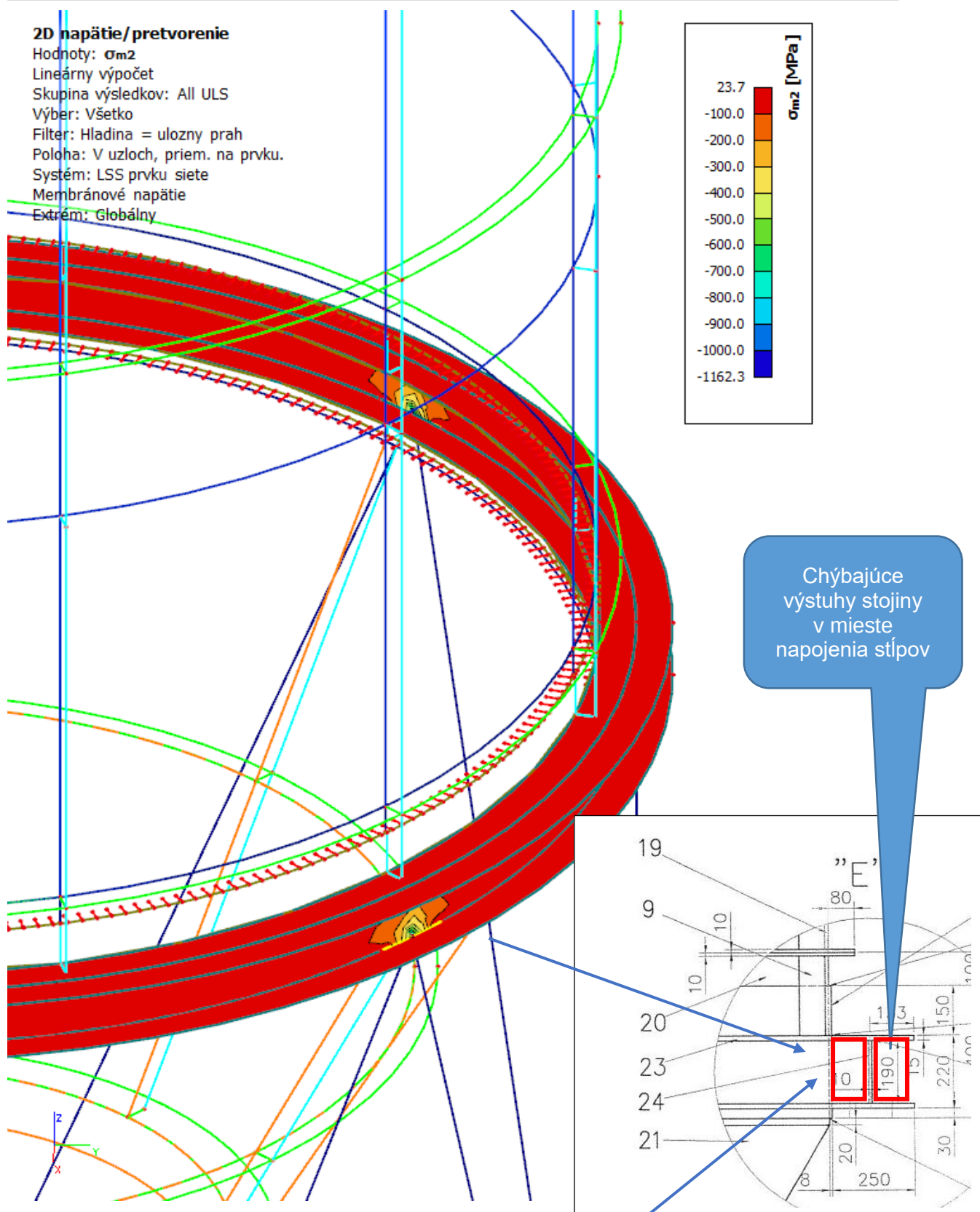




Výsledky napätí v plášti približne zodpovedajú tabuľkovému výpočtu.

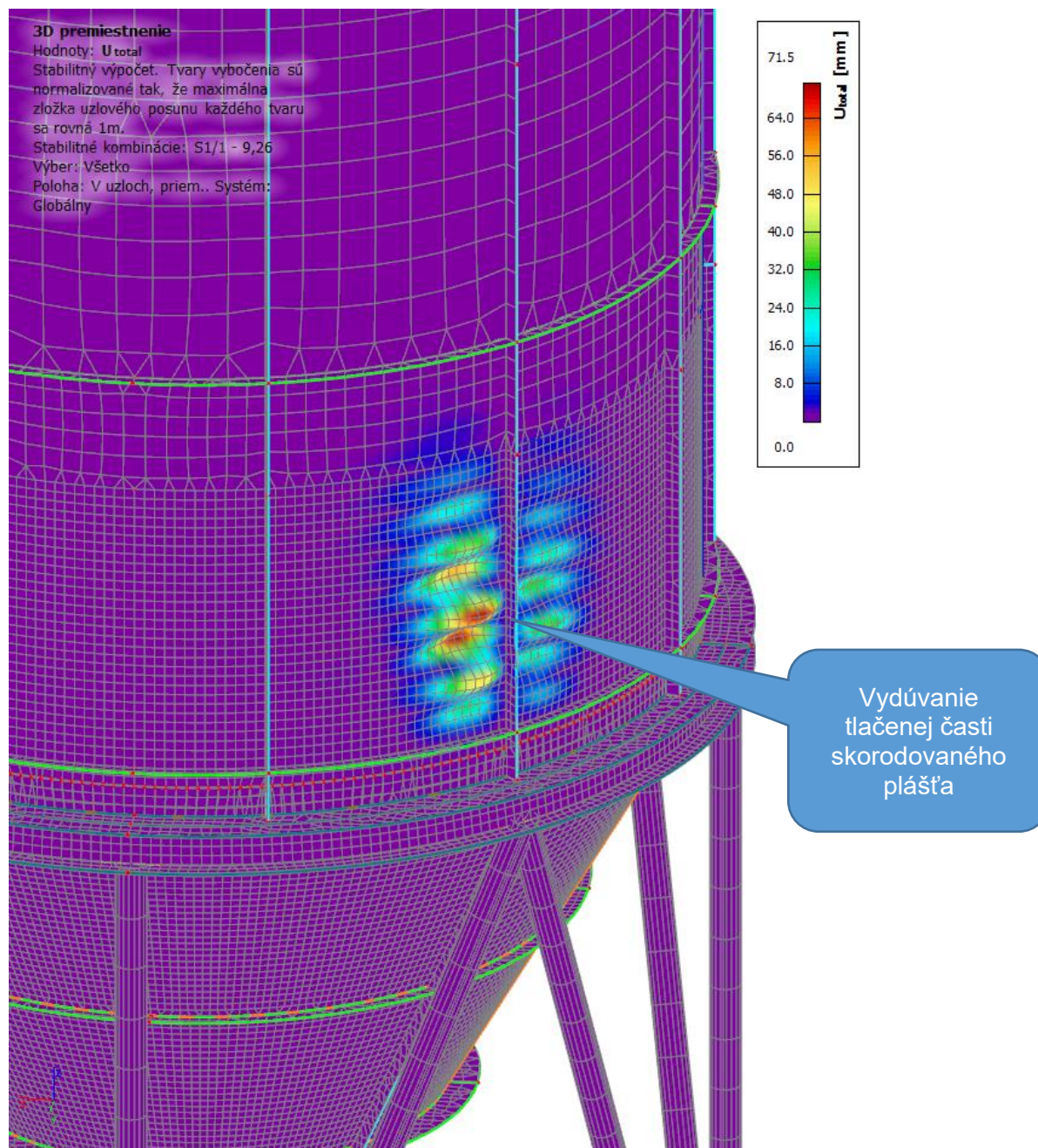
Napätia v úložnom prahu HEB 200





Poznámka: Z pôvodnej výkresovej dokumentácie nevyplýva, že by v mieste napojenia stĺpov na úložný prah boli použité výstuhy stojiny (v čase obhliadky túto skutočnosť nebolo možné overiť). To má za následok výrazné lokálne namáhanie stojiny úložného prahu. Túto skutočnosť považujeme za chybu v návrhu.

Stabilitný výpočet – tvar vybočenia / kritické zaťaženie (bez uváženia imperfekcií)



Kritické koeficienty zaťaženia

N	f
-	[°]
Stabilná kombinácia : S1	
1	9,26
2	9,28
3	9,40
4	9,43

Posúdenie stĺpov

Posudok oceľových prvkov na MSÚ EC-EN 1993

Hodnoty: UC Celkový

Lineárny výpočet

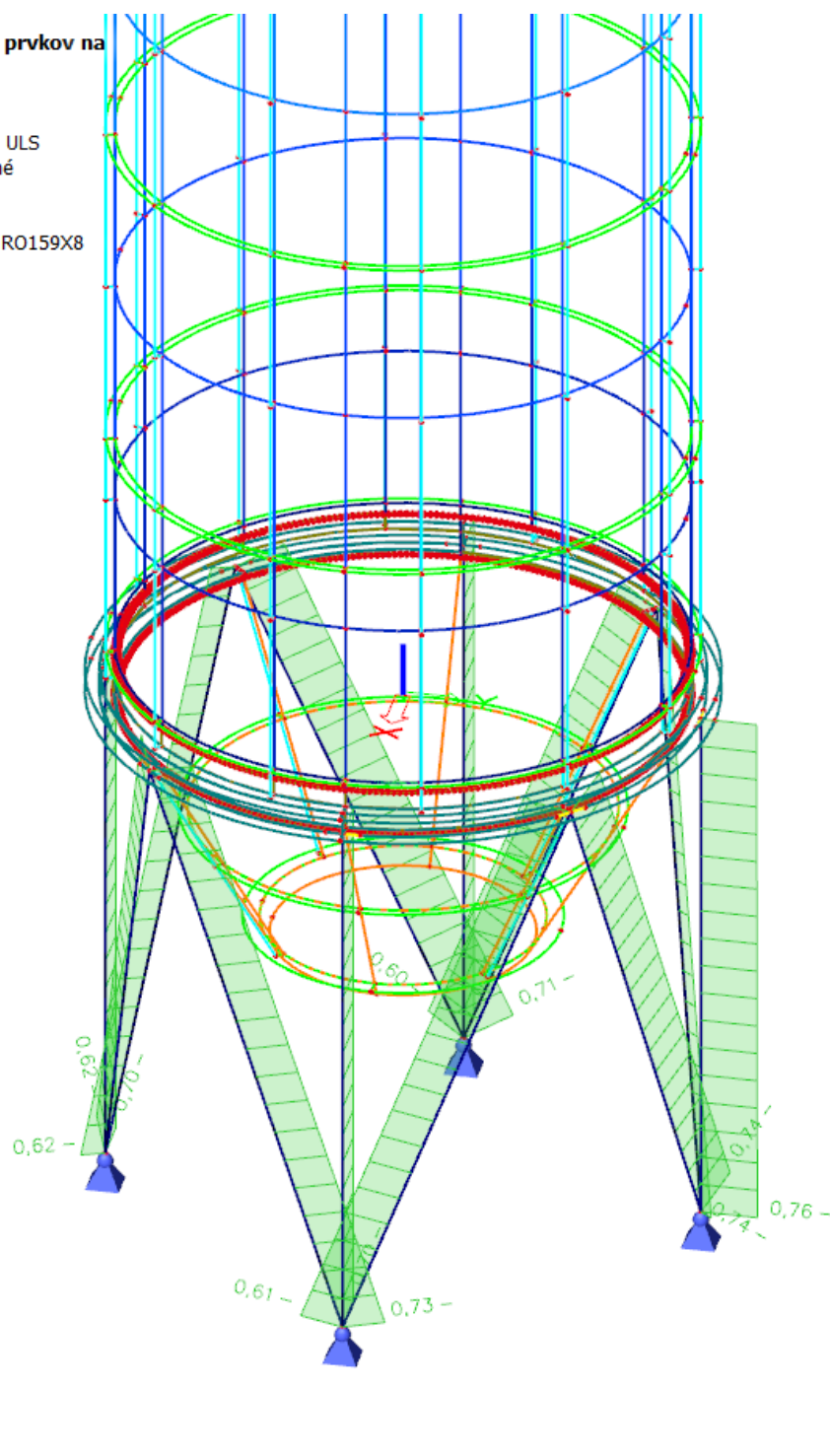
Skupina výsledkov: All ULS

Súradný systém: Hlavné

Extrém 1D: Prvok

Výber: Všetko

Filter: Prierez = CS1 - R0159X8



Prierez vyhovuje

H.4. NÁVRH SANÁCIE KONŠTRUKCIE

Výpočtom v časti H.2 bolo preukázané že súčasný stav plášťa je nevyhovujúci pre plné namáhanie konštrukcie. Samotný plášť má bohatú rezervu pre namáhanie vodorovným tlakom (radiálne napätie), avšak nedostatočnú stabilitu pre zvislé - tlakové namáhanie (zvislá zložka od trenia náplne pri vyprázdňovaní + vl. tiaž + stále zaťaženie + vietor). Z toho dôvodu je potrebné zabezpečiť zvýšenie stability škrupiny.

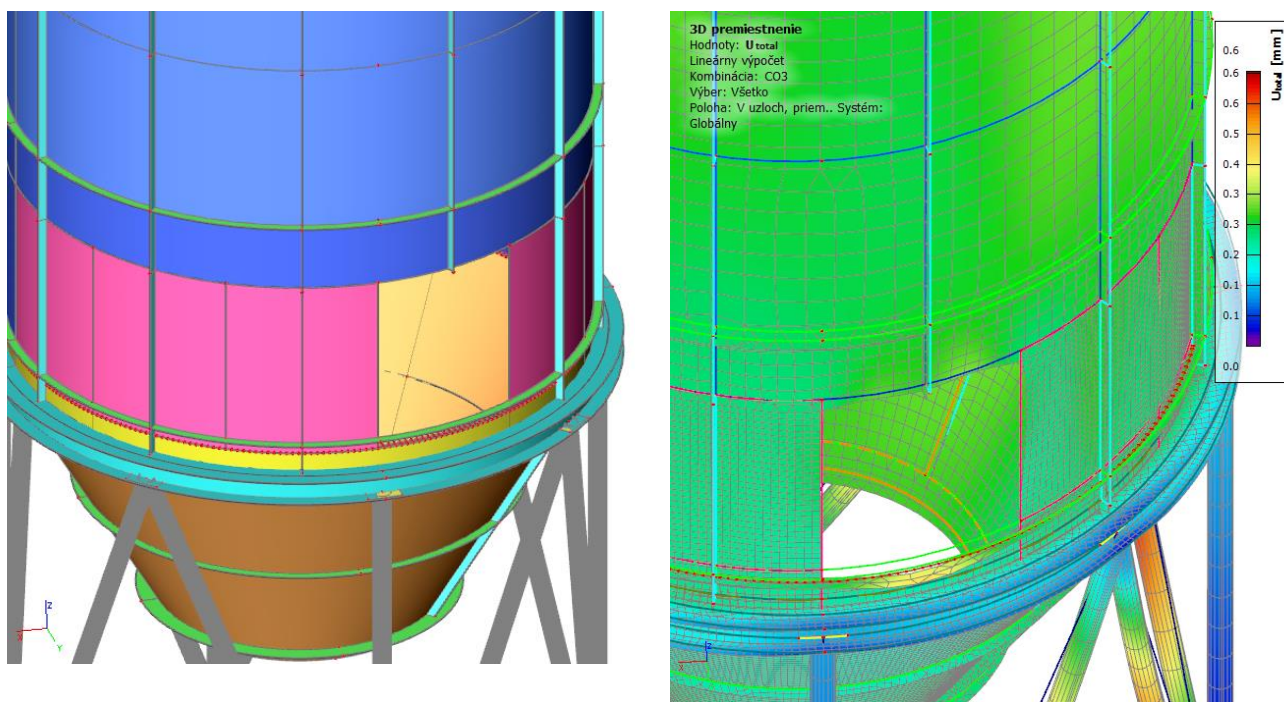
Pre sanáciu sila pripadajú dve základné riešenia:

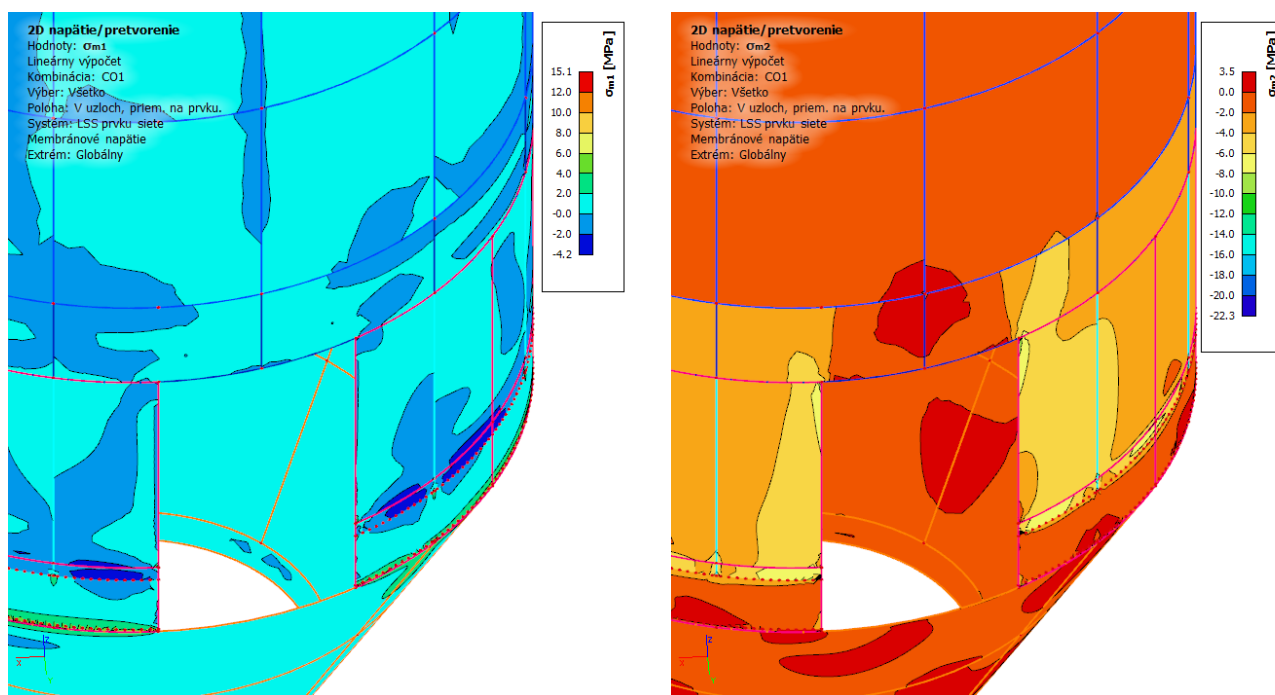
- 1) Výmena skorodovaných častí plášťa
- 2) Doplnenie výstuh pre zvýšenie stability

Riešenie č.1 pozostáva z postupného vyrezania jednotlivých segmentov po obvodě sila a ich nahradením plechmi pôvodnej projektovanej hrúbky. Po každom vyrezaní jedného segmentu sa tento na mieste nahradí novým v rovnakej geometrii. Všetky zvary plášťa sú realizované s plným prievarom (V-zvar).

Pre určenie maximálnej veľkosti jedného segmentu ktorý je možné vyrezať bez toho aby nastala nadmerná deformácia alebo preťaženie plášťa v okolí výrezu bol realizovaný samostatný výpočet.

Model s vyrezaným segmentom 30° (L=1,3 m), výška 2 m:





Z výsledkov výpočtu vyplýva že segment o rozmeroch 1,3 m (šírka) x 2,0 m (výška) je možné vyrezať bez dodatočných opatrení.

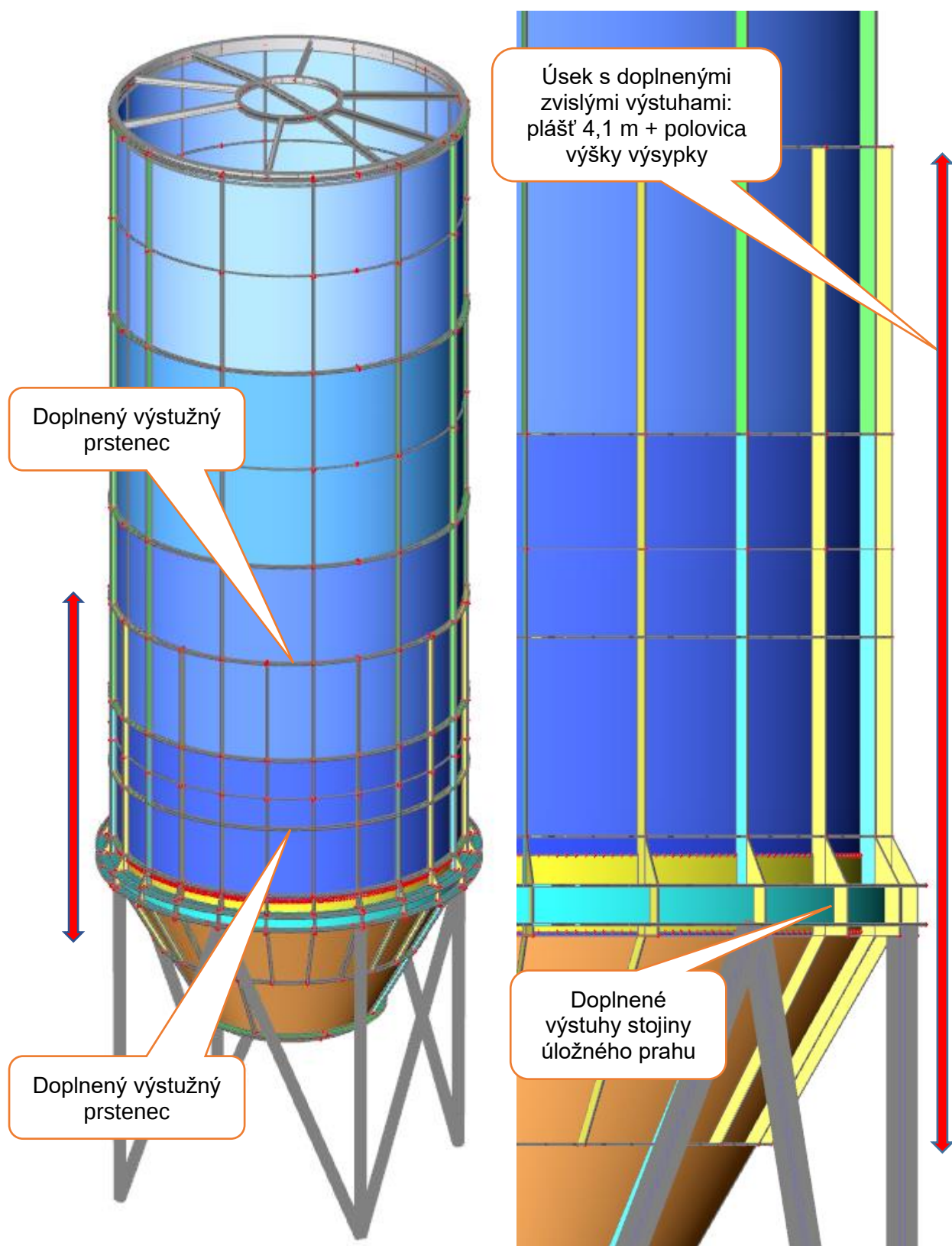
Z pohľadu ďalšieho dlhodobého využívania konštrukcie je tento spôsob sanácie najvhodnejší. Avšak z pohľadu realizácie je tento spôsob pomerne náročný, nakoľko je potrebné manipulovať so segmentmi o hmotnosti cca 200 kg, pričom tieto musia presne kopírovať pôvodnú geometriu. Súčasne je potrebné realizovať plný prievar (V-zvar) v miestach spojov.

Riešenie č.2 pozostáva z redukcie vzperných dĺžok vertikálnych výstuh a zmenšeniu ich zaťažovacej šírky. Redukcia vzpernej dĺžky vertikálnych výstuh sa dosiahne realizáciou dvojice dodatočných obvodových prstencov v strede prvého a druhého segmentu. Zmenšenie zaťažovacej šírky sa dosiahne realizáciou dodatočných vertikálnych výstuh v prvom a druhom segmente a taktiež v hornej časti výsypky. Všetky nové výstuhy budú realizované z plechu 80/10 mm. Počet nových zvislých výstuh bude 12, čím sa ich pôvodný počet 12 zahustí na 24, t.j. delenie po 15°.

Výhodou tohto riešenia je pomerne jednoduchá realizácia bez zásahu do plášťa sila. Manipulácia s výstuhami je jednoduchá (max hmotnosť prvku do 10 kg), výstuhy dobre kopírujú geometriu pôvodnej konštrukcie, prípojné zvary budú kútové.

Aby ďalej nepokračovala korózia vnútorného povrchu, tento sa po očistení opatrí ochranným náterom vhodným pre dané podmienky (abrázia + vysoká teplota).

Model s doplnenými výstuhami v spodnej (skorodovanej) časti



Posúdenie konštrukcie po realizácii doplňujúcich výstuh

Počet zvislých výstuh: $n = 24$
 Obvod plášťa: $o = p \cdot D = p \cdot 5 = 15,71 \text{ m}$
 Zatiažovacia šírka: $b_{eff} = o / n = 15,71 / 24 = 0,65 \text{ m}$
 Zatiaženie na jednu výstuhu: $N_{max} \cdot b_{eff} = 146,92 \cdot 0,65 = 95,5 \text{ kN}$

Vzperná dĺžka = vzdialenosť výstužných prstencov = 1,05 m

Účinný prierez so zohľadnením korózie plášťa + dodatočnej korózie vplyvom ďalšej prevádzky

Predpokladaná priemerná hrúbka plášťa: 3 mm

Efektívna šírka pásnice $14 \cdot t = 42 \text{ mm} \cdot 2$ (na obe strany od stojiny) = 84 mm

Stojina = Výstuha 80/10 mm

Prierezy

CS1	
Typ	Tw
Detailný	83; 10; 84; 3
Kód tvaru	6 - T prierez
Typ tvaru	Tenkostenný
Materiálová položka	S 235
Výroba	zvarovaný
Farba	
Obrázok	

Osamelé zat'azenie v uzle

Názov	Uzol	Zatiažovací stav	Systém	Smer	Typ	Hodnota - F [kN]
F1	N2	LC1 - Plné zat'azenie	GSS	Z	Síla	-95,50

Kombinácie

Názov	Popis	Typ	Zatiažovacie stavy	Súč. [-]
CO1.1		Obálka - únosnosť	LC1 - Plné zat'azenie	1,35
CO1.2		Obálka - únosnosť	LC1 - Plné zat'azenie	1,00

Posudok ocel'ových prvkov na MSÚ EC-EN 1993

Lineárny výpočet
Kombinácia: CO1

Súradný systém: Hlavné
Extrém 1D: Globálny
Výber: Všetko

Posudok EN 1993-1-1

Národná príloha: Štandardná EN

Prvok B1	0,000 / 2,100 m	Tw (83; 10; 84; 3)	S 235	CO1	0,61 -
-----------------	------------------------	---------------------------	--------------	------------	---------------

Kľúč kombinácií
CO1 / 1.35*LC1

Parciálne súčinitele spoľahlivosti	
γ_{M0} pre odolnosť prierezu	1,00
γ_{M1} pre odolnosť pri strate stability	1,00
γ_{M2} pre odolnosť ťahaných prierezu	1,25

Materiál		
Medza klzu f_y	235,0	MPa
Medzná pevnosť f_u	360,0	MPa
Výroba	Zvarované	

....:POSUDOK ODOLNOSTI:....

Kritický posudok je na pozícii0,000 m

Vnútrotné sily	Vypočítané	Jednotka
N_{Ed}	-128,93	kN
$V_{y,Ed}$	0,00	kN
$V_{z,Ed}$	0,00	kN
T_{Ed}	0,00	kNm
$M_{y,Ed}$	0,00	kNm
$M_{z,Ed}$	0,00	kNm

Klasifikácia pre návrh prierezu

Klasifikácia podľa EN 1993-1-1 článku 5.5.2

Klasifikácia vnútorných a prečnievajúcich častí podľa EN 1993-1-1 Tab. 5.2 List 1 a 2

Id	Typ	c [mm]	t [mm]	σ_1 [kN/m ²]	σ_2 [kN/m ²]	Ψ [-]	k_σ [-]	α [-]	c/t [-]	Trieda 1 Limit [-]	Trieda 2 Limit [-]	Trieda 3 Limit [-]	Trieda
1	SO	37	3	1,226e+05	1,226e+05	1,00	0,43	1,00	12,33	9,00	10,00	14,00	3
3	SO	37	3	1,226e+05	1,226e+05	1,00	0,43	1,00	12,33	9,00	10,00	14,00	3
4	UO	80	10	1,226e+05	1,226e+05	1,00	0,43	1,00	8,00	9,00	10,00	14,00	1

Poznámka: Limity klasifikácie boli nastavené podľa Semi-Comp+.

Prierez je klasifikovaný ako trieda 3

Posudok na tlak

Podľa EN 1993-1-1 článku 6.2.4 a rovnice (6.9)

A	1,0520e-03	m ²
$N_{c,Rd}$	247,22	kN
Jednotkový posudok	0,52	-

Prvok spĺňa podmienky posudku prierezu.

....:POSUDOK STABILITY:....

Klasifikácia pre návrh vzperu prvku

Rozhodujúca poloha pre klasifikáciu stability: 0,000 m

Klasifikácia podľa EN 1993-1-1 článku 5.5.2

Klasifikácia vnútorných a prečnievajúcich častí podľa EN 1993-1-1 Tab. 5.2 List 1 a 2

Id	Typ	c [mm]	t [mm]	σ_1 [kN/m ²]	σ_2 [kN/m ²]	Ψ [-]	k_σ [-]	α [-]	c/t [-]	Trieda 1 Limit [-]	Trieda 2 Limit [-]	Trieda 3 Limit [-]	Trieda
1	SO	37	3	1,226e+05	1,226e+05	1,00	0,43	1,00	12,33	9,00	10,00	14,00	3
3	SO	37	3	1,226e+05	1,226e+05	1,00	0,43	1,00	12,33	9,00	10,00	14,00	3
4	UO	80	10	1,226e+05	1,226e+05	1,00	0,43	1,00	8,00	9,00	10,00	14,00	1

Poznámka: Limity klasifikácie boli nastavené podľa Semi-Comp+.
Prierez je klasifikovaný ako trieda 3

Posudok rovinného vzperu

Podľa EN 1993-1-1 článku 6.3.1.1 a rovnice (6.46)

Parametre vzperu	yy	zz	
Typ posuvných styčníc	posuvné	neposuvné	
Systémová dĺžka L	2,100	2,100	m
Súčiniteľ vzperu k	0,50	0,10	
Vzperná dĺžka L_{cr}	1,050	0,210	m
Kritické Eulerovo zaťaženie N_{cr}	1422,91	7277,31	kN
Štíhlosť λ	39,15	17,31	
Relatívna štíhlosť λ_{rel}	0,42	0,18	
Medzná štíhlosť $\lambda_{rel,0}$	0,20	0,20	
Vzper. krivka	c	c	
Imperfekcie χ 1 alfa	0,49	0,49	
Redukčný súčiniteľ χ	0,89	1,00	
Vzperná odolnosť $N_{b,Rd}$	219,63	247,22	kN

Overenie rovinného vzperu		
Prierezová plocha A	1,0520e-03	m ²
Vzperná odolnosť $N_{b,Rd}$	219,63	kN
Jednotkový posudok	0,59	-

Posudok priestorového vzperu

Podľa EN 1993-1-1 článku 6.3.1.1 a rovnice (6.46)

Vzperná dĺžka pre priestorový vzper L_{cr}	2,100	m
Pružné kritické zaťaženie $N_{cr,T}$	1228,71	kN
Pružné kritické zaťaženie $N_{cr,TF}$	1120,98	kN
Relatívna štíhlosť $\lambda_{rel,T}$	0,47	
Medzná štíhlosť $\lambda_{rel,0}$	0,20	
Vzper. krivka	c	
Imperfekcie χ 1 alfa	0,49	
Redukčný súčiniteľ χ	0,86	
Prierezová plocha A	1,0520e-03	m ²
Vzperná odolnosť $N_{b,Rd}$	212,57	kN
Jednotkový posudok	0,61	-

Prvok spĺňa podmienky stabilného posudku.

Prierez vyhovuje

I. ZÁVER A ZHODNOTENIE

Plášť sila je skorodovaný v spodnej časti - do úrovne cca 3,2 až 3,5 m nad výsypkou, s korozívnym úbytkom do 60 percent pôvodnej hrúbky. Korózia je výrazne nerovnomerná. Výpočtom sme preukázali, že v súčasnom stave silo nie je schopné prenášať plné zaťaženie na ktoré bolo projektované. Pre dosiahnutie plnej nosnosti sila je potrebné vykonať sanáciu. Možnosti sanácie sú popísané v kapitole H.4. Z hľadiska ľahkej realizovateľnosti navrhujeme použiť riešenie č.2 – s doplnením zvislých výstuh a dvojice horizontálnych prstencov. Súčasne navrhujeme vnútro sila očistiť a natrieť vhodným ochranným, oteruvzdorným náterom odolným voči vysokej teplote.

V ktoromkoľvek zvolenom riešení sanácie je potrebné realizovať zvislé výstuhy steny úložného prahu (podľa pôvodnej projektovej dokumentácie výstuhy neboli navrhnuté a v čase obhliadky nebolo možné zistiť či boli zrealizované).

Prípadné lokálne perforácie plášťa vplyvom korózie alebo prevádzky je možné sanovať lokálne – vyrezaním časti plechu a jeho nahradením novým plechom s nominálnou hrúbkou.

Prípadné zmeny stavu plášťa sila v čase sanácie oproti obhliadke vykonanej v októbri 2020 je potrebné premietnuť do realizačnej dokumentácie.

Sanované silo bude schopné ďalšej prevádzky pre plné zaťaženie.

v Košiciach 10.2020

Ing. Ľubor Pikula
autorizovaný stavebný inžinier

PRÍLOHA 1 – FOTODOKUMENTÁCIA Z OBHLIADKY (OKTÓBER 2020)









