

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2341 Strojírenství
Studijní zaměření: Konstrukce průmyslové techniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Optimalizace svařované plastové nádoby pro ČOV ACO Clarimar 7

Autor: **Jakub DIVIŠ**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Václava LAŠOVÁ, Ph.D.**

2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub DIVIŠ**
Osobní číslo: **S10B0053K**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **Konstrukce průmyslové techniky**
Název tématu: **Optimalizace svařované plastové nádoby pro ČOV ACO Clarimar 7**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Optimalizace konstrukčního řešení plastové svařované nádoby za účelem možného snížení nákladů za materiál. Nádrž musí splňovat požadavky, které jsou na ní kladené umístěním na lodi. Dále musí splňovat funkčnost čistírny odpadních vod. Zavedení konstrukčních změn do výkresové dokumentace na základě optimalizačního výpočtu.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Problematika plastových nádrží čistíren odpadních vod
2. Zhodnocení současného konstrukčního řešení nádoby
3. Požadavky na optimalizaci
4. Provedení optimalizačních výpočtů
5. Technicko - ekonomické zhodnocení nového návrhu

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

VINARSKÝ, P. *Plasty, Svařování platů.* Brno: SCIA CZ, s.r.o., 2007

PRAŽAN, J. *Navrhování svařovaných nádrží z termoplastů.* Brno: SCIA CZ, s.r.o., 2007

Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Martin Gazda**
ACO Industries, s.r.o., Tábor

Datum zadání bakalářské práce: **23. září 2013**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. června 2014**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 23. září 2013

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni. Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:.....

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Diviš	Jméno Jakub		
STUDIJNÍ OBOR	B2341 „Konstrukce průmyslové techniky“			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Lašová, PhD.	Jméno Václava		
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ		Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Optimalizace plastové svařované nádoby pro ČOV ACO Clarimar 7			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2014
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	47	TEXTOVÁ ČÁST	30	GRAFICKÁ ČÁST	17
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Obsahem bakalářské práce je optimalizace konstrukčního řešení plastové svařované nádoby za účelem možného snížení nákladů za materiál. Nádrž musí splňovat požadavky, které jsou na ní kladené umístěním na lodi. Dále musí splňovat funkčnost čistírny odpadních vod. Na základě optimalizačního výpočtu v softwaru Siemens NX 8.5 budou zavedeny konstrukční změny do výkresové dokumentace.
KLÍČOVÁ SLOVA	svařování plastů, vlastnosti plastů, plastová svařovaná konstrukce, výpočet MKP, Siemens NX 8.5

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Diviš	Name Jakub	
FIELD OF STUDY	B2341 "Design of Manufacturing Machines"		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Lašová, PhD.	Name Václava	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Optimization of welded plastic container for WWTP ACO Clarimar 7		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2014
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	47	TEXT PART	30	GRAPHICAL PART	17
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The content of this bachelor report is the optimization of design welded plastic container for possible reduction cost of materials. The container must meet the requirements for installing on the ship. It must also fulfill the functionality of the wastewater treatment plant. On the basis of the optimization calculation in software Siemens NX 8.5 the design changes will be implemented to the drawing.
KEY WORDS	welding of plastic, properties of plastic, plastic welded construction, finite element analysis, Siemens NX8.5

Obsah

1	Úvod	4
2	Představení firmy ACO Industries	4
3	Čistírny odpadních vod pro domovní splaškové vody.....	4
3.1	Popis funkce.....	5
4	Čistírna odpadních vod (lodní)	6
5	Materiál	8
5.1	Polyetylen PE	8
5.2	Polypropylen PP.....	8
5.3	Polyvinylchlorid PVC	9
5.4	Polyvinylidenfluorid PVDF	9
6	Svařování	9
6.1	Svařovací metody	10
6.1.1	Horkým tělesem	10
6.1.2	Horkým tělesem natupo.....	11
6.1.3	Svařování ohraňováním	14
6.1.4	Extruderem.....	15
6.1.5	Horkým plynem a přídavným materiálem	16
7	Současná konstrukce ACO Clarimar	18
8	Postup optimalizace	19
9	Požadavky na nádrž.....	19
10	Okrajové podmínky	21
11	Varianty konstrukce nádrže	21
11.1	Opásání pláště výztuhami	21
11.2	Úprava stávající konstrukce	21
12	Vlastnosti použitých materiálů.....	23
12.1	Technický list Polypropylen Polystone P copolymer (PP-B).....	23
12.2	Technický list Polypropylen PPs šedý.....	24
12.3	Křivky srovnávacího napětí a modulu dotvarování	25
13	Výpočet.....	26
13.1	Zatěžovací stavy	27
14	Výsledky.....	29
14.1	Původní stav.....	29
14.1.1	Provozní stav – náklon 10°	29
14.1.2	Provozní stav – náklon 22°	31

14.2	Varianta opásání plastovými profily	33
14.2.1	Provozní stav – náklon 10°	33
14.2.2	Provozní stav – náklon 22°	35
14.3	Varianta opásání ocelovými profily	38
14.3.1	Provozní stav – náklon 10°	38
14.3.2	Provozní stav – náklon 22°	40
15	Zhodnocení výsledků.....	42
16	Citovaná literatura.....	43

Seznam příloh

Příloha č. I Výstup výsledků z MKP analýzy

Seznam zkratk a použitých symbolů

K [N/mm^2] - srovnávací napětí v závislosti na materiálu konstrukce, provozní teplotě t a životnosti konstrukce viz. ČSN EN 1778

E_c [MPa] - kríkový modul

ρ_m [g/dm^3] - hustota materiálu

f_l - dlouhodobý svařovací faktor viz ČSN EN 1778

f_s - krátkodobý svařovací faktor viz ČSN EN 1778

A_1 - korekční faktor viz ČSN EN 1778

A_{2K} - dovolený korekční faktor pro účinek média viz ČSN EN 1778

MKP – metoda konečných prvků

1 Úvod

Důvodem zvolení oboru čistírny odpadních vod je, že tento obor bude do budoucni neustále rozvíjet, protože čištění vody je a bude neustálý problém. Čistírny odpadních vod se nevyžívají jenom ve městech, průmyslových objektech, nebo u rodinných domů, ale je jich za potřebí i na lodích, na které bude moje práce zaměřena. Výsledkem bakalářské práce by měla být optimalizovaná konstrukce svařované plastové nádoby pro lodní čistírnu odpadních vod ACO Clarimar 7. Důvod této optimalizace je prostý. Snížení nákladů na nákup materiálu potřebného pro výrobu a zároveň zachovat specifické nároky na pevnost kvůli umístění čistírny na lodi. Dále pokud možno zkrácení času výroby (počet výztuh, celková délka sváru atd.). Prvotní čistírna (Maripur) na loď se vyráběla z nerezové oceli v závodě ACO Přibyslav. Postupem času se začalo uvažovat o provedení ve svařované plastové nádrži, kvůli snížení ceny. U provedení z plastu je tato cena 5x nižší než u nerezového provedení u shodných velikostí.

2 Představení firmy ACO Industries

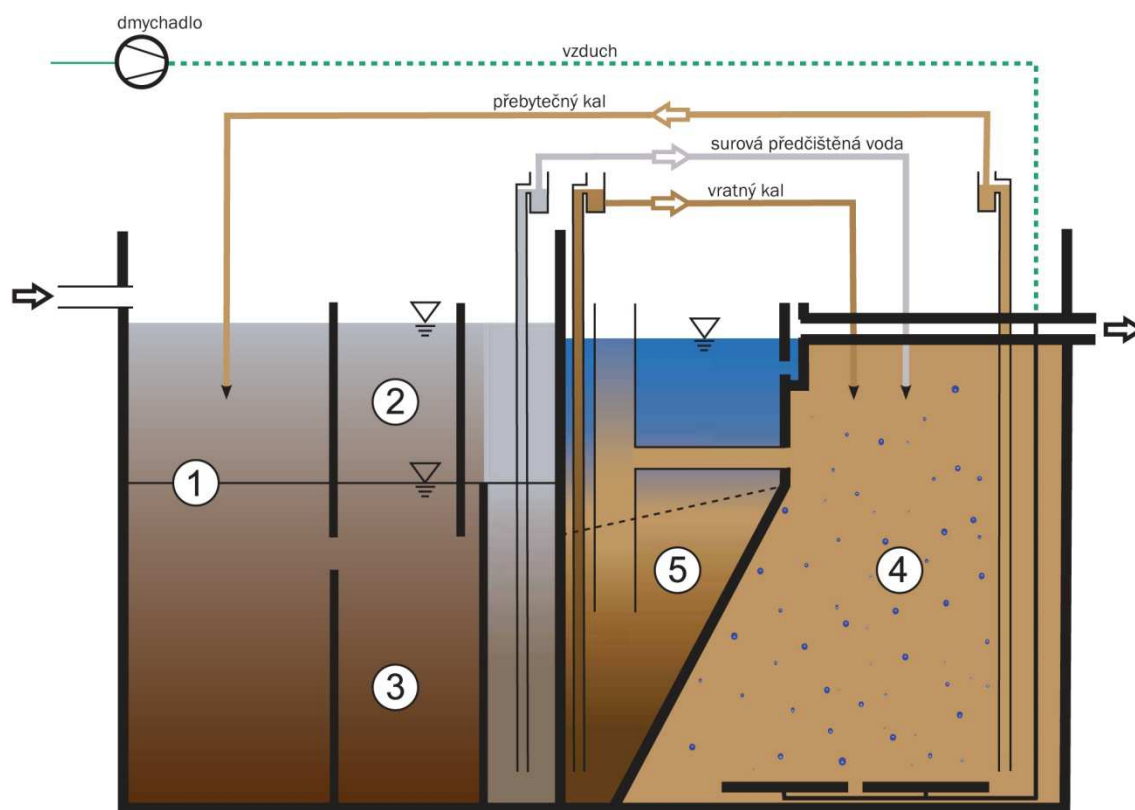
ACO Industries je německá společnost, která byla založena roku 1946 a je spjata s rodinou Hanse-Julius Ahlmann. Odtud pochází název ACO (Ahlmann COmpany). Výrobní a obchodní pobočky jsou více než 40 ti zemích po celém světě. V Česku je největší část výroby v Přibyslavi, kde se vyrábí hlavně výrobky (liniové odvodnění) z nerezové oceli. Druhá výrobní část je v Táboře, kde je soustředěna výroba z plastu. Hlavním výrobním programem jsou systémy pro odvodnění. Ať už jsou to žlaby pro odvod vody ze silnic, letišť, parkovišť, nebo žláby pro sanitární využití. S tím souvisí i výroba odlučovačů tuků, ropných látek a čistíren odpadních vod.

3 Čistírny odpadních vod pro domovní splaškové vody

Čistíren určených pro tento typ využití je na trhu velké množství od mnoha různých výrobců. Firma ACO Industries patří mezi výrobce s menší tradicí výroby čistíren. Nejznámější výrobci jsou: Asio, Envi-pur a dále existuje mnoho menších firem. Čistírny se liší hlavně typem konstrukce nádrže. Mohou být umístěny v betonových jímkách, plastových svařovaných nádobách, kombinace materiálu (plastová nádrž v kombinaci s ocelovým opásáním), nebo kompletně například z nerezové oceli. Záleží, kde bude čistírna umístěna a jaké na ní budou kladeny požadavky. Dalším znakem, podle kterého se čistírny mohou rozdělit, je jejich velikost (rozměry). Velikost čistírny je dána mírou biologického zatížení. Zatížení se počítá podle počtu tzv. ekvivalentních obyvatel a podle toho jsou kladeny požadavky na objem (velikost) čistírny. Ekvivalentní obyvatel je brán jako člověk s průměrnou denní spotřebou vody a průměrným využitím toalet. V následujících kapitolách je popsán princip funkce domovní čistírny odpadních vod a čistírny určené pro loď.

3.1 Popis funkce

Čistírna odpadních vod pracuje na základě mechanicky – biologického principu. Čistírna je rozdělena na dvě části. V první části je mechanické předčištění a v druhé je biologická část. Mechanické předčištění (1) je tvořeno uskladňovací částí (3), vyrovnávací částí (2) a nornou stěnou pro hrubé předčištění. Předčištěná voda je přečerpávána do biologické části čistírny. V této části je aktivační nádrž (4), do které je umístěna dosazovací nádrž (5). V aktivační nádrži dochází k provzdušňování surové předčištěné vody aerací. Pomocí velkého množství bublinek vytvářených aeračními elementy jsou rozmělněny nečistoty a poté přechází voda do dosazovací nádrže, která je s aktivační nádrží spojena. V dosazovací nádrži dochází k oddělení kalu a přečištěné vody gravitační separací. Kal dosedá na dno a přečištěná voda se drží na hladině. Voda odtéká přes přepadový objekt potrubím ven z čistírny. Z dosazovací nádrže je přečerpáván vratný kal do aktivační nádrže a následně odtud je přebytečný kal čerpán do první části čistírny, kde je kal uskladněn. Po naplnění uskladňovacího objemu se kal musí odčerpát.



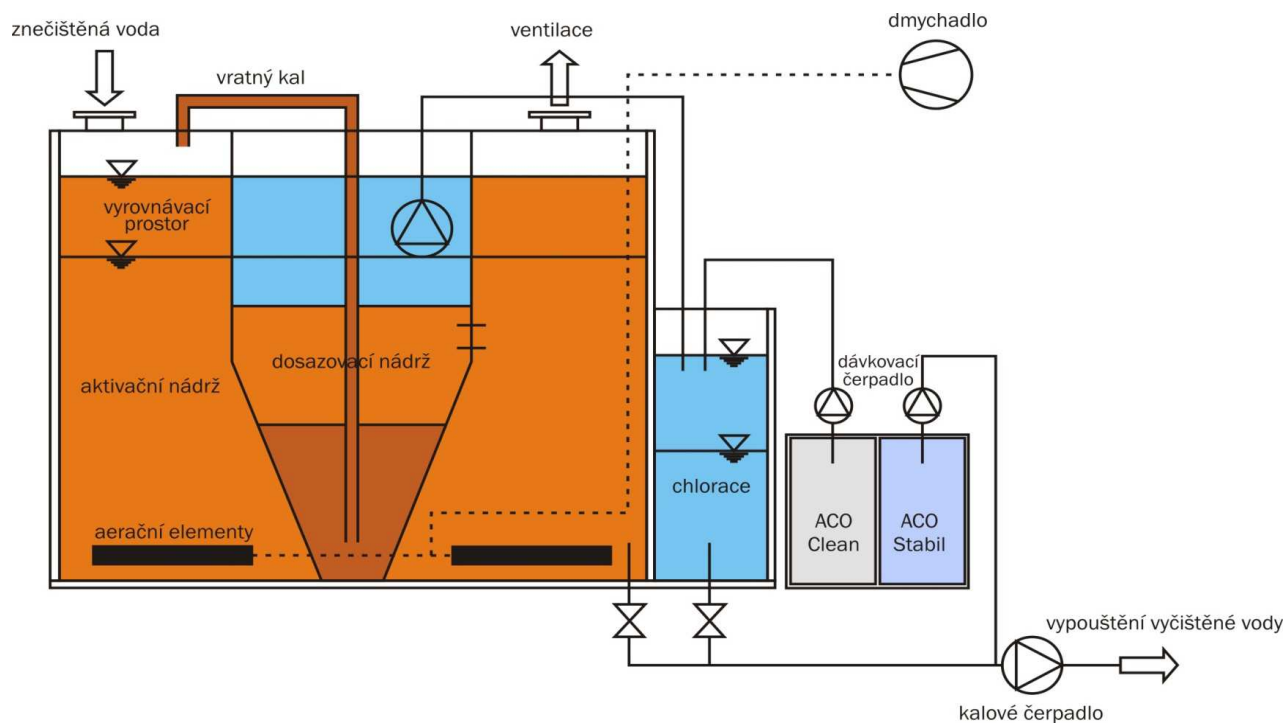
Legenda:

1. předčištění
2. vyrovnávací část
3. uskladňovací část
4. aktivační nádrž
5. dosazovací nádrž

Obr. 3.1 Schéma funkce čistírny

4 Čistírna odpadních vod (lodní)

Čistírny odpadních vod určené pro lodní průmysl vyráběné v ACO Industries Tábor jsou určeny pro biologické čištění splaškové vody. Stejně jako standardní čistírny jsou i tyto pro lodě rozděleny podle biologického zatížení (Tabulka 4.1). Princip fungování je velice podobný jako u standardní čistírny. Rozdíl je v tom, že vyčištěná voda před tím než opustí čistírnu, je odčerpávána z dosazovací nádrže do menší nádrže, ve které je dávkován chlór pro dokonalejší vyčištění. Poté se do odtoku přidávají látky pro odbourání chlóru a následně je voda vypuštěna z čistírny (Obr. 4.1)



Obr. 4.1 Schéma funkce lodní čistírny

Clarimar	Maximální objem kalu [m ³ /den]	Maximální zatížení BOD ₅ [kg/den]	Rozměry délka x šířka x výška [mm]	Měsíční spotřeba [kg]	
				ACO Clean	ACO Stabil
AC0,5	0,56	0,39	820 x 2166 x 1416	0,5	1,0
AC1	1,05	0,74	1427 x 1920 x 1752	0,5	1,0
AC2	1,75	1,23	1619 x 2107 x 1752	1,0	1,5
AC3	2,80	1,96	1633 x 2122 x 1887	1,5	2,5
AC4	4,06	2,84	2380 x 2200 x 1897	2,0	3,0
AC5	4,97	3,48	3118 x 2210 x 1904	2,5	5,0
AC6	5,95	4,17	3118 x 2210 x 2114	4,0	5,5
AC7	7,00	4,90	3698 x 2210 x 2114	4,5	6,5

Tabulka 4.1 Výrobní řada čistíren ACO Clarimar

Cílem bakalářské práce je optimalizovat současnou konstrukci čistírny. Jako první krok je třeba zvážit vhodný typ konstrukce nádoby. Například: opásání po obvodu nádrže čtyřhranným profilem, použití plastových stěnových prvků místo desek, nebo upravit stávající stav optimalizací výztuh a síly materiálu.

5 Materiál

Pro výrobu odlučovačů je využíván materiál PE-HD (polyetylén s vysokou hustotou) z důvodu odolnosti vůči látkám se kterými přijde do styku (kyseliny, zásady). Pro výrobu čistíren odpadních vod je využíván PP (polypropylén) nebo PVC. Dle požadavků mohou mít materiály různé vlastnosti (el. vodivost, nehořlavost atd.).

5.1 Polyetylen PE

Vlastnosti polyetylenu jsou ovlivněny podle toho jakým způsobem je vyrobený. Jsou známy 3 druhy polymerace.

- PE-LD (nízko hustotní)
- PE-MD (středně hustotní)
- PE-HD (vysoko hustotní). Nejčastěji se pro výrobu nádrží používá PE-HD, protože má velmi dobré mechanické a chemické vlastnosti, nejlépe odolává nízkým teplotám. Při správně provedeném svaru má nejmenší zbytkové napětí ve svaru.

PE-HD se dělí na 3 pevnostní skupiny.

- PE-63
- PE-80 ($\rho=0,95 \text{ g/cm}^3$)
- PE-100 ($\rho=0,958 \text{ g/cm}^3$)

Číslice za PE udává minimální požadovanou pevnost, může být označeno jako MRS (minimum required strength). Vydělením čísla MRS číslem deset dostaneme hodnotu pevnosti v MPa. Všechny pevnostní skupiny jsou navzájem svařitelné, ale maximální pevnost je taková jakou má horší ze svařovaných materiálů.

Kromě výše jmenovaných druhů PE existuje PE-X ($\rho=0,95 \text{ g/cm}^3$, síťovaný). Při síťování se PE mění z termoplastu na elastomer. Výhoda PE-X je hlavně ve větší pevnosti (MRS=12,5 MPa). (1)

5.2 Polypropylen PP

Hlavní využití mají 3 typy polypropylenu: PP-H, PP-B, PP-R.

- PP-H ($\rho=0,91 \text{ g/cm}^3$): je to homopolymer propylenu. Má dobrou odolnost vůči vysokým teplotám, ale pouze krátkodobě. Nesmí se vystavovat nižším teplotám (-10°C nepoužitelný). Použití pro malé čistírny odpadních vod.
- PP-B ($\rho=0,91 \text{ g/cm}^3$): rázově odolný propylenový termoplast, který obsahuje dvě nebo více fází. Používá se pro výrobu skružovaných nádrží pro ukládání kapalin.
- PP-R ($\rho=0,91 \text{ g/cm}^3$): pro svou vyšší pořizovací cenu nemá velké použití. (1)

5.3 Polyvinylchlorid PVC

Rozlišují se dva druhy PVC. PVC-U a PVC-C.

- **PVC-U** ($\rho=1,4 \text{ g/cm}^3$): je to jeden z nejpoužívanějších termoplastů. Dříve byl znám pod názvem Novodur. Má vysokou pevnost a vrubovou houževnatost. Má velmi dobrou chemickou odolnost, nejlépe z plastů odolává koncentrované kyselině sírové. Problém ve využití tohoto plastu je v ne moc dobré svařitelnosti. Při nejčastějším způsobu sváření (extruzivně) dochází k ucpávání extrudéru, kterým může být extrudér poškozen.

Rozlišují se 3 typy PVC-U.

- PVC-NI (normal impact): polyvinylchlorid normálně houževnatý.
- PVC-RI (raised impact): polyvinylchlorid zvýšeně houževnatý.
- PVC-HI (high impact): polyvinylchlorid vysoce houževnatý.
- **PVC-C** ($\rho=1,6 \text{ g/cm}^3$): je to chlorovaný polyvinylchlorid. Hlavní výhodou je jeho odolnost vůči vyšším teplotám. Trvalé odolává teplotě 85°C a krátkodobě 100°C . Velké využití je hlavně v chemickém průmyslu, kde může být použit jako výstelka nádrží. (1)

5.4 Polyvinylidenfluorid PVDF

Tento materiál je znám hlavně svou chemickou a tepelnou odolností. Odolává teplotám až do 135°C a je prakticky odolný vůči všem kyselinám. Je svařitelná všemi běžnými postupy. Má vysokou mechanickou pevnost, tuhost a houževnatost. Je to technický konstrukční materiál, který je velmi drahý ve srovnání s předchozími termoplasty. Použitelnost se pohybuje mezi -30°C až $+135^\circ\text{C}$. Použití v chemickém průmyslu například jako výstelka nádrží. Dále je možné použití technologie laminování částí konstrukcí vyrobených z PVDF. PVDF se laminuje např. sklolaminátem, kde slabá vrstva PVDF zajišťuje chemickou odolnost. (1)

6 Svařování

Svar je nerozebíratelný spoj dvou dílů. Vzniká natavením základního materiálu. Natavené plochy se spojují pod tlakem. Požadované vlastnosti má svar až po vychladnutí. Důležitý pojem je svařitelnost. Termoplasty jsou svařitelné, pokud svar provedený reprodukovatelným postupem kvalifikovanou osobou má opakovaně požadované vlastnosti (faktor svaru).

Faktor svaru: hodnocení kvality svaru vyjádřené poměrem mezi hodnotami sledovaných veličin na zkušebním tělese se svarem a bez svaru. Udává pro daný materiál a metodu svařování snížení pevnosti svaru vůči základnímu materiálu. Faktor svaru může být max. roven hodnotě 1. Používá se krátkodobý a dlouhodobý faktor svaru.

- **Krátkodobý f_s :** zkouší se tahem, ohybem, nepoužívá se k navrhování konstrukcí z termoplastů. Hodnotu krátkodobého faktoru lze použít, jestliže doba zatížení svaru nepřekročí 1 hodinu (například závěsná oka na nádrži pro manipulaci). Hodnota krátkodobého faktoru je závislá na metodě svařování a druhu svařovaného plastu.
- **Dlouhodobý f_l :** stanoví se zkouškou dlouhodobého konstantního zatížení (krípková zkouška) minimálně pro dvě hodnoty napětí. Používá se pro navrhování konstrukcí z termoplastů. Hodnota je také závislá na použité metodě svařování a druhu svařovaného plastu jako u krátkodobého faktoru svaru. Svařitelnost materiálů lze posoudit podle: typu polymeru, podobné hustoty, podobného indexu toku taveniny. (1)

6.1 Svařovací metody

HS	Horkým tělesem natupo
HN	Profilovým horkým tělesem
HD	Polyfúzní svařování horkým tělesem
HB	Svařování ohraňováním horkým tělesem
HM	Elektro-tvarovkou
WF	Horkým plynem kulatou tryskou přídavným materiálem
WZ	Horkým plynem rychlo tryskou přídavným materiálem
WE	Extruzivní svařování horkým plynem

Tabulka 6.1 Zkratky použité pro svařovací metody (1)

Faktor svaru pro jednotlivé metody

Metoda	Polymer	f_s	f_l
Horkým tělesem	PE, PP všechny typy	0,9	0,8
	PVC-U, PVDF	0,9	0,6
	PVC-C	0,8	0,6
Horkým plynem	PE, PP všechny typy	0,8	0,4
	PVC-U, PVDF	0,8	0,4
	PVC-C	0,7	0,4
Extruderem	PE, PP všechny typy	0,8	0,6
	PVC-U, PVC-C, PVDF		

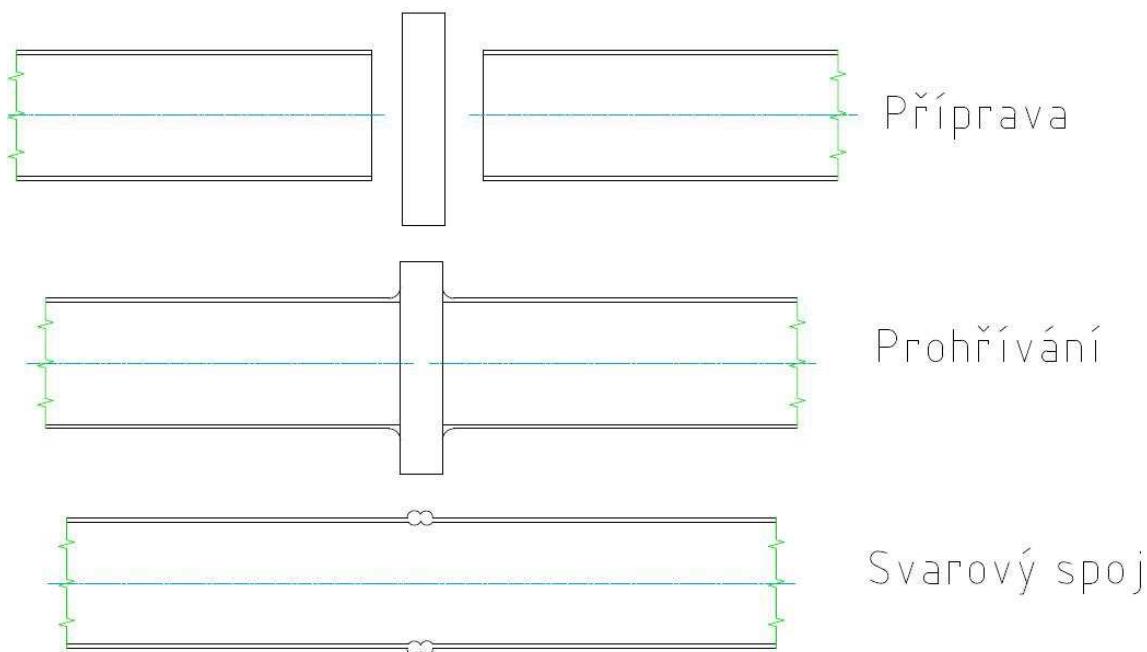
Tabulka 6.2 Koeficienty dle provedení svaru (1)

6.1.1 Horkým tělesem

Je to metoda svařování, při níž se nepoužívá přídavný materiál. K natavení základního materiálu dochází kontaktem s tělesem ohřátým na požadovanou hodnotu. Po dosažení požadované doby ohřevu a správného natavení svařovaných ploch je horké těleso odstraněno a je provedeno svaření. Tato metoda má nejvyšší hodnotu faktoru svaru. (1)

6.1.2 Horkým tělesem natupo

Tato metoda se používá pro svařování trubek a desek z PE, PP, PB a PVDF. Svařují se polotovary s tloušťkou od 3 mm a lze takto svařovat i silnostěnné trubky a desky. Tloušťka stěny svařovaných dílů se nesmí lišit o více než 10%. Při svařování horkým tělesem natupo jsou svařované plochy přitlačeny na ohřívané těleso. Jsou zahřáté na svařovací teploty (při sníženém tlaku) a poté po vyjmutí horkého tělesa spojeny pod tlakem (Obr. 6.1). (1)



Obr. 6.1 Postup při svařování horkým tělesem natupo

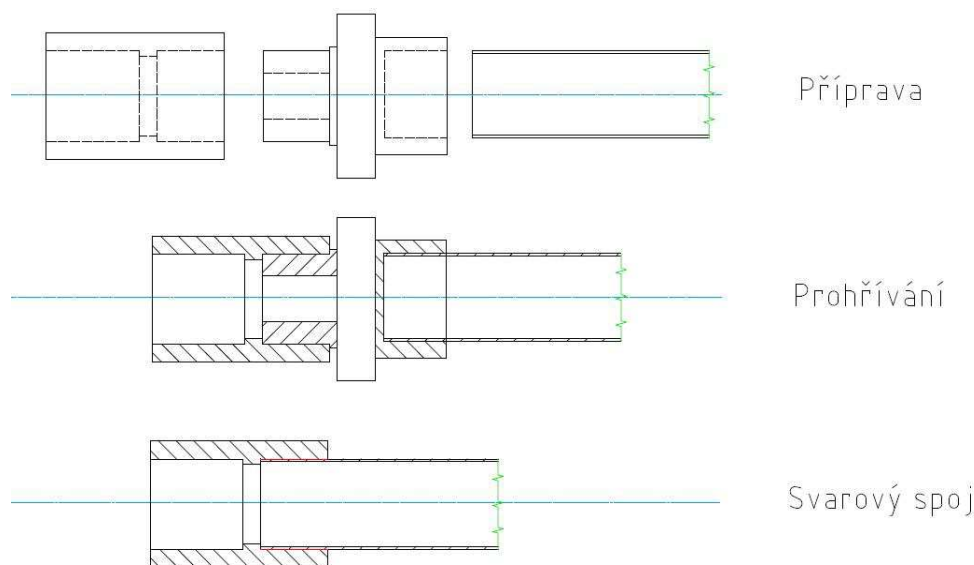
Důležité parametry pro správné svaření je teplota horkého tělesa, která se liší dle svařovaných polymerů (PE 200 – 220°C, PP 210 ± 10°C). Svařovací tlak (Tab. 6.3) je vyvozen buď ručně, nebo mechanicky (pneumaticky, elektrický pohon). (1)

Svařovací tlaky

Materiál	PE-HD	PP všechny typy	PVDF
Tlak [MPa]	0,15	0,20	0,10

Tabulka 6.3 Příklad svařovacích tlaků (1)

Další důležité parametry pro správně provedený svar jsou: odstranění zoxidované vrstvy v místě svaru (zejména u PP), rovnoměrná teplota horkého tělesa, správná geometrie svaru. (1)



Obr. 6.2 Postup při svařování polyfuzí

6.1.2.1 Sedlový svar horkým tělesem

Použití této metody je pro navaření tvarovek na potrubní vedení, pro válcové nádoby pomocí tvarovaného horkého tělesa. Doporučená svařovací teplota je 250 – 270°C. Doba ohřevu je dána výrobcem tvarovek a svařovacího zařízení. V porovnání s metodou natupo je tento způsob rychlejší. Při delší době prohřívání by došlo ke změknutí materiálu a nebyl by vyvozen dostatečný svařovací tlak. Tlak ve svařových plochách je stejný jako u svařování natupo. (1)

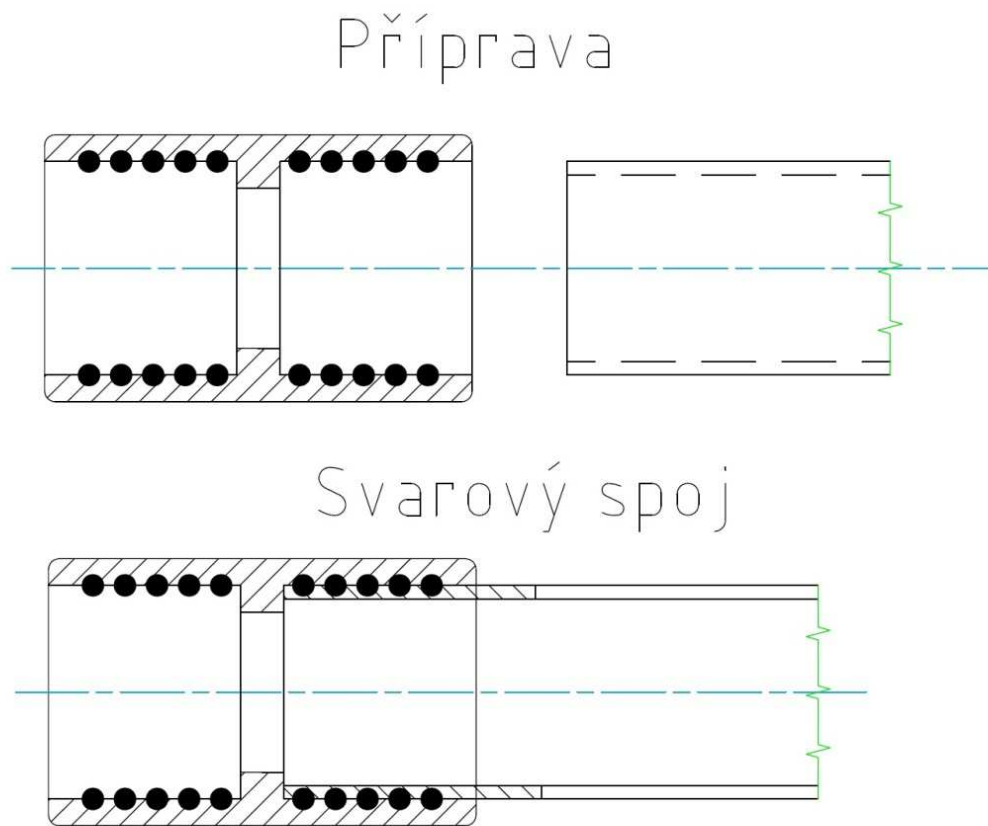
6.1.2.2 Polyfuzní svařování

Svařování horkým tělesem polyfuzí se používá pro spojování trubek z PE-HD, PP, PB a PVDF přeplátováním. Vnější povrch trubky a vnitřní povrch tvarovky je ohřátý v požadované délce na svařovací teplotu horkým tělesem, které má tvar nátrubku nebo trnu. Poté jsou vyjmuty a spojeny. (Obr. 6.2)

Horké těleso a tvarovky jsou rozměrově uzpůsobeny tak, aby při spojení vznikl svařovací tlak. Ručně lze provádět svary do průměru 50 mm. Pro průměry od 63 mm je potřeba použít svařovacího zařízení, protože je zapotřebí velké síly. Horké těleso je vyhříváno elektricky. Teplota horkého tělesa je 250 – 270°C. Pro různé průměry trubek se liší hodnoty hloubky zasunutí a úkos na hrdle trubky. (1)

6.1.2.3 Svařování elektro tvarovkou

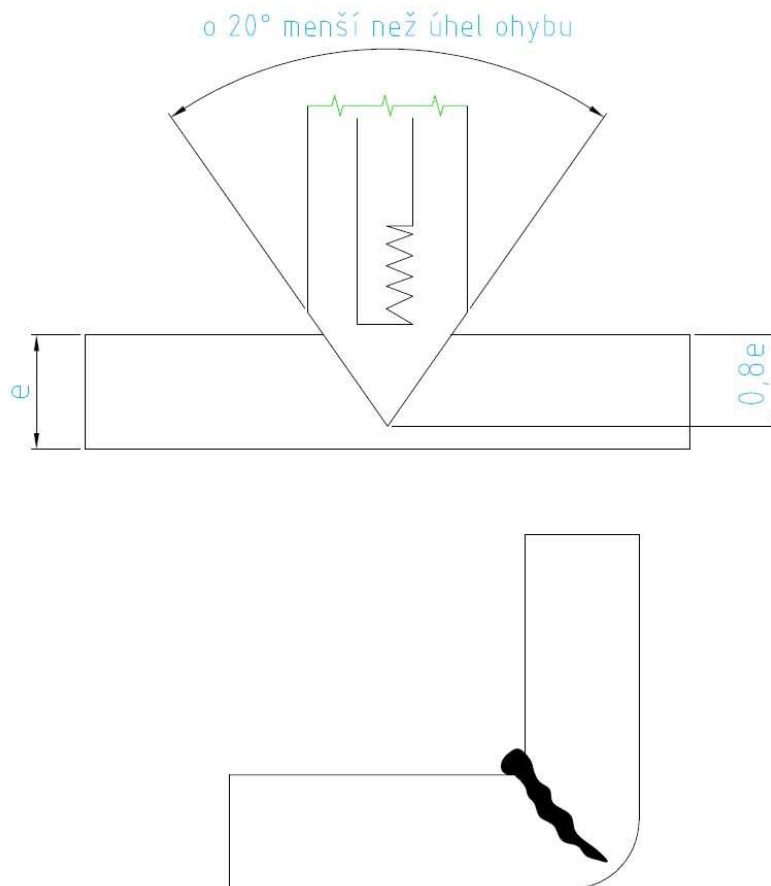
Používá se pro svařování potrubních systémů z PE-HD, PE-X, PP a PB. Svařování může být buď sedlové, nebo objímkové. Spojované plochy (povrch trubky a vnitřek tvarovky) jsou vůči sobě přesazeny a odporový drát uvnitř tvarovky je ohřát elektrickým proudem. Svar je vytvořen zvětšením objemu taveniny v průběhu svařování. Svařovací tlak ve spoji je závislý na řešených studených zónách elektro-tvarovky a dodržení tolerance svařovaných dílů. Svařovací zařízení musí poskytovat potřebné napětí spojení elektrofuzí. Průběh svařování je řízen automaticky podle druhu tvarovky a teploty okolí. Tlak ve svařových plochách je vyvozen zvětšením objemu taveniny a jejím uzavřením mezi studenými zónami. (Obr. 6.3).
(1)



Obr. 6.3 Postup svařování elektro tvarovkou

6.1.3 Svařování ohraňováním

Tato metoda se používá k ohybu desek, tak aby nebyla překročena přípustná deformace krajních vláken ohýbané desky. Do desky je vtlačen tvarový břit do hloubky 0,8 tloušťky desky, který je ohřátý na požadovanou teplotu. Po prohřátí desky je břit vytažen a deska ohnuta do požadovaného úhlu (Obr 6.4). Vzhledem k tomu, že úhel břitu je o cca 20° menší než úhel ohybu, dojde ke svaření natavených ploch. Je to velice rychlá a spolehlivá metoda. Má vyšší hodnotu faktoru svaru ve srovnání se svařováním extruzivním nebo horkým plynem a přídavným materiálem. (1)



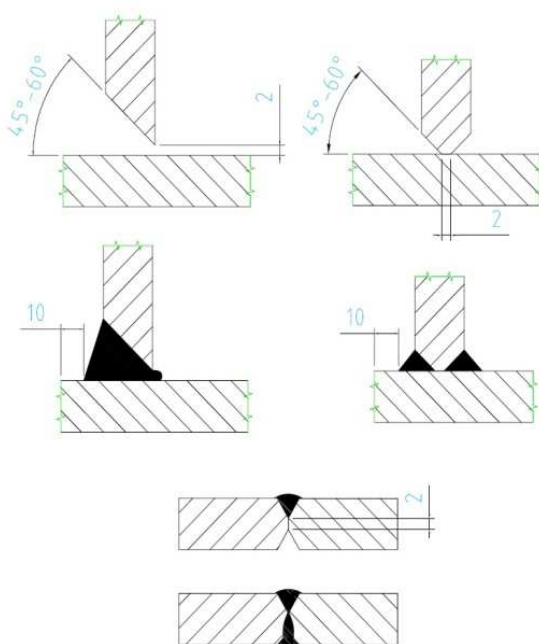
Obr. 6.4 Svařování ohraňováním

6.1.4 Extruderem

Extruzivní svařování je ruční, nebo částečně automatizovaný svařovací proces pro spojování hlavně tlustostěnných částí. Svár je prováděn přídavným materiálem (granulát nebo drát), který je vytlačován z plastifikační jednotky ve formě struny zplastifikovaného přídavného materiálu. Přídavný materiál je homogenní. Plochy pro svár je třeba vhodným způsobem upravit (zdrsnit). Svařované plochy jsou zahřáty do požadované hloubky na svařovací teplotu horkým plynem, nebo radiací. Tlak ve svařovací ploše je vyvozen přídavným materiálem zároveň s dobře tvarovanou svarovou botkou. Při extruzivním způsobu svařování je důležité dodržet správné prohřátí přídavného materiálu.

Faktor svaru: je nižší než u svařování horkým tělesem. Faktor svaru je závislý na zvolené metodě extruzního svařování. Tloušťka spojovaných dílů je závislá na výkonu extruderu. Běžné lze svařovat do tloušťky 30 mm.

Svařovací zařízení je třeba vybrat tak, aby vyplnění svarové drážky bylo dosaženo na jeden průchod extruder. Svařovací zařízení obsahuje plastifikační jednotku (extruder) zásobovanou přídavným materiálem (granulát nebo drát), předehřívací zařízení (zdroj horkého vzduchu) pro ohřev spojovaných dílů a zařízení pro vyvození svařovacího tlaku (svařovací botka nebo pomocné nářadí). Pro různé varianty svařovacího postupu jsou svařovací botky navrženy podle tvarů svarů. Pro předehřátí drážky svaru jsou používány zdroje horkého vzduchu, které jsou většinou součástí extruderu. Rychlost svařování závisí na materiálu, typu a velikosti výkonu extruderu. Předehřátí základního materiálu se provádí horkým vzduchem (bez vody, prachu, oleje). Ve zvláštních případech radičním ohřevem. Důvod předehřátí základního materiálu je přivést svařované plochy do zplastifikovaného stavu a to do hloubky $>0,5$ mm. Pro dosažení kvalitního svaru na okraji návarků je důležité, aby šířka předehřevu byla větší, než šířka návarku. Různé typy svarů (Obr. 6.5). (1)



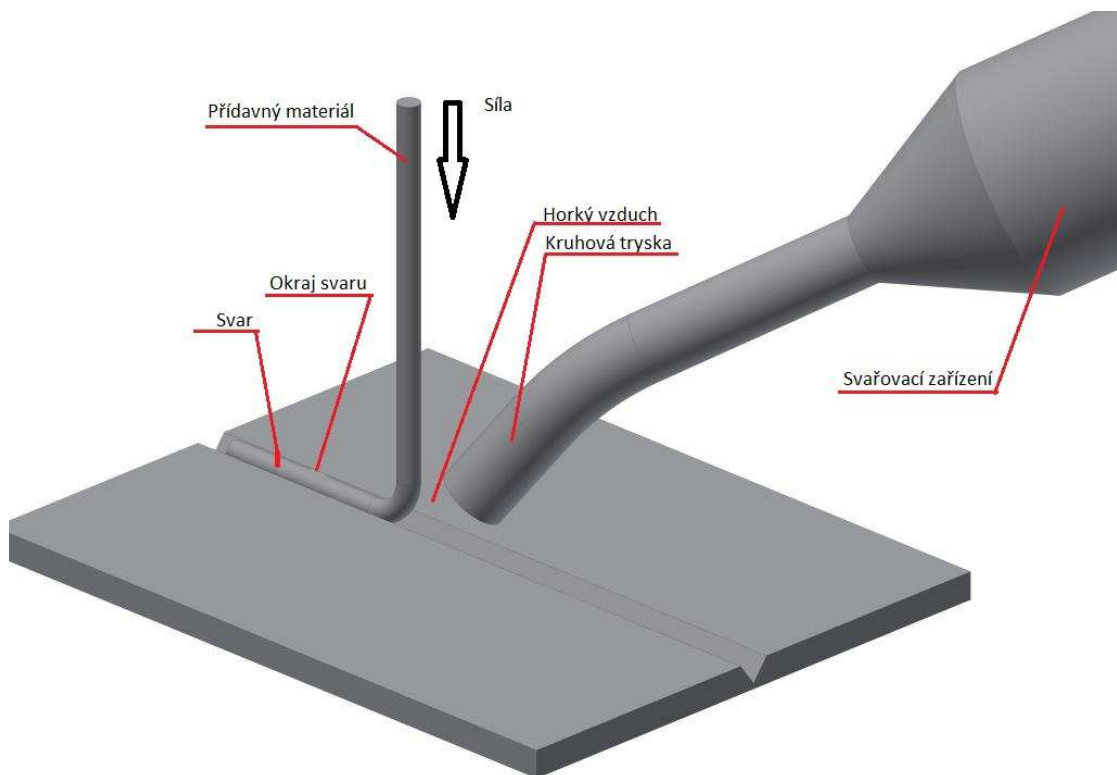
Obr. 6.5 Svařování extruderem

6.1.5 Horkým plynem a přídavným materiálem

Používá se pro svařování desek a trubek z termoplastů (PE, PP, PVC). Tloušťka svařovaných objektů může být 1 – 10 mm. Pro nosné sváry nevhodný způsob z důvodu nízké hodnoty faktoru svaru. Musí být zaručena svařitelnost základního a přídavného materiálu. Přídavné materiály mohou být ve tvaru kulatého drátu, trojúhelníku, zkroucené tyče. (1)

6.1.5.1 Svařování horkým plynem s přídavným materiálem kulatou tryskou

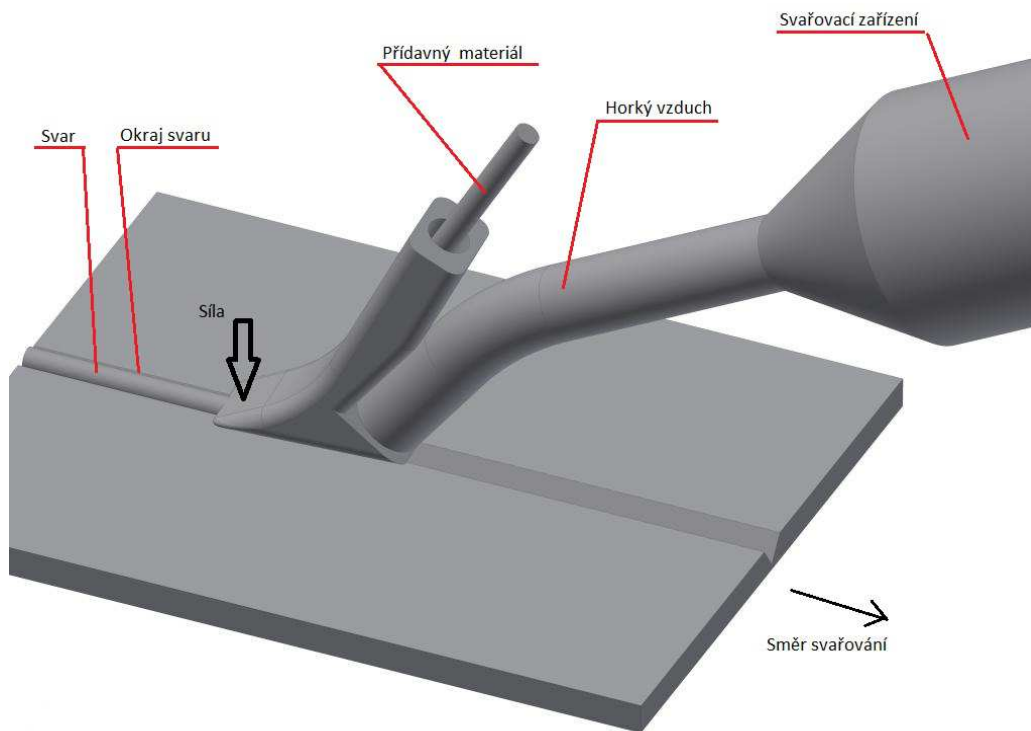
U této metody je proveden ohřev kulatou tryskou. Zkosený konec svařovacího drátu drží svářeč na začátku svarové drážky a ohřívá se společně se základním materiálem. Tryska je vedena kývavým pohybem ve směru svařování. Proud horkého plynu by měl být rozveden na přídavný i základní materiál. Svařovací drát je veden ve směru svaru a co nejvíc kolmo ke svaru. Drát se ohřívá pouze ve spodní části ohybu. (Obr. 6.6) (1)



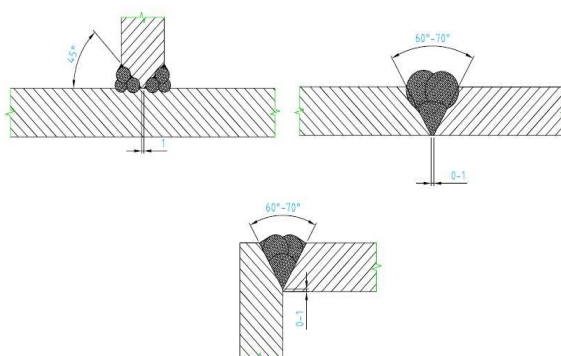
Obr. 6.6 Svařování tryskou

6.1.5.2 Svařování horkým plynem rychlo tryskou

Svařovací drát je ohříván při průchodu vodící částí trysky a je vtlačován do svarové drážky. Drát je automaticky tažen pohybem trysky. Pokud je moc velké tření ve svařovací trysce je nutné drát posouvat ručně (Obr. 6.7). (1)

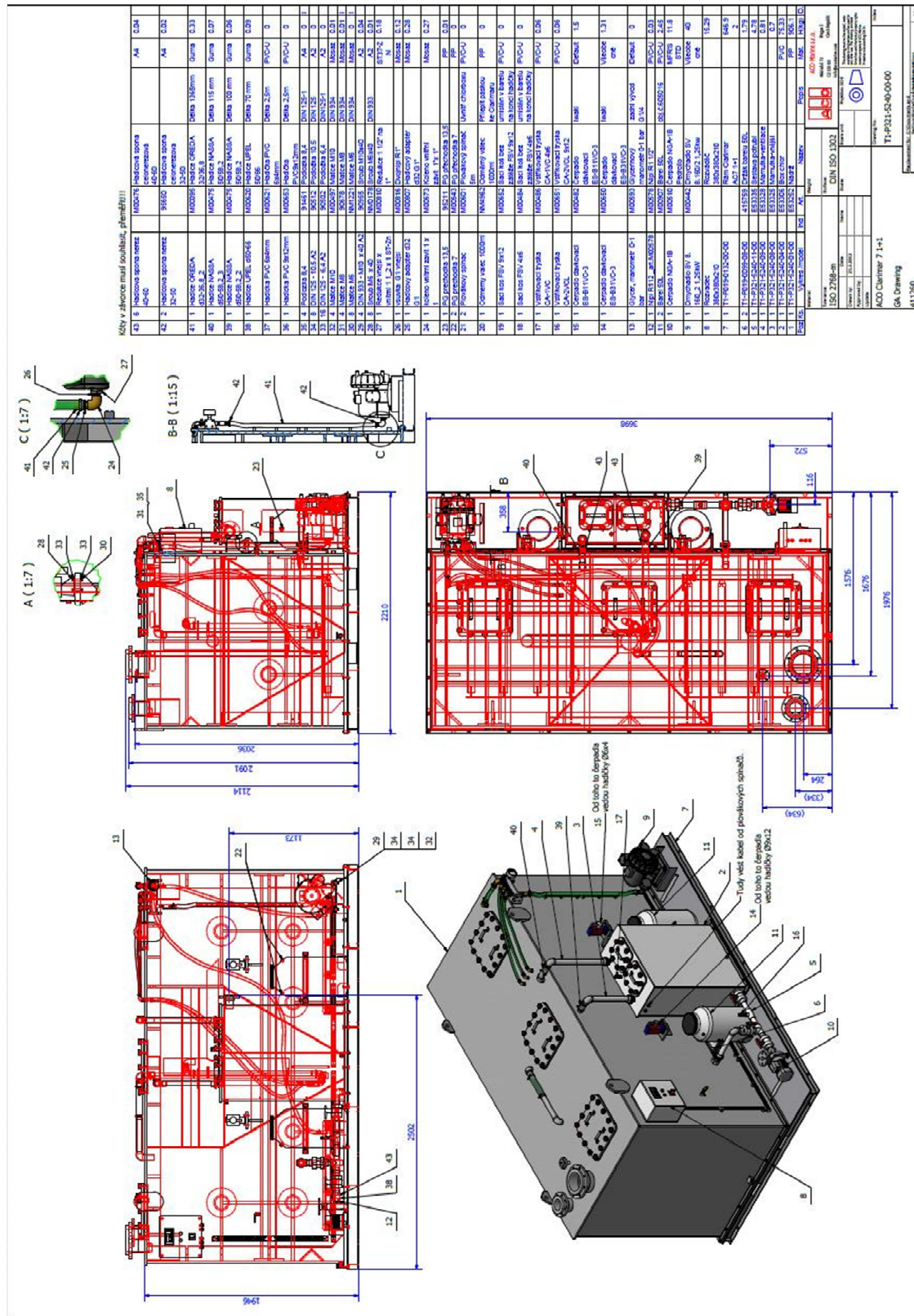


Obr. 6.7 Svařování rychlo tryskou



Obr. 6.8 Provedení svarů

7 Současná konstrukce ACO Clarimar



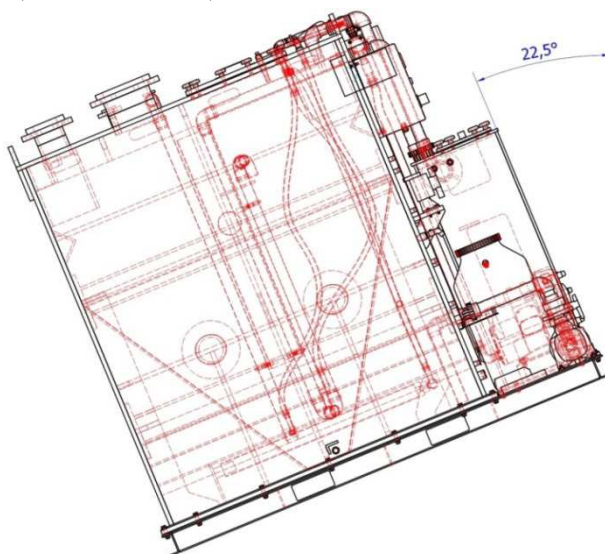
Cílem bakalářské práce je optimalizovat současnou konstrukci čistírny. Jako první krok je třeba zvážit vhodný typ konstrukce nádoby. Například: opásání po obvodu nádrže čtyřhranným profilem, použití plastových profilů, nebo upravit stávající stav optimalizací výztuh a síly materiálu.

8 Postup optimalizace

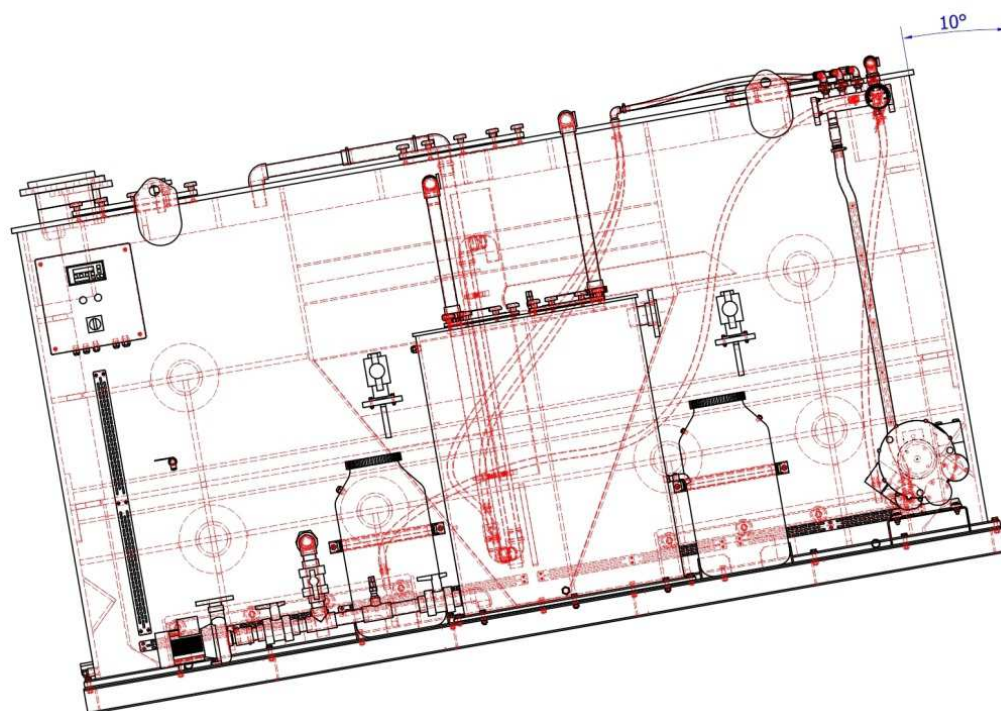
1. Shrnutí požadavků na nádrž
2. Stanovení okrajových podmínek potřebných pro pevnostní výpočet
3. Použití stávajícího 3D modelu čistírny pro pevnostní výpočet v softwaru Siemens NX8.5. Model již existuje, takže ve formátu STEP importovat. Úprava (zjednodušení) modelu pro výpočet.
4. Na základě výsledků výpočtu úprava stávajícího modelu. Úprava výztuh, síly materiálů.
5. Tvorba modelů odlišných typů konstrukce nádrže. Podrobení výpočtu a následné porovnání se stávajícím stavem.
6. Vyhodnocení nejvhodnějšího typu konstrukce z hlediska pevnosti, pracnosti výroby a finančních nákladů na výrobu.
7. Cílem zlepšení je optimalizovat nádrž, tak aby vyhovovala po stránce pevnosti, funkčnosti a kvality zpracování lépe než dosud. Za použití co nejmenšího množství materiálu, z důvodu co nejnižší ceny.

9 Požadavky na nádrž

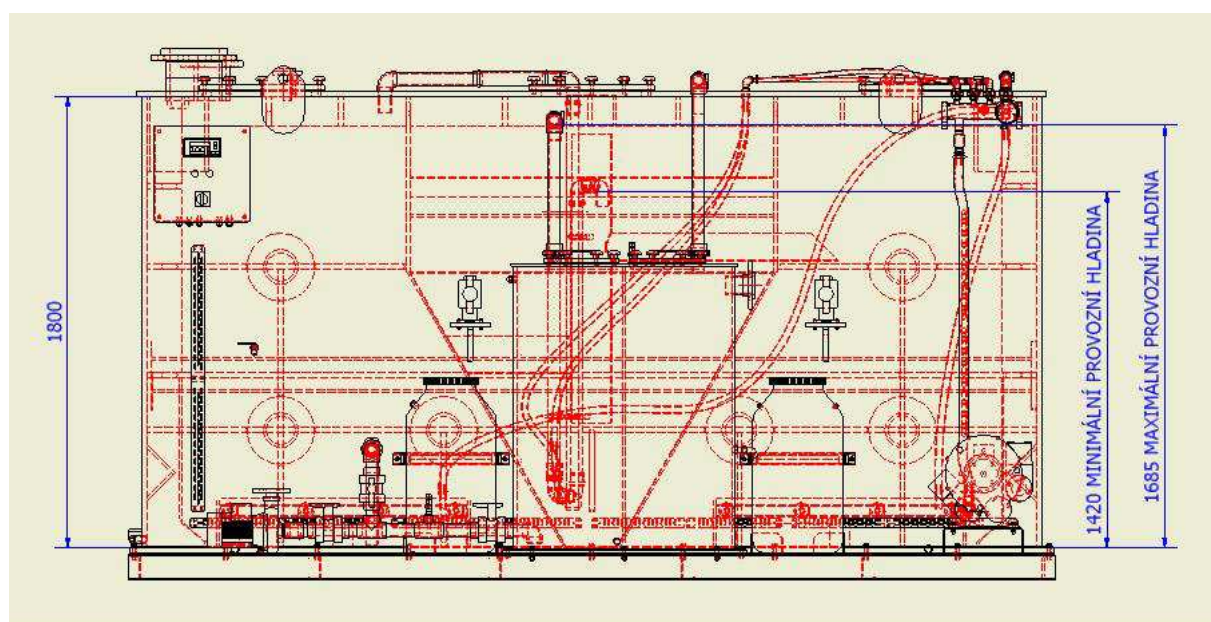
- nádrž musí vydržet náklon $22,5^\circ$ v podélném směru (Obr. 9.1) a 10° v příčném směru (Obr. 9.2) bez poškození pláště nebo svarů
- provozní výška hladiny v nádrži: 1360 mm (Obr. 9.3)
- maximální výška hladiny je dána vnitřním rozměrem nádrže (havarijní stav)
- odolat zkoušce pomocí vodního sloupce do výšky 2200 mm nad víkem nádrže po dobu $\frac{1}{2}$ hodiny (simulace havarijního stavu)
- snížená hořlavost materiálu, ze kterého je vyroben plášť nádrže (retardant hoření)
- životnost 25 let (219 000 hodin)



Obr. 9.1 Náklon čistírny kolem podélné osy



Obr. 9.2 Náklon čistírny kolem příčné osy



Obr. 9.3 Provozní úrovně hladiny vody

10 Okrajové podmínky

- čistírna je na lodi připevněna ve zmíněné poloze šrouby za ocelový rám, který je svařen z U-profilů. Ve výpočtovém modelu se nebude uvažovat uchycení čistírny na lodi. Bude se posuzovat pouze samotná plastová nádoba.
- samotná plastová nádrž je po celé ploše dna podepřena ocelovým rámem a po obvodu připevněna k rámu pomocí šroubů M 12. V modelu bude uvažován pevný podklad bez ostrých hran nebo nerovností
- maximální povolená deformace pláště (smluvní) je 25 mm
- maximální teplota okolí 35°C
- maximální teplota tekutiny uvnitř nádrže 20°C
- předmětem výpočtu je pouze plastová část čistírny, pouze u stavu přepravy je počítáno s ocelovým rámem a dalším příslušenstvím

11 Varianty konstrukce nádrže

V této kapitole jsou popsány uvažované varianty konstrukce nádrže z hlediska ekonomického a možností výroby, které následovně budou podrobeny výpočtu.

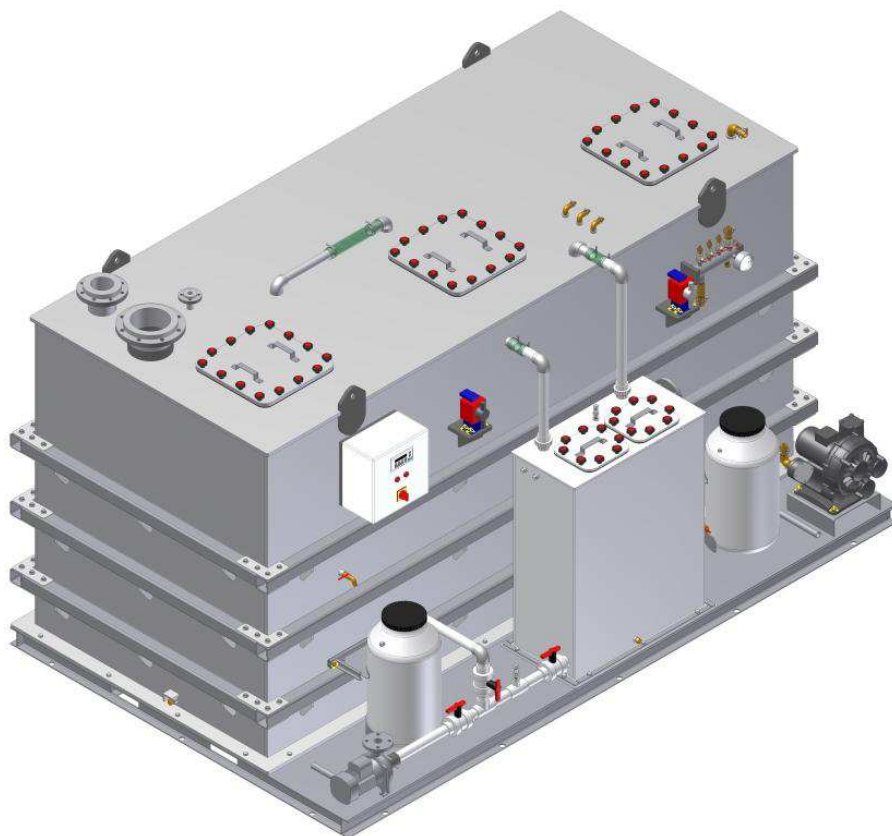
11.1 Opásání pláště výztuhami

Toto řešení by přineslo velkou úsporu plastového materiálu použitého na plášť a na výztuhy současného řešení. Z ocelových profilů by bylo smontováno opásání po vnějším obvodu nádrže. Odebráním vnitřních výztuh by se snížila náročnost svařování uvnitř nádrže, kde je špatný přístup k plochám svařování (Obr. 11.1)

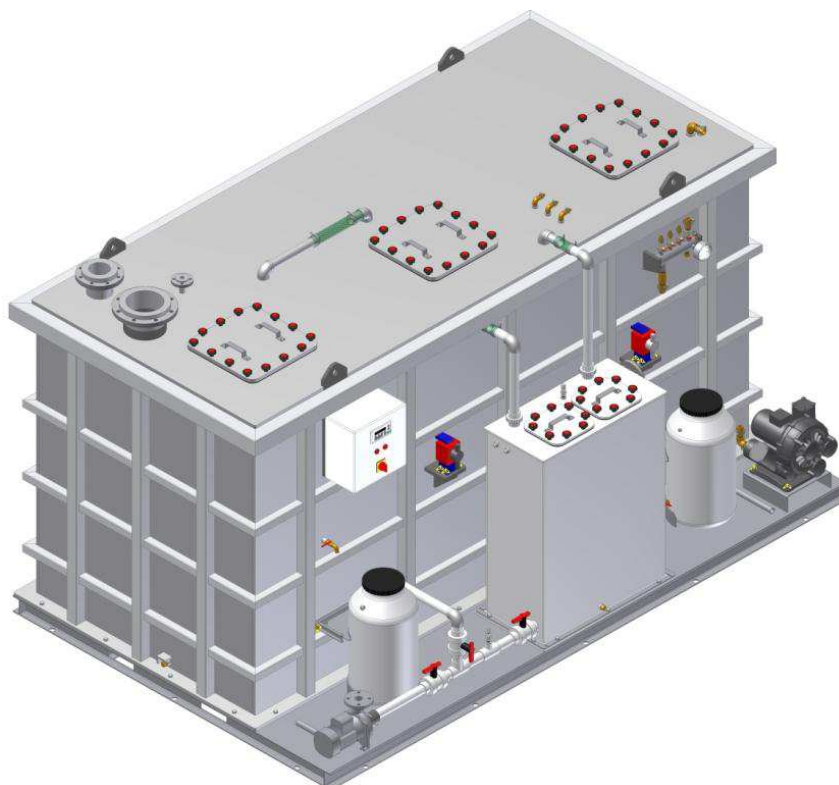
Další možnost je místo svařených ocelových profilů použít plastové profily, které sice nedosahují takových vlastností jako ocel, takže by muselo být použito větší množství materiálu, ale po stránce designu by byl výrobek čistěji řešený a byl by vyroben pouze pomocí jednoho druhu materiálu, což by bylo jednodušší po technologické stránce pro výrobu (Obr. 11.2)

11.2 Úprava stávající konstrukce

Na základě pevnostního výpočtu současné konstrukce by se upravila síla materiálu a počet výztuh v místech, kde je nádrž předimenzována dle výsledků výpočtu. Toto řešení by přineslo hlavně finanční úsporu za nákup materiálu. Náročnost výroby by zůstala velmi podobná současnému stavu.



Obr. 11.1 Vyztužení plastovými profily



Obr. 11.2 Vyztužení ocelovými profily

12 Vlastnosti použitých materiálů

12.1 Technický list Polypropylen Polystone P copolymer (PP-B)

Obecné vlastnosti	Zkoušecí metoda	Hodnota	Jednotky
Hustota	DIN EN ISO 1183-1	0,91	g/cm ³
Absorpce vody	DIN EN ISO 62	<0,1	%
Hořlavost	UL 94	HB	-
Mechanické vlastnosti			
Mez kluzu	DIN EN ISO 527	23	MPa
Prodloužení při přetržení	DIN EN ISO 527	>50	%
Modul pružnosti v tahu	DIN EN ISO 527	1100	MPa
Vrubová houževnatost	DIN EN ISO 179	>40	kJ/m ²
Tvrdość	DIN EN ISO 868	69	HSh
Tepelné vlastnosti			
Teplota tání	ISO 11357-3	162 - 165	°C
Tepelná vodivost	DIN 52612-1	0,20	W/(m*K)
Tepelná kapacita	DIN 52612	1,70	kJ/(kg*K)
Koeficient lineární tepelné roztažnosti	DIN 53752	120 - 190	10 ⁻⁶ K ⁻¹
Dlouhodobá pracovní teplota	Průměrný	-30...100	°C
Krátkodobá pracovní teplota (max.)	Průměrný	150	°C
Deformační teplota	DIN EN ISO 306	85	°C
Elektrické vlastnosti			
Dielektrická konstanta	IEC 60250	2,5	-
Ztrátový součinitel	IEC 60250	0,00019	-
Měrný odpor	IEC 60093	>10 ¹⁴	Ω*cm
Povrchový odpor	IEC 60093	>10 ¹³	Ω
Elektrické zhroucení	IEC 60112	600	-
Dielektrická pevnost	IEC 60243	45	kV/mm

Tabulka 12.1 Mechanické vlastnosti Polypropylen (kopolymer) (2)

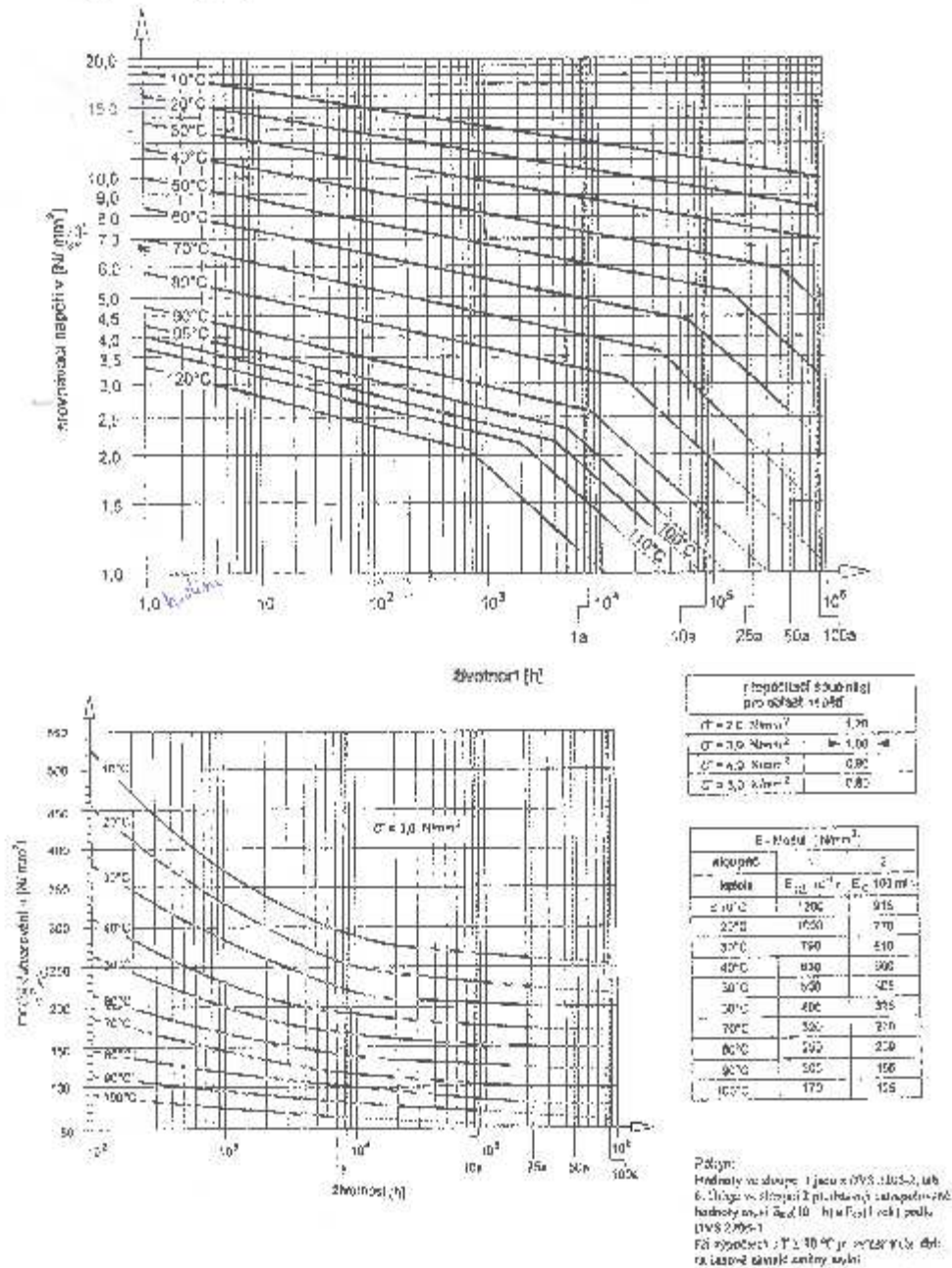
12.2 Technický list Polypropylen PPs šedý

Obecné vlastnosti	Zkoušecí metoda	Hodnota	Jednotky
Hustota	DIN EN ISO 1183-1	0,94	g/cm ³
Absorpce vody	DIN EN ISO 62	<0,1	%
Hořlavost	UL 94	V2	-
Mechanické vlastnosti			
Mez kluzu	DIN EN ISO 527	32	MPa
Prodloužení při přetržení	DIN EN ISO 527	>50	%
Modul pružnosti v tahu	DIN EN ISO 527	1300	MPa
Vrubová houževnatost	DIN EN ISO 179	4	kJ/m ²
Tvrдость	DIN EN ISO 868	70	HSh
Tepelné vlastnosti			
Teplota tání	ISO 11357-3	162-167	°C
Tepelná vodivost	DIN 52612-1	0,20	W/(m*K)
Tepelná kapacita	DIN 52612	1,70	kJ/(kg*K)
Koeficient lineární tepelné roztažnosti	DIN 53752	120-190	10 ⁻⁶ K ⁻¹
Dlouhodobá pracovní teplota	Průměrný	0...100	°C
Krátkodobá pracovní teplota (max.)	Průměrný	150	°C
Deformační teplota	DIN EN ISO 306	81	°C
Elektrické vlastnosti			
Dielektrická konstanta	IEC 60250	2,3	-
Ztrátový součinitel	IEC 60250	0,00019	-
Měrný odpor	IEC 60093	>1014	Ω*cm
Povrchový odpor	IEC 60093	>1015	Ω
Elektrické zhroucení	IEC 60112	600	-
Dielektrická pevnost	IEC 60243	>15	kV/mm

Tabulka 12.2 Mechanické vlastnosti Polypropylen (PPs) (2)

12.3 Křivky srovnávacího napětí a modulu dotvarování

Tab. M 4 Křivky do lomu z dlouhodobého zatěžování vnitřním tlakem trub z PP-B a křivé moduly [4]



13 Výpočet

Výpočty jsou provedeny MKP analýzou v softwaru Siemens NX 8.5. Výpočet je rozdělen na čtyři části podle toho jaké stavy zatížení mohou nastat. Pro každou část výpočtu je stanoven čas, po který tento stav trvá, takže každý stav bude mít přidělený modul tečení podle délky trvání. Tímto způsobem bude úloha převedena na lineární. Čas, namáhání a teplota jsou zohledněny v modulu tečení E_c . Modul tečení se používá u termoplastů místo běžně používaného modulu pružnosti. Modul tečení a veškeré další potřebné údaje vycházejí z normy ČSN EN 1778 Charakteristické hodnoty pro svařované konstrukce z termoplastů – Stanovení dovoleného namáhání a modulů pro navrhování svařovaných dílů z termoplastů.

Při každém výpočtu dojde k nějaké idealizaci výpočtového modelu a tato idealizace způsobí odchylky od reálného stavu. Je tedy velice důležité správně formulovat vstupní údaje (okrajové podmínky). Po získání výsledků je důležitá jejich kontrola, aby se předešlo banálním chybám např. v jednotkách. (3)

$$\sigma_{dov} = \frac{K * f_l}{A_1 * A_{2K} * S}$$

podle tohoto vzorce se určí maximální dovolené napětí v plastové svařované konstrukci

K – srovnávací napětí [N/mm^2]

f_l – dlouhodobý svařovací faktor

A_1 – korekční faktor zohledňující vlivy specifického napětí

A_{2K} – korekční faktor zohledňující vlivy okolního media

S – koeficient bezpečnosti

13.1 Zatěžovací stavy

1. Zkouška netěsnosti – na vtoku do nádrže je přes přírubu připevněna trubka, ve které je vodní sloupec do výšky 2,2 m nad nádrž. Ostatní otvory jsou uzavřeny. Tento stav trvá 0,5 hodiny. V tomto stavu se ve výpočtovém modelu řeší zvýšený hydrostatický tlak na stěny nádrže, který vznikne vodním sloupcem.

$$\sigma_{dov} = \frac{19,3 * 0,8}{1 * 1 * 1,2} = \underline{\underline{12,87 MPa}}$$

$$p = h * \rho * g = 4 * 1 * 10 = \underline{\underline{40 kN / m^2 (kPa)}}$$

$$E_c = \underline{\underline{852 MPa}}$$

Dle ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{dov}$$

2. Provozní stav – tímto stavem se rozumí běžný provoz čistírny, kdy je nádrž namáhána hydrostatickým tlakem + dynamickým tlakem při náklonu lodě. Tento stav trvá 25 let (219 000 hodin). Ve výpočtu není zahrnuto dynamické zatížení.

$$\sigma_{dov} = \frac{8,99 * 0,6}{1 * 1 * 1,2} = \underline{\underline{4,49 MPa}}$$

$$p = h * \rho * g = 1,685 * 1 * 10 = \underline{\underline{16,85 kN / m^2 (kPa)}}$$

$$E_c = \underline{\underline{194 MPa}}$$

Dle ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{dov}$$

3. Údržba – v tomto stavu se počítá se zatížením tlakem vody stejně jako u provozního stavu + zatížení víka nádrže osobou. Dle uživatelského manuálu, kde je uvedena četnost údržby. Tento stav trvá 300 hodin z 25 let (219 000 hodin) provozního stavu. Čas údržby není odečten z provozního stavu (25 let), protože jde o zanedbatelnou část z celkových 25 let. Zatížení osobou 1 kN na čtverci 50 x 50 mm dle ČSN EN 1991-1-1. (4)

$$\sigma_{dov} = \frac{12,25 * 0,6}{1 * 1 * 1,2} = \underline{\underline{6,125 MPa}}$$

$$E_c = \underline{\underline{295 MPa}}$$

Zatížení osobou

$$p = \underline{\underline{1 kN / 0,0025 m^2}}$$

Dle ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{dov}$$

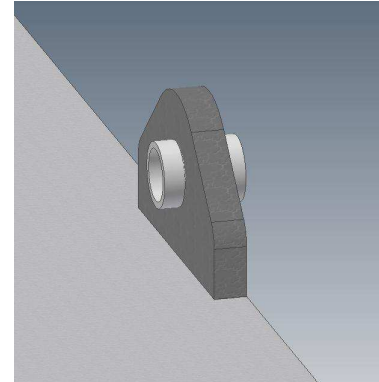
4. Zavěšení (montáž) – toto namáhání nastane při montáži plastové části čistírny na ocelový rám. Čas zkoušky zavěšení je 0,5 hodiny. Konstrukce musí být zavěšena za oka pomocí rozpěrné traverzy dvěma popruhy na každém konci opatřený trubkami provlečenými oky na nádrži.

$$\sigma_{dov} = \frac{19,3 * 0,8}{1 * 1 * 1,2} = \underline{\underline{12,87 MPa}}$$

$$E_c = \underline{\underline{852 MPa}}$$

Dle ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{dov}$$



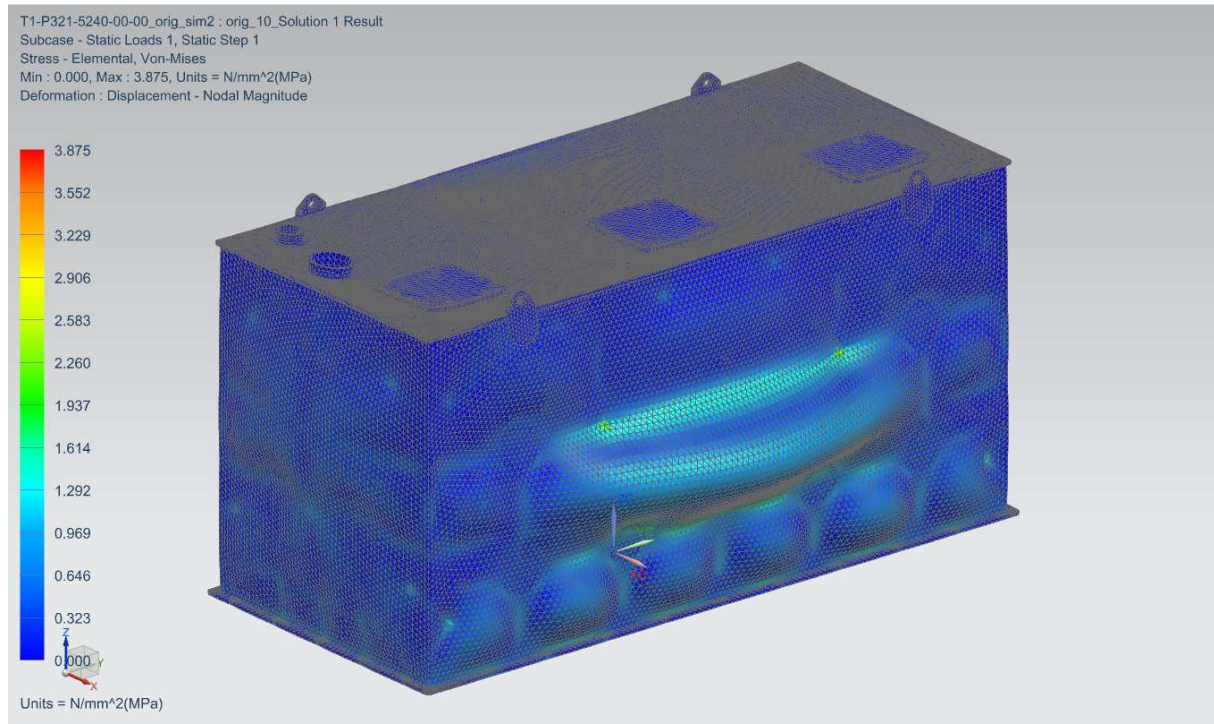
Obr. 13.1 Manipulační oko

14 Výsledky

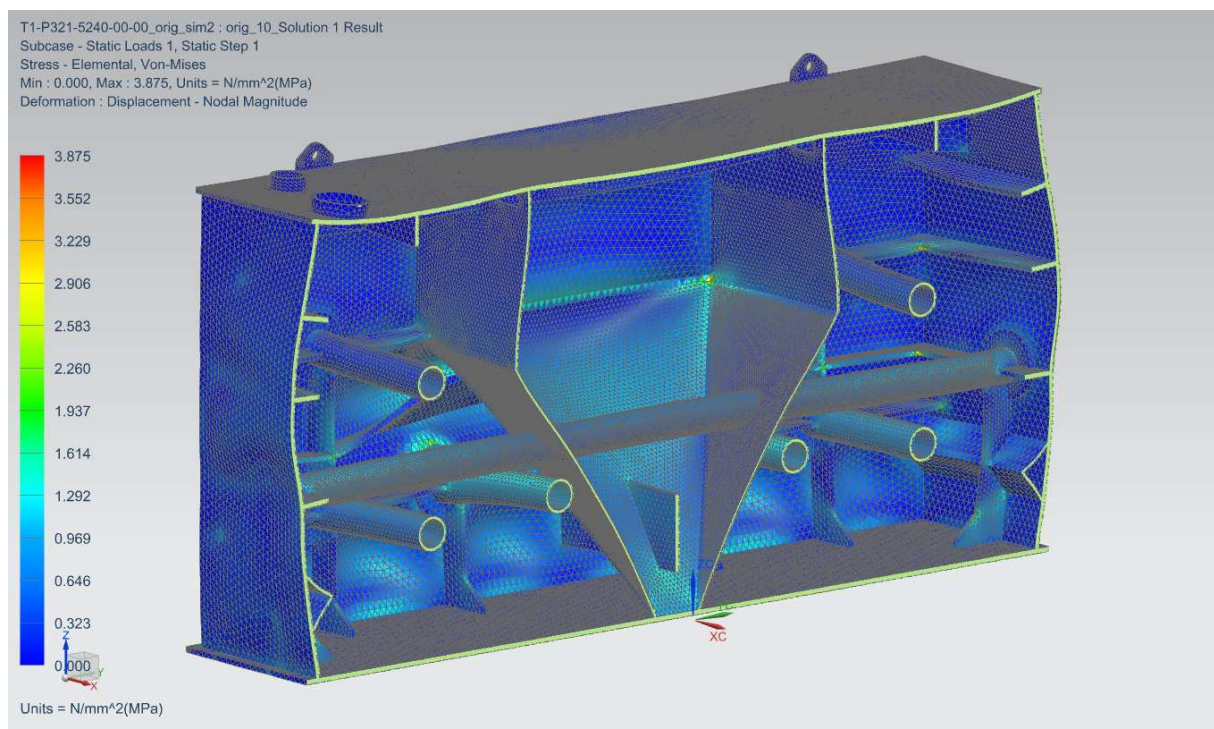
V této kapitole jsou uvedeny pouze výsledky provozního stavu (napětí, deformace) jednotlivých variant. Výsledky jsou zobrazeny pomocí výstupu ze softwaru Siemens NX 8,5.

14.1 Původní stav

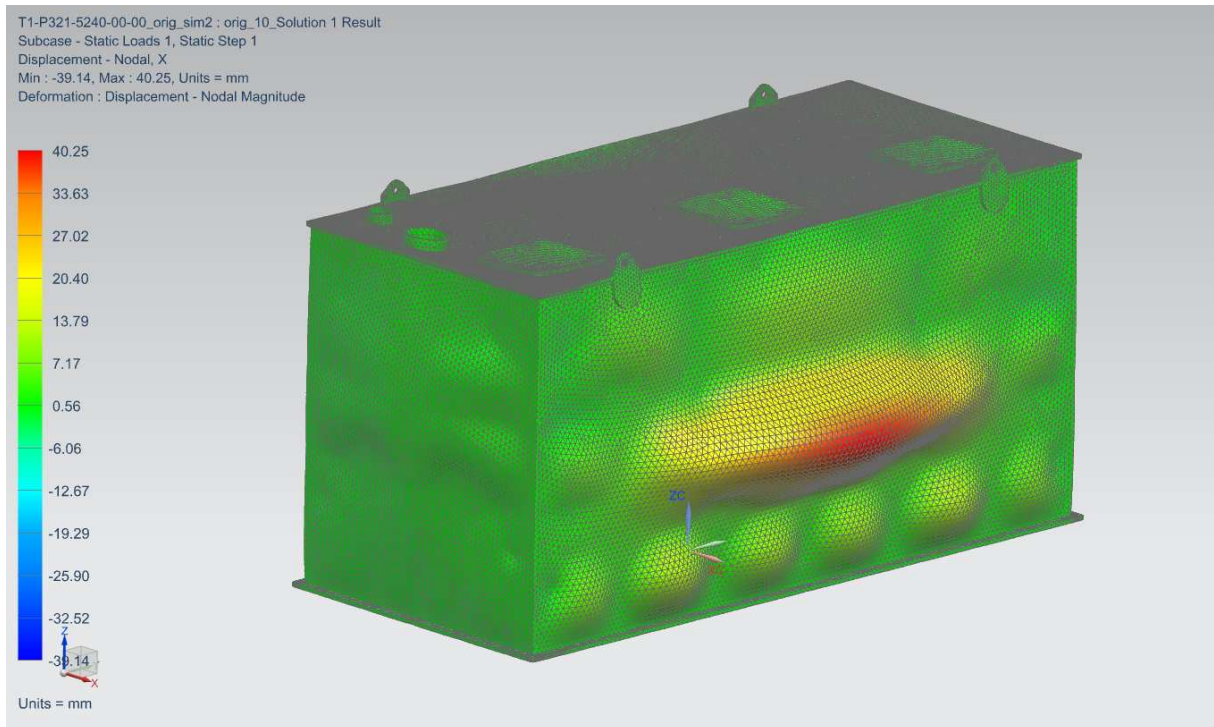
14.1.1 Provozní stav – náklon 10°



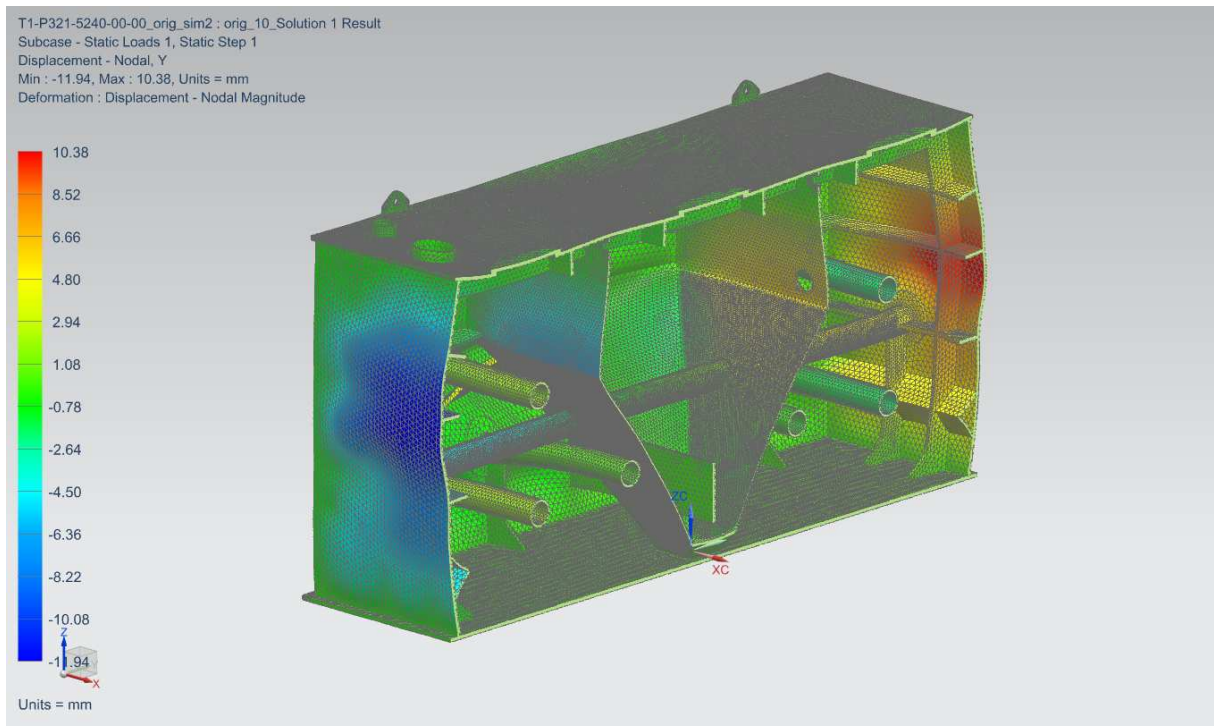
Obr. 14.1 Napětí



Obr. 14.2 Napětí

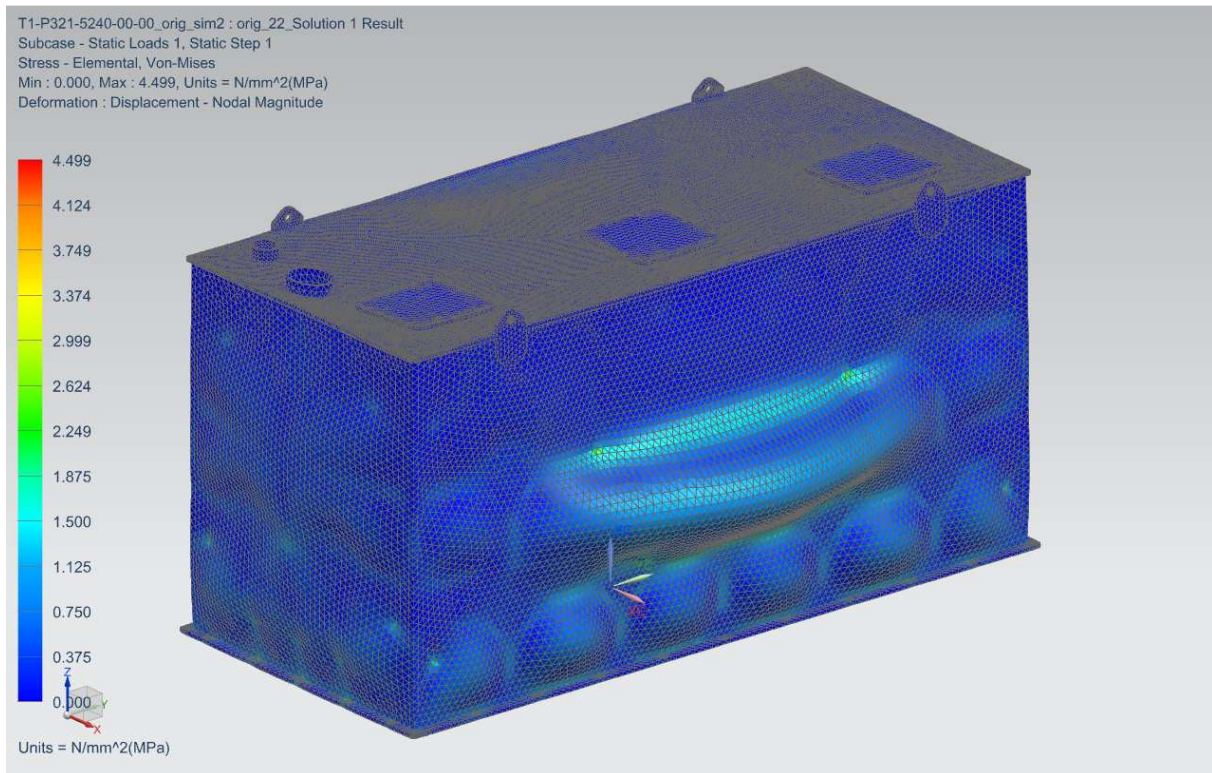


Obr. 14.3 Deformace osa X

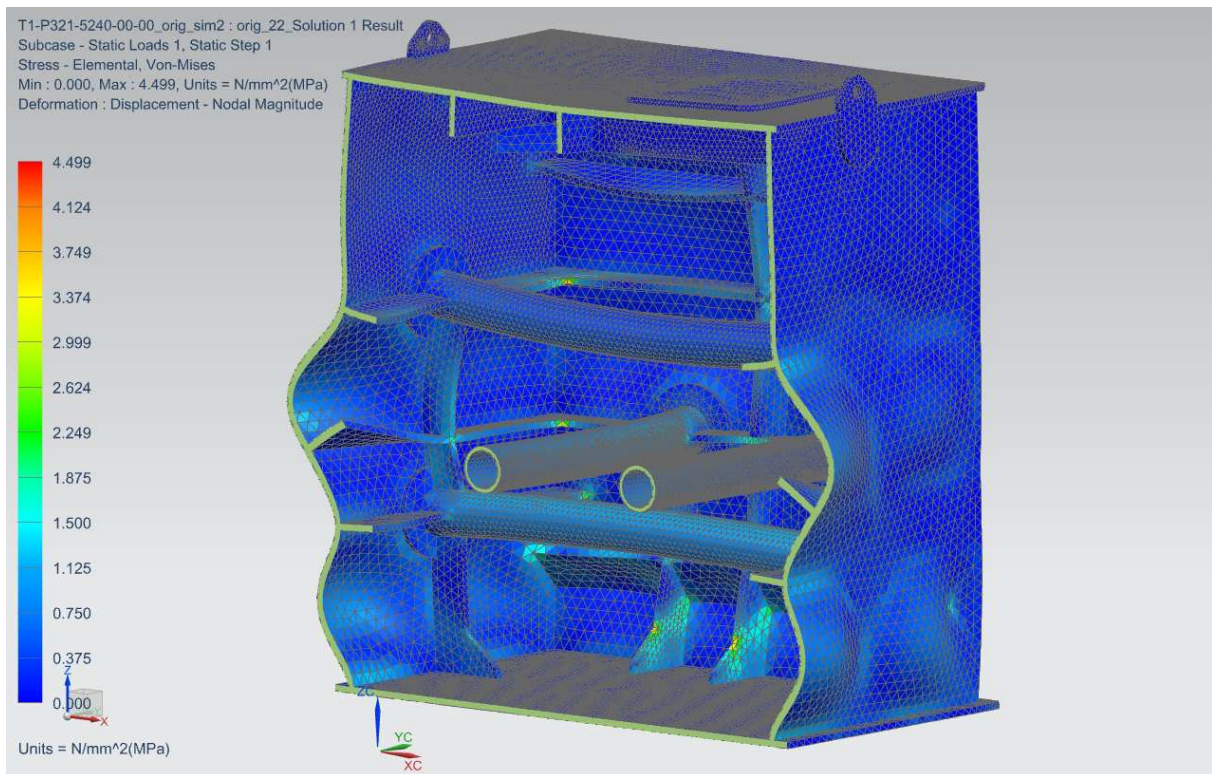


Obr. 14.4 Deformace osa Y - řez

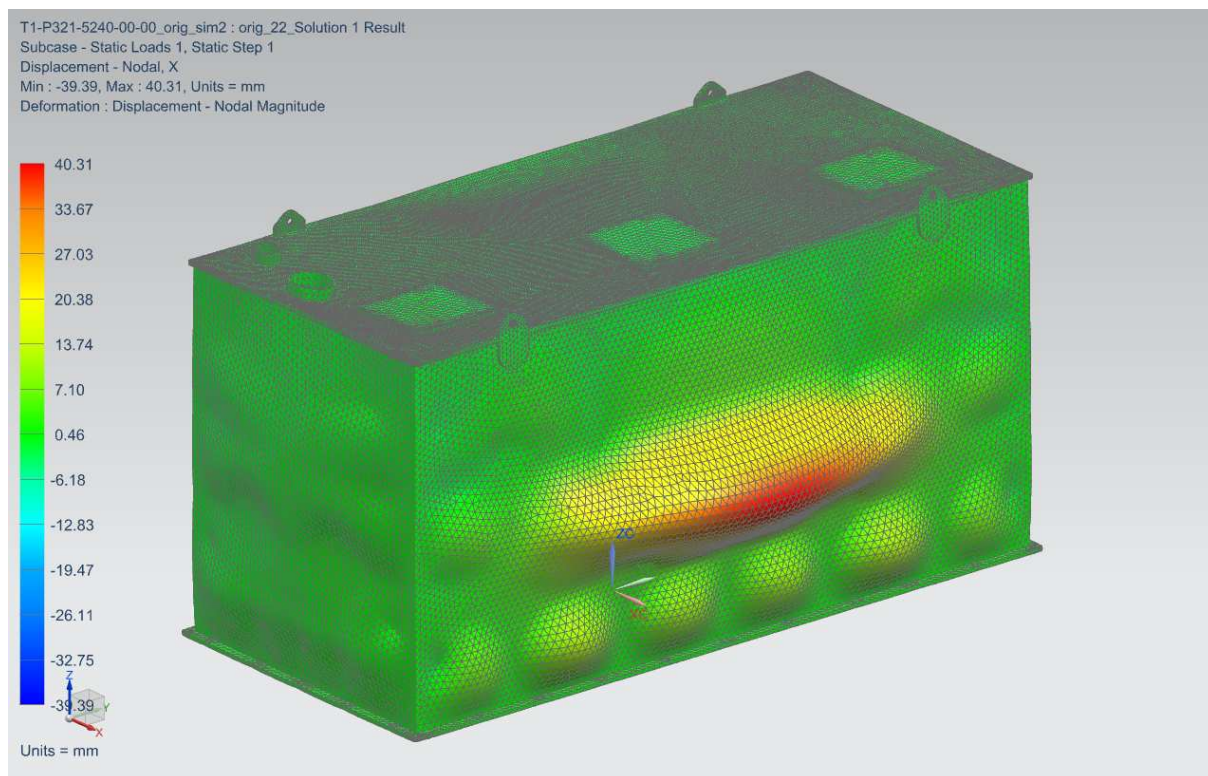
14.1.2 Provozní stav – náklon 22°



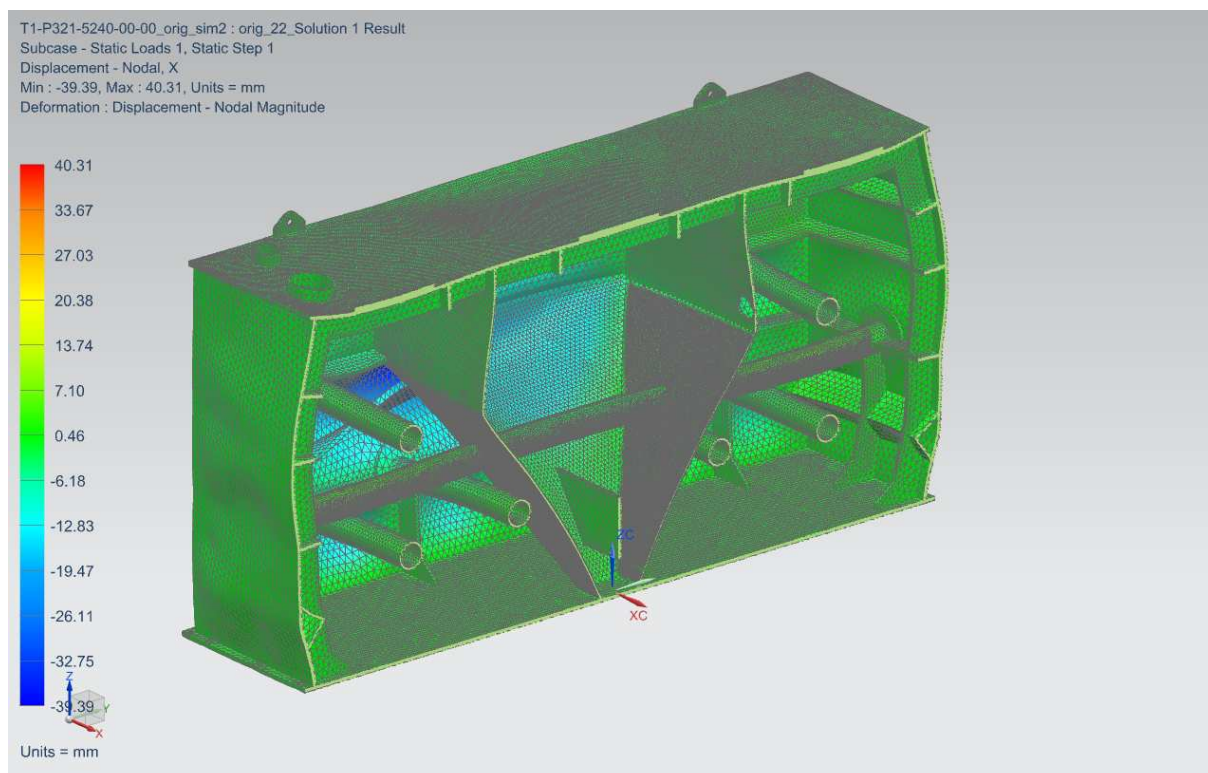
Obr. 14.5 Napětí



Obr. 14.6 Napětí - řez



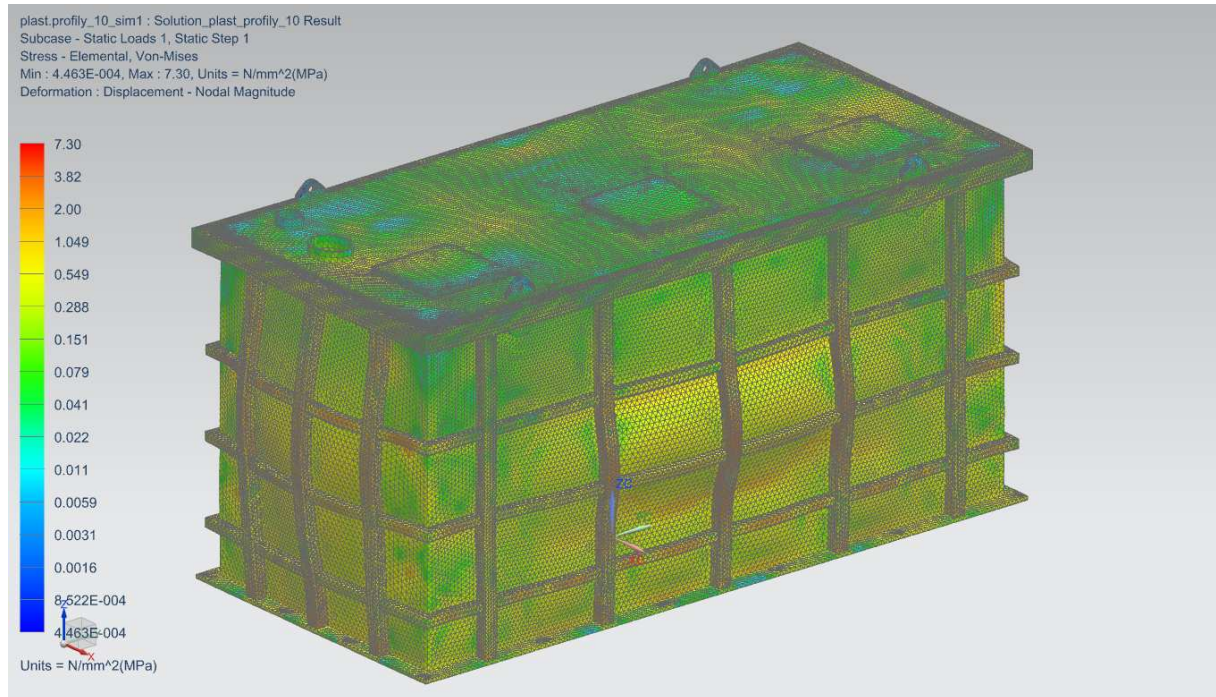
Obr. 14.7 Deformace osa X



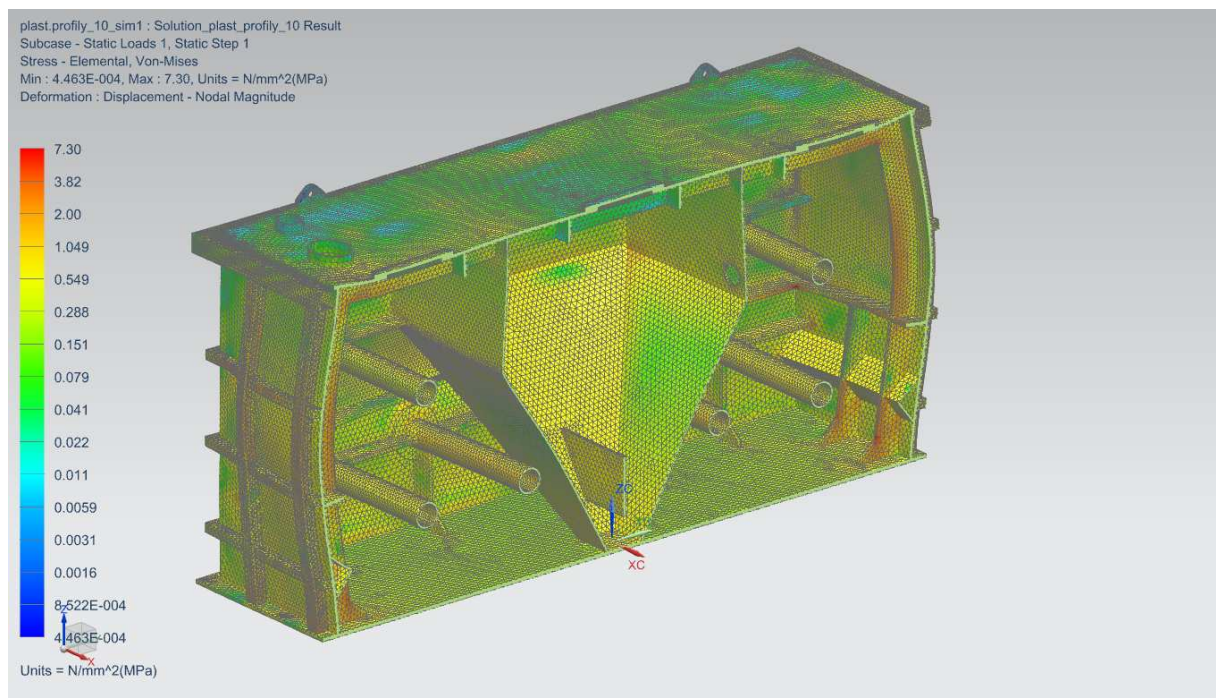
Obr. 14.8 Deformace osa X - řez

14.2 Varianta opásání plastovými profily

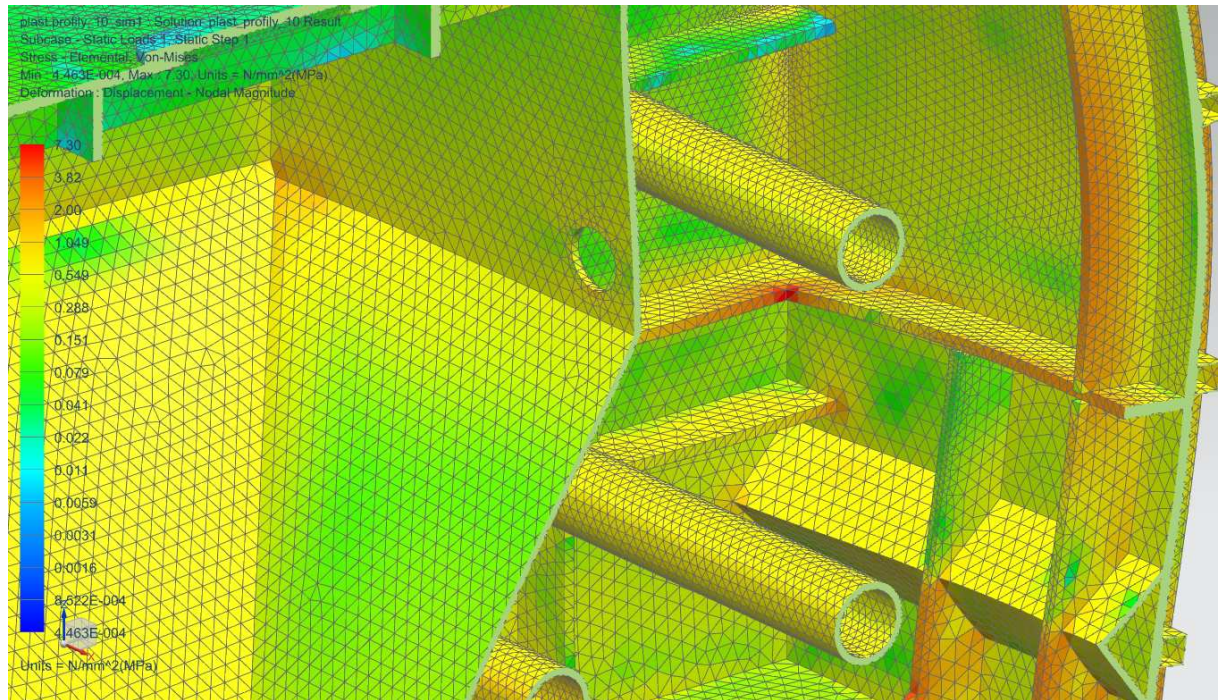
14.2.1 Provozní stav – náklon 10°



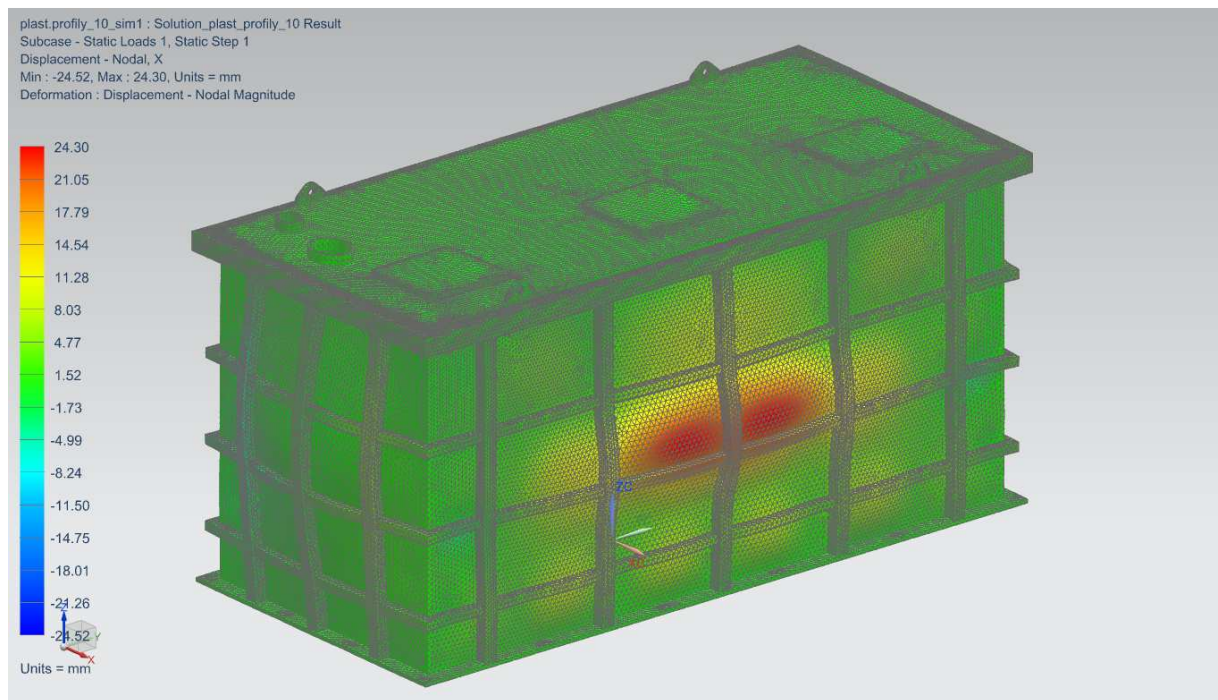
Obr. 14.9 Napětí



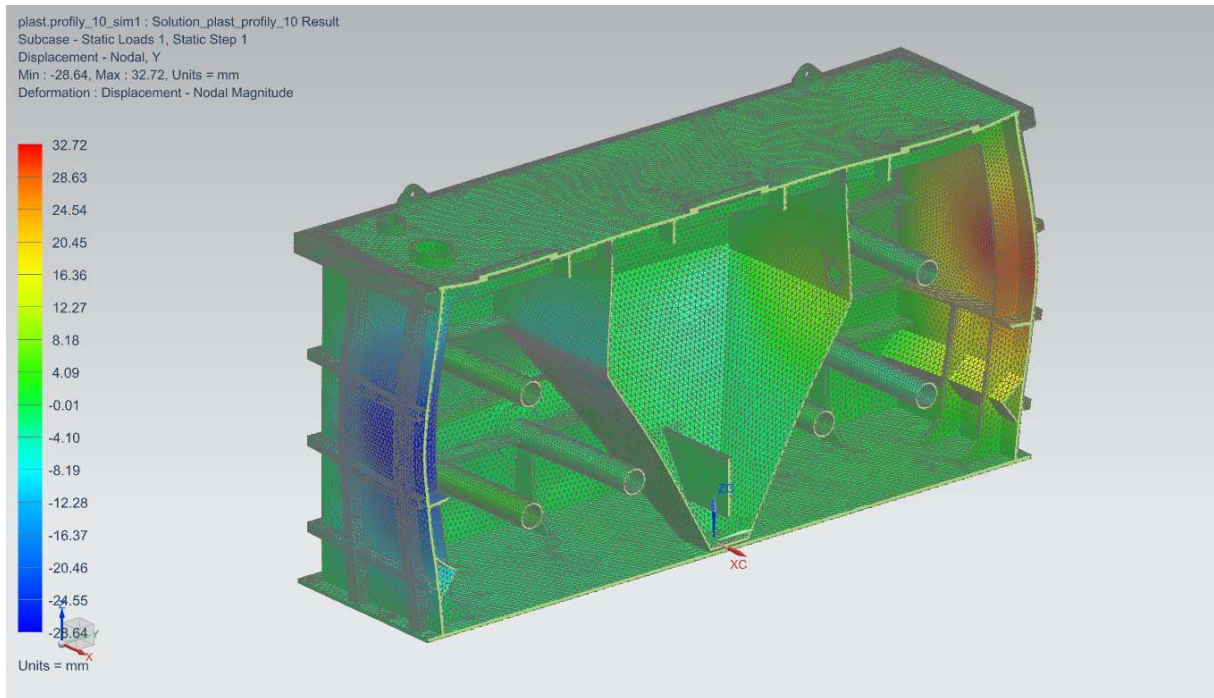
Obr. 14.10 Napětí - řez



Obr. 14.11 Napětí – detail

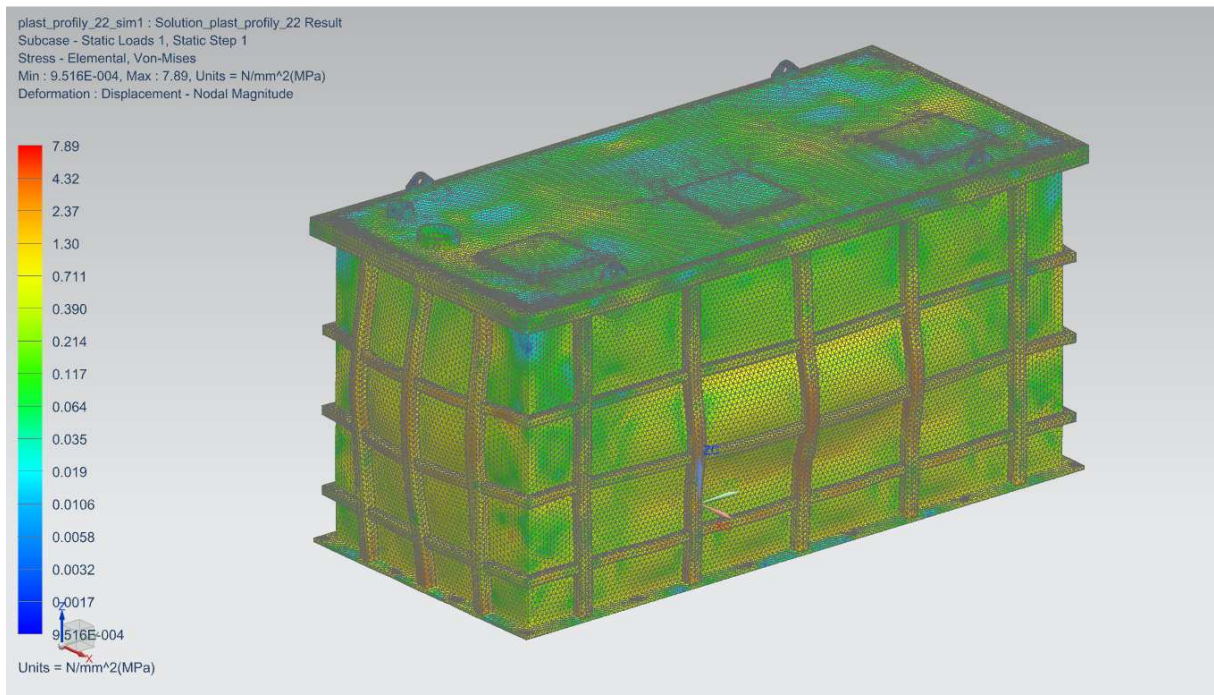


Obr. 14.12 Deformace osa X

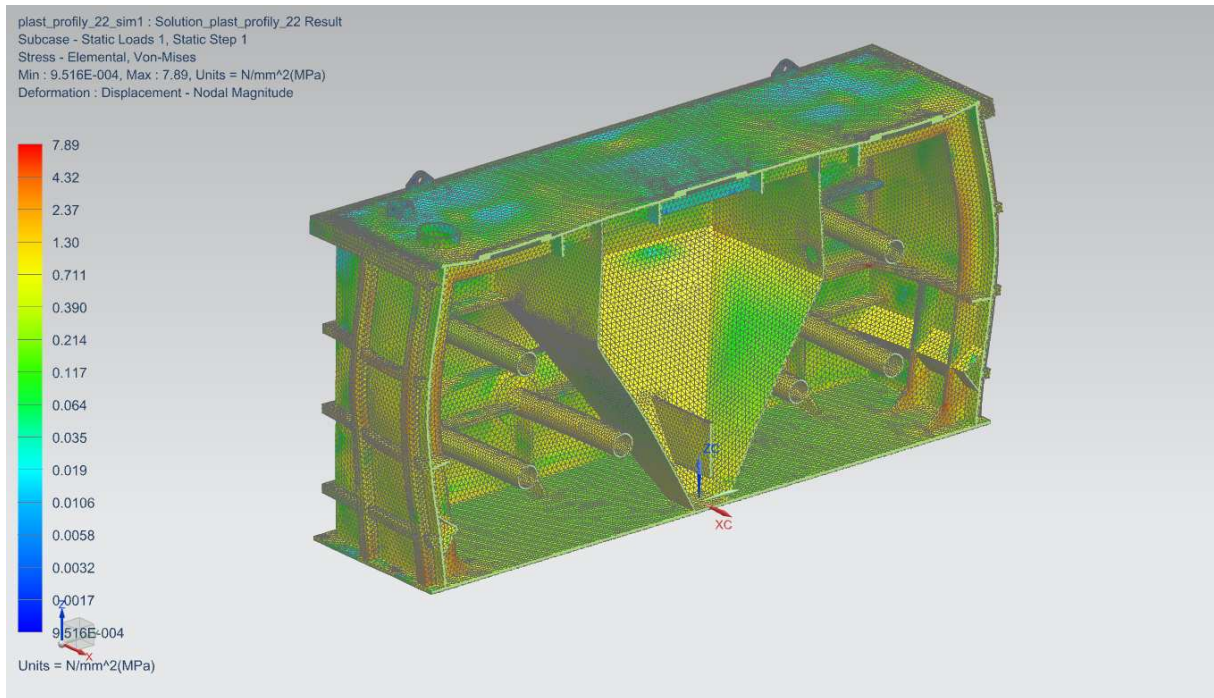


Obr. 14.13 Deformace osa Y – řez

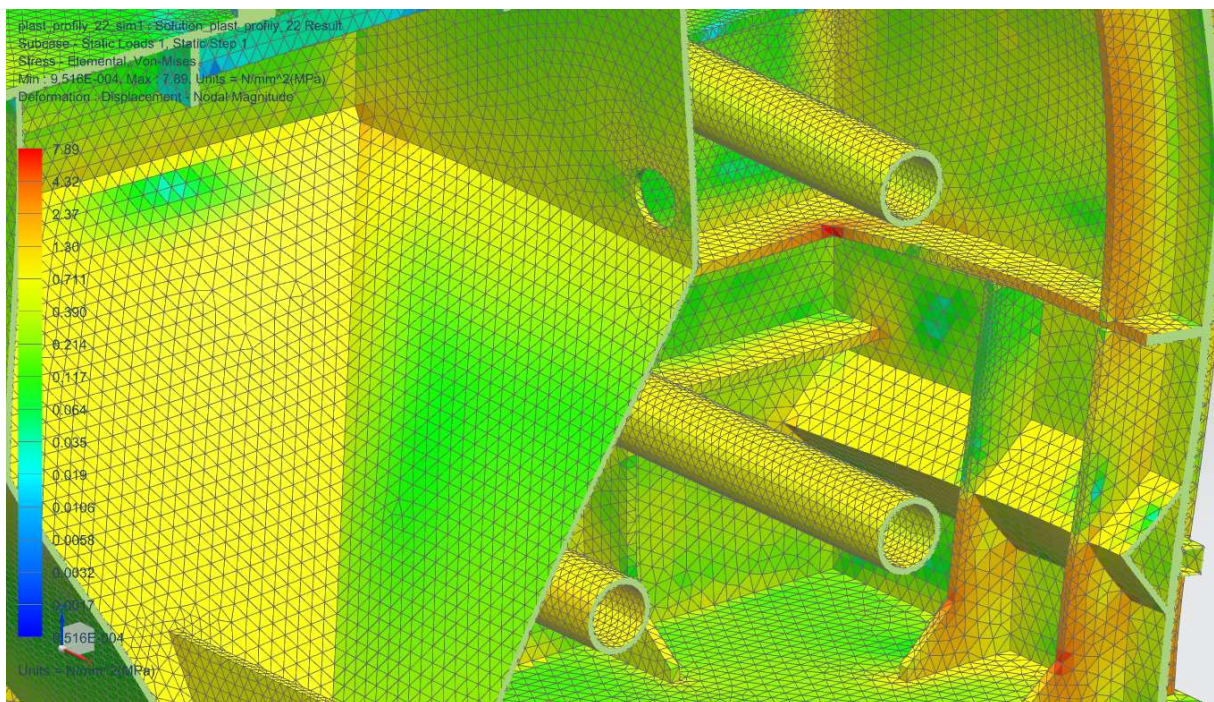
14.2.2 Provozní stav – náklon 22°



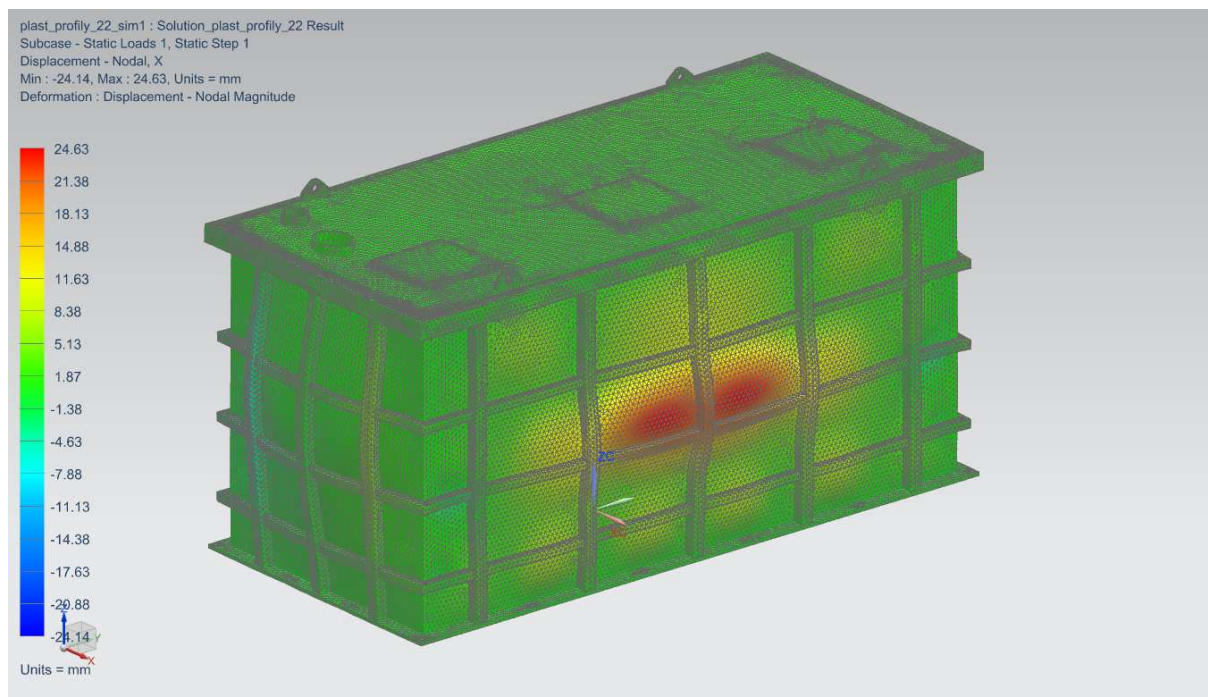
Obr. 14.14 Napětí



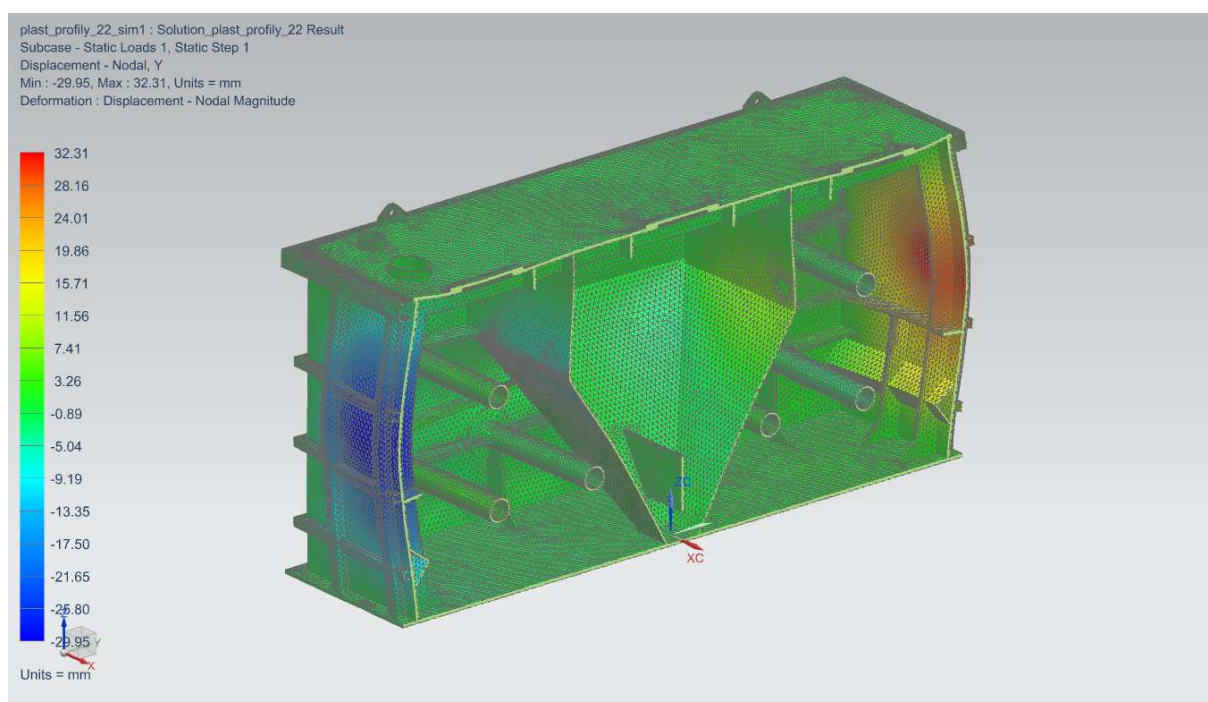
Obr. 14.15 Napětí – řez



Obr. 14.16 Napětí - detail



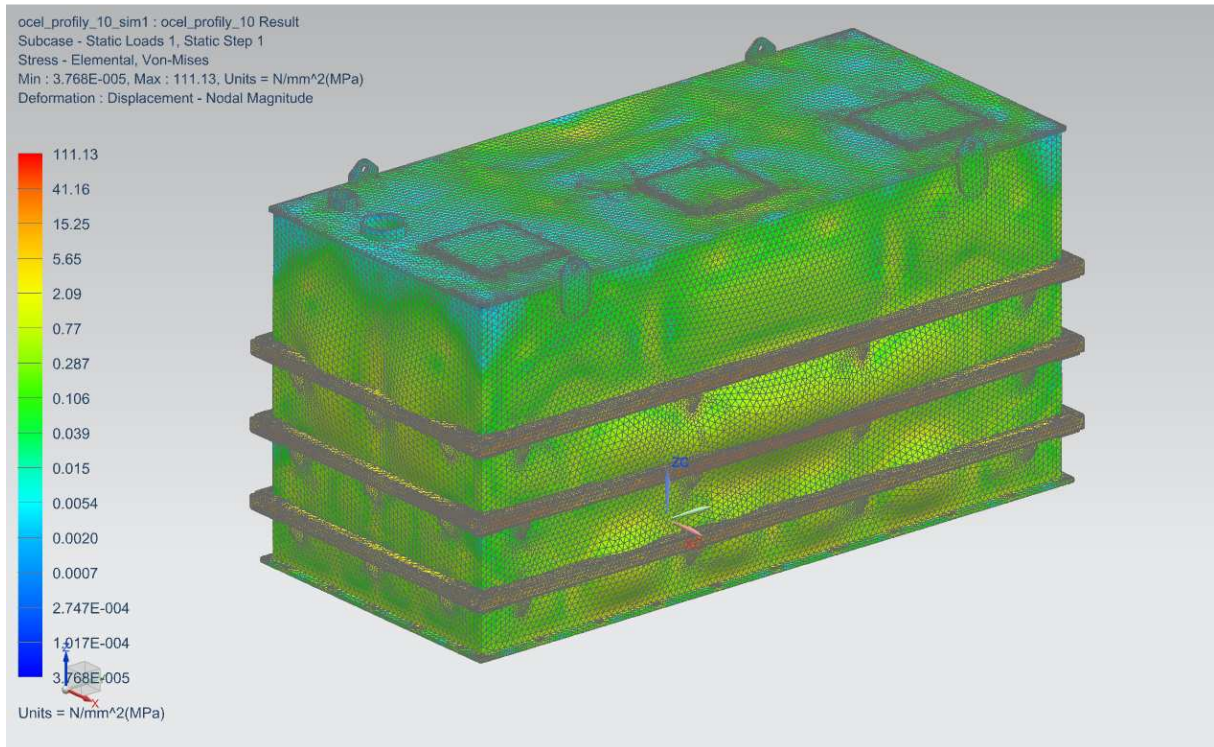
Obr. 14.17 Deformace osa X



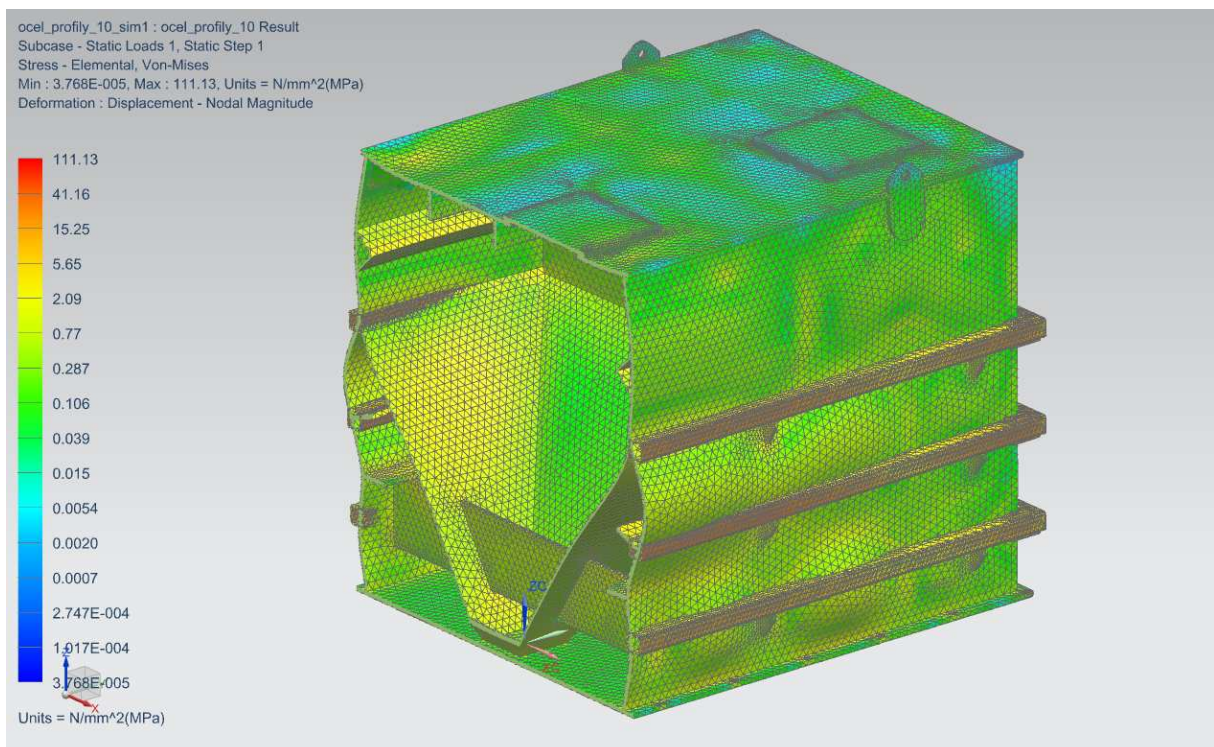
Obr. 14.18 Deformace osa Y - řez

14.3 Varianta opásání ocelovými profily

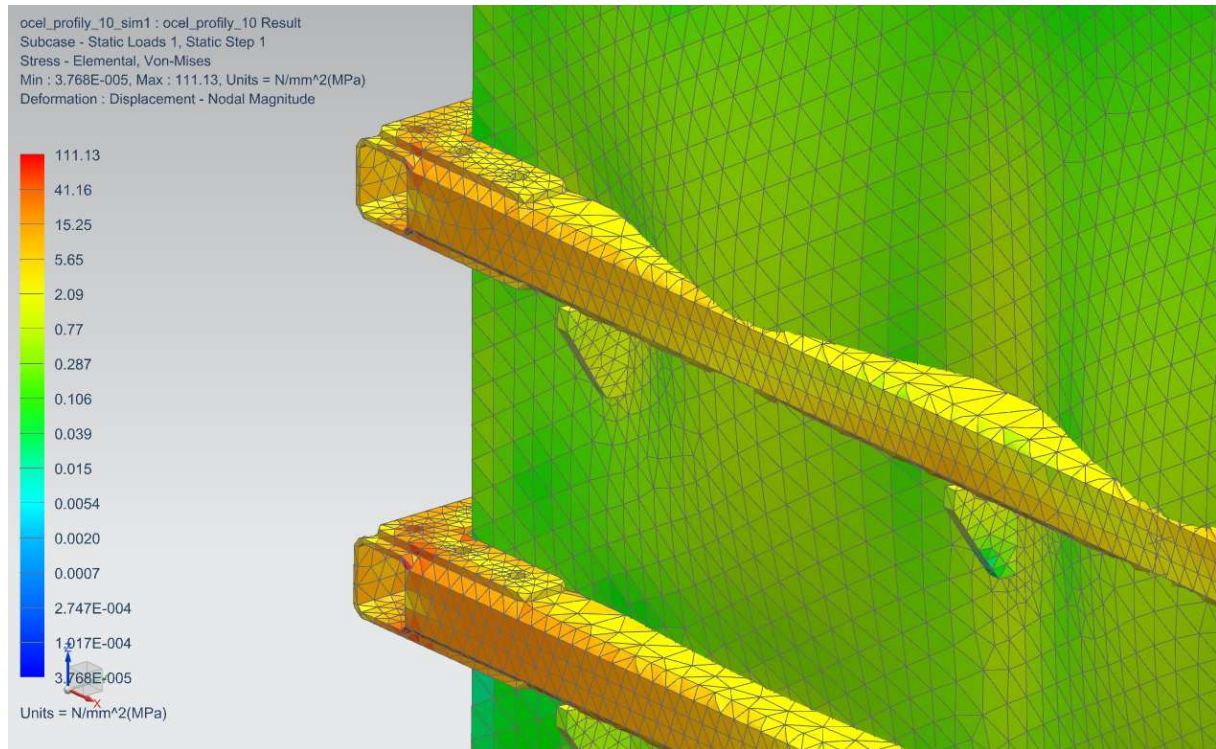
14.3.1 Provozní stav – náklon 10°



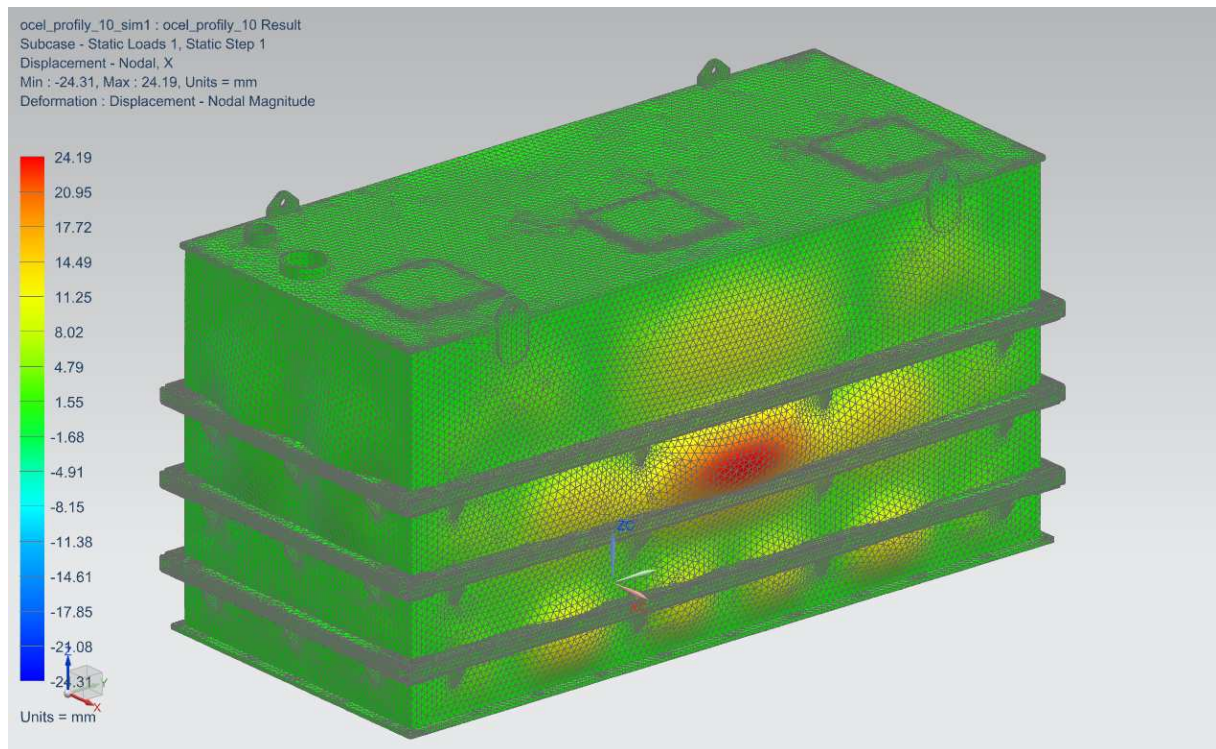
Obr. 14.19 Napětí



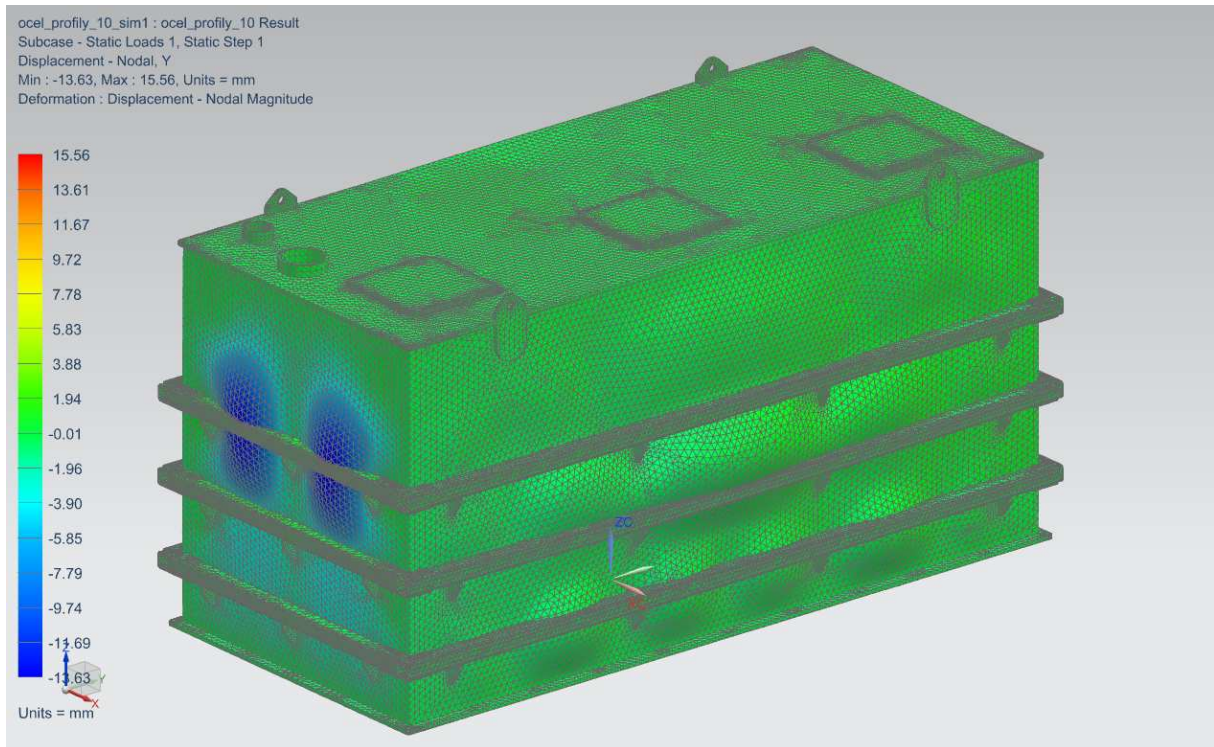
Obr. 14.20 Napětí - řez



Obr. 14.21 Napětí - detail

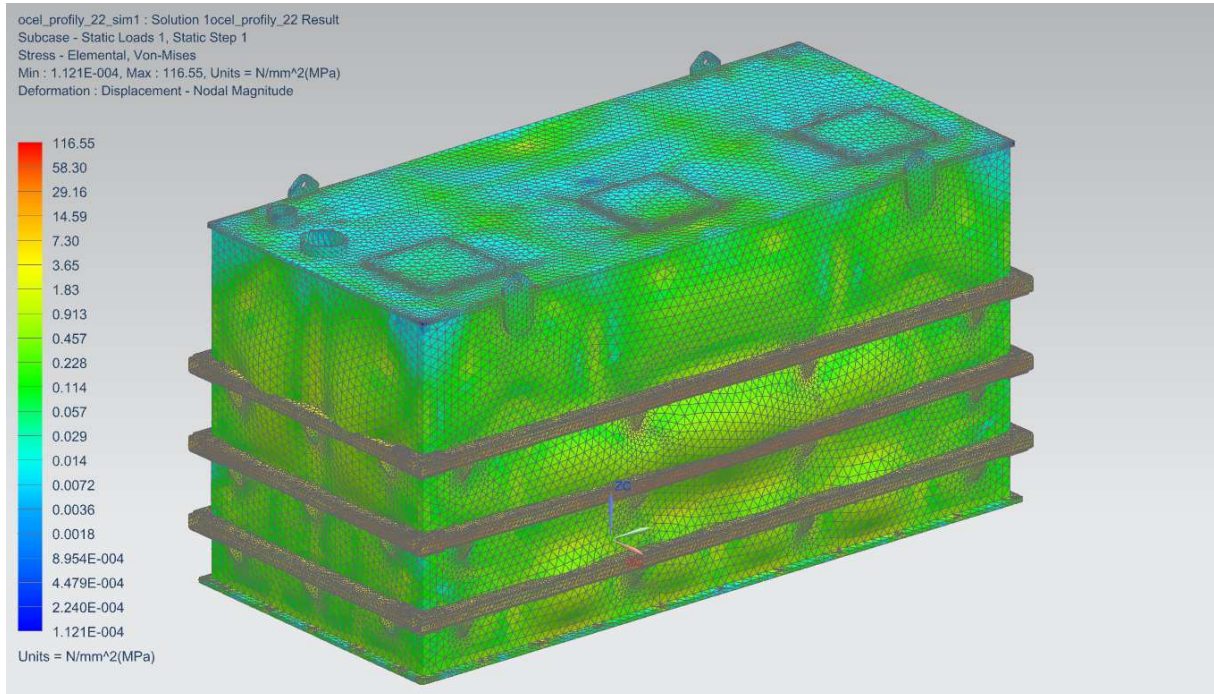


Obr. 14.22 Deformace osa X

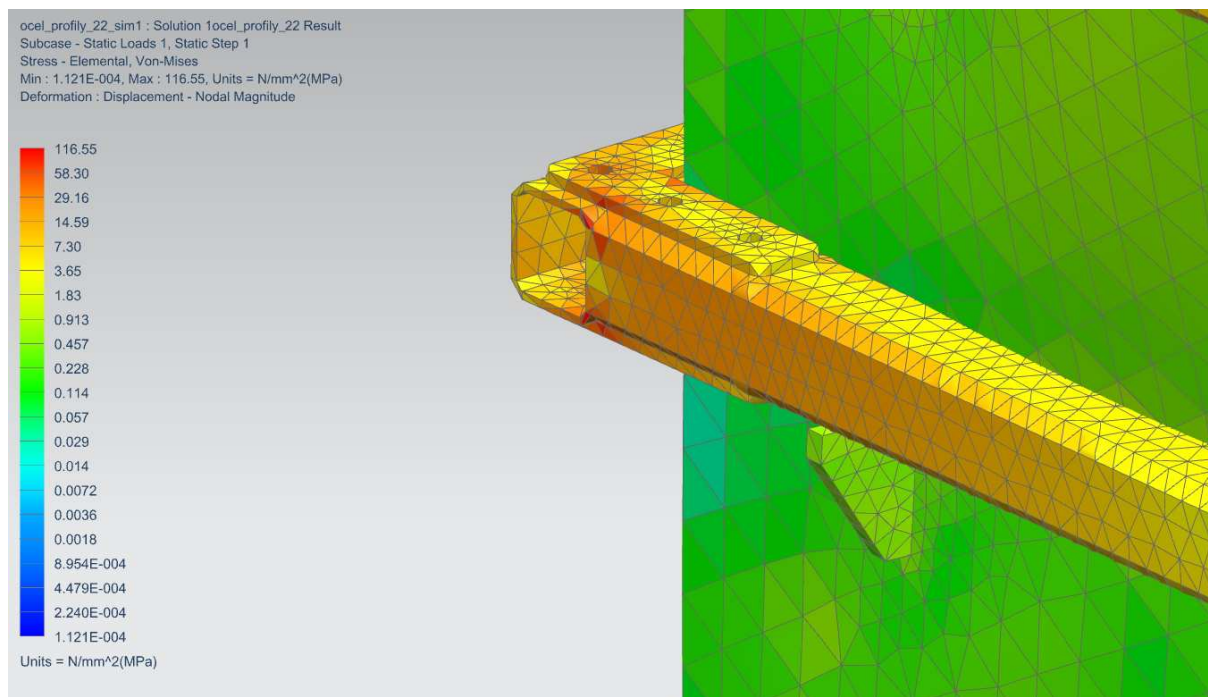


Obr. 14.23 Deformace osa Y

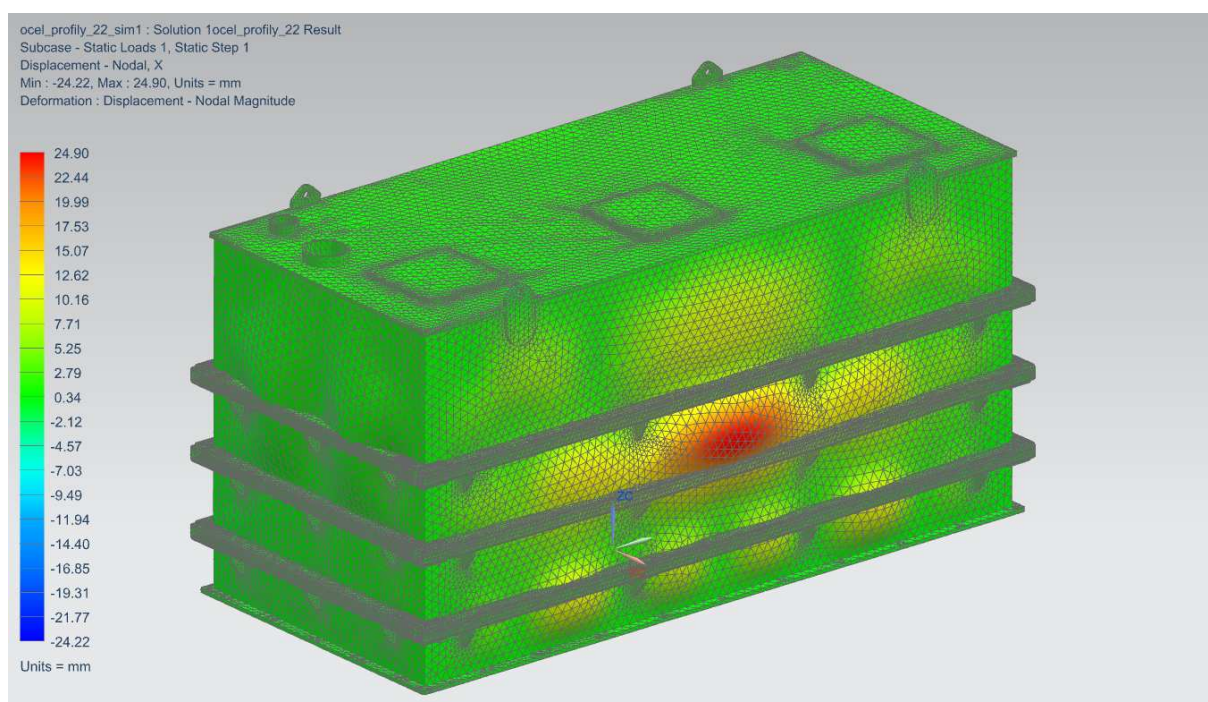
14.3.2 Provozní stav – náklon 22°



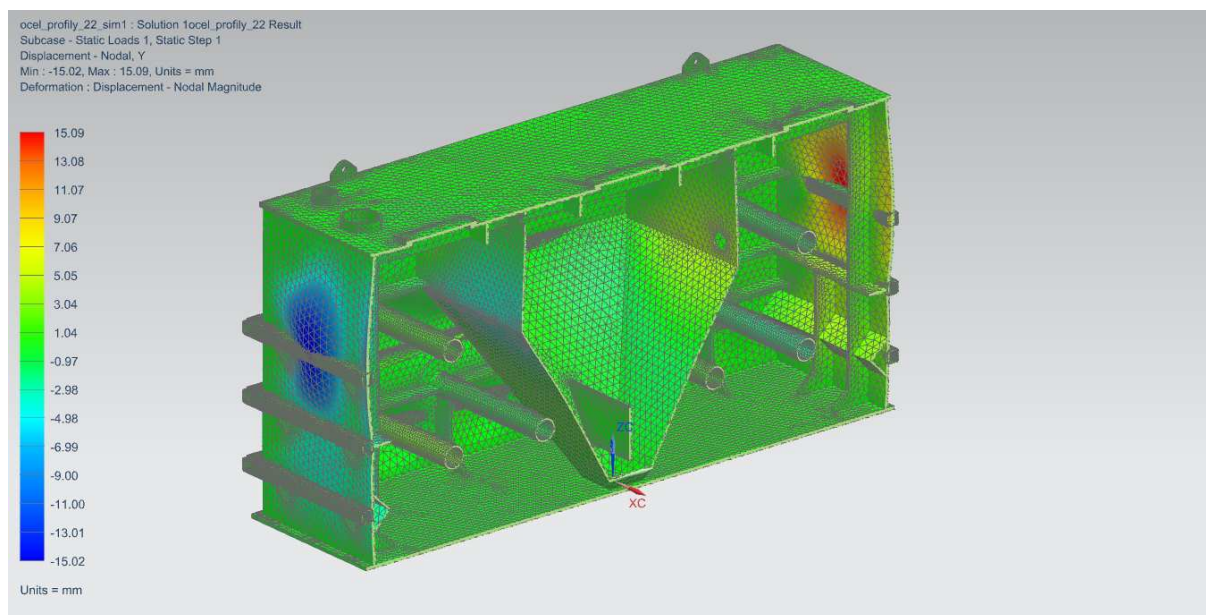
Obr. 14.24 Napětí



Obr. 14.25 Napětí – detail



Obr. 14.26 Deformace osa X



Obr. 14.27 Deformace osa Y – řez

15 Zhodnocení výsledků

Uvažované stavy	Napětí [MPa]			
	Zkouška netěsnosti $\sigma_{dov}=12,87$	Provozní stav max. hodnoty $\sigma_{dov}=4,49$	Zavěšení $\sigma_{dov}=12,87$	Údržba $\sigma_{dov}=6,125$
Původní stav (870 kg)	17,81	4,49	2,55	1,41
Opásání plastovými profily (900 kg)	24,72	7,89	2,55	1,41
Opásání ocelovými profily (1220 kg)	< 5	3	2,55	1,41

Tab. 15.1 Hodnoty napětí

Uvažované stavy	Deformace [mm]			
	Zkouška netěsnosti	Provozní stav max. hodnoty	Zavěšení	Údržba
Původní stav (870 kg)	30,77	40,31	1,67	8,75
Opásání plastovými profily (900 kg)	28,67	32,72	1,67	8,75
Opásání ocelovými profily (1220 kg)	24,07	24,9	1,67	8,75

Tab. 15.2 Hodnoty deformace

Vycházelo se ze současné konstrukce nádrže (původní stav), která byla nevyhovující po pevnostní stránce. Varianta s opásáním plastovými profily byla první alternativa. Odebraly se dvě podélné výztuhy uvnitř nádrže a 4 žebra na vnitřních stěnách. Toto řešení sice přineslo zmenšení deformací, ale zvýšení maximálních napětí. Proto jsem navrhl další variantu s opásáním nádrže ocelovými profily. Z ekonomického hlediska bude varianta s ocelovými profily srovnatelná s původním stavem, protože byly odebrány výztuhy uvnitř nádrže. A z hlediska náročnosti na výrobu, bude také srovnatelná s původním stavem. Tato varianta nejlépe splňuje nároky na plastovou nádrž, které jsou na ni kladeny během provozu. V porovnání s původním stavem nepřesahuje dovolené hodnoty napětí nádrže a tím pádem je tato varianta vyhovující a bezpečnější. Kompletní výsledky všech stavů, které byly počítány a jsou uvedeny v tabulkách 15.1 a 15.2, jsou zahrnuty v příloze a znázorněny pomocí obrázků jako výstup z výpočetního softwaru Siemens NX 8,5.

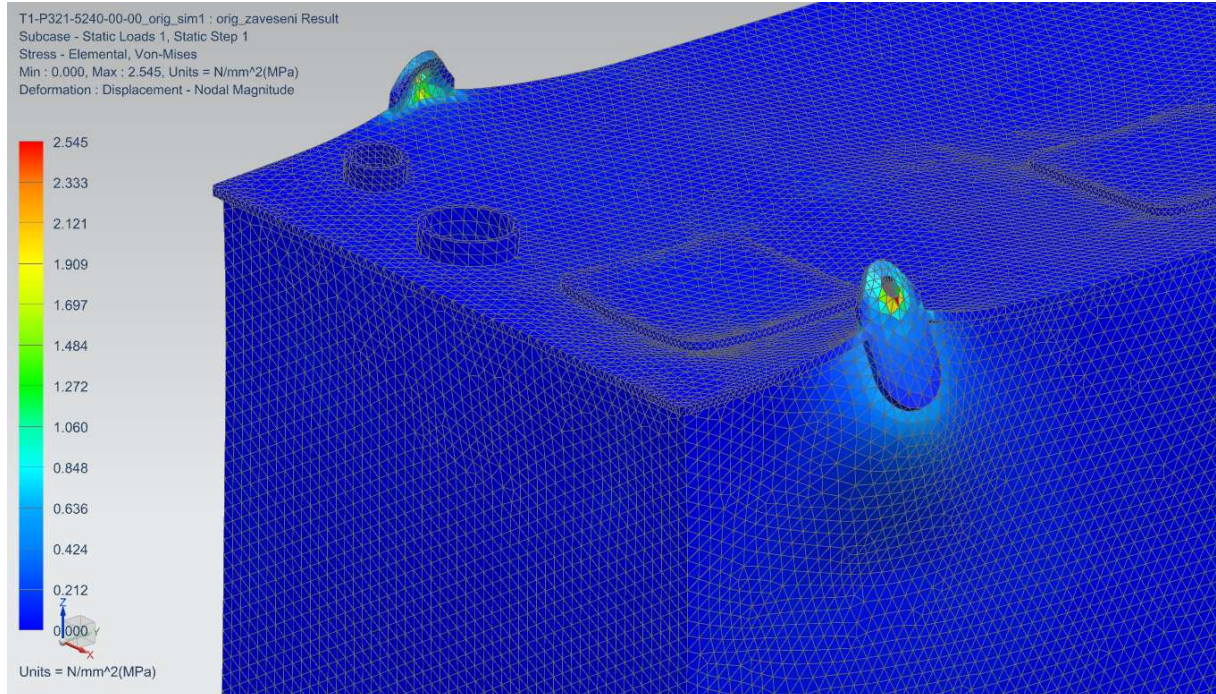
16 Citovaná literatura

1. **Vinarský, Pavel.** *Plasty, Svařování plastů. Praktické navrhování plastových konstrukcí.* Brno : autor neznámý, 2007.
2. RÖCHLING Engineering Plastics. *Kompetence, kvalita a inovace ve výrobě termoplastických polotovarů.* [Online] <http://www.roechling-plastics.cz/cz/produkty/materialy/pp/polystone-p-kopolymer.html>.
3. **Lášová, Václava.** *Metoda konečných prvků ve výpočtech obráběcích strojů.* Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2011. ISBN 978-80-261-0008-9.
4. Česká technická norma ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb.* místo neznámé : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2004.
5. **Pražan, Jaroslav.** *Navrhování svařovaných nádrží z termoplastů. Praktické navrhování plastových konstrukcí.* Brno : autor neznámý, 2007.
6. Česká technická norma ČSN EN 1778. *Charakteristické hodnoty pro svařované konstrukce z termoplastů - Stanovení dovoleného namáhání a modulů pro navrhování svařovaných dílů z termoplastů.* 2001.

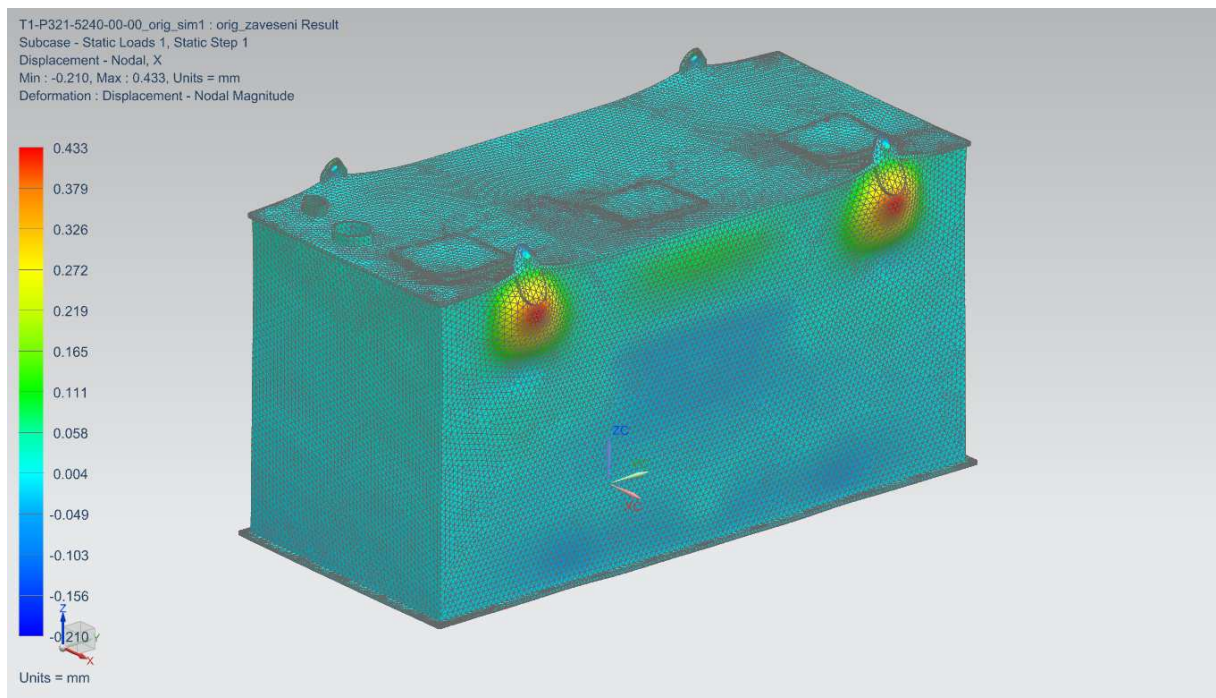
Příloha č. I
Výstup výsledků z MKP analýzy

17 Původní stav

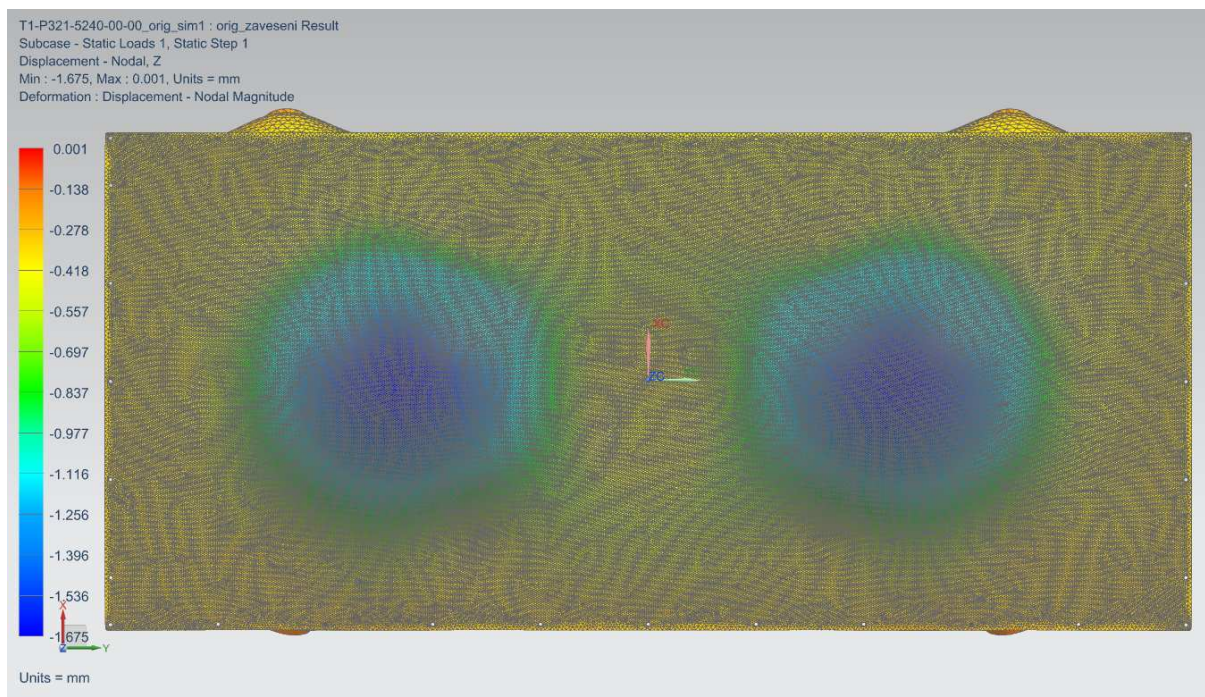
17.1 Zkouška zavěšení



Obr. 1.1 Napětí – detail

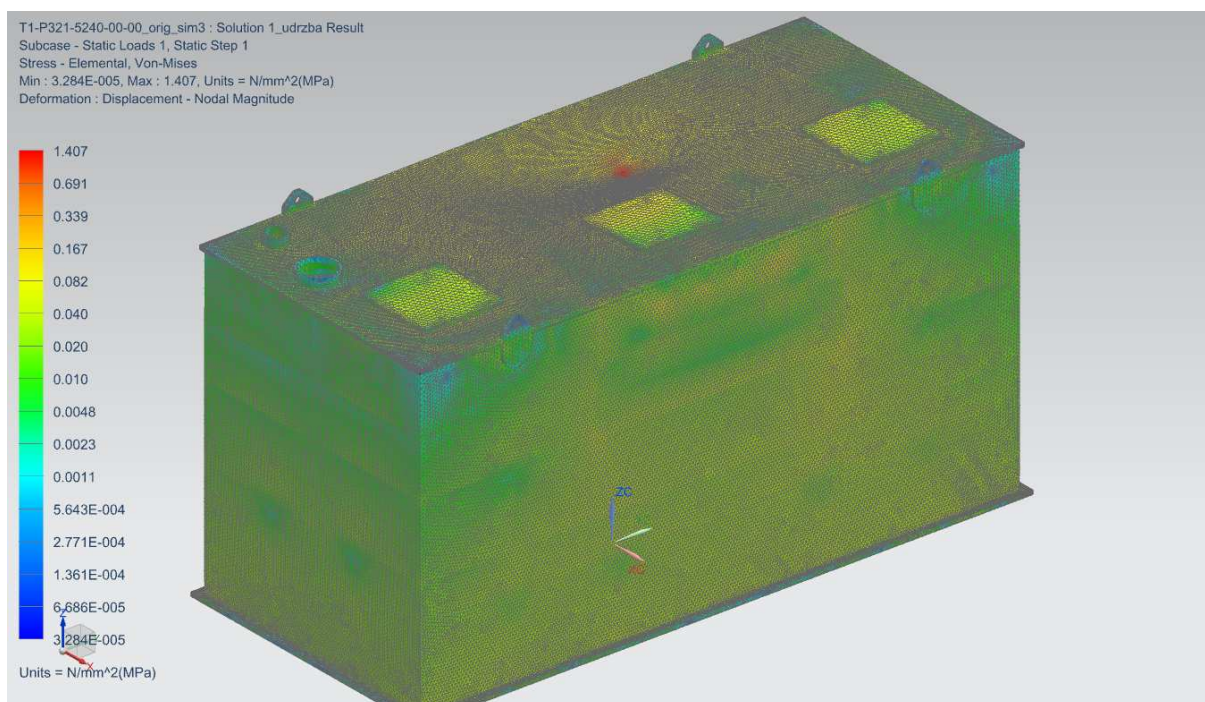


Obr. 1.2 Deformace osa X

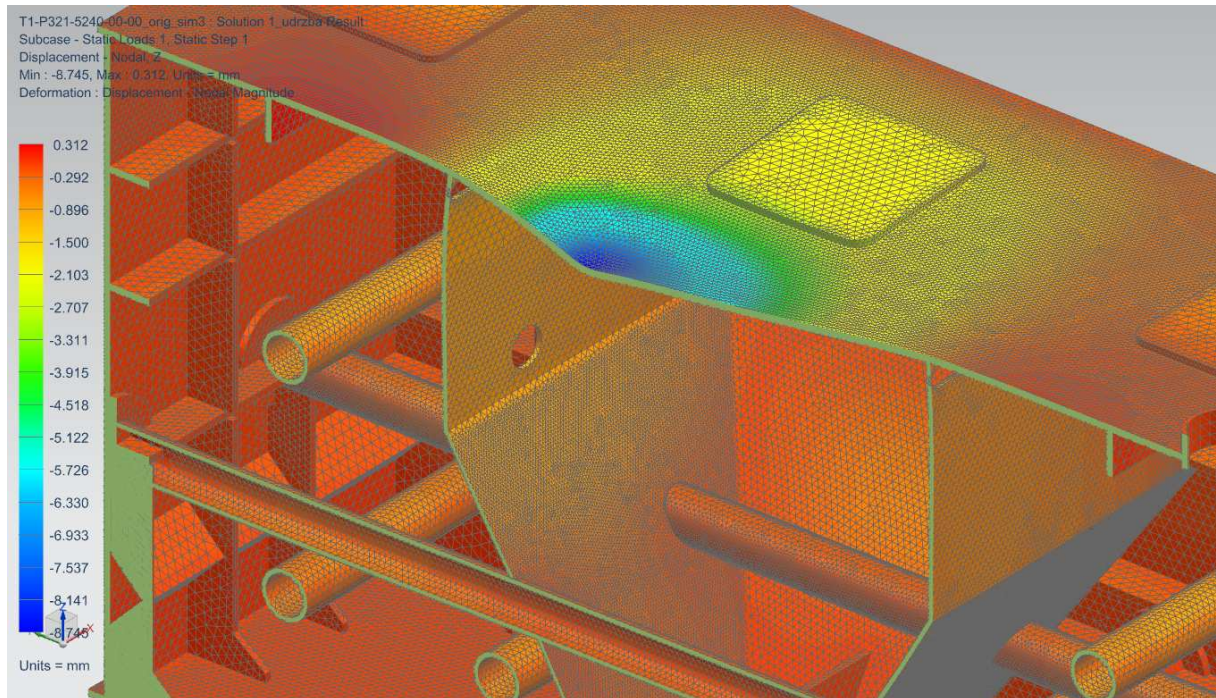


Obr. 1.3 Deformace osa Z – dno

17.2 Údržba

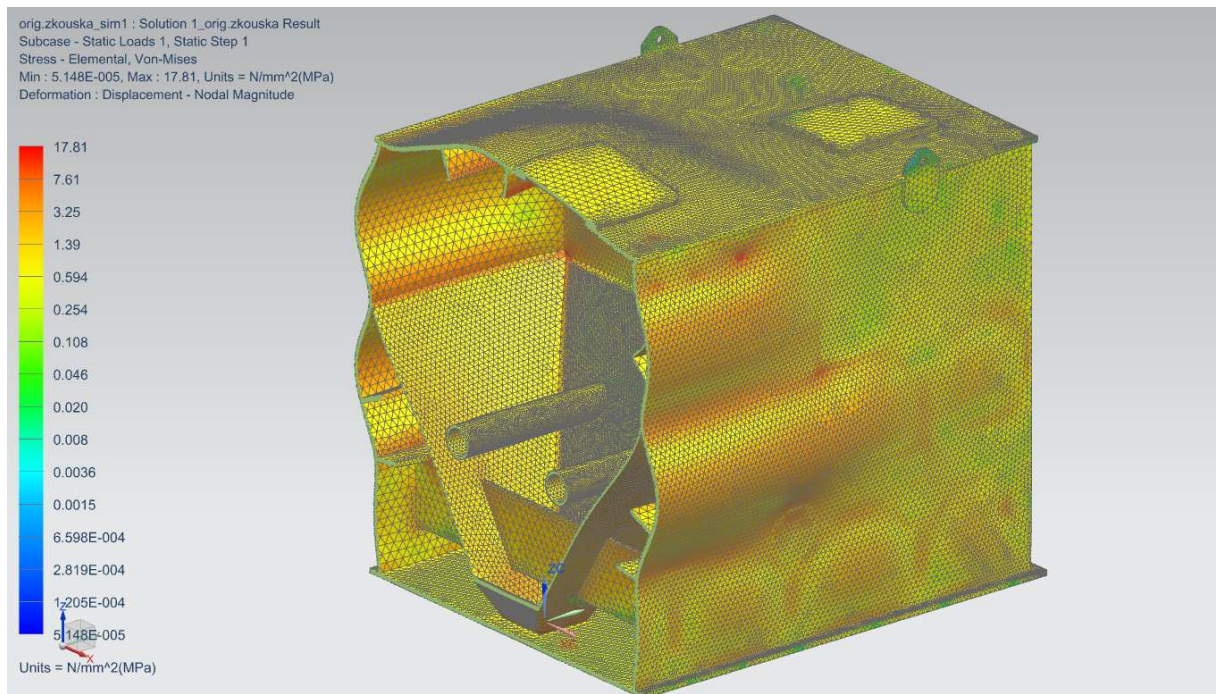


Obr. 1.4 Napětí

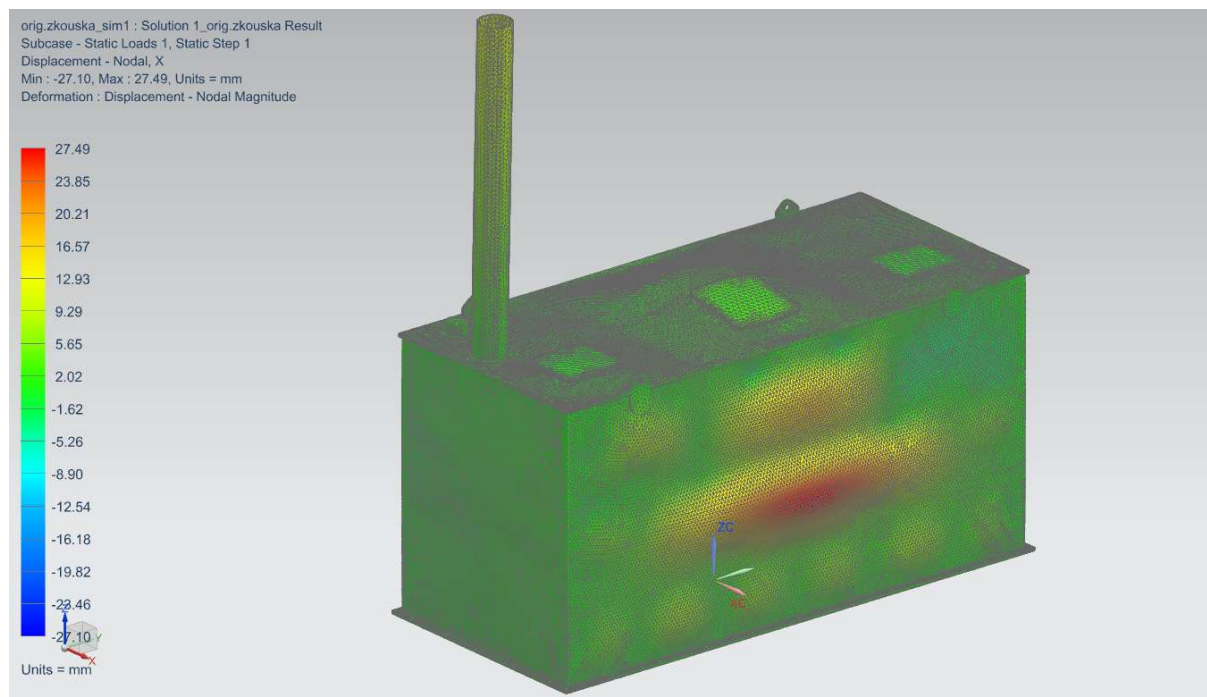


Obr. 1.5 Deformace osa Z

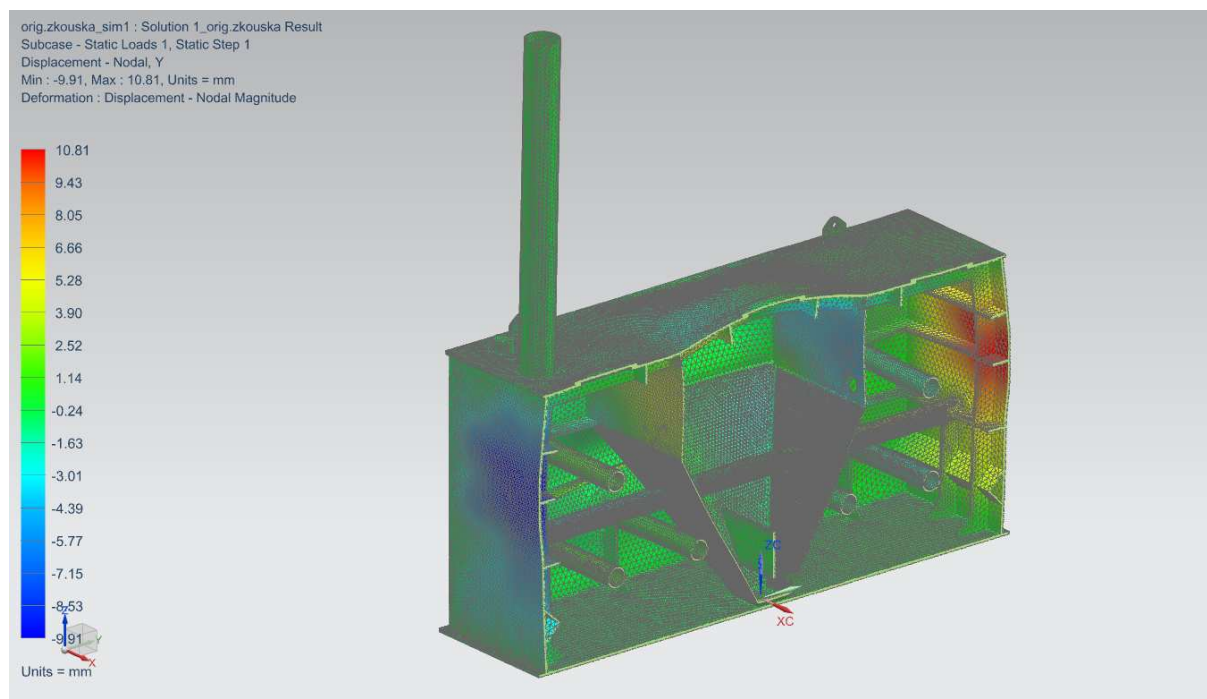
17.3 Zkouška netěsnosti



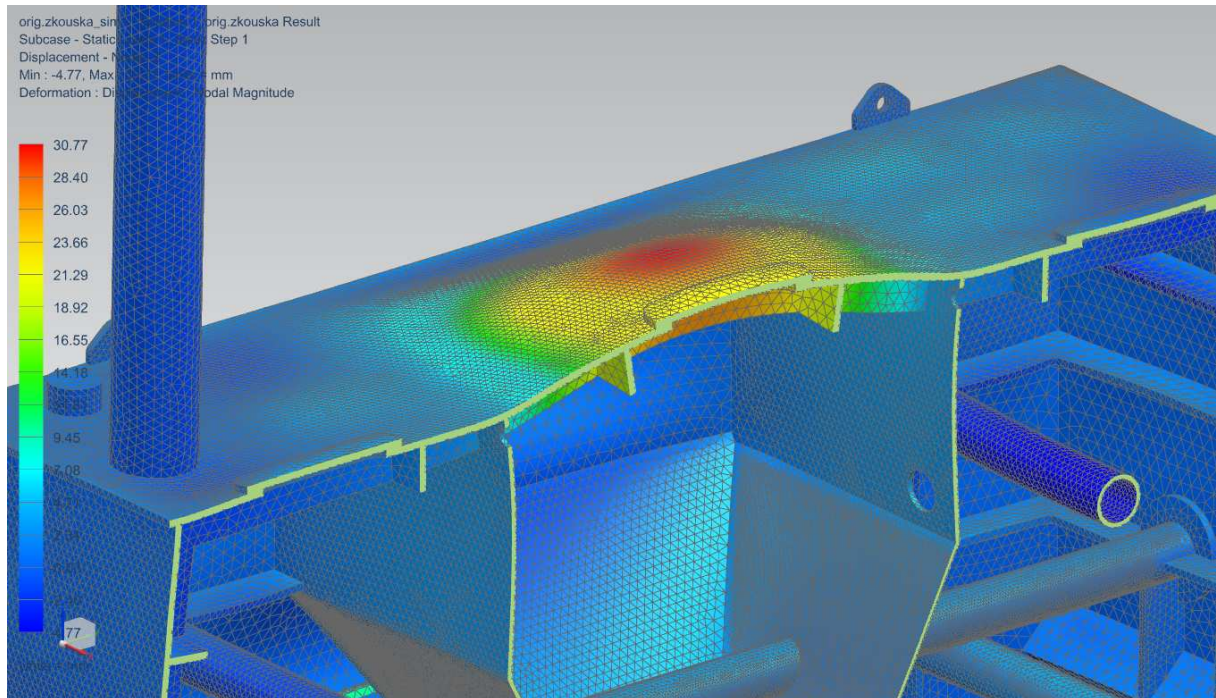
Obr. 1.6 Napětí - řez



Obr. 1.7 Deformace osa X



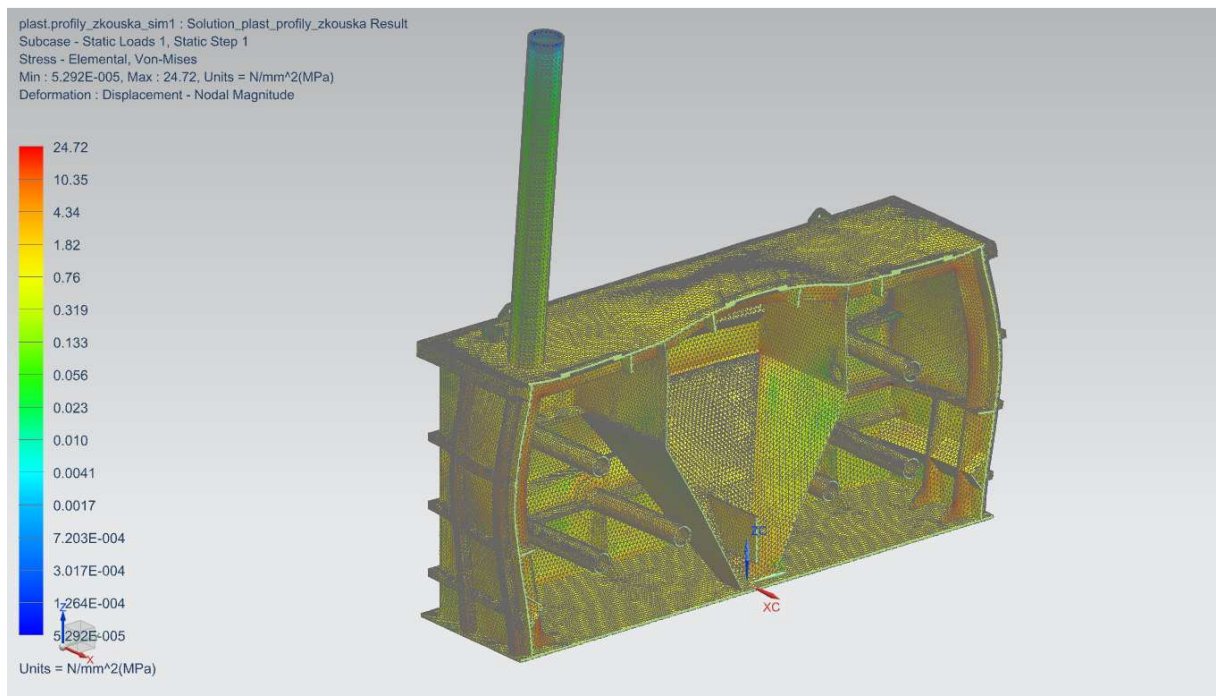
Obr. 1.8 Deformace osa Y - řez



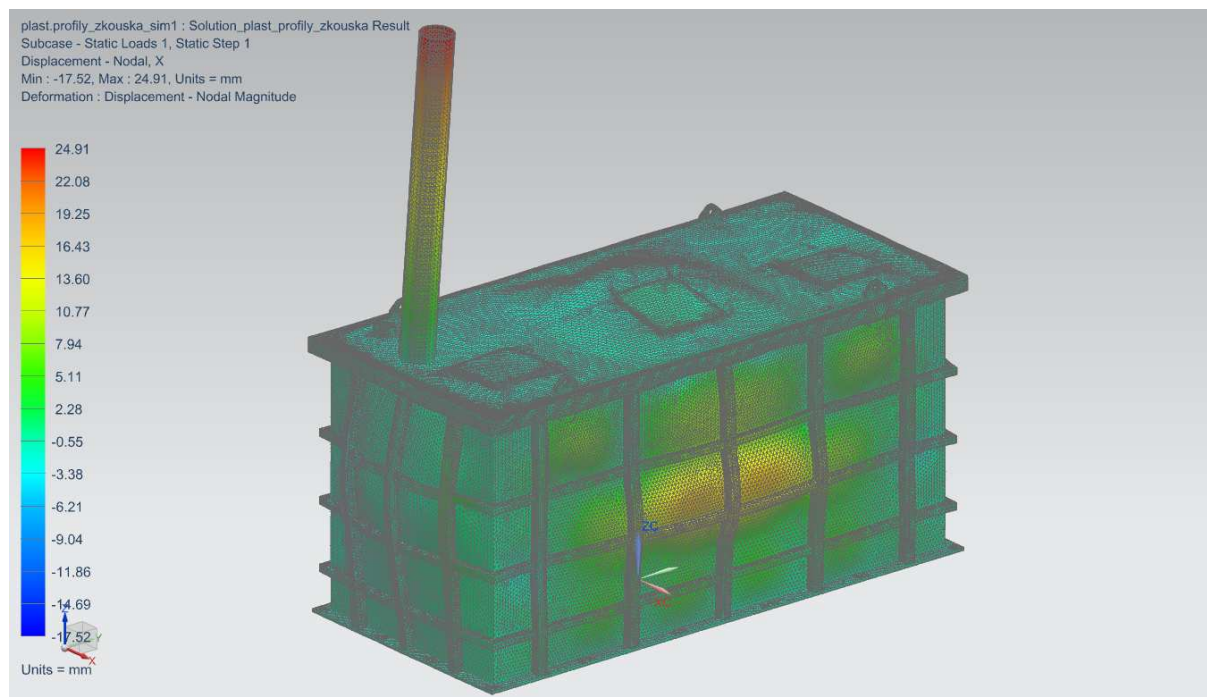
Obr. 1.9 Deformace osa z - detail

18 Varianta opásání plastovými profily

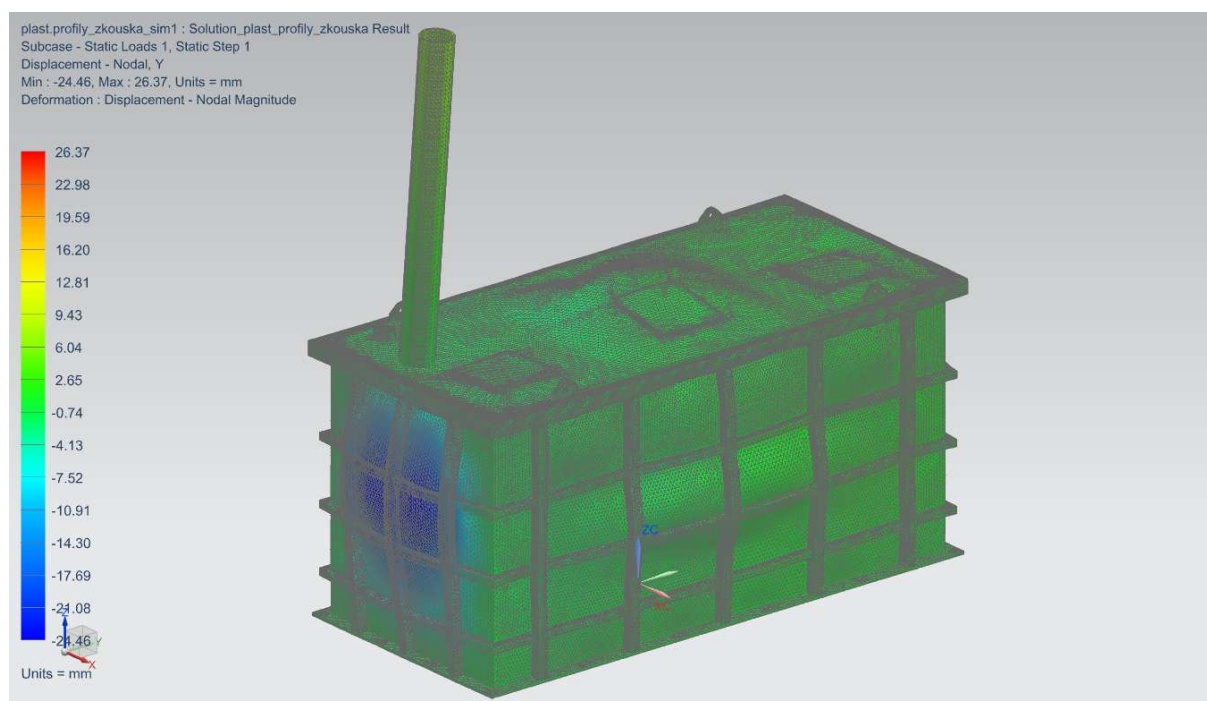
18.1 Zkouška netěsnosti



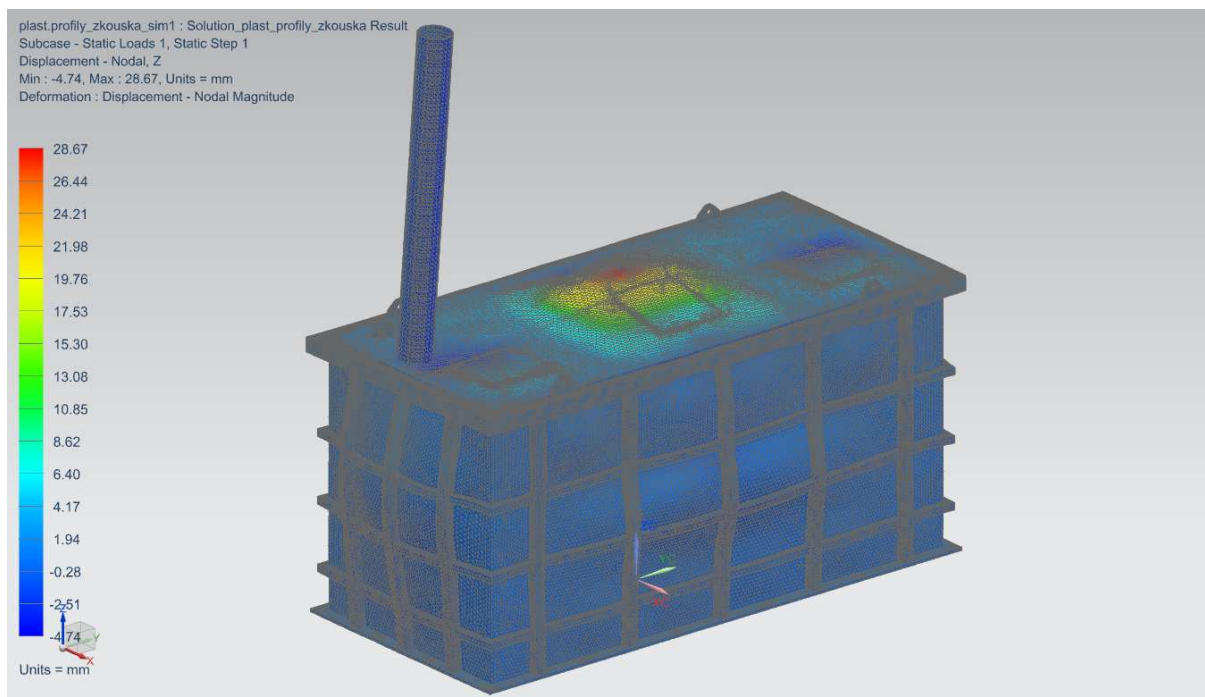
Obr. 2.1 Napětí - řez



Obr. 2.2 Deformace osa X



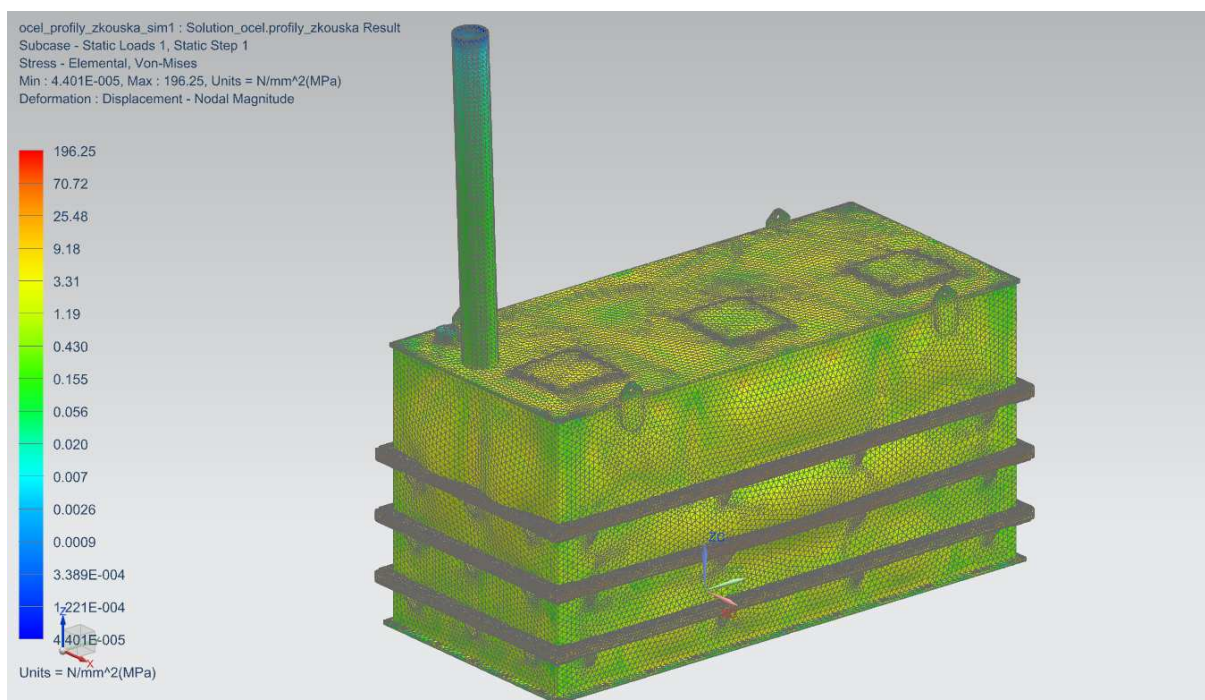
Obr. 2.3 Deformace osa Y



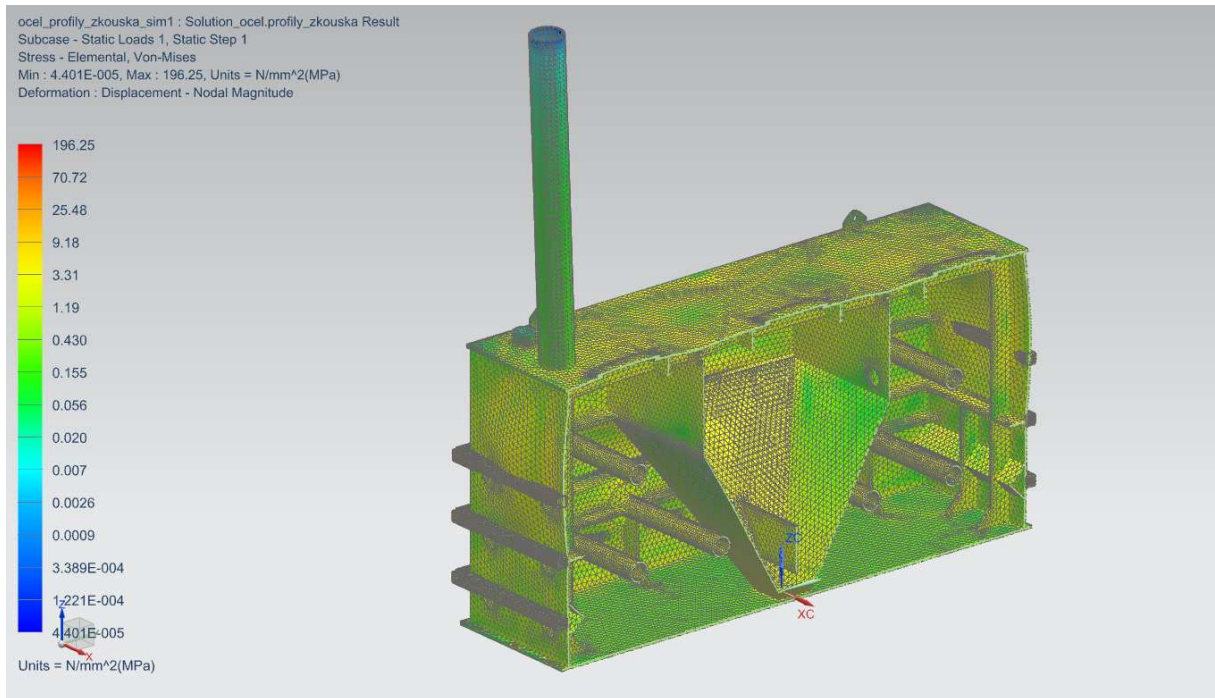
Obr. 2.4 Deformace osa Z

19 Varianta opásání ocelovými profily

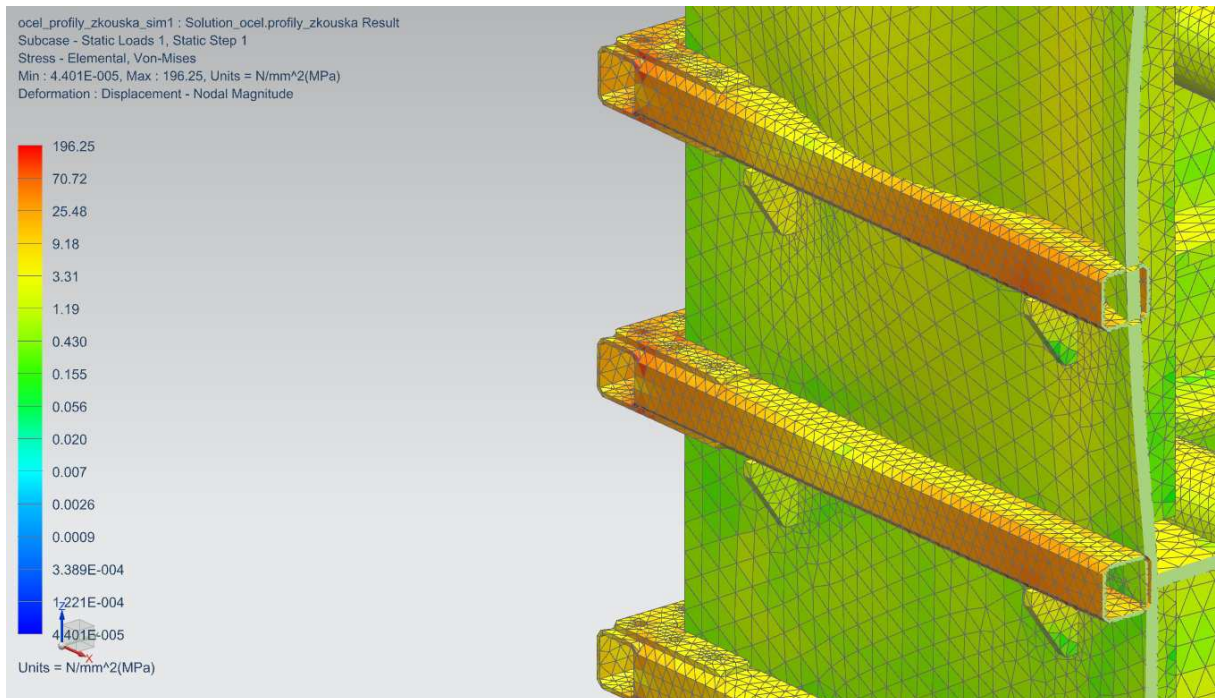
19.1 Zkouška netěsnosti



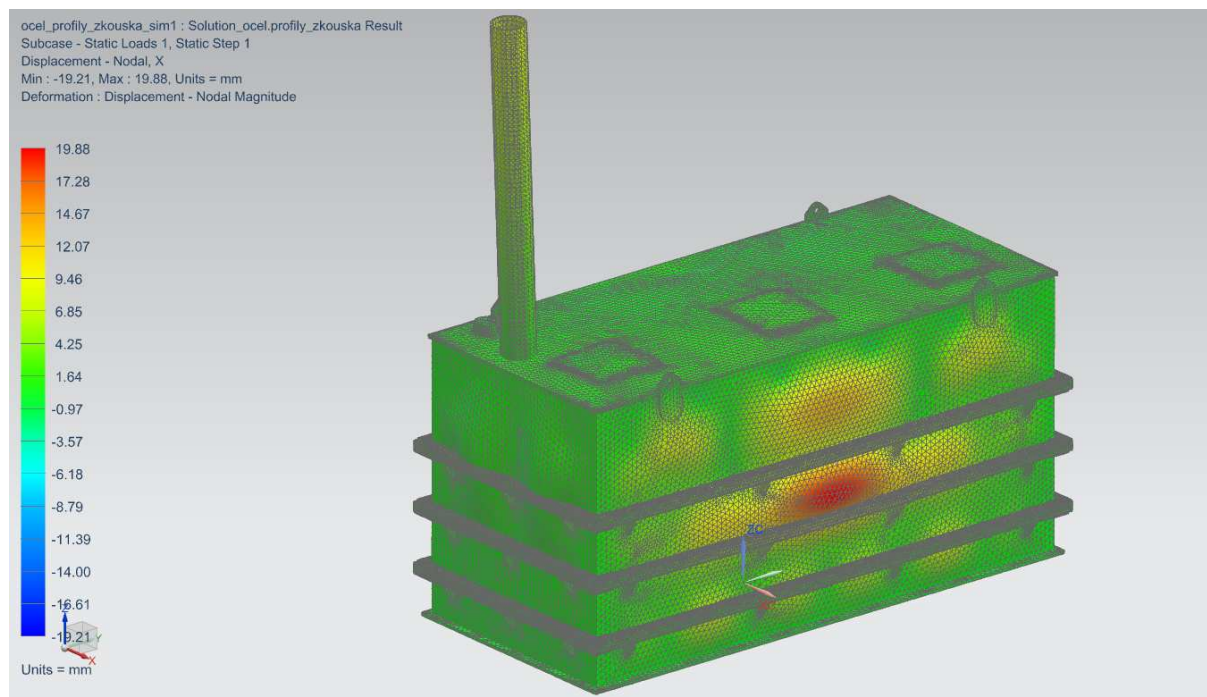
Obr. 3.1 Napětí



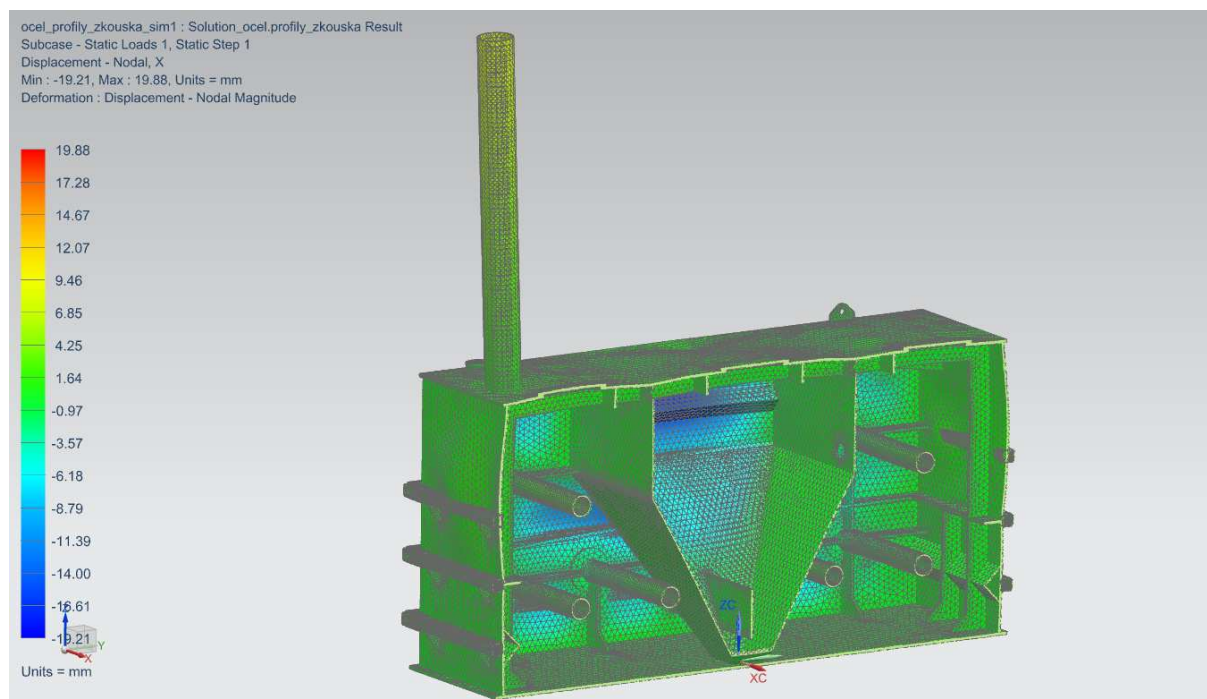
Obr. 3.2 Napětí - řez



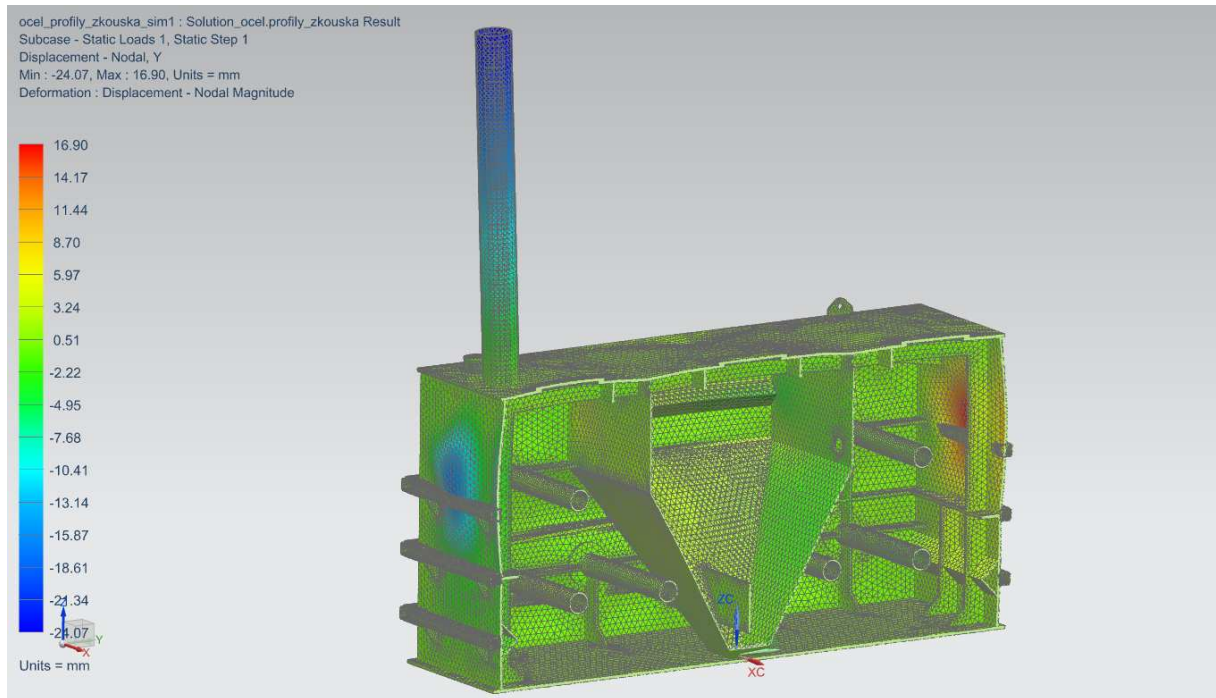
Obr. 3.3 Napětí - detail



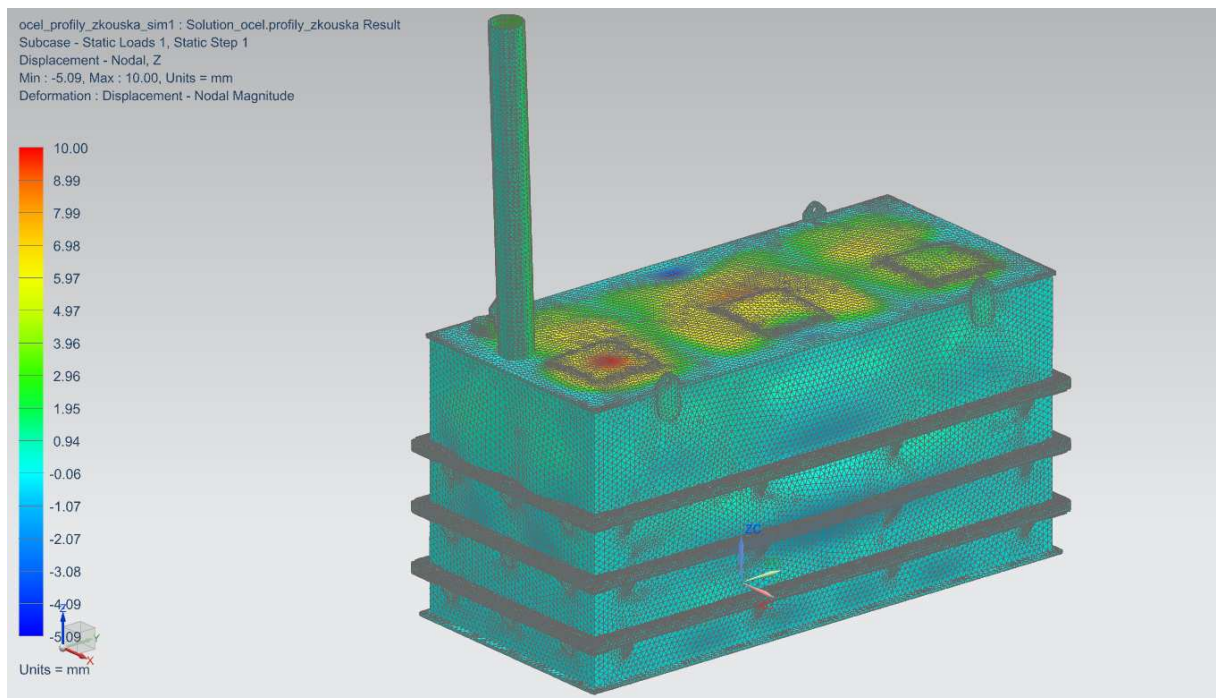
Obr. 3.4 Deformace osa X



Obr. 3.5 Deformace osa X - řez



Obr. 3.6 Deformace osa Y – řez



Obr. 3.7 Deformace osa Z