

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Akademický rok: 2013/2014

Pavel ČERVINKA

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T019 Stavba výrobních strojů a zařízení

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh a kontrolní výpočet nového modulárního ISO kontejneru
pro přepravu sypkých hmot

Autor: **Bc. Pavel ČERVINKA**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Jan HLAVÁČ, Ph.D.**

Akademický rok 2013/2014

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Červinka	Jméno Pavel	
STUDIJNÍ OBOR	2302T019	Stavba výrobních strojů a zařízení	
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Hlaváč, Ph.D.	Jméno Jan	
PRACOVÍŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh a kontrolní výpočet nového modulárního ISO kontejneru pro přepravu sypkých hmot		

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

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	57	TEXTOVÁ ČÁST	54	GRAFICKÁ ČÁST	3
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Diplomová práce obsahuje návrh a kontrolní výpočet ISO kontejneru z hliníkové slitiny, pevnostní analýzu a vyhodnocení dosažených výsledků. Simulace provedena pomocí výpočtového programu Siemens NX.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>ISO kontejner, hliníková slitina, rohový prvek, kontrolní výpočet, Siemens NX, počítačová simulace</p>

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Cervinka	Name Pavel	
FIELD OF STUDY	2302T019 Design of Manufacturing Machines and Equipment		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Hlavac, Ph.D.	Name Jan	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	The design and strenght calculation of the new modular ISO container for transporting of bulk materials		

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

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	57	TEXT PART	54	GRAPHICAL PART	3
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The diploma work includes the design and the control calculation of ISO container of aluminium alloy, strength analysis and the evaluation of the achieved results. The simulation has been performed using the calculation programme Siemens NX.
KEY WORDS	ISO container, aluminium alloy, angle element, control calculation, Siemens NX, computer simulation

Poděkování

Úvodem bych rád poděkoval vedoucímu své práce doc. Ing. Janu Hlaváčovi, Ph.D. za vstřícné jednání, konstruktivní kritiku a odborné konzultace při vedení mé diplomové práce. Dále bych rád poděkoval své rodině za trpělivost a podporu při dálkovém studiu vysoké školy. Nakonec bych rád poděkoval všem svým kolegům z ročníku za cenné připomínky a rady.

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Obsah

Úvod	10
1 Zadavatel - ZVVZ Machinery a.s.	11
2 ISO kontejner	12
2.1 Základní rozdělení ISO kontejnerů	12
3 Upřesnění zadání	13
4 Zkoušky prováděné na ISO kontejneru	15
4.1 Zkouška č. 1 – Stohování	15
4.2 Zkouška č. 2 – Zdvihání za čtyři horní rohové prvky	16
4.3 Zkouška č. 3 – Zdvihání za čtyři dolní rohové prvky	16
4.4 Zkouška č. 4 – Vnější odolnost (podélná)	17
4.5 Zkouška č. 5 – Vnitřní odolnost (podélná)	18
4.6 Zkouška č. 6 – Vnitřní odolnost (příčná)	19
4.7 Zkouška č. 7 – Tuhost (příčná)	19
4.8 Zkouška č. 8 – Tuhost (podélná)	20
4.9 Zkouška č. 9 – Zkouška vložených míst pro přenos zatížení	21
4.10 Zkouška č. 10 – Lávky	21
4.11 Zkouška č. 11 – Žebříky	22
4.12 Zkouška č. 12 – Tlaková zkouška	22
5 Simulace	23
5.1 Zkouška č. 1	24
5.2 Zkouška č. 2	27
5.3 Zkouška č. 3	29
5.4 Zkouška č. 4	30
5.5 Zkouška č. 5	34
5.6 Zkouška č. 6	37
5.7 Zkouška č. 7	38

5.8	Zkouška č. 8	40
5.9	Zkouška č. 9	42
5.10	Zkouška č. 10	44
5.11	Zkouška č. 11	46
5.12	Vyhodnocení výsledků simulace	48
5.12.1	Kontaktní úloha	49
5.12.2	Praktická zkouška	51
6	Popis konečného konstrukčního návrhu ISO kontejneru	52
6.1	Přední čelo	52
6.2	Zadní čelo	53
6.3	Spodní rám	55
6.4	Cisterna	56
6.5	Celková sestava	57
7	Technologie výroby	60
7.1	Cenová kalkulace	61
	Závěr	63
	Seznam použité literatury	64
	Seznam obrázků	65
	Seznam tabulek	67
	Seznam použitých zkratk	69
	Seznam příloh	70

Seznam použitých označení a jednotek

Seznam označení		
Název	Označení	Jednotka
Napětí	σ	MPa, GPa
Hmotnost	m	kg, g
Objem	V	m ³
Délka	l	m, mm
Tuhost	k	N/mm, N/m
Modul pružnosti v tahu a tlaku	E	GPa
Modul pružnosti ve smyku	G	GPa
Gravitační zrychlení	g	m·s ⁻²
Síla	F	N, kN
Tlak	p	MPa, bar
Koeficient bezpečnosti	k	-
Teplota	T	°C
Mez pevnosti v tahu	R _m	MPa
Mez kluzu materiálu v tahu	R _e	MPa
Smluvní mez kluzu	R _{p0,2}	MPa
Čas	t	Min
Úhel	α, β, γ	°
Průměr	d	mm

Úvod

Téma diplomové práce Návrh a kontrolní výpočty nového modulárního ISO kontejneru na přepravu sypkých hmot zadala firma ZVVZ Machinery a.s. sídlící v Milevsku.

Důvodem této diplomové práce je snaha firmy ZVVZ Machinery a.s. rozšířit svůj výrobní sortiment a využít volné výrobní kapacity firmy. V současnosti používané ISO kontejnery pro sypké hmoty jsou v ocelovém provedení.

ISO kontejner je přepravní prostředek, který tvoří zcela nebo z části uzavřený prostor a je určen k přemísťování materiálu. Má trvalé technické charakteristiky o dostatečné pevnosti pro opakované používání a takovou konstrukci, která usnadňuje přepravu několika druhů dopravy bez překládky vlastního obsahu, tzv. intermodální doprava.[1]

Dovolená hmotnost soupravy pohybující se po silnici je 42 000kg. po odečtení hmotnosti vozidla a návěsu zbývá 30 480kg pro náklad včetně obalu (kontejneru). Snahou firmy je tento kontejner odlehčit (vyrobit z hliníkové slitiny), aby bylo možné přepravit větší množství materiálu.

1 Zadavatel - ZVVZ Machinery a.s.

Firma ZVVZ Machinery a.s. patří do holdingu firem ZVVZ Group a.s. Byla založena v roce 1953 a již více než 60 let patří k významným výrobcům vzduchotechnického zařízení. V roce 1995 došlo k převzetí soukromými investory ve II. vlně kupónové privatizace.

V současnosti ZVVZ Machinery a.s. nabízí tyto výrobky: ventilátory (axiální a radiální sloužící pro dmýhání vzduchu a odtah kouřových plynů v elektrárnách), kouřovody a spalínovody, ISO kontejnery ve 20“ a 40“ ocelovém provedení, cisternové návěsy, které jsou určeny pro přepravu suchých, sypkých i granulovaných materiálů v provedení sklopném i nesklopném, tlakové nádoby (vzdušníky), zásobníky na plyn, stacionární pseudopravu tzv. podavače, které slouží pro přepravu suchých a sypkých materiálů (v provedení komorovém, šnekovém a rotačním), dále pak sprechové odlučovače sloužící k zachycování průmyslových prachů například ve slévárnách.



Obrázek 1 Logo firmy ZVVZ Machinery a.s.

2 ISO kontejner

Kontejner je definován jako přepravní a skladovací prostředek s objemem nad 1m^3 , který lze překládat z jednoho druhu dopravního prostředku na druhý bez překládky jeho obsahu a je uzpůsobený pro stohování. Kontejnerizace je dopravní a manipulační metoda spočívající v používání kontejnerů jako prostředků pro vytváření větších manipulačních jednotek a pro uplatnění progresivních mechanizačních zařízení. Konstrukce vznikla za účelem vytvoření univerzálního velkoprostorového obalu přizpůsobeného pro mechanizaci nakládky a vykládky. Výsledkem je univerzální přepravní prostředek, který spolehlivě chrání svůj obsah před vnějšími vlivy a je přizpůsoben pro mechanizovanou manipulaci. Díky svému provedení lze zboží přepravovat jen ve spotřebitelských obalech nebo také bez nich. Tvoří tedy ochranný prostředek, který kromě zajištění bezpečnosti při manipulacích, dopravě a skladování, zajišťuje bezpečnost také proti ztrátě a poškození či jinému znehodnocení mechanickými, klimatickými či jinými vlivy prostředí.[1]

Efekt kontejnerizace navíc vytváří ucelenou přepravní jednotku, která soustřeďuje více jednotlivých kusů materiálu v jediný celek a zvyšuje tak efektivnost dopravy umožňující rychlý, bezpečný a účelný přechod materiálu z jednoho druhu dopravy na jiný. [1]

2.1 Základní rozdělení ISO kontejnerů

Základní rozdělení kontejnerů podle velikosti:

- a) Malé kontejnery: mají malý ložný prostor do 14m^3 a maximální hmotnost do 10.000kg
- b) Velké kontejnery: mají ložný prostor větší než 14m^3 nebo jejich maximální hmotnost přesahuje 10 000kg. Dělí se dále na univerzální a speciální - pro předem určené druhy materiálů, vyhovující zvláštním podmínkám pro přepravu a manipulaci.[1]

Kontejnery lze rozdělit z hlediska výroby podle:

- a) mezinárodních norem ISO
- b) národních norem
- c) jiných požadavků

Rozdělení podle velikostních řad:

- a) Kontejnery řady 1: určeny pro mezikontinentální využití. Jejich konstrukce musí snést všechno zatížení působící během přepravy - zejména rázy při posunu na železnici, při prudkém brzdění v silniční dopravě a zejména zatížení při přepravě po moři. Jsou nastohovány až do devíti vrstev.
- b) Kontejnery řady 2: určeny pro vnitrokontinentální přepravu. Byly vyvinuty z norem ISO
- c) Kontejnery řady 3: určeny rovněž pro vnitrokontinentální přepravu
- d) Ostatní kontejnery: byly vyráběny dříve. Z velké části neodpovídají současným požadavkům.[1]

3 Upřesnění zadání

Cílem je vyrobit kontejner z hliníkové slitiny, který bude díky volbě materiálu odlehčený, což umožní přepravit větší množství materiálu.

Přesná definice zadání

Navrhněte modulární kontejner nádržkového typu v rozměrech 20-40 stop. Pro návrh byla zvolena velikost kontejneru 30“ tak, aby výsledky bylo možné přenést a aplikovat i na další rozměrové řady.

Specifikace:

- ISO kontejner bude navržen tak, aby splňoval normy ISO
- materiál kontejneru Al slitina
- objem kontejneru cca 36m³
- provozní tlak kontejneru 2bar
- zvolená délka kontejneru pro konstrukční návrh 30“
- vodorovné vyprazdňování
- počet horních plnicích otvorů 3ks
- systém vyprazdňování potrubím DN100
- kontejner včetně vnějšího žebříku a provozní plošiny pro obsluhu plnění
- možnost stohování kontejneru
- prototyp kontejneru bude zkoušen podle ISO 1496-3
 1. stohování
 2. zdvihání za čtyři horní rohové prvky
 3. zdvihání za čtyři dolní rohové prvky
 4. vnější odolnost podélná
 5. vnitřní odolnost při zpomalení (podélném – dynamickém)
 6. vnitřní odolnost příčná
 7. tuhost příčná
 8. tuhost podélná
 9. zkouška vložených míst pro přenos zatížení
 10. zkouška provozní plošiny
 11. zkouška žebříku
 12. tlaková zkouška
- rozměry kontejneru 9125mm (délka) 2438mm (šířka) a 2438mm (výška)

Kontejner musí splňovat:

- mezinárodní úmluva o bezpečnosti kontejnerů (International Convention for Safe Containers – CSC) z roku 1972 v platném znění
- vyhláška Federálního ministerstva zahraničních věcí č. 62/1986 Sb. o Mezinárodní úmluvě o bezpečnosti kontejnerů (není aktualizována podle platného znění Úmluvy CSC)
- zákon 266/1994 Sb. o drahách v platném znění

Specifikace tlakové nádoby:

Pracovní látka	směs vzduchu s práškovým materiálem
Objem nádoby	cca 35m ³
Nejvyšší pracovní tlak	2 bar
Výpočtový tlak	2 bar
Zkušební tlak (v nejvyšším místě nádoby)	2,86 bar
Nejvyšší pracovní teplota	+70° C
Nejnižší pracovní teplota	-40° C
Výpočtová teplota	+70° C
Použitý materiál (3.1 dle EN 10204)	5083, 5754, 6060
Kategorie tlakové nádoby dle PED 97/23/EC	III
Součinitel hodnoty svarového spoje dle PED 97/23/EC	0,7
Přídavek na korozi a erozi	0 mm
Zkoušky svářečů	ČSN EN ISO 9606-2
Stupeň jakosti svaru	ČSN EN 10042 B
Zkoušky tlakové nádoby	PED 97/23/EC, AD-2000 Merkblatt
Konečná zkouška	ANO
První tlaková zkouška vodou	ANO
Zkoušky svarových spojů	PED 97/23/EC, AD-2000 Merkblatt
Vnější prohlídka	ANO
Penetrační zkouška	2 hrdla namátkově
Přejímací a jiné předpisy	PED 97/23/EC AD-2000 Merkblatt
Modul posuzování shody	B + C1
Schválení typu	TÜV SÜD Czech s.r.o.

Pro výrobu a dodávku hliníkového ISO kontejneru je potřeba provést výpočty, zpracovat výkresovou a výrobní dokumentaci a získat „Osvědčení o aprobaci podniku na výrobu kontejnerů“.

4 Zkoušky prováděné na ISO kontejneru

Technické a zkušební požadavky na ISO kontejner jsou definovány normou ČSN ISO 1496-3 (26 9355) KONTEJNERY ŘADY 1 – TECHNICKÉ POŽADAVKY A ZKOUŠENÍ – Část 3: Nádržkové kontejnery pro kapaliny, plyny a tlakované suché sypké materiály.

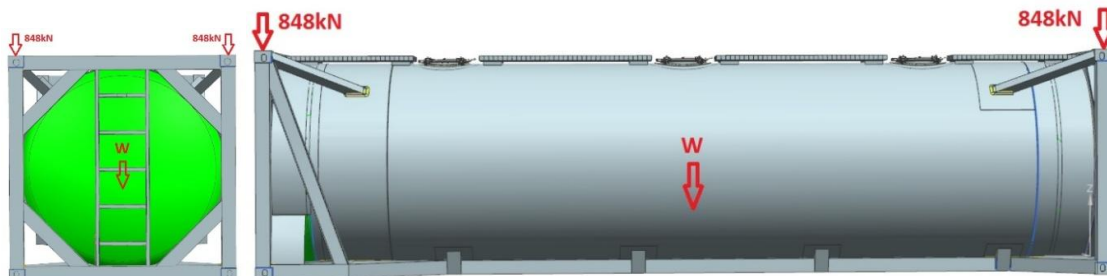
Norma specifikuje základní technické a zkušební požadavky pro ISO kontejnery řady 1 vhodné pro přepravu plynů, kapalin a pevných látek (suchých sypkých materiálů), které mohou být loženy nebo vyprazdňovány jako kapaliny buď gravitací, nebo tlakovým vyprazdňováním, vhodné pro mezinárodní výměnu a přepravu po silnici, železnici a moři, včetně záměny mezi těmito způsoby přepravy.[2]

Konstruovaný ISO kontejner je normou označován kódem 1BB (typ kontejneru) a číslem 88 (typ nákladu - vyprazdňování sklopením s přetlakem do 2,65bar).

Navržený ISO kontejner musí splňovat následující požadavky na rám, konstrukci a provedení cisterny a všechna volitelná vybavení:

4.1 Zkouška č. 1 – Stohování

Prokázat schopnost ISO kontejneru unést hmotnost navrstvených kontejnerů, při zvážení podmínek na palubách námořních lodí a vzájemné výstřednosti mezi vrstvenými ISO kontejnery.



Obrázek 2 ISO kontejner směr sil Zk.1

ISO kontejner zcela zaplněný vodou musí být umístěn na čtyři rovinné podložky, vždy jedna pod každým dolním rohovým prvkem. Tyto podložky musí být vystředěny pod rohovými prvky a musí mít přibližně stejné půdorysné rozměry jako rohové prvky.

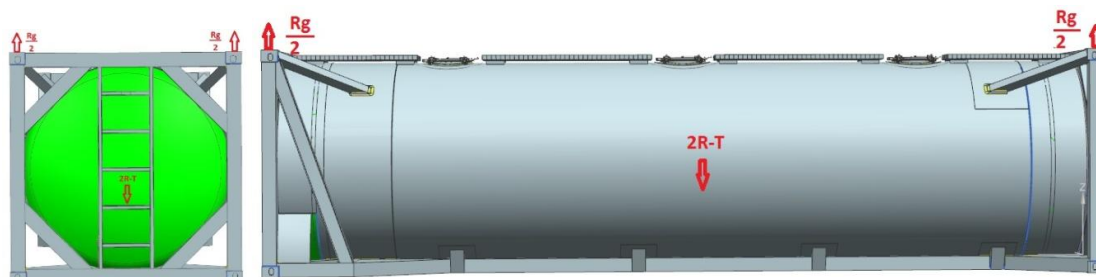
Na všechny 4 horní rohové prvky je působeno celkovou vertikální silou 3392kN. Síly musí působit přes zkušební přípravek vybavený rohovými prvky jako spodní povrch dolního rohového prvku.

Každý rohový prvek nebo ekvivalentní zkušební prvek musí být přesazen ve stejném směru o 25,4mm v příčném a o 38mm v podélném směru.

Po ukončení zkoušky se nesmí u ISO kontejneru projevit netěsnost, trvalá deformace nebo vada.

4.2 Zkouška č. 2 – Zdvihání za čtyři horní rohové prvky

Prokázat schopnost zdvihání ISO kontejneru za čtyři horní rohové prvky při působení zdvihacích sil svisle.



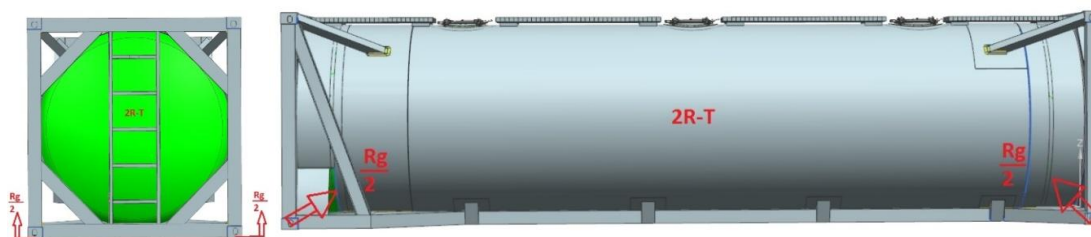
Obrázek 3 ISO kontejner směr sil Zk.2

Celková hmotnost zkoušeného ISO kontejneru musí být $2R$ (tj. $P=R-T$ kde P je užitečná zátěž ISO kontejneru, T je hmotnost prázdného ISO kontejneru tedy 4 400kg a R je max. brutto hmotnost ISO kontejneru tedy 30 480kg) a musí být zdvihán za všechny čtyři rohové prvky. Zdvihací síly musí působit svisle. Doba trvání zkoušky 5 minut.

Po ukončení zkoušky se nesmí u ISO kontejneru projevit netěsnost, trvalá deformace nebo vada.

4.3 Zkouška č. 3 – Zdvihání za čtyři dolní rohové prvky

Prokázat schopnost zdvihání ISO kontejneru za jeho čtyři dolní rohové prvky pomocí zdvihacího zařízení, která zabírají pouze za dolní rohové prvky a jsou připojena k jedinému příčnému centrálnímu zavěšenému nosníku nad ISO kontejnerem.



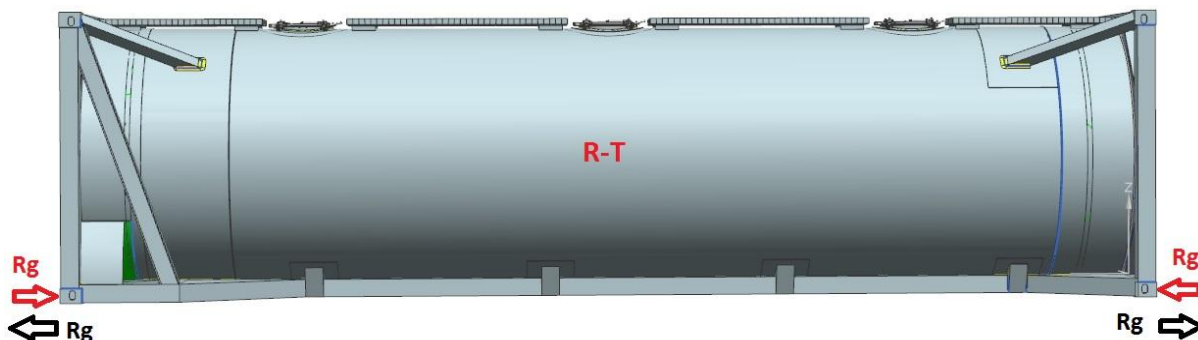
Obrázek 4 ISO kontejner směr sil Zk.3

Celková hmotnost zkoušeného ISO kontejneru musí být $2R$ a musí být opatrně zdvihán za boční otvory všech čtyř dolních rohových prvků takovým způsobem, aby nebyly vyvozeny žádné výrazné zrychlující a zpomalující síly. Zdvihací síly musí působit v úhlu 37° k horizontále (typ ISO kontejneru 1BB). Doba trvání zkoušky 5 minut.

Po ukončení zkoušky se nesmí u ISO kontejneru projevit netěsnost, trvalá deformace nebo vada.

4.4 Zkouška č. 4 – Vnější odolnost (podélná)

Prokázat schopnost ISO kontejneru snést podélné vnější namáhání za podmínek dynamického železničního provozu, ve kterém se vyskytuje zrychlení $2g$.



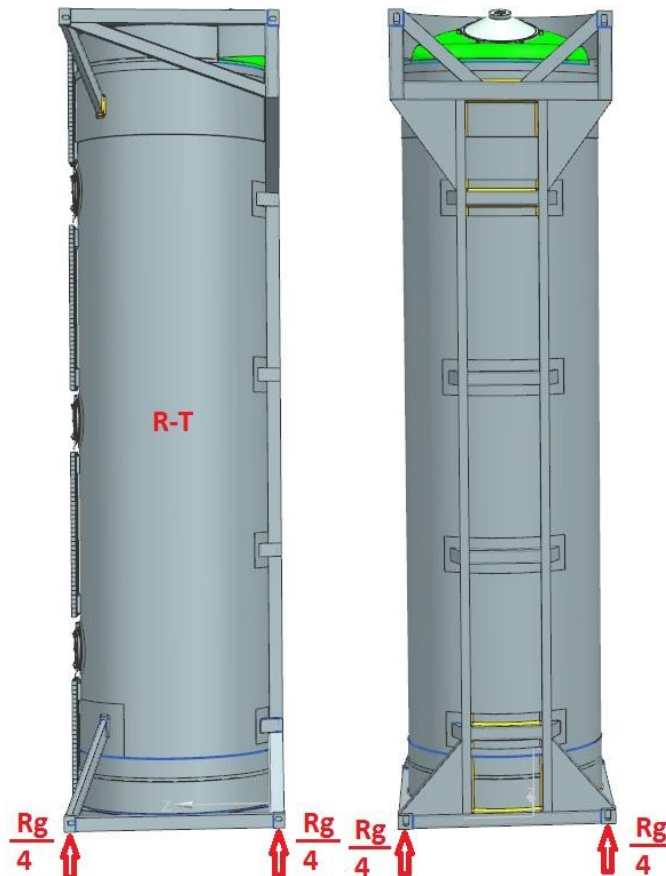
Obrázek 5 ISO kontejner směr sil Zk.4

Zkoušený ISO kontejner musí být zatížen tak, aby se jeho celková hmotnost ISO kontejneru a zkušební zátěže rovnala R . ISO kontejner musí být fixován v podélném směru k tuhým kotvicím bodům přes spodní otvory dolních rohových prvků v jedné čelní stěně nádržkového kontejneru. Síla o velikosti $2Rg$ musí působit na ISO kontejner vodorovně přes spodní otvory druhých dolních rohových prvků, nejprve směrem ke kotvicím bodům a potom směrem od nich.

Po ukončení zkoušky se nesmí u ISO kontejneru projevit netěsnost, trvalá deformace nebo vada

4.5 Zkouška č. 5 – Vnitřní odolnost (podélná)

Prokázat schopnost ISO kontejneru snést účinky setrvačných sil obsahu nádržky jak na samotnou cisternu, tak na spojení cisterna-rám za podmínek podélného zrychlení.



Obrázek 6 ISO kontejner směr sil Zk.5

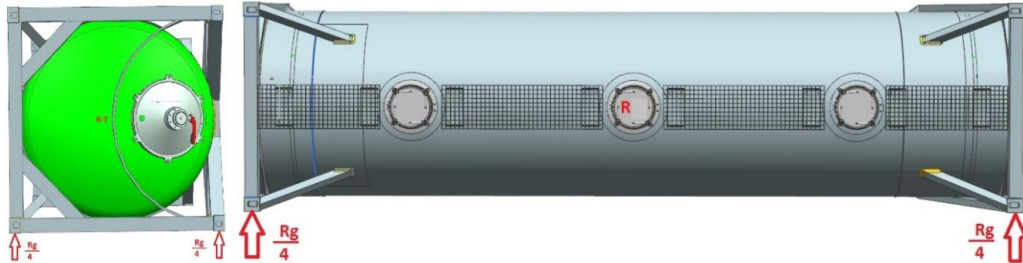
Zkoušený ISO kontejner musí být zatížen takovým způsobem, aby se celková hmotnost ISO kontejneru a zkušební zátěže rovnala R .

ISO kontejner musí být umístěn svojí podélnou osou ve svislé poloze (tolerance max. 3°). V této poloze musí být podržen pomocí opěr pod čtyřmi dolů směřujícími prvky po dobu 5 minut. ISO kontejner není konstrukčně symetrický a je nutné s ohledem na spojení nádrže k rámové konstrukci zkoušet obě čela.

Po ukončení zkoušky se nesmí u ISO kontejneru projevit netěsnost, trvalá deformace nebo vada.

4.6 Zkouška č. 6 – Vnitřní odolnost (příčná)

Prokázat schopnost ISO kontejneru snést účinky setrvačných sil obsahu nádržky jak na samotnou cisternu, tak na spojení cisterna-rám za podmínek podélného zrychlení.



Obrázek 7 ISO kontejner směr sil Zk.6

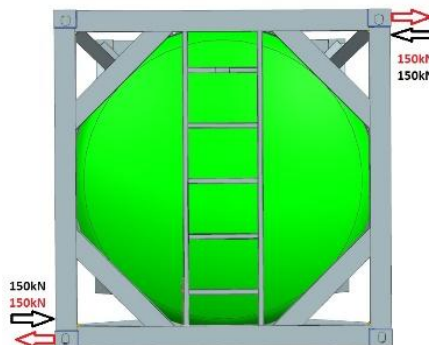
Zkoušený ISO kontejner musí být zatížen takovým způsobem, aby se celková hmotnost nádržkového kontejneru a zkušební zátěže rovnala R .

ISO kontejner musí být umístěn svisle podle jeho přímé osy (tolerance max. 3°). V této poloze musí být podržen pomocí opěr pod čtyřmi dolů směřujícími prvky po dobu 5 minut.

Po ukončení zkoušky se nesmí u ISO kontejneru projevit netěsnost, trvalá deformace nebo vada.

4.7 Zkouška č. 7 – Tuhost (příčná)

Prokázat schopnost ISO kontejneru snést příčné kosící síly vznikající při pohybu lodi.



Obrázek 8 ISO kontejner směr sil Zk.7

ISO kontejner ve stavu táry (T – prázdný kontejner) musí být umístěn na čtyři rovinné podložky, vždy jedna pod každým rohovým prvkem a musí být zajištěna proti příčnému a svislému pohybu pomocí kotvicích zařízení, která působí přes spodní otvory dolních rohových prvků. Příčné zajištění musí být provedeno pouze za jeden dolní rohový prvek, který je úhlopříčně protilehlý a ve stejném čelním rámu jako horní rohový prvek na který působí síla.

Síla o velikosti 150kN musí působit na horní rohový prvek z jedné boční strany ISO kontejneru rovnoběžně jak k základně tak k rovině čel. Síla nejprve musí působit směrem

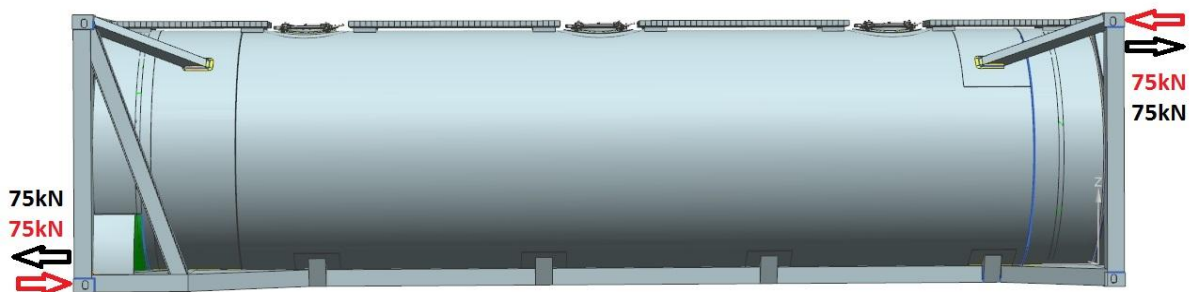
k horním rohovým prvkům a potom směrem od nich. Z důvodu nesymetrie čel je nutné zkoušet obě čela.

U ISO kontejneru nesmí příčný průhyb jeho vrchu vzhledem ke spodku v průběhu zkoušky příčné tuhosti způsobit součet změn v délce dvou úhlopříček větší než 60mm.

Po ukončení zkoušky se nesmí u ISO kontejneru projevit netěsnost, trvalá deformace nebo vada.

4.8 Zkouška č. 8 – Tuhost (podélná)

Prokázat schopnost ISO kontejneru snést účinky podélných kosících sil, které vznikají při pohybu lodi.



Obrázek 9 ISO kontejner směr sil Zk.8

ISO kontejner ve stavu táry (T – prázdný kontejner) musí být umístěn na čtyři rovinné podložky, vždy jedna pod každým rohovým prvkem a musí být zajištěna proti podélnému a svislému pohybu pomocí kotvicích zařízení, která působí přes spodní otvory dolních rohových prvků. Podélné zajištění musí být provedeno pouze za jeden dolní rohový prvek, který je úhlopříčně protilehlý a ve stejném bočním rámu jako horní rohový prvek, na který působí síla.

Síla o velikosti 75kN musí působit na horní rohový prvek z jedné boční strany ISO kontejneru rovnoběžně jak k základně, tak k rovinám bočních stěn nádržkového kontejneru. Síla nejprve musí působit směrem k horním rohovým prvkům a potom směrem od nich. Z důvodu symetrie bočních rámu je možné zkoušet jen jedno z nich.

U ISO kontejneru nesmí podélný průhyb jeho vrchu vzhledem ke spodku v průběhu zkoušky podélné tuhosti přesáhnout 25mm.

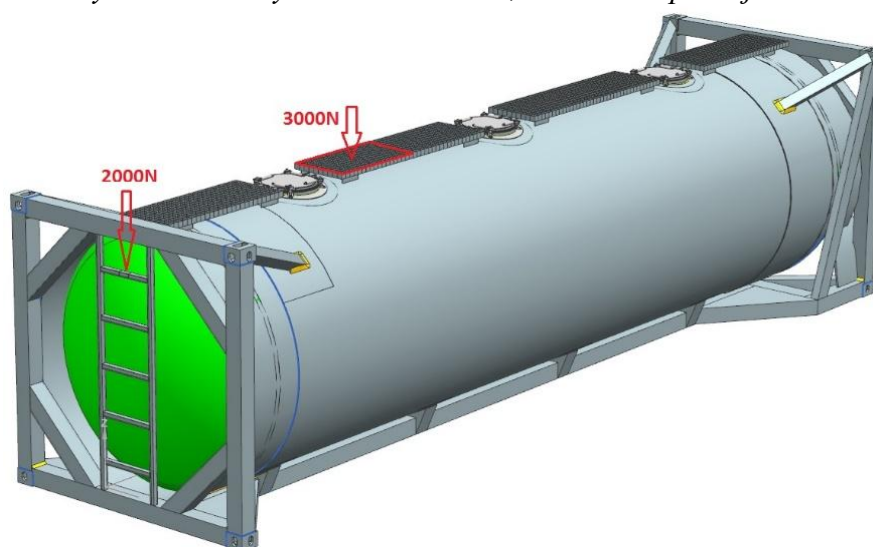
Po ukončení zkoušky se nesmí u ISO kontejneru projevit netěsnost, trvalá deformace nebo vada.

4.9 Zkouška č. 9 – Zkouška vložených míst pro přenos zatížení

Tato zkouška musí být provedena ke statické simulaci známých dynamických podmínek, jestliže místa pro přenos zatížení jsou pouze částečně ve styku s nosným vozidlem uvnitř prostoru mezi otočným zámkem a rohovým prvkem. Tato zkouška prokazuje pouze pevnost konstrukce ISO kontejneru ve vztahu ke schopnosti statického přenosu zatížení – u tohoto typu ISO kontejneru se tato zkouška neprovádí se

4.10 Zkouška č. 10 – Lávky

Schopnost lávky snést zátěž vyvozenou osobami, které na ni pracují.



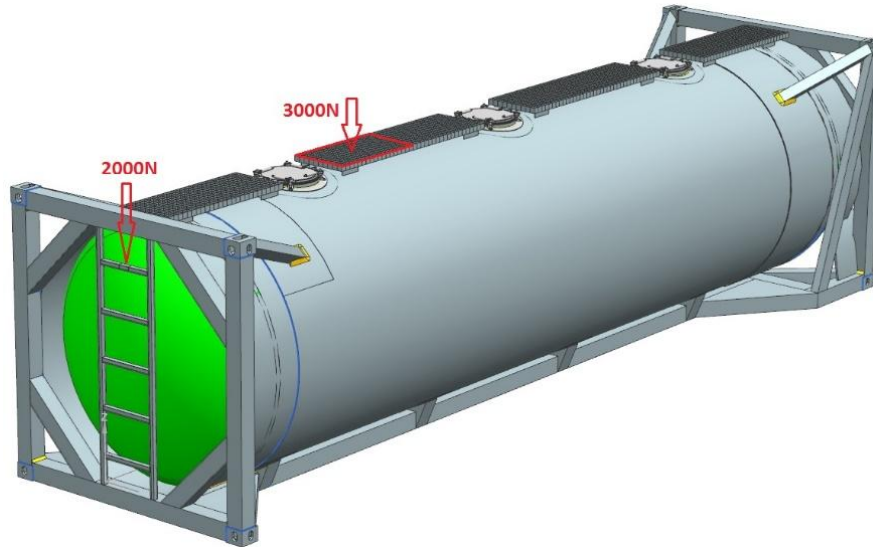
Obrázek 10 ISO kontejner směr sil Zk.10

Soustředná zátěž, ne menší než 300kg musí být rovnoměrně rozložena na ploše 600mm x 300mm a umístěna v nejslabším místě lávky.

Po ukončení zkoušky se nesmí u lávky projevit žádná nepatřičná deformace ani vada, která by byla nevhodná pro použití.

4.11 Zkouška č. 11 – Žebříky

Schopnost žebříku snést zátěž vyvozenou osobami, které na ni pracují.



Obrázek 11 ISO kontejner směr sil Zk.11

Zátěž 200kg musí být umístěna ve středu nejdelší příčky.

Po ukončení zkoušky se nesmí u žebříku projevit žádná nepatřičná deformace ani vada, která by byla nevhodná pro použití.

4.12 Zkouška č. 12 – Tlaková zkouška

Schopnost ISO kontejneru snést vnitřní přetlak.

Zkušební přetlak musí být udržován po dobu 30min, hodnota tlaku 2,86baru.

Po ukončení zkoušky se nesmí u ISO kontejneru projevit netěsnost, trvalá deformace nebo vada.

5 Simulace

Na základě vytvořeného 3D modelu ISO kontejneru je potřeba namodelovat pevnostní simulace podle výše uvedených zkoušek a tím ověřit vhodnost navrženého ISO kontejneru.

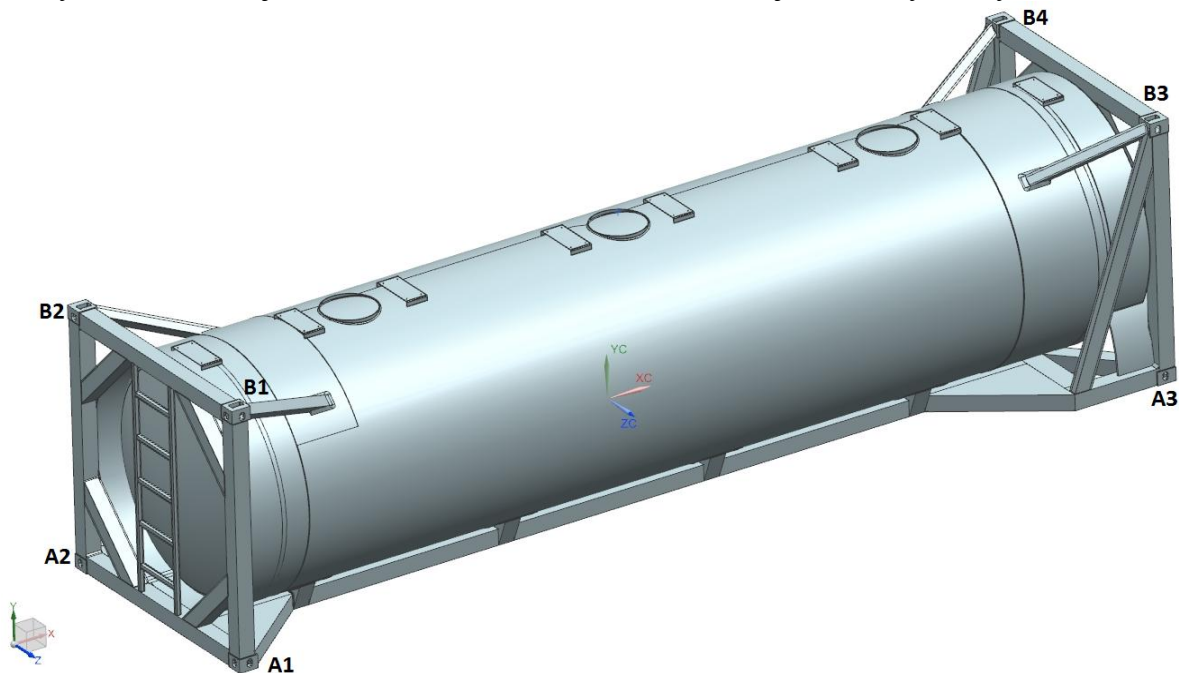
V následujícím textu budou použity termíny:

Gravitace – působí samozřejmě všude kolem nás, ve výpočtech musí být zohledněna, při reálných zkouškách ji však nemusíme jakkoli nastavovat, působí zkrátka „automaticky“ všude. Něco jiného je to v počítačových simulacích, kde s ní samozřejmě musíme počítat také, ale musíme ji nastavit a kromě toho musíme určit její směr přesněji vektor jejího působení.

Fixace objektu ve směru X,Y,Z – z důvodu výpočtu metodou konečných prvků je potřeba vytvořený 3D model ISO kontejneru v simulačním 3D prostoru vhodně zafixovat tak, aby řešená úloha pomocí MKP měla konečné řešení.

Symbol W označuje užitečnou zátěž ISO kontejneru při úplném naplnění jeho objemu vodou.

Symbol P označuje maximální užitečnou zátěž ISO kontejneru, který má být zkoušen.



Obrázek 12 kontejner popis prvků

Osa XC (červená) je souhlasná s podélnou osou cisterny, osa YC (zelená) - směřuje svisle a osa ZC (modrá) definuje příčný směr ISO kontejneru.

Protože požadovaných zkoušek je velmi mnoho a zadávaných okrajových podmínek také, jsou vstupní podmínky uspořádány do tabulky. Pro zjednodušení jsou jednotlivé rohové prvky označeny a směr jejich fixace určen v tabulce. Definované síly a směry těchto sil jsou uvedeny přehledně do tabulky u jednotlivých zkoušek.

Samotný 3D model ISO kontejneru byl pro simulace zjednodušen z důvodu velmi vysokých požadavků na HW počítače. To znamená, že z něj byly odstraněny veškeré drobné prvky, které se přímo nepodílejí na přenosu zatížení (např. lávky pro manipulaci).

Celková prázdná hmotnost ISO kontejneru je $T = 4\,400\text{kg}$ a maximální plná hmotnost ISO kontejneru je $R = 30\,480\text{kg}$; $P = R - T$

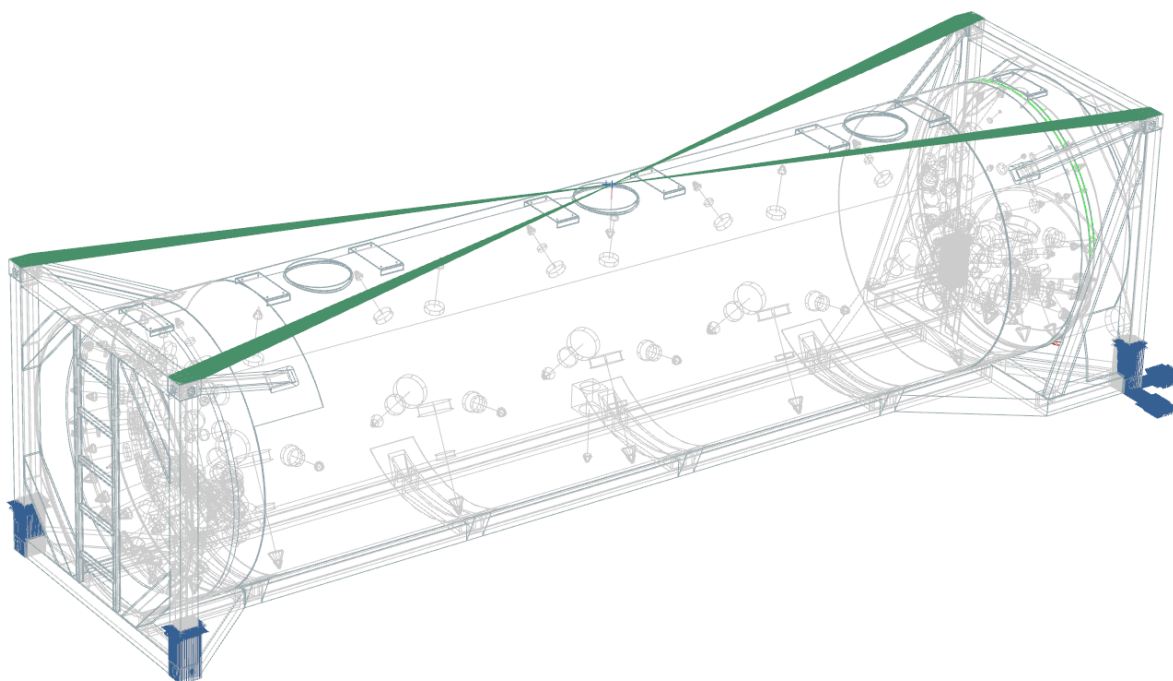
Na toto zatížení a jejich násobky je ISO kontejner navržen a zkoušen. Při návrhu ISO kontejneru není uvažováno s žádným korozním přídatkem. Vnější izolace cisterny není uvažována.

5.1 Zkouška č. 1

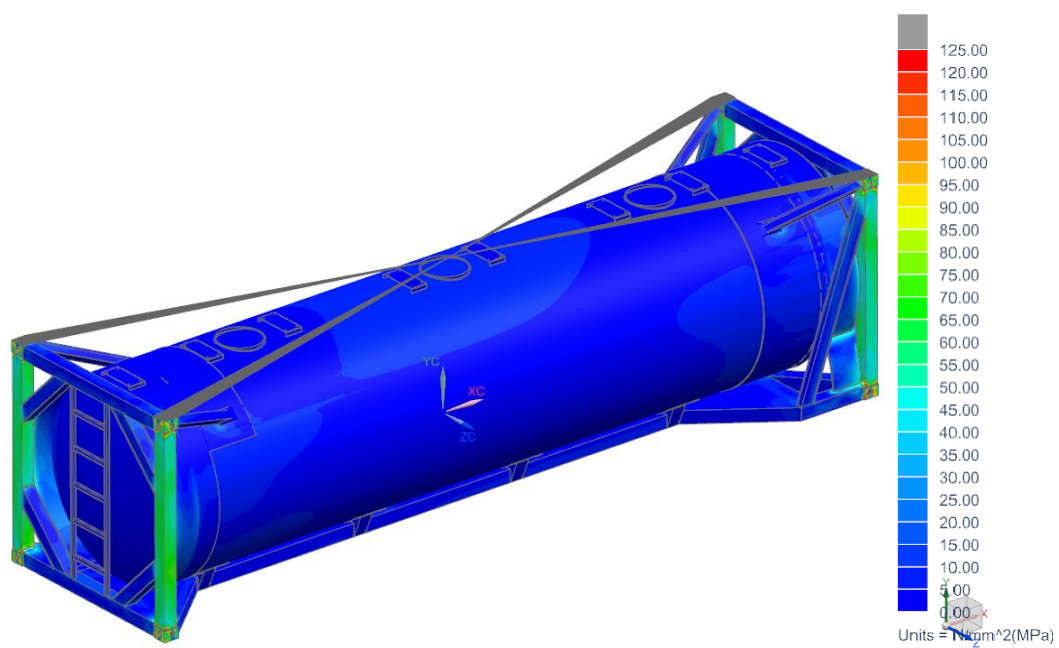
Prokázala schopnost ISO kontejneru unést hmotnost navrstvených kontejnerů, při zvážení podmínek na palubách námořních lodí a vzájemné výstřednosti mezi vrstvenými ISO kontejnery.

Tabulka 1 Zkouška č.1

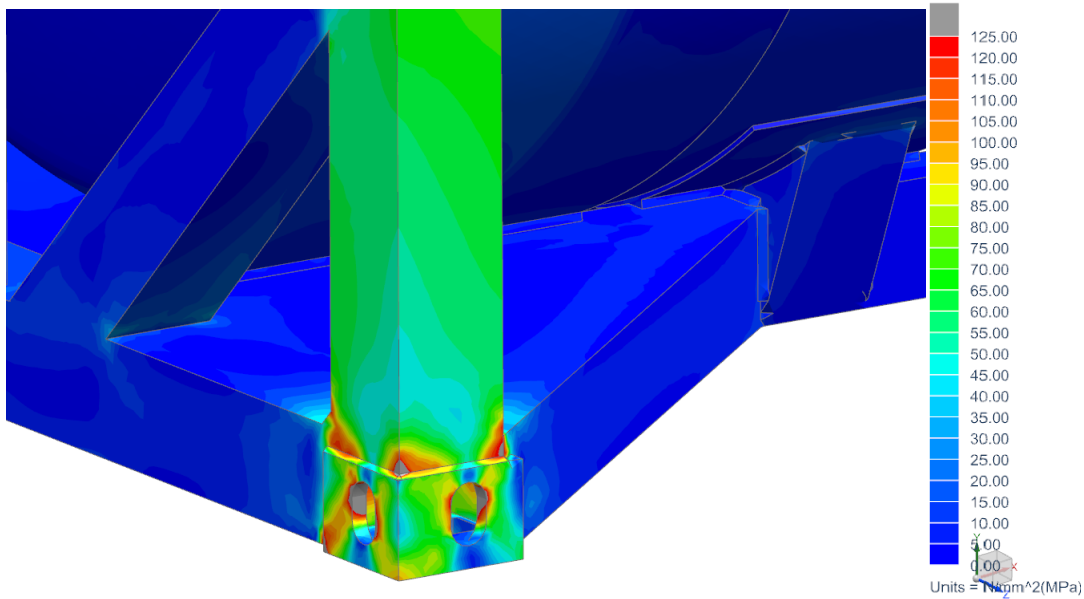
Vazba/síla	Hodnota	Směr působení	Pozn.
R. prvek A1	fix	YC	
R. prvek A2	fix	YC	
R. prvek A3	fix	YC,XC,ZC	
R. prvek A4	fix	YC	
Síla (v ose prvku)	3392000N	-YC	
Gravitační zrychlení	9,81m.s ⁻²	-YC	
Náplň	W	-YC	hydrost. tlak vody



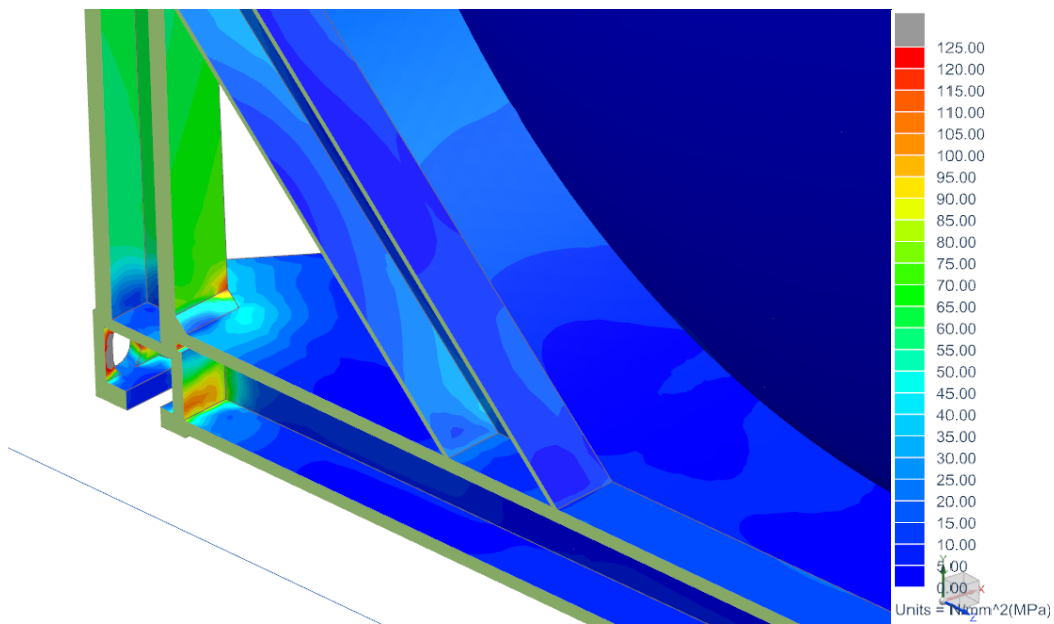
Obrázek 13 Zadání okrajových podmínek Zk.1



Obrázek 14 Výsledek simulace Zk.1

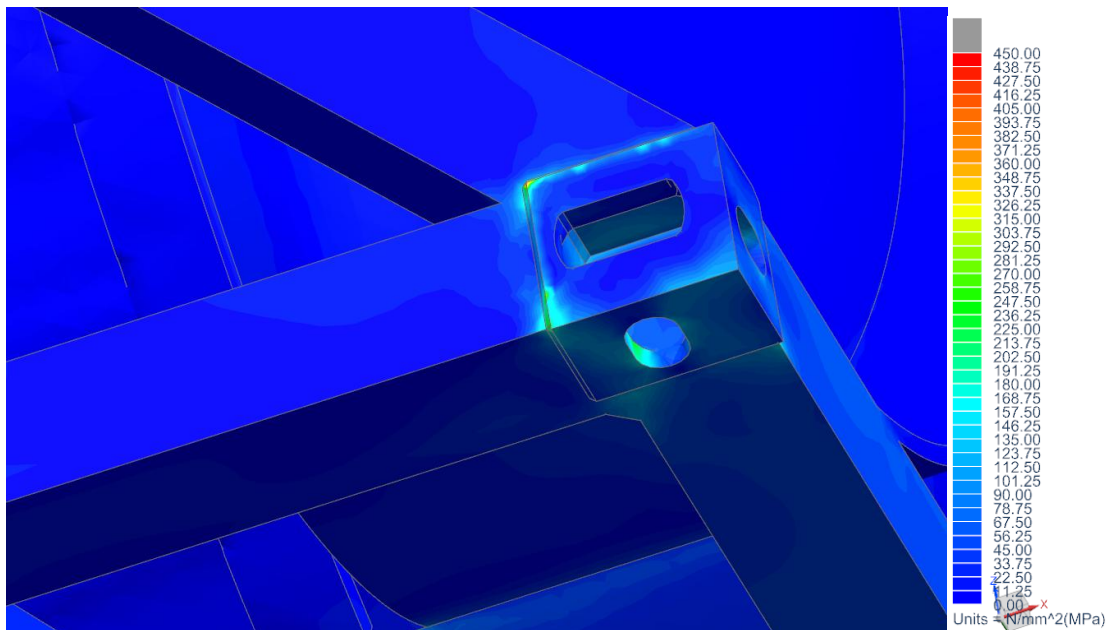


Obrázek 15 Výsledek simulace detail Zk.1



Obrázek 16 Výsledek simulace detail Zk.1

Nejvyšší hodnota zaznamenaná na ISO kontejneru při zkoušce č. 1 Stohování je 455MPa, nacházející se na spodní hraně dolních rohových prvků.



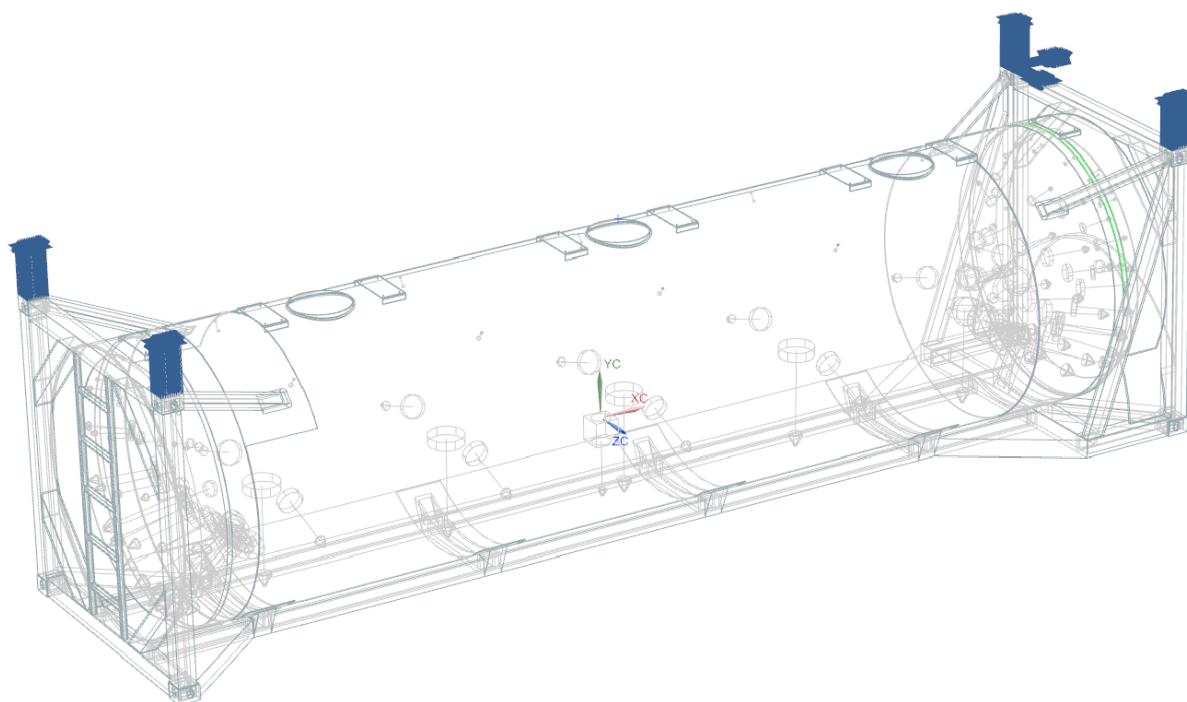
Obrázek 17 Výsledek simulace detail Zk.1

5.2 Zkouška č. 2

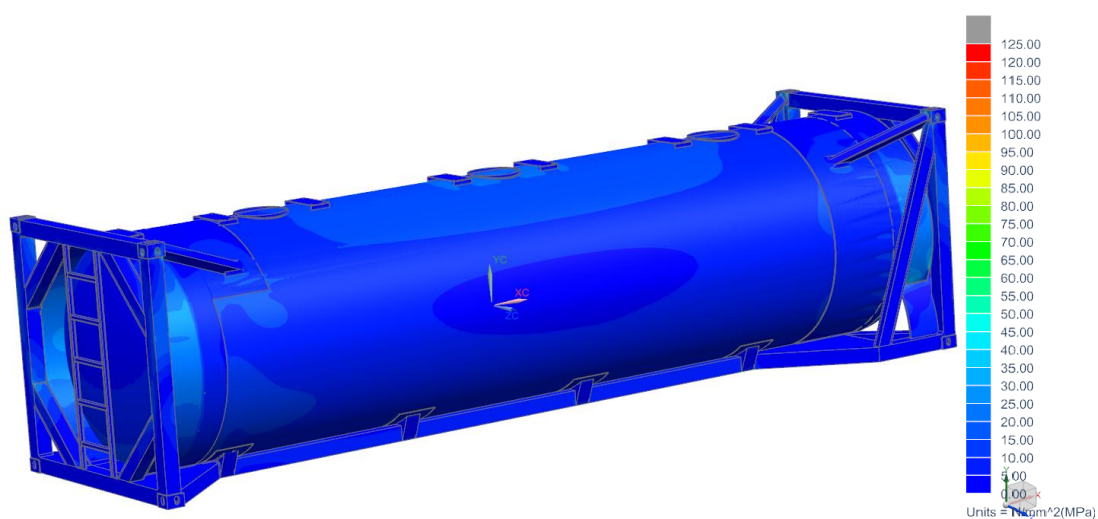
Prokázat schopnost zdvihání ISO kontejneru za čtyři horní rohové prvky při působení zdvihacích sil svisele.

Tabulka 2 Zkouška č. 2

Vazba/síla	Hodnota	Směr působení	Pozn.
R. prvek B1	fix	YC	
R. prvek B2	fix	YC	
R. prvek B3	fix	YC	
R. prvek B4	fix	YC,XC,ZC	
Gravitace	$9,81\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	-YC	
Náplň	2R-T	-YC	



Obrázek 18 Zadání okrajových podmínek Zk.2



Obrázek 19 Výsledek simulace Zk.2

Nejvyšší hodnota zaznamenaná na ISO kontejneru při zkoušce č. 2 Zdvihání je 102MPa.

5.3 Zkouška č. 3

Prokázat schopnost zdvihání ISO kontejneru za jeho čtyři dolní rohové prvky pomocí zdvihacího zařízení, která zabírají pouze za dolní rohové prvky a jsou připojena k jedinému příčnému centrálnímu zavěšenému nosníku nad ISO kontejnerem.

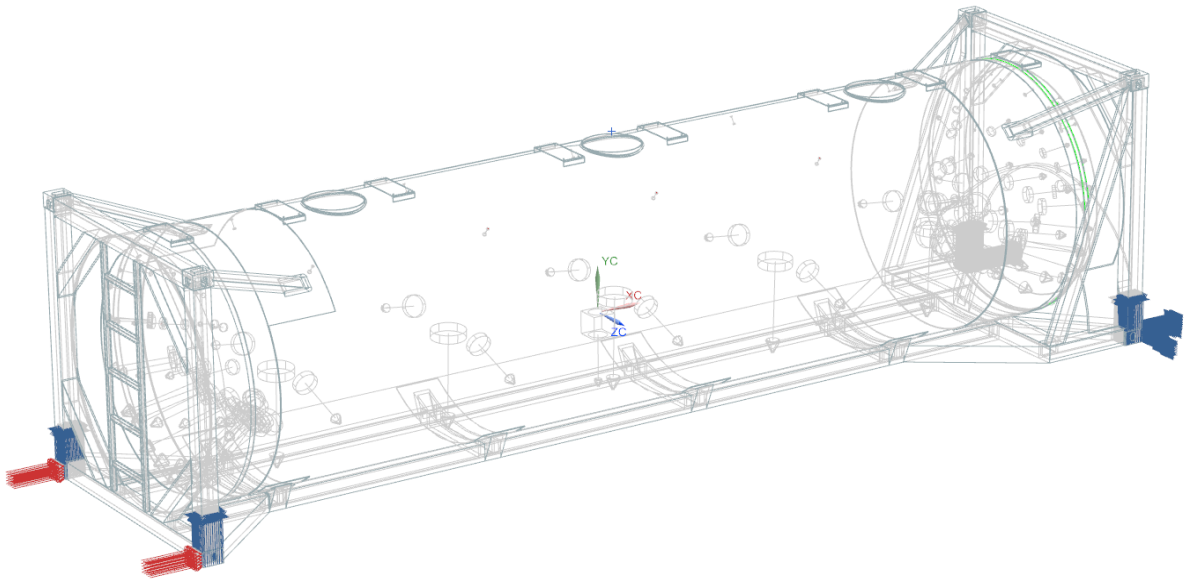
Tabulka 3 Zkouška č. 3

Vazba/síla	Hodnota	Směr působení	Pozn.
R. prvek A1	fix	YC	
R. prvek A2	fix	YC	
R. prvek A3	fix	YC,XC,ZC	
R. prvek A4	fix	YC	
Síla (v prvku A1,A2)	213522N	XC	*
Gravitace	9,81m.s ⁻²	-YC	
Náplň	2R-T	-YC	

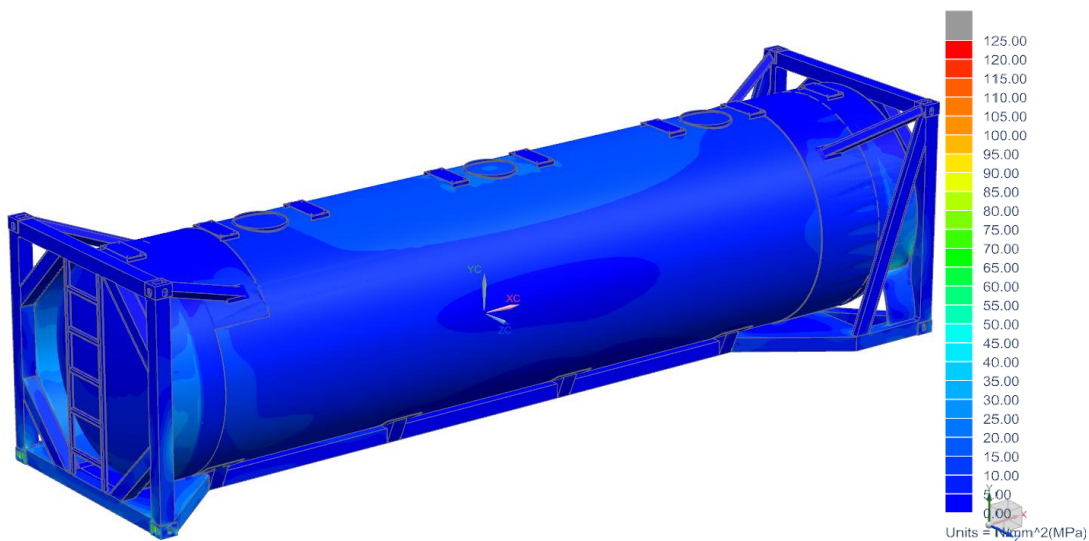
*Z podmínky stanovené normou pro hodnotu náplně cisterny 2R-T vyplývá, že na každý dolní rohový prvek působí šikmá síla o velikosti 160900N pod úhlem 37° od horizontály. Vektor této síly v ose YC má pak hodnotu 213522N. Identický výpočet s opačným směrem působení síly se provede na stěnu druhého čela.

Tabulka 4 Hodnoty pro druhé čelo ISO kontejneru

Vazba/síla	Hodnota	Směr působení	Pozn.
R. prvek A1	fix	YC,XC,ZC	
R. prvek A2	fix	YC	
R. prvek A3	fix	YC	
R. prvek A4	fix	YC	
Síla (v prvku A3,A4)	213522N	-XC	*
Gravitace	9,81m.s ⁻²	-YC	
Náplň	2R-T	-YC	



Obrázek 20 Zadání okrajových podmínek Zk.3



Obrázek 21 Výsledek simulace Zk.3

Nejvyšší hodnota zaznamenaná na ISO kontejneru při zkoušce č. 3 Zdvihání za spodek je 105MPa.

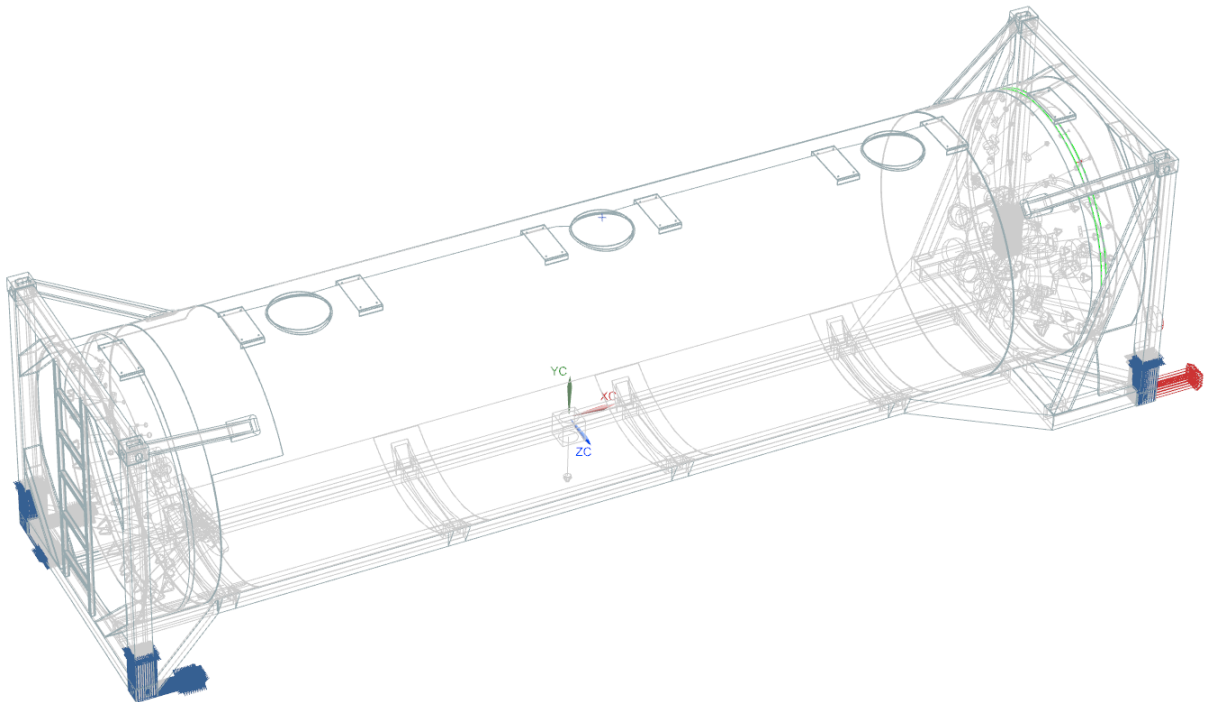
5.4 Zkouška č. 4

Prokázat schopnost ISO kontejneru snést podélné vnější namáhání za podmínek dynamického železničního provozu, ve kterém se vyskytuje zrychlení 2g.

Tato zkouška má 4 samostatné simulace. Provádí se simulace ISO kontejneru na tah i tlak a z důvodu nesymetrie obou čel je nutné tuto zkoušku opakovat i pro druhé čelo.

Tabulka 5 Zkouška č. 4 tah

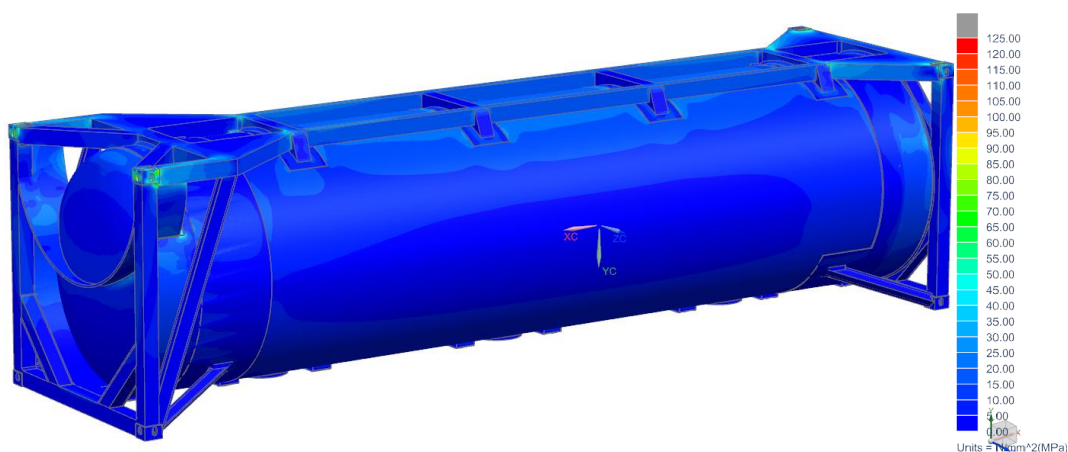
Vazba/síla - tah	Hodnota	Směr působení	Pozn.
R. prvek A1	fix	YC,XC	
R. prvek A2	fix	XC,YC,ZC	
R. prvek A3	fix	YC	
R. prvek A4	fix	YC	
Síla (v prvku A3,A4)	299000N	XC	
Gravitační zrychlení	$9,81\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	-YC	
Náplň	R-T	-YC	



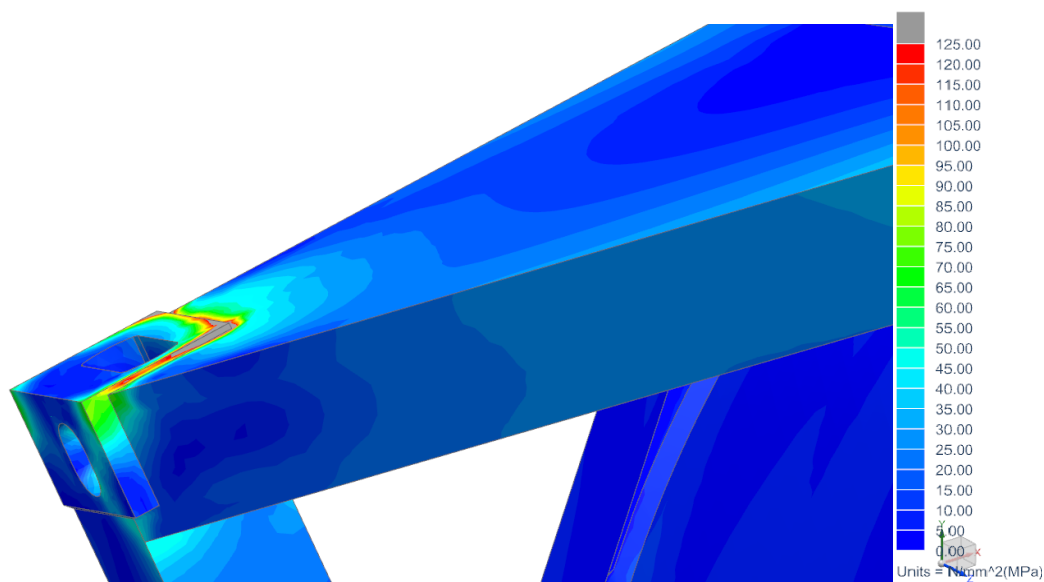
Obrázek 22 Zadání okrajových podmínek Zk.4

Tabulka 6 Zkouška č.4 tlak

Vazba/síla - tlak	Hodnota	Směr působení	Pozn.
R. prvek A1	fix	YC,XC	
R. prvek A2	fix	XC,YC,ZC	
R. prvek A3	fix	YC	
R. prvek A4	fix	YC	
Síla (v prvku A3,A4)	299000N	-XC	
Gravitační zrychlení	$9,81\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	-YC	
Náplň	R-T	-YC	

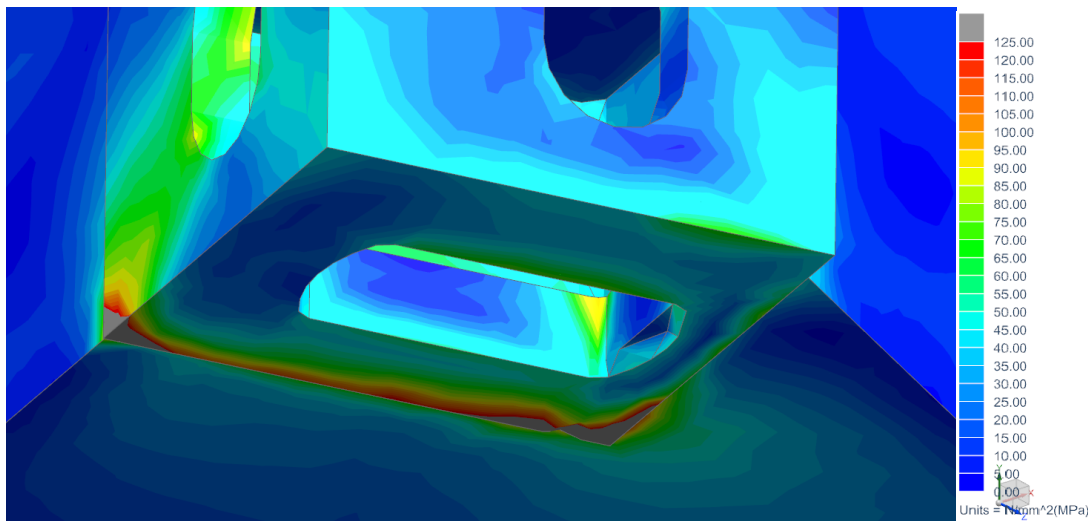


Obrázek 23 Výsledky simulace Zk.4



Obrázek 24 Výsledky simulace detail Zk.4

Nejvyšší hodnota zaznamenaná na ISO kontejneru při zkoušce č. 4 Dynamická podélná odolnost_tah je 600MPa.



Obrázek 25 Výsledky simulace detail Zk.4

Nejvyšší hodnota zaznamenaná na ISO kontejneru při zkoušce č. 4 Dynamická podélná odolnost_tlak je 527MPa.

Zkoušky pro druhé čelo jsou identické, a proto budou uvedeny pouze okrajové podmínky.

Tabulka 7 Zkouška č. 4 tah - druhé čelo

Vazba/síla - tah	Hodnota	Směr působení	Pozn.
R. prvek A1	fix	YC	
R. prvek A2	fix	YC	
R. prvek A3	fix	YC,XC	
R. prvek A4	fix	XC,YC,ZC	
Síla (v prvku A1,A2)	299000N	-XC	
Gravitační zrychlení	9,81m.s ⁻²	-YC	
Náplň	R-T	-YC	

Tabulka 8 Zkouška č. 4 tlak - druhé čelo

Vazba/síla - tlak	Hodnota	Směr působení	Pozn.
R. prvek A1	fix	YC	
R. prvek A2	fix	YC	
R. prvek A3	fix	YC,XC	
R. prvek A4	fix	XC,YC,ZC	
Síla (v prvku A1,A2)	299000N	XC	
Gravitační zrychlení	9,81m.s ⁻²	-YC	
Náplň	R-T	-YC	

Nejvyšší hodnota zaznamenaná na ISO kontejneru při zkoušce č. 4 Dynamická podélná odolnost_tah pro druhé čelo je 526MPa.

Nejvyšší hodnota zaznamenaná na ISO kontejneru při zkoušce č. 4 Dynamická podélná odolnost_tlak pro druhé čelo je 380MPa.

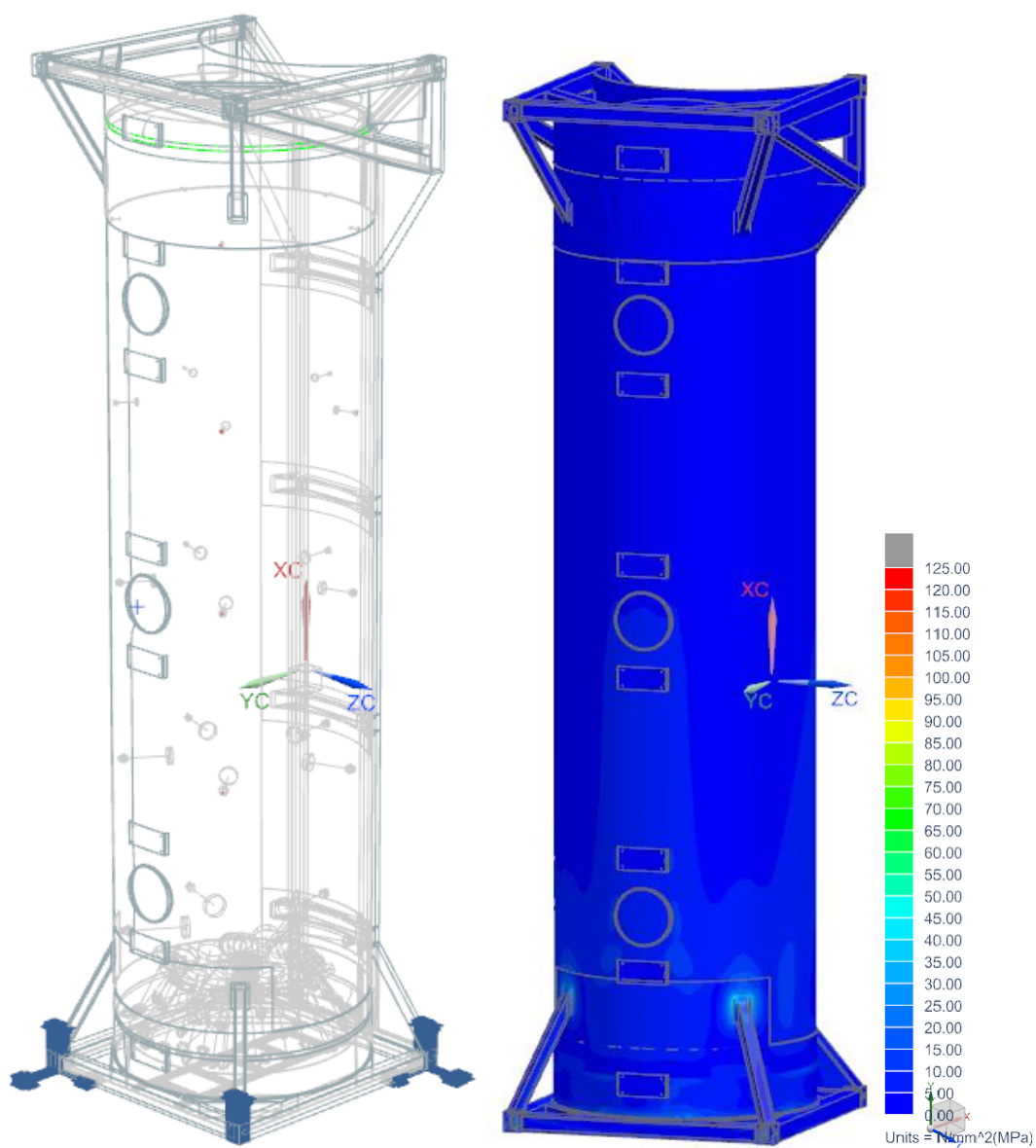
5.5 Zkouška č. 5

Prokázat schopnost ISO kontejneru snést účinky setrvačných sil obsahu nádržky jak na samotnou cisternu, tak na spojení cisterna-rám za podmínek podélného zrychlení.

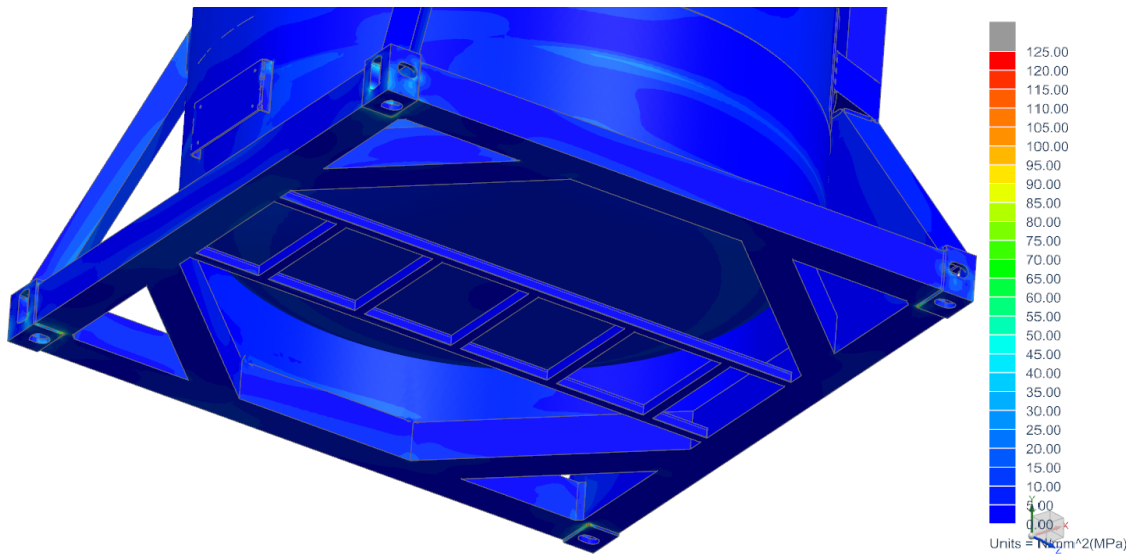
U této zkoušky je nutné provést simulace pro obě čela z důvodu jejich nesymetrie.

Tabulka 9 Zkouška č. 5

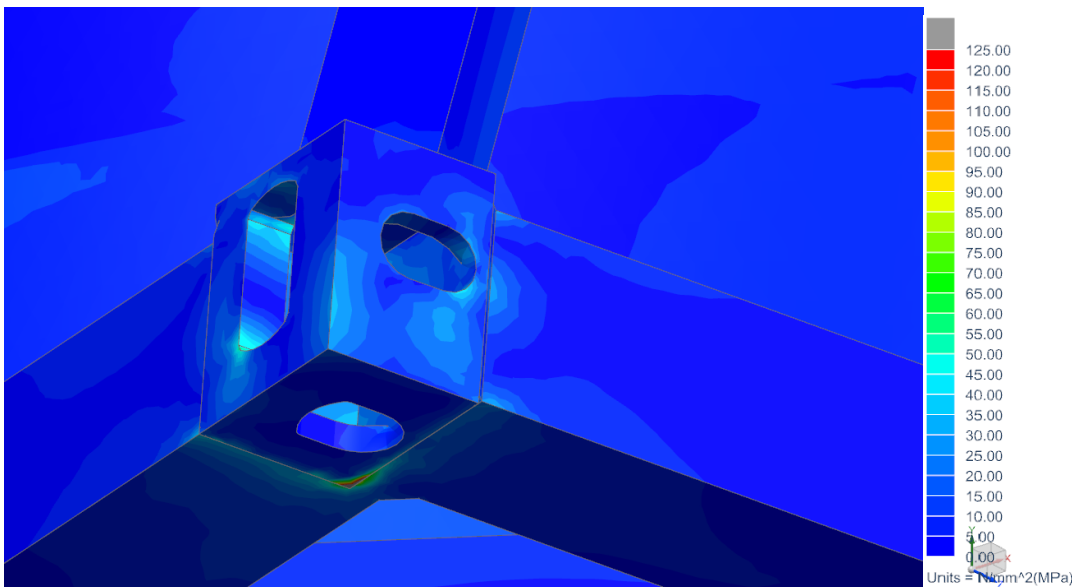
Vazba/síla	Hodnota	Směr působení	Pozn.
R. prvek A1	fix	XC,YC,ZC	
R. prvek A2	fix	XC	
R. prvek B1	fix	XC	
R. prvek B2	fix	XC,YC,ZC	
Gravitační zrychlení	9,81m.s ⁻²	-XC	
Náplň	R-T	-XC	



Obrázek 26 Zadání okrajových podmínek a výsledky simulace Zk.5



Obrázek 27 Výsledky simulace detail Zk.5



Obrázek 28 Výsledky simulace detail Zk.5

Nejvyšší hodnota zaznamenaná na ISO kontejneru při zkoušce č. 5 Vnitřní podélná odolnost je 241Mpa.

Tabulka 10 Zkouška č. 5 - druhé čelo

Vazba/síla	Hodnota	Směr působení	Pozn.
R. prvek A3	fix	XC,YC,ZC	
R. prvek A4	fix	XC	
R. prvek B3	fix	XC	
R. prvek B4	fix	XC,YC,ZC	
Gravitační zrychlení	$9,81\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	XC	
Náplň	R-T	XC	

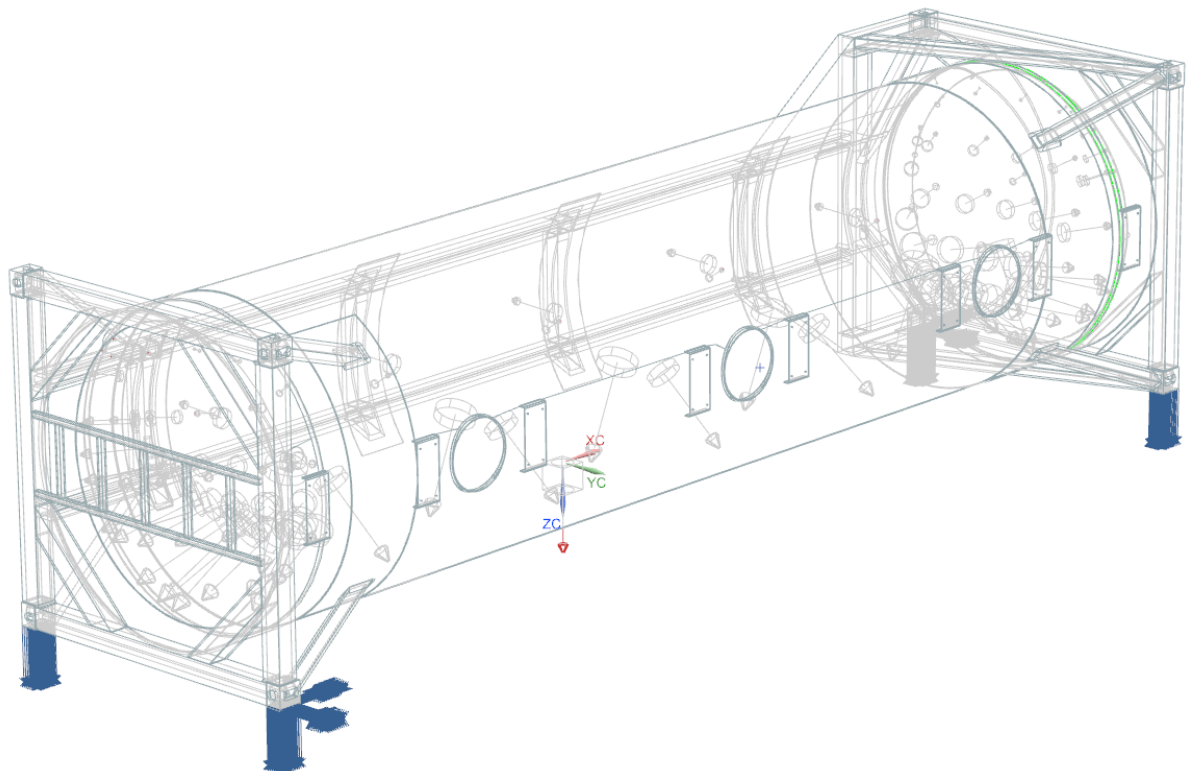
Nejvyšší hodnota zaznamenaná na ISO kontejneru při zkoušce č. 5 Vnitřní podélná odolnost pro druhé čelo je 195MPa.

5.6 Zkouška č. 6

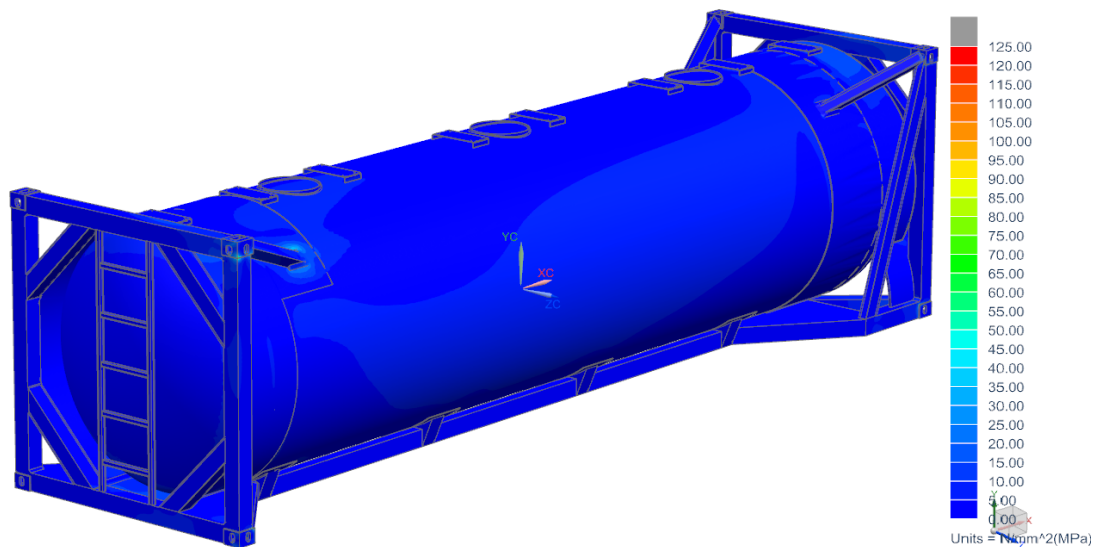
Prokázat schopnost ISO kontejneru snést účinky setrvačných sil obsahu nádržky jak na samotnou cisternu, tak na spojení cisterna-rám za podmínek podélného zrychlení.

Tabulka 11 Zkouška č. 6

Vazba/síla	Hodnota	Směr působení	Pozn.
R. prvek A1	fix	ZC	
R. prvek A3	fix	XC,YC,ZC	
R. prvek B1	fix	XC,YC,ZC	
R. prvek B3	fix	ZC	
Gravitační zrychlení	$9,81\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	ZC	
Náplň	R-T	ZC	



Obrázek 29 Zadání okrajových podmínek Zk.6



Obrázek 30 Výsledky simulace Zk.6

Nejvyšší hodnota zaznamenaná na ISO kontejneru při zkoušce č. 6 Vnitřní příčné odolnosti je 114 MPa.

5.7 Zkouška č. 7

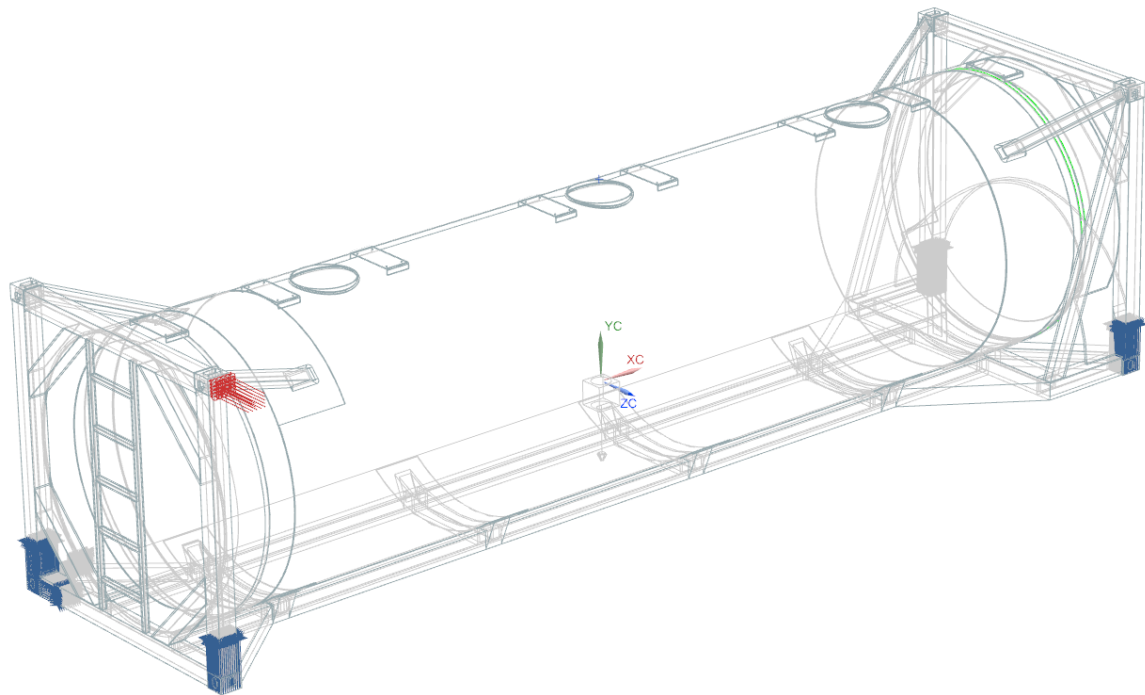
Prokázat schopnost ISO kontejneru snést příčné kosící síly vznikající při pohybu lodi.

Tato zkouška má 4 samostatné simulace. Provádí se simulace ISO kontejneru na tah i tlak a z důvodu nesymetrie obou čel je nutné tuto zkoušku opakovat i pro druhé čelo.

Zadní čelo:

Tabulka 12 Zkouška č. 7 tlak

Vazba/síla - tlak	Hodnota	Směr působení	Pozn.
R. prvek A1	fix	YC	
R. prvek A2	fix	XC,YC,ZC	
R. prvek A3	fix	YC	
R. prvek A4	fix	YC	
Síla (v prvku B1)	150000N	-ZC	
Gravitační zrychlení	9,81m.s ⁻²	-YC	



Obrázek 31 Zadání okrajových podmínek Zk.7

Tabulka 13 Zkouška č. 7 tah

Vazba/síla - tah	Hodnota	Směr působení	Pozn.
R. prvek A1	fix	YC	
R. prvek A2	fix	XC,YC,ZC	
R. prvek A3	fix	YC	
R. prvek A4	fix	YC	
Síla (v prvku B1)	150000N	ZC	
Gravitační zrychlení	$9,81\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	-YC	

Přední čelo:

Tabulka 14 Zkouška č. 7 tlak - druhé čelo

Vazba/síla - tlak	Hodnota	Směr působení	Pozn.
R. prvek A1	fix	YC	
R. prvek A2	fix	YC	
R. prvek A3	fix	YC	
R. prvek A4	fix	XC,YC,ZC	
Síla (v prvku B3)	150000N	-ZC	
Gravitační zrychlení	$9,81\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	-YC	

Tabulka 15 Zkouška č. 7 tah - druhé čelo

Vazba/síla - tah	Hodnota	Směr působení	Pozn.
R. prvek A1	fix	YC	
R. prvek A2	fix	YC	
R. prvek A3	fix	YC	
R. prvek A4	fix	XC,YC,ZC	
Síla (v prvku B3)	150000N	ZC	
Gravitační zrychlení	9,81m.s ⁻²	-YC	

Tabulka 16 Výsledky zkoušek č. 7

Zkouška	Výsledek MPa
Zadní čelo tlak	78
Zadní čelo tah	79
Přední čelo tlak	119
Přední čelo tah	109

5.8 Zkouška č. 8

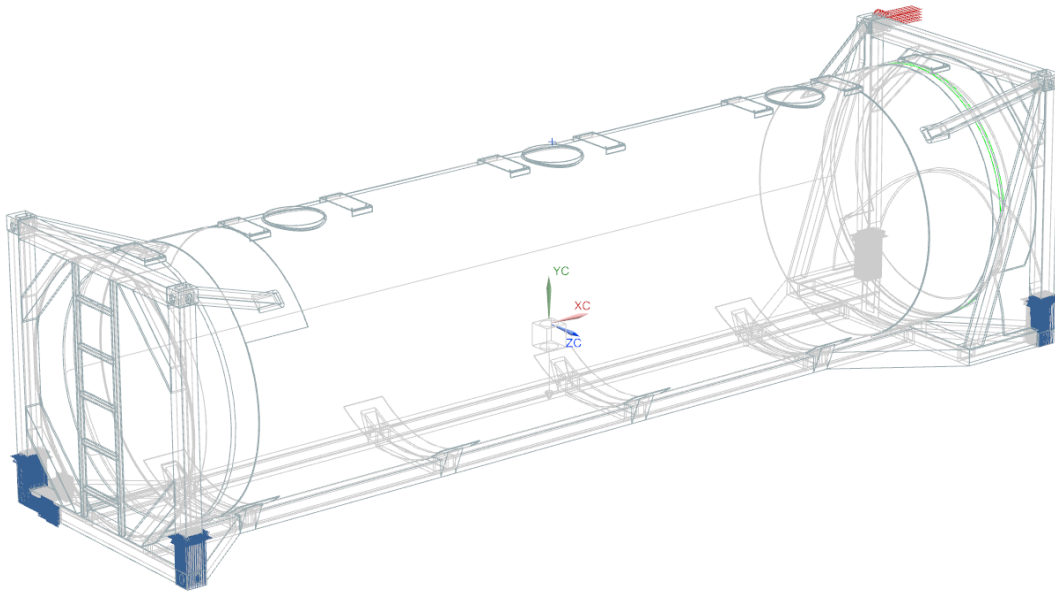
Prokázat schopnost ISO kontejneru snést účinky podélných kosících sil, které vznikají při pohybu lodi.

Tato zkouška má 4 samostatné simulace. Provádí se simulace ISO kontejneru na tah i tlak a z důvodu nesymetrie obou čel je nutné tuto zkoušku opakovat i pro druhé čelo.

Přední čelo:

Tabulka 17 Zkouška č. 8 tlak

Vazba/síla - tlak	Hodnota	Směr působení	Pozn.
R. prvek A1	fix	YC	
R. prvek A2	fix	XC,YC,ZC	
R. prvek A3	fix	YC	
R. prvek A4	fix	YC	
Síla (v prvku B4)	75000N	-XC	
Gravitační zrychlení	9,81m.s ⁻²	-YC	



Obrázek 32 Zadání okrajových podmínek Zk.8

Tabulka 18 Zkouška č. 8 tah

Vazba/síla - tah	Hodnota	Směr působení	Pozn.
R. prvek A1	fix	YC	
R. prvek A2	fix	XC,YC,ZC	
R. prvek A3	fix	YC	
R. prvek A4	fix	YC	
Síla (v prvku B4)	75000N	XC	
Gravitační zrychlení	9,81m.s ⁻²	-YC	

Zadní čelo:

Tabulka 19 Zkouška č. 8 tlak

Vazba/síla - tlak	Hodnota	Směr působení	Pozn.
R. prvek A1	fix	YC	
R. prvek A2	fix	YC	
R. prvek A3	fix	YC	
R. prvek A4	fix	XC,YC,ZC	
Síla (v prvku B2)	75000N	XC	
Gravitační zrychlení	9,81m.s ⁻²	-YC	

Tabulka 20 Zkouška č. 8 tah

Vazba/síla - tah	Hodnota	Směr působení	Pozn.
R. prvek A1	fix	YC	
R. prvek A2	fix	YC	
R. prvek A3	fix	YC	
R. prvek A4	fix	XC,YC,ZC	
Síla (v prvku B2)	75000N	-XC	
Gravitační zrychlení	9,81m.s ⁻²	-YC	

Tabulka 21 Výsledky zkoušek č. 8

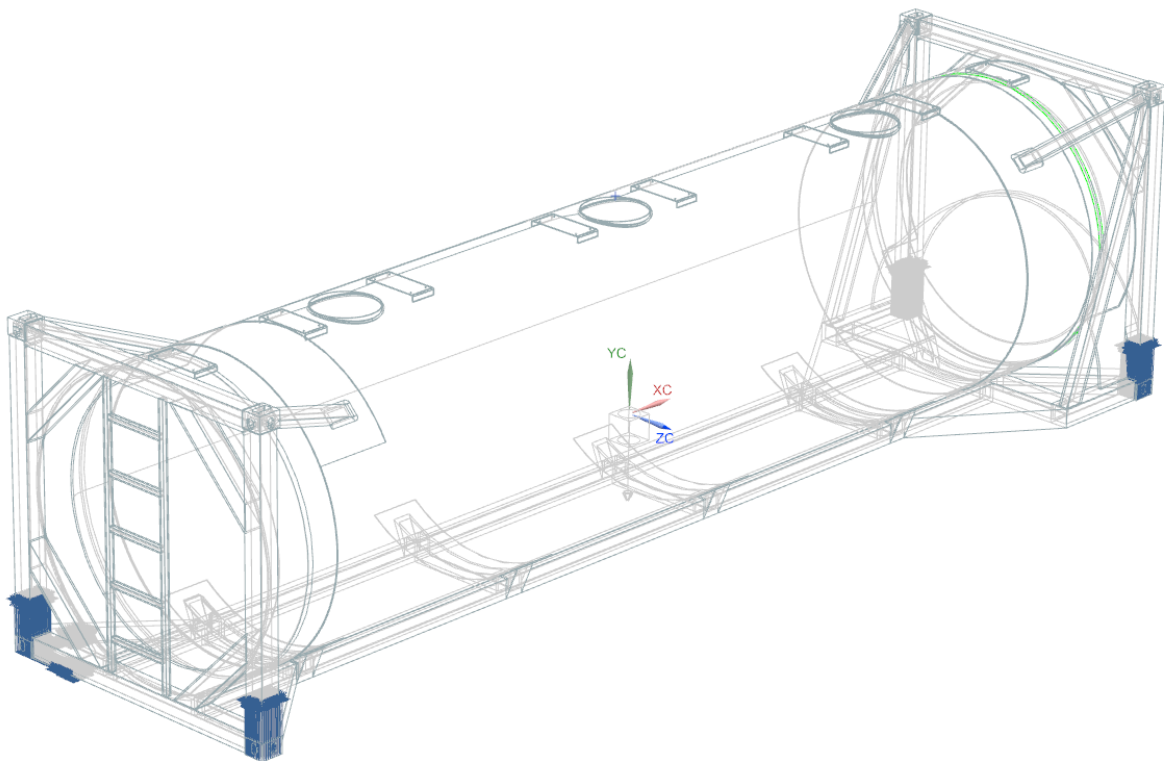
Zkouška	Výsledek MPa
Zadní čelo tlak	60
Zadní čelo tah	66
Přední čelo tlak	84
Přední čelo tah	88

5.9 Zkouška č. 9

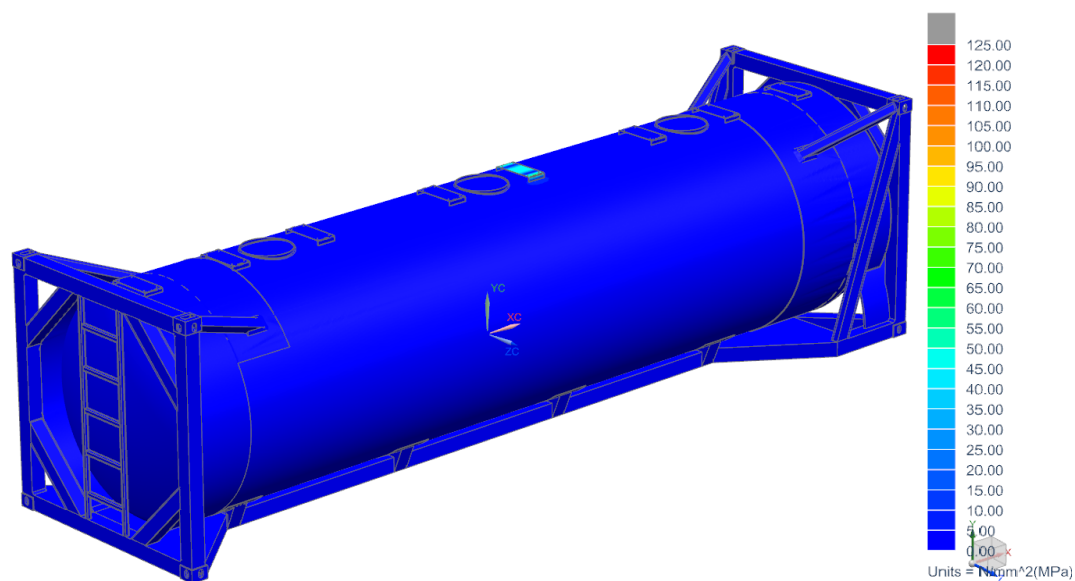
Schopnost lávky snést zátěž vyvozenou osobami, které na ni pracují.

Tabulka 22 Zkouška č. 9

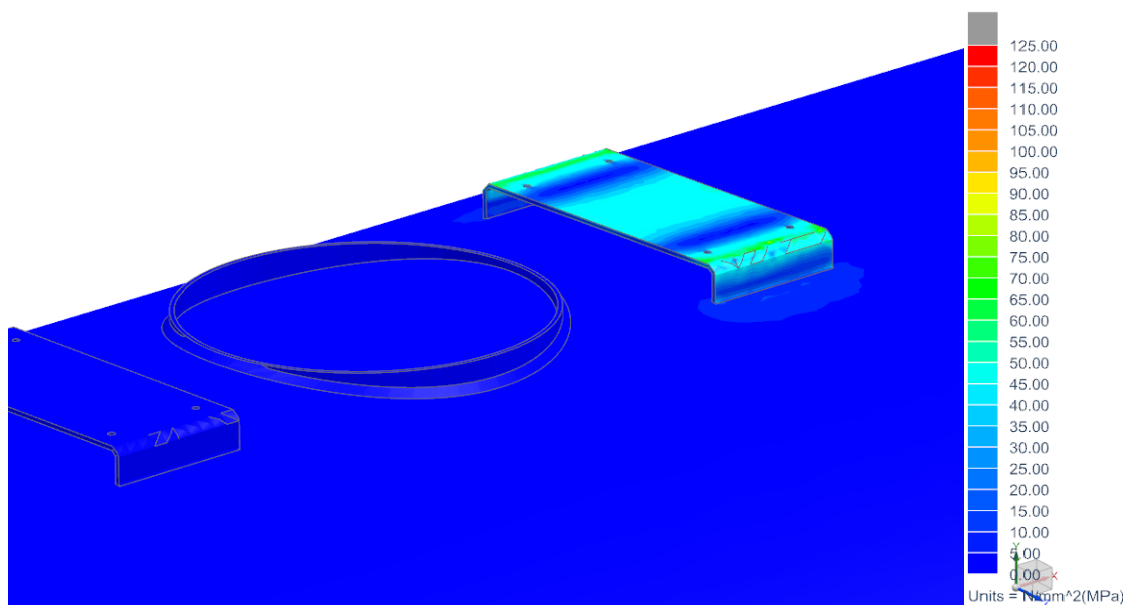
Vazba/síla	Hodnota	Směr působení	Pozn.
R. prvek A1	fix	YC	
R. prvek A2	fix	XC,YC,ZC	
R. prvek A3	fix	YC	
R. prvek A4	fix	YC	
Síla (držák lávky)	3000N	-YC	Plocha 600x300mm
Gravitační zrychlení	$9,81\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	-YC	



Obrázek 33 Zadání okrajových podmínek Zk.10



Obrázek 34 Výsledky simulace Zk.10



Obrázek 35 Výsledky simulace detail Zk.10

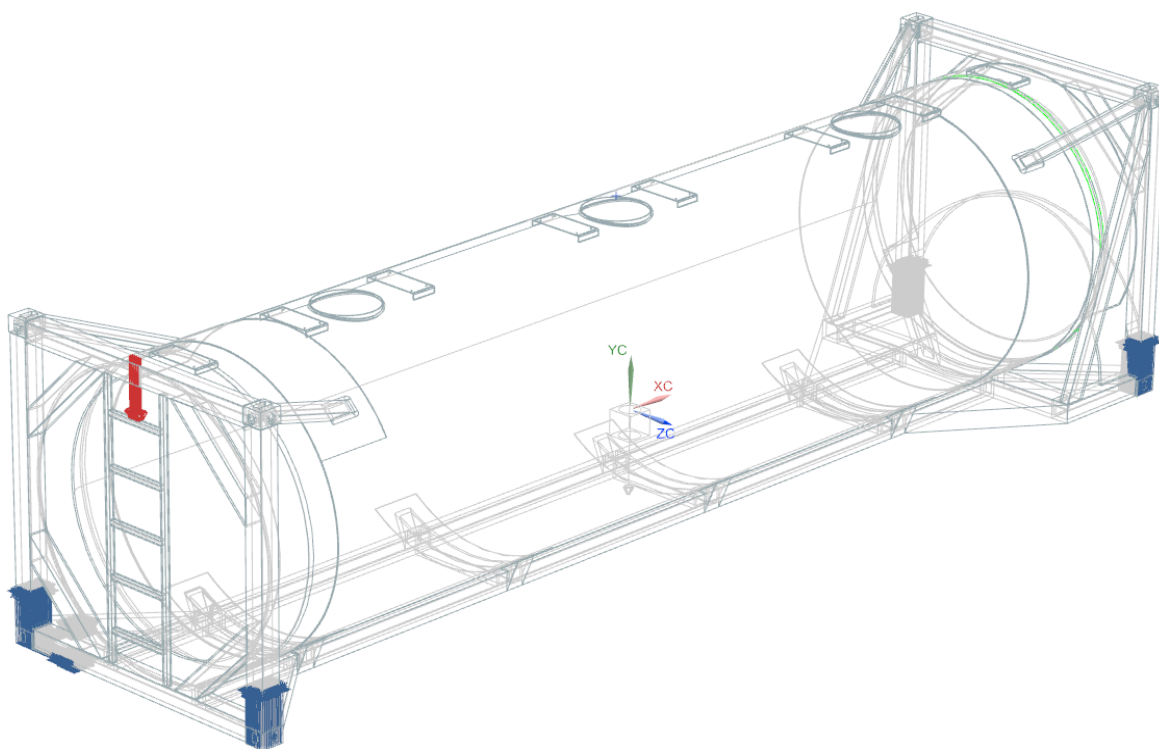
Nejvyšší hodnota zaznamenaná na ISO kontejneru při zkoušce č. 10 Lávka je 84MPa.

5.10 Zkouška č. 10

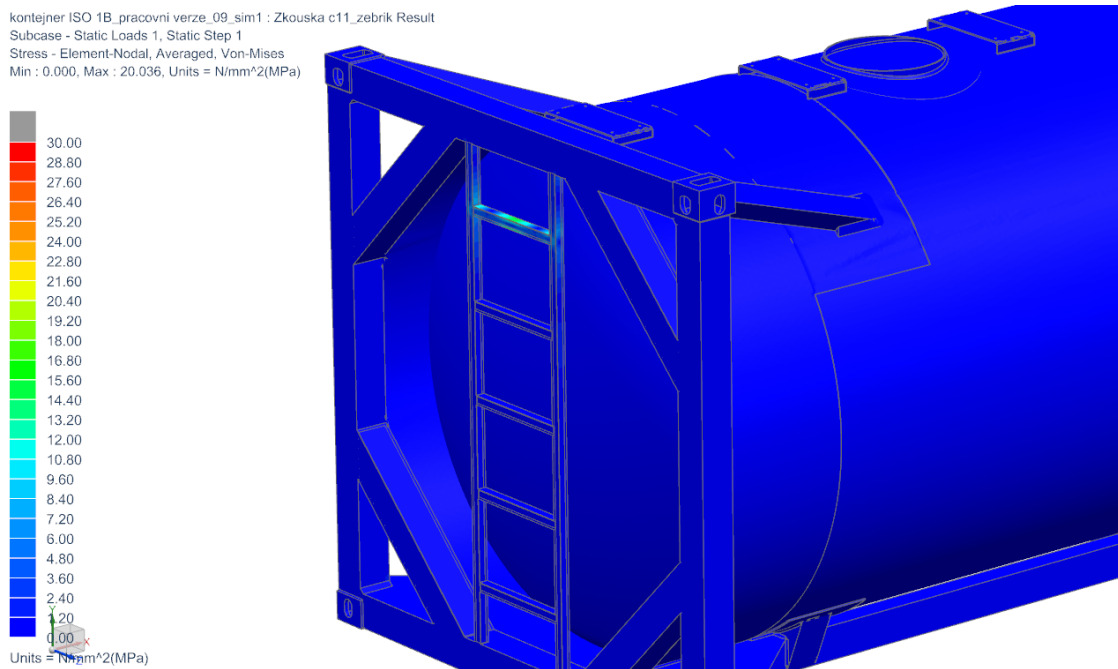
Schopnost žebříku snést zátěž vyvozenou osobami, které na ni pracují.

Tabulka 23 Zkouška č. 10

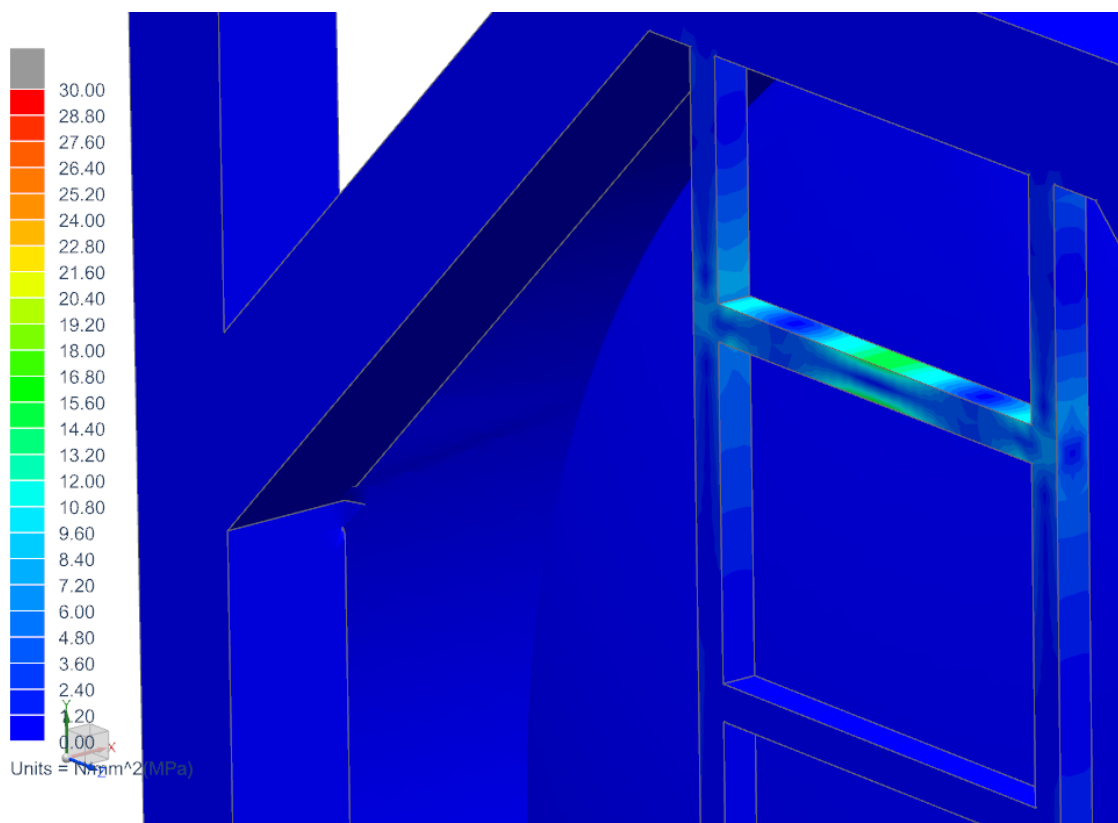
Vazba/síla	Hodnota	Směr působení	Pozn.
R. prvek A1	fix	YC	
R. prvek A2	fix	XC,YC,ZC	
R. prvek A3	fix	YC	
R. prvek A4	fix	YC	
Síla (příčka)	2000N	-YC	
Gravitační zrychlení	$9,81\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	-YC	



Obrázek 36 Zadání okrajových podmínek Zk.11



Obrázek 37 Výsledky simulace Zk.11



Obrázek 38 Výsledky simulace detail Zk.11

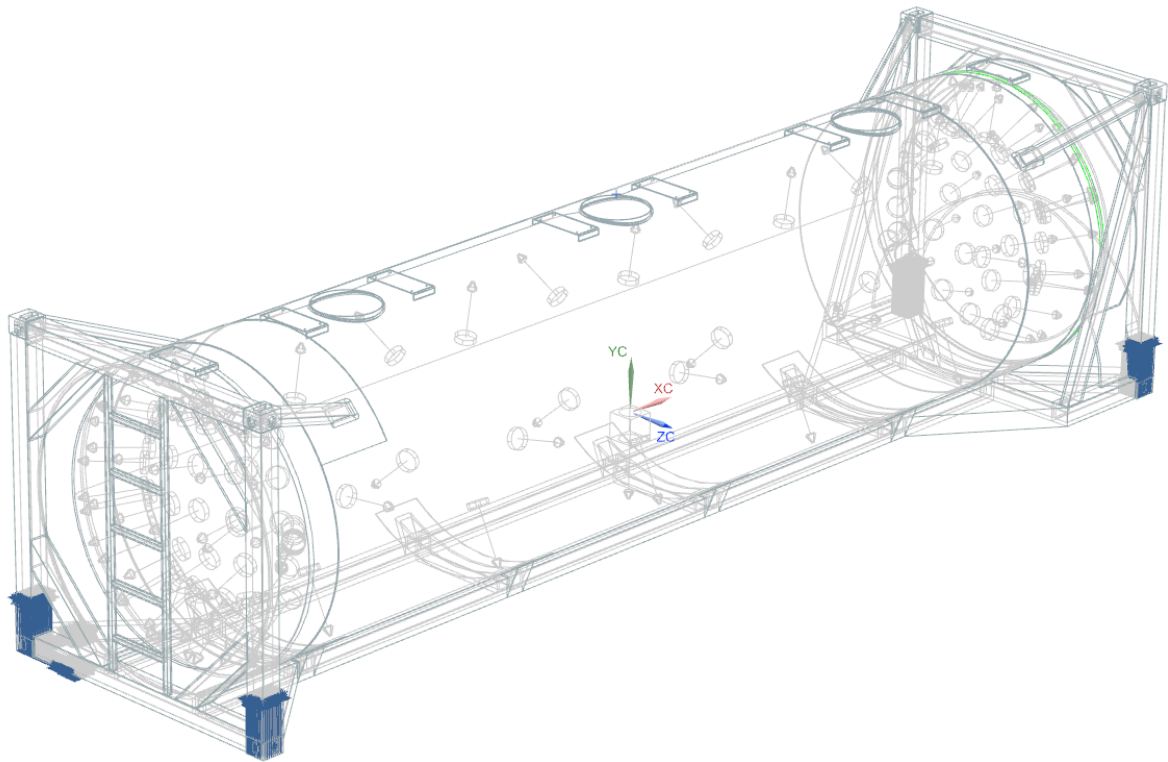
Nejvyšší hodnota zaznamenaná na ISO kontejneru při zkoušce č. 11 Žebřík je 21MPa.

5.11 Zkouška č. 11

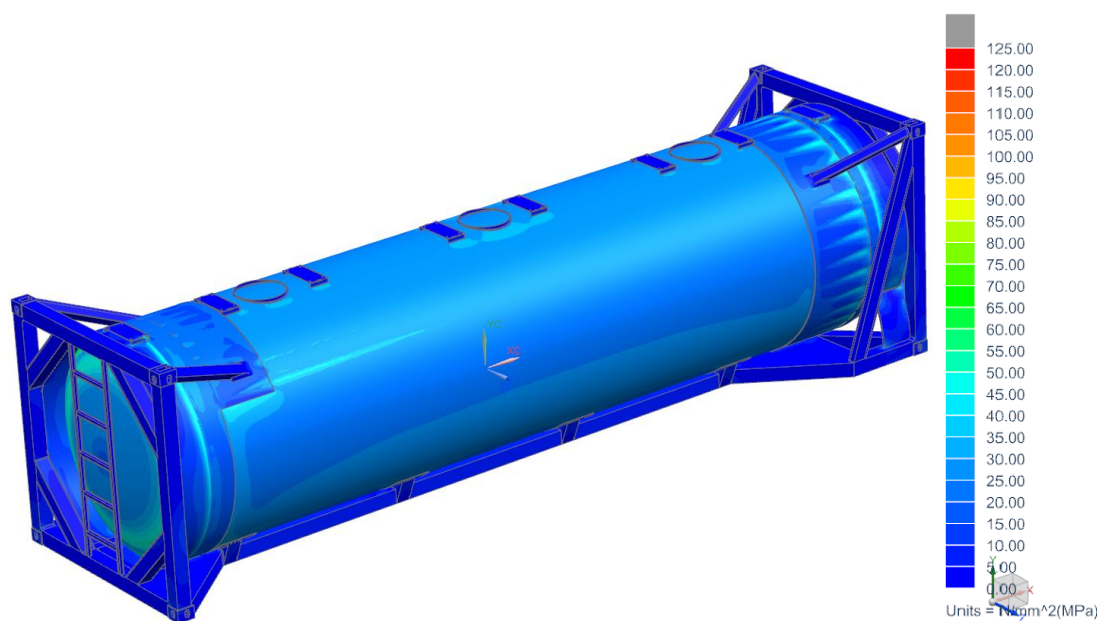
Schopnost ISO kontejneru snést vnitřní přetlak.

Tabulka 24 Zkouška č. 11

Vazba/síla	Hodnota	Směr působení	Pozn.
R. prvek A1	fix	YC	
R. prvek A2	fix	XC,YC,ZC	
R. prvek A3	fix	YC	
R. prvek A4	fix	YC	
Gravitační zrychlení	$9,81\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	-YC	
Náplň	W	-YC	Přetlak 2,86bar



Obrázek 39 Zadání okrajových podmínek Zk.12



Obrázek 40 Výsledky simulace Zk.12

Nejvyšší hodnota zaznamenaná na ISO kontejneru při zkoušce č. 12 Tlaková zkouška je 119MPa.

5.12 Vyhodnocení výsledků simulace

Tabulka 25 Vyhodnocení zkoušek

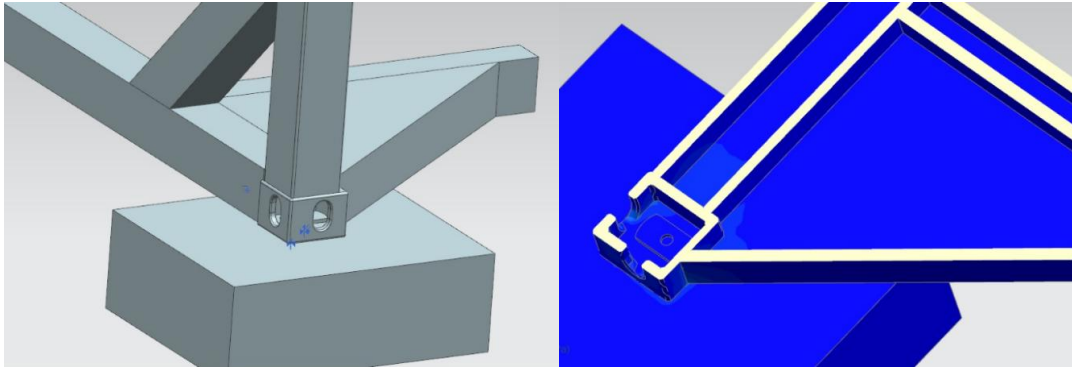
Zkouška	Typ zkoušky	Zatížení	Napětí v konstrukci [MPa]	Napětí v rohovém prvku [MPa]
1	Stohování	3392kN	115	455
2	Zdvíhání za horní prvky	2R=60960kg	50	102
3	Zdvíhání za spodek	2R=60960kg	124	105
4_1	Vnější odolnost podélná_TAH	299kN	90	600
4_2	Vnější odolnost podélná_TLAK	299kN	97	527
4_3	Vnější odolnost podélná_TAH	299kN	99	527
4_4	Vnější odolnost podélná_TLAK	299kN	88	380
5_1	Vnitřní odolnost podélná	R=30480kg	75	241
5_2	Vnitřní odolnost podélná	R=30480kg	55	195
6	Vnitřní odolnost příčná	R=30480kg	25	114
7_1	Tuhost příčná_TLAK	150kN	78	78
7_2	Tuhost příčná_TAH	150kN	79	79
7_3	Tuhost příčná_TLAK	150kN	85	119
7_4	Tuhost příčná_TAH	150kN	80	109
8_1	Tuhost podélná_TLAK	75kN	84	15
8_2	Tuhost podélná_TAH	75kN	88	15
8_3	Tuhost podélná_TLAK	75kN	60	15
8_4	Tuhost podélná_TAH	75kN	66	15
10	Lávka	3kN	85	5
11	Žebřík	2kN	20	5
12	Tlaková zkouška	2,86bar	114	5

Z tabulky vyplývá, že při simulacích zkoušek č. 1 Stohování, č. 4 Vnější odolnost podélná a č. 5 Vnitřní odolnost podélná, byly překročeny dovolené hodnoty napětí v hliníkové slitině stanovené na 125MPa. Při podrobnější analýze provedených simulací je možné konstatovat, že zjištěné maximální hodnoty napětí se vyskytují vždy v místě horních nebo dolních rohových prvků. Hodnoty napětí ve zbylé geometrii navržené konstrukce jsou do limitu dovoleného napětí stanoveného výpočtem.

Pro přesnější informace o velikosti namáhání v rohovém prvku při zkoušce byla vytvořena kontaktní úloha.

5.12.1 Kontaktní úloha

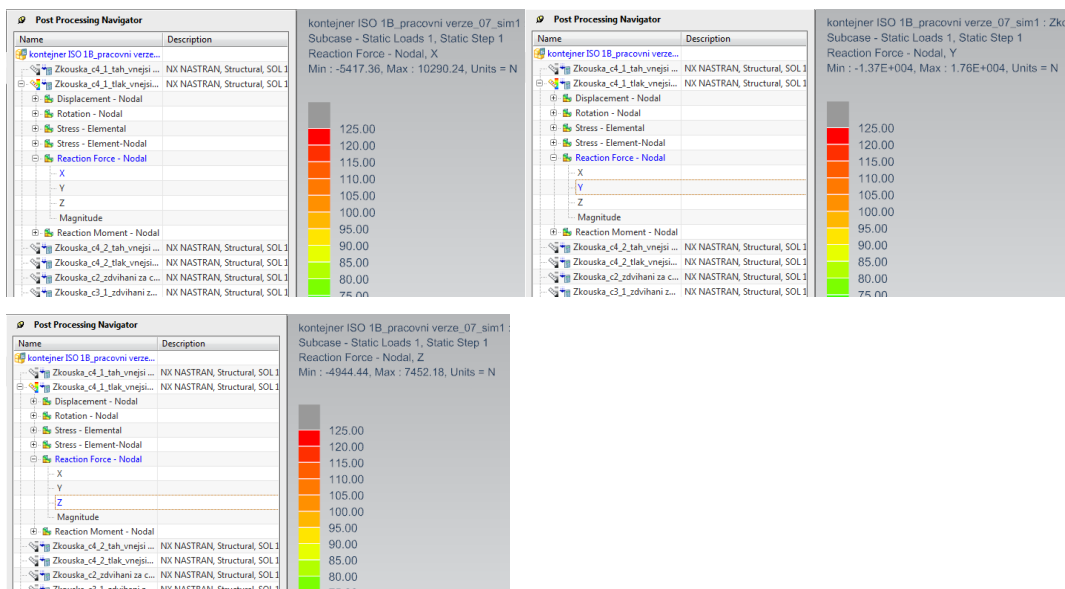
Jedná se o vybranou část geometrie ISO kontejneru, konkrétně předního čela ISO kontejneru a jeho levého spodního rohového prvku. Takto vytvořená detailní geometrie byla umístěna na skutečný prvek fixující ISO kontejner při provozu.



Obrázek 41 Kontaktní úloha

Okrajovými podmínkami pro tuto kontaktní úlohu byla zvolena zkouška č. 4 Vnější odolnost podélná tlak. Ze simulace zkoušky č. 4 byly odečteny hodnoty síly ve směru XC, YC a ZC.

Tyto síly pak byly použity jako podmínky pro kontaktní úlohu.

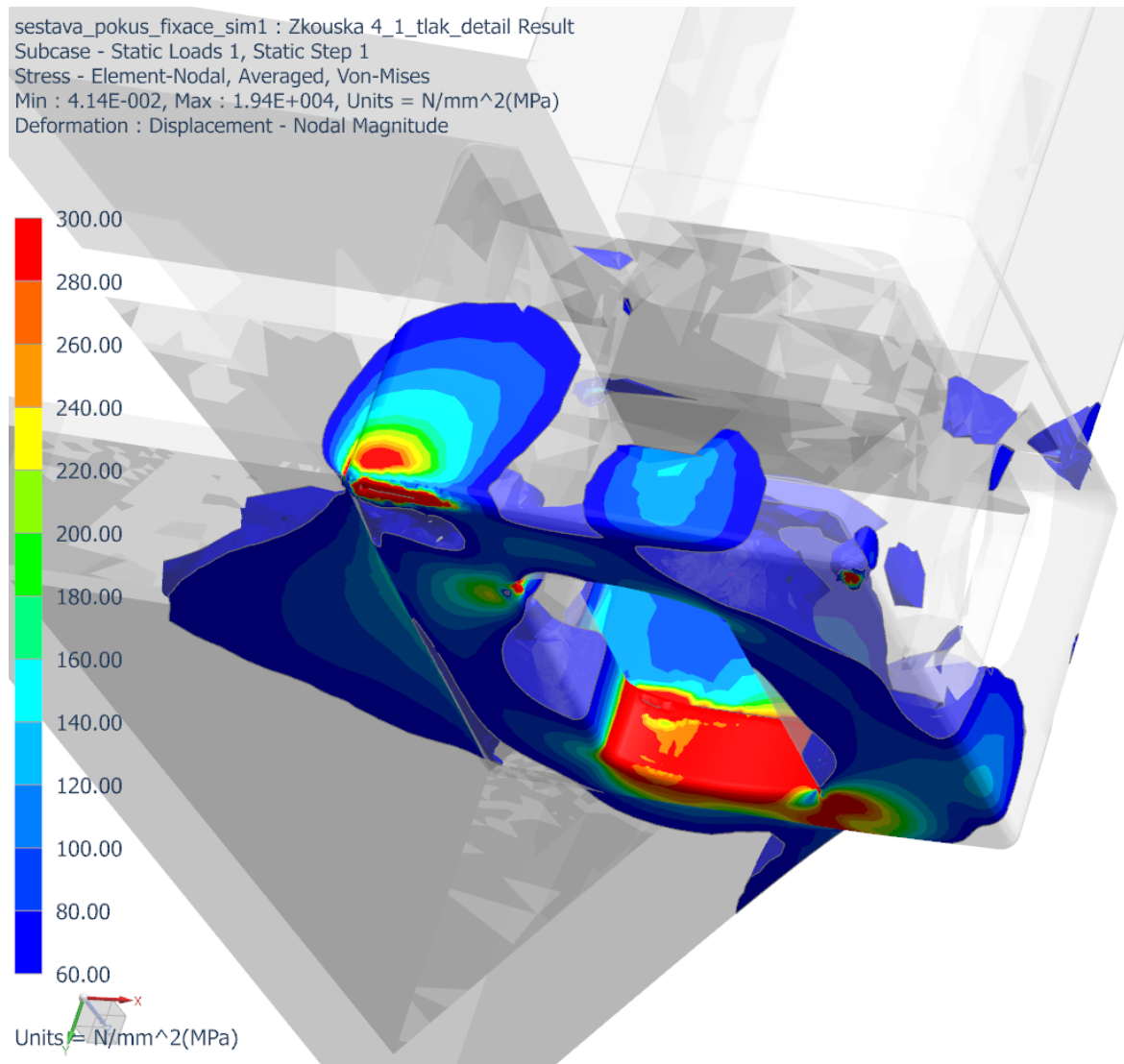


Obrázek 42 Vstupní data kontaktní úlohy

Tabulka 26 Hodnoty pro kontaktní úlohu

Směr síly	N
XC	$2,783 \cdot 10^5$
YC	$9,108 \cdot 10^4$
ZC	0

Po zatížení a provedené simulaci jsou výsledky následující:



Obrázek 43 Výsledky simulace kontaktní úlohy

Z obrázku je patrné, že zaznamenaná hodnota 19400MPa je způsobena pouze lineární úlohou, ve skutečnosti by došlo k plastické deformaci. I přesto jsou zjištěné hodnoty (na obrázku graficky znázorněny plochy s namáháním až 300MPa) velmi vysoké.

Dolní a horní rohový prvek je definován normou ČSN 26 9344 – ISO1161. Norma specifikuje velikost a tvar otvorů rohových prvků. Čelní plochy rohových prvků s otvory pro zasunutí manipulačních a fixačních zařízení mají tloušťky a tolerance popsané ve výše

uvedené normě. Tloušťky plných stěn bez otvorů nejsou specifikovány, protože se nepodílejí na manipulaci, pokud jejich vnitřní povrch nezasahuje do dutiny rohového prvku určeného pro manipulační zařízení.

Typické příklady použití a tvary fixačních zařízení jsou uvedené v této normě v příloze C. Právě tvar těchto fixačních zařízení a velikost vnitřní dutiny rohového prvku neumožňuje zesílit stěnu rohového prvku natolik, aby bylo možné splnit danou podmínku limitu napětí do 125MPa.

5.12.2 Praktická zkouška

Výše provedená simulace kontaktní úlohy zde v reálném provedení. Na obrázku vlevo je viditelná plastická deformace na nevyztužených svislých stojinách, na obrázku vpravo zratelná vydutí (vytažení) dolního oválného fixačního otvoru ve spodním rohovém prvku.

pozn. (foto autor DP, zkouška provedena ve firmě ZVVZ a.s., termín provedené zkoušky ani další podrobnosti zkoušky nejsou k dispozici)



Obrázek 44 Praktická zkouška

6 Popis konečného konstrukčního návrhu ISO kontejneru

Samotný konstrukční návrh ISO kontejneru je rozčleněn do jednotlivých celků tak, aby vytvářely konstrukční díly, které je možné sestavit samostatně a teprve pak tyto jednotlivé díly sestavit do celkové sestavy potřebné pro výpočtové simulace. Toto členění se zvláště osvědčilo při pevnostních simulacích, kdy bylo možné celkem jednoduše změnit jednotlivou část nebo geometrii požadovaného dílu, aniž by došlo k porušení celistvosti celkové geometrie ISO kontejneru. Toto navržené členění dále ušetřilo čas nutný ke konstrukčním změnám, neboť mezi prvotním návrhem ISO kontejneru a finální verzí se geometrie celkem 8x měnila. Důvodem těchto změn byly nevyhovující výsledky provedených zkoušek, respektive jejich simulací dle normy ISO povinné pro ISO kontejnery.

Dále je toto členění možné využít při skutečné výrobě, kdy v podobě menších konstrukčních celků je jednodušší manipulace a teprve finální sestavení klade zvýšené nároky na prostor a potřebu strojní manipulace (jeřábu).

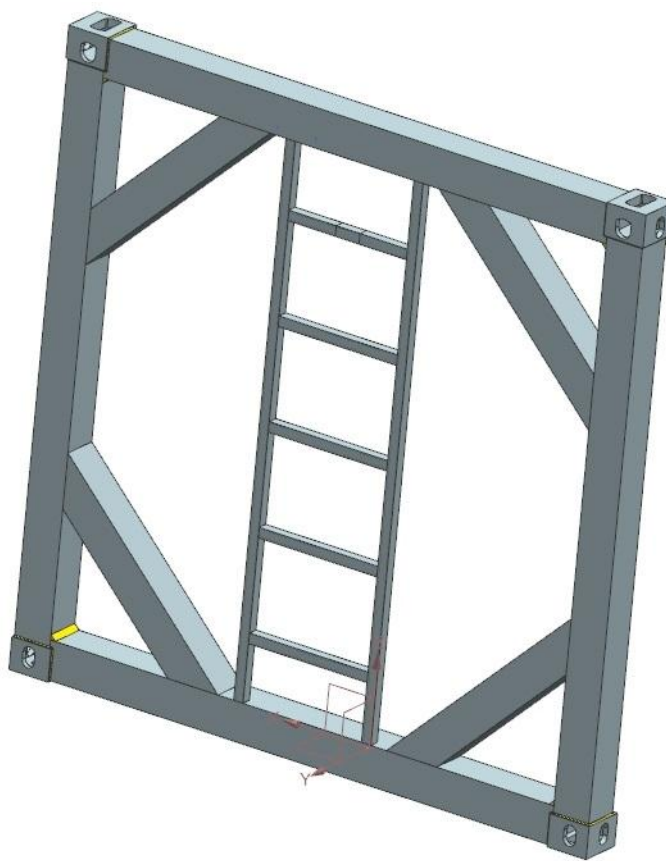
V poslední řadě je využito tohoto členění pro výpočet pracnosti a stanovení přibližné ceny ISO kontejneru (viz dále).

Jednotlivé díly jsou zvoleny následovně:

- zadní čelo
- přední čelo
- spodní rám
- cisterna
- sestava ISO kontejneru

6.1 Přední čelo

Přední čelo je tvořeno dvěma druhy rohových prvků, horním a dolním, o maximálních vnějších rozměrech 180x162x121mm z Al slitiny EN AW 7075. Stojiny jsou vyrobené z Al slitiny EN AW 6082 o rozměru 150x150mm a síle stěny 30mm (tento rozměr byl několikrát modifikován tak, aby vyhověl zvolenému napětí). Vodorovné příčky jsou ze stejné Al slitiny a jejich zvolený rozměr 150x150mm a síle stěny 10mm a byly optimalizovány vzhledem k požadavkům na pevnost a hmotnost. Z důvodu požadavků ISO normy na příčnou tuhost celé konstrukce je čelo v rozích vyztuženo Al profilem o rozměru 150x150mm o síle stěny 8mm. Celkové maximální rozměry jsou dány umístěním horních a dolních rohových prvků. Zbylé profily jsou oproti rohovým prvkům posunuty o 6mm směrem dovnitř konstrukce. Tento požadavek předepisuje norma ISO. Přední čelo je dále opatřeno žebříkem z Al slitiny o rozměru 35x35mm a síle stěny 6mm sloužící k výstupu na horní plošinu z důvodu manipulace s plnicími otvory. Šířka žebříku je 450mm, vzdálenost jednotlivých příček je 300mm.



Obrázek 45 Přední čelo

Rekapitulace

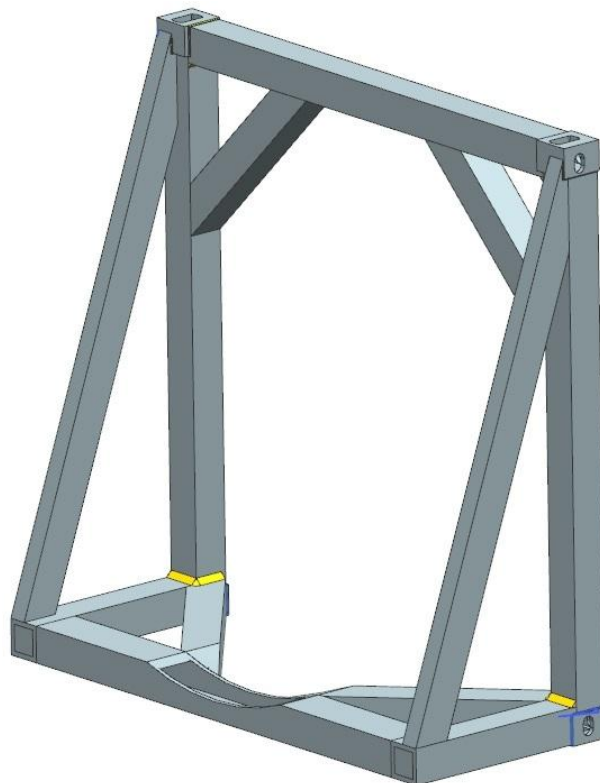
Tabulka 27 Rozpis materiálu

Pol.	Název	Rozměr [mm]	Materiál	Počet kusů
1	Dolní rohový prvek	180x162x121	Al-Zn5-Mg	2
2	Horní rohový prvek	180x162x121	Al-Zn5-Mg	2
3	Stojina	150x150 tl. 30	EN AW 6082	2
4	Vodorovná příčka	150x150 tl.10	EN AW 6082	2
5	Šikmá příčka	150x150 tl.8	EN AW 6060	4
6	Žebřík	35x35 tl.6	EN AW 6060	1

6.2 Zadní čelo

Provedení zadního čela je velmi podobné koncepci předního čela, tedy identické horní a dolní rohové prvky, stojiny a horní vodorovná příčka. Rozdíl je v provedení spodní vodorovné příčky, která je zesílena na rozměr 150x200mm a síle stěny 30mm a je posunuta o 960mm směrem dovnitř ISO kontejneru. Důvody pro tuto změnu jsou dva: vybrání na ploše příčky slouží jako dosedací místo pro cisternu a druhým důvodem je

nutnost opatřit zadní čelo v jeho spodní části vyprazdňovacím otvorem. Tato změna v konstrukci si navíc vyžádala použití šikmých příček o rozměru 150x80mm a síle stěny 10mm.



Obrázek 46 Zadní čelo

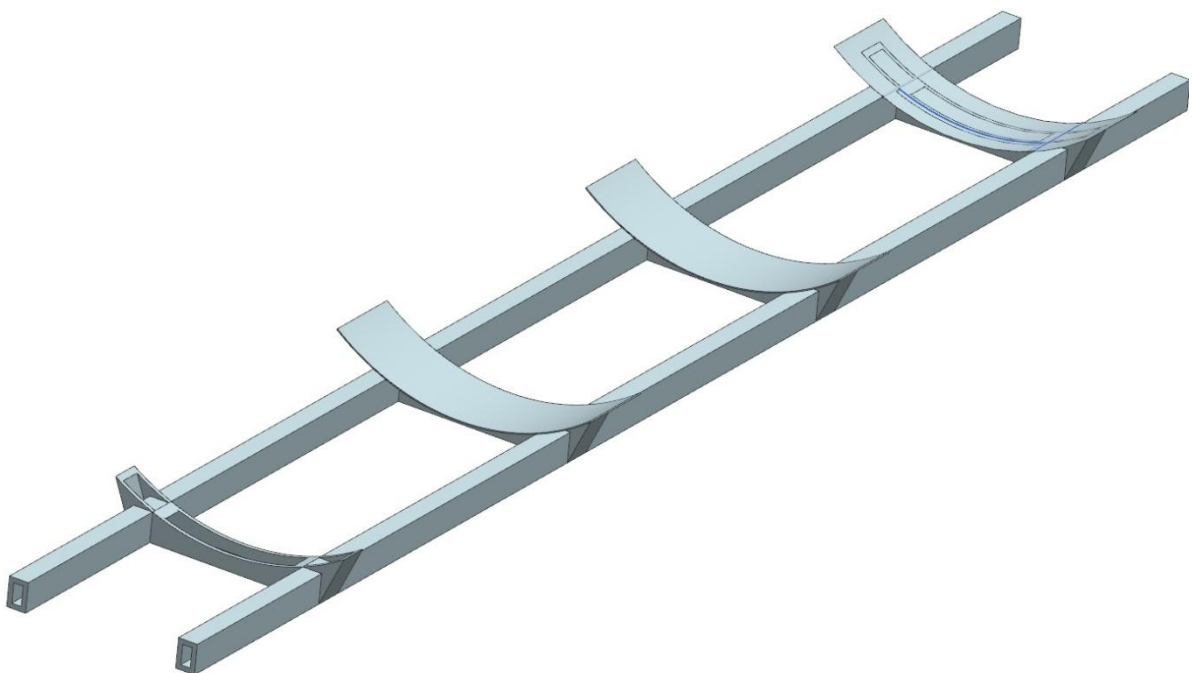
Rekapitulace

Tabulka 28 Rozpis materiálu

Pol.	Název	Rozměr [mm]	Materiál	Počet kusů
1	Dolní rohový prvek	180x162x121	Al-Zn5-Mg	2
2	Horní rohový prvek	180x162x121	Al-Zn5-Mg	2
3	Stojina	150x150 tl. 30	EN AW 6082	2
4	Vodorovná příčka	150x150 tl.10	EN AW 6082	1
5	Šikmá příčka	150x150 tl.8	EN AW 6060	2
6	Vodorovná příčka_2	150x200 tl.30	EN AW 6082	1
7	Šikmá příčka_2	150x150 tl.30	EN AW 6060	2
8	Příčka krátká	150x150 tl.15	EN AW 6060	2
9	Šikmá příčka_3	150x80 tl.10	EN AW 6060	2

6.3 Spodní rám

Je tvořený dvěma podélnými profily z Al slitiny o rozměru 150x100mm a síle stěny 25mm. Rozteč podélných profilů byla navržena s ohledem k umístění cisterny tak, aby průměr cisterny mohl být co největší. Tato rozteč je 800mm. Spodní rám je dále tvořen 4 kusy příčných profilů o rozměru 150x150mm a síle stěny 20mm zajišťující potřebnou tuhost a zároveň slouží jako lože pro cisternu. Z obou vnějších stran podélných profilů jsou přivařeny výztužné klíny zvyšující příčnou stabilitu přivařené cisterny. Příčné profily včetně výztužných klínů jsou překryty Al plechem 400mm širokým a 6mm silným sloužící k lepšímu přenosu namáhání mezi spodním rámem a samotnou cisternou.



Obrázek 47 Spodní rám

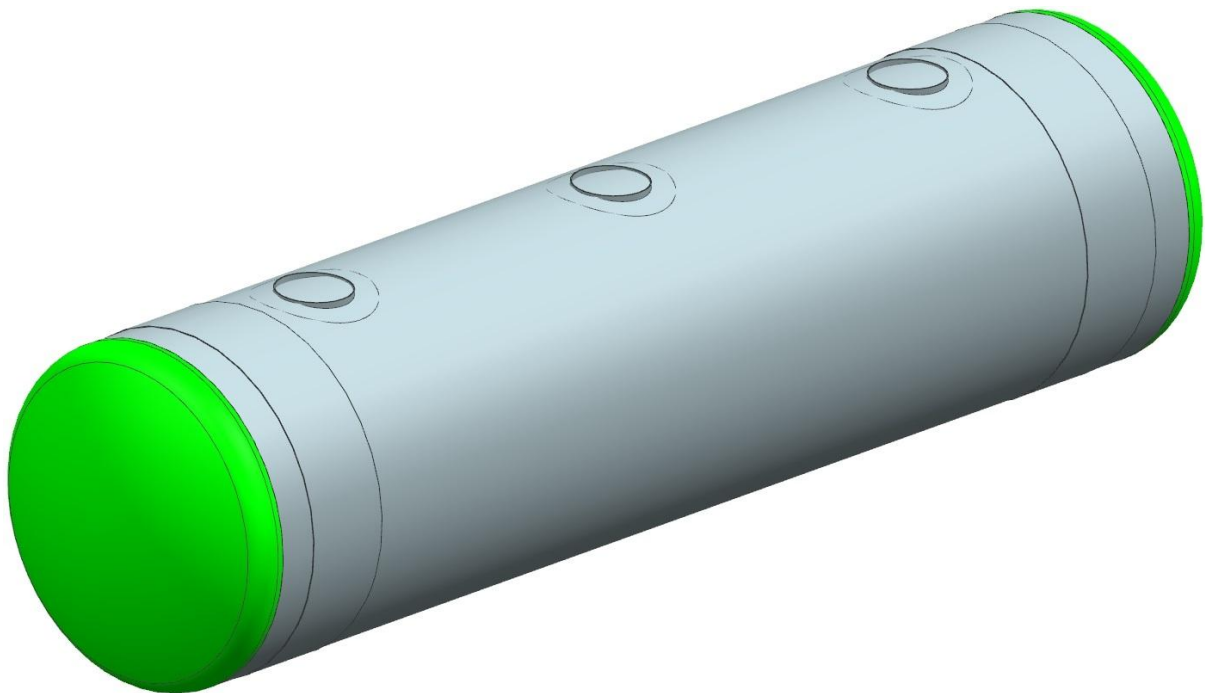
Rekapitulace

Tabulka 29 Rozpis materiálu

Pol.	Název	Rozměr [mm]	Materiál	Počet kusů
1	Podélný profil	150x100 tl.25	EN AW 6082	2
2	Příčný profil	150x150 tl.20	EN AW 6060	4
3	Výztužný klín	150x250 tl. 30	EN AW 6060	8
4	Výztužný plech	400x1200 tl.6	EN AW 5083	4

6.4 Cisterna

Cisterna je vyrobena ze skroužených plechů Al slitiny EN AW 5083 a síle stěny 12mm. Vnější průměr nádoby je 2238mm, délka válcové části je 8000mm. V horní válcové části jsou symetricky rozmístěny 3ks otvorů sloužící k naplňování cisterny. Obě čela cisterny jsou vydutá a jedná se o nakupovaný prvek. Dále je cisterna opatřena na koncích celoobvodovými výztuhovými obručemi o šířce 500mm a tloušťce 6mm, do kterých jsou vetknuty příčky fixující horní rohové prvky.



Obrázek 48 Cisterna

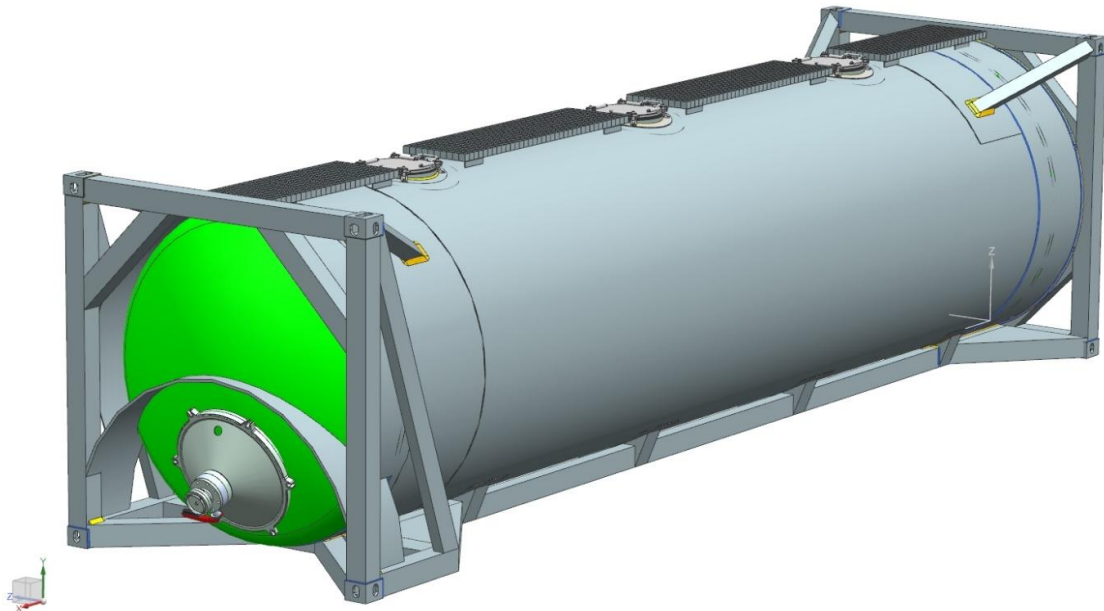
Rekapitulace

Tabulka 30 Rozpis materiálu

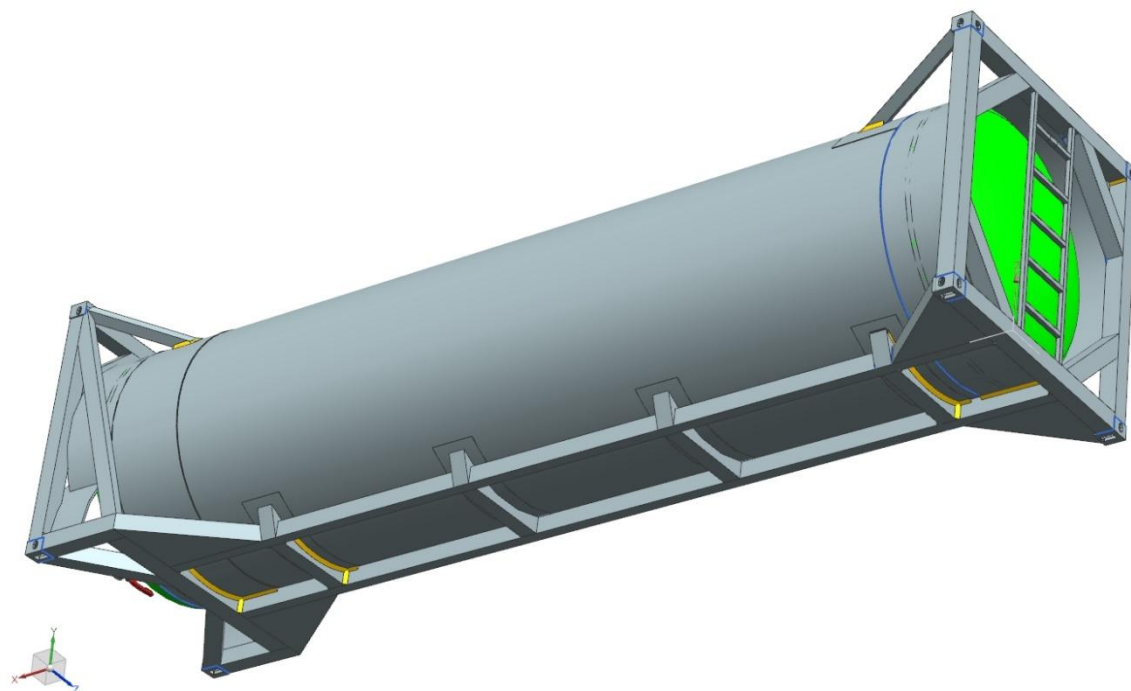
Pol.	Název	Rozměr [mm]	Materiál	Počet kusů
1	Plášť	6993x8000 tl.12	EN AW 5083	1
2	Čelo	D2238 tl. 12	EN AW 5083	2
3	Výztužný plech	7049x500 tl.6	EN AW 5083	2

6.5 Celková sestava

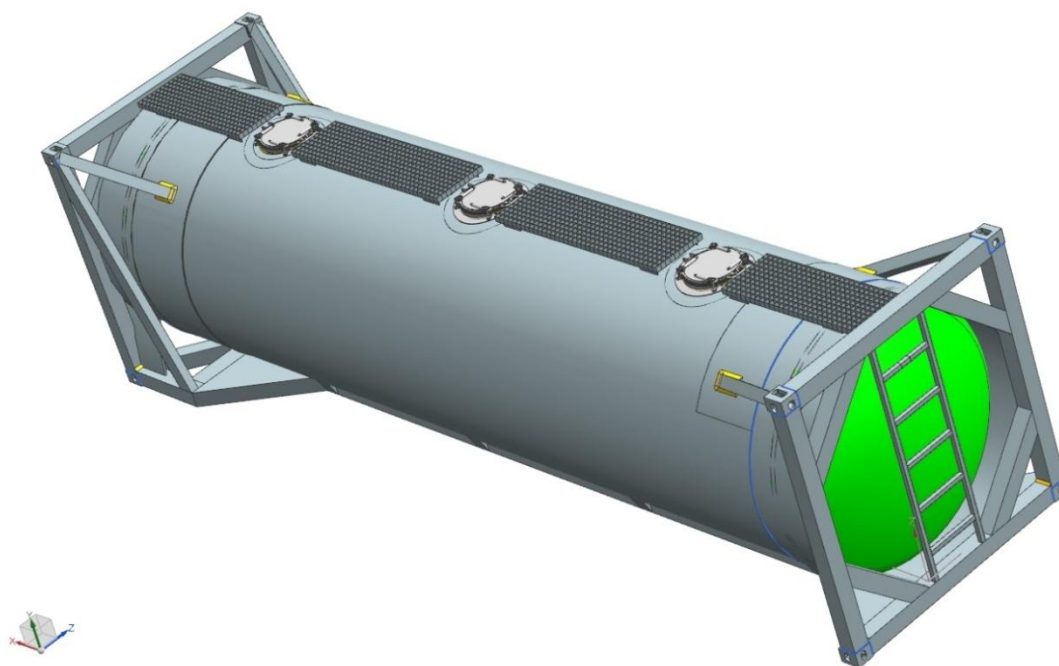
Cisterna je uložena ve spodním rámu a v podélném směru je k přednímu a zadnímu čelu fixována přes dvě kruhové obruče, přičemž obruč u zadního čela je částečně vyříznuta z důvodu vyprazdňovacího otvoru. Dodatečnou výztuhou je zde další poloviční obruč rozepřená do spodních rohových prvků. Pro zesílení podélné tuhosti jsou v místech spojení spodního rámu a obou čel použity Al plechy o síle 20mm trojúhelníkového tvaru. Tuhost sestavy dále významně ovlivňují šikmé výztuhy z horních rohových prvků, které jsou ukotveny do výztuhy pláště cisterny. Jedná se o profil 100x100mm a tloušťce stěny 10mm. V místě spodního rámu je v rámci výroby tohoto ISO kontejneru možné umístit držáky sloužící k uchycení vzduchotechniky nutné k vyprazdňování ISO kontejneru. Řešení vzduchotechniky nebylo součástí této diplomové práce, proto se spokojíme s faktem, že dostatečně velká plocha nepřesahující obrysové rozměry ISO kontejneru se nachází u spodního rámu.



Obrázek 49 ISO kontejner



Obrázek 50 ISO kontejner



Obrázek 51 ISO kontejner

Dále je sestava ISO kontejneru vybavena lávkou pro nutnou manipulaci s násypnými otvory. Plášť nádoby je opatřen držáky, vždy dva kusy držáků pro jednu část lávky. Lávka bude na držáky šroubována.

Rekapitulace

Tabulka 31 Rozpis materiálu

Pol.	Název	Rozměr [mm]	Materiál	Počet kusů
1	Výztužná obruč	7049x500 tl.10	EN AW 5083	2
2	Výztuha poloviční	D2238 – tl.15	EN AW 5083	1
3	Výztužný plech	890x790 tl.20	EN AW 5083	4
4	Výztuha šikmá	100x100 tl.10	EN AW 6060	4
5	Lávka	400x1850		4

Tabulka 32 Mechanické vlastnosti použitých Al slitin

Značení dle ČSN EN 755	Tepelné zpracování	Mez kluzu Rp0,2 [MPa]	Mez pevnosti Rm [MPa]	Modul pružnosti [GPa]
EN AW 5083 [Al Mg4,5Mn0,7]	H14	min. 280	340-400	68,3
EN AW 6060 [Al MgSi]	T6	min. 120	min. 180	68,3
EN AW 6082 [Al Si1MgZr]	T6	min. 250	min. 290	68,3
En AW 7075 [Al Zn5,5MgCu]	T6	min. 400	min. 470	68,3

7 Technologie výroby

Z hlediska výroby se jedná o nepříliš náročný výrobek. Pro jeho výrobu je možné využít následující strojní zařízení: strojní pily sloužící k nadělení profilů na potřebnou délku, tabulové nůžky k naformátování plechů na přesný rozměr, frézky na výrobu rohových prvků, skružovačka a svářečky.

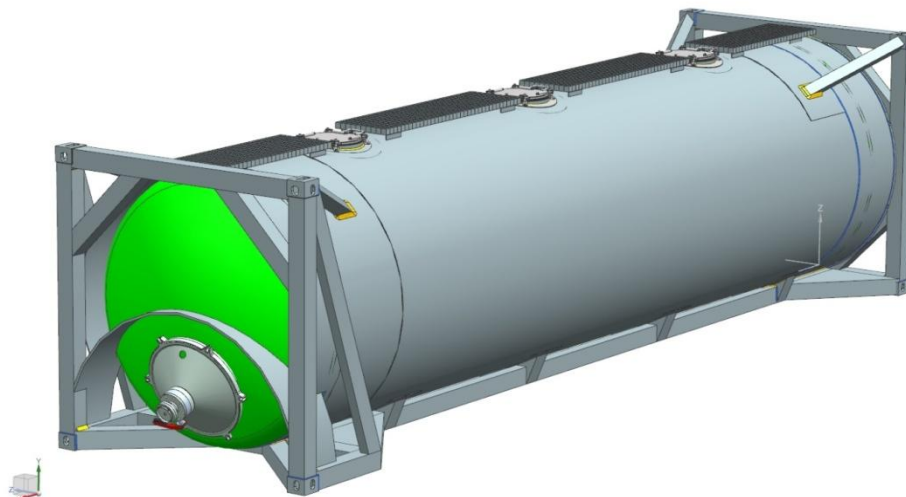
Z hlediska technologie se jedná a hliníkový svařenec.

Například cisterna se vyrábí následujícím pracovním postupem. Délka válcové části cisterny je 8000mm a umožňuje nákup formátu plechů o šíři 2000mm a jejich maximální využití. Na skružovačce se skrouží 4 kusy 2000mm širokých prstenců, které se poté oboustranně svaří (X svár s oboustranným úkosem) k sobě a vznikne tak válcová část cisterny. Poté se přivaří zadní a přední čelo. Následně se po rozrýsování a rozměření vypálí vstupní a výstupní otvory: 3ks ve válcové části pro násyp nákladu a jeden v zadním čele cisterny pro vyprazdňování. Dále se na předem vypálené otvory přivaří skroužená hrdla a poté se již přivaří nakupované armatury. Finálním procesem výroby je očištění a přebroušení cisterny od všech svarových nedostatků a kontrola kvality svárů podle ČSN EN 30042. Samozřejmostí je penetrační zkouška podle normy, doba penetrace je 24h.

Použitá technologie svařování je MIG dle ČSN EN 24063.

Veškerá výroba svařence probíhá na základě výrobní dokumentace. Do výrobní dokumentace patří výrobní výkres včetně kusovníku a pracovní technologický postup. Součástí pracovního technologického postupu bývá i tzv. WPS – specifikace postupu svařování. Tato specifikace podrobným a komplexním způsobem definuje konkrétní svařovací proces. WPS je vydávána na konkrétní svár, o jehož důležitosti je výrobní technolog nebo svářecí technolog přesvědčen.

WPS definuje jak samotný svařovací proces (metodu svařování, druh sváru, délku a jeho velikost, směr svařování, případnou teplotu předehřevu, úpravu svařovaných ploch, atd.), tak definuje základní a přídatný svařovací materiál a i ochranný plyn (jeho značení a průtočné množství).



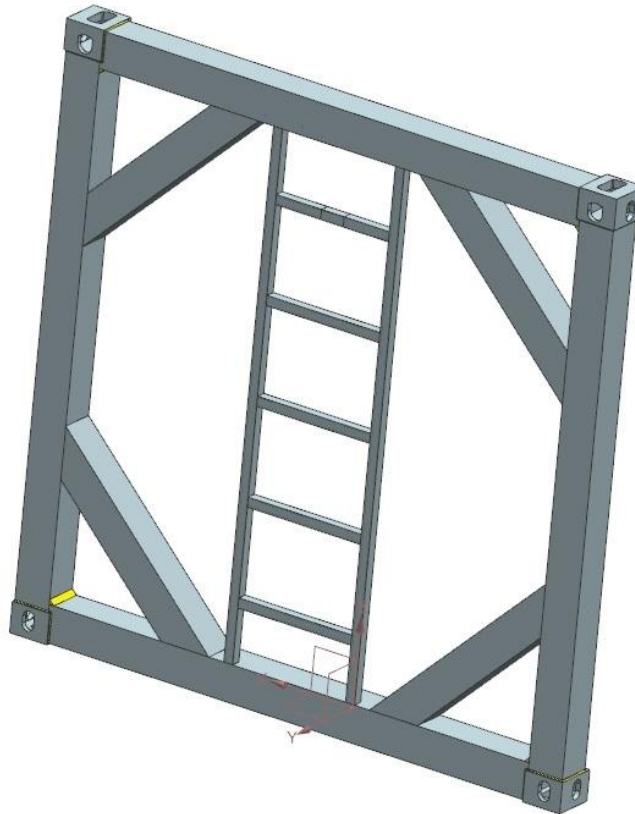
Obrázek 52 ISO kontejner

Po celkovém sestavení a svaření jednotlivých celků jsou maximální rozměry ISO kontejneru: délka 9125mm, šířka a výška shodně 2438mm. Toto je rozměr v rohových

prvcích, veškeré stojiny, příčky a výztuhy musí být o 6mm zapuštěny tak, aby uvedené rozměry nikde nepřesahovaly. Hmotnost ISO kontejneru je 4 400 kg, maximální objem cisterny je 33m³.

7.1 Cenová kalkulace

Pro detailní cenovou kalkulaci bylo vybráno přední čelo ISO kontejneru (bez žebříku – vstupuje sestavou).



Obrázek 53 Zadní čelo pro kalkulaci

Tabulka 33 Cenová kalkulace předního čela

Operace	Počet [ks]	Jednotkový čas [min]	Přípravný čas [min]
Dělení materiálu - řezání			
Dolní rohový prvek	2	3	10
Horní rohový prvek	2	3	0
Příčka krátká	2	2	10
Příčka krátká 2	2	1,6	0
Příčka šikmá	4	4,8	10
Obrábění (frézování)			
Dolní rohová prvek	2	36	16
Horní rohový prvek	2	36	0
Ojehlení nařezaného mat.	12	9,6	8
Sestavení, nastehování, svaření	1	120	13
Začistit po svaření	1	15	0
CELKEM		229	67

Časová náročnost výroby 1ks předního čela je 229 minut jednotkového a 67 minut přípravného času. V následující tabulce jsou nanormované ostatní části ISO kontejneru.

Tabulka 34 Celková cenová kalkulace

Díl	Přípravný čas [min]	Jednotkový čas [min]	Hmotnost [kg]	Pozn.
Přední čelo	67	229	358	
Zadní čelo	102	299	1125	
Spodní rám	120	639	600	
Cisterna	116	1540	1967	
Sestava	71	430	350	
Celkem	476 min	3137 min	4400 kg	

Celková odhadovaná pracnost 1ks ISO kontejneru je 3137 minut jednotkového času a 476 minut přípravného času. Cena výrobku je odvislá od výše režijních nákladů firmy, taktéž závisí na nakupované ceně Al profilů a plechů.

Odhadovaná cena ISO kontejneru při orientační ceně režijních nákladů středně velké firmy 550 Kč/hod bez DPH a ceně hliníkové slitiny 130 Kč/kg je:
 $33.220 + 572.000 = 605.020$ Kč bez DPH.

Závěr

Předložená diplomová práce se zabývá návrhem ISO kontejneru pro přepravu sypkých hmot z Al slitiny. V práci je proveden rozbor normy stanovující přípustné zátěžné stavy, které jsou následně přetransformovány po podoby okrajových podmínek virtuálních simulací. Pomocí virtuálních simulací je provedena pevnostní a hmotnostní optimalizace. Výsledkem je úspora hmotnosti, oproti ocelovému provedení ISO kontejneru 30“ vážícího 5625 kg, cca 1225 kg.

Výsledkem provedených simulací je závěr, že kontejner s Al rohovými prvky nemůže obstat požadavkům normy. Ke splnění požadavku na výrobu a schválení k provozu ISO kontejneru pro sypké hmoty v Al provedení, v současné chvíli existují následující dvě možnosti:

A) Nastavení omezujících podmínek pro provoz:

- zákaz stohování ISO kontejneru, možnost stohovat pouze 2 kusy ISO kontejnerů na sobě, aby nedošlo k překročení dovoleného namáhání
- při vlakové dopravě zákaz odrážení (předávání kinetické energie jedoucího vagonu stojícímu)

B) Rohové prvky vyrobené z oceli a nýtované na Al konstrukci

- toto řešení je relativně jednoduché a problém s tuhostí horních a dolních rohových článků bude vyřešen. Vyvstanou však další problémy se spojením rohových Fe prvků a Al konstrukce. Tato problematika vydá sama o sobě na další analýzu.

Seznam použité literatury

[1] STODOLA, J., MAREK, J., FURCH, J: Logistika 1.vydání, MZLU Brno: [s.n.], 2007, 337 stran, ISBN 978-80-7375-071-8

[2] ČSN ISO 1496-3. Kontejnery řady 1 – technické požadavky a zkoušení – Část 3: Nádržkové kontejnery pro kapaliny, plyny a tlakované suché sypké materiály. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 stran. Třídící znak 26 9355

Seznam obrázků

Obrázek 1 Logo firmy ZVVZ Machinery a.s.	11
Obrázek 2 ISO kontejner směr sil Zk.1	15
Obrázek 3 ISO kontejner směr sil Zk.2	16
Obrázek 4 ISO kontejner směr sil Zk.3	16
Obrázek 5 ISO kontejner směr sil Zk.4	17
Obrázek 6 ISO kontejner směr sil Zk.5	18
Obrázek 7 ISO kontejner směr sil Zk.6	19
Obrázek 8 ISO kontejner směr sil Zk.7	19
Obrázek 9 ISO kontejner směr sil Zk.8	20
Obrázek 10 ISO kontejner směr sil Zk.10	21
Obrázek 11 ISO kontejner směr sil Zk.11	22
Obrázek 12 kontejner popis prvků.....	23
Obrázek 13 Zadání okrajových podmínek Zk.1	25
Obrázek 14 Výsledek simulace Zk.1	25
Obrázek 15 Výsledek simulace detail Zk.1	26
Obrázek 16 Výsledek simulace detail Zk.1	26
Obrázek 17 Výsledek simulace detail Zk.1	27
Obrázek 18 Zadání okrajových podmínek Zk.2	28
Obrázek 19 Výsledek simulace Zk.2	28
Obrázek 20 Zadání okrajových podmínek Zk.3	30
Obrázek 21 Výsledek simulace Zk.3	30
Obrázek 22 Zadání okrajových podmínek Zk.4	31
Obrázek 23 Výsledky simulace Zk.4.....	32
Obrázek 24 Výsledky simulace detail Zk.4.....	32
Obrázek 25 Výsledky simulace detail Zk.4.....	33
Obrázek 26 Zadání okrajových podmínek a výsledky simulace Zk.5.....	35
Obrázek 27 Výsledky simulace detail Zk.5.....	36
Obrázek 28 Výsledky simulace detail Zk.5.....	36
Obrázek 29 Zadání okrajových podmínek Zk.6	37
Obrázek 30 Výsledky simulace Zk.6.....	38
Obrázek 31 Zadání okrajových podmínek Zk.7	39

Obrázek 32	Zadání okrajových podmínek Zk.8	41
Obrázek 33	Zadání okrajových podmínek Zk.10	42
Obrázek 34	Výsledky simulace Zk.10.....	43
Obrázek 35	Výsledky simulace detail Zk.10.....	43
Obrázek 36	Zadání okrajových podmínek Zk.11	44
Obrázek 37	Výsledky simulace Zk.11	45
Obrázek 38	Výsledky simulace detail Zk.11	45
Obrázek 39	Zadání okrajových podmínek Zk.12	46
Obrázek 40	Výsledky simulace Zk.12.....	47
Obrázek 41	Kontaktní úloha.....	49
Obrázek 42	Vstupní data kontaktní úlohy	49
Obrázek 43	Výsledky simulace kontaktní úlohy	50
Obrázek 44	Praktická zkouška	51
Obrázek 45	Přední čelo.....	53
Obrázek 46	Zadní čelo.....	54
Obrázek 47	Spodní rám	55
Obrázek 48	Cisterna	56
Obrázek 49	ISO kontejner	57
Obrázek 50	ISO kontejner	58
Obrázek 51	ISO kontejner	58
Obrázek 52	ISO kontejner	60
Obrázek 53	Zadní čelo pro kalkulaci.....	61

Seznam tabulek

Tabulka 1 Zkouška č.1.....	24
Tabulka 2 Zkouška č. 2.....	27
Tabulka 3 Zkouška č. 3.....	29
Tabulka 4 Hodnoty pro druhé čelo ISO kontejneru	29
Tabulka 5 Zkouška č. 4 tah.....	31
Tabulka 6 Zkouška č.4 tlak.....	31
Tabulka 7 Zkouška č. 4 tah - druhé čelo.....	33
Tabulka 8 Zkouška č. 4 tlak - druhé čelo	33
Tabulka 9 Zkouška č. 5.....	34
Tabulka 10 Zkouška č. 5 - druhé čelo	36
Tabulka 11 Zkouška č. 6.....	37
Tabulka 12 Zkouška č. 7 tlak.....	38
Tabulka 13 Zkouška č. 7 tah.....	39
Tabulka 14 Zkouška č. 7 tlak - druhé čelo	39
Tabulka 15 Zkouška č. 7 tah - druhé čelo.....	40
Tabulka 16 Výsledky zkoušek č. 7.....	40
Tabulka 17 Zkouška č. 8 tlak.....	40
Tabulka 18 Zkouška č. 8 tah.....	41
Tabulka 19 Zkouška č. 8 tlak.....	41
Tabulka 20 Zkouška č. 8 tah.....	41
Tabulka 21 Výsledky zkoušek č. 8.....	42
Tabulka 22 Zkouška č. 9.....	42
Tabulka 23 Zkouška č. 10.....	44
Tabulka 24 Zkouška č. 11.....	46
Tabulka 25 Vyhodnocení zkoušek	48
Tabulka 26 Hodnoty pro kontaktní úlohu	50
Tabulka 27 Rozpis materiálu.....	53
Tabulka 28 Rozpis materiálu.....	54
Tabulka 29 Rozpis materiálu.....	55
Tabulka 30 Rozpis materiálu.....	56
Tabulka 31 Rozpis materiálu.....	59

Tabulka 32	Mechanické vlastnosti použitých Al slitin	59
Tabulka 33	Cenová kalkulace předního čela	62
Tabulka 34	Celková cenová kalkulace	62

Seznam použitých zkratk

a.s.	akciová společnost
ČSN	česká technická norma
ČSN EN	evropská norma přebraná do české technické normy
FST	Fakulta strojí
HW	Hardware
KKS	Katedra konstruování strojů
MKP	Metoda konečných prvků

Seznam příloh

Příloha 1	Rozměrový výkres ISO kontejner
Příloha 2	Horní rohový prvek
Příloha 3	Obrázek - Vizualizace návrhu

PŘÍLOHA č. 1

Rozměrový výkres ISO kontejner

PŘÍLOHA č. 2

Horní rohový prvek

Obrázek - příloha č. 3 Vizualizace návrhu

