



**FAKULTA  
STROJNÍ  
ČVUT V PRAZE**

## **Ústav konstruování a částí strojů**

**Kontejner na svoz komunálního odpadu**

**Container for Municipal Waste Collection**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**2018**

**Jan KADLEC**

**Studijní program:**

**N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ**

**Studijní obor:**

**2301T047 Dopravní letadlová a transportní technika**

**Vedoucí práce:**

**Ing. Karel Petr, Ph.D.**

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne .....

.....

podpis

## Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Karlu Petrovi, Ph.D., za ochotu, čas, trpělivost a odborné vedení při zpracovávání této práce.

## Anotační list

Jméno autora: *Jan Kadlec*

Název DP: *Kontejner na svoz komunálního odpadu*

Anglický název: *Container for Municipal Waste Collection*

Rok: *2018*

Studijní program: *N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ*

Obor studia: *2301T047 Dopravní letadlová a transportní technika*

Ústav: *Ústav konstruování a částí strojů*

Vedoucí DP: *Ing. Karel Petr, Ph.D.*

Bibliografické údaje: počet stran *69*

počet obrázků *55*

počet tabulek *1*

počet příloh *11*

Klíčová slova: *kontejner, komunální odpad, hákový nosič, MKP analýza*

Keywords: *container, municipal waste, hook loader, finite element analysis*

Anotace:

*Tato diplomová práce se zabývá návrhem a pevnostním výpočtem kontejneru na svoz komunálního odpadu, který bude umožňovat přepravu na hákových nosičích kontejnerů, na vidlicích vysokozdvizného vozíku a bude umožňovat stohování a ukládání přes ISO prvky. Kontejner má rovněž umožňovat dvojitý systém otevírání vrat pro plnění a vysypávání komunálního odpadu.*

Abstract:

*This diploma thesis deals with design and stress-strain analysis of a municipal waste collection container, which allow transportation on hook loaders, on forklifts trucks and allow stacking and storage via ISO components. The container also has a double door opening system for filling and emptying municipal waste.*

# Obsah

<b>1</b>	<b><u>ÚVOD.....</u></b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b><u>PŘEHLED VYRÁBĚNÝCH TYPŮ KONTEJNERŮ.....</u></b>	<b>2</b>
2.1	ISO KONTEJNERY .....	2
2.2	HÁKOVÉ KONTEJNERY.....	3
2.3	ŘETĚZOVÉ KONTEJNERY .....	4
2.4	INNOFREIGHT .....	5
2.5	ACTS .....	6
2.6	NORMY KONTEJNERŮ .....	8
2.6.1	NORMA PRO HÁKOVÉ NOSIČE KONTEJNERŮ DIN 30 722-1 .....	8
2.6.2	KONTEJNERY ŘADY 1 – MANIPULACE A FIXACE, ČSN ISO 3874 .....	8
2.6.3	ROHOVÉ PRVKY, ČSN 26 9344 – ISO 1161 .....	9
<b>3</b>	<b><u>VÝCHOZÍ PARAMETRY NÁVRHU.....</u></b>	<b>10</b>
3.1	VNĚJŠÍ ROZMĚRY .....	10
3.2	HMOTNOST ODPADU.....	10
3.3	DALŠÍ POŽADAVKY .....	10
<b>4</b>	<b><u>ROZKLAD KONSTRUKCE.....</u></b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b><u>NÁVRH NOSNÝCH ČÁSTÍ KONSTRUKCE .....</u></b>	<b>14</b>
5.1	NÁVRH PODÉLNÝCH PROFILŮ.....	15
5.2	NÁVRH VERTIKÁLNÍCH NOSNÍKŮ.....	18
5.3	NÁVRH RÁMŮ.....	21
5.3.1	ŘEŠENÍ ROVINNÉHO RÁMU .....	22
5.3.2	VOLBA PROFILU.....	28
5.3.3	SPOJENÍ PROFILŮ.....	29
5.4	VÝZTUŽNÉ PROFILY.....	30
5.5	VNITŘNÍ PLECHOVÁ VÝPLŇ.....	31
<b>6</b>	<b><u>KONSTRUKCE VRAT .....</u></b>	<b>32</b>

<b>7</b>	<b><u>PEVNOSTNÍ VÝPOČET KONSTRUKCE.....</u></b>	<b><u>35</u></b>
7.1	ZJEDNODUŠENÝ NOSNÍKOVÝ MODEL .....	37
7.1.1	ZATÍŽENÍ A ULOŽENÍ.....	38
7.1.2	VÝSLEDKY .....	39
7.2	DETAILNÍ SKOŘEPINOVÝ MODEL .....	40
7.2.1	TVORBA VÝPOČTOVÉHO MODELU .....	40
7.2.2	MODELOVÁNÍ SVAROVÝCH SPOJŮ.....	44
7.2.3	ULOŽENÍ A ZATÍŽENÍ.....	49
7.2.4	VÝPOČET.....	53
7.2.5	VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ .....	54
7.3	ÚPRAVA KONSTRUKCE .....	58
<b>8</b>	<b><u>PARAMETRY KONTEJNERU .....</u></b>	<b><u>61</u></b>
<b>9</b>	<b><u>ZÁVĚR.....</u></b>	<b><u>62</u></b>
<b>10</b>	<b><u>POUŽITÉ ZNAČKY A SYMBOLY.....</u></b>	<b><u>63</u></b>
<b>11</b>	<b><u>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</u></b>	<b><u>65</u></b>
<b>12</b>	<b><u>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</u></b>	<b><u>66</u></b>
<b>13</b>	<b><u>SEZNAM PŘÍLOH.....</u></b>	<b><u>69</u></b>
<b>14</b>	<b><u>SEZNAM TABULEK .....</u></b>	<b><u>69</u></b>

# 1 Úvod

Cílem práce je konstrukční návrh a pevnostní výpočet kontejneru na svoz komunálního odpadu. Podmětem pro konstrukci tohoto zařízení je požadavek ze strany Pražských služeb a.s., na specifický kontejner na komunální odpad. Základní myšlenkou tvorby kontejneru je jednak použití kontejnerů jako zásobníků v případě odstávky kotlů ve spalovně Malešice, ale hlavně použití kontejnerů pro samotný svoz komunálního odpadu. Kde by bylo možné pro svoz využít tramvajové sítě. Přeprava by probíhala na upravených tramvajích typu Tatra T3.

Tento kontejner je součástí systému na manipulaci a plnění s komunálním odpadem. Plnění kontejneru bude probíhat ve vertikální poloze kontejneru, lisováním komunálního odpadu do kontejneru. Systémy pro manipulaci s kontejnerem jsou součástí jiných diplomových prací a tvoří dohromady systém pro manipulaci kontejneru s návazností na využití tramvajových podvozků.

Z důvodu univerzálnosti je nutné, aby byla možnost přepravovat kontejner i na hákových nosičích kontejnerů a pro zjednodušení manipulaci má kontejner být opatřen otvory pro vidlice vysokozdvížného vozíku. Specifické pro tento kontejner jsou jednak nestandardní rozměry, které musí korespondovat s průjezdným profilem tramvajové trati a také velká univerzálnost možností přepravy kontejneru. Pro silniční přepravu je třeba zajistit kompatibilitu se standardními hákovými nosiči kontejnerů. Železniční a silniční přeprava na podvozcích pro ISO kontejnery vyžaduje umístění standardizovaných rohových prvků. Za tyto rohové prvky je poté kontejner upevněn k podvozkům za pomoci speciálních zajišťovacích trnů.

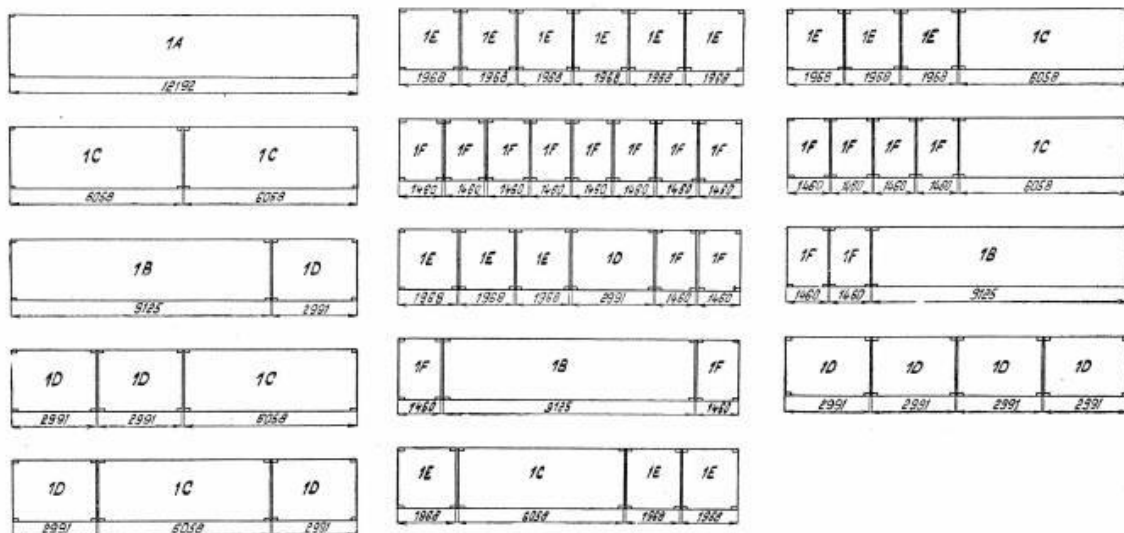
Otvory pro vidlice vysokozdvížného vozíku musí odpovídat rozměrům vidlic pro odpovídající tonáž. Důležitá je, také konstrukce samotných vysýpacích či plnicích vrat tak, aby celá konstrukce kontejneru byla hermeticky uzavíratelná. Zatím žádný výrobce kontejnerů nenabízí kontejner s podobnými parametry a s požadovanou univerzálností přepravy.

Rozsáhlá část práce se věnuje samotným pevnostním výpočtům konstrukce kontejneru. Výpočty jsou prováděny za pomoci metody konečných prvků, která umožňuje detailnější výpočet této složitější konstrukce. Značný důraz je kladen na tvorbu samotného výpočtového modelu a výpočet samotný, tak aby vypočtené výsledky nejlépe reflektovaly skutečná napětí, které se mohou v důsledku zatížení v konstrukci vyskytovat.

## 2 Přehled vyráběných typů kontejnerů

### 2.1 ISO kontejnery

ISO kontejnery někdy označované jako lodní kontejnery. Mají pět běžných délek: 20 stop (6,1 m), 40 stop (12,2 m), 45 stop (13,7 m), 48 stop (14,6 m) a 53 stop (16,2 m). Kontejnery posledních dvou rozměrů se nejčastěji využívají v silniční a železniční dopravě v USA. Ostatní kontejnery se využívají zejména v námořní dopravě a pozemní dopravě v Evropě. Výhodou těchto kontejnerů je jejich stohovatelnost. Kontejnery jsou opatřeny rohovými prvky, za které je upevněn při přepravě a také umožňují jejich použití při manipulaci jeřábem. Díky jejich konstrukci je možné je stohovat kontejnery, až do devíti kontejnerů v jednom stohu. Délky kontejnerů řady 1 jsou voleny v násobcích základního modulu tak, aby bylo možné kontejnery společně stohovat. Větší kontejner však musí vždy ležet na menších, protože vnější síly se smí přenášet pouze přes rohové prvky. Obr. 1 udává představy o možnostech kombinování kontejnerů různých délek při nakládání dopravního prostředku s ložnou délkou 12,2 m (40 stop).



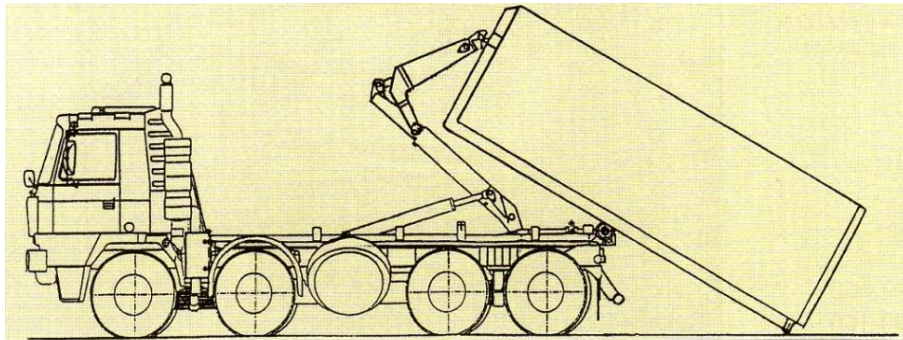
Obr. 1.: Možnosti kombinování kontejnerů různých délek [13]



## 2.2 Hákové kontejnery

Kontejnery jsou dodávány v široké škále variant a provedení v závislosti na požadavcích zákazníka. Jejich výhodou je univerzálnost nákladního automobilu vybaveného hákovým nosičem kontejnerů. Důležité rozměry pro kompatibilitu hákových kontejnerů specifikuje norma DIN 30722 nebo francouzská norma NFR 17-108. Kontejnery se liší výškou háku dle nosnosti kontejneru.

- Výška háku dle **DIN 30722**
  - 900mm, nosnost 5 až 8 tun
  - 1000mm, nosnost 3 až 12 tun
  - 1340mm, nosnost do 12 tun (mechanismy se již nevyrábí)
  - 1570mm, nosnost 10 až 26 tun
- Výška háku dle francouzské normy **NFR 17-108**
  - Třída 1, nosnost do 7.5 t, výška natahovacího oka 920mm, průměr natahovacího oka 30 až 40mm
  - Třída, nosnost 7.5 až 32 t, výška natahovacího oka 1425mm, průměr natahovacího oka 50mm



Obr. 2.: Způsob nakládání hákového kontejneru

## 2.3 Řetězové kontejnery

Stejně jako hákové kontejnery mají řetězové kontejnery širokou paletu variant a provedení. Důležité rozměry upravuje norma DIN 30720, která je rozdělena dle objemu kontejneru. Pro objem do 10m<sup>3</sup> – část 1 a pro objem 15-20m<sup>3</sup> - část 2. Norma rovněž stanovuje rozměry natahovacích čepů. Tento typ kontejnerů je zejména využíván pro manipulaci s hrubým materiálem, např. pro odvoz stavební suti, dopravu kameniva hrubších frakcí.

*„Hákové a řetězové nosiče kontejnerů se řadí svým významem v oblasti efektivního nakládání s odpady k nejdůležitějšímu vybavení svozových společností.“ [11]*



Obr. 3.: Nakládání řetězového kontejneru



Obr. 4.: Příklad řetězového kontejneru

## 2.4 Innofreight

Jedná se o celkový systém přepravy kontejnerů patentovaný fa. Innofreight. Kontejnery vycházejí z rozměrů standartních ISO kontejnerů, umožňují vzájemnou kompatibilitu s železničními a silničními podvozky a rovněž umožňují stohování. Kontejnery jsou přímo určené na sypké materiály, jsou opatřeny otvory pro nosné vidlice vysokozdvížného vozíku a mají odnímatelné víko. Při použití vysokozdvížného vozíku s otočným zařízením je vyprazdňování kontejnerů velice rychlé. Nevýhodou je značná finanční náročnost pořízení vysokozdvížného vozíku s dostatečnou nosností (min. 27t), neboť bez použití vozíku není možné kontejner vyprázdnit. Nabízené kontejnery se liší dle přepravovaného materiálu, resp. jeho objemovou hmotností.



Obr. 5.: Přeprava kontejneru Innofreight



Obr. 6.: Vysypání kontejneru Innofreight

### + Výhody

Rychlé vyprazdňování kontejnerů  
 Kompatibilita s ISO kontejnery  
 Stohovatelnost

### -Nevýhody

Nutnost manipulační techniky  
 Velké manipulační prostory  
 Vyprazdňování pouze vrchním víkem

## 2.5 ACTS

Systém přepravy odvalovacích kontejnerů ACTS je určen výhradně pro přepravu po silnici či železnici. Oproti standardní kombinované dopravě (s využitím výměnných nástaveb nebo ISO kontejnerů) nevyžaduje žádné trvalé, drahé a stacionární zařízení v podobě vybavených kontejnerových terminálů. Je realizovatelná téměř v každé železniční stanici nebo vlečce. Základním přepravním prvkem systému je kontejner vybavený odvalovacím zařízením. Tento odvalovací kontejner je horizontálně překládán z hákových nosičů kontejnerů umístěném na nákladním automobilu na speciální (většinou čtyřnápravové) plošinové železniční vozy s otočnými rámy, kde je možnost pro uložení až tří kontejnerů. Automobilové nosiče odvalovacího kontejneru jsou vybaveny hákovým manipulátorem. Systém je založen na německé technické normě DIN 30 722 a je dále zúžen normou UIC 591.



Obr. 7.: Nakládání kontejneru ACTS



Obr. 8.: Kontejner pro ACTS

### + Výhody

Kompatibilní s hákovými a lanovými nosiči  
Malé manipulační prostory  
Široká variabilita kontejnerů

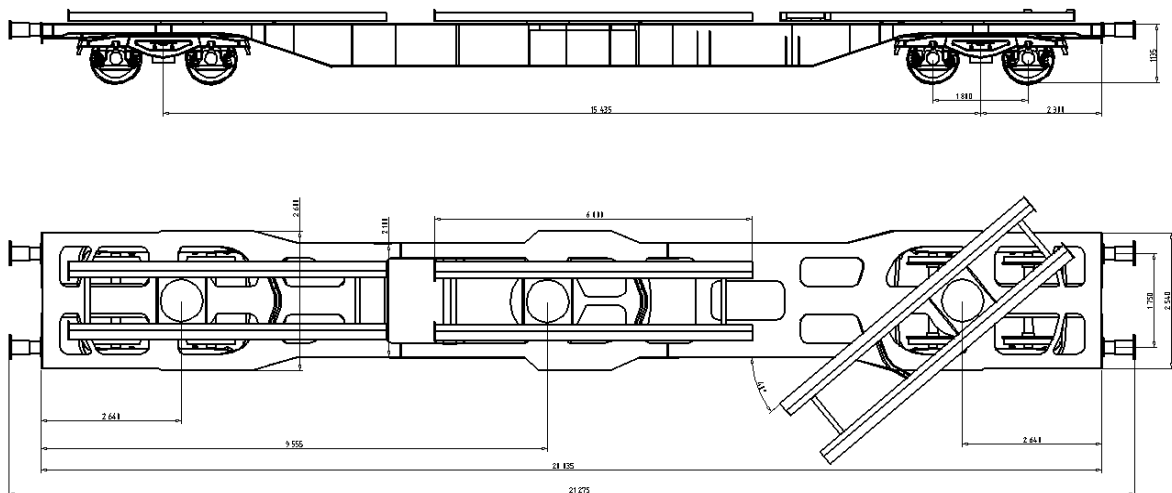
### -Nevýhody

Neumožňují stohovatelnost  
Speciální železniční nástavby

Ve světě je provozováno několik systémů odvalovacích kontejnerů v rámci kontejnerové přepravy. Rozměry kontejnerů jsou omezeny průjezdným profilem železničních tratí a maximálními rozměry nákladních automobilů dle směrnice. Všechny tyto systémy mají unifikované základní vnější rozměry:

- délku 5.950 mm;
- šířku 2.500 mm;
- výška může být proměnná do 2.600 mm,

Po vytočení otočného nosiče z přepravní polohy na železničním voze, nasouvá silniční vozidlo kontejner na tento rám. Úložná pásnice podélníků otočného nosiče je upravena zároveň jako zarážka, která zachycuje podélný posuv kontejneru směrem vzad. Železniční válečky usnadňují nasunutí na otočný rám. Při dokončení nasunutí kontejneru na rám se válečky již nezatěžují, kontejner spočívá celou délkou svých podélníků na otočném rámu. Následně je otočný rám nutno otočit zpět do přepravní polohy (do osy železničního vozu) a v této poloze se zajistí. Podélný posuv kontejneru směrem dopředu zachycují dvě zarážky, které jsou upevněné na podlaze železničního vozu, proti podélníkům kontejneru. Toto uspořádání vyžaduje pevnou délku podélníků 5 850 mm.



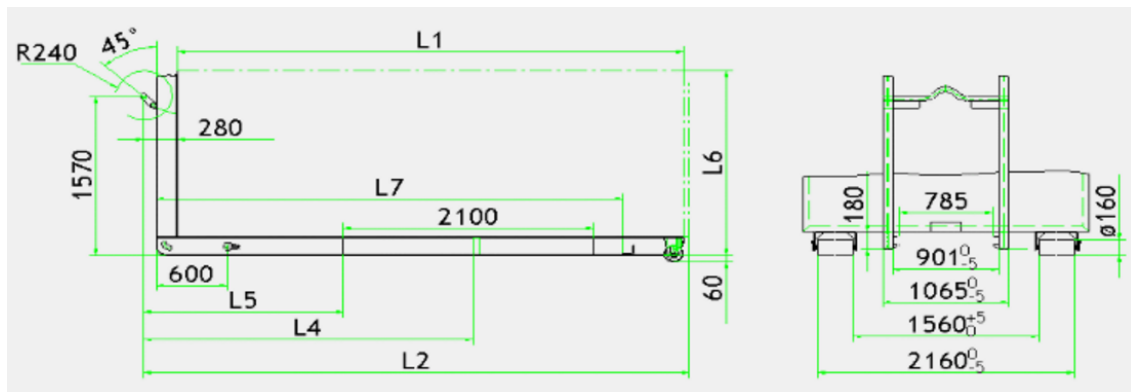
*Obr. 9.: Železniční podvozek pro přepravu systémem ACTS*

## 2.6 Normy kontejnerů

### 2.6.1 Norma pro hákové nosiče kontejnerů DIN 30 722-1

Tato norma stanovuje výšku, průměr a tvar manipulačního oka pro hákové nosiče. Značným způsobem zasahuje do konstrukce kontejneru tím, že na spodní straně stanovuje nutnost použití dvou podélných profilů. Tyto profily mají stanovenou rozteč a v prostoru mezi těmito profily musí být ponechán volný prostor.

- Výška třmenu 1 570 mm, průměr třmenu 50mm, sklon třmenu 45°, poloměr ohybu třmenu R240, materiál St 52-3 (11 523)
- Vnější rozměr podélných nosníků 1 065 mm
- Vnitřní rozteč odvalovacích rolen 1 565 mm, průměr rolen 160mm, délka rolen 300mm



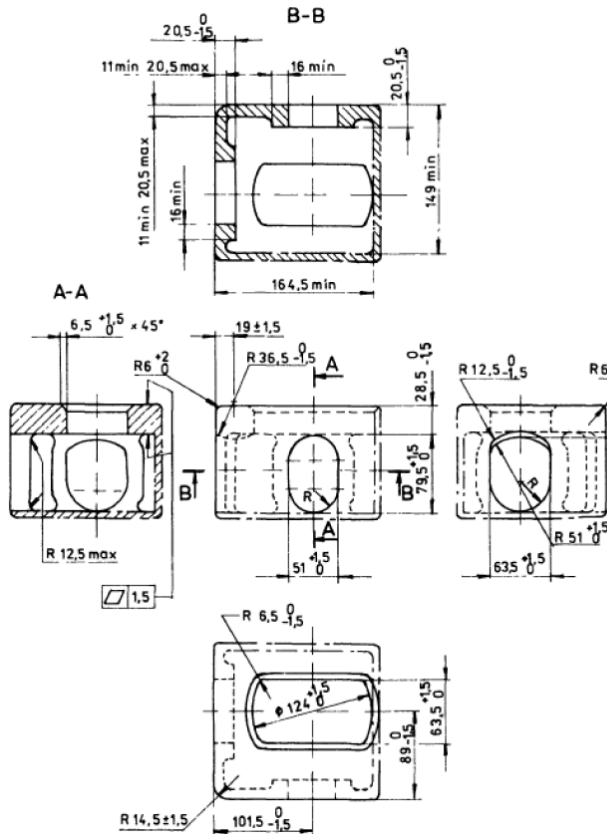
Obr. 10.: Rozměry kontejneru dané normou DIN 30 722-1

### 2.6.2 Kontejnery řady 1 – Manipulace a fixace, ČSN ISO 3874

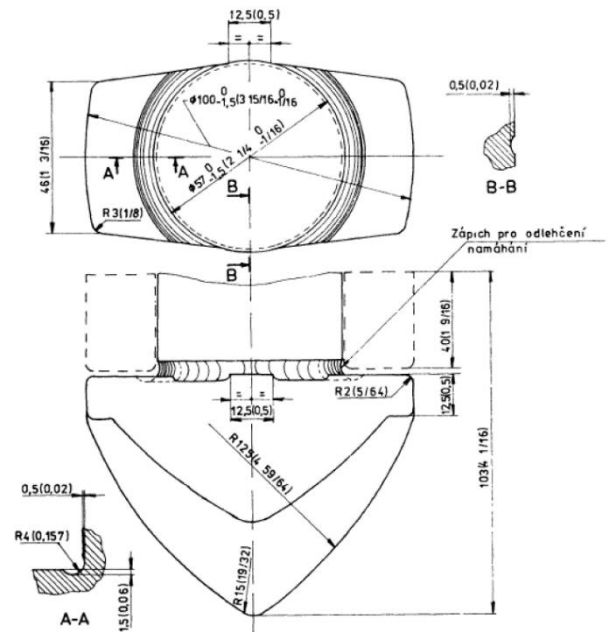
Manipulaci a fixaci kontejnerů ISO kontejnerů řady 1 upravuje tato mezinárodní norma. V první části obsahuje možnosti manipulace s ISO kontejnery, zejména pak umožňuje zvedání za rohové prvky a také upravuje zvedání vysokozdvížným vozíkem, kde ližiny vysokozdvížného vozíků musí zasahovat nejméně 1825 mm do nabíracích otvorů. V druhé části je uvedena fixace, celkové rozmístění kontejnerů a síly působící na kontejner při lodní přepravě. Pro silniční a železniční dopravu z této normy vyplývá, že postačí fixace za rohové prvky.

### 2.6.3 Rohové prvky, ČSN 26 9344 – ISO 1161

Norma stanovuje přesné rozměry rohových prvků, které jsou používány u ISO kontejnerů. Za tyto rohové prvky je poté kontejner přepravován a ukotven na železničních a silničních podvozcích. Ukotvení je pak pomocí speciálních trnů, které při jejich pootočení dojde k fixaci rohových prvků k podvozku.



Obr. 11.: Rozměry rohových prvků



Obr. 12.: Rozměry zajišťovacích trnů

## 3 Výchozí parametry návrhu

### 3.1 Vnější rozměry

Vnější rozměry kontejneru jsou dány ze strany zadavatele, které jsou do jisté míry omezeny možnou přepravou kontejneru na tramvajových podvozcích a tím i průjezdným profilem tramvajové trati.

Vnější rozměry kontejneru: 2 000mm – šířka, 2 000mm - výška, 5 000mm – délka

### 3.2 Hmotnost odpadu

Maximální hmotnost odpadu je stanovena na základě úvahy, kde vnitřní rozměry jsou odhadnuty na 1 800 mm šířka, 1 800 mm výška a 4 740 mm délka. Z těchto vnitřních rozměrů vyplývá vnitřní využitelný prostor na 15,36 m<sup>3</sup>. Při případném naplnění kontejneru komunálním odpadem s maximální objemovou hmotností 800 kg.m<sup>-3</sup>, je celková hmotnost odpadu 12 300 kg. Předpokládaná hmotnost kontejneru je 2 500 kg, což představuje celkovou hmotnost 14 800kg.

### 3.3 Další požadavky

Další požadavky vyplynuly z provedené rešerše norem k požadovaným typům přepravy a manipulaci kontejneru. Výška manipulačního oka a rozteč podélných nosníků, se řídí dle normy DIN 30 722-1. Samotné rozměry a tvar rohových prvků, pak dle normy ČSN 26 9344 – ISO 1161. Rozteč podélných profilů a výška manipulačního oka zásadním způsobem promlouvá do samotné konstrukce kontejneru.

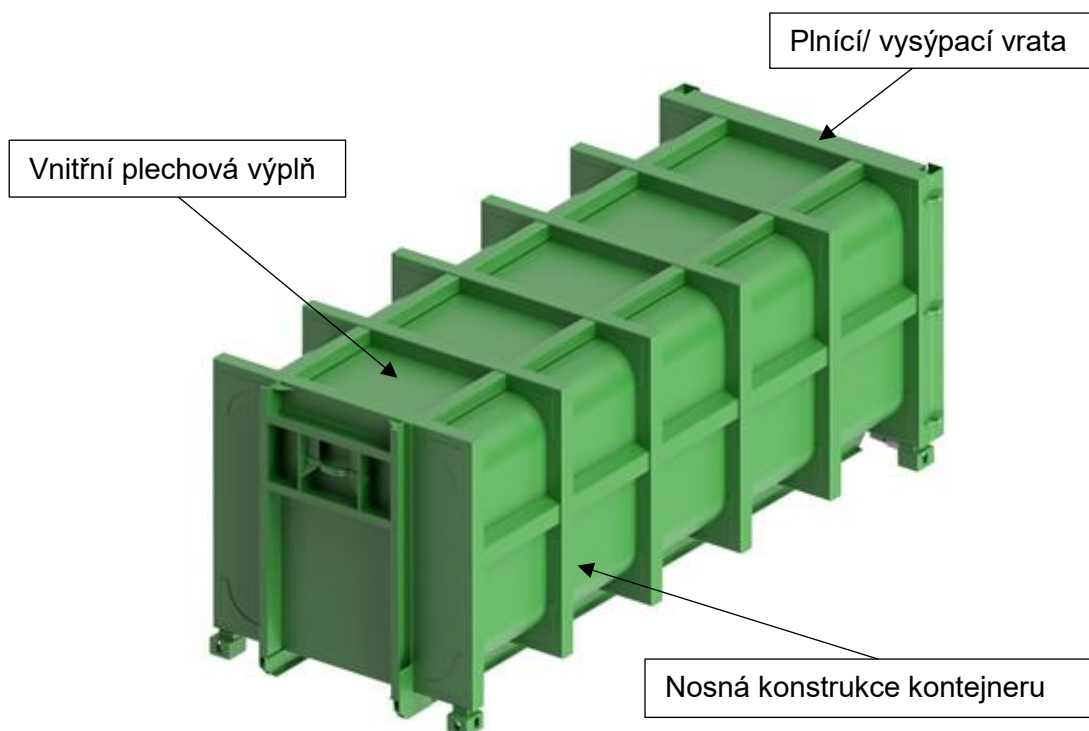
Následným vstupním parametrem návrhu konstrukce je jeho výrobní cena a dostupné varianty výroby obdobných konstrukcí. Proto je konstrukce koncipována jako svařenec z válcovaných profilů, případně profilů ohýbaných. Materiál profilů a plechů je zvolena běžně dostupná svařitelná konstrukční ocel S355J2H s mezí kluzu  $R_e=355\text{MPa}$  [14]. Dále je třeba uvažovat nad umístěním svarů a celkově nad vyrobiteľností konstrukce. Umístění svarů musí být tak, aby byly snadno dostupné pomocí ruční metody svařování.

Vzhledem k přepravě komunálního odpadu je nutné zajistit hermetické uzavření kontejneru. Z tohoto důvodu je nutné použít těsnění u plnicích vrat a u vnitřní plechové výplně pak není možné použít přerušované svary pro hermetické uzavření.



## 4 Rozklad konstrukce

Konstrukci kontejneru je možné rozdělit do několika základních skupin. První je rozčlenění celého kontejneru dle. obr. 13, na samotnou nosnou konstrukci kontejneru, plnicí resp. vysýpací vrata a vnitřní plechovou výplň.

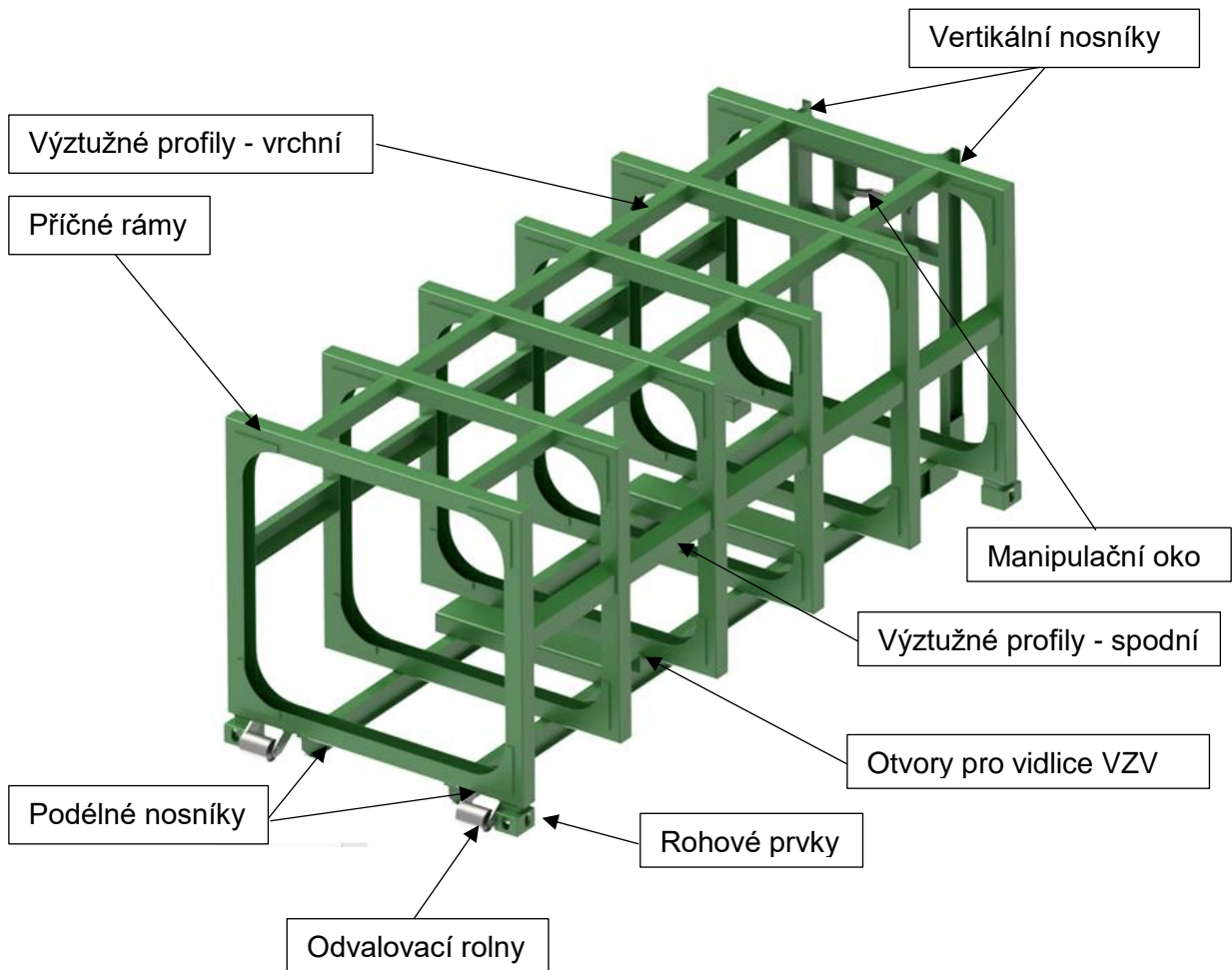


Obr. 13.: Rozklad konstrukce kontejneru

**Vnitřní plechová výplň** ohraničuje prostor pro komunální odpad a jistým způsobem vyztužuje celou konstrukci kontejneru. V rozích kontejneru je provedeno zakružení plechu, čímž je omezena možnost ulpívání odpadu v těchto místech. Dále toto zakružení poskytuje prostor pro výztuhy rámu v této namáhané části.

**Plnicí a vysýpací vrata** jsou dvojdílné. Pro plnění kontejneru, které bude prostřednictvím lisu, jsou umístěny šachtová vrata, které se otevírají vysunutím směrem nahoru. Pro vysýpání kontejneru jsou zde umístěny, také jednokřídlá vrata. Šachtová vrata jsou součástí jednokřídlých vrat a tvoří samostatný konstrukční celek. Tento konstrukční celek je podrobněji popsán v jedné z následujících kapitol této diplomové práce.

Dále je možné rozdělit nosnou konstrukci kontejneru dle obr. 14, na základní konstrukční celky, ze kterých se konstrukce skládá. Takto rozdělená nosná konstrukce je poté použita pro základní návrh profilů pro tyto konstrukční celky.



Obr.14.: Rozklad nosné konstrukce kontejneru

**Odvalovací rolny** jsou umístěny tak, aby při nakládání kontejneru na hákový nosič nedocházelo po naklonění kontejneru ke kontaktu rohových prvků v přední části s podkladem. Zároveň jejich poloha ponechává dostatečný prostor mezi podélným nosníkem a odvalovací rolnou. Tento prostor je nutný pro rolny s límcem, po kterých je kontejner nakládán na hákové nosiče kontejnerů. Tyto rolny s límcem jsou rovněž součástí hákového nosiče.

**Podélné nosníky** mají přenášet zejména velké ohybové momenty, které vznikají při uchycení za rohové prvky nebo při nakládání, kdy kontejner spočívá na jedné straně na odvalovacích rolnách a na straně druhé je zvedán za manipulační oko. Prostor mezi těmito podélnými nosníky musí zůstat volný, v tomto prostoru je pak umístěna řada důležitých prvků, např. samotné zajištění kontejneru na vozidle. Tyto důležité prvky jsou součástí nástaveb pro hákové nosiče kontejnerů. Podélné nosníky jsou poté na jedné straně spojeny s vertikálními nosníky. Tomuto spojení je třeba věnovat zvýšenou pozornost, protože skrze tento spoj budou přenášeny velká zatížení.

**Otvory pro vidlice vysokozdvížeňého vozíku** jsou umístěny symetricky k těžišti kontejneru. Rozteč a potřebná velikost otvorů pro ližiny VZV jsou vybrány dle vyráběných typů vozíků s odpovídající tonáží.

**Rohové prvky** jsou umístěny rozích kontejneru a výškově jsou situovány v úrovni podélných nosníků. Tudíž při uložení na rovné podložce kontejner spočívá na podélných nosnících a těchto rohových prvcích.

**Manipulační oko** je připevněno k vertikálním nosníkům v požadované výšce dané normou. Jeho tvar rovněž splňuje požadavky normy. Oko odpovídá obrysovým rozměrům kontejneru, takže oko nikterak nevyčnívá.

**Výztužné profily** spodní a vrchní mají přispívat k přenosu zatížení a vytvářet spolu s ostatními prvky konstrukce prostorově tuhou nosnou konstrukci.

## 5 Návrh nosných částí konstrukce

Cílem návrhu konstrukce v této části je předběžný návrh nosných profilů po rozdělení na konstrukční celky. Pro tento předběžný návrh je použito analytického řešení. Návrh nosných profilů je třeba provádět s ohledem na spojování jednotlivých profilů a celkově na vyrobiteľnosť jednotlivých spojů.

Některé části konstrukce, jako je vnitřní plechová výplň vychází spíše ze zkušeností s výrobou, resp. provozem kontejnerů. Proto tloušťky plechů této vnitřní plechové výplně byly zvoleny obdobně, jako u vyráběných rámcově podobných kontejnerů. U výztužných profilů ve spodní a vrchní části je složité stanovit zatížení takovýchto profilů. Tudíž jsou tyto profily zvoleny v odpovídající velikosti, jako jsou profily příčných rámců a případně později upraveny na základě dalších výpočtů. Takto navržená konstrukce poté vstupuje do dalších detailnějších výpočtů metodou konečných prvků.

Dominantním namáháním navrhovaných profilů je namáhání ohybové, proto jsou tyto předběžné návrhy profilů vztaženy k dovolenému napětí v ohybu  $\sigma_{dov}$ . Toto napětí je stanoveno vůči mezi kluzu materiálu.

### Dovolené napětí v ohybu

$$\sigma_{dov} = \frac{R_{emin}}{k_{min}} = \frac{355}{1,5} = 236,67 \text{ MPa} \quad (1)$$

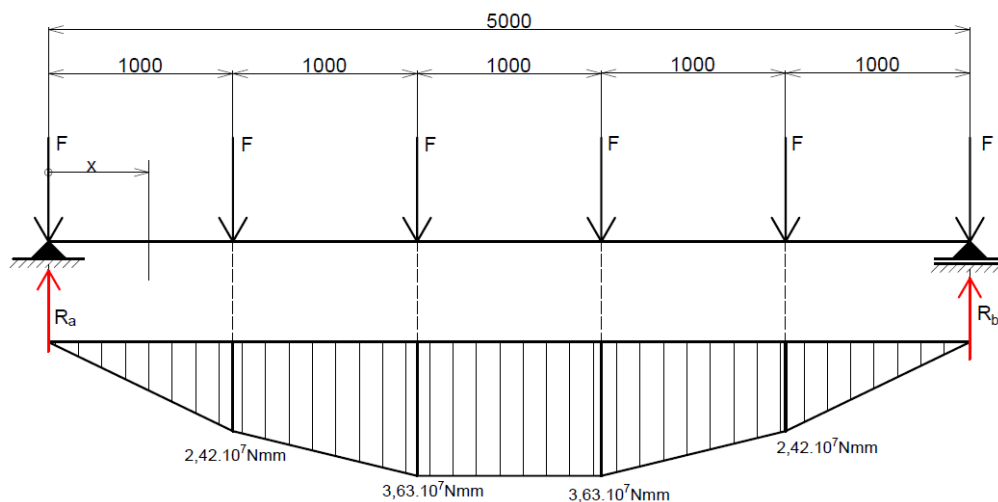
kde  $R_{emin}$  [MPa] minimální mez kluzu pro materiál S355J2H, z lit. [9]

$k_{min}$  [-] minimální bezpečnost, z lit. [9]

## 5.1 Návrh podélných profilů

Výpočtový model pro návrh podélných profilů je uveden na obr. 15. Podélné profily jsou navrhovány pro nejméně příznivý zátěžný stav, kdy na profily působí maximální ohybový moment. Toto zatížení vzniká, např. při uložení kontejneru na rohových prvcích nebo při zvedání kontejneru za manipulační oko. Síla  $F$  představuje zatížení od rámu, resp. od hmotnosti celého kontejneru, včetně odpadu, který působí na rámy.

Řešení tohoto jednoduchého nosníku je provedeno metodou řezu. Vzhledem k symetrii nosníku postačí řešit polovinu nosníku.



Obr. 15.: Výpočtový model a ohybový moment podélných profilů

Zatěžující síla  $F$ :

$$F = \frac{m_{\text{celk}} \cdot g}{n_R \cdot n_P} = \frac{14\,800,981}{6,2} = 12\,099\text{N} \quad (2)$$

kde	$m_{\text{celk}}$ [kg]	celková hmotnost kontejneru
	$g$ [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]	gravitační zrychlení
	$n_R$ [-]	počet rámu
	$n_P$ [-]	počet podélných nosníků

*Vertikální reakce:*

$$R_a = R_b = 3 \cdot F = 3 \cdot 12\,099 = 36\,297\text{N} \quad (3)$$

*Určení průběhu ohybového momentu  $M_o$ :*

$x \in \langle 0; 1000 \rangle \text{mm}$

$$M_{oI} = R_a \cdot x - F \cdot x = 3 \cdot F \cdot x - F \cdot x = 2 \cdot F \cdot x = 2 \cdot 12\,099 \cdot x = (24\,198 \cdot x) \text{Nmm} \quad (4)$$

$x \in \langle 1000; 2000 \rangle \text{mm}$

$$M_{oII} = R_a \cdot x - F \cdot x - F \cdot (x - 1000) = 3 \cdot F \cdot x - F \cdot x - F \cdot x + 1000 \cdot F = F \cdot x + 1000 \cdot F \quad (5)$$

$$M_{oII} = 12\,099 \cdot x + 1000 \cdot 12\,099 = (12\,099 \cdot x + 12,09 \cdot 10^6) \text{Nmm}$$

*Maximální ohybový moment  $M_{o\max}$  má pak hodnotu:*

$$M_{o\max}(x = 2000) = (12\,099 \cdot x + 12,09 \cdot 10^6) = (12\,099 \cdot 2000 + 12,09 \cdot 10^6)$$

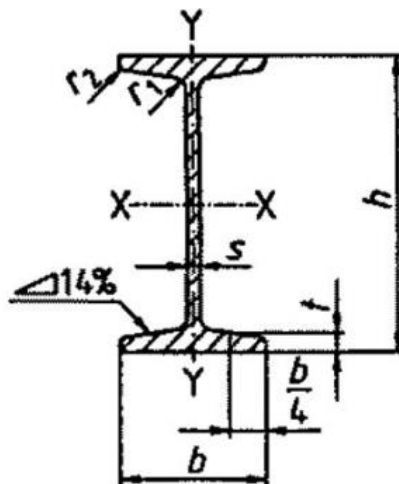
$$M_{o\max}(x = 2000) = 3,63 \cdot 10^7 \text{Nmm}$$

Volba profilu podélných nosníků:

Volba velikosti I-profilu podélných nosníků je provedena na základě maximálního ohybového momentu. Z maximálního ohybového momentu  $M_{omax}$  je určen nejmenší potřebný modul průřezu v ohybu na základě rovnice (6). Z této vypočtené hodnoty je zvolen profil I180 dle DIN 1025-1 s modulem  $W_o=161\ 000\text{mm}^3$  [2].

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{W_o} \Rightarrow W_o \geq \frac{M_{omax}}{\sigma_d} = \frac{3,63 \cdot 10^7}{236,67} = 153\ 378,12\text{mm}^3 \quad (6)$$

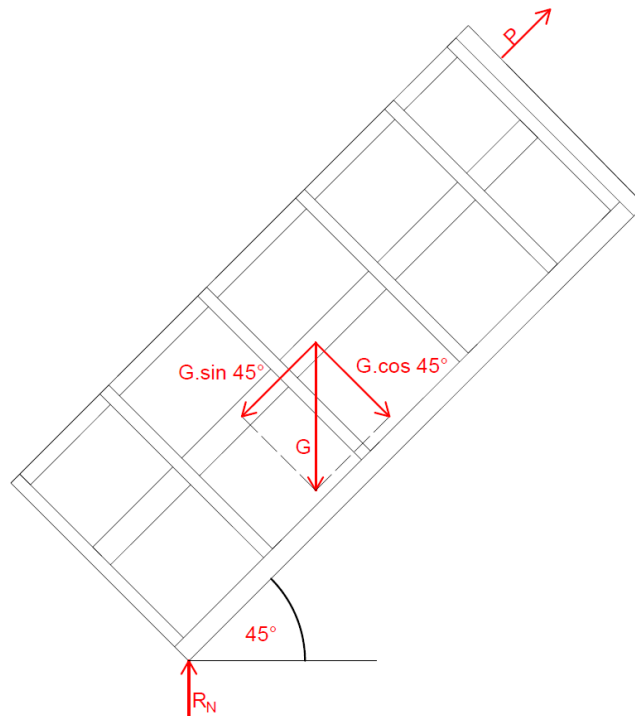
- kde  $\sigma_o$  [MPa] ohybové napětí
- $M_{omax}$  [Nmm] maximální ohybový moment
- $\sigma_d$  [MPa] dovolené ohybové napětí
- $W_o$  [mm<sup>3</sup>] průřezový modul v ohybu



Obr. 16.: Zvolný profil podélných nosníků [2]

## 5.2 Návrh vertikálních nosníků

Návrh vertikálních nosníků vychází ze zátěžného stavu, kdy je plně ložený kontejner umístěn na hákovém nosiči kontejnerů a sklopen pod úhlem  $45^\circ$ . Tento úhel je maximální úhel sklopení, který výrobci nosičů umožňují. Při tomto zátěžném stavu jsou vertikální reakce  $R_N$  kontejneru zachyceny na krajích podélných profilů, resp. na odvalovacích rolnách nosiče. Druhé reakce horizontální a vertikální jsou zachyceny manipulačním okem, v obr. 17 naznačené silou  $P$ . Ohybové namáhání vertikálních profilů je při tomto sklopení nejnepříznivější.



Obr. 17.: Výpočtový model pro návrh vertikálních nosníků

Zatěžující síla  $P$ :

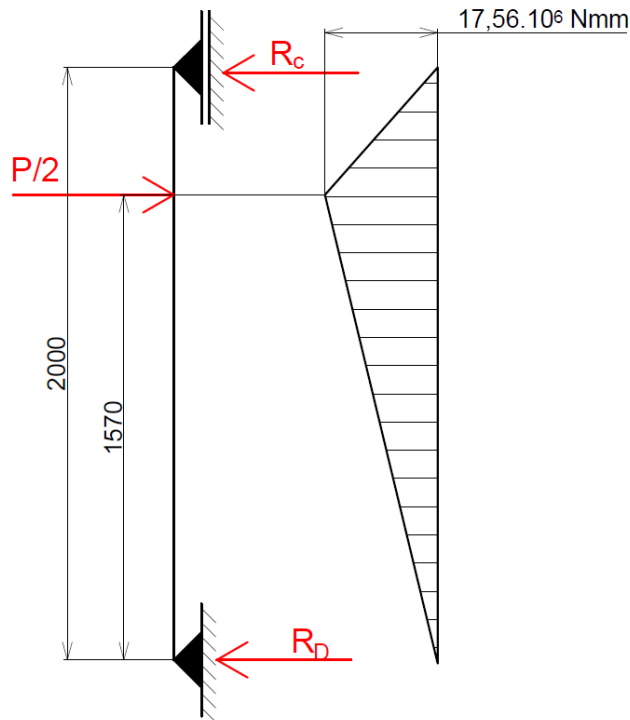
$$P = G \cdot \sin 45^\circ = m_{\text{celk}} \cdot g \cdot \sin 45^\circ = 14\,800,981 \cdot \sin 45^\circ = 104\,050,76\text{N} \quad (7)$$

kde  $m_{\text{celk}}$  [kg] celková hmotnost kontejneru

$g$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ] gravitační zrychlení



Výpočtový model vertikálních profilů je naznačen na obr. 18. Na každý nosník působí síla velikosti  $P/2$ , která způsobuje reakce  $R_C$  a  $R_D$ . Po vypočtení reakcí je možné snadno určit z rovnice (10) maximální ohybový moment  $M_{\text{omax}}$ . Z tohoto ohybového momentu je vypočten minimální průřezový modul v ohybu  $W_O$ . Poté je vybrán profil U140 dle ČSN 42 5570 s  $W_O=86\,400\text{mm}^3$  [2], viz. obr. 19.



Obr. 18.: Výpočtový model a průběh ohybového momentu vertikálních nosníků

Silová rovnováha a určení reakcí  $R_C$  a  $R_D$ :

$$1570 \cdot \frac{P}{2} - R_C \cdot 2000 = 0 \Rightarrow R_C = \frac{1570}{2000} \cdot \frac{P}{2} = \frac{1570}{2000} \cdot \frac{104\,050,76}{2} = 40\,839,92\text{N} \quad (8)$$

$$R_D = \frac{P}{2} - R_C = \frac{P}{2} - \frac{1570}{2000} \cdot \frac{P}{2} = \frac{430}{2000} \cdot \frac{P}{2} = \frac{430}{2000} \cdot \frac{104\,050,76}{2} = 11\,185,46\text{N} \quad (9)$$

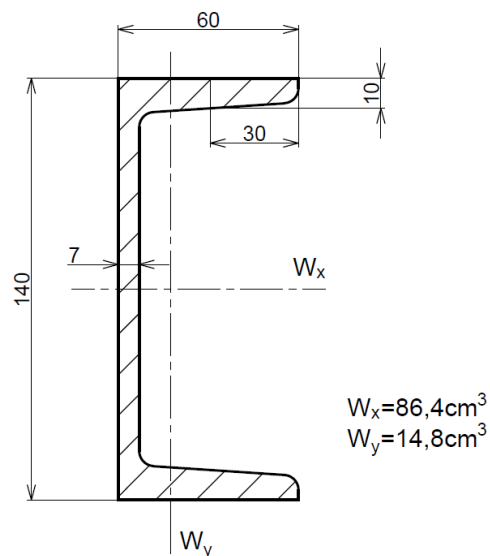
Maximální ohybový moment  $M_{omax}$ :

$$M_{omax} = \frac{P}{2} \cdot 1570 = \frac{104\,050,76}{2} \cdot 1570 = 17,56 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \quad (10)$$

Stanovení potřebného modulu průřezu v ohybu:

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{W_o} \Rightarrow W_o \geq \frac{M_{omax}}{\sigma_d} = \frac{17,56 \cdot 10^6}{236,67} = 74\,199,39 \text{ mm}^3 \quad (11)$$

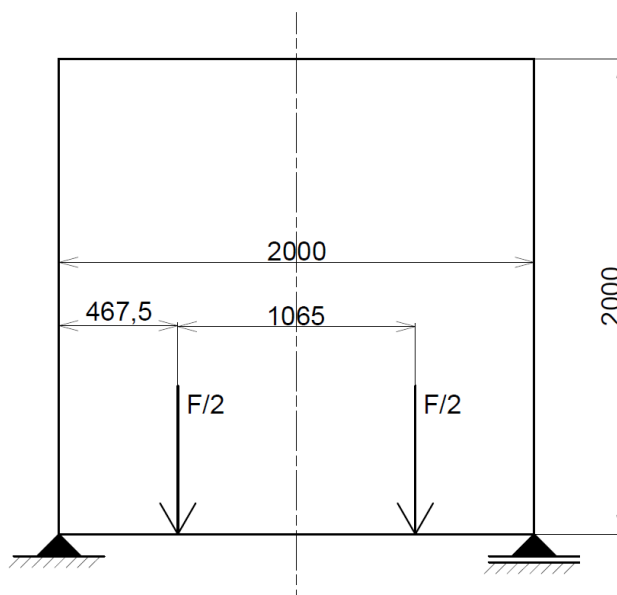
kde  $\sigma_o$  [MPa] ohybové napětí  
 $M_{omax}$  [Nmm] maximální ohybový moment  
 $\sigma_d$  [MPa] dovolené ohybové napětí  
 $W_o$  [mm<sup>3</sup>] průřezový modul v ohybu



Obr. 19.: Zvolený profil pro vertikální nosníky

## 5.3 Návrh rámu

Základní návrh rámu je proveden opět analyticky, jejichž řešení bylo součástí základního kurzu pružnosti a pevnosti. Nejnepříznivější zatížení rámu je při uchycení za rohové prvky a plném naložení kontejneru. Zjednodušený model je uveden na obr. 20. Síla  $F/2$  představuje zatížení od podélných nosníků, tedy zatížení hmotností kontejneru a od samotného odpadu. Uložení je pro zjednodušení staticky určité a je umístěno v místech rohových prvků. Celkově bylo zvoleno šest rámu v konstrukci kontejneru s roztečí 1 000mm. Tento počet rámu představuje kompromis mezi množstvím spojů při nárůstu počtu rámu na straně jedné a na straně druhé se snižujícím se počtem rámu se zvyšuje namáhání podlahy vnitřní plechové výplně. Počet rámu rovněž ovlivňuje přenos zatížení v konstrukci.



Obr. 20.: Výpočtový model rovinného rámu

Síla  $F$  resp.  $F/2$  je vypočtena z hmotnosti odpadu a hmotnosti kontejneru, tj. 14 800kg, za předpokladu rovnoměrného rozložení sil na rohové prvky.

Zatěžující síla  $F/2$ :

$$\frac{F}{2} = \frac{m_{\text{celk}} \cdot g}{n_{\text{RP}}} = \frac{14\,800 \cdot 9,81}{4} = 36\,297\text{N} \quad (11)$$

kde	$m_{\text{celk}}$ [kg]	celková hmotnost kontejneru
	$g$ [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]	gravitační zrychlení
	$n_{\text{RP}}$ [-]	počet rohových prvků

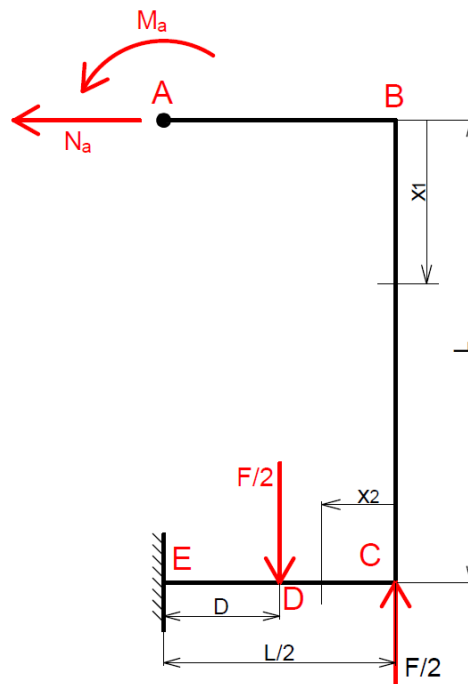
### 5.3.1 Řešení rovinného rámu

Rovinný rám je obecně 3x staticky neurčitý. Každá osa symetrie, pak snižuje stupeň statické neurčitosti o 1 stupeň. V tomto případě má rám 1 osu symetrie a celkově je tedy 2x staticky neurčitý. V bodě A byla zavedena neurčitá síla  $N_a$  a neurčitý reakční moment  $M_a$ , pro jejichž určení byly doplněny 2 deformační podmínky. První deformační podmínkou je horizontální posuv  $u_a$  bodu A je roven 0. Druhou podmínkou je pak natočení  $\varphi_a$  v bodě A je rovněž roven 0.

*Deformační podmínky:*

$$u_a = 0 \quad (12)$$

$$\varphi_a = 0 \quad (13)$$



Obr. 21.: Zavedení vnitřních účinků

$$L = 2000\text{mm}$$

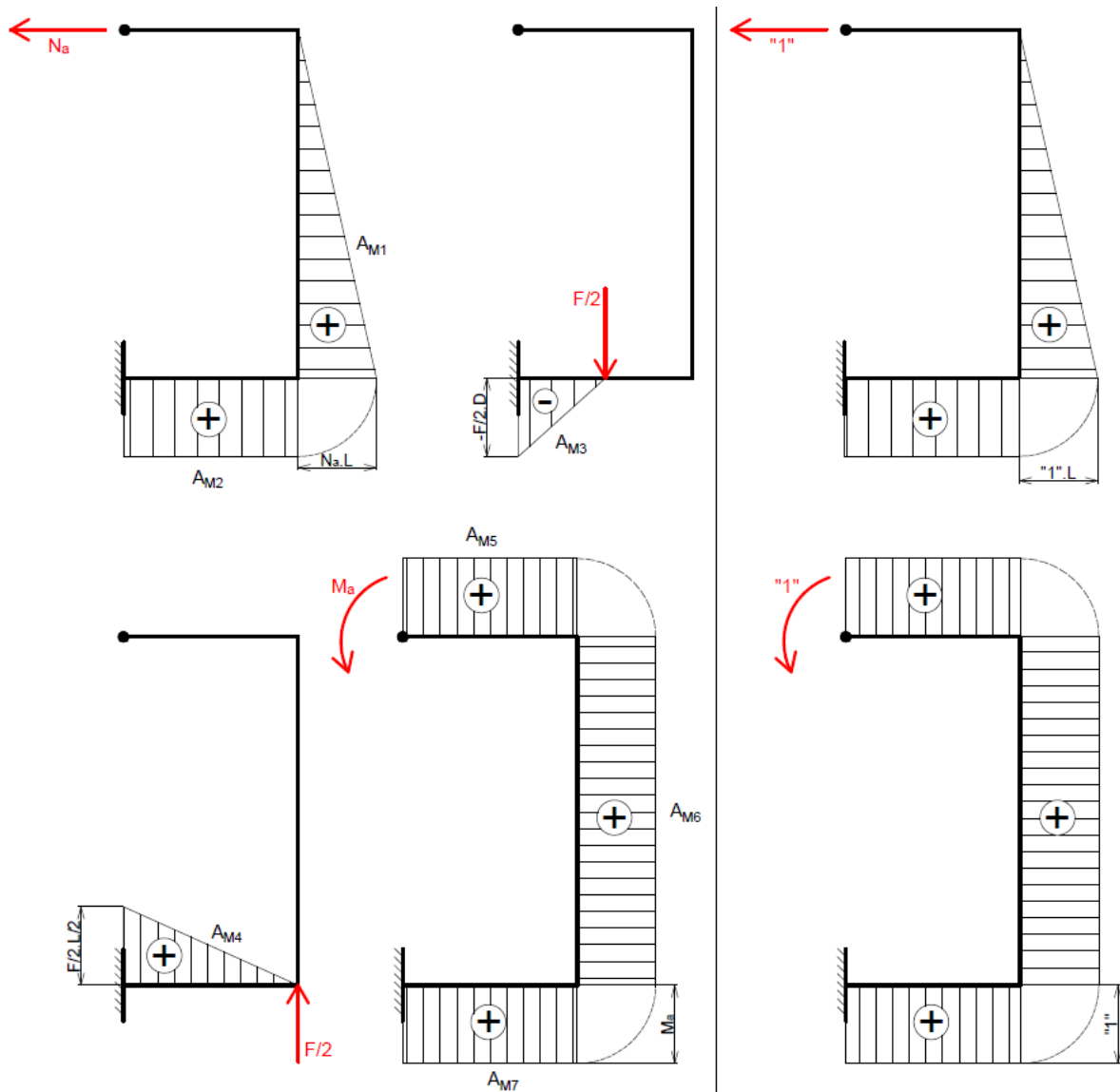
$$D = 532,5\text{mm}$$

Deformační podmínky  $u_a$  a  $\varphi_a$  je výhodné řešit s využitím Vereščaginova pravidla výpočtu Mohrova integrálu. Momentové plochy  $A_{Mi}$  od jednotlivých zatížení a momentové plochy  $m_{Ti}$  od jednotkového zatížení je zobrazeno na obr. 22.

$$u_a = \frac{1}{EJ} \sum_{i=1}^n A_{Mi} \cdot m_{Ti} = 0 \quad (14)$$

$$\varphi_a = \frac{1}{EJ} \sum_{i=1}^n A_{Mi} \cdot m_{Ti} = 0 \quad (15)$$

kde	$A_{Mi}$ [N.mm <sup>2</sup> ]	velikost momentové plochy
	$m_{Ti}$ [mm]	velikost <i>i-tého</i> momentu od jednotkového zatížení v těžišti příslušné momentové plochy $A_{Mi}$
	$E$ [MPa]	modul pružnosti oceli v tahu
	$J$ [mm <sup>4</sup> ]	kvadratický moment průřezu
	$u_a$ [mm]	horizontální posuv bodu A
	$\varphi_a$ [rad]	natočení v bodě A



Obr. 22.: Momentové plochy od příslušných zatížení

Z rovnic (12) a (14) dostáváme:

$$u_a = \frac{1}{EJ} \sum_{i=1}^n A_{Mi} \cdot m_{Ti} = \frac{1}{EJ} \sum_{i=1}^7 A_{Mi} \cdot m_{Ti}$$

$$u_a = \frac{1}{EJ} \left[ \frac{2}{6} N_a \cdot L^3 + \frac{1}{2} N_a \cdot L^3 - \frac{1}{4} \cdot D^2 \cdot L + \frac{1}{16} F \cdot L^3 + M_a \cdot \frac{L}{2} \cdot 0 + \frac{1}{2} M_a \cdot L^2 + \frac{1}{2} \cdot M_a \cdot L^2 \right]$$

$$u_a = \frac{1}{EJ} \left[ \frac{5}{6} \cdot N_a \cdot L^3 - \frac{1}{4} \cdot F \cdot D^2 \cdot L + \frac{1}{16} \cdot F \cdot L^3 + M_a \cdot L^2 \right]$$

$$0 = \frac{5}{6} \cdot N_a \cdot L^3 - \frac{1}{4} \cdot F \cdot D^2 \cdot L + \frac{1}{16} \cdot F \cdot L^3 + M_a \cdot L^2$$

Z rovnic (13) a (15) dostáváme:

$$\varphi_a = \frac{1}{EJ} \sum_{i=1}^n A_{Mi} \cdot m_{Ti} = \frac{1}{EJ} \sum_{i=1}^7 A_{Mi} \cdot m_{Ti}$$

$$\varphi_a = \frac{1}{EJ} \left[ \frac{1}{2} \cdot N_a \cdot L^2 + \frac{1}{2} \cdot N_a \cdot L^2 - \frac{1}{4} \cdot D^2 + \frac{1}{16} \cdot F \cdot L^2 + \frac{1}{2} M_a \cdot L + M_a \cdot L + \frac{1}{2} M_a \cdot L \right]$$

$$\varphi_a = \frac{1}{EJ} \left[ N_a \cdot L^2 - \frac{1}{4} \cdot F \cdot D^2 + \frac{1}{16} \cdot F \cdot L^2 + 2 \cdot M_a \cdot L \right]$$

$$0 = N_a \cdot L^2 - \frac{1}{4} \cdot F \cdot D^2 + \frac{1}{16} \cdot F \cdot L^2 + 2 \cdot M_a \cdot L$$

Dostáváme soustavu rovnic z rovnic (12)-(14) a (13)-(15):

$$\frac{5}{6} \cdot N_a \cdot L^3 + M_a \cdot L^2 = \frac{1}{4} \cdot F \cdot D^2 \cdot L - \frac{1}{16} \cdot F \cdot L^3 \quad (16)$$

$$N_a \cdot L^2 + 2 \cdot M_a \cdot L = \frac{1}{4} \cdot F \cdot D^2 - \frac{1}{16} \cdot F \cdot L^2 \quad (17)$$

Kterou je možné zapsat maticově ve tvaru **A.x=B**

$$\begin{vmatrix} \frac{5}{6} \cdot L^3 & L^2 \\ L^2 & L^2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} N_a \\ M_a \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{1}{4} \cdot F \cdot D^2 \cdot L - \frac{1}{16} \cdot F \cdot L^3 \\ \frac{1}{4} \cdot F \cdot D^2 - \frac{1}{16} \cdot F \cdot L^2 \end{vmatrix}$$

Pro řešení soustavy rovnic je možné použít Cramerovo pravidlo, kde po dosazení za veličiny F, D a L dostáváme hledané reakce a reakční momenty v daném bodě:

$$N_a = -4879,51N$$

$$M_a = 1,63 \cdot 10^6 Nmm$$

Ohybové momenty v dalších částech rámu je možné dopočítat metodou řezu:

Pole A-B:

$$M_{O_{A-B}} = M_a = 1,63 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \quad (18)$$

Pole B-C:

$$M_{O_{B-C}} = M_a + N_a \cdot x_1 = (1,63 \cdot 10^6 - 4879,51 \cdot x_1) \text{ Nmm} \quad (19)$$

Pole C-D:

$$M_{O_{C-D}} = M_a + N_a \cdot L + \frac{F}{2} \cdot x_2 = 1,63 \cdot 10^6 - 4879,51 \cdot 2000 + 36\,297 \cdot x_2 \quad (20)$$

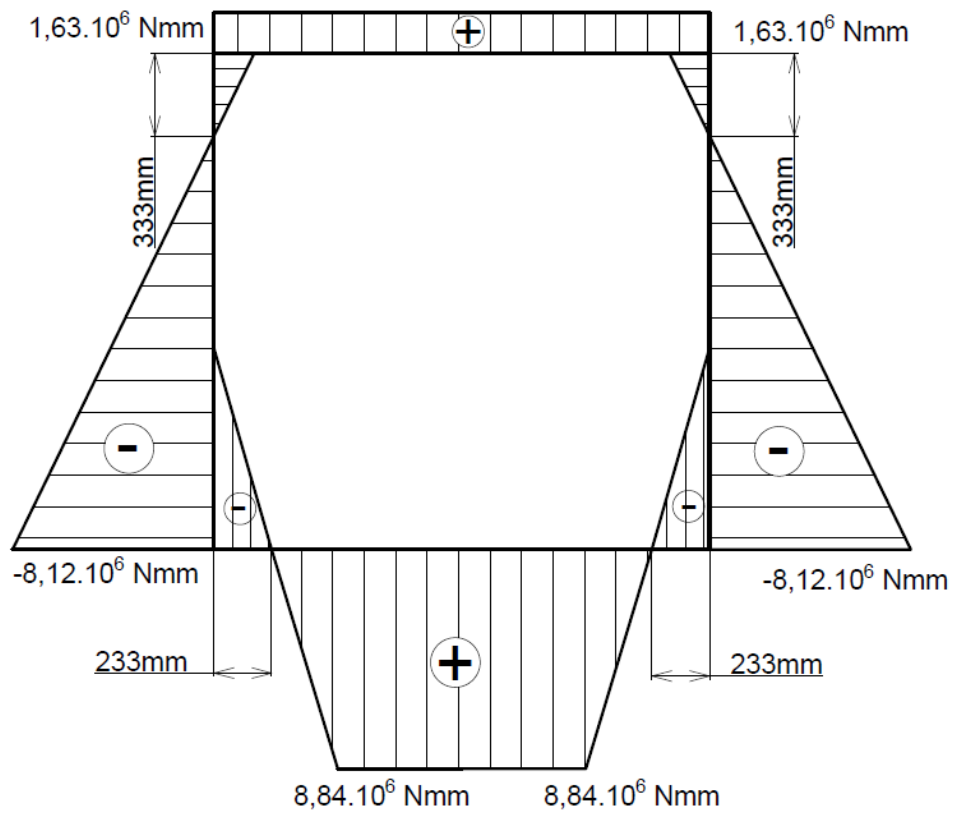
$$M_{O_{C-D}} = (-8,12 \cdot 10^6 + 36\,297 \cdot x_2) \text{ Nmm}$$

Pole D-E:

$$M_{O_{D-E}} = M_a + N_a \cdot L + \frac{F}{2} \cdot x_2 - \frac{F}{2} \cdot \left[ x_2 - \left( \frac{L}{2} - D \right) \right] = M_a + N_a \cdot L + \frac{F}{2} \left( \frac{L}{2} - D \right) \quad (21)$$

$$M_{O_{D-E}} = 1,63 \cdot 10^6 - 4879,51 \cdot 2000 + 36297 \cdot \left( \frac{2000}{2} - 532,5 \right) = 8,84 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$





Obr. 23.: Výsledný průběh ohybového momentu na rámu

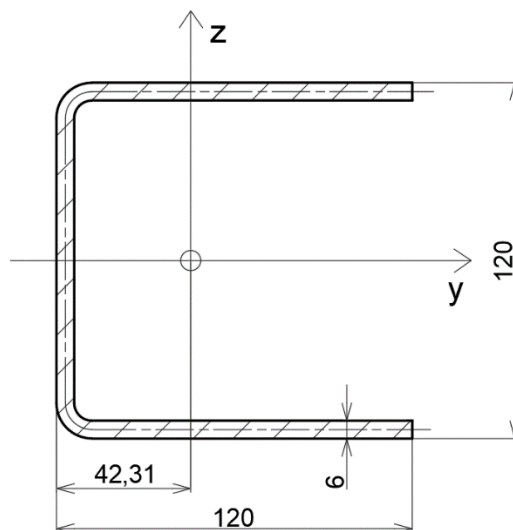
### 5.3.2 Volba profilu

Profil je volen z důvodu snadnější výrobitelnosti rámu pro celý rám jednotný. Výhodné by bylo horní profil zvolit menšího průřezu a docílit tak lepšího využití materiálu. Následná výroba a zejména umístění svarů by bylo problematické, a proto byla zvolena jednotná velikost profilu pro celý rám.

Volba vhodného profilu opět vychází z maximálního dovoleného napětí pro materiál S355J2H. Toto dovolené napětí je stanoveno na základě (1). Maximální ohybový moment  $M_{omax}$  je v poli D-E a má hodnotu  $8,84 \cdot 10^6$  Nmm. Na základě tohoto ohybového momentu je stanoven minimální modul průřezu v ohybu  $W_o$  a dle tohoto modulu je zvolen profil. Profil je vytvořen ohýbáním na ohraňovacím lisu z plechu tloušťky 6 mm a jeho rozměry jsou uvedeny na obr. 24.

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{W_o} \Rightarrow W_o \geq \frac{M_{omax}}{\sigma_{dov}} = \frac{8,84 \cdot 10^6}{236,67} = 37\,351,59 \text{ mm}^3 \quad (22)$$

kde	$\sigma_o$ [MPa]	ohybové napětí
	$M_{omax}$ [Nmm]	maximální ohybový moment
	$\sigma_d$ [MPa]	dovolené ohybové napětí
	$W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	minimální průřezový modul v ohybu

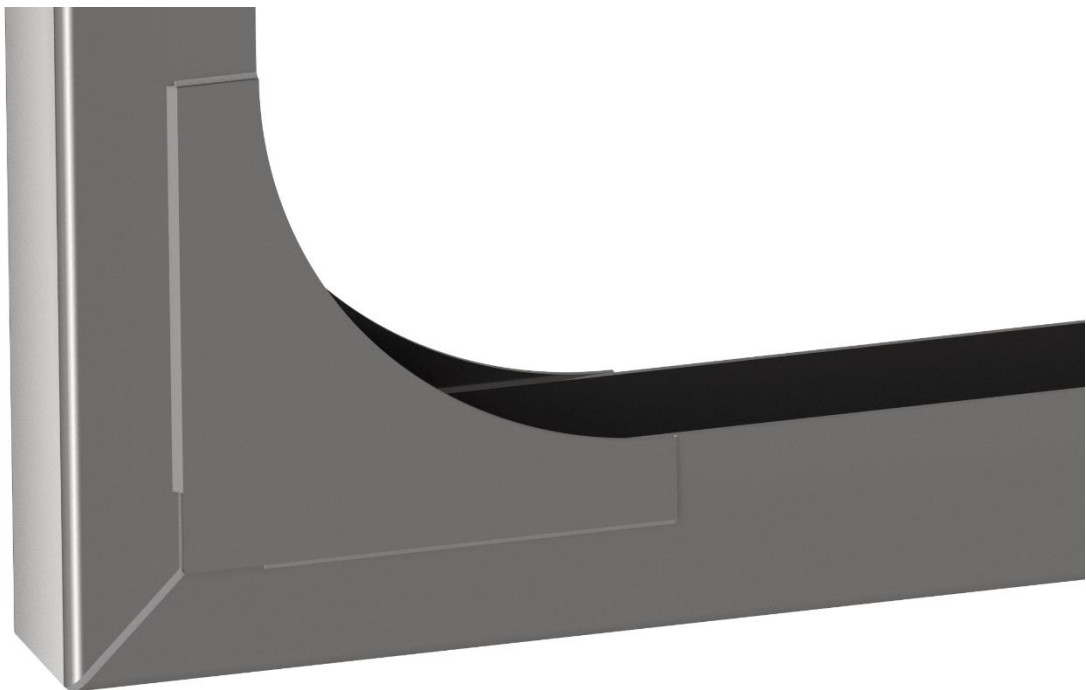


$$W_z = 40\,956,51 \text{ mm}^3$$

Obr. 24.: Navrhovaný profil rámu

### 5.3.3 Spojení profilů

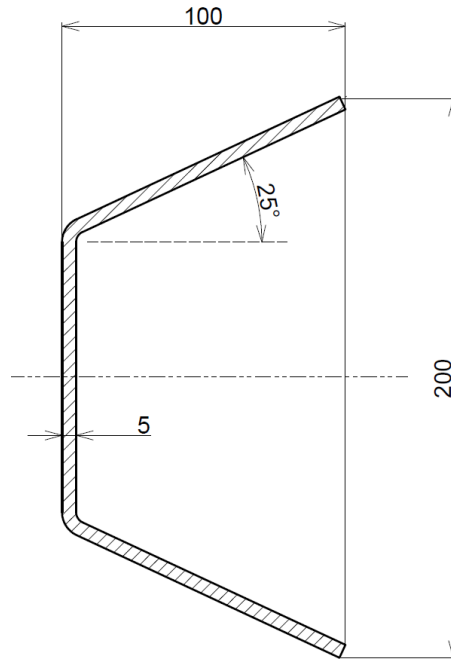
Spojování profilů a celkově konstrukce je řešena jako svařenec. Pro vytvoření rámu je třeba z navržených profilů provést pravoúhlé spojení, a tak vytvořit rám o požadovaných rozměrech. Navrhovaný konstrukční detail je proveden seříznutím konců profilů pod úhlem  $45^\circ$  a následným provedením tupého svaru. Pro snížení namáhání tupého svaru a podporu vnitřní plechové výplně je použito výztuh o tloušťce 5 mm. Tyto výztuhy jsou přivařeny koutovými svary s dostatečným odsazením od svaru tupého, aby nedocházelo ke koncentraci napětí.



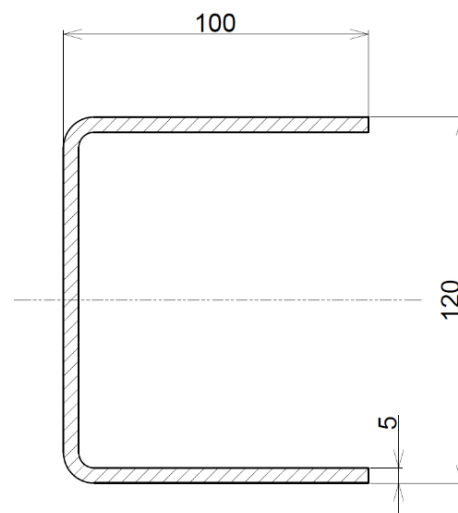
*Obr. 25.: Detail provedení spojení profilů u rámu*

## 5.4 Výztužné profily

Určit namáhání spodních a vrchních výztužných profilů je obtížné, proto jsou zvoleny na základě použitých profilů pro rámy. Při volbě profilů byl brán ohled na umístění svarů v místech spojů s celkovým ohledem na vyrobitelnost konstrukce. Oba profily jsou vyrobeny z plechových výpalků tloušťky 5 mm a jejich následným ohraněním do požadovaného tvaru.



Obr. 26.: Zvolený tvar pro spodní výztužný profil



Obr. 27.: Zvolený tvar pro vrchní výztužný profil

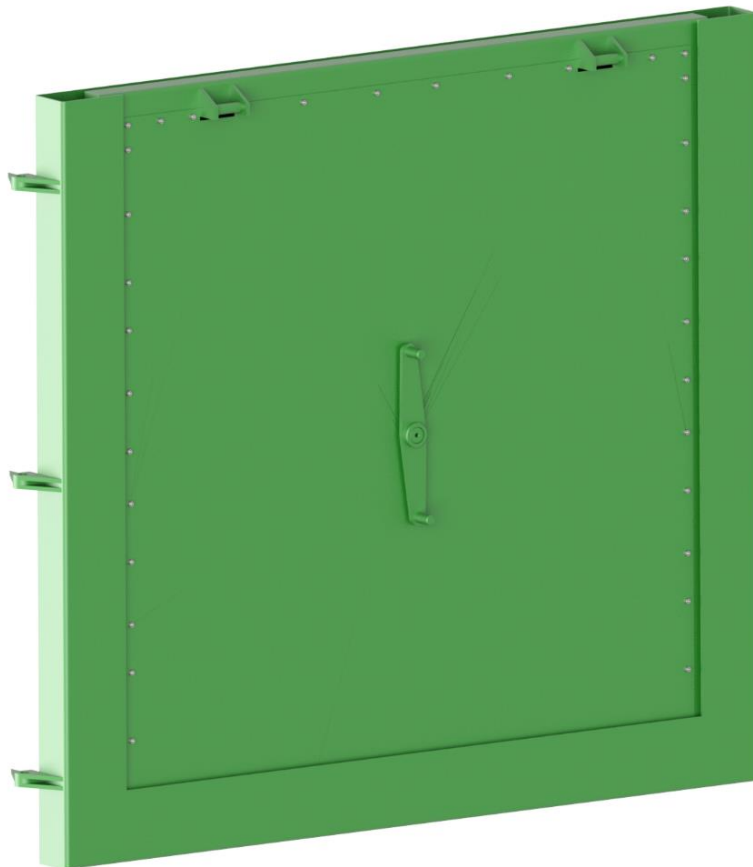
## 5.5 Vnitřní plechová výplň

Volba vnitřní plechové výplně, resp. tloušťky plechů pro tuto výplň, je dána jednak dostatečnou únosností podlahy a stěn kontejneru. Důležitá je rovněž odolnost této výplně proti mechanickému poškození vlivem dopadu těles nebo při manipulaci se samotným kontejnerem. Dalším faktorem volby výplně je životnost takovéto výplně. Výplň je namáhána otěrem a vlivem skladování komunálního odpadu i chemicky. Jednotlivé tloušťky plechů jsou voleny obdobně jako u kontejnerů pro lisování komunálního odpadu. Kde pro podlahu je použit materiál tloušťky 5 mm, pro stěny a strop pak materiál síly 3 mm.

## 6 Konstrukce vrat

Zadní vrata pro plnění a vysypání odpadu mají dvojí funkci. Pro plnění odpadu jsou konstruovány jako šachtové, jenž se otevírají směrem vzhůru. Pro vysypání jsou vrata jednoduché jednokřídlé. Vrata se tedy skládají z vnitřních šachtových vrat, které se pohybují ve vnějším rámu. Tento vnější rám je následně připojen ke konstrukci kontejneru pomocí pantů a po uvolnění zámků, pak slouží jako jednokřídlé vrata.

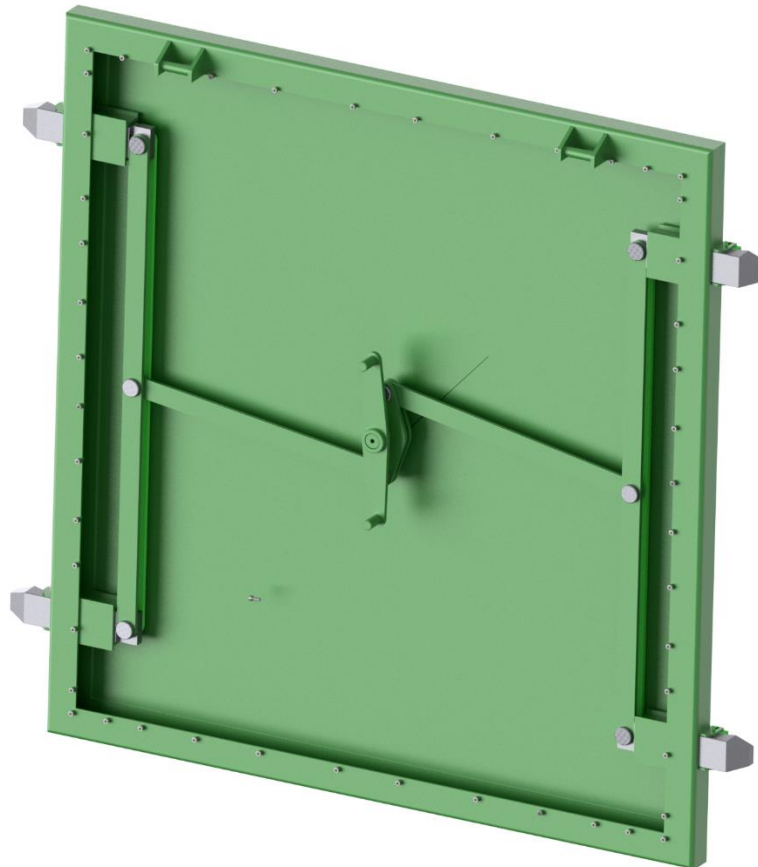
Vnější rám je svařen ze dvou bočních ocelových profilů, spodního profilu a vrchní část tvoří plochá ocel. Boční profily a spodní profil jsou vytvořeny ohraňováním ve tvaru písmene U s rozměry 170x120x6 mm. Ve vnějším rámu jsou dále přivařeny obdélníkové profily, které odpovídají rozměrům západek a zajišťují uzavření kontejneru.



*Obr. 28.: Pohled na celkovou konstrukci vrat*

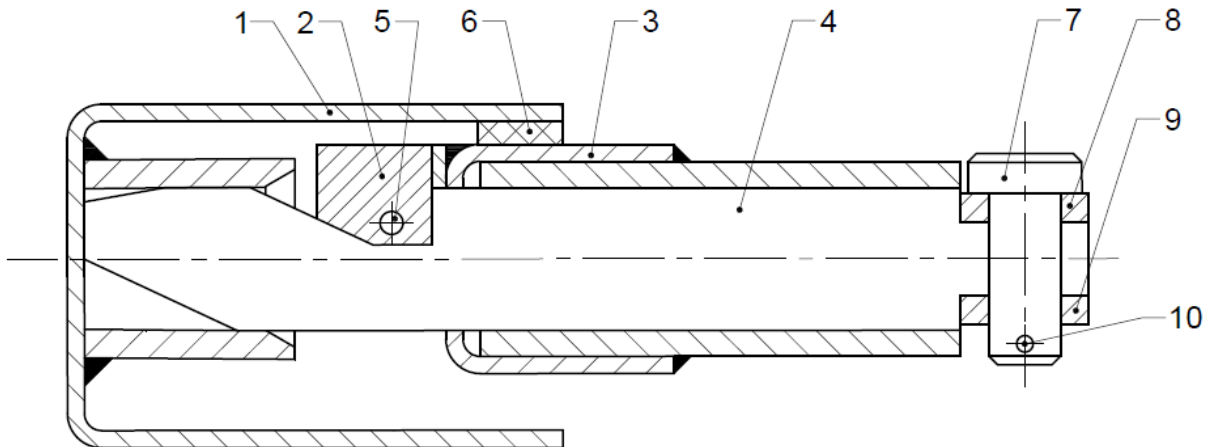
Rám šachtových dveří je rovněž svařen z ocelových profilů ve tvaru písmene U, tentokrát s rozměry 80x80x6mm. V tomto rámu jsou otvory s přivařenými profily pro posuvné uložení západek. Na vrchním profilu rámu jsou umístěny přípojné body umožňující vysouvání vrat. K rámu je z jedné strany přivařen přerušovaným svarem krycí plech. Z druhé strany je krycí plech přišroubován pomocí řady šroubů. Oba plechy mají tloušťku 3 mm.

Šachtová vrata jsou opatřena dvěma páry západek, které se ovládají pomocí otočení madla. Tyto západky jednak zabraňují případnému otevření vrat při přepravě, ale také hermetické uzavření vrat. Dále zabraňují poškození těsnění, které toto hermetické uzavření realizuje. Šachtová vrata jsou opatřena přípojnými body pro otevírání vrat.



*Obr. 29.: Mechanismus západek v šachtových dveřích*

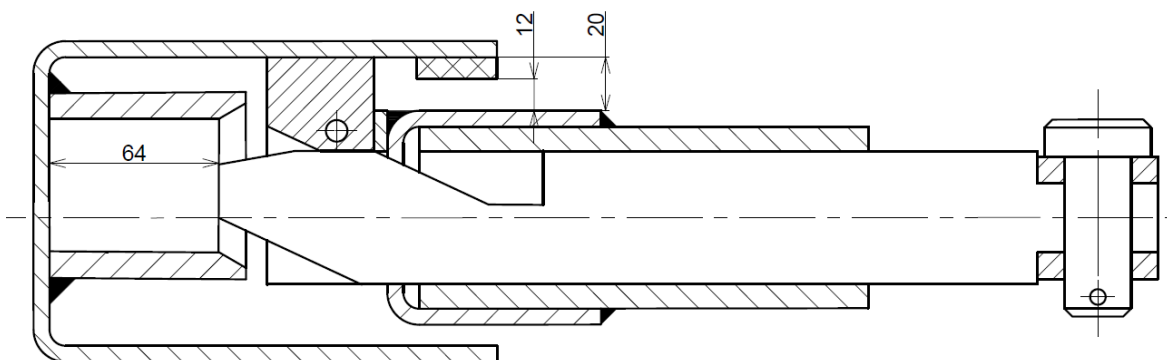
Mechanismus západek je zobrazen na obr. 30 a se skládá z otvorů v šachtových vratech, ve kterých jsou posuvně uloženy západky. Na opačné straně, ve vnějším rámu, jsou opět umístěny otvory s vedením západek. Pohyblivé kameny zapadají do tvarového vybrání západek. Tyto kameny jsou pojištěny proti vypadnutí pomocí čepu. Západky jsou obdélníkového průřezu 50x80mm. Na jedné straně jsou opatřeny náběhem a na straně druhé otvorem pro upevnění táhel pomocí čepu.



Obr. 30.: Schéma mechanismu západek: 1 – vnější rám vrat, 2 – pohyblivý kámen, 3 – vnitřní šachtové vrata, 4 – západka, 5 – čep, 6 – gumové těsnění, 7 – čep, 8 – táhlo, 9 – táhlo, 10 – závlačka

Po otočení madla proti směru hodinových ručiček dojde pomocí soustavy táhel, k posuvu západky o 64 mm, viz. obr 31. Po posuvu západky o zmíněných 64 mm dojde ke zdvihu kamene o 20 mm, který zapadá do tvarového vybrání. Tím je zabezpečeno odtláčení šachtových dveří od vnějšího rámu. Vznikne zde mezera šířky 12 mm a tím je zamezeno poškození gumového těsnění při vysouvání šachtových dveří.

Západky mají na svém konci náběhy, které zapadají do otvorů ve vnějším rámu a při zpětném posuvu o 64 mm dojde, tak k dotlačení šachtových dveří ke gumovému těsnění. Gumové těsnění realizuje hermetické uzavření v soustavě šachtové dveře - vnější rám.



Obr. 31.: Schéma mechanismu západek po odemknutí

Vzhledem k množství třecích ploch, bude nutné provádět údržbu tohoto mechanismu západek ve stanovených termínech. Údržba bude spočívat v mazání třecích ploch pomocí plastického maziva pro dobrý chod mechanismu.



## 7 Pevnostní výpočet konstrukce

Pevnostní výpočet konstrukce byl proveden pomocí metody konečných prvků. Vzhledem k rozměrům konstrukce, náročnosti na výpočetní čas a charakteru nosných částí, kdy délkové rozměry značně převyšují rozměry příčné, není vhodné vytvořit model z objemových elementů. Výpočet byl proveden ve dvou fázích. První fází jsou výpočty pomocí programu *ABAQUS CAE*. Zde byl vytvořen jednoduchý model z nosíkových prvků. V druhé fázi byl vytvořen podrobný model kontejneru pomocí skořepinových prvků, kde bylo nutné použít sofistikovanější systém tvorby modelu a následného vyhodnocení výsledků. Při obou fázích bylo použito implicitního řešiče, neboť nebyl předpoklad velkých deformací či dynamických účinků.

Díky možnosti ze strany zaměstnavatele byla příležitost použít jednak nový software pro preproceing, procesing, postproceing a také využít výpočetní výkon serverů pro samotný výpočet. Pro preproceing je zde využíván program *ANSA* od fa. *BETA Systems* a pro postproceing je použit program *META* od stejné společnosti. Tento software používán napříč všemi evropskými automobilkami a to díky jeho velké propracovanosti, možnosti tvorby resp. vyhodnocení modelů pro širokou paletu typů výpočtů a v neposlední řadě kvůli široké zákaznické podpoře.

Použité jednotky pro výpočty je možno zvolit dle uživatele, ale je pak nutné podle zvolených jednotek upravit další navazující jednotky. Proto je držena jistá konvence, např. pro statické výpočty jsou používány následovné jednotky:

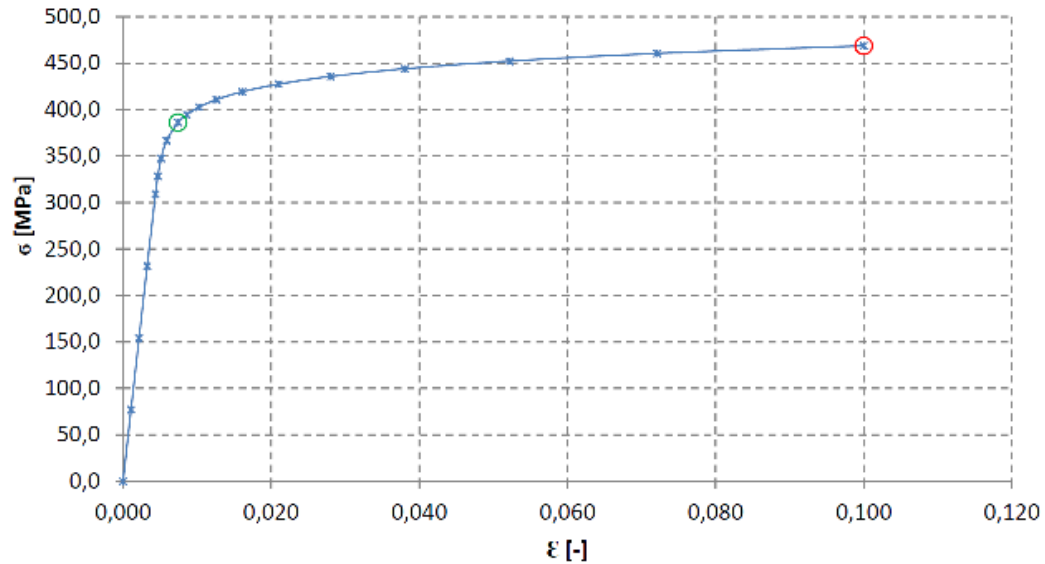
- Rozměry, posuvy [*mm*]
- Síla [*N*]
- Čas [*s*]

Z těchto jednotek pak vyplývají rozměry dalších použitých veličin:

- Napětí [*N.mm<sup>-2</sup>*]
- Hmotnost [*t.mm<sup>-3</sup>*]
- Gravitační zrychlení [*mm.s<sup>-2</sup>*]

Pro jiné typy výpočtů např. dynamické děje, nárazové simulace atd. je používána soustava [*mm*], [*GPa*], [*ms*]

V obou případech byl použit stejný materiálový model. Z tahové zkoušky pro materiál S355J2H byly odečteny relativní prodloužení v závislosti na napětí, a tak byl vytvořen materiálový model.



Obr. 32.: Tahová zkouška materiálu S355J2H [15]

```

**St52-3
*MATERIAL, NAME=M2300400
*ELASTIC, TYPE=ISOTROPIC
210000, 0.314
*PLASTIC, HARDENING=ISOTROPIC
355.000 , 0.00000
363.000 , 0.01400
440.000 , 0.02300
515.000 , 0.04200
576.000 , 0.07000
621.000 , 0.10500
636.000 , 0.13000
644.000 , 0.14400
654.000 , 1.00000
*DENSITY
7.85e-09
*EXPANSION, TYPE=ISO, ZERO=0.0
1.2e-05

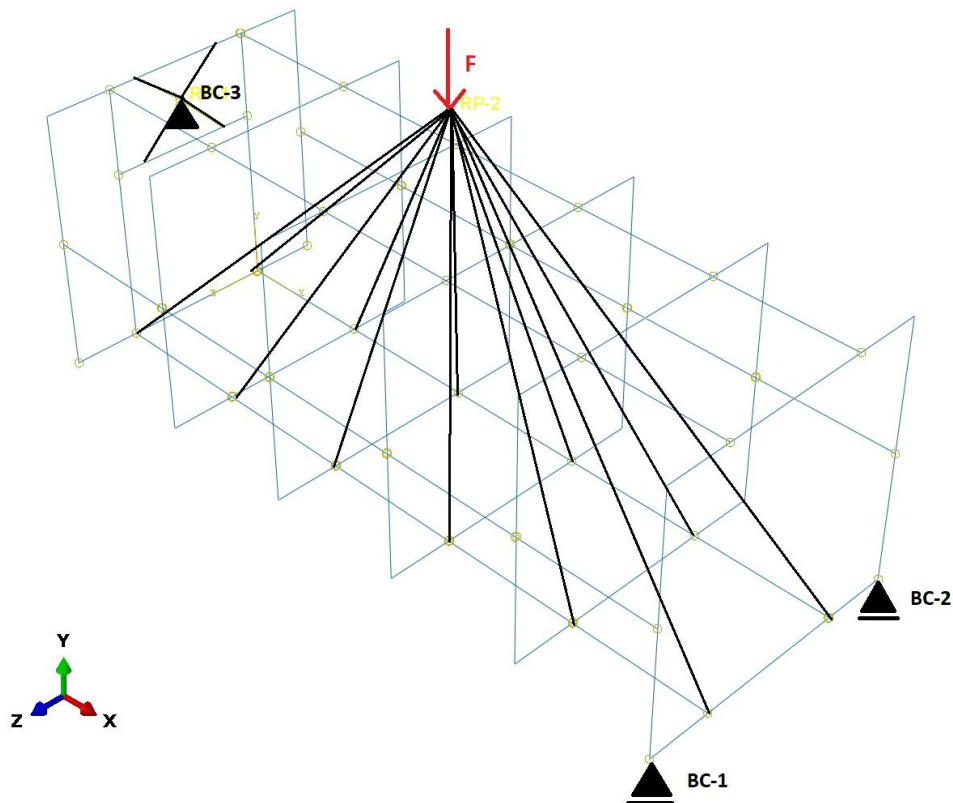
```

Obr. 33.: Materiálový model zadaný pro Abaqus

## 7.1 Zjednodušený nosníkový model

Zjednodušený nosníkový model byl vytvořen v grafickém prostředí programu *ABAQUS CAE* z prvků typu *BEAM31*. Číslice tři značí určení prvku ve trojrozměrném prostoru. Číslo jedna pak značí, že se jedná o lineární prvek. Ve zjednodušeném nosníkovém modelu nebyl uvažován vyztužující vliv vnitřní plechové výplně. Dále je zde řada zjednodušení, která mohou mít na výsledky výpočtu značný vliv. Jedním z nich je spojování jednotlivých nosníků. V nosníkovém modelu je toto provedeno pomocí vazby *TIE*, která sváže posuvy a rotace jednoho konce nosníku s druhým nosníkem. Není tedy pomocí tohoto modelu možné postihnout lokální napjatost a vliv poddajnosti v průřezu profilu. Výsledky poskytují dobrý náhled na chování konstrukce při zatěžování. Výhodou je možnost snadné úpravy použitých profilů, kdy model zůstává zachován, pouze dojde k úpravě přiřazení průřezů k jednotlivým nosníkům. Model je také velice rychlý na výpočet i na běžných osobních počítačích.

### 7.1.1 Zatížení a uložení

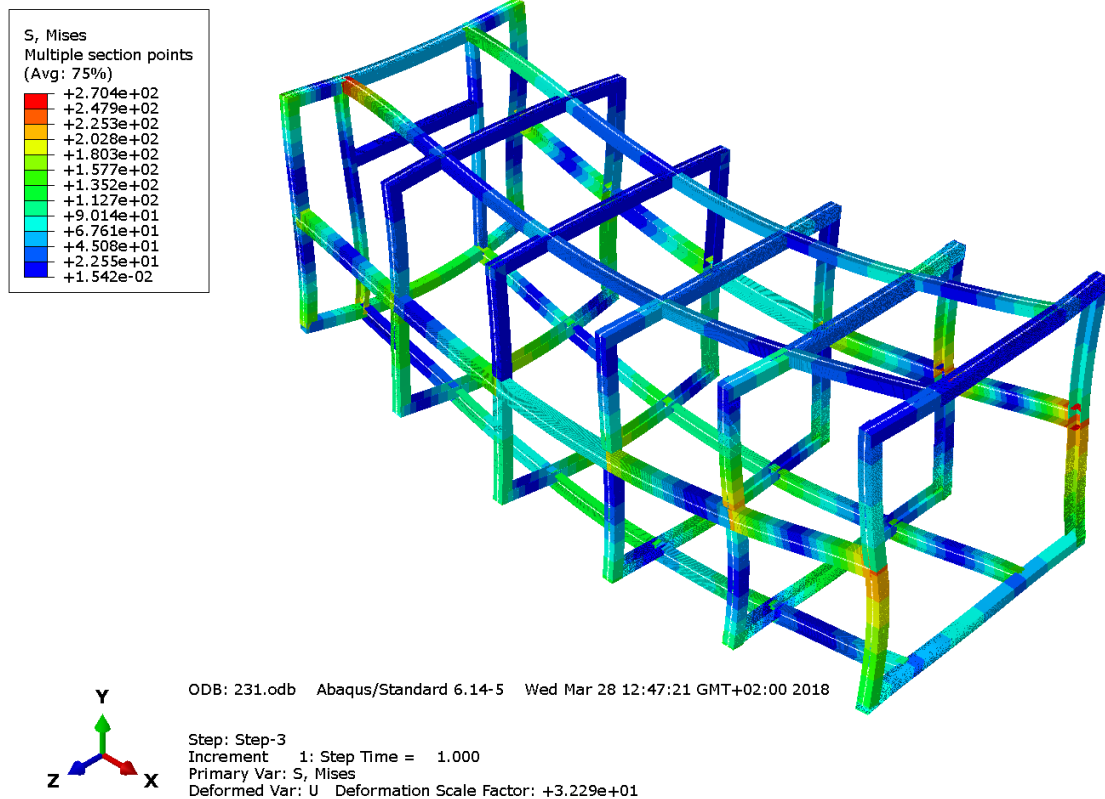


Obr. 34.: Schéma zatížení a uložení konstrukce

Pro tyto prvotní výpočty byl počítán pouze jeden typ zatížení při kterém dochází pravděpodobně k největšímu namáhání kontejneru. Toto zatížení představuje nakládání plně loženého kontejneru z vodorovné polohy pomocí hákového nosiče kontejnerů.

Uložení konstrukce je realizováno v bodech BC-1, BC-2 odebráním posuvu ve směru osy  $y$  a v bodě BC-3 odebráním veškerých posuvů. Uložení BC-3 je svázáno s určenými body, které mají reprezentovat umístění oka kontejneru, konstrukce vazbou *KINEMATIC COUPLING*. Zatížení silou  $F$  představuje hmotnost kontejneru s hmotností odpadu, tedy 14 800 kg. Tato síla byla na spodní část konstrukce zanesena pomocí vazby *DISTRIBUTED COUPLING*.

## 7.1.2 Výsledky



*Obr. 35.: Rozložení napětí na konstrukci po zatížení*

Po prvních výsledcích výpočtu bylo zřejmé, že ohybové namáhání podélných nosníků není, tak významné jak bylo předpokládáno. Proto byly upraveny použité profily podélných nosníků, ze současného profilu I180 dle DIN 1025-1 na I160 dle DIN 1025-1. Z výsledků výpočtu s upravenými profily je patrné, že největší namáhání 270MPa je v místech spojování jednotlivých profilů. V těchto spojích bylo použito vazby *TIE*, která díky absolutní tuhosti spojení způsobuje tyto špičky napětí, které se ve skutečné konstrukci, vlivem poddajnosti svarů a profilů, vyskytovat nebude. Při vyhodnocení výsledků nejsou tyto místa uvažována. Pak je možné za maximální napětí považovat hodnoty okolo 225MPa, což při použitém materiálu konstrukce s mezí kluzu 355MPa představuje bezpečnost 1,58. Bezpečnost 1,58 lze v těchto prvotních výpočtech považovat za vyhovující.

## 7.2 Detailní skořepinový model

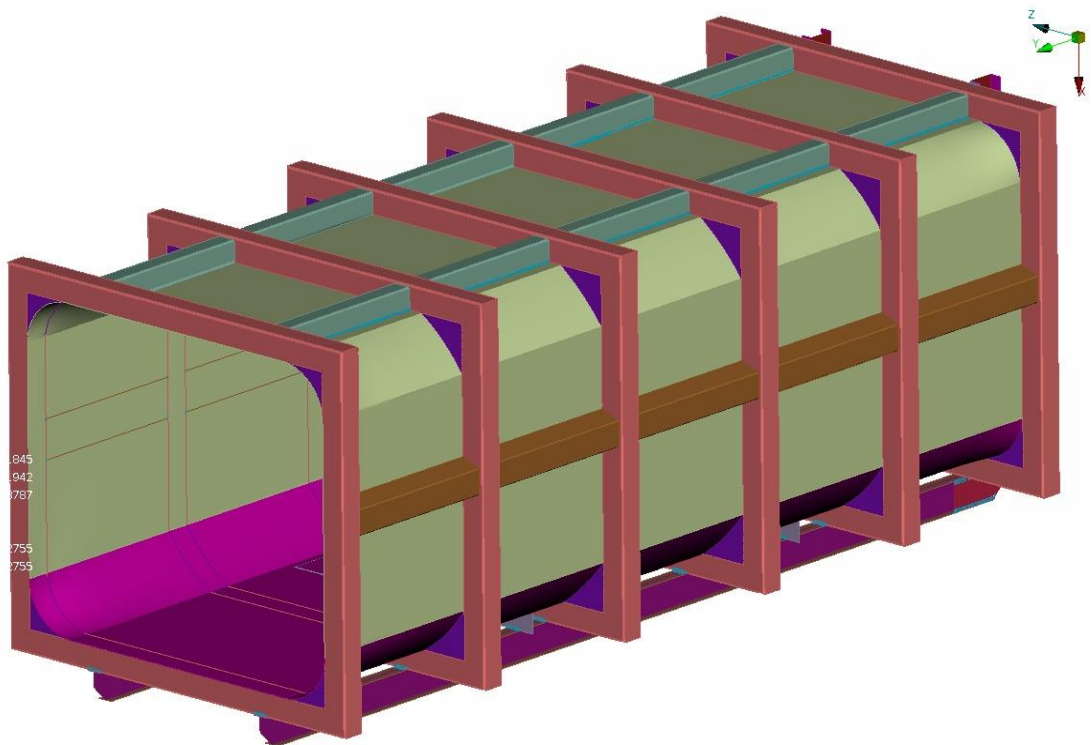
Detailní skořepinový model obsahuje několik zjednodušení. Jednak nejsou uvažovány vysýpací zadní vrata, které mají celkově na tuhost potažmo zatížení konstrukce minimální vliv. Hmotnost těchto vrat je do modelu zanesena pouze pomocí hmotných bodů v místech pantů. Tento model je včetně svarových spojů, které mohou mít velký vliv na lokální napjatosti. V modelu dále nejsou umístěny rohové prvky, jejichž rozměry jsou dány normou a jsou testovány na větší zatížení, než je požadované pro účely tohoto kontejneru. Kvůli požadavkům na kvalitu sítí a náročnosti celkové stavby modelu je použit preprocessor ANSA. Tento preprocessor je určen pro síťování a stavbu i velmi rozsáhlých modelů. Poté je model exportován do formátu *.topo*. Tento formát je kompatibilní s výpočtovým programem ABAQUS, který je použit pouze jako výpočtový řešič. Okrajové podmínky, výpočetní kroky a další nezbytné součásti pro výpočet jsou uvedeny v textové podobě v tzv. *input file*. Tento vstupní soubor vstupuje do výpočtového řešiče. Z řešiče jsou výsledky ve výsledkovém souboru a to ve formátu *.odb*. Tento výsledkový soubor je možné přečíst pomocí postprocessoru. V tomto případě je použit postprocessor META.

### 7.2.1 Tvorba výpočtového modelu

Tvorba výpočtového modelu se téměř celá odehrává v preprocessoru. Model z programu INVENTOR byl vyexportován do formátu *.jt*. Tento formát je možné načíst do preprocessoru ANSA. Průměrná velikost elementu byla, vzhledem k rozměrům konstrukce, zvolena na 10mm. Dále byly vytvořeny z geometrie střednicové plochy, které byly následně vysíťované dle kvalitativních parametrů. Dodržení kvalitativních parametrů je důležité, protože kvalita sítě má zásadní vliv na výsledky výpočtu. Jsou použity kvalitativní parametry, které se běžně vyskytují v automobilovém průmyslu.

Jedná se o kontrolu:

- Minimální délky hrany
- Maximální délky hrany
- Minimální úhel dvou stran
- Maximální úhel dvou stran
- Poměr délky hran
- Tzv. „warping“, tj. zkroucení elementů

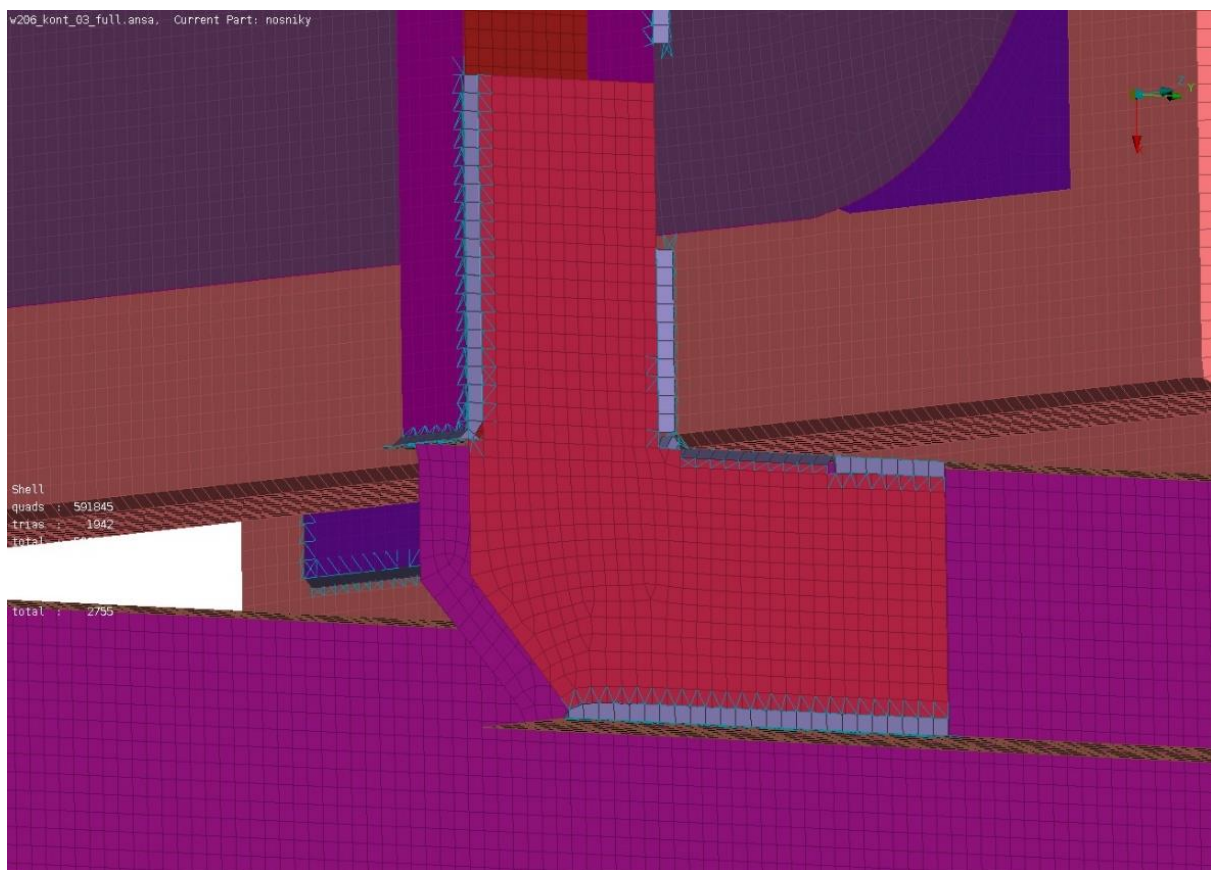


Obr. 36.: Celkový pohled na výpočtový model

Celkový počet elementů je 593 787, z toho 1942 tria elementů. Použity jsou elementy s označením S4, resp. S3 u trojúhelníkových elementů. Písmeno S v názvu označuje skořepinový prvek *SHELL*. Číslice pak označuje počet uzlových bodů. Jedná se o prvky s plnou integrací, tzn. počet integračních bodů je 4. Záměrně nebyly použity prvky s redukovanou integrací (1 integrační bod v elementu). V případě zatížení prvku s redukovanou integrací ohybovým momentem může, za určitých okolností docházet k tzv. *HOURGLASSINGU*, element má pak nulovou ohybovou tuhost a dochází pak ke zkreslení výsledků. Poté vysíťovaným střednicovým plochám byly přiřazeny vlastnosti, tedy materiál a tloušťka materiálu. Různé tloušťky materiálu jsou rozlišeny podle barev a jsou patrné na obr. 36.

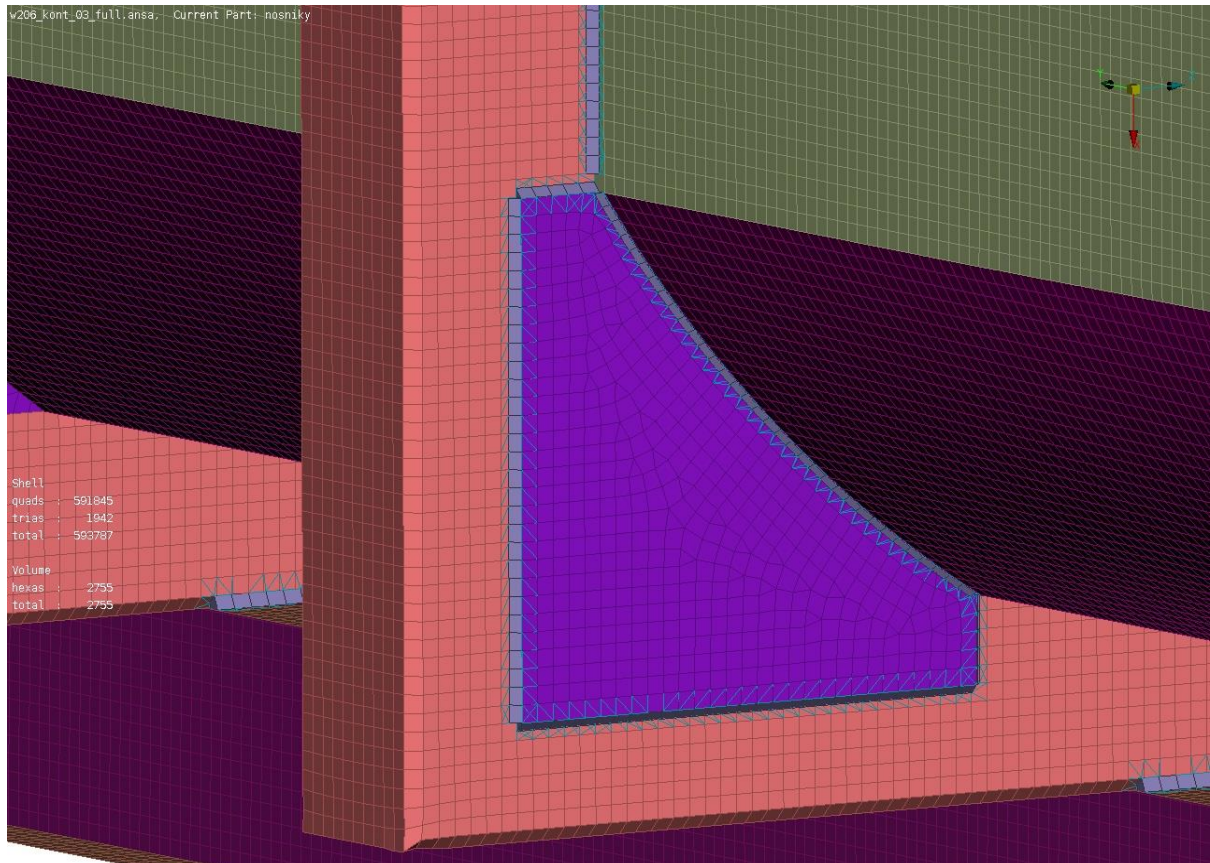
V preprocessoru jsou také definovány skupiny uzlů nebo elementů, které se označují jako *SETy*. Použití těchto setů je výhodné, zejména při definici okrajových podmínek a zatížení v textové podobě. Není pak nutné vypisovat čísla uzlů či elementů, ale postačí název setu na, který je aplikována okrajová podmínka nebo zatížení. Posledním krokem v preprocessoru je export modelu pro výpočet samotný.

Vzhledem k velké časové náročnosti a náročnosti na výpočtový čas je třeba tyto detailní výpočty provádět, až po výpočtu zjednodušených nosíkových modelů a případné úpravě profilů. Protože změna rozměrů profilů znamená náročnější úpravy na již vytvořené síti. Pro porovnání vlivu vnitřní plechové výplně jsou provedeny dva výpočty. Jeden výpočet s plechovou výplní a druhý bez plechové výplně.



*Obr. 37.: Pohled na modelování konstrukčního detailu*

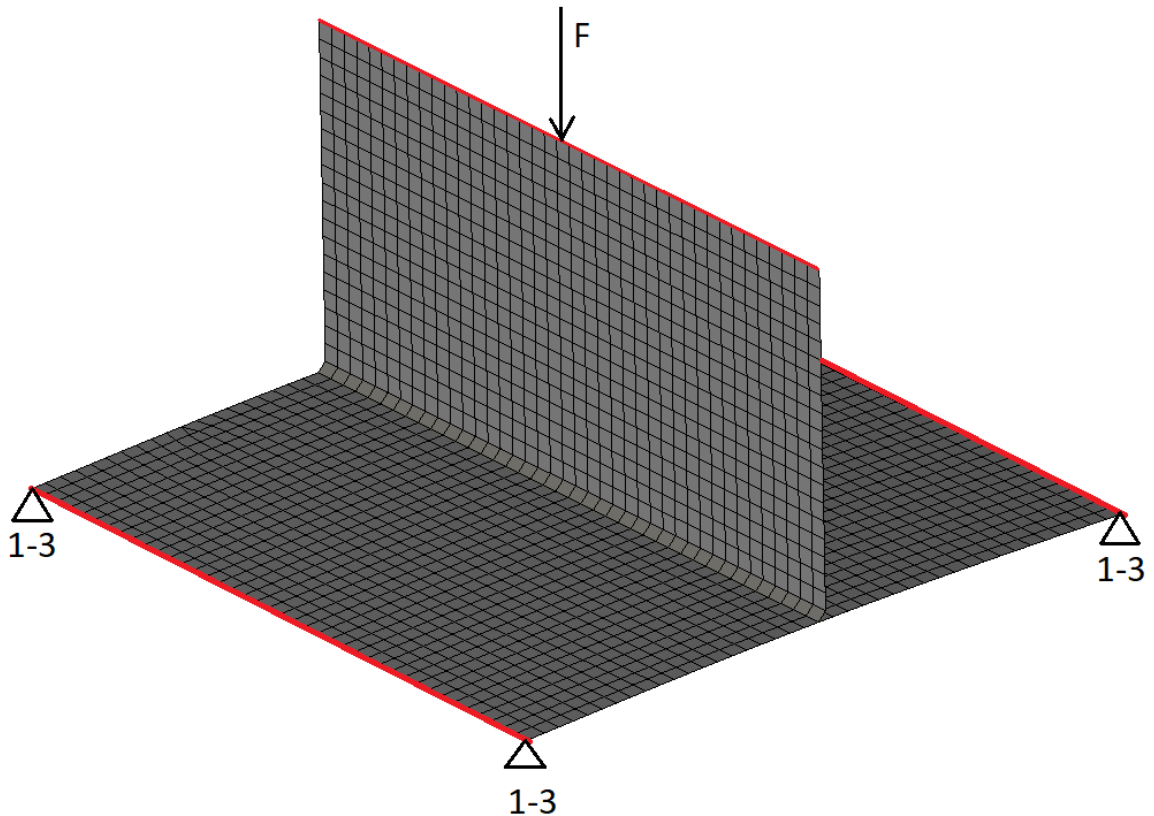




*Obr. 38.: Pohled na modelování konstrukčního detailu*

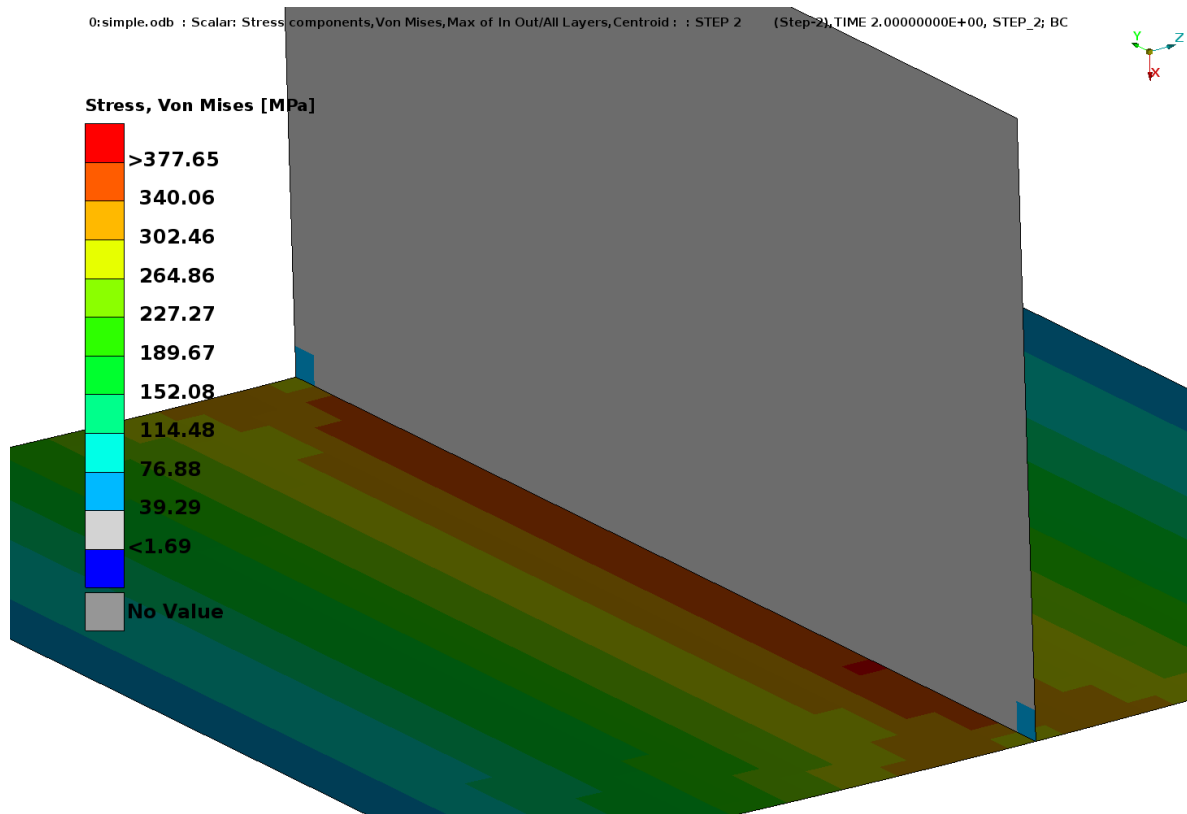
## 7.2.2 Modelování svarových spojů

Modelování svarových spojů je možné třemi různými způsoby. Pro ukázkou byl vytvořen jednoduchý model dvou kolmo spojených plechů pomocí koutového svaru. Na obrázku je tento model zobrazen. Uložení je provedeno odebráním posuvů uzlových bodů ( $x,y,z=0$ ) na okrajích horizontálního plechu. Zatížení silou  $F$  je vneseno do modelu prostřednictvím zatížení uzlových bodů na hraně vertikálního plechu.



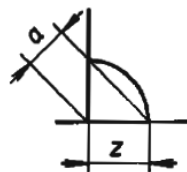
*Obr. 39.: Naznačení uložení a zatížení modelu pro výpočet svarového spoje*

První možností reprezentace svarových spojů je tyto svary nikterak nemodelovat. Hrana jednoho plechů má společné uzly se sítí druhého plechu.

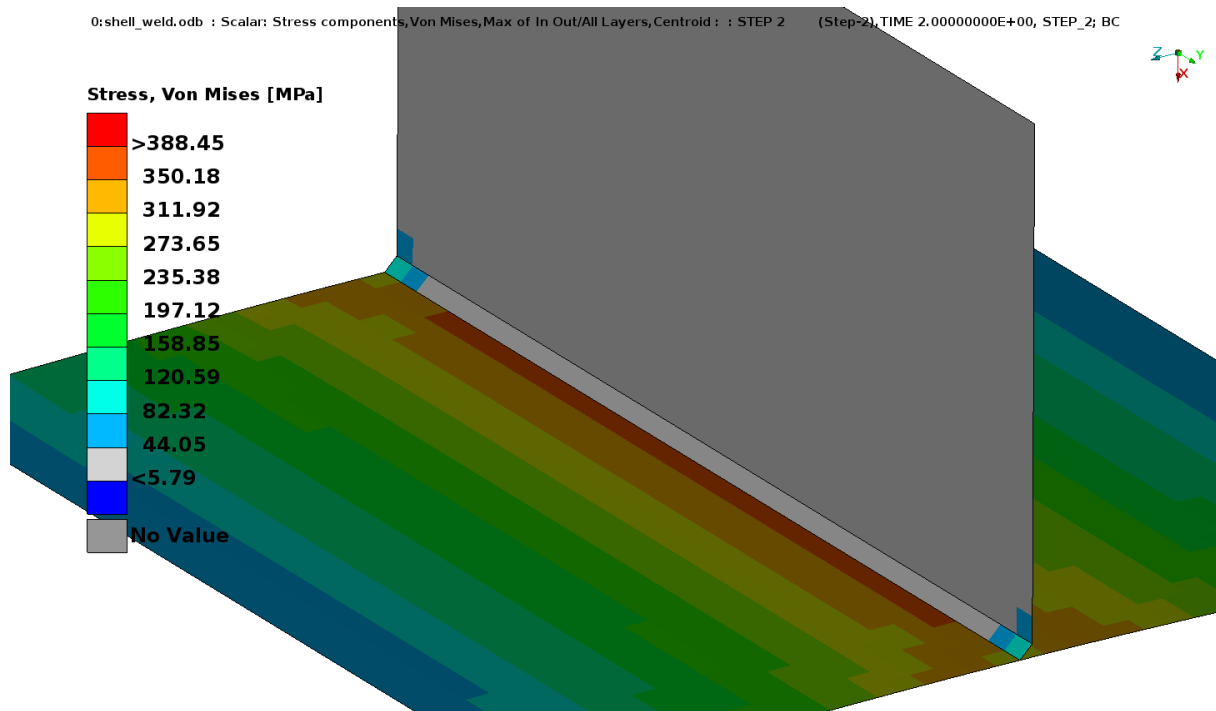


Obr. 40.: Rozložení napětí bez modelování svarového spoje

Druhou možností je reprezentace svaru pomocí skořepinové vrstvy, která odpovídá velikosti  $a$  z obr. 41. Tento způsob je náročnější na tvorbu sítě, protože svar je reprezentován řadou elementů obvykle s výškou jednoho elementu. Tato řada elementů pak musí být pod úhlem  $45^\circ$  ke spojovaným plechům a zároveň hrany musí mít společné uzly se spojovanými plechy.

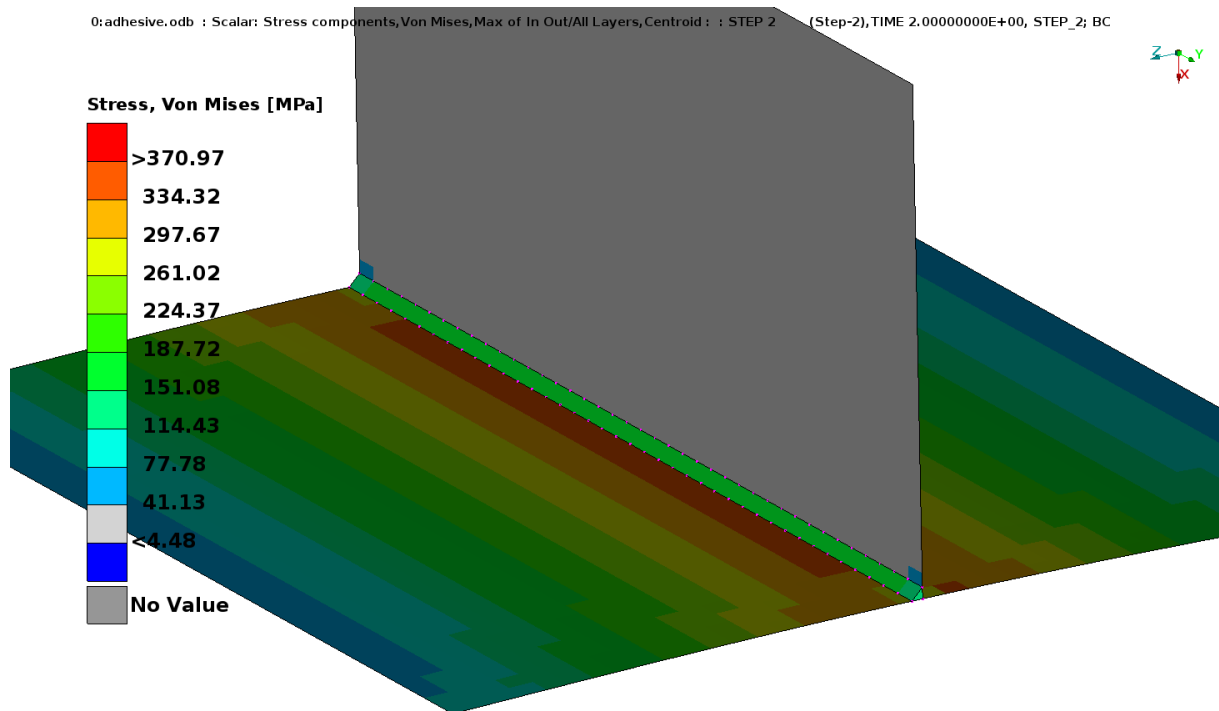


Obr. 41.: Rozměry svaru



Obr. 42.: Rozložení napětí při modelování svaru pomocí skořepinových prvků

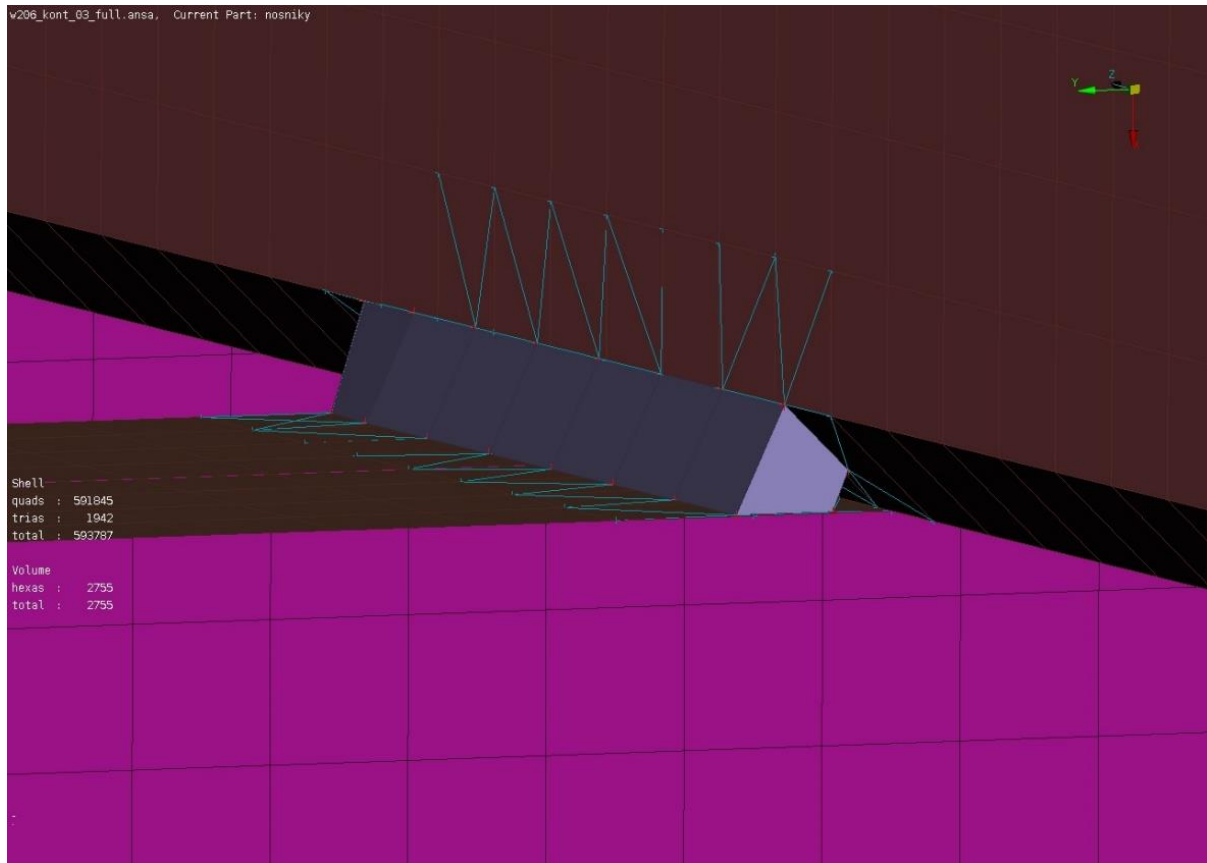
Třetí možností je reprezentace svarového spoje pomocí tzv. *adhesive line*. Samotný svar mají představovat hexagonální objemové prvky. Uzlové body těchto objemových prvků jsou pak na skořepinovou síť vázány pomocí *DISTIBUTED COUPLING* vazby. Toto modelování více odpovídá reálnému svarovému spoji, nežli prosté spojení sítí, ale zároveň nepředstavuje významný nárůst výpočetního času. Generování této reprezentace svaru provádí preprocessor automaticky. Postačí vytvořit geometrickou křivku, která značí vedení svaru. Preprocessor zde automaticky vytvoří objemové prvky s příslušnou vazbou. Opět jsou zde široké možnosti nastavení tak, aby vytvořená reprezentace se nejlépe přibližovala realitě. Jedná se o nastavení šířky svaru, počet elementů po výšce nebo šířce, materiál svaru, velikost tepelně ovlivněné oblasti a v případě přerušovaného svaru velikost svarové housenky a velikost mezery.



Obr. 43.: Rozložení napětí při modelování svaru pomocí „adhesive line“

Jak je patrné z tohoto jednoduchého modelu, modelování pomocí tzv. *adhesive line* dává nejvíce optimistické výsledky. Naopak reprezentace svarů pomocí řady skořepinových elementů je nejvíce konzervativní. Nelze říci, které modelování svarů je nejsprávnější. Většinou se jedná o celou metodiku modelování, vyhodnocování a experimentálních zkoušek svařovaných dílů. Na základě těchto znalostí jsou vytvořeny postupy pro výpočty svarových spojů. Tato metodika představuje jedno z nejdůležitějších *know-how* výrobců nejen automobilů v oblasti výpočtů.

Ve výpočtovém modelu kontejneru jsou svary modelovány tzv. *adhesive line*, z důvodu menší pracnosti s tvorbou sítě. Dále z důvodu hojného používání a dobrými zkušenostmi ve výpočtech karoserií osobních automobilů. Na obr. 44 je zobrazeno provedení svaru mezi rámem a podélnými nosníky.



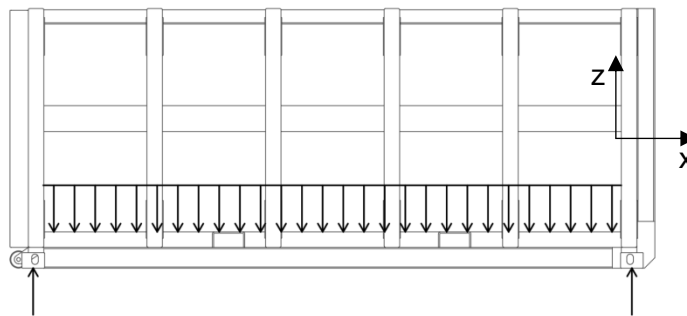
Obr. 44.: Modelování svarových spojů mezi rámem a podélnými profily kontejneru

### 7.2.3 Uložení a zatížení

Bylo stanoveno několik zátěžných stavů, které by mohly být kritické pro danou konstrukci. Tyto zátěžné stavy jsou rozděleny do šesti výpočtových kroků označované jako *STEP*. Zatěžování konstrukce je provedeno pouze pomocí gravitace. Na podlaze kontejneru jsou v uzlových bodech rozmístěny hmotné body tak, aby jejich příspěvek v gravitačním poli odpovídal maximální hmotnosti nákladu tedy 12 300kg. Další zatížení konstrukce je vlastní vahou kontejneru, která je do modelu zanesena pomocí objemové hmotnosti materiálu. Jednotlivé zátěžné stavy jsou se pak liší okrajovými podmínkami (umístěním podpor) a směrem působení gravitačního pole. Definice okrajových podmínek a zatížení je výhradně v textové podobě stejně jako nastavení samotného výpočtového *STEPu*.

#### STEP 1:

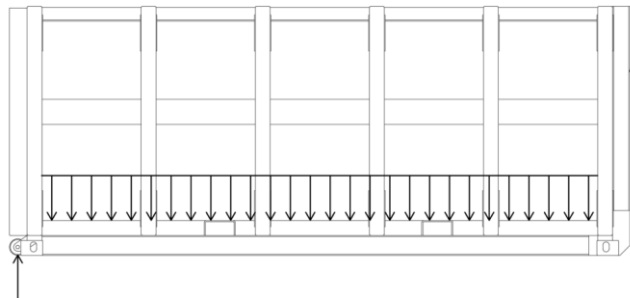
První výpočtový krok představuje kontejner zatížený ve vodorovné poloze a uchycený za rohové prvky. Na jedné straně je rohovým prvkům odebrány posuvné stupně volnosti ( $dx$ ,  $dy$ ,  $dz=0$ ) a na straně druhé je odebrán posuv ve směru osy  $z$ . Tento typ zatížení se vyskytuje, např. při převozu kontejneru na silničních nebo železničních podvozcích.



Obr. 45.: Schéma zatížení pro STEP 1

**STEP 2:**

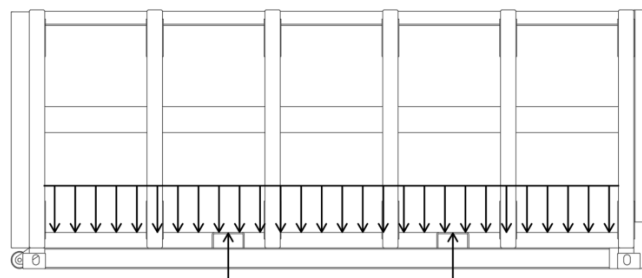
Při tomto zátěžném stavu je kontejner opět zatížen maximální hmotností odpadu. Podpory jsou v tomto případě odvalovací válečky, kterým je zakázán posuv ve směru z a manipulační oko se všemi zakázanými posuvy ( $dx, dy, dz=0$ ). Tento zátěžný stav představuje zvedání pomocí nástavby na hákové nosiče kontejnerů.



Obr. 46.: Schéma zatížení pro STEP 2

**STEP 3:**

V případě toho zatěžování jsou podpory v otvorech pro vysokozdvižný vozík. Všechny posuvy jsou odebrány jednomu otvoru ( $dx, dy, dz=0$ ), druhý otvor má odebrány posuvy ve směru osy z. Uložení je provedeno tedy tak, aby byla úloha staticky určitá. Zatížení reprezentuje přesun kontejneru pomocí vysokozdvižného vozíku.

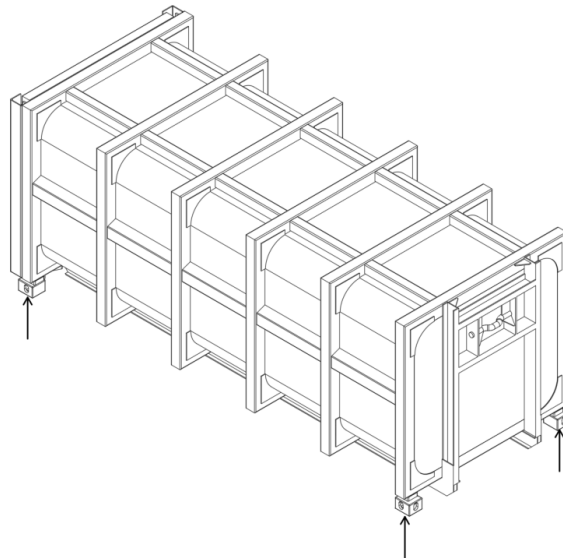


Obr. 47.: Schéma zatížení pro STEP 3



### STEP 4 a 5

Při těchto výpočtových krocích je kontrolováno kroucení konstrukce při uložení na třech rohových prvcích. Kontejner je plně zatížen odpadem. Jsou zde uvedeny oba dva zátěžné stavy naráz z důvodu, že se liší od sebe pouze křížovou výměnou uložení v rohových prvcích. Toto kroucení konstrukce může vzniknout při skladování na nerovném podkladu.

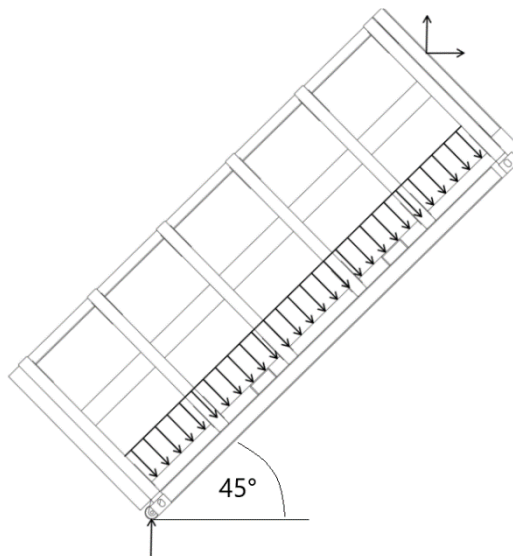


*Obr. 48.: Schéma zatížení pro STEP 4 a 5*

**STEP 6:**

Při nakládání nebo při vysypání na hákovém nosiči kontejnerů dochází ke sklopení kontejneru pod úhlem 45°. Toto zatížení je modelováno uložením kontejneru v manipulačním oku a v odvalovacích rolnách. Směrový vektor pro působení gravitačního pole je v tomto případě  $\vec{u} = (1; 0; 1)$ . Pro zadání do programu *ABAQUS* je tento směrový vektor nutné převést na normovaný tvar vektoru:

$$\begin{aligned}
 \vec{n} &= \frac{\vec{u}}{\|\vec{u}\|} = \frac{\vec{u}}{\sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2}} = \frac{(1; 0; 1)}{\sqrt{1^2 + 0^2 + 1^2}} = \frac{(1; 0; 1)}{\sqrt{2}} = \\
 &= \left( \frac{1}{1,414}; \frac{0}{1,414}; \frac{1}{1,414} \right) = (0,707; 0; 0,707)
 \end{aligned}
 \tag{23}$$



Obr. 49.: Schéma zatížení pro STEP 6

## 7.2.4 Výpočet

Jak již bylo uvedeno do výpočtového řešiče *ABAQUS* vstupuje textový soubor nazývaný *input file* s příponou *.inp*. Tento textový soubor obsahuje:

- Údaje o topologii modelu, na které je uveden odkaz na soubor s příponou *.topo*. Tento soubor je exportován z preprocessoru.
- Materiálové modely použitých materiálů
- Definici kontaktních páru a nastavení kontaktů v případě kontaktní úlohy.
- Nastavení samotného výpočtového kroku, které mají zásadní vliv na konvergenci úlohy. Možnosti nastavení jsou velice rozsáhlé, proto jsou zde uvedeny nejdůležitější z nich a to je nastavení:
  - o Způsobu nárůstu zatížení v průběhu jednotlivých iterací
  - o Minimální, maximální a počáteční přírůstek iterace
  - o Zda se jedná o lineární či nelineární úlohu
  - o Typ úlohy: statická, dynamická, quazistatická
- Požadavky na výpis výsledků. Zde se určuje, které hodnoty, jak často a na kterých uzlech a elementech se mají vypsat do výsledkových souborů. Na tomto nastavení závisí velikost výsledkových souborů. Četnost výpisů byla nastavena na zápis po ukončení *STEPu*. Při tomto výpočtu byl požadován:
  - o Výpis uzlových posuvů na všech uzlech
  - o Napětí, plasticity na veškerých elementech

Samotný výpočet byl spuštěn na serveru s využitím 13 jader a 512 GB operační paměti. Výpočet trval zhruba 1h a 20min. V první fázi řešič spustí kontrolu vstupních dat a případné problémy následně vypíše do textové podoby (přípona *.pre*). Poté spustí samotný výpočet. O jeho průběhu informuje v reálném čase v souboru *.sta* a souboru *.msg*. Soubor *.sta* představuje základní náhled na konvergenci resp. nekonvergenci výpočtu a jsou zde řádkově vypisovány iterace a počet iterací při kterých řešič našel silovou a momentovou rovnováhu. Naproti tomu je soubor označován jako *message file* (*.msg*), který obsahuje podrobný výpis při jednotlivých iteracích a při případných chybách vypisuje chybové hlášení. Díky tomuto podrobnému výpisu je pak možné vysledovat příčinu problému při nefunkčním výpočtu.

### 7.2.5 Výsledky a vyhodnocení

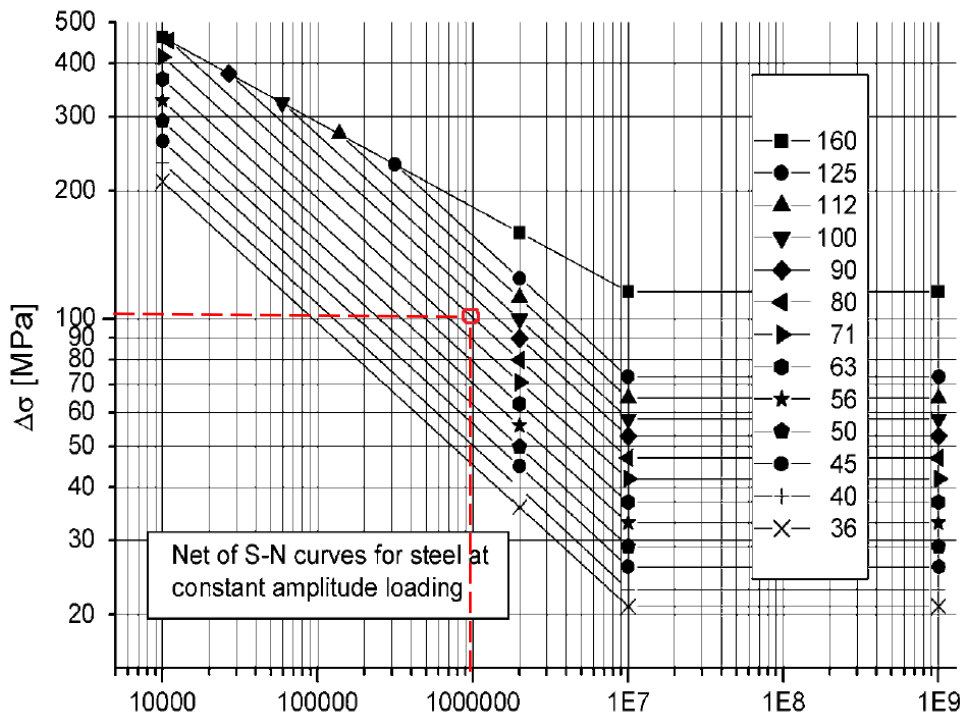
Výsledky jsou z řešiče vypsány do výsledkového souboru *.odb*. Tento soubor obsahuje jednak výsledky, jejichž výpis je nastaven ze vstupního souboru. Vstupní soubor také obsahuje topologii modelu. Tento výsledkový soubor je možné poté otevřít v postprocessoru.

Ve výsledcích jsou sledovány plasticity, které se v žádném místě nesmí vyskytovat. Dále jsou sledovány místa s maximálním napětím dle hypotézy Von Mises. Tyto místa pak jsou posuzovány podle kritéria zda se jedná o okolí místa svaru nebo o oblast, která je mimo tepelně ovlivněnou oblast svarem. Pro oblast mimo tepelně ovlivněnou oblast je maximální dovolené napětí  $\sigma_d$  vypočteno:

$$\sigma_d = \frac{R_{e \min.}}{k} = \frac{355}{1,5} = 236,7 \text{ MPa} \quad (24)$$

V místech svarových spojů je maximální dovolené napětí stanoveno dle příručky pro vyhodnocení únavy svarových spojů [3]. Vyhodnocení je provedeno na bázi  $1 \cdot 10^6$  cyklů a pomocí nominálních napětí. Pro stanovení dovoleného napětí je třeba znát typ svaru (koutový, tupý), směr zatěžování svaru, metodu svařování a typ zatěžování (míjivé, střídavé atd.). Vzhledem k množství svarových spojů a různorodosti zatěžování bylo třeba stanovit pouze jednu referenční hodnotu a s touto hodnotou poté porovnávat vypočtené hodnoty. Proto dovolené napětí je stanoveno pro koutový svár, střídavé namáhání, svary zhotovené metodou MAG a směr zatěžování kolmo na svar. Vyhledání dovoleného napětí probíhalo dle lit. [3], kde byl vyhledán příslušný diagram pro danou ocel. Tento diagram je uveden na obr. 50, jednotlivé křivky označené geometrickými symboly odpovídají příslušnému typu svaru (koutový, tupý) a směru jeho zatěžování. V tomto případě je vybrána křivka č. 80, na níž je dovolené napětí  $\sigma_{d \text{ svar}}$  stanoveno na hodnotu 100MPa.

Pro detailnější rozbor svarových spojů, by bylo nutné použít komerčně využívané programy pro vyhodnocení únavy svarových spojů (např. *FEMSITE*, *FEMFAT*), které jsou schopny stanovit normálové a smykové složky namáhání svaru. Rovněž tyto programy berou v potaz i tepelně ovlivněné oblasti. Tyto vlastnosti umožňují provést výpočty svarů v souladu s normami i na rozsáhlých konstrukcích a to v reálném čase.

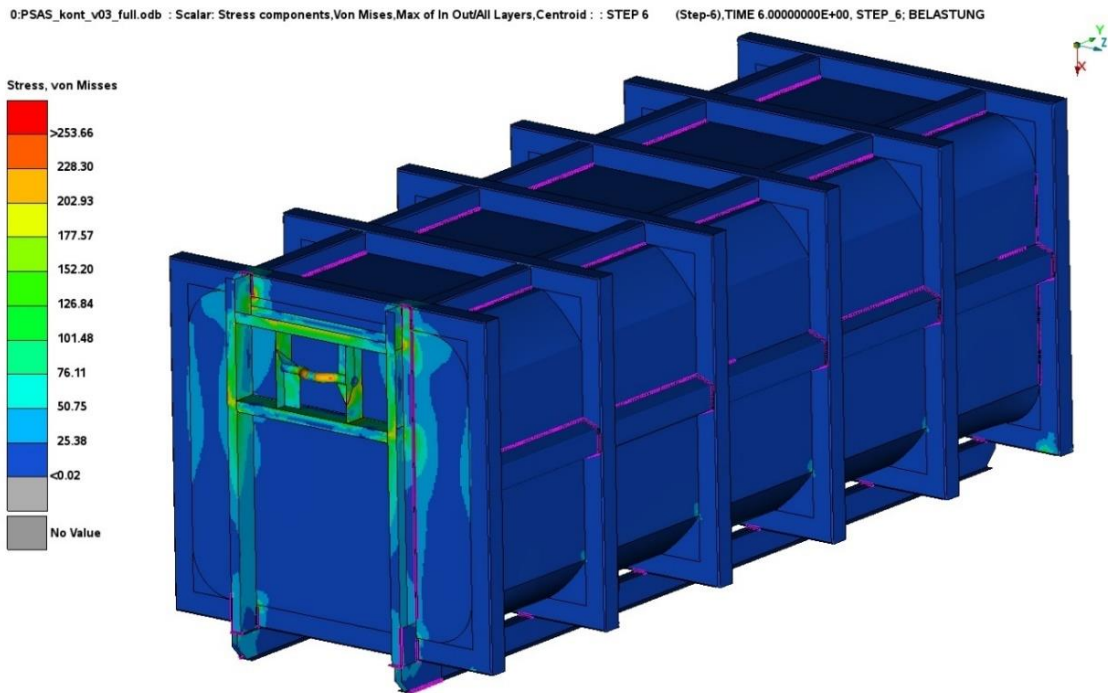


Obr. 50.: Odečtení dovoleného napětí pro svar z grafu [3]

Výsledky jsou rozděleny dle výpočtových *STEPŮ*. Je také provedeno porovnání výsledků pro výpočet s plechovou výplní a bez plechové výplně.

*Rozložení napětí na konstrukci:*

### STEP 6



Obr. 51.: Rozložení napětí v konstrukci STEP 6

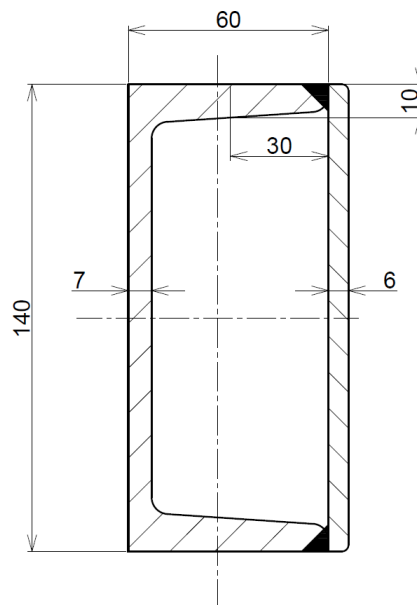
Dle výsledků v přílohách 1 až 5, je patrné, že konstrukce vyhovuje pro výpočtové kroky 1 až 5. V případě výpočtového kroku 6 je nutná úprava konstrukce v přední části, neboť napětí převyšuje dovolené hodnoty o zhruba 17MPa, viz. obr. 51.

Velice zajímavé je porovnání výsledků při uvažování plechové výplně a bez jejího uvažování. V příloze 1 až 3, tedy ve stepu 1 až 3 se může na první pohled zdát, že výsledky se od sebe dramaticky neliší. Nicméně zásadní je, že maximální napětí se přesunulo do míst svarových spojů a násobně překračuje dovolené napětí. Velké rozdíly s uvažováním plechové výplně jsou při zatížení 4-5 (příloha 4-5) tedy při kroucení kontejneru. Plechová výplň má tedy zásadní vliv na velikost, umístění maximálních napětí a také se významně projevuje při torzi konstrukce kontejneru. Není tedy možné provádět detailnější výpočty konstrukce tohoto kontejneru bez uvažování plechové výplně.

Další zajímavé porovnání je srovnání nosníkového modelu s tím skořepinových bez uvažování plechové výplně. U nosníkového modelu bylo počítáno pouze s jedním zátěžným stavem, který odpovídá u skořepinového modelu zátěžnému stavu č. 2 (příloha 2). V případě nosníkového modelu má nejvyšší dosažené napětí hodnotu 270MPa a vyskytuje se v místech spojení jednotlivých profilů. Napětí ve skořepinovém modelu bez plechové výplně dosahuje ve stejných místech hodnot okolo 272MPa. Bylo tedy chybné přikládat tyto špičky napětí na vrub modelování spojů pomocí vazby *TIE*, neboť podle detailnějšího výpočtu se tyto napětí na konstrukci bez plechové výplně skutečně vyskytovat mohou.

## 7.3 Úprava konstrukce

Naopak po detailnějším rozboru zatížení v kroku 1 až 5 (příloha 1 až 5) je vidět, že ohybový moment na spodní profily není, tak významný, jak bylo předpokládáno a je možné výšku podélných profilů snížit z I160 na 140. Další úpravou je snížení tloušťky materiálů výztužných profilů z 5 mm na 4 mm a také modifikace síly materiálu rámců z 6 mm na 5 mm. Naopak nutné je vyztužení konstrukce v přední části, neboť napětí převyšuje dovolené napětí. Navržené vyztužení je uzavření válcovaného profilu U140 pásovou ocelí tloušťky 6 mm. Tyto výpočty byly provedeny již pouze s uvažováním plechové výplně. Výsledky upravené konstrukce od zátěžných stavů 1 až 5 jsou vloženy v přílohách 6 až 10. Pohled na rozložení napětí na podlaze vnitřní plechové výplně je zobrazeno v příloze 11.



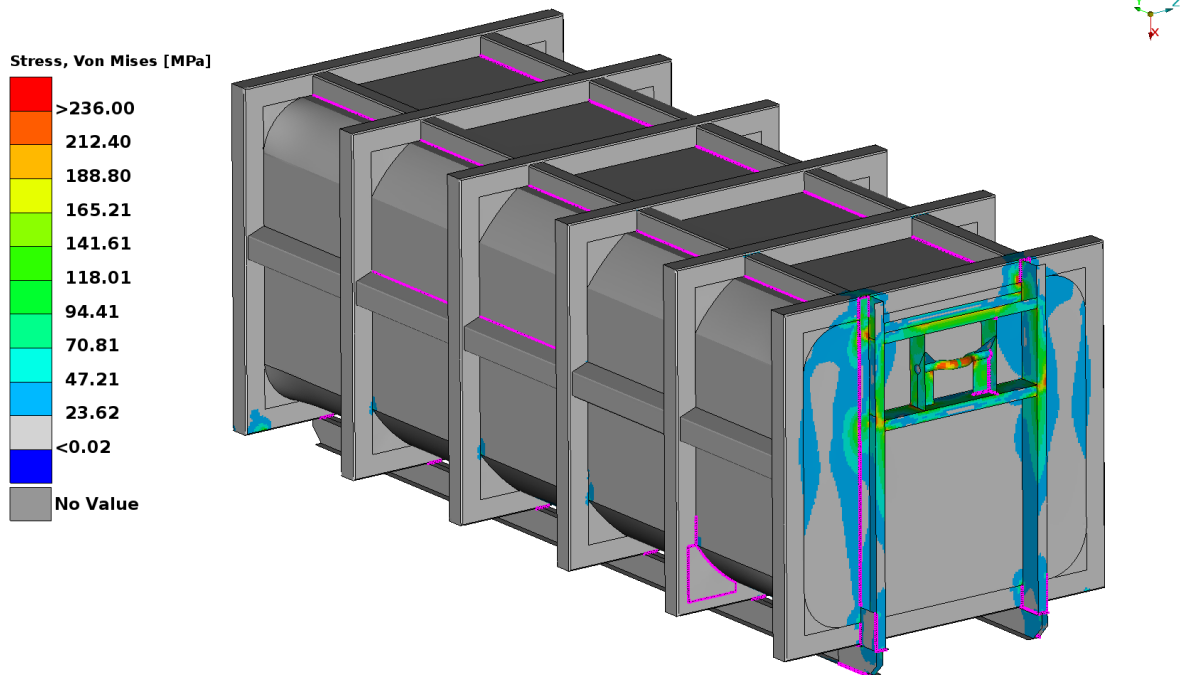
Obr. 52.: Úprava profilu pro vertikální nosníky



Úpravy kontejneru měly požadovaný efekt. Při výpočtových krocích 1 až 5 (příloha 6 až 10) došlo k lepšímu využití materiálu díky snížení výšky profilů a snížení tloušťek vybraných plechů. Vyztužením konstrukce v přední části došlo ke snížení namáhání ve výpočtovém kroku 6, viz. obr. 53. Nyní je zde maximální napětí 236MPa, což je na samotné hranici dovoleného napětí. Detailnější pohled na rozložení napětí v okolí manipulačního oka je na obr. 54.

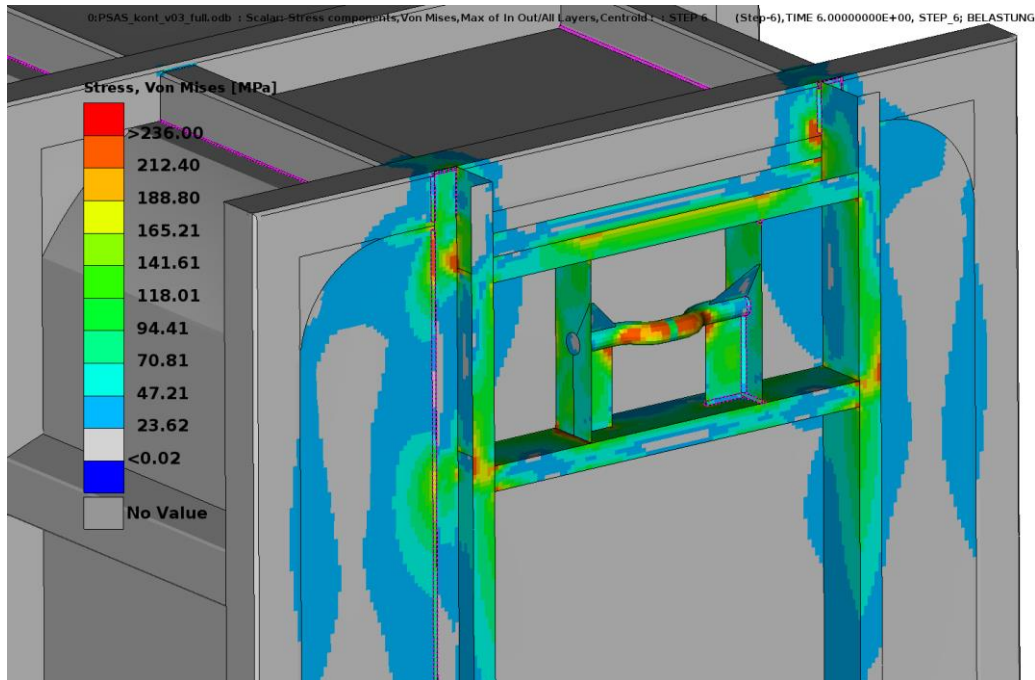
## STEP 6

0:PSAS\_kont\_v03\_full.odb : Scalar: Stress components,Von Mises,Max of In Out/All Layers,Centroid : : STEP 6 (Step-6),TIME 6.00000000E+00, STEP\_6; BELASTUNG



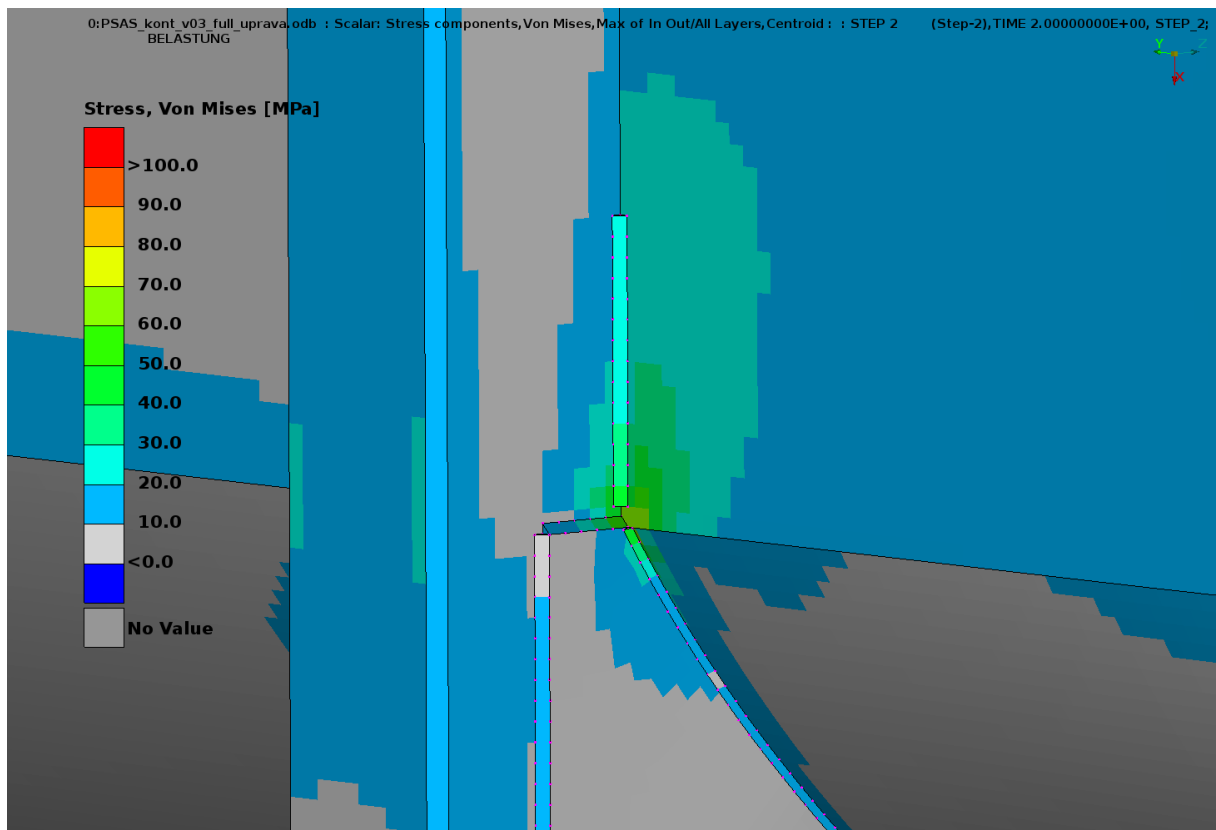
Obr. 53.: Rozložení napětí ve Stepu 6 po úpravě konstrukce

Jedním z kritických míst konstrukce je také konstrukční detail ve spodním rohu rámu, viz. obr. 55. Zde se stýkají profily s výtuhou v rámu a plechovou výplní, které jsou svařeny koutovými svary. Pro vyhodnocení svarů je stupnice omezena maximální dovolenou hodnotou namáhání (100MPa), aby bylo dobře patrné, v jakých místech je hodnota překročena. V tomto případě je maximální napětí dle obr. 55 okolo 70MPa a tudíž provedení tohoto konstrukčního detailu vyhovuje.



Obr. 54.: Rozložení napětí v okolí místa manipulačního oka

Pohled na konstrukční detail



Obr. 55.: Rozložení napětí v konstrukčním detailu

## 8 Parametry kontejneru

Srovnání parametrů kontejneru po prvotním návrhu s kontejnerem po veškerých úpravách na základě provedených výpočtů je uvedeno v tab. 1. Hmotnost kontejneru byla redukována o 172 kg a současně byl navýšen objem o 332 litrů při zachování obrysových rozměrů.

	Celkem [kg]	Nosná konstrukce [kg]	Vrata [kg]	Plechová výplň [kg]	Objem [m <sup>3</sup> ]
Po prvotním návrhu	2686	1420	405	861	12,986
Finální konstrukce	2514	1248	405	861	13,318

*Tab. 1.: Srovnání parametrů kontejneru po úpravách*

## 9 Závěr

Hlavní cílem této práce bylo navrhnout kontejner na svoz komunálního odpadu tak, aby splňoval požadavky, které vyplynuly z požadovaných typů přepravy, manipulace a dle charakteru přepravovaného materiálu. Proces návrhu nosné konstrukce byl proveden v několika fázích a umožnil vytvořit konstrukci, která odolá předpokládaným zatížením.

V první fázi byla navržena konstrukce při využití základních poznatků z pružnosti a pevnosti. Tato navržená konstrukce poté vstupovala do výpočtů pomocí metody konečných prvků, kde byl nejdříve vytvořen jednoduchý výpočtový model z nosíkových prvků. Na základě výsledků z tohoto modelu byly upraveny velikosti použitých I-profilů podélných nosníků. Poslední fází návrhu nosné konstrukce bylo vytvoření detailního výpočtového modelu pomocí skořepinových prvků. Při porovnání analytických výpočtů s výsledky pomocí metody konečných prvků, které se zásadním způsobem neliší, lze věřit správnosti vypočtených výsledků. Z vypočtených výsledků byla ještě upravena výška použitých I-profilů podélných nosníků, také byly modifikovány tloušťky použitých plechů na výrobu rámu a výztužných profilů. Dále došlo k vyztužení přední části kontejneru zejména vertikálních nosníků.

Díky tomuto více stupňovému návrhu byl zvýšen užitečný objem kontejneru o 332 litrů a také snížena hmotnost o 172 kg oproti původnímu návrhu. Pro další úsporu hmotnosti bylo vhodné upustit od použití vrat s dvojí funkcí a vrata provést jen jako šachtové. Konstrukce těchto dvojích vrat se podílí na hmotnosti kontejneru významným způsobem. Vypuštěním vrat s dvojí funkcí by, ale nebyly splněny požadavky ze strany zadavatele.

## 10 Použité značky a symboly

Symbol	Jednotka	Význam
$A_{Mi}$	[N.mm <sup>2</sup> ]	Velikost momentové plochy
$E$	[MPa]	Modul pružnosti oceli v tahu
$F$	[N]	Zatěžující síla
$g$	[m.s <sup>-2</sup> ]	Gravitační zrychlení
$G$	[N]	Síla vyvolaná hmotností kontejneru
$J$	[mm <sup>4</sup> ]	Kvadratický moment průřezu
$k_{min}$	[-]	Minimální bezpečnost
$M_A$	[N.mm]	Moment v bodě A
$m_{celk}$	[kg]	Celková hmotnost kontejneru
$m_o$	[kg]	Hmotnost odpadu
$M_{o I}$	[N.mm]	Ohybový moment v poli I
$M_{o II}$	[N.mm]	Ohybový moment v poli II
$M_{o A-B}$	[N.mm]	Ohybový moment v poli A-B
$M_{o B-C}$	[N.mm]	Ohybový moment v poli B-C
$M_{o C-D}$	[N.mm]	Ohybový moment v poli C-D
$M_{o D-E}$	[N.mm]	Ohybový moment v poli D-E
$M_{o MAX}$	[N.mm]	Maximální ohybový moment
$m_{Ti}$	[mm]	Velikost <i>i-tého</i> momentu od jednotkového zatížení v těžišti příslušné momentové plochy $A_{Mi}$
$\vec{n}$	[-]	Normovaný vektor působení gravitační síly
$N_A$	[N]	Reakce v bodě A
$n_P$	[-]	Počet podélných nosníků
$n_R$	[-]	Počet rámců
$n_{RP}$	[-]	Počet rohových prvků
$P$	[N]	Zatěžující síla
$R_A$	[N]	Vertikální reakce v bodě A
$R_B$	[N]	Vertikální reakce v bodě B
$R_C$	[N]	Horizontální reakce v bodě C
$R_D$	[N]	Horizontální reakce v bodě D
$R_{e min}$	[MPa]	Minimální mez kluzu
$R_N$	[N]	Vertikální reakce
$\vec{u}$	[-]	Vektor působení gravitační síly



Symbol	Jednotka	Význam
$u_a$	[mm]	Horizontální posuv v bodě A
$W_o$	[mm <sup>3</sup> ]	Minimální průřezový modul v ohybu
$W_x$	[mm <sup>3</sup> ]	Průřezový modul v ohybu vzhledem k ose x
$W_y$	[mm <sup>3</sup> ]	Průřezový modul v ohybu vzhledem k ose y
$\sigma_D$	[MPa]	Maximální dovolené napětí
$\sigma_{DOV}$	[MPa]	Dovolené napětí v ohybu
$\sigma_{D\text{ svar}}$	[MPa]	Dovolené napětí pro svar
$\sigma_o$	[MPa]	Ohybové napětí
$\varphi_A$	[Rad]	Natočení v bodě A

## 11 Seznam použité literatury

- [1] BOLEK, A.; KOCHMAN, J. a kol. *Části strojů*, 1., svazek. 5. vyd. Praha: SNTL, 1989. ISBN 80-03-00046-4
- [2] DRASTÍK, F. a kol. *Strojnické tabulky*. 2 vyd. Ostrava: Montanex, 1999. ISBN 80-85780-95-X
- [3] HOBACHER, A. *Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components*. International Institute of Welding, doc. XIII-2151r4-07/XV-1254r4-07. Paris, France, October 2008
- [4] LEINVEBER, Jan, VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. První vydání, Úvaly: Albra, 2003. 865s. ISBN 80-86490-74-2.
- [5] MICHALEC, Jiří. *Pružnost a pevnost I*. 3. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2009, 308 s. ISBN 978-80-01-04224-3
- [6] MICHALEC, Jiří. *Pružnost a pevnost II*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001, 215 s. ISBN 80-01-02375-3
- [7] SHIGLEY, J.E., MISCHKE, Ch.R., BUDYNAS, R.G. *Konstruování strojních součástí*. První vydání, Brno: VUT v Brně, 2010. 1168s. ISBN 978-80-210-2629-0
- [8] STANKO, Martin. *Systém přepravy kontejnerů ACTS*. Pardubice, 2012. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice. Dopravní fakulta Jana Pernera
- [9] ŠVEC, Vladimír. *Části a mechanismy strojů: spoje a části spojovací*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. 169 s. ISBN 80-01-02533-0.
- [10] Jednoramenný nosič kontejnerů [online]. [cit. 2016-05-15]  
Dostupné z: <https://www.meiller.com/cz/vyrobky/jednoramenny-nosic-kontejneru/>
- [11] Nosiče s hákovým/řetězovým natahováním [online]. [cit. 2018-03-20]  
Dostupné z: <https://www.elkoplast.cz/nosice-s-hakovymretezovym-natahovanim-2>
- [12] InnoFreight – typy kontejnerů [online]. [cit. 2017-02-10]  
Dostupné z: <http://www.cdlogistics.cz/cs/nase-sluzby/system-innofreight/typy-kontejneru>
- [13] Rozměry ISO kontejnerů [online]. [cit. 2017-08-12]  
Dostupné z: <http://www.litomysky.cz/drahy/kontrozm.htm>
- [14] S355J2H properties [online]. [cit. 2018-08-09]  
Dostupné z: <https://www.metaldatas.info/reports/S355J2H.pdf>
- [15] S355J2H stress-strain material curve [online]. [cit. 2012-18-10]  
Dostupné z: [www.engineerstoollkit.com/etk\\_material\\_curves\\_20121018.xls](http://www.engineerstoollkit.com/etk_material_curves_20121018.xls)

## 12 Seznam obrázků

- Obr. 1.: Možnosti kombinování kontejnerů různých délek (strana 2)
- Obr. 2.: Způsob nakládání hákového kontejneru (strana 3)
- Obr. 3.: Nakládání řetězového kontejneru (strana 4)
- Obr. 4.: Příklad řetězového kontejneru (strana 4)
- Obr. 5.: Přeprava kontejneru Innofreight (strana 5)
- Obr. 6.: Vysypání kontejneru Innofreight (strana 5)
- Obr. 7.: Nakládání kontejneru ACTS (strana 6)
- Obr. 8.: Kontejner pro ACTS (strana 6)
- Obr. 9.: Železniční podvozek pro přepravu systémem ACTS (strana 7)
- Obr. 10.: Rozměry kontejneru dané normou DIN 30 722-1 (strana 8)
- Obr. 11.: Rozměry rohových prvků (strana 9)
- Obr. 12.: Rozměry zajišťovacích trnů (strana 9)
- Obr. 13.: Rozklad konstrukce kontejneru (strana 11)
- Obr. 14.: Rozklad nosné konstrukce kontejneru (strana 12)
- Obr. 15.: Výpočtový model a ohybový moment podélných profilů (strana 15)
- Obr. 16.: Zvolený profil podélných nosníků (strana 17)
- Obr. 17.: Výpočtový model pro návrh vertikálních nosníků (strana 18)
- Obr. 18.: Výpočtový model a průběh ohybového momentu vertikálních nosníků (strana 19)
- Obr. 19.: Zvolený profil pro vertikální nosníky (strana 20)
- Obr. 20.: Výpočtový model rovinného rámu (strana 21)
- Obr. 21.: Zavedení vnitřních účinků (strana 22)
- Obr. 22.: Momentové plochy od příslušných zatížení (strana 24)



- Obr. 23.: Výsledný průběh ohybového momentu na rámu (strana 27)
- Obr. 24.: Navrhovaný profil rámu (strana 28)
- Obr. 25.: Detail provedení spojení profilů u rámu (strana 29)
- Obr. 26.: Zvolený tvar pro spodní výztužný profil (strana 30)
- Obr. 27.: Zvolený tvar pro vrchní výztužný profil (strana 30)
- Obr. 28.: Pohled na celkovou konstrukci vrat (strana 32)
- Obr. 29.: Mechanismus západek v šachtových dveřích (strana 33)
- Obr. 30.: Schéma mechanismu západek (strana 34)
- Obr. 31.: Schéma mechanismu západek po odemknutí (strana 34)
- Obr. 32.: Tahová zkouška materiálu S355J2H (strana 36)
- Obr. 33.: Materiálový model zadaný pro Abaqus (strana 36)
- Obr. 34.: Schéma zatížení a uložení konstrukce (strana 38)
- Obr. 35.: Rozložení napětí na konstrukci po zatížení (strana 39)
- Obr. 36.: Celkový pohled na výpočtový model (strana 41)
- Obr. 37.: Pohled na modelování konstrukčního detailu (strana 42)
- Obr. 38.: Pohled na modelování konstrukčního detailu (strana 43)
- Obr. 39.: Naznačení uložení a zatížení modelu pro výpočet svarového spoje (strana 44)
- Obr. 40.: Rozložení napětí bez modelování svarového spoje (strana 45)
- Obr. 41.: Rozměry svaru (strana 45)
- Obr. 42.: Rozložení napětí při modelování svaru pomocí skořepinových prvků (strana 46)
- Obr. 43.: Rozložení napětí při modelování svaru pomocí „adhesive line“ (strana 47)
- Obr. 44.: Modelování svar. spojů mezi rámem a podélnými profily kontejneru (strana 48)
- Obr. 45.: Schéma zatížení pro STEP 1 (strana 49)

Obr. 46.: Schéma zatížení pro STEP 2 (strana 50)

Obr. 47.: Schéma zatížení pro STEP 3 (strana 50)

Obr. 48.: Schéma zatížení pro STEP 4 a 5 (strana 51)

Obr. 49.: Schéma zatížení pro STEP 6 (strana 52)

Obr. 50.: Odečtení dovoleného napětí pro svar z grafu (strana 55)

Obr. 51.: Rozložení napětí v konstrukci STEP 6 (strana 56)

Obr. 52.: Úprava profilu pro vertikální nosníky (strana 58)

Obr. 53.: Rozložení napětí ve Stepu 6 po úpravě konstrukce (strana 59)

Obr. 54.: Rozložení napětí v okolí místa manipulačního oka (strana 60)

Obr. 55.: Rozložení napětí v konstrukčním detailu (strana 60)

## 13 Seznam příloh

Příloha 1 – Rozložení napětí a porovnání vlivu plechové výplně ve STEPu 1

Příloha 2 – Rozložení napětí a porovnání vlivu plechové výplně ve STEPu 2

Příloha 3 – Rozložení napětí a porovnání vlivu plechové výplně ve STEPu 3

Příloha 4 – Rozložení napětí a porovnání vlivu plechové výplně ve STEPu 4

Příloha 5 – Rozložení napětí a porovnání vlivu plechové výplně ve STEPu 5

Příloha 6 – Rozložení napětí na upravené konstrukci ve STEPu 1

Příloha 7 – Rozložení napětí na upravené konstrukci ve STEPu 2

Příloha 8 – Rozložení napětí na upravené konstrukci ve STEPu 3

Příloha 9 – Rozložení napětí na upravené konstrukci ve STEPu 4

Příloha 10 – Rozložení napětí na upravené konstrukci ve STEPu 5

Příloha 11 – Rozložení napětí na podlaze kontejneru ve STEPu 1

Výkres sestavení kontejneru

3D model kontejneru

Řídící soubor pro výpočet pomocí programu *ABAQUS*

## 14 Seznam tabulek

*Tab. 2.: Srovnání parametrů kontejneru po úpravách (strana 61)*