



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Masinaehituse instituut
Tootearenduse õppetool

MES70LT

Toomas Juht

KÜTTEMATERJALIDE KONTEINER

Autor taotleb
tehnikateaduse magistri
akadeemilist kraadi

Tallinn
2015

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis..... juhendamisel

“.....”.....201...a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

“.....”.....201...a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... eriala/õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”.....201... a.

..... allkiri

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE

2015 aasta kevadsemester

Üliõpilane: Toomas Juht, 132198 (nimi, üliõpilaskood)

Õppekava: Tootearendus ja tootmistehnika

Eriala: Tootearendus

Juhendaja: professor Martin Eerme (amet, nimi)

Kaasjuhendaja: nooremteadur Maarjus Kirs

Konsultandid: Renaltini Vilipus, Mäeotsa talu, 5035140 (nimi, amet, telefon)

MAGISTRITÖÖ TEEMA:

(eesti keeles) Küttematerjalide konteiner

(inglise keeles) Heating fuel container

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Ülesande püstitus ja taustauuring	15.03
2.	Esimeste variantide välja töötamine	31.03
3.	Lahendite valik	15.04
4.	Arvutused ja projekteerimine	16.05
5.	Lõputöö koostamine ja jooniste vormistamine	25.05

Lahendatavad inseneritehnilised ja majanduslikud probleemid:

Konteineri kontseptsiooni loomine, konteineri projekteerimine, tugevusarvutuste tegemine hindamaks konteineri vastupidavust.

Täiendavad märkused ja nõuded:

Töö keel: eesti keel

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt 12.05.2015

Töö esitamise tähtaeg 25.05.2015

Üliõpilane Toomas Juht /allkiri/ kuupäev.....

Juhendaja Martin Eerme /allkiri/ kuupäev.....

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE	3
SISUKORD	4
EESSÕNA	6
1. SISSEJUHATUS	7
2. ÜLESANDE PÜSTITUS JA OLEMASOLEVAD KONTEINERID	9
2.1. Ülesande püstitus	9
2.1.1. Küttepuude koguse mõõtmine	9
2.2. Olemasolevad konteinerid	10
2.2.1. Universaalsed konteinerid	10
2.2.2. Küttepuude konteinerid	12
2.2.3. Konteinerite lukustus	14
3. KONTEINERI KONTSEPTSIOONI LOOMINE	17
3.1. Erinevate lahenduste võrdlemine	17
3.1.1. Luugi avanemine	17
3.1.2. Luugi lukustus	23
3.1.3. Erinevate lahendusvõimaluste võrdlused	28
3.2. Mõõtmete arvutused	30
3.2.1. Esialsed gabariitmõõtmete arvutused	30
4. KONTEINERI PROJEKTEERIMINE	35
4.1. Esialgne CAD mudel	35
4.2. Arvutused Ansys-is	36
4.2.1. Konteineri geomeetria defineerimine	36
4.2.2. Sisendid konteineri arvutusteks	37
4.2.3. Konteineri tugevusarvutused	40
4.2.4. Detailide arvutused Ansys-is	47
4.3. Konstruktsiooni kuumtsinkimine	53
4.3.1. Toruraam	53
4.3.2. Plaadid	54
4.3.3. Tsingitavad avad ja võllid	55
4.3.4. Materjali valik	55
4.4. CAD mudelid SolidWorks-is	56
4.4.1. Konteineri toruraam	56
4.4.2. Muud detailid	57
4.4.3. Koostud	59
KOKKUVÕTE	61

SUMMARY	64
KASUTATUD ALLIKAD.....	67
LISAD	69
Lisa 1. Nõuete loetelu.....	69
Lisa 2. Joonised	72

EESSÕNA

Lõputöö teema tuli Mäeotsa talust, kus tegeletakse küttepuude müügiga. Lõputöö koostamine toimus Tallinna Tehnikaülikoolis. Põhilised algandmed saadi Mäeotsa talust, edasised arendus- ja uurimistööd tegi lõputöö autor.

Konsultatsioonidega ja suunavate küsimustega abistasid Martin Eerme ja Maarjus Kirs.

Lõputöö autor soovib tänada lõputöö koostamisel ja ideede genereerimisel aidanud Renaltini Vilipust, Maarjus Kirsi ja Martin Eermet.

1. SISSEJUHATUS

Antud töö eesmärk on projekteerida 3 m³ mahtuvusega küttematerjalide konteiner ning töötada välja üldine lahend, millest lähtuvalt oleks võimalik projekteerida suurema või väiksema mahtuvusega konteinereid küttematerjalide tarbeks.

Konteineri vajalikkus tuleneb küttepuid ostvate klientide soovist osta korraga väiksemaid koguseid ja ise organiseerida nende transporti. On näha, et ostetakse korraga 3-5 ruumimeetrit küttepuid ning seda kogust on müüjal tülikas mõõta. Tavapäraselt toimub koguste mõõtmine nii, et puud laotakse riita, mille alusel saab hinnata nende kogust. Kuivamine ja hoiustamine toimub välitingimustes ja riita laotuna. Kliendi juurde viimiseks tuleb puud jällegi ümber laduda, kas auto kasti või kliendi enda organiseeritud transpordivahendile (enamasti järelhaagisele). Kõik see tähendab, et küttepuid tuleb käsitsi mitu korda ümber laduda, mis on tööjõumahukas ja aeganõudev. Selleks, et vähendada tööjõu osakaalu kogu selle protsessi vältel, oleks mõistlik peale puude lõikamist ja lõhkumist need hoiustada nii, et neid oleks võimalik kiirelt ümber ladustada. Samuti oleks hea, kui saaks lihtsalt mõõta puude kogust ning neid transportida. [1]

Üheks võimaluseks on kasutada küttepuude jaoks spetsiaalset konteinerit, mille eeliseks oleks ka see, et hoiustamiseks on vaja vähem ruumi. Samuti oleks võimalik konteinerit kasutada laadimisseadmena, kui see tõsta ja tühjendada järelhaagise või veoauto kastikohal.

Küttepuude jaoks kasutatakse hetkel erinevaid konteinerilahendusi. Ühed on multifunktsionaalsed konteinerid, mis ei ole konkreetselt suunatud küttepuude tarbeks ning teised aga suunatud ainult ühesuunaliselt küttepuude hoiustamiseks ja transpordiks.

Multifunktsionaalsete lahenduste all võib välja tuua multilift kastid ning erinevate platvormautode ja haagiste kastid. Mitmeotstarbelistel konteineritel esineb ka puudusi. Nimelt on väiksemate koguste transportimine kulukas ning koguste mõõtmine on keeruline, kui ei laeta tervet konteinerit täis. Samuti on mitme kliendi jaoks küttematerjali vedu ühe korraga keeruline ja eeldab vaheseinte ehitamist või muud viisi kuidas küttepuid eraldada. [1]

Küttepuude hoiustamiseks mõeldud konteineritest on enamlevinud 1-2 ruumimeetrised konteinerid, kuhu on halupuud korrapäraselt sisse laotud. Need konteinerid on enamjaolt valmistatud kas puidust või terasest. Kumbki neist ei ole otseselt mõeldud välitingimustes küttepuude hoiustamiseks, kuid omavad siiski ladustamise ja transpordi funktsiooni. Puidust

konteineri eeliseks on see, et peale selle kasutusaja lõppu saab selle ära kasutada samuti küttematerjalina. Puidust konteineri puuduseks on asjaolu, et see pole ilmastikukindel ilma lisakaitseta. See ainult tõstaks puitkonteineri hinda ja teeks selle valmistamise keerulisemaks. Terasest konteineri eeliseks on see, et seal on kasutatud sein materjalina terasvõrku, mis võimaldab õhu ligipääsu puudele. Kasutatavad teraskonteinerid on seevastu väikese mahtuvusega ja eeldavad samuti, et puud oleksid korrapäraselt laotud. Mõlemad konteinerid on üsna soodsad võrreldes näiteks multilift konteineriga (vt Tabel 1.1).

Tabel 1.1. Erinevate konteinerite hinnad

Konteiner (mahtuvus)	Hind (€/tk)	Maksumus €/m³	Märkused
Multilift konteiner (17 m ³)	2200 € [2]	129,41 €	Hind aastal 2013
Puitkonteiner (2 ruumimeetrit= 3m ³)	34 € [3]	11,33 €	Hind leitud arvutuslikult
Teraskonteiner (1 ruumimeetrit= 1,5 m ³)	50 € [4]	33,3 €	

Antud töö on jaotatud neljaks suuremaks alapunktiks. Esimeseks peatükiks on sissejuhatus, kus antakse lühidalt ülevaade lõputööst. Teises alapunktis kirjeldatakse ülesande püstitust, küttepuude koguse mõõtmist ja mõõtühikuid ning analüüsitakse olemasolevaid konteinereid ning nende lukustussüsteeme. Kolmandas peatükis kirjeldatakse konteineri kontseptsiooni loomist, analüüsitakse erinevaid lahendusvõimalusi, kuidas uks/uksed avatavaks teha ning kuidas neid lukustada. Samuti koostatakse selles peatükis hindamismatriks sobivaima lahendi leidmiseks. Kolmandas peatükis tehakse ka esialgsed konteineri gabariitmõõtmete arvutused. Neljandas peatükis kirjeldatakse konteineri projekteerimist. Tuuakse välja Ansys arvutusprogrammi kasutades saadud tulemused, millest lähtutakse projekteeritava konteineri materjalide valikul. Arvutuste järel on alapunkt, mis on pühendatud kuumtsingitavate konstruktsioonide projekteerimisele. Projekteerimist kirjeldava peatüki lõpetab CAD projekteerimise osa, kus tuuakse välja SolidWorks-is projekteeritud konteineri lõplik lahend.

Tööl on ka kaks lisa. Lisa 1-s on välja toodud tellija poolsete nõuete loetelu. Lisa 2-de on lisatud projekteeritud konteineri joonised.

2. ÜLESANDE PÜSTITUS JA OLEMASOLEVAD KONTEINERID

Konteineri projekteerimisel lähtuti koos tellijaga koostatud ülesande püstitusest (vt Lisa 1). Selles peatükis seletatakse lahti ülesande püstitus, antakse ülevaade küttepuude koguse mõõtmisest ning vaadeldakse olemasolevaid konteinereid ja nende lukustusi.

2.1. Ülesande püstitus

Tellija soovis, et töötataks välja küttematerjalide konteineri kontseptsioon, mida saaks mõne muudatuse sisseviimisega kohandada sobivaks hoiustatava küttematerjaliga. Esimese konteinerina soovis klient saada halupuude konteinerit, mille mahtuvus oleks 2 ruumimeetrit (rm) küttepuid. Küttepuid ei laota konteinerisse, vaid need kukutatakse, kas halumasina väljundkonveierilt või kasutades mõnda teist moodust. Seetõttu tuleb kasutada konteineri mahtuvuse arvutamisel ühikut puistekuupmeeter (pm^3). Konteineril peab olema avatav uks ning kui uks avaneb küljele võiks konteineri põhi olla kalde all. Selline lahendus lihtsustaks küttematerjalide väljatulekut konteinerist. Konteinerit peab saama tõsta kahveltõstukiga konteineri ülemisest osast nii eest kui tagant ning käsitõstukiga külgedelt.

2.1.1. Küttepuude koguse mõõtmine

Küttepuude ja puitmaterjali käsitlemisel kasutatakse mitut mõõtühikut. Järgnevalt selgitataksegi nende ühikute tähendust ja omavahelisi seoseid.

Enamlevinud mahulised mõõtühikud on tihumeeter (tm), ruumimeeter (rm) ja puistekuupmeeter (pm^3). Tihumeeter on 1 m^3 puhast puidu massi, mis on arvestatud ilma puidu koore ja õhuvahedeta. Ruumimeeter on 1 m^3 virna või riita laotud halgudelt mõõdetud kogus. Ruumimeetrisse on sisse arvestatud ka puidukoor ja õhuvahed. Puistekuupmeeter on korrapäratult kuhjatud või ladustatud halud (vt Sele 2.1), mille sisse on arvestatud ka puidu koor ja õhuvahed. [5]

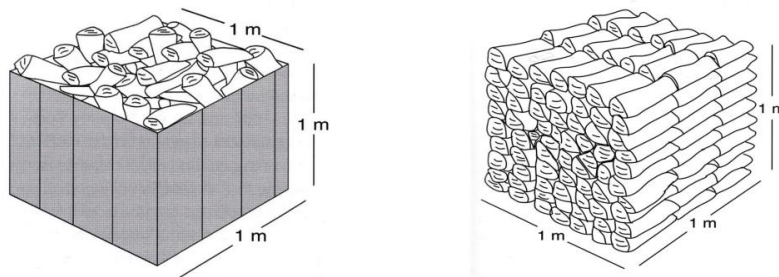
Tabel 2.1 Küttepuude koguse mõõtmine [5]

Mõõtühik	Puistekuupmeeter, pm^3	Ruumimeeter, rm	Tihumeeter, tm (m^3)
Puistekuupmeeter	1,00	0,67	0,44
Ruumimeeter	1,50	1,00	0,67
Tihumeeter	2,25	1,50	1,00

Tabel 2.1-st on näha, et 1 ruumimeeter on 1,5 puistekuupmeetrit halupuid. Seda erinevust illustreerib ka Sele 2.1. Soovitud konteineri mahtuvus on 2 ruumimeetrit. Arvutan 2 ruumimeetri jaoks vajaliku konteineri siseruumala.

$$2 * 1,5 = 3,0 \text{ pm}^3 \quad (1.1)$$

Märkus. Koos varuteguriga valiti konteineri mõõduks $3,05 \text{ pm}^3$ ehk konteineri mahtuvus on $3,05 \text{ m}^3$.



Sele 2.1. Halupuude puistekuupmeeter ja ruumimeeter laotud halupuid [6]

2.2. Olemasolevad konteinerid

Enne omapoolse konteineri lahenduse väljapakkumist uuriti mitmeid kasutusel olevaid konteinerite lahendusi, mis on end juba töökäigus tõestanud. Selline lähenemine on tootearenduslikust aspektist mõistlik, sest võimaldab õppida olemasolevate toodete vigadest ja eelistest. Samuti välistab see asjaolu, et ei projekteerita midagi sellist, mida juba laialdaselt kasutatakse.

2.2.1. Universaalsed konteinerid

Universaalseid konteinereid on võimalik kasutada erinevate materjalide transpordiks ja hoiustamiseks, samuti kaupade veoks. Multilift tüüpi konteinereid kasutatakse pinnase, puistematerjalide, prahi ning muu transpordiks. Multilift konteinerid (vt Sele 2.2) on projekteeritud kandma suuri raskusi ning neid on võimalik pikalt kasutatavad. Seda saab järeltada juba nende disaini ja välimust vaadates.



Sele 2.2 Multilift konteiner 30 m³ [7]

Väiksemaid 10-17 m³ multilifti konteinereid (vt Sele 2.3) kasutatakse ka küttepuude transportiks. Nende puudus ilmneb juhul kui ei osteta tervet konteineri täit puid, sest sel juhul on koguse mõõtmine raskendatud. Erinevate koguste ja tellimuste eraldamiseks tuleb ehitada vaheseinu. Samuti peab arvestama logistika aspektidega, et puud, mis esimesena maha laetakse, tuleb paigutada kõige taha ja nii edasi.



Sele 2.3 Multilift konteiner 17 m³ [2]

Üheks universaalseks kauba transportimise konteineriks on merekonteiner (vt Sele 2.4). Seda küll nüüd ei kasutata puistematerjalide transportiks, vaid pigem pakendatud kaupade, seadmete, elektroonika ja muu jaoks. Mereveo konteineri juures uuritakse eeskätt lukustusmehhanismi.



Sele 2.4 Mereveo konteiner 20' [8]

2.2.2. Küttepuude konteinerid

Küttepuude ladustamiseks ja transpordiks kasutatakse enamasti kahte tüüpi küttepuude konteinereid – puitkonteinerid (vt Sele 2.5) ja metallkonteinerid (vt Sele 2.6). Esimese puhul on näha, et see ei ole mõeldud pikaks korduvkasutuseks. Konteiner ei ole ilmastikukindel ning eeldab, et puud on konteinerisse laotud. Samas on selle eeliseks, et konteineri saab koos puudega jätta kliendi juurde, mille võib samuti kütteks ära tarvitada. Puitkonteineri liigutamiseks on vaja kasutada lisaseadmeid (nt vastukaalutõstukit või käsitõstukit). See tähendab seda, et kui konteiner kliendi juurde viia, on see vaja ka kuidagi maha laadida, mis muudab konteineri kasutamise keerulisemaks.



Sele 2.5. Puitkonteiner, 2 ruumimeetrit laotud puid [3]

Metallist küttepuude konteineri eeliseks on selle pikem kasutusaeg ning seda on lihtsam käsitleda, kuna see konkreetne versioon on ratastel (vt Sele 2.6). Metall konteineri puhul on puuduseks väike mahtuvus ja asjaolu, et puud tuleb korrapäraselt laduda konteinerisse. Seda tüüpi konteinerit on kliendi juurde keerulisem transportida, kuna selleks ajaks tuleb konteiner ja konteineris olevad puud eraldi fikseerida. Samuti pole konteiner ilmastikukindel, välitingimustes hoiustamiseks või transportimiseks on vaja konteiner eraldi katta.



Sele 2.6. Metallkonteiner, 1 ruumimeeter puid [4]

2.2.3. Konteinerite lukustus

Vaadeldud küttepuude konteineritel ei ole luuke ja lukustust, kuna puud on korrapäraselt laotud ning kogused on väikesed pole seda vajagi. Seega erinevate konteinerite lukustuste uurimiseks tuleb vaadelda hoopis olemasolevaid universaalseid konteinereid. Esimese lukustuse variandina vaadeldakse poolhaagise ukse lukustust (vt Sele 2.7). Ühe kangi ja pika võlliga lukustatakse uks ülevalt ja alt. Käepideme sisse on ehitatud topeltlukustus, mis takistab selle iseenesliku avanemist.



Sele 2.7. Poolhaagise tagaukse lukustus [7]

Suure multilift konteineri lukustus on mõeldud töötama suurte koormuste juures. Sele 2.8.-lt on näha, et ukсед lukustatakse kahest punktist. Riivi põhimõttel töötav osa lukustab vasakpoolse ukse ning kangmehhanismiga liigutatav konks lukustab parempoolse ukse. Lahendus on väga hästi läbimõeldud, liigutades vasakul pool olevat hooba saab avada mõlemad ukсед. Selline lukustuse lahendus välistab ka selle, et ukсед tahtmatult avaneksid, kuna tegemist on kaheastmelise lukustusega.



Sele 2.8. 30 m³ multilift konteineri lukustus [7]

Väiksema multilift konteineri (vt Sele 2.9) lukustus on lahendatud lihtsamalt. Üks pikk võll ühendab kaht konksu, mis pööratakse konteineri külge keevitatud ümarmaterjali taha. Pööramist võimaldav käepide on keevitatud pika võlli külge. Selleks, et transpordi käigus lukustus lahti ei loksuks, on kasutatud kahekordset lukustust – käepideme asend on fikseeritav.



Sele 2.9. Multilift konteineri luugi lukustus [7]

Mereveo konteineri lukustus on samuti kahe astmeline. Üks pikk võll ühendab kahte kinnituskonksu, mis pööratakse nii üleval kui ka all osas konteineri raami küljes olevate konksude taha. Lukustatud asendis on pööratav võll fikseeritav, kuna võlli küljes olev käepide on kinnitatav ukse külge (vt Sele 2.10).



Sele 2.10. Merekonteineri ukse lukustus [7]

3. KONTEINERI KONTSEPTSIOONI LOOMINE

Selles peatükis otsitakse erinevate uste ja lukustuse variantide seast sobivaimat küttematerjalide konteineri jaoks. Võimalike lahendus variantide hindamiseks koostatakse hindamismatriks. Peatüki viimases alapunktis leitakse konteineri esialgsed gabariitmõõdud.

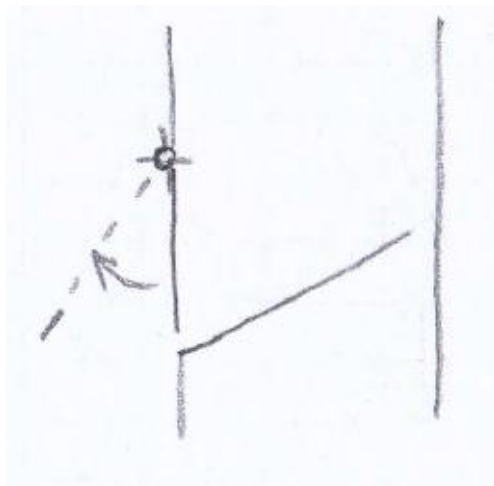
3.1. Erinevate lahenduste võrdlemine

Selleks, et leida parimat lahendit konteineri projekteerimiseks kaalutakse erinevaid võimalusi, kuidas lahendada luugi avamist ja luugi lukustamist. Ptk 2.2.3 vaadeldakse olemasolevate konteinerite lahedusi. Järgnevalt tuuakse välja autoripoolsed lahendused, nende funktsioonid ja omadused.

3.1.1. Luugi avanemine

Luugi paiknemise ja avanemise lahendusele on mitmeid variante. Järgnevalt loetletakse erinevad alternatiivid ning tuuakse välja ka nende eelised ja puudused:

- 1) Luugi variant 1 – luuk paikneb esiküljel, avaneb alt üles (vt Sele 3.1). Lukustussüsteem võib paikneda all või külgedel.



Sele 3.1 Luugi variant 1

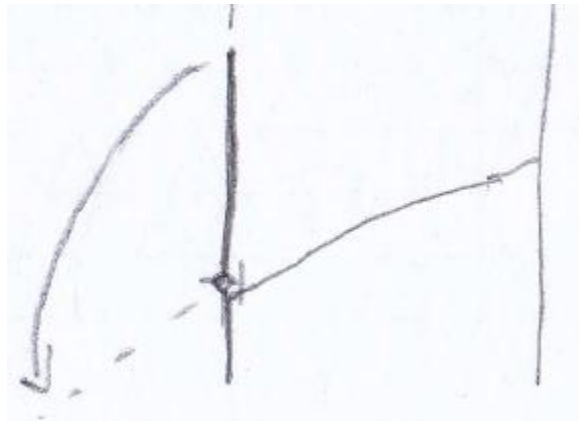
Eelised:

- + luuk ei jää avanedes küttematerjalide alla, kuna avaneb üles.

Puudused:

- kogu küttematerjal ei pruugi välja tulla konteinerist, kuna luuk sulgub oma raskusega;
- lukustussüsteemi projekteerides tuleb arvestada, et küttematerjal võib sinna otsa kukkuda;
- luuk pidurdab konteinerist väljuvat materjali.

- 2) Luugi variant 2 – luuk paikneb esiküljel, avaneb ülalt alla (vt Sele 3.2), lukustus paikneb üleval või külgedel.



Sele 3.2. Luugi variant 2

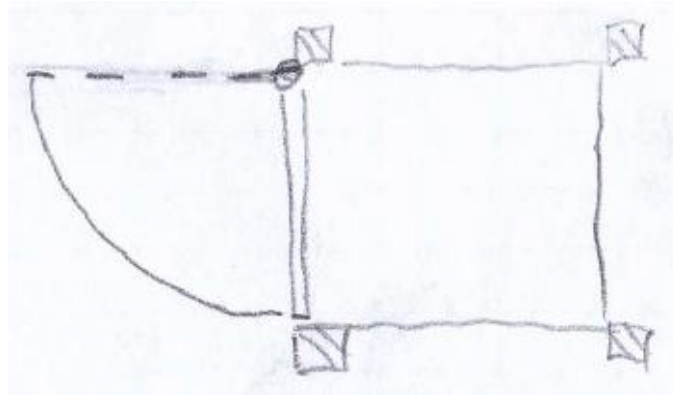
Eelised:

- + luuk ei jää küttematerjalidele ette peale avanemist;
- + luuk ei avalda küttematerjalidele väljudes pidurdavat toimet.

Puudused:

- luuk jääb küttematerjalide alla;
- sulgemiseks tuleb luuki tõsta, mis koormab kasutajat/operaatorit.

- 3) Luugi variant 3 – luuk paikneb esiküljel, avaneb ühele küljele kogu pikkuses (vt Sele 3.3). Lukustatakse ülevalt ja alt või ühelt küljelt.



Sele 3.3. Luugi variant 3

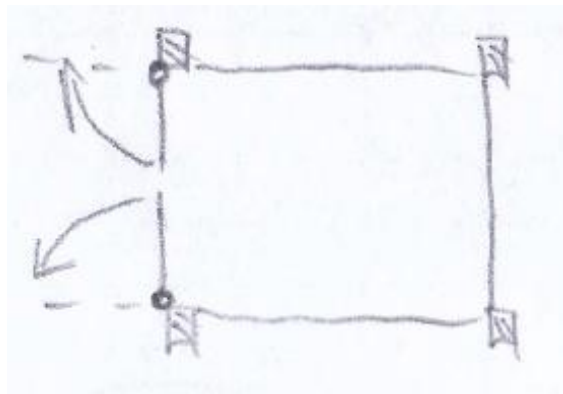
Eelised:

- + luuk ei jää küttematerjali alla;
- + luuk ei pidurda küttematerjali.

Puudused:

- luuk võib avaneda suure hooga kui lukustus vabastada.

- 4) Luugi variant 4 – luuk paikneb esiküljel ning on jagatud kaheks osaks, millest kumbki pool avaneb ühele küljele (vt Sele 3.4). Lukustussüsteem on üleval ja all ning lukustada tuleb kahte ust.



Sele 3.4 Luugi variant 4

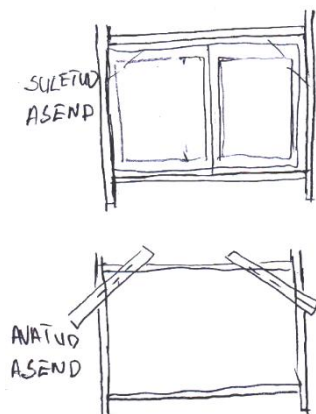
Eelised:

- + luuk ei jää küttematerjali alla;
- + küttematerjalide poolt avaldatud jõud on jagatud kahe luugi ja kahe lukustuse vahel;
- + üks avamismehhanism avab mõlemad ukсед;
- + kahte küljele avanevat ust on kergem sulgeda kui ühte.

Puudused:

- vaja lukustada kahte luuki.

- 5) Luugi variant 5 – luuk paikneb esiküljel ning on jagatud kaheks osaks, millest kumbki pool avaneb nurga all üles (Sele 3.5).



Sele 3.5. Luugi variant 5.

Eelised:

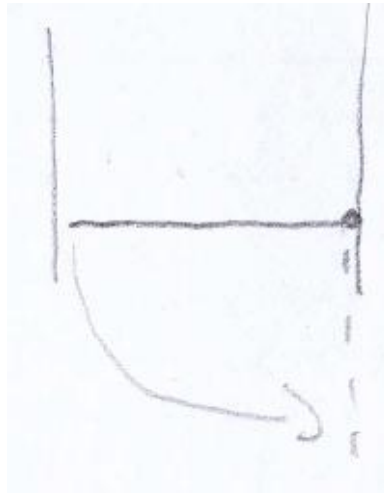
- + luuk ei jää küttematerjali alla;
- + sulgub oma raskusega.

Puudused:

- kogu küttematerjal ei pruugi välja tulla konteinerist, kuna luuk võib enne sulguda oma raskusega (konteinerisse jäänud materjalil ei pruugi olla piisavalt massi, et luuki lahti lükata);
- keerukam lukustussüsteem;

- keerukam hingede süsteem;
- küttematerjal valgub ka mõlemale küljele.

6) Luugi variant 6 – luuk paikneb põhja all ning avaneb tagumise külje suunas (vt Sele 3.6). Lukustussüsteem on hingede vastas küljel.



Sele 3.6. Luugi variant 6

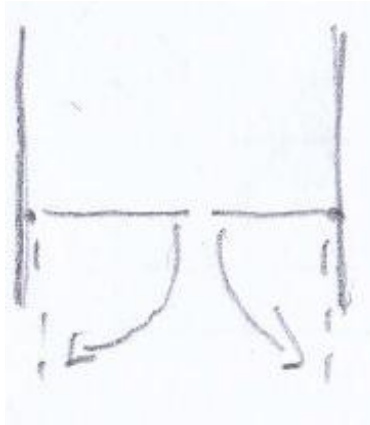
Eelised:

- + luugi avanedes tuleb konteinerist kogu materjal välja;
- + konteineri konstruktsioon saab olla kompaktsem, kuna pole vaja kalde all olevat põhja.

Puudused:

- konteinerit on vaja tühendamise ajal kindlasti tõsta vähemalt luugi pikkuse jagu;
- luuk avaneb suure hooga;
- lukustussüsteemile langeb suur osa küttematerjali koormusest;
- sulgemiseks on vaja luuki tõsta.

7) Luugi variant 7 – luuk paikneb põhja all ning on jagatud kaheks osaks, millest kumbki pool avaneb ühele küljele (vt Sele 3.7). Lukustussüsteem on luugi ääres ning lukustada tuleb kahte ust.



Sele 3.7. Luugi variant 7

Eelised:

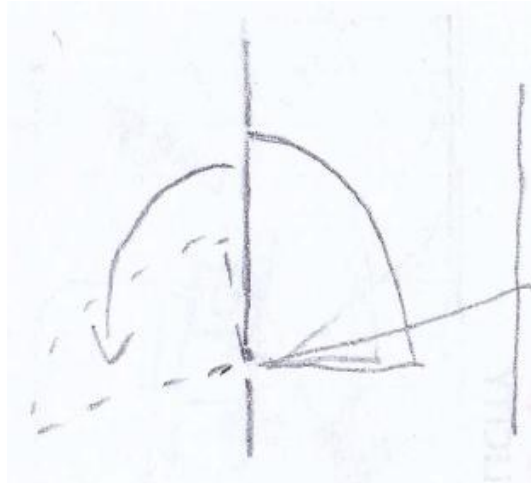
- + luugi avanedes tuleb konteinerist kogu materjal välja;
- + kompaksem konteineri konstruktsioon, kuna põhi ei pea kaldu olema;
- + koormust on kahe luugi puhul lukustussüsteemile ühtlasemalt jaotunud, kui ühe luugi puhul.

Puudused:

- konteinerit on vaja tühjendamiseks tõsta;
- luugid avanevad suure hooga;
- sulgemiseks on vaja mõlemat luuki tõsta.

Kahe luugi tõstmine on lihtsam kuna nende mass üksikuna on väiksem kui ühe terve luugi oma.

- 8) Luugi variant 8 – luuk paikneb esiküljel, avaneb ülalt alla. Külgedel on kattepiirded, mis ei võimalda küttematerjalidel valguda külgedele (vt Sele 3.8).



Sele 3.8. Luugi variant 8

Eelised:

- + luugi külgedel olevad katted ei lase küttematerjalidel valguda külgedele, ohutum kasutaja seisukohast;
- + luuk ei avalda avatuna küttematerjalidele pidurdavat toimet.

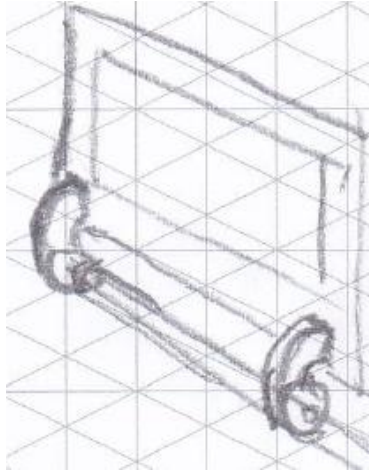
Puudused:

- konteineri kõrgem maksumus ja kaal luugi konstruktsiooni keerukuse tõttu;
- luuki on sulgemiseks vaja tõsta, külje tugevuse tõttu on see raskem teistest lahendustest;
- suurem koormus hingedel ja lukustusel.

3.1.2. Luugi lukustus

Selles alapunktis esitatakse erinevad luugi lukustus võimalused, ning analüüsitakse nende eeliseid ja puudusi.

- 1) Lukustuse variant 1 – lukusti tallad pööratakse vastu luuki (vt Sele 3.9). Taldade pööramiseks kasutatakse kangi süsteemi.



Sele 3.9. Lukustuse variant 1

Eelised:

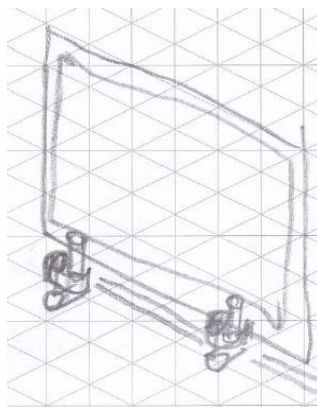
- + luuki saab avada ühe liigutusega;
- + universaalne lahendus, saab kasutada iga luugi avanemise versiooniga.

Puudused:

- kinni kiilumise oht;
- luuk võib suruda lukustuse ise avanema;
- konstruktsioon peab olema keerukam, et puud ei kukuks lukustuse peale.

Kinni kiilumise oht võib tekkida kangisüsteemis, kui uksele langeb suur koormus, siis ei pruugi lukustus olla lihtsalt avatav. Konstruktsioon muutub keerukamaks kuna lukustus elemendid peab olema võimalik täiesti eest ära pöörata või tuleb need ära peita põhja ala.

- 2) Lukustuse variant 2 – lukusti konksud pööratakse vastu raami küljes olevaid ümarvõlle (vt Sele 3.10). Pööramise liigutus teostatakse kangimehhanismiga.



Sele 3.10. Lukustuse variant 2

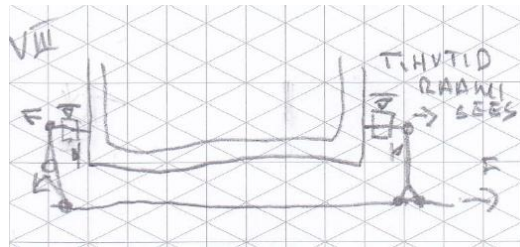
Eelised:

- + luuki saab avada ühe liigutusega;
- + väike kinni kiilumise oht konksude juures;
- + konksud ei võimalda puudel luuki lahti suruda ilma konkse pöörata;
- + kasutusel erinevatel konteineritel.

Puudused:

- konstruktsioon peab olema keerukam, et puud ei kukuks lukustuse peale;
- keerukas kangisüsteem, mis võib vähendada töökindlust;
- pole võimalik kasutada kõigi luugi avanemise versioonidega, ilma konstruktsiooni keerulisemaks tegemata.

3) Lukustuse variant 3 – raami sees on tihvtid, mis lukustavad luuki (vt Sele 3.11).



Sele 3.11. Lukustuse variant 3

Eelised:

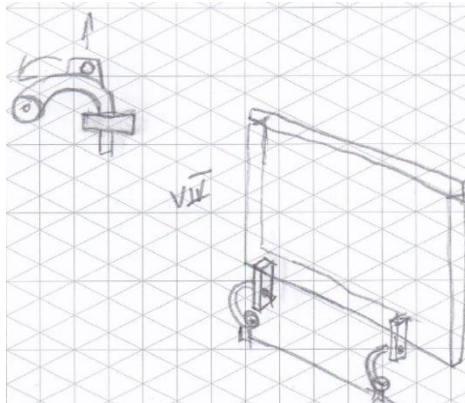
- + luuki saab avada ühe liigutusega;
- + lukustus tihvtid on peidus raamis sees;
- + sobib ühe luugiga versioonidele.

Puudused:

- konstruktsioon peab olema keerukam, et tihvtid ära peita raami sisse;
- tihvtide ja tihvti avade ummistumise oht;
- kiilumisoht;
- avamismehhanism on keerukas;
- keeruline saavutada töökindlust.

Kuna tihvtid on gabariidilt väikesed, siis on oht, et tihvti avad võivad ummistuda küttematerjaliga kaasnevate puidu tükkide ja saepuruga. Selle lahenduse juures on olemas kinni kiilumise oht, kuna konteineris olev materjal avaldab kinnitusele suurt survet, mis takistab tihvtide asendi muutmist.

- 4) Lukustuse variant 4 – konksud, mis lukustavad luuki läbi luugi külge keevitatud avaga plaadi (vt Sele 3.12).



Sele 3.12. Lukustuse variant 4

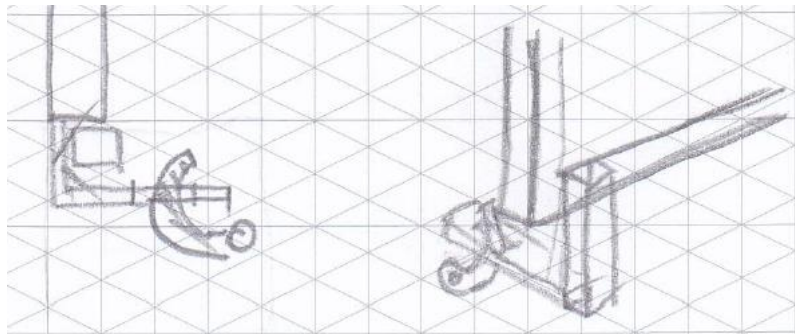
Eelised:

- + luuki saab avada ühe liigutusega;
- + konstruktsioon on suhteliselt lihtne.

Puudused:

- kinni kiilumise oht;
- konkse tuleb kaitsta peale langeda või va küttematerjali eest.

- 5) Lukustuse variant 5 – konksud, mis lukustavad luuki konteineri põhja alt läbi luugi külge keevitatud avaga plaadi (vt Sele 3.13).



Sele 3.13. Lukustuse variant 5

Eelised:

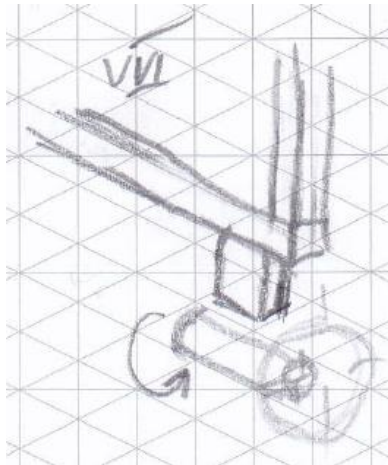
- + luuki saab avada ühe liigutusega;
- + konksud on põhja all peidus;
- + sobib üles avanevale luugile.

Puudused:

- kinni kiilumise oht;
- konteineri konstruktsioon tuleb teha kõrgem, kuna lukustus on põhja all.

Lukustuse variandil on sarnane kinni kiilumise oht nagu seda on tihvtidega ja taldadega variandi puhul. Ukse avamiseks peaks seda olema võimalik natuke sisse suruda, see võib aga osutuda võimatuks ukse vastu suruva küttematerjali tõttu.

- 6) Lukustuse variant 6 – ekstsentriline lukustusvõll, mis pööratakse luugile ette (vt Sele 3.14).



Sele 3.14 Lukustus variant 6

Eelised:

- + luuki saab avada ühe liigutusega;
- + sobib üheluugiga versioonidele.

Puudused:

- kinni kiilumise oht;
- keeruline konstruktsioon;
- keeruline saavutada töökindlust.

Kinni kiilumise oht tekib avamiseks vajalikus kangimehhanismis, kuna see peab suutma pöörata ekstsentrilist võlli üle selle fikseeriva nurga.

3.1.3. Erinevate lahendusvõimaluste võrdlused

Tabel 3.1 Hindamismatriks luugi avanemise variantidele

Kriteerium	Osakaal	Luugi avanemise variant							
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Ergonoomika	4	3	2	4	5	3	3	3	3
Ohutus	5	3	3	3	4	3	3	3	5
Konstruktiooni lihtsus	3	4	4	3	4	1	3	3	2
Kasutamise lihtsus	3	3	3	4	4	3	2	2	3
Maksumus	4	4	4	4	4	2	3	3	2

Tabel 3.2 Kaalutud hinnang luugi avanemise lahendustele

Kriteerium	Luugi avanemise variandi kaalutud hinne							
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Ergonoomika	12	8	16	20	12	12	12	12
Ohutus	15	15	15	20	15	15	15	20
Konstruktiooni lihtsus	12	12	9	12	3	9	9	6
Kasutamise lihtsus	9	9	12	12	9	6	6	9
Maksumus	16	16	16	16	8	12	12	6
Summa	64	60	68	80	47	54	54	53

Hindamismatriksi tulemustest (vt Tabel 3.1. ja

Tabel 3.2.) selgub, et kõige suurema punktisumma, 80 punkti, sai luugi avanemise variant nr 4 – luuk on jagatud kaheks osaks, mis avanevad külgedele. Punktide järgi teiseks jäi lahendus nr 3 – ühes osas olev luuk avaneb küljele.

Tabel 3.3. Hindamismatriks luugi lukustuse variantidele

Kriteerium	Osakaal	Luugi lukustuse variant					
		1.	2.	3.	4.	5.	6.
Ergonoomika	4	4	4	4	4	4	4
Ohutus	5	3	4	4	4	3	3
Konstruksiooni lihtsus	3	3	4	2	4	3	3
Kasutamise lihtsus	3	4	4	3	4	4	3
Maksumus	4	4	4	3	4	3	3
Töökindlus	5	2	4	1	3	3	2

Hindamismatriksisse kantud tulemused (vt Tabel 3.3) korrutatakse läbi osakaaluga ning tulemused kantakse Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Kaalutud hinnang luugi lukustuse variantidele

Kriteerium	Luugi lukustuse variandi kaalutud hinne					
	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Ergonoomika	16	16	16	16	16	16
Ohutus	15	20	20	20	15	15
Konstruktiooni lihtsus	9	12	6	12	9	9
Kasutamise lihtsus	12	12	9	12	12	9
Maksumus	16	16	12	16	12	12
Töökindlus	10	20	5	15	15	10
Summa	78	96	68	91	79	71

Nagu Tabel 3.4-st on näha, siis kõige suurema punkti summa sai lukustuse variant 2 – lukusti konksud, mis pööratakse raami küljes oleva ümarmaterjali taha. Sarnased lahendused on kasutusel ka Sele 2.7, Sele 2.9 ja Sele 2.10 olevatel piltidel.

Hindamismatriksite tulemuste põhjal otsustatakse, et konteineri luuk on jagatud kaheks osaks, mis avanevad külgedel. Lukustuseks kasutakse konkse, mis pööratakse raami küljes oleva ümarvulli taha. Ühe lukustussüsteemiga lukustatakse mõlemat ust.

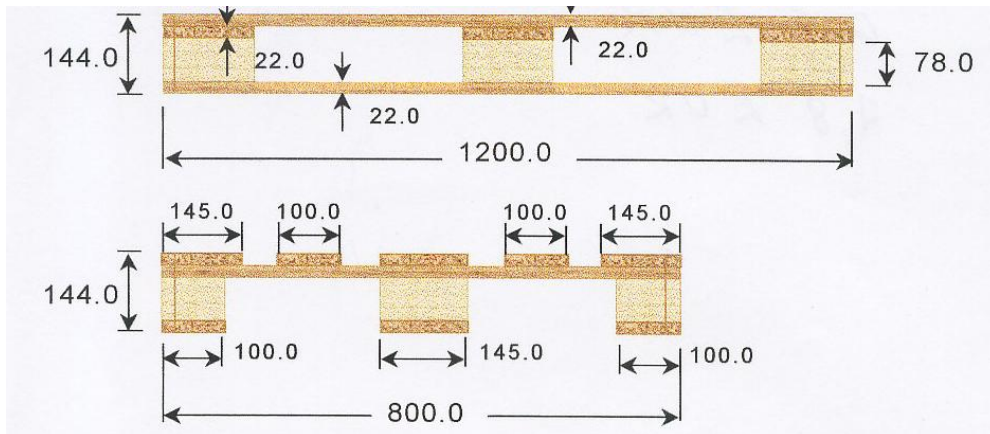
3.2. Mõõtmete arvutused

Selles punktis tehakse esialgsed arvutused, et paremini mõista konteineri kuju ning gabariitmõõtmeid. Need arvutused on sisendiks tugevusarvutustele ja konteineri projekteerimisele CAD keskkonnas.

3.2.1. Esialgsed gabariitmõõtmete arvutused

Konteineri siseruumala leiti valemiga 1.1, mis koos varuteguriga oli $3,05 \text{ m}^3$. Arvutustest tähistatakse konteineri siseruumala $V_{\text{sis}}=3,05 \text{ m}^3$.

Nõuete loetelust (vt Lisa 1.) leiame, et tellija poolsete esmaarvutuste järgi on konteineri mõõdud 1195x1195x2450 mm (laius x sügavus x kõrgus). Konteineri põhja pind on arvestatud 1195x1195, et see oleks võrreldav kaubaalusega 1200x1200. Selliste mõõtmetega oleks konteiner kergesti käsitletav kahveltõstuki ja käsitõstukiga. Sele 3.15 on illustreerivalt toodud EUR kaubaaluse 1200x800x144 mõõdud.



Sele 3.15. EUR kaubaalus 1200x800x144 [9]

Konteineri välisgabariidid sõltuvad materjali mõõtudest, millest on konteiner valmistatud. Hindamaks konteineri kõrgust siseruumala kaudu tuleb kõige pealt määrata seinte paksused. Sellest lähtuvalt saab arvutada konteineri siseosa kõrguse. Hinnanguliselt valitakse toru mõõtmeteks 40x40 mm, ning seinakatte plaadi/võrgu paksuseks on 2,5 mm. See tähendab, et kui arvestada toru paksust ja seinakatte plaate/võrku jääb ruudukujulise põhjaga konteineri sisemõõduks:

$$1195 - 40 - 40 - 2,5 - 2,5 = 1110 \text{ mm} \quad (3.1)$$

Esialgse arvutusega leitud konteineri sisemõõdud on 1110x1110 mm.

Leiame konteineri sisemise osa kõrguse h , kui tegemist oleks lameda põhjalise konteineriga. Selleks kasutame risttahuka ruumala valemit:

$$V_{rt} = a_{sise} * b_{sise} * h_{sise} , \quad (3.2) [10, lk 29]$$

kus V_{rt} - risttahuka ruumala (m^3)

a_{sise} - konteineri sisemise osa pikkus (m)

b_{sise} - konteineri sisemise osa laius (m)

h_{sise} - konteineri sisemise osa kõrgus (m)

$$V_{\text{rt}} = a_{\text{sise}} * b_{\text{sise}} * h_{\text{sise}} \rightarrow h_{\text{sise1}} = \frac{V_{\text{rt}}}{a_{\text{sise}} * b_{\text{sise}}} = \frac{3,05}{1,11 * 1,11} = 2,451 \text{ m} \quad (3.3)$$

Lameda põhjalise konteineri sisemõõdud peaksid olema vähemalt 1110x1110x2451 mm.

Tellija soovib, et konteineri põhi oleks kalde all, sest see peaks lihtsustama konteineri tühjendamist, kuna vähemalt osa konteineri sisust libiseb uste avamisel välja. Puidu varisemisnurk kirjanduse järgi on 45° [11].

Märkus. Siin mõeldakse ebakorrapärastelt laotud halupuid. Kaldenurga valikul arvestatakse puidu varisemisnurgaga.

45° nurga all oleva konteineri põhja puhul on konteineri alumine osa ristlõikes võrdhaarne kolmnurk, mis tähendab, et ruumala on poole väiksem, kui tegemist oleks lameda põhjalise konteineriga, mille mõõdud oleks 1110x1110x1110. Vajaliku siseruumala saavutamiseks tuleb konteiner teha kõrgem.

Arvutatakse konteineri põhjast kaotsi minev ruumala kui põhi on 45° nurga all ning kolmnurga mõlemad kaatetid on 1110 mm pikad.

Selleks kasutatakse kolmnurkse püstprisma ruumala valemit V_{pp} :

$$V_{\text{pp}} = \frac{a_{\text{kaatet}} * b_{\text{kaatet}}}{2} * c, \quad (3.4)$$

kus V_{pp} - kolmnurkse püstprisma ruumala (m³),

a_{kaatet} - kolmnurga kaatet (m),

b_{kaatet} - kolmnurga kaatet (m),

c - püstprisma kõrgus, antud juhul konteineri laius (m). [10, lk 26 ja 29]

$$V_{\text{pp1}} = \frac{a_{\text{kaatet}} * b_{\text{kaatet}}}{2} * c = \frac{1,11 * 1,11}{2} * 1,11 = 0,6838 \text{ m}^3 \approx 0,684 \text{ m}^3 \quad (3.5)$$

Kaotatud ruumala on 0,684 m³. Selleks, et konteineri mahtuvus vastaks nõuetele, leitakse konteineri kõrgus, millel on 45° kaldpind. Selleks tuleb suurendada konteineri ruumala kaotsi läinud ruumala võrra.

$$V_{rt1} = V_{sise} + V_{pp1} = 3,05 + 0,684 = 3,734 \text{ m}^3 \quad (3.6)$$

Ning leian konteineri kõrguse uuesti kasutades risttahuka ruumala valemit.

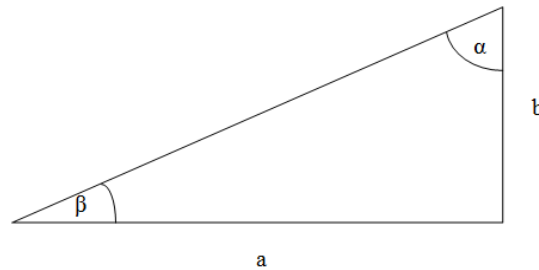
$$V_{rt} = a_{sise} * b_{sise} * h_{sise2} \rightarrow h_{sise} = \frac{V_{rt1}}{a_{sise} * b_{sise}} = \frac{3,734}{1,1 * 1,1} = 3,03 \text{ m} \quad (3.7)$$

See tähendab, et konteineri kõrgus on ligikaudu kolm korda suurem, kui on konteineri laius. Konteineri kõrguse ja põhja väiksemate mõõtmete tõttu on oht, et konteiner läheb kergesti ümber. Seetõttu tuleb konteineri kõrgust vähendada. Kompromissina muudetakse põhja kaldenurka 30° peale horisontaaltelje suhtes.

Selleks, et näha palju see muudab kõrgust, tuleb leida kolmnurga kaatetite mõõdud uuesti. Teda on, et pikem kaatet $a=1,11 \text{ m}$ ning selle kaateti vastasnurk $\alpha=60^\circ$. Otsitava kaateti b vastas on nurk $\beta=30^\circ$.

Kaateti a leidmiseks saame kasutada täisnurkse kolmnurga trigonomeetrilist funktsiooni, kuna meil on teada lähiskaatet ja vastaskaatet ning üks nurk, kus lähiskaatetiks on kaatet b ning vastaskaatetiks on kaatet a :

$$\tan \alpha = \frac{a}{b} = \frac{\text{vastaskaatet}}{\text{lähiskaatet}}; \quad (3.8) \text{ [10, lk 13]}$$



$$\tan \alpha = \frac{a}{b} \rightarrow b = \frac{a}{\tan \alpha} = \frac{1,11}{\tan 60^\circ} = 0,641 \quad (3.9)$$

Edasi saame leida püstprisma ruumala valemit kasutades kaotsi mineva ruumala.

$$V_{pp2} = \frac{a_{kaatet} * b_{kaatet}}{2} * c = \frac{1,11 * 0,641}{2} * 1,11 = 0,399 \text{ m}^3 \quad (3.10)$$

Leitakse konteineri kõrgus, millel on 30° kaldpõhi horisontaal telje suhtes.

Selleks tuleb suurendada konteineri ruumala kaotsi läinud ruumala võrra.

$$V_{rt2} = V_{sise} + V_{pp2} = 3,05 + 0,399 = 3,449 \text{ m}^3 \quad (3.11)$$

Ning leian konteineri kõrguse uuesti kasutades risttahuka ruumala valemit.

$$V_{rt} = a_{sise} * b_{sise} * h_{sise} \rightarrow h_{sise3} = \frac{V_{rt2}}{a_{sise} * b_{sise}} = \frac{3,449}{1,1 * 1,1} = 2,850 \text{ m} \quad (3.12)$$

Konteineri sisemõõdud oleks 30° kaldpõhja puhul 1110x1110x2850 mm, mis on endiselt liiga kõrge. Konteineri enda kõrgus tuleb üle 3 m, kui arvestada juurde ka alumine ja ülemine konstruktsioon.

Kuna konteineri kalde all olevat põhja enam langetada ei saa, siis tuleb teha konteineri ühte külge laiemaks. Konteinerit tõstetakse tõstukiga ukse poolsest ja selle vastas olevast küljest. Järelikult ei saa seda mõõtu pikendada ning pikendatakse konteinerit laiuse suunas. Konteinerit tehakse 400 mm laiemaks, kuna siis on konteiner kahe euroaluse laiune ning see on paigutamise seisukohalt loogilisem. Uue konteineri välisgabariidid oleks siis 1595x1195 mm. Sisemõõtude arvutamiseks kasutame samu andmeid nagu eelmine kordki:

$$1595 - 40 - 40 - 2,5 - 2,5 = 1510 \text{ mm} \quad (3.13)$$

Seega konteineri sisemõõdud on 1510x1110 mm. Leida tuleb veel konteineri kõrgus kui konteineri põhi on 30° nurga all. Selleks kasutatakse ka juba eespool kasutatud valemeid.

$$V_{pp3} = \frac{a_{kaatet} * b_{kaatet}}{2} * c = \frac{1,11 * 0,641}{2} * 1,51 = 0,537 \text{ m}^3 \quad (3.14)$$

$$V_{rt} = V_{sise} + V_{pp3} = 3,05 + 0,537 = 3,587 \text{ m}^3 \quad (3.15)$$

$$V_{rt} = a_{sise} * b_{sise} * h_{sise} \rightarrow h_{sise4} = \frac{V_{rt}}{a_{sise} * b_{sise}} = \frac{3,587}{1,1 * 1,51} = 2,159 \text{ m} \approx 2,160 \text{ m} \quad (3.16)$$

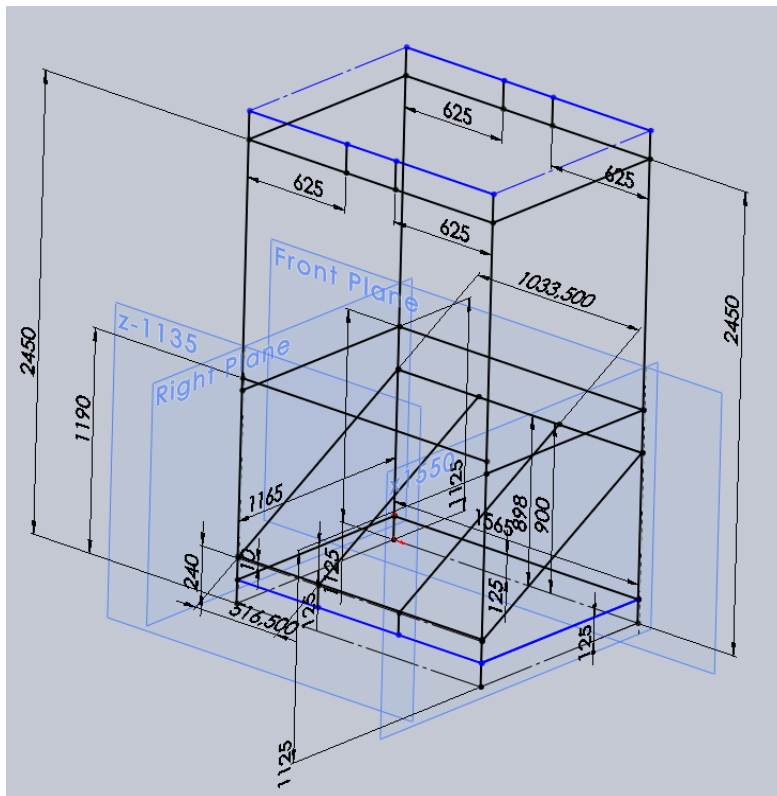
Konteineri kõrgus $h_{sise4} = 2,16 \text{ m}$, kui sisemõõdud on 1510x1110 mm ning põhi on tõstetud 30° horisontaal pinna suhtes ning konteineri siseruumala on $3,05 \text{ m}^3$. See kõrgus on kooskõlas kliendi poolsete nõuetega. Kuna kogu konteineri kõrgus jääks hinnanguliselt 2,5...2,6 m juurde.

4. KONTEINERI PROJEKTEERIMINE

Konteineri projekteerimise käik hõlmab esialgse mudeli koostamist, millest saadakse lähteandmed arvutusprogrammi geomeetria sisendite jaoks. Peale seda defineeritakse arvutusmudel arvutusprogrammis Ansys. Sellele järgnevalt leitakse ja defineeritakse rajatingimused ja teostatakse tugevus arvutused. Selles alapunktis vaadeldakse ka kuumtsingitavate konstruktsioonide projekteerimise eripära ning lõpetuseks antakse lühi ülevaade projekteeritud CAD mudelist.

4.1. Esialgne CAD mudel

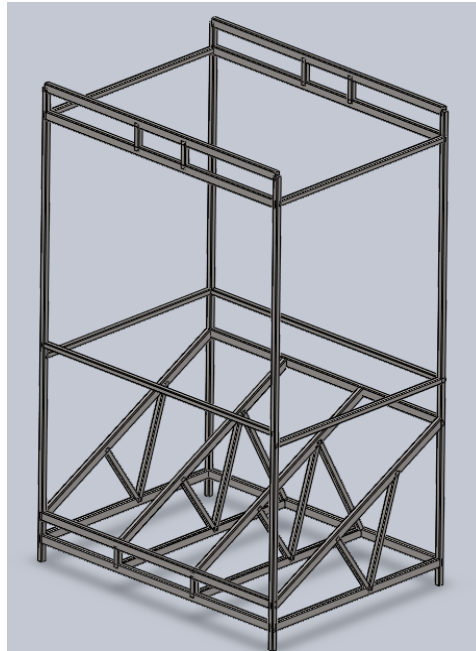
Tugevusarvutuste jaoks geomeetria sisendite saamiseks tehti konteinerist esialgne CAD mudel. Selleks kasutati CAD programmi SolidWorks. Programmis tehti esialgsete mõõtmetega 3D joonmudel (Sele 4.1), millele hiljem määrati toru mõõdud. See oli vajalik selleks, et tugevusarvutuste jaoks saada teada torude lõikumispunktid.



Sele 4.1. Esialgne konteineri 3D joonmudel SolidWorks-is

Oletuslikult määrati torude mõõduks 40x40x2 mm ja 60x40x2 mm. Joonmudeli ja toru paksuste määramist kasutades, saadi ülevaade koordinaadipunktide asukohast, kus torud ristuvad. Samuti sai esialgselt paika pandud, millist ristlõikega toru kasutada vastaval lõigul

ning sellest lähtuvalt tehti algne toruraami mudel (vt Sele 4.2). Mõõduga 60x40x2 mm toru kasutakse seal, kus on teada, et langeb otsene koormus: sinna langeb küttematerjali raskus või sealt tõstetakse konteinerit.



Sele 4.2. Esialgne konteineri toruraam SolidWorks-is

Esialgset 3D joonmudelit kasutades saadi koordinaatide punktid, millest tehti *script* fail Ansys-is tugevusarvutuste jaoks.

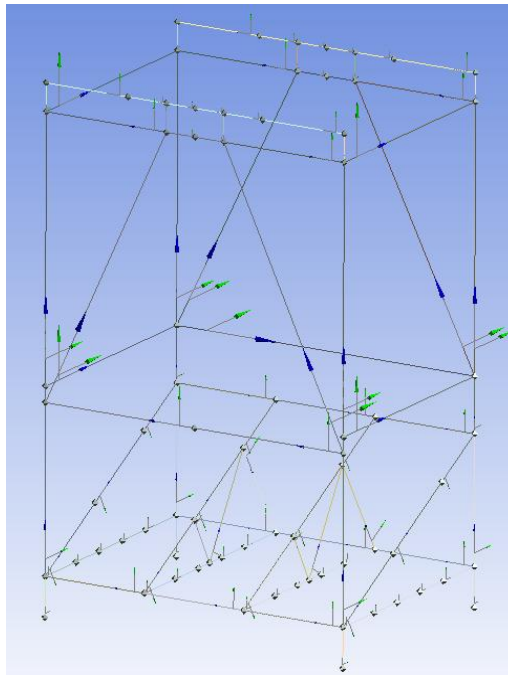
4.2. Arvutused Ansys-is

Tugevusarvutuste tegemiseks kasutatakse FEM (lõplike elementide meetodi) arvutusprogrammi Ansys. Programmis defineeritakse arvutatava detaili geomeetria. Arvutuskeskkonnas määratakse detailile või koostule rajatingimused.

4.2.1. Konteineri geomeetria defineerimine

Eelmises punktis kirjeldatud koordinaadipunktid imporditi Ansys-i programmis loodud *Static structural* analüüsi geomeetria sisendiks. Ansys-is tuli uuesti luua joonmudel programmi sisse toodud punktipilve kasutades (vt Sele 4.3). Joonmudelig arvutamise eeliseks on arvutuskiirus ja mudeli paindlikkus. *Script* failis punkti koordinaate muutes ja geomeetriat uuendades saab muuta punkti asukohta mudelis. Vajadusel saab *script* faili lisada uusi punkte. Solidmudelig

arvutades oleks arvutustele kuluv aeg pikem ning mudeli uuendamine võtaks samuti rohkem aega.



Sele 4.3. Tugevusarvutuste jaoks loodud joonmudel Ansys-is.

Peale joonmudeli defineerimist määratakse toruristlõiked ja torude asukohad. Kontrollitakse esmast oletust, et konteineri saab valmistada 40x40x2 ja 60x40x2 mõõduga torudest.

Torude asukohad määratakse samad, mis SolidWorks-is valminud CAD mudeliski.

Torude vahele luuakse pinnad, mis moodustavad konteineri seinad ja põhja, kuhu peale hakkab toetuma konteineris olev küttematerjal.

4.2.2. Sisendid konteineri arvutusteks

Loodud konteineri kontseptsiooni tugevuse kontrollimiseks kasutati *Static structural* arvutusmoodulit. Kuna konteiner täidetakse küttematerjaliga, siis mõjub konteineri põhjale ja seintele teatud suurusega jõud. See jõud mõjub konteineri pindadele, seega võib seda võrdsustada rõhuga. Küttematerjali kiht on 2,16 m kõrgune ning seetõttu mõjuvad konteineri alumistele osadele suured koormused. Seda koormust väljendatakse hüdrostaatilise rõhuga:

$$p = g * \rho * h \quad (4.1)$$

kus, p - hüdrostaatiline rõhk;

ρ - vedeliku/materjali tihedus, kg/m^3 ;

g - raskuskiirendus, $9,81 \text{ m/s}^2$;

h - vedeliku sügavus, m. [10;42]

Tegemist ei ole konventsionaalse hüdrostaatilise rõhu valemi kasutamisega, kuna konteineris on vedeliku asemel küttepuud koos tühimikega. Seetõttu ei saa materjali tihedusena kasutada antud väärtusi, vaid tuleb uuesti leida niinimetatud vedeliku tihedus, mis koosneb puidust ja tühimikest. Selleks tuleb esmalt leida küttepuude mass konteineris.

Kütteväärtuse poolest paistavad silma kask (19,4 MJ/kg), kuusk (19,0 MJ/kg), mänd (19,0 MJ/kg), lepp (18,5 MJ/kg) ja haab (18,4 MJ/kg). Neist kõige suurema tüvepuu tihedusega on just kasepuu, mille tihedus normaalsuure juures on 630 kg/m^3 . [12]

Kõige tõenäolisemalt kasutataksegi konteinerit kase, lepa ja haava puu jaoks. Seetõttu lähtutakse konteineris oleva materjali massi arvutamisel just kasepuu tihedusest, kuna see on kõige suurem.

Materjali mass on leitav valemiga:

$$m = V * \rho \rightarrow \rho = \frac{m}{V} \quad (4.2)$$

kus m - mass, kg;

V - ruumala, m^3 ;

ρ - tihedus, kg/m^3 . [10, lk 31]

Eelnevalt oleme määranud, et konteineri ruumala on $3,05 \text{ m}^3$, aga konteineris olev reaalne puidu ruumala on umbes $1,4 \text{ m}^3$ (vt Tabel 2.1). Seega, kui konteineris oleks $1,4 \text{ m}^3$ kasepuitu tihedusega 630 kg/m^3 , oleks konteineris olevate küttepuude kogumass:

$$m = V * \rho = 1,4 * 630 = 882 \approx 900 \text{ kg} \quad (4.3)$$

Nüüd saame leida konteineris olevaid küttepuid ja õhutühimikke arvestades tiheduse, mida kasutada hüdrostaatilise rõhuga arvutamisel.

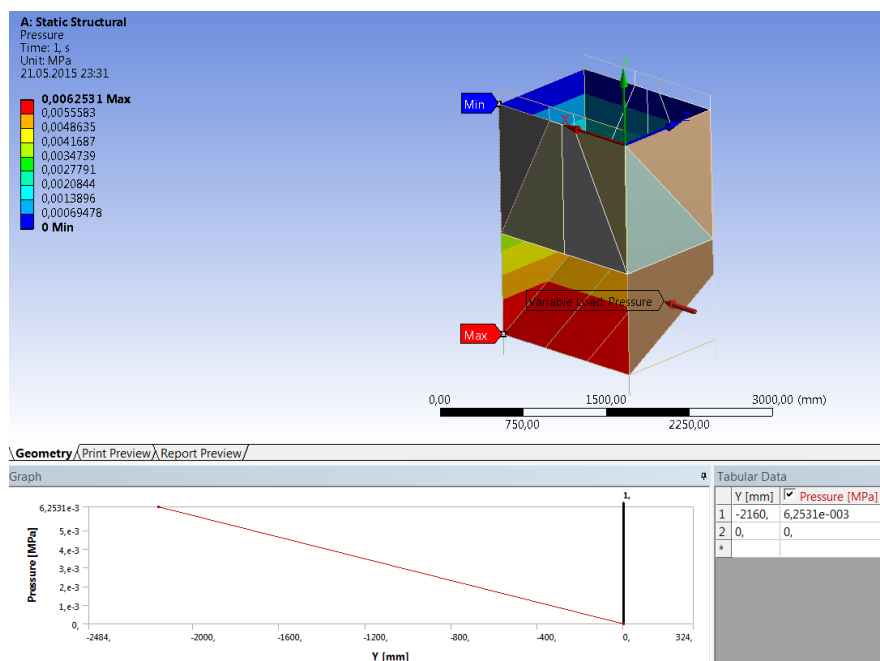
$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{900}{3,05} = 295 \text{ kg/m}^3 \quad (4.4)$$

Siit edasi saab arvutada hüdrostaatilise rõhu valemiga 4.1 kasutades mõjuvad rõhud, mis arvutatakse iga 200 mm tagant. Konteineris oleva küttepuude kihi kõrgus on 2160 mm.

Tabel 4.1. Arvutatud hüdrostaatilised rõhud

Sügavus ülemisest pinnast (m)	Tihedus (kg/m ³)	Raskuskiirendus (m/s ²)	Rõhk (Pa)	Rõhk (MPa)
0,2	295,1	9,81	578,98	0,000579
0,4	295,1	9,81	1157,97	0,001158
0,6	295,1	9,81	1736,95	0,001737
0,8	295,1	9,81	2315,94	0,002316
1	295,1	9,81	2894,93	0,002895
1,2	295,1	9,81	3473,91	0,003474
1,4	295,1	9,81	4052,90	0,004053
1,6	295,1	9,81	4631,89	0,004632
1,8	295,1	9,81	5210,87	0,005211
2	295,1	9,81	5789,86	0,005790
2,16	295,1	9,81	6253,051	0,006253

Arvutustulemustest selgub, et rõhk muutub lineaarselt, kuna ainuke muutuv element on sügavus ülemisest pinnast (h). Seetõttu saab Ansys-is arvutamisel kasutada koormusena tavalist rõhku, millele väärtused määratakse ära kahes punktis (vt Sele 4.4).

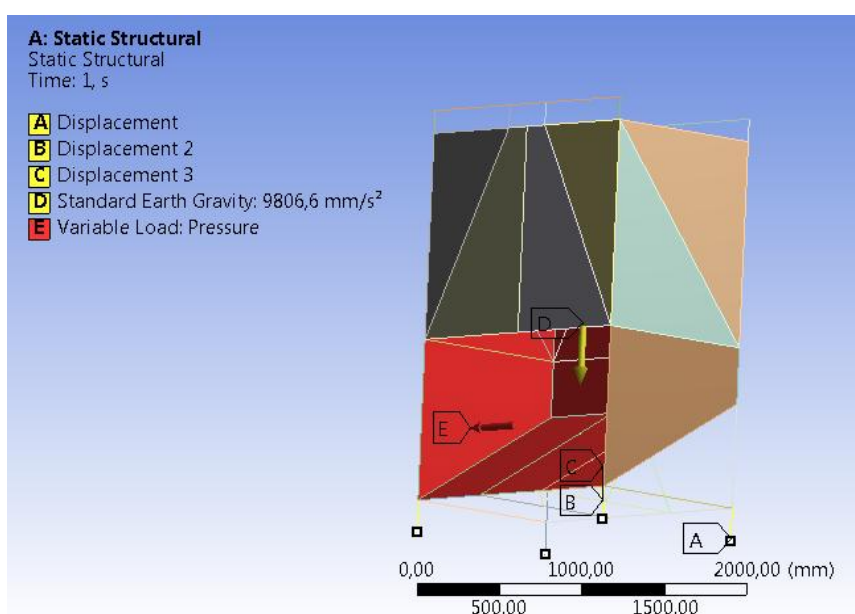


Sele 4.4. Rõhu määramine

4.2.3. Konteineri tugevusarvutused

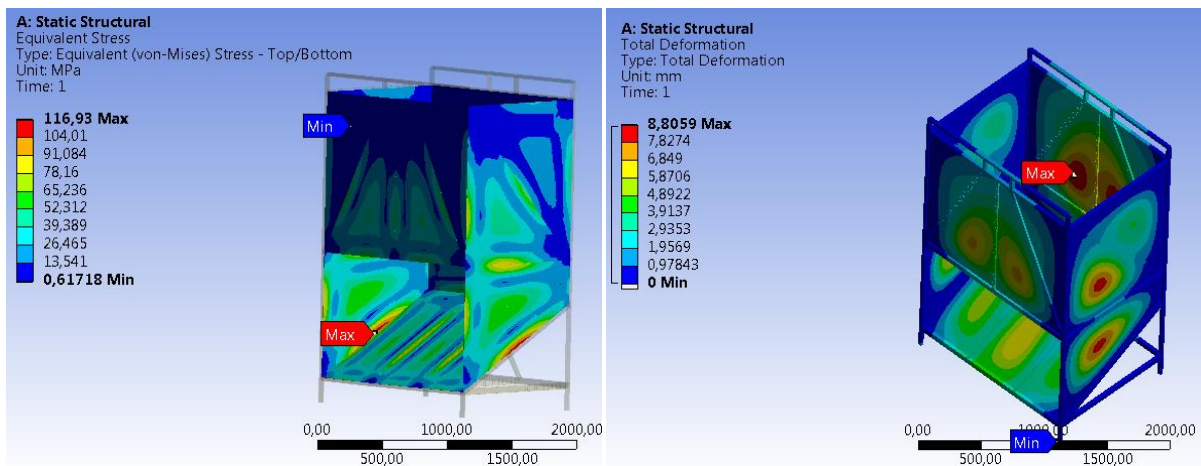
Konteineri tugevusarvutused tehakse täislaetud konteineriga neljal koormamise juhul: maas jalgadele toetudes, ülevalt tõstes, külje pealt põhja alt tõstes ja eest põhja alt tõstes. Erinevate koormusjuhtudega arvutamine on oluline, sest kui muutuvad konteineri kinnitus ja toetuspunktid, muutuvad ka konteineri konstruktsioonile mõjuvad koormused.

Koormusskeem 1 puhul (vt Sele 4.5.) toetub konteiner oma jalgadega maa peale, mis elimineerib liikumised y-telje suhtes. Liikumised x- ja z-telje sihis on samuti keelatud kinnitusega B ja C. Lineaarselt kasvav rõhk mõjub konteineri sisepinnale.



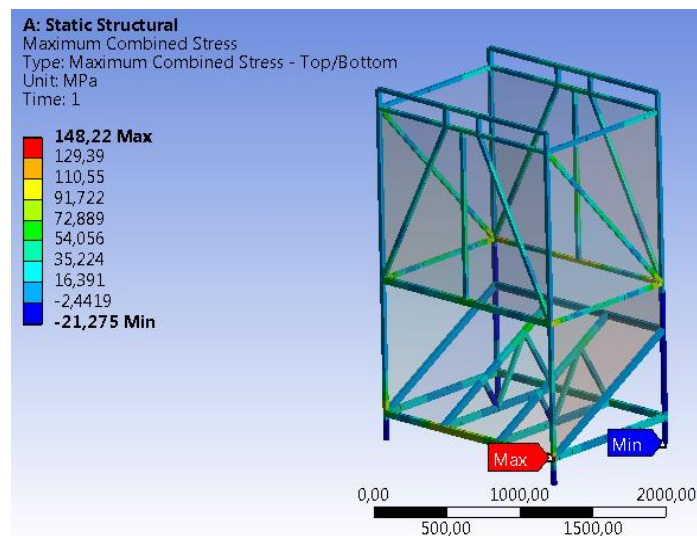
Sele 4.5. Koormusskeem 1 - jalgadele toetudes

Staatika arvutustest selgub, et koormusskeem 1 korral on maksimaalsed pinged konteineri külgsesintes 116,93 MPa ja maksimaalsed deformatsioonid on 8,8 mm (vt Sele 4.6). Kuna deformeeruvad kohad ei ühti suurte pingete asukohaga, siis järeldatakse, et tegemist on elastse deformatsiooniga.



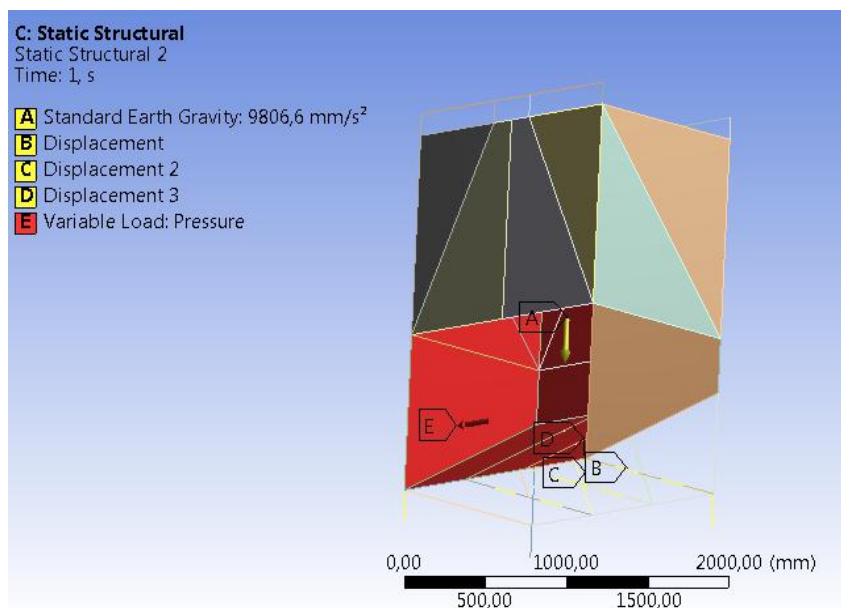
Sele 4.6. Ekvivalentsed sisepinged ja deformatsioonid koormusskeem 1 puhul

Koormusskeem 1 puhul on maksimaalsed pinged toruraamis 148,22 MPa (vt Sele 4.7). Pingete tekkimise asukoht on muret tekitav, kuna konteineri põhjale langeb suur koormus. Seetõttu tuleks selle toru alla keevitada ka tugevdused.



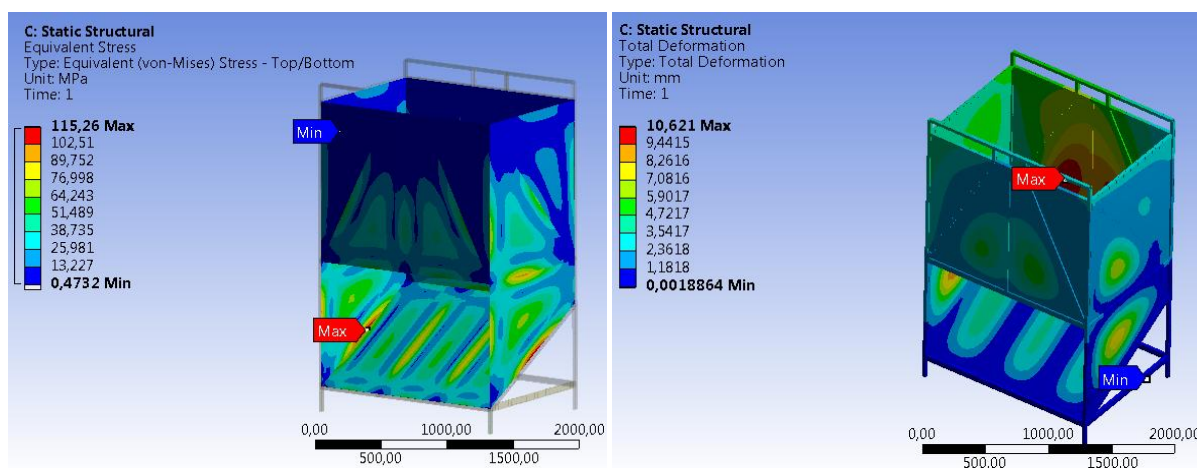
Sele 4.7. Maksimaalsed pinged toruraamis koormusskeem 1 puhul

Koormusskeem 2 puhul on konteineri liikumine y-telje sihis fikseeritud kolme tala peale, millest konteinerit tõstetakse käsitõstuki või kahveltõstukiga (vt Sele 4.8). Kasutatud on just kolme tala, kuna konteineri laius on 1595 mm, mis on suurem, kui tavaliste käsitõstukite ja kahveltõstukite käpa pikkus. Lähtutakse tõstuki kahvli pikkusest 1200 mm [13].



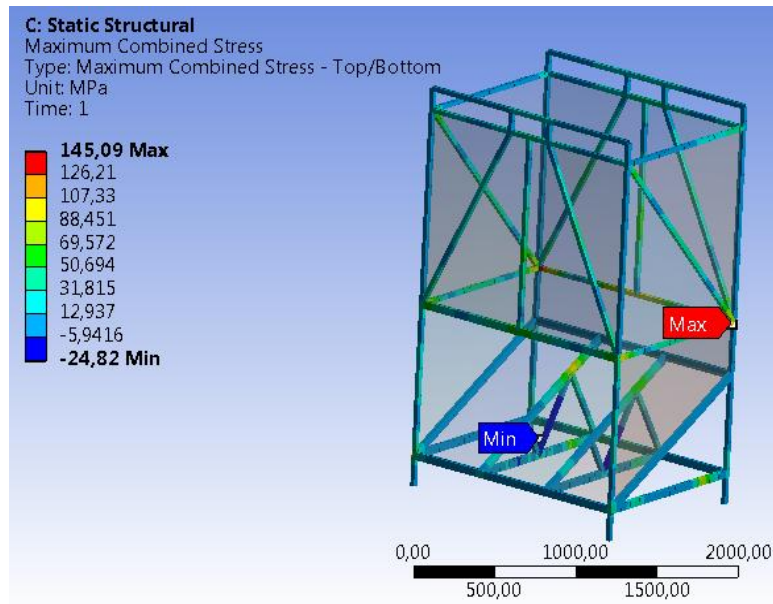
Sele 4.8. Koormusskeem 2 - küljelt tõstetud

Staatikaarvutustest põhjal on koormusskeem 2 korral maksimaalsed pinged konteineri külgeintes 115,26 MPa ja maksimaalsed deformatsioonid on 10,6 mm (vt Sele 4.9). Kuna deformeeruvad kohad ei ühti suurte pingete asukohaga, siis järeldatakse, et tegemist on elastse deformatsiooniga.



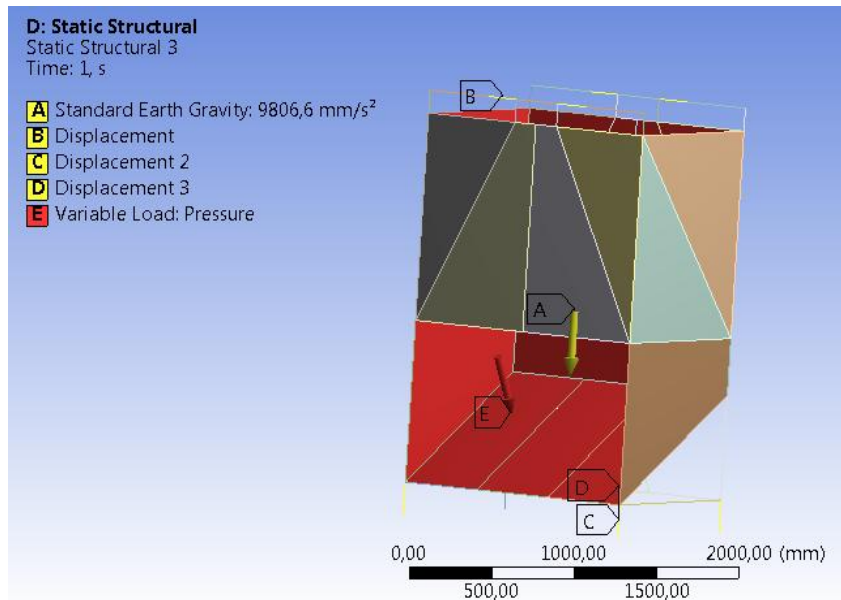
Sele 4.9 Ekvivalentssed sisepinged ja deformatsioonid koormusskeem 2 puhul

Koormusskeem 2 puhul on maksimaalsed pinged toruraamis 145,09 MPa (vt Sele 4.10). Pingete tekkimise asukoht on mitme toruristumise koht. Seetõttu võib seal tekkida märksa suuremad pinged keevitamisel.



Sele 4.10. Maksimaalsed pinged toruraamis koormusskeem 2 puhul

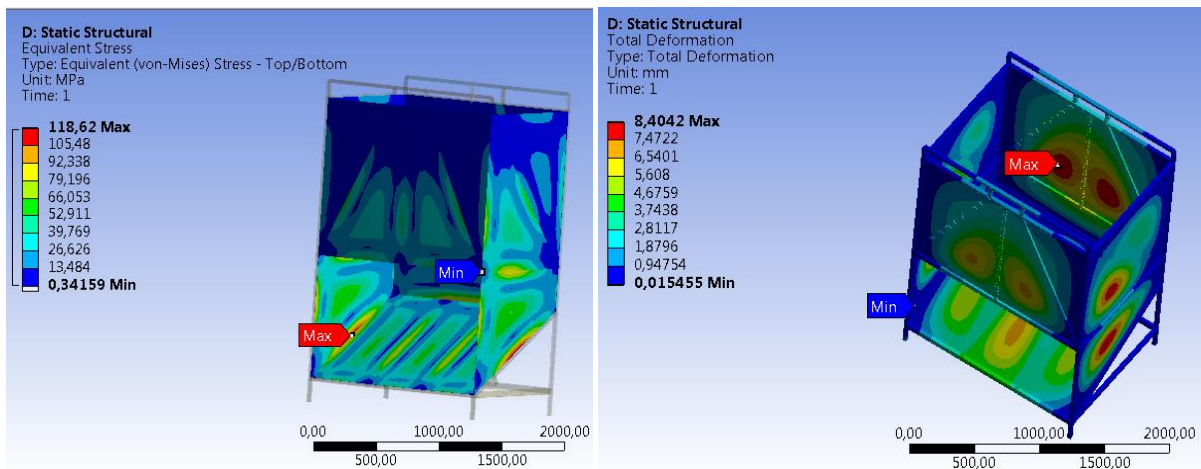
Koormusskeem 3 puhul on y-teljeline liikumine fikseeritud ülemistest taladest (vt Sele 4.11). See koormusskeem simuleerib täidetud konteineri tõstmist ülemistest taladest, x- ja z-teljelised liikumised on piiratud samamoodi nagu eelmistel koormus olukordadel.



Sele 4.11. Koormusskeem 3 - ülevalt tõstetud

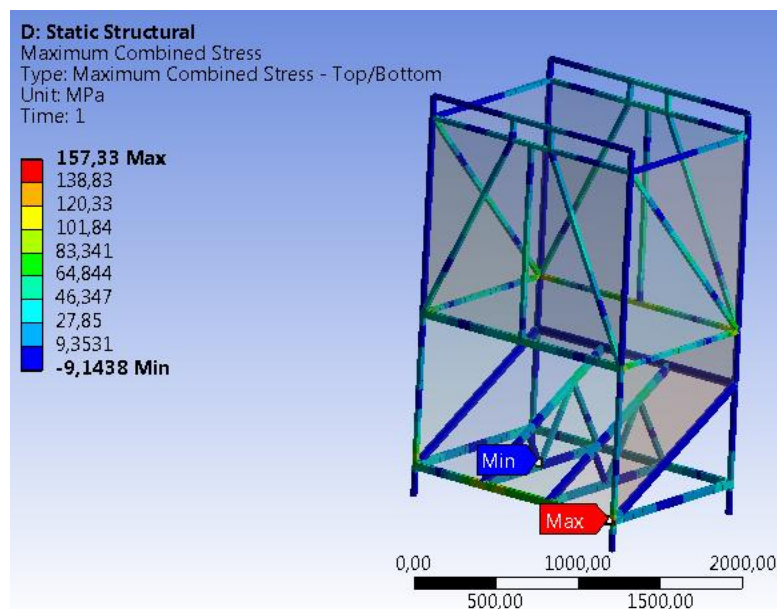
Staatika arvutuste põhjal on koormusskeem 3 korral maksimaalsed pinged konteineri külgsesintes 118,62 MPa ja maksimaalsed deformatsioonid on 8,40 mm (vt Sele 4.12). Kuna

deformeeruvad kohad ei ühti suurte pingete asukohaga, siis järeldatakse, et tegemist on elastse deformatsiooniga.



Sele 4.12. Ekvivalentsed sisepinged ja deformatsioonid koormuskeem 3 puhul

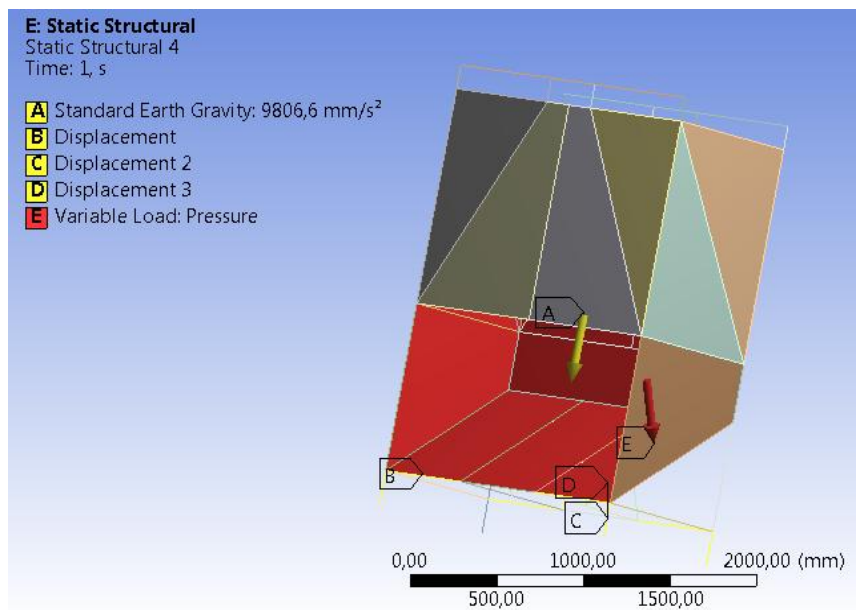
Koormuskeem 3 puhul on maksimaalsed pinged toruraamis 157,33 MPa (vt Sele 4.13). Pingete tekkimise asukoht on konteineri põhjaluse toru otsas. Tugevuse tagamiseks tuleks keevitada selle toru alla tugevdusnurgad.



Sele 4.13. Maksimaalsed pinged toruraamis koormuskeem 3 puhul

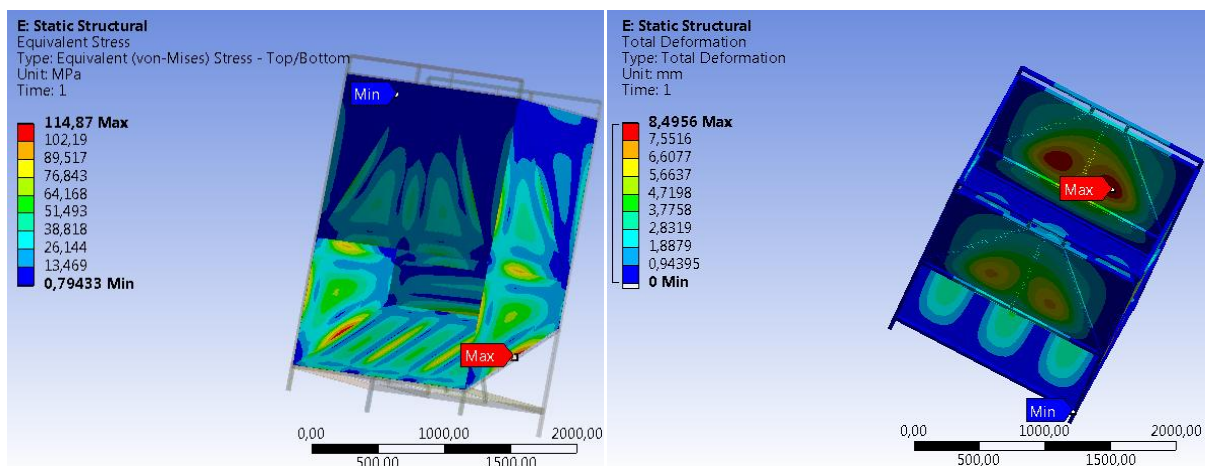
Koormuskeem 4 puhul on y-teljeline liikumine fikseeritud alumistest taladest (vt Sele 4.14). See koormuskeem simuleerib täidetud konteineri tõstmist alumistest taladest. Konteinerit

tõstetakse eesmisest või tagumisest küljest, x- ja z- teljelised liikumised on piiratud samamoodi nagu eelmistel koormus olukordadel.



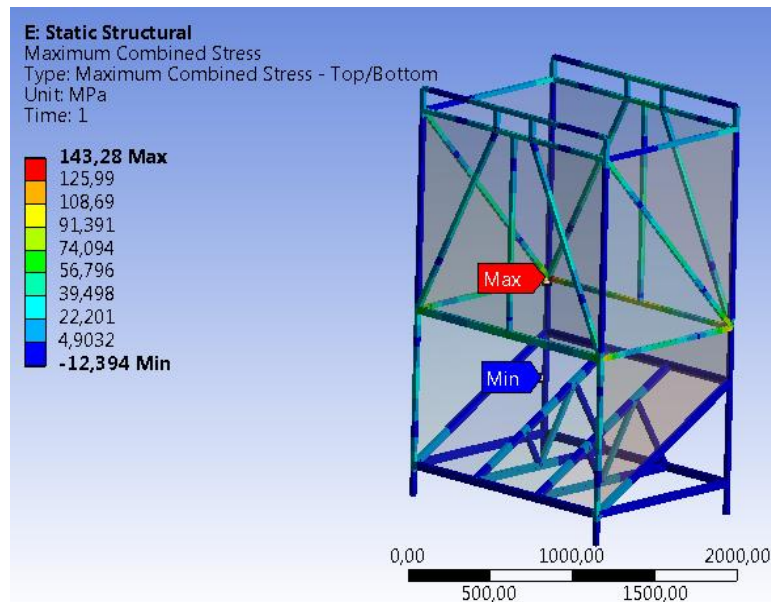
Sele 4.14. Koormusskeem 4 - eest tõstetud

Staatika arvutuste põhjal on koormusskeem 4 korral maksimaalsed pinged konteineri külgeintes 114,87 MPa ja maksimaalsed deformatsioonid on 8,49 mm (vt Sele 4.15). Kuna ka sellel koormusel deformeeruvad kohad ei ühti suurte pingete asukohaga siis järeldatakse, et tegemist on elastse deformatsiooniga.



Sele 4.15. Ekvivalentssed sisepinged ja deformatsioonid koormusskeem 4 puhul

Koormuskeem 4 puhul on maksimaalsed pinged toruraamis 143,28 MPa (Sele 4.16). Pingete tekkimise asukoht on mitme toru ristumise koht. Seetõttu võib seal tekkida märksa suuremad pinged keevitamisel termomõjutsooni tõttu.



Sele 4.16. Maksimaalsed pinged toruraamis koormusskeem 4 puhul

Järeldused:

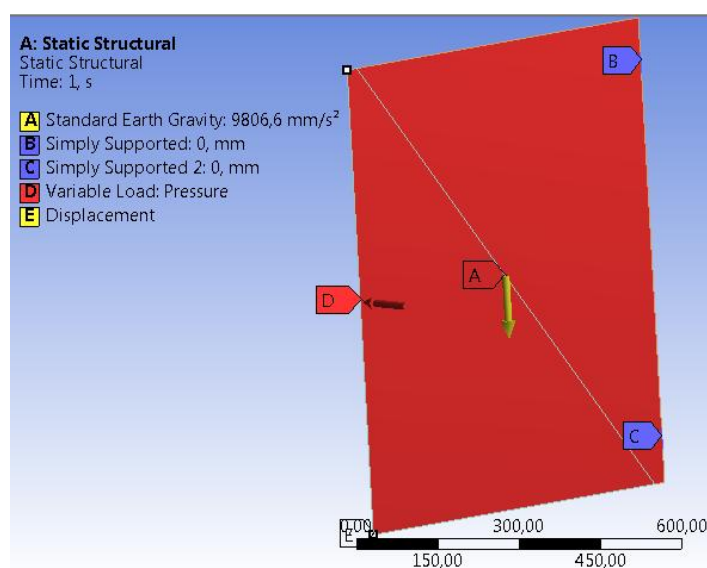
Arvutuste järgi peab toruraam erinevatele koormusjuhtudele vastu. Esialgne oletus, et kasutada tuleks 40x40x2 ja 60x40x2 toru ei pidanud paika. Tugevusarvutuste käigus selgus, et piisava tugevuse annab ka 30x30x2 ja 50x30x2 torudest valmistatud keevis raam. Mõnes torude keevituse kohas tuleb lisada tugi või märkida kõrgemad keevitusnõuded. Külgseinte juures on näha, et deformeerumised toimuvad samadel seintel samades kohtades. Esialgu jäetakse plekkide paksus suurendamata kuna see lisab märgatavat lisa konteineri massile. Pealegi ei ühtinud pingete maksimumide ja deformatsioonide asukohad, seega eeldatakse, et tegemist on elastsete deformatsioonidega. Plekkide paksused jäävad põhjas ja osadel külje plekkidel 2,5 mm teised plekid on 2 mm paksused või asendatakse need samaväärsse võrguga.

4.2.4. Detailide arvutused Ansys-is

Ukse arvutused

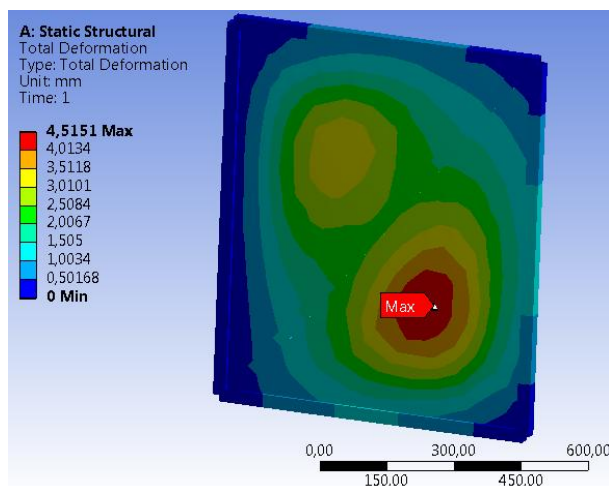
Uksele langeb küttematerjalide raskus, kuna konteineri põhi on nurga all, siis surub selle sisu ustele üsna suure jõuga. Seda jõudu väljendatakse samuti rõhuga, mida kasutati ka konteineri arvutustes. Ukse puhul on lihtsalt rõhu mõjuala väiksem.

Sele 4.17-lt on näha, et uks on fikseeritud hingede kohast kõigi kolme telje suhtes, ning lukustuse poolsest küljest kahe telje suhtes. Vabaks on jäetud üks telg ukse laiuse sihis. See lubab ukstel deformeeruda (pikeneda ja lüheneda) selles sihis.



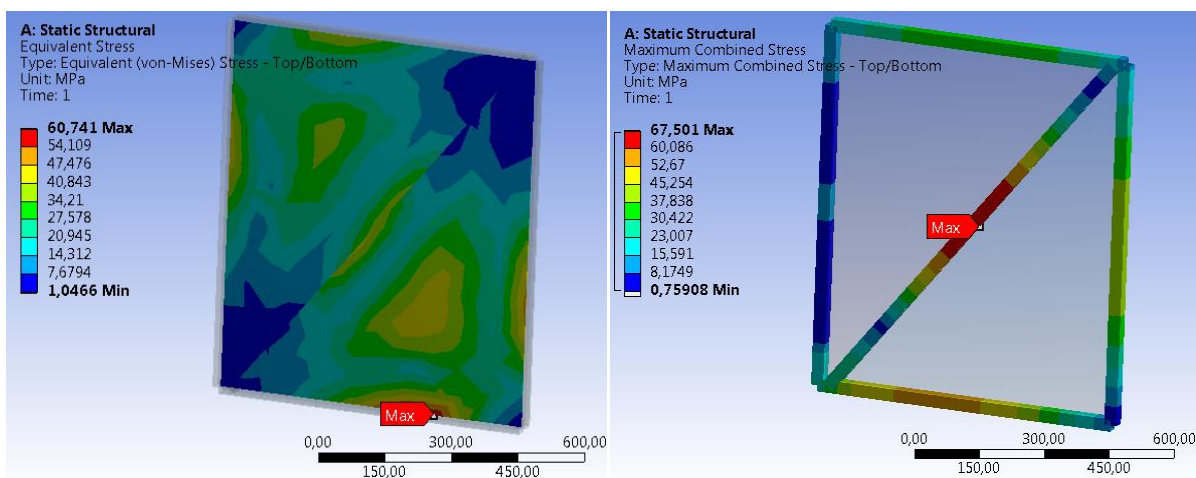
Sele 4.17. Ukse arvutuse raja tingimused

Sele 4.18-lt on näha, et ukse kõige suurem deformatsioon on 4,52 mm. Enne diagonaalse toru lisamist uksele oli ukse katte pleki deformatsioon 18,5 mm.



Sele 4.18. Deformatsioonid uksele

Maksimaalsed pinged ukse katte plekis on 60,74 MPa ja toruraamis 67,5 MPa (vt Sele 4.19). Enne diagonaalse toru lisamist oli katte plekkides olev pinge 3 korda suurem. Ukse deformatsioonidest ja pingetest võib järeldada, et lisatud diagonaal levendab plaadile langevat koormusest. Seda on näha ka ukse toruraami pingetest, kõige kõrgemad pinged on diagonaalse toru keskel.



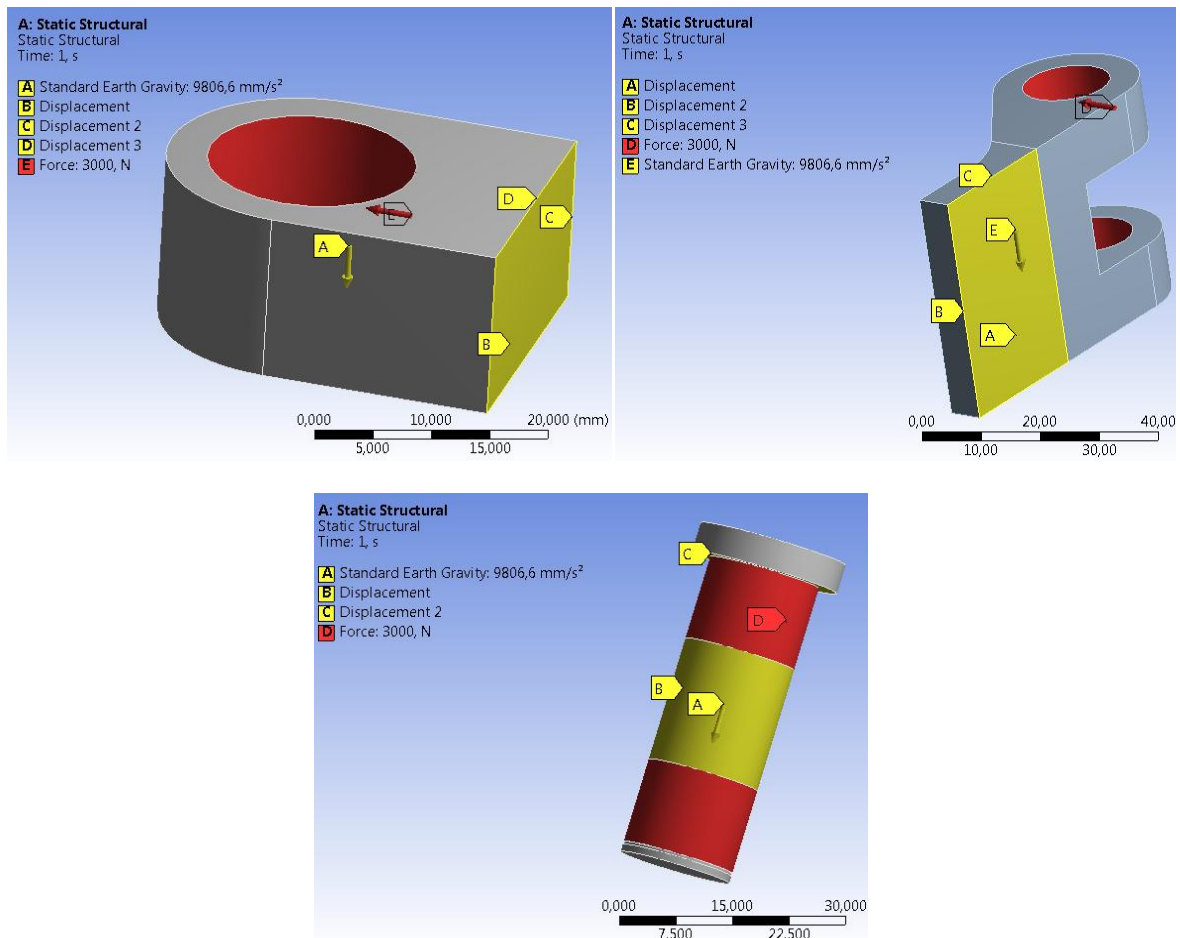
Sele 4.19. Pinged ukse plaadides ja toruraamis

Arvutuste tulemustena leiti Ansys-is ka ukse kinnitustele mõjuvad reaktsioon jõud, ülemisele hingele mõjub jõud 470 N ja alumisele hingele 1063 N. Kokku mõjub seega ühe ukse hingedele jõud 1533 N sama jõud mõjub ka ukse lukustusele.

Märkus. Varutegurit arvestades, kasutatakse kõigi ukse kinnituste arvutamisel koormust 3000 N.

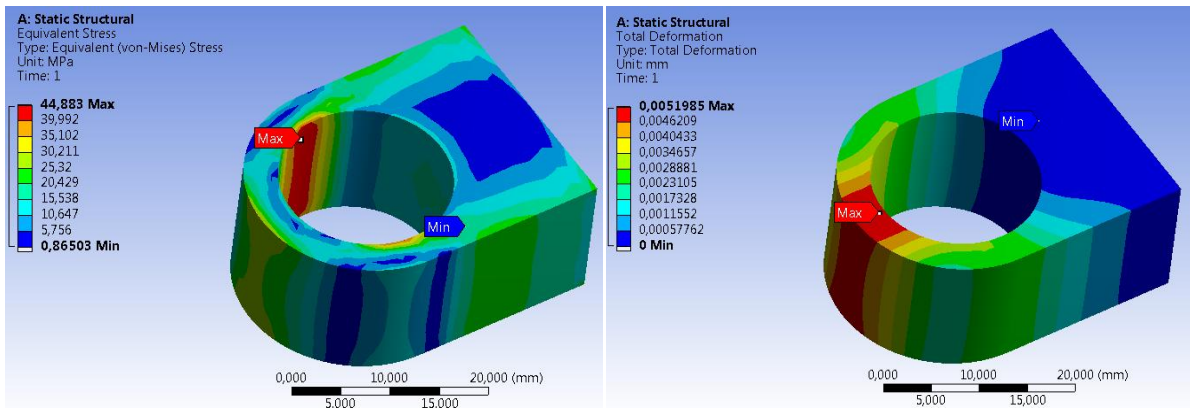
Hingeded arvutused

Konteineri üks uks toetub kahele hingele, mis võimaldavad ust avada. Hing ise koosneb kolmest detailist - kahest hinge pooldest ja sõrmest, mille ümber toimub pöörlemine. Uste suletud asendis võtavad hinged vastu osa ustele langevast koormusest (vt Sele 4.20). Eelnevalt leiti, et varutegurit arvestades mõjub ühele hinge komponendile jõud 3000 N.



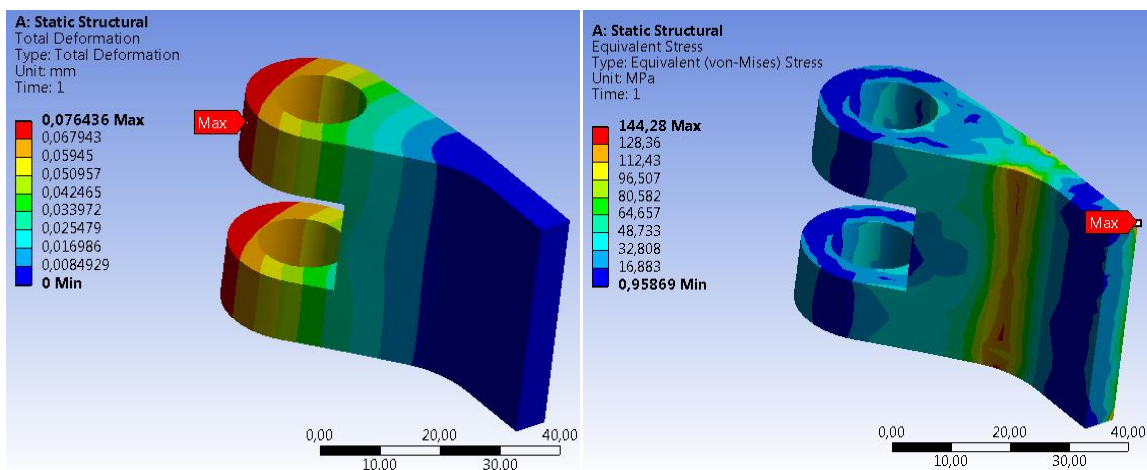
Sele 4.20. Hinge detailide rajatingimused

Raami poolse hinge arvutustest selgub, et detailis ei ole väga suuri pingeid ja deformatsioonid jäävad ka väikesteks (vt Sele 4.21). Pinged detailis on 44,88 MPa ja deformatsioonid 0,005 mm. See tähendab, et kui materjali voole piir on 235 N/mm² kohta siis varuteguriks on $235/44,88 = 5,2$.



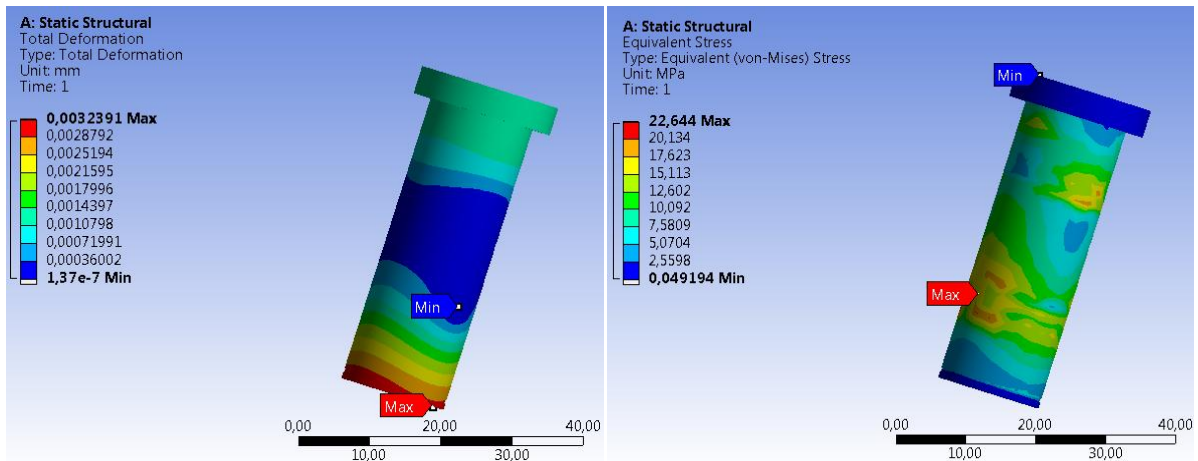
Sele 4.21. Hinge pool raami küljes

Ukse küljes oleva hinge poole FEM analüüsist selgub, et detailis tekkivad pinged on üsna suured. Soovitavalt tuleks valmistada need detailid terasest S275 või S355, nende terase markide kasutamine peaks tagama materjali piisava tugevusvaru.



Sele 4.22. Hinge pool ukse küljes

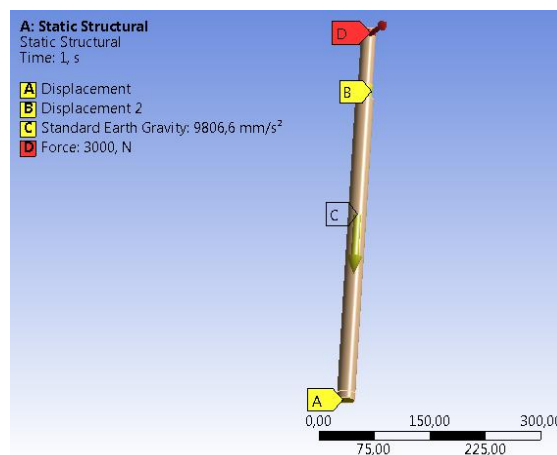
Hinge sõrme tugevusarvutustest selgub, et ka selles on väikesed pinged ja väikesed deformatsioonid (vt Sele 4.23). Detail on nende arvutuste järgi mitmekordselt üle dimensioneeritud. Samas võib sellele detailile langeda ka oodatust suuremaid koormusi näiteks, kui ukse suure hooga avanevad ja vastu raami löövad. Seega on tugevusvaru põhjendatud.



Sele 4.23. Hinge sõrm

Lukustusvõlli arvutused

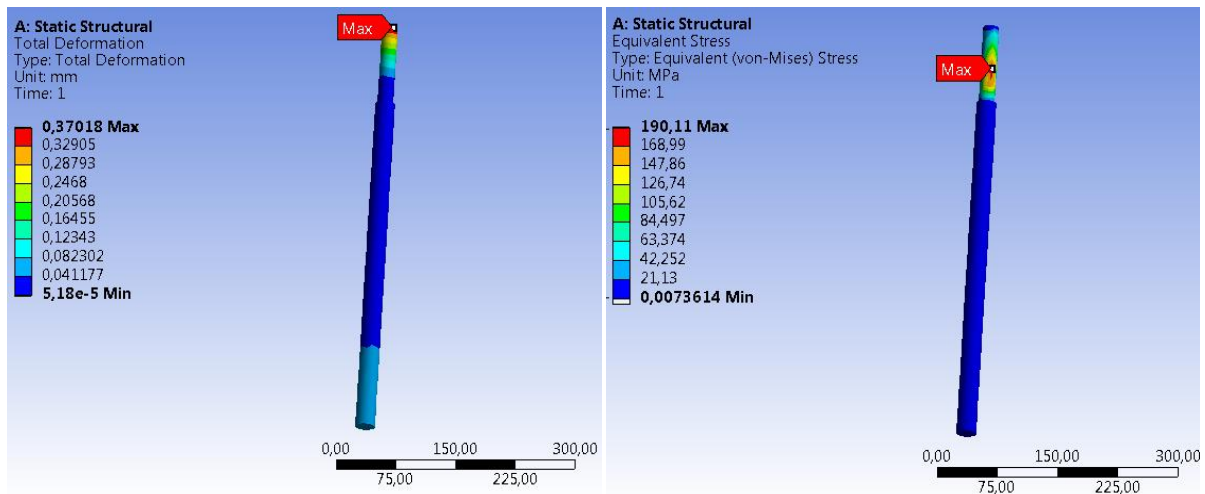
Lukustusvõlli ülesanne on võimaldada pöörata lukustuse konksu. Võll peab kandma ükselt üle kanduvaid jõude, mis tekivad konteineri uksele suruva küttematerjali tõttu. Konks kinnitub võlli otsale ja võll kinnitub uksele umbes 100 mm kauguselt konksust. Selline konstruktiivne lahend loob jõuõla konksu ja kinnituse vahele. Seetõttu on vajalik kontrollida, kas projekteeritud detail peab ka vastu. Ansys-is arvutamiseks on võlli geometriat lihtsustatud. Arvutatakse ainult üht võlli poolt, kuna võll on sümmeetriline ja seda on ka sellele langevad koormused (vt Sele 4.24).



Sele 4.24. Lukustusvõll

Lukustusvõlli deformatsioon on 0,37 mm, mis on üsna väike, arvestades sellele langevat suurt koormust. Sama ei saa öelda pingete kohta, võllis tekitavad 190,11 MPa suurused pinged (vt

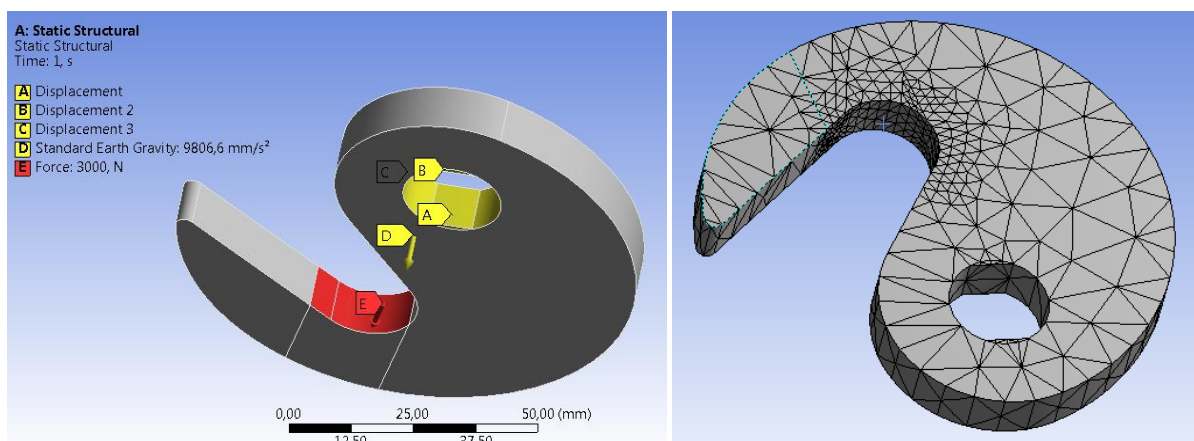
Sele 4.25). Piisava tugevusvaru säilitamiseks tuleks völli valmistada S275 või S355 tüüpi terasest.



Sele 4.25. Lukustusvölli deformatsioonid ja pinged

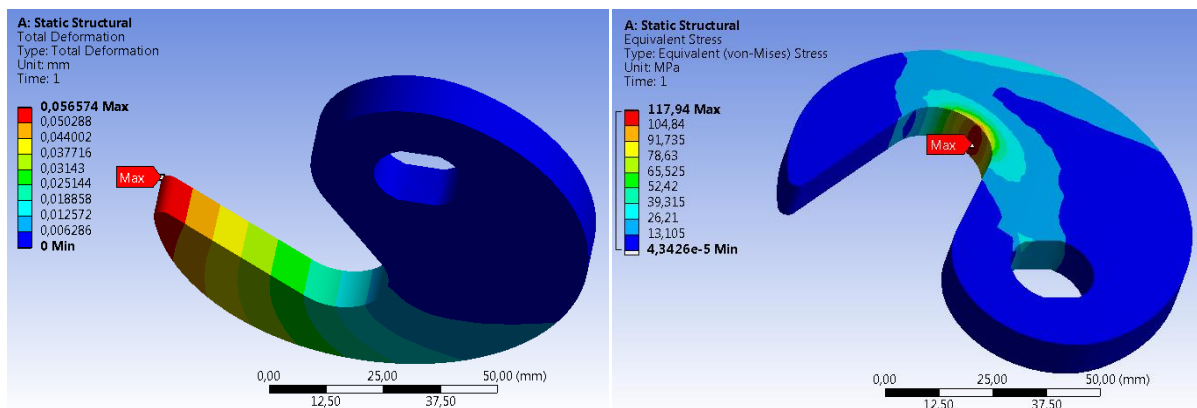
Lukustuskonksu arvutused

Konteineri uksi hoiavad kinni kaks lukustuskonksu, mis võtavad vastu ükselt völli kaudu ülekanduvad jõud. Läbi konksus oleva ava kinnitatakse see lukustusvölli ning jõud mõjub osaliselt raadiuse juurest (vt Sele 4.26). Selleks, et raadiuse juures tekkivaid pingeid paremini hinnata, on seal tihendatud arvutusvõrku. Konksu geomeetria keerukus ja asjaolu, et tegemist on õhukese detailiga, mis on kinnitatud völli üsna väikese pindalaga, võib põhjustada suuri pingeid detailis. Seetõttu on vaja seda detaili kontrollida.



Sele 4.26. Lukustuskonksu rajatingimused ja arvutusvõrk

Lukustuskonksus tekkivad deformatsioonid on väikesed, 0,057 mm. Koormatud konksus tekivad 117,94 MPa suurused pinged (vt Sele 4.27).



Sele 4.27. Lukustuskonksu deformatsioonid ja pinged

4.3. Konstruksiooni kuumtsinkimine

Tellija poolt on ettekirjutus, et konteineri konstruktsioon tuleb projekteerida kuumtsingitavaks. Esimene konteiner läbib enne tsinkimist mitmekülgsed katsetused, kuid siiski tuleb sellesse projekteerida võimalus kuumtsinkimiseks.

Tsingitavad konstruktsioonid tuleb projekteerida ja valmistada nii, et neisse ei jää umbseid ruume ja taskuid. Väljalõiked ja avad võimaldavad sulatsingil pääseda konstruktsioonide sisse ja sealt ka välja voolata. Tsingitavad tooted peavad olema varustatud riputusaasade või -avadega. Üksteise sees liikuvad osad tuleks konstrueeritud nii, et need saab tsinkimise ajaks koost lahti võtta. Samuti peab arvestama detailidele tolerantside määramisel mõõtmete muutusega lisanduva tsingikihi arvelt. [14]

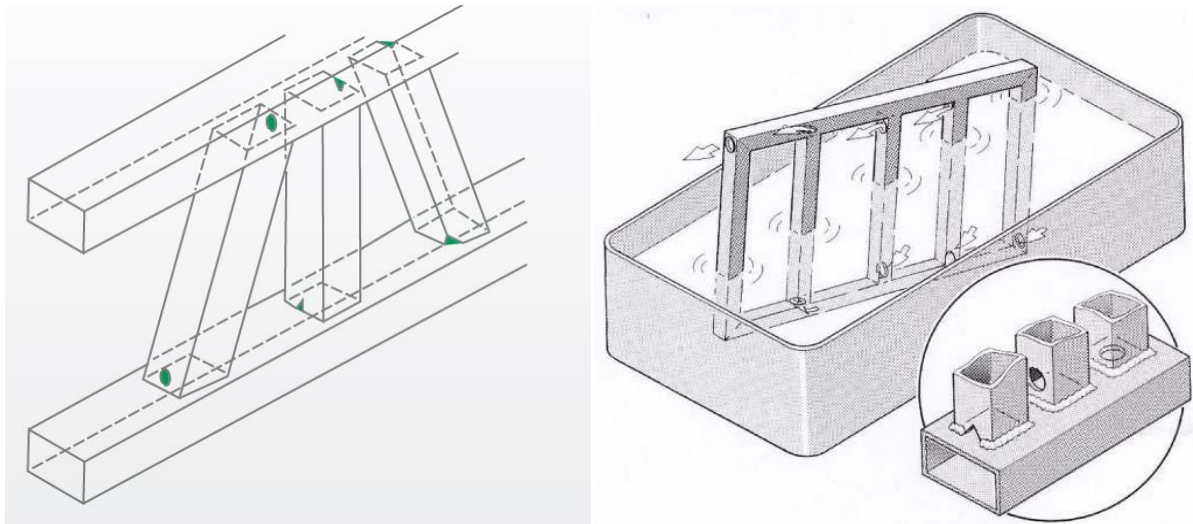
Konstruktsioonis teostatud keevitused peavad olema vabad keevituspooridest, kuhu võib koguneda puhastusvannist hapet. Kahepoolsete nurkõmbluste korral peab keevitus olema teostatud nii, et see moodustaks suletud kontuuri. Eelistada tuleks keevitusmeetodit, mis on räbuvabad, näiteks MIG keevitus. Kui kasutatakse käsi kaarkeevitust, tuleb hiljem kõik räbujäägid eemaldada. Eemaldamata räbu jäägid põhjustavad defektset tsingikihti. [15]

4.3.1. Toruraam

Õõneskehad nagu torud ja mahutid, tsingitakse üldiselt nii seest kui ka väljast. Seetõttu peab neis olema üks või mitu piisava suurusega ava tsingi ja õhu liikumise tagamiseks. Need avad

peavad paiknema üksteise suhtes diagonaalselt. Avade suurus peab olema minimaalselt veerand kuni kolmandik õõneskeha ristlõikest. Suletud tühimikega detaile ja kooste ei tohi plahvatusohu tõttu kuumtsinkida. Torukonstruktsioonides teostatud keevitatud põkkliited tuleb varustada tsiingi sisse- ja väljajooksuks vajalike avadega. Avad peaksid olema paigutatud keevisliidetele võimalikult lähedale. Selleks, et vältida õhuväljalaske avade ummistumist, ei tohi avade pindala olla väiksem, kui veerand kuni kolmandik ristlõike pindalast. [16]

Konteineri toruraam koosneb erinevatest torudest, seega tuleb konteineri projekteerimisel ja koostamisel olla tähelepanelik, et kõik põkkliitena keevitatavad torud saaksid õhutusavad. Nagu on näha ka Sele 4.28-lt on õhutusavade tegemiseks mitu võimalust, kas puurida avad keevituse kohale või teha väljalõiked toru otsale.

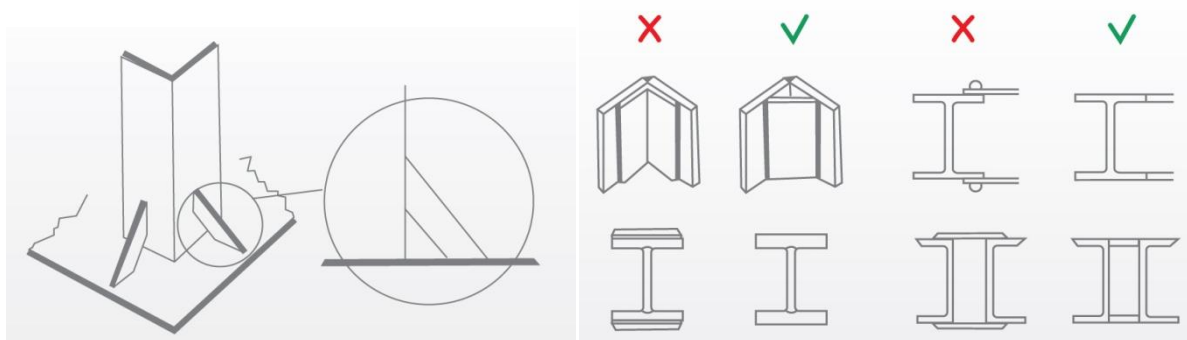


Sele 4.28. Toru konstruktsioonis õhutus ja tsiingi väljalaske avad [16]

4.3.2. Plaadid

Üksteise vastas olevate detailide vahel olevatesse piludesse ei pääse sulatsink. Seetõttu tuleks neid vältida, kuna suuretoenäosusega hakkab konstruktsioon just sealt roostetama. [16]

Keevitatavate lehtmaterjalide puhul peab jälgima, et ei tekiks selliseid kohti, kuhu tsink ligi ei pääseks (vt Sele 4.29), seetõttu tuleb konstruktsioon selle koha pealt hästi läbi mõelda.



Sele 4.29. Sõlmede lahendused vältimaks kitsaid pilusid [16]

4.3.3. Tsingitavad avad ja völli

Detailid, mis peaksid üksteise sees liikuma, tuleks koostada peale kuumtsinkimist. Kui hilisem koostamine pole võimalik, siis tuleks detailide omavahelise liikumise säilimiseks jätta vahe 1 mm külje kohta ehk siis ava peaks olema 2 mm suurem völli. [15]

Pukside alus avad tuleks teha tsingikihi lisanduva paksuse võrra suuremad. Völlil, tuleks aga tähtsamad pinnad teha lisanduva tsingikihi võrra väiksemad.

4.3.4. Materjali valik

Kuumtsinkimiseks sobib teras, mille räni (Si) sisaldus on alla 0,05% või jääb vahemikku 0,15...0,25%. Kuumtsinkimisel terasepinnale tekkiva tsingi kihi paksuse üheks oluliseks mõjutajaks on just räni sisaldus terase koostises. Mitte sobiv ränisisaldus muudab tsingi kihi paksuks ja rabedaks, selline tsingi kiht ei püsi kaua terase peal. [16].

Ptk- s 4.2.3 leitud tugevusarvutuste põhjal on teras S235-1 ja S275-1 piisavad mehaanilised omadused konteineri toruraami ja muude detailide valmistamiseks. Kuna konteinerit koostatakse keevitusega, ning seda hakatakse kasutama ka talvistes välitingimustes tuleks valida normaliseeritud struktuuriga teras, mille mehaanilised omadused miinus kraadide juures oluliselt ei lange. Sellisesse rakendusse peaks sobima S235JR+N ja S275JR+N terased. Neil terastel on voolepiir vastavalt siis 235 N/mm² ja 275 N/mm² ning purustus töö 27 J - 20°C juures [10, lk 122].

4.4. CAD mudelid SolidWorks-is

Koostude ja detailide CAD projekteerimiseks kasutatakse programmi SolidWorks. Selle programmiga tehakse ka vajalikud töö- ja koostejoonised, mille alusel saab konteineri valmistada.

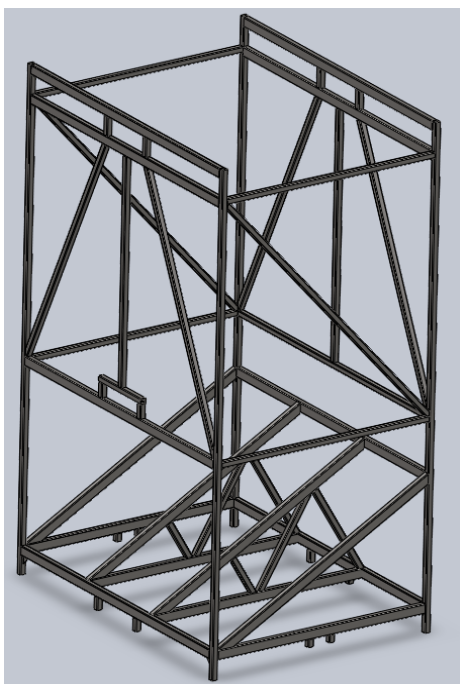
4.4.1. Konteineri toruraam

Toruraami projekteerimiseks saadakse vajalikud sisendid Ansys-is arvatatud tulemustest ja ptk 3.2.1 leitud esialgsetest mõõtmetest. Konteineri toru raam koosneb terastorudest mõõduga 30x30x2 mm ja 50x30x2 mm. Suurema mõõduga toru kasutatakse seal, kus on näha suure koormuse langemist konkreetsele torule. Konteineri põranda pind on 1595x1195 mm ning kõrgus maast 2595 mm.

Konteiner peab olema tõstetav alt ja ülevalt. Alt peab konteinerit saama tõsta külgedelt, kui ka eest ja tagant. Ülevalt on konteiner tõstetav ainult eest ja tagant. Alt tõstmine on vajalik, selleks, et konteinerit saaks liigutada käsitõstuki ja kahveltõstukiga platsi peal laadimiseks ja ladustamiseks. Ülevalt tõstetakse konteinerit siis, kui toimub konteineri tühjendamine või ümber laadimine. Konteineri alumistele torudele, kust konteinerit tõstetakse, on projekteeritud lühikesed torud, et tõstukiga tõstmisel tõstukikäpad oleksid laiemalt paigutatud ja konteiner püsiks stabiilsena käppade peal.

Konteineri põhi on projekteeritud 30 kraadise nurga alla pinna horisontaaltelje suhtes (vt Sele 4.30). See lahendus peaks hõlbustama konteineri tühjendamist nii, et seda pole vaja kallutada kogu küttematerjali kätte saamiseks. Esialgsetest FEM analüüsist selgus, et konteineri keskmiste 30 kraadiste torude alla oli vaja lisada tugesisid. Need toed on torust 30x30x2.

Konteineri kõik teostatavad keevitused peavad vastama keevitus standardile EVS-EN ISO 5817:2007 kvaliteedi tase C. Tase C, ei luba ühtegi keevituspoori detailidele, mille paksus on kuni 3 mm [17]. Torude seinapaksus on 2 mm ning plekkide paksus on maksimaalselt 2,5 mm.

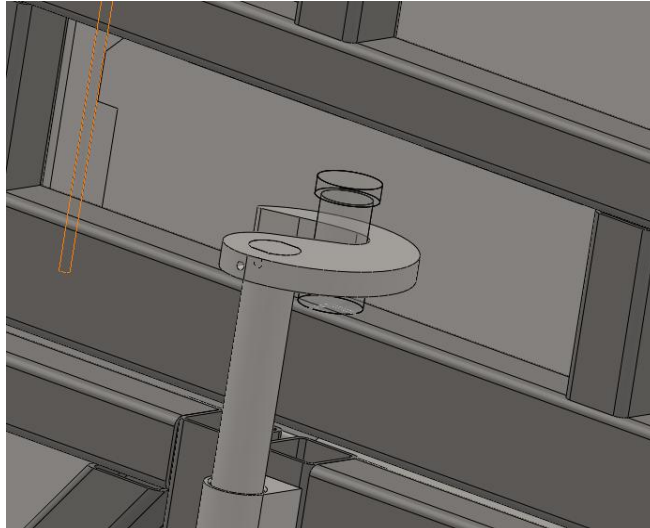


Sele 4.30. Konteineri toruraam

4.4.2. Muud detailid

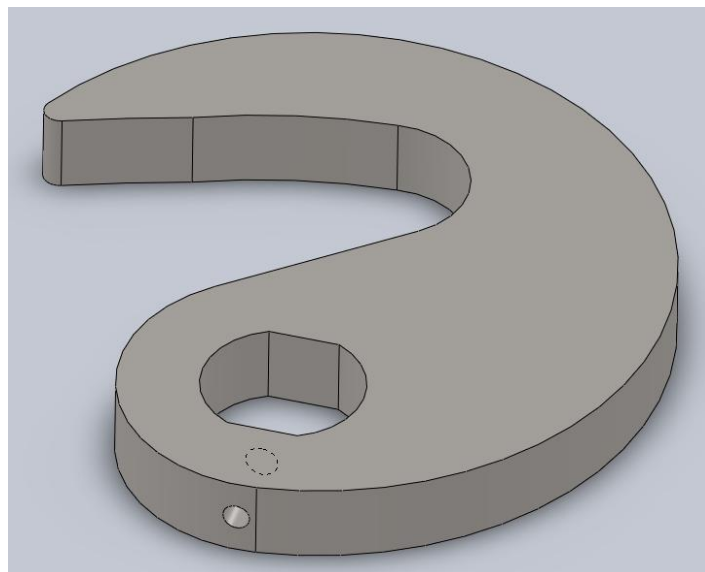
Konteineri sein ja põhja plekid on 2 mm ja 2,5 mm teraslehest. Osaliselt on ette nähtud ka lehtmaterjali asendus venitatud lehtvõrguga.

Lukustusvõll on projekteeritud astmelise võllina, mille otsades on freesitud tasapinnad, mis välistavad lukustuskonksu pööblemise võlli peal (vt Sele 4.31). Lukustusvõll on kinnitatud läbi puksi uksekülge. Puksi ja võlli vahel on 2 mm lõtk, ehk 1 mm kummagi külje kohta.



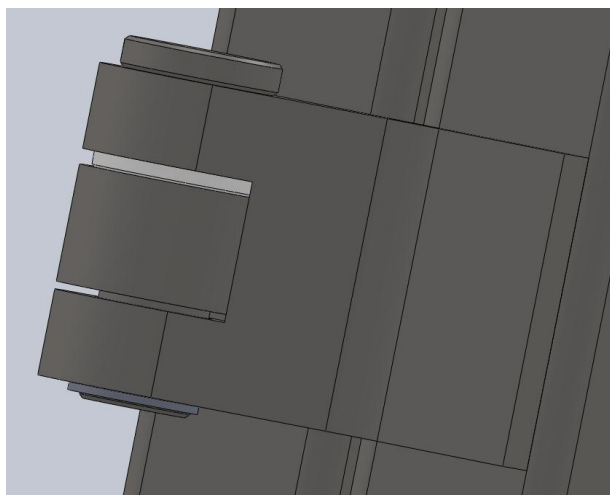
Sele 4.31. Lukusti süsteem

Lukustuskonks on projekteeritud sellisena, et seda saaks lehtmaterjalist välja lõigata (vt Sele 4.32). Kuna esimene konteiner läbib enne tsinkimist katsetuste perioodi projekteeritakse lukustuskonks võllile seadekruviga fikseeritavana. Selline lahendus hõlbustab konksu vahetust, kui selle geometriat peaks olema vaja muuta.



Sele 4.32. Lukustikonks

Konteineri uksehing koosneb kolmest valmistatavast detailist ja ühest standardsest kraega pronks puksist (vt Sele 4.33). Kolm valmistatavat detaili on hinge pool raami küljes, hinge ukse küljes olev pool ja sõrm. Standard puks pressitakse raami küljes olevasse hinge poolde. Sõrm, mis läbib mõlemat hinge poolt, lukustatakse asendisse lukustusrõngaga.

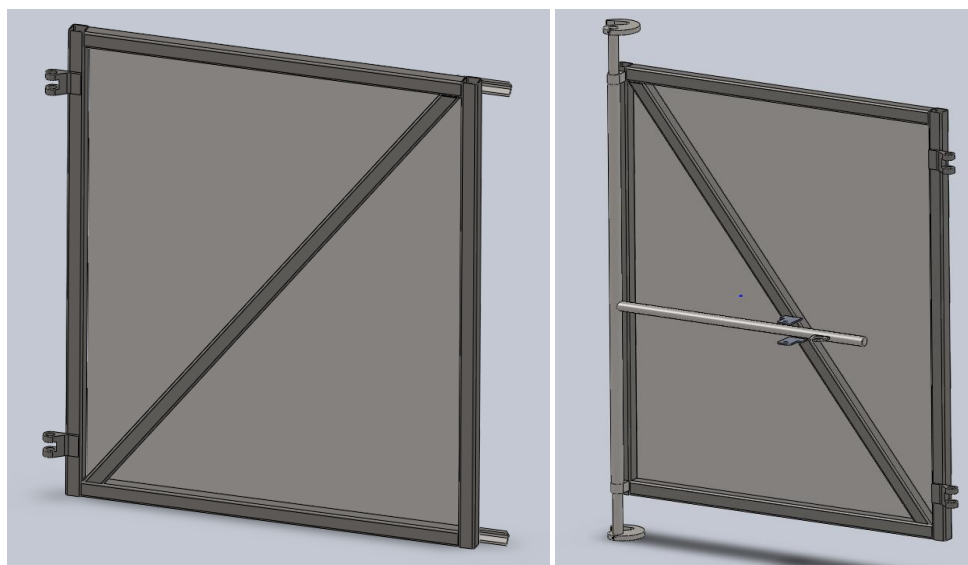


Sele 4.33. Hinge detailid

4.4.3. Koostud

Konteineri ukсед on jagatud kaheks võrdseks osaks, mille toruraam on identne. Mõlemal ukсел on külje peale keevitatud kaks hinge. Vasakpoolsel pildil (vt Sele 4.34) on uks, mis fikseeritakse lukustatava ukse taha kahe ukse külge keevitatud nurkrauga. Parempoolsel pildil on lukustusega uks. Lukustusvõlli pöörleb ilma laagerduseta teras puksides, mis on ukse külge keevitatud. Teras puksis olev ava on projekteeritud 2 mm suurem kui võlli läbimõõt.

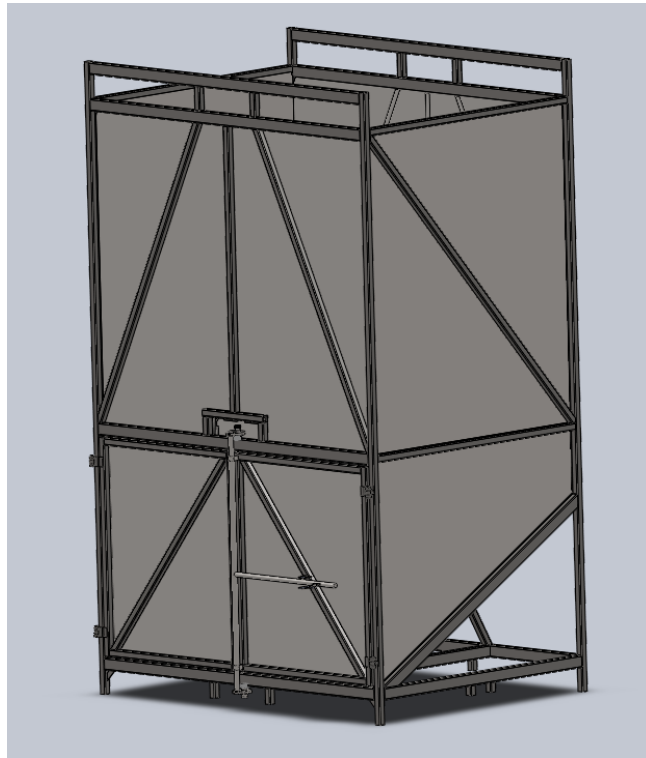
Ukse lukustuse kangi asendit on vaja turvalisuse mõttes fikseerida. Kaheastmeline lukustus välistab olukorra, kus uks võib tahtmatult avaneda ja põhjustada ohtliku olukorra kasutajale.



Sele 4.34. Konteineri ukсед

Küttematerjalide konteiner (vt Sele 4.35), mille mahtuvus on 3,05 m³, on kogu kõrgusega 2595 mm ning selle põranda pind on 1595x1195 mm. Osad detailidest läheb sellest gabariidist välja siis on konteiner tegelikult sügavuses suurem 70 mm, seega on konteineri välised gabariitmõõtmed 1595x1265x2595 mm.

Konteineri uksi saab avada ainult korraga. Vasakpoolne uks fikseeritakse lukustamise ajal parempoolse taha. Vasakpoolse uksekülge on keevitatud kaks nurkrauda, mis toetavad vastu parempoolset ust. Konteinerit võidakse tühjendada järelhaagise või mõne muu kasti kohale tõstetuna, selleks et luugi avamist hõlbustada on lisatud lukustivõlli küljes olevale kangile aasaga plaat. Selle plaadi külge saab siduda või karabiiniga kinnitada köie, millega saab luugi ohtust kaugusest avada. Samuti on võimalik konteinerit tühjendada platvorm auto kastist, kui selle ported alla lasta.



Sele 4.35. Küttematerjalide konteiner 3,05 m³

KOKKUVÕTE

Antud töö eesmärk oli projekteerida 3,05 m³ mahtuvusega küttematerjalide konteiner ning töötada välja üldine lahend, mida muutes oleks võimalik projekteerida suurema või väiksema mahtuvusega konteinereid küttematerjalide tarbeks. Samuti on võimalik vahetada seintes olevad külje plaadid võrgu vastu, mis tagab küttematerjalidele parema õhu juurdepääsu kui seda peaks vaja olema. Lõputöös projekteeritud konteiner on mõeldud lõhutud küttepuude hoiustamiseks, ümberlaadimiseks ja transpordi konteineriks, millega vajadusel puid klientide juurde viia. Konteineri laadimine võib toimuda, kas halumasina väljund konveierit kasutades või mõnd muud puude konteinerisse kukutamise moodust kasutades. Tellija soovis, et konteineri põhi oleks kalde all, et lihtsustada küttematerjalide kätte saamist konteinerist.

Esimeste sammudena uuriti olemasolevaid konteinerid, mida juba kasutatakse küttepuude hoiustamiseks ja transpordiks. Need konteinerid jagunevad kahte gruppi: universaalsed konteinerid ning küttepuude konteinerid. Esimene grupp on väljatöötatud mitme otstarbe jaoks nagu näiteks prahi, ehitusmaterjalide, pinnase ja muu transportimiseks. Teine konteinerite grupp on konkreetselt mõeldud küttepuude hoiustamiseks. Peale olemasolevate konteinerite uuringut töötati välja kaheksa erinevat ukse kontseptsiooni ja kuus erinevat ukse lukustuse varianti. Nendele lahendustele koostati analüüs, kus toodi välja igaihe eelised ja puudused, mille põhjal moodustati hindamismatriksid lõpliku lahendi valimiseks. Valituks osutus kahe uksega lahend, kus ukсед avanesid külgedele ning lukustatakse ainult üht ust. Lukustuse variantidest osutus valituks süsteem, kus kasutatakse konkse, mis pööratakse raami küljes oleva ümarmaterjali taha. Sarnaseid lukustuse lahendusi kasutatakse ka multilift konteinerite juures.

Järgnevalt teostati esialgsed arvutused konteineri vajalike gabariitmõõtmete leidmiseks. Esialgsete tellija poolsete andmete järgi oleks pidanud konteiner olema mõõtmetega 1195x1195x 2450 mm. Arvutuste käigus leiti, et kui konteineri põhja nurga valikul lähtuda puitmaterjali varisemise nurgast, mis kirjanduse järgi on 45°, oleks konteiner lubatust kõrgem. Kliendi poolt etteantud kõrguse ülemine piir oli 2,6 m. See kõrgus saavutati, kui konteineri põhja langetati 30° peale ning konteinerit muudeti laiemaks. Leitud konteineri välisgabariidid olid 1595x1195x2600 mm. Sellest infost lähtuvalt koostati esimene 3D joonmudel SolidWorks CAD programmi kasutades. Selle mudeli eesmärk oli esialgsete toruristumise punktide leidmine ja arvutus programmi Ansys jaoks *script* faili tarbeks info saamine. *Script* faili kasutati Ansys programmis konteineri joonmudeli loomiseks. Ansys-is defineeriti

joonmudelile erinevad toru ristlõiked ning torude vahele plaadid, mis tähistasid konteineri külgi ja põhja. Kuna konteineri külgede ja põhja pinnale langeb küttematerjali koormus, antud juhul siis küttepuude koormus, otsustati arvutamisel kasutada rõhku. Kuna konteineri madalamates osades mõjub rõhk suurema väärtusega, kui ülemistes osades, kasutati rõhu leidmiseks hüdrostaatilise rõhu valemit. Selle arvutamiseks leiti konteineris oleva küttematerjali tihedus koos õhutühimikega. Rõhud arvutati alates konteineri ülemisest pinnast iga 200 mm tagant. Sellest selgus, et tegemist oli lineaarselt muutva rõhuga, kuna ainsaks muutuvaks komponendiks oli kõrgus ülemisest pinnast.

Peale konteineris oleva küttepuude oli konteineri arvutusel veel mitu sisendit. Konteineri arvutusi teostati mitmel erineval koormamise juhul, kuna konteinerit tõstetakse erinevatest kohtadest. Sellega sooviti veenduda, et konteiner peab vastu erinevatele koormus juhtudele. Ansys-is arvutati ka konteineri uksele langev koormus ning tehti projekteeritud detailidele kontrollarvutused. Uksele langev koormus defineeriti samuti rõhku kasutades. Ukse arvutusest saadakse reaktsioonijõud, mida kasutati projekteeritud detailidele kontrollarvutuste tegemiseks. Need detailid olid konteineri hinge detailid ja lukustuste detailid.

Tellijal poolne soov oli, et konteinerit oleks võimalik kuumtsinkida. Sellega seoses uuriti kuumtsingitavate konstruktsioonide projekteerimise eripära ja sõlmede lahendusi. Kuumtsinkimise spetsiifika seisneb selles, et konstruktsiooni tsingitakse nii seest kui väljast. Projekteerimisel tuleb silmas pidada seda, et tsink saaks vabalt läbi konstruktsiooni voolata. Põkkkeevitatud torude juures tuleb luua välja lõiked või puurida avad, mille kaudu saaks tsink ja õhk liikuda. Kuumtsingitava terase räni sisalduse protsent terase keemilises koostises määrab ära tsingi kihipaksuse. Sobivateks terase markideks peaks olema konstruktsiooniterased S235 ja S275. Kuna konteiner on kasutatav ka talvel valiti konstruktsiooni terased S235JR+N ja S275JR+N, nende teraste omadused ei lange kuni -20 °C.

Projekteeritud konteineri lõplikud välisgabariit mõõtmed on 1595x1265x2595 mm. Konteineri ukсед on projekteeritud nii, et avada saab neid korraga ja mõlemad ukсед on fikseeritavad ühe lukustusega. Teine uks fikseeritakse lukustatava ukse taha. Konteineri toruraam on valmistatud teras torudest mõõduga 30x30x2 mm ja 50x30x2 mm.

Kokkuvõtteks võib öelda, et antud lõputöös väljatöötatud konteiner sobib kliendi poolt püstitatud ülesandeid täitma. Konteineriga on võimalik mõõta küttepuude kogust, selles saab

hoiustada küttepuid ning konteinerit on võimalik kasutada laadimisseadmena. Reaalsete katsetuste ja kasutuse käigus selgub, kas töös leitud tulemused vastavad tõele.

SUMMARY

The purpose of given thesis was to design a heating fuel container with the volume of $3,05 \text{ m}^3$ and to develop a general concept that can be changed to design a container with bigger or smaller capacity. Also the steel plates on the container walls can be exchanged for steel mesh, which ensures better access of air to the heating fuel if it is needed. Container that is designed in this thesis is meant for storing cleaved firewood. The container may also be used for reloading and as a transport container for delivering firewood. The initial loading of the container may be done with the firewood processing machine or some other means that involves dropping the firewood in the container. Customers wish was that the base of the container should be raised under an angle, this solution should simplify emptying of the container. Most of the heating fuel should exit the container when the doors are opened.

Firstly, existing container solutions that are already used for firewood storage and transportation were researched. These containers can be separated into two groups: universal containers and firewood containers. First group is developed for multiple purposes for an example transporting trash, construction materials, soil and more. Second group of containers is specifically meant for storing firewood. After researching the existing containers eight container door concepts and six door locking possibilities were developed. These concepts were analyzed for their advantages and disadvantages. Based on this analysis an evaluation matrix was made to select the final solutions. Two door solution was considered as the best option. Two doors open to the opposite sides and one locking systems is used to lock both doors. The locking system that was chosen consists of hooks that are turned behind cylindrical parts that are welded to the container frame. Similar solutions are also used for multilift containers.

Preliminary calculations were made to find the necessary external dimensions. According to the data that was given by the customer the container dimensions should have been $1195 \times 1195 \times 2450 \text{ mm}$. By the calculation, if the container base would have been at 45° , like suggested angle of repose for wood materials is in the literature, the height of the container would be greater than allowed. The maximum allowed height is 2,6 m. This dimension was achieved when the container base was lowered to 30° and it was made wider. New external dimensions were $1595 \times 1195 \times 2600 \text{ mm}$. Based on this info 3D line model was composed in SolidWorks. The purpose of this model was to find initial tube crossing points and to collect information for a script file that can be used in Ansys. The script file was used in Ansys to

create a line model. In Ansys different tube cross-sections were defined on the line model and surfaces were made between the tube sections. These surfaces indicated the walls and base of the container. Because the load of the heating fuel falls on the sides and base of the container on this case it is the load of the firewood. In the calculations pressure is used to define this load because the load is affecting surfaces. The pressure is greater in the lower parts of the container than in the upper parts, therefore the formula of hydrostatic pressure can be used. To find hydrostatic pressure the density of the material with air pockets between the material was found first. The pressure was calculated from the top of the container and this calculation was repeated after each 200 mm. From the results it was found out that this was a linearly changing pressure because the only variable was the distance from the top.

For the analysis of the container there were several constraints. The container was analyzed on different loading cases, which involved the different lifting cases for the container. This was done to make sure that the container withstands different loads cases. Ansys was used to analyze the doors of the container and to check the strength of other designed parts for the container. These other parts are door hinge and locking components. The load that affects container door is also defined by the same pressure. From the door analysis reaction forces were found, these forces were used to check the designed container parts.

It is dictated that the container must be hot-dip galvanized. For this purpose research was made on constructions that are designed to be hot-dipped. The specifics of hot-dipping is that the construction is galvanized both inside and out. While designing one has to consider that the zinc must be able to run freely through the construction. For butt welded tubes, holes and cutouts have to be made where the zinc and air can move through. The steels silicon content defines the thickness of the zinc coat. Suitable steels should be S235 and S275. Since the container is also used on winter, steels S235JR+N and S275JR+N are used. These steels retain their mechanical properties up to -20 °C.

The outer dimensions for the designed container are 1595x1265x2595 mm. The container doors are designed so that both can only be opened together and they are fixed with one locking system. The second door is fixed behind the lockable door. Container frame is made from steel tubes 30x30x2 mm and 50x30x2 mm.

In conclusion it can be said that the designed container is suitable to fulfill the purposes that the client has asked it to. It is possible to measure the quantity of the firewood, it can be used

to store the firewood and it can be used as loading equipment. Testing and using the container will reveal if the results found in this thesis are true.

KASUTATUD ALLIKAD

1. Mäeotsa talust saadud info
2. Kuldnebörs kodulehekülg [www] http://www.kuldnebors.ee/search/tooriistad-masinad-ja-seadmed/mahutid-konteinerid-soojakud/multilift-konteiner/search.mec?pob_post_id=30083907&pob_action=show_post&pob_cat_id=11127&pob_browser_offset=&pob_view_language_id= (22.04.15)
3. Põhja-Eesti Küttepuu OÜ kodulehekülg [www] <http://www.tulepuu.ee/konteinerid-2/> (5.03.15)
4. Diislikeskus kodulehekülg [www] <http://www.diislikeskus.ee/puit71.html> (5.03.15)
5. Halud.ee OÜ kodulehekülg [www] <http://www.halud.ee/et/kuttepuude-koguse-mootmine> (15.03.2015)
6. Puitkütus. Erametsakeskus [www] http://www.eramets.ee/static/files/762.Brosyyr_Puitkutus_2010.pdf (15.03.2015)
7. Autori fotografeeritud materjal.
8. Ramirent Baltic AS kodulehekülg [www] <http://www.ramirent.ee/tooted/soojakud-15/soojakud-ja-konteinerid-54/merekonteiner-20--60m-886> (5.04.15)
9. Aleksander ehitus kodulehekülg [www] <http://www.aleksander-ehitus.ee/images/shem600.jpg> (16.05.15)
10. Herranen, H., Karjust, K., Kers, J., Krustok, J., Kulu, P., Käerdi, H., Laansoo, A., Lend, H., Otto, T., Põdra, P., Saarna, M., Sergejev, F., Tiidemann, T., Veinthal, R., Mehaanikainseneri käsiraamat. Tallinn, TTÜ kirjastus, 2012.
11. EESTI PROJEKTEERIMISNORMID EPN-ENV. Projekteerimise alused. Koormused ja mõjurid [www] http://andreas-nigol.planet.ee/konstruktsioonid/Omakaalukoormused_EPN-ENV_1.2.3.pdf (1.05.15)
12. Paist, A. Poobus, A. Soojusgeneraatorid. Õppematerjal. Tallinn TTÜ kirjastus 2008
13. Laadur OÜ kodulehekülg [www] <http://laadur.ee/toode/daewoo-d15s-2/?mid=241> (20.05.15)
14. Suomen kuumasinkitsijät ry kodulehekülg [www] <http://www.kuumasinkitys.fi/suunnittelu.html> (23.05.15)

15. Nordic Galvanizers kodulehekülg [www]
<http://www.nordicgalvanizers.com/narvar/Designandfabrication.htm> (23.05.15)
16. AS Paldiski Tsingipada kodulehekülg [www]
<http://www.zincpot.ee/index.php?page=183> (23.05.15)
17. KEEVITUS Teras, nikli, titaani ja nende sulamite sulakeevitusliited (välja arvatud kiiruskeevituse meetodid) Kvaliteeditasemed keevitusdefektide järgi EVS-EN ISO5817:2007. Eesti Standardikeskus, 2007

LISAD

Lisa 1. Nõuete loetelu

Spetsifikatsioon	Projekt:	Fikseeritud nõuded	Soovituslik
Leht 1/3	Küttematerjali konteiner		
1. Funktsioon 3,05 m ³ puiste küttematerjali koguse mõõtmine, ladustamine ja laadimine. Sekundaarne ülesanne transpordi "pakendi" funktsiooni täitmine.		X	X
2. Tehnilise protsessi tingimused 2.1. Küttematerjal <ul style="list-style-type: none"> • Küttematerjal max kaal 900 kg • Küttematerjali pikkus 300-600 mm • Seinä võrgu silma diagonaal max 28 mm 2.2. Küttematerjaliga täimise, hoiustamise ja tühjendamise protseduur <ul style="list-style-type: none"> • Küttematerjal kukutatakse konteinerisse • Peab olema tagatud õhu liikumine küttematerjali juures • Pealt eraldi katteplaadiga kaetav • Esiseinal avatav luuk, millel on kaheastmeline lukustus • Luuk on kogu esipinna laiune ja avamõõt on min 1,5x küttematerjali kõrgune • Luuki avades libiseb küttematerjal ise välja • Konteineriga opereerija: 1 inimene ja kahveltõstuk 		X X X X X X X X X X	
3. Keskkond <ul style="list-style-type: none"> • Väli tingimustes (ka talvel) 		X	

Spetsifikatsioon	Projekt:	Fikseeritud nõuded	Soovituslik
Leht 2/3	Küttematerjali konteiner		
4. Käsitlemine <ul style="list-style-type: none"> • Kasutusaeg 20-25 aastat • Hooldusvaba • Transporditav auto kastis • Tõstukiga tõstetav, nii külgedelt kui tagant • Kahvelkäruga teisaldatav küljelt, jalase kõrgus küljelt 100 mm 		X X X	X X X
5. Ergonoomika <ul style="list-style-type: none"> • Võimalikult ohutu, kergesti kasutatav • Tööasend vastavalt käsiraamatule • Käe jõud mitte rohkem kui 200 N või jala jõud 400 N • Luuki avav inimene paikneb ohutus asukohas 		X X X X	
6. Kuju <ul style="list-style-type: none"> • Põrandapinna välimine mõõt on 1195x1195 mm • Konteineri kõrgus (esmaarvustuse järgi): 2,45 m • Maksimaalne lubatud konteineri kõrgus 2,6 m 		X X	X X
7. Valmistamisaeg <ul style="list-style-type: none"> • Projekteerimise tähtaeg 15.05.2015 • Valmistamise tähtaeg 31.05.2015 		X	X
8. Valmistamine <ul style="list-style-type: none"> • Seadme kokkupanekut korraldab tellija • Seadme osad valmistatakse tellija poolt valitud alltarnijate juures 			X X

Spetsifikatsioon	Projekt:	Fikseeritud nõuded	Soovituslik
Leht 3/3	Küttematerjali konteiner		
9. Muud nõuded <ul style="list-style-type: none"> • Kuum tsingitav konstruktsioon • Näha ette konteineri modifitseerimist plekkpaneelide kasutamiseks seintes, võrgu asemel. 		X	X

Lisa 2. Joonised

1. Konteineri koost	LT01.00.000
2. Konteineri raami koost	LT01.01.000
3. Konteineri toruraam	LT01.01.001
4. Ukse koost	LT01.02.000
5. Hinge pool	LT01.02.004
6. Hinge sõrm	LT01.02.005
7. Ukse koost	LT01.03.000