

Konstruktion och produktion av kärltömmare i rostfritt stål

Tove Ahlkulla

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Maskin- och produktionsteknik

Vasa 2024

EXAMENSARBETE

Författare: Tove Ahlkulla

Utbildning och ort: Maskin- och produktionsteknik, Vasa

Inriktning: Maskinkonstruktion

Handledare: Bo Erlands och Mikael Antfolk (Erlands Product), Kenneth Ehrström (Novia)

Titel: Konstruktion och produktion av kärltömmare i rostfritt stål

Datum: 26.4.2024

Sidantal: 36

Bilagor: 4

Abstrakt

Detta arbete har utförts på uppdrag av Erlands Product Öb, ett familjeföretag som tillverkar produkter i metall enligt kundens önskemål. Företaget har även serietillverkning av vissa produkter.

Uppgiften var att planera och konstruera en kärltömmare som uppfyllde kundens krav och nödvändiga säkerhetsföreskrifter. Kärltömmaren ska tömma sopor ur ett standardsopkärl ner i en större container i väntan på sophämtning. Syftet med kärltömmaren var att företaget skulle kunna minska på behovet av truckar och truckchaufförer i produktionen. Konstruktionen gjordes för att följa maskindirektivet och CE-märkas.

Resultatet av examensarbetet blev en fungerande kärltömmare installerad hos kunden samt en fullständig 3D-modell av kärltömmaren, med beräkningar på hållfastheten. En jämförelse av teoretisk planering och konstruktion mot verkligheten presenteras i kapitel 5, där kan man se hur mycket slutresultatet kan avvika från den planerade produkten. Fullständiga detaljritningar samt CE-dokumentationen kommer endast levereras till uppdragsgivaren.

Till sist följer en diskussionsdel där egna tankar, möjliga förbättringar, vidareutveckling och alternativa varianter presenteras.

Språk: svenska

Nyckelord: konstruktion, produktion, kärltömmare

BACHELOR'S THESIS

Author: Tove Ahlkulla

Degree Programme: Mechanical and Production Engineering

Specialisation: Mechanical Construction Engineering

Supervisor(s): Bo Erlands and Mikael Antfolk (Erlands Product), Kenneth Ehrström (Novia)

Title: Construction and Production of Wastebin Dumper Made in Stainless Steel

Date: 26.4.2024

Number of pages: 36

Appendices: 4

Abstract

This work has been carried out on behalf of Erlands Product, a family-owned mutual company that manufactures metal products according to customer specifications. The company also engages in serial production of certain products.

The task was to plan and design a container dumper that met the customer's requirements and necessary safety regulations. The container dumper is intended to empty trash from a standard bin into a larger container awaiting collection. The purpose of the dumper was to enable the customer to reduce the number of forklifts and forklift drivers needed in production. The design must also comply with the Machinery Directive and be CE-marked.

The result of this thesis is a functioning dumper installed at the customer's site, along with a complete 3D model of the dumper, including strength calculations. A comparison of theoretical planning and design against reality is presented in Chapter 5, where a different outcome from the originally planned one can be observed. Complete detailed drawings and CE documentation will only be provided to the client.

Finally, there is a discussion section where personal reflections, possible improvements, further development, and alternative variations are presented.

Language: Swedish

Key words: construction, production, wastebin, dumper

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Företagsbeskrivning.....	1
1.2	Bakgrund.....	2
1.3	Syfte.....	3
1.4	Avgränsning.....	3
1.5	Disposition.....	3
2	Teori.....	4
2.1	Standarder och säkerhet.....	4
2.1.1	Maskinsäkerhet och CE-märkning.....	4
2.1.2	Sopkärl.....	5
2.2	Konstruktion i rostfritt.....	6
2.3	Hållfasthet och beräkningar.....	8
2.3.1	Beteckningar.....	8
2.3.2	Ekvationer.....	9
3	Metodik.....	12
3.1	Planering.....	12
3.2	Patent.....	13
3.3	Funktionskrav.....	13
3.4	Modellering och beräkningar.....	14
3.5	Tillverkning.....	18
3.6	Riskbedömning och säkerhet.....	18
3.7	Tester.....	19
4	Resultat.....	20
4.1	Materialval.....	20
4.2	Svetsfogar.....	21
4.3	Cylindern.....	22
4.4	Kippvagn och ram.....	22
4.5	Lådlyft och -lås.....	25
4.6	Staketet.....	27
4.7	Infästning till staketet.....	28
4.8	Övriga detaljer.....	29
5	Jämförelse mellan planerad och färdig produkt.....	30
5.1	Cylindern.....	30
5.2	Lådlyftens lås och staketet.....	31
5.3	Tillgänglighet.....	31
5.4	Tillverkningsmetoder.....	32

5.5	Kommunikation.....	32
5.6	Sammanfattning.....	33
6	Diskussion.....	34
6.1	Vidareutveckling och nya versioner.....	34
6.2	Slutord.....	35
7	Litteraturförteckning.....	36

1 Inledning

På uppdrag av Erlands Product Öb ska en kärltömmare i rostfritt konstrueras. Kärltömmaren tillverkas vartefter ritningar finns tillgängliga och en jämförelse mellan den teoretiskt planerade tömmaren och den färdiga kärltömmaren kommer att presenteras i slutet. Kärltömmaren ska tömma standardsopkärl på 240 liter och 660 liter ner i en container. Den ska även kunna förflyttas mellan två containrar med olika innehåll på en skena som är fastsatt i golvet. Kärltömmaren ska användas utomhus.

I detta kapitel presenteras bakgrund, syfte, och avgränsningar för detta examensarbete, samt en företagsbeskrivning.

1.1 Företagsbeskrivning

Erlands Product Öb är ett familjeföretag i Tjock, Kristinestad. Företaget grundades 1952 av Sven Erlands och drivs idag av hans två söner, Bo Erlands och Kjell Erlands, som tog över 1992.

Verksamheten började i en liten smedja där Sven Erlands smidde rälsspik till järnvägen som gick genom byn. Verkstadslokalen byggdes i slutet av 1950-talet och verksamheten utvecklades till att innefatta försäljning och reparation av småmaskiner, bilar och lantbruksmaskiner. Märkesservice av bland annat Renault, Husqvarna och McCormick traktorer erbjöds också utöver vanliga metallverkstadstjänster. (Personlig kommunikation med bröderna Erlands 3.1.2024).



Figur 1 - EPK-10, Erlands Products patenterade potatislådvändare. (Erlands Products hemsidor).

Idag utförs mest svetsning, reparation och montering av olika produkter och personalen varierar mellan 4–10 personer beroende på arbetsmängd. Verksamheten består av små och stora beställningsarbeten åt privatpersoner och företag runt om i Finland. Utöver beställningsarbeten har företaget också serietillverkning av några produkter, bland annat en egen patenterad produkt, en lådvändare (Figur 1) som används till att kunna tömma potatislådor med truck. (Personlig kommunikation med bröderna Erlands 3.1.2024.)

1.2 Bakgrund

På de flesta arbetsplatser produceras det sopor dagligen, på vissa mer än andra. Där det produceras stora mängder avfall används ofta mindre sopkärl som sedan töms i större sopcontainrar för att underlätta sophämtningen. Erlands Product har fått en beställning av ett lokalt företag på en anordning som ska tömma bioavfall ner i en container utomhus, utan hjälp av truck. Tidigare har kippcontainer (Figur 2), som tömts med truck, använts och för att inte alltid vara beroende av truckar och truckchaufförer önskas nu denna lösning. Dessutom minskar detta på truckkörandet inomhus väsentligt, vilket är bättre ur arbetsskyddssynpunkt. För standardiserade sopkärl finns redan liknande fristående konstruktioner på marknaden men denna konstruktion kommer dock att skilja sig från dessa i bland annat lyfthöjd, att samma cylinder används till både lyft och tömning samt att den är stationärt monterad på ett staket framför containrarna.



Figur 2 - Kippcontainer som töms med truck har använts tidigare.

1.3 Syfte

Syftet med detta arbete var att konstruera en kärltömmare som monteras på någon typ av skena eller staket i änden av en lastbrygga framför två sopcontainer, kärltömmaren lyfter upp sopkärlet och tömmer innehållet ner i containern. Eftersom det finns olika storlekar av sopkärlet och det är två sopcontainer med olika innehåll behöver den gå att flytta mellan containrarna och även kunna greppa olika storlekar på sopkärlet.

Målet var att konstruera en kärltömmare som uppfyller kraven beskrivna i kapitel 3.2 samt att spara på resurser och minska på fysiskt tungt arbete hos beställaren. Kärltömmaren ska manövreras med knappar och uppfylla alla säkerhetskrav samt CE-märkas.

1.4 Avgränsning

Examensarbetet avgränsas till planering, konstruktion och tillverkning av kärltömmaren inklusive 3D-modell gjord i Siemens NX, hållfasthetsberäkningar och FEM-analys på vissa detaljer. Enligt Erlands Products önskemål kommer inte detaljritningar, CE-dokumentation och användarmanual att publiceras.

Det som inte hör till examensarbetet är

- fullständiga detaljritningar
- automationsplanering och
- dokument för CE-märkningen.

1.5 Disposition

För att få bättre överblick av examensarbetet presenteras kapitlen kort nedan i denna disposition.

Kapitel 1, *Inledning*, här beskrivs bakgrund, syfte och avgränsningar för arbetet samt en kort företagspresentation.

Kapitel 2, *Teori*, använda teorier presenteras i detta kapitel, såsom standarder och säkerhet, rostfritt som material samt de ekvationer och beteckningar som används.

Kapitel 3, *Metodik*, beskriver hur arbetet gjorts, arbetsgång och vilka metoder som använts för att få fram resultatet.

Kapitel 4, *Resultat*, här presenteras resultatet av planeringen och modelleringen med 3D-modell och beräkningar samt några FEM-analyser.

Kapitel 5, *Jämförelse mellan planerad och färdig produkt*, beskriver skillnaderna mellan den teoretiskt planerade produkten och den färdigt tillverkade produkten.

Kapitel 6, *Diskussion*, här diskuteras egna tankar, vad man lärt sig och vad som kunde gjorts annorlunda.

2 Teori

I detta kapitel beskrivs lite av den teori som använts för att kunna konstruera kärltömmaren på ett sådant sätt att den följer lagar och standarder. Lite teori om skillnaderna i att konstruera i rostfritt och vanligt stål presenteras också kort. De viktigaste beteckningarna och ekvationerna som använts för att beräkna hållfastheten presenteras sist i kapitlet.

2.1 Standarder och säkerhet

Bland annat för att höja säkerhet och kvalitet, säkerställa kompatibilitet och ge kostnadseffektiva processer vid tillverkningen används standarder i de flesta branscher idag. Följande citat beskriver standarder på ett enkelt sätt, "En standard är en gemensam lösning på ett återkommande problem". Citatet är från Svenska Institutet för Standarders hemsidor. Det finns både nationella och internationella nivåer på standarder. (Svenska Institutet för Standarder, 2024).

2.1.1 Maskinsäkerhet och CE-märkning

Enligt Maskinförordningen 2023/1230 ska en maskin som tillverkas av en tillverkare som är etablerad i Europeiska unionen CE-märkas, även om den bara tillverkas i ett enda exemplar på beställning eller tas i eget bruk (Europeiska unionens officiella tidning, 2023).

Enligt Statsrådets förordning om maskiners säkerhet 2008/400 1 kap §4 punkt 1 a (Social- och hälsovårdsministeriet, 2009) är definitionen av en maskin följande:

”en sammansatt enhet som är utrustad med eller avsedd att utrustas med ett drivsystem som inte utgörs av direkt drivkraft från människa eller djur och som består av inbördes förbundna delar eller komponenter, varav minst en rörlig, som är sammansatta för ett särskilt ändamål”.

Som maskintillverkare ska man CE-märka tillverkade maskiner på följande sätt:

- Först bedöms riskerna med maskinen och säkerhetskraven utreds.
- Maskinen konstrueras att följa dessa krav och genom att bygga bort så mycket av säkerhetsriskerna som möjligt.
- Maskinen ska förses med nödvändiga märkningar, så som varningar och teknisk information.

Till sist görs bruksanvisningar och teknisk dokumentation så som försäkran om överensstämmelse. (Arbetarskyddsförvaltningen, 2007).

Kärltömmaren går också under kategorin lyftanordning, dessa följer samma direktiv som maskiner vid tillverkning och användning men ska också besiktigas vid givna intervall. I Statsrådets förordning om säker användning och besiktning av arbetsutrustnings bilaga kan man se att denna konstruktion i det närmaste kunde liknas vid en kran och ska därmed besiktigas vid idrifttagning och med intervall på ett år. Dessa besiktningar ska skötas av en godkänd sakkunnig. (Social- och hälsovårdsministeriet, 2008).

2.1.2 Sopkärl

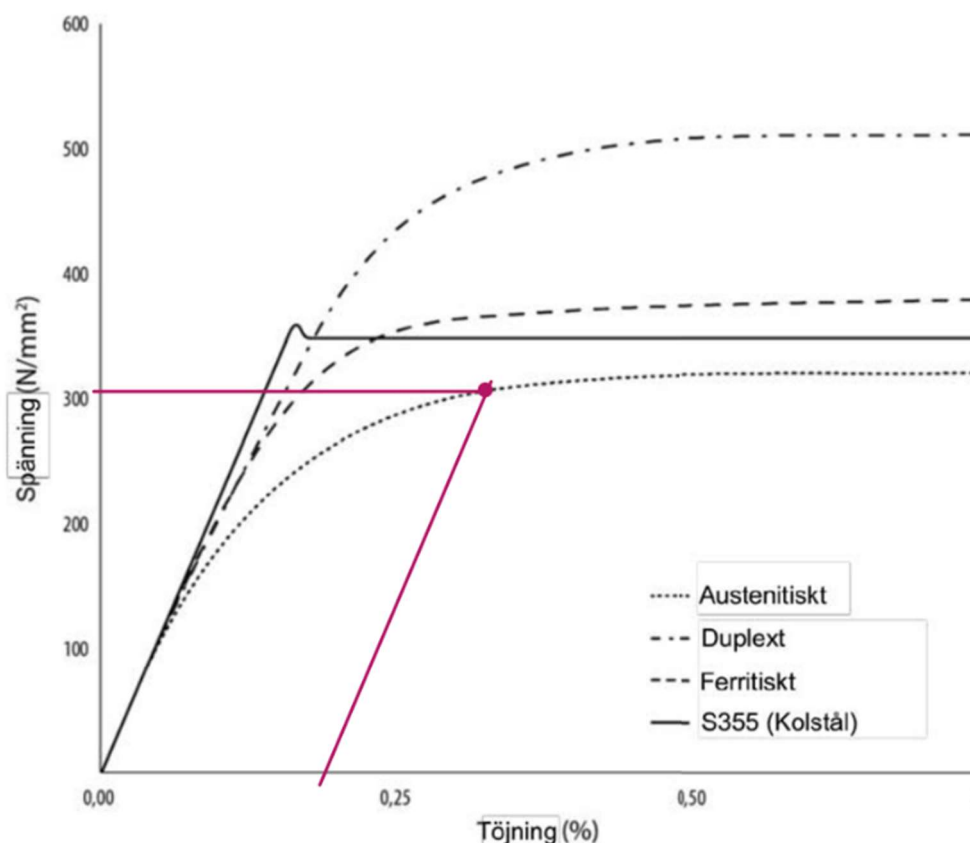
Sopkärlen har också standarder enligt vilka de tillverkas, i detta fall är det SFS-EN 840-1:2020 och SFS-EN 840-2:2020 som är aktuella. Dessa standarder innehåller information om sopkärl upp till 400 liter respektive 1300 liter för kamlyftanordningar. Dessa standardkärl lyfts genom att tappar eller dylikt förs in under framkanten på tunnan och greppar tag i kanten vid lyft.

Kärlen ska enligt standarden konstrueras för att kunna hålla en massa på minst 0,4 gånger deras volym i kilogram, vilket ger 96 kg för ett 240 liters kärl. (Suomen Standardoimisliitto SFS, 2020b; Suomen Standardoimisliitto SFS, 2020a).

2.2 Konstruktion i rostfritt

Som konstruktör kan man ta hjälp av exempelvis SSAB:s *Plåthandboken - att konstruera och tillverka i höghållfast stål*, där finns det mesta man kan tänkas behöva veta gällande beräkningar, dimensionering och material till de flesta konstruktionslösningar (SSAB, 2011).

När det gäller konstruktion i rostfritt finns det dock några saker som skiljer sig från konstruktion i vanligt stål. Den största skillnaden finns i materialets töjnings- och spänningsegenskaper, det rostfria stålet har ingen väldefinierad sträckgräns så som vanligt kolstål har (Figur 3). Som sträckgräns använder man i stället spänningen som krävs för att permanent töja ut materialet med 0,2 %. Andra materialegenskaper som skiljer är det rostfria stålets förmåga att ta emot stötar utan att brista, detta för att det är deformationshårdnande och mycket duktilt. Samma egenskaper gör också att det rostfria stålet uppnår en högre hållfasthet vid högre töjningshastigheter. Deformationshårdningen kan dock göra materialet sprött vid upprepade stötar.



Figur 3 - Spännings-töjningskurvor för rostfria stål och kolstål. Här är töjningen på 0,2 % utmärkt med rött och materialet har då i detta fall en förlängningsgräns på ca. 300 MPa (Stålbyggnadsinstitutet, 2017).

Det finns många olika sorter av rostfria material, dessa består av järn med tillsatser i varierande halter av krom, nickel och molybden beroende på vilka egenskaper man vill ha. Den vanligaste stålsorten är EN 1.4301 som är ett austenitiskt stål. Det austenitiska stålet har en sådan atomstruktur att det har hög duktilitet, god svetsbarhet och goda kallformningsegenskaper. På grund av tillsatserna på 17–18 % krom och 8–11 % nickel har materialet medelhög korrosionsbeständighet och är det överlägset mest använda rostfria stålet. Vill man ha högre korrosionsbeständighet ska man välja ett material med ytterligare tillsats av molybden.

Vanliga kolstål finns med många olika egenskaper och den mest intressanta ur konstruktions-synpunkt är sträckgränsen, som oftast är det som begränsar konstruktionen. Det är enkelt att välja ett stål med högre sträckgräns utan att vare sig pris eller leveranstid höjs avsevärt. På grund av just tillgänglighet och pris finns det inte många alternativ om man vill välja ett rostfritt stål med högre sträckgräns utan man måste i stället använda grövre dimensioner eller ändra på konstruktionen.

Priset är en annan sak som skiljer sig avsevärt mellan dessa två ståltypen, det rostfria stålet är upp till fem gånger dyrare (Tibnor, 2024) men eftersom det inte behöver ytbehandlas minskar kostnaderna för ytbehandling och underhåll samt att driftstiden blir längre. Återvinningsgraden för rostfritt stål är mycket hög och restvärdet är också högre än för vanligt kolstål.

Förutsatt att lämpliga tillsatsmaterial används kan man använda samma svetsmetoder till rostfritt som till kolstål, beroende på svetsmetod kan dock svetsgasen vara olika. Det rostfria stålet är känsligare för orenheter inuti materialet och på materialets yta samt att det blir större svetsdeformationer av värmen. Dessa egenskaper påverkar inte slutresultatet nämnvärt bara man är medveten om att de finns och att man kan kompensera bort dem där det är nödvändigt. (Stålbyggnadsinstitutet, 2017).

2.3 Hållfasthet och beräkningar

Här presenteras formler och beteckningar som använts, de flesta ekvationer är allmänna och återfinns i en eller annan form i flera litteraturer, främst har här använts Esko Valtanens *Tekniikan taulukkokirja* och SSAB:s *Plåthandboken – Att konstruera och tillverka i höghållfast stål* men varianter av dessa ekvationer har använts också. Här presenteras först beteckningar som är relevanta i detta arbete. Materialens specifikationer har hämtats från tillverkarens hemsidor och beräkningarna i sin helhet hittas i bilaga 4.

2.3.1 Beteckningar

De viktigaste beteckningarna som använts i beräkningarna för detta arbete är följande:

L_{cyl}	cylinderns totala längd, varierar med tömningsvinkeln [mm]
L_{min}	cylinderns inbyggnadsmått, minusläge (Figur 6) [mm]
L_{min2}	cylinderns längd när den har lyft tunnan men ännu inte börjat tömma [mm]
L_{max}	cylinderns inbyggnadsmått + slaglängd, plusläge [mm]
L_1	avståndet mellan fästena A och B med cylindern i minusläge [mm]
L_2	avståndet mellan fästena A och B med cylindern i plusläge, måste vara samma som L_1 [mm]
α	tömningsvinkeln [°]
D	cylinderkolvens diameter [mm]
d	cylinderstångens diameter [mm]
P	hydraulikmotorns effekt [W]
A_{plus}	cylinderns plusarea [mm ²]
A_{minus}	cylinderns minusarea [mm ²]
p	trycket i hydrauliksystemet [bar]
Q	flödet i hydrauliksystemet [L/min]
v_{plus}	hastigheten i plusriktning [m/s]
v_{minus}	hastigheten i minusriktning [m/s]
$F_{cylinder}$	kraften som cylindern och hydrauliksystemet klarar av att lyfta med [N]

F_{cyl}	kraften som cylindern måste lyfta med för att kippa upp till 140° [N]
F_{cylmax}	kraften som cylindern maximalt måste kunna lyfta med [N]
m_t	soptunnans massa [kg]
η	säkerhet
R_A	reaktionskraften vid punkt A (Figur 4) [N]
M_G	moment runt punkten G [Nm]
M_b	böjmoment [Nm]
W_b	böjmotstånd [mm ³]
f_{buk}	bultens brottgräns [N/mm ²]
f_{uk}	materialets brottgräns [N/mm ²]
A_s	bultens spänningsupptagande area [mm ²]
F_{td}	bärförmåga, bultar [N]
$\gamma_{M,n}$	partialkoefficienter enligt EN 1993-1-8:2005
n	antal bultar
μ	friktionskoefficient
σ_{rst}	sträckgräns för rostfritt stål, EN 1.4301 [N/mm ²]
E	elasticitetsmodul [N/mm ²]

2.3.2 Ekvationer

Hydraulcylinderns dimensioner och avstånd mellan fästen beräknas först. För att kunna använda cylinderns två ändlägen som enda begränsningar och därmed slippa använda givare krävs en jämviktsekvation där $L_1 = L_2$ enligt ekvationerna nedan, se också figur 7.

$$L_1 = \sqrt{x^2 - f^2} + z \quad (1)$$

$$L_2 = \sqrt{x^2 * \cos(\alpha_1)^2 + (L_{max}^2 - x^2)} + x * \cos(\alpha_1) \quad (2)$$

Hydraulikmotorns effekt, hastigheten på cylindern och cylinderns lyftkraft beräknas med ekvationerna 3–5 nedan.

$$P = p * Q \quad (3)$$

$$v = Q/A \quad (4)$$

$$F = p * A \quad (5)$$

Böj- och tryckspänningar i materialen beräknas med ekvation 6 och 7.

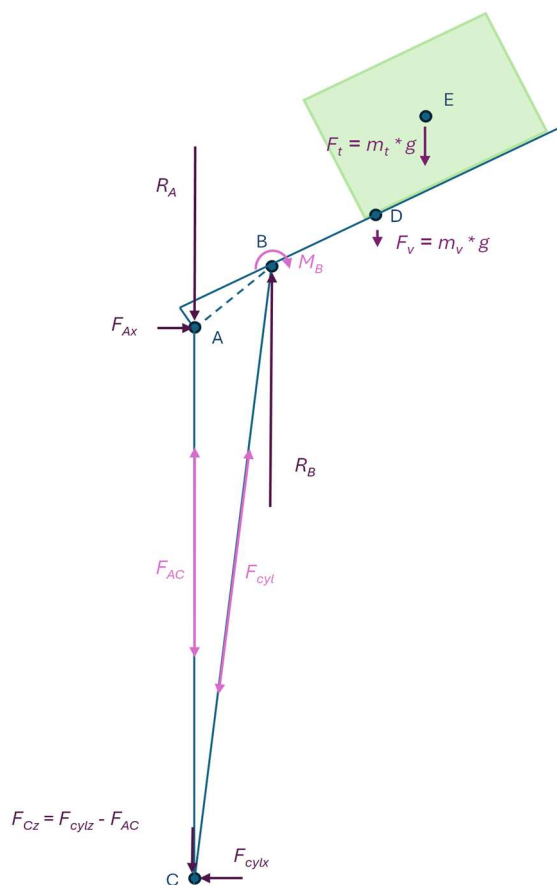
$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} \quad (6)$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (7)$$

Tyngder på sopkärl och konstruktion samt stöd krafter i de olika punkterna (Figur 4) beräknas med ekvation 8 och 9 nedan.

$$F = m * g \quad (8)$$

$$R = \frac{F_1 * l_1 + F_2 * l_2}{l_3} \quad (9)$$



Figur 4 - Förenklad skiss av kärltömmaren med krafter, moment och stöd krafter markerade.

Skjuvbrott på bultar och hålkantsflytning beräknas med följande ekvationer:

$$F_{skjuv} = \frac{0.6 * f_{buk} * A_s}{\gamma_M * \gamma_n} \quad (10)$$

$$F_{td} = \frac{2.5 * f_{uk} * d * t}{\gamma_M * \gamma_n} \quad (11)$$

där d är bultens diameter och t är plåttjockleken

Bärförmågan för kälsvetsar beräknas med hjälp av följande villkor

$$\sqrt{\sigma_{vinkel}^2 + 3 * (\tau_{vinkel}^2 + \tau_{parallell}^2)} \leq \frac{f_u}{\gamma_M * \gamma_n} \quad (12)$$

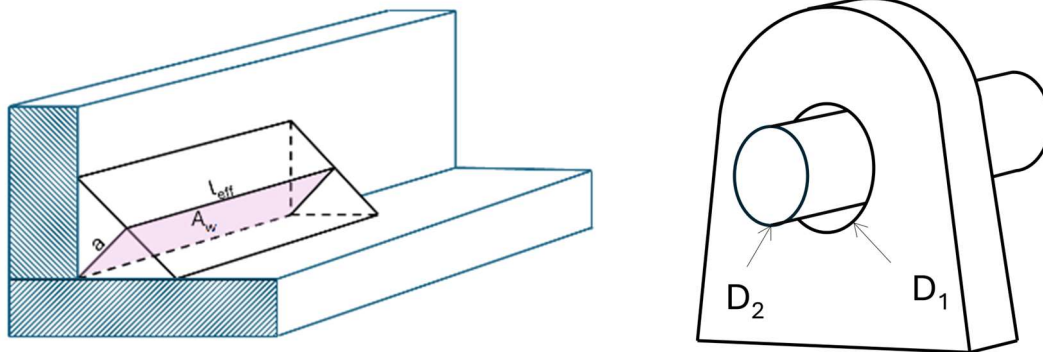
där f_u är brottgränsen för det svagare materialet; svetsgodset eller tillsatsmaterialet.

Skjuvspänningen som uppstår i beräkningssnittet, parallellt med svetsen beräknas

$$\tau_{parallell} = \frac{F_{parallell} * \gamma_M * \gamma_n}{A_w} \quad (13)$$

Beräkningssnittets area A_w (till höger i Figur 5) beror på svetsens a -mått a och effektiva svetslängd l_{eff} , med avdrag för ändkrattar, enligt följande ekvation

$$A_w = a * (l_{eff} - 2 * a) \quad (14)$$



Figur 5 - Beräkningssnittets area A_w markerat i rosa i figuren till vänster. Till höger syns öra med tapp och dess diametrar D_1 och D_2 .

Yttrycket som uppstår mellan de två ytorna i cylinderns tapp och öra (till höger i figur 5), vilket då består av cylinder + cylinder, beräknas med ekvation 16 nedan.

$$p_0 = 0.591 * \sqrt{\frac{F * E * (D_1 - D_2)}{L * D_1 * D_2}} \quad (16)$$

där D_1 och D_2 är diametern på yttre cylinderns diameter respektive inre cylinderns diameter.

(SSAB, 2011; Valtanen, 2022).

3 Metodik

I detta kapitel beskrivs hur man gjort för att utveckla denna kärltömmare, från planering till färdig produkt.

För att utveckla en produkt finns det många olika metoder att använda sig av, här har ingen skild metod använts eftersom kraven var rätt så specifika från början. För att utveckla kärltömmaren har först en kravlista uppställts och sen har tömmaren ritats och utvecklats i Siemens NX CAD-program. Vartefter ritningar har framställts har tömmaren tillverkats och modifieringar och förbättringar gjorts där det uppstått problem, vilka dessa är kan man läsa om i kapitel 5.

3.1 Planering

Ett första möte hölls med Bo Erlands, som är VD på Erlands Product och Kenneth Ehrström, som fungerar som handledare från Yrkeshögskolan Novia. Där gick uppgiften igenom och avgränsningar fastställdes.

Efter det andra mötet, där kravlistan uppställdes i detalj, blev det att börja planera och rita kärltömmaren i Siemens NX CAD-program, först gjordes grova skisser på funktionen för att ha något att utgå från. Idéer hämtades från liknande konstruktioner på internet för att se funktionsprincipen och komma i gång. Sedan modellerades också kärltömmarens närmiljö grovt för att bättre kunna avgöra funktionen och ta ungefärliga mått.

För att kunna göra en kärltömmare som ska ta standardkärll söktes information och mått i standarden för sopkärll gjorda för kamlyftanordning (Suomen Standardoimisliitto SFS, 2020b). För att kunna göra en säker produkt ska lagar följas, bland annat Statsrådets förordning om maskiners säkerhet 2008/400 och Statsrådets förordning om säker användning och besiktning av arbetsutrustning 2008/403. (Social- och hälsovårdsministeriet, 2009; Social- och hälsovårdsministeriet, 2008).

Eftersom planering och modellering inte gjordes på plats vid Erlands Product samlades så mycket information som möjligt vid varje möte med uppdragsgivaren för att komma framåt med arbetet en del i taget, alla delfunktioner löstes vartefter modelleringen och tillverkningen framskred.

3.2 Patent

För att få tillverka och sälja en produkt måste man först ta reda på om det redan finns patent på liknande produkter, ifall liknande finns riskerar man att göra ett patentintrång, vilket är straffbart. (Patentlag 550/1967, 1968).

Efter att ha sökt i olika databaser för patent hittades några lite liknande produkter men de flesta patent var gamla eller inte tillräckligt lika. Det patent som var mest likt var inlämnat i Storbritannien 2004 och kommer alltså ha gått ut innan detta examensarbete är klart. Patenten får hållas max 20 år och det är inte helt säkert att det är giltigt i Finland, för att ta reda på detta kan man använda sig av patent- och registerstyrelsens prövningsingenjörer. Konstruktionen är knappast patenterbar längre då den är ganska uppenbar, enligt citat från patent- och registerstyrelsen hemsidor *”När man bedömer uppfinningshöjden, överväger man en genomsnittsfackmans kunskaper på området. Om uppfinningen är uppenbar för en genomsnittsfackman, kan ett patent inte beviljas”* (PRH, 2024).

Vill man vara helt säker på att inte göra intrång på någons patent rekommenderas att man använder sig av PRH:s tjänster, de kontrollerar då befintliga patent och kan sen också rekommendera hur man ska gå vidare och exempelvis kontrollera saken i andra länder. (PRH, 2024).

3.3 Funktionskrav

Kraven på konstruktionen ändrades under arbetets gång, först var det meningen att en fristående kärltömmare som kunde placeras var som helst och ta både standard och icke standardkärll skulle konstrueras men senare blev kraven mer specifika då företaget fick beställning på en kärltömmare.

Kravlistan kan ses i sin helhet i bilaga 1 men här nedan beskrivs de mest relevanta och viktigaste kraven:

- Konstruktionen ska stå utomhus och göras i rostfritt material.
- Kraftkällan ska vara en eldriven hydraulisk pump.

- Sopkärlen som ska tömmas är främst 240 liter men även 660 liters kärl finns och konstruktionen ska då klara av en vikt på $0,4 \text{ kg/l} * 660 \text{ l} = 264 \text{ kg}$. I beräkningarna används en säkerhet på 2, vilket ger en vikt på 528 kg.
- Konstruktionen ska kunna tömma kärlets innehåll i en sopcontainer vars kant är 1400 mm över marknivå.
- En tömningsvinkel på ca. 140 grader bör uppnås för att säkerställa fullständig tömning.
- Den ska kunna flyttas på skena mellan två olika containrar.
- Den ska styras med knappar utan onödig automation, cylinderns två ändlägen kommer alltså användas som enda begränsningar.
- Samma cylinder ska användas för att lyfta tunnan till rätt höjd innan tömningen börjar, detta också för att undvika onödig automation.
- Konstruktionen ska uppfylla säkerhetskraven och CE-märkas.

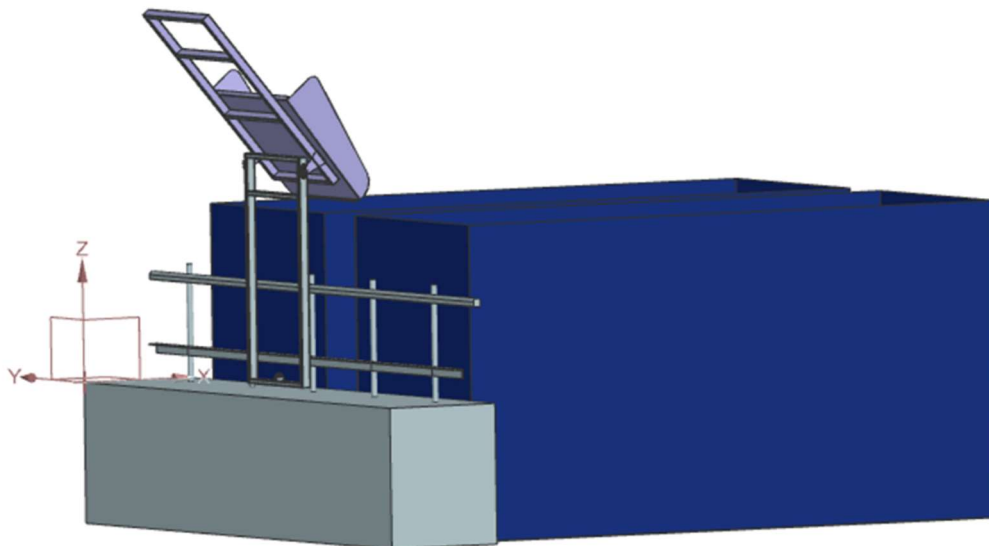
Eftersom kraven var ganska specifika fanns det ingen större nytta med att ta fram olika varianter för att sedan jämföra dessa mot kravlistan, olika varianter av vissa delar gjordes dock under arbetets gång.

3.4 Modellering och beräkningar

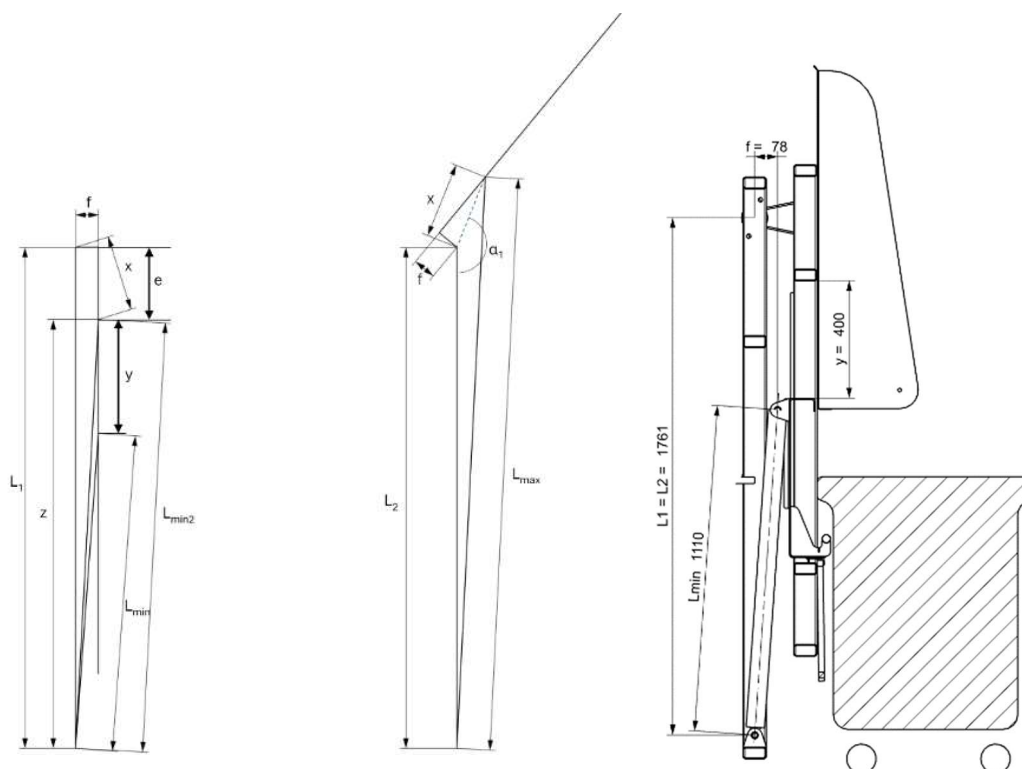
Då kravlistan var klar kunde den slutliga 3D-modellen påbörjas. Modelleringen gjordes och ritningar framställdes stegvis. Vartefter kom det emot olika problem som behövde lösas, till min hjälp hade jag duktiga och erfarna arbetare på Erlands Product, med vilka det diskuterades flitigt. De kunde dock inte hjälpa till med exakta beräkningar eller modelleringen utan kunde endast baserat på erfarenhet bekräfta eller motsätta sig mina beräkningar och materialval.

För att ha något att utgå ifrån gjordes en grov skiss på lastbryggan med containrar samt av ramen plus kippvagn (Figur 6). Härifrån togs ungefärliga mått för att kunna se hur högt sopkärlet måste lyftas upp för att nå över containerns kant samt hur långt in på lastbryggan konstruktionen får vara utan att tömma innehållet på marken. Efteråt kunde cylinderns

mått och infästningar beräknas. Matematikprogrammet Mathcad användes till beräkningar, som för övrigt kan ses i sin helhet i bilaga 4. I bilaga 3 kan man se benämningar på kärltömmarens olika delar.



Figur 6 - Grov skiss av närmiljön med lastbryggan, som är grå, två blåa containrar, staket och ram i grått samt kippvagn i lila.



Figur 7 - Skiss av kärltömmaren i de två ändlägena, med beteckningar. Till vänster är cylindern i minusläge och i mitten i plusläge. Till höger syns samma mått som på skissen till vänster insatta på ritning av kärltömmaren.

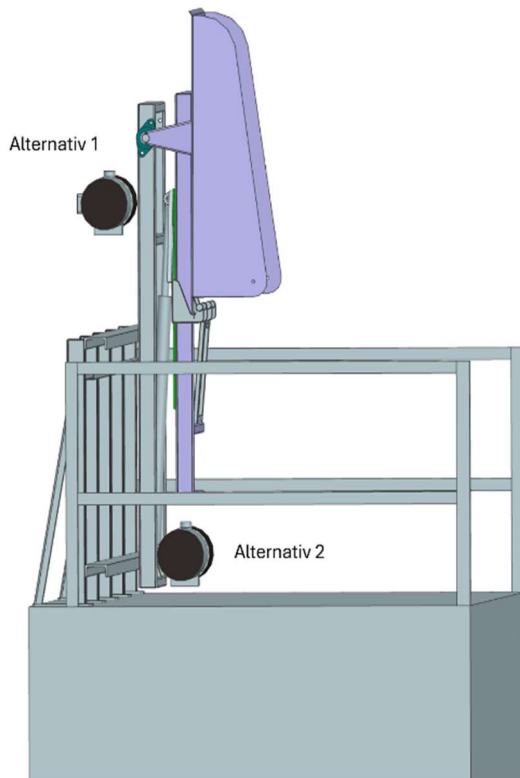
Den tidigare nämnda jämviktsekvationen, där $L_1 = L_2$, (Ekvation 1 och 2), används för att få mått mellan cylinderns fästen på följande sätt; då cylindern är i minusläge, ses till vänster i figur 7, och den ännu inte lyft upp tunnan från marken vet man cylinderns inbyggnadsmått L_{min} och att man måste lyfta tunnan $y = 400$ mm från marken innan tömningen kan påbörjas. Med hjälp av avståndet f , kan man räkna ut cylinderns mått L_{min2} innan den börjar tömma. I plusläge vet man cylinderns längd L_{max} och vinkeln α_1 itereras fram för att få ut den önskade tömningsvinkeln på 140° , med denna information får man ut L_1/L_2 samt avståndet x . Med hjälp av dessa mått, mått från standarder och 3D-modellen kan man nu räkna ut och bestämma alla de övriga måtten och vinklarna som behövs för konstruktion och hållfasthetsberäkningar. Alla beräknade mått på cylinderfästen och vinklar har senare kunnat verifierats i 3D-modellen.

Med hjälp av ekvationerna 3–5 beräknades och optimerades cylinderns kraft och dimensioner samt storleken på hydraulikmotorn för att få en tillräckligt kraftig cylinder men samtidigt en inte alltför långsam rörelse. Dimensioner på material till ram och kippvagn beräknades efter detta och materialet kunde beställas samt tillverkningen påbörjas.

Efter att ram och kippvagn konstruerats blev det dags för lådlyftens konstruktion, hur denna skulle utformas för att hålla sopkärlet på plats under hela lyftet och tömningen. En anordning som hindrar lådlyften att åka ner tillbaka när tömningen nått över 90 grader var nödvändig. Det sista på själva kärltömmaren var att konstruera någon typ av lådlås, det har till uppgift att hålla sopkärlet på plats vid tömning så att kärlet inte flyger i väg när den nått ändläget och rörelsen plötsligt stannar.

När kärltömmaren var modellerad var det dags att konstruera staketet och fundera på hur kärltömmaren skulle fästas i staketet för att enkelt kunna förflyttas mellan de två containrarna. Det blev många olika funderingar på hur man skulle göra, viktigast var att den skulle gå att flytta för hand samt att den kommer stå utomhus, regnvatten, underkylt regn och snö var något man måste beakta. Vilka krafter som verkar på hjulen som bär hela konstruktionen beräknades för att kunna välja rätt dimensioner på hjulen, U-balkar, staketben och stöd. Problemet här var att allt behövde vara så nära containrarna som möjligt, vilket gjorde att stöden fick väldigt snäv vinkel, stöden fick heller inte placeras framför staketet. Krafterna på bultarna som fästs i betongen beräknades till sist.

Efter staketet och hjulens placeringar var det småsaker kvar, som till exempel hydraulikmotorns placering. För detta fanns två alternativ, det ena var bakom ramen ovanför staketet, se figur 8, det andra alternativet var nere mot golvet under kippvagnen och framför ramen.



Figur 8 - Alternativ ett och två för hydraulikmotorns placering.

Det första alternativet är mera svåråtkomligt vid eventuell service men ger mindre påfrestning på staketet och hjulen eftersom den hänger ovanpå staketet och inte framför. Det andra alternativet blev onödigt tigt då motorn visade sig vara större än tänkt från början, annars hade det varit bättre med tanke på underhåll och service.

Mindre detaljer, som till exempel elskåpets fästen och placering, handtag att förflytta tömmaren med och motorns fästen, har gjorts av Erlands Product.

Vartefter 3D-modellen blev klar undersöktes lastfallen, hållfasthetsberäkningar gjordes på materialen samt maskinelementen med ekvationerna 6–9 och vissa detaljers hållfasthet verifieras med FE-analys i Solidworks.

3.5 Tillverkning

Tillverkningen av modellen påbörjades som sagt direkt då cylinderns och materialens dimensioner var klara. Eftersom tillverkningen påbörjades innan hela konstruktionen var klar blev det ibland lite bråttom att få ut ritningar vartefter för att undvika alltför långa avbrott i produktionen. Av samma orsak blev det också svårt att ändra på vissa saker efteråt, då dessa redan tillverkats, utan att orsaka alltför stora kostnader. DXF-filer gjordes på de delar som skulle laserskäras. Laserskärningen blev ytterligare ett stressmoment då det förlänger tiden mellan färdig ritning och när produktionen kan påbörjas.

3.6 Riskbedömning och säkerhet

Säkerheten beaktades under hela konstruktionsskedet och i bilaga 2 kan man se en felmodsanalys gjord på konstruktionen efter tillverkningen, det högsta risktalet konstaterades bli 48 på en skala 0–1000. Denna risk skulle vara ifall man lyckas överbelasta konstruktionen så pass att materialet havererar och det välter över någon människa, detta borde i praktiken vara omöjligt eftersom sopkärlens konstruktion inte skulle tillåta sådana höga laster och haveri av sopkäret sker innan man lyckas lyfta och tömma kärlet med kärltömmaren. Ifall man ändå lyckas överbelasta konstruktionen kommer hydrauliksystemets begränsningar att förhindra att lyft sker då detta inte är dimensionerat för högre laster än vad materialet klarar av.

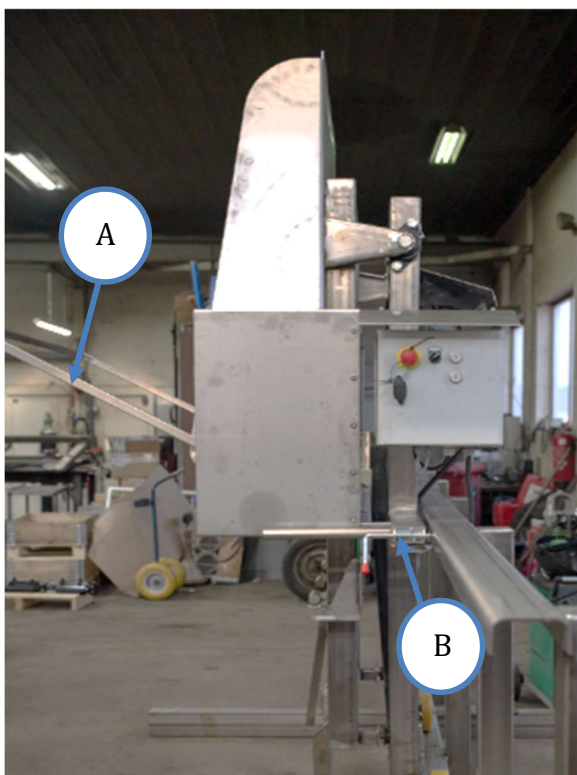
För att säkerställa att säkerhetskraven uppfylls har standarder och lagar följts under konstruktionen och tillverkningen, allra sist har dokumentation för CE-märkningen gjorts, denna innehåller bland annat hållfasthetsberäkningar, bruksanvisning, skyltar och märkningar. Denna dokumentation presenteras inte i detta arbete, de levereras endast till uppdragsgivaren.

Som exempel på säkerhetsåtgärder kan nämnas

- Slangbrottsventil på hydraulslangarna som hindrar att tömmaren plötsligt åker ner ifall en slang går sönder.
- Skyddsplåt som hindrar att man klipper fingrar av sig när lådlåset kommer ner vid lyft, plåten syns till vänster om elskåpet i figur 9. Andra sätt att lösa samma problem

vore att ha ett tvåhandsgrepp för att kunna styra tömningen men då kan fortfarande någon annan komma emellan med sina fingrar.

- Låset som syns vid B i figur 9 hindrar tömmaren att åka fritt utmed staketet vid hård vind eller stötar.
- Lådlåset som syns vid A i figur 9 ska ännu tejpas i varningsfärger samt att farozon ska markeras på lastbryggan där tömmaren monteras.



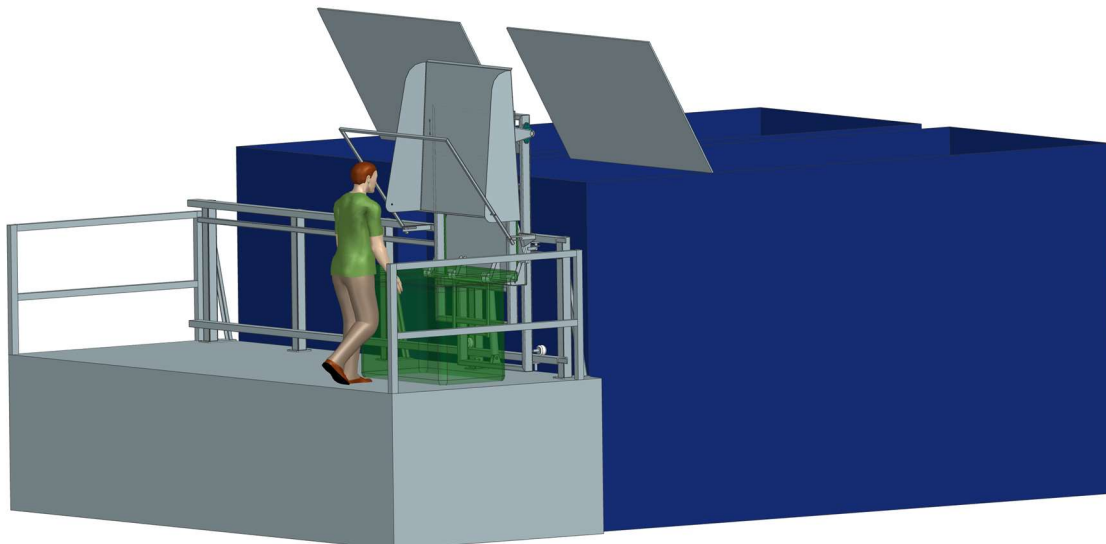
Figur 9 - Den färdiga kärلتömmaren monterad på staketet med skyddsplåt för att hindra att man klämmer sig mellan skoveln och lådlåset.

3.7 Tester

Kärلتömmaren kunde inte testas ordentligt med max vikt innan den var monterad eftersom hela konstruktionen med staketet skulle bultas i betong men den kunde åtminstone testas så pass mycket att man kunde se om själva funktionen med lyft och tömning fungerade som den skulle innan leverans.

4 Resultat

Resultatet blev en kärltömmare som uppfyller kravlistans krav och nödvändiga säkerhetsföreskrifter. I figur 10 ser man den färdiga 3D-modellen med lastbrygga och containrar.



Figur 10 - Den färdiga 3D-modellen av kärltömmaren monterad på lastbryggan.

I kapitel 5 (Figur 23) kan man se den färdigt monterade kärltömmare hos beställaren. Där ser man också direkt hur stora avvikelser det kan bli mellan den planerade och den färdiga produkten.

4.1 Materialval

Som sagt skulle konstruktionen göras av rostfritt stål, orsaken till detta är att produkten måste ytbehandlas efteråt om den görs av vanligt konstruktionsstål. Sättet den ska användas på kräver en ytbehandling som tål stötar och nötning för att det inte ska börja rosta. Ytbehandling kan bli dyrt, speciellt på långa och stora konstruktioner som detta. Stötar och nötning påverkar inte det rostfria materialets benägenhet att börja rosta, däremot är rostfritt som material dyrare och där måste man göra en avvägning från fall till fall vilket som blir bäst, här valdes rostfritt utan närmare prisjämförelse.

Till hela konstruktionen inklusive staketet användes rostfritt material med beteckningen EN 1.4301. Då detta bara är frågan om en enda produkt som ska tillverkas är det inte lika viktigt att optimera materialet till det klenaste möjliga utan det kan vara vettigare att

använda samma dimensioner till de flesta rör för att slippa beställa flera olika rördimensioner och då lämna med mera i lager. Uppdragsgivaren har varit verksam länge och där finns redan lite allt möjligt i materialväg att använda sig av, exempelvis av hjulen och lagren till dessa fanns aningen större än vad som behövdes i lager, då användes dessa i stället för att beställa nya med mindre dimensioner.

Alla plåtar laserskars i samma material som rören, EN 1.4301, hos en lokal underleverantör. U-balkarna till staketet bockades av plåt eftersom rostfri U-balk med dimensionen 100 x 50 x 6 x 8,5 visade sig vara svår att få tag på just då.

4.2 Svetsfogar

I detta fall är materialens tjocklek för det mesta 3 mm och då blir ett a-mått på detsamma lämpligt då man använder ett övermatchande tillsatsmaterial. Som tillsatsmaterial har OK Tigrod 316L använts, detta har en brottgräns på 470 MPa (ESAB, 2024). För att verifiera a-måttet gjordes beräkningar på de svetsfogar som utsätts för största belastningar, de i cylinderns övre fästen. Med ekvationerna 12–14 beräknades det minsta möjliga a-måttet som kunde användas för att svetsen ska kunna överföra kraften. Resultatet blev ca. 1,6 mm men av praktiska skäl använder man inte sådana små a-mått. Svetsens effektiva längd bör också överstiga 30 mm och 6 gånger a-måttet för att den ska vara kraftöverförande. Här är den effektiva svetslängden 2 x 80 mm och inga avdrag för ändkratrar görs då det svetsas i ändorna också, som ses i figur 11. Ett a-mått på 3 mm används på alla svetsfogar i konstruktionen.



Figur 11 - Övre cylinderfästet där störst påfrestning på svetsfogarna finns.

4.3 Cylindern

Cylinderns längd och övriga dimensioner bestämdes av lyfthöjd, tömningsvinkel och tyngd som den måste klara av att lyfta. Efter att ha räknat med olika alternativ på tömningsvinklar, lyfthöjder, längder på skoveln och avstånd till containern bedömdes en cylinder med inbyggnadsmått på 1100 mm och en slaglängd på 900 mm vara det lämpligaste alternativet. För att få tillräckligt med kraft men inte en alltför långsam tömning blev diametern på cylinderns kolv 50 mm och 30 mm på stängen.

Utmaningen låg i att kunna använda samma cylinder till både lyft och tömning. I de modeller på kärltömmare som redan finns på marknaden används två skilda cylindrar där det behövs ett lyft först. Att använda två cylindrar skulle undvikas för att minska på tillverkningskostnaden och automationsplaneringen förenklas.

Fördelarna med endast en cylinder är att:

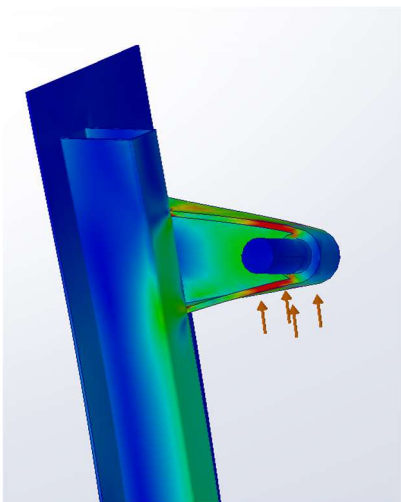
- det krävs mindre material till ramen och således också mindre arbetskostnader för att tillverka den
- kostnaden för själva cylindern och slangar försvinner
- automationen blir betydligt enklare.

Nackdelen är att konstruktionen i stället blev mer invecklad och planeringen tog längre tid men det tjänar man snabbt in om man gör många kärltömmare.

4.4 Kippvagn och ram

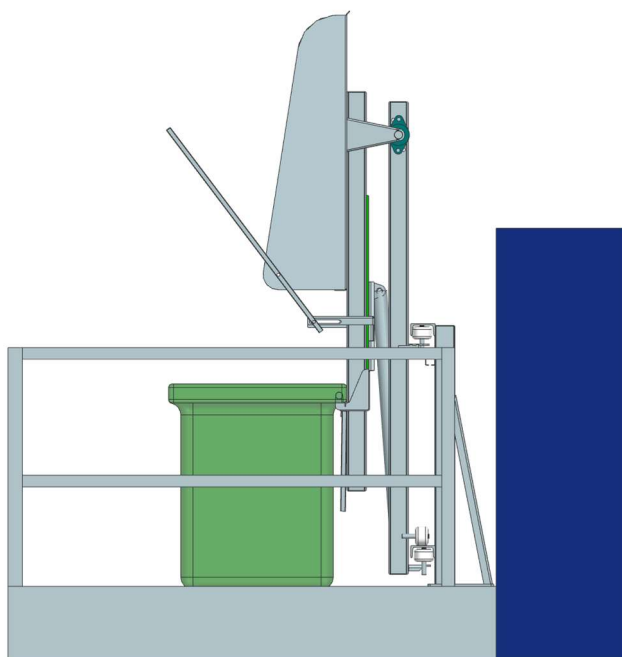
Till ramen och kippvagnen användes rostfria konstruktionsrör med dimensioner på 80 mm x 40 mm x 3 mm. Enligt ekvation 8 och materialens tvärsnittsdata (Tibnor, 2024) skulle exempelvis 50 mm x 50 mm x 4 mm räckt till kippvagnen för att klara böjmoment på 4,5 kNm men det konstaterades att detta skulle ge ett alltför klen tryck, dessutom var de lika i pris som det valda röret.

Kippvagnens svagaste del är örat som sitter fast med axlar i lagerbockarna, en preliminär FE-analys gjordes på örat, denna simulering ger endast en fingervisning om var de svagaste områdena finns, de är markerade med rött i figur 12.



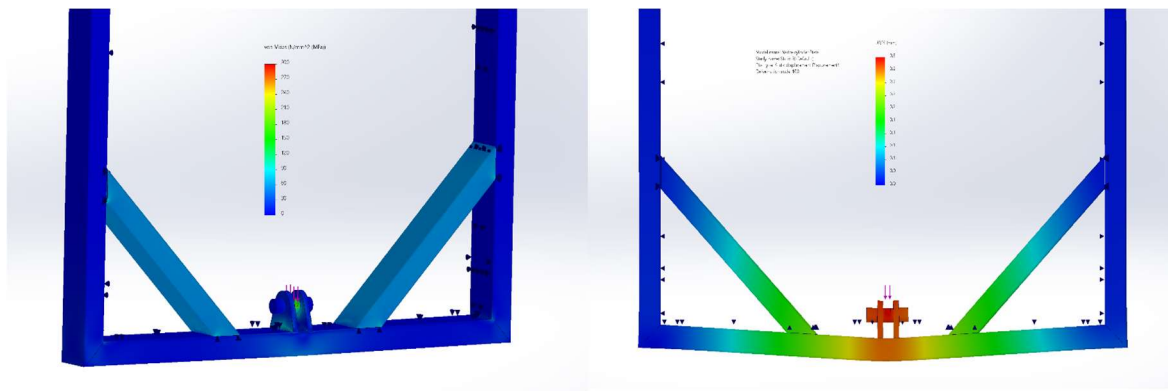
Figur 12 - FE-analys av krafterna på kippramens fästöra.

För att undvika att skovelns, som avfallet åker ner på i containern, skulle bli alltför lång och därmed fungera som ett stort segel vid blåst och storm gjordes allting så tight som möjligt (Figur 13), om konstruktionen kommer längre ut från containern måste skovelns längd ökas. Staketet måste dessutom vara ca. 200 mm in från lastbryggans kant eftersom containrarna kommer in en bit över lastbryggan samt för att ha rum med stöden på staketet. Många versioner med olika mått på cylindern, lyfthöjden y , avståndet f och skovelns längd testades innan en lämplig lösning hittades.



Figur 13 - Det krävdes en så tight konstruktion som möjligt för att undvika att skovelns blev alltför lång.

Ramens svagaste del är cylinderfästet nertill som utsätts för 39 kN som mest, därför sattes extra strävor i hörnen för att minska på böjmomentet. Utböjningen kommer då bli 0,3 mm (Figur 14) och spänningarna i materialet hålls under sträckgränsen på 220 MPa.



Figur 14 - FE-analys på cylinderfästet nere på ramen, till vänster ser man var de högsta spänningarna finns och utböjningen syns till höger i bild med en förstärkning på 100 gånger för att tydliggöra hur och var utböjningen sker.

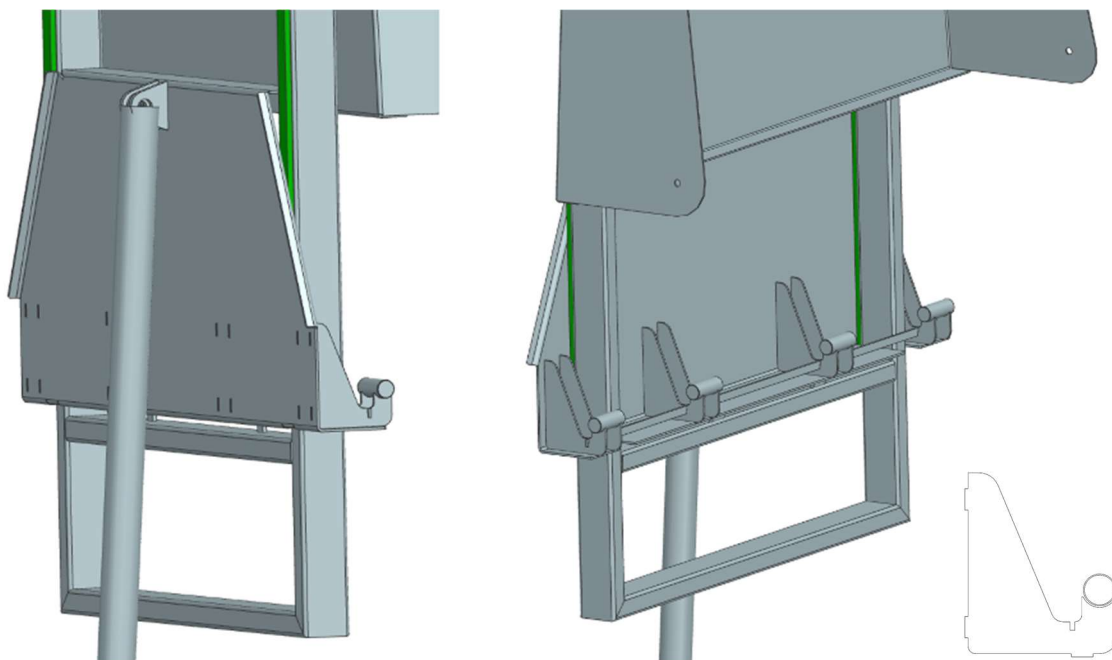
I ramens övre del fästs två lagerbockar som håller axlarna i kippvagnens fästöron. Lagerbockarna är dimensionerade mot statisk belastning och kullager med innerdiameter på 35 mm krävdes enligt tillverkaren (SKF, 2019) för att klara kraften på 15,5 kN per lager. Dessa lagerbockar (Figur 15) monterades med två 8.8 M14 bultar. Ekvation 10–11 användes för att kontrollera att bultarna inte skjuvas av eller att hålen i det rostfria röret börjar flyta.



Figur 15 - Lagerbock fäst i ramen med två 8.8 M14 bultar.

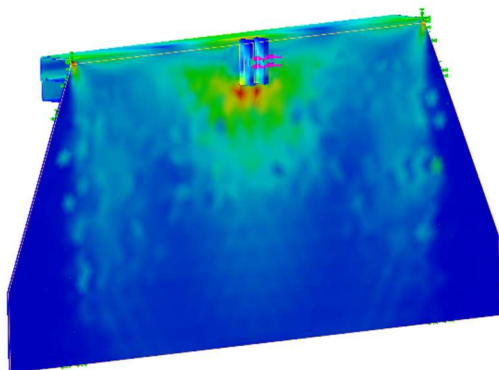
4.5 Lådlyft och -lås

När lådlyften (Figur 16) är i nedsänkt läge förs sopkärlet emot kippvagnen och man ser till att kärlets kant är över kammarna, som ska greppa kärlet. Efter detta kan tömningen påbörjas, lådlyften lyfter upp sopkärlet 400 mm innan tömningen börjar. Under tömningen kommer sopkärlets övre kant att vila mot den bockade kanten som syns nere på skoveln till höger i figur 16.



Figur 16 - Lådlyftens bak- och framsida, på baksidan syns spårn där profilerna passar in med motsvarande tappar.

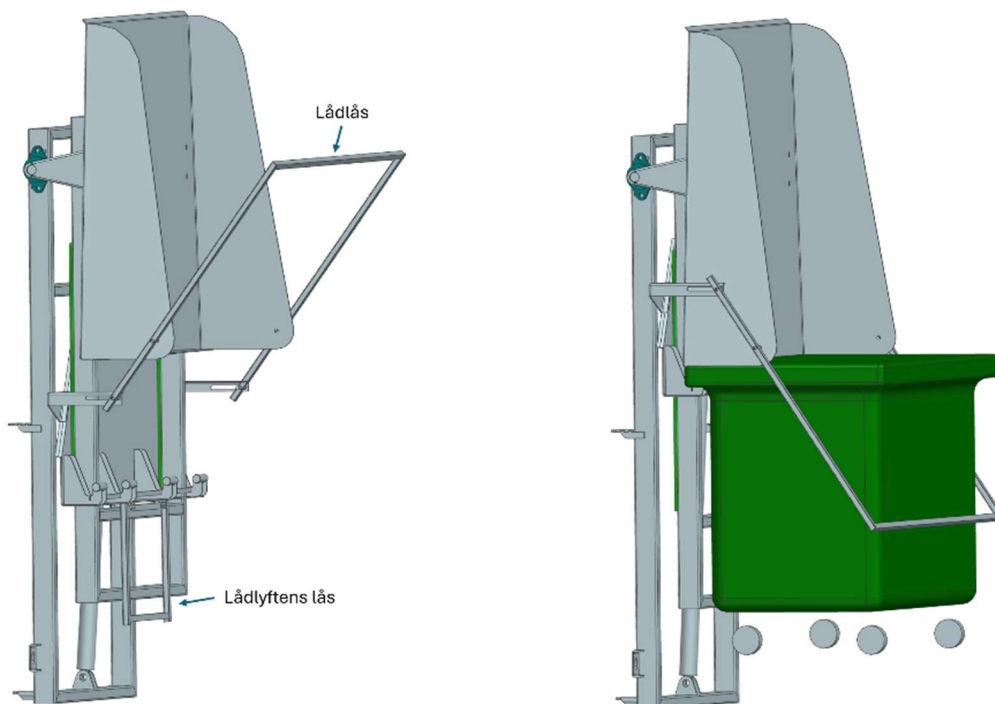
För att underlätta vid tillverkningen gjordes spår i plåten och motsvarande tapp på profilerna, på så sätt är det bara att plocka ihop och man slipper mäta. Samma metod användes för öronens fästning i kippvagnen.



Figur 17 - Den svagaste punkten på lådlyften markerad i rött.

Den svagaste punkten på lådlyften är vid cylinderns övre fäste och syns i figur 17 markerad i rött. Plåten är bockad i övre kanten och har en tjocklek på 4 mm. För att förstärka konstruktionen svetsades ett rör fast på framsidan under den övre kanten.

Lådlyften måste hållas i det övre, upplyfta läget under hela tömningen, annars lossnar sopkärlet från kammarna och åker i värsta fall ner i containern. Detta fick inte bli en alltför invecklad lösning som skulle vara beroende av exempelvis automation eller fjädrar. Automationen blir onödigt dyr att planera och tillverka och fjädrarna kan ge efter och sluta fungera över tid. Detta löstes enklast med ett gångjärn och gravitationskraft. Lådlyftens lås ses nere till vänster i figur 18. Detta lås faller in i kippvagnen direkt då tömningsvinkeln blir tillräcklig och hålls där under hela tömningen tills kippvagnen kommer ner tillbaka och låset faller ut av sig själv.

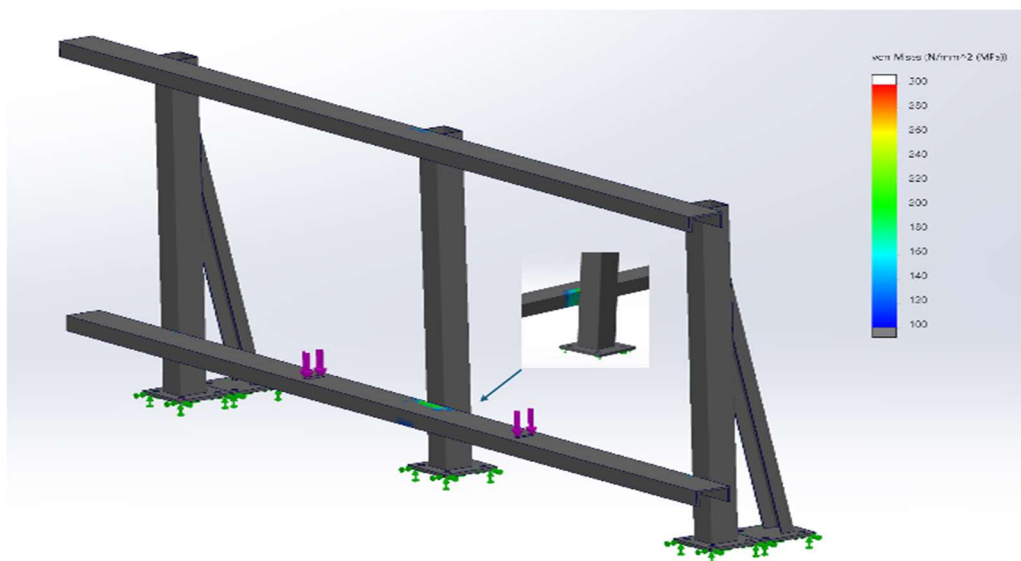


Figur 18 - Lådlåset och lådlyftens lås.

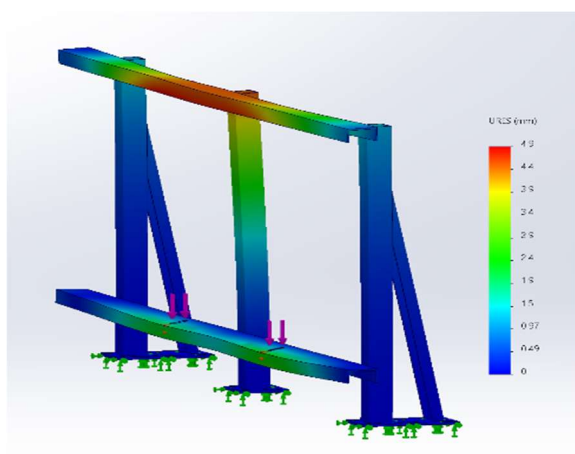
Som nämndes i kapitel 3.3 behövdes också ett lådlås (Figur 18) som hindrar sopkärlet från att lossna då rörelsen plötsligt stannar vid ändläget. Kamanordningen som lyfter sopkärlet håller fast kärlet mot en kant längst ner på skoveln, men för att undvika onödigt stora vridningar på sopkärlets kant konstruerades låset som en extra säkerhet, ingen vill hoppa ner i en container full med ruttna tomater för att hämta upp sopkärlet ifall det sliter sig. Här undveks också onödig automation och låset konstruerades på ett sådant sätt att det åker upp och ner med lådlyftens rörelse.

4.6 Staketet

Till staketstolparna användes rör med dimensionerna 80 mm x 80 mm x 3 mm. Eftersom stöd användes krävdes inte fullt så stora dimensioner på stolparna men ett sådant rör fanns färdigt i lager hos Erlands Product. Helheten blir också bättre om staketets stolpar är kraftigare än ramen. Med hjälp av stöd i tre av fem stolpar klarar dessa det maximala böjmomentet på 9,5 kNm som tömmaren ger upphov till. Stöd kunde inte användas på alla stolpar då en del av containern, som tidigare nämnts, når in över lastbryggan.



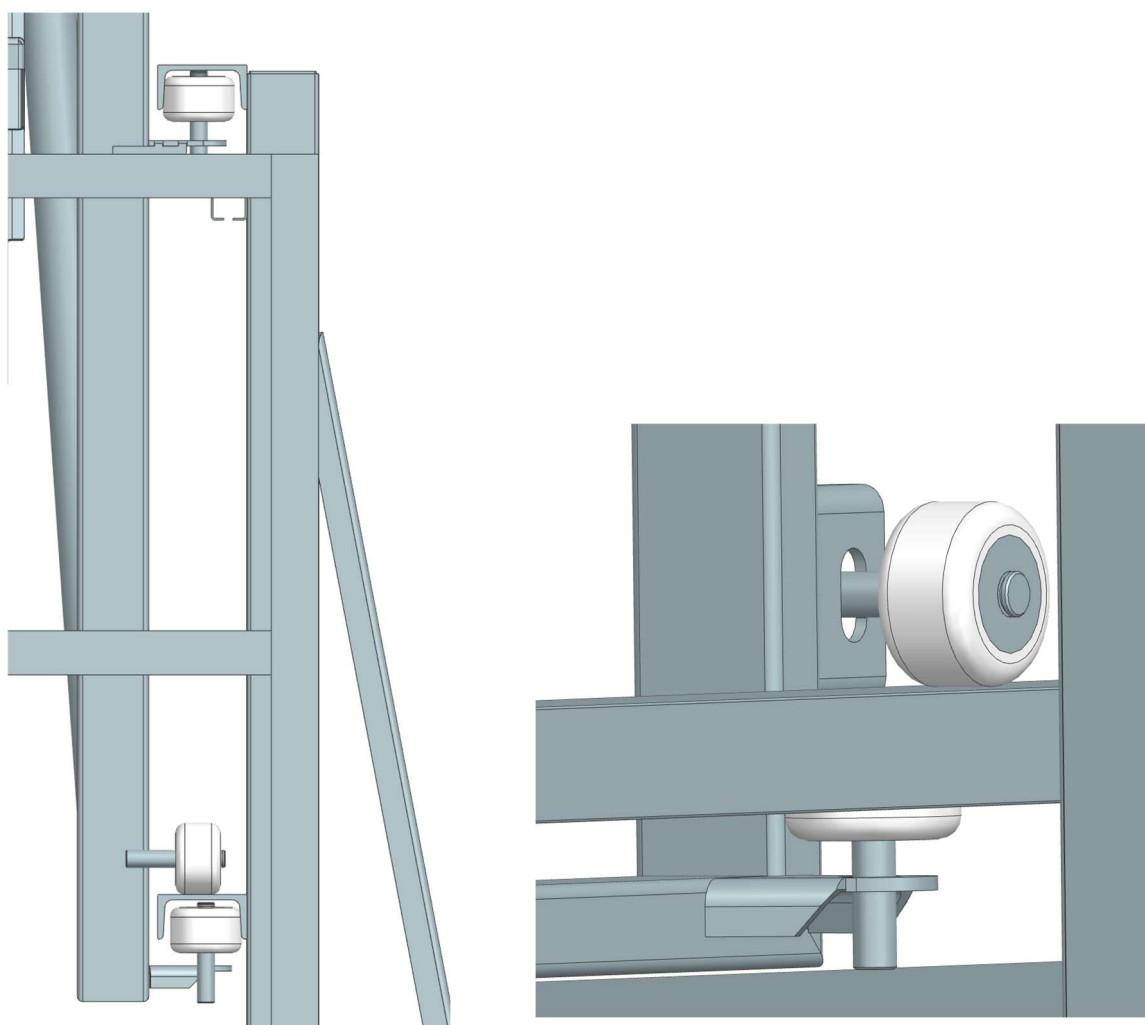
Figur 19 - FE-analys av delar av staketet, gjord i Solidworks. Materialet har en sträckgräns på 220 MPa. I figur 19 ses en FE-analys av staketet. Lokalt uppgår spänningarna över sträckgränsen på materialet, 220 MPa, men här har inte hela staketet modellerats och sträckgränsen får överskridas på små områden så det anses vara ok. Deformationen är förstärkt 10 gånger i figur 20 och man kan se att staketet kommer böjas ut 4,9 mm på mitten.



Figur 20 - Deformationen på staketet syns med en förstärkning på 10, staketet kommer böjas ut 4,9 mm som mest.

4.7 Infästning till staketet

Kärلتömmaren sitter fast i staketet med tre hjulpar (Figur 21), ett tar tyngden neråt, de andra två tar tyngden framåt och bakåt. Enligt beräkningar på stödkrafter och tyngden behövde de tre hjulparen ta ungefär lika mycket krafter vardera. Hjulen fanns redan i lager då dessa lämnat över från ett annat projekt, dimensionerna på hjulen var 76 mm i diameter och kullagren som gick att montera direkt klarade en statisk last på 5,5 kN, vilket var tillräckligt för kraften på ca. 4 kN som behövdes. Hjulen är gjorda av nylon och svarvade till rätt mått. Hjulens axlar fästes i ramen med olika hållare som gick att ställa i den riktning som behövdes.



Figur 21 - Här ser man de tre hjulparen som tar upp krafter i tre olika riktningar till vänster samt ställbara hållare åt hjulens axlar till höger.

4.8 Övriga detaljer

Eftersom tömmaren också tillverkades under konstruktionsskedet hade tillverkaren bättre översikt över andra detaljer som behövde konstrueras. I figursamlingen nedan (Figur 22) ser man några, av tillverkaren gjorda, tilläggsdetaljer.



Figur 22 - Figursamling med detaljer som tillverkaren konstruerat.

1. Stoppare på kippvagnen som hindrar att den åker för långt in mot ramen och lämnar i en sned vinkel.
2. Glidklossar som stabiliserar upp lådlyften i sidled.
3. Fästen till motorn och elskåpet.
4. Handtag för att enkelt kunna flytta kärltömmaren mellan containrarna och ett fjäderbelastat lås som hindrar att den glider iväg under tömning.
5. Glidklossar bakom lådlyften som hindrar den att åka undan då man för emot ett sopkärl.

5 Jämförelse mellan planerad och färdig produkt

En stor del av detta arbete var att följa med tillverkningen av kärltömmaren. Eftersom den tillverkades vartefter ritningar fanns tillgängliga fanns det många detaljer, både små och stora, som ändrades under arbetets gång. I detta kapitel presenteras några detaljer som skiljer sig i teori och verklighet. De största avvikelserna kan man se här under i figur 23, bland annat staketets höjd, som presenteras närmare i kapitel 5.6.



Figur 23 - Den färdiga produkten installerad hos beställaren.

5.1 Cylindern

Hastigheten på tömmaren är så hög i början och slutet att den bör regleras, detta beror på att cylindern har en väldigt snäv vinkel i början och slutet på tömningen, bara ca 3 grader. Vinkelhastigheten i början och slutet är mer än dubbelt högre jämfört med i mitten av tömningen och för att minska på hastigheten har en strypventil använts.

På cylinderns öron finns en smörjnippel som inte beaktades vid modelleringen, detta resulterade i att smörjnippeln måste tas bort då den tog i den ena balken vid lyft. Teoretiska och verkliga mått är oftast inte exakt samma, speciellt då man inte använder noggranna toleranser och konstruktionen är gjord av flera delar som ska fungera tillsammans. I detta

fall stämmer inte cylinderns fästen helt och då stämmer inte heller tömningsvinkeln, den går lite under 0° vid start, med stoppare som nämns i kapitel 4.8 fixades detta problem. När cylindern nådde plusläge blev vinkeln för snäv och den slog emot den ena balken. Detta löstes genom att förkorta cylinderns slaglängd med ca. 10 mm.

5.2 Lådlyftens lås och staketet

Lådlyftens lås hänger fritt när tömmaren är i nerfällt läge, när man för emot sopkärlet är det lätt att det knuffar in låset eftersom sopkärlens sidor kan bukta utåt. Sopkärlet hänger också mot den nedre kanten när det kommer ner efter tömning, vilket hindrar låset från att kunna falla ut av sig självt innan man sänker lådlyften. Ifall detta inte sker kommer låset att stoppa rörelsen innan nedsänkningen är klar och man får inte bort sopkärlet från tömmaren. För att säkerställa att sopkärlet inte hindrar låset från att falla ut gjordes en påbyggnad, markerad med rött i figur 24, som hindrar sopkärlet att komma för långt in.



Figur 24 - Påbyggnad som hindrar sopkärlet att komma för långt in mot kippvagnen och därmed hindra lådlyftens lås att falla ut efter tömning.

5.3 Tillgänglighet

Tillgänglighet är också något man måste ta i beaktande innan man konstruerar, både på material och övriga delar, som bultar, lager och cylinder. Materialet kan finnas på leverantörens listor men att få det levererat inom rimlig tid och till ett rimligt pris är kanske inte alltid möjligt, därför är det bra att kontrollera innan man konstruerar att materialet är

lättillgängligt och inte alltför dyrt. Här visade det sig att den planerade U-balken till staketet inte fanns i Finland, för att undvika långa leveranstider tillverkades en U-balk av bockad plåt. Detta medför att beräkningarna och FE-analysen på staketet inte gäller, den bockade profilen är svagare bland annat för att den består av mindre material.

Ett annat sätt att lösa problemet med tillgänglighet är att använda det som redan finns i lager så långt som möjligt.

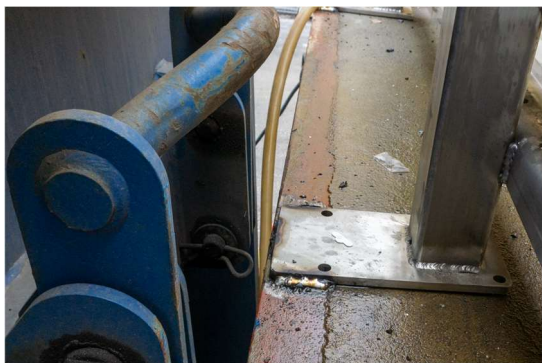
5.4 Tillverkningsmetoder

Som konstruktör är det viktigt att veta vilka maskiner och tillverkningsmetoder tillverkaren använder sig av. I detta fall blev bockade detaljer felkonstruerade på grund av att företaget hade en kantvikare och inte en kantpress. Följden blev att allt inte kunde bockas som planerat utan man var tvungna att kapa och svetsa vissa bockningar i stället.

5.5 Kommunikation

Kommunikation är alltid viktigt, det märktes när kärltömmaren skulle monteras hos kunden. Vid monteringen konstaterades att staketet var ca. 700 mm för högt, det hade blivit ett stort missförstånd mellan beställaren och mottagaren om hur högt staketet fick vara. Nu är det inte frågan om ett staket längre utan en skena. Detta är ett exempel på att det kan bli kostsamt då det blir fel i kommunikationen.

I detta fall har bland andra bilden i figur 6, men med insatta huvudmått, sänts till beställaren. Beställaren har godkänt dessa innan produktionen påbörjades men ändå blev det helt fel. Att försöka hitta någon syndabock är inte min uppgift, i stället tänker jag ta lärdom av detta och dubbelkolla allt med alla i fortsättningen.



Figur 25 - Skenans stolpar svetsades fast i lastbryggans framkant då bultning i betongen inte var möjlig.

Efter detta sänktes staketet och nya stöd med hjul (Figur 23) sattes på ramen för att kunna ta tyngden utåt. Någon hade också glömt berätta att lastbryggan var försedd med golvvärmslinga och montering med bultar i betongen var därmed inte en möjlighet, fötterna svetsades i stället fast i lastbryggans kant (Figur 25).

Eftersom tyngden av sopkärlet och kippvagnen aldrig kommer över på andra sidan skenan kunde det räcka med att svetsa fast skenans fötter i lastbryggans kant som består av en ingjuten profil på 100 x 60 mm. I slutet av tömningen är dock hastigheten ganska hög och rörelsen stannar plötsligt och det kommer att bryta loss hela konstruktionen med tiden. För att lösa detta problem fanns flera idéer och det vettigaste är att bygga om stolparna så att de även kan fästas i lastbryggans framsida.

5.6 Sammanfattning

Det var en hel del som skiljde sig och krävde ändringar, riktigt intressant hade det varit att se hur konstruktionen skulle sett ut i teorin om den inte tillverkats tillika. Här följer en lista på vad som ska uppdateras innan nästa kärltömmare kan konstrueras:

- Låddyften ska konstrueras om, övre cylinderfästet behöver bättre stöd och de sneda kanterna ska bort för att kunna inkludera lådlåsets skena bättre samt stabilisera upp konstruktionen.
- Skenan som för lådlåset upp och ner ska göras på ett sådant sätt att ingen skild skyddsplåt behövs.
- Tvåhandsgrepp ska användas vid tömningen.
- Nya beräkningar och ny säkerhetsbedömning bör göras på den slutliga versionen för att kunna CE-märka den.
- Bockade detaljer ska ses över för att säkerställa att företaget klarar av tillverkningen, alternativt utreda möjligheten att beställa dessa färdigt bockade.

6 Diskussion

Det var mycket intressant att kunna följa med under tillverkningen och få se hur lätt det är att man tänkt fel. Många misstag kunde undvikas från början tack vare egen tidigare erfarenhet men ändå blev det många missar att ta lärdom av.

Hela denna process med att först konstruera och att sen framställa allt i ett format som går att förstå av andra har varit mycket svårt, även om exempelvis 3D-modelleringen blev enklare vartefter då man hela tiden lärde sig nya saker i programmet. Att beräkna det mesta med hjälp av hållfasthetslära var en utmaning i sig, utmaningen låg i att jag inte hade någon att fråga då det uppstod problem, varken om beräkningarna eller 3D-modelleringen.

Det som ännu kunde ha gjorts är att dimensionera bland annat svetsarna mot utmattning men eftersom a-måttet blev så pass litet och den verkliga lasten kommer att vara ca fem gånger mindre än den beräknade så har detta inte gjorts. Beräkningarna är gjorda på en statisk last orsakad av ett 660 liters sopkärl som med säkerheten två vore som om att kärlet nästan är fyllt med vatten. Den verkliga användningen kommer dock att bestå av främst 240 liters kärl fyllda med bioavfall och 660 liters kärl fyllda med paff.

Den slutliga konstruktionen som till slut monterades hos beställaren fungerade som planerat och jag är nöjd med konstruktionen. Lite synd var det ju att det blev ett sådant stort missförstånd med höjden på staketet. Jag är ändå glad att jag fick vara med om detta och på så sätt påminnas om hur viktigt det är att alltid kontrollera allt noggrant samt att andra faktiskt förstår det man försöker visa.

Även om inga tester med max vikt har hunnits göra i detta skede tror jag ändå att allt kommer gå bra och den nya säkerhetsbedömningen inte kommer med några större överraskningar. Det som ännu kommer att bli intressant är att se på hur många olika sätt man kan använda kärltömmaren fel, sätt som jag inte kunnat förutse.

6.1 Vidareutveckling och nya versioner

Som med alla produkter finns det alltid något som kan förbättras, så även här, förslag på förbättringar har nämnts tidigare, exempelvis i kapitel 5.6. Olika versioner av denna tömmare går också att ta fram beroende på efterfrågan.

Denna kärltömmare kan användas på många ställen till olika containrar och sopkärl genom att göra små ändringar på den, bland annat lyfthöjden kan vara betydligt lägre och då räcker det med en enklare konstruktion som inte behöver göra ett stort lyft i början. Ifall den är fristående på hjul behöver den heller inte vara så tigt konstruerad och man slipper då många av problemen som uppstått i denna version. Vilken typ av sopkärl som ska tömmas bestämmer också mycket av detaljerna, allt detta går att specialtillverka enligt kundens behov och önskemål.

6.2 Slutord

Till slut vill jag tacka alla inblandade, speciellt Bo Erlands, Kjell Erlands och Mikael Antfolk på Erlands Product som jag bollat många idéer med under arbetets gång. Det var mycket givande att de trodde på mig och oftast godkände mina ritningar utan större diskussioner och klagomål, men de sade också stopp då något lät fel. Eftersom jag konstruerat och ritat tömmaren hemma och produktionen skett på annan ort var det behändigt att Mikael, som tillverkat tömmaren, löste problem och gjorde egna förbättringar på egen hand. På detta sätt fick jag också se hur de jobbar och tänker, det gav många nya idéer. Ett stort tack också till handledaren Kenneth Ehrström på Yrkeshögskolan Novia.

7 Litteraturförteckning

Arbetskyddsförvaltningen. (2007). Maskinsäkerhet.

ESAB. (2024). *OK Tigrod 316L*. Hämtat från ESAB AB:
https://esab.com/fi/eur_fi/products-solutions/product/filler-metals/stainless-steel/mig-wires-tig-rods-gmaw-gtaw/ok-tigrod-316l/

Europeiska unionens officiella tidning. (den 14.6.2023). *EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2023/1230*. Hämtat från EUR-Lex: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/HTML/?uri=CELEX:32023R1230#d1e40-1-1>

IKH. (2024). *IKH Webshop*. Hämtat från <https://www.ikh.fi/sv/oval-flans-35mm-skf-skfucfl207h>

Patentlag 550/1967. (1.1.1968). *Finlex*. Hämtat från www.finlex.fi 11.04.2024

PRH. (2024). *Frågor och svar*. Hämtat från Patent- och registerstyrelsen:
<https://www.prh.fi/sv/patentit/useinkysyttya.html>

SKF. (2019). Rullningslager.

Social- och hälsovårdsministeriet. (12.6.2008). *Statsrådets förordning om säker användning och besiktning av arbetsutrustning 2008/403*. Hämtat från www.finlex.fi

Social- och hälsovårdsministeriet. (29.12.2009). *Statsrådets förordning om maskiners säkerhet 2008/400*. Hämtat från www.finlex.fi

SSAB. (2011). *Plåthandboken - Att konstruera och tillverka i höghållfast stål*. Nyköping, Serige: Höglund Design Ab.

Stålbyggnadsinstitutet. (2017). *Dimensionering av konstruktioner i rostfritt stål*. Stockholm: SBI.

Suomen Standardoimisiitto SFS. (17.4.2020a). SFS-EN 840-1:2020:en Mobile waste and recycling containers. Part 1: Containers with 2 wheels with a capacity up to 400 l for comb lifting devices. Helsingfors, Finland.

Suomen Standardoimisiitto SFS. (17.4.2020b). SFS-EN 840-2:2020:en Mobile Waste and recycling containers. Part 2: Containers with 4 wheels with a capacity up to 1300 l with flat lid(s), for trunnion and/or comb lifting devices. Helsingfors, Finland.

Svenska Institutet för Standarder. (2024). *Vad är en standard?* Hämtat från Svenska Institutet för Standarder: <https://www.sis.se/standarder/vad-ar-en-standard/>

Tibnor. (2024). *Tibnor*. Hämtat från www.tibnor.se

Valtanen, E. (2022). *Tekniikan taulukkokirja*. Hyvinge: Genesis-Kirjat Oy.

Önskemål/ Krav	Specifikation
	<u>1. Geometri</u>
K	Kunna ta bredd upp till 1370 mm (standard 660 liter)
K	Kärlens höjd 860-1370 mm (standard 140-660 liter)
Ö	Icke standard kärl
	<u>rörlighet</u>
K	Kipphöjd 1400 mm
K	flyttbar
	<u>3. Krafter</u>
K	klara att lyfta minst $0.4 \text{ kg/dm}^3 \times 660 \text{ dm}^3 = 264 \text{ kg}$ (enl. Standard)
K	med en säkerhet på 2 =528 kg
	<u>4. Energitillförsel</u>
K	Elektrisk hydraulstyrning
Ö	Batteri
	<u>5. Material</u>
K	Utomhusbruk
	<u>Transport</u>
Ö	Får va hel konstruktion, behöver inte gå att ta i minder bitar
	<u>7. Säkerhet</u>
Ö	Dörrar framför
K	nödstopp
K	Säkerhet så den inte kan rasa ner ifall hydrauliken fallerar
K	Hållfastberäkningar
K	CE-märkning
K	Knappar med fjäderretur
Ö	tvåhandsgrepp
	<u>8. Produktion</u>
Ö	Så enkel som möjligt men lättare att sälja om den inte ser hembyggd ut
Ö	Använd samma tjockle/dimension på så många delar som möjligt
Ö	Laserskärda delar
	<u>10. Installation</u>
Ö	Elektriker installerar på plats
	<u>11. Operation</u>
K	Säker användning
	<u>12. Underhåll</u>
Ö	lätt att slippa till för underhåll av elmotor/hydraulik
Ö	Lätta att kontrollera oljenivå
	<u>13.Återvinning</u>
Ö	Ramen ska kunna återvinnas

Bilaga 2 -Felmodsanalys

Detaljnamn

Kärltömmare ERK

Utförd av

Tove Ahlkulla

Datum

22/01/2024

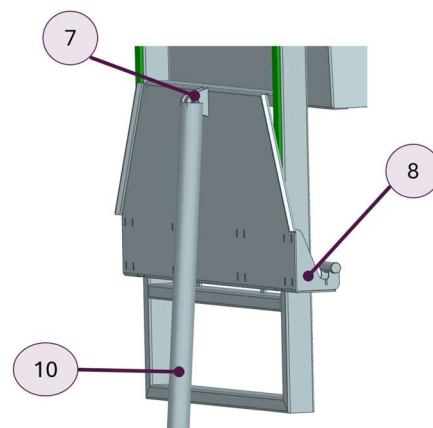
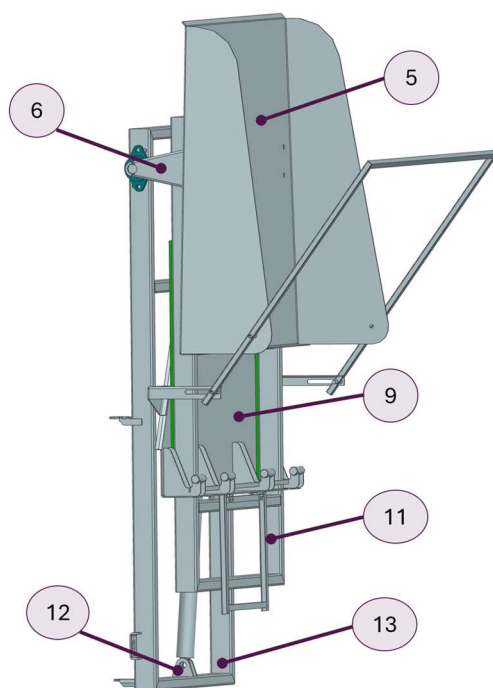
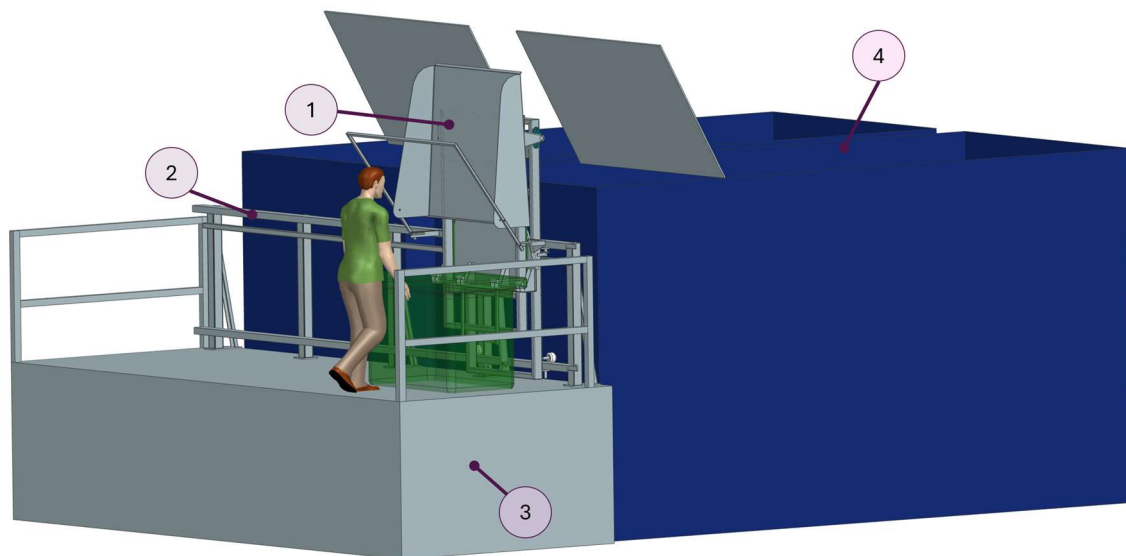
Nummer	Komponent/ operation/ huvudfunktion	Funktion	Felkarakteristik			Nuvarande tillstånd					Rekommenderade åtgärder
			Felmöjlighet	Feleffekt	Felorsak	Kontroll	Fel- sannolikhet	Allvarlighet	Upptäcks- sannolikhet	Risktal	
		Vad skall hända	Vad kan gå fel	Vad kunde hända om det inträffar	Vad kan orsaken vara	Vilka förbyggande kontrollåtgärder utförs idag?	Vad är sannolikheten att det inträffar och har denna orsak (1-10)	Hur allvarlig är skadan (1-10)	Vad är sannolikheten att inte upptäcka felet innan det inträffar (1-10)		
1	Elsystem/hydraulik	Lyfta och kippa kärlet	Systemfel	Börja brinna	Kortslutning	Installation utförs av eltekniker	1	5	7	35	Endast kunnig och erfaren personal används vid installation, regelebundna kontroller
2			Överbelastning	Slutar lyfta	Felanvändning	Skyltar med maxvikt	2	3	3	18	
4	Konstruktionen	Hålla last	Överbelastning	materialhaveri	Felanvändning	Skyltar med maxvikt	2	8	3	48	
5	Användningen	tömma innehållet	bli klämd mellan kärl och konstruktion	Personskada	Oaktsamhet	Operationsenheten så långt ifrån att man inte slipper dit	2	9	2	36	
6			klämrisk, rörliga delar	Personskada	Oaktsamhet	skyddsplåtar	2	7	2	28	
7			fallande last	Personskada	Oaktsamhet	Operationsenheten så långt ifrån att man inte slipper under lasten	2	9	2	36	
8	Staketet	transportera och bära konstruktionen	bucklas	förflyttning av konstruktionen försvåras eller förhindras	försök att tömma kärlet med truck	personalen har meddelats att inag trucka ska användas vid tömning	1	4	2	8	
9			lossna från golvet	Staketet lossnar och välter	överbelastning	Skyltar med maxvikt	1	9	2	18	

Skala	Allvarlighet	Felsannolikhet	Upptäcktssannolikhet
9-10	Katastrofal	Ofta förekommande	Svårupptäckt och uppmärksammas inte
6-8	Betydande	Vanligt	Upptäcks efter att det inträffat
3-5	Måttlig	Ovanligt	Upptäcks kanske
1-2	Försumbar	Sällsynt	Felet upptäcks nästan säkert

Risktal	Riskenivå	Åtgärd
720-1000	Extrem	Måste åtgärdas
480-720	Markant	Bör åtgärdas för minskning
320-480	Allvarlig	Bör åtgärdas genom kontroll, överväg minskning
140-320	Måttlig	Bör åtgärdas genom kontroll om kostnadseffektivt, överväg minskning
1-140	Låg	Överväg

Benämningar

Här presenteras benämningar på kärltömmarens olika delar för att lättare kunna förstå texten i examensarbetet. Benämningarna presenteras med bilder och numreringar.



1. Kärltömmaren
2. Staketet
3. Lastbryggan
4. 2 st containrar
5. Skoveln på kippvagnen
6. Kippvagnens fästörön
7. Cylinderns övre fäste

8. Lådlyftens profiler
9. Lådlyft
10. Cylinder
11. Kippvagn
12. Cylinderns nedre fäste
13. Ramen

Beräkningar för kärltömmare ERK-1000-2024

Tove Ahlkulla
28.03.2024

Cylindern

inbyggnadsmått: $L_{min} := 1110 \text{ mm}$

kolvens diameter: $D := 50 \text{ mm}$

slaglängd: $slag := 900 \text{ mm}$

stångens diameter: $d := 30 \text{ mm}$

$$L_{max} := L_{min} + slag = 2010 \text{ mm}$$

hydraulikaggregatet

Konstruktionen

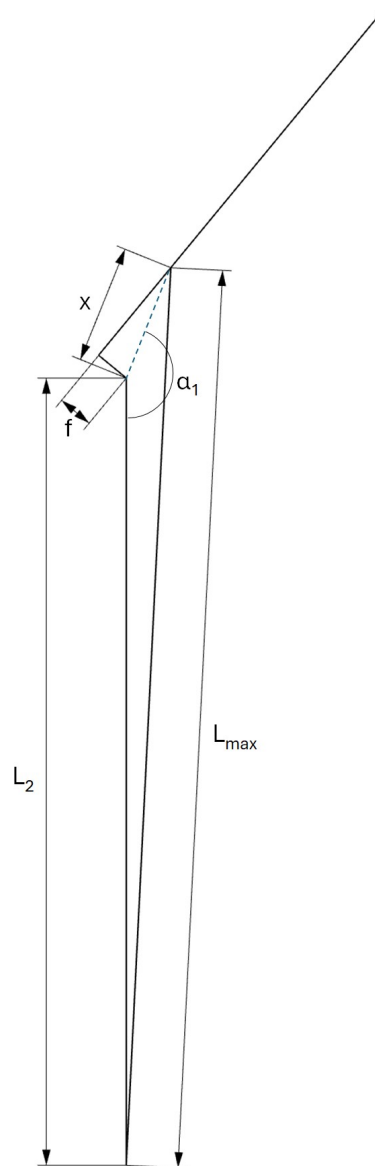
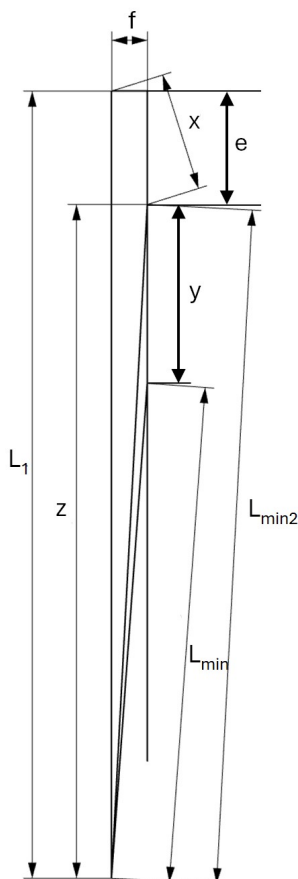
motorns effekt: $P := 2200 \text{ W}$

lyfthöjd $f := 78 \text{ mm}$

arbetstryck: $p := 200 \text{ bar}$

lyfthöjd $y := 400 \text{ mm}$

flöde: $Q := 6.5 \frac{\text{l}}{\text{min}}$



motsvarar z-måttet i figuren innan lyft

$$g := \sqrt{L_{min}^2 - f^2} = 1107.26 \text{ mm}$$

cylinderns längd efter lyft

$$L_{min2} := \sqrt{f^2 + (g + y)^2} = 1509.27 \text{ mm}$$

$$z := \sqrt{L_{min2}^2 - f^2} = 1507.26 \text{ mm}$$

$$\alpha_1 := 157 \text{ deg}$$

Jämviktsekvation för att få fram $L_1 = L_2$

$$L_1(x) := \sqrt{x^2 - f^2} + z$$

$$L_2(x) := \sqrt{x^2 \cdot \cos(\alpha_1)^2 + L_{max}^2 - x^2} + x \cdot \cos(\alpha_1)$$

Guess Values	$x := 300 \text{ mm}$
Constraints	$L_1(x) = L_2(x)$
Solver	$x := \mathbf{find}(x) = 266.45 \text{ mm}$

$$L_2 := L_2(x) = 1762.03 \text{ mm}$$

$$x = 266.45 \text{ mm}$$

$$e := \sqrt{x^2 - f^2} = 254.78 \text{ mm}$$

$$L_{cyl} := L_{min2}, L_{min2} + 1 \text{ mm} .. L_{max} = \begin{bmatrix} 1.51 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ m}$$

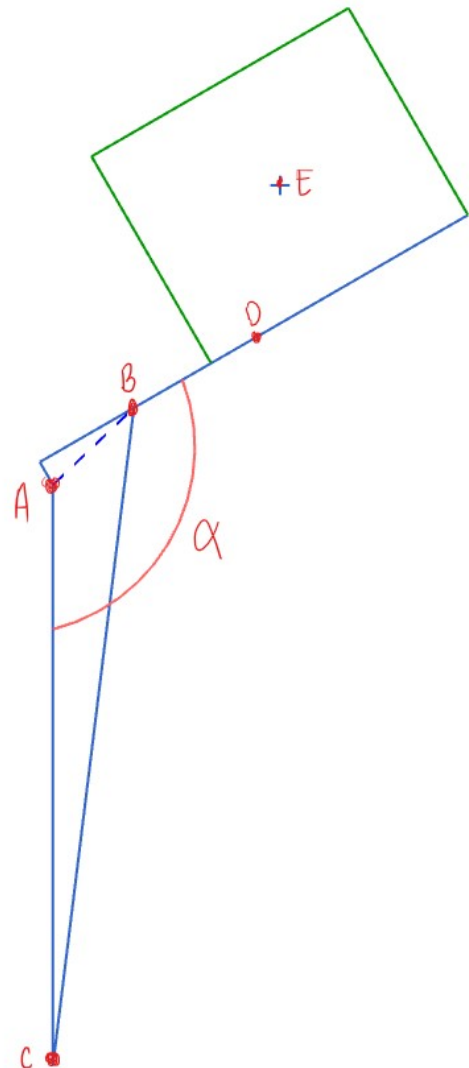
$$L_{AC} := L_2$$

$$L_{AB} := x$$

$$L_{BC} := L_{cyl} = \begin{bmatrix} 1509.27 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ mm}$$

$$\alpha_{Be} := \text{atan}\left(\frac{f}{e}\right) = 17.02 \text{ deg}$$

$$\alpha := \alpha_1 - \alpha_{Be} = 139.98 \text{ deg}$$



vinklar vid punkterna A, B och C

$$\alpha_A := \arccos\left(\frac{x^2 + (L_2^2 - L_{cyl}^2)}{2 \cdot L_2 \cdot x}\right) = \begin{bmatrix} 17.02 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ deg}$$

$$\alpha_B := \arccos\left(\frac{x^2 + (L_{cyl}^2 - L_2^2)}{2 \cdot L_{cyl} \cdot x}\right) = \begin{bmatrix} 160.02 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ deg}$$

$$\alpha_C := -\arccos\left(\frac{x^2 - (L_{cyl}^2 + L_2^2)}{2 \cdot L_2 \cdot L_{cyl}}\right) + \pi = \begin{bmatrix} 2.96 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ deg}$$

tömningsvinkel

$$\alpha := \alpha_A - \alpha_{Be} = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ deg}$$

cylinderns hastighet och kraft

$$A_{plus} := \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 1963.5 \text{ mm}^2$$

$$v_{plus} := \frac{Q}{A_{plus}} = 3.31 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$A_{minus} := \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} = 1256.64 \text{ mm}^2$$

$$v_{minus} := \frac{Q}{A_{minus}} = 5.17 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

total tid för tömning

$$t_1 := \frac{\text{slag}}{v_{plus}} = 16.31 \text{ s} \quad t_2 := \frac{\text{slag}}{v_{minus}} = 10.44 \text{ s}$$

$$\text{tid} := t_1 + t_2 = 26.75 \text{ s}$$

$$P_{hyd} := p \cdot Q = 2166.67 \text{ W}$$

$$F_{cylinder} := p \cdot A_{plus} = 39.27 \text{ kN}$$

Krafter som sopkärlet och konstruktionen ger upphov till

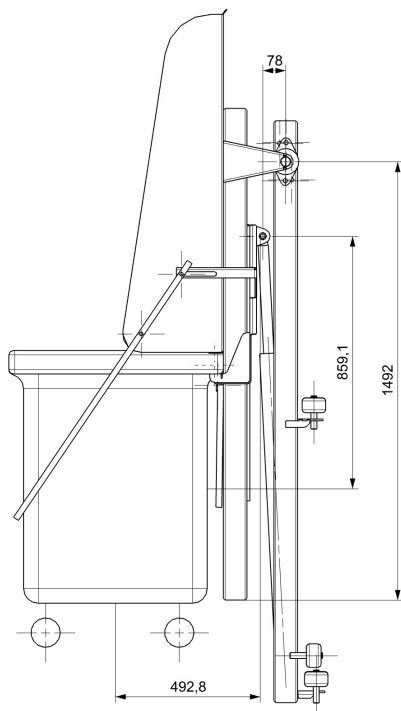
tunnans massa: $m_t := 0.4 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \cdot 660 \text{ L} = 264 \text{ kg}$

kippvagnens massa: $m_v := 15 \text{ kg}$

säkerheten $\eta := 2$ $\eta \cdot m_t = 528 \text{ kg}$

tunnans tyngd $F_t := \eta \cdot m_t \cdot g = 5.18 \text{ kN}$

kippvagnens tyngd $F_v := \eta \cdot m_v \cdot g = 0.29 \text{ kN}$

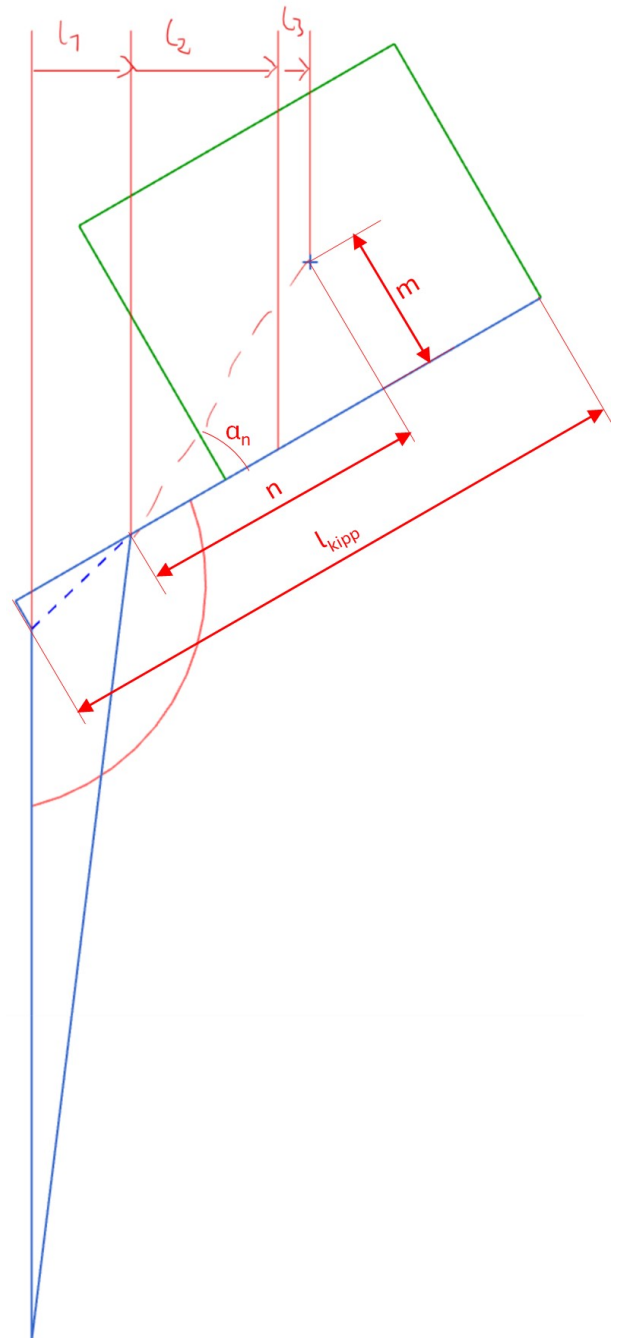


mått från ritning

$$l_{kipp} := 1492 \text{ mm}$$

$$n := 859 \text{ mm}$$

$$m := 492 \text{ mm}$$



$$l_{BD} := \frac{l_{kipp}}{2} - e = 0.49 \text{ m}$$

$$\alpha_n := \text{atan}\left(\frac{m}{n}\right) = 29.8 \text{ deg}$$

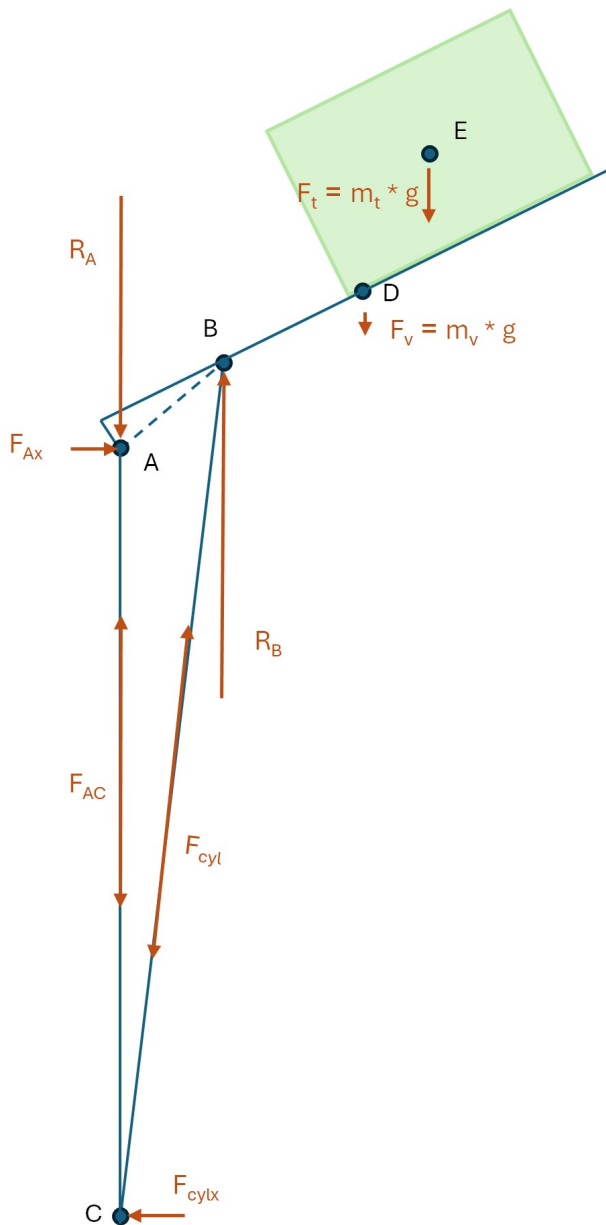
$$l_{BE} := \sqrt{n^2 + m^2} = 0.99 \text{ m}$$

avstånd för beräkning av moment och stöd krafter

$$l_1 := \sin(\alpha_A) \cdot x = \begin{bmatrix} 78 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ mm}$$

$$l_2 := \sin(\alpha) \cdot l_{BD} + l_1 = \begin{bmatrix} 78 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ mm}$$

$$l_3 := \sin(\alpha + \alpha_n) \cdot l_{BE} + l_1 = \begin{bmatrix} 570 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ mm}$$



Kraftberäkningar

$$R_B := \frac{F_t \cdot l_3 + F_v \cdot l_2}{l_1} = \begin{bmatrix} 38.13 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$F_{zmax} := \max(R_B) = 38.13 \text{ kN}$$

$$F_{cyl} := \frac{R_B}{\cos(\alpha_C)} = \begin{bmatrix} 38.18 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$F_{cylmax} := \max(F_{cyl}) = 38.18 \text{ kN}$$

$$R_A := R_B - F_t - F_v = \begin{bmatrix} 32.66 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$F_{AC} := \max(R_A) = 32.66 \text{ kN}$$

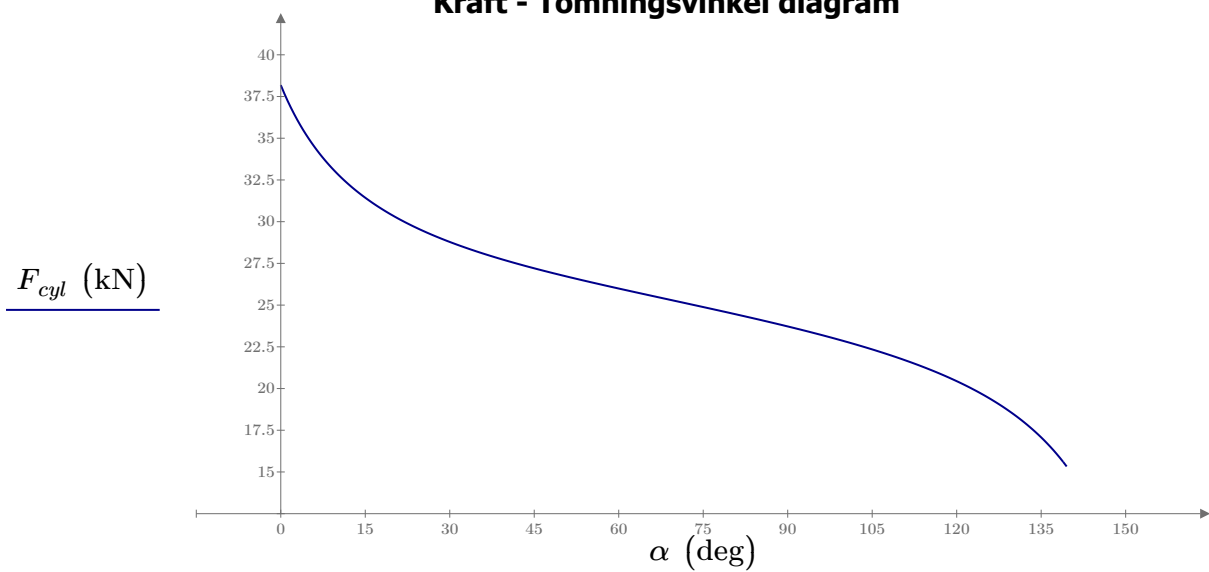
$$F_{cylx} := \sqrt{F_{cyl}^2 - R_B^2} = \begin{bmatrix} 1.97 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$F_{cylxmax} := \max(F_{cylx}) = 3.93 \text{ kN}$$

$$F_{Ax} := F_{cylxmax} = 3.93 \text{ kN}$$

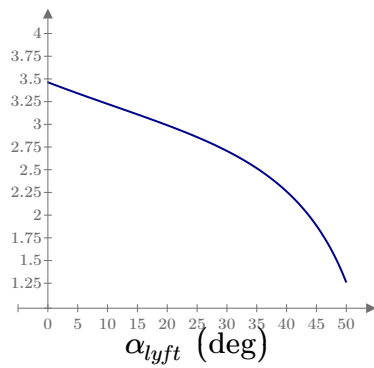
$$F_{Cz} := F_{zmax} - F_{AC} = 5.47 \text{ kN}$$

Kraft - Tönningsvinkel diagram



kraften på lådlyften

$$\alpha_{lyft} := -90 \text{ deg}, -89.72 \text{ deg}..50 \text{ deg} = \begin{bmatrix} -1.57 \\ \vdots \end{bmatrix} F_{lyft} := \frac{F_{cylx}}{\cos(\alpha_{lyft})} = \begin{bmatrix} \vdots \\ 16.73 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ kN}$$



som mest utsätts lådlyften för $F := 4 \text{ kN}$

$$\sigma_{rst} := 220 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Materialet på låsningen behöver ha följande area för att klara lasten:

$$A := \frac{F}{\sigma_{rst}} = 18.18 \text{ mm}^2$$

Staketet som bär kärltömmaren

utöver tidigare massor så finns också Konstruktionens massa: $m_k := 200 \text{ kg}$

Konstruktionens tyngd: $F_k := m_k \cdot g = 1.96 \text{ kN}$

mått från konstruktionsritning

vertikalt

horisontellt

$$l_{AC} := L_2 = 1762.03 \text{ mm}$$

$$l_{GA} := 55 \text{ mm}$$

$$l_{CG} := 950 \text{ mm}$$

$$l_{HA} := 145 \text{ mm}$$

$$l_{CH} := 50 \text{ mm}$$

$$l_{FC} := 65 \text{ mm}$$

$$l_{GH} := l_{CG} - l_{CH} = 900 \text{ mm}$$

$$l_{IJ} := 197 \text{ mm}$$

$$l_{AH} := l_{AC} - l_{CH} = 1712.03 \text{ mm}$$

$$l_{KJ} := 138 \text{ mm}$$

$$l_{LI} := 56 \text{ mm}$$

$$l_{AG} := l_{AC} - l_{CG} = 812.03 \text{ mm}$$

$$l_{LF} := 90 \text{ mm}$$

$$l_{CF} := 100 \text{ mm}$$

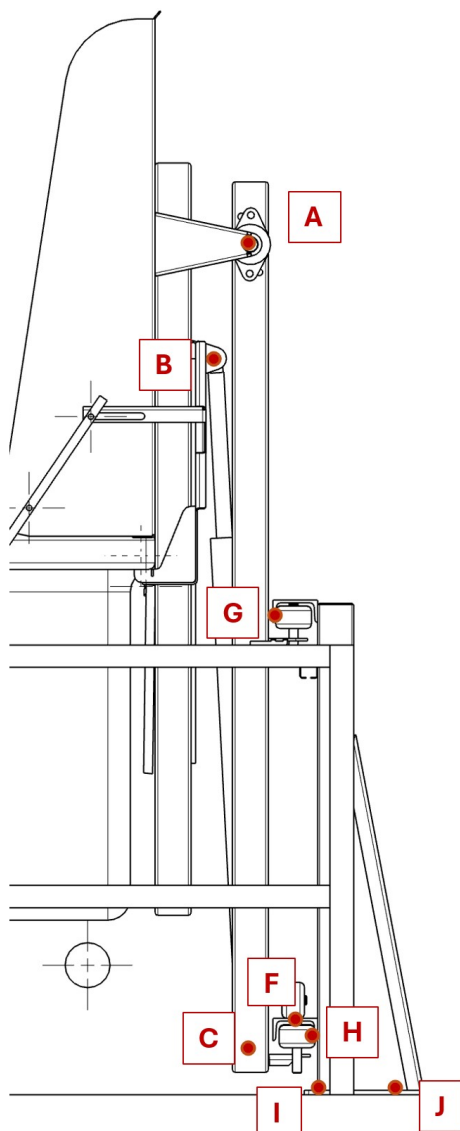
$$l_{AF} := l_{AC} - l_{CF} = 1662.03 \text{ mm}$$

$$l_{IH} := 150 \text{ mm}$$

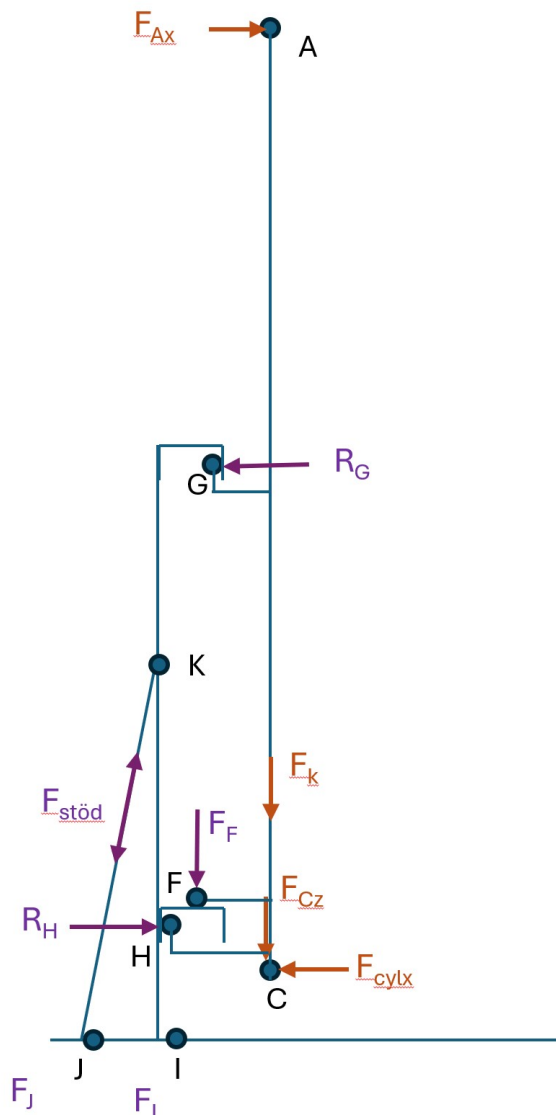
$$l_{IG} := l_{IH} + l_{GH} = 1050 \text{ mm}$$

$$l_{GK} := 330 \text{ mm}$$

$$l_{HK} := 580 \text{ mm}$$



Moment och krafter på staketet



staketfäste uppe, G

moment medsols runt G

konstruktionen, kippvagn och soptunna:

$$M_{Gk} := (F_k - F_{Cz}) \cdot l_{GA} = -0.19 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

från C: $M_{Gc} := F_{cylxmax} \cdot l_{CG} = 3.74 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Från A: $M_{Ga} := F_{Ax} \cdot l_{AG} = 3.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Stödkraften på H

$$R_H := \frac{M_{Gk} + M_{Gc} + M_{Ga}}{l_{GH}} = 7.49 \text{ kN}$$

staketfäste nere, H

moment medsols runt H

konstruktionen, kippvagn och soptunna:

$$M_{Hk} := (F_k - F_{Cz}) \cdot l_{HA} = -0.51 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

från C $M_{Hc} := F_{cylxmax} \cdot l_{CH} = 0.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Från A $M_{Ha} := F_{Ax} \cdot l_{AH} = 6.74 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Stödkraften på G

$$R_G := \frac{-M_{Hk} - M_{Hc} - M_{Ha}}{l_{AG}} = -7.91 \text{ kN}$$

Tyngden på staketet, F

$$F_F := F_k + F_v + F_t = 7.43 \text{ kN}$$

Motorns tyngd är medräknad i konstruktionens vikt, den borde egentligen minska aningen på stödkraften i H och G då den nu är placerad på andra sidan staketet.

Drag kraften i stödet: moment medsols runt K

$$M_K := F_F \cdot l_{LF} + R_G \cdot l_{GK} + R_H \cdot l_{HK} = 2.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$F_{xstöd} := \frac{M_K}{l_{KJ} \cdot 2} = 8.7 \text{ kN}$$

$$F_{stöd} := \frac{F_{xstöd}}{\cos(11 \text{ deg})} = 8.87 \text{ kN}$$

Drag kraften i bultar:

$$F_J := F_{xstöd} \quad \text{per bult} \quad F_{bult} := \frac{F_J}{2} = 4.35 \text{ kN}$$

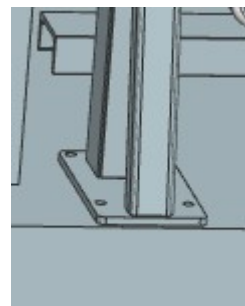
Skrubar - Staket i betong

$$\text{säkerhetsfaktor } 2 \quad n := 2$$

$$F_{td} := n \cdot F_{bult} = 8.7 \text{ kN}$$

Exempelvis M12 expanderbult klarar 8.8 kN

<https://www.fast-fastening.com/fast/IboxServlet?p=IXK090&AID=287875>



Skrubar - lagerbock i ram

$$\begin{aligned} \text{säkerhetsfaktor} & n := 1.5 \\ \text{bultens brottgräns} & f_{buk} := 800 \text{ MPa} \\ & \gamma_M := 1.25 \\ & \gamma_n := 1.2 \end{aligned}$$

Kraft per lagerbock

$$F_{td} := \frac{n \cdot F_{AC}}{2} = 24.5 \text{ kN}$$

Arean som behövs för att ta
kraften

$$A_s := \frac{F_{td} \cdot \gamma_n \cdot \gamma_M}{0.6 f_{buk}} = 76.55 \text{ mm}^2$$

skruvens lastbärande area M14
(TTK)

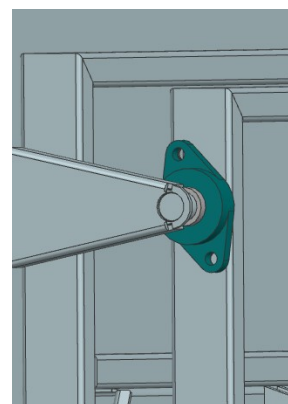
$$A_{m14} := 115 \text{ mm}^2$$

$$\text{antal} := \frac{A_s}{A_{m14}} = 0.67$$

Åtdragningsmoment M14 8.8

$$M := 128 \text{ N} \cdot \text{m}$$

källa:
<https://swebolt.se/wp-content/uploads/2022/06/monteringsmoment.pdf>



hålkantflytning

plåthandboken 4:55

Brottgräns $f_{uk} := 500 \text{ MPa}$ Plåttjocklek $t := 3 \text{ mm}$ skruvens diameter $d := 12.2 \text{ mm}$ $F_{td} = 24.5 \text{ kN}$

$$\text{Klarar } F := \frac{2.5 \cdot f_{uk} \cdot d \cdot t}{2 \cdot \gamma_M \cdot \gamma_n} = 15.25 \text{ kN per hål}$$

$$F > \frac{F_{td}}{2} = 1$$

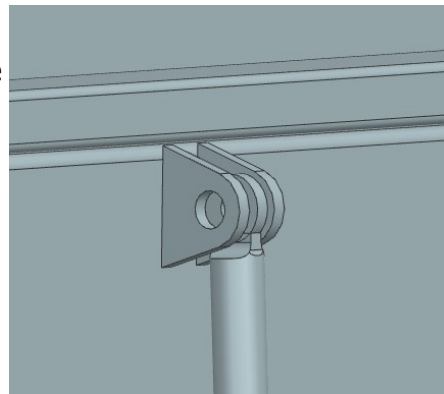
Svetsförband

Nödvändigt a-mått på svetsfog, laddlyften cylinderfäste

skjuvspänningar i tömningens början

kraften i cylindern i en vinkel på

$$F := F_{cylmax} = 38.18 \text{ kN} \quad \alpha_{C_0} = 2.96 \text{ deg}$$



ger parallellt kraft på svetsarna:

$$F_{parallell} := R_{B_0} = 38.13 \text{ kN}$$

Vinkelrät kraft

$$F_{vinkel} := F \cdot \sin(\alpha_{C_0}) = 1.97 \text{ kN}$$

svetsen utsätts för skjuvspänning parallellt med svetsen och vinkelrätt mot svetsens kraftbärande area

$$(1) \quad \tau_{para} = \frac{F_{parallell} \cdot \gamma_F \cdot \gamma_n}{A_w}$$

$$(2) \quad \sigma_{vinkel} = \frac{F_{vinkel}}{\sqrt{2} \cdot A_w}$$

$$\begin{aligned} l_{eff} &:= 80 \text{ mm} \\ f_{uk} &:= 500 \text{ MPa} \\ \gamma_F &:= 1.1 \\ \gamma_M &:= 1.25 \\ \gamma_n &:= 1.2 \end{aligned}$$

$$(3) \quad A_w = 2 \cdot a \cdot l_{eff}$$

$$(4) \quad \tau_{vinkel} = \sigma_{vinkel}$$

$$(5) \quad \sqrt{\sigma_{vinkel}^2 + 3 \cdot (\tau_{vinkel}^2 + \tau_{para}^2)} \leq \frac{f_{uk}}{\gamma_M \cdot \gamma_n}$$

ekvation 1-5 kombineras och a söks ur ekvationen:

$$\sqrt{\left(\frac{F_{vinkel}}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot a \cdot l_{eff}}\right)^2 + 3 \cdot \left(\left(\frac{F_{vinkel}}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot a \cdot l_{eff}}\right)^2 + \left(\frac{F_{parallell} \cdot \gamma_F \cdot \gamma_n}{2 \cdot a \cdot l_{eff}}\right)^2\right)} = \frac{f_{uk}}{\gamma_M \cdot \gamma_n} \xrightarrow{\text{solve, a, explicit}} \left[\begin{array}{l} -\sqrt{12 \cdot F_{parallell} \cdot F_{vinkel}} \\ \sqrt{12 \cdot F_{parallell} \cdot F_{vinkel}} \end{array} \right]$$

$$a := \frac{\sqrt{12 \cdot F_{parallell}^2 \cdot f_{uk}^2 \cdot l_{eff}^2 \cdot \gamma_F^2 \cdot \gamma_M^2 \cdot \gamma_n^4 + 8 \cdot F_{vinkel}^2 \cdot f_{uk}^2 \cdot l_{eff}^2 \cdot \gamma_M^2 \cdot \gamma_n^2}}{4 \cdot f_{uk}^2 \cdot l_{eff}^2} = 1.64 \text{ mm}$$

Inga avdrag för ändkrattar gjorda då svetsen går runt hörnen

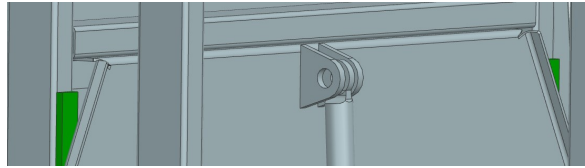
Materialens dimensionering

Böjmotstånd på cylinderfästet Uppe, lådlyft

$$l := 850 \text{ mm}$$

$$M_b := \frac{24 \text{ kN} \cdot l}{4} = 5100 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$W_b := \frac{M_b}{\sigma_{rst}} = 23.18 \text{ cm}^3$$



Här används ett rör som förstärkning utöver den bockade kanten

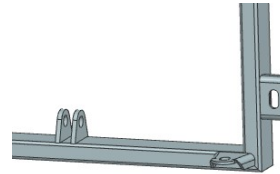
Böjmotstånd på cylinderfästet nere

$$F_{cylmax} = 38.18 \text{ kN}$$

$$l := 900 \text{ mm}$$

$$M_b := \frac{F_{cylmax} \cdot l}{7} = 4909.35 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$W_b := \frac{M_b}{\sigma_{rst}} = 22.32 \text{ cm}^3$$



blandning mellan fall 1 och 24 i TTK

Böjmotstånd på använt konstruktions rör 80 x 40 x 3 i y-plan

$$W_{y_{80x40}} := 8.78 \text{ cm}^3$$

källa:
Tibnor - Rostfria konstruktionsrör PDF

clear (l)

$$l := W_{y_{80x40}} = \frac{\frac{F_{cylmax} \cdot l}{7}}{\sigma_{rst}} \xrightarrow{\text{solve, l, explicit}} \frac{7 \cdot W_{y_{80x40}} \cdot \sigma_{rst}}{F_{cylmax}}$$

stöd sätts in för att minska avståndet till $l = 354.11 \text{ mm}$

Staketets stolpar och stöd

vikten fördelas på tre staketstolpar, två med stöd och en utan

$$\text{arean som behövs på stöden} \quad A := \frac{F_{stöd}}{\sigma_{rst}} = 40.3 \text{ mm}^2$$

$$\text{Arean på stöden som är bockade av 4 mm plåt} \quad 150 \text{ mm} \cdot 4 \text{ mm} = 600 \text{ mm}^2$$

böjmoment på 1 st 80 x 80 x 3 $W_{b_{80x80}} := 22 \text{ cm}^3$

$$M_{b_{stolpe}} := R_H \cdot l_{IH} - R_G \cdot l_{IG} = 9.43 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Böjmotstånd som krävs om all vikt skulle tas av en enda stolpe $W_{b_{stolpe}} := \frac{M_{b_{stolpe}}}{\sigma_{rst}} = 42.87 \text{ cm}^3$

Böjmotstånd på kippvagnen

längd från cylinderfäste till mittpunkt av lasten, n , detta gäller när kippvagnen är i 90 grader i förhållande till ramen

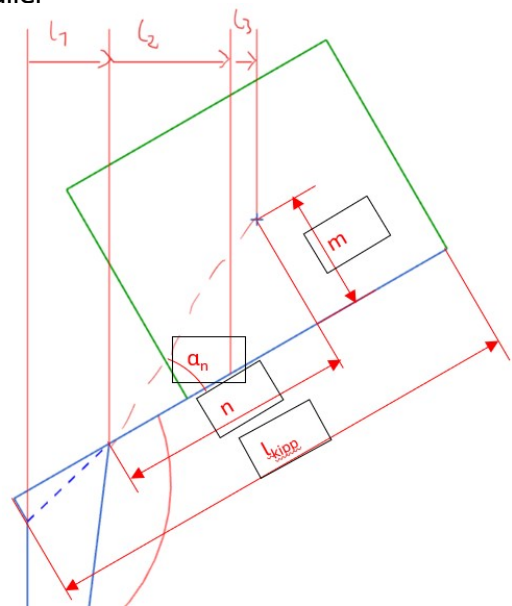
$$n := 859 \text{ mm} \quad F_t = 5.18 \text{ kN}$$

$$M_b := F_t \cdot n = 4447.83 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$R_{p2.0} := \sigma_{rst} = 220 \text{ MPa}$$

antal rör $n := 2$

$$W_b := \frac{M_b}{R_{p2.0} \cdot n} = 10.109 \text{ cm}^3 \quad W_{x_{80x40}} := 13.10 \text{ cm}^3$$

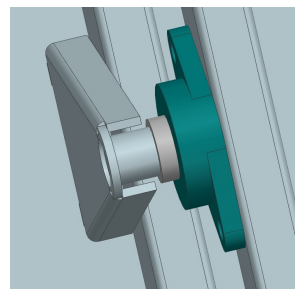


böjmotstånd och skjuvning på axel

$$F := \frac{F_{AC}}{2} = 16.33 \text{ kN}$$

$$d := 35 \text{ mm}$$

$$M_b := F \cdot 20 \text{ mm}$$



minsta böjmotstånd som krävs

$$W_b := \frac{M_b}{\sigma_{rst}} = 1484.58 \text{ mm}^3$$

böjmotstånd för 35 mm axel

$$W_b := \frac{\pi \cdot d^3}{32} = 4209.24 \text{ mm}^3$$

$$A := \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = 962.11 \text{ mm}^2$$

$$\tau := \frac{F_{AC}}{A} = 33.95 \text{ MPa}$$

Dragkraft i ramens rör F_{AC}

$$A_{AC} := \frac{F_{AC}}{\sigma_{rst}} = 148.46 \text{ mm}^2$$

arean på 80*40*3 röret = 661 mm²

kontakttryck cylinderfäste - axel

s.368 TTK fall 6

$$D_1 := 25 \text{ mm} \quad D_2 := 24.9 \text{ mm} \quad E := 210 \text{ GPa} \quad F := F_{cylmax} = 38.18 \text{ kN}$$

$$L := 20 \text{ mm}$$

$$p_0 := 0.591 \cdot \sqrt{\frac{F \cdot E \cdot (D_1 - D_2)}{L \cdot D_1 \cdot D_2}} = 149.99 \text{ MPa}$$

Tumregeln ger:

$$k_H := 0.5 \text{ MPa}$$

$$HB := \frac{p_0}{k_H \cdot 10} = 30$$

Bra bit under 200 HB som är ungefärlig hårdhet på rostfritt