

Förnyande av ADR-tillverkningstillstånd

Marcus Wikblom

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Maskin- och produktionsteknik

Vasa 2025

EXAMENSARBETE

Författare: Marcus Wikblom
Utbildning och ort: Maskin- och produktionsteknik, Vasa
Inriktning: Maskinkonstruktion
Handledare: Mikael Tätting (Novia), Kim Svanbäck (Juro-Clean)

Titel: Förnyande av ADR-tillverkningstillstånd

Datum: 17.04.2025 Sidantal: 37 Bilagor: 1

Abstrakt

Det här examensarbetet har gjorts på uppdrag av Oy Juro-Clean Ab, ett Nykarlebybaserat företag som tillverkar renhållningsfordon i form av vakuum-trycktankar. Företagets produktutbud omfattar bland annat högtryckssugaggregat, kombiaggregat och torrsugaggregat.

Uppdraget var att undersöka kraven som ställs enligt lagstiftningen för tillverkningstillstånd av fordon avsedda för transport av farligt gods samt att kontrollera och bevisa att vakuumtrycktankarna konstrueras enligt dessa krav. Kraven som ska följas angår konstruktion, tillverkning och inspektion.

I detta arbete behandlas teoretisk kunskap angående transport av farliga ämnen, hållfasthetslära, materialanvändning, svetsbeteckning och 3D-modellering. Metoder som har använts under arbetets utförande är diskussion gällande krav och utförandets upplägg, samt även informationssökande, beräkning och 3D-modellering.

Resultatet som presenteras består av den information som skickas in till inspektionsorganet vid ansökan om tillverkningstillstånd. Denna information inkluderar beskrivande tekniska ritningar av de tryckkärl som företaget tillverkar, hållfasthetsberäkningar som visar att tryckkärllet är driftsäkert och uppfyller kraven. En översikt av standardimplementering samt certifikat för tillverkning och övrig utrustning presenteras också.

Språk: svenska

Nyckelord: farligt gods, tryckkärl, tillverkningstillstånd, ADR-transport

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Marcus Wikblom
Koulutus ja paikkakunta: Kone- ja tuotantotekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto: Konesuunnittelu
Ohjaajat: Mikael Tätting (Novia), Kim Svanbäck (Juro-Clean)

Nimike: ADR-valmistusluvan uusiminen

Päivämäärä: 17.04.2025 Sivumäärä: 37 Liitteet: 1

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on tehty Oy Juro-Clean Ab:n toimeksiannosta. Yritys sijaitsee Uudessakaarlepyyssä ja valmistaa puhdistusajoneuvoja alipaine- ja paineastioiden muodossa. Yrityksen tuotevalikoimaan kuuluvat muun muassa imulaitteita, yhdistelmälaitteita ja kuivaimulaitteita.

Tehtävänä oli selvittää vaarallisten aineiden kuljetukseen tarkoitettujen ajoneuvojen valmistusluvan myöntämiseen liittyvät lakisääteiset vaatimukset sekä tarkistaa ja osoittaa, että alipaine-painesäiliö on suunniteltu näiden vaatimusten mukaisesti. Noudatettavat vaatimukset koskevat suunnittelua, valmistusta ja tarkastusta.

Työssä käsitellään teoreettista tietoa vaarallisten aineiden kuljetuksesta, lujuusopista, materiaalien käytöstä, hitsaustekniikoista ja 3D-mallinnuksesta. Työssä käytetyt menetelmät ovat vaatimusten ja työn toteutuksen suunnitteluun liittyvät keskustelut, tiedonhaku, laskelmat ja 3D-mallinnus.

Työn tulokset koostuvat tarkastuslaitokselle toimitettavasta aineistosta valmistuslupahakemusta varten. Tämä aineisto sisältää painesäiliöiden tekniset piirustukset, lujuuslaskelmat, jotka osoittavat säiliöiden turvallisuuden ja vaatimustenmukaisuuden, sekä yleiskatsauksen sovellettavista standardeista ja valmistuksen sekä muiden laitteiden sertifikaateista.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: vaarallinen aine, painesäiliöt, valmistuslupa, ADR-kuljetus

BACHELOR'S THESIS

Author: Marcus Wikblom
Degree Programme: Mechanical and production engineering, Vaasa
Specialisation: Mechanical design
Supervisor(s): Mikael Tätting (Novia), Kim Svanbäck (Juro-Clean)

Title: Renewal of ADR Manufacturing Permit

Date: 17.04.2025 Number of pages: 37 Appendices: 1

Abstract

This thesis was carried out on behalf of Oy Juro-Clean Ab, a company based in Nykarleby that manufactures sanitation vehicles in the form of vacuum pressure tanks. The company's product range includes high-pressure suction units, combination units and dry suction units.

The assignment was to investigate the legal requirements for obtaining a manufacturing permit for vehicles intended for the transport of dangerous goods, and to verify and demonstrate that the vacuum pressure tanks are designed according to these requirements. The requirements to be followed concern design, manufacturing, and inspection.

This work covers theoretical knowledge regarding the transport of dangerous goods, strength of materials, material usage, welding symbols, and 3D modeling. Methods used during the execution of the work include discussions regarding requirements and the execution plan, as well as information research, calculations and 3D modeling.

The results presented consist of the information submitted to the inspection body when applying for a manufacturing permit. This information includes detailed technical drawings of the pressure vessels manufactured by the company and strength calculations demonstrating that the pressure vessels are safe for operation and meet the requirements. An overview of standard implementation as well as certificates for manufacturing and other equipment is also presented.

Language: Swedish

Key words: dangerous goods, pressure vessel, manufacturing permit, ADR-transport

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte.....	1
1.3	Företagsbeskrivning.....	1
1.4	Avgränsning.....	2
1.5	Disposition.....	2
2	Teori	3
2.1	Transport av farliga ämnen bestämmelser	3
2.1.1	Lagstiftning om transport av farliga ämnen	4
2.2	Standarder	5
2.2.1	EN-14025	5
2.2.2	EN-13445	5
2.2.3	EN 12972	6
2.2.4	Svetsstandarder	6
2.2.5	WPQR och WPS	7
2.3	Hållfasthetsberäkning.....	7
2.3.1	Spänningar	7
2.3.2	Knäckning.....	8
2.4	CAD.....	9
2.4.1	Solidworks 3D CAD.....	10
2.5	Svetsning.....	10
2.5.1	MIG/MAG svetsning.....	10
2.5.2	Svetsbeteckning.....	11
2.6	Stålsorter.....	11
2.6.1	P355NL2	12
2.6.2	EN 1.4301/1.4307.....	12
2.6.3	EN 1.4401/1.4404.....	13
3	Metod	15
3.1	Diskussion med Juro-Clean.....	15
3.2	Kontakt med inspektionsorganet.....	15
3.3	Konstruktion och beräkning.....	17
4	Resultat	17
4.1	Ritningar.....	18
4.1.1	Huvudritning.....	18
4.1.2	Gavlar	20
4.1.3	Sammanfogade komponenter	21

4.1.4	Infästning till ram.....	21
4.1.5	Ventiler och säkerhetskomponenter	22
4.2	Beräkningar	22
4.2.1	Mantel.....	23
4.2.2	Stödringar	24
4.2.3	Manlucka	25
4.2.4	Gavel.....	25
4.2.5	Gångjärn och förstärkning.....	27
4.2.6	Låsanordning.....	29
4.2.7	Sadelstöd och fastsättning till ram	32
4.3	Standardimplementering och certifikat.....	34
5	Diskussion.....	35
5.1	Resultat och utförandet.....	35
5.2	Metoddiskussion	36
5.3	Slutförande av tillverkningstillståndet.....	36
5.4	Slutord.....	36
6	Litteraturförteckning.....	37
Bilaga 1: Ritning		

1 Inledning

Detta examensarbete har gjorts på uppdrag av Oy Juro-Clean Ab. Sommaren 2024 diskuterades det med ledningen på Juro-Clean ifall det skulle finnas möjlighet att utföra ett examensarbete för företaget den kommande vintern. Det konstaterades att de var i behov av förnyande av deras tillverkningstillstånd för tryckkärl avsedda för transport av farliga ämnen och att detta var ett lämpligt uppdrag.

1.1 Bakgrund

Tillverkningstillstånd för tryckkärl avsedda för transport av farliga ämnen är giltiga i 10 år efter utfärdandet av tillståndet. Detta innebar att Juro-Clean var i behov av förnyande av dessa tillstånd före sommaren 2025. Jag har arbetat vid Juro-Clean vid sidan av studierna sedan sommaren 2023, vilket gjorde utförandet av detta uppdrag möjligt för att jag känner till deras produkter och tillverkningsprocesser.

1.2 Syfte

Syftet med detta arbete var att undersöka vilka krav som ska följas och vilka uppgifter som måste utföras för att få beviljat tillverkningstillstånd för tryckkärl avsedda för transport av farliga ämnen, samt att utföra dessa uppgifter. Målsättningen med arbetet var att få godkända tillverkningstillstånd inom utsatt tid.

1.3 Företagsbeskrivning

Juro-Clean är en tillverkare av renhållningsfordon i form av högtrycks sugaggregat, kombiaggregat och torrsugaggregat som är skräddarsydda enligt kundens önskemål. Deras kontor och fabriksanläggning är placerat i Nykarleby.

Juro-Clean grundades 2014 i Nykarleby av Gunder Spåra, i dagsläget har de cirka 50 anställda och de har sedan dess sålt över 270 rengöringsfordon med Norden som främsta marknadsområde. (Juro-Clean, 2025).



Figur 1. Juro-clean logo (Juro-Clean, 2025).

1.4 Avgränsning

Detta arbete avgränsas till produkter som är avsedda för den finska marknaden, vilket innebär att de följer finska regelverk och lagstiftning gällande tryckkärl avsedda för transport av farliga ämnen. Utöver detta så avgränsas arbetet till endast den del som skickas in vid ansökan av processen för att få utfärdat tillverkningsstillstånd, detta på grund av fördröjd process av inspektionsorganet.

1.5 Disposition

Dispositionen ger en kort översikt av examensarbetets struktur och innehåll för att förtydliga hur arbetet är upplagt. Nedan presenteras en kort beskrivning av de kapitel som ingår i arbetet.

1. Inledning

Detta kapitel är introduktion till arbetet och ger en uppfattning om vad som hanteras. Detta inkluderar arbetets bakgrund, syfte, företagsbeskrivning och avgränsning.

2. Teori

Teorikapitlet behandlar relevant teoretisk information angående arbetet. Informationen som behandlas ger en inblick till projektets alla delar. Här ingår regler och direktiv, tekniska standarder, hållfasthetsberäkning, 3D-modellering, svetsningsmetod och beteckning samt olika materialval.

3. Metod

I detta kapitel redogörs arbetsprocessen samt vilka metoder som använts vid utförandet.

4. Resultat

I detta kapitel presenteras det slutliga resultatet. Resultatet som presenteras inkluderar ritningar, beräkningar samt standardimplementering och certifikat.

5. Diskussion

Diskussionskapitlet är avslutande kapitel för arbetet där projektets utmaningar, avgränsning och resultat diskuteras. Kapitlet inkluderar även slutord för arbetet.

2 Teori

Detta kapitel behandlar väsentlig teori som behövs för utförandet detta projekt. Denna teori inkluderar regler och direktiv angående transport av farliga gods samt förknippade tekniska standarder. Därtill behandlas hållfasthetsberäkning, 3-modellering samt svetsningsmetod och beteckning. Slutligen redogörs det för stålsorter som används vid tillverkning av tryckkärl.

2.1 Transport av farliga ämnen bestämmelser

Som transportfarliga ämnen inkluderas ämnen, blandningar, lösningar, föremål och varor som kan orsaka explosion, brand, smittorisk och strålningsrisk. Dessa inkluderar även ämnen som är reaktiva, giftiga, frätande eller som uppger risk för annan farlig reaktion under transport, vilket kan medföra fara för människor, miljö eller egendom.

Farliga ämnen klassificeras inom nio olika huvudklasser varav vissa av dessa även har underklasser (Tabell 1), dessa klasser baserar sig på ämnets farliga egenskaper. (tukes.fi, u.d.).

Tabell 1: Klassificering av farliga ämnen

Klass 1	Explosiva ämnen och föremål
Klass 2	Gaser
Klass 3	Brandfarliga vätskor
Klass 4.1	Brandfarliga fasta-, självreaktiva- och polymeriserande ämnen samt fasta okänsliggjorda explosivämnen
Klass 4.2	Självantändande ämnen
Klass 4.3	Ämnen som utvecklar brandfarlig gas vid kontakt med vatten
Klass 5.1	Oxiderande ämnen
Klass 5.2	Organiska peroxider
Klass 6.1	Giftiga ämnen
Klass 6.2	Smittförande ämnen
Klass 7	Radioaktiva ämnen
Klass 8	Frätande ämnen
Klass 9	Övriga farliga ämnen och föremål.

(tukes.fi, u.d.).

2.1.1 Lagstiftning om transport av farliga ämnen

Transport av farliga ämnen i Finland regleras enligt transport- och kommunikationsverkets föreskrift Transport av farliga ämnen på väg. Denna föreskrift och dess bilagor grundar sig på lagen Transport av farliga ämnen 541/2023. Föreskriften innehåller bilagorna A-C, där Bilaga A omfattar allmänna bestämmelser om farliga ämnen och föremål. Bilaga B omfattar bestämmelser om transportmedel och transport och Bilaga C lokala transporter, transporter i buss och övriga specialtransporter.

Väsentliga delar ur denna lagstiftning för tillverkare av vakuum-trycktank återfinns i kapitel 6.10 i föreskriftens bilaga A: Bestämmelser för tillverkning, utrustning, typgodkännande, kontroll och märkning av slamsugartankar. Även ytterligare relaterade bestämmelser finns i kapitel 6.8: Bestämmelser för tillverkning, utrustning, typgodkännande, kontroll och

provning samt märkning av fasta tankar (tankfordon), avmonterbara tankar, tankcontainrar och växeltankar med tankskal av metall samt batterifordon och meg-containerar. (Transport av farliga ämnen på väg 473663/2022, u.d.).

Dessa kapitel inkluderar allmänna bestämmelser och implementering av standarder som tillverkaren ska följa vid design och tillverkning av tankarna.

2.2 Standarder

Beroende på vilken typ av tryckkärl och dess ändamål så ska ett flertal standarder implementeras enligt hänvisningar i Bilaga A av Trafik och kommunikationsverkets föreskrift Transport av farliga ämnen på väg. Vissa av dessa standarder är frivilliga medan andra är obligatoriska, de obligatoriska standarderna kan i vissa fall ersättas med motsvarande standard. (Transport av farliga ämnen på väg 473663/2022, u.d.).

2.2.1 EN-14025

Europeiska standarden EN-14025 Tanks for the transport of dangerous goods. Metallic pressure tanks. Design and construction. Omfattar de krav som behöver uppfyllas vid design och konstruktion av metalltankar som är avsedda för transport på väg, hav och järnväg med ett maximalt arbetstryck på 0,5 bar.

Standarden inkluderar instruktioner och krav som ska följas angående materialval, design, hållfasthetsberäkning samt produktion och tillverkning av metalltanken. (SFS-EN-14025:2024).

2.2.2 EN-13445

Europeiska standarden EN-13445 Unfired pressure vessels gäller för icke-eldberörda tryckkärl med maximalt arbetstryck på 0,5 bar. Standarden består av 10 olika delar varav alla delar ska beaktas vid konstruktion och tillverkning av tryckkärlet enligt relevans till tryckkärlstypen i fråga. I utförandet av detta projekt används del 1-5 av standarden.

EN 13445-1 General: Innehåller information om standardens tillämpningsområde samt även definitioner av termer, storheter, symboler och enheter som tillämpas i standarden.

EN 13445-2 Materials: Denna del inkluderar materialval, märkning och gruppering av material samt dess användning vid låga temperaturer. Fokus ligger på stål med tillräcklig seghet och krypseghet.

EN 13445-3 Design: Denna del beskriver regler för beräkning och konstruktion av tryckkärl med avseende på belastningar på grund av tryck och laster.

EN 13445-4 Fabrication: Denna del sammanfattar tillverkningstekniken av tryckkärlet. Detta täcker formning, svetsning, produktionsprover, glödning, toleranser samt reparationer av kärlet.

EN 13445-5 Inspection and testing: Denna del omfattar kontroller och provningar som utförs för att kontrollera att tryckkärlet uppfyller standardens krav. Detta inkluderar tillverkarens granskning av konstruktion och teknisk dokumentation, Oförstörande provning, dokumentstyrning, materialspårbarhet samt fogberedning och svetsning. (SFS-EN 13445-1:2021).

2.2.3 EN 12972

Europeiska standarden EN-12972 Tanks for the transport of dangerous goods. Testing, inspection and marking of metallic tanks gäller och ska användas för tankfordon, demonterbara tankar, tankvagnar, UN-tankar samt tankcontainrar som är avsedda för farligt gods. Standarden inkluderar information angående inspektion- och provningsmetoder samt dokumentation och märkning av tryckkärl. (SFS-EN 12972:2018 + A1:2024:en).

2.2.4 Svetsstandarder

Tillverkaren och dess personal som ansvarar för svetsningen av tryckkärlet ska vara kvalificerade enligt ett flertal standarder. Vilka av dessa standarder som ska implementeras beror på svetsmetod och tillverkningsmaterial.

Relevanta standarder beaktas i detta projekt i enlighet med standarden EN-14025. Bågs svetsningen utförs enligt EN-ISO-15609-1, svetsaren som utför sammanfogandet bör vara kvalificerad enligt EN-ISO-9606-1 eller EN-ISO-9606-2. Svetsaren ska även ha

godkända svetsprov i enlighet med EN-ISO-15607, EN-ISO-15613 samt EN-ISO-15614-1. (SFS-EN-14025:2024).

2.2.5 WPQR och WPS

Welding procedure qualification record, förkortat WPQR, är ett dokument som beskriver och verifierar att en viss svetsprocedur uppfyller kraven enligt gällande standard. WPQR fås genom att svetsa provstycken eller ett produktionsliknande svetsförband under övervakning av ett kvalificerat inspektionsorgan. (Kiwa, 2025).

Welding procedure specification eller WPS är ett dokument som anger information om hur en svets ska utföras och vilka material man ska använda. Detta dokument baseras på godkänd WPQR. (Svetsansvarig, 2025).

Om flertal WPQR och WPS utfärdas på grund av flertal svetsprocedurer numreras dessa dokument på ett logiskt sätt för att skilja dem åt och hålla dem spårbara.

2.3 Hållfasthetsberäkning

Hållfasthetslära behandlar hur material och konstruktioner reagerar under olika belastningar och krafter. Denna metod gör det möjligt att genom beräkning och analys kunna få reda på vilka spänningar och deformationer en konstruktion kan utsättas för. Beräknade värden kontrolleras mot brottgräns, sträckgräns och önskad säkerhetsfaktor så konstruktionen inte fallerar samt även att angivna säkerhetskrav blir uppfyllda. (Factor of safety, 2025).

2.3.1 Spänningar

Externa krafter och moment som verkar på en konstruktion tas upp av en viss area av komponenten. Belastningen som uppstår i en konstruktion benämns spänning, spänningen är kvoten av belastningskraften eller momentet och effektiva arean.

Normalspänning också ofta kallat drag- och tryckspänning benämns med storheten sigma (σ), denna typ av spänning uppstår när en kraft verkar vinkelrätt mot en yta. Normalspänningen beräknas utifrån kraften (F) och tvärsnittsarean (A) enligt följande formel:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Skjuvspänning benämns med storheten tau (τ), denna spänning uppstår då två krafter verkar parallellt med en yta. Denna spänning beräknas utifrån parallella krafterna (F) och arean (A) av den yta som kraften verkar på enligt följande formel:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Böjspänningar uppstår då en konstruktion utsätts för en böjande kraft vilket resulterar i att ena sidan av en komponent sträcks och motsatt sida komprimeras. I komponenten uppstår en neutralaxel, vilket är det område där spänning och deformation är noll. Böjspänningen (σ_b) som uppstår i komponenten kan beräknas utifrån formel 3 med böjmomentet (M), avståndet från neutralaxeln (y) samt tröghetsmomentet (I).

$$\sigma_b = \frac{M \cdot y}{I} \quad (3)$$

(Schaeffler Technical Pocket Guide, 2018, s. 212).

2.3.2 Knäckning

Knäckning är ett fenomen som kan uppstå vid slanka konstruktioner som blir utsatta för tryckbelastningar. I stället för att gradvis deformeras så kan en konstruktion plötsligt knäckas, vilket innebär att konstruktionen böjs i sidled. Om knäckning uppstår så påverkas konstruktionens bärförmåga och det är därför viktigt att kontrollera den kritiska spänningen (σ_k) eller kraften (F_k) för knäckning. Slankheten (λ) avgör hur kritiska spänningen beräknas, Slankheten går att beräkna ut enligt följande formel:

$$\lambda = \frac{l_k}{i} \quad (4)$$

λ = Slankhet

l_k = Effektivknäcklängd (mm)

i = tröghetsradien (mm)

som tumregel beräknas kritiska spänningen enligt Euler (5) då $\lambda > 60$ och enligt Tetmajer (6) då $\lambda < 60$.

$$\sigma_k = \frac{F_K}{A} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{A \cdot l^2} \quad (5)$$

σ_k = Kritisk knäckningsspänning (N/mm^2)

F_k = Kritisk knäckningsskraft (N)

A = Tvärsnittsarea (mm^2)

E = Elasticitetsmodul (N/mm^2)

I_y = Tröghetsmoment kring y-axeln (mm^4)

l = Komponentens längd (mm)

(Schaeffler Technical Pocket Guide, s.224).

$$\sigma_k = a - b \cdot \lambda \quad (6)$$

σ_k = Kritisk knäckningsspänning (N/mm^2)

a = Konstant beroende på material (N/mm^2)

b = Konstant beroende på material (N/mm^2)

λ = Slankhet

(Schaeffler Technical Pocket Guide, 2018, s. 226).

2.4 CAD

Computer aided design eller förkortat CAD är en mjukvara som används för att skapa 3D- och 2D-modeller. Denna typ av program används brett inom ingenjörbranscherna idag på grund av sina fördelar som effektivitet, noggrannhet, fildelning och lätt utförd korrigering och uppdatering av modeller och ritningar i jämförelse med tidigare designmetod i form av handritning/manuellritning.

Dessa program ger också ofta möjlighet till att utföra verklighetstroga simulationer och skapa fotorealistiska bilder av modellerna. (Autodesk, 2025).

2.4.1 Solidworks 3D CAD

CAD-programmet som använts i detta arbete är Solidworks 3D CAD, som är ett modelleringsprogram och är utvecklat av franska företaget Dassault Systèmes. Programmet ger användaren möjligheten att skapa och utveckla detaljerade 3D-modeller och 2D-ritningar av komponenter och sammanställningar, samt även utförande av modellsimulationer och analyser av olika slag. (Solidworks, 2025).

2.5 Svetsning

Svetsning är en process som används för att sammanfoga arbetsstycken med varandra genom uppvärmning och/eller tryck. Denna metod är ofta förekommande vid tillverkning av metallkonstruktioner av exempelvis stål, rostfritt stål och aluminium. Vid flertal svetsmetoder så tillsätts material under svetsningsprocessen med en tråd eller rörelektrod, men det går även att sammansmälta delar utan tillsatsmaterial. Värmekällan vid svetsning är oftast en ljusbåge, denna ljusbåge bildar ett smältbad av svetsfogens kanter och eventuellt tillsatsmaterial. (Kempfi, 2023).

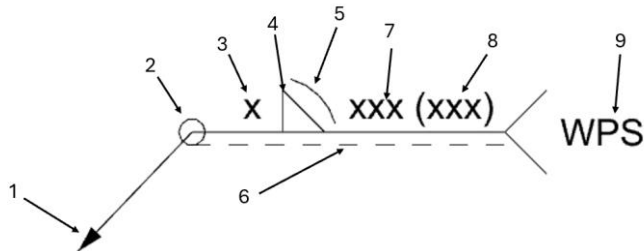
2.5.1 MIG/MAG svetsning

MIG/MAG-svetsning används i stor utsträckning inom svetsindustrin, det är framför allt MAG-svetsning som förekommer. En MIG/MAG-svets har en tråd-/rörelektrod som matas fram som tillsatsmaterial genom svetspistolen. Svetsen skapar en ljusbåge mellan materialtråden och arbetsstycket vilket smälter tråden och grundmaterialet för att bilda en svetsfog.

Skillnaden mellan MIG- och MAG-svetsning är att skyddsgasen som används vid MIG-svetsning inte är aktiv i sammanfogningen, medan vid MAG-svetsning används en skyddsgas som är aktiv i processen. Mest förekomna skyddsgasen är argon. Skyddsgaser görs aktiv med tillsättning av koldioxid eller syre. (Kempfi, 2024).

2.5.2 Svetsbeteckning

Beroende på hur olika komponenter placeras i relation till varandra samt vilka belastningar de utsätts för, så varierar designvalet av svetsfog. På ritningar beskrivs svetsfogens typ, längd, storlek och placering genom standardiserade tecken (Figur 2.). (Schaeffler Technical Pocket Guide, 2018, s. 350).



Figur 2. Exempel på svetsymbol.

1. Placering av svets.
2. Svets runt hela.
3. a-mått i mm.
4. Typ av svetsfog.
5. Typ av svetsfog, kompletterande symbol.
6. Referenslinje.
7. Svetsens längd i mm.
8. Mellanrum mellan svetsar.
9. Kompletterande information, exempelvis svetsstandard.

(Manufacturingguide, 2025)

2.6 Stålsorter

Materialvalet har en stor inverkan på produktens livslängd, hållbarhet och tillverkningsmetod. Vid tillverkning av tryckkärl används rostfritt- och syrefaststål till stor del av konstruktionen på grund av dess goda korrosionsbeständighet. Även specifika tryckkärlsstål används vid tillverkning av dessa applikationer. Tryckkärlsstål är benämnda "P" och finns i flera olika variationer, dessa stål är utformade för att vara motståndiga mot påfrestande tryck och temperaturer. (Tätsvets, 2023).

2.6.1 P355NL2

P355NL2 är ett stål specifikt utformat för tryckkärl med en minimisträckgräns på 355 MPa vilket namnet baserar sig på. NL2 indikerar att stålet är beständigt mot låga temperaturer, detta på grund av dess höga resistans mot spröda brott. Stålet är lättbearbetat och har god svetsbarhet. (Livallco, 2025).

Sammansättningen av materialet påverkar stålets egenskaper, mekaniska egenskaperna hos P355NL2 återfinns i Tabell 3 och andelen av ämnen som inverkar på dessa egenskaper presenteras i Tabell 2.

Tabell 2. Allmän sammansättning av P355NL2 i % av avgörande element.

Kol, C	Kisel, Si	Mangan, Mn	Fosfor, P	Svavel, S	Niob, Nb
0,18 %	0,5 %	1,7 %	0,02 %	0,005 %	0,05 %

(SSAB, 2022)

Tabell 3: Mekaniska egenskaper av P355NL2, tjocklek: 6 mm – 16 mm.

R_e Sträckgräns (N/mm^2)	R_m Brottgräns (N/mm^2)	A Förlängning vid fraktur (%)	KV Slagseghet (J)
355	490 - 630	22	27

(SSAB, 2022)

2.6.2 EN 1.4301/1.4307

Dessa ståltyper är de rostfritt stål som används mest inom industrin, de har god korrosionsbeständighet samtidigt som de har god form- och svetsbarhet. Materialens karaktär och uppbyggnad är mycket liknande men har små variationer. Innehållet i både 1.4301 och 1.4307 är 18 % krom och 8 % nickel. Skillnaderna mellan stålen är att 1.4301 kan ha lite högre kolhalt än 1.4307, detta resulterar i en högre hållfasthet hos 1.4301. (Tibnor, 2025, a).

I Tabell 4 presenterar andelen av element som påverkar materialets egenskaper. De mekaniska egenskaperna hos dessa material presenteras i Tabell 5.

Tabell 4. Allmän sammansättning % av avgörande element.

EN	Kol, C	Kväve, N	Krom, Cr	Nickel, Ni
1.4301	0,04 %	0,06 %	18,3 %	8,7 %
1.4307	0,02 %	0,06 %	18,3 %	9,2 %

(Tibnor, 2023)

Tabell 5. Mekaniska egenskaper min vid 20 °C.

EN	$R_{p0.2}$ Sträckgräns 0.2% (N/mm^2)	$R_{p1.0}$ Sträckgräns 1% (N/mm^2)	R_m Brottgräns (N/mm^2)	A Förlängning vid fraktur (%)	KV Slagseghet (J)
1.4301	210	250	500	45	60
1.4307	200	240	520	45	60

(Tibnor, 2023)

2.6.3 EN 1.4401/1.4404

Dessa rostfria ståltyper är även ofta kallad syrefaststål, stålet innehåller förutom krom och nickel även ca 2 % molybden. På grund av molybden-innehållet tillsammans med krom uppvisar 1.4401/1.4404 god motstånd mot korrosion i svaga syror samt vatten som innehåller klorider. 1.4401/1.4404 föredras därför ofta framför 1.4301/1.4307 vid exempelvis salthaltiga eller kemiskt påfrestande miljöer.

Form- och svetsbarheten är god i dessa stål och dess låga kolhalt gör det även möjligt att svetsa utan risk för nedsatt korrosionsbeständighet i området intill svetsen. (Tibnor, 2025, b).

I Tabell 6 presenterar andelen av element som påverkar materialets egenskaper. De mekaniska egenskaperna hos dessa material presenteras i Tabell 7.

Tabell 6. Allmän sammansättning % av avgörande element.

EN	Kol, C	Kväve, N	Krom, Cr	Nickel, Ni	Molybden, Mo
1.4401	0,04 %	0,04 %	16,8 %	10,7 %	2,2 %
1.4404	0,02 %	0,06 %	17,3 %	11 %	2,2 %

(Tibnor, 2023)

Tabell 7. Mekaniska egenskaper min vid 20 °C.

EN	$R_{p0.2}$ Sträckgräns 0,2% (N/mm ²)	$R_{p1.0}$ Sträckgräns 1% (N/mm ²)	R_m Brottgräns (N/mm ²)	A Förlängning vid fraktur (%)	KV Slagseghet (J)
1.4401	220	260	520	45	60
1.4404	220	260	520	45	60

(Tibnor, 2023)

3 Metod

Detta kapitel beskriver arbetsprocessen samt vilka metoder som använts vid utförandet av detta projekt. Forskningsmetoden som använts är i form av en kvalitativ fallstudie med fokus på kravinsamling, konstruktion och beräkning utifrån gällande standarder och regelverk.

3.1 Diskussion med Juro-Clean

Vad arbetsuppgiften omfattade samt hur arbetet skulle utföras diskuterades först med Juro-Cleans verkställande direktör. Företagets dokument som hade inkluderats i tidigare tillståndsansökan kontrollerades sedan för att ge en uppfattning om vilka uppgifter som krävs, samt för att ge en idé om upplägg.

3.2 Kontakt med inspektionsorganet

Inspektionsorganet som Juro-Clean använder sig av kontaktades för att få noggrannare instruktioner om vilka uppgifter de vill ha presenterade och vilka regler och direktiv som ska följas. De gav en punktlista (Tabell 8) samt hänvisning till vilka föreskrifter och standarder som är relevanta för uppgiften.

Tabell. 8 Punktlista över information som ska ingå i ansökan.

Punkt	Beskrivning
(a)	En lista över standarder som använts vid konstruktion och tillverkning.
(b)	En beskrivning av konstruktionstypen, inklusive alla varianter.
(c)	Instruktioner för enskilda produkter enligt den relevanta kolumnen i tabell A i kapitel 3.2 eller förteckningen över farliga ämnen som ska transporteras.
(d)	Allmänna monteringsritningar.
(e)	Detaljerade ritningar av produkten som innehåller måtten som använts i beräkningarna, driftutrustning, strukturella komponenter, märkningar och/eller etiketter som behövs för att verifiera överensstämmelse.
(f)	Anteckningar om beräkningar, resultat och slutsatser.
(g)	En lista över driftutrustning med tillhörande teknisk information och information om säkerhetsanordningar, inklusive beräkningar av blåskapacitet vid behov.
(h)	En lista över material som krävs enligt tillverkningsstandarderna och som används i alla delar, tillägg, foder, driftutrustning och strukturella komponenter samt motsvarande materialspecifikationer eller motsvarande försäkran om att dessa krav är uppfyllda.
(i)	Ett godkänt förfarande för att permanent sammanfoga delar.
(j)	En beskrivning av värmebehandlingsprocess(er).
(k)	Metoder, beskrivningar och alla testresultat som anges i standarder eller dessa föreskrifter för typgodkännande och tillverkning.
(l)	Ett uttalande som ger inspektionsmyndigheten tillgång till tillverknings-, inspektions-, test- och lagringsplatser för att bedöma överensstämmelse och inspektion, och som lovar att ge all nödvändig information vid dessa uppdrag.

3.3 Konstruktion och beräkning

Ritningarna skapades i Solidworks 3D CAD i likhet med hur uppdragsgivarens ritningar normalt är formaterade och detta på deras egna ritbotten. Tryckkärlens design ritades upp genom information från andra ritningar och förhandskunskaper kring designen. Nödvändiga vyer, information och mått som bör presenteras av konstruktionen kontrollerades med tidigare ansökning och enligt relevanta standarder.

Beräkningen utfördes genom att granska standardernas krav över tryckkärlens hållfasthet samt allmän analysering av vilka komponenter som har betydande inverkan på dess hållfasthet och säkerhet. Formler och beräkningsgång genomfördes med hänvisningar från standarder och med tidigare förvärvade kunskaper inom beräkning och hållfasthetslära.

4 Resultat

Resultatet som presenteras är dokument och information som skickas in till inspektionsorganet vid ansökan om tillverkningstillstånd. Denna information inkluderar ritningar, beräkningar, standardimplementering och certifikat.

Vakuüm-trycktanken konstrueras enligt designvärden baserade på vad tryckkärlet är avsett för (Tabell 9).

Tabell 9. Utgångsvärden för design och beräkning.

Max drifttryck	2 bar
Design tryck	4 bar / -1 bar
Provtryck	4 bar
Max/min designtemperatur	50 °C / -40 °C
Innehåll	3082, Miljöfarligt flytande ämne N.O.S
Innehållets täthet	1000 - 1830 kg/m ³

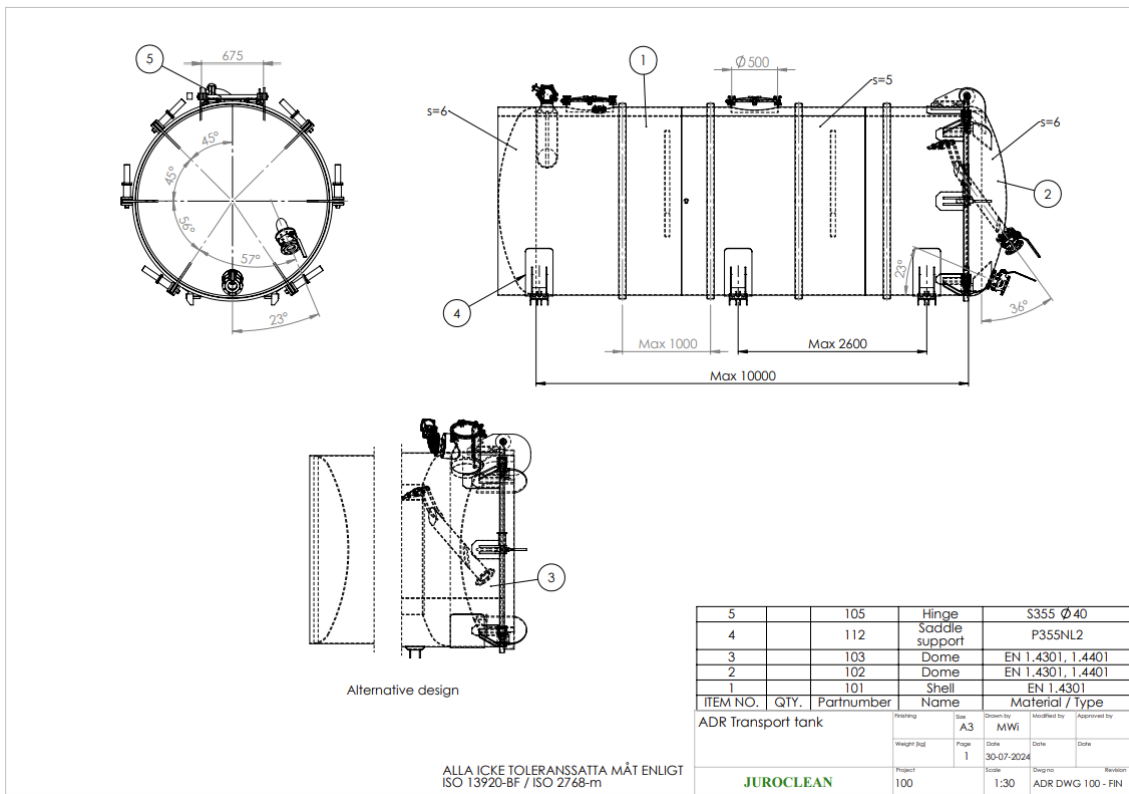
Konstruktionsmaterial	EN 1.4301, EN 1.4401, P355NL2
Svetsmaterial	309, 308, 316
Svetsmetod	Bågsvets

4.1 Ritningar

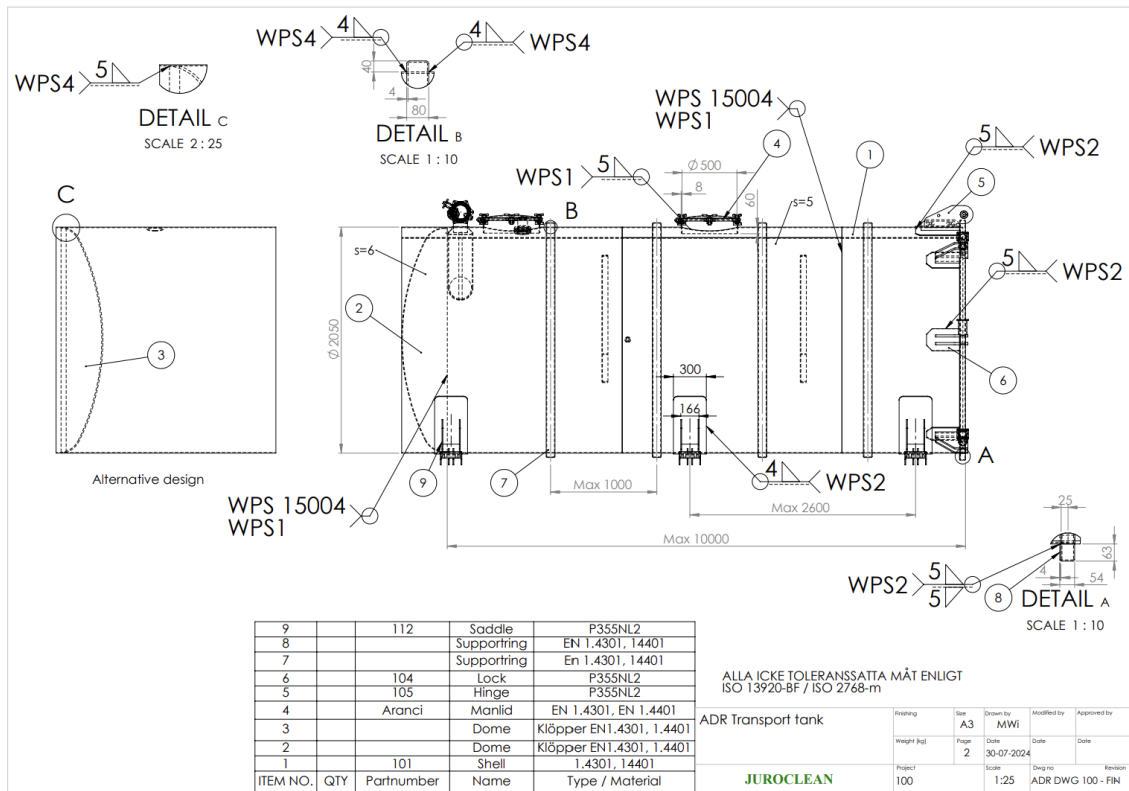
Tryckkärlet konstrueras enligt standarderna EN-14025, EN-13445-2 och EN-13445-3 samt föreskriften Transport av farliga ämnen på väg. Ritningarna utförs i Solidworks 3D CAD, ritningarna beskriver tryckkärlen och dess strukturella komponenters design och sammanfogning. Dessa är sammanfattade ritningar av olika tanktyper och dimensioner som också visar alternativa design- och materialval. Detaljer och mått som inkluderas är de som är behövliga för beräkning och bevis att tryckkärnen uppfyller kraven.

4.1.1 Huvudritning

Huvudritningarna består av 2 sidor varav sida 1 (Figur 3) visar tryckkärlet i sin helhet med maximi tillverkningsmått och alternativ design. Sida 2 (Figur 4) av ritningen är en svetsritning som beskriver sammanfogningsmetoder som används vid tillverkningen av tanken.



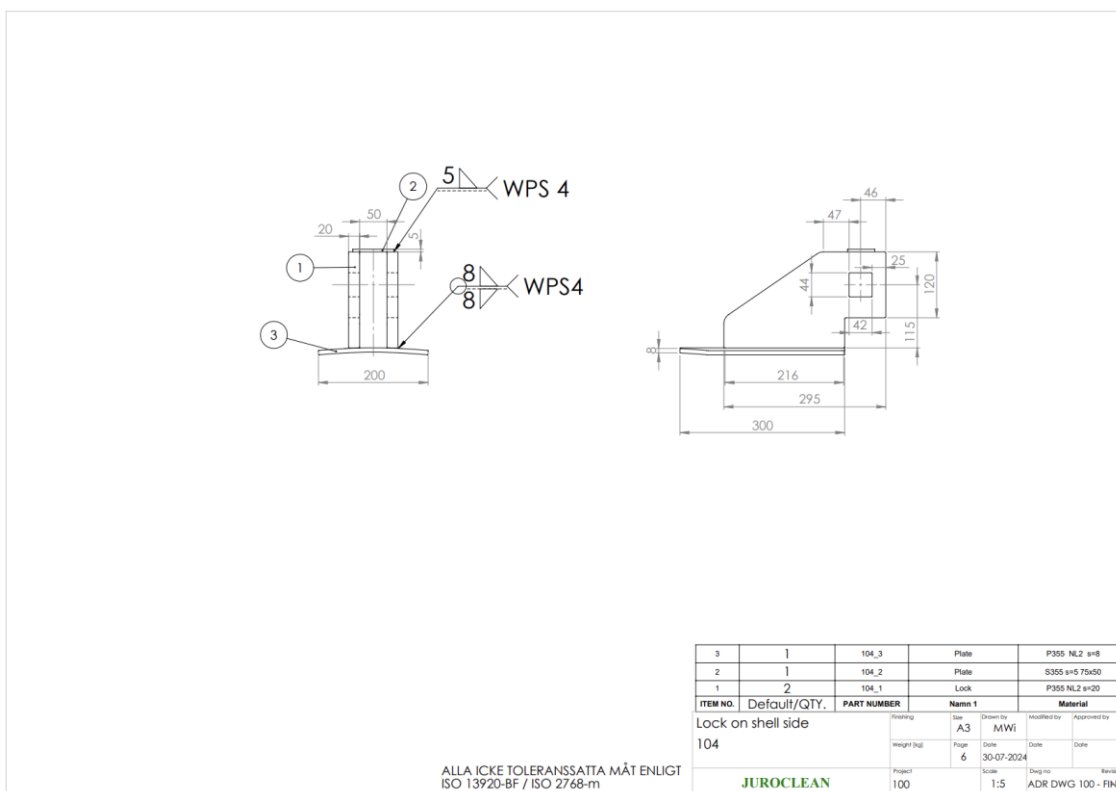
Figur 3. Huvudritning sid. 1.



Figur 4. Huvudritning sid. 2 (svetsning).

4.1.3 Sammanfogade komponenter

Specifika delar som svetsas på konstruktionen och som inverkar på dess hållfasthet och säkerhet presenteras i form av egna ritningar (Figur 5). Dessa delar inkluderar lås och gångjärn till öppningsbara bakgaveln, tryckkärls sadel och rörflansar (Bilaga 1 sid. 6–13).



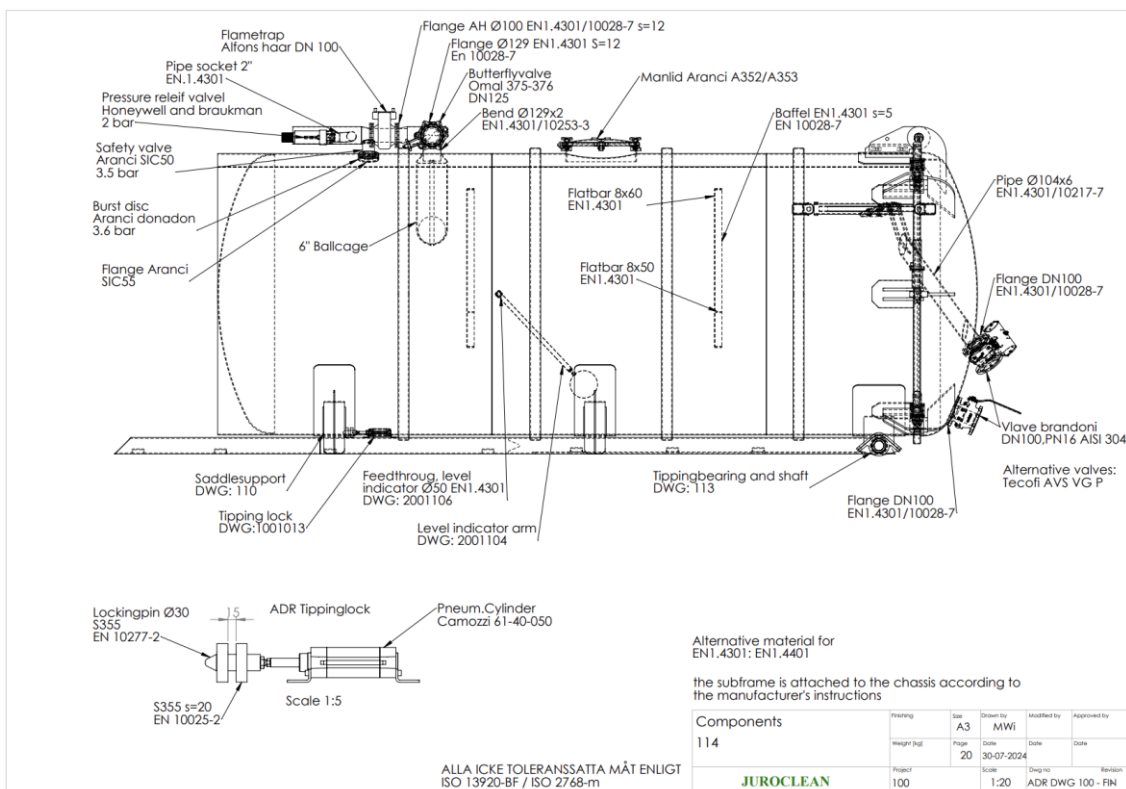
Figur 6. Låsöglå som exempel av egen ritning.

4.1.4 Infästning till ram

Tryckkärllet fästs till ramen på två olika sätt beroende på om den är tippbar eller ej. Fastsvetsad infästning till ramen samt tippaxel presenteras på ritningen (bilaga 1 sid. 14–19).

4.1.5 Ventiler och säkerhetskomponenter

Komponentritningen (Figur 7) visar och beskriver utrustning som kan appliceras på tryckkärlet. Denna utrustning inkluderar olika ventiler och säkerhetskomponenter med mera. Komponentinformationen inkluderar material, modell och möjlig utomstående tillverkare.



Figur 7. Komponentritning.

4.2 Beräkningar

Hållfastheten av tryckkärlet kontrolleras genom beräkning enligt formler och beräkningsanvisningar från föreskriften Transport av farliga ämnen på väg, standarderna EN-14025 och EN-13445-3 och även med hjälp av allmänna hållfasthetsformler. Värden som beräknas med är designvärden (Tabell 9) och mått från utförd ritning. Beräknade värden kontrolleras sedan med angivna krav från standarderna. Endast resultat och kort beskrivning presenteras och ingen fullständig beräkningsgång, detta för att det anses vara känslig information för uppdragsgivaren.

4.2.1 Mantel

Manteln kontrolleras mot inre tryck enligt tre olika beräkningsscheman enligt EN-14025, det värde som beräknas är minimi-manteltjocklek. Valet av manteltjockleken måste vara tjockare än den högst beräknade minimi-tjockleken, resultaten för minimi-manteltjocklek presenteras i Tabell 10.

Tabell 10. Sammandrag av resultat för manteln.

Schema	1.4401 (mm)	1.4301 (mm)
A	2.70	3.19
B	3.64	3.61
C	2.59	3.06

Manteltjockleken som används är 5 mm vilket både uppfyller de beräknade resultaten och andra krav från föreskriften Transport av farliga ämnen på väg.

Manteln kontrolleras mot knäckning på grund av yttre tryck enligt EN-13445-3. Det som beräknas är vid vilket tryck knäckningen av manteln kan uppstå och detta resultat fås av formel 7. Detta tryck bör vara högre än designtrycket.

$$\frac{P_r}{1,5} = 0,116 \text{ N/mm}^2 \quad (7)$$

$$0,116 \text{ N/mm}^2 > 0,1 \text{ N/mm}^2$$

Beräknade lägre knäckningssgränsen (P_r) med tillsatt säkerhet på 1,5 är högre än designtrycket, vilket resulterar i godkänd design.

4.2.2 Stödringar

Stödringarna kontrolleras mot instabilitet och knäckning enligt EN-14025 och EN-13445-3. Värdet som beräknas är elastiska instabilitetstrycket (P_g) för mantelns stödringar och detta beräknas enligt följande formel:

$$\frac{P_g}{S_f \cdot S} = \frac{0,137}{1,33 \cdot 1,5} = 0,069 \text{ N/mm}^2 \quad (8)$$

$$0,069 \text{ N/mm}^2 > 0,04 \text{ N/mm}^2$$

Beräknade instabilitetstrycket (P_g) med tillsatta säkerheter är högre än designtrycket, vilket resulterar i godkänd design.

Spänningen (σ_s) som uppstår i stödringarna kontrolleras enligt EN 13445-3. Beräknade spänningen som uppstår enligt formel 10 bör vara lägre än materialets beräknade tillåtna spänningsvärde (σ_{es}) enligt formel 9.

EN 1.4301

$$\sigma_{es} = (0,75 \cdot R_e; 0,5 \cdot R_m) = 165 \text{ N/mm}^2 \quad (9)$$

EN 1.4401

$$\sigma_{es} = (0,75 \cdot R_e; 0,5 \cdot R_m) = 195 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_s = S \cdot S_f \cdot \left(\frac{P \cdot \sigma_{es}}{P_{ys}} \right) + \frac{E \cdot d \cdot 0,005(n^2 - 1) P \cdot S \cdot S_f}{R(P_g - P \cdot S \cdot S_f)} = 151,4 \text{ N/mm}^2 \quad (10)$$

$$151,4 \text{ N/mm}^2 < 165, 195 \text{ N/mm}^2$$

Beräkningarna visar att max spänningen (σ_s) inte överskrider den tillåtna spänningen (σ_{es}) vilket gör designen godkänd.

4.2.3 Manlucka

Typen av manlucka som används på tanken är beställd av underleverantör och är tillverkad enligt EN-14025. Max trycket (P_{max}) som luckan klarar av kontrolleras enligt EN-13445 och materialet av luckan som kontrolleras med är EN 1.4301. Maxtryckets resultat beräknas enligt följande formel:

$$P_{max} = \frac{(Af_s + Af_w + Af_b + Af_p) f_s}{(Ap_s + Ap_b + Ap_\phi) + 0.5 (Af_s + Af_w + Af_b + Af_p)} = 1,107 \frac{N}{mm^2} \quad (11)$$

$$1,1 N/mm^2 > 0,4 N/mm^2$$

Beräknade maxtrycket är större än designtrycket på 4 bar, vilket resulterar i godkänd design.

4.2.4 Gavel

Gavlarna är av modell klöpper och kontrolleras mot inre tryck på 4 bar med tre olika beräkningsscheman enligt EN-14025 samt EN-13445-3. Värdet som beräknas är minimigaveltjocklek av gavlarna av EN 1.4301 och EN 1.4401. Resultatet av beräkningarna mot inre tryck presenteras i Tabell 11.

Tabell 11. Sammandrag av resultat för gavel, inre tryck.

Beräknings Schema	storhet	1.4301 (mm)	1.4401 (mm)	Beskrivning
A	e	2.55	2.16	Inre tryck
B	e_i	3.40	3.64	Knäckning
C	e_s	2.56	2.16	Membranspänning
	e_y	3.01	2.55	Plastisk deformation
	e_b	4.40	4.40	Plastisk knäckning
Slutvärde	e	4.40	4.40	Max av e_s, e_y, e_b

Minimi-gaveltjocklek som används är 6 mm vilket både uppfyller de beräknade resultaten och andra krav från föreskriften Transport av farliga ämnen på väg.

Yttre tryck på gaveln kontrolleras enligt EN-14025 samt EN-13445-3. Inåtbuktad gavel kontrolleras mot designtrycket på 4 bar, detta eftersom denna gavel är den som utsätts för högst tryck på konvexa sidan. Värdet som beräknas är minimi-gaveltjocklek av gavlarna i materialen EN 1.4301 och EN 1.4401. Resultatet av beräkningarna mot yttre tryck presenteras i Tabell 12 och 13.

Tabell 12. Sammandrag av resultat för fast gavel, yttre tryck.

Schema	Storhet	1.4301 (mm)	1.4401 (mm)	Beskrivning
A	e	2.55	2.16	Yttre tryck
B	e_i	3.40	3.64	knäckning
C	e_s	2.56	2.16	Membranspänning
	e_y	6.02	5.09	Plastisk deformation
	e_b	4.40	4.40	Plastisk knäckning
Slutvärde	e	6.02	5.09	Det största av e_s , e_y , e_b

Tabell 13. Sammandrag av resultat för öppningsbar gavel, yttre tryck.

Schema	Storhet	1.4301 (mm)	1.4401 (mm)	Beskrivning
C	e_s	2.50	2.11	Membranspänning
	e_y	5.85	4.95	Plastisk deformation
	e_b	4.30	4.30	Plastisk knäckning
Slutvärde	e	5.85	4.95	Det största av e_s , e_y , e_b

Inåtbuktad fast gavel som används har en vägg tjocklek på 7 mm och resterande gavlar på 6 mm, vilket uppfyller de beräknade resultaten.

Hållfastheten kring öppningar i gaveln för insugsrör kontrolleras enligt EN-13445-3 där formel 12 ger det slutliga resultatet. Beräknade värdet är max tillåtet tryck (P_{max}) för rörförbandet. Rör som används är DN 100 till DN 200, beräkningar utförs för DN 200 på grund av att detta kräver störst öppning i gavel.

$$P_{max} = \frac{(Af_s + Af_w + Af_b + Af_p) f_s}{(Ap_s + Ap_b + Ap_\phi) + 0.5 (Af_s + Af_w + Af_b + Af_p)} = 0,99 \frac{N}{mm^2} \quad (12)$$

$$0,99 \text{ N/mm}^2 > 0,4 \text{ N/mm}^2$$

Max tillåtet tryck är högre än designtrycket på 4 bar vilket gör att designen uppfyller kraven.

4.2.5 Gångjärn och förstärkning

Stödringar som svetsas på de öppningsbara gavlarna kontrolleras mot spänningar. Utåtbuktade gaveln har en 150 mm bred stödring samt en 70 mm bred tätningsring. Inåtbuktade gaveln har en 150 mm bred stödring samt en stärkande U-balk av materialet P355NL2. Beräknade maximispänningar bör vara lägre än tillåtna spänningen (σ_{till}) för tillverkningsmaterialet.

$$\sigma_{till} = \left(\frac{R_e}{1.5} ; \frac{R_m}{2.4} \right) = 211 \text{ N/mm}^2 \quad (13)$$

Resultat av utåtbuktad gavel:

$$\sigma = \frac{M}{W} = 117 \frac{N}{mm^2} \quad (14)$$

Spänningen som uppstår är lägre än gränsvärdena för EN 1.4301 och EN 1.4401 vilket bevisar godkänd design.

Resultat av inåtbuktad gavel:

$$\sigma = \frac{M}{W_1} = 126 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma = \frac{M}{W_2} = 177 \frac{N}{mm^2}$$

$$117, 126, 177 \text{ N/mm}^2 < 211 \text{ N/mm}^2$$

Spänningen som uppstår är lägre än gränsvärdet för P355NL2, vilket bevisar godkänd design.

Gångjärnet till öppningsbara gaveln består av gaveldel och manteldel, spänningarna som uppstår i dessa kontrolleras och resultaten återfinns i Tabell 14 och 15.

Tabell 14. Sammandrag av resultat för gångjärn, gaveldel

Plats / Komponent	Typ av spänning	Formel	Resultat
Hål för axel	Dragspänning (σ)	$\sigma = \frac{F}{A}$	67 N/mm ²
	Skjuvspänning (τ)	$\tau = \frac{F}{A}$	67 N/mm ²
Svets	Skjuvspänning (τ)	$\tau = \frac{F}{2 \cdot a \cdot l}$	33 N/mm ²
	Böjspänning (σ)	$\sigma = \frac{M}{W}$	121 N/mm ²
	Jämförelsespänning ($\sigma_{jäm}$)	$\sigma_{jäm} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$	134 N/mm ²

Tabell 15. Sammandrag av resultat för gångjärn, manteldel

Plats / Komponent	Typ av spänning	Formel	Resultat
Svets	Skjuvspänning (τ)	$\tau = \frac{F}{2 \cdot a \cdot l}$	28 N/mm ²
	Böjspänning (σ)	$\sigma = \frac{M}{W}$	84 N/mm ²
	Jämförelsespänning ($\sigma_{jäm f}$)	$\sigma_{jäm f} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$	93 N/mm ²
Gångjärnets axel	Skjuvspänning (τ)	$\tau = \frac{F}{A}$	103 N/mm ²

De beräknade spänningarna som uppstår både i mantel- och gaveln delen av gångjärnet är lägre än den tillåtna spänningen av materialet P355, vilket resulterar i godkänd design.

4.2.6 Låsanordning

Komponenterna som ingår i låsanordningen av den öppningsbara gaveln kontrolleras mot spänning orsakat av trycket i vakuum-trycktanken. Dessa komponenter består av gaveln, cylinderdel samt låstapp. Beräknade resultatet presenteras i tabell 16 och 17.

Tabell 16. Sammandrag av resultat för låsanordning, gaveldel.

Plats / Komponent	Typ av spänning	Formel	Resultat
Lås ögla	Dragspänning (σ)	$\sigma = \frac{F}{A}$	107 N/mm ²
Lås ögla	Skjuvspänning (τ)	$\tau = \frac{F}{A}$	78 N/mm ²
Svets – ögla mot stödplatta	Dragspänning (σ)	$\sigma = \frac{F}{A}$	124 N/mm ²
Svets – gavel mot stödplatta	Skjuvspänning (τ)	$\tau = \frac{F}{2 \cdot a \cdot l}$	50 N/mm ²
	Böjspänning (σ)	$\sigma = \frac{M}{W}$	111 N/mm ²
	Jämförelsespänning ($\sigma_{jäm}$)	$\sigma_{jäm} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$	141 N/mm ²

Tabell 17. Sammandrag av resultat för låsanordning, cylinderdel och låstapp.

Plats / Komponent	Typ av spänning	Formel	Resultat
Låsögla	Dragspänning (σ)	$\sigma = \frac{F}{A}$	82 N/mm ²
Låsögla	Skjuvspänning (τ)	$\tau = \frac{F}{A}$	86 N/mm ²
Svets – låsplattor till stödplåt	Skjuvspänning (τ)	$\tau = \frac{F}{2 \cdot a \cdot l}$	36 N/mm ²
	Böjspänning (σ)	$\sigma = \frac{M}{W}$	115 N/mm ²
	Jämförelsespänning ($\sigma_{jämf}$)	$\sigma_{jämf} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$	130 N/mm ²
Svets – stödplåt till mantel (längsgående)	Skjuvspänning (τ)	$\tau = \frac{F}{2 \cdot a \cdot l}$	82.7 N/mm ²
Svets – stödplåt till mantel (tvärgående)	Dragspänning (σ)	$\sigma = \frac{F}{A}$	115 N/mm ²
Låstapp	Skjuvspänning (τ)	$\tau = \frac{F}{A}$	78 N/mm ²

De beräknade spänningarna som uppstår i låstappen samt mantel- och gavel del av låsanordningen är lägre än den tillåtna spänningen av materialet P355NL2, vilket resulterar i godkänd design.

4.2.7 Sadelstöd och fastsättning till ram

Säkerheten hos sadelstöden som tanken är placerad på kontrolleras enligt EN-13445-3. Max belastning som stöden klarar av samt dess instabilitet beräknas.

Tankens maximala tyngdkraft (F_i) bör vara lägre än beräknade maximi tillåten tryckkraft (F_{max}). Formler som ger de slutliga avgörande resultaten är formel 15 och 16.

$$F_i = \frac{W}{n} = 166150 \text{ N} \quad (15)$$

$$F_{max} = \frac{0.9 \cdot \sigma_{b,all,3} \cdot \sqrt{D_i \cdot e_a} \cdot e_a}{K_7 \cdot K_9 \cdot K_{10}} = 173899 \text{ N} \quad (16)$$

$$F_i \leq F_{max}$$

Kraften som stöden klarar av är högre än den kraft som de utsätts för, vilket gör konstruktionen godkänd.

Instabiliteten av sadelstöden kontrolleras enligt formel 17. Där beräknade värdet bör vara lägre än 1.

$$|P| / P_{max} + |M_i| / M_{max} + F_{eq} / F_{max} + \left(\frac{Q_i}{Q_{max}}\right)^2 = 0,5 \quad (17)$$

Beräknade värdet 0,5 är lägre än 1 och uppfyller därför kraven gällande konstruktionens instabilitet.

Hållfastheten hos tankens fastsättning till ramen kontrolleras mot krafter som uppstår vid drift av fordonet. Resultaten för icke-tippbara och tippbara tanken presenteras i Tabell 18 respektive 19.

Tabell 18. Sammandrag av resultatet för raminfästning, ej tippbar tank

Plats / Komponent	Typ av spänning	Formel	Resultat
Skruv (M20, 8.8)	Dragspänning (σ)	$\sigma = \frac{F}{A}$	498 N/mm ²
Skruv (M20, 8.8)	Skjuvspänning (τ)	$\tau = \frac{F}{A}$	176 N/mm ²
Fästplatta till sadel	Drag-/tryckspänning (σ)	$\sigma = \frac{F}{A}$	98 N/mm ²
Fästplatta till ram	Drag-/tryckspänning (σ)	$\sigma = \frac{F}{A}$	68 N/mm ²
Svets – infästning till rambalk	Skjuvspänning (τ)	$\tau = \frac{F}{A}$	79 N/mm ²
Svets – sadelns sidoplåtar	Dragspänning (σ)	$\sigma = \frac{F}{A}$	81 N/mm ²

Tabell 19. Sammandrag av resultatet för raminfästning, tippbar tank

Plats / Komponent	Typ av spänning	Formel	Resultat
Tippaxel	Skjuvspänning (τ)	$\tau = \frac{F}{A}$	38 N/mm ²
Skruv (M16, 8.8)	Skjuvspänning (τ)	$\tau = \frac{F}{A}$	138 N/mm ²
Styr-/stödplåt	Skjuvspänning (τ)	$\tau = \frac{F}{A}$	87 N/mm ²
Svets – styrplåt till stödplåt	tryckspänning (σ)	$\sigma = \frac{F}{A}$	20 N/mm ²
Svets – styrplåt till stödplåt	Skjuvspänning (τ)	$\tau = \frac{F}{A}$	22 N/mm ²

Både den tippbara och icke-tippbara tankens infästning bevisas vara säker enligt beräkningarna eftersom spänningarna hålls under gränsvärden för P355NL2 samt för de skruvförband som används.

4.3 Standardimplementering och certifikat

Faktablad och tillverkningscertifikat på komponenter från underleverantörer skickas in till inspektionsorganet som bevis på att de uppfyller kraven. Utöver detta så presenteras även dokument som bevisar att svetsarna är kvalificerade enligt de svetsmetoder som används.

De standarder som används under design- och tillverkningsprocessen av tryckkärlen ska även ingå i den information som ges till inspektionsorganet (Tabell 20).

Tabell 20. Standarder som använts vid design och tillverkning.

Implementering	Standard
Design och beräkning	EN 14025, EN 13445-2, EN 13445-3
Tillverkning	EN 14025, EN 13445-4
Inspektion och dokumentation	EN 13445-5, EN 12972, EN 10204
Svetsprocedur	EN ISO 15607, EN ISO 15609-1
Kvalificering av svetsare	EN ISO 15614-1, EN ISO 15613, EN ISO 9606-1

5 Diskussion

I detta kapitel diskuteras projektets utmaningar och avgränsning, samt de uppnådda resultaten och deras betydelse för företaget. Kapitlet avslutas med sammanfattande slutord för arbetet.

5.1 Resultat och utförandet

Detta examensarbete har gett en fördjupande kunskap vad gäller de krav som ställs vid tillverkningen av tryckkärl avsedda för transport av farligt gods. Transport av farligt gods är ett mycket brett och informationsrikt område med lagstiftning, föreskrifter och standarder som bör iakttas. Detta resulterade i att projektet var något mera komplicerat och tidskrävande än vad som först förväntats. Trots detta så var ansöknings dokumenten färdigställda och inlämnade i god tid.

Resultaten visar att vakuum-trycktankarna som Juro-Clean tillverkar uppfyller säkerhetskraven angivna för ett tillverkningstillstånd för Tryckkärl avsedda för transport av farligt god. Detta tillverkningstillstånd är viktigt för företaget så de kan erbjuda kunderna de produkter de önskar och för att som tillverkare hålla sig konkurrenskraftig på marknaden.

5.2 Metoddiskussion

Det goda samarbetet från Juro-Cleans sida skapade både en god förståelse för vad projektet inkluderade och hjälpte fram skridningen av projektet. Uppgifterna som gavs av inspektionsorganet var också en viktig del för att få inkluderat all information som skulle ingå i ansökan.

Utföringen av ritningarna i Solidworks 3D CAD var användarvänlig och resulterade i tydliga och tillförlitliga ritningar. Tillämpningen av standarderna som implementerats vid beräkning samt övrig kunskap kring hållfasthetslära anses resultera i pålitliga resultat. All sammanfattande information kring beräkningarna samlades i ett Microsoft-Word dokument. Detta visade sig vara tidskrävande på grund av att programvarans ekvations infogande anses vara något bristfällig och inte så användarvänligt, i stället skulle detta dokument kunnat göras direkt i ett beräkningsprogram. Exempelvis Mathcad vilket är mer anpassat för att skriva komplexa formler.

5.3 Slutförande av tillverkningstillståndet

Som avgränsning till projektet nämns det att slutliga delen för att få ett tillverkningstillstånd utfärdat utesluts från detta projekt. Denna del som återstår består av en prototyp tank inspektion, där en prototyp tank granskas och trycktestas för att se att den är tillverkad enligt regler och anvisningar samt att konstruktionen är driftssäker. Här ska också certifikat för stålen som används vid tillverkningen presenteras.

Orsaken till att denna del utesluts är på grund av tidsbrist orsakad av fördröjd process från inspektionsorganet. Målsättningen med utfärdat tillverkningstillstånd inom utsatt tid är ännu möjligt att nå inom företagets tidsram men på grund av fördröjningen så blir denna avhandling färdigställd före tillverkningstillståndet blivit utfärdat.

5.4 Slutord

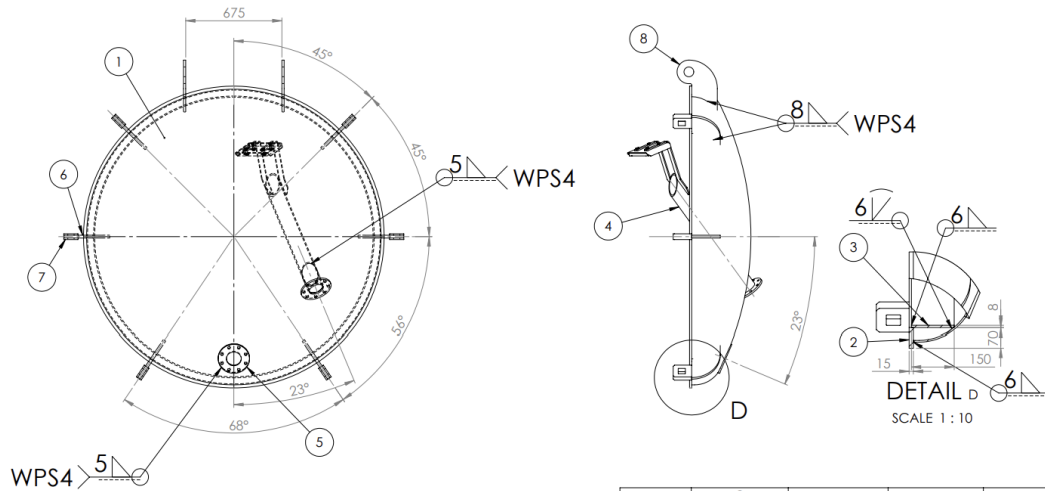
Slutligen vill jag rikta ett stort tack till Juro-Clean för det förtroende jag fått gällande utförandet av detta projekt samt för det goda samarbetet som gjort utförandet av arbetet möjligt. Jag vill även rikta ett tack till Mikael Tätting som har gjort ett utmärkt arbete i sin position som handledare till detta projekt från skolans sida.

6 Litteraturförteckning

- Autodesk. (den 01 08 2025). *What is cad software?* Hämtat från <https://www.autodesk.com/solutions/cad-software>
- Factor of safety*. (den 07 02 2025). Hämtat från Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Factor_of_safety?
- Juro-Clean*. (den 03 01 2025). Hämtat från <https://www.juroclean.fi/sv/home>
- Kemppi. (den 31 12 2023). *Vad är svetsning*. Hämtat från <https://www.kemppi.com/sv/bloggar/vad-ar-svetsning>
- Kemppi. (den 14 1 2024). *MIG/MAG-svetsning*. Hämtat från <https://www.kemppi.com/sv/bloggar/mig-mag-svetsning>
- Kiwa. (den 26 03 2025). *Kvalificering av svets- och lödprocedurer*. Hämtat från <https://www.kiwa.com/se/sv/tjanster2/certifiering/kvalificering-av-svets-och-lodprocedurer/>
- Lag om transport av farliga ämnen 541/2023*. (u.d.). Hämtat från Finlex.fi: https://www.finlex.fi/sv/lagstiftning/2023/541?language=swe&highlightId=570643&highlightParams=%7B%22type%22%3A%22BASIC%22%2C%22search%22%3A%222023%2F541%22%7D#chp_1_sec_2_heading
- Livallco. (den 15 01 2025). *P355NL2*. Hämtat från <https://livallco.se/stal/p355nl2/>
- Manufacturingguide. (den 27 01 2025). *Svetsbeteckning*. Hämtat från <https://www.manufacturingguide.com/sv/ordlista/svetsbeteckning>
- Schaeffler Technical Pocket Guide*. (2018). Herzogenaurach: Schaeffler technologies.
- SFS-EN 12972:2018 + A1:2024:en. (u.d.). *Tanks for the transport of dangerous goods. Testing, inspection and marking of metallic tanks*. SFS Finnish Standards.
- SFS-EN 13445-1:2021. (u.d.). *Unfired pressure vessels. Part 1: General*. SFS Finnish standards.
- SFS-EN-14025:2024. (u.d.). *Tanks for the transport of dangerous goods. Metallic pressure tanks. Design and construction*. SFS Finnish Standards.
- Solidworks. (den 08 01 2025). *What is SOLIDWORKS 3D CAD?* Hämtat från <https://www.solidworks.com/product/solidworks-3d-cad>
- SSAB. (den 11 02 2022). *SSAB multisteel PE*. Hämtat från https://www.ssab.com/api/sitecore/Datasheet/Get?key=64904cc2d0d649289de8f92d35741133_en
- Svetsansvarig. (den 26 03 2025). *Dokumentation*. Hämtat från <https://svetsansvarig.se/dokumentation/>
- Tibnor. (2023). *Rostfrittstål teknisk data*. Hämtat från <https://www.tibnor.se/medias/datasheet-austenitiska-rostfria-stal-1.4301-1.4307.pdf?context=bWFzdGVyfHJvb3R8MjI2MDU1fGFwGxpY2F0aW9uL3BkZnxhRFpsTDJnM05TODVNeIV4TXpVMk1qZzBPVfU0TDJSaGRHRnphR1ZsZEM>

xaGRYTjBaVzVwZEdsemEyRXXRjbTl6ZEdaeWFXRXXRjM1JoYkMweExqUXpNRE
V

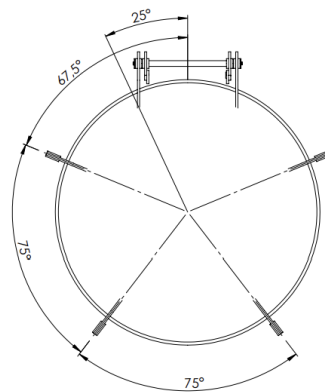
- Tibnor. (den 15 01 2025). (a) *Rostfri Plåt EN 1.4301/4307*. Hämtat från <https://www.tibnor.se/Rostfritt-St%C3%A5l/Pl%C3%A5t/Kallvalsad-pl%C3%A5t/Rostfri-Pl%C3%A5t-EN-1-4301-4307/p/301001003211>
- Tibnor. (den 15 01 2025). (b) *Rostfri Plåt EN 1.4401/4404*. Hämtat från 15.01.2025 <https://www.tibnor.se/Rostfritt-St%C3%A5l/Pl%C3%A5t/Kallvalsad-pl%C3%A5t/Rostfri-Pl%C3%A5t-EN-1-4401-4404/p/301001003226>
- Transport av farliga ämnen på väg 473663/2022*. (u.d.). Hämtat från Finlex.fi: <https://www.finlex.fi/sv/myndigheter/foreskriftssamlingar/traficom-vagtrafik/2023/49437>
- tukes.fi*. (u.d.). Hämtat från <https://tukes.fi/vak/vak-luokitukset>
- Tätsvets. (den 08 12 2023). *Materialval för tryckkärl: Rostfritt stål, syrafast stål och tryckkärlsstål* . Hämtat från <https://tatsvets.se/materialval-for-tryckkarl-rostfritt-stal-syrafast-stal-och-tryckkarlsstal/>



8	2	108 v1	Hinge	P355NL2 s=15
7	6	108_2	Lock	P355 NL2 s=40
6	6	108_1	Plate, lock	P355 NL2 s=20
5	1	111	Flange	EN 1.4301, 1.4401
4	1	102_4	Pipe	EN 1.4301, 1.4401
3	1	102_3	Supporting	EN 1.4301, 1.4401
2	1	102_2	Supporting	EN 1.4301, 1.4401
1	1	102_1	Dome, klöppar	EN 1.4301, 1.4401

ITEM NO.	Default/QTY.	PART NUMBER	Name 1	Material
Opening dome				
102				
		Finishing	Size A3	Drawn by MWI
		Weight (kg)	Page 3	Date 30-07-2024
		Project 100	Scale 1:20	Dwg no ADR DWG 100 - FIN
		Revision		

ALLA ICKE TOLERANSSÄTTA MÅT ENLIGT
ISO 13920-BF / ISO 2768-m

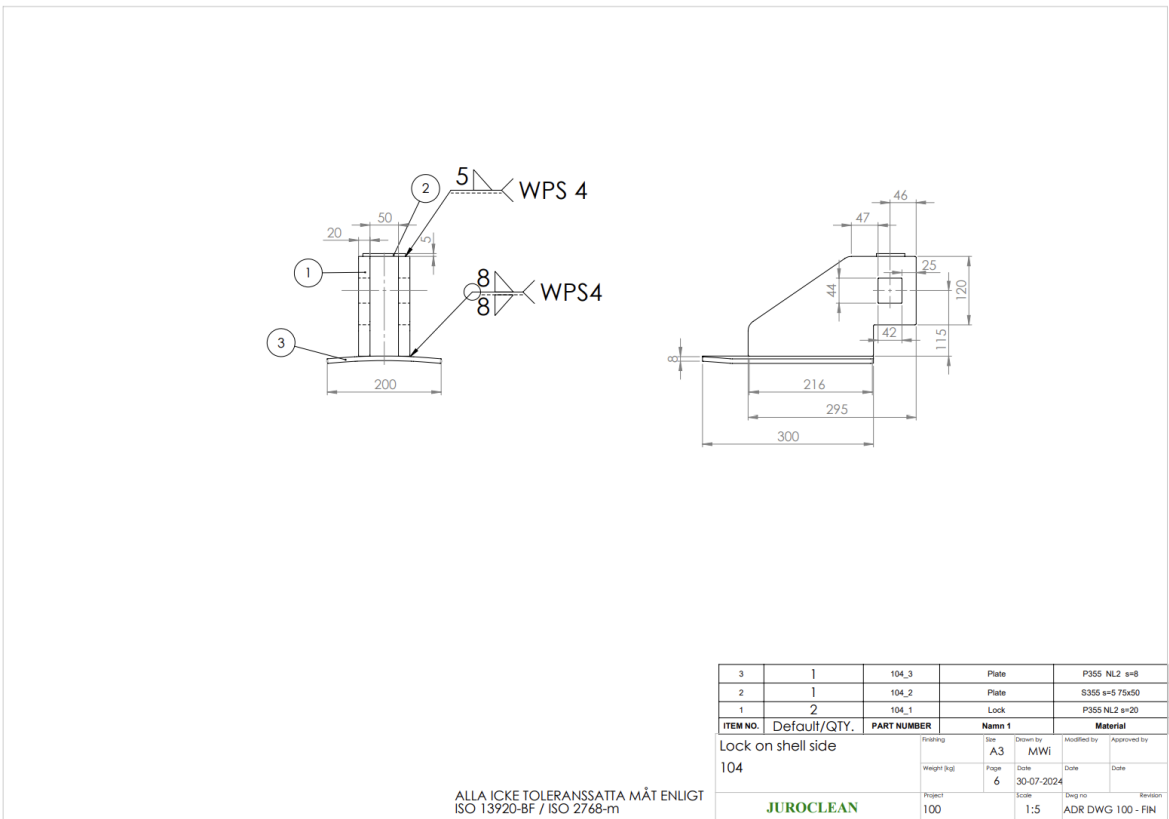
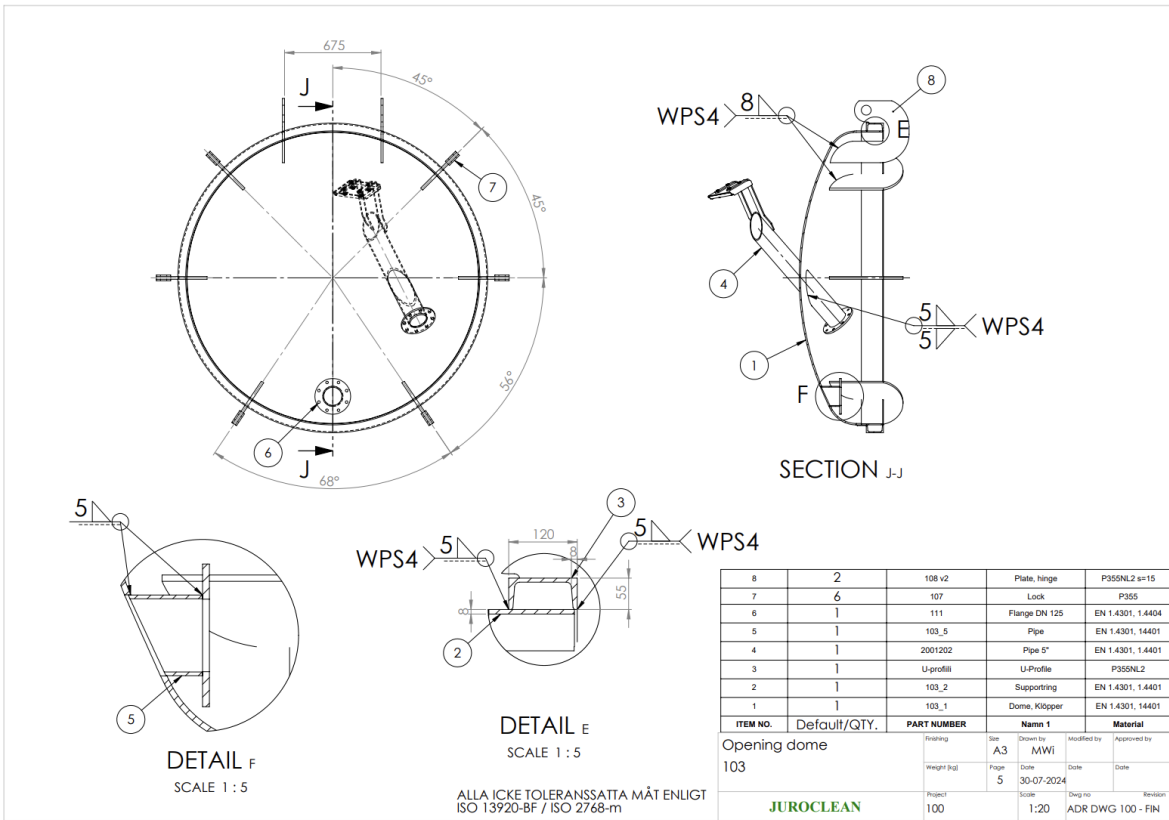


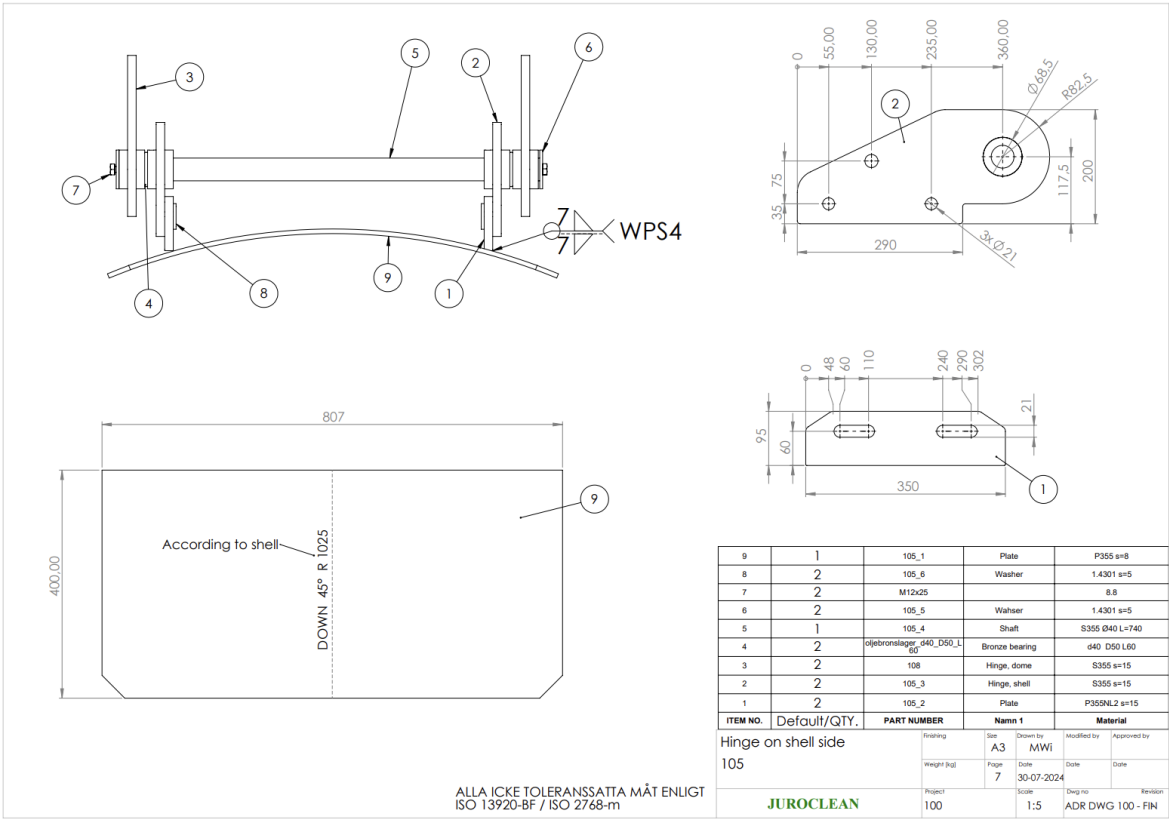
At lower diameter (Max 1820mm) 4 locks can be used instead of 6

ITEM NO.	Default/QTY.	PART NUMBER	Name 1	Material
Alternative dome 4 locks				
102.2				
		Finishing	Size A3	Drawn by MWI
		Weight (kg)	Page 4	Date 30-07-2024
		Project 100	Scale 1:20	Dwg no ADR DWG 100 - FIN
		Revision		

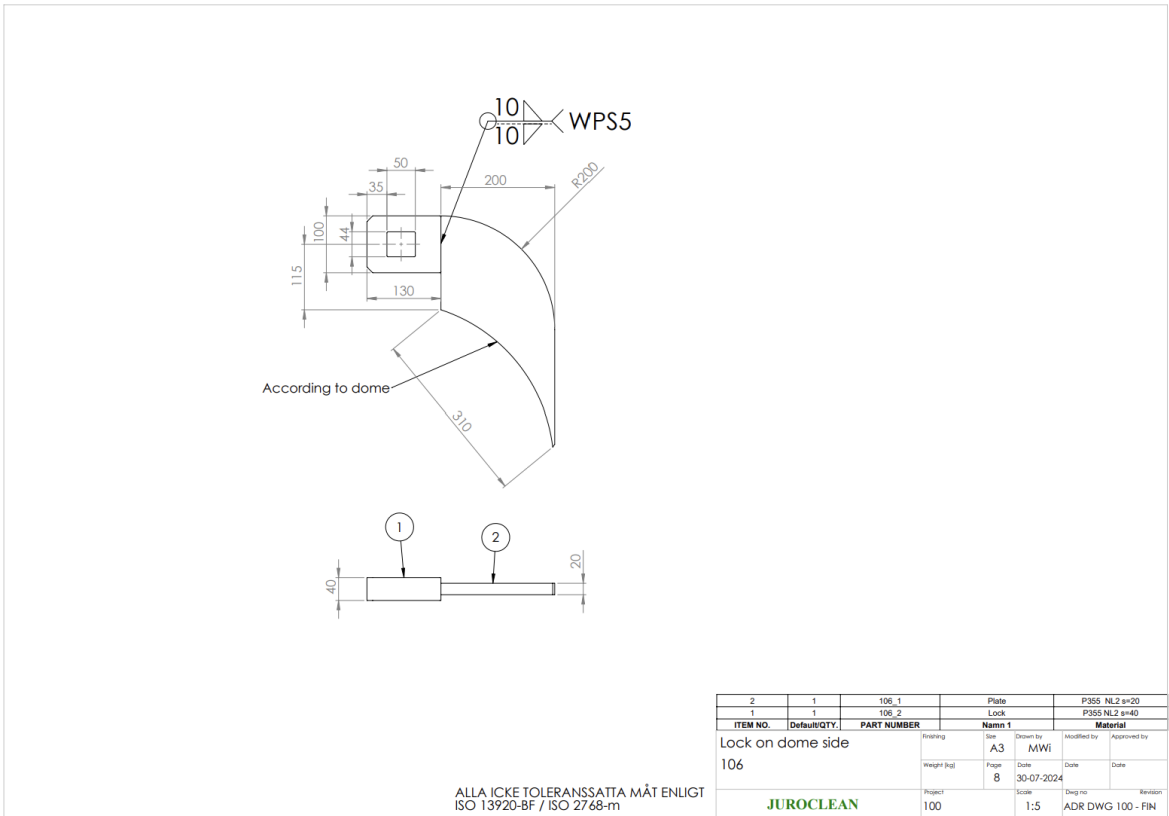
ALLA ICKE TOLERANSSÄTTA MÅT ENLIGT
ISO 13920-BF / ISO 2768-m

JUROCLEAN

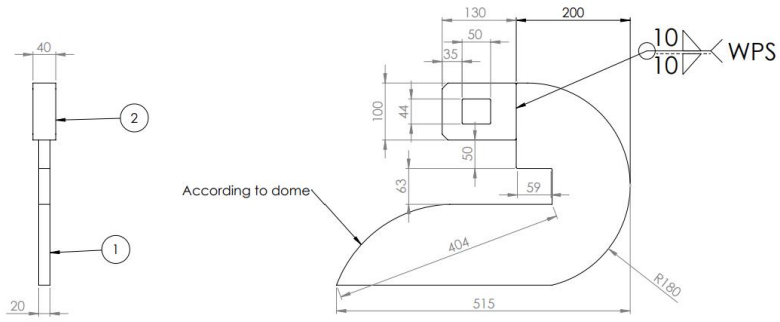




ALLA ICKE TOLERANSSATTA MÅT ENLIGT
 ISO 13920-BF / ISO 2768-m

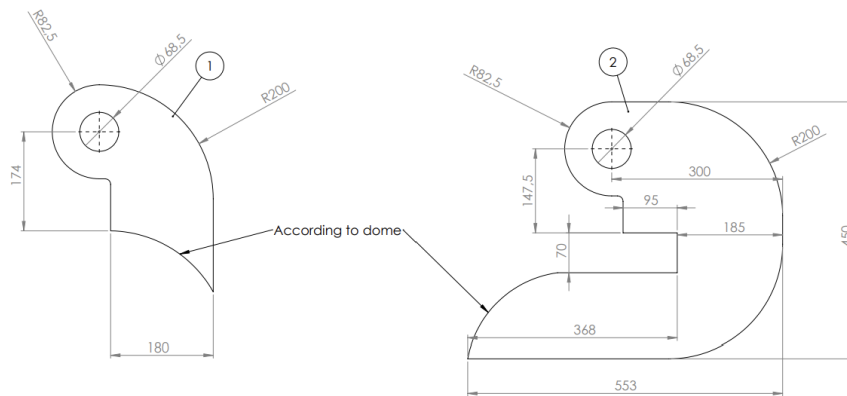


ALLA ICKE TOLERANSSATTA MÅT ENLIGT
 ISO 13920-BF / ISO 2768-m



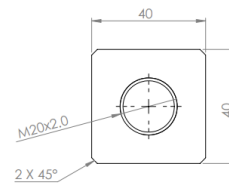
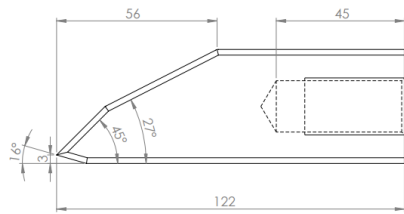
ALLA ICKE TOLERANSSAITTA MÅT ENLIGT
ISO 13920-BF / ISO 2768-m

2	1	106 v2	Lock	P355 NL2 s=40
1	1	107 v1	Plate	P355 NL2 s=20
ITEM NO.	Default/QUANTITY	PART NUMBER	Name	Material
Lock on dome side				
107			Finishing: A3 Size: MWi	Drawn by: MWi Modified by:
			Weight (kg): 9	Date: 30-07-2024
			Project: 100	Scale: 1:5 Dwg no: ADR DWG 100 - FIN
JUROCLEAN				Revision



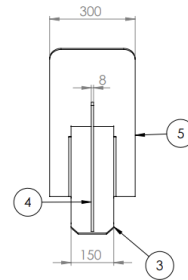
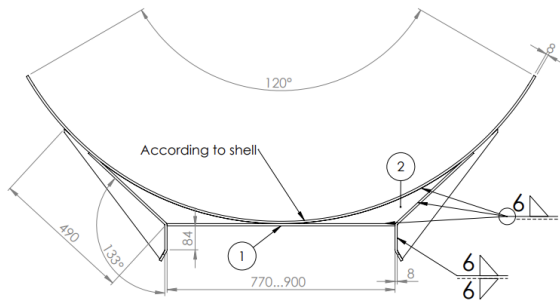
ALLA ICKE TOLERANSSAITTA MÅT ENLIGT
ISO 13920-BF / ISO 2768-m

2	1	108 v2	Plate	P355 s=15
1	1	108 v1	Plate	P355 s=15
Item No.	QTY.	Part Number	Name	Material
Hinge on dome side				
108			Finishing: A3 Size: MWi	Drawn by: MWi Modified by:
			Weight (kg): 10	Date: 30-07-2024
			Project: 100	Scale: 1:5 Dwg no: ADR DWG 100 - FIN
JUROCLEAN				Revision



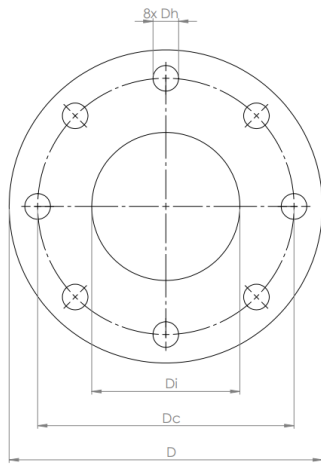
ALLA ICKE TOLERANSSATTA MÅT ENLIGT
ISO 13920-BF / ISO 2768-m

1		P355 NL2 s=40		40x40			
ITEM	Qty.	Material	Finishing	Size	Drawn by	Modified by	Approved by
Locking pin				A3	MWi		
109			Weight (kg)	Page	Date	Date	Date
				11	30-07-2024		
		JUROCLEAN	Project	Scale	Draw no	Revision	
			100	1:1	ADR DWG 100 - FIN		



ALLA ICKE TOLERANSSATTA MÅT ENLIGT
ISO 13920-BF / ISO 2768-m

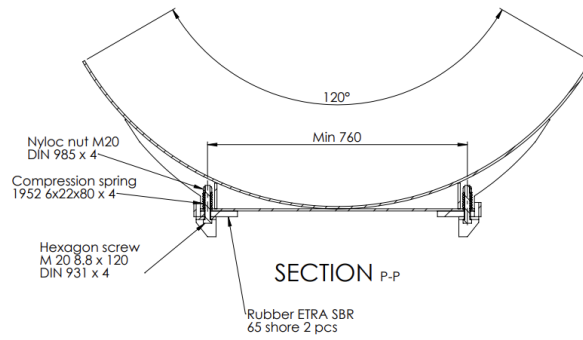
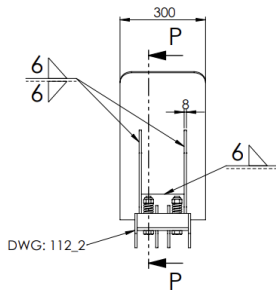
5		110_1		Saddle		P355NL2 s=8	
4		110_4		Support plate		P355NL2 s=8	
3		110_3		Support plate		P355NL2 s=8	
2		110_2		Support plate		P355NL2 s=8	
1		110_5		Bottom plate		P355NL2 s=8	
ITEM NO.	Default/QUANTITY	PART NUMBER		Name 1		Material	
Saddle support							
110							
			Finishing	Size	Drawn by	Modified by	Approved by
				A3	MWi		
			Weight (kg)	Page	Date	Date	Date
				12	30-07-2024		
		JUROCLEAN	Project	Scale	Draw no	Revision	
			100	1:10	ADR DWG 100 - FIN		



DN	Outer diameter. (D)	Inner diameter. (Di)	Center diameter. (Dc)	Hole diameter. (Dh)
100	220	104	180	18
125	250	127	210	18
150	285	156	240	23
200	340	209	295	23

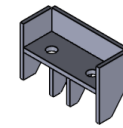
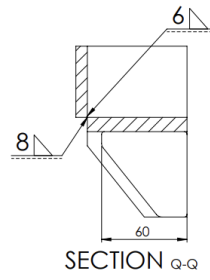
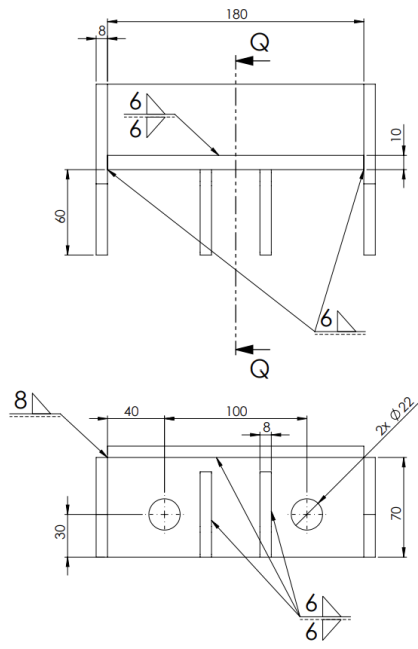
ALLA ICKE TOLERANSSATTA MÅT ENLIGT
ISO 13920-BF / ISO 2768-m

ITEM	Qty.	1.4301, 1.4401 Material	Finishing	Size A3	Drawn by MWI	Modified by	Approved by
Flange 111							
			Weight list 13		Date 30-07-2024	Date	Date
		JUROCLEAN	Project 100	Scale 1:2	Dwg no ADR DWG 100 - FIN	Revision	



ALLA ICKE TOLERANSSATTA MÅT ENLIGT
ISO 13920-BF / ISO 2768-m

ITEM	Qty.	1.4301, 1.4401 Material	Finishing	Size A3	Drawn by MWI	Modified by	Approved by
Alternative saddle to 110 112							
			Weight list 14		Date 30-07-2024	Date	Date
		JUROCLEAN	Project 100	Scale 1:10	Dwg no ADR DWG 100 - FIN	Revision	



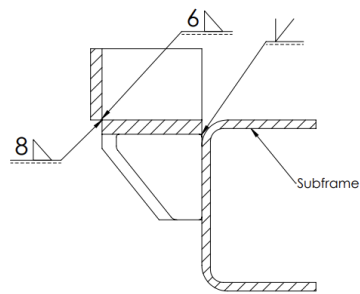
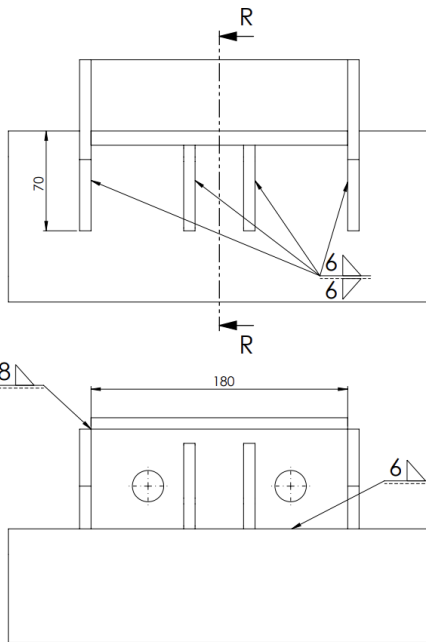
Isometric view 1:5

ITEM	Qty.	Material	DIMENSION
4	2	PI8 S355 60x60	60x60
3	1	PI8 S355 50x180	50x180
2	2	PI8 S355	
1	1	PI10 S355	

Attachment of tank Weldment 112_2		Finishing	Size	Drawn by	Modified by	Approved by
		Weight Btl	A3	MWf		
		Page	15	Date	Date	Date
		Project	100	Scale	Dwg no	Revision
				1:2	ADR DWG 100 - FIN	

ALLA ICKE TOLERANSSATTA MÅT ENLIGT
ISO 13920-BF / ISO 2768-m

JUROCLEAN

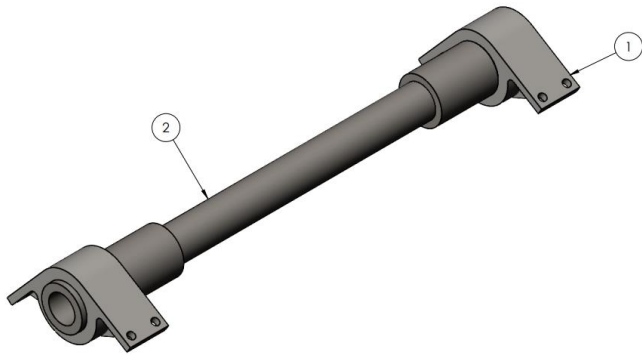
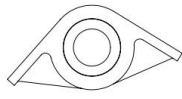


SECTION R-R

Attachment of tank Weldments to subframe 112_2		Finishing	Size	Drawn by	Modified by	Approved by
		Weight Btl	A3	MWf		
		Page	16	Date	Date	Date
		Project	100	Scale	Dwg no	Revision
				1:2	ADR DWG 100 - FIN	

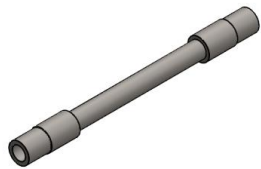
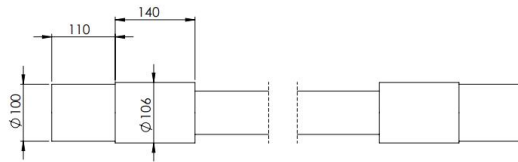
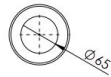
ALLA ICKE TOLERANSSATTA MÅT ENLIGT
ISO 13920-BF / ISO 2768-m

JUROCLEAN



ALLA ICKE TOLERANSSATTA MÅT ENLIGT
ISO 13920-BF / ISO 2768-m

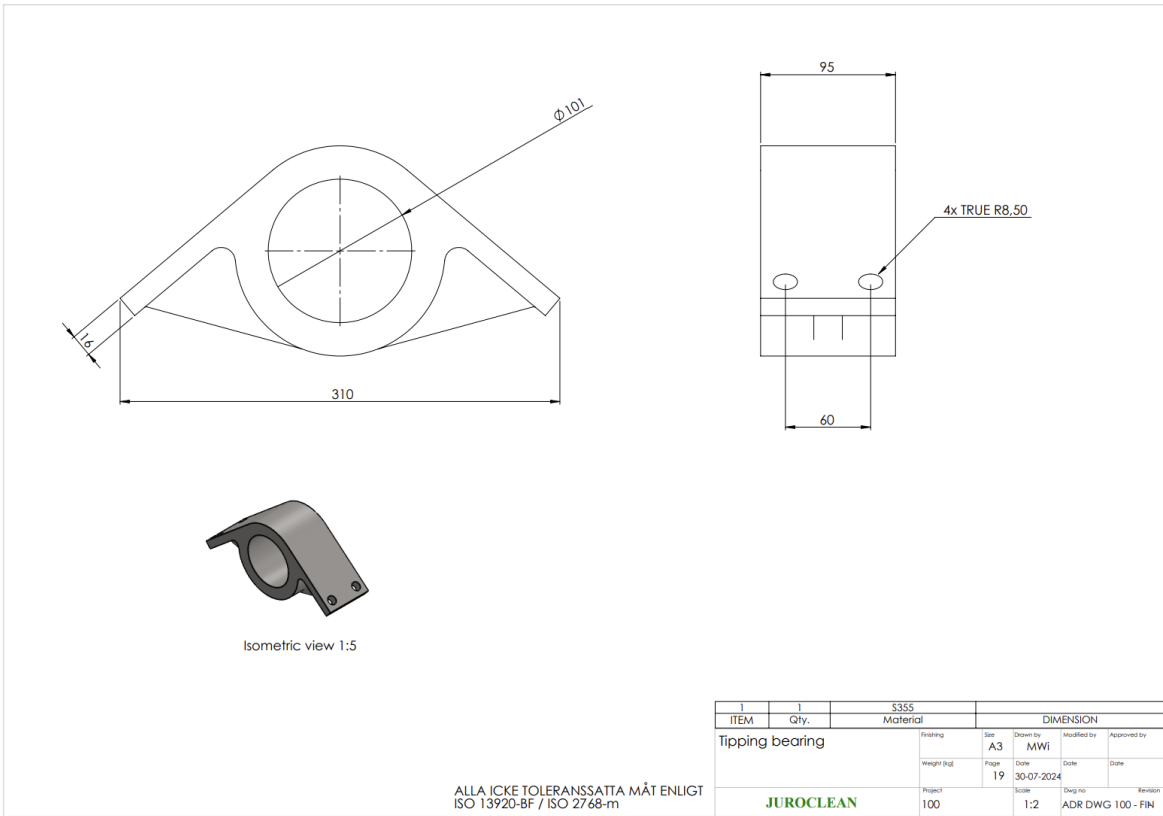
2	1	113_1	Tipping shaft	S355
1	2	113_2	Tipping bearing	S355
ITEM NO.	Default/Qty.	PART NUMBER	Material	Revision
Tipping shaft			Finishing	Size
113			Weight (kg)	Page
JUROCLEAN			Project	Scale
			Drawn by	Modified by
			Date	Date
			Date	Date
			Dwg no	Revision
			100	1:5
			ADR DWG 100 - FIN	



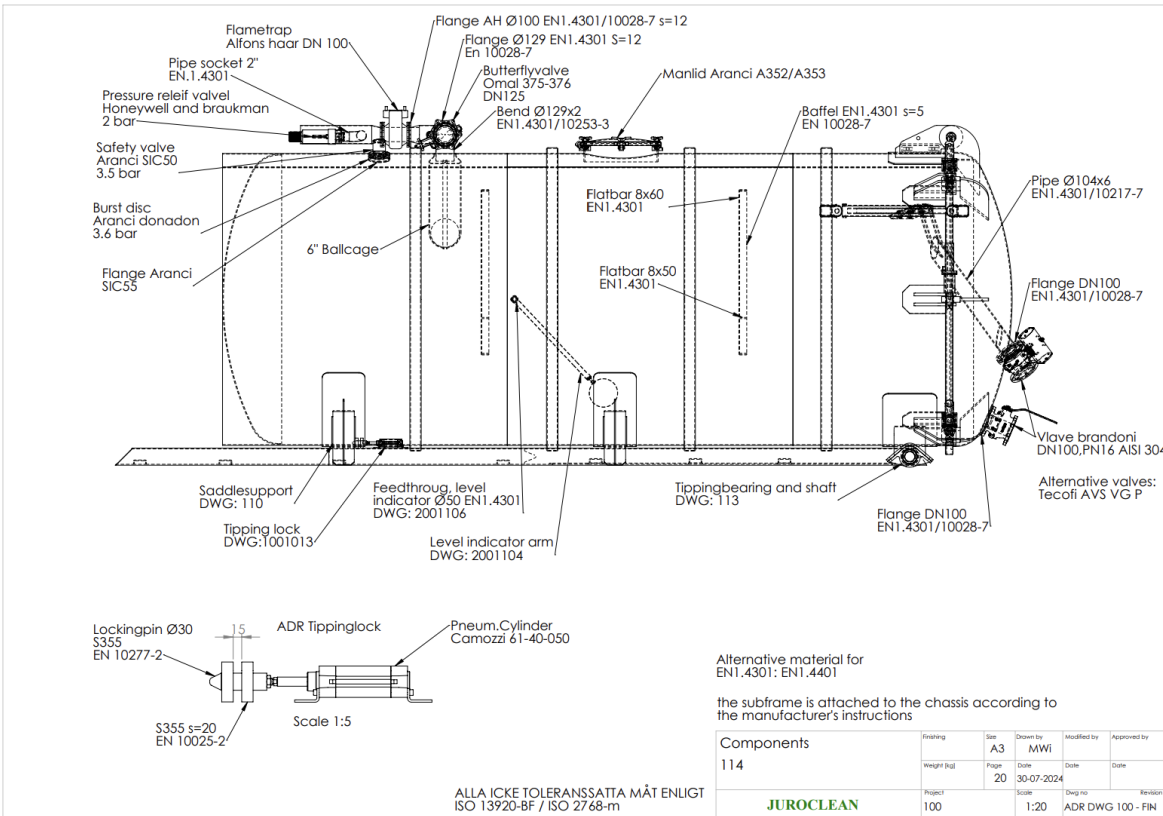
Isometric view 1:10

ALLA ICKE TOLERANSSATTA MÅT ENLIGT
ISO 13920-BF / ISO 2768-m

1	1	S355			
ITEM	Qty.	Material	DIMENSION		
Tipping shaft			Finishing	Size	Drawn by
113_1			Weight (kg)	Page	Date
JUROCLEAN			Project	Scale	Dwg no
			Date	Date	Date
			Date	Date	Date
			Dwg no	Revision	
			100	1:5	ADR DWG 100 - FIN



ALLA ICKE TOLERANSSATTA MÅT ENLIGT
ISO 13920-BF / ISO 2768-m



Alternative material for
EN1.4301: EN1.4401

the subframe is attached to the chassis according to
the manufacturer's instructions

ALLA ICKE TOLERANSSATTA MÅT ENLIGT
ISO 13920-BF / ISO 2768-m