

Pauli Koho

HYDRAULISEN PURISTIMEN SUUNNITTELU

Opinnäytetyö

Insinööri AMK

Energiatekniikka

2023



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Pauli Koho
Työn nimi	Hydraulisen puristimen suunnittelu
Toimeksiantaja	Sulzer Pumps Finland Oy
Vuosi	2023
Sivut	42 sivua, liitteitä 10 sivua
Työn ohjaaja(t)	Kalle Tarhonen

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella hydraulinen puristin, jolla voidaan liittää kaksi putkiston laippaa yhteen. Puristin tulee korvaamaan laipoissa tavallisesti käytetyt pulttiliitokset, mikä nopeuttaa ja helpottaa asentajien työtä. Sulzerin tutkimuskeskuksen vesiasemalla testataan erikokoisia pumppuja, joten pumppukoon vaihdon yhteydessä asemalla pitää vaihtaa myös siihen liittyvät mittaputket. Paine- ja imupuolelle suunniteltiin erilaiset puristimet, sillä laippoihin kohdistuu painepuolella huomattavasti suuremmat voimat. Lisäksi imupuolella on puristimen kynnelle geometrisia rajoitteita, mikä heikentää puristimen lujuutta. Puristimia tulee painepuolelle neljä kappaletta yhteen laippaliitokseen ja imupuolelle kahdeksan kappaletta kahdelle laippaliitokselle.

Hydraulisten puristimien suunnittelu toteutettiin systemaattista suunnitteluprosessia soveltaen. Projektin suunnitteluvaiheessa laadittiin vaatimuslista ja laskettiin, minkälaisia voimia puristimien tulee kestää. Puristimet koostuvat suunnitelluista valmistukseen menevistä osista sekä ostettavista standardiosista. Puristimen mallintaminen ja piirustusten tekeminen tapahtui SolidWorks 3D-mallinnusohjelmalla. Kyseisen ohjelman Simulation lisäosalla suoritettiin 3D-mallien FEM-analyysit, joiden tulokset varmennettiin käsin laskemalla.

Paine- ja imupuolelle saatiin suunniteltua FEM-analyysin avulla puristimet, jotka kestävätkä niihin kohdistuvat voimat. Tavoitemassana oli enintään 15 kg, joka tavoitettiin molemmissa puristimissa hyvin. Suunnitteluprojektissa saatiin tuotettua piirustuskuvat, joiden perusteella puristimet voidaan valmistaa.

Asiasanat:

hydraulinen puristin, laippaliitos, mekaaninen suunnittelu, tuotekehitys

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Pauli Koho
Thesis title	Designing of hydraulic clamp
Commissioned by	Sulzer Pumps Finland Oy
Time	2023
Pages	42 pages, 10 pages of appendices
Supervisor	Kalle Tarhonen

ABSTRACT

The objective of this thesis was to design a hydraulic press that can connect two piping flanges. The clamp replaces bolted joints normally used in the flanges, which will speed up and facilitate the work of installers. Pumps of different sizes are tested at the Sulzer Research Centre water station. Therefore, when the pump size is switched, the pressure pipe and the suction pipe connected to the pump must also be replaced. In this study, different clamps were designed for pressure and suction side, as the flanges are subjected to considerably greater forces on the pressure side. In addition, the suction side has geometric constraints on the clamp nail, which reduces the strength of the clamp. There are four clamps for the suction side for a single flange joint and eight clamps on the suction side for two flange joints.

The design of hydraulic presses was carried out using a systematic design process. At the design stage of the project, a list of requirements was drawn up and the forces that the clamps should withstand were calculated. The clamps consist of designed parts to be manufactured, as well as purchasable standard parts. Modeling and drawing of the hydraulic press were conducted using the SolidWorks 3D modeling program. With the Simulation add-on of the program, FEM analysis of 3D models were performed, the result of which were verified by manual calculation.

Presses that can withstand the forces applied to them were designed for the pressure and suction side with the help of FEM analysis. The target mass was up to 15 kg, which was reached well with both clamps. The design project, produced drawings, which can be used to make the hydraulic presses.

Keywords:

hydraulic press, flange connection, mechanical design, product development

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	PURISTIMIEN KÄYTTÖKOHDDE	6
3	TYÖN SUUNNITTELUVAIHE	8
3.1	Vaatimuslista	8
3.2	Laippoihin kohdistuvien hydrostaattisten voimien laskeminen	10
3.3	Sylinterin männän mitoittaminen	12
4	TYÖN TOTEUTUSVAIHE	14
4.1	Puristimien mallintaminen	14
4.2	Puristimiin kohdistuvien jännitysten laskenta	18
4.3	Puristimien jatkosuunnittelu	24
4.3.1	Osto-osien valinta	25
4.3.2	Sylinterisuojan mallintaminen	29
4.3.3	Kytkinlaatikon mallintaminen	29
4.3.4	Kahvojen mallintaminen	31
5	TULOKSET	33
5.1	Riskianalyysi	37
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	38
	LÄHTEET	39

KUVALUETTELO

LIITTEET

Liite 1. Piirustuskuvat

Liite 2. Riskianalyysi

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella hydraulinen puristin Sulzerin tutkimuskeskuksen vesiasemalle. Puristin tulee korvaamaan tavallisesti käytetyt pulttiliitokset laippojen välillä. Vesiasemalla testataan erikokoisia pumppuja, joten siellä joudutaan pumpun koon muuttuessa vaihtamaan samalla imu- ja painemittaputket.

Luopumalla mutterinvääntimestä laippaliitoksien vaihtoon kuluva aika nopeutuisi ja helpottuisi. Koska puristimilla kiinnitettävillä laipoilla ei ole pultin reikiä, putkien asennuksissa ei tarvitse käyttää aikaa laippojen asetteluun niin, että vastakkaisten laippojen reiät kohtaavat. Vaihtamalla pulttiliitokset puristimiin saadaan lisää hyödyllistä työaikaa asentajille.

Puristimilla kiinnitetään pumpun painepuolen laippa painemittaputken laippaan, pumpun imupuolen laippa imumittaputken laippaan sekä imumittaputken toisen pään laippa putkiston imupuolen kiinteän putken laippaan. Puristimia tulee yhteensä 12 kappaletta. Painepuolelle ja imupuolelle tulee erilaiset puristimet, koska painepuolella laippaan kohdistuu suuremmat voimat kuin imupuolella. Puristimien tulee olla tarpeeksi keveitä, jotta niitä voidaan käsitellä käsin. Niiden operointi tapahtuu nappia painamalla.

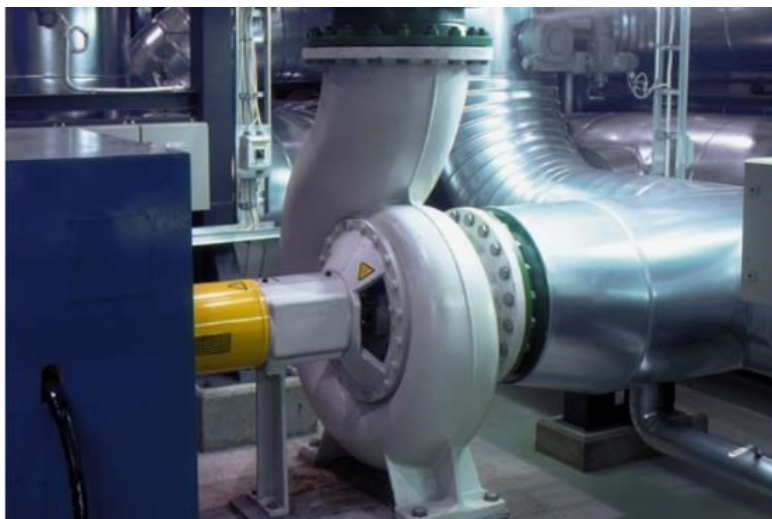
Työ suoritetaan systemaattista suunnitteluprosessia soveltaen (Björk ym. 2014). Puristimen mallinnuksessa ja lujuuslaskennassa hyödynnetään SolidWorksia, joka on 3D-mallinnusohjelma. Opinnäytetyön lopputuloksena saadaan työn tilaajalle valmistuskuvat puristimista.

2 PURISTIMIEN KÄYTTÖKOHDDE

Suunniteltavat puristimet ovat tulossa Sulzerin tutkimuskeskuksen vesiasemalle, jossa vettä pumpataan kehässä suljetussa piirissä. Tämän tarkoituksena on testata pumppujen toimivuutta. Puristimia ei ole tarkoitettu kaupalliseen käyttöön, eikä niitä ole suunniteltu käytettävän missään muualla. (Rehn 2022a.)

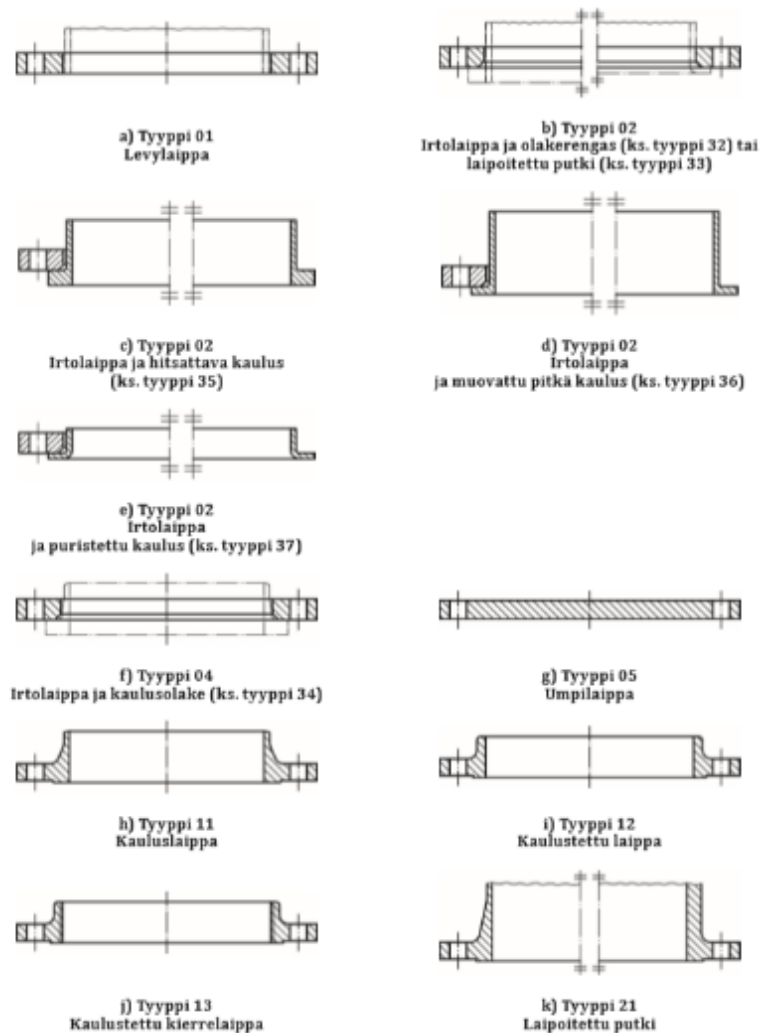
Vesiaseman putkistossa on vaihtuva imumittaputki, pumppu ja painemittaputki sekä kiinteä putkiston osuus. Pumpun imupuolella on tavallisesti 2 baaria painetta, mutta korkeimmillaan painetta saattaa olla 4 baaria. Pumpun painepuolella on 16 baaria painetta DN 250 -putkikokoon asti. Putkikoon kasvaessa paineen määrä laskee. DN 300 -putkessa on 12 baaria painetta ja DN 350 - sekä DN 400 -putkessa on 10 baaria. (Rehn 2022a.) DN koot ovat putkissa ja putkiosissa käytettäviä nimellismittoja, jotka ovat suuntaa antavia. Esimerkiksi DN 250 -putken todellinen ulkohalkaisija on 273,1 mm (PSK 4240 2021, 7).

Tähän asti vesiasemalla on käytetty imumittaputken kiinnittämiseen laippoja, joissa on pultteja varten reiät (Rehn 2022a). Imumittaputki saadaan liitettyä pumppuun laittamalla niiden laipat vastakkain ja kiristämällä pultti-mutteriliitokset laippojen reikien läpi. Laippojen välissä on lisäksi tiiviste, joka estää veden vuotamisen laippojen väistä pois. (SFS-EN 1092-1 2018, 12, 13) Painemittaputkessa pulttiliitosten sijaan laipoissa on käytetty mekaanisia puristimia, joita kiristetään mutterivääntimellä (Rehn 2022a). Kuvassa 1 näkyy esimerkkitilanne, jossa pumpun laipat ovat kiinnitetty pulttiliitoksilla putkien laippoihin.



Kuva 1: Pumpun laipat kiinnitetään tavallisesti pulttiliitoksilla putkien laippoihin (Sulzer 2023).

Laippojen DN koko viittaa siihen, minkä kokoisessa putkessa sitä käytetään. Esimerkiksi DN 250 -putkikoossa käytetään DN 250 -laippaa. (PSK 4240 2021, 10) Kuvassa 2 on määritelty erilaiset laippatyypit standardin EN 1092-1 mukaan.



Kuva 2: Erilaiset laippatyypit (SFS-EN 1092-1 20181 22).

Taulukossa 1 on listattuna erilaiset tiivistetyypit, joita käytetään PN-laipoissa. Testiasemalla tullaan käyttämään laippojen tiivistämiseksi nitrilikumista valmistettuja o-rengastiivisteitä.

Taulukko 1: Erilaiset tiivistetyypit PN-määritellyille laipoille (SFS-EN 1514 2021).

Osa	Aihe
1	Ei-metalliset litteät tiivisteet insertin kanssa tai ilman.
2	Spiraali tiivisteet teräksisille laipoille.
3	Ei-metalliset PTFE-kirjekuoritiivisteet.
4	Aallotetut, litteät tai uritetut metalliset ja täytetyt metallitiivisteet teräslaipoille.
6	Pinnoitetut hammastetut metallitiivisteet teräslaipoille.
7	Peitetyt metallivaippaiset tiivisteet teräslaipoille.
8	Polymeeriset O-rengastiivisteet uritetuille laipoille.

Tulevassa testijärjestelyssä voidaan käyttää entisiä painemittaputkia, mutta imumittaputket korvataan uusilla putkilla, joiden laipoissa ei ole pulttien reikiä. Putkien pumppuun liittyvissä laipoissa on urat o-rengastiivisteille. Reiättömät laipat on valmistettu koneistamalla EN 1.4301 teräksestä, mikä on ruostumaton terästä (Flinkenberg 2023).

Painepuolen laippojen ulkohalkaisijat on määritetty PN 16 luokan mukaan ja niiden paksuus on vähintään yhtä suuri kuin PN 16 luokassa. Imupuolen laipat ovat ulkohalkaisijaltaan yhtä suuria kuin painepuolen laipat, mutta niiden paksuus on mitoitettu PN 10 luokan mukaan. PN 16 luokan putkiosat on mitoitettu kestäämään 16 baarin painetta. Vastaavasti PN 10 luokan putkiosat on mitoitettu kestäämään 10 baaria painetta. (Rehn 2022a)

3 TYÖN SUUNNITTELUVAIHE

Hydraulisen puristimen suunnitteluvaiheeseen kuuluu tässä työssä vaatimuslistan laatiminen, laippoihin kohdistuvan hydrostaattisten voimien laskeminen sekä sylinterin männän tuottaman voiman laskeminen.

3.1 Vaatimuslista

Taulukkoon 2 on listattu hydraulisen puristimen vaatimukset. Standardissa SFS-EN 13445-3 on määritetty, että laippaliitoksessa tulisi käyttää vähintään neljää pulttia, jotka ovat säännöllisin välein toisistaan (SFS-EN 13445-3 2021, 166). Laippa tulee olla tasaisesti puristuksessa laippaan kohdistuvia voimia vastaan, jotta siitä ei vuoda esimerkiksi vettä ulos. Standardia soveltaen hydraulisia puristimia on suunniteltu käytettävän neljä kappaletta laippaliitosta kohden, vaikka pienemmissä putkikoissa voimien suhteen pienempikin määrä puristimia riittäisi.

Puristimen sallittua massaa ei ollut määritetty työn tilaajan puolesta tarkasti. Standardissa SFS-EN 1005-2 + A1 määritellään ihmisen käsiteltävän koneen, koneen osan, aihion ja valmiin tuotteen suurin turvallinen massa. Sallittu massa voidaan määritellä kertomalla viitemassa (M_{ref}) kertoimella (k). Viitemassa perustuu puristimen käyttäjiin. Puristimia tullaan käyttämään ammattikäytössä aikuisella työväestöllä, minkä perusteella viitemassa on 25 kg. Kerroin saadaan määritettyä puristimen käyttötavalla. Puristimen siirto pystysuunnassa tapahtuu hartioiden ja polvien välillä, niin että käyttäjän keho on suorassa ja kuorma pysyy lähellä kehoa. Puristimen nostojen taajuus jää myös alle 1/5 min. Näiden tietojen avulla kertoimeksi saadaan 0,6. Näin ollen puristimen sallittu massa on $25 \text{ kg} \cdot 0,6 = 15 \text{ kg}$. (SFS-EN 1005-2 + A1 2009, 10,11)

Sylinterin suurin sallittu paine perustuu hydraulikkajärjestelmän paineen tuotokkyyn, mikä on tulossa Sulzerin tutkimuskeskukselle. Järjestelmän koko on sovittu turvallisuussyistä sekä laitteiden saatavuuden kannalta, että se ei ole yli 320 baaria. (Rehn 2022a)

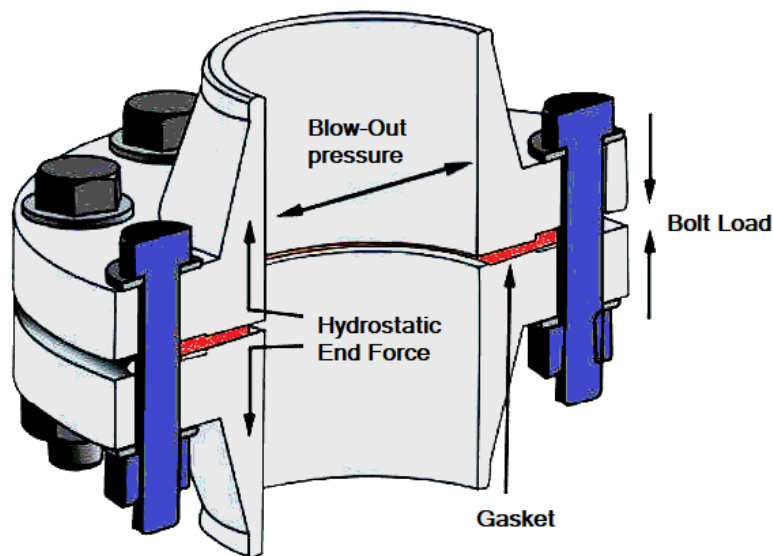
Taulukko 2: Vaatimuslista (Rehn 2022a).

Kategoria	Vaatimus
Suunnittelun rajaaminen	Hydraulisen puristimen suunnittelu on rajattu sen mekaaniseen suunnitteluun.
Geometria	Imupuolen puristimen kynnen mahdolluttava pumpun imulaipan taakse (15 mm väli).
Voimat	Neljän puristimen rungon tulee kestää laippaliitokseen kohdistuvat voimat.
	Männän tuottama puristusvoima vastaa 1/4 laippaan kohdistuvaa hydrostaattista voimaa
Energia	Männän tuottama puristusvoima saadaan hydraulikkajärjestelmästä.
	Männän iskua ohjataan sähköisesti painonapeilla.
Aine	Teräs, joka täyttää vaaditut lujuudet tekemättä puristinta liian raskaaksi.
Turvallisuus	Yhdessä kahvassa auki/kiinni painike ja toisessa turvakytin.
	Suurin sallittu paine sylinterissä 320 bar.
Ergonomia	Riittävän kevyt käsin käytettäväksi.
	Puristimien kahvat suunnattu sopiviin suuntiin ergonomista työskentelyä varten.

Puristimien valmistamisen kustannuksia ei tarvitse yrittää minimoida, sillä ne ovat kertosijoituksia ja ne ovat menossa tuotekehitykselliseen työhön. Puristimien valmistukseen on varattu riittävästi rahaa, kun materiaalina käytetään esimerkiksi erikoislujuutta terästä. Kuitenkaan puristimia ei haluta varmistaa esimerkiksi titaanista, joka olisi kevyempää kuin teräs, sillä titaanista valmistettava puristimen kustannukset nousisivat liian korkeiksi. (Rehn 2022)

3.2 Laippoihin kohdistuvien hydrostaattisten voimien laskeminen

Laippaliitoksiin tulevien puristimien tulee kumota laippoja irti toisistaan repivä aksiaalinen hydrostaattinen voima. Puristimien runkojen on siis kestävä hydrostaattisen voiman tuottama jännitys. Kuvassa 3 näkyy tavalliseen laippaliitokseen kohdistuvien voimien suunnat. (Grafex s.a.)



Kuva 3: Laippaliitokseen kohdistuvat voimat (Grafex s.a.).

Laippoihin kohdistuvat hydrostaattiset voimat on laskettu alla oleviin taulukoihin 3 ja 4. Hydrostaattisten voimien laskemisessa käytetään tavallisessa laippaliitoksessa kaavaa 1. Puristimilla toimivien laippaliitosten hydrostaattisten voimien laskemisessa on käytetty kaavaa 2, joka on sovellettu kaavasta 1. (SFS-EN 1344-3 2021, 186).

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot (C - d_h)^2 \cdot P \quad (1)$$

jossa	H	Hydrostaattiset voimat	[N]
	C	Pulttien keskilinjan piirin halkaisija	[mm]
	d_h	Pultin reiän halkaisija	[mm]
	P	Putkistossa oleva paine	[MPa]

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot (d)^2 \cdot P \quad (2)$$

jossa	d	Puristimien piirin halkaisija	[mm]
-------	-----	-------------------------------	------

Taulukko 3: Painepuolen puristimeen kohdistuva voima eri putkikoissa.

Painepuoli								
Putken DN	Laipan D	d	P	P	H	H	Puristimia	F_puristin
125	250	180	16	1,6	40715	41	4	10,18
150	285	215	16	1,6	58088	58	4	14,52
200	340	270	16	1,6	91609	92	4	22,90
250	405	335	16	1,6	141026	141	4	35,26
300	460	390	12	1,2	143351	143	4	35,84
350	520	450	10	1	159043	159	4	39,76
400	580	510	10	1	204282	204	4	51,07
	mm	mm	bar	MPa	N	kN	kpl	kN

Taulukko 4: Imupuolen puristimeen kohdistuva voima eri putkikoissa.

Imupuoli								
Putken DN	Laipan D	d	P	P	H	H	Puristimia	F_puristin
125	250	180	4	0,4	10179	10	4	2,54
150	285	215	4	0,4	14522	15	4	3,63
200	340	270	4	0,4	22902	23	4	5,73
250	405	335	4	0,4	35257	35	4	8,81
300	460	390	4	0,4	47784	48	4	11,95
350	520	450	4	0,4	63617	64	4	15,90
400	580	510	4	0,4	81713	82	4	20,43
	mm	mm	bar	MPa	N	kN	kpl	kN

Hydrostaattiset voimat ovat suurimmillaan DN 400 -putkikoossa. DN 400 -laipaan kohdistuu painepuolella yhteensä 204 kN voimat ja imupuolella 82 kN voimat. Nämä voimat on lisäksi jaettu neljällä, jotta saadaan selville paljon yhteen puristimeen kohdistuu voimia.

3.3 Sylinterin männän mitoittaminen

Puristin saa tuotettua sen puristusvoiman hydraulisesti toimivalla sylinterillä. Sylinterin männän tuottaman voiman täytyy olla vähintään 25 % laippaan kohdistuvasta hydrostaattisesta voimasta. Sylinterin voima riippuu sen männän halkaisijasta sekä hydraulikkajärjestelmän tuottamasta paineesta. Hydraulikkajärjestelmä tuottaa suurimmillaan 320 baaria painetta.

Hydraulisiin puristimiin on suunniteltu Römheld-merkkisiä sylintereitä, koska niitä saa samalta yritykseltä, jolta hydraulikkakoneikko on tulossa (Rehn 2022a). Puristimeen voidaan kuitenkin käyttää muun merkkisiä sylintereitä, jos ne saa esimerkiksi muualta halvemmalla. Vaihtoehtoisessa sylinterissä tulee huomioida männän halkaisija ja sylinterin kierteiden koko. Sylinterissä olevien kierteiden avulla, sylinteri saadaan kiinnitettyä puristimen runkoon kahden akselimutterin avulla. Kuvassa 4 on puristimiin suunnitellun sylinterin tyyppi.



Kuva 4: B1.309 kierteinen sylinteri (Römheld s.a.).

Taulukoissa 5 ja 6 on laskettu, kuinka paljon sylinterin tuottamat voimat ovat paine- ja imupuolessa. Molemmista taulukoista on käytetty kahta eri mäntävaihtoehtoa. Painepuolella on laskettu sylinterin paineet männän halkaisijan ollessa 50 mm ja 40 mm. Imupuolessa on vastaavasti käytetty männän halkaisijoina 32 mm ja 25 mm. (Römheld s.a.) Imupuolessa on pienemmät voimat, joten sinne riittää pienempi männän halkaisija kuin painepuolelle.

Taulukko 5: Painepuolen sylinterin männän tuottama paine männän halkaisijan ollessa D = 50 mm ja D = 40 mm.

Painepuolen sylinterin mäntä			
Putken DN	F_Sylinterin mäntä	P_Sylinterin mäntä (D50)	P_Sylinterin mäntä (D40)
125	10,2	51,8	81,0
150	14,5	74,0	115,6
200	22,9	116,6	182,3
250	35,3	179,6	280,6
300	35,8	182,5	285,2
350	39,8	202,5	316,4
400	51,1	260,1	406,4
	kN	bar	bar

Taulukko 6: Imupuolen sylinterin männän tuottama paine männän halkaisijan ollessa D = 32 mm ja D = 25 mm.

Imupuolen sylinterin mäntä			
Putken DN	F_Sylinterin mäntä	P_Sylinterin mäntä (D32)	P_Sylinterin mäntä (D25)
125	2,8	35,1	57,5
150	4,0	49,2	80,6
200	6,1	76,3	125,0
250	9,3	115,9	189,9
300	12,5	155,9	255,4
350	16,6	206,2	337,8
400	21,2	263,6	431,8
	kN	bar	bar

Taulukon 5 perusteella sylinterin männän tulisi olla 50 mm halkaisijaltaan, jotta puristimia riittäisi neljä kappaletta jokaiselle putkikoolle. Työn tilaajan kanssa sovittiin kuitenkin, että painepuolen puristimeen valitaan 40 mm halkaisijaltaan oleva mäntä (Rehn 2022b). Kun painepuolen mitoittaa niin, että DN 400 -putkikoossa käytetään neljän hydraulisen puristimen lisäksi kahta mekaanista puristinta, pienempiin putkikokoihin riittää 40 mm männällä neljä puristinta.

DN 400 -putkikokoa testataan vesiasemalla vain harvoin, minkä takia painepuolen puristin voidaan mitoittaa niin, että DN 350 -koossa riittää neljä puristinta (Rehn 2022b). Käyttämällä kahta mekaanista puristinta hydraulisten puristimien lisäksi DN 400 -koossa saadaan myös kevennettyä puristimen runkoa. DN 400 -laippaan kohdistui 204 282 N hydrostaattiset voimat. Jakamalla tämän kuudelle puristimelle neljän sijaan kohdistuu yhteen puristimeen silloin 34,05 kN DN 400 -putkikoossa. Puristimen runko voidaan siis mitoittaa kestämään 39,77 kN voimat 51,1 kN sijaan. Näiden syiden lisäksi 40 mm männän halkaisijalla päästään lähemmäs hydraulikkajärjestelmän suurinta painetta.

Imupuolelle tarvittaisiin lisäpuristimia 25 mm männänhalkaisijalla jo DN 350 -putkikoossa taulukon 6 perusteella. Tämän takia imupuolelle valittiin 32 mm halkaisijaltaan oleva sylinterin mäntä.

Valittujen mäntäkokojen perusteella painepuolelle valittiin M65 x 1,5 kokoinen sylinteri, joka on 174 mm pitkä. Imupuolelle tulevan sylinterin kierre on kokoa M55 x 1,5 ja sylinterin pituus on 171 mm. Kummassakin sylinterissä on 100 mm pitkä isku. (Römheld s.a.)

4 TYÖN TOTEUTUSVAIHE

Kun suunnitteluvaihe on ohi, aloitetaan työn toteutusvaihe. Siihen kuuluu tässä opinnäytetyössä puristimien mallintaminen ja lujuuslaskenta sekä puristimiin tarvittavien ostokomponenttien valitseminen. Kun puristimien mallit ovat valmiina, tehdään niiden perusteella piirustuskuvat, joiden perusteella puristimet voidaan valmistaa. Tässä työssä on lisäksi tehty riskianalyysi, vaikka työn tilaaja ei sitä erikseen pyytänyt.

4.1 Puristimien mallintaminen

Puristimien suunnittelun lähtökohtana oli, että imupuolelle ja painepuolelle tulisi erikokoiset puristimet. Syinä tälle oli se, että painepuolen puristimeen kohdistuu huomattavasti suuremmat voimat kuin imupuolelle sekä pienikokoisien pumppujen imulaipan taustan ahtaus. Imulaipan ahdas tausta johtaa siihen, että puristimen kynnen on oltava pieni, jotta se mahtuu laippaan kiinni. Pienen kynteen kohdistuvat suuremmat jännitykset kuin paksumpaan kynteen, jota oli suunniteltu painepuolen puristimelle.

Puristimen materiaali oli valittu teräkseksi, koska materiaalin tuli olla kohtuullisen halpa ja kevyt, mutta luja. Puristimien rungot tullaan maalaamaan kirkkaankeltaisiksi (RAL 1026). Molemmille puristimille suunniteltiin kahta vaihtoehtoa, joiden mallintaminen tapahtui SolidWorks 3D -mallinnusohjelmalla. Ensimmäinen vaihtoehto oli halvempi, mutta raskaampi S355 -rakenneteräksestä valmistettava puristin. Toinen vaihtoehto oli Strenx® 700 E -rakenneteräksestä valmistettava kevyempi puristin. Strenx® 700 E -teräs on ominaisuuksiltaan helposti taivutettava ja hitsattava teräs, jolla on erinomainen lujuus ja sitkeys (SSAB 2023).

Puristimien kestävyys suunnitellaan niin, että puristimien heikoimmassa kohdassa on 1.2 varmuuskerroin jännitysten suhteen. Puristimista halutaan kestävät ilman pysyviä muodonmuutoksia, mikä taataan varmuuskertoimella (Rehn 2022a). Taulukkoon 7 on laskettu sallitut jännitykset puristimien rungoille teräksen myötölujuuden mukaan. Sallitut jännitykset voidaan selvittää jakamalla myötölujuus varmuuskertoimella (Valtonen 2016, 287).

Taulukko 7: Sallittujen jännitysten määrittäminen materiaalin mukaan.

Teräs	Varmuuskerroin	Myötölujuus	Sallitut jännitykset
S355	1,2	355	295,83
Strenx 700	1,2	700	583,33
		MPa	MPa

Samanaikaisesti, kun puristinvaihtoehtoja mallinnettiin, tehtiin siinä sivussa lujuuslaskentaa. Tällä tavoin pystyttiin tarkistamaan, millä tavoin muutokset puristimien rungossa vaikuttivat puristimen lujuuteen. Lujuuslaskennassa käytettiin SolidWorksin Simulation -lisäosaa.

Imupuolen puristimia mallintaessa huomattiin, että puristinta ei voitu valmistaa järkevillä mitoilla S355-teräksestä. Käsien laskemalla arvioitiin kuinka leveä puristimen kynnen tulisi vähintään olla, jos se valmistettaisiin S355-teräksestä. Puristimeen kohdistuvat jännitykset ovat suurimmillaan kynnen taivutuksen alussa.

Kaavaa 3 johtamalla saatiin kaava 4, jonka perusteella kynnen leveys tulisi olla 101,5 mm, jos suurimmat jännitykset kohdistuisivat siihen kohtaan, missä tasainen kynsi päättyy ja taivutus alkaa (Valtonen 2016, 271, 305). Todellisuudessa puristimen kynnen tulisi olla siis vieläkin leveämpi, minkä takia päätettiin, että imupuolen puristin valmistetaan Strenx 700 -teräksestä.

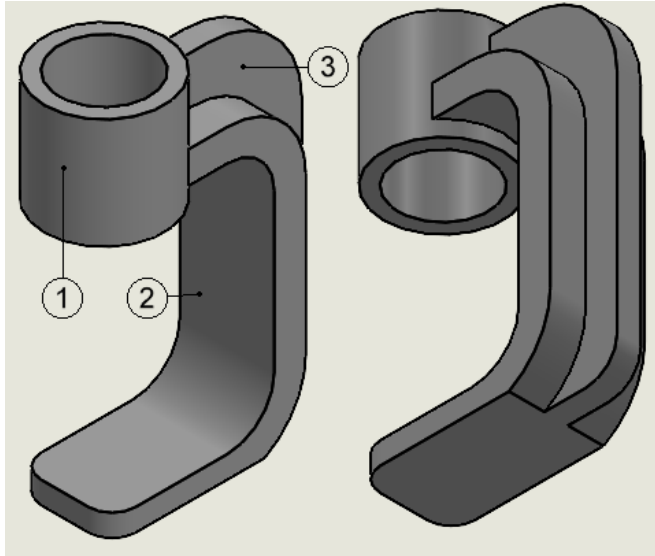
$$\sigma = \frac{M}{W_z} = \frac{Fl}{\frac{1}{6} \cdot bh^2} \quad (3)$$

$$b = \frac{6Fl}{\sigma h^2} = \frac{6 \cdot 20\,429\, \text{N} \cdot 48\, \text{mm}}{295,83\, \text{MPa} \cdot (14\, \text{mm})^2} = 101,5\, \text{mm} \quad (4)$$

jossa	σ	Taivutusjännitys	[MPa]
	M	Taivutusmomentti	[Nmm]
	W_z	Taivutusvastus	[mm ³]
	F	Puristimeen kohdistuva voima	[N]
	l	Voiman vaikutuspisteen etäisyys tarkasteltavasta kohdasta	[mm]
	b	Kynnen leveys	[mm]
	h	Kynnen korkeus	[mm]

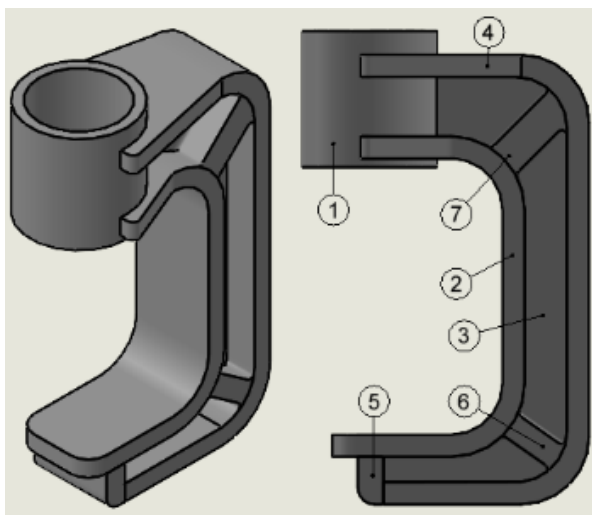
Kaavassa 3 taivutusvastuksen laskutapa määräytyy kappaleen poikkileikkauksen mukaan. Imupuolen puristimessa kynnen poikkileikkaus on suorakaiteen muotoinen. Vaikka taivutusvastuksen yksikkö on mm³, niin sillä ei ole mitään tekemistä tilavuuden kanssa. Yksikkö muodostuu siitä, kun kertoo kolme mitaa keskenään.

Kuvassa 5 on 3D-kuva imupuolen puristimesta. Se tullaan hitsaamaan yhteen kolmesta eri osasta. Osa 1 voidaan valmistaa koneistamalla ainesputkesta, jonka sisälle on tulossa hydraulinen sylinteri. Painepuolen puristimessa vastaava osa valmistetaan samalla tavalla. Osa 2 taivutetaan 20 mm teräksestä. Sen kynnen pohjasta koneistetaan 6 mm pois, jotta kynnen paksuudeksi saadaan 14 mm. Osa 3 voidaan valmistaa polttoleikkaamalla 15 mm paksusta teräksestä oikean muotoiseksi. Sen tehtävänä on vahvistaa puristimen rakennetta. Lisäksi sitä voidaan hyödyntää kahvojen kiinnityksessä puristimen runkoon. Rungon massa ilman muita osia on 4,5 kg. Sen kokonaiskorkeus on 234 mm ja kynnen leveys on 60 mm.



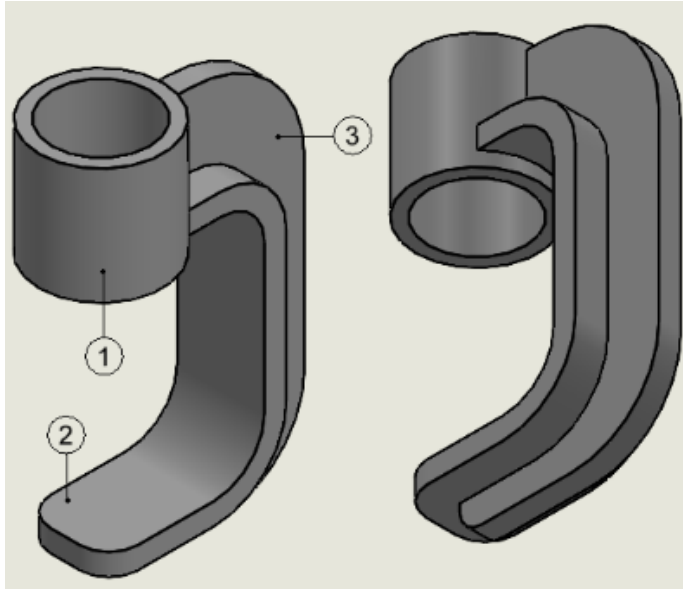
Kuva 5: 3D-malli imupuolen puristimesta Strenx® 700 E -teräksestä.

S355-teräksestä valmistettava vaihtoehto painepuolen puristimelle näkyy kuvassa 6. Puristin valmistettaisiin hitsaamalla yhdeksästä osasta. Osia 6 ja 7 on puristimen toisella puolella toiset kappaleet. Niiden tarkoitus on tuoda lisälujuutta puristimen heikkoihin kohtiin. Osat 2 ja 4 valmistettaisiin taivuttamalla 13 mm paksusta teräksestä. Puristimen rungon massaksi tulee 7,5 kg. Sen korkeus on 278 mm ja kynnen leveys 60 mm



Kuva 6: 3D-malli painepuolen puristimesta S355 teräksestä.

Strenx 700 -teräksestä valmistettava painepuolen puristin (kuva 7) valmistettaisiin samalla tavalla kuin imupuolenkin puristin, mutta eri mittasuhteissa. Osat 2 ja 3 valmistetaan 15 mm paksuisesta teräksestä. Puristimen korkeus on 272 mm, kynnen leveys on 60 mm ja massa 5,0 kg.



Kuva 7: 3D-malli painepuolen puristimesta Strenx® 700 E -teräksestä.

Painepuolen puristinvaihtoehtoissa ei ole äärimittojen suhteen juurikaan eroavaisuuksia. Suurempi ero huomataan puristimien massoista. Strenx 700 -teräksestä valmistettava puristin on vain 6 mm pienempi korkeussuunnasta, mutta se on jopa 2,5 kg kevyempi S355-teräksestä valmistettavaan puristimeen verrattuna.

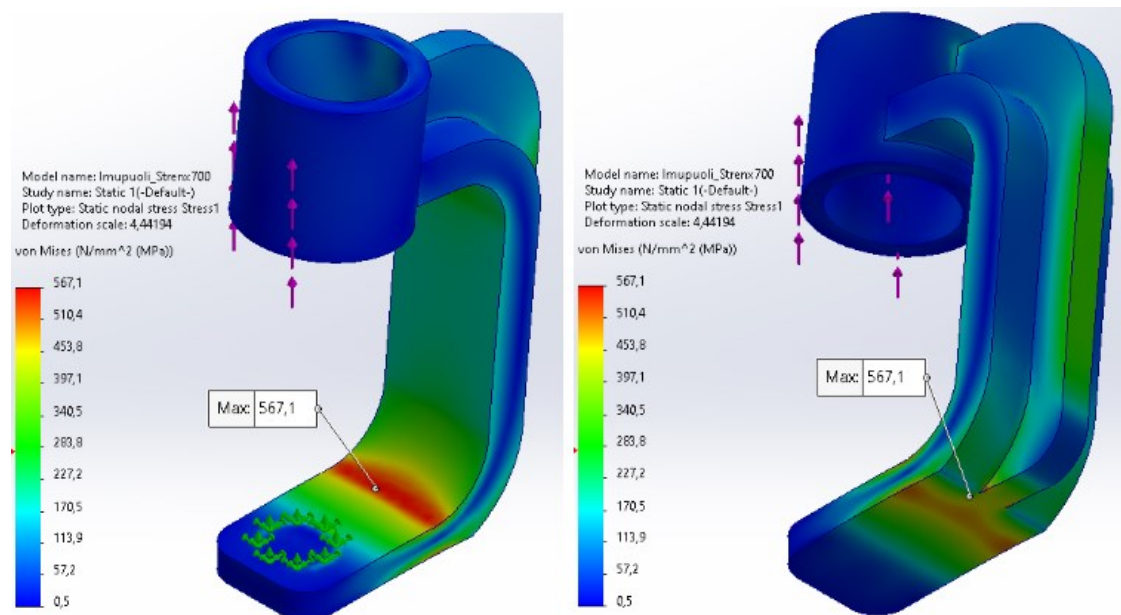
4.2 Puristimiin kohdistuvien jännitysten laskenta

FEM-analyysissä puristimet on mallinnettu yhtenä kappaleena, sillä puristimien osat tullaan läpihitsaamaan. Kuvissa 8–12 näkyy puristimiin kohdistuvat jännitykset, ja mallien verkotukset. Mallien verkotuksen muotona käytetään tasavuisia kolmioita, joiden sivut ovat 4,2 mm pituisia. Puristimien kestävyys ja toimivuuden kannalta merkitsevää on se, että niiden rungot kestävät niihin kohdistuvien voimien tuottamat jännitykset. Puristimessa sylinterin mäntä tuottaa voimia vastakkaiseen suuntaan kuin siihen kohdistuvat hydrostaattiset voimat, minkä takia puristimeen ei muodostu käytön aikana merkittäviä siirtymiä.

Puristimeen kohdistuvat voimat on ajateltu tulevan hydraulisesta sylinteristä, joten voimat on laitettu rungon putkiosan sisäpintaan. Voimien suunta näkyy violetteina nuolina kuvissa. Painepuolen puristimissa on käytetty voimina 39,77 kN ja imupuolen puristimessa 20,43 kN. Lujuuslaskennassa voimien suuruudet pyöristetään ylöspäin, jotta kestävyudessa ollaan varman puolella.

Kiinteäksi kohdaksi puristimessa on ajateltu ympyrämäinen alue puristimen kynnessä, joka tulee laippaa vasten ja on keskellä sylinteriä. Kuvissa tämä alue näkyy vihreinä nuolina.

FEM-analyysin perusteella käytetyillä reunaehdoilla imupuolen puristimeen kohdistuisi suurimmillaan 567,1 MPa jännitykset (kuva 8). Näillä jännityksillä turvakerroin olisi 1,23 puristimen heikoimmassa kohdassa. Kuvassa 9 näkyy verkotus, jolla jännitykset on laskettu.



Kuva 8: FEM-analyysi imupuolen puristimesta.

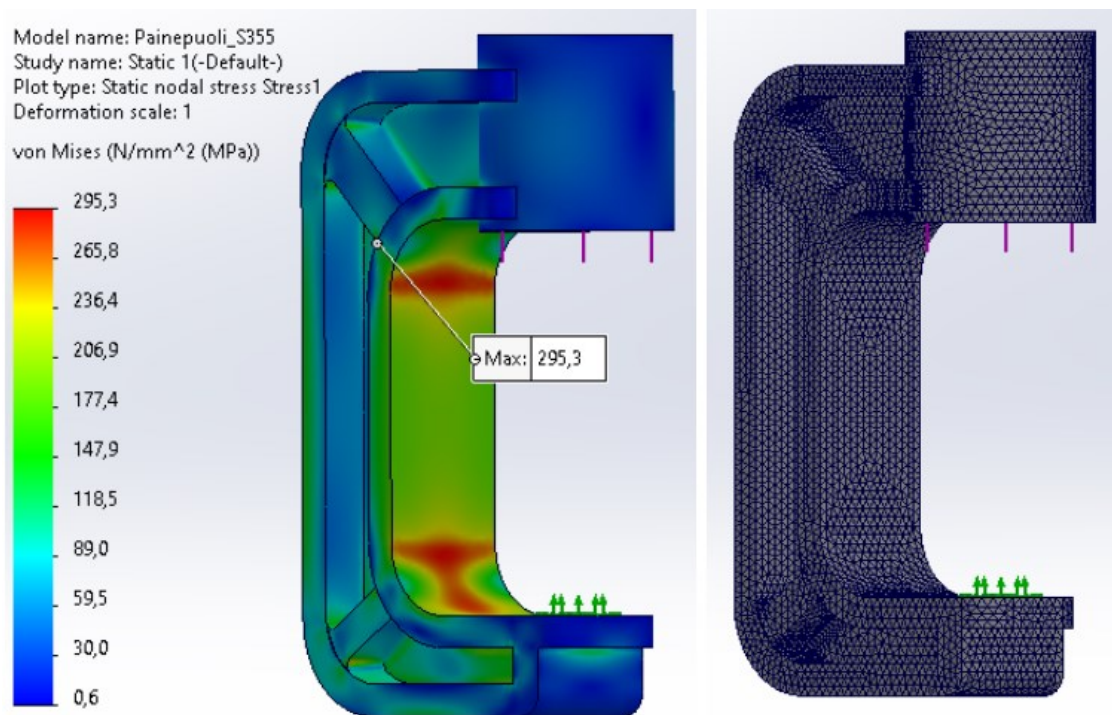


Kuva 9: Imupuolen puristimen mallin verkotus.

Simulation-lisäosassa on probe-niminen komento, jolla voidaan tutkia paljon jännitykset ovat jossain tietyssä kohdassa. Probe-komennolla tarkastelemalla kynnen tasaisen osuuden päättyessä, jännitykset ovat keskimäärin 503 MPa. Tämä tulos on todennettu käsin laskemalla kaavan 5 avulla (Valtonen 2016, 271, 305). Kaavassa käytetään samoja tunnuksia kuin kaavoissa 3 ja 4. Käsin laskemalla saatiin jännitykseksi 500,3 MPa, joka on vain 0,53 % vähemmän kuin FEM-analyysillä saatu tulos.

$$\sigma = \frac{M}{W_z} = \frac{Fl}{\frac{1}{6} \cdot bh^2} = \frac{20\,430\,N \cdot 48\,mm \cdot 6}{60\,mm \cdot (14\,mm)^2} = 500,3\,MPa \quad (5)$$

Kuvan 10 mukaan painepuolen S355-teräksestä valmistettavaan puristimeen kohdistuisi suurimmillaan 295,3 MPa jännitykset. Varmuuskerroin olisi silloin 1,20 puristimen heikoimmassa kohdassa.

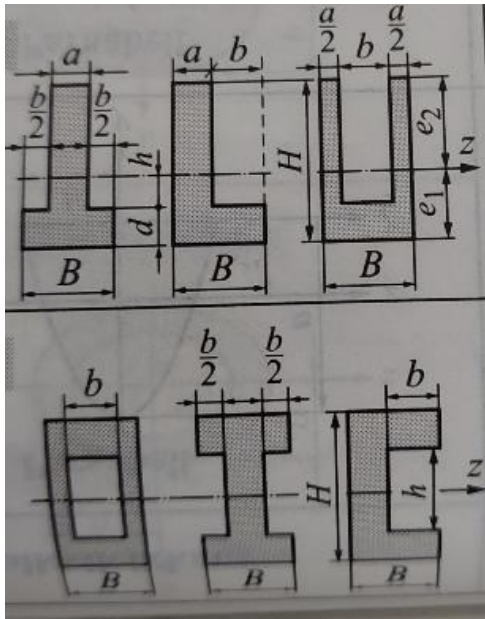


Kuva 10: FEM-analyysi (vasen) ja verkotus painepuolen puristimesta (S355).

Kuvan 10 puristimen kynnen poikkileikkaus voidaan ajatella I-palkin muotoiseksi. Kynnelle on laskettu taivutusvastus kaavan 6 avulla (Valtonen 2016, 314). Sen selitteet näkyvät kuvassa 11. Probe-komennon mukaan kynnen uuman puoleen väliin kohdistuu 118,1 MPa jännitykset juuri ennen kynnen suoran osuuden päättymistä. Käsien laskettuna vastaavassa kohdassa saatiin jännityksiksi kaavan 7 avulla 115,7 MPa, mikä on 2,0 % vähemmän kuin FEM-analyysillä saatu tulos (Valtonen 2016, 271).

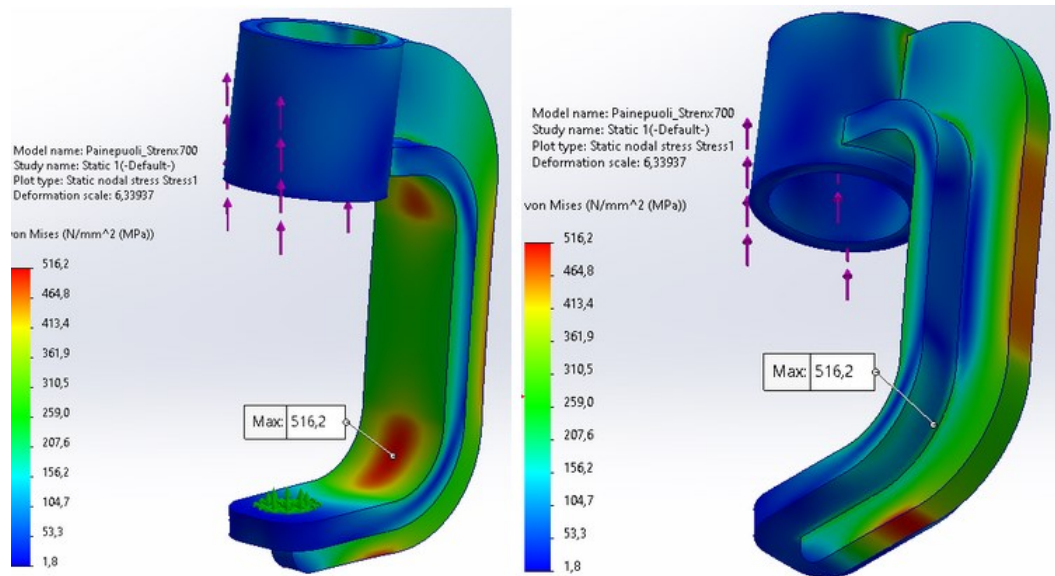
$$W_z = \frac{BH^3 - bh^3}{6H} = \frac{60 \text{ mm} \cdot (41 \text{ mm})^3 - 22,5 \text{ mm} \cdot (15 \text{ mm})^3}{6 \cdot 41 \text{ mm}} = 16\,501,31 \text{ mm}^3 \quad (6)$$

$$\sigma = \frac{M}{W_z} = \frac{Fl}{W_z} = \frac{39\,770 \text{ N} \cdot 48 \text{ mm}}{16\,501,31 \text{ mm}^3} = 115,7 \text{ MPa} \quad (7)$$



Kuva 11: Kuvassa ylhäällä vasemmalla T-palkin mittojen tunnuksiset ja alhaalla keskellä I-palkin mittojen tunnuksiset (Valtonen 2016, 314).

Painepuolen Strenx 700 -teräksestä valmistettavasta puristimessa varmuuskerroin olisi pienimmillään jopa 1,36 jännitysten ollessa 516,2 MPa (kuva 12). Syynä tälle on se, että voimat jakautuvat tasaisemmin puristimen runkoon. Mallin verkotus on näkyvissä kuvassa 13.

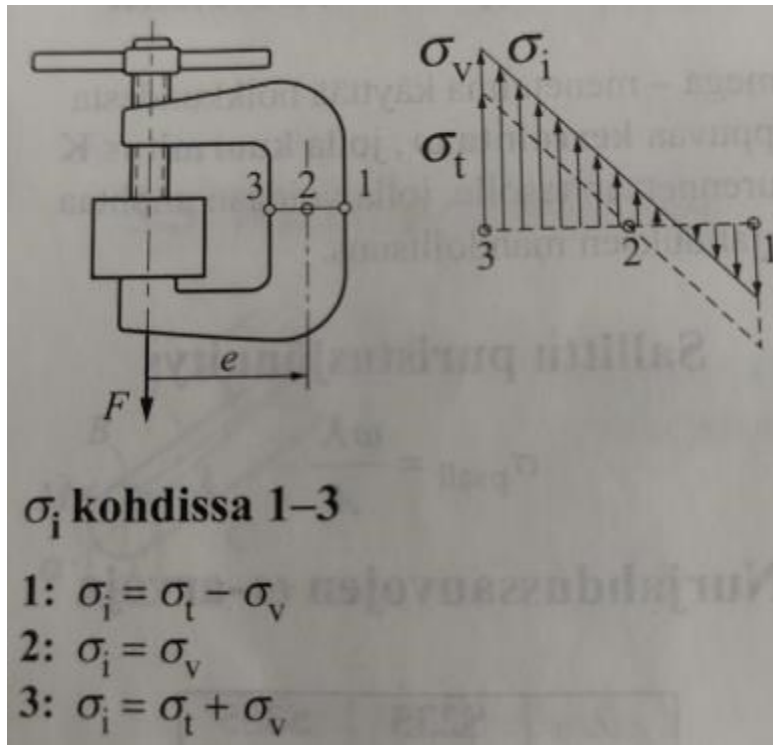


Kuva 12: FEM-analyysi painepuolen puristimesta (Strenx 700).



Kuva 13: Vasemmalla painepuolen puristimen (Strenx 700).

Probe-komennon avulla saadaan, että keskellä kuvan 12 puristimen eväosaa jännitykset ovat 456,1 MPa. Vastaava piste on kuvassa 14 kohta 1. Kaavojen 8–15 avulla saadaan laskettua jännitykseksi 445,1 MPa, mikä on 2,5 % vähemmän kuin FEM-analyysin tulos (Valtonen 2016, 276, 314).



Kuva 14: Puristimen jännitysten jakautuminen (Valtonen 2016, 276).

Kaavojen 8–12 selitteet näkyvät kuvassa 11. Kaavoja 8 ja 9 tarvitaan kaavojen 10 ja 11 laskennassa, joissa lasketaan puristimen neliömomenttia ja taivutusvastusta. Neliömomentti tarvitaan taivutusvastuksen selvittämiseksi, jota taas tarvitaan jännitysten laskemiseen.

$$e_1 = \frac{aH^2 + bd^2}{2(aH + bd)} = \frac{15 \text{ mm} \cdot (50 \text{ mm})^2 + 45 \text{ mm} \cdot (15 \text{ mm})^2}{2(15 \text{ mm} \cdot 50 \text{ mm} + 45 \text{ mm} \cdot 15 \text{ mm})} = 16,71 \text{ mm} \quad (8)$$

$$e_2 = H - e_1 = 33,29 \text{ mm} \quad (9)$$

$$I_z = \frac{Be_1^3 - bh^3 + ae_2^3}{3} =$$

$$\frac{60 \text{ mm} \cdot (16,71 \text{ mm})^3 - 45 \text{ mm} \cdot (1,71 \text{ mm})^3 + 15 \text{ mm} \cdot (33,29 \text{ mm})^3}{3} =$$

$$27\,7705,6 \text{ mm}^4 \quad (10)$$

$$W_{z2} = \frac{I_z}{e_2} = \frac{27\,7705,6 \text{ mm}^4}{33,29 \text{ mm}} = 8\,342,14 \text{ mm}^3 \quad (11)$$

$$A = BH - bd = 60 \text{ mm} \cdot 50 \text{ mm} - 45 \text{ mm} \cdot 15 \text{ mm} = 1\,425 \text{ mm}^2 \quad (12)$$

$$\sigma_v = \frac{F}{A} = \frac{39\,770\text{ N}}{1\,425\text{ mm}^2} = 27,98\text{ MPa} \quad (13)$$

$$\sigma_t = \frac{M}{W_{z2}} = \frac{Fl}{W_{z2}} = \frac{39\,770\text{ N} \cdot 99,21\text{ mm}}{8\,342,14\text{ mm}^3} = 472,97\text{ MPa} \quad (14)$$

$$\sigma_i = \sigma_t - \sigma_v = 472,97\text{ MPa} - 27,98\text{ MPa} = 445,1\text{ MPa} \quad (15)$$

jossa	I_z	Neliömomentti	[mm ⁴]
	W_{z2}	Taivutusvastus	[mm ³]
	A	Poikkipinta-ala	[mm ²]
	σ_v	Vetojännitys	[MPa]
	σ_t	Taivutusjännitys	[MPa]
	σ_i	Yhdistetty jännitys	[MPa]

4.3 Puristimien jatkosuunnittelu

Työn tilaaja kysyi tarjoukset puristinvaihtoehtojen valmistamiselle. Imupuolelle valittiin Strenx® 700 E -teräksestä valmistettava puristin, koska S355-teräksen lujuus ei riittänyt. Painepuolen puristimissa tarjouksen perusteella oli sen verta pieni hintaero, että painepuolellekin valittiin Strenx® 700 E:stä valmistettava puristin. (Rehn 2022c)

Sylinteri tullaan kiinnittämään puristimeen kahdella akselimutterilla. Akselimuttereiden lisäksi sylinteriä varten tarvitaan kuulavaste, sylinterin suoja sekä hydraulikkaliittimet. Sylinterin suoja valmistetaan puristinta varten, mutta muut osat ovat ostettavissa. Kappaleessa 3.3 valittiin sylinterit ostettavista osista.

Osa puristimeen tulevista osista tulee suunniteltavaksi ostettavien osien lisäksi. Sylinterille suunnitellaan suoja, joka kiinnitetään puristimeen. Puristimiin mallinnetaan lisäksi käsikahvat, jotka helpottavat puristimien käyttöä ja tekevät niiden käytöstä turvallisempaa. Yhdessä kahvassa on kaksoispainike, jolla ohjataan männän iskua ja toisessa kahvassa on turvakytkin. Kummallekin painikkeelle suunnitellaan kytkinlaatikot.

4.3.1 Osto-osien valinta

Männän iskun päähän tulee kuvan 15 mukaiset kuulavasteet. Kuulavasteen tehtävä on puristaa laipat sen ja puristimen kynnen väliin. Kuulavaste auttaa iskun kohdistumisessa kohtisuoraan laippaa vasten estämällä puristimen lukkiutumista vinoon asentoon (Halder 2023). Imupuolen puristimeen tulevassa kuulavasteessa kierre on kokoa M12 ja painepuolelle tulevassa M16 (Römheld s.a.).



Kuva 15: Halder EH 22731. kuulavaste (Halder 2023).

Sylinterit kiinnitetään puristimen runkoon kahdella sinkitetyllä teräksisellä akselimutterilla. Kuvassa 16 näkyy esimerkki käytettävästä mutterista. Akselimutterin valinnassa tulee ottaa huomioon sylinterin kierteen M-koko ja kierteen nousu. Painepuolen sylinterissä käytetään M65 x 1.5 akselimutteria ja imupuolen sylinterissä kokoa M55 x 1.5 (Römheld s.a.).



Kuva 16: DIN 70852 akselimutteri (Mädler 2021).

Sylinteriin tulevia hydraulikkaletkuja varten tarvitaan liittimet. Puristimien sylintereihin tulevat letkut kiinnitetään pikaliittimillä, joiden avulla hydraulikkaletkut saadaan irrotettua tarpeen mukaan helposti puristimista. Paine- ja imupuolen sylintereihin sopii $\frac{1}{4}$ tuuman kierteillä olevat liittimet (Römheld s.a.). Kuvan 17 kaltaisia urosliittimiä kiinnitetään kaksi kappaletta jokaiseen sylinteriin. Kuvan 18 kaltainen naarasliitin kiinnittyy toisesta päästä hydraulikkaletkuun ja toisesta päästä sylinterissä olevaan urosliittimeen.



Kuva 17: Parker 4-4F42EDMLOSS urosliitin (Parker 2023).



Kuva 18: Parker 1JC43-4-4 naarasliitin (Amazon 2023).

Kuvassa 19 näkyvällä kaksoispainikkeella ohjataan puristimen männän iskua. Painamalla ylempää vihreää painiketta pohjassa männän isku liikkuu ulospäin. Vastaavasti painamalla alempaa punaista painiketta männän isku liikkuu sisään. Kuvassa 20 näkyvä painonappi toimii turvakytkimenä. Sitä täytyy painaa samanaikaisesti iskun ohjauspainikkeeseen kanssa, jotta isku liikkuisi.



Kuva 19: Harmony XB4 -kaksoispainike (Schneider Electric 2023a).



Kuva 20: Harmony XB4 -painonappi (Schneider Electric 2023b).

Harmony XB4 -painikkeissa käytetään niihin kuuluvia kosketinlohkoja, josta näkyy esimerkki kuvassa 21. Yhteen kosketinlohkossa olevaan kosketinelementtiin voidaan liittää kaksi johdinta. Kaksoispainikkeeseen tarvitaan kaksi kosketinelementtiä, sillä siihen kytketään kolme johdinta. Turvakytkimeen riittää yksi kosketinelementti, johon liitetään kaksi johdinta.



Kuva 21: Harmony XB4 -kosketinlohko kiinnityssovittimella ja kahdella kosketinelementillä (Schneider Electric 2023c).

Painikkeita varten suunnitellaan kytkinlaatikot. Varsinainen painike jää laatikon ulkopuolelle, mutta sen kosketinlohko menee laatikon sisäpuolelle suojaan. Kytkinlaatikkoon tulee lisäksi kiinni kuvan 22 vastaavanlainen läpivientiholkki, jonka tarkoitus on toimia johtimien vedonpoistajana. Jos johtimia vedetään, ne eivät lähde irti kosketinlohkosta läpivientiholkin ansiosta (Phoenix Contact 2023).

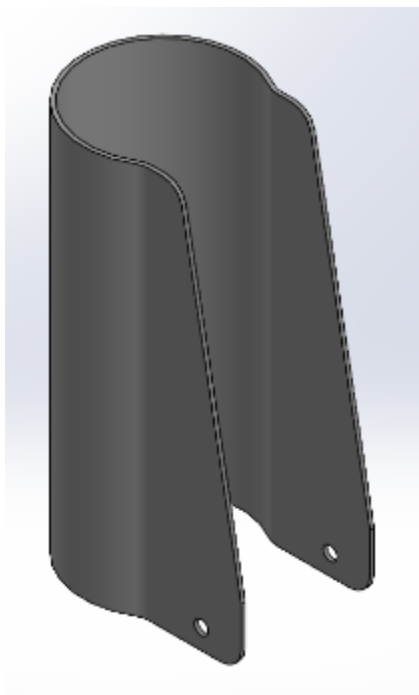


Kuva 22: Thorsman läpivientiholkki (Schneider Electric 2023d).

Läpivientiholkkeja myydään metallisina tai muovisina. Niitä on saatavilla metrisillä, Pg- tai NPT-kierteillä. (Phoenix Contact 2023) Puristimeen on suunniteltu muovinen M20-kokoinen holkki, mutta sen materiaalina voisi käyttää myös metallista ja kierrekokona PG-13.5. Valitun holkin läpi voidaan vetää 6–12 mm poikkiahkaisijaltaan olevaa johdinta (Schneider Electric 2023).

4.3.2 Sylinterisuojan mallintaminen

Kuvassa 23 näkyvä sylinterinsuoja suojaa sekä sylinteriä että hydraulikkaliittimiä. Suojat valmistetaan taivuttamalla S355-teräslevystä. Ne tullaan kiinnittämään puristimien runkoihin kahdella pultilla, mitä varten runkoihin porataan M6-kierteiset 12 mm syvät reiät.



Kuva 23: 3D-malli imupuolen puristimen sylinterinsuojasta.

Sylinterinsuoja on samanmallinen painepuolen sekä imupuolen puristimessa. Se on kuitenkin kooltaan suurempi painepuolen puristimessa, johtuen suuremman kokoisesta sylinteristä. Sylinterinsuojat tullaan maalaamaan samalla värillä puristimen rungon kanssa, eli kirkkaankeltaisella.

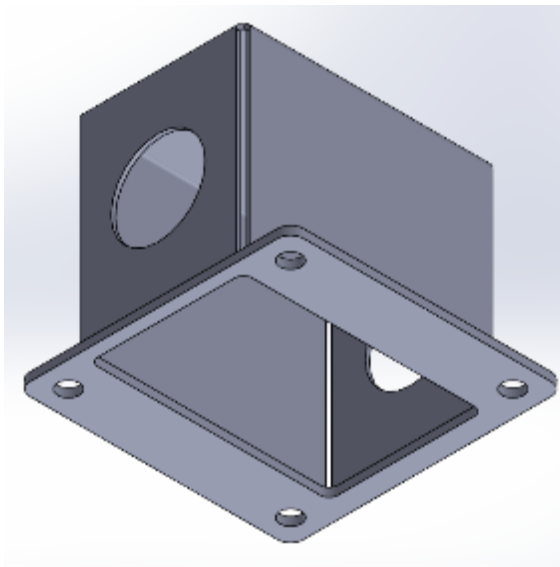
4.3.3 Kytkinlaatikon mallintaminen

Kuvassa 24 näkyy valmiina osana myytävä painikekotelo puristimessa käytettyille painonapeille. Painonapeille tarkoitetut kytkinlaatikot ovat kuitenkin niin suuria, että valmistamalla painikkeille kytkinlaatikot saadaan puristimen rakennetta pienemmäksi. Kytkinlaatikon kokoa saadaan pienennettyä sijoittamalla laatikon kiinnitysruuvit sisäpuolelta laatikon ulkopuolelle. Kun ruuvit ovat laatikon ulkopuolella, ne ovat myös helpommin saatavilla asennuksen ja mahdollisen painikkeen vaihdon yhteydessä.

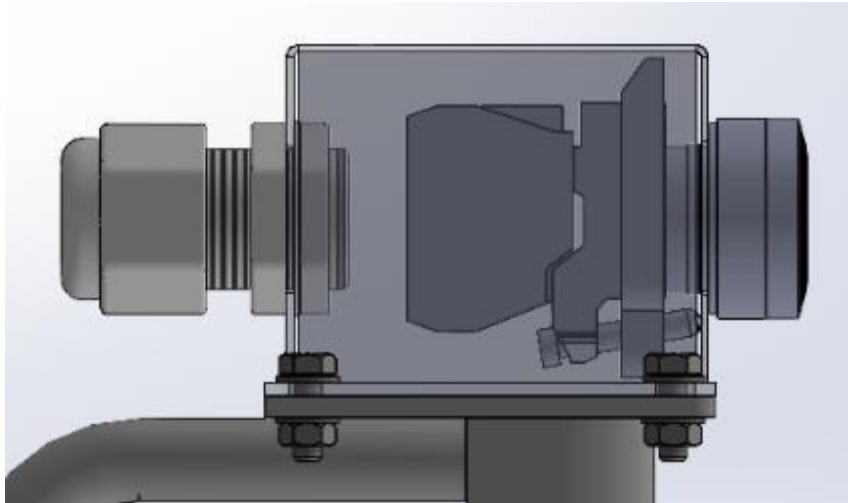


Kuva 24: XB4-painonapille tarkoitettu painikekotelo (Scneider Electric 2023e).

Kytkinlaatikko tullaan valmistamaan kahdesta osasta, jotka hitsataan toisiinsa kiinni. Sen materiaalina käytetään EN 1.4401 -terästä, joka on ruostumatonta ja haponkestävää. Edellä mainittu teräs on helposti hitsattavaa ja sen korroosionkestävyys on huomattavasti parempi kuin EN 1.4301 -teräksen. (Gnee Garden s.a.) Koska ruostumista ei tarvitse varoa, laatikon pystyy valmistamaan ohuemmasta teräksestä. Kuvassa 25 nähdään kuva pelkästä kytkinlaatikosta. Kuvassa 26 nähdään laatikkoon kiinnitetty painonappi ja läpivientiholkki sekä laatikon kiinnitys kahvaan pulttiliitoksilla.



Kuva 25: 3D-malli kytkinlaatikosta.

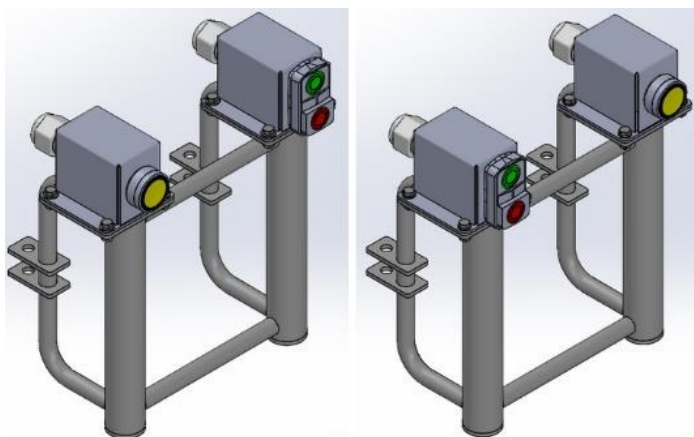


Kuva 26: Kytkinlaatikkokokoonpano. Kuvaan ei ole mallinnettu sähköjohtimia.

Varsinainen laatikko valmistetaan taivuttamalla 1 mm levyä. Laatikossa on reiät painikkeelle sekä johtimen ulostulolle. Kytkinlaatikon toinen osa on 2 mm paksu pohjalevy, jossa on pultin reiät kahvoihin kiinnitystä varten. Samaa kyt-
kinlaatikkoa voidaan käyttää kummassakin painonapissa. Kytkinlaatikoita tar-
vitaan saman verran kuin painikkeitakin.

4.3.4 Kahvojen mallintaminen

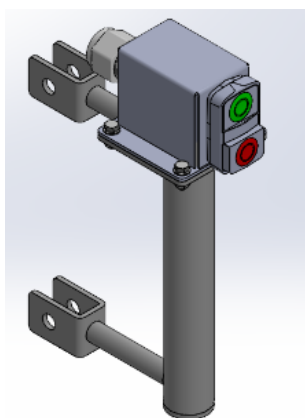
Painepuolen puristinta käytetään niin, että sen sylinteri on pystysuorassa. Imupuolella puristimen sylinteri on vaakatasossa käytön aikana. Tämän takia paine- ja imupuolen puristimiin mallinnetaan erilaiset käsikahvat. Kuvassa 27 näkyy imupuolelle tulevat kahvat ja painepuolen kahvojen mallit ovat kuvissa 28 ja 29. Kahvat kiinnitetään pultti-mutteriliitoksilla puristimen runkoon. Tätä varten puristimen evään porataan kaksi läpireikää pultteja varten.



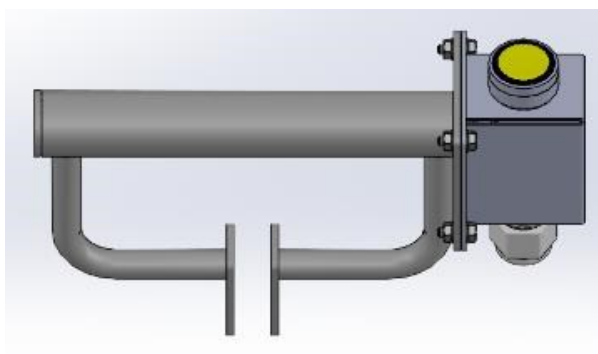
Kuva 27: Imupuolen puristimen kahvakokoonpanot. Vasemmanpuoleista käytetään laipan va-
semmalla puolella ja oikeanpuoleista oikealla puolella.

Kahvojen suuntaamisessa kysyttiin asentajien mielipidettä. Heidän toiveiden mukaan imupuolen puristimen molemmat kahvat ovat kohtisuorassa sylinterin kanssa. Neljästä puristimesta kaksi asennetaan laipan oikealle puolelle ja toiset kaksi vasemmalle puolelle. (Rehn 2022c) Tämän takia imupuolelle tarvitaan kaksi kahvakokoonpanoa, joissa painonapit vaihtavat sijaintia kahvoihin nähden (kuva 27). Painonapit ovat aina kahvojen yläpäässä. Laipan oikealla puolella puristimen sylinteri sijaitsee painikkeiden vasemmalla puolella ja laipan vasemmalla puolella sylinteri on painikkeiden oikealla puolella.

Varsinainen käsikahva tulee olemaan 26.9 mm halkaisijaltaan olevaa teräsputkea. Kahvoissa käytetään lisäksi 12 mm halkaisijan pyörötankoa sekä teräslevyä, joita tarvitaan kahvojen kiinnityksestä puristimen runkoon ja kytkinlaatikoihin. Kahvoissa käytettävä teräs on S355-standardin mukaista. Kahvat tullaan maalaamaan kirkkaankeltaiseksi.



Kuva 28: Painepuolen puristimen oikean käden kahva.



Kuva 29: Painepuolen puristimen vasemman käden kahva.

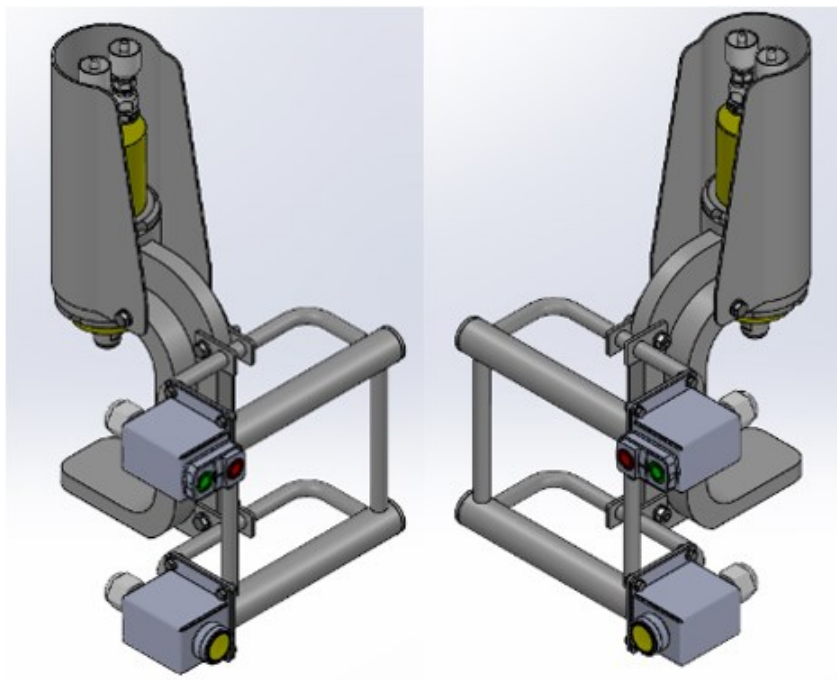
Painepuolen puristimeen asentajat halusivat, että oikean käden kahva on samansuuntaisesti sylinterin kanssa. Vasemman käden kahva mallinnetaan kohdistuoraan sylinteristä oikean käden kahvan yläpuolelle. Koska vasemman käden kahva on eri suunnassa oikean käden kahvan kanssa, puristimen hallittavuus paranee. (Rehn 2022c)

5 TULOKSET

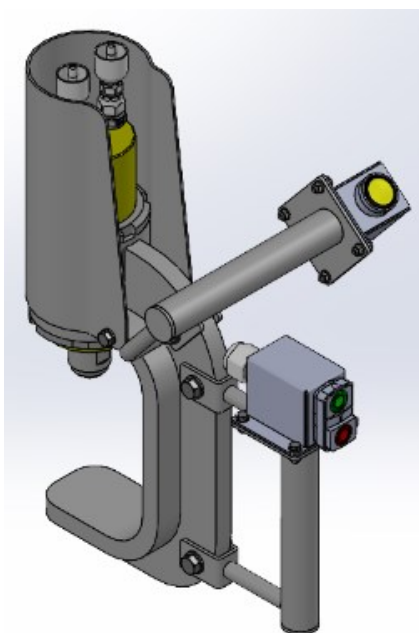
Puristimien suunnitteluprojektissa onnistuttiin suunnittelemaan toimivat rakenteet painonappien avulla ohjattavissa oleviin hydraulisiin puristimiin Sulzerin vesiasemalle putkiston paine- ja imupuolelle. Painepuolen puristimen suunnittelussa sovittiin vaatimuslistaan nähden kompromissi siinä, että neljä kappaletta puristimia riittää DN 350 -putkikokoon asti. Alun perin oli haluttu, että DN 400 -putkikoossakin käytettäisiin vain neljää puristinta, mutta tulevassa testijärjestelyssä tullaan käyttämään mekaanisia puristimia neljän hydraulisen puristimen avuksi. Muut vaatimuslistan kriteerit onnistuttiin kuitenkin täyttämään.

FEM-analyysillä saadut puristimiin kohdistuvat jännitykset saatiin todennettua käsin tehdyillä laskutoimituksilla. Käyttöön otettavissa puristimien rungoissa imupuolen puristimessa käsin laskettu tulos oli vain 0,53 % vähemmän kuin SolidWorks Simulationilla saatu tulos. Painepuolen puristimessa käsin laskettu tulos oli 2,5 % pienempi. Koska puristimet on mallinnettu FEM-analyysin mukaan, jossa jännitykset olivat suurempia, puristimien lujuus pitäisi olla varman puolella.

Kuvissa 30 ja 31 nähdään valmiit 3D-mallit hydraulisista puristimista. Kuvien puristimiin ei ole mallinnettu niihin tulevia hydraulikkaletkuja eikä sähköjohtimia. 3D-mallien perusteella tehdyt piirustuskuvat ovat liitteessä 1.

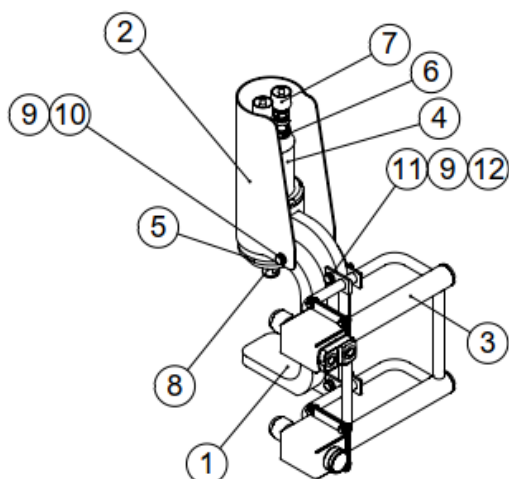



Kuva 30: Imupuolen hydrauliset puristimet.



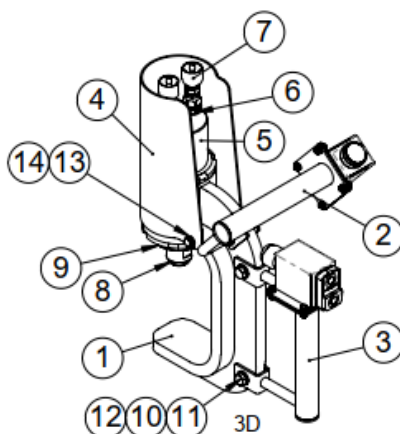
Kuva 31: Painepuolen hydraulinen puristin.

Kuvissa 32 ja 33 on näkyvissä puristimien osaluettelot. Imupuolen oikean puolen puristimen osaluettelo eroaa vasemmasta pelkästään kahvallaan, joten siitä ei ole erikseen laitettu kuvaa. Osaluetteloissa kahvoihin sisältyy kahvan runko, kytkinlaatikko ja sen kiinnitystarvikkeet, painonappi, kosketinelementti sekä läpivientiholkki. Niitä ei ole eritelty pääasennuskuvassa, koska kahvoilla on omat asennuskuvat.



12		Kuusiomutteri	EN ISO 4032	M6	8 Zn	2
11		Kuusiuruuvi	EN ISO 4017	M6x35	8.8 HDG	2
10		Kuusiuruuvi	EN ISO 4017	M6x16	8.8 HDG	2
9		Aluslaatta	EN ISO 7089	M6	200HV/ HDG	6
8		Kuulavaste, Halder EH 22731.0320		M12		1
7		Naarasliitin, 1JC43-4-4-SM	Parker	G1/4		2
6		Urosliitin, ORFS / BSPP-ED 4-4F42EDMLO	Parker	G1/4		2
5		Akselimutteri	DIN 70852	M55x1.5	ZN	2
4		Sylinteri, Roemheld B1.309		Piston D32, Rod, D20, Stroke 100		1
3	13633	Kahva, Imupuoli, vasen				1
2	12727	Suoja				1
1	12403	Kiinnike, C-Puristin 20 kN				1
No	Number	Description	Standard	Dimensions	Material	Qty
<div>General tolerances Machining ISO 2768-mS Welded constructions EN ISO 15620-01 Welding quality level SFS-EN ISO 5817-C Flame cutting ISO 9013-1/1 Coating ISO 8503-CT 11</div>		<div> Size / Scale A3 1:5 Mass 10.8 kg</div>	<div>Designed By Pauli Koho Approved by Date 13.10.2022 Date Description Hydraulinen puristin Imupuoli, vasen</div>			<div>Sheet 1/1 Drawing number 12728 Rev Model/Dra</div>

Kuva 32: Osaluettelo imupuolen puristimesta.



14		Kuusioruuvi	EN ISO 4017	M6x16	8.8 HDG	2
13		Aluslaatta	EN ISO 7089	M6	200HV HDG	2
12		Kuusiomutteri	EN ISO 4032	M8	8 Zn	3
11		Kuusioruuvi	EN ISO 4017	M8x35	8.8 HDG	3
10		Aluslaatta	EN ISO 7089	M8	200HV HDG	6
9		Akselimutteri	DIN 70852	M55x1.5	ZN	2
8		Kuulavaste, Halder EH 22731.0330		M16		1
7		Naarasliitin, 1JC43-4-4-SM	Parker	G1/4		2
6		Urosliitin, ORFS / BSPP-ED 4-4F42EDMLO	Parker	G1/4		2
5		Sylinteri, Römheld B1.309		Piston D40, Rod, D25, Stroke 100		1
4	13644	Suoja				1
3	13642	Kahva, Painepuoli 1				1
2	13640	Kahva, Painepuoli 2				1
1	12608	Kiinnike, C-Puristin 40 kN				1
No	Number	Description	Standard	Dimensions	Material	Qty
General tolerances		Designed By		Date		
Marking		Pauli Koho		04.01.2023		
ISO 2768-mS		Approved by		Date		
Welded construction						
EN ISO 13053-95						
Welding quality level						
SFS-EN ISO 5817-C						
Plane cutting						
ISO 8013-121						
Coating						
ISO 8082-CT 11						
Size / Scale		Description		Sheet		
A3 1:5		Hydraulinen puristin		1/1		
Mass		Painepuoli		Drawing number		
12.3 kg				13639		
				Rev Model/Draw		

Kuva 33: Osaluettelo painepuolen puristimesta.

Imupuolen massaksi tuli 10,8 kg ilman hydraulikkaletkuja, mikä on reilusti alle 15 kg, joka on turvallisen massan raja. Letkut tuovat puristimen käyttöön lisää painoa, mutta ne kuitenkin saavat tukea lattiasta, joten niiden tuoma paino ei ole merkittävä. Painepuolen puristimen massaksi tuli 12,3 kg, joten siitäkin saatiin riittävän kevyt. SolidWorksistä on saatu valmistettavien teräsosien sekä liitoselinten massat. Ostokomponenttien massat on saatu niitä myyvien yritysten sivuilta.

5.1 Riskianalyysi

Opinnäytetyössä käytettävä riskianalyysin pohja on haettu METSTA ry:n verkkosivuilta. Kyseinen pohja perustuu standardiin SFS-EN ISO 12100:2010 sekä tekniseen raporttiin SFS-ISO/TR 14121-2:2013. Kokonainen riskianalyysi on liitteessä 2. Riskianalyysissä ei ole toteutuneita suojaustoimenpiteitä eikä jäännösriskin arviointia, sillä puristimia tai hydraulikkajärjestelmää ei ole vielä olemassa. (METSTA 2020)

Suunnittelun yhteydessä tutkittiin, minkälaisia riskejä hydrauliseen puristimeen liittyy ja miten riskejä voidaan minimoida. Jos puristimessa olisi vain iskun ohjaus painike, väärinkäytöllä olisi mahdollista jättää oma käsi puristukseen. Tämän takia toisessa kahvassa on turvakytkin, jonka takia puristinta voidaan käyttää vain kahdella kädellä. Puristimen on myös mahdollista tiputtaa, joka voi aiheuttaa loukkaantumisia. Käyttämällä turvajalkineita puristimen tippumisen muodostama riski saadaan vähäiseksi.

Koska puristinta operoidaan käsin, suurimmaksi vaaraksi jää hydraulikkaletkujen irtoaminen tai rikkoutuminen käytön aikana. Letkuihin liittyviä vaaroja ovat lämpötila, paine ja palovaara. Paineellinen ja kuuma hydraulioöljy voi aiheuttaa vakavia vammoja, jos sitä pääsee iholle. Pahin vaara on pistesuihkuvuodot, jotka ovat usein vaikeasti havaittavissa. Paineistettu öljy voi lisäksi injektoida ihon sisälle ja aiheuttaa esimerkiksi tulehduksia tai kuolioita. Hydraulikkaletkun katkeaminen tai irtoaminen liittimestä voi johtaa letkun iskemiin ihmistä kohti, joka voi päähän osuessa olla hengenvaarallinen. (Promaint 2013) Ennen kuin puristimia käytetään, käyttäjän tulee tarkastaa letkujen ja liittimien kunto vahinkojen välttämiseksi.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyötä voidaan pitää onnistuneena, sillä Sulzerille saatiin tuotettua piirustuskuvat, joiden avulla hydrauliset puristimet voidaan valmistaa. Työn tilaaja oli myös tyytyväinen suunnittelun lopputulokseen.

Suunniteltujen puristimien toimivuus päästään todentamaan vasta siinä vaiheessa, kun ne ovat valmistettu, ja niiden käyttöä päästään testaamaan. Jos suuremmissa putkikoissa kävisi niin, että neljä puristuskohtaa ei riitä tarpeeksi tiiviiseen liitokseen, niin puristimien lisääminen on mahdollista.

Jos tarkoituksena olisi ollut valmistaa suurempia määriä puristimia, niin siinä vaiheessa olisi kannattanut käyttää enemmän aikaa materiaalivalinnan optimointiin. Strenx 700 -teräksellä painepuolen puristimen kokonaispainoista jäi noin 2,7 kg käyttämättä suurimmasta sallitusta massasta. Näin ollen siihen olisi voitu valita jokin vähemmän luja ja halvempi teräs rungon materiaaliksi. Puristimista kuitenkin haluttiin suhteellisen kevyet, minkä takia puristimia lähdettiin suunnittelemaan Strenx 700 -teräksestä. S355-teräksestä suunnitellut vaihtoehdot, joista painepuolelle olisi voitu saada toimiva versio, oli lähinnä hintavertailun vuoksi.

Opinnäytetyön aihe oli melko haastava. Sitä varten oli opiskeltava melko paljon teoriaa aiheesta, kuten lujuusopillisia ja putkistoon liittyviä asioita. Projektin edetessä vastaan tuli uusia asioita muun muassa valmistustekniikkaan liittyen, joista tulee olemaan hyötyä työelämässä. Opinnäytetyön suunnittelu- ja toteutusvaiheissa pääsi hyvin kiinni siitä, minkälaista pienimuotoinen projektityö on mekaanisessa suunnittelussa. Hydraulisen puristimen suunnittelu antoi hyvää kokemusta koneensuunnittelusta sekä tuotekehityksellisestä työstä.

LÄHTEET

Björk, T. Hautala, P. Huhtala, K. Kivioja, S. Kleimola, M. Lavi, M. Martikka, H. & Miettinen, J. 2014. Koneenosien suunnittelu. 6. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Erwin Halder KG. 2023. Self-aligning pads self-resetting. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.halder.com/PM/Standard-Parts/Machine-and-Fixture-Elements/Self-Aligning-Pads/Self-Aligning-Pads-self-resetting> [viitattu 20.1.2023].

Gnee Garden. s.a. Stainless steel plate. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.chinacorten.com/stainless-steel-plate/din-en-1-4401-x5crnimo17-12-2-stainless-steel.html> [viitattu 27.3.2023].

Grafex. s.a. What influences the behavior of the flanged joints? WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://grafex.ro/en/influences-behavior-flanged-joints/> [viitattu 20.1.2023].

METSTA. 2020. Riskienarviointityökalu. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://metsta.fi/koneturvallisuuden-standardit-metsta/riskinarviointityokalu/> [viitattu 22.3.2023].

Oy Flinkenberg Ab. 2023. Ruostumattomat ja haponkestävät teräkset. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.flinkenberg.fi/steel/teraslevyt/ruostumat-tomat-ja-haponkestavat-terakset/> [viitattu 27.3.2023].

Phoenix Contact. 2023. Cable entry system and cable glands. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.phoenixcontact.com/fi-fi/tuotteet/control-cabinet-accessories/cable-entry-system-and-cable-glands#ex-content-transclusion-snippet--130> [viitattu 21.2.2023].

PSK 4240. 2021. Putkiluokka E16H2A painelaitekäyttöön. Austeniittinen ruostumaton CrNiMo-teräs.

Rehn, Esa. 2022a. Kehityspäällikkö. Haastattelu 7.10.2022. Sulzer Pumps Finland Oy.

Rehn, Esa. 2022b. Kehityspäällikkö. Haastattelu 14.10.2022. Sulzer Pumps Finland Oy.

Rehn, Esa. 2022c. Kehityspäällikkö. Haastattelu 5.12.2022. Sulzer Pumps Finland Oy.

Römheld GmbH. s.a. Threaded-Body Universal Cylinders. Single and double acting, max. operating pressure 500 bar. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://ws.roemheld.de/en/download/GROABGD7BL?series=nY7PGzvQQX> [viitattu 20.1.2023].

Schneider Electric. 2023. Thorsman Glands - cable gland - grey - M20 - diameter 6 to 12. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.se.com/ww/en/product/ISM71503/thorsman-glands-cable-gland-grey-m20-diameter-6-to-12/> [viitattu 21.2.2023].

SFS-EN 1005-2 + A1. 2009. Koneturvallisuus. Ihmisen fyysinen suorituskky. Osa 2: Koneen ja sen osien manuaalinen käsittely.

SFS-EN 1092-1. 2018. Laipat ja laippaliitokset. Pyöreät laipat putkille, venttiileille, yhteille ja varusteille, PN-mitoitetut. Osa 1: Teräslaipat.

SFS-EN 13445-3. 2021. Unfired pressure vessels. Part 3: Design.

SFS-EN 1514. 2021. Flanges and their joints. Gaskets for PN-designated Flanges.

SSAB. 2023. Strenx® 700 E/F. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ssab.com/fi-fi/brandit-ja-tuotteet/strenx/tuotevalikoima/700/e-f> [viitattu 27.3.2023].

Turvallisuutta ja luotettavuutta hydraulikkaletkujen suojauksella. 2013. *Promaint* 13.9.2013. Verkkolehti. Saatavissa: <https://promaintlehti.fi/Turvallisuus-ja-ymparisto/Turvallisuutta-ja-luotettavuutta-hydraulikkaletkujen-suojauksella> [viitattu 27.3.2023].

Valtonen, E. 2016. Tekniikan taulukkokirja. 21. painos. Mikkeli: Genesis-Kirjat Oy.

KUVALUETTELO

Kuva 1. Pumpun laipat kiinnitetään tavallisesti pulttiliitoksilla putkien laippoihin. Sulzer. 2023. Prosessipumput. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sulzer.com/fi-fi/finland/products/pumps/single-stage-pumps>: [viitattu 20.1.2023].

Kuva 2. Erilaiset laippatyypit. SFS-EN 1092-1. 2018. Laipat ja laippaliitokset. Pyöreät laipat putkille, venttiileille, yhteille ja varusteille, PN-mitoitetut. Osa 1: Teräslaipat.

Kuva 3. Laippaliitokseen kohdistuvat voimat. Grafex. s.a. What influences the behavior of the flanged joints? WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://grafex.ro/en/influences-behavior-flanged-joints/> [viitattu 20.1.2023].

Kuva 4. B1.309 kierteinen sylinteri. Römheld GmbH Friedrichshütte. s.a. B1.309. WWW-dokumentti Saatavissa: <https://ws.roemheld.de/en/products/threaded-body-universal-cylinder~psnY7PGzvOQX> [viitattu 8.2.2023].

Kuva 11. Kuvassa ylhäällä vasemmalla T-palkin mittojen tunnuksset ja alhaalla keskellä I-palkin mittojen tunnuksset. Valtonen, E. 2016. Tekniikan taulukko-kirja. 21. painos. Mikkeli: Genesis-Kirjat Oy.

Kuva 14. Puristimen jännitysten jakautuminen. Valtonen, E. 2016. Tekniikan taulukkokirja. 21. painos. Mikkeli: Genesis-Kirjat Oy.

Kuva 15. Halder EH 22731. kuulavaste. Erwin Halder KG. 2023. Self-aligning pads self-resetting. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.halder.com/PM/Standard-Parts/Machine-and-Fixture-Elements/Self-Aligning-Pads/Self-Aligning-Pads-self-resetting> [viitattu 21.2.2023].

Kuva 16. DIN 70852 akselimutteri. Mädlar North America. 2021. Locknuts DIN 70852, zinc-plated steel. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://maedler-northamerica.com/product-category/fastening-elements/locknuts-shaftnuts/locknuts-din-70852-zinc-plated-steel/page/2/> [viitattu 21.2.2023].

Kuva 17. Parker 4-4F42EDMLOSS urosliitin. Parker Hannifin Corp. 2023. Seal-Lok o-ring face seal tube fittings and adapters. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ph.parker.com/us/en/o-ring-face-seal-tube-fittings-and-adapters-seal-lok-o-ring-face-seal-fittings/4-4f42edmloss> [viitattu 21.2.2023].

Kuva 18. Parker 1JC43-4-4 naarasliitin. Amazon.com, Inc. 2023. HF 1JC43-04-04 - Parker 1JC43-4-4 fitting 1/4" hose X 1/4" female seal-lok - swivel - short (forseal/o-ring face). WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.amazon.com/HF-1JC43-04-04-1JC43-4-4-Seal-Lok-Ring/dp/B01D0BBHGQ> [viitattu 21.2.2023].

Kuva 19. Harmony XB4 -kaksoispainike. Schneider Electric. 2023a. Double-headed push button head, Harmony XB4, metal, 22mm, 1 green flush marked I + 1 red projecting marked O. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.se.com/ww/en/product/ZB4BL7341/doubleheaded-push-button-head-harmony-xb4-metal-22mm-1-green-flush-marked-i+-1-red-projecting-marked-o/> [viitattu 21.2.2023].

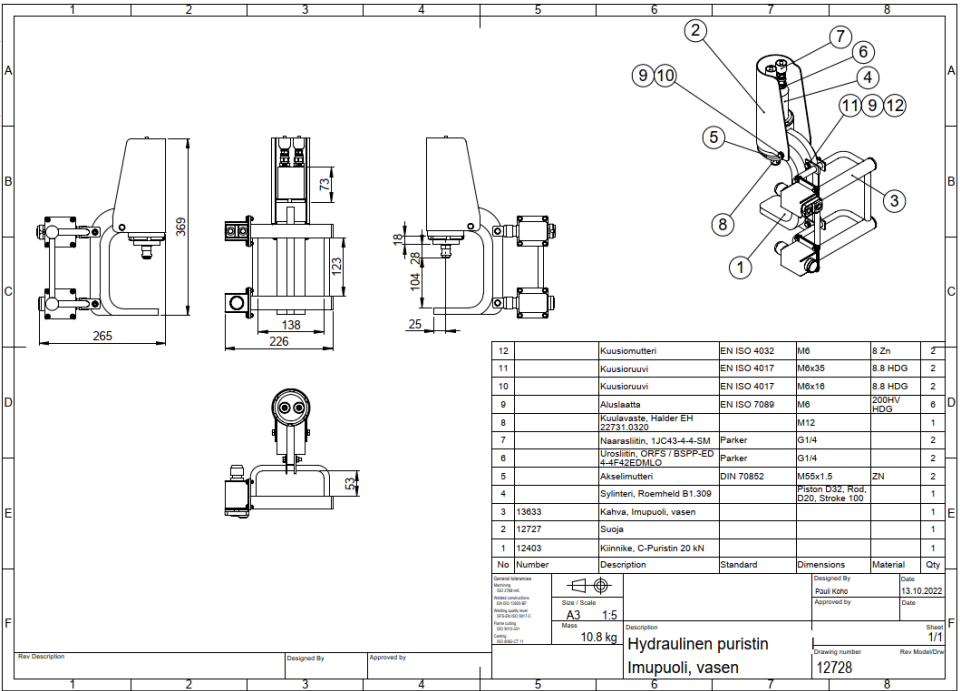
Kuva 20. Harmony XB4 -painonappi. Schneider Electric. 2023b. Illuminated push button, Harmony XB4, metal, orange flush, 22mm, universal LED, plain lens, 1NO + 1NC, 24V AC DC. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.se.com/us/en/product/XB4BW35B5/illuminated-push-button-harmony-xb4-metal-orange-flush-22mm-universal-led-plain-lens-1no-+-1nc-24v-ac-dc/?%3Frange=632-harmony-xb4-zb4-metal-push-buttons&selected-node-id=12106249574> [viitattu 21.2.2023].

Kuva 21. Harmony XB4 -kosketinlohko kiinnityssovittimella ja kahdella kosketinelementillä. Schneider Electric. 2023c. Kosketinlohko, Harmony XB4, metalli, 2xNO koskettimet, ruuviliitin. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.se.com/fi/fi/product/ZB4BZ103/kosketinlohko-harmony-xb4-metalli-2xno-koskettimet-ruuviliitin/> [viitattu 21.2.2023].

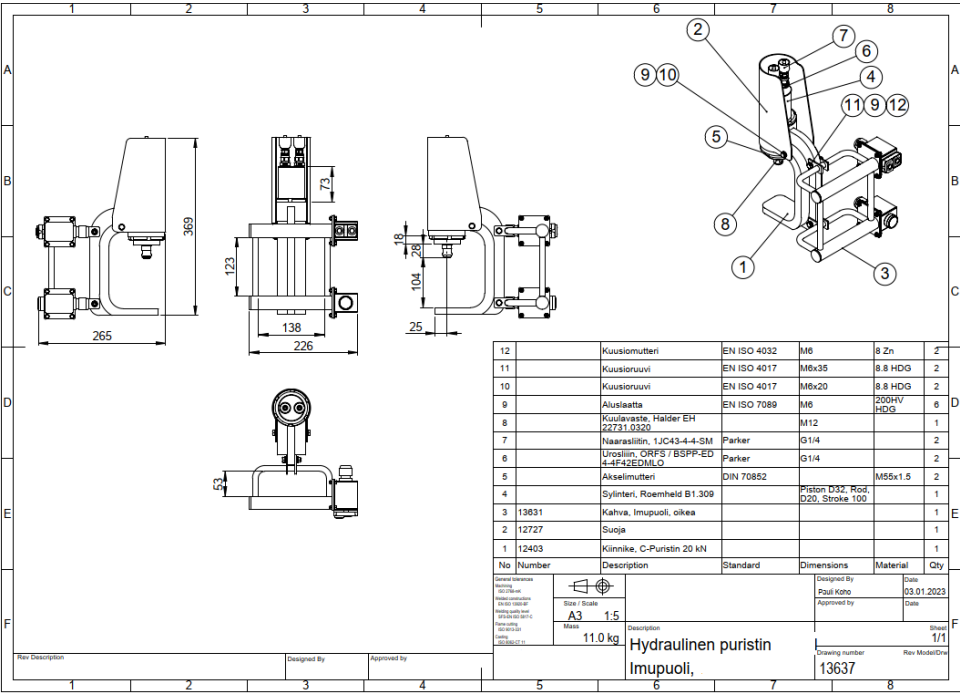
Kuva 22. Thorsman läpivientiholkki. Schneider Electric. 2023d. Thorsman Glands - cable gland - grey - M20 - diameter 6 to 12. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.se.com/ww/en/product/ISM71503/thorsman-glands-cable-gland-grey-m20-diameter-6-to-12/> [viitattu 21.2.2023].

Kuva 24. XB4-painonapille tarkoitettu painikekotelo. Schneider Electric 2024e. Painikekotelo tumman harmaa, 1 aukko. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.se.com/fi/fi/product/XALD01/painikekotelo-tumman-harmaa-1-aukko/> [viitattu 27.3.2023].

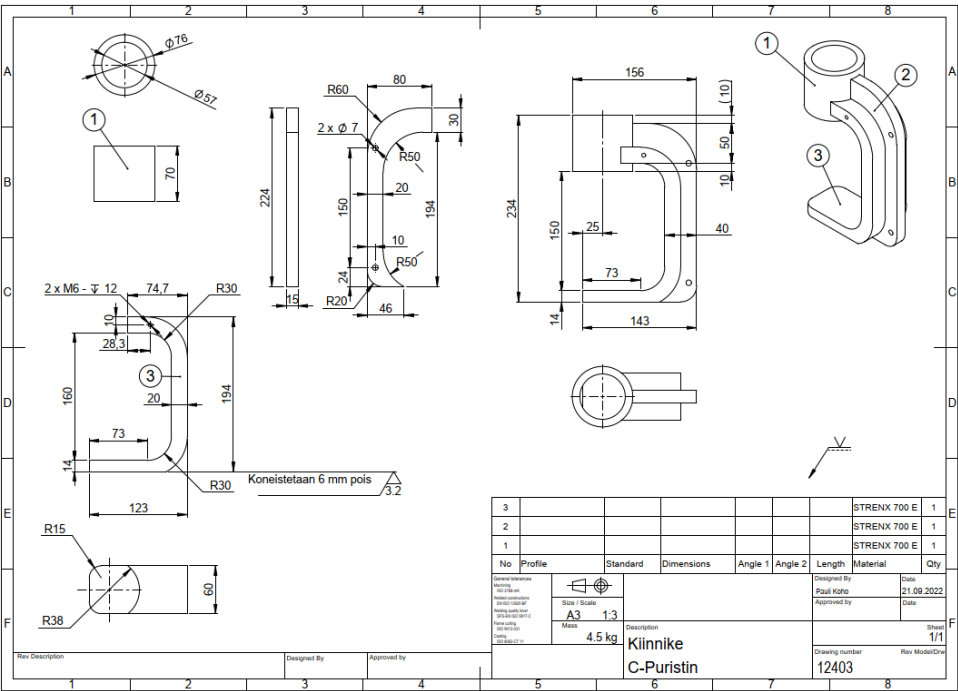
Liite 1/1



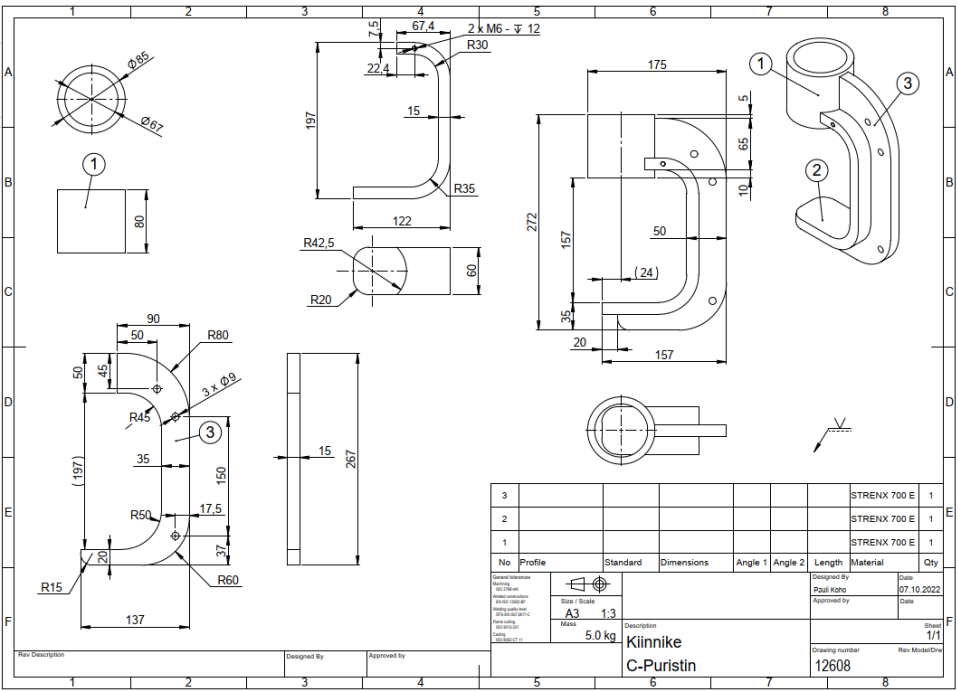
Kuva 1: Imupuolen vasemman puolen hydraulisen puristimen asennuskuva.



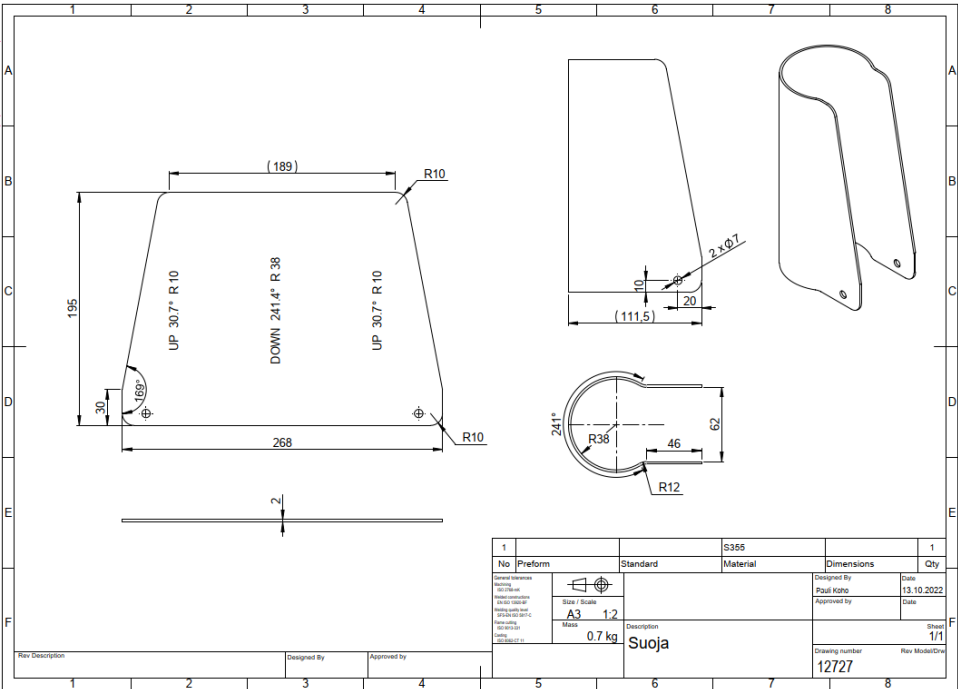
Kuva 2: Imupuolen oikean puolen hydraulisen puristimen asennuskuva.



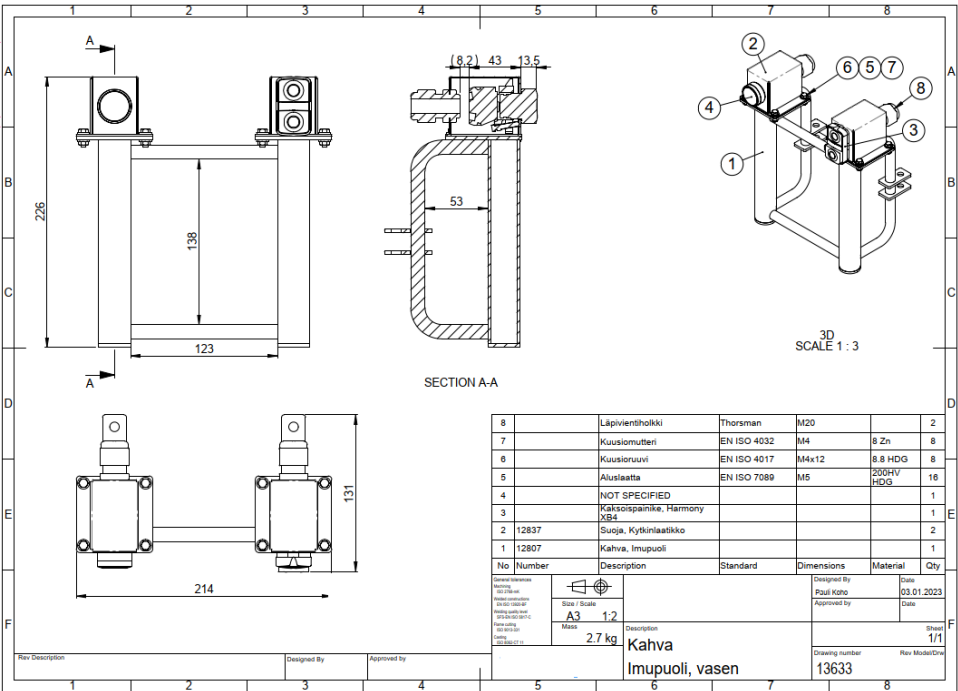
Kuva 3: Imupuolen puristimen rungon piirustuskuva.



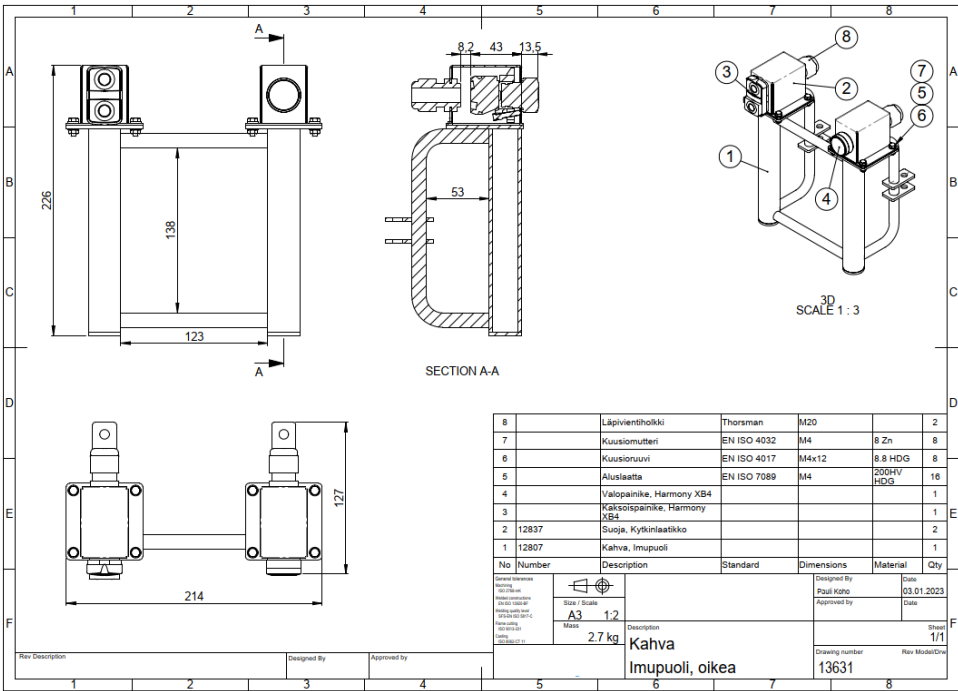
Kuva 4: Painepuolen puristimen rungon piirustuskuva.



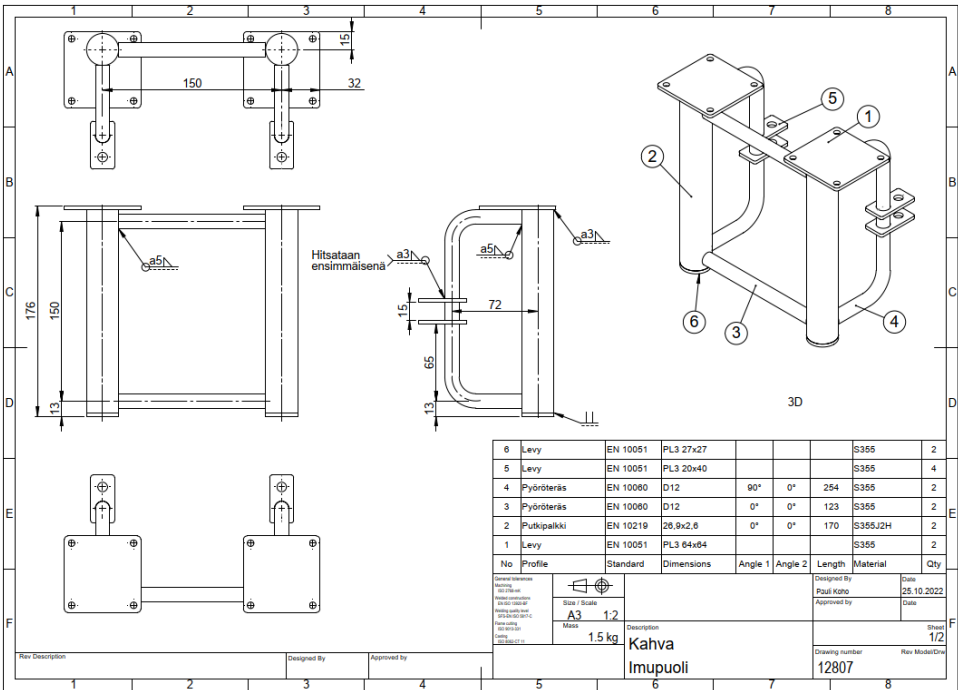
Kuva 5: Imupuolen sylinterinsuojan piirustuskuvu.



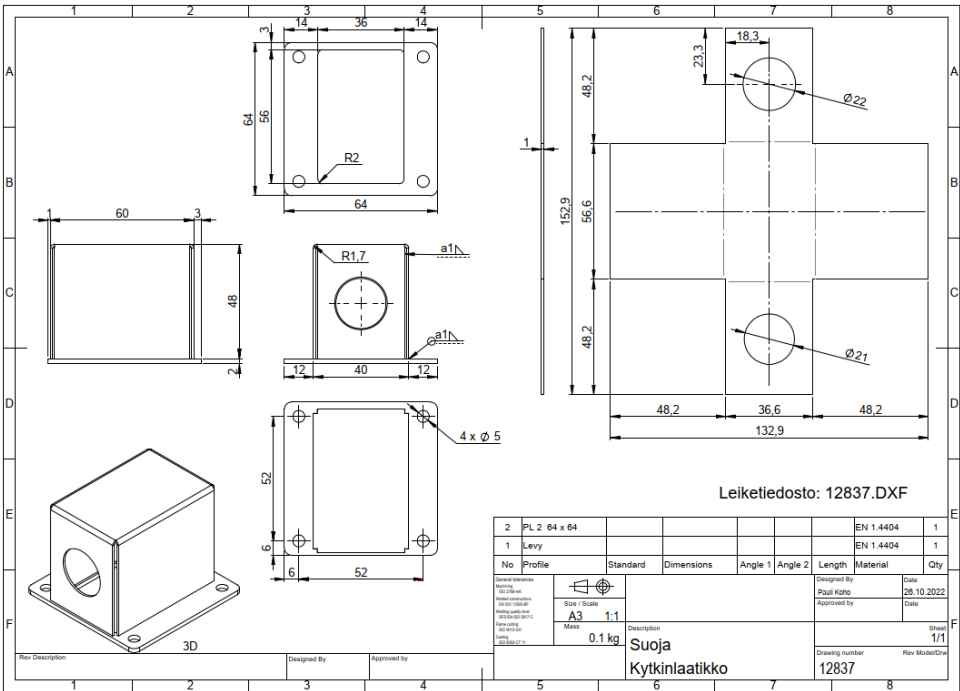
Kuva 6: Imupuolen vasemman puolen puristimen kahvakokoonpano.



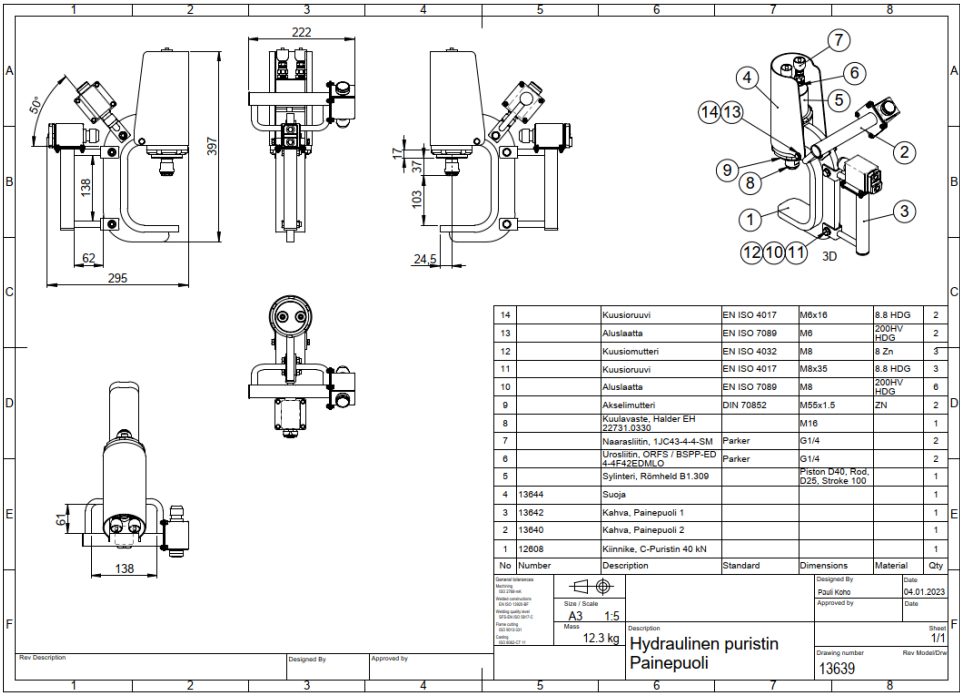
Kuva 7: Imupuolen oikean puolen puristimen kahvakokoonpano.



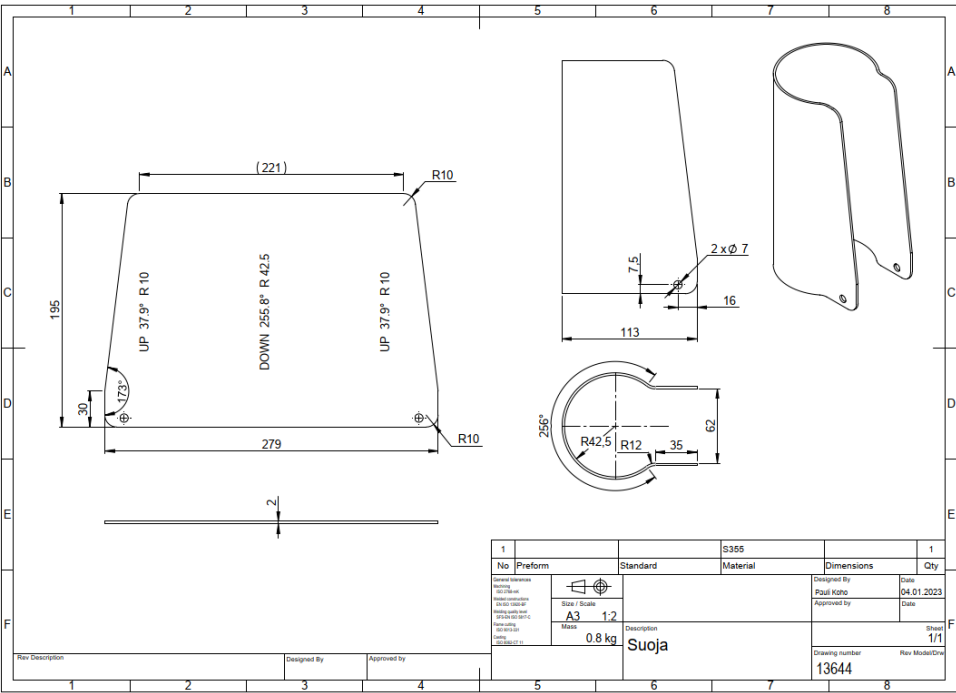
Kuva 8: Imupuolen puristimen käsikahvojen piirustuskuva.



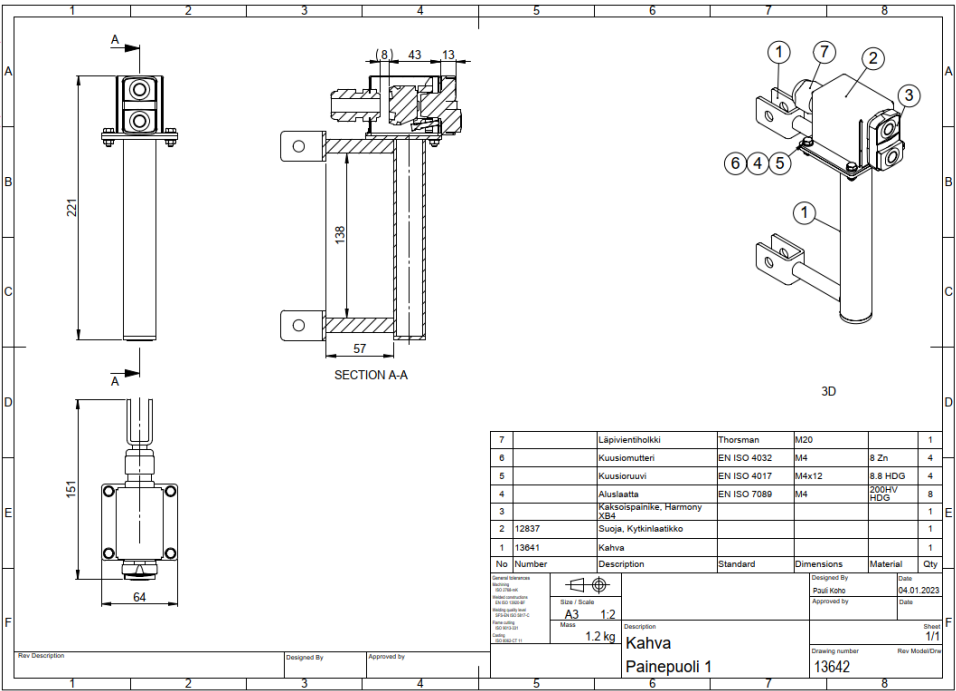
Kuva 9: Kytinlaatikon piirustuskuva.



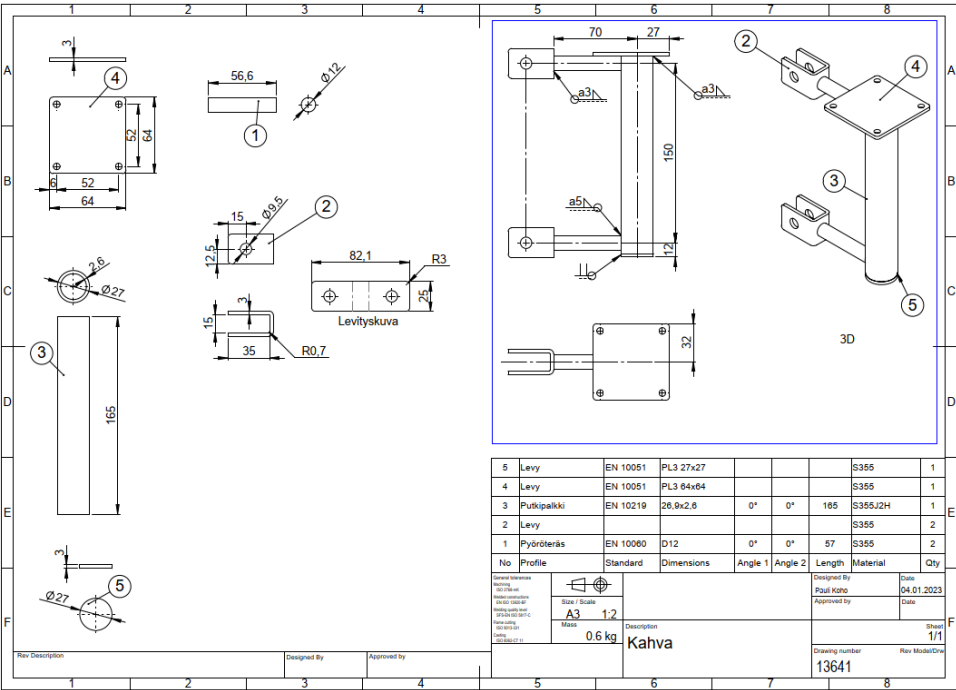
Kuva 10: Painepuolen puristimen asennuskuva.



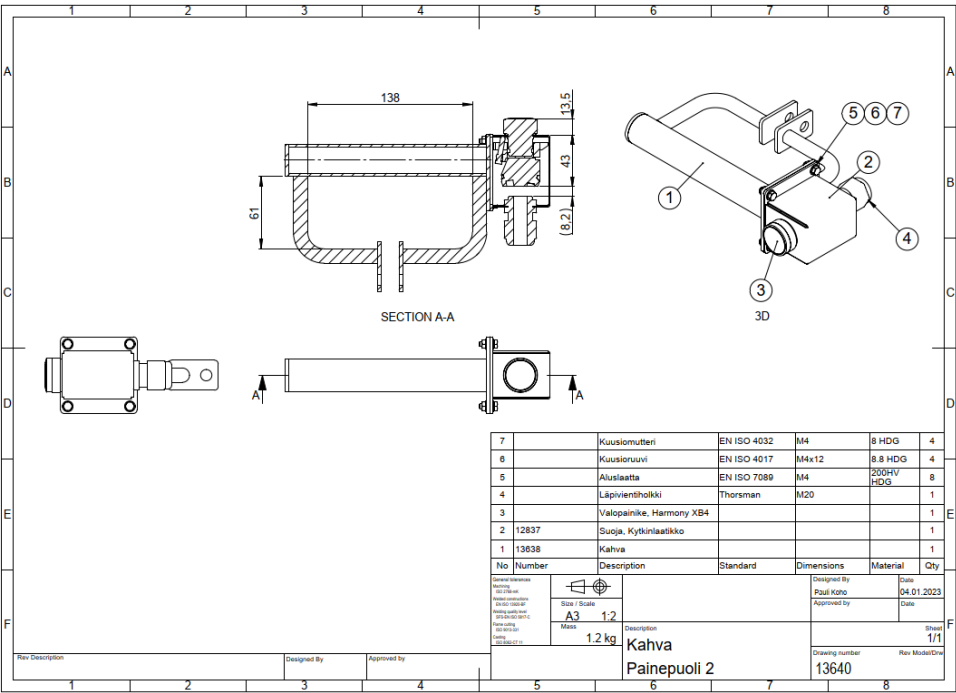
Kuva 11: Painepuolen sylinterin suojan piirustuskuva.



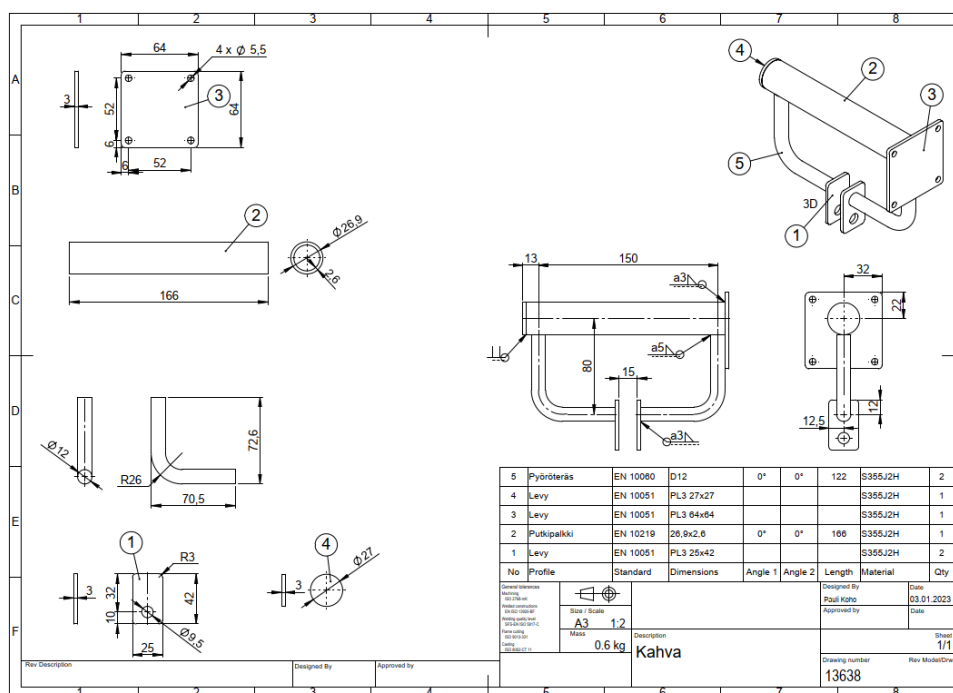
Kuva 12: Painepuolen puristimen oikean käden kahvakokoonpano.



Kuva 13: Painepuolen puristimen oikean käden kahvan piirustuskuva.



Kuva 14: Painepuolen puristimen vasemman käden kahvakokoonpano.



Kuva 15: Painepuolen puristimen vasemman käden kahvan piirustuskuva.

Taulukko 1: Riskianalyysin ensimmäinen osa.

Nr No.	Vaaravyöhyke Hazardous area	Työvaihe Working phase	Vaara Hazard	Vaarallinen tilanne Hazardous situation
1	Kaikki konealueet	Puristimen kantaminen	Isku jalkaan	Puristimen kantaminen
2	Kaikki konealueet	Puristimen kantaminen	Lihaskivut	Puristimen asentaminen laippoihin
3	Kaikki konealueet	Kaikki	Palovamma	Vuoto hydraulikkalet- kussa
4	Kaikki konealueet	Kaikki	Tulehdus, kuolio	Letkun katkeaminen, letkun irtoaminen liitti- mestä.
5	Kaikki konealueet	Kaikki	Loukkaantu- minen	Öljyn vuoto hydraulikk- kaletkusta/sylinteristä lattialle
6	Kaikki konealueet	Kaikki	Aivotärähdys	Letkun katkeaminen, letkun irtoaminen liitti- mestä.
7	Kaikki konealueet	Puristimen asentaminen laippaan	Puristuminen	Huolimaton puristimen käyttö

Taulukko 2: Riskianalyysin toinen osa.

Vaarallinen tapahtuma Hazardous event	S	F	O	A	Riski- luokka; Risk index	Riskin suuruus; Estimated risk	Suositeltavat toimen- piteet; Recom- mended actions
Puristimen tippuminen	2	2	2	1	4	Kohtalai- nen	Turvajalkineiden käyttäminen.
Huono työskentelyasento	1	2	2	1	1	Vähäi- nen	Ergonominen työskentelyasento
Hydrauliöljy pääsee ihon kanssa kosketuksiin	2	2	1	1	3	Kohtalai- nen	Suojasukan asentaminen letkun päälle
Öljyn injektointi ihon sisälle	2	2	1	1	3	Kohtalai- nen	
Liukastuminen	1	2	1	1	1	Vähäi- nen	Suojasukan asentaminen letkun päälle
Letkun iskeytyminen päähän	2	2	1	1	3	Kohtalai- nen	
Käsi jää iskun väliin puristukseen	2	2	1	1	3	Kohtalai- nen	Turvakytkin, jonka takia puristinta täytyy käyttää kahdella kädellä