



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

OSKARI SILLANPÄÄ

Putken taivutusrobotin putkilavan suunnittelu

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA
2023

TIIVISTELMÄ

Sillanpää, Oskari: Putken taivutusrobotin putkilavan suunnittelu
Opinnäytetyö, AMK
Konetekniikka
Syyskuu 2023
Sivumäärä: 32

Opinnäytetyöni aihe on suunnitella lava portaattomalla säädettävyydellä. Työn tarkoituksena on suunnitella lava mihin voidaan lastata noin 1800–300 mm pitkiä putkia, jotta robotti saa otettua putken lavasta. Työhön lisättiin vielä ergonomisen lastausmenetelmän selvittäminen. Tavoitteena on suunnitella helposti lastattava lava ja päästä eroon useista lavoista tilan puutteen takia. Työhön haettiin tietoa haastattelemalla työntekijöitä ja käymällä alihankintamesuilla Tampereella.

Työssä käytetään SolidWorks-ohjelmaa ja lavalle tullaan tekemään lujuuslaskennat SolidWorks Simulation-työkalulla.

Avainsanat: Suunnittelu, putkentaivutus, lujuuslaskenta

Abstract

Sillanpää, Oskari: Designing pipe pallet for pipe bending robot.

Bachelor's thesis

Mechanical Engineering

September 2023

Number of pages: 32

The purpose of this thesis is to design a pallet with adjustable supports for pipe bending robot. Pallet will be designed to support pipes from 1800 mm to 300 mm for robot. The goal for this project is to get an easy-to-load pallet and get rid of several pallets due to lack of space. A bonus for this project is also to find ergonomic way to load said pallet. Information to this project was collected from client's employees and from Tampere's subcontractors fair in 2023.

Designing will be done using SolidWorks and strength calculations will be done using SolidWorks Simulation tool.

Keywords: Designing, Pipe bending, strength calculations

ALKUSANAT

Osoitan työn kiitokset toimeksiantajalleni Tukimet Oy:lle. Kiitokset menevät myös puolisollleni sekä perheelleni jatkuvasta tuen antamisesta.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 TUKIMET OY	8
3 SELVITTELYT	9
3.1 Aloituspöytäkirja	10
3.2 Ensimmäinen versio	11
3.3 Toinen versio	13
3.4 Kolmas versio	14
3.5 Viimeinen versio	16
4 LUJUUSLASKENNAT	19
5 KOKOONPANO	22
6 YHTEENVETO.....	31
LÄHTEET.....	32

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO (EI PAKOLLINEN)

N = Newton, voiman yksikkö.

MPa = Voiman vaikuttava paine pinta-alalle, kuvataan myös myötölujuutta.

W = Taivutusvastus

I = Kappaleen jäyhyysmomentti

e = Kappaleen reunaetäisyys

m = Kappaleen massa

g = putoamiskiihtyvyys

F = Voiman suuruus

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella toimiva ”lava” taivutettaville putkille. Lavaan suunnitellaan portaaton säädettävyys tukiputkille, jotta lava olisi helpompi käyttää. Tilan puutteellisuuden takia on tarkoitus päästä eroon monista eri mittaisille putkille tehdyistä kiinteistä lavoista. Kokoonpanemisen helpottamiseksi lava tullaan suunnittelemaan palapelimäisesti. Työhön tullaan lisäämään myös ergonominen ratkaisu taivutettavien putkien lastaamiselle.

Ennen suunnittelun aloittamista käytiin läpi, mitä ominaisuuksia lavaan toivotaan. Työhön saatiin ratkaisuja Tampereen alihankintamessuilta 2023, henkilöstöhaastatteluista sekä eri tietolähteistä kerätyistä ratkaisuista.

Työssä tullaan käyttämään SolidWorks -ohjelmaa sekä Siemens SolidEdge -ohjelmaa. SolidWorks -ohjelmalla saadaan piirrettyä koneistuspiirustukset ja kokoonpanopiirustukset. Lujuuslaskennat saadaan tehtyä SolidWorks -ohjelmalla.

SolidEdge -ohjelmaa käytetään apuvälineenä työssä. SolidWorks- ohjelmalla tullaan tekemään suurin osa suunnittelu työstä ja lujuuslaskenta simulaatioista. SolidEdgeä tullaan käyttämään Tukimet Oy:n omien mallien katselmissa, sillä Tukimet Oy käyttää SolidEdgeä.

2 TUKIMET OY

Tukimet Oy on Raumalla toimiva yritys, joka tuottaa apuvälineitä Tyke® tavaramerkillä. Yritys perustettiin vanhan Tyke-tuotteen pohjalle vuonna 2013, sen poistuessa kunnalliselta sektorilta. Tukimet Oy:n tuotteet ovat suunniteltu käyttäjiensä tarpeiden mukaan, materiaalit ovat pääsääntöisesti kotimaisia ja työlaatu laadukasta. Tukimet Oy on saanut Avainlippumerkin käyttöoikeuden kävelytelineille (rollaattorit) ja nousutuille.

Tukimet Oy:n tärkeimmät tuotteet ovat kävelytelineet, nousutuet, luistelutuet, suihkutuolit, tukikaiteet ja -kahvat. Tukimet Oy:n asiakaskuntaan kuuluu yksityisiä asiakkaita sekä kuntien liikunta- ja terveystoimia, sairaanhoitopiirejä, apuvälineyksiköitä ja muita jälleenmyyjiä. Tukimet Oy tekee yhteistyötä lähialueiden konepajojen kanssa tuotteiden viimeistelyssä sekä erikoisratkaisujen toimittamisessa. Tukimet Oy tarjoaa myös alihankintatoimintaa ohutseinäputkien käsittelyssä.



Kuva 1. Tukimet Oy:n monitoimilaite WHEELLATOR Seppo (Tukimet Oy www-sivut 2023)



Kuva 2. Päätuote kävelyteline ”Rollaattori” Mauno (Tukimet Oy www-sivut 2023)

3 SELVITTELYT

Työhön suunnitellaan lava putkentaivutusrobotille taivutettavia putkia varten. Käytettävien putkien pituudet vaihtelevat 300–1800 mm välillä. Tukimet Oy käyttää Yaskawa-merkkistä käsirobotia, joka käyttää magneettitarttujaa.



Kuva 3. Käytössä oleva lavarakenne

Mallia tullaan ottamaan käytössä olevasta lavasta. Lava kohdistetaan robotin viereen lattiaan propatulla L-mallisella osalla (kuvan keltainen osa). Käytössä olevan lavan ongelma on taivutettavan putken korkeus. Robotti ei havaitse viimeisen kerroksen putkia, jolloin viimeinen kerros käydään taivuttamassa manuaalisesti. Lavassa ei ole mahdollisuutta säätää väliputkien paikkoja, jolloin lavoja on tehty muutamia kappaleita eri mittaisille putkille.

3.1 Aloitus palaveri

Palaverissa selviteltiin mitä ominaisuuksia uuteen lavaan halutaan. Lava suunniteltiin euro-lavan mittojen sisään eli 800x1200 mm. Lavan tukiputket pitää liikkua portaattomasti ja olla helposti lukittavissa. Lavan suunnittelussa tullaan hyödyntämään Structural member-profiiliputkia.

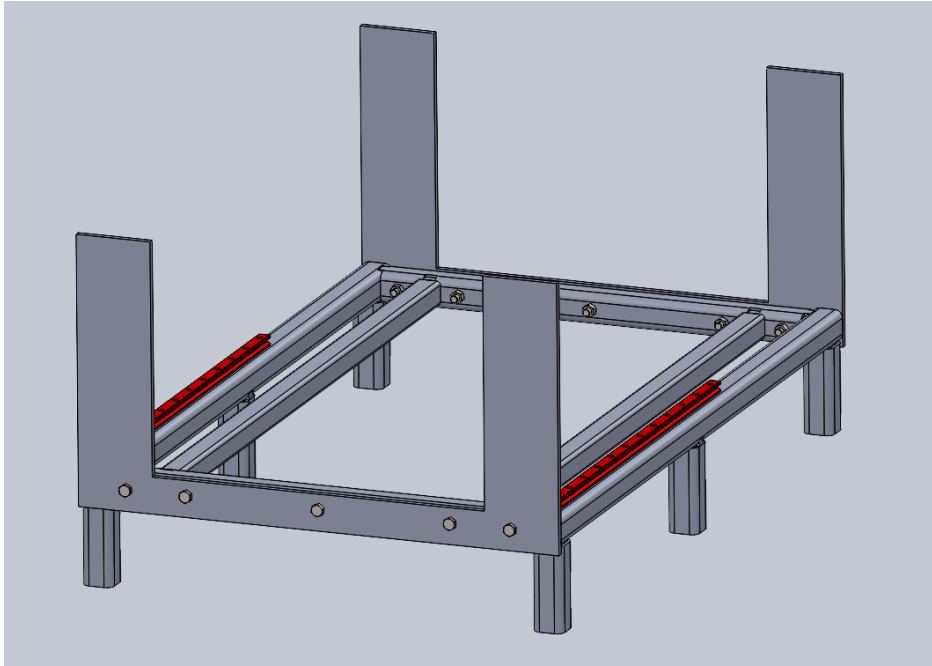
SolidWorksissa on työkalu Structural member, jolla saa haettua SolidWorks kirjastosta valmiita putkiprofiileja. Työkalu helpottaa suunnittelua, koska putkia ei tarvitse piirtää kokonaan itse.

Lavan suunnittelussa pitää huomioida, miten putket tullaan lastaamaan niin, että robotti nostaa putken mahdollisimman keskeltä. Lavan kulmat tulevat olemaan kiinteät ja niiden pohjalle laitetaan aallonmuotoinen kappale, jota vasten alin kerros putkia lastataan. Aaltomaisen kappaleen tarkoitus on tukea putkia ja paikoittaa niiden sijainti lavalla, jotta jokainen kerros lastautuu oikein. Taivutettavien putkien alin kerros pitää olla tietyllä korkeudella lattiasta, jotta robotin ohjelmakoodia ei tarvitse manuaalisesti muuttaa. Lavalle pitää pystyä lastaamaan halkaisijaltaan 16, 19, 22 ja 25 mm putkia. Lavan tulee olla suunniteltuna helposti koottavista paloista. Lavoja tullaan tekemään kaksi kappaletta, jotta tuotannon prosessia helpotetaan. Toinen lavoista tulee olemaan käytössä robotilla ja toinen lastataan valmiiksi.

Tietoa ja ratkaisuja haettiin myös Tampereen alihankintamessuilta, jotka pidettiin 26. – 28.9.2023. Messuilla saatiin ideoita, miten säädettävyys saataisiin toteutettua. Messuilla esiteltiin lineaarijohtimien hyödyntämistä, valmiin alumiiniprofiilikiskon käyttöä ja tarjottiin ratkaisuja myös ergonomisiin lastausmenetelmiin. Lastausmenetelmien vaihtoehtoina nostamiseen on tarkoitus käyttää hallinostinta, joko seinään kiinnitetyllä palkilla tai omalla jalalla seisovalla palkilla.

3.2 Ensimmäinen versio

Toisessa palaverissa käytiin läpi, mitä oli suunniteltu ensimmäiseen versioon.



Kuva 4. Ensimmäinen versio mallista (Solidworks)

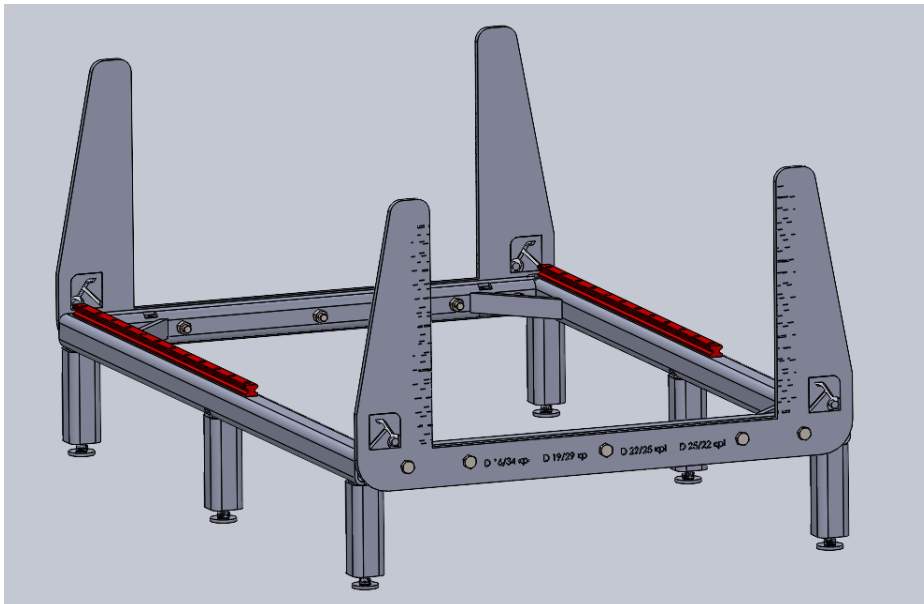
Ensimmäisessä versiossa päätettiin, että portaaton säädettävyys on mahdollista suorittaa kuulalaakeri lineaarijohteilla. Lineaarijohteeseen päädyttiin yksinkertaisuuden takia ja hitsauksen helpottamiseksi, sillä muut rungon osat tul- laan tekemään teräsputkista. Sisimmät putket auttavat lavan tukemisessa niin, ettei lava taivu "salmiakki"-muotoon. Ensimmäisessä versiossa on mallinnet- tuna osiin paikotukset, jotka helpottavat kokoonpano vaiheessa. Päätylevy tul- laan pulttaamaan runkoon kiinni, jotta levy on mahdollista irrottaa myöhemmin. Malliin valittiin GreenLab:n tarjoama HGR25R-C lineaarijohde, koska se on halvin ja kestävä johde tähän malliin. Greenlab tarjosi 3D-mallin heidän line- aarijohteistansa, joka helpotti suunnittelutyötä. Muita toimittajia, joita löydettiin, oli OEM, SKS ja Rollco. OEM ja SKS tarjoamat lineaarijohteet maksoivat huo- mattavasti enemmän, kuin GreenLab.n tarjoama lineaarijohteet. Rollco:n tar- joama lineaarijohde ei olisi tullut kestävässä tässä työssä, koska se oli materi- aaliltaan heikompaa alumiinia.

Model No.	Dimensions of Assembly (mm)			Dimensions of block (mm)										Dimensions of rail (mm)										Mounting Bolt for rail	Basic Dynamic Load Rating	Basic Static Load Rating	Static Rated Moment			Weight		StoP	
	H	H ₁	N	W	B	B ₁	C	L ₁	L	K ₁	G	M	T	T ₁	H ₁	H ₂	W	H ₁	D	h	d	P	E				(mm)	C (kN)	C ₁ (kN)	M _R (kN·m)	M _V (kN·m)		M ₁ (kN·m)
HGW15CA	24	4.3	16	47	38	4.5	30	39.4	61.4	8	5.3	M5	6	8.9	8.95	3.7	15	15	7.5	5.3	4.5	60	20	M4×16	11.38	25.31	0.17	0.15	0.15	0.17	1.45	✓	
HGW20CA	30	4.6	21.5	63	53	5	40	50.5	77.5	10.25	12	M6	8	10	6	7	20	17.5	9.5	8.5	6	60	20	M5×16	17.75	37.84	0.38	0.27	0.27	0.40	2.21	✓	
HGW20HA								45.2	92.2	17.6																							✓
HGW25CA	36	5.5	23.5	70	57	6.5	45	58	84	11.8	12	M8	8	14	6	9	23	22	11	9	7	60	20	M6×20	26.48	56.19	0.64	0.51	0.51	0.59	3.21	✓	
HGW25HA								78.6	104.6	22.1																						✓	
HGW30CA	42	6	31	90	72	9	52	70	97.4	14.25	12	M10	8.5	16	6.5	10.8	28	26	14	12	9	80	20	M8×25	38.74	83.06	1.06	0.85	0.85	1.09	4.47	✓	
HGW30HA								93	120.4	25.75																						✓	
HGW35CA	48	7.5	33	100	82	9	62	80	112.4	14.6	12	M10	10.1	18	9	12.6	34	29	14	12	9	80	20	M8×25	49.52	102.87	1.73	1.20	1.20	1.56	6.30	✓	
HGW35HA								105.8	138.2	27.5																						✓	
HGW45CA	60	9.5	37.5	120	100	10	80	97	139.4	13	12.9	M12	15.1	22	8.5	20.5	45	38	20	17	14	105	22.5	M12×35	77.57	155.93	3.01	2.35	2.35	2.79	10.41	✓	
HGW45HA								128.8	171.2	28.9																						✓	
HGW55CA	70	13	43.5	140	116	12	95	117.7	166.7	17.35	12.9	M14	17.5	26.5	12	19	53	44	23	20	16	120	30	M14×45	114.44	227.81	5.66	4.06	4.06	4.52	15.08	✓	
HGW55HA								155.8	204.8	36.4																						✓	
HGW65CA	90	15	53.5	170	142	14	110	144.2	200.2	23.1	12.9	M16	25	37.5	12.5	15	63	53	26	22	18	150	35	M16×50	163.63	324.71	10.02	6.44	6.44	9.17		✓	
HGW65HA								203.6	259.6	52.8																						✓	

Kuva 5. Teknillinen tieto lineaarijohdeesta. (30.11.2023 GreenLab www-sivut)

Greenlab:n lineaarijohde HGR25R on hieman ylimitoitettu tulevaan lavaan. Taulukosta katsottuna tärkein arvo mitä tarvitaan, on M_R , joka kertoo kuinka paljon johde kestää vääntöä. Johde kestää vääntöä 0,27 kN*m.

3.3 Toinen versio



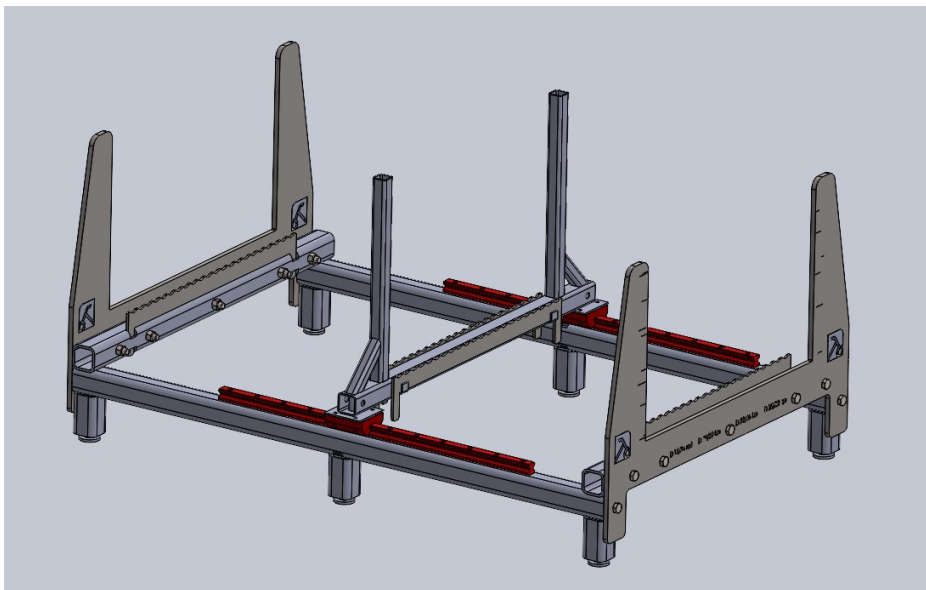
Kuva 6. Toinen versio mallista (Solidworks)

Toisessa versiossa muutettiin päätylevyjä. Päätylevyihin tehtiin pyöritykset sekä leikattiin ulkoreunoihin iso viiste, jotta rakenne on hieman kevyempi.

Levyihin lisättiin sekä Tukimet Oy:n oma logo, että korkeusmerkinnät pystysuunnassa. Päätylevyihin laitettiin myös merkinnät, jotka kertovat kuinka monta putkea mahtuu vierekkäin pohjakerrokselle eri halkaisijamitoilla.

Rungosta poistettiin sisimmäiset tukiputket, sillä ne tulevat olemaan kelkan päällä olevan säätötuen tiellä. Poistettujen putkien tilalle lisättiin tuet sisäkulmiin. Jalkojen pohjiin lisättiin säädettävät tassut, sillä hallin lattia ei ole tasainen. Lavan pitää olla suorassa, jotta robotti saa nostettua putken suoraan ylös lavalta. Säätötassuilla saadaan lava täysin suoraan robotin työkaluakselin mukaan.

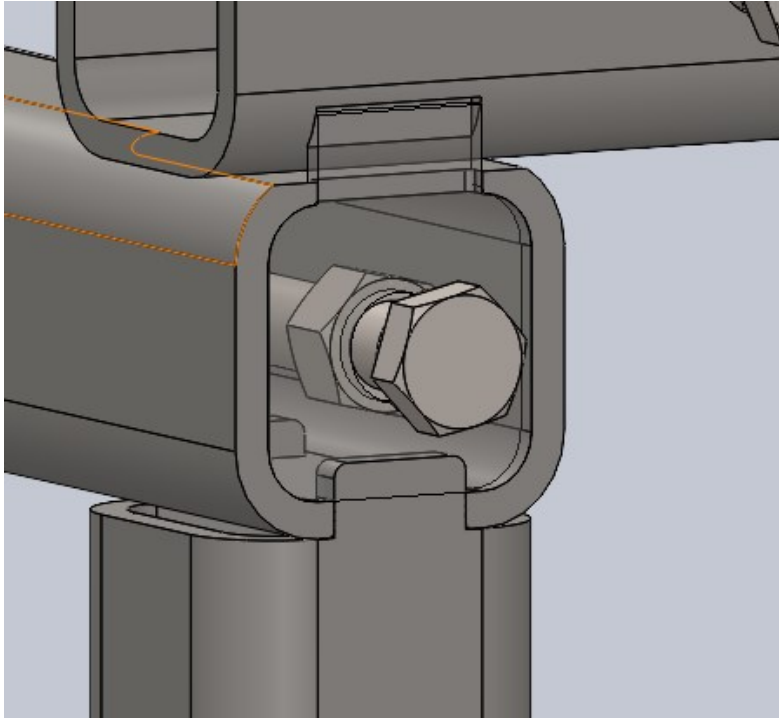
3.4 Kolmas versio



Kuva 7. Kolmas versio mallista (Solidworks)

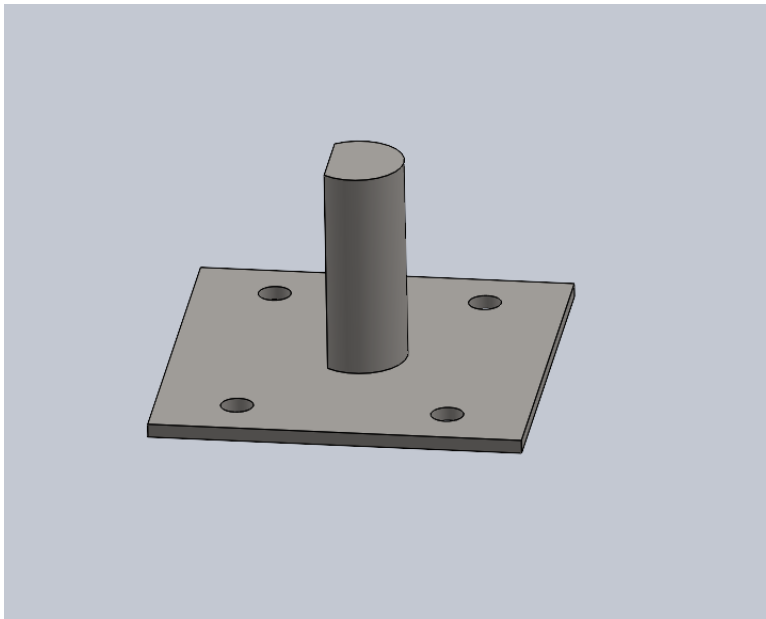
Mallissa on kaksi määrittävää mitta, taivutettavan putken pinon alimman kerroksen korkeus lattiasta ja lavan alle jäävän tilan korkeus. Kolmannessa versiossa nostettiin päätyputki poikittaisputkien päälle, koska alin taivutettavien putkien kerros olisi tullut liian korkealle. Lavaa pitää myös pystyä siirtämään pumppukärryillä, joten lavan alle jätettiin 90 mm. Liikkuva keskituki suunnitettiin profiiliputkista. Putkien paikoittava aaltopala tehtiin niin, että sama muoto

sopii päätyputkiin sekä myös liikkuvaan keskitukeen. Poikittaisiin pitkiin putkiin tehtiin lovet, joiden päälle tulevat lyhemmät putket paikoittuvat. Päätylevyihin tehtiin ”jalat”, jotka tulevat pitkien putkien päitä vasten. Näin ollen päätylevy tulee ottamaan enemmän tukea rungosta.



Kuva 8. Poikkiputken sisäinen laatta ja mutteri.

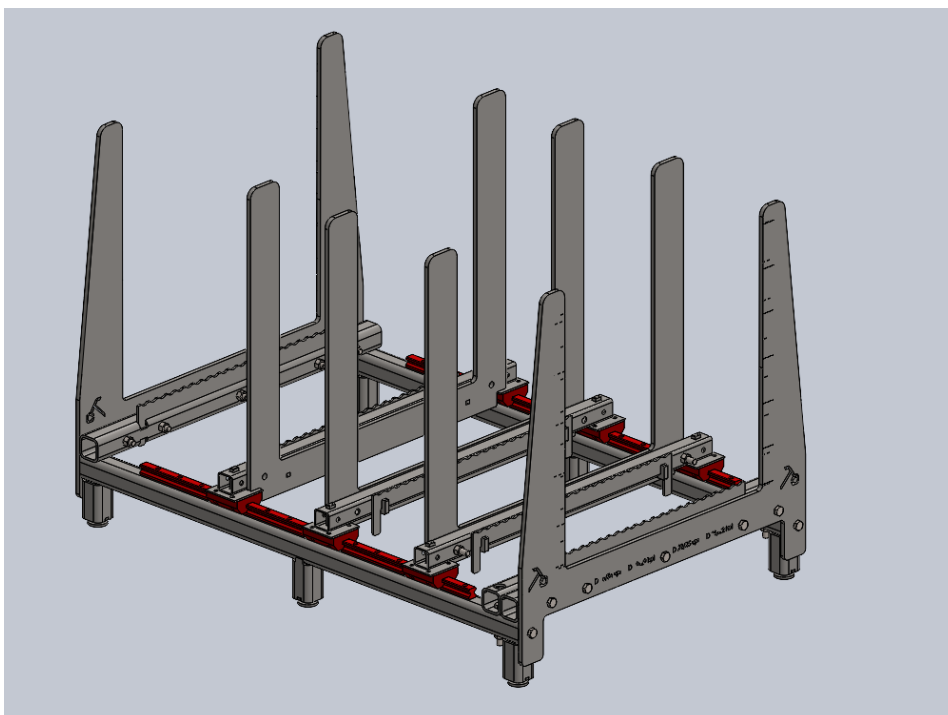
Laattaan tullaan hitsaamaan mutteri sisäpuolelle ennen kuin se hitsataan putkenpään. Päätylevyt saavat näin enemmän tukea, koska ne pultataan runkoon kiinni.



Kuva 9. Kiinnityslappu keskituen ja kelkan välissä.

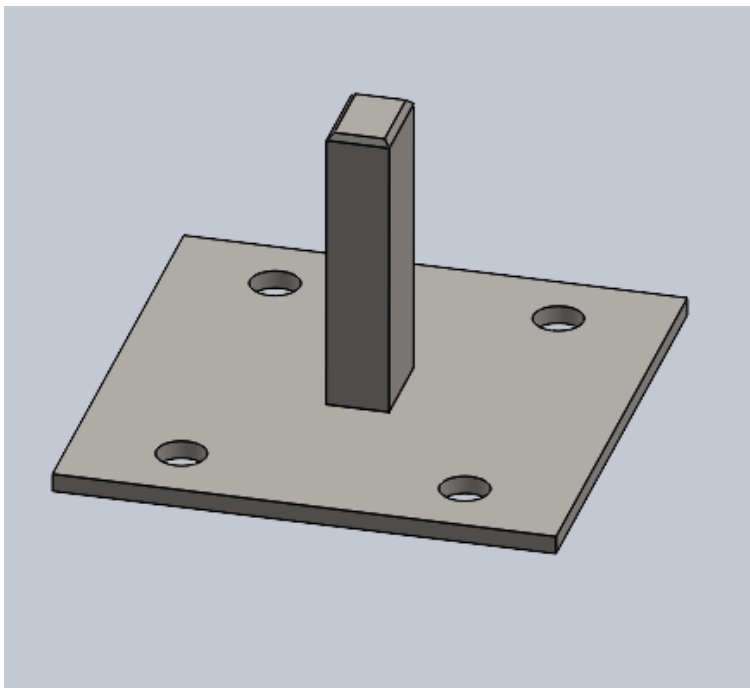
Kelkka tulee kiinni keskituen putkeen lapulla, johon on hitsattu pyörötanko. Pyörötangon yksi sivuista on koneistettu tasaiseksi, jonka pintaa vasten saadaan kiristettyä lukitusvipu.

3.5 Viimeinen versio



Kuva 10. Viimeinen versio mallista (Solidworks)

Viimeisessä versiossa lisättiin puuttuvat keskituet. Keskituet ovat täysin identtiset toisiinsa nähden. Keskituet suunniteltiin niin, että kaikki kolme tukea voidaan kääntää 180°. Yksi keskituista on käännetty 180° muista nähden, sillä aaltolevy tarvitsee olla vastakkain toisen aaltolevyn kanssa, kun lavalle lastataan kaksi pinoa lyhyitä putkia. Lavalle voidaan lastata eri pituisia putkia keskitukien avulla. Lavalle voidaan lastata pitkiä putkia käyttäen kaikkia tukia tai lavalle voidaan lastata kaksi pinoa lyhyitä putkia lavan molempiin pätyihin. Keskitukiin tulee pikalukitus lukitusvivulla, joten keskituet saadaan nostettua lavasta ottamatta kelkkoja irti lineaarijohteista. Sivulevyjen ja keskitukien korkeus muutettiin 600 mm alkuperäisen mallin mukaan.



Kuva 11. Uusi keskituen kiinnitys lappu.

Keskituen ja kelkan välinen lappu muutettiin toisenlaiseksi. Pyörötanko korvattiin 10 mm x 15 mm x 47 mm levyपालalla. Kappale asetettiin niin, että vääntövoimat vaikuttavat kappaleen pienemmän pinnan suuntaan. Kappaleella on parempi taivutusvastus lyhyemmän sivun puolella. Taivutusvastus on kuvaava

suure, siitä kuinka paljon kappale kestää taivutuksen tuomaa siirtymää. Taivutusvastuksen yksikkö SI-järjestelmässä on m^3 . Taivutusvastus saadaan laskettua kaavalla:

$$W = \frac{I}{e}$$

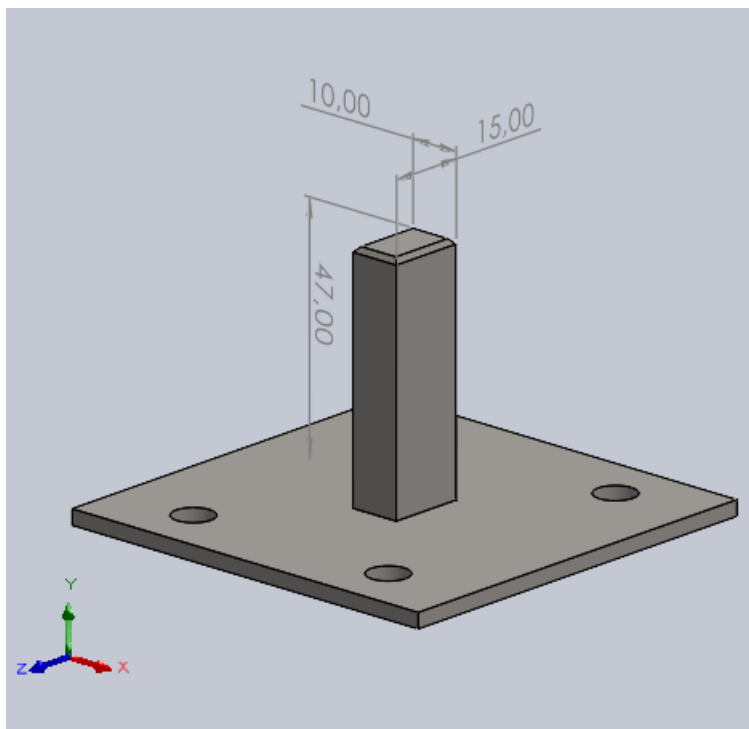
Missä,

I = Kappaleen jäyhyysmomentti

e = Kappaleen reunaetäisyys

Lauseketta muuntamalla saadaan yhtälöt suorakulmion x- ja z- akselin suhteen:

$$W_z = \frac{bh^2}{6}$$



Kuva 12. Adapteri tangon mitat

Lyhyempi sivu tangosta on kohtisuorassa z-akselin kanssa. Taivutusvastuksenlausekkeella saadaan laskettua z-akselin suuntainen taivutusvastus:

$$W_z = \frac{15 \text{ mm} \times (47 \text{ mm})^2}{6}$$

Näin saame tulokseksi $5\,522,5 \text{ mm}^3$.

Pidempi tangon sivu on kohtisuorassa x-akselin kanssa ja taivutusvastus x-akselin suhteen voidaan laskea samalla kaavalla:

$$W_x = \frac{10 \text{ mm} \times (47 \text{ mm})^2}{6}$$

Tulokseksi tulee $3\,681,7 \text{ mm}^3$.

Mitä pienempi on kappaleen taivutusvastus, sen paremmin se kestää taivutuksen tuomia siirtymiä. (Matti Saikkonen, 1992, s.91–94), (Mäkelä, Soininen, Tuomola, Öistämö, 2002, s. 144), (Structural Basics, 2023)

4 LUJUUSLASKENNAT

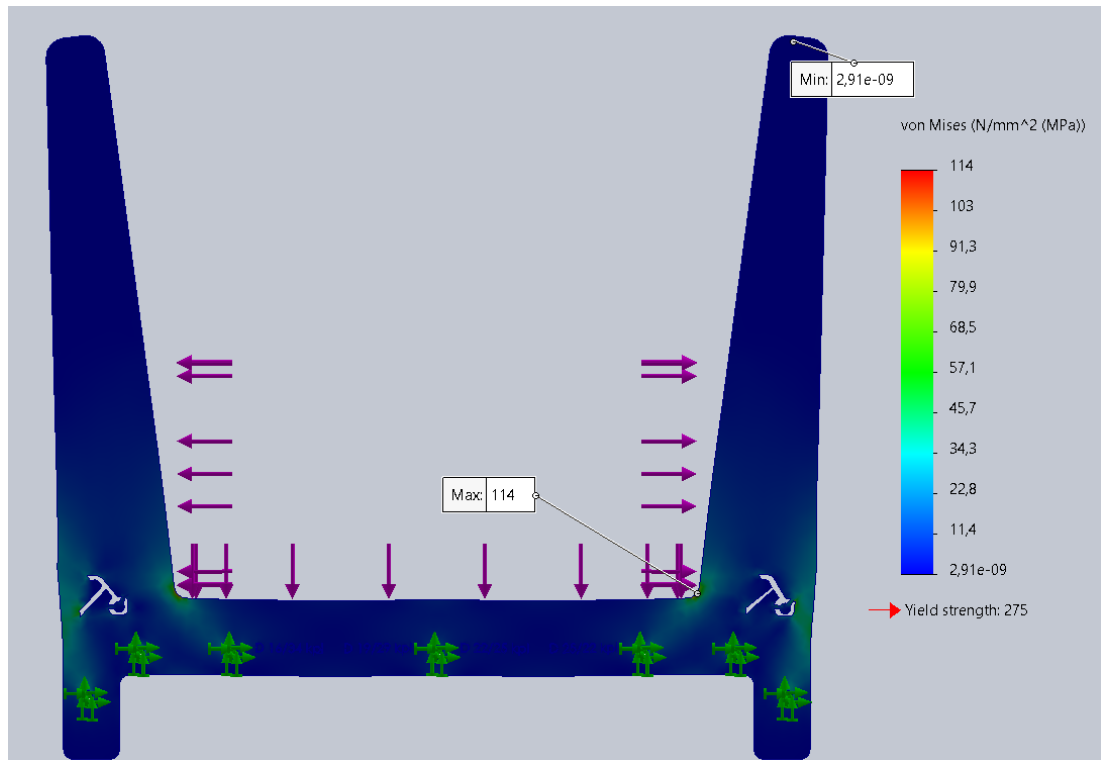
Malliin tehtiin lujuuslaskennat käyttäen apuna SolidWorksin simulaatio työkaluja. Laskennat tehtiin käyttäen painaviempien putkinippujen massan keskiarvoa. Pahimmassa tapauksessa lavalle tullaan lastaamaan nippu, jonka paino on lähellä 1300 kg. Vaikuttava massan voima saatiin laskettua kaavalla:

$$m * g = F$$

Näin ollen saadaan voiman suuruudeksi:

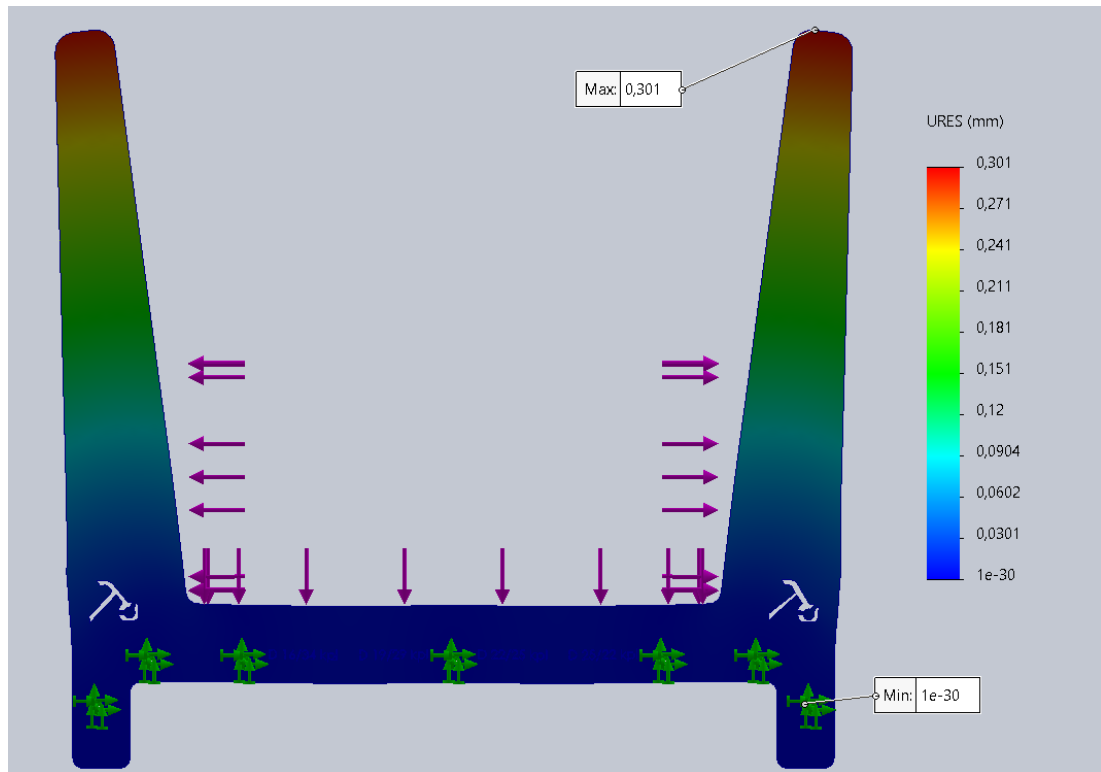
$$1300 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 12753 \text{ N}$$

Laskujen helpottamiseksi luku pyöristettiin 13000 N.



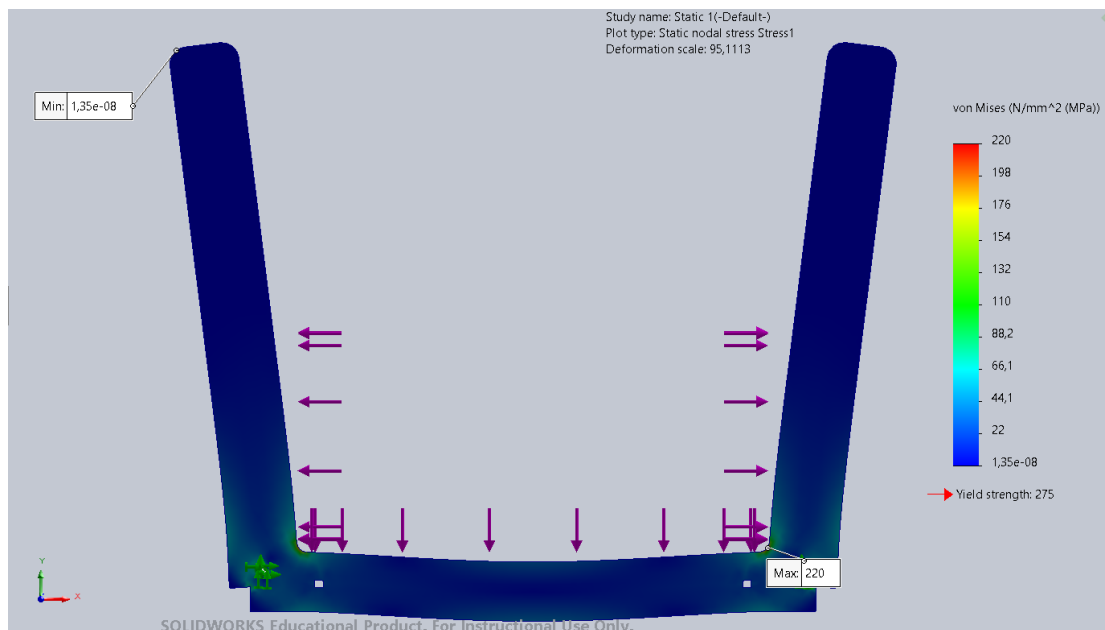
Kuva 13. Päätylevyn lujuussimulaatio

Simulaatio tehtiin olettaen, että oletettu putkinippu työntää pystylevyjä 6400 N voimalla. Putkinippu painaa suoraan alas 13 000 N voimalla. Simulaation mukaan levy tulee kestävään. Suurin voima tulee sisäkulmiin tehtyihin pyöristyksiin 114 MPa paineella. Levy tehdään S355JR rakenneteräksestä, jonka myötölujuus on 355 MPa. Vaikka levy tehdään S355JR, SolidWorks antaa myötölujuuden 275 MPa. Levy tulee kestävään hyvin painavimman nipun.



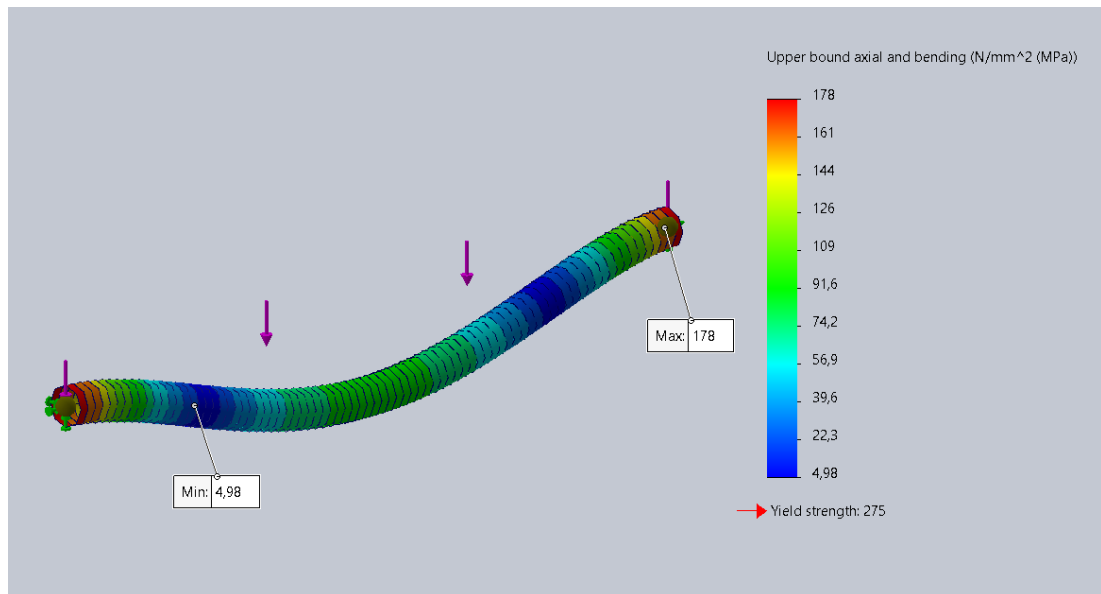
Kuva 14. Päätylevyn siirtymä

Samoilla voimilla levyyn tulee maksimissaan 0,3 mm siirtymää levyn päässä. Siirtymä on tässä tapauksessa olematon.



Kuva 15. Keskituen levyn simulaatio

Keskituen levyyn laitettiin samat voimat simulaatiossa. Eniten voiman aiheuttamaa painetta tulee samaan paikkaan kuin päätylevyssä, eli kulman pyöristykseen. Samaan sisäiseen kulman pyöristykseen kohdistuu 220 MPa paine. Keskituen levyn pituus on pienempi kuin päätylevyn tilapuutteen takia, jolloin paine on suurempi levyssä. Levy tulee kestävämpään tilanteeseen, kun levy tehdään myös S355JR-teräksestä.



Kuva 16. Keskituen poikkiputkeen kohdistuva voima

Keskituen poikkiputkeen kohdistuu vain ylhäältä päin 13 000 N voimaa. Suurin voiman aiheuttama paine tulee putken päihin mistä se on kiinnitetty. Paineita tulee 178 MPa. Putki kestää sen hyvin koska putki tullaan tekemään myös S355JR-teräksestä.

5 KOKOONPANO

Putkilavan osat tilattiin Laserkeskukselta ja Hakalan-metallilta. Kappaleista lähetettiin DXF- ja STEP-tiedostot sekä koneistuspiirustukset. Putkilava hitsattiin kasaan toimeksiantajan tiloissa.



Kuva 17. Koneistettu pitkäputki.



Kuva 18. Runko päätyputkilla.

Pitkään sivuputkeen piti toimeksiantajan tiloissa jyrsiä palkin päihin tasaiset pinnat, mitä laserkeskuksella ei pystytty tekemään. Samoin laserkeskuksella ei pystytty tekemään putkeen keskijalan paikoituskoloja, sillä ne eivät olleet läpireikiä. Keskijalat hitsattiin kiinni silmämääräisesti ja keskelle tulevista jalkaputkista jouduttiin hiomaan paikoittavat palat irti. Pitkiin putkiin tehtiin kierreet johteita varten itse.



Kuva 19. Pitkästä palkista puuttuu keskijalan paikoituskolot.



Kuva 20. Päätylevy



Kuva 21. Lähikuva poltetusta merkinnästä päätylevyssä.

Päätylevyn leikkaus oli onnistunut hyvin. Levyyn poltettiin korkeusmerkinnät lastattaville putkille. Poltetu merkintä näkyy hyvin ja on sopivan kokoinen. Pulttien reiät olisivat saaneet olla millin isommat, sillä ne olivat hieman ahtaat.



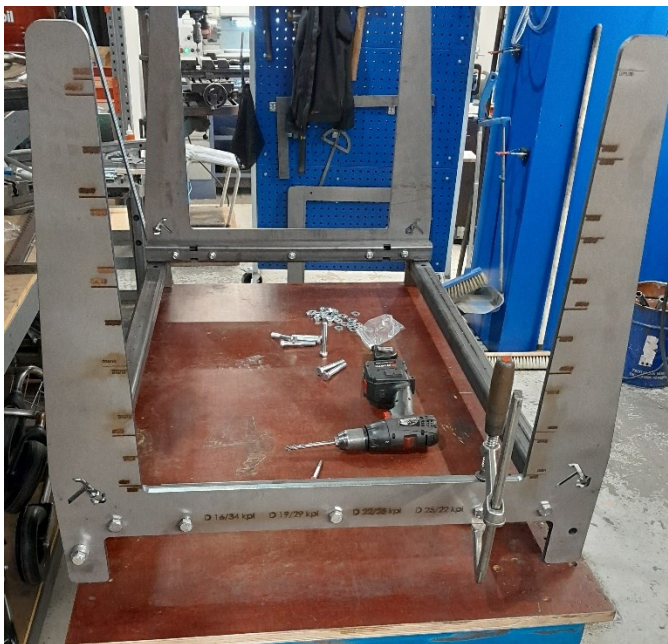
Kuva 22. Jalkojen kokoonpanon osat

Laserleikkauksen jäljiltä kappaleissa oli paljon roiskeita, joten niitä jouduttiin putsamaan viilalla ja hiomalaikalla. Jalkojen piirustuksissa olisi voinut ilmoittaa millä kyljellä toivottiin putken sauman olevan. Muutamissa jalkaputkissa sisäsauma oli paikoittavassa palassa, jolloin saumaa jouduttiin hiomaan pois tuottaen tarpeetonta lisätyötä.



Kuva 23. Rungon hitsaustuenta

Jotta runko saatiin hitsattua 90° kulmissa, apuna käytettiin ylimääräistä neljöputkea. Putki painettiin puristimilla yhteen, jolloin rungon putket paikoittuvat suoraan.



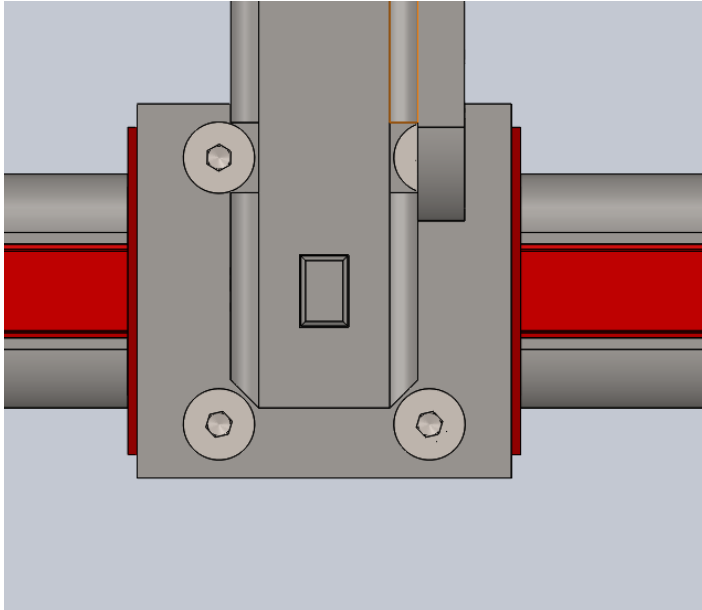
Kuva 24. Osittain valmis lava

Lava saatiin päivän aikana melkein valmiiksi. Hitsauksen jälkeen, kun asennettiin päätylevyt, alimmat pultit eivät menneet paikalleen. Reikiä jouduttiin muokkaamaan ovaalin malliseksi paikan päällä, jotta pultit sopivat paikoilleen. Kasaamisessa tuli isompi ongelma, kun johteet oli laitettu paikoilleen ja kelkkoihin laitettiin keskituen laput. Kun keskituen putki asetettiin paikoilleen, niin toinen lapuista ei enää kohdistunut kelkan kiinnitysreikiin.

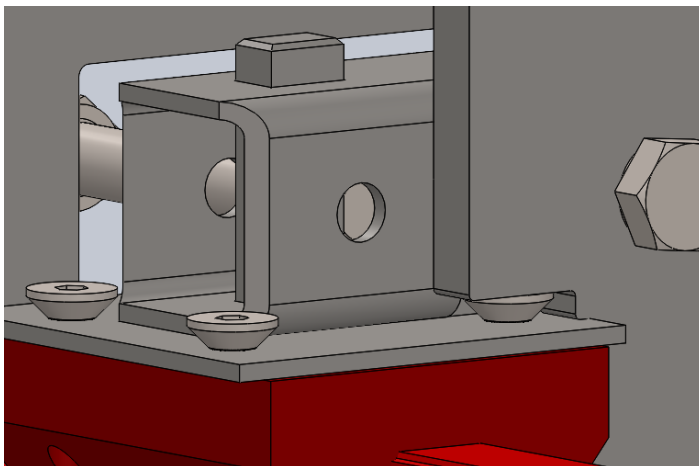


Kuva 26. Lava ylhäältä päin.

Hitsaus vaiheessa runko vääntyi siten, että keskitukien lappujen pultinreiät eivät enää osuneet kohdilleen siten kuin oli mallinnettu. Hitsausvirhe saatiin korjattua asentamalla ensin johteet ja kelkat paikoilleen ennen hitsaamista. Toinen pienempi ongelma koski keskituen paikoittavia lappuja. Kun keskituen putki koko muutettiin isommaksi kestävyys takia, keskituen putki tulee osittain kelkkaan pultattavien reikien päälle. Levyyn ei voida tehdä uppokantaruuveille upotusta, sillä valittu 5 mm levy on liian ohut. Levyyn olisi saanut tehtyä M8 uppokantaruuveille upotuksen, mikäli levy olisi tehty 10 mm levyistä.

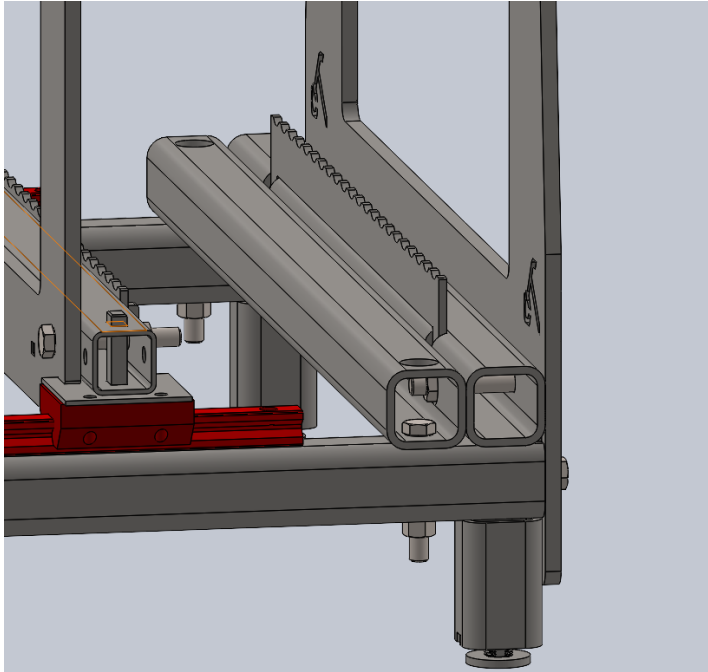


Kuva 27. Keskitukeen tehdyt muutokset



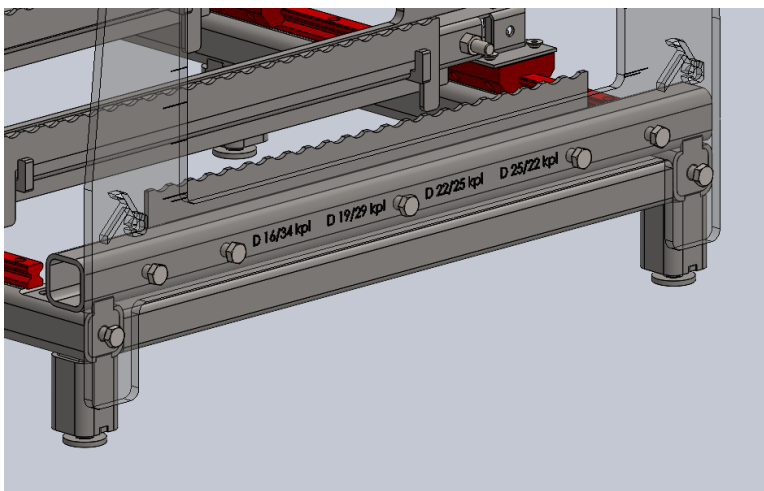
Kuva 28. Keskitukeen tehdyt muutokset

Lappuun kiinnitettävään putkeen ja keskilevyyn tehtiin uppokantaruuvien kannoille tilaa. Keskilevyyn tehtiin olake, joka makaa ruuvin kannan päällä ja lappun nurkan päällä.



Kuva 29. Pumppukärry tuen lähikuva

Todettiin että pumppukärryn tukiputki olisi parempi olla alempana, sillä muuten pumppukärryjä olisi saanut nostaa melkein ääriasentoonsa. Tuki siirrettiin jalkaputkien väliin ja vaihdettiin 40x40x3 kokoiseksi putkeksi.



Kuva 30. Uusi pumppukärry tukiputki alempana

Lavan kasaamisen jälkeen huomattiin lavan korkeuden olevan väärä. Taso mille taivutettavat putket tulevat, on noin 10 mm liian korkealla. Korjaus tehtiin lyhentämällä jalka putkia 10 mm. Jalkojen pohjassa on säätötassut sitä

varten, että lava saadaan tasattua. Sääötassujen säätö vara oli lopussa, kun lava saatiin kasattua.

6 YHTEENVETO

Lavan suunnittelu onnistui muutamista ongelmista huolimatta. Mikään ongelmista ei estänyt lavan kasaamista. Ongelmat, joita kasaamisessa tuli, saatiin ratkaistua ja korjattua kasauksen yhteydessä. Samalla korjaukset tehtiin myös piirustuksiin ja 3D-malliin. Ergonomiseen ratkaisuun ei ajan puutteen takia keksitty isoja ratkaisuja. Lastaamisen helpottamista pohdittiin siten, että kysyttäisiin taivutettavien putkien toimittajilta, voisivatko he lisätä putkien alle nostoliinat. Nostoliinojen avulla saataisiin trukin taikka hallinostimen kanssa nostettua putket uudelle lavalle.

Tampereen alihankintamessuilta 2023 löytyi ideoita ja mahdollisia ratkaisuja työhön. Ergonomiseen lastaamiseen löytyi muutamia hallinostimien valmistajia. Pronomic, Kito Erikkila sekä Ergolift tarjosivat sopivia ratkaisuja. Jokainen toimittaa hallinostimia, joista Pronomic on erikoistunut alipainenostimiin. Kito Erikkila ja Ergolift toimittavat magneettinostimia ja erilaisia hallinostin konfiguraatioita. Molemmilla toimittajilla on helppokäyttöinen nostin, missä nostimen kahvassa olevasta holkista nostinta on helppoa ja vaivatonta ohjata.

LÄHTEET

<https://greenlab.fi/>

<https://www.oem.fi/tuotteet/moottori/lineaarijohteet/thk-lineaarijohde-hsr- - 430100>

<https://www.sks.fi/tuotteet/lineaaritekniikka/lineaarijohteet-thk>

<https://www.rollco.fi/tuotteet/kuulajohde-hrc-arc-erc/lineaarijohde-hrc>

[https://help.solidworks.com/2021/english/SolidWorks/sld-](https://help.solidworks.com/2021/english/SolidWorks/sld-works/hidd_dve_pline.htm)

[works/hidd_dve_pline.htm](https://help.solidworks.com/2021/english/SolidWorks/sld-works/hidd_dve_pline.htm) (Haettu 9.11.2023)

Laurin Ernst, (09.02.2023) Section Modulus Calculation [Step-By-Step

Guide], (Haettu 12.12.2023) www.structuralbasics.com/section-modulus-calculations

Karhunen J, Lassila V, Pyy S, Ranta A, Räsänen S, Saikkonen M, Suosara E. (1992) Lujuusoppi. Otatieto.

Mäkelä M, Soininen L, Tuomola S, Öistämö J. (2002), Tekniikan kaavasto, Tammertekniikka.

<https://www.ergolift.fi/> (Haettu 3.1.2024)

<https://www.erikkila.com/fi/> (Haettu 3.1.2024)

<https://www.pronomic.com/fi/> (Haettu 3.1.2024)