

Toni Lehtola

**KUIVATUSUUNIN KIINNITYSMEKANIIKAN SUUNNITTELU  
PAINETUN ELEKTRONIIKAN R2R-LAITTEISTOON**

**KUIVATUSUUNIN KIINNITYSMEKANIIKAN SUUNNITTELU  
PAINETUN ELEKTRONIIKAN R2R-LAITTEISTOON**

Toni Lehtola  
Opinnäytetyö  
Syksy 2020  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma, koneautomaatio

---

Tekijä: Toni Lehtola

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Kuivatusuunin kiinnitysmekaniikan suunnittelu painetun elektroniikan r2r-laitteistoon.

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Design of drying oven fastening mechanics for roll-to-roll printed electronics equipment.

Työn ohjaaja: Vesa Moilanen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2020

Sivumäärä: 41 + 2 liitettä

---

Työssä suunniteltiin kiinnitysmekaniikka Oulun ammattikorkeakoulun PrinLab-painetun älykkyyden kehityslaboratoriossa sijaitsevaan SOM-100 R2R -painokoneen kuivatusuunille. Kuivatusuunin tehtävänä on kuivattaa painokoneen silkipainoyksikön painama kuva tai elektroniikka. Kiinnitysmekaniikan tulisi olla modulaarinen, eli laitteen tulisi olla siirrettävissä sekä kustannustehokas eikä se saa haitata koneen operointia.

Kuivatusuunin kiinnitysmekaniikan suunnittelussa käytettiin systemaattisen koneensuunnittelun metodia, minkä ansiosta suunnittelutyö oli järjestelmällistä. Suunnittelu aloitettiin tutustumalla SOM-100 R2R -painokoneeseen ja kuivatusuuniin PrinLabissa. Kuivatusuuni ei ollut kytkettynä painokoneeseen suunnittelun aikana, ja covid-19-pandemian takia suunnittelutyö tapahtui pääosin etänä CAD-mallin perusteella. Mallintamiseen ja rakenteen lujuuden simulointiin käytettiin SolidWorks-ohjelmistoa, jonka avulla rakenne suunniteltiin sopimaan jo olemassa olevaan SOM-100 R2R -painokoneeseen. Kiinnitysmekaniikka suunniteltiin kiinnitettäväksi jo olemassa olevaan pöytään pulteilla sekä särmättävillä kiinnikkeillä ja kaupallisilla säätöjaloilla.

Työn lopputuloksena kuivatusuunin kiinnitysmekaniikka saatiin suunniteltua systemaattisen koneensuunnittelun mukaisesti. Valmistus joudutaan jättämään opinnäytetyön ulkopuolelle aikataulusyistä.

---

Asiasanat: rullalta rullalle, roll-to-roll, painettu elektroniikka, tulostettava elektroniikka, kuivatusuuni, r2r, kiinnitysmekaniikka, systemaattinen koneensuunnittelu

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Mechanical Engineering, Machine Automation Engineering

---

Author: Toni Lehtola

Title of thesis: Design of Fastening Mechanics for Drying Oven of Roll-to-Roll Printed Electronics Equipment

Supervisor: Vesa Moilanen

Term and year when the thesis was submitted: Fall 2020

Pages: 41 + 2 appendices

---

In this thesis fastening mechanics were designed for the PrinLab printed intelligence development laboratory of Oulu University of Applied Sciences. The purpose of the drying oven is to dry the image or electronics printed by the screen printing unit of the printing machine. The fastening mechanism was designed to be modular.

The design of the fastening mechanics of the drying oven follows the method of systematic machine design, which made the design work systematic. The design begins with an introduction to the SOM-100 R2R printing press and drying oven at PrinLab. Using the SolidWorks software, it is possible to implement and build on the SOM-100 R2R printing press. The fastening mechanics were designed to be mounted on the existing table with a bolt, as well as with cracking brackets and commercial adjustment feet.

As an result of the work, the fastening mechanics of the drying oven were designed according to a systematic machine design. Manufacturing will have to be omitted from the thesis due to lack of time.

---

Keywords: roll-to-roll, printed electronics, printed intelligence, systematic machine design

## **ALKULAUSE**

Tämän insinööriyön tilaajana toimii Oulun Ammattikorkeakoulu Oy:n painetun älyn kehityslaboratorio PrinLab, joka sijaitsee Oulun yliopiston tiloissa Oulun Linnanmaalla. Työn tilaajana ja valvojana toimii tutkija Tomi Tuomaala ja ohjaajana lehtori Vesa Moilanen Oulun ammattikorkeakoulusta. Haluan kiittää Tomia ja Vesa ohjauksesta ja tuesta sekä erityisesti konetekniikan lehtoreita Esa Kontiota ja Helena Tolosta heidän avustaan valmistus- ja hitsauspiirustuksien kanssa. Lisäksi haluan kiittää Oulun ammattikorkeakoulun (Oamk) konelaboratorion projekti-insinööriä Jyri-Jussi Torvista hänen konsultointiavustaan sekä muita insinööriyössä avustaneita henkilöitä.

Oulussa 18.8.2020

Toni Lehtola

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	8
1.1 Tavoitteet	8
1.2 PrinLab	8
2 PAINETTAVA ELEKTRONIIKKA	9
2.1 Etuja	9
2.2 Historia	10
3 R2R-MENETELMÄ	11
4 PRINLABIN SOM-100 R2R -PAINOKONE	12
4.1 Syväpaino	13
4.2 Flexopaino	14
4.3 Silkkipaino	15
4.4 Kuumapuristus	16
4.5 Kuivatusuuni	16
5 SYSTEMAATTINEN KONEENSUUNNITTELU	17
6 KIINNITYSMEKANIIKAN SUUNNITTELU	18
6.1 Esisuunnittelu	19
6.1.1 Vaihtoehto 1	20
6.1.2 Vaihtoehto 2	21
6.1.3 Vaihtoehto 3	22
6.2 Yksityiskohtainen suunnittelu	23
6.3 Modulaarisuus	27
6.4 Kuivatusuunin kiinnitys	28
6.5 Kiinnitysmekaniikan kiinnitys	32
6.6 Materiaali	33
7 RAKENTEIDEN KESTÄVYYS	34
8 YHTEENVETO	37
LÄHTEET	38

## LIITTEET

Liite 1 Lähtötietomuistio

Liite 2 Hinta-arvio

# 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutustutaan painettavaan elektroniikkaan ja sen sovelluksiin. Sen lisäksi suunnitellaan ja toteutetaan kiinnitysmekaniikka PrinLabin SOM-100 R2R -painokoneen kuivatusuunille. SOM-100 R2R -painokone on aiemmin ollut sijoitettuna Oulun Ammattikorkeakoulun Kotkantien kampuksella, jossa kuivatusuuni on ollut kiinnitettynä kiinteästi betoniseinään. PrinLabin muuttaessa Linnanmaan kampukselle ilmeni, ettei uusissa tiloissa ole mahdollista kiinnittää kuivatusuunia samalla tavalla. Uusiin tiloihin suunnitellaan modulaarinen, siirrettävissä oleva kiinnitysmekaniikka, joka on riittävän tukeva kuivatusuunille niin, ettei kiinnitysmekaniikka vaikeuta laitteen operointia. Lisäksi kuivatusuunin läpi kulkevan radan kulkua on pystyttävä hienosäätämään tarvittaessa. Systemaattisen koneensuunnittelun mukaisesti esisuunnitteluvaiheessa suunniteltiin useita erityyppisiä kiinnitysmekaniikkoja, josta valittiin yksi jatkokehitykseen.

## 1.1 Tavoitteet

Työssä perehdytään painetun elektroniikan rullalta rullalle (R2R) valmistusprosessiin ja selvitetään erilaisia vaihtoehtoja kuivatusuunin kiinnitysmekaniikalle. Kiinnitysmekaniikan tärkeimmät vaatimukset ovat koneen operointi esteettömästi ja radan mahdollinen hienosäätö. Kiinnitysmekaniikka suunnitellaan modulaarisesti niin, ettei sen siirtäminen paikasta toiseen enää vaadi uuden kiinnitysmekaniikan suunnittelua.

## 1.2 PrinLab

Oulun Ammattikorkeakoulun painetun älyn kehittämislaboratorio PrinLab tarjoaa painetun älykkyyden suunnittelu-, valmistus- ja testauspalveluita tukemaan tutkimus- ja kehitystyötä. PrinLab henkilökuntineen osallistuu myös kotimaisiin ja kansainvälisiin monitieteisiin kehityshankkeisiin sekä koulutusasioihin. PrinLab on osa PrintoCent-ohjelmaa. PrinLabin pyrkimyksenä on mahdollistaa soveltavan tutkimuksen hankkeita sekä tiivistää korkeakoulujen ja tutkimuslaitosten yhteistyötä. Prinlab tutkii ja kehittää erilaisia painotekniikan koneita, musteita sekä muita laitteisiin liittyviä materiaaleja ja toimintoja. (1.)



## 2 PAINETTAVA ELEKTRONIIKKA

Painettava elektroniikka on elektroniikkaa, jota valmistetaan perinteisin painomenetelmin. Yleinen perinteinen menetelmä on esimerkiksi vaatteiden painamisesta tuttu silkkipaino. Uusilla tekniikoilla esimerkiksi t-paidalle voidaan painaa elektroniikkaa, jolla voidaan mitata kehon lämpötilaa. Painettavan elektroniikan painoalustoina käytetäänkin hyvin erilaisia materiaaleja: paperia, erilaisia muoveja, tekstiilejä ja keramiikkaa. (2.)

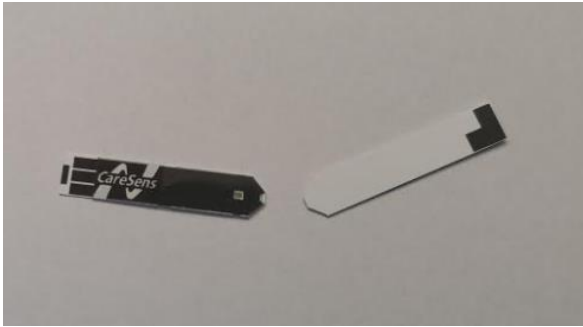
Painettavan elektroniikan painomenetelmät voidaan jakaa karkeasti kontaktillisiin ja kontaktittomiin painomenetelmiin. Kontaktillisissa menetelmissä painettava kuvio muodostetaan substraatille eli puolijohdekomponentin pohjamateriaalille painorullassa olevien kuviodien avulla, jolloin substraatti on kontaktissa musteen siirtävän rullan kanssa. Yleisimpiä menetelmiä kontaktittomista menetelmistä ovat mustesuihkupainotekniikat. (3, s. 7.)

### 2.1 Etuja

Painettavan elektroniikan etuna perinteiseen, piirilevyille juotettavaan elektroniikkaan on prosessin nopeuden mahdollistamat suuret valmistusmäärät ja edullisuus. Muita etuja ovat esimerkiksi piirilevyjen joustavuus, taipuisuus ja ohuus. (4, s. 9.)

Elektroniikan painaminen suoraan painoalustalle jo valmistusvaiheessa säästää tuotantolinjalla aikaa ja täten rahaa. Musteiden ja muiden painomateriaalien kehitys mahdollistaa elektroniikan ja erilaisien komponenttien painamisen pienempään tilaan tai joustaviin materiaaleihin. (2.)

Painettava elektroniikka on innovatiivinen teknologian ala. Monet teollisuuden alat hyödyntävät sitä luomalla uusia markkinoita. Painetulla elektroniikalla voidaan valmistaa esimerkiksi kertakäyttöisiä antureita verensokerin mittaamiseen (kuva 1), RFID-tunnisteita esimerkiksi kulkukortteihin, yksinkertaisia elektronisia piirejä, kodinteknologiaa, orgaanisia aurinkokennoja sekä painettuja OLED-näytöjä. (5.)



*KUVA 1. Verensokerin mittauksessa käytettävä painettu anturi*

## **2.2 Historia**

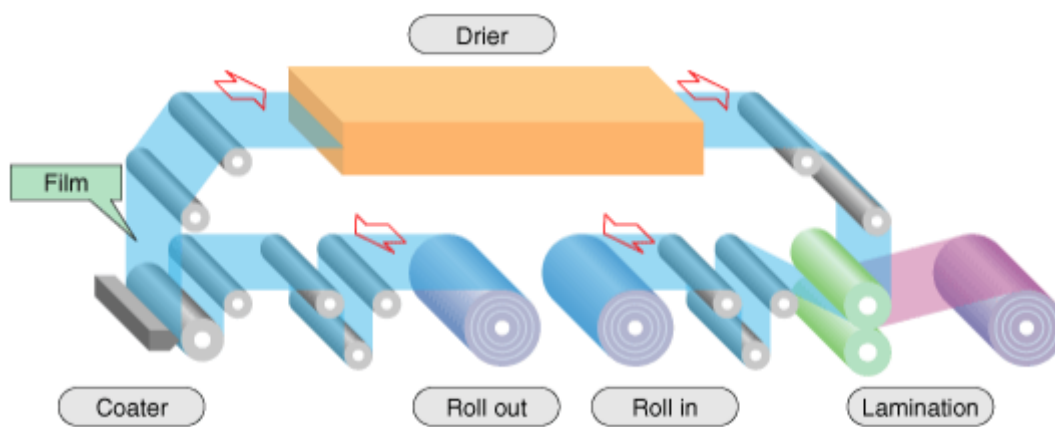
Saksalainen Albert Hanson esitteli konseptin painetusta elektroniikasta vuonna 1903 hakiessaan patenttia painetuille johtimilleen. Hanson esitteli patentissaan piirilevykuvion muodostamista kuparifolioon leimaamalla. Leimatut elementit liimattiin eristeeseen, tässä tapauksessa parafiinipaperiin. Teollisessa mittakaavassa painettavaa elektroniikkaa käytettiin ensimmäisen kerran vuonna 1936, jolloin radioissa käytettäviä piirilevyjä (kuva 2) painettiin Paul Eislerin suunnitteleman mallin mukaan Yhdysvalloissa. (5.)



*KUVA 2. Paul Eislerin suunnittelema radio (5)*

### 3 R2R-MENETELMÄ

R2R- eli rullalta rullalle -menetelmä tarkoittaa muovisen rainan ajamista painamisprosessissa rullalta toiselle rullalle (kuva 3). Tätä prosessia käytetään esimerkiksi lehtipainoissa, joissa pyritään tuottamaan nopeasti suuria tuote-eriä. Tällä menetelmällä kyetään usein saavuttamaan alhaiset yksikkökustannukset. Menetelmällä voidaan saavuttaa säästöjä myös siksi, että se toimii ilman kalliita puhdistiloja. (6, s. 10.)



*KUVA 3. R2R-linjaston toimintaperiaate; kaikissa R2R-järjestelmissä ei välttämättä ole Lamination- eli laminointiominaisuutta (7)*

## 4 PRINLABIN SOM-100 R2R -PAINOKONE

PrinLabin SOM-100 R2R -painokoneen (kuva 4) alkuun laitetaan rullalla oleva painomateriaali. Painomateriaali vedetään vetotelojen avulla painokoneen lopussa olevalle kelaimelle eri tuotteiden vaatimien painomenetelmien kautta. PrinLabissa käytössä olevalla laitteistolla voidaan painaa maksimissaan 80 mm leveää materiaalinauhaa ajonopeudella 0,1 - 26 m/min. Laitteessa käytetään tyyppillisesti rainamateriaalina erilaisia ohuita ja taivuteltavia muovimateriaaleja kuten PMMA, PET, PBT, TPU. Painoalustan paksuus voi vaihdella 25 µm:stä 1000 µm:iin tai jopa paksumpiin. (8.)



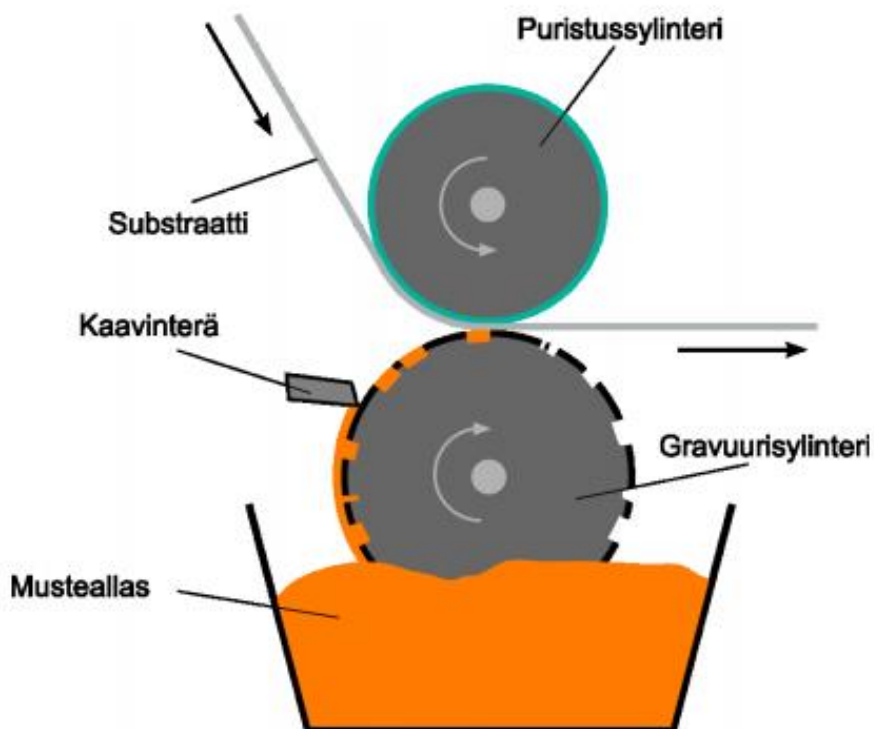
*KUVA 4. PrinLabin SOM-100 R2R -painokone*

PrinLabin SOM-100 R2R -painokoneessa on syväpaino-, flexopaino-, silkkipaino sekä kuumapuristusyksikkö. (8.)

## 4.1 Syväpaino

Jääskä (3, s. 10) diplomityössään on käyttänyt lähteenään Kiphanin 2001 teosta, jonka mukaan syväpainossa eli gravuuripainossa painettava kuva on muodostettu kaivertamalla, nykyään useimmiten mekaanisesti laserilla syövyttämällä, gravuurisylinterin pintaan. Painettavan kuvan ulkopuoliset alueet ovat sylinterissä kuvaan kuuluvia alueita korkeammalla. Sylinterin pintaan kaiverrettu kuva koostuu yleensä maksimissaan 50 µm syvyydestä kupeista. Gravuurisylinteri uppoaa kuvan 5 mukaisesti osittain mustealtaaseen, jolloin sylinterin pyöriessä kaiverrettuihin kuppeihin sekä sylinterin pintaan jää mustetta. Muste kaavitaan kaavinteillä pois sylinterin pinnalta ennen kontaktia substraatin kanssa. (3, s. 10.)

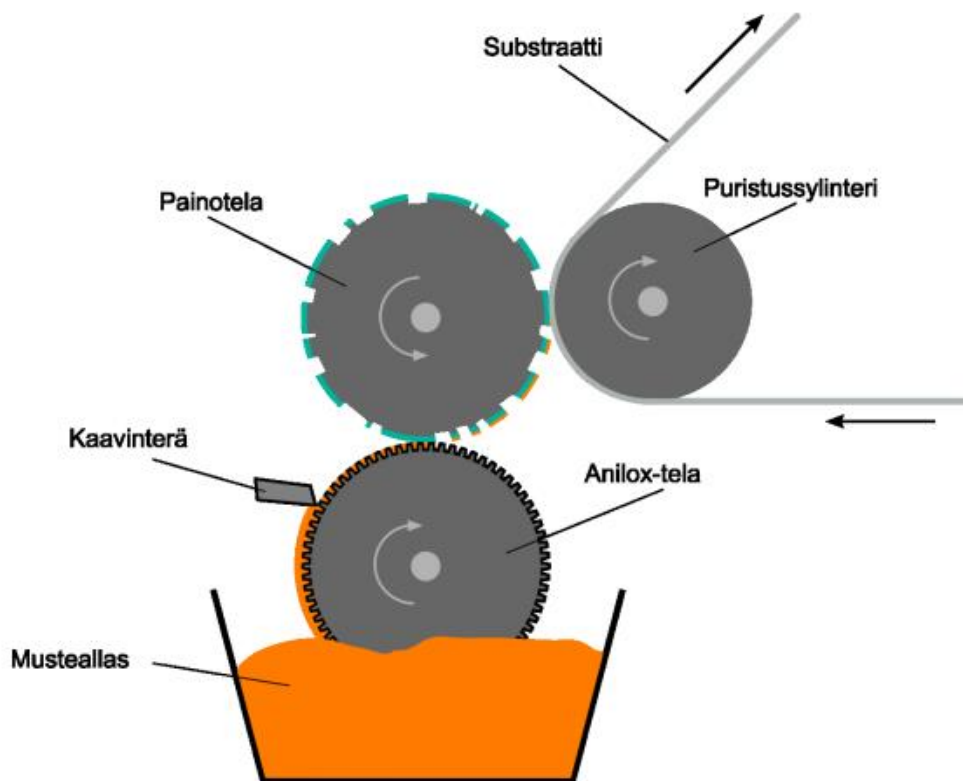
Syväpainossa yhdellä sylinterillä voidaan painaa kerrallaan yhteen kohtaan vain yhtä mustetta. Moniväristen tuotteiden painaminen tapahtuu niin, että painetaan toista mustetta aikaisemmin painetun musteen päälle. Syväpainotekniikan etuja ovat hyvä painotarkkuus, painolinjan nopeus ja helposti säädettävä musteen käyttö. (3, s. 10.)



KUVA 5. Syväpaino (3, s. 11)

## 4.2 Flexopaino

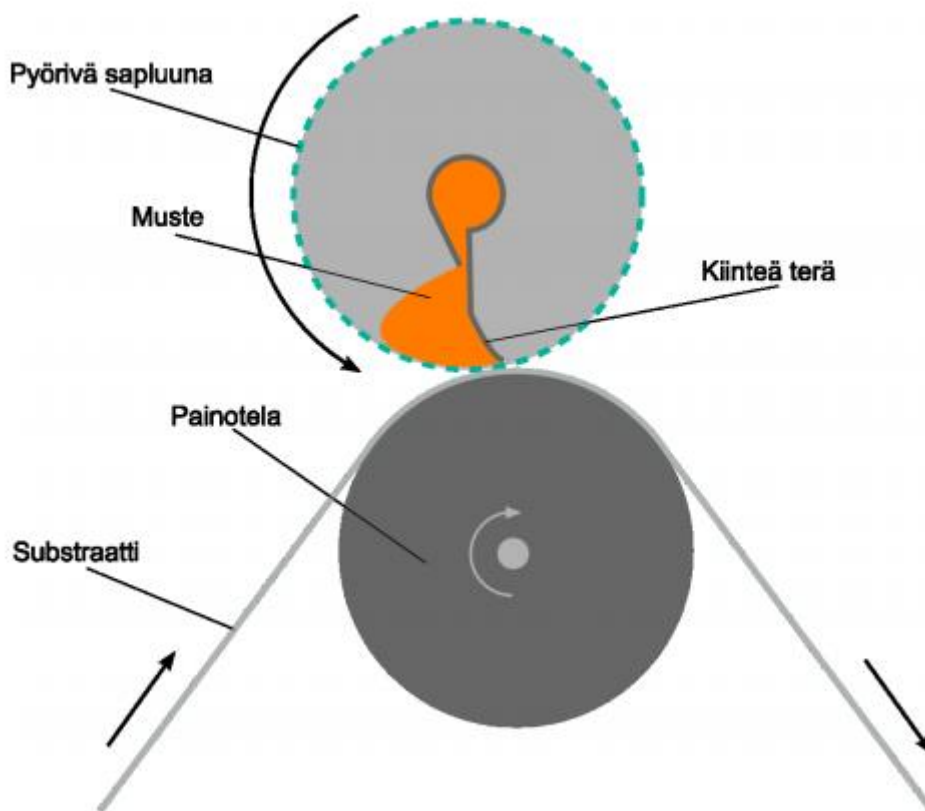
Jääskä (3, s. 11) diplomityössään on käyttänyt lähteenään Kiphanin 2001 teosta, jonka mukaan flexopainossa, toisin kuin syväpainossa, painojäljen tuottava pinta ei ole suorassa kontaktissa musteen kanssa. Mustealtaan ja painotelan välissä on anilox-tela (kuva 6), joka siirtää musteen mustealtaasta painotelalle. Kaavinterällä poistetaan anilox-telan pinnalta ylimääräinen muste ennen sen kontaktia painotelaan. Flexopainon painotela on tyypillisesti valmistettu pehmeästä materiaalista. Pehmeän materiaalin avulla pyritään musteen tasaiseen levittymiseen painotelan kuvapinnoilla musteen siirtyessä siihen anilox-telalta. Painotelan pehmeiden seurauksena flexopainon heikkoutena on usein syväpainoa huonompi painojälki. Toisaalta flexopainon painotelojen valmistaminen on edullisempää kuin syväpainotelojen. (3, s. 11.)



KUVA 6. Flexopaino (3, s. 12)

### 4.3 Silkkipaino

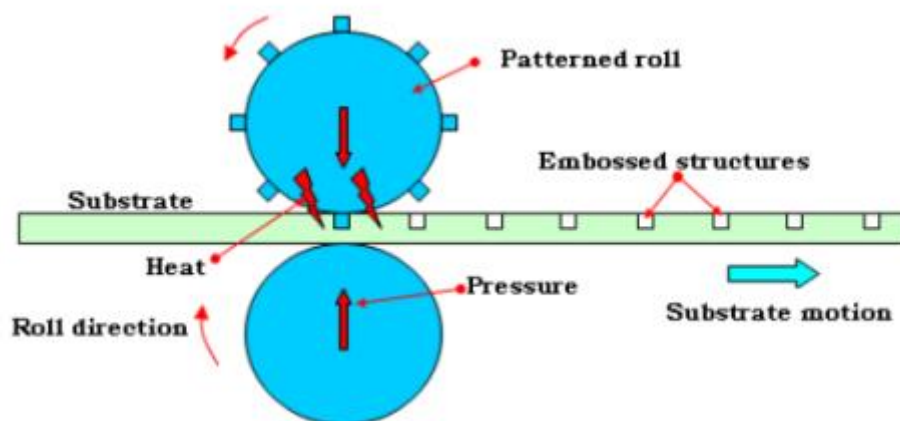
Jääskä (3, s. 12) diplomityössään on käyttänyt lähteenään Kiphanin 2001 teosta, jonka mukaan silkkipainomenetelmä perustuu musteen painamiseen kehykseen kiinnitetyn seulakankaan läpi terän avulla. Seulakangas toimii samalla sapluunana, joka muodostaa kuvan kuvassa 6 esitetyllä tavalla painetulle pinnalle. Silkkipainossa käytettiin alun perin seulakankaana silkkiä, mistä menetelmän nimi juontaa juurensa. Painossa laadun määrittää käytetyn seulakankaan hienojakoisuus. Nykyään seulakankaana käytetään yleisesti muovia. PrinLabissa käytettävässä rotaatiosilkkipainossa seulakangas on pyörivän painosylinterin ympärillä ja substraatti painetaan painotelalla painosylinteriä vasten. Silkkipainoa käytetään tekstiilien, elektroniikan, tarrojen ja jopa elintarvikkeiden painamiseen (5).



KUVA 7. Rotaatiosilkkipaino (3, s. 14)

#### 4.4 Kuumapuristus

Aiemmistä menetelmistä poiketen kuumapuristusmenetelmässä ei käytetä mustetta, vaan kuva painetaan substraatille lämmön avulla. Kuumapuristuksessa kahden sylinterin, joista toinen on lämmitettävä painotela ja toinen ei-lämmitetty sylinteri, välistä kulkee substraatti (kuva 9), johon kuva painetaan paineen ja lämmön yhteisvaikutuksella. (9, s. 725.) Kuumapuristusmenetelmällä voidaan valmistaa esimerkiksi hologrammiefektejä pakkauksiin (8).



KUVA 8. Kuumapuristusmenetelmä (9, s. 725)

#### 4.5 Kuivatusuuni

Kuivatuksessa painomuste kuivuu tai sintrautuu kosketuskuivaksi. Kuivatusprosessissa sidosaineiden haihduttua jäljelle jää kiintoaineet, jotka kiinnittyvät painoalustalle ja tekevät rakenteesta sähköä johtavan, muulla tavoin toiminnallisen tai älykkään. PrinLabin painokoneessa on kuivatusuunikapasiteettia yhteensä noin 5,6 metriä. (8.)



## 5 SYSTEMAATTINEN KONEENSUUNNITTELU

Projekti on ositettu viiteen pääaiheeseen. Jokaisen vaiheen jälkeen pidetään katselmointi, jossa käydään läpi tehty vaihe ja päätökset sekä keskustellaan seuraavasta aiheesta

1. projektin suunnittelu
2. esisuunnittelu
3. yksityiskohtainen suunnittelu
4. viimeistely
5. valmistuspiirustusten ja käyttöohjeiden laatiminen.

Ensimmäisessä vaiheessa tutustutaan kohteeseen ja laaditaan vaatimuslista. Toisessa vaiheessa luodaan toimintorakenne suunniteltavalle mekaniikalle. Kolmannessa vaiheessa osa- ja kokonaisrakenteille etsitään toteuttamisperiaatteita ja luodaan rakenteesta modulaarinen. Neljännessä vaiheessa viimeistellään kokonaisuus ja viidennessä vaiheessa dokumentoidaan projekti.

## 6 KIINNITYSMEKANIIKAN SUUNNITTELU

Työn tavoitteena oli suunnitella ja mahdollisesti, aikataulun salliessa, toteuttaa kiinnitysmekaniikka SOM-100 R2R painokoneen kuivatusuunille. Kiinnitysmekaniikan tulisi olla modulaarinen, valmistettavissa perinteisin konepajamenetelmin ja sen ei tulisi häiritä koneen operaattorin työskentelyä.

Suunnittelutyö aloitettiin tutustumalla PrinLabissa SOM-100 R2R -painokoneeseen ja kuivatusuuniin. Kuivatusuuni oli PrinLabin muutettua Oulun ammattikorkeakoulun Kotkantien kampukselta Linnanmaan kampukselle kytkemättä kiinnitysmekaniikan puuttuessa, joten yksityiskohtainen suunnittelu hoidettiin CAD-mallin perusteella.

Suunnittelutyön alussa mietittiin järkeviä tapoja toteuttaa kiinnitysmekaniikka. Heti aluksi suunnittelu päätettiin aloittaa ristikkorakenteilla, sillä ristikko mahdollistaa jäykän, tukevan ja samalla kevyen rakenteen. Mallia otettiin esimerkiksi nykyaikaisten moottoriteiden tienviittojen kiinnityksestä. Suunnittelutyön alkuun laadittiin vaatimuslista (taulukko 1) tilaajan kanssa.

TAULUKKO 1. Vaatimuslista

KV, VV, T	Vaatusmus	Pvm.	Huom.
	<b>1. Geometria</b>		
kv	Rataa täytyy voida säätää	20.5.2020	
	<b>2. Voimat</b>		
	<b>3. Energia</b>		
	Verkkovirta	20.5.2020	
	Kuivatusuuni lämpenee max n. 200 asteiseksi	20.5.2020	
	<b>4. Aine/Materiaalit</b>		
kv	Materiaali lämmön ja jännityksen kestävä.	20.5.2020	
	<b>5. Turvallisuus</b>		
kv	Konedirektiivin mukainen	20.5.2020	

KV = Kiinteä vaatimus  
VV = Vähimmäisvaatimus  
T = Toivomus

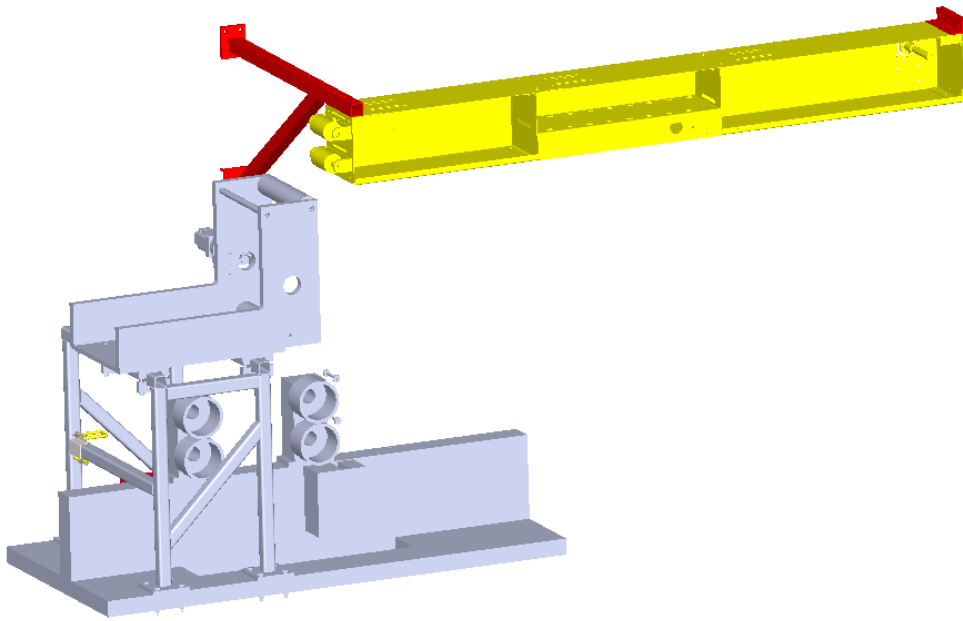
(jatkuu)

TAULUKKO 5. (Jatkuu)

	<b>6.Ergonomia</b>		
kv	Ei saa "blokata" operaattoria	20.5.2020	
	<b>7. Valmistus</b>		
kv	Valmistus perinteisin konepajamenetelmin	20.5.2020	
	<b>8. Asennus</b>		
	Asennus olemassa olevaan soluun	20.5.2020	
	<b>9. Käyttö</b>		
	Ei saa "blokata" operaattoria	20.5.2020	
	<b>10.Kunnossapito</b>		
kv	Radan säätö mahdollisesti.	20.5.2020	
	<b>11. Kustannukset</b>		
	<b>12. Määräajat</b>		
t	Viimeistään syksyllä 2020 valmis	20.5.2020	

## 6.1 Esisuunnittelu

Kiinnitysmekaniikan suunnittelu aloitettiin tutkimalla PrinLabin tarjoamaa, jo aiemmin mallinnettua, kuvassa 10 esitettyä CAD-mallia. Harmaalla on esitetty SOM-100 R2R -painokone, keltaisella uuni johon kiinnitysmekaniikka suunnitellaan ja punaisella vanhat, uunin betoniseinään kiinnittävät kiinnikkeet.

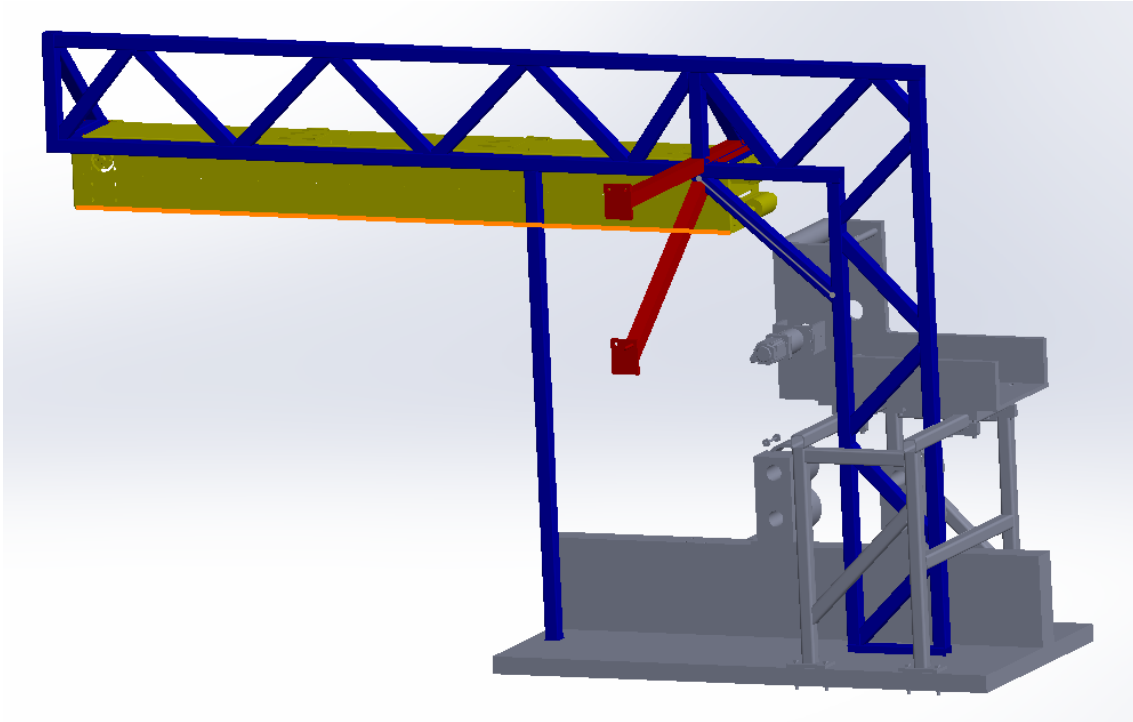


*KUVA 9. CAD-malli*

Esisuunnitteluvaiheessa luotiin kolme karkeaa mallia, joiden perusteella lähdettiin suunnittelemaan yksityiskohtaisempaa mallia. Suunniteltu kiinnitysmekaniikka esitetty alla olevissa kuvissa 11–13 sinisellä.

### **6.1.1 Vaihtoehto 1**

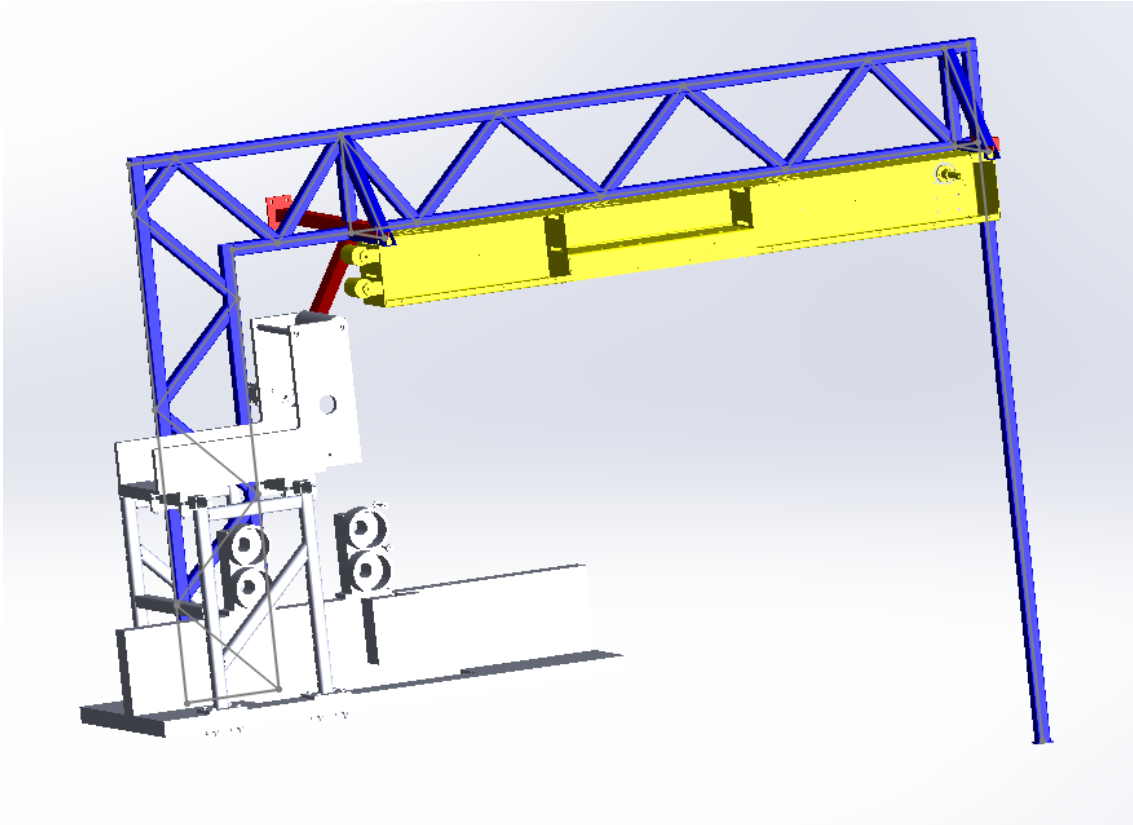
Vaihtoehdossa 1 (kuva 11) uuni kiinnitetään ristikkorakenteeseen, joka on kiinnitetty kiinteästi jo olemassa olevaan tukirakenteeseen. Ensimmäisen vaihtoehdon etuna oli keskellä sijaitseva tukipalkki, jonka saisi kiinnitettyä ruuviliitoksella jo olemassa olevaan pöytään. Tämän haittana oli kuitenkin radan säädön niukkuus ja mahdollisesti liian massiivinen rakenne korkeussuuntaan.



*KUVA 10. Vaihtoehto 1*

### **6.1.2 Vaihtoehto 2**

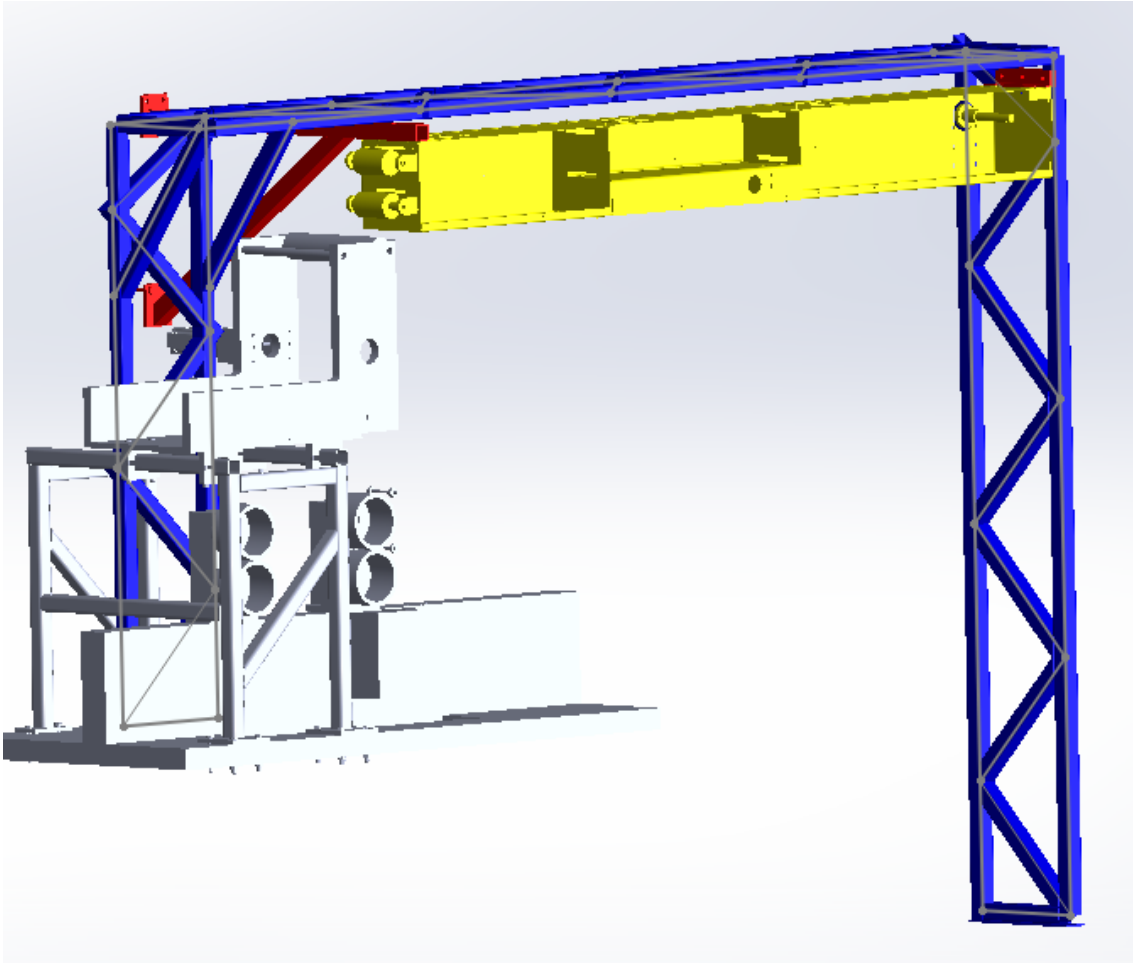
Vaihtoehdossa 2 (kuva 12) uuni kiinnitetään ristikkorakenteeseen, joka on kiinnitetty kiinteästi jo olemassa olevaan tukirakenteeseen sekä tuettu toisesta päästä pitkällä rakenneputkella lattiaan. Tämänkin haittana oli kuitenkin liian massiivinen rakenne korkeussuuntaan, eikä kiinteistössä ole mahdollisuutta kiinnittää rakennetta lattiaan ruuviliitoksella, vaan tuenta nojaa vaan lattiaan omalla painollaan, jolloin yksittäinen rakenneputki oikeassa päässä taipui liikaa.



*KUVA 11. Vaihtoehto 2*

### **6.1.3 Vaihtoehto 3**

Vaihtoehdossa 3 (kuva 13) uuni kiinnitetään vaakasuuntaiseen ristikkorakenteeseen, joka on kiinnitetty kiinteästi jo olemassa olevaan tukirakenteeseen. Oikea pääty on myös ristikkorakenteinen, jolloin uunin massan aiheuttama siirtymä on vähäistä eikä ristikkorakenne taivu kuten yksittäinen rakenneputki.

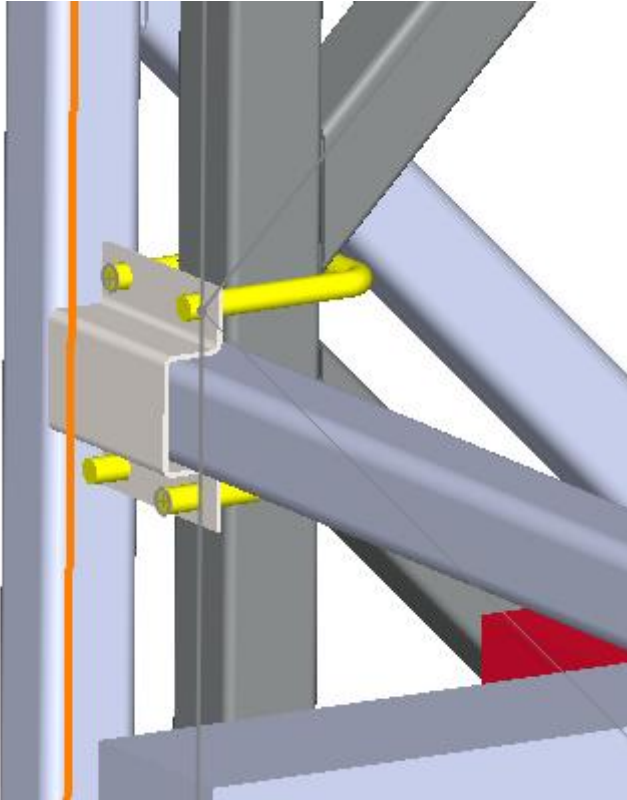


*KUVA 12. Vaihtoehto 3*

Esisuunnittelun katselmoinnissa valittiin vaihtoehto 3 jatkokehitykseen. Vaihtoehto 3 oli heti järkevimmän oloinen, sillä se vie vähiten tilaa korkeussuunnassa ja ristikkorakenne molemmissa päissä on tukeva. Tilaa korkeussuuntaan on rajoitetusti huonekorkeuden takia.

## **6.2 Yksityiskohtainen suunnittelu**

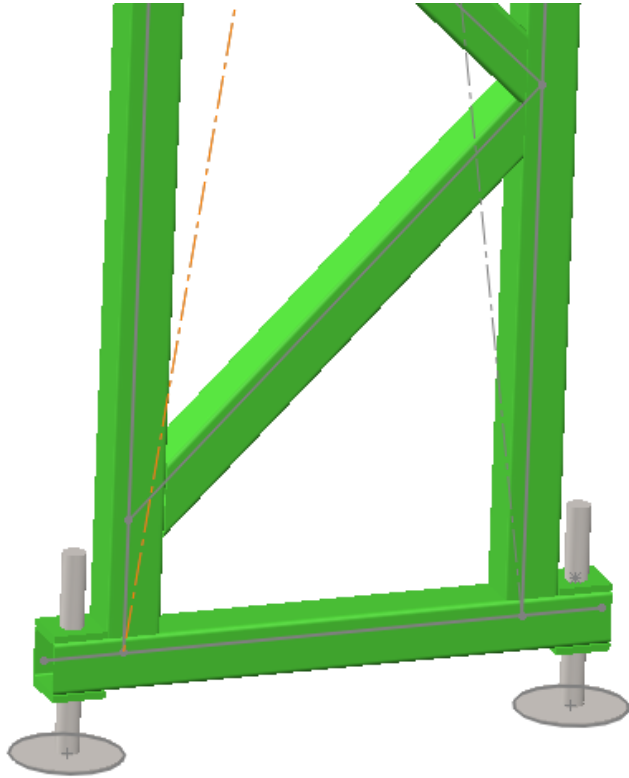
Yksityiskohtaisessa suunnittelussa rakenteesta suunniteltiin mahdollisimman jäykkä ja kevyt, mahdollistaen samalla radan säädön. Matalampi pääty saadaan kiinnitettyä ruuviliitoksella kuvassa 10 näkyvään pöytään, mutta sen lisäksi suunniteltiin kiinnitys kaupallisilla u-pulteilla ja särmättävillä vastakappaleilla paremmin estämään rakenteen liikkuminen horisontaalisesti. Tämä kiinnitystapa esitely kuvassa 14.



*KUVA 13. U-pultit ja särmättävä vastakappale*

Oikeanpuoleista päätä ei voida kiinteistön omistajan vaatimuksesta kiinnittää ruuviliitoksella lattiaan, joten pääty lepää paikallaan säätöjaloilla tai mahdollisuuksien mukaan kivipöytään ruuvattuna. Rakenne on suunniteltu kuvissa 15 ja 16 esitetyille kaupallisille säätöjaloille, mutta riippuen kustannuksista kivipöytä olisi parempi ratkaisu sen rakennetta vakauttavan massan takia. Rakenne on kuitenkin vakaa myös kuvissa aiemmin mainituilla säätöjaloilla.





*KUVA 14. Säätöjalat harmaalla*

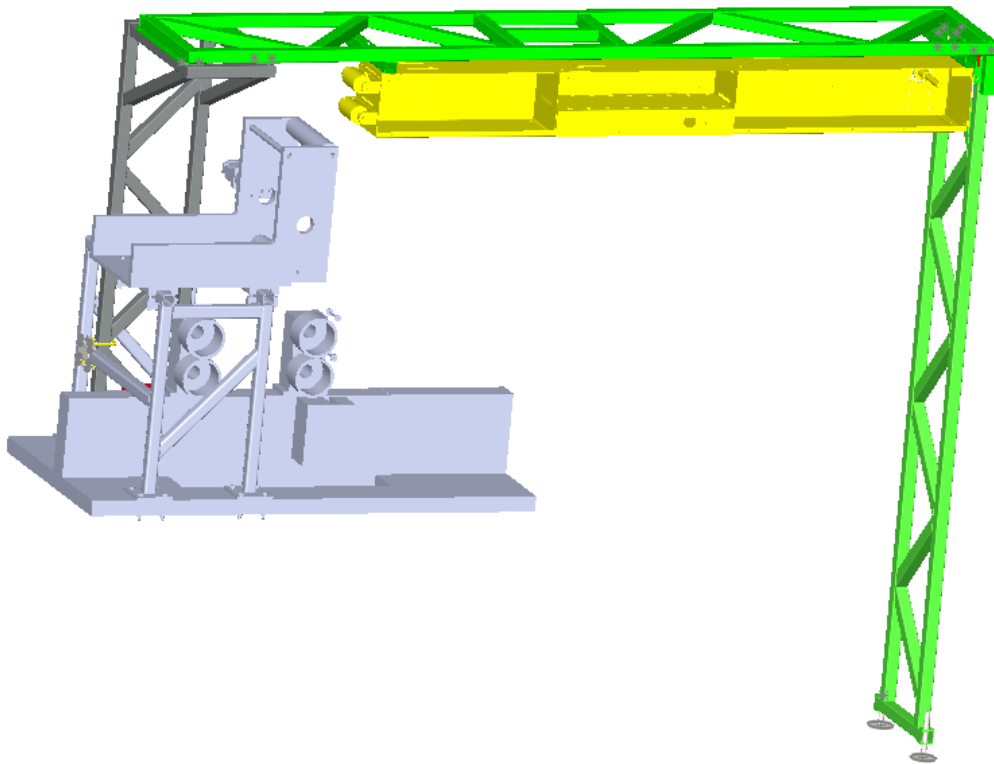


*KUVA 15. Säätöjalka luistamisen estolla (10)*

Ensimmäisissä versioissa koko rakenne oli suunniteltu yhtenäiseksi. Yhden yhtenäisen rakenteen ongelmana olisi kuitenkin ollut asentamisen hankaluus tai

mahdottomuus. Rakenne suunniteltiin uudelleen alusta lähtien modulaariseksi helpottamaan asennusta PrinLabiin.

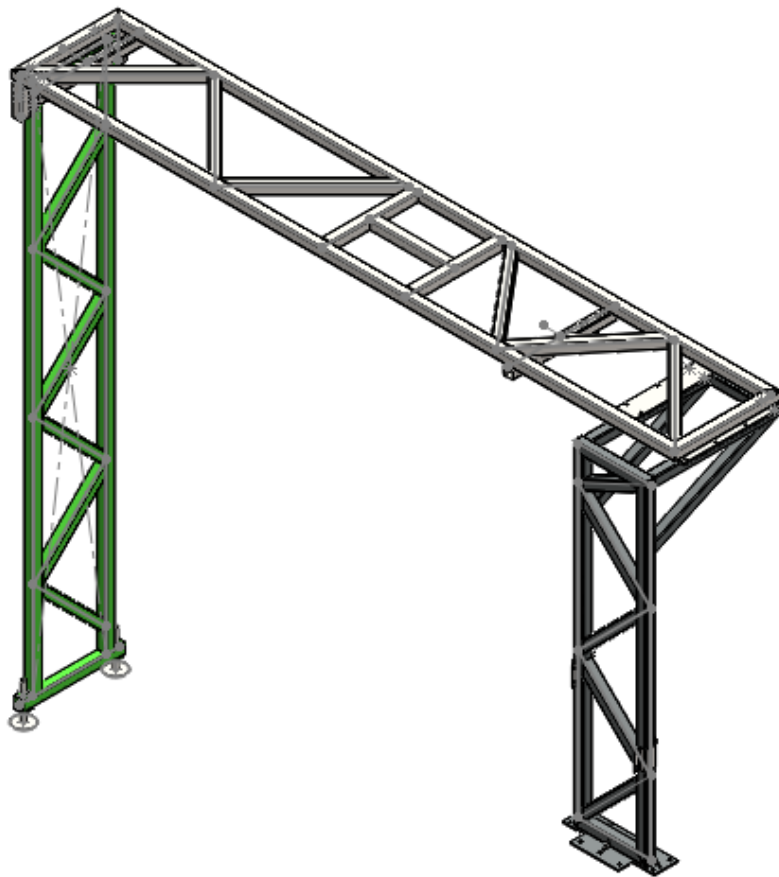
Rakenne suunniteltiin covid-19 -pandemian takia käytännössä kokonaan etätyönä, joten fyysisen mallin sijaan suunnittelu tapahtui CAD-mallin perusteella. Huolimatta etätyön tuottamista haasteista, kiinnitysmekaniikan suunnittelu sujui onnistuneesti. Kuvassa 17 esitettynä valmis suunniteltu kokonaisuus SOM-100 R2R -painokoneen ja kuivatusuunin kanssa mallinnettuna.



*KUVA 16. SOM-100 R2R -painokone ja kiinnitysmekaniikka mallinnettuna kokonaisuudessaan*

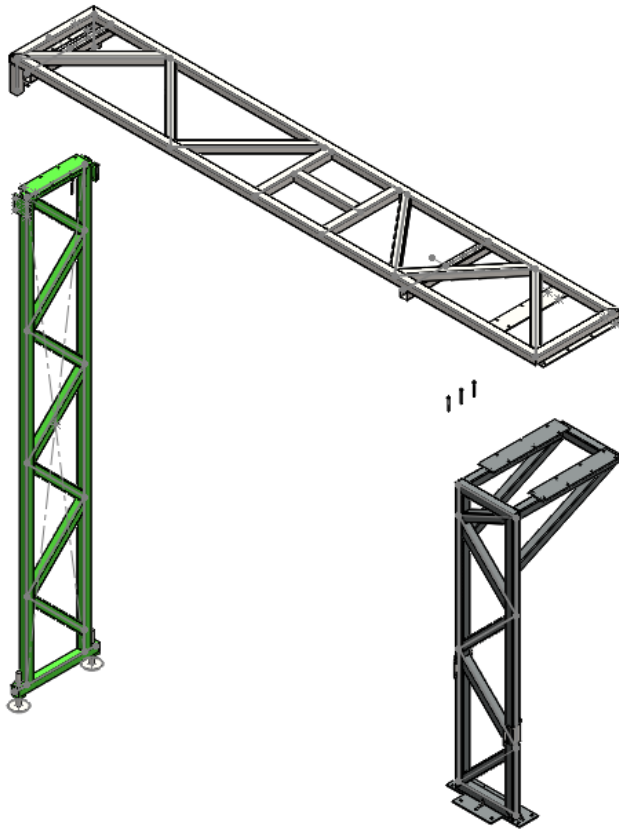
### 6.3 Modulaarisuus

Yksityiskohtaisen suunnittelun aikana rakenne suunniteltiin modulaariseksi niin, että se koostuu kolmesta ristikkorakenteesta. Modulaarisuus mahdollistaa kasaimisen paikan päällä PrinLabissa ilman suurempaa painokoneen purkamista. Modulaarisuus helpottaa myös rakenteen valmistamista sekä asentamista. Kuvissa 18 ja 19 esitetään rakenteen modulaarisuus esittämällä rakenne kuvassa 18 koottuna ja kuvassa 19 räjäytettynä.



*KUVA 17. Modulaarinen rakenne koottuna*

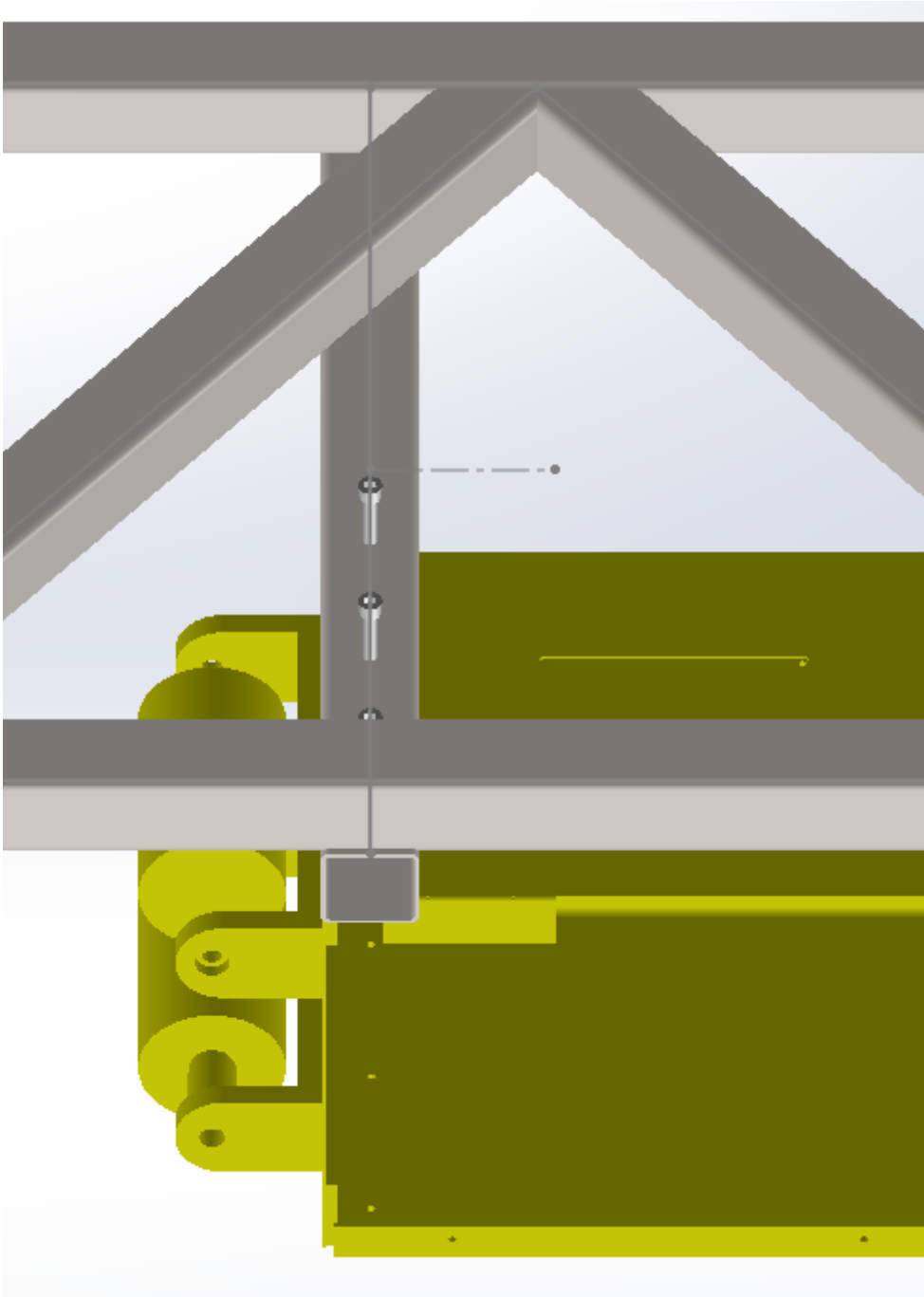
Kuvassa 19 näkyy eri osien kiinnittämiseen tarkoitetut rei'itetyt teräslevyt. Nämä levyt mahdollistavat modulaaristen ristikkorakenteiden kiinnittämisen ruuviliitoksella toisiinsa.



*KUVA 18. Modulaarinen rakenne räjäytettynä*

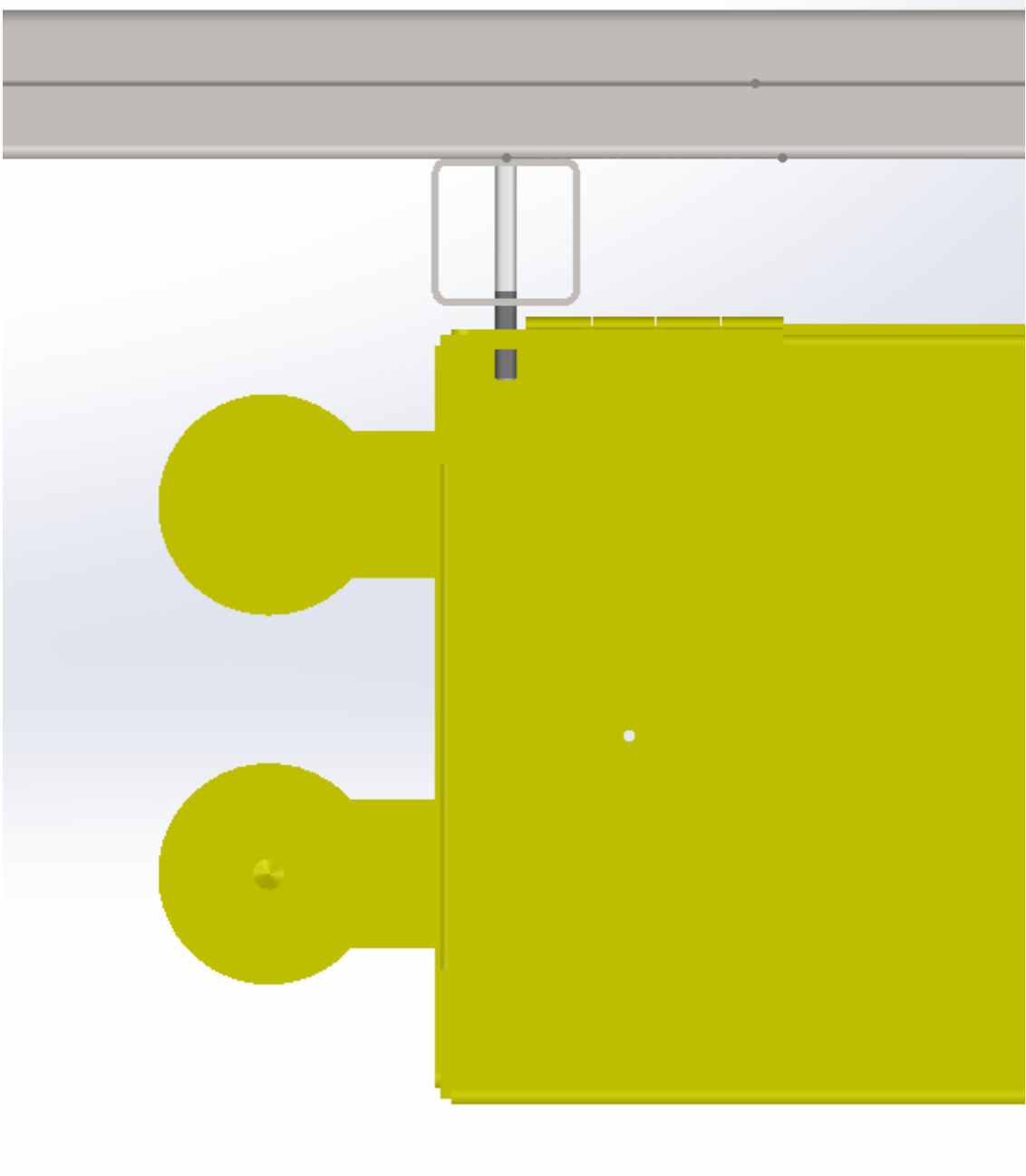
#### **6.4 Kuivatusuunin kiinnitys**

Kuivatusuuni kiinnitetään kuvissa 18 ja 19 esitettyyn vaakasuuntaiseen ristikkorakenteeseen. Uunin kiinnitys tapahtuu kolmella kuuden millimetrin paksuisella ruuviliitoksella kuvissa 20–23 esitetyllä tavalla rakenneputkiin koneistetun uran läpi. Uran ansiosta uunin asemaa sekä uunin sisällä kulkevaa rataa voidaan tarvittaessa säätää manuaalisesti. Kuvassa 20 uunin kiinnitys toiseen kiinnityspotkeen esitettynä etuyläviistosta kuvakulmasta.



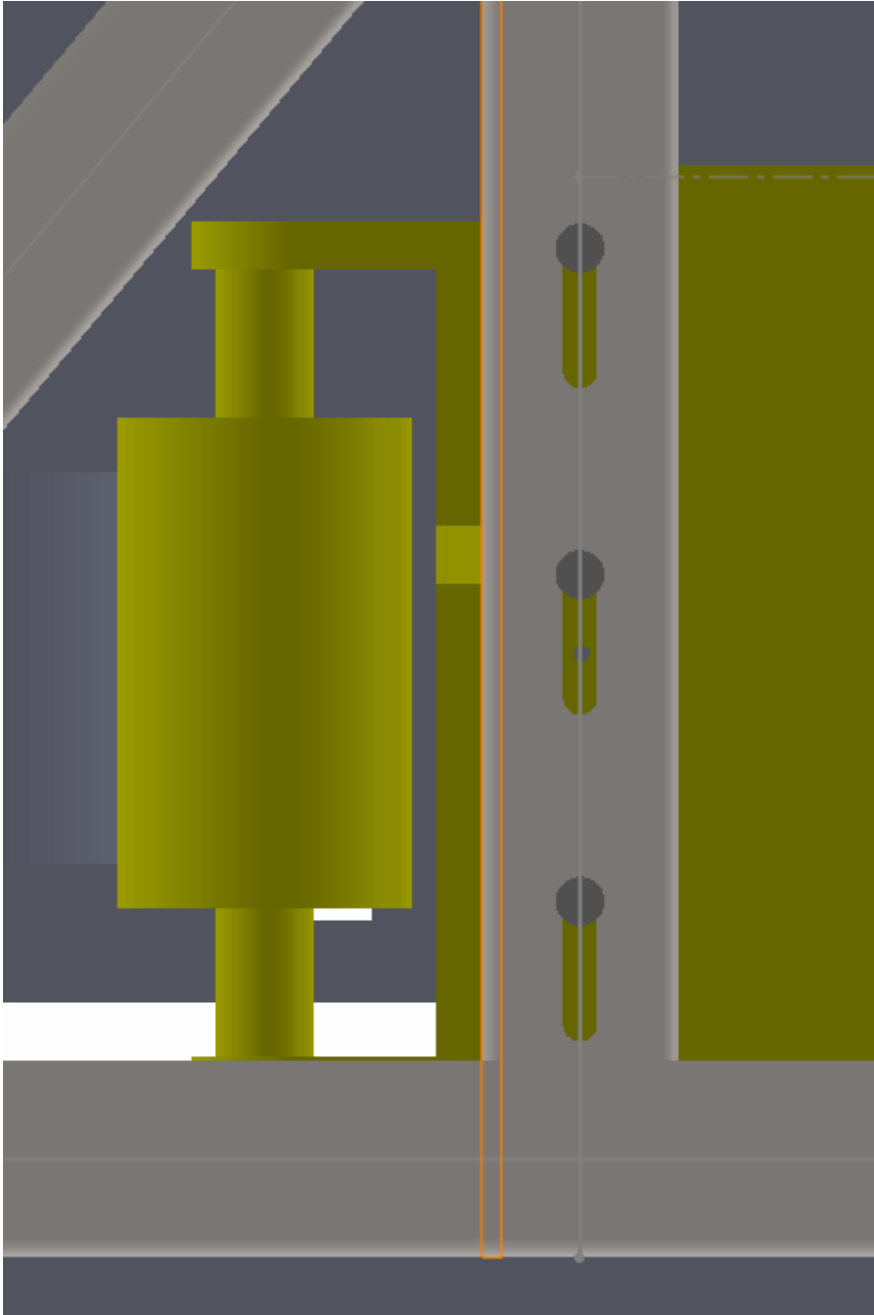
*KUVA 19. Uunin kiinnitys ruviliitoksella*

Kuvassa 21 havainnollistetaan visuaalisesti uunin kiinnitystä ruviliitoksella uunia kannattelevaan rakenneputkeen sivusuunnasta.



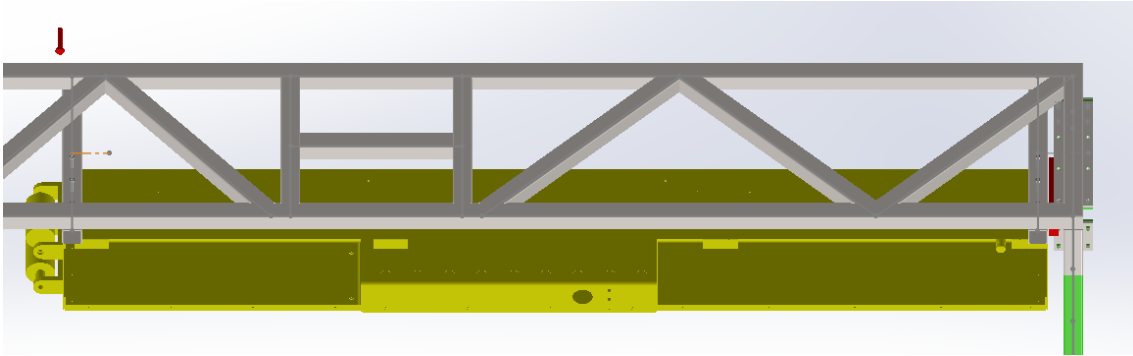
*KUVA 20. Uunin kiinnitys ruuviliitoksella*

Kuvassa 22 esitetään uunin kiinnitys ruuviliitoksella rakenneputkiin koneistetun uran läpi. Uran ansiosta uunin asemaa sekä uunin sisällä kulkevaa rataa voidaan tarvittaessa säätää manuaalisesti sivusuunnassa.



*KUVA 21. Uunin kiinnitys ruuviliitoksella*

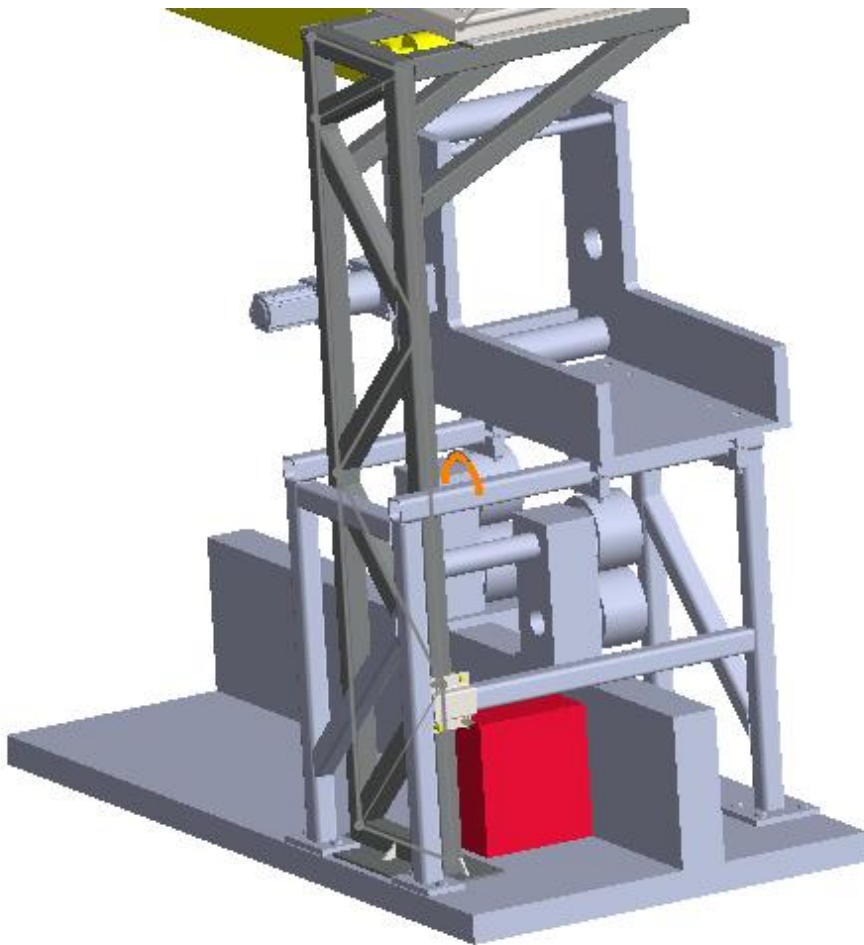
Kuvassa 23 nähdään kokonaiskuva uunin kiinnittämisestä suunniteltuun ristikkorakenteeseen.



*KUVA 22. Uunin kiinnitys ruuviliitoksella*

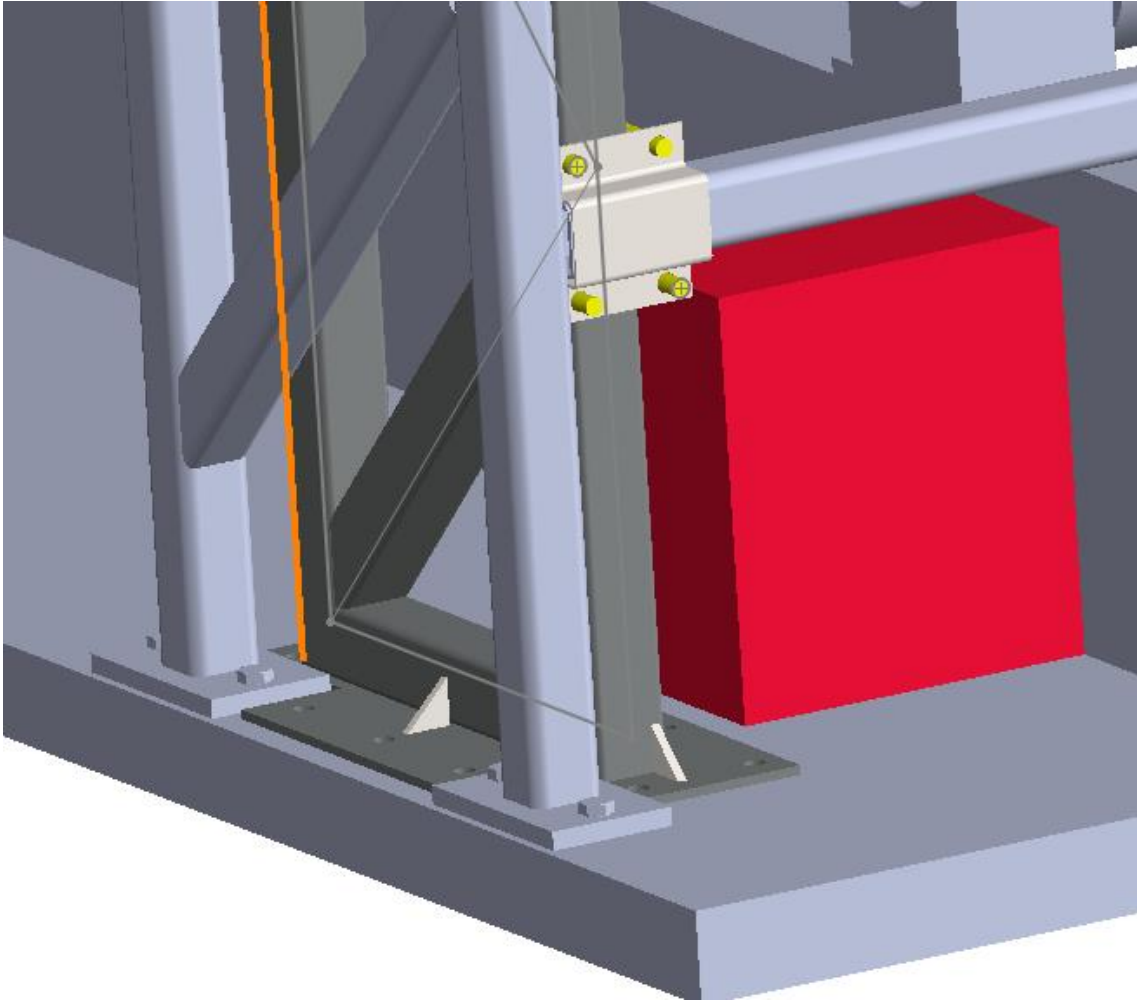
### **6.5 Kiinnitysmekaniikan kiinnitys**

Suunniteltu kiinnitysmekaniikka kiinnitetään SOM-100 R2R -painokoneen kokonaisuuteen jo olemassa olevaan pöytään sekä ristikkorakenteeseen kiinni ruuviliitoksilla. Kiinnitys esitetty kuvissa 24–25.



*KUVA 23. Kiinnitysmekaniikan kiinnitys*





*KUVA 24. Kiinnitysmekaniikan kiinnitys*

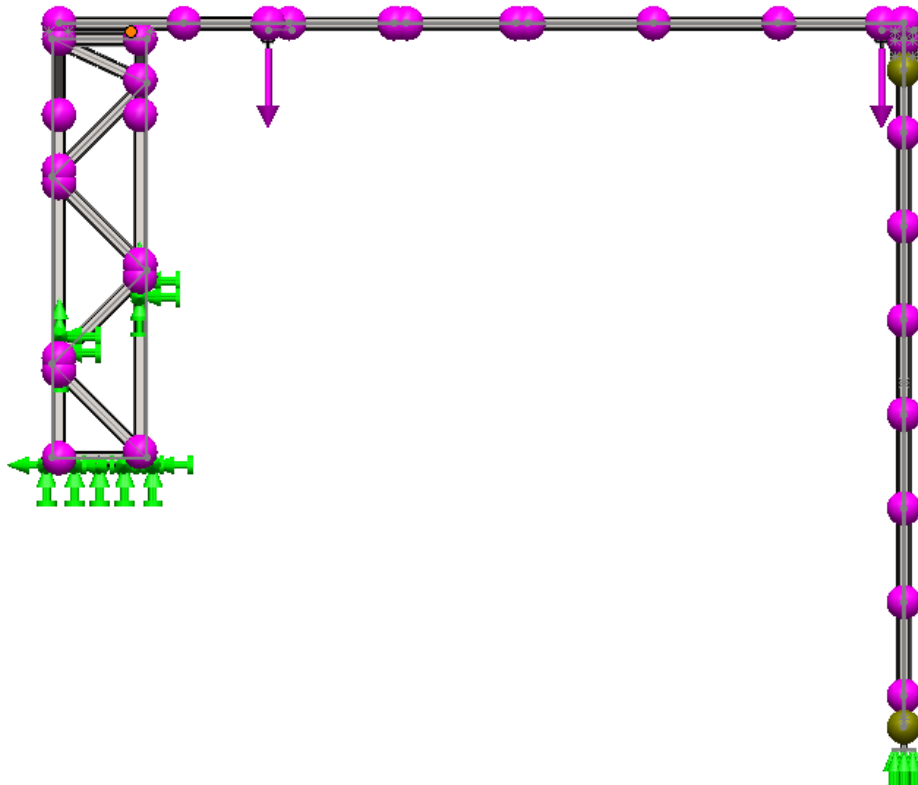
## **6.6 Materiaali**

Ristikkorakenteen materiaaliksi valittiin 40x40x2 teräksinen rakenneputki lujuusluokaltaan s235. Materiaalin valintaperuste oli kyseisen rakenneputken edullinen hinta sekä riittävät lujuusominaisuudet. Koko ristikkorakenne valmistetaan samasta rakenneputkesta, mikä helpottaa valmistusta.

Modulaaristen ristikkorakenteiden toisiinsa liittämiseen suunnitellut teräslevyt ovat 5 mm paksua teräslevyä lujuusluokaltaan s235. Särmätyt tukilevyt U-pulteille on 3 mm paksua teräslevyä lujuusluokaltaan s235. Lisäksi kokoamiseen käytetään kaupallisia standardikomponentteja, esimerkiksi m6-ruuveja sekä muttereita ja näiden aluslevyjä.

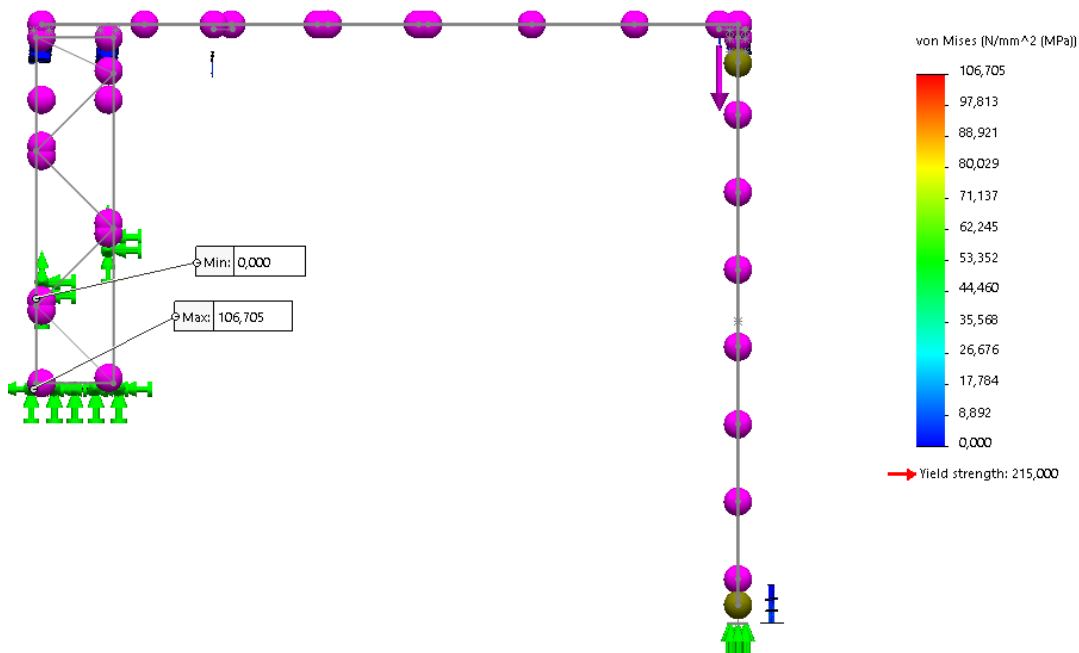
## 7 RAKENTEIDEN KESTÄVYYS

Rakenteiden kestävyys laskettiin luomalla simulaatio suunnitellusta mekaniikasta SolidWorks Simulationilla. Kuivatusuunin massa 50 kg kohdistettiin tasaisesti sitä kannatteleviin ruuveihin käyttäen varmuuskerrointa 2. Rakenne on tuettu jäykästi kuvan 26 vasemmassa osassa näkyvien vihreiden nuolten kohdalta, ja oikeassa päässä oleva vihreä nuoli kuvaa sen vapaata tuentaa lattiaa vasten. Yläputkesta alaspäin lähtevät pinkit nuolet kuvaavat uunin kiinnityksen paikkaa.



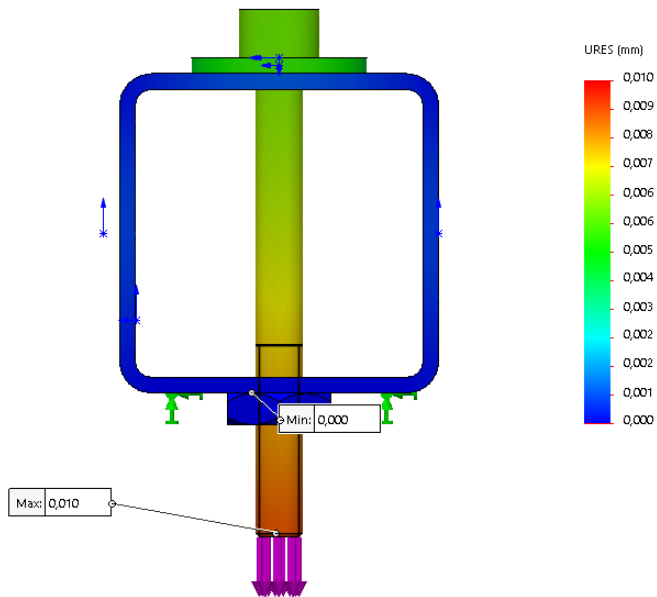
*KUVA 25. SolidWorks Simulation -malli*

Kuvasta 27 ilmenee kuivatusuunin tuottavan varmuuskertoimella 2 noin 106 MPa:n jännityksen pöytään ruuvattuun teräslevyyn. Koska kaikki osat ovat s235 teräslajia, jonka myötölujuus on 235 MPa, voidaan tulla johtopäätökseen siitä, että rakenne kestää kuivatusuunin tuottaman jännityksen.



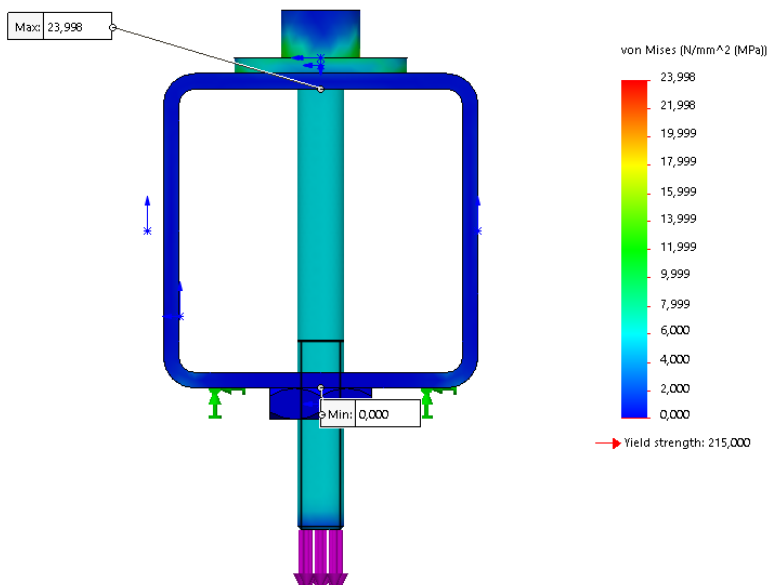
*KUVA 26. Rakenteen kestävyystarkastelu*

Uunin kannatinputkien ruvinreikien kestävyys saatiin myös SolidWorksillä simuloimalla. Uurin kestävyystarkasteluissa konsultoitii Oamkin yliopettaja Kai Jokista, joka neuvoi SolidWorks Simulationilla suoritettavan reikien kestävyystarkastelun simuloimisen. Kuvissa 28 ja 29 esitetty uunin kannatinputkien muodonmuutostarkastelu sekä ruvinreikien kestävyystarkastelu. Kuvasta 28 ilmenee uunin kiinnityksen aiheuttavan varmuuskertoimella 2 vain 0,010 mm muodonmuutoksen kiinnityselimenä toimivaan rakenneputkeen, mistä voidaan päätellä rakenneputken kestävän uunin kiinnityksen.



KUVA 27. Uunin kannatinpalkin muodonmuutostarkastelu

Kuvasta 29 ilmenee tämän kiinnityksen tuottavan vain hieman alle 24 MPa:n jännityksen rakenneputkeen, jonka myötölujuus on 235 MPa. Tästä voidaan päätellä rakenneputken kestävän.



KUVA 28. Uunin kannatinputkien ruuvireikien kestävyystarkastelu

## 8 YHTEENVETO

Työn perehdyttiin erilaisiin kuivatusuunin kiinnitystapoihin ja selvitettiin näiden mekaniikkojen soveltuvuutta käytännössä kohteeseen. Lisäksi suunniteltiin ja mallinnettiin modulaarinen kiinnitysmekaniikka, simuloitiin rakenteen kestävyys sekä laadittiin kustannusarvio. Aiemmin kuivatusuuni oli ollut kiinnitettynä Oamkin Kotkantien kampuksella kiinteästi betoniseinään. Oamkin keskitettyä kampuksensa Linnanmaalle ilmeni tarve uudelle kiinnitysmekaniikalle, sillä Linnanmaalla ei ole mahdollista kiinnittää kuivatusuunia seinään.

Ennen suunnittelutyön aloittamista tutustuttiin painettavaan elektroniikkaan. Painettava elektroniikka oli minulle käytännössä uusi asia, vaikka olinkin asiasta aiemmin joitakin artikkeleita lukenut. Painettavan elektroniikan historian pituus ylitti minut, sillä olin kuvitellut sen olevan 2000-luvun teknologiaa.

Työn suunnittelu oli mielenkiintoista ja mukavaa mutta myös kohtalaisen haastavaa, sillä en ollut aiemmin suunnitellut näin isoa kokonaisuutta. Varsinkin valmistuspiirustuksien tekeminen oli työtunneissa valtava urakka, sillä jokainen pieni osa piti piirtää ja mitoittaa erikseen tarvittavine merkintöineen. Kaupallisia osia työssä käytetään vain muutamia ja nekin sellaisia, joita ei ole kustannuksellisista syistä järkevää tehdä itse, esimerkiksi pidemmän päädyn säätöjalat.

Suurin haaste työssä oli valmistus- ja hitsauspiirustuksien luominen. Näiden kanssa sain apua ja vinkkejä Oamkin konetekniikan lehtoreilta Helena Toloselta ja Esa Kontiolta, jotka myös tarkastivat piirustukset.

Lopputuloksena saatiin suunniteltua ja mallinnettua kiinnitysmekaniikka opinnäytetyön aiheen mukaisesti. Valmistusta ei Oamkin konelaboratorion muutosta aiheutuvien kiireiden takia tehty vielä, vaan se jää opinnäytetyön tilaajan kontolle.

Olen itse todella tyytyväinen työn lopputulokseen. Kiinnitysmekaniikasta tuli haluamallani tavalla modulaarinen, minkä takia uutta kiinnitysmekaniikkaa ei todennäköisesti enää tarvitse suunnitella tälle kuivatusuunille.

## LÄHTEET

1. PrinLab - Development Laboratory for Printed Intelligence. 2020. Oulu: Oulu University of Applied Sciences. Saatavissa: <https://www.oamk.fi/en/partnership/laboratories/prinlab> Hakupäivä 25.8.2020.
2. Tuhkala, Teija 2016. Rapid Apps 2020. Painettava elektroniikka. Oulun ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <https://www.oamk.fi/c5/fi/tutkimus-ja-kehitys/hankkeet/rapidapps/perustietoa-painettavasta-elektroniikasta/> Hakupäivä 27.5.2020.
3. Jääskä, Jaakko 2013. Painettavan elektroniikan ratakameran ohjelmointi. Diplomityö. Oulu: Oulun yliopisto, tietotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201312031946.pdf> Hakupäivä 19.8.2020.
4. Ahtiainen, Miika 2015. R2R-silkkipainolaitteen materiaalisyöttöyksikön kehittäminen. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikka. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/94635/Ahtiainen\\_Miika.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/94635/Ahtiainen_Miika.pdf?sequence=1&isAllowed=y) Hakupäivä 27.5.2020.
5. Printed electronics. 2020. Wikipedia. Saatavissa: [https://en.wikipedia.org/wiki/Printed\\_electronics](https://en.wikipedia.org/wiki/Printed_electronics) Hakupäivä 18.8.2020.
6. Tervo, Jarno 2015. R2R-koneen rainanohjausjärjestelmän kehittäminen. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun Ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/95345/Tervo\\_Jarno.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/95345/Tervo_Jarno.pdf?sequence=1&isAllowed=y) Hakupäivä 27.5.2020.
7. Globalspec. Kuva. Saatavissa: <https://www.globalspec.com/ImageRepository/LearnMore/20129/carry0016e8962b8c2ca493a8f1f1673ba1b5a83.gif> Hakupäivä 3.9.2020

8. Tuomaala, Tomi 2020. Re: Opinnäytetyön raportti. Sähköpostiviesti 25.8.2020. Vastaanottaja: Toni Lehtola.
9. Sahli, M – Malek, Khan – Gelin, J.C. 3D modelling and simulation of the filling of cavities by viscoelastic polymer in roll embossing process. International Journal of Material Forming vol. 2, nro 1. S. 725-728. Springer-Verlag
10. Standardiosat - Säätojalat - 22593.0895. Halder. Saatavissa: <https://www.halder.com/fi/Tuotteet/Standardiosat/Kone-ja-laiteosat/Saaetojejat/Saaetojejat-luistamisen-estolla/22593.0895> Hakupäivä 19.8.2020.

## LÄHTÖTIETOMUISTIO

Työn tiedot	<b>Tekijä<sup>1</sup></b> Nimi: Toni Lehtola E-mail: [REDACTED] Puh: [REDACTED]	<b>Tilaaja<sup>2</sup></b> OAMK PrinLab [REDACTED] [REDACTED]
	<b>Tilaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot<sup>3</sup></b> Nimi: [REDACTED] E-mail: [REDACTED] Puh: [REDACTED]	
	<b>Työn nimi<sup>4</sup></b> <b>Kuivatusuunin kiinnitysmekaniikan suunnittelu painetun elektroniikan rullalta rullalle laitteistoon</b>	
	<b>Työn kuvaus<sup>5</sup></b> Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella onnistuneesti kiinnitysmekaniikka painetun elektroniikan kuivatuskaapille. Työssä suunnitellaan kiinnitysmekaniikka PrinLabin SOM-100 R2R -painokoneen kuivatusuunille. Kuivatusuunin tehtävänä on kuivattaa paino-koneen silkkipainoyksikön painama kuva tai elektroniikka. Kiinnitysmekaniikan tulisi olla modulaarinen eli laitteen tulisi olla siirrettävissä sekä kustannus-tehokas, eikä se saa haitata koneen operointia.	
	<b>Työn tavoitteet<sup>6</sup></b> Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella onnistuneesti kiinnitysmekaniikka painetun elektroniikan kuivatuskaapille.	
	<b>Tavoiteaikataulu<sup>7</sup></b> Ensisijainen tavoite 30.6.2020. Toissijainen tavoite syksyllä 2020	
<b>Päiväys ja allekirjoitukset<sup>8</sup></b>		
27/04/2020 Tekijän allekirjoitus Toni Lehtola	27/04/2020 Tilaaajan allekirjoitus [REDACTED]	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tekijän nimi, puhelinnumero ja sähköpostiosoite.</li> <li>2. Työn teettävän yrityksen virallinen nimi.</li> <li>3. Sen henkilön nimi ja yhteystiedot, joka yrityksessä valvoo työn suoritusta.</li> <li>4. Työn nimi voi olla lässä vaiheessa työnimi, jota myöhemmin tarkennetaan.</li> <li>5. Työ kuvataan lyhyesti. Sinä esitetään muun muassa työn tausta, lähtötilanne ja työssä ratkaistavat ongelmat.</li> <li>6. Esitetään lyhyesti ja selvästi työn tavoitteet.</li> <li>7. Esitetään projektin tavoiteaikataulu. Silloin, kun työllä on välitavoitteita, myös ne merkitään aikatauluun. Tavoiteaikataulun ja oppilaitoksen yleisaikataulun perusteella tekijä laatii oman aikataulunsa.</li> <li>8. Lähtötietomuiisto päivätään ja sen allekirjoittavat tekijä ja tilaaajan yhdyshenkilö.</li> </ol>		



Hinta-arvio			
Tuote	Kpl	Hinta kpl	Hinta yht
Putkipalkki teräs neliö 40x40x2mm S235 (1)	6	35,10 €	210,60 €
U-pultti kantikas 60X40MM (2)	2	5,90 €	11,80 €
Halder säätöjalat luistamisen estolla 22593.0895 (3)	2	14,04 €	28,08 €
Teräslevy 5x400x1000mm (4)	1	49,90 €	49,90 €
Pientarvikelisä	1	50,00 €	50,00 €
Yhteensä			350,38 €

## Lähteet:

- 1: <https://www.taloon.com/putkipalkki-teras-nelio-40x40x2-0-mm-s235jr-pituus-6-m>
- 2: <https://www.ikh.fi/fi/u-pultti-kantikas-60x40mm-pv300300>
- 3: <https://www.halder.com/fi/Tuotteet/Standardiosat/Kone-ja-laiteosat/Saaetoejalat>
- 4: <https://www.puulo.fi/Warma-teraslevy-5mm-40x100cm>

