

Miika Ahtiainen

**R2R-SILKKIPAINOLAITTEEN MATERIAALISYÖTTÖYKSIKÖN
KEHITTÄMINEN**

R2R-SILKKIPAINOLAITTEEN MATERIAALISYÖTTÖYKSIKÖN KEHITTÄMINEN

Miika Ahtiainen
Opinnäytetyö
Kevät 2015
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, tuotanto ja logistiikka

Tekijä: Miika Ahtiainen
Opinnäytetyön nimi: R2R-silkipainolaitteen materiaalisyöttöyksikön kehittäminen
Työn ohjaaja: Helena Tolonen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2015 Sivumäärä: 36 + 2 liitettä

Työssä perehdyttiin erilaisiin materiaalin syöttötekniikoihin. Työssä suunniteltiin ja toteutettiin automaattisesti toimiva materiaalisyöttöyksikkö PrinLabin SOM100 R2R -painokoneen silkipainoyksikköön. Materiaalisyöttöyksikön tehtävä on lisätä mustetta terälle, joka painaa musteen seulakankaan läpi substraatille. Syöttöyksikön tuli olla kustannustehokas, helposti hallittavissa ja syötettävän musteen määrän tuli olla säädettävissä. Lisäksi materiaalisyöttöyksikkö tuli olla yksikertaisesti liitettävissä painokoneeseen. Lopuksi materiaalisyöttöyksikön toimivuus testataan R2R-ajossa.

Materiaalisyöttöyksikön suunnittelussa käytettiin systemaattisen koneensuunnittelun metodia, mikä mahdollisti järjestelmällisen suunnittelun. Suunnittelu aloitettiin tutustumalla kaupallisiin annostelu- ja syöttöjärjestelmiin. Kaupalliset järjestelmät olivat monimutkaisia ja kalliita ja lisäksi ne täytyi pestä liuotinaineilla käytön jälkeen. Lopulta materiaalisyöttöyksikkö suunniteltiin tällä hetkellä käytössä olevan kertakäyttöisen ruiskun ympärille. Mallintamiseen käytettiin SolidWorks-ohjelmistoa, jonka avulla luotiin syöttöyksikön mallit sekä tehtiin kokoonpanokuvat ja työpiirustukset. Syöttöyksikön rungon kiinnitys painokoneeseen toteutettiin yksinkertaisilla U:n muotoisilla kiinnikkeillä. Syöttöyksikköä painokoneeseen liitettäessä tulivat painokoneen runkoon lisätyt kaksi ruuvia kiinnikkeissä oleviin hahloihin.

Työn lopputuloksena materiaalisyöttöyksikkö saatiin suunniteltua systemaattista koneensuunnittelua apuna käyttäen. Syöttöyksikkö valmistettiin koneistamalla ja vesileikkaamalla työpiirustusten mukaisesti. Lisäksi ruiskun männän liikuttamiseen saatiin valittua sopivan kokoinen moottori. Moottori valittiin niin, että voima riittää myös, mikäli ruisku vaihdetaan tilavuudeltaan suurempaan. Testaus jouduttiin rajaamaan opinnäytetyön ulkopuolelle, koska moottorin toimitusaika oli liian pitkä, joten testaaminen ei onnistunut opinnäytetyöprojektin aikana.

Asiasanat: painettu elektroniikka, rullalta rullalle -silkipaino, systemaattinen koneensuunnittelu

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering, Production and Logistics

Author: Miika Ahtiainen

Title of thesis: Developing Material Feeding Unit of R2R Silk Printing Machine

Supervisor: Helen Tolonen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2015 Pages: 36 + 2
appendices

The main purpose of this thesis was to study different kind of material feeding techniques and design and implement an automated material feeding unit for a silk printing unit of the PrinLab SOM100 R2R-printing machine. The main function of the material feeding unit is to feed ink for the blade that prints the ink through a screening cloth on to the substrate. The feeding unit had to be cost-effective, easily managed and the amount of the fed ink adjustable. In addition, the attach of the material feeding unit to the printing unit had to be simple. Finally, the functionality of the material feeding unit will be tested with R2R test runs.

In the design of the material feeding unit, the systematic machine design method was used, which enabled organized engineering. The designing started with studying of commercial dispensing and feeding systems. Commercial systems are complex and expensive, and in addition they must be washed with solvents after usage. Eventually the material feeding unit was designed around the currently used disposable syringe. For the modeling of the feeding unit, SolidWorks software was used. SolidWorks software was also used to create assembly and technical drawings. The feeding unit was mounted on the printing unit with simple U-shaped brackets. The brackets were attached with screws to the body of the printing unit.

As an end result, the material feeding machine was successfully developed with the help of the systematic machine design method. The feeding machine was manufactured by machining and water cutting according to the technical drawings. The size and power of the motor for moving the syringe were chosen so that the power was sufficient if the syringe was changed to a larger one. Unfortunately, the delivery time of the motor was long and functionality testing was not possible in the time reserved for this thesis.

Keywords: printed electronics, roll-to-roll silk printing, systematic machine design

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
1.1 Tavoitteet	7
1.2 PrinLab	7
2 PAINETTAVA ELEKTRONIIKKA	9
2.1 Historia	9
2.2 Sovellukset	9
2.2.1 OLED (Organic Light Emitting Diode)	10
2.2.2 Energianlähteet	10
2.2.3 Taipuisat aurinkopaneelit	11
3 SOM100 R2R -PAINOKONE	12
3.1 Silkipaino	12
3.2 Syväpaino	13
3.3 Fleksopaino	14
3.4 Offsetpaino	15
3.5 Kuumapuristus	16
4 SYSTEMAATTINEN KONEENSUUNNITTELU	18
5 MATERIAALINSYÖTTÖYKSIKÖN SUUNNITTELU	19
5.1 Runko	20
5.2 Pidikkeet	21
5.3 Materiaali	24
5.4 Moottori	24
5.5 Askelmoottorin ohjaus	25
5.6 Liittäminen laitteistoon	26
5.7 Turvallisuus	27
5.8 Materiaalisyöttöyksikön systemaattinen suunnittelu	28
6 YHTEENVETO	34
LÄHTEET	36

LIITTEET

Liite 1 Lähtötietomuistio

Liite 2 Moottorin tekniset tiedot

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutustutaan painettavaan elektroniikkaan, sen sovelluksiin ja erilaisiin painomenetelmiin. Lisäksi suunnitellaan ja toteutetaan automaattisesti toimiva ja helposti hallittava materiaalisyöttöyksikkö Prinlabin SOM100 R2R -painokoneen silkkipainoyksikköön. Materiaalisyöttöyksikön on tarkoitus lisätä mustetta terälle, joka painaa kuvion seulakankaan läpi substraatille.

Aiemmin musteen lisäys on tapahtunut siten, että yksi työntekijä on seurannut musteen vähenemistä ja tarvittaessa lisännyt mustetta lisää. On myös tärkeää, ettei mustetta ole liikaa eikä liian vähän terällä, koska tämä heikentää painojälkeä. Aikaisempi musteen lisäysmenetelmä on vaatinut koko ajan yhden työntekijän musteen seuraamiseen ja lisäämiseen. Suunniteltavan materiaalisyöttöyksikkö lisääisi mustetta terälle tietyin väliajoin ja lisättävän musteen määrä olisi säädettävissä. Siten saataisiin yksi työntekijä vapautettua musteen seuraamisesta ja lisäämisestä.

1.1 Tavoitteet

Työssä perehdytään materiaalin annostelu- ja syöttöjärjestelmiin. Työssä selvitetään erilaisia vaihtoehtoja materiaalin syöttöön sekä suunnitellaan, mallinnetaan ja toteutetaan materiaalisyöttöyksikkö.

Tärkeimpiä vaatimuksia materiaalisyöttöyksikölle on kustannustehokkuus ja helppo hallittavuus. Lisäksi musteen syöttömäärä tulee olla säädettävissä ja syöttöyksikön liittäminen painokoneeseen täytyy olla yksinkertainen. Lopuksi materiaalisyöttöyksikön toimivuus testataan R2R-ajossa. (Liite 1.)

1.2 PrinLab

PrinLab-laboratorion tarkoituksena on painettavan elektroniikan kehitysympäristön monipuolistaminen ja tukea painetun älyn hankkeita. PrinLab tutkii, testaa sekä kehittää erilaisia painotekniikoita ja sovelluksia. (1.)

PrinLab toimii tiiviissä yhteistyössä yliopistojen ja tutkimuslaitosten kanssa. Yhteistyökumppaneita ovat muun muassa Oulun yliopisto sekä VTT. PrinLab on osa kansainvälistä PrintoCent-pilottehdaskonseptia. (1.)

2 PAINETTAVA ELEKTRONIIKKA

Painettavassa elektroniikassa tuotetaan joko painauma tai mustetta käyttäen jälki alustamateriaaliin. Lisäävässä eli additiivisessä menetelmässä muste painetaan alustalle jäljen tuottamiseksi. Painaumassa kuvio painetaan alustamateriaaliin mekaanisesti. Painojälkeä voidaan tuottaa sähköisesti, elektromekaanisesti, sähkömagneettisesti sekä optisesti tulostus- ja painoteknisillä menetelmillä. Painettu elektroniikka siirtää informaatiota ja näin ollen ohjaa laitetta sähköisten komponenttien avulla. Lisäksi komponentit voivat tuottaa tietoa laitteen toiminnasta. (2.)

Painettu älykkyys on uusi innovatiivinen teknologian ala. Monet teollisuuden alat hyödyntävät sitä luoden uusia markkinoita. Painetulla älyllä voidaan valmistaa muun muassa kertakäyttöisiä sensoreita, yksikertaisia elektronisia piirejä, pakkauksia, kodinteknologiaa, orgaanisia aurinkokennoja sekä painettuja valoa emittoivia diodeja. (3.)

Joustavien materiaalien avulla voidaan elektroniikka sulauttaa osaksi tuotetta. Painettava elektroniikka voidaan valaa muoviin tuotteen osaksi, jolloin voidaan mekaniikka sekä optiset komponentit valmistaa yhdellä prosessilla, jolloin elektroniikasta saadaan hyvin sovellusläheinen. (4.)

2.1 Historia

Painotekniikka syntyi, kun Gutenberg keksi painokoneen vuonna 1436. Painokoneeseen hän kehitti musteen sekä painolevyn, joiden avulla paperiin puristettiin jälki. Suomessa VTT on tutkinut painettavaa elektroniikkaa 1990-luvulta lähtien. (2.)

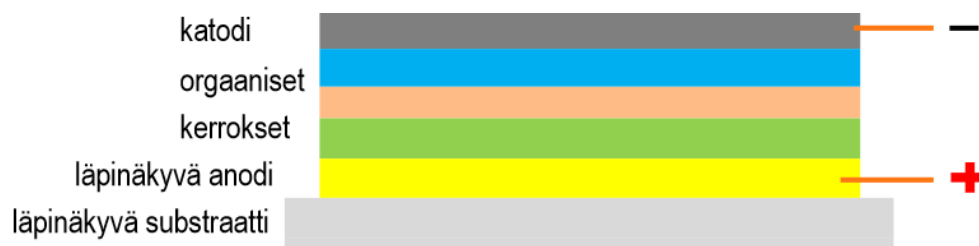
2.2 Sovellukset

Painettavan elektroniikan etuna on nopeus, joka mahdollistaa suuret valmistusmäärät. Valmistusmäärät vaikuttavat valmistuskustannuksiin, minkä ansiosta kustannukset laskevat, ja se tekee painettavasta elektroniikasta edullisen. Etuina ovat myös keveys, ja lisäksi ohuet ja taipuisat piirilevyt mahdollistavat esimerkiksi kaarevien näyttöjen tekemisen. Lisäävää

menetelmää käytettäessä pystytään pienentämään materiaalihukkaa sekä ympäristökuormitusta. (2.) Painettavan elektroniikan käyttökohteita ovat muun muassa rullattavat näytöt, taipuisat aurinkopaneelit, erilaiset sensorit, OLED-teknologia ja akut. (5.)

2.2.1 OLED (Organic Light Emitting Diode)

OLED-teknologiaa käytetään erilaisiin näyttöihin. OLED koostuu läpinäkyvästä substraatista, jolle on asennettu puolijohtavia orgaanisia kerroksia kahden elektrodikerroksen väliin. Näkyvä valo saadaan aikaan siten, että jännite johdetaan katodin ja anodin avulla orgaanisten kerrosten läpi, jolloin elektronivirta aiheuttaa sähkövirran nousun. Tämän seurauksena saadaan näkyvä valo. OLED:n rakenne kuvassa 1. (6.)



KUVA 1. OLED:n rakenne (2)

OLED on kevyt ja taipuisa, koska se ei tarvitse taustalevyä. Keveys ja taipuisuus ovat suuria etuja tulevaisuuden OLED-näytöissä. (6.)

2.2.2 Energianlähteet

Ohuiden ja taipuvien energianlähteiden käyttö ei ole vielä kovin yleistä, mutta niitä käytetään jo joissain kohteissa, kuten onnittelukorteissa, joissa onnittelulaulu voidaan toistaa kuvassa 2 esitetyn pehmopariston avulla. Suurimpia ongelmia on energianlähteiden kapasiteetti, hinta sekä liitettävyyys, joissa on vielä paljon kehitettävää. (6.)



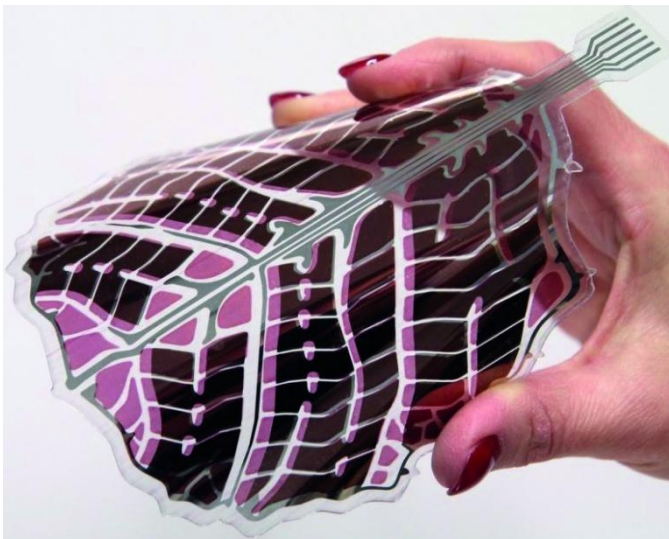
KUVA 2. Pehmoparisto (2)

Tulevaisuuden tavoite on, että akku tai paristo voitaisiin painaa suoraan piirilevyyn. Silloin saataisiin pienennettyä tuotteen kokoa sekä painoa, eikä erillistä akkua tarvitsisi. (6.)

2.2.3 Taipuisat aurinkopaneelit

Orgaaniset aurinkopaneelit ovat taipuisia ja keveitä, mutta niiden haittapuolena on alhaisempi hyötysuhde verrattuna perinteisiin aurinkokennoihin.

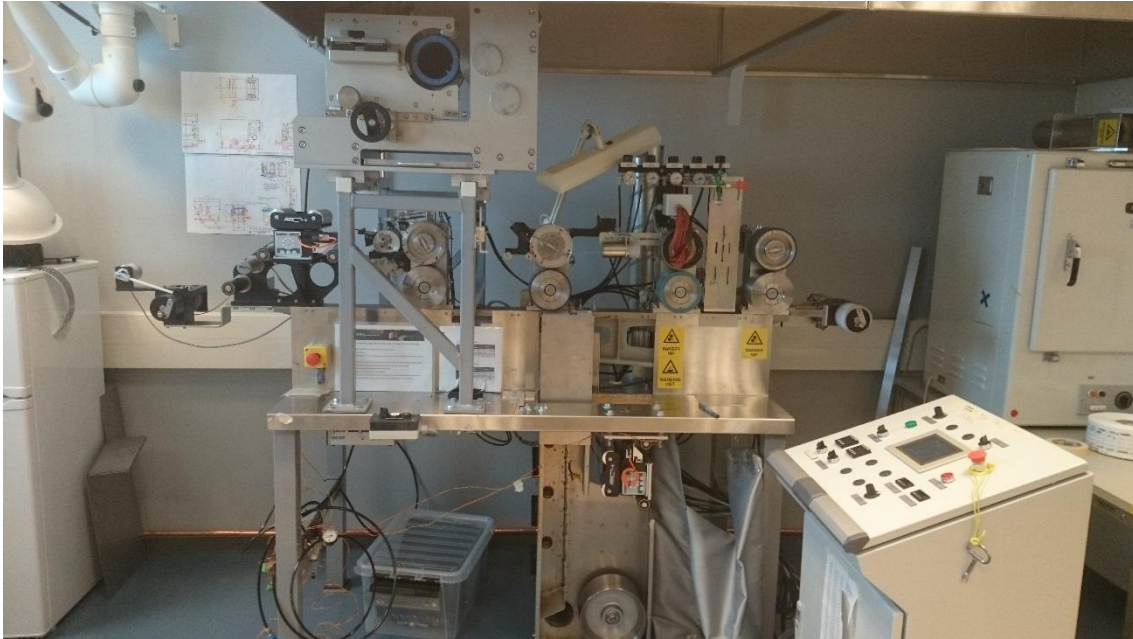
Aurinkopaneelin valmistus rullalta-rullalle-tekniikalla mahdollistaa erittäin nopean ja edullisen massatuotannon. Kuvassa 3 on lehden muotoinen aurinkopaneeli. Tulevaisuudessa orgaanisten aurinkopaneelien markkinat tulevat kehittymään. Läpimurtoa markkinoille odotetaan kolmen vuoden kuluessa. (7.)



KUVA 3. Lehden muotoinen taipuisa aurinkopaneeli (7)

3 SOM100 R2R -PAINOKONE

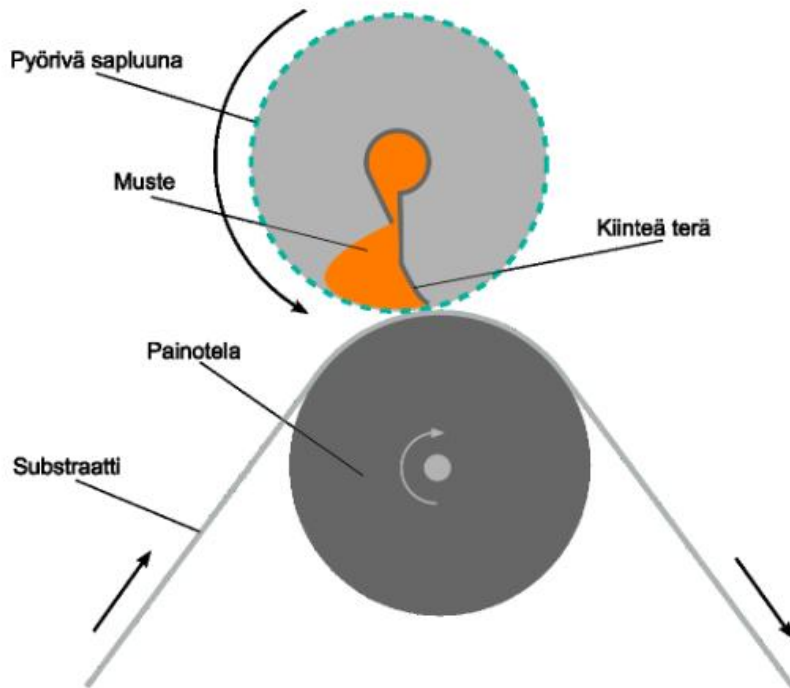
SOM100 R2R -painokone on Oulun ammattikorkeakoulun rullalta-rullalle-painokone. Painokoneessa on silkkipaino- , flexopaino- , syväpaino- sekä kuumapuristussyksikkö. Kuvassa 4 on R2R-painokone. Rullan leveys maksimissaan on 80 mm. (2.)



KUVA 4. SOM100 R2R -painokone

3.1 Silkkipaino

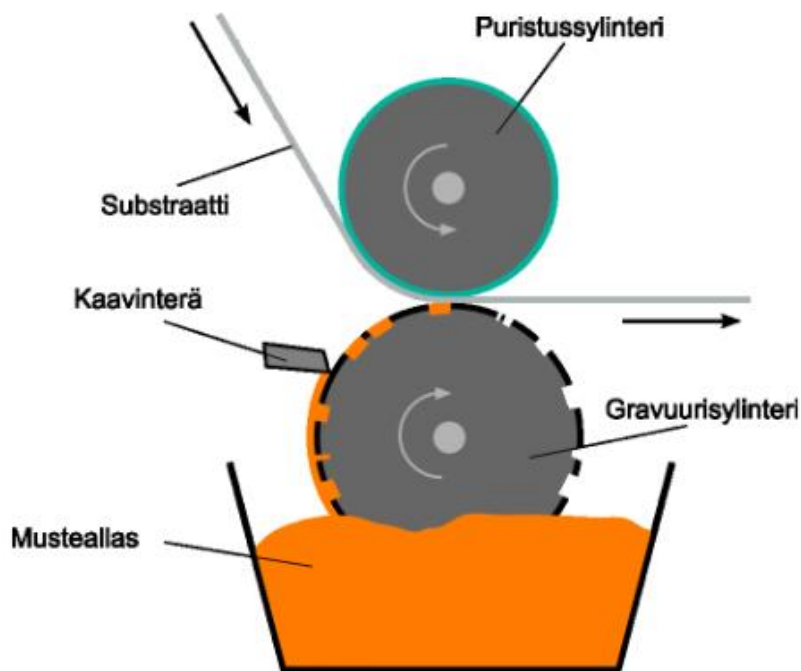
Painomenetelmänä silkkipaino on monipuolisin. Sillä voidaan painaa monille materiaaleille sekä valmiisiin tuotteisiin. (8.) Silkkipainomenetelmässä muste painetaan terän avulla seulakankaan läpi substraatille. Painettava kuva saadaan aikaan seulakankaan avulla, joka toimii sapluunana. Seulakankaana voidaan käyttää silkkiä, muovia tai metallikuitukankaita. (9.) Silkkipaino soveltuu tarrojen, tekstiilien, elektroniikan komponenttien ja elintarvikkeiden painamiseen. (8.) Kuvassa 5 on havainnollistettu rotaatiosilkkipainon toiminta.



KUVA 5. Rotaatiosilkkipaino (9)

3.2 Syväpaino

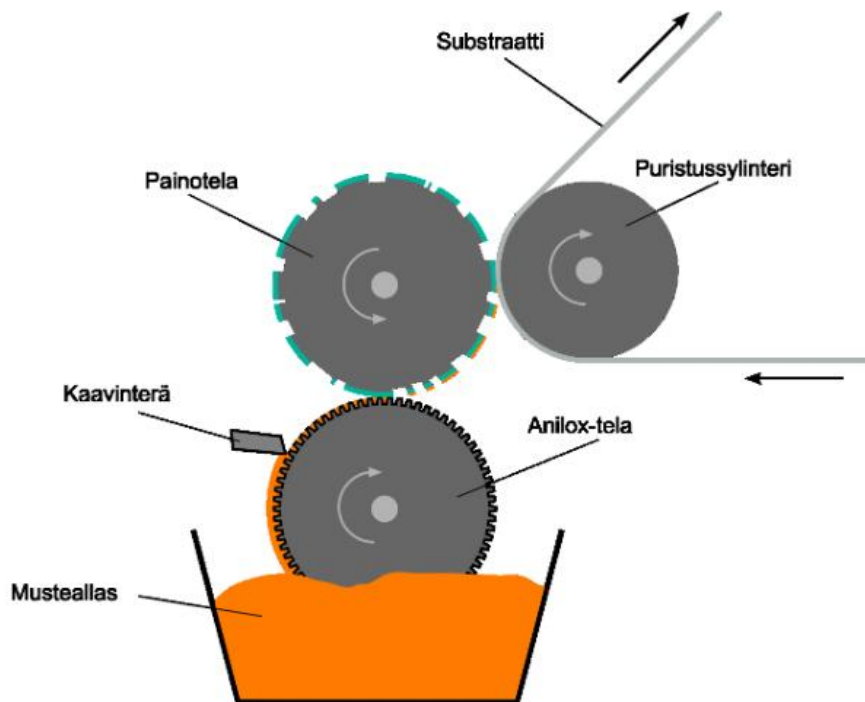
Syväpainossa gravuurisylinterin pintaan on kaiverrettu painettava kuva. Kuvaan kuulumattomat alueet ovat sylinterissä kuvaan kuuluvia alueita ylempänä. Sylinterin kuva muodostuu kaiverretuista kupeista. (9.) Painettaessa gravuurisylinteri on osaksi painomusteessa, josta muste kulkeutuu kaiverrettuihin kuppeihin sylinterin pinnalle. Terä poistaa ylimääräisen painomusteen pois, joten muste jää ainoastaan painopintaan kaiverrettuihin kuppeihin. Lopuksi muste painetaan gravuurisylinterin ja puristussylinterin välissä kulkevalle substraatille. (Kuva 6.) Suurille painomäärille syväpainon edullisuus korostuu. Syväpainotekniikalla voidaan valmistaa aurinkokennoja sekä OLED-teknologiaa. (8.)



KUVA 6. Syväpaino (9)

3.3 Fleksopaino

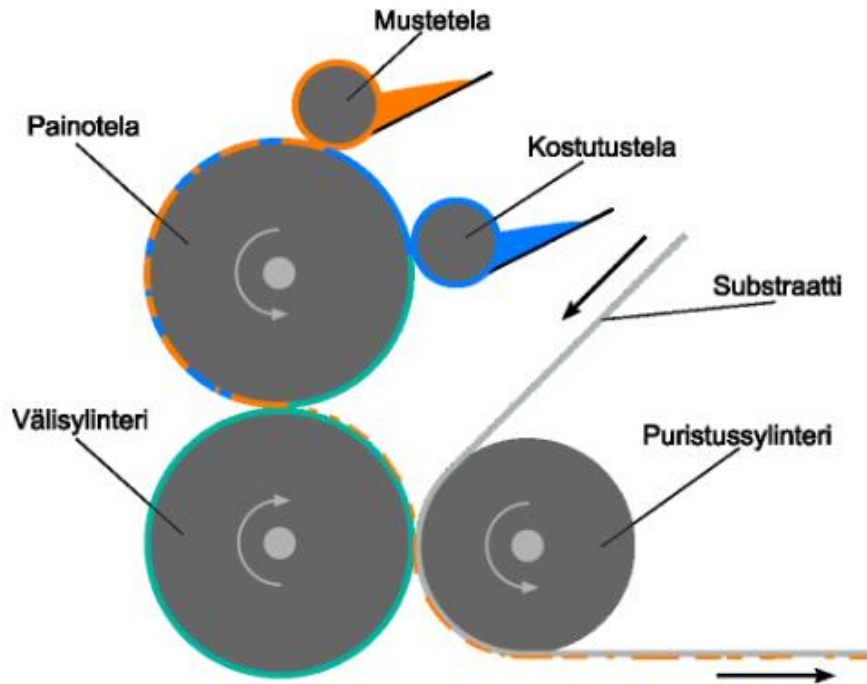
Fleksopainossa painotelassa kohollaan oleva pinta tekee painojäljen. Anilox-
telassa on pieniä kuppeja, jotka siirtävät musteen mustealtaasta painotelalle,
minkä jälkeen kuva siirtyy painotelan ja puristussylinterin välissä kulkevalle
substraatille. (Kuva 7.) Fleksopainon painojälki on huonompaa sekä painaminen
hitaampaa verrattuna syväpainoon. Sanomalehdet ja tuotepakkaukset
painetaan yleensä fleksopainomenetelmällä. (9.)



KUVA 7. Flexopaino (9)

3.4 Offsetpaino

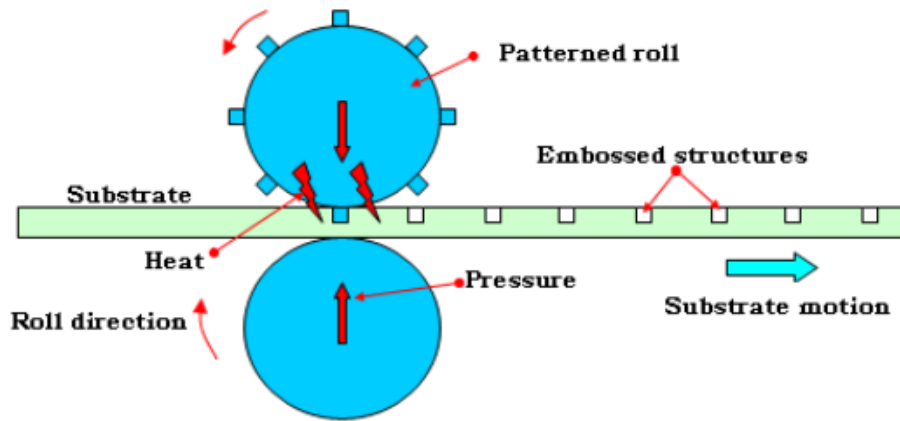
Offsetpaino perustuu painotelan pinnoitteeseen. Pinnoitteen avulla painotelalle muodostetaan hydrofobinen alue, joka vastaanottaa mustetta, eli tämä alue muodostaa painettavan kuvan. Kuvan ulkopuoliset alueet ovat hydrofiilisiä, mitkä hylkivät kostutusveden avulla mustetta. Kostutustela kostuttaa painotelan pintaa samaan aikaan, kun mustetela lisää mustetta painotelalle. Kostutusvesi tarttuu ainoastaan kuvan ulkopuolisille alueille, ja muste tarttuu vain kuvan muodostavaan alueeseen. Tämän jälkeen painotelan siirtää kuvan välisylinterille, joka painaa kuvan välisylinterin ja puristussylinterin välissä kulkevalle substraatille. (Kuva 8.) Offsetpaino on nopea ja tuottaa hyvää painojälkeä, minkä vuoksi menetelmällä painetaan esimerkiksi sanoma- ja aikakausilehtiä, mainoksia ja esitteitä. (9.)



KUVA 8. Offsetpaino (9)

3.5 Kuumapuristus

Kuumapuristusmenetelmässä ei käytetä mustetta, vaan kuva painetaan substraatille lämmön avulla. Kuumapuristuksessa on kaksi sylinteriä, joista ainakin toinen on lämmitettävä painotela, jonka ympärillä on kuumapuristushiha. Kuumapuristushihaan on tehty haluttu painokuva. Substraatti kulkee lämmitetyn ja ei-lämmitetyn painotelan välissä. Kuva painetaan substraatille lämmön ja paineen yhteisvaikutuksesta. (Kuva 9.) Kuumapuristusmenetelmää voidaan hyödyntää OLED-näyttöihin ja elintarvikepakkauksiin. Tekniikkaa kehitetään koko ajan, ja tulevaisuudessa sen käyttö tulee yleistymään. (6.)



KUVA 9. Kuumapuristusmenetelmä (3)

4 SYSTEMAATTINEN KONEENSUUNNITTELU

Systemaattinen suunnittelu etenee vaiheittain. Kuvassa 10 on systemaattisen suunnittelun työn vaiheet sekä saadut tulokset. Ensimmäisessä vaiheessa kerätään informaatiota sekä laaditaan vaatimuslista. Toisessa vaiheessa tehdään toimintorakenne suunniteltavalle laitteelle. Kolmannessa vaiheessa osarakenteille ja kokonaisrakenteelle etsitään ratkaisuperiaatteita. Neljännessä vaiheessa laitteelle suunnitellaan modulaarinen rakenne. Viidennessä vaiheessa saadaan laitteelle esisuunnitelma rakenteesta. Kuudennessa ja seitsemännessä vaiheessa viimeistellään ja dokumentoidaan laite. (10, s. 47 - 50.)



KUVA 10. Systemaattisen suunnittelun vaiheet (10, s. 47)

5 MATERIAALINSYÖTTÖYKSIKÖN SUUNNITTELU

Työn tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa automaattisesti toimiva materiaalisyöttöyksikkö SOM100 R2R -painokoneelle. Materiaalisyöttöyksikön tuli olla helppokäyttöinen sekä syötön määrän ja nopeuden tuli olla säädettävissä.

Suunnittelutyö aloitettiin tutustumalla kaupallisiin nesteiden annostelu- ja syöttöjärjestelmiin, tarkoituksena saada ideoita ja mallia tulevaan materiaalisyöttöyksikköön. Kaupalliset annostelu- ja syöttöjärjestelmät osoittautuivat epäkäytännöllisiksi ja hankaliksi tämän opinnäytetyön kannalta. Kaupallisissa järjestelmissä laitteet ja säiliöt olisi jouduttu pesemään liuotainaineella ja tätä halutaan välttää. Laitteet olivat myös monimutkaisia ja kalliita, joten materiaalisyöttöyksikön suunnittelun aloitettiin ihan alusta alkaen.

Suunnittelutyö aloitettiin tekemällä vaatimuslista tilaajan kanssa. Taulukossa 1 on merkitty vaatimus sekä jokin kolmesta vaihtoehdosta: kiinteät vaatimus (KV), vähimmäisvaatimus (VV) tai toivomus (T). Valmiin tuotteen tulisi aina täyttää kiinteät ja vähimmäisvaatimukset.

TAULUKKO 1. Vaatimuslista

Muutos PVM	KV VV T	VAATIMUS	Tärkeys
	KV T VV KV KV VV T T T KV	<p>1. GEOMETRIA Säiliö kaupallinen ja kertakäyttöinen (min. 50ml) Yksinkertainen rakenne</p> <p>2. ENERGIA Laitetta käytetään ohjelmoitavalla moottorilla</p> <p>3. TOIMINTA Materiaalinsyötön helppo hallittavuus Materiaalin syöttömäärä säädettävissä</p> <p>4. TURVALLISUUS Laitte tulee olla turvallinen käyttää</p> <p>5. VALMISTUS Laitteen tulee olla helppo valmistaa</p> <p>6. KUNNOSSAPITO Huoltoa ei tarvita</p> <p>7. KUSTANNUKSET Edullinen valmistaa</p> <p>8. LIITETTÄVYYS Yksinkertainen liittää laitteistoon</p>	
		KV= kiinteä vaatimus, VV= vähimmäisvaatimus, T= toivomus	

5.1 Runko

Rungon suunnittelu aloitettiin etsimällä säiliölle vaihtoehtoja. Säiliön tuli olla minimissään 50 ml, kertakäyttöinen ja kaupallisesti saatavissa. Tällä hetkellä materiaalin syötössä käytettävä kertakäyttöinen ruisku osoittautui toimivaksi ja hyväksi ratkaisuksi, joten runkoa aloitettiin suunnitella kuvassa 11 näkyvän kertakäyttöisen ruiskun ympärille.

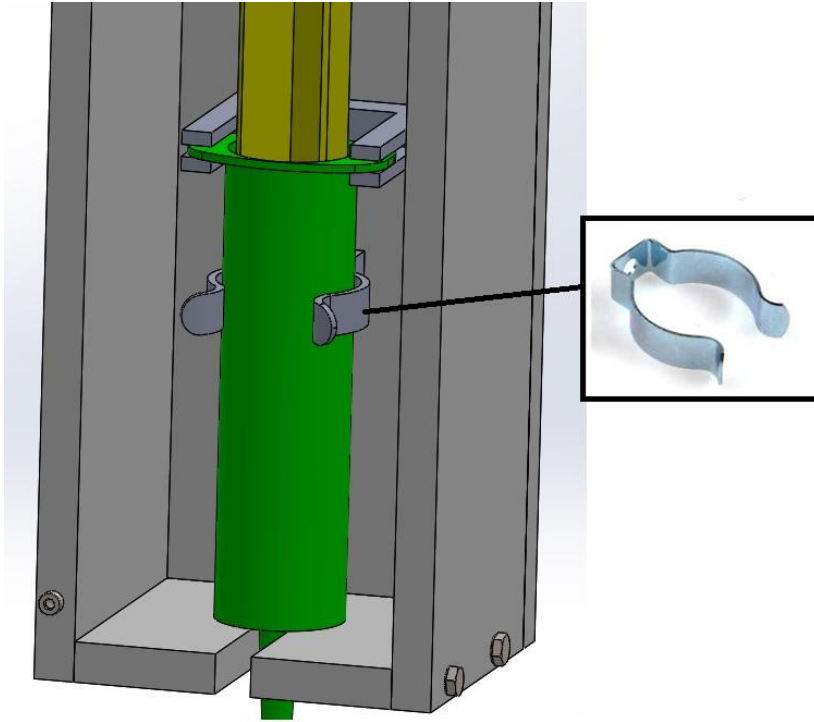


KUVA 11. Kertakäyttöinen ruisku

Runkoa suunniteltaessa kertakäyttöisen ruiskun ympärille rakenteesta tuli yksinkertainen ja sen avulla pystyttiin vaikuttamaan rungon valmistus kustannuksiin. Kustannuksiin pystyttiin vaikuttamaan myös käyttämällä standardiosia, kuten ruuveja ja muttereita.

5.2 Pidikkeet

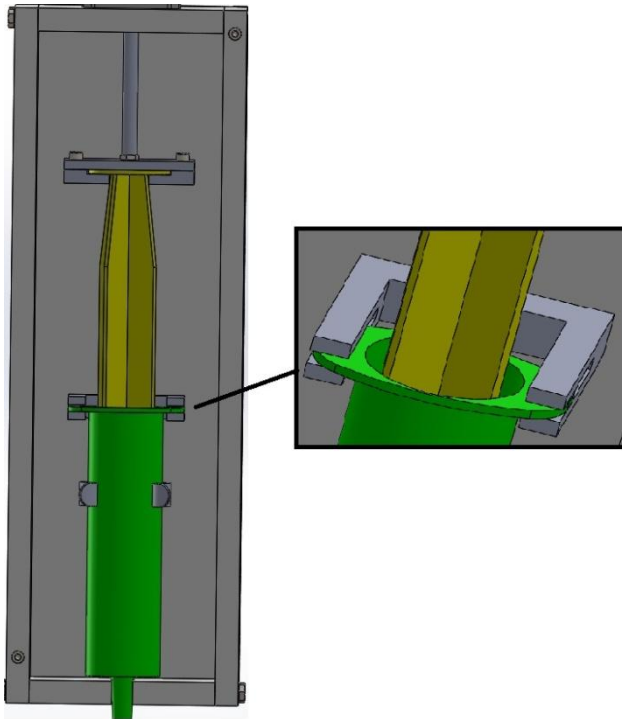
Materiaalisyöttöyksikköön asetettaessa kertakäyttöisen ruiskun paikka ja asento varmistettiin kaupallisesti saatavalla jousipidikkeellä. Jousipidikkeitä on saatavilla erikokoisina, joten tämä mahdollistaa myös erikokoisen ruiskun käytön. (Kuva 12.)



KUVA 12. Jousipidike ruiskun rungolle (11)

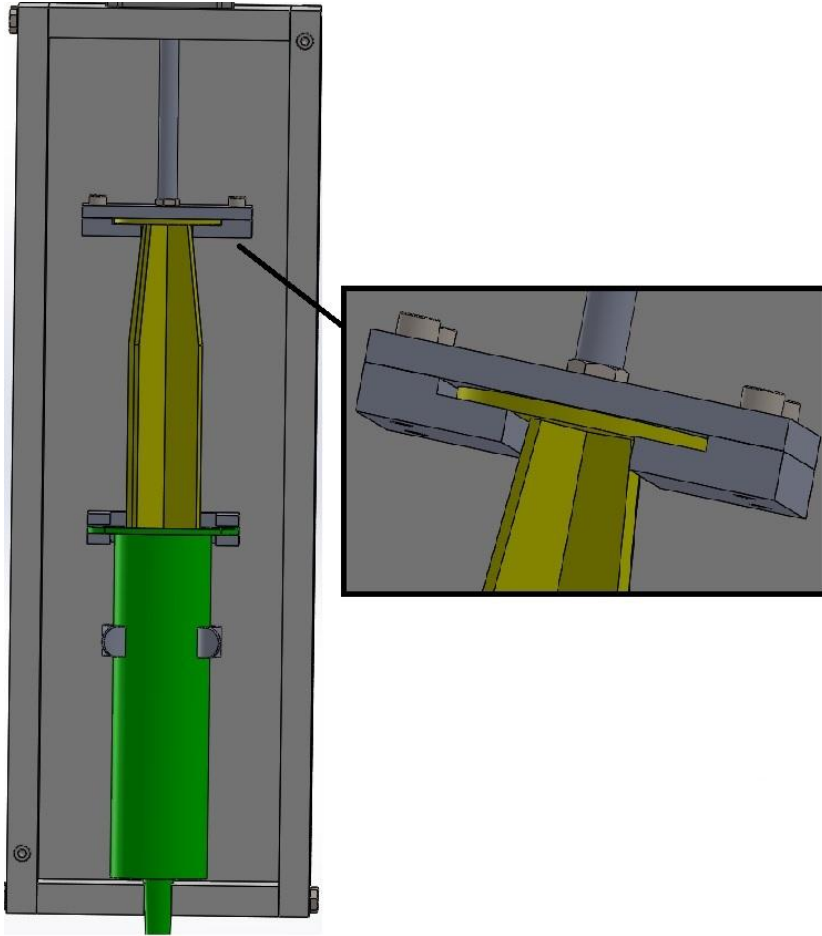
Jousipidike kiinnitetään materiaalisyöttöyksikköön ruuvilla, joten tarvittaessa pidikkeen vaihtaminen onnistuu helposti. Jousipidikkeen lisäksi täytyi suunnitella ruiskulle kiinnike, joka pitää ruiskun runkoa tukevasti paikallaan vedettäessä sekä työnnettäessä ruiskun mäntää.

Kuvassa 13 näkyvän runkopidikkeen avulla ruiskun runko ei pääse liikkumaan pystysuunnassa mäntää työnnettäessä ja vedettäessä. Pidikkeen kiinnitys tapahtuu ruuvilla. Pidikkeeseen suunniteltiin hahlomainen reikä, jonka avulla pidikkeen korkeutta voidaan hieman säätää.



KUVA 13. Ruiskun rungon pidike

Männän liikuttamiseen täytyi suunnitella pidike männän vastakkaiseen päähän, jossa on männän liikuttamiseen käytettävä pyöreä levy. Pidikkeeseen suunniteltiin leuat, joiden väliin levy työnnetään. Ulospäin vedettäessä pidikkeen leukojen alapinta vastaa männän pyörään levyyn ja näin ollen vetää mäntää. Vastaavasti työnnettäessä mäntää sisään leukojen yläpinta työntää männän pyöreää levyä sisäänpäin. Männän liikuttamiseen käytettävä pidike kiinnitetään kierteillä moottorista tulevaan akseliin ja lukitaan paikalleen mutterilla. (Kuva 14.)



KUVA 14. Männän liikuttamiseen suunniteltu pidike

5.3 Materiaali

Materiaaliksi rungolle valittiin alumiini, koska se kestää painomusteessa käytettäviä kemikaaleja. Mikäli mustetta pääsee rungon pinnalle, pinta ei vahingoitu. Lisäksi pinta on helppo puhdistaa. Alumiinin työstäminen on myös helppoa, joten kierteet sekä muut reiät on helppo toteuttaa.

5.4 Moottori

Moottoriksi valittiin Schneider Electricin Nema 17 motion control non-captive -lineaariaskelmoottori. Lineaariaskelmoottori mahdollistaa todella tarkan liikkeen. (Kuva 15.)



KUVA 15. Non-captive-lineaariaskelmoottori (12)

Non-captive-lineaariaskelmoottorissa akseli pääsee kulkemaan moottorin läpi ja itse lineaariliikkeen aikaan saava trapetsimutteri sijaitsee moottorin sisällä. Moottoria pyöritettäessä trapetsimutteri liikuttaa trapetsiruuvia ja näin ollen saadaan aikaan lineaariliike. Moottorin tekniset tiedot ovat liitteessä 2.

Moottori liikuttaa materiaalisyöttöyksikössä olevan kertakäyttöisen ruiskun mäntää ja lisää mustetta prosessiin. Ennen moottorin valintaa selvitettiin, kuinka paljon voimaa kertakäyttöisen ruiskun vetämiseen ja painamiseen tarvitaan.

Musteella täytetyn ruiskun männän painamiseen riittää hyvin 3 kg massa, ja männän vetämiseen tarvitaan 7 kg massa. Tarvittava lineaarivoima saatiin selville sijoittamalla saadut tulokset kaavaan 1, jossa kappaleen massa m ja maan vetovoiman kiihtyvyys g . Näin saadaan männän liikuttamiseen tarvittava voima F , joka on painettaessa 30 N ja vedettäessä 70 N. (13, s. 91.)

$$F = m \times g$$

KAAVA 1

F = voima

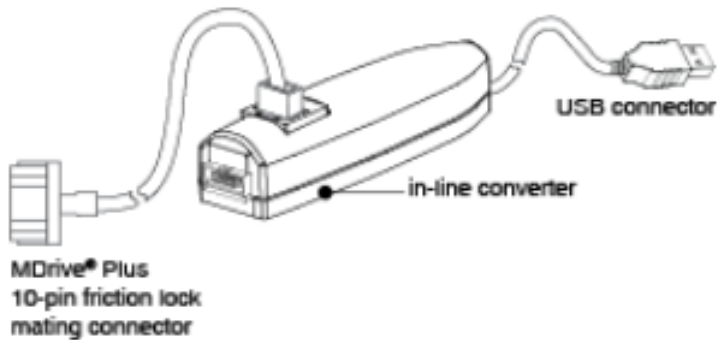
m = kappaleen massa

g = maan vetovoiman kiihtyvyys

5.5 Askelmoottorin ohjaus

Schneider Electricin Nema 17 motion control non-captive -lineaariaskelmoottorin ansiosta erillistä ohjainta ei tarvita, koska ohjain on integroitu moottoriin. Ohjelmointi tapahtuu MD-CC402-001-ohjelmointikaapelilla.

(Kuva 16.) Kun ohjelmointi on suoritettu, voidaan ohjelmointikaapeli irrottaa ja ohjelma jää moottorin muistiin. Integroidun ohjaimen ansiosta ei tarvitse etsiä erikseen olevalle ohjaimelle tilaa, minne sen voisi sijoittaa.

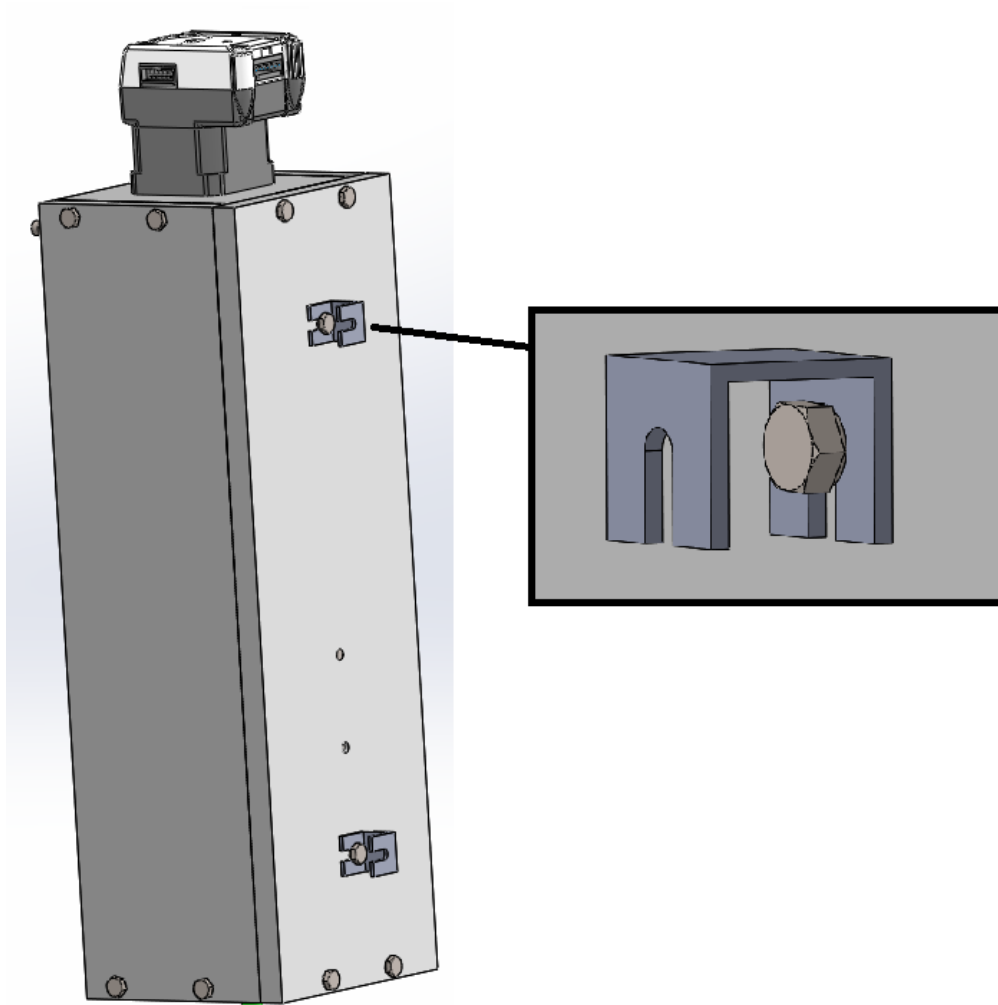


KUVA 16. MD-CC402-001-ohjelmointikaapeli (14)

5.6 Liittäminen laitteistoon

Materiaalisyöttöyksikön liittäminen painokoneeseen täytyi olla yksinkertainen, joten suunniteltiin syöttöyksikön taakse kaksi u:n muotoista kiinnikettä, joissa on hahlot ruuveille. Kiinnikkeet kiinnitetään syöttöyksikön runkoon ruuveilla.

SOM100 R2R -painokoneeseen tarvitaan kaksi ruuvia, joiden kannat ovat irti alustastaan 3 mm. Syöttöyksikkö liitetään painokoneeseen työntämällä painokoneessa olevat ruuvit kiinnikkeissä oleviin hahloihin. (Kuva 17.)



KUVA 17. Kiinnike, jolla materiaalisyöttöyksikkö liitetään painokoneeseen

Kiinnityksen yksinkertaisuuden ansiosta materiaalisyöttöyksikkö voidaan nostaa pois paikaltaan, kun sitä ei tarvita. Tämä helpottaa työskentelyä painokoneella sekä materiaalisyöttöyksikön ruiskun pidikkeiden vaihtoa, mikäli syöttöyksikössä käytetään erikokoisia ruiskuja.

5.7 Turvallisuus

Turvallisen käytön kannalta oli tärkeää suunnitella syöttöyksikön etupuolelle avonaiseen kohtaan suoja. Rakenteesta ei voitu tehdä täysin suljettua, koska ruisku pitää olla helposti laitettavissa syöttöyksikköön. Avonaisen seinän kohdalle suunniteltiin läpinäkyvästä muovista levy, joka estää musteen tai ruiskun osien lentämisen syöttöyksiköstä ulos, mikäli kertakäyttöinen ruisku hajoaa. Suoja estää myös, ettei ulkopuolelta pääse syöttöyksikköön

kuulumattomia asioita. Suojalevyssä käytettävä muovi on läpinäkyvää, minkä ansiosta voidaan materiaalin vähenemistä seurata ilman, että suojaa irroitetaan.

Suojalevyssä on vastakkaisissa nurkissa 6 mm:n halkaisijalla oleva reikä, joka kapenee ylöspäin. Syöttöyksikön etupuolella oikeassa ylänurkassa ja vasemmassa alanurkassa on suojalevyille ruuvit. Suojalevy asetetaan liuttamalla paikoilleen ruuvien varaan. Ruuvin kannan ja seinämän välissä on 2 mm:n väli, joten suojalevy asettuu tukevasti paikalleen.

5.8 Materiaalisyöttöyksikön systemaattinen suunnittelu

Työn tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa materiaalisyöttöyksikkö kustannustehokkaasti. Systemaattisen koneensuunnittelun metodologia käyttäen päästiin haluttuun lopputulokseen. Systemaattisen koneensuunnittelun edetessä suoraviivaisesti askel askeleelta on suunnittelu tehokasta.

Syöttöyksikköä suunniteltaessa kertakäyttöisen ruiskun ympärille pystyi huomaamaan jo vaatimuslistaa tehdessä, että rakenteesta saadaan tehtyä yksinkertainen ja kustannustehokas. Koko suunnittelun ajan pyrittiin pitämään kaikki vaatimuslistassa olevat vaatimuksen suunnittelussa mukana.

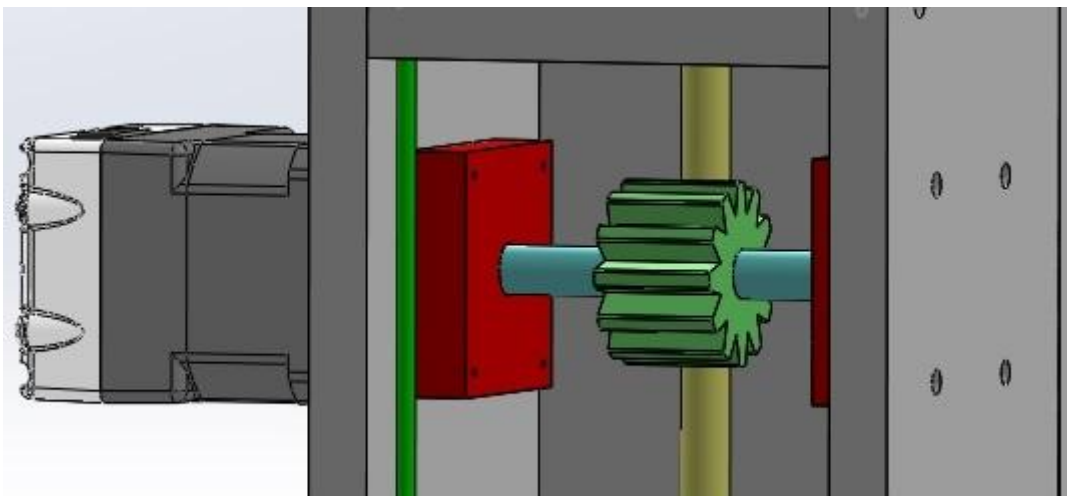
Ennen varsinaista suunnittelua jaettiin kokonaistoiminnon osatoimintoihin, jotta toiminnoille voisi löytää parhaimmat ratkaisut. Kokonaistoiminnon jako osatoimintoihin näkyy kuvassa 18. Kiinnikkeitä suunniteltaessa jokaisesta kiinnikkeestä tuli niin yksinkertainen ja toimiva, joten niistä ei erilaisia versioita tehty. Ainoa, josta suunnittelin kaksi versiota, oli lineaariliikkeen aikaansaava rakenne. Kahdesta versiosta yksinkertainen rakenne osoittautui toimintavarmaksi ja kustannustehokkaaksi ratkaisuksi.



KUVA 18. Kokonaistoiminnon jako osatoimintoihin

Ruiskun männän liikuttamista mietittäessä oli yksinkertaisin tapa liikuttaa ruiskun mäntää lineaariliikkeellä. Rungon rakenne pysyi koko ajan samana, mutta lineaariliikkeen aikaansaamiseksi tarvittiin trapetsiruuvi ja moottori, jonka avulla trapetsiruuvia liikutettiin. Lineaariliikkeen toteuttamiseksi suunniteltiin kaksi erilaista vaihtoehtoa.

Kuvassa 19 näkyy ensimmäinen versio lineaariliikkeen aikaansaamiseksi. Materiaalisyöttöyksikön kyljessä oleva moottori pyörittää akselia, jossa on hammasratas. Hammasratas vastaa pystysuunnassa olevaan trapetsiruuviin ja näin saadaan trapetsiruuvi liikkumaan pystysuunnassa lineaarisesti.

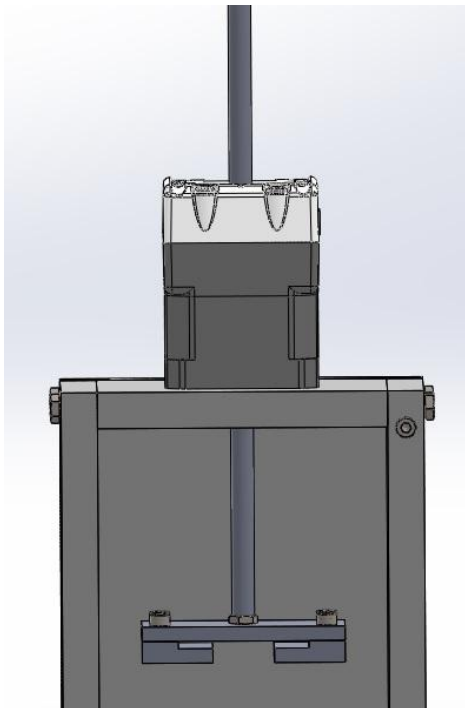


KUVA 19. Lineaariliike hammasratiaan avulla

Ensimmäisessä versiossa lineaariliikkeen aikaansaamiseksi rakenteesta tuli monimutkainen. Moottori sijaitsi syöttöyksikön kyljessä, joten syöttöyksikkö tarvitsi sivulla tilaa, josta olisi voinut tulla ongelma liitettäessä syöttöyksikköä laitteistoon. Siksi suunniteltiin toinen versio, joka oli huomattavasti yksinkertaisempi.

Kuvassa 20 on toinen versio lineaariliikkeen aikaansaamiseksi.

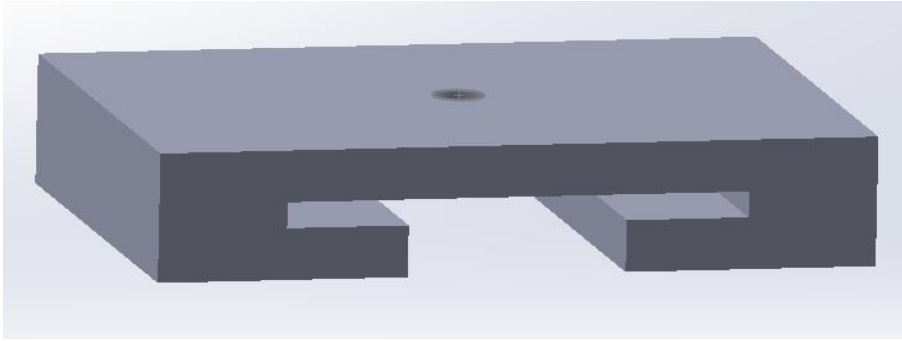
Lineaariaskelmoottoria käytettäessä ei tarvitse erillistä hammasratasta ja akselia lineaariliikkeen aikaansaamiseksi, koska trapetsiruuvia liikuttava trapetsimutteri sijaitsee lineaariaskelmoottorin sisällä. Lineaariaskelmoottori tulee sijoitettua syöttöyksikön päälle, joten se ei vie sivuilla tilaa, kuten ensimmäisessä versiossa.



KUVA 20. Lineaariaskelmoottori lineaariliikkeen aikaansaamiseksi

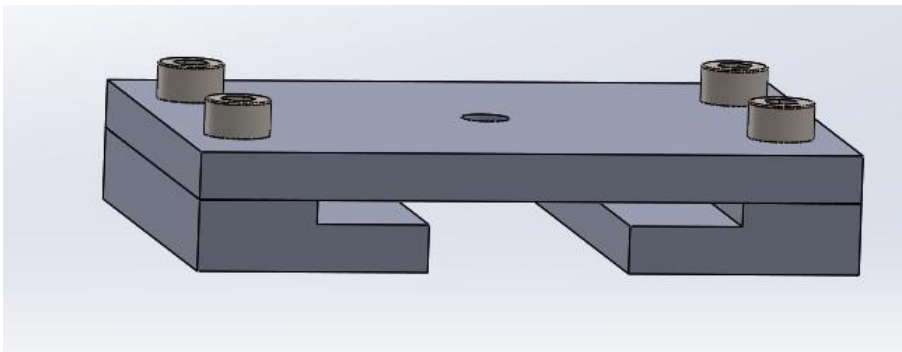
Kiinnikkeitä suunniteltaessa tehtiin kiinnikkeistä mahdollisimman yksinkertaiset, joten eri versioita ei tarvinnut suunnitella. Ruiskun paikoitukseen ja sivuttaistukemiseen tarkoitettu kiinnike oli kaupallisesti saatavilla, joten sitä ei tarvinnut erikseen valmistaa. Ruiskun männän liikuttamiseen tarvittavaa

pidikettä jouduttiin hieman muuttamaan, koska sitä olisi ollut vaikea tehdä koneistamalla. Kuvassa 21 näkyy ensimmäinen versio männän liikuttamiseen käytettävästä pidikkeestä. Koneistaminen ei onnistunut, koska kappale oli yhtenäinen.



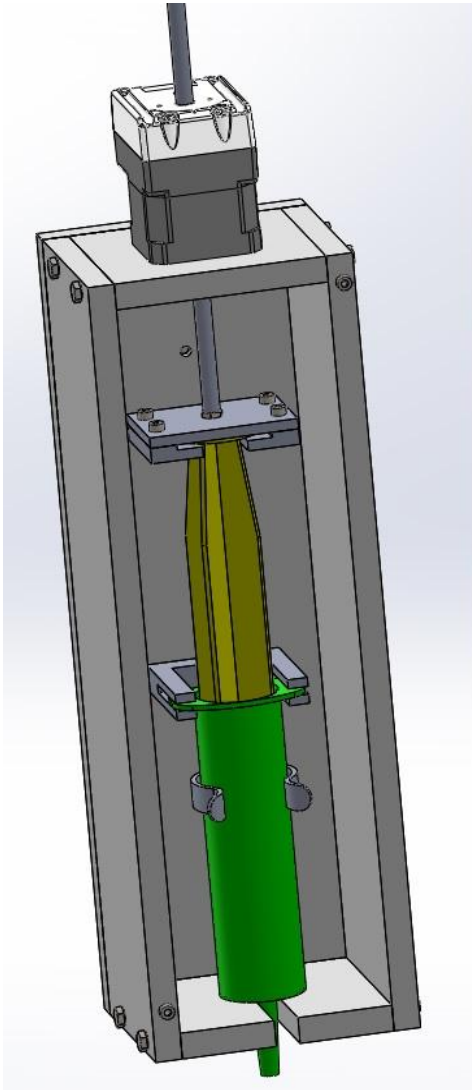
KUVA 21. Männän liikuttamiseen käytettävä pidike.

Kuvassa 22 näkyy toinen versio pidikkeestä. Pidike valmistettiin kolmesta osasta, koska yhtenäisen kappaleen koneistaminen oli vaikeaa. Jokaiseen osaan tehtiin ruuveille kierteet, jotta pidike saatiin lopuksi koottua.



KUVA 22. Männän liikuttamiseen käytettävä pidike.

Kaiken kaikkiaan materiaalisyöttöyksikön suunnittelu ja mallinnus onnistuivat hyvin. Kuvassa 23 näkyy materiaalisyöttöyksikkö mallinnettuna.



KUVA 23. Materiaalisyöttöyksikkö mallinnettuna kokonaisuudessaan

Suunnitellun aikataulun mukaan lopputuloksena saatiin valmistettua yksinkertainen ja kustannustehokas materiaalisyöttöyksikkö, joka näkyy kuvassa 24. Lisäksi saatiin valittua oikeanlainen moottori männän liikuttamiseen. Moottorin valitsemisessa otettiin huomioon tulevaisuuden tarpeet. Vaikka ruisku vaihdettaisiin tilavuudeltaan suurempaan ja tarvittaisiin enemmän voimaa männän liikuttamiseen, moottoria ei kuitenkaan tarvitse vaihtaa. Kiinnikkeiden säädettävyyden ansiosta ruisku voidaan vaihtaa suurempaan ja se saadaan tuettua hyvin.



KUVA 24. Materiaalisyöttöyksikkö valmiina

6 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli perehtyä materiaalin syöttötekniikoihin sekä selvittää erilaisia vaihtoehtoja materiaalin syöttöön. Lisäksi täytyi suunnitella, mallintaa ja toteuttaa materiaalisyöttöyksikkö, jonka tehtävänä on lisätä mustetta terälle, joka painaa musteen seulakankaan lävitse substraatille. Aiemmin musteen lisäys on tapahtunut siten, että yksi työntekijä on seurannut musteen vähenemistä ja tarvittaessa lisännyt mustetta lisää. Tämä menetelmä on vaatinut koko ajan yhden työntekijän musteen seuraamiseen ja lisäämiseen.

Ennen suunnittelutyön aloittamista tutustuin painettavaan elektroniikkaan, joka oli minulle aivan uusi asia. Painettavaan elektroniikkaan tutustuminen oli kiinnostavaa, koska se on tulevaisuutta ja kehittyy koko ajan. Olin yllättynyt, kuinka paljon erilaista teknologiaa voidaan jo painaa nykytekniikalla, ja innolla odotan, mitä tulevaisuus tuo tullessaan painettavaan elektroniikkaan.

Suunnittelu oli mielenkiintoista, koska sain suunnitella syöttöyksikön alusta alkaen. Vaikka kaupallisista annostelujärjestelmistä ei ollut suunnittelussa apua, suunnittelutyötä helpotti kuitenkin, että syöttöyksikön pystyi suunnittelemaan kertakäyttöisen ruiskun ympärille. Kertakäyttöisen ruiskun ympärille syöttöyksikköä suunniteltaessa oli koko ajan tietty päämäärä, millainen materiaalisyöttöyksikön rakenteesta ja kiinnikkeistä täytyisi tulla, jotta ruiskua voidaan syöttöyksikössä käyttää vaaditulla tavalla. Suunnittelu oli myös suhteellisen helppoa, koska ruiskun ympärille suunniteltaessa syöttöyksikköä pystyi syöttöyksikön ja kiinnikkeet mitoittamaan sekä mallintamaan ruiskun mittoja apuna käyttäen.

Suurin haaste suunnittelussa oli oikeanlaisen moottorin valinta, koska minulla ei ole juurikaan sähkömoottoreista kokemusta. Valittaessa oikean kokoista moottoria oli tärkeää perehtyä moottorien valintaan ja vertailuun. Moottorien maahantuojilta sain hyviä vinkkejä oikeanlaisen moottorin valintaa. SolidWorks-ohjelmiston käyttö oli myös haastavaa, koska en ole käyttänyt ohjelmistoa paljon, joten koko suunnittelun ajan opin uusia asioita ohjelmistosta.

Lopputuloksena saatiin suunniteltua, mallinnettua ja valmistettua materiaalisyöttöyksikkö. Moottoria ei sen pitkän toimitusajan vuoksi ole vielä materiaalisyöttöyksikössä. Syöttöyksikön ruiskun kiinnikkeiden vaihdettavuuden ja säädettävyyden ansiosta syöttöyksikössä voi tulevaisuudessa käyttää myös tilavuudeltaan suurempia ruiskuja, joka mahdollistaa suuremmat painomäärät. Moottori myös valittiin niin, että voima riittää myös suuremman ruiskun tyhjentämiseen, joten moottoriakaan ei tarvitse päivittää, mikäli ruiskun koko kasvaa.

Itse olen tyytyväinen suunnittelemani materiaalisyöttöyksikön lopputulokseen. Heti alussa halusin syöttöyksiköstä yksinkertaisen, jotta päästäisiin kustannustehokkaaseen ja toimintavarmaan lopputulokseen, ja minun mielestäni siinä onnistuin. Odotin innolla syöttöyksikön testausta R2R-ajossa, mutta moottorin pitkän toimitusajan vuoksi ei testaus enää onnistunut opinnäytetyöprojektin aikataulun puitteissa.

LÄHTEET

1. PrinLab – A development laboratory of printed electronics. 2015. Oamk. Saatavissa: <http://www.oamk.fi/hankkeet/prinlab/> Hakupäivä 24.2.2015.
2. Määttä, Harri 2015. T762803 Painettavan elektroniikan perusteet 3 op. Opintojakson materiaali. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
3. Pentinpuro, Esko 2014. Kuumapuristusyksikön vaihtoehtoiset lämmitysratkaisut. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/73628/Pentinpuro_Esko.pdf?sequence=1. Hakupäivä 2.3.2015.
4. Tingander, Tuomo 2010. Painettava elektroniikka tuotantotekniikkana. Insinöörityö. Helsinki: Metropolia ammattikorkeakoulu, elektroniikan koulutusohjelma. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/14627/tuomo_tingander.PDF?sequence=1. Hakupäivä 2.3.2015.
5. Printed intelligence. 2015. PrintoCent. Saatavissa: <http://www.printocent.net/presentation.html#4>. Hakupäivä 2.3.2015.
6. Tirola, Juha-Matti 2014. Säiliökaavarin suunnittelu ja toteutus. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/74774/Opinnaytetyo.pdf?sequence=1>. Hakupäivä 2.3.2015.
7. Kuvioidut, taipuisat aurinkopaneelit osaksi sisustusta ja esineiden ulkonäköä. 2015. Teknologian tutkimuskeskus vtt oy. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/medialle/uutiset/kuvioidut-taipuisat-aurinkopaneelit-osaksi-sisustusta-ja-esineiden-ulkon%C3%A4k%C3%B6>. Hakupäivä 2.3.2015.

8. Torppa, Jussi 2012. Painettujen johtimien ominaisuuksien määrittäminen. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tietotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/48490/Painettujen%20johtimien%20ominaisuuksien%20maarittely.pdf?sequence=1>. Hakupäivä 2.3.2015.
9. Jääskä, Jaakko 2013. Painettavan elektronikan ratakameran ohjelmointi. Diplomityö. Oulu: Oulun yliopisto, tietotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: <http://herkules oulu.fi/thesis/nbnfioulu-201312031946.pdf>. Hakupäivä 2.3.2015.
10. Pahl, Gerhard – Beitz, Wolfgang 1990. Koneensuunnitteluoppi. Suom. Uolevi Konttinen. Porvoo: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
11. Jousipidike 30MM 2-PAKK. Jussimaki.net. Saatavissa: http://www.jussinmaki.net/verkkokauppa/jousipidike_30_mm_2_pakk-p-11726-1885/. Hakupäivä 8.4.2015.
12. MDrive motor + driver. 2015. Schneider Electric Motion. Saatavissa: http://motion.schneider-electric.com/products/mdrive/mdrive_linear_motion_control.php?nema=17. Hakupäivä 23.4.2015.
13. Tekniikan kaavasto. 2010. 9. painos. Tampere: Tammertekniikka Oy.
14. MDrive part number builder. 2015. Schneider Electric Motion. Saatavissa: http://www.haydonkerk.com/LinearMotionProducts/Drives/DCS4020SeriesC_hopperDrive/tabid/120/Default.aspx. Hakupäivä 23.4.2015.

LÄHTÖTIETOMUISTIO

Työn tiedot	Tekijä ¹	Tilaja ²
	Nimi: Miika Ahtiainen E-mail: [REDACTED] Puh: [REDACTED]	OAMK PrinLab [REDACTED] [REDACTED]
Tilajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot ³		
Nimi: Kyösti Heikkinen E-mail: [REDACTED] Puh: [REDACTED]		
Nimi: Harri Määttä E-mail: [REDACTED] Puh: [REDACTED]		
Työn nimi ⁴		
R2R silkkipainolaitteen materiaalsyöttöyksikön kehittäminen		
Työn kuvaus ⁵		
Rullalta rullalle silkkipainoyksikön materiaalin lisäys toteutetaan nykyisessä kokoonpanossa operaattorin toimesta manuaalisesti. Materiaalin lisäämisessä on tärkeää välttää materiaalin loppuminen painorullalta, mutta myös toisaalta estää liiallisen materiaalin syöttäminen. Materiaalin syöttäminen tulee olla helposti hallittavissa ja määrä säädettävissä. Tässä työssä selvitetään erilaiset vaihtoehdot materiaalin syöttöön, toteutetaan kustannustehokkain mutta hallittavissa oleva materiaalsyöttöyksikö ja testataan sen toimintaa oikeassa jatkuvatoimisessa painoympäristössä.		
Työn tavoitteet ⁶		
<ul style="list-style-type: none"> - materiaalin syöttötekniikoihin perehtyminen ja erilaiset vaihtoehtojen selvitys - kustannustehokkaan ja toteutuskelpoisen vaihtoehdon valinta, suunnittelu, mallinnus ja toteutus - materiaalin syöttötekniikan testaus R2R ajoissa 		
Tavoiteaikataulu ⁷		
Toukokuun 2015 loppuun mennessä.		
Päiväys ja allekirjoitukset ⁸		
6 / 2 / 2015 1/ [REDACTED] Tekijän allekirjoitus Miika Ahtiainen		6 / 2 / 2015 [REDACTED] Tilajan allekirjoitus Kyösti Heikkinen
<ol style="list-style-type: none"> 1. Tekijän nimi, puhelinnumero ja sähköpostiosoite. 2. Työn teettävän yrityksen virallinen nimi. 3. Sen henkilön nimi ja yhteystiedot, joka yrityksessä valvoo työn suoritusta. 4. Työn nimi voi olla tässä vaiheessa työnimi, jota myöhemmin tarkennetaan. 5. Työ kuvataan lyhyesti. Siinä esitetään muun muassa työn tausta, lähtötilanne ja työssä ratkaistavat ongelmat. 6. Esitetään lyhyesti ja selvästi työn tavoitteet. 7. Esitetään projektin tavoiteaikataulu. Silloin, kun työllä on välitavoitteita, myös ne merkitään aikatauluun. Tavoiteaikataulun ja oppilaitoksen yleisaikataulun perusteella tekijä laatii oman aikataulunsa. 8. Lähtötietomuuisto päivätään ja sen allekirjoittavat tekijä ja tilaajan yhdyshenkilö. 		

General specifications						
			MDrive 14	MDrive 17	MDrive 23	
Input power	Voltage	VDC	12 to 48	12 to 48	12 to 75	
	Current maximum (1)	amp	1	2	2	
Maximum thrust (2)	Non-captive shaft	lbs	50	50	200	
		kg	22	22	91	
	External shaft with general purpose nut	lbs	25	25	60	
		kg	11	11	27	
	External shaft with anti-backlash nut	lbs	5	5	25	
		kg	2	2	11	
Maximum repeatability	General purpose	inch	0.005			
		mm	0.127			
	Anti-backlash (3)	inch	0.0005			
		mm	0.0127			
Thermal	Operating temp non-condensing	Heat sink	-40° to +85°C			
		Motor	-40° to +100°C			
Auxiliary logic input	Voltage range (4)		+12 to +24 VDC			
Analog input	Resolution		10 bit			
	Voltage range		0 to +5 VDC, 0 to +10 VDC, 0-20 mA, 4-20 mA			
Communication	Type		RS-422/485 or ModbusTCP (5)			
	Baud rate		4.8 to 115.2 kbps (6)			
Software	Program storage	Type/size	flash/6384 bytes			
	User registers		Four 32 bit			
	User program labels & variables		192			
	Math functions		+, -, ×, ÷, >, <, =, <=, >=, AND, OR, XOR, NOT			
	Branch functions		Branch and Call			
	General purpose I/O functions	Inputs	home, limit plus, limit minus, go, stop, pause, jog plus, jog minus, general purpose moving, fault, stall, velocity change, general purpose			
		Outputs				
	Trip functions		Trip on input, trip on position, trip on time, trip capture, trip on relative position			
	Party mode addresses		62 (6)			
	Encoder functions		Stall detection, position maintenance, find index			
General purpose I/O	Number		Standard Plus products	Expanded Plus ² products		
			4	8 (or 4 with ModbusTCP protocol or with remote encoder option)		
	Type		Sourcing or sinking inputs, or sinking outputs	Sourcing or sinking outputs/inputs		
	Logic range		Inputs and outputs tolerant to +24 VDC, inputs TTL level compatible	Sourcing outputs +12 to +24 VDC, inputs and sinking outputs tolerant to +24 VDC, inputs TTL level compatible		
Output sink current		Up to 600 mA	Up to 600 mA			
Protection		Over temp, short circuit, transient, over voltage, inductive clamp				
Motion	Closed loop configuration	With internal encoder option	512 lines/2048 edges per rev resolution		512 lines/2048 edges per rev resolution	
		With user-supplied differential remote encoder	—		Encoder resolution defined by user	
	Electronic gearing	External clock in range (7)	—			
		Resolution/threshold	—			
		Input filter range	—			
		Secondary clock out range (7)	—			
	High speed I/O	Position capture	Input filter range	—		
		Resolution		50 nS to 12.9 μS (10 MHz to 38.8 kHz)		
		Trip output – speed/resolution/threshold		32 bit		
	Open loop configuration	Number of settings	20			
		Steps per revolution	200, 400, 800, 1000, 1600, 2000, 3200, 5000, 6400, 10000, 12800, 20000, 25000, 25600, 40000, 50000, 51200, 36000 (0.01 deg/μstep), 21600 (1 arc minute/μstep), 25400 (0.001mm/μstep)			
	Counters	Type	position, encoder/32 bit			
		Edge rate maximum	5 MHz			
	Velocity	Range	+/- 5,000,000 steps per second			
Resolution		0.5961 steps per second				
Accel/Decel	Range	1.5 x 10 ⁶ steps per second ²				
	Resolution	90.9 steps per second ²				

KUVA 1 Moottorin tekniset tiedot (12)