



**SAVONIA**

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# PAHVILAATIKOIDEN MUODOSTUS JA LASTAUS

Automaatio

TEKIJÄ/T: Jyri Jääskeläinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Jyri Jääskeläinen	
Työn nimi Pahvilaatikoiden muodostus ja lastaus	
Päiväys 27.4.2015	Sivumäärä/Liitteet 39
Ohjaaja(t) lehtori Pertti Kupiainen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) EID tech Oy	
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää EID Tech Oy:lle käyttökelpoiset mekaniikkasuunnitelmat pahvilaatikoiden muodostuksen ja lavalle lastauksen hoitavasta automaatiosovelluksesta. EID Tech Oy:llä on tarkoitus käyttää suunnitelmaa hyväkseen tulevaisuudessa, tuotteiden pahvilaatikoihin pakkausta vaativissa, projekteissa. Opinnäytetyössä keskityttiin yhteen tiettyyn projektiin, mutta sovellusta olisi hyvä pystyä hyödyntämään myös muihin vastaavanlaisiin tapauksiin.</p> <p>Työ aloitettiin miettimällä erilaisia mahdollisia toteutustapoja pahvilaatikoiden muodotukseen ja lavalle lastaamiseen. Tärkeää oli sovelluksen taloudellinen kannattavuus, varma toiminta sekä soveltuvuus erilaisiin ympäristöihin. Sovellus suunniteltiin Solidworks 3D-CAD -suunnitteluohjelmistoa käyttäen.</p> <p>Työn lopputuloksena saatiin suunnitelmat pahvilaatikoiden muodostuksen ja lavalle lastaamisen hoitavan automaatiosovelluksen mekaniikasta 3D-malleineen.</p>	
Avainsanat automaatio, pahvilaatikko, muodostus, lastaus, lava, suunnitelma	
Julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Jyri Jääskeläinen			
Title of Thesis Erecting and Loading of Cardboard Boxes			
Date	April 27, 2015	Pages/Appendices	39
Supervisor(s) Mr. Pertti Kupiainen, Senior Lecturer			
Client Organisation /Partners EID Tech Oy			
<p>Abstract</p> <p>The objective of this final year project was to develop a design of automation application that does the erecting of cardboard boxes and loads them on a pallet. The project was commissioned by EID Tech Oy which will use the results of this thesis in its future projects that are related to loading products in cardboard boxes. This final year project concentrates on one given project but the application is to be used in other cases, too.</p> <p>At the beginning of the work, different approaches for executing the erecting and loading of the cardboard boxes were considered. It was important to consider the cost-effectiveness, reliability and usefulness of the application in different surroundings.</p> <p>The design was made by using the design application Solidworks 3D-CAD.</p> <p>As a result of the project there were designs and 3D-models of the mechanics of the application that performs the erecting and loading of cardboard boxes.</p>			
Keywords automation, cardboard box, forming, loading, pallet, design			
Public			

## ESIPUHE

Kiitokset EID Tech Oy:n toimitusjohtaja Jari Helmiselle ja hallituksen puheenjohtaja, myynti vastaava Paavo Käkelälle hyvän opinnäytetyöaiheen tarjoamisesta. Haluan kiittää myös EID Tech Oy:n työntekijöitä ja erityisesti mekaniikkasuunnittelija Mika Hätistä, joilta opittuun tietoon opinnäytetyö hyvin pitkälti perustuu. Kiitokset myös lehtori Pertti Kupiaiselle opinnäytetyön tekemisen ohjaamisesta.

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	6
2	LÄHTÖKOHDAT .....	7
2.1	Alkuasetelma .....	7
2.2	Vaatimukset .....	7
3	TOTEUTUSTAPA .....	9
3.1	Pahvilaatikon muodostus .....	9
3.2	Lavalle lastaus .....	10
3.3	Kokonaisratkaisu .....	12
4	PAHVILAATIKON MUODOSTUS .....	15
4.1	Avaus .....	15
4.1.1	Pahviteline .....	16
4.1.2	Tarttuja .....	20
4.2	Pohjan muodostus.....	24
5	LAVALLE LASTAUS.....	28
5.1	Tarttuja .....	28
5.2	Lavan paikoitus .....	33
6	KOKONAISUUS.....	37
7	YHTEENVETO .....	38
	LÄHTEET .....	39

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on EID Tech Oy, joka on vuonna 2009 perustettu Kuopiossa sijaitseva yritys, jonka henkilökuntaan kuuluu n. 10 henkilöä. Yrityksen toimintaan kuuluu kappaletavara-automaatio-sovelluksien myynti, vuokraus ja suunnittelu.

Työn tavoitteena on kehittää EID Tech Oy:lle toimiva periaateratkaisu pahvilaatikoiden muodostuksen ja lavalle lastauksen hoitamiseen automaation keinoin sekä suunnitella ja mallintaa ratkaisun mekaaninen rakenne. EID Tech Oy arvioi, että kyseiselle ratkaisulle tulisi olemaan tarvetta sen tulevaisuissa projekteissa, minkä vuoksi se päätettiin valita tämän opinnäytetyön aiheeksi.

Opinnäytetyössä käytetään esimerkkitapauksena yhtä tiettyä EID Tech Oy:lle mahdollisesti tulevaa projektia. Ratkaisun tulee kuitenkin olla helposti sovellettavissa myös muihin projekteihin, joissa on tarvetta pahvilaatikoiden muodostukselle ja lavalle lastaamiselle.

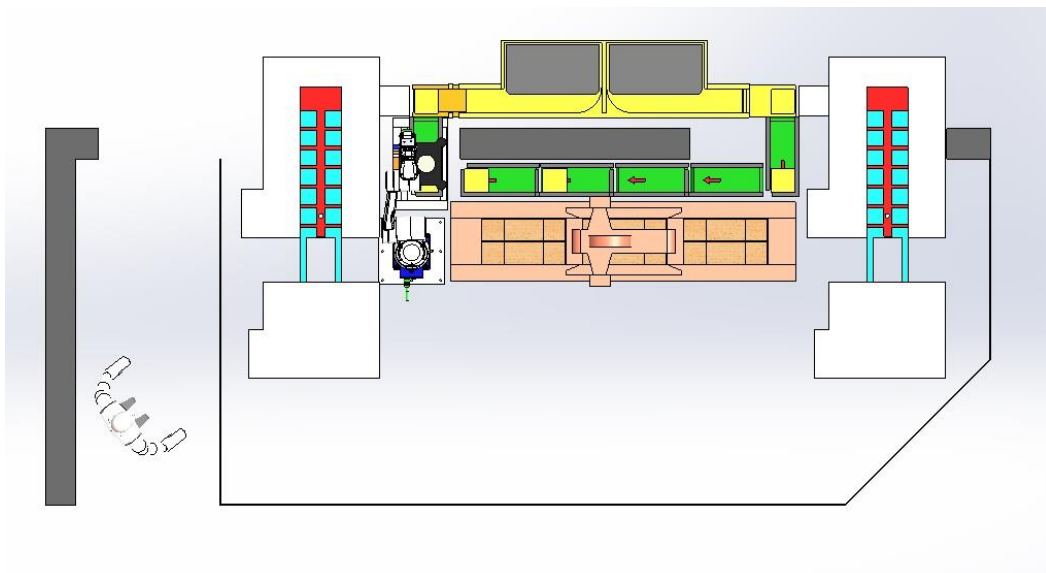
## 2 LÄHTÖKOHDAT

### 2.1 Alkuasetelma

EID Tech Oy tarvitsi ratkaisun pahvilaatikoiden muodostuksen ja lavalla lastaamisen hoitamiseen eräässä projektissaan. Samantapaisille ratkaisuille nähtiin mahdollisesti olevan tarvetta myös tulevilla projekteilla, joten vaikutti järkevältä panostaa ratkaisun kehittämiseen. Seuraavassa luvussa käsitellään tarkemmin ratkaisulle asetettuja vaatimuksia.

### 2.2 Vaatimukset

Tärkeimpinä vaatimuksina oli, että automaatiosovellus hoitaa sille annetut tehtävät hyvällä toimintavarmuudella ja että se mahtuu layout-kuvassa annetun alueen sisäpuolelle (kuva 1).



KUVA 1. Pahvilaatikoiden muodostuksen ja lavalla lastaamisen hoitavalle automaatiosovellukselle rajattu tila

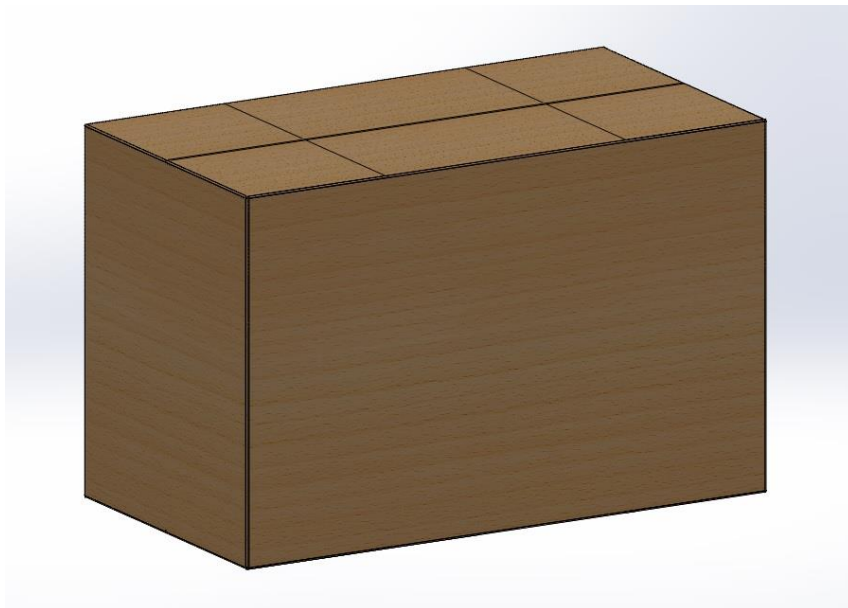
Sovellukselta vaadittavaan prosessiin kuuluu pahvilaatikon muodostaminen, pahvilaatikon siirtäminen pakkauspaikalle, jossa pakattavat tuotteet pakataan muodostettuun laatikkoon, täyteen pakatun ja kiinni teipatun pahvilaatikon poimiminen teippauskoneelta ja sen siirtäminen kuormalavalle.

Ratkaisun tuli olla myös kustannuksiltaan mahdollisimman edullinen. Kustannuksien minimoimisen vuoksi pyrittiin mahdollisimman yksinkertaiseen ja komponenttimäärältään kohtuulliseen ratkaisuun. Normaaleissa työoloissa tulisi ottaa huomioon myös mahdolliset suunnittelukustannukset ja pyrkiä välttämään suunnittelun kannalta äärimmäisen työläitä vaihtoehtoja.

Suunnittelussa tulisi mahdollisuuksien mukaan pyrkiä myös minimoimaan laitteiden kokoonpanoon kuluva aika, jotta kokoonpanokustannukset, kokoonpanoon kuluva aika ja kokoonpanon suorittavan henkilökunnan kuormitus pysyisi kohtuullisena. Tähänkin laitteiden yksinkertaisuus ja komponentti määrä vaikuttaa merkittävästi.

Vaadittu tahtiaika on yleensä merkittävä asia automaattioratkaisuja kehitettäessä. Joskus muuten kaikin puolin hyvä ratkaisu joudutaan hylkäämään, jos tiedetään, että sillä ei saada tehtyä kaikkia siltä vaadittuja tehtäviä vaaditun tahtiajan sisällä. Tässä projektissa vaadittu tahtiaika on samalla linjalla valmistettavien ja pakattavaksi tulevien tuotteiden valmistuksen hitauden vuoksi sen verran pitkä, ettei se aseta erityisiä vaatimuksia pakkauspuolella käytettäville ratkaisuille.

Projektissa käsiteltävä pahvilaatikko (kuva 2) painaa tuotteet sisään pakattuna 10 kg ja sen mitat ovat 700 x 380 x 450 mm.



KUVA 2. Projektissa käsiteltävä pahvilaatikko



### 3 TOTEUTUSTAPA

Pahvilaatikoiden muodostuksen ja lavalle lastauksen suorittamiseen vaadittaviin prosesseihin ryhdyttiin etsimään parhaita mahdollisia toteutustapoja. Alussa pyrittiin ottamaan huomioon kaikki mahdolliset toteutusratkaisut ja arvioimaan niiden soveltuvuutta kyseessä olevaan projektiin. Samalla mietittiin, millä ratkaisuyhdistelmällä saadaan muodostettua kaikin puolin paras kokonaisuus.

#### 3.1 Pahvilaatikon muodostus

Ensimmäiseksi keskityttiin pahvilaatikon muodostamiseen. Toteutusvaihtoehtoja olivat valmiina hankittavan pahvilaatikon muodostajan (kuva 3), itse suunnitellun ja valmistetun manipulaattorin tai robotin käyttö. Vaihtoehtona perinteisen robotin käytölle oli myös lineaariakseleista rakennetun karteesisen robotin (kuva 5, sivu 11) käyttö.



KUVA 3. Freemantle pahvilaatikon muodostaja

Muodostajakoneen käytön pääasiallinen hyöty on sen nopeus. Oletuksena oli myös, että muodostajakone olisi varmatoiminen. Huonoja puolia oli sen suuri koko, hinta ja se, että muodostettujen pahvilaatikoiden siirtäminen ja paikottaminen pakkauspaikalle olisi todennäköisesti vaatinut lisäratkaisujen kehittelyä. Myöskään muodostajakoneen nopeudelle ei olisi käyttöä hitaan tahtiakavaatimuksen vuoksi. Näiden seikkojen vuoksi muodostajakoneen käyttäminen ei vaikuttanut järkevältä vaihtoehdolta. Niinpä vaihtoehtojen etsimistä jatkettiin.

Seuraavaksi mietittiin manipulaattorin kehittämistä laatikoiden muodostamista varten. Nopeasti kävi selväksi, että manipulaattorirakennelmasta tulisi kuitenkin suurikokoinen, monimutkainen ja komponenttimäärältään suuri. Lisäksi se tulisi vaatimaan paljon suunnittelutyötä. Aiemman kokemuksen mukaan tällaiset laitteet eivät olisi välttämättä erityisen varmatoimisiakaan. Myös laitteen kokoonpano vaatisi paljon työtä. Oman manipulaattorin kehittäminen ei siis vaikuttanut houkuttevalta vaihtoehdolta. Suuren komponenttimäärän ja suunnittelu- ja kokoonpanotyön runsauden vuoksi ei laite olisi muita ratkaisuvaihtoehtoja edullisempi eikä se välttämättä olisi varmatoiminen.

Kun robotin käyttöä pahvilaatikon muodostuksessa ryhdyttiin miettimään oli ajatuksena, että robotti muodostaisi laatikon käyttäen apuna jonkinlaista robotista erillistä mekaanista rakennelmaa tai yksinkertaista manipulaattoria. Apuvälineen tulisi kuitenkin olla mahdollisimman yksinkertainen, jotta välttyttäisiin manipulaattoreiden huonoilta puolilta. Pidettiin myös mahdollisena, että taittelu voitaisiin saada suoritettua täysin ilman pneumatiikkaa ja sähköä toimivalla taitteluraudalla. Tarkempaa visiota ei vielä tässä vaiheessa ollut. Ajateltiin myös, että osa taitteluista voitaisiin suorittaa robotin tarttujassa.

Hyvä puoli robottia käyttävässä ratkaisussa olisi se, että mikäli muut taitteluun liittyvät mekanismit saataisiin pidettyä yksinkertaisina, välttyttäisiin manipulaattoreiden huonoilta puolilta. Valmiina hankittavan muodostajakoneen käyttöön verrattuna robottia käyttävän ratkaisun etuja olivat sen helpompi yhteen sovittaminen muun linjan kanssa ja tilankäytöltään parempi sopivuus annettuun layoutiin. Toisaalta sen arvioitiin olevan hieman muodostajakonetta hitaampi. Tällä ei kuitenkaan ollut merkitystä, koska laitteelle asetettu tahtiaikavaatimus ei ollut vaativa.

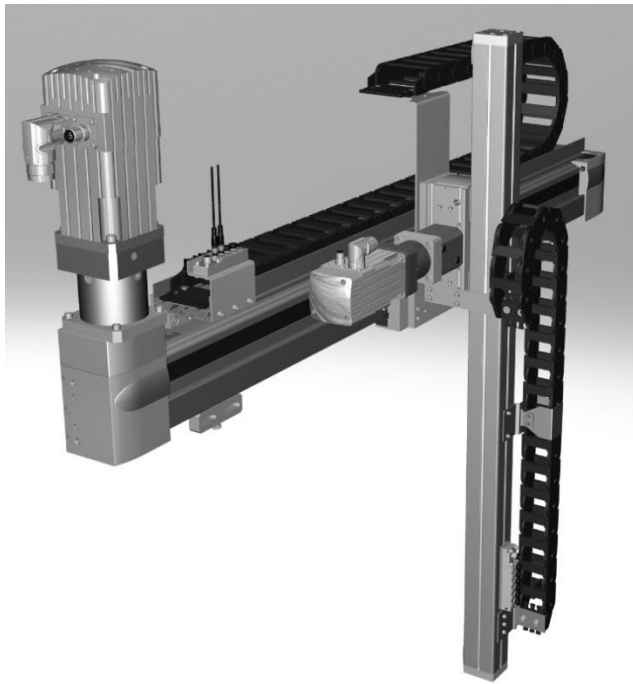
Robotin käyttöä harkittaessa huomattiin periaatteellinen mahdollisuus käyttää samaa robottia myös valmiiden laatikoiden lavalle lastaamisessa. Tämän yhteiskäytön myötä saataisiin lisäksi kustannussäästöjä.

### 3.2 Lavalle lastaus

Täyteen pakattujen ja kiinni teipattujen pahvilaatikoiden lavalle lastaamisen toteuttamiseen harkittiin lähinnä manipulaattorin tai robotin käyttöä. Kun mietittiin mahdollisia toteutustapoja manipulaattorille, harkittiin kuormalavan liikuttelua sivu- ja pystysuunnassa sekä erillaisia ratkaisuja laatikon lavalle siirtämistä varten. Manipulaattorirakennelmasta olisi tullut taas suurikokoinen, monimutkainen ja paljon kalliita komponentteja sisältävä eikä toteutuskelpoista ratkaisua vielä mietintävaiheessa löydetty. Ongelmaksi muodostui lähinnä suuret välimatkat lastauspisteiden välillä. Manipulaattorilta olisi vaadittu pitkiä liikematkoja useaan suuntaan, minkä vuoksi rakennelmasta olisi tullut hankala toteuttaa.

Robotin käyttäminen vaikutti myös tässä tapauksessa järkevimmältä vaihtoehdolta. Tosin lastauspisteiden välimatkojen takia robotilta vaadittiin hyvää ulottuvuutta. Tämän ja lastattavien pahvilaatikoiden 10 kg painon vuoksi EID Tech Oy:n käyttämien Denso-robottien mallistosta ainut mahdollinen vaihtoehto oli VM-60B1G, joka on Denson malliston suurin robottimalli. Tällaisen robotin käyttö vaikutti järkevältä, koska muita pneumatiikalla tai sähköllä toteutettavia liikkeitä ei tarvittaisi lainkaan. Tämä tekisi ratkaisusta varsin yksinkertaisen, minkä vuoksi ratkaisun toteuttamiseen tarvittavaa suunnittelu- ja kokoonpanotyötä olisi vähemmän. Lisäksi ratkaisu olisi varmatoiminen.

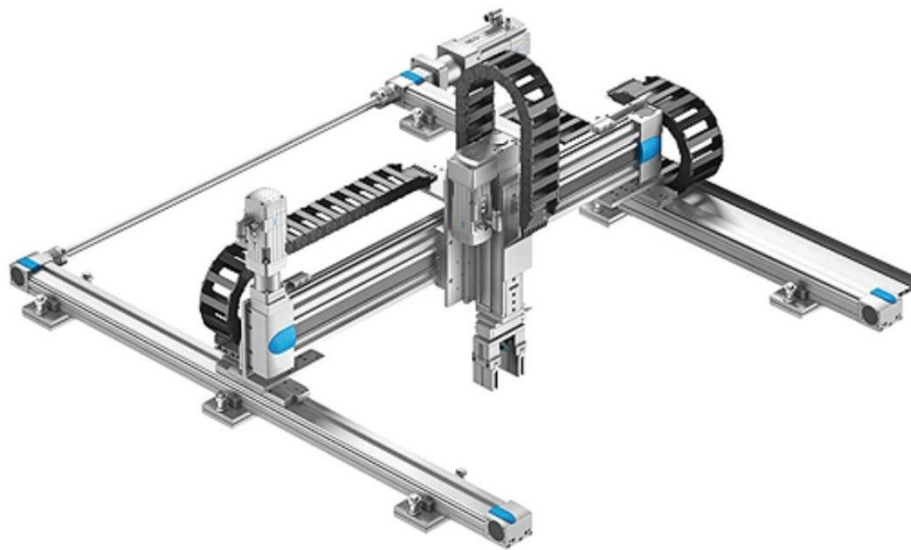
Toisena robottivaihtoehtona harkittiin Feston tuotteisiin kuuluvan karteesisen robotin (kuva 4) käyttöä. Karteesisen robotin tärkein etu oli sen perinteistä robottia edullisempi hinta. Laatikoiden lastaamisessa ei myöskään ole tarvetta VM-60B1G:n kuudelle vapausasteelle, vaan karteesisen robotin kaksi vapausastetta riittäisi.



KUVA 4. Feston karteesinen 2D-robotti (Festo 2014.)

### 3.3 Kokonaisratkaisu

Koska molemmissa pahvilaatikon muodostus- ja laatikon lavalle lastausprosessissa päädyttiin siihen, että robotin käyttö olisi niiden toteuttamisessa järkevää, palattiin jälleen ajatukseen kummankin prosessin suorittamisesta samalla robotilla. Tällä saavutettavat kustannussäästöt vaikuttivat houkuttelevilta, varsinkin kun pahvilaatikoiden lastauksessa vaadittaisiin robotilta joka tapauksessa suurta kokoa. Tosin karteesisista robottia käytettäessä jouduttaisiin lavalle lastaukseen tarvittun kahden vapausasteen robotin sijaan käyttämään kolmen vapausasteen robottia (kuva 5).



KUVA 5. Feston karteesinen 3D-robotti (Linear motion tips 2014.)

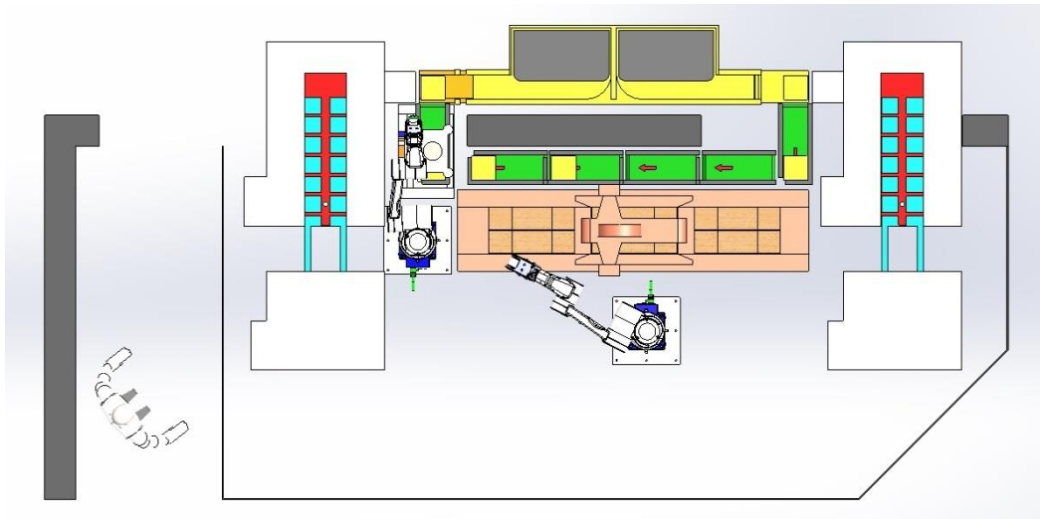
Yksirobotisella ratkaisulla ei nähty olevan haittavaikutuksia tahtiaikaan, koska lavalle lastaus kerettäisiin suorittaa sillä välin, kun muodostettuun pahvilaatikkoon pakataan tuotteita. Tahtiaika ei tosin ollut kriittinen tässä projektissa.

Yksirobotisessa toteutustavassa olisi kuitenkin joitakin haasteita. Epävarmaa oli, riittäisikö yhden perinteisen käsivarsirobotin ulottuvuus kummankin prosessin hoitoon samalta paikalta. Haasteelliselta vaikutti myös se, että kummankin prosessin suorittamisessa tulisi käyttää samaa tarttujaa. Ratkaisun hyödyt olivat kuitenkin sen verran merkittäviä, että se yritettiin toteuttaa.

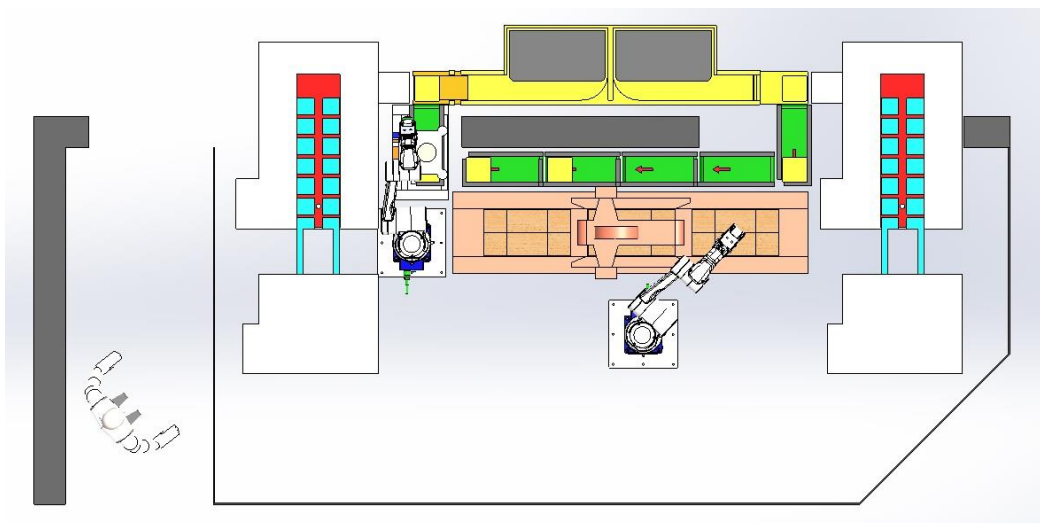
Merkittävä asia ulottuvuuden kannalta oli teippauskoneen pituus. Robotin tulisi ylettyä asettamaan muodostettu pahvilaatikko teippauskoneen alkupäähän, missä pakkauslinjan toiseen osioon kuuluva robotti pakkaa tuotteet laatikkoon. Tämän jälkeen robotin pitäisi ylettyä noutamaan pakattu ja kiinni teipattu pahvilaatikko teippauskoneen loppupäästä.

Koska karteesisen robotin etuihin kuului hyvä ulottuvuus, tarkasteltiin ensin sen käyttömahdollisuuksia. Kuten sivulla 11 olevasta kuvasta viisi nähdään, koostuu kolmen vapausasteen karteesinen robotti neljästä lineaariakselista. Yksirobottisessa ratkaisussa tällaisen robotin huono puoli oli sen vapausasteiden vähyyden, koska se hankaloittaisi robotin hyödyntämistä pahvilaatikon muodostamisessa. Karteesinen robotti vaatisi myös tuekseen suurikokoisen rakennelman, jotta se saataisiin ripustettua sopivalle korkeudelle. Vaikka karteesinen robotti itsessään saattaisi olla perinteistä robottia hieman edullisempi ja ulottuvuudeltaan parempi, ei se vaikuttanut erityisen hyvältä vaihtoehdolta sen vapausasteiden vähyyden ja sen vaatiman tukirakennelman vuoksi.

Perinteisen käsivarsimallisen Denso VM-60B1G -robotin käyttökelpoisuuden kannalta, kriittinen tekijä oli sen ulottuvuus. Kuten kuvista kuusi ja seitsemän nähdään, ulottuvuus osoittautui tässä tapauksessa riittäväksi.



KUVA 6. Denso VM-60B1G -robotin ulottuvuus pakkauspaikalle



KUVA 7. Denso VM-60B1G-robotin ulottuvuus laatikon noutopaikalle

Mikäli muissa vastaavanlaisissa projekteissa teippauskoneen pituus olisi huomattavasti suurempi, voitaisiin robotin ulottuvuutta joutua parantelemaan pitkävartisella tarttujalla tai mekanismilla, jolla robottia liikutettaisiin teippauskoneen suuntaisesti. Tämä olisi mahdollista toteuttaa esimerkiksi kiskoja ja paineilmasylinteriä käyttäen. Tällaista ratkaisua ei kuitenkaan tässä tapauksessa tarvittu.

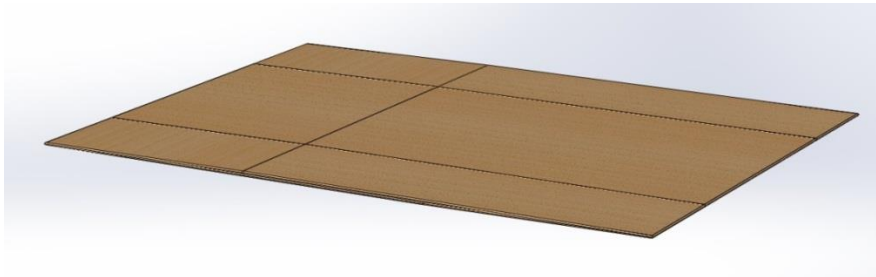
Loppujen lopuksi yhden VM-60B1G-robotin käyttäminen vaikutti hyvältä ratkaisulta. Sillä saavutetaan yhden robotin käyttämisen edut eikä sen käyttö vaadi monimutkaisia rakennelmia, mikä vähentää suunnittelun ja kokoonpanon vaatimaa työmäärää. Se on myös karteesista robottia ja sen vaatimia rakennelmia helpompi siirtää ja asentaa käyttöönottokohteeseensa. Näiden seikkojen vuoksi päätettiin, että ratkaisu toteutetaan yhtä VM-60B1G-robottia käyttäen. Muita ratkaisuja ryhdyttiin kehittämään tämän päätöksen ympärille.

## 4 PAHVILAATIKON MUODOSTUS

Hyvän pahvilaatikon muodostustavan kehittäminen oli olennainen osa tätä opinnäytetyötä. Mahdollisista muodostustavoista karsittiin pois yksitellen tähän projektiin huonosti soveltuvat vaihtoehdot. Näistä puhuttiin luvussa 3.1. Tässä luvussa keskitytään kehitysvaiheessa pidemmälle edenneisiin sekä toteutuskelpoisina pidettäviin ratkaisuihin.

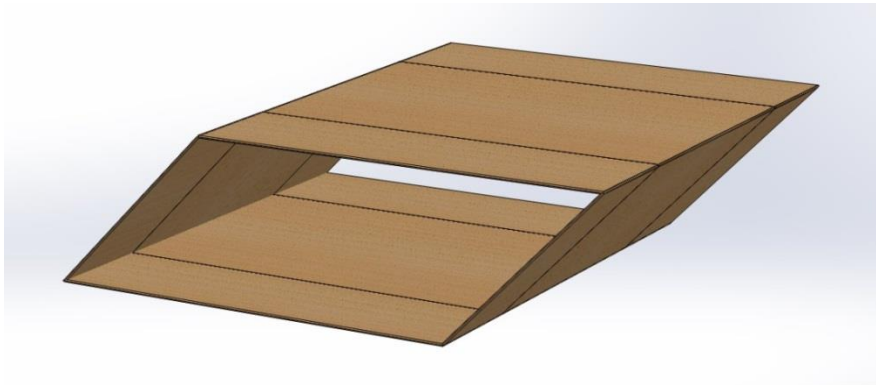
### 4.1 Avaus

Pahvilaatikat tuodaan linjalle litteinä levyinä (kuva 8).

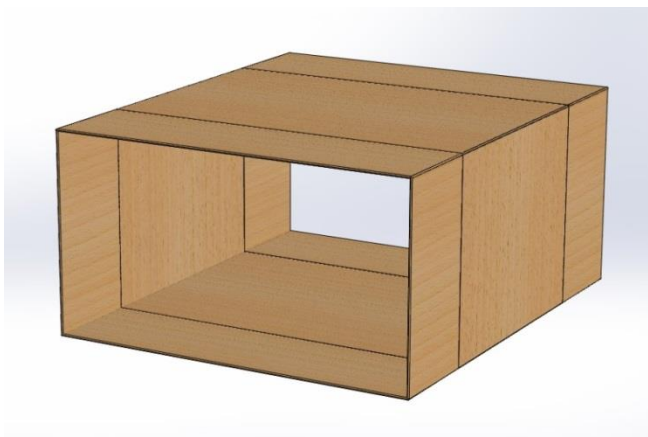


KUVA 8. Pahvilaatikko levyinä

Ensimmäinen vaihe pahvilaatikon muodostuksessa on sen avaus (kuvat 9 ja 10). Tiedossa oli, että laatikko täytyy pitää avoinna myös pohjalevyjen taittelun ajan.



KUVA 9. Avautuva pahvilaatikko



KUVA 10. Avattu pahvilaatikko

#### 4.1.1 Pahviteline

Pahvilaatikoiden muodostusprosessi lähtee siitä, että linjalle tuodaan pino litteinä levyinä olevia pahvilaatikoita. Pinolle täytyy siis olla paikka, johon ne prosessin alussa laitetaan. Tästä paikasta käytetään nyt nimitystä pahviteline. Pahvipinon tuo pahvitelineelle ihminen. Pinon asettaminen telineeseen tulisi olla mahdollisimman helppoa ja nopeaa. Myös pahvien paikottaminen tapahtuu tässä vaiheessa, mikä on varsin tärkeä asia jatkoprosessien onnistumisen kannalta. Tämän takia pahvien paikottuminen kannattaa tarkistaa antureilla eikä jättää paikottumisen arviointia pelkästään ihmissilmän varaan.

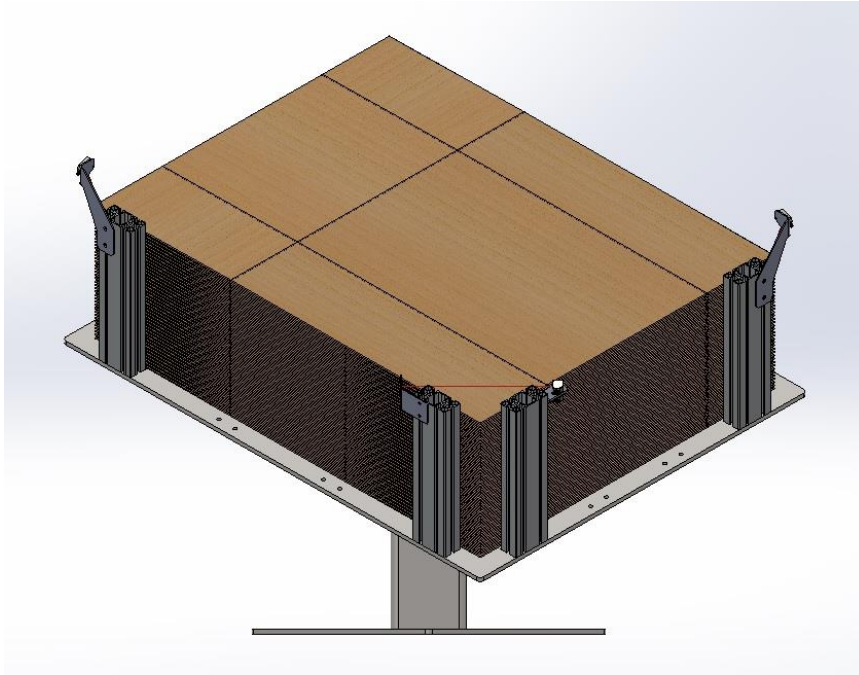
Myös pahvipinon korkeus kannattaa tarkistaa anturein, koska väärä pinon korkeus aiheuttaisi robotille ongelmia poimintavaiheessa. Tässä tapauksessa riittää, että pinon korkeus tarkistetaan prosessin alussa pahvipinon tuomisen jälkeen. Tämän jälkeen robotin poimintapiste muuttuu ohjelmallisesti aina poiminnan jälkeen pahvin paksuuden verran. Tällainen toteutus on mahdollinen, koska pahvien lisääminen tai pois ottaminen kesken prosessin ei ole mahdollista. Suojaus tavasta riippuen pahvien lisäys tai pois ottaminen huomattaisiin valoverhon singaalista, tai pahvitelineelle pääsy estettäisiin sähköisesti lukitulla ovella. Jos linja saisi valoverholta singaalin, prosessi pysähtyisi ja käynnistyisi uudelleen vasta, kun pinon korkeus on asetettu taas oikeaksi. Normaalin prosessisyklin aikana pahveja olisi tarkoitus lisätä aina yksi määrältään vakiopaketillinen kerrallaan.

Pahvilaatikon muodostuksen avaamisvaihetta mietittiin jo pahvitelinettä suunniteltaessa. Yksi vaihtoehto avaamisen toteuttamiseen oli pahvitelineeseen liitetty väkänen, joka pitäisi pahvilaatikon maata kohti olevan kyljen reunasta kiinni samalla, kun robotti vetää laatikkoa ylöspäin. Tämän tapaisia ratkaisuja oli nähty joidenkin valmistajien pahvilaatikon muodostajakoneissa. Laatikko kyllä saataisiin avattua tällä tavalla, mutta laatikolle tarvittiin myös tuki pitämään se muodossaan pohjan muodostuksen aikana, joten pelkkä väkäsen käyttö ei olisi yksinään ollut riittävä ratkaisu. Toinen toimintaperiaatteeltaan samantapainen ratkaisu oli rauta, jota vasten levynä olevan pahvilaatikon lyhyttä sivua painettaisiin, jolloin laatikko avautuisi. Tässä oli kuitenkin sama ongelma kuin väkäsen käytössä: laatikko olisi tässäkin tapauksessa tarvinnut vielä tuen pohjan muodostuksen ajaksi.

Koska laatikko tulisi olemaan robotin tarttujassa pohjan muodostuksen aikana, oli selvää, että pahvilaatikon muodossaan pitävä tuki kannattaisi olla tarttujassa. Ajateltiin myös, että jos tarttujassa täytyy olla tuki laatikkoa varten, voisi tuesta tehdä sellainen, että se hoitaisi myös pahvilaatikon avaamisen. Tämä vaikutti järkevältä ratkaisulta, joten avaamisvaiheessa päätettiin olla käyttämättä pahvitelineeseen liitettyjä mekanismeja.

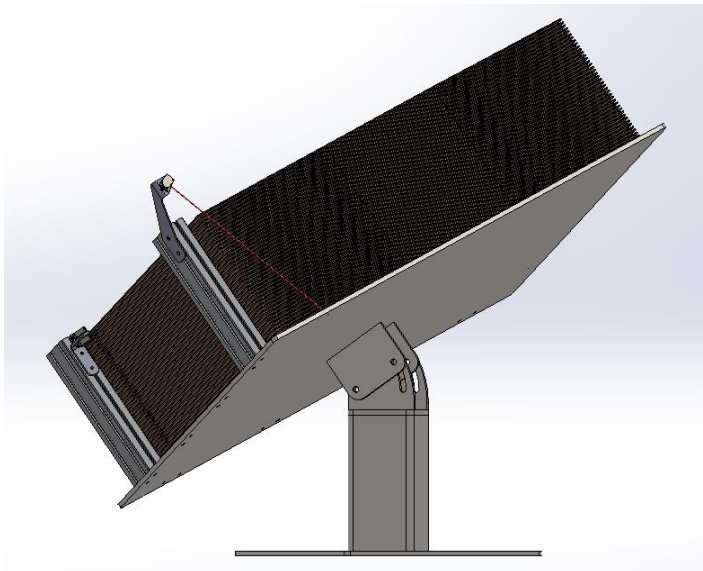


Lopulta pahvitelineestä muodostui kuvien 11 - 12 mukainen. Pahviteline asetettiin kaltevaan kulmaan auttamaan pahvien paikottumista.



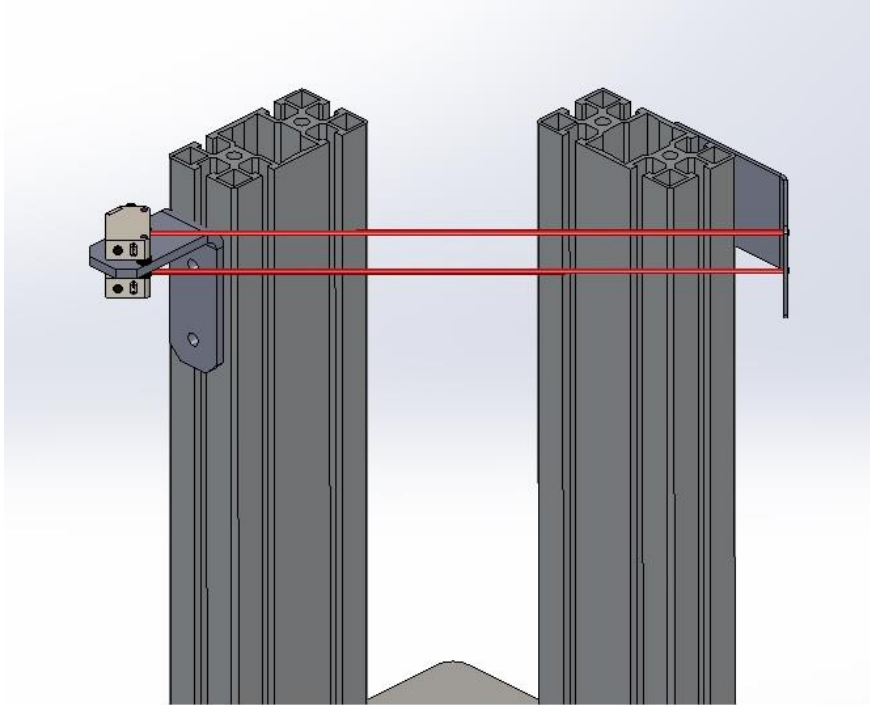
KUVA 11. Pahviteline täytettynä

Pahvitelineen kaltevuuskulmalle jätettiin säätömahdollisuus (kuva 12) siltä varalta, että kaltevuuskulmalla onkin jotain ennalta arvaamattomia haittavaikutuksia.



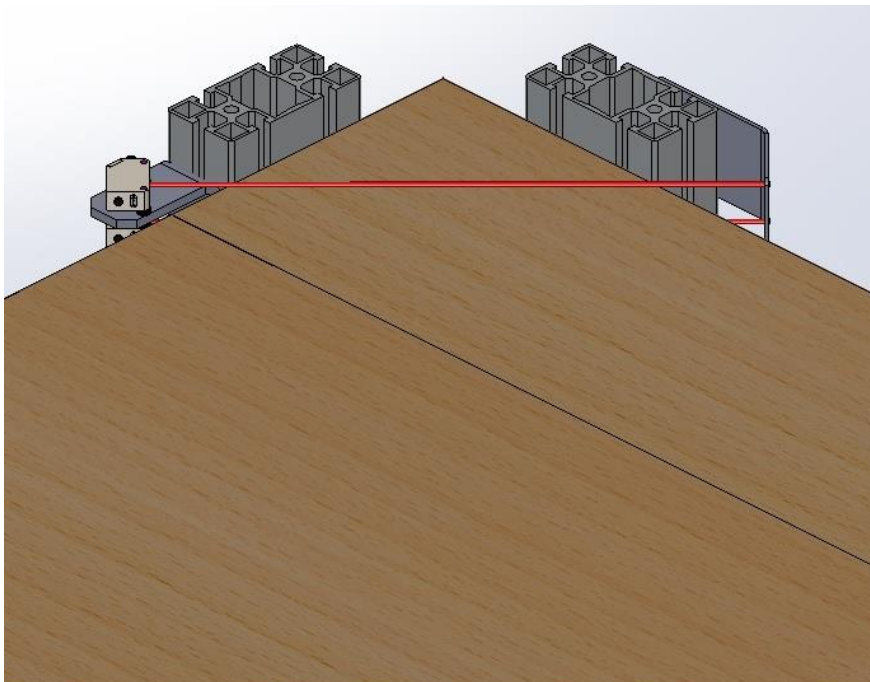
KUVA 12. Pahvitelineen kaltevuuskulman säätö

Kuvassa 13 näkyy anturiratkaisu, jolla pahvipinon korkeus tarkistetaan ennen prosessin alkua. Kuvassa vasemmalla puolella on optiset anturit ja niiden vastapuolella kuvan oikeassa laidassa on peili, joka heijastaa anturin lähettämän valon takaisin. Mikäli anturin ja peilin yhteys katkeaa, antaa anturi siitä signaalin.



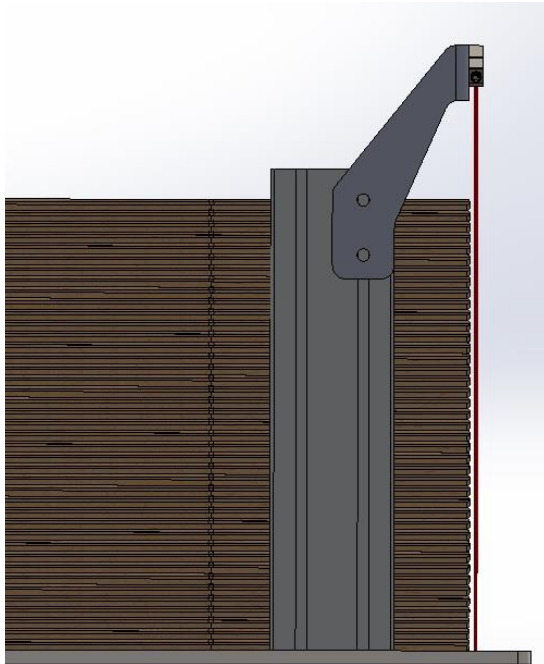
KUVA 13. Pahvipinon korkeuden tarkistusanturit

Pahvipinon korkeus on oikea, kun antureista alempi on peitettynä (kuva 14). Mikäli myös ylempi anturi peittyy, on pino liian korkea. Jos taas molemmat anturit ovat peittämättöminä, on pino liian matala.



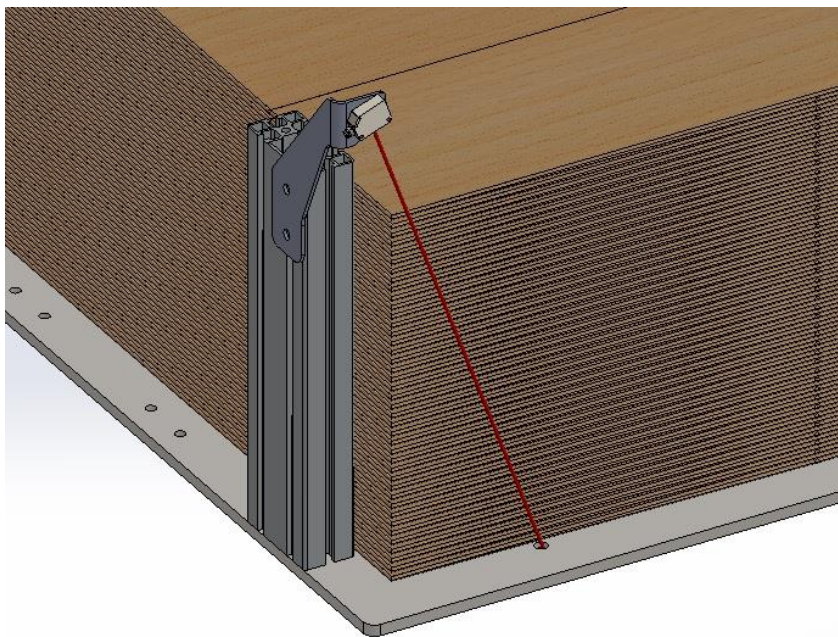
KUVA 14. Oikea pinon korkeus

Kuvassa 15 näkyy, miten pinon paikoittuminen tarkistetaan.



KUVA 15. Pahvien paikoittumisen tarkistusanturi

Kuten kuvasta 16 nähdään, anturi on pahvipinon yläpuolella mutta ei suoraan pahvipinon päällä, jotta pahvi ei osuisi anturiin nostamisen aikana. Pahvitelineen peruslevyssä on pieni upotus, johon laitetaan halkaisijaltaan 10 mm:n heijastin. Pahvien paikoittuminen tarkistetaan kahdesta nurkasta (kuva 11, sivulla 16).



KUVA 16. Pahvien paikoittumisen tarkistusanturi

Koska laatikon avaamisvaihe päätettiin toteuttaa robotin tarttujassa, pahvitelineen lopullisesta versiosta tuli rakenteeltaan kohtuullisen yksinkertainen.

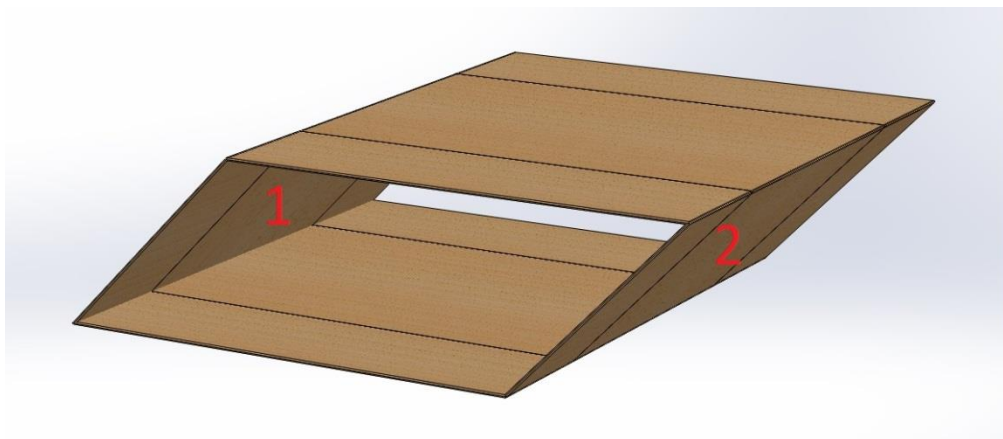
#### 4.1.2 Tarttuja

Kun tarttujaa ryhdyttiin suunnittelemaan, tiedettiin, että sillä tultaisiin hoitamaan täysien laatikoiden lavalle lastaaminen, laatikon käsittely muodostamisen aikana sekä muodostuksen avausvaihe. Koska lastaamisvaihe on tehtävistä raskain, oli se merkittävä tekijä tarttujan runkorakenteen määrittelemisessä. Lastaamisvaiheen asettamat vaatimukset vaikuttavat myös laatikon muodostuksen avausvaiheen toteutukseen, mutta niitä käsitellään tarkemmin lavalle lastaamista käsittelevässä luvussa. Tässä luvussa siis keskitytään pahvilaatikon muodostuksen avausvaiheen toteutukseen.

Laatikon muodostuksen avausvaiheessa on tarkoitus taittaa levynä oleva laatikko muotoonsa sivulla 14 näkyvien kuvien 8 - 10 mukaisesti. Laatikko pitäisi myös saada pidettyä muodossaan pohjan muodostamisen aikana. Tämän vuoksi laatikon avausmekanismi päätettiin liittää tarttujaan.

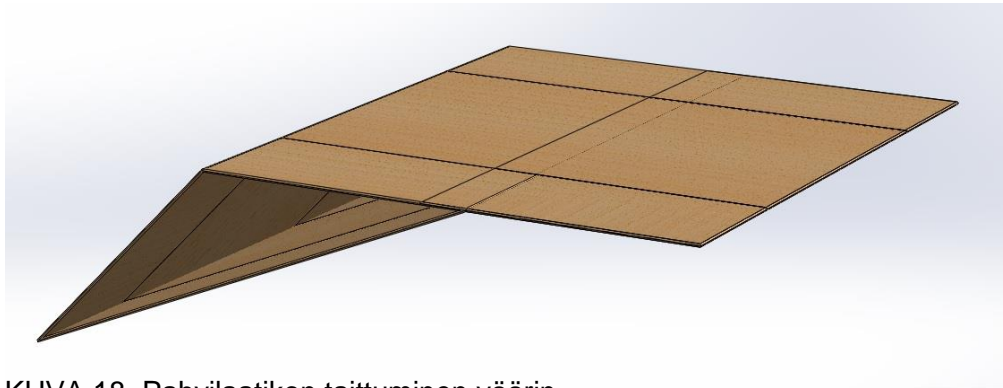
Tarttumiseen päätettiin käyttää imukuppeja; muita vaihtoehtoja ei juurikaan edes harkittu. Imukupit soveltuvat hyvin pahvilaatikoiden käsittelyyn laatikoiden suurien tasaisten pintojen ja suhteellisen pienen painon vuoksi.

Laatikon muodostusprosessi alkaa siitä, että robotti tarttuu tarttujallaan levynä olevaan pahvilaatikkoon ja nostaa sen ylös. Tässä vaiheessa painovoima vetää laatikon alemmaa sivua alaspäin, mikä auttaa laatikon avautumista mutta ei kuitenkaan yksinään riitä. Rakenteellisesti järkeviä vaihtoehtoja avaamisen loppuun suorittamiselle oli sivun yksi työntäminen ja sivun kaksi vetäminen (kuva 17).



KUVA 17. Pahvilaatikon sivut yksi ja kaksi

Aluksi sivun kaksi vetämistä pidettiin parempana vaihtoehtona, koska ei ollut varmaa, miten pahvilaatikko käyttäytyisi ykkössivua työnnettäessä. Pelkona oli, että laatikko ei lähtisikään avautumaan, vaan taittuisi kuvan 18 mukaisesti.



KUVA 18. Pahvilaatikon taittuminen väärin

Myöhemmin kuitenkin havaittiin, että tällainen toteutustapa tekisi tarttujan rakenteesta lastausvaiheeseen huonommin sopivan. Tämä johtui siitä, että laatikon auki vetävä osa olisi laatikkoa nostettaessa 90 asteen kulmassa muuhun tarttujaan, jolloin tämä osa tulisi pahvilaatikon kylkeä vasten. Luvussa 5.1 selviää, että tämä olisi johtanut tarpeeseen kasvattaa tarttujan kokoa. Tarttuja haluttiin kuitenkin pitää mahdollisimman pienenä ja kevyenä, koska VM-60B1G-robotille ilmoitettu enimmäiskuorma oli 13 kg ja käsiteltävän laatikon paino on 10 kg. Tarttuja olisi siis saanut painaa enintään 3 kg. Sivun yksi työntämiseen perustuvassa ratkaisussa saataisiin lastausvaiheessa kaikki imukupit laatikon yläpintaan, koska työntävä osa olisi alkuasennossaan tarttujan suuntaisesti. Tästä syystä haluttiin työntämiseen perustuvan avausmekanismin käyttömahdollisuuksia vielä harkita. Kun otettiin huomioon, että avausvaiheen alussa avautumista auttaa painovoima ja mahdollisesti myös robotin nostoliikkeestä aiheutuva kiihtyvyysovoima, alettiin työntämiseen perustuvan avausmekanismin toimivuutta pitää riittävän varmana. Niinpä tarttujaa ryhdyttiin toteuttamaan tämän idean pohjalta.

Ensin oli ratkaistava, miten laatikon aukaisemiseen tarvittava voima tuotettaisiin. Piti muistaa, että tarttujan massa tulisi pitää mahdollisimman pienenä. Tämän vuoksi keskityttiin paineilmalla toimiviin vaihtoehtoihin.

Aluksi harkittiin kääntösynterien käyttöä. Kääntösynterien hyvä puoli oli, että ne itsessään sisältäisivät laakeroinnin, joten kahta kääntösynteriä käytettäessä erillistä laakerointia ei tarvittaisi. Tämä olisi ollut helppo ja yksinkertainen ratkaisu. Kääntösynterien voima suhteessa painoon osoittautui kuitenkin heikohkoksi. Tarttujan massan matalana pitämiseksi ei tarttujassa haluttu käyttää suuria ja raskaita syntereitä, mutta pienien tai kohtuullisen kokoisten kääntösynterien voima oli liian pieni. Tämän vuoksi ratkaisuvaihtoehtojen tarkastelua jatkettiin vielä.



Seuraavaksi harkittiin perinteisen lineaarisen paineilmasylinterin käyttämistä. Tällaisen sylinterin käyttäminen kääntöliikkeen toteuttamiseen vaikutti tarttujan rakenteen kannalta haasteellisemmalla kuin kääntösylinterien käyttäminen. Päätettiin kuitenkin laskea, että kuinka suuri voima saataisiin aikaan halkaisijaltaan 16 mm:n sylinterillä. Kun tiedettiin, että sylinteristä saatava voima  $F$  6 bar:n paineella on 120 N (SMC) ja että sylinterin kiinnityskohdan etäisyys  $r$  taittomekanismin nivelpisteestä olisi 0,055 m, voitiin laskea sillä aikaan saatava momentti  $M$  kaavalla 1

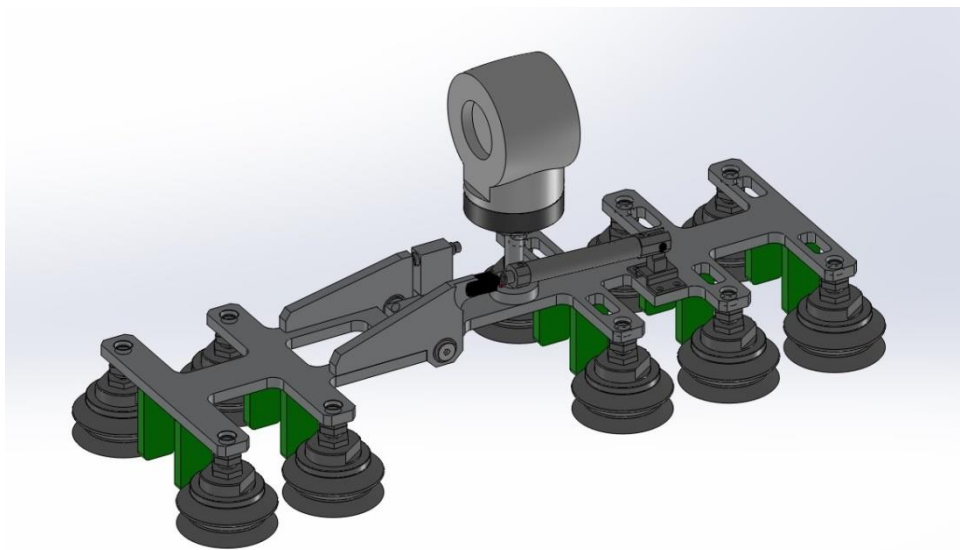
$$F \times r = M \quad (1)$$

Kun tiedetyt arvot sijoitettiin kaavaan saatiin momentiksi  $M$

$$120 \text{ N} \times 0,055 \text{ m} = 6,6 \text{ Nm}$$

Kääntösylinteri ratkaisusta parhaana pidetyllä vaihtoehdolla olisi saatu aikaan 4,6 Nm, mikä olisi ollut riittävä voima taittamiseen. Ratkaisussa käytettävien sylinterien paino olisi kuitenkin ollut yhteensä 0,54 kg, kun taas laskussa käytetyn lineaarisylinterin paino oli 0,11 kg.

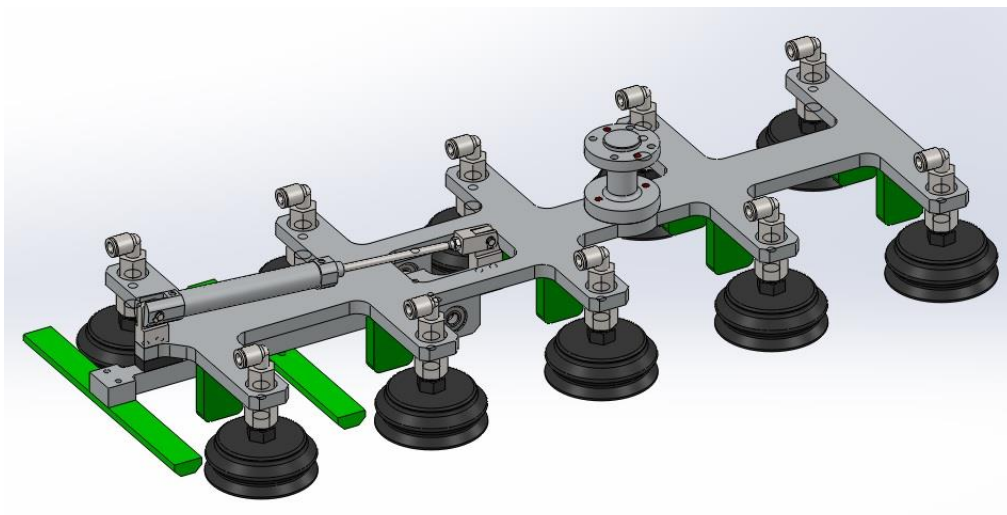
Koska näytti siltä, että lineaarista sylinteriä käyttämällä saadaan tarttujan massa pidettyä matalampana, päätettiin taittomekanismi toteuttaa sillä. Tarttujan ensimmäinen kehitysversio näkyy kuvassa 19. Kuvassa vihreinä näkyvät muoviosien tarkoituksena on estää laatikon yläpinnan taipuminen nostamisen aikana.



KUVA 19. Tarttujaversio yksi

Ensimmäisessä tarttujaversiossa oli kuitenkin joitain muodostukseen ja lastaukseen liittyviä ongelmia. Näistä kerrotaan tarkemmin luvulle lastausta käsittelevässä luvussa 5.1. Muodostukseen liittyvät ongelmat johtuivat tarttujan ja taitto-osan välisen nivelpisteen sijainnista ja siitä, että avaustyönnössä työntävänä osana olivat imukupit. Jos taitettavaan sivuun tartutettiin imukuppeilla ennen taittamista, tulisi laatikkoon taitettaessa muodonmuutos, joka aiheuttaisi hankaluuksia pidemmillä sivuilla olevien pohjaläppien kääntämiseen pohjan muodostuksen aikana. Jos taas työntö suoritettaisiin ilman tarttumista eli työntävät imukupit jätettäisiin ilman alipainetta, luistaisi pahvi imukuppeja vasten, jolloin ne saattaisivat rullaantua ja kulua. Tarttujan nivelpisteen paikkaa siirtämällä muodonmuutos alku ja lopputilanteen välillä olisi periaatteessa ollut mahdollista poistaa. Kun harkittiin taitto-osan imukuppien tarpeellisuutta ja otettiin huomioon lastaukseen liittyvät ongelmat, päätettiin tarttujasta tehdä kuitenkin uusi versio.

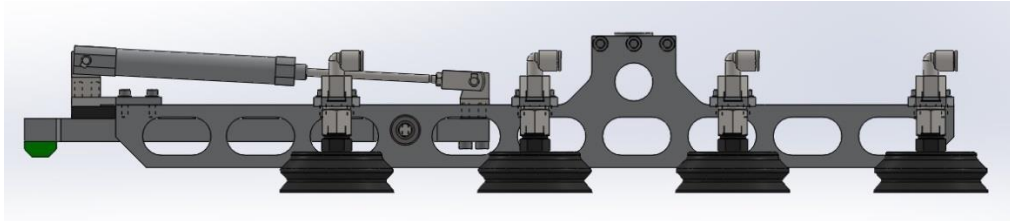
Uudessa versiossa päätettiin imukupit jättää pois taitto-osasta. Mahdollinen hyöty taitto-osassa olevista imukuppeista olisi ollut niistä saatava tuki laatikon taitto-osasta poispäin taittumista vastaan. Tultiin kuitenkin siihen tulokseen, että laatikon oma jäykkyys riittää estämään taittumisen. Kun taitto-osan imukupit korvattiin kulutusta kestäväällä muoviosalla, ei enää tarvinnut huolehtia laatikon muodonmuutosongelmista ja nivelpisteen sijainnista, koska muoviosan voi antaa luistaa laatikon kylkeä vasten taittamisen aikana. Kun taitto-osasta pois jätetyt imukupit kiinnitettiin tarttujaan kiinteästi, välttyttiin myös lastaukseen liittyneiltä ongelmilta. Samalla tarttujan rakenteesta saatiin huomattavasti yksinkertaisempi. Tässä vaiheessa tarttuja (kuva 20) oli laatikon muodostuksen osalta toimiva.



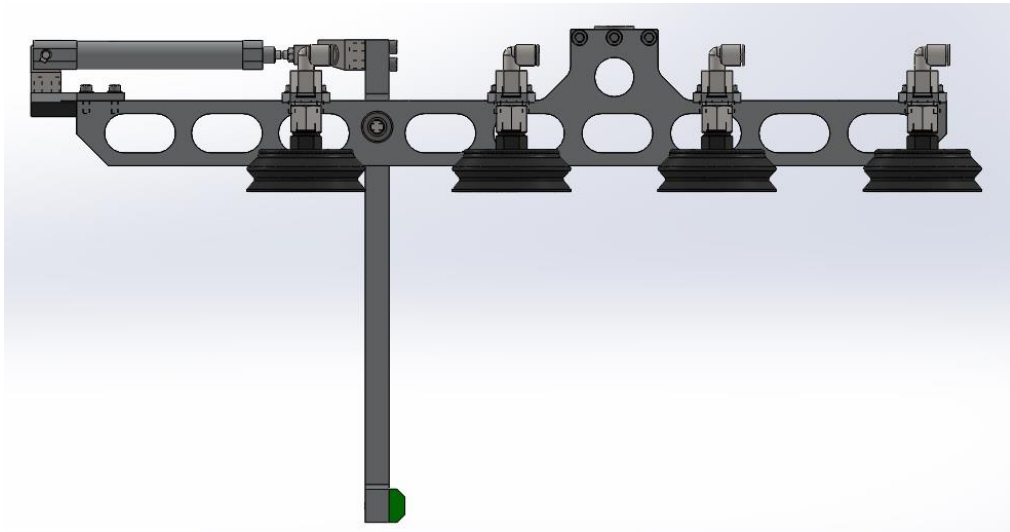
KUVA 20. Tarttujaversio kaksi

Tarttujan rungon rakenteeseen tehtiin kuitenkin vielä muutoksia lastaukseen liittyneiden puutteiden vuoksi.

Kuvissa 21 ja 22 näkyy lopullinen tarttujaversio ja sen taittomekanismin toiminta.



KUVA 21. Tarttujaversio kolme, taitto-osa ylhäällä



KUVA 22. Tarttujaversio kolme, taitto-osa alhaalla

## 4.2 Pohjan muodostus

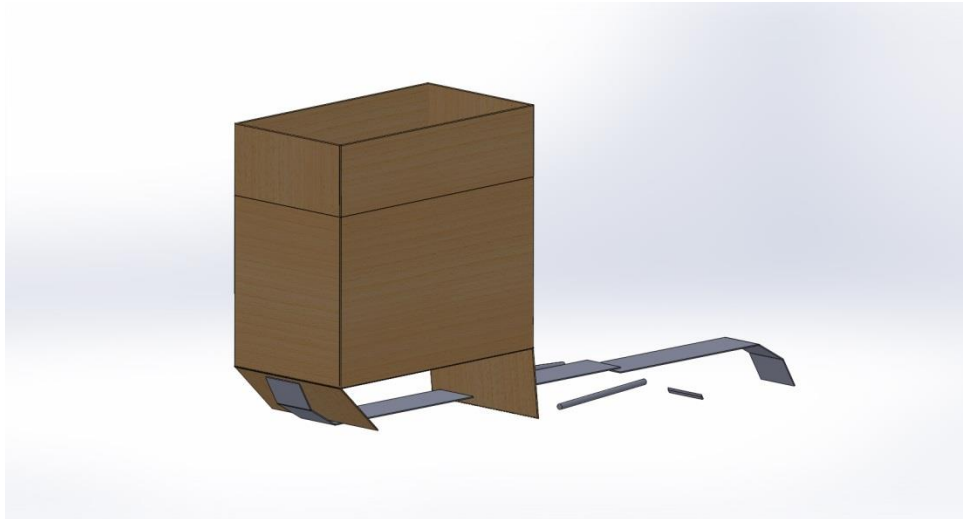
Pohjan muodostusprosessissa on tarkoituksena kääntää pahvilaatikon pohjaläpät vaakatasoon laatikon sisäpuolelle, jolloin ne muodostavat pahvilaatikon pohjan. Ensin käännetään laatikon päätysivujen pohjaläpät ja tämän jälkeen pitempien sivujen läpät. Tavoitteena oli suunnitella mahdollisimman yksinkertainen ja vähän tilaa vievä ratkaisu pohjan muodostuksen hoitamiseen.

Ensimmäisenä hakettiin ratkaisua, jossa ei käytettäisi lainkaan sähkö- tai paineilmatoimisia laitteita ja joka veisi mahdollisimman vähän lattiapinta-alaa.

Koska mekanismi haluttiin mahtumaan mahdollisimman pienelle alueelle oli ensimmäinen ajatus, että läppien kääntäminen hoidettaisiin robotilla tehtävällä pystysuuntaisella liikkeellä. Tällaista ratkaisua ei kuitenkaan löytynyt. Vaikka läpät oltaisiin saatu taitettua pystysuuntaisella liikkeellä, ei laatikkoa olisi ollut mahdollista saada laitteesta pois niin, että läpät olisivat pysyneet kiinni. Ratkaisu olisi vaatinut toimiakseen sähköllä tai paineilmalla toteutettuja liikkeitä. Vielä kuitenkin haluttiin hakea ratkaisua, jossa näitä liikkeitä ei olisi tarvittu.



Pystysuuntaisella liikkeellä toteutettavaa ratkaisua ei siis saatu aikaan. Tämän jälkeen ryhdyttiin miettimään sivuttaissuuntaisella liikkeellä toteutettavaa ratkaisua. Tiedossa oli, että tämän tyyppinen ratkaisu veisi hieman enemmän tilaa, mutta toisin kuin pystysuuntaisella, sivuttaissuuntaisella liikkeellä pohjaläppien taittelu vaikutti olevan mahdollista. Kuvassa 23 näkyy ratkaisun kehittälyvaiheessa tehty luonnos. Peruseriaatteet luonnoksessa ovat suurin piirtein samat kuin lopullisessa ratkaisussa.



KUVA 23. Luonnos pahvilaatikon pohjanmuodostukseen käytettävästä taitteluraudasta

Tässä vaiheessa huomattiin, että joillain automaatiolaitteiden valmistajilla oli olemassa toimintaperiaatteeltaan samantyyppisiä ratkaisuja, joissa pahvilaatikon muodostus hoidetaan kuvassa 24 näkyvää muodostusrautaa vasten tehdyllä sivuttaisliikkeellä.

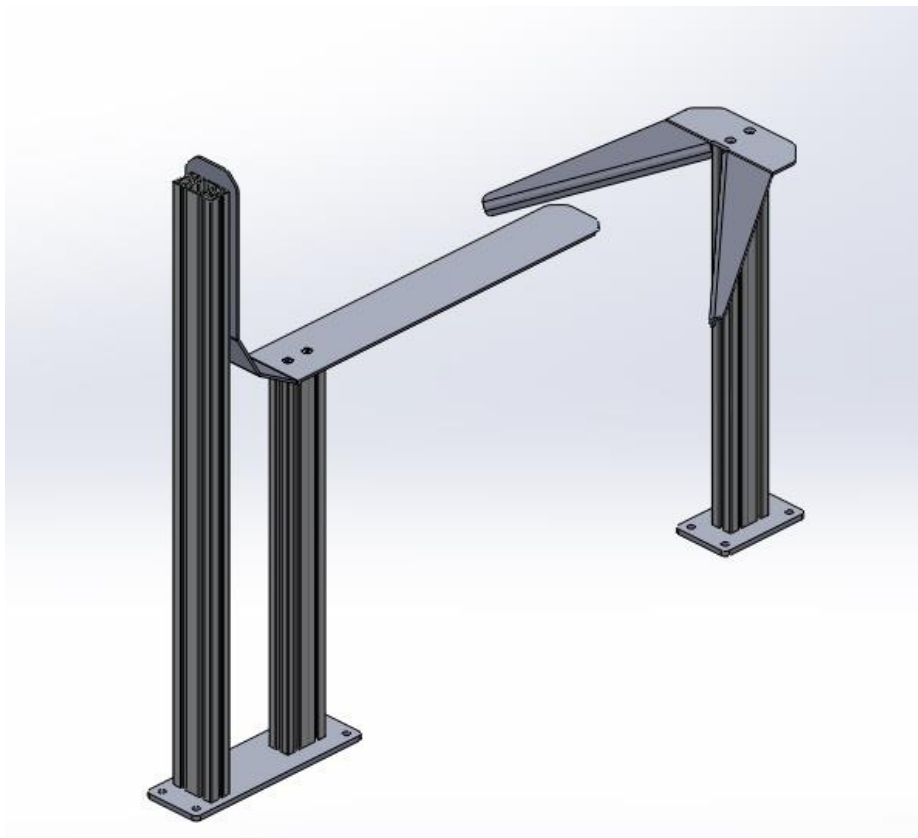


KUVA 24. Xpak pahvilaatikon muodostaja (Xpakusa 2013.)

Varmuuden vuoksi tarkistettiin, ettei valmistajalla ole patenttia taittelurautaan. Voimassa olevia patenteja ei löytynyt ja vastaavanlaisia ratkaisuja käyttivät myös muut valmistajat, joten näistä ratkaisuista päätettiin ottaa mallia lopullista taittelurautaratkaisua kehiteltäessä. Itse luonnosteltuun ratkaisuun verrattuna tärkein ero kyseisen valmistajan ratkaisuissa oli päätyläppien taittotapa, joka ei luonnosversiossa ollut vielä aivan loppuun asti mietitty. Lopullisen taitteluraudan toimintaperiaate oli käytännössä sama kuin kuvan 24 ratkaisuissa, mutta toteutustapa oli kuitenkin selvästi erilainen.

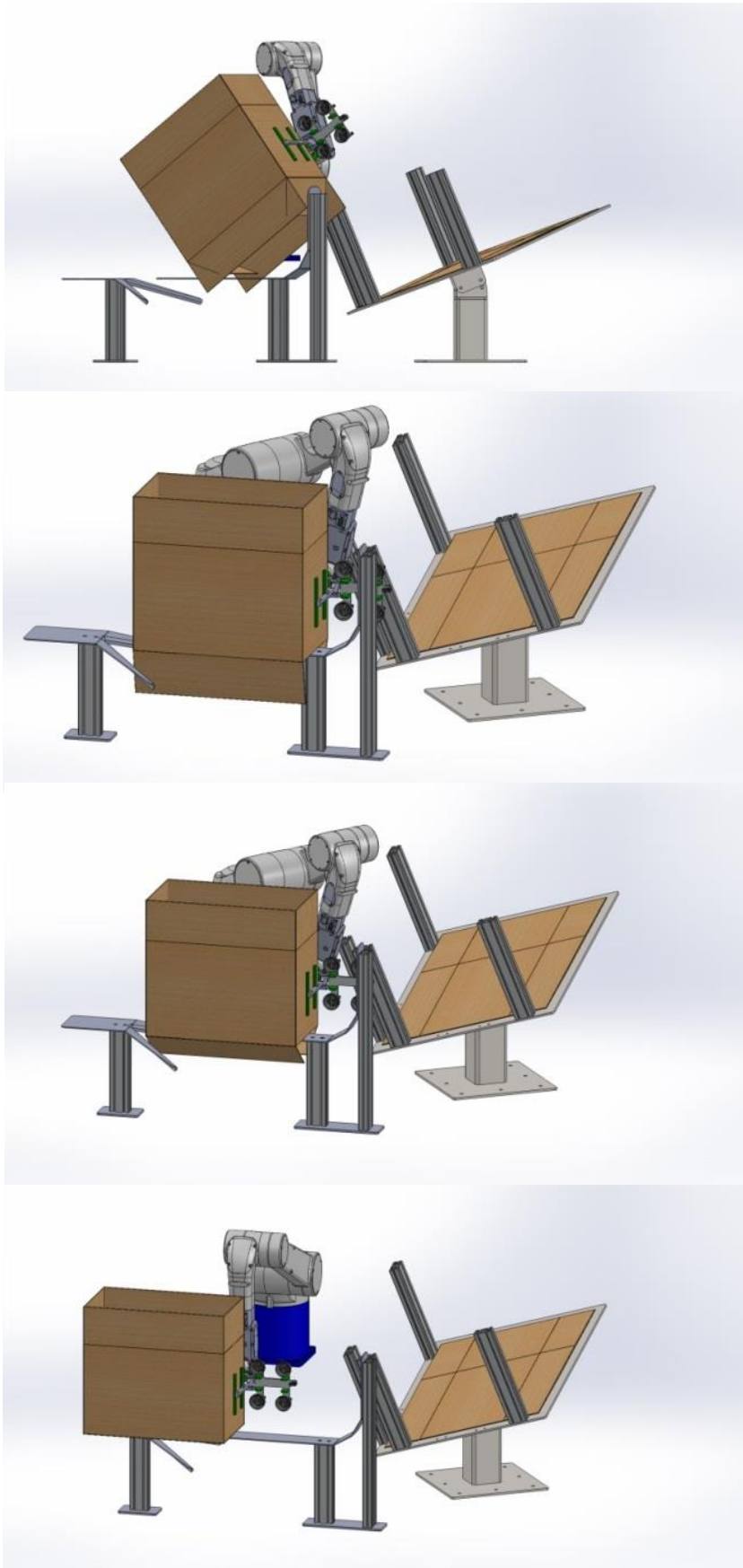
Toteutuksessa käytettiin EID Tech Oy:llä yleisesti käytettyjä valmistustekniikoita. EID Tech Oy:n läheisyydessä sijaitsee J-Metallikaluste Oy, joka valmistaa annettujen piirrustusten mukaan mm. ohutlevy- ja teräsrakennetuotteita. Läheisen sijainnin ja osien nopean saatavuuden vuoksi EID Tech Oy tekee paljon yhteistyötä kyseisen yrityksen kanssa ja ratkaisuissa hyödynnetään usein sen osaamista. Tämän vuoksi taittelurauta oli luonnollista toteuttaa ohutlevytekniikalla. Rungossa käytettiin alumiiniprofiileja, koska niitä EID Tech Oy:llä oli valmiina varastossa.

Kuvassa 25 näkyy taitteluraudan lopullinen suunnitelma. Ratkaisusta saatiin lopulta varsin yksinkertainen, halpa toteuttaa ja luultavasti erittäin varmatoiminen. Siihen ei kuulunut sähköllä tai paineilmalla toimivia komponentteja tai liikkuvia osia, joten osien kustannukset pysyivät alhaisina ja rakennelma on helppo kokoonpanna. Se on myös helppo kuljettaa ja asentaa käyttöönottopaikalle ja sopii kohtuullisen pieneen tilaan.



KUVA 25. Pahvilaatikon pohjan muodostukseen käytettävä taittelurauta

Kuvassa 26 on esitetty pahvilaatikon pohjan muodostusprosessi.



KUVA 26. Pahvilaatikon pohjan muodostusprosessi

## 5 LAVALLE LASTAUS

Kun pahvilaatikon muodostusprosessi on suoritettu, muodostettu pahvilaatikko jätetään teippauskoneen alkupäähän, jossa linjan toiseen osioon kuuluva robotti alkaa pakata tuotteita laatikkoon. Sillä välin muodostuksen suorittanut robotti siirtyy teippauskoneen loppupäähän, jossa sitä odottaa valmiiksi pakattu ja kiinni teipattu pahvilaatikko. Tämä pahvilaatikko olisi tarkoitus nostaa teippauskoneelta pois ja lastata se viereen sijoitetulle kuormalavalle.

Lavalle lastaus on tämän opinnäytetyön toinen osio. Aiemmin toteutustapa kappaleessa käsiteltiin erinäisiä vaihtoehtoja lastauksen toteuttamiseen. Lopulta lastaus päädyttiin toteuttamaan käyttämällä samaa robottia, kuin pahvilaatikon muodostuksessa. Tämän toteutustavan yhtenä haasteena oli se, että saman tarttujan tuli soveltua käytettäväksi pahvilaatikoiden muodostukseen ja lavalle lastaukseen. Toinen olennainen asia lastaukseen liittyen oli kuormalavan paikottamisen hoitaminen, joten myös sen toteuttamiseen käytettäviä ratkaisuja käsitellään tässä luvussa.

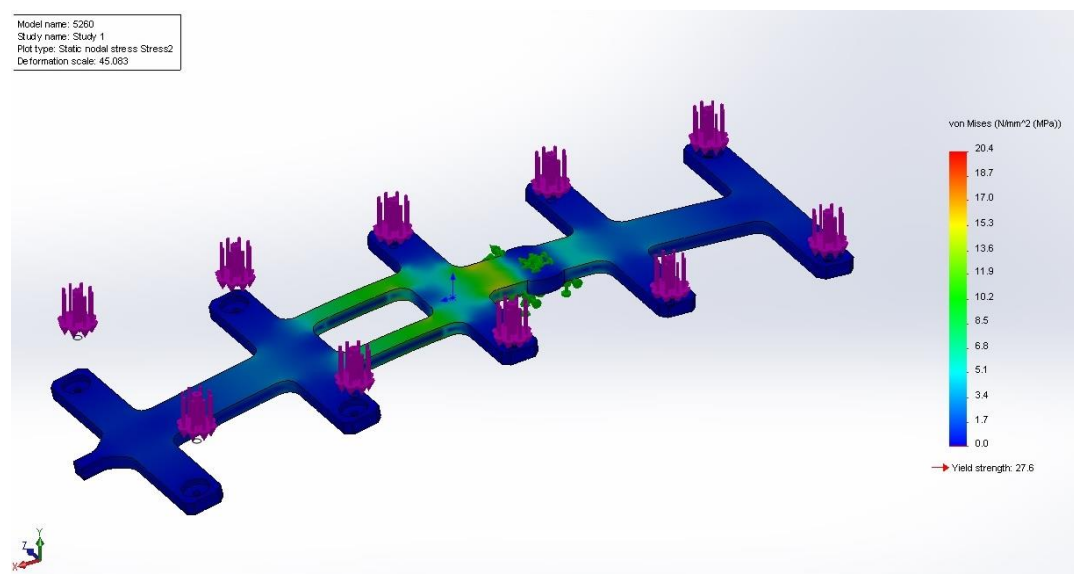
### 5.1 Tarttuja

Lastauksessa tarttujalta vaaditaan tietynsuuruista nostovoimaa, jotta täyteen pakattu 10 kg painoinen pahvilaatikko saadaan nostettua. Nostovoimaan vaikuttaa imukuppien määrä, koko ja imuun käytettävän alipaineen suuruus. Myös imukuppien tartuntasuunta vaikuttaa niillä aikaan saatavaan nostovoimaan. Lisäksi tärkeää on myös, että tarttujan rakenne on painon käsittelyyn riittävän kestävä ja jäykkä. Samalla kuitenkin pitäisi ottaa huomioon tarttujan paino. VM-60B1G -robotille ilmoitettu maksimi käsittelykuorma on 13 kg. Tarttujan salituksi painoksi jää siis 3 kg.

Pahvilaatikon muodostamista käsittelevässä luvussa mietittiin tarttujalle mahdollisia toimintaperiaatevaihtoehtoja. Yksi päätettävä asia oli, toteutetaanko pahvilaatikon avausvaihe vetämällä toista päätysivua vai työntämällä sen vastakkaista päätysivua. Vetämiseen perustuvassa ratkaisussa vetävän osan liike on tarttujaan nähden 90 - 180 asteen välillä. Vetävä osa olisi siis aukiasennossa 90 asteen kulmassa tarttujaan nähden. Tämä tarkoittaisi sitä, että lastausvaiheessa vetävän osan imukupit tarttuisivat pahvilaatikon kylkeen yläpinnan sijaan, jolloin imukuppien nostovoima olisi hieman heikompi. Koska tarttujaan ei haluttu ylimääräistä painoa pyrittiin siihen, että tarttujan kaikki imukupit olisivat mahdollisimman hyvin hyödynnettyinä lastausvaiheessa. Varsinkin se, että kylkeen tarttuvien imukuppien nostovoima kohdistuisi laatikon ulkolaitaan, vaikeuttaisi niiden hyödyntämistä. Vastapainoksi olisi muiden imukuppien sijaittava lähempänä vastakkaista laitaa, mikä taas olisi tehnyt tarttujasta huomattavan suurikokoisen.

Sivulla 21 kuvassa 19 näkyy ensimmäinen tarttujaversio. Tässä tarttujassa oli joitakin valmiin pahvilaatikon nostoon ja laatikon muodostukseen liittyviä ongelmia. Muodotukseen liittyvistä ongelmista kerrottiin aiemmin pahvilaatikon muodostusta käsittelevässä luvussa. Laatikon nostoon liittyvät ongelmat aiheutuivat tarttujan nivelestä, joka mahdollisti tarttujan taittumisen raskaan kuorman alaisena. Laatikkoa nostettaessa taitto-osaan vaikuttava kuorma kohdistuu taittosysteemin sylinteriin, jonka voima ei riitä pitämään tarttujaa suorana. Tarttujan olisi voinut saada toimimaan laatikon nostamisessa käyttämällä suurempaa tai useampaa sylinteriä. Tämä olisi kuitenkin lisännyt tarttujan massaa. Koska tarttujassa oli myös laatikon muodostukseen liittyviä ongelmia, tehtiin toinen sivulla 22 kuvassa 20 näkyvä tarttujaversio.

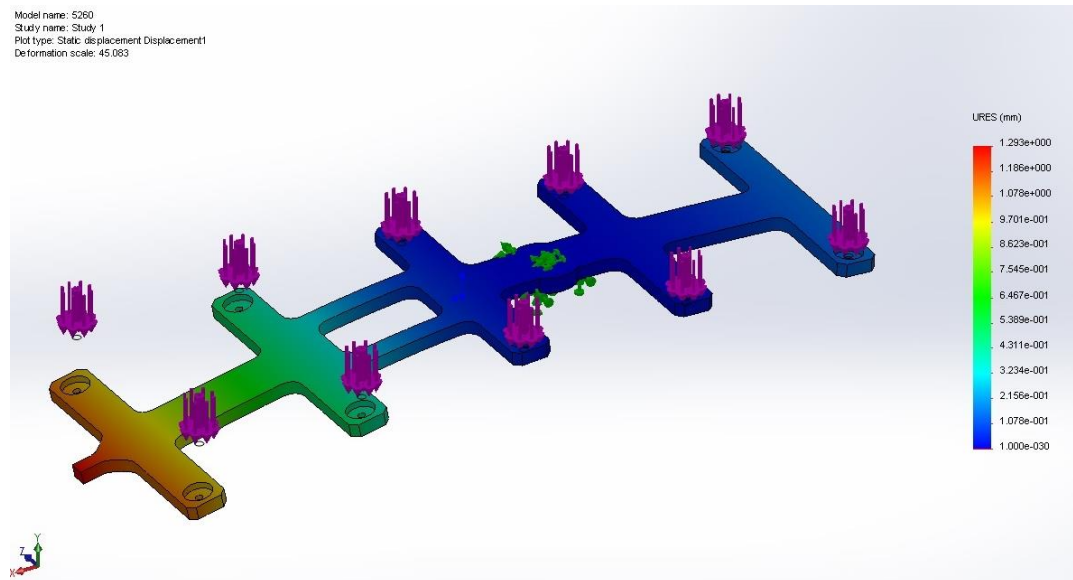
Koska tässä versiossa laatikon nostoon käytettävät imukupit eivät olleet enää liitetty liikkuvaan taitto-osaan, välttyttiin edellisen tarttujaversioon taittumisongelmalta. Uusi versio oli kaiken kaikkiaan rakenteeltaan toimivampi ja yksinkertaisempi. Solidworks-ohjelma näytti tämän tarttujan painoksi 3,28 kg, mikä ylitti hieman tarttujalle asetetun painorajan. Solidworks-ohjelmalla tarkasteltiin myös nostossa tarttujaan runkoon muodostuvia jännityksiä (kuva 27) ja tarttujan taipumista (kuva 28).



KUVA 27. Tarttujaversio kahteen muodostuvat jännitykset 10 kg:n nostossa

Tarttujaan nähtiin muodostuvan enimmillään 20,4 MPa:n jännitys. Makeitfrom-verkkosivulta selvisi, että tarttujassa käytettävän alumiiniseoksen väsymislujouden on 21 MPa, joten muodostuvat jännitykset vaikuttavat hieman liian korkeilta, varsinkin kun käsittelyn aikaiset kiihtyvyydet vielä lisäävät tarttujaan kohdistuvaa rasitusta.

Kuvasta 28 nähdään, että taipumisesta aiheutuva siirtymä oli suurimmillaan n. 1,3 mm. Käytännössä pahvilaatikoiden käsittelyssä tällä ei ole merkitystä.

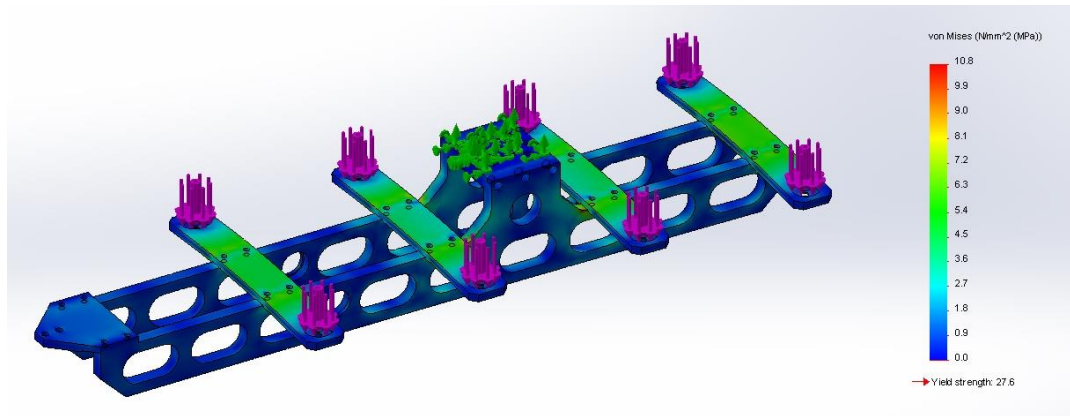


KUVA 28. Tarttujaversio kahteen syntyvä siirtymä 10 kg nostossa

Kokonaisuutena tämä tarttujaversio jätti toivomisen varaa. Sen paino ylitti sille asetetut rajat ja siihen muodostuvat jännitykset olivat turhan suuret. Toisaalta tässä vaiheessa mielessä oli jo ajatus toisenlaisesta rakenteesta, joka saattaisi olla ominaisuuksiltaan parempi. Tässä vaiheessa huomattiin myös, että tarttujassa käytetty imukuppimäärä oli ylimitoitettu.

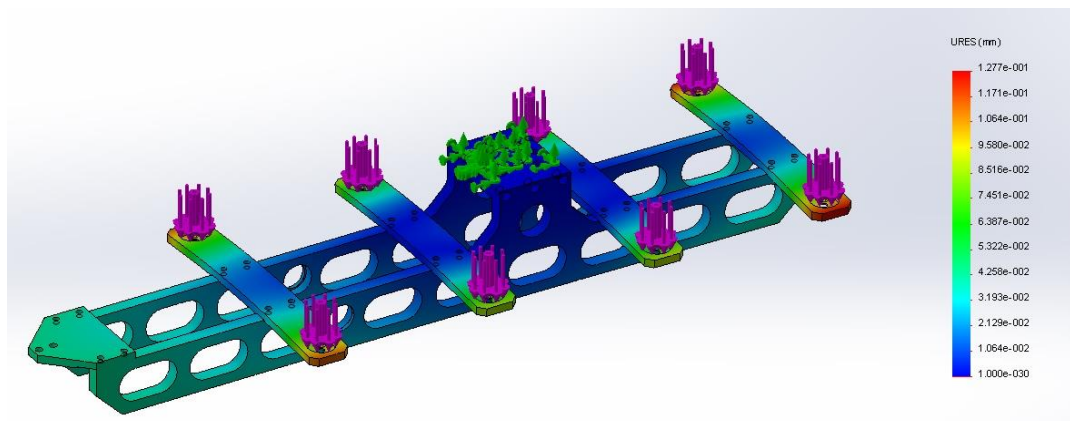
Kolmatta tarttujaversiota ryhdyttiin luonnostelevaan. Uusi ratkaisu vaikutti toimivalta, joten siitä tehtiin 3D-malli. Muutoksina edelliseen versioon oli runkorakenteen parantuminen ja imukuppimäärän vähentyminen kahdeksaan. Myös tätä pienempi määrä olisi riittänyt 10 kg painon nostamiseen, mutta tämän määrän nähtiin olevan hyvä rungkon rakenteen ja laatikkoon kohdistuvan voiman jakautumisen kannalta. Uudessa versiossa runko toimii tukena laatikon yläpinnalle, joten erillisiä tukia ei enää tarvita. Samalla rungosta tuli nostossa vaikuttavan voiman suuntaan nähden jäykempi. Tämän lisäksi taitto-osan laakerointi saatiin suoraan runkoon ilman erillisiä kiinnikkeitä.

Kuvasta 29 nähdään, että uuteen tarttujaversioon muodostui 10 kg nostossa enimmillään 10,8 MPa:n jännitys. Tulos oli selvästi parempi kuin edellisessä versiossa ja reilusti tarttujassa käytetyn alumiiniseoksen 21 MPa:n väsymislujuutta pienempi.



KUVA 29. Tarttujaversio kolmeen muodostuvat jännitykset 10 kg nostossa

Uuden version siirtymä laski entisen version 1,3 mm:stä 0,13 mm:iin (kuva 30). Visuaalisen siirtymän korostuskerroin pysyy samana kuvissa 27-30.

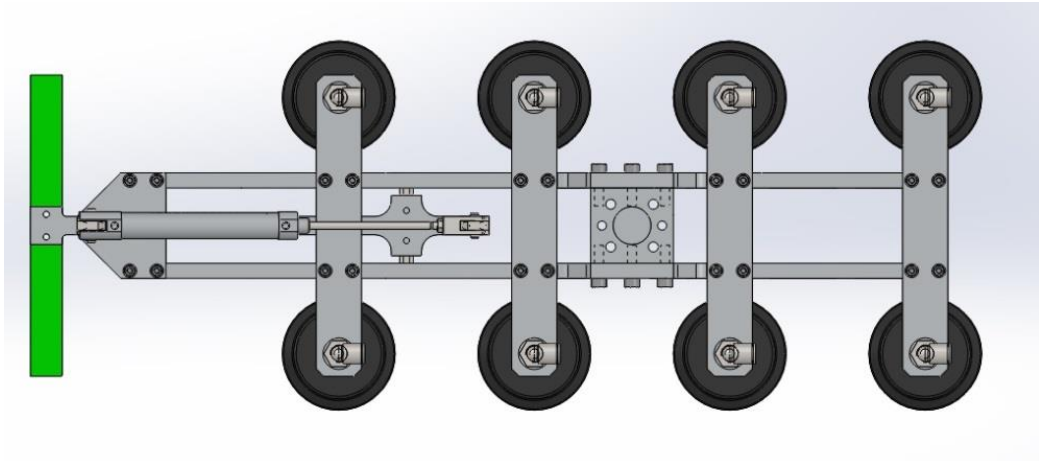


KUVA 30. Tarttujaversio kolmeen syntyvä siirtymä 10 kg nostossa

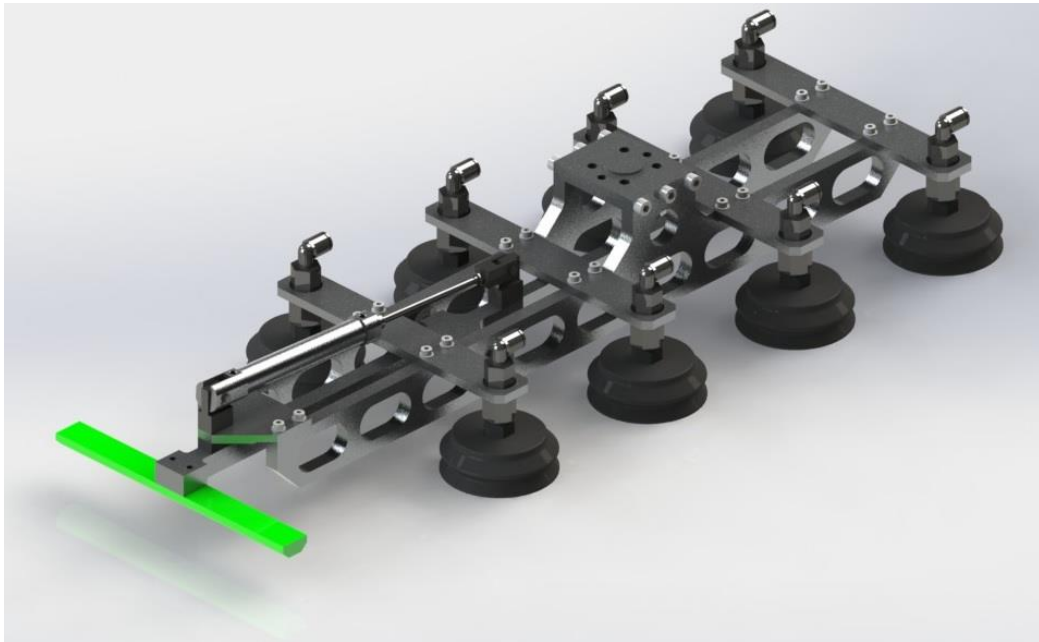
Uusi tarttujaversio osoittautui solidworks-ohjelmiston simulaatioissa ominaisuuksiltaan aikaisempaa versiota paremmaksi. Tarttujaan muodostuvat jännitykset pysyivät pienempinä ja oli 2,70 kg painollaan selvästi edellistä versiota kevyempi. Nyt tarttuja täytti myös kaikki laustausvaiheen asettamat vaatimukset.



Lopullinen tarttuja näkyy kuvissa 31 ja 32.



KUVA 31. Kolmas tarttujaversio ylhäältä päin



KUVA 32. Solidworks-ohjelmistolla renderöity kuva kolmannesta tarttujaversiosta

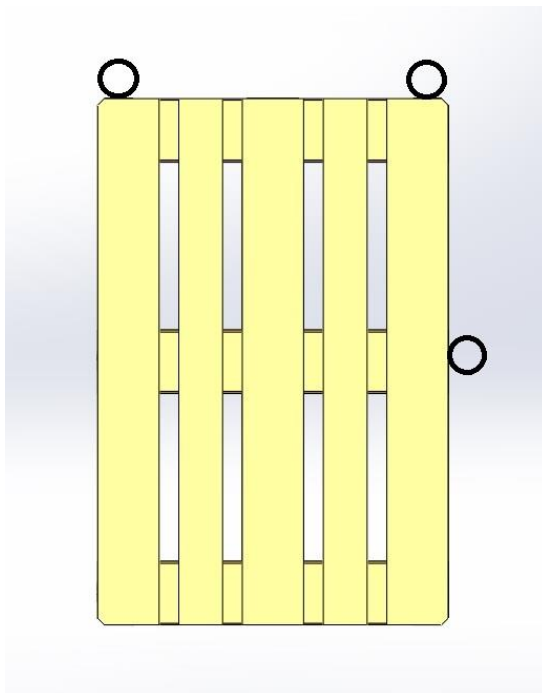


## 5.2 Lavan paikoitus

Kun pakkaus prosessin lopussa lastataan täyteen pakattut ja kiinni teipatut pahvilaatikkot kuormalavalle, on tärkeää, että lava on aina riittävän tarkasti sille tarkoitettulla paikallaan. Muussa tapauksessa kasattava pino ei tule lavan keskelle ja lastauksesta tulee epätasapainoinen, mikä taas hankaloittaa lastatun lavan kuljettamista. Pahimmassa tapauksessa pino voisi kaatua lastauksen tai kuljetuksen aikana.

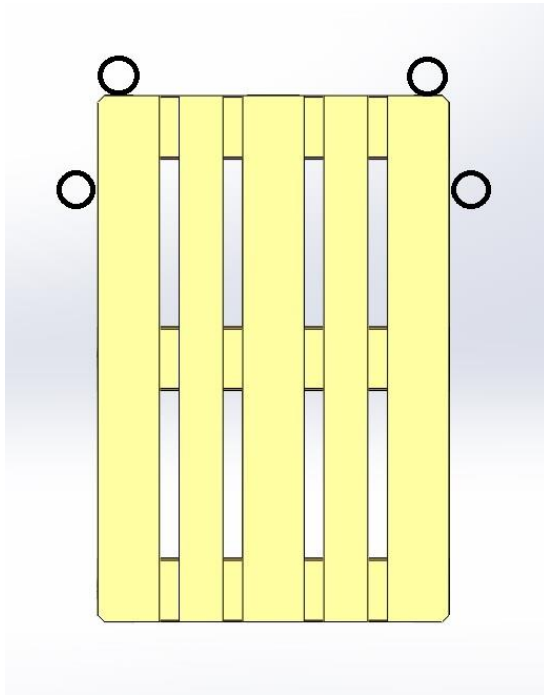
Kuormalavan lastauspaikalle laittamisen hoitaa ihminen pumppukärryllä, trukilla tai käsin. Lavan paikalleen laittamisesta ja paikoittamisesta tulisi tehdä mahdollisimman helppoa ja nopeaa ja lavan paikallaan oleminen tulisi tarkistaa koneellisesti. Myös lastatun lavan hakeminen tulisi onnistua ongelmitta.

Kuormalavan paikottaminen vaatii vähintään kolme tukipistettä. Kolmella tukipisteellä saadaan määrättyä paikka pituus- ja sivusuunnassa, sekä varmistettua lavan suoruus. Kun tehtiin alustava luonnos kolmella tukipisteellä toteutetusta paikoituksesta (kuva 33) huomattiin, että tällaista ratkaisua käytettäessä lavan paikoittaminen trukilla tai pumppukärryllä olisi haastavaa. Todennäköisesti lava pitäisi aina paikalleen jättämisen jälkeen erikseen tönäistä sivutukea vasten, koska lavan työntäminen yhtäaikaaisesti päätä- ja sivutukia vasten trukilla tai pumppukärryllä olisi vaikeaa.



KUVA 33. Luonnos kolmella tukipisteellä toteutetusta paikoituksesta

Seuraavaksi harkittiin neljällä tukipisteellä toimivaa paikoitusta, jossa sekä pituussuunnan että sivusuunnan paikoitukseen käytettäisiin kahta tukipistettä (kuva 34).

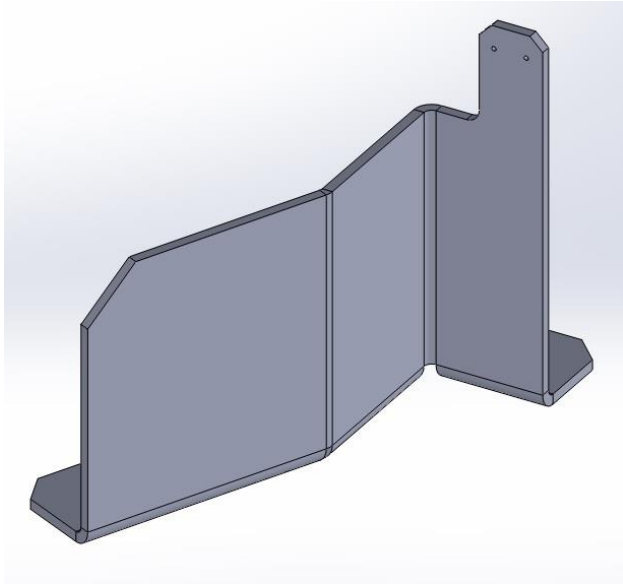


KUVA 34. Luonnos neljällä tukipisteellä toteutetusta paikoituksesta

Neljällä tukipisteellä toimivaa paikoitusta käytettäessä lavan ja sivutukien väliin täytyisi jättää tietynsuuruinen välys, jotta lava menisi sujuvasti paikalleen. Tämä aiheuttaisi vällyksen suuruisen epätarkkuuden kuormalavan paikottumiseen sivusuunnassa. Koska syntyvä epätarkkuus olisi kuitenkin varsin pieni, ei se muodostaisi ongelmia lastaukseen.

Ratkaisussa hyvänä puolena olisi erityisesti lavan paikottamisen helppous. Toisin kuin kolmen tukipisteen ratkaisussa, tässä lavalle ei tarvitsisi tehdä erikseen sivusuuntaista tönäisyä kunnollisen paikoituksen aikaan saamiseksi. Lava olisi mahdollista paikottaa suoraan pumppukärryllä tai trukilla. Paikottumiseen riittäisi, että lava saadaan sivutukien väliin päätyukia vasten, jolloin se on suorassa ja oikeassa paikassa sekä sivu- että pituussuunnassa.

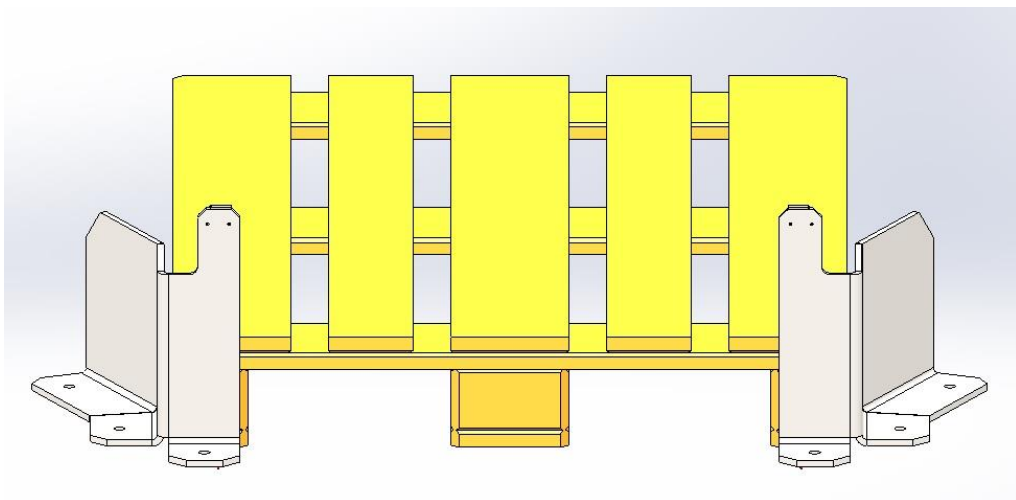
Paikoitustuet päätettiin toteuttaa ohutlevytekniikalla 8 mm paksuisesta S355-teräslevystä (kuva 35) .



KUVA 35. Lavan paikoitustuki edestä

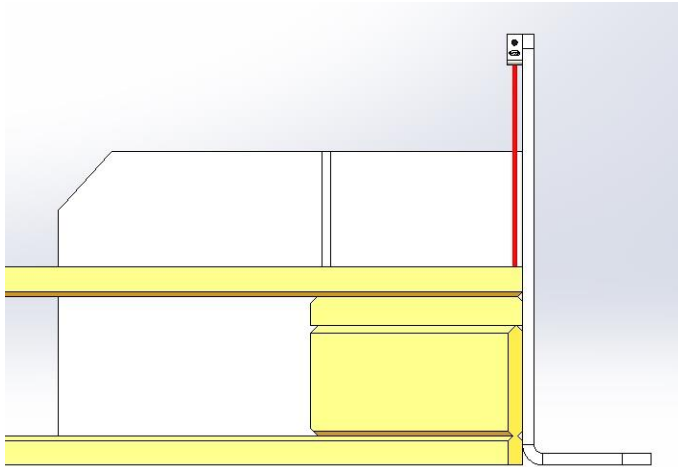
Sivutuista päätettiin tehdä lyhyehköt. Lavan suoruus määräytyy päätytukien mukaan, joten sivutukien pituudella ei ole siihen vaikutusta. Arvioitiin myös, että pitkät sivutuet vaikeuttaisivat lavan paikalleen saamista.

Myös päätytuet piti pitää pieninä, jotta ne eivät osuisi trukin tai pumppukärryn piikkeihin. Koska trukin ja pumppukärryn piikit mahtuvat tulemaan paikoituspaikan läpi (kuva 36) , on lavan paikalleen työntäminen helppoa. Lavan voi antaa luistaa piikkien päällä samalla, kun sitä työnnetään päätytukia vasten, jolloin lava myös suoristuu.



KUVA 36. Kuormalavan paikoitus takaa

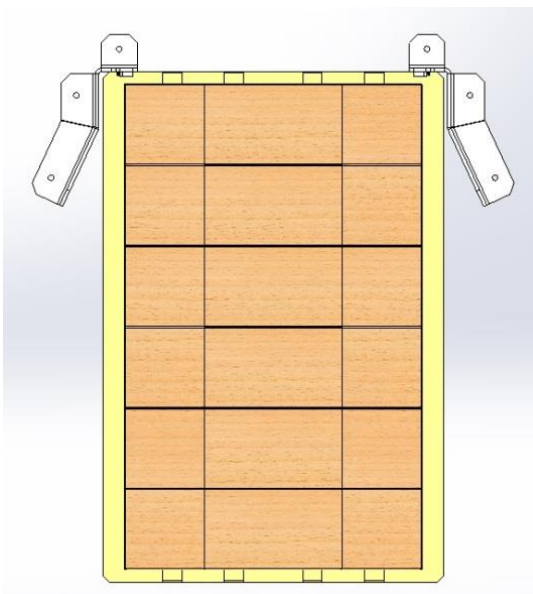
Lavan paikottumisen tarkistamista varten piti paikoitustukiin kiinnittää optiset anturit, jotka tarkistaa, että lava on kummallakin puolella päätytukea vasten (kuva 37). Näin varmistetaan, että lava on suorassa ja paikallaan pituussuunnassa. Tästä tiedetään lavan olevan paikallaan myös sivusuunnassa.



KUVA 37. Lavan paikoittumisen tarkistusanturi

Optiset anturit vaativat vastapuolelleen heijastimet. Tässä tapauksessa käytetään ympyrän muotoisia peilejä, joille porataan lattiaan upotukset, jotta paikoituspaikalle tuotava lava ei osuisi niihin. Kun kuormalava paikottuu paikalleen, molemmilla puolilla anturin ja peilin välinen yhteys katkeaa, jolloin tiedetään, että lava on paikottunut oikein. Mikäli lava ei ole paikottunut oikein ja toinen tai molemmat anturit ovat peittämättöminä, ei muodostus- ja lastausprosessi käynnisty.

Kuvassa 38 näkyy lopullinen paikoitusratkaisu ylhäältäpäin täyteen lastatun lavan kanssa. Ratkaisu täyttää sille asetetut vaatimukset. Lavan paikalleen laittaminen, paikottaminen ja pois siirtäminen on helppoa ja mahdollista suorittaa pumppukärryä tai trukkia käyttäen ja lavan paikoittuminen tarkistetaan koneellisesti.

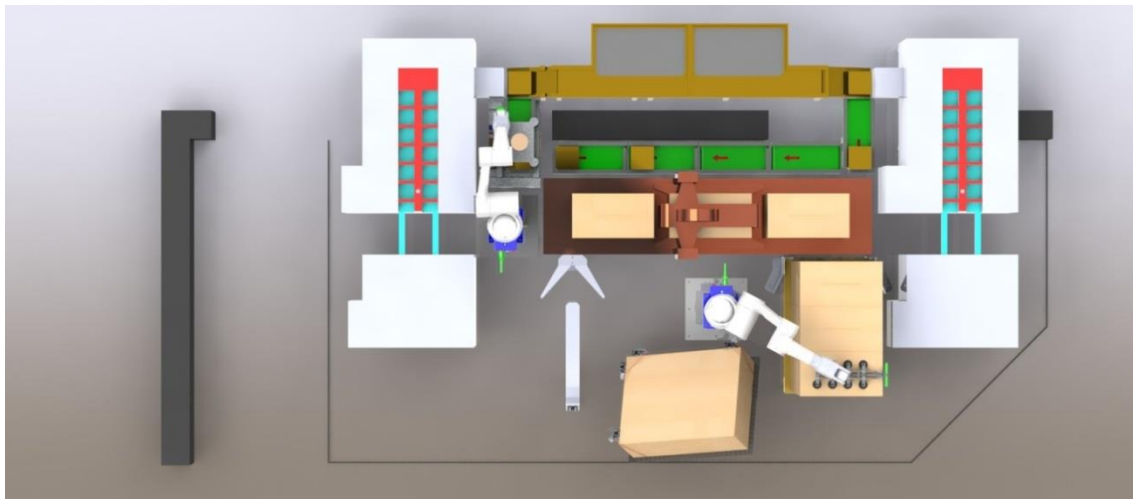


KUVA 38. Lastattu kuormalava lastauspaikalle paikoitettun

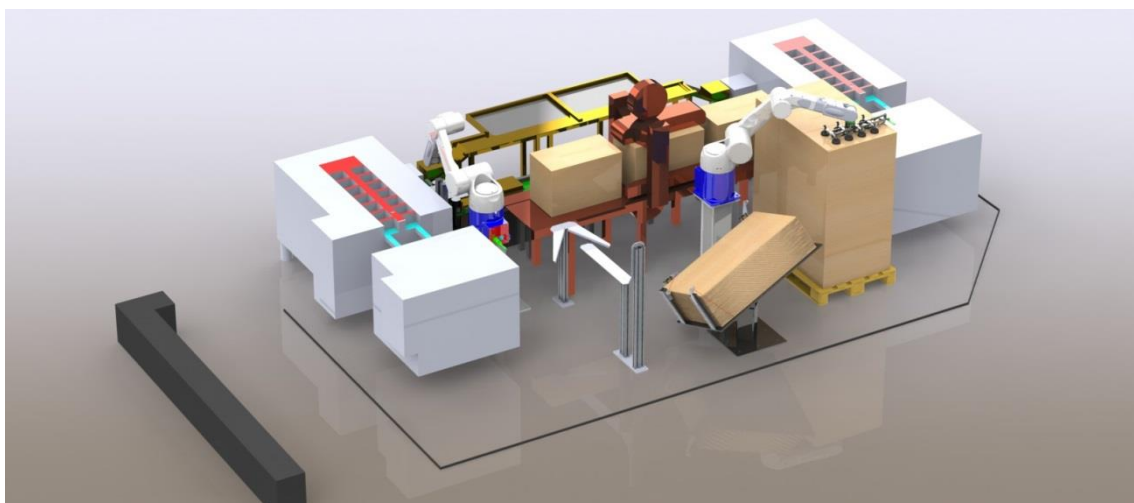
## 6 KOKONAISUUS

Kuvissa 39 ja 40 näkyy työn lopputulos kokonaisuudessaan osana pakkauslinjan layoutia. Kuten kuvista näkyy, mahtuu ratkaisukokonaisuus sitä varten rajatulle alueelle. Pahviteline, taittelurauta ja kuormalava on sijoitettu layoutin keskellä sijaitsevan robotin ympärille sen ulottuvuusalueelle. Linjan pätyyn jätetään aukko muodostettavien pahvien tuomista ja lastatun lavan noutamista varten. Aukko suojataan todennäköisesti valoverholla.

Prosessi kokonaisuudessaan etenee näin: Robotti noutaa pahvitelineeltä pahvilaatikon, robotin tarttuja suorittaa muodostuksen avausvaiheen, laatikon pohja muodostetaan taittelurautaa vasten tehtävällä sivuttaisliikkeellä, robotti jättää muodostetun pahvilaatikon pakkauspaikalle teippauskoneen alkupäähän ja teippauskoneen loppupäästä noudetaan valmis laatikko, joka lastataan kuormalavalle.



KUVA 39. Layout ylhäältäpäin kuvattuna. Ratkaisukokonaisuus osana tuotantolinjaa.



KUVA 40. Layout yläviistosta kuvattuna. Ratkaisukokonaisuus osana tuotantolinjaa.

## 7 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli kehittää ja suunnitella pahvilaatikoiden muodostuksen ja lavalle lastauksen hoitavan automaatiosovelluksen mekaniikka tuotantolinjan loppuosaan. Työ tehtiin EID Tech Oy:lle sen tulevissa projekteissa hyödynnettäväksi. Työ koostui useasta erillisestä osa-alueesta, joihin piti kehittää ratkaisut ja saada samalla aikaan toimiva kokonaisuus.

Työn voi jaotella pahvilaatikon muodostukseen, lastaukseen ja kokonaisratkaisuun. Työ aloitettiin etsimällä parhaiten toimivat toteutustavat kuhunkin osa-alueeseen. Kun toteutustavat päätettiin kehitettiin tarvittavat ratkaisut ideoiden toteuttamiseksi.

Kun sekä pahvilaatikon muodostukseen että lastaukseen parhaiten sopivien toteutustapojen huomattiin perustuvan robottin käyttöön, päätettiin, että kokonaisratkaisu pyrittäisiin toteuttamaan yhtä robottia käyttäen. Mielestäni idean toteutus onnistui hyvin. Kaikkiin erillisiin osa-alueisiin löytyi lopulta ratkaisut, jotka toimivat hyvin myös yhdessä kokonaisuutena.

Työssä oli omat haasteensa. Esimerkiksi robotin tarttujasta tehtiin useampi versio ennen kuin lopullinen kaikin puolin toimiva ratkaisu löytyi. Tämä johtui osittain tarttujalta vaaditusta monikäyttöisyydestä. Työn tuloksena saatiin kuitenkin aikaan pahvilaatikoiden muodostukseen ja lavalle lastaukseen käyttökelpoinen toteutusvaihtoehto, jota EID Tech Oy voi tarvittaessa hyödyntää tulevissa projekteissaan. Ratkaisu on helposti muokattavissa toimimaan eri projektien erilaisissa ympäristöissä. Ääritapauksissa voi robotin ulottuvuutta joutua parantelemaan, mutta siihen on jo ratkaisuja luonnosteltuna. Loppujen lopuksi työn lopputulokseen voi olla varsin tyytyväinen.

Opinnäytetyön tekeminen antoi mahdollisuuden kehittää suunnittelutöissä vaadittavia taitoja ja perehtyä erilaisten automaatioissa käytettävien ratkaisumallien hyviin ja huonoihin puoliin. Työ myös opetti, miten moniosaisten ratkaisujen kehittämisessä kannattaa edetä ja miten ongelmia tällaisissa tapauksissa kannattaa lähestyä.

## LÄHTEET

FESTO. 2014. Linear gantries. [Viitattu 2015-04-28.] Saatavissa:

[https://www.festo.com/cat/en-gb\\_gb/data/doc\\_engb/PDF/EN/LINIENPORTALE\\_EN.PDF](https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_engb/PDF/EN/LINIENPORTALE_EN.PDF)

LINEAR MOTION TIPS. 2014. Switching from robot systems to Cartesian handling systems. [Viitattu 2015-04-28.] Saatavissa:

<http://www.linearmotiontips.com/switching-robot-systems-cartesian-handling-systems/>

MAKE IT FROM. 1060-O Aluminum. [Viitattu 2015-04-28.] Saatavissa:

<http://www.makeitfrom.com/material-properties/1060-O-Aluminum/>

SMC. Air cylinder. [Viitattu 2015-04-28.]

Saatavissa: [https://content2.smcetech.com/pdf/CJ2-Z-B\\_EU.pdf](https://content2.smcetech.com/pdf/CJ2-Z-B_EU.pdf)

XPAKUSA. 2013. ON-DEMAND ROBOTIC CASE ERECTOR. [Viitattu 2015-04-28.]

Saatavissa: [https://www.youtube.com/watch?v=k33zEK\\_oqm8](https://www.youtube.com/watch?v=k33zEK_oqm8)