



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

RULLAMUOVAUSKONEEN ALARUNGON ASENNETTA- VUUDEN KEHITTÄMINEN

Samesor Oy

TEKIJÄ: Tero Kokko

| | | | |
|--|-----------|--------------------|------|
| Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala | | | |
| Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma | | | |
| Työn tekijä(t) Tero Kokko | | | |
| Työn nimi Rullamuovauskoneen alarungon asennettavuuden kehittäminen | | | |
| Päiväys | 30.5.2014 | Sivumäärä/Liitteet | 27+5 |
| Ohjaaja(t) lehtori Anssi Suhonen ja yliopettaja Esa Hietikko | | | |
| Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Samesor Oy / R&D Manager Jouko Turunen | | | |
| Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli poistaa kuopiolaisen Samesor Oy:n PreFab Advanced –rullamuovauskoneen alarungon kätsisyysvaihtoehdot suunnittelemalla runko symmetriseksi. Myös rungon valmistettavuus ja kokoonpantavuus pyrittiin kehittämään mahdollisimman edulliseksi ja nopeaksi.</p> <p>Runko suunniteltiin uudelleen soveltaen DFM eli <i>Design for Manufacturability</i> –toimintamallia. Lähtökohdaksi otettiin rungon valmistaminen mahdollisimman vähillä osilla, raaka-aineilla ja työvaiheilla. Kokoonpanotyö suunniteltiin mahdollisimman nopeaksi ja helpoksi. Rungon mallia luonnosteltiin SolidWorksilla ja luonnoksista valittiin paras pisteyttämällä ne eri ominaisuuksien mukaan. Rungolle tehtiin suuntaa antava lujoustarkastelu SolidWorksin FEM-analyysillä. Hitsattavia osia vähennettiin käyttämällä särmätyjä levyosia ja koneen leveyssäädössä käytetyt oikosulkumoottori ja voimansiirtoakselit korvattiin lineaarimoottoreilla.</p> <p>Tuloksena saatiin rullamuovauskoneen alarungon malli, joka on täysin symmetrinen ja jossa ei siten ole kätsisyysvaihtoehtoja. Osien ja raaka-ainemateriaalien määrää alarungon hitsauskokoonpanossa ja voimansiirrosta saatiin vähennettyä merkittävästi käyttämällä vain välttämätön määrä osia ja raaka-aineita.</p> | | | |
| Avainsanat rullamuovauskone, DFM, lineaarimoottori | | | |
| julkinen | | | |

| | | | |
|--|--------------|------------------|------|
| Field of Study Technology, Communication and Transport | | | |
| Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering | | | |
| Author(s) Tero Kokko | | | |
| Title of Thesis Improving the Manufacturability of a Lower Frame in Roll Forming Machine | | | |
| Date | May 30, 2014 | Pages/Appendices | 27+5 |
| Supervisor(s) Mr Anssi Suhonen, Senior Lecturer and Mr Esa Hietikko, Principal Lecturer | | | |
| Client Organisation /Partners Samesor Oy / Mr Jouko Turunen, R&D Manager | | | |
| <p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis project was to eliminate the options for handedness in the lower frame of the PreFab Advanced roll forming machine produced by Samesor. Another goal was to design the manufacturability and assembly of the product to be as easy and fast as possible.</p> <p>The frame was redesigned applying DFM, Design for Manufacturability –model with zero-based-approach, using only the necessary parts, materials and work. Assembling was designed to be easy and fast. The amount of welded structures was reduced by using sheet metal parts. The induction motor and drive shafts in the width adjustment of the machine were replaced with linear motors. Drafts were made with SolidWorks to find an ideal design for the frame. The drafts were evaluated by giving them points based on different features. The draft with most points was selected for the design. A brief FEM-analysis was made for the frame in SolidWorks.</p> <p>The result was a fully symmetric and handedness-free design for the lower frame. The number of parts and the amount of materials used in the frame were significantly reduced due to zero-based-design.</p> | | | |
| Keywords roll forming machine, DFM, linear motor | | | |
| public | | | |

ESIPUHE

Haluan kiittää Samesorin R&D manageria Jouko Turusta mielenkiintoisesta ja opettavaisesta opinnäytetyöaiheesta, sekä koko Samesorin henkilöstöä sujuvasta yhteistyöstä. Kiitokset opinnäytetyön ohjauksesta kuuluvat lehtori Anssi Suhoselle ja yliopettaja Esa Hietikolle. Läheisiäni haluan kiittää kaikesta siitä tuesta, jota olen opiskelujeni aikana saanut. Lisäksi haluan kiittää opiskelukavereitani hyvästä ryhmähengestä ja yhteistyöstä viimeisten neljän vuoden aikana.

Kuopiossa 30.5.2014

Tero Kokko

SISÄLTÖ

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 6 |
| 2 | TYÖN TAUSTAT | 7 |
| 2.1 | Samesor Oy | 7 |
| 2.2 | PreFab Advanced | 7 |
| 2.3 | Alkutilanteen ongelmat..... | 8 |
| 3 | DFM | 9 |
| 3.1 | DFM: Suunnittelun ohjeita | 9 |
| 3.2 | DFA | 10 |
| 3.3 | DFWA | 11 |
| 4 | ALARUNGON SUUNNITTELU..... | 12 |
| 4.1 | Leveyssäätöratkaisu | 12 |
| 4.2 | Voimat leveyssäädössä | 13 |
| 4.3 | Runko-osa | 15 |
| 4.4 | FEM-analyysi | 18 |
| 4.4.1 | Tassukourut..... | 19 |
| 4.4.2 | Linearikomponenttien kannattimet..... | 20 |
| 4.4.3 | Pituussuuntaiset palkit..... | 21 |
| 5 | TULOKSET | 23 |
| 5.1 | Kustannukset..... | 24 |
| 5.2 | Tarkistuslista suunnittelijoiden avuksi | 25 |
| 6 | YHTEENVETO..... | 26 |
| | LÄHTEET | 27 |
| | LIITE 1: TARKISTUSLISTA SUUNNITTELIJOILLE | 28 |
| | LIITE 2: ALARUNGON LUONNOKSET | 29 |
| | LIITE 3: UUDEN ALARUNGON KOKOONPANO | 31 |
| | LIITE 4: UUDEN ALARUNGON HITSAUSKOKOONPANO | 32 |

1 JOHDANTO

Tämä työ käsittelee PreFab Advanced –rullamuovauskoneen alarungon valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden kehittämistä. Työ on tehty kuopiolaisen Samesor Oy:n toimeksiannosta. Työn tavoitteena on suunnitella alarunko siten, että siinä ei ole kätisyysvaihtoehtoja, jotka lisäävät valmistuskustannuksia ja pidentävät tuotteen läpimenoaikaa. Alarungon rakenne pyritään optimoimaan myös valmistettavuuden kannalta niin, että runko on mahdollisimman edullinen, helppo ja nopea valmistaa.

PreFab Advancedin kehittäminen on yritykselle tärkeää, sillä sen ja toisen samantyyppisen koneen osuutta yrityksen tuotannossa aiotaan lisätä. Suunnittelussa sovelletaan DFM-toimintamallia, joka tarkoittaa käytännössä suunnittelua valmistettavuuden ehdoilla. Tuotteen valmistuksen huomioimisella suunnittelussa voidaan välttää monia kustannuksia, joita muuten aiheutuisi valmistuksen aikana. Kone valmistetaan Kiinassa, joten suunnittelussa pitää huomioida kiinalaiset standardit. Myös piirustusten ja muiden dokumenttien tulee olla tarkkoja ja täysin yksiselitteisiä hankittaessa tuotteita toiselta puolelta maapalloa.

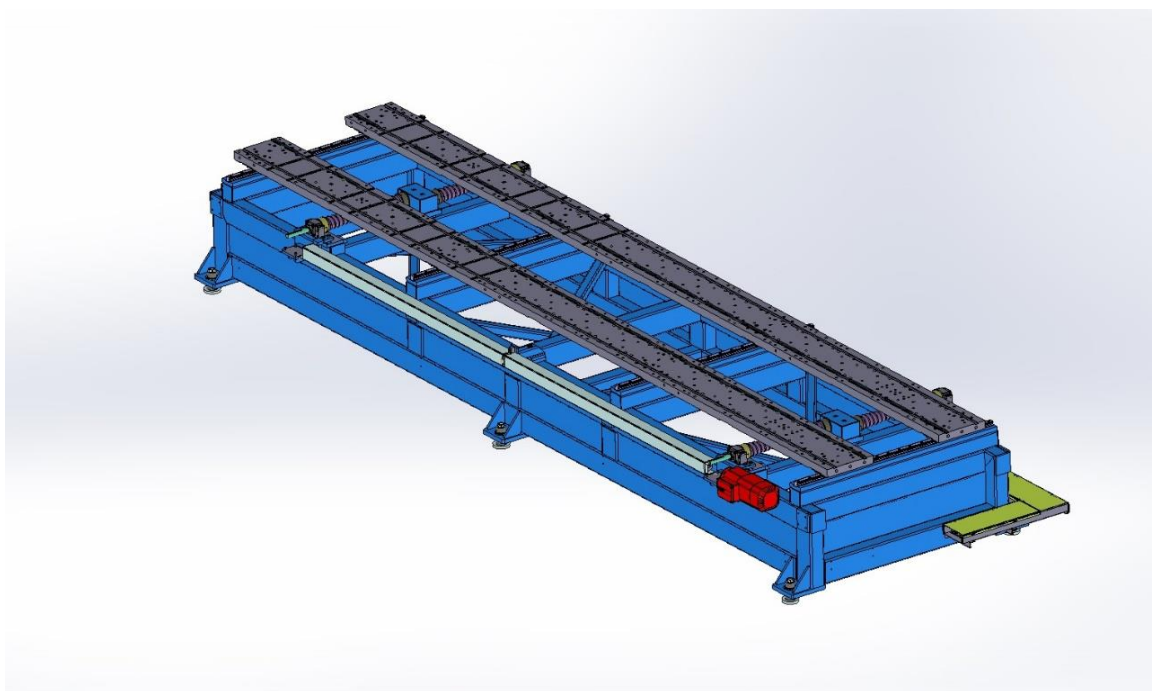
2 TYÖN TAUSTAT

2.1 Samesor Oy

Samesor Oy on vuonna 1969 perustettu kuopiolainen teknologiayritys, jonka päätoimialana on teräksen rullamuovauslinjastojen valmistus. Rullamuovauslinjastoja tehdään yrityksessä useaa tyyppiä, joista yrityksen kannalta tärkeimmät ovat PreFab- eli rakenneprofiililinjastot, joilla tehdään rakennusten runko-osia teräslevystä, ja KTJ- eli kattotiilijäljitelmälinjastot, joilla valmistetaan tiilikattoa muistuttavia kattopeltejä. Samesor ei itse valmista rullamuovattuja tuotteita vaan ainoastaan koneita niiden valmistamiseen. PreFab-linjastoja on kahta luokkaa, Advanced ja Superior, muovattavan levyn paksuuden mukaan. Samesorin asiakkaat ovat rakennusteollisuusyrityksiä ja käytännössä koko tuotanto menee vientiin. Yrityksen strategiaan kuuluu PreFab-koneiden osuuden lisääminen tuotannossa suhteessa KTJ-koneisiin. (Turunen 2014-02-07.)

2.2 PreFab Advanced

Prefab Advanced on rullamuovauskone, jolla valmistetaan rakennusten runko-osia 0,7...2,0 mm vahvuisesta teräslevystä. Advancedilla voidaan muovata levyä C-, U- ja Σ -profiileja. Muovattavien profiilien mitat ovat säädettävissä. Kone koostuu alarungosta ja sen päälle asennettavista vaihepukeista, joihin rullamuovausosat asennetaan. Kone on osa isompaa järjestelmää, johon kuuluu mm. haspeli, jossa levy puretaan rullalta, ja levynkatkaisutyökalut. Kuvassa 1 on alarunko, jonka päällimmäisenä ovat peruslevyt, joiden päälle rullamuovauskomponentit asennetaan. Muovattavan profiilin leveyssäätö tapahtuu siirtämällä peruslevyjä lähemmäs tai kauemmas toisistaan sähkömoottorikäytöllä.



KUVA 1. PreFab Advanced -rullamuovauskoneen alarunko.

Koneen kätisyys tarkoittaa koneen käyttäjän sijaintia muovattavan levyn kulkusuuntaan nähden. Vasenkätisessä koneessa muovattava levy siis kulkee käyttäjän näkökulmasta oikealta vasemmalle. Koneen tilannut asiakas valitsee kätisyyden ja kone kootaan asiakkaan toiveiden mukaan joko oikea- tai vasenkätiseksi. Kätisyys ei vaikuta koneella valmistettaviin tuotteisiin, ainoastaan koneen asentamiseen paikalleen. Vasen- ja oikeakätisten koneiden osat ovat samat ja kätisyys määräytyy osien asennussuunnalla.

2.3 Alkutilanteen ongelmat

Koneen kätisyyspäätöksen odottaminen pidentää läpimenoaikaa ja on asiakkaan kannalta hyödytöntä. Tilatessaan koneen asiakas ei välttämättä tiedä koneen tulevaa asennussuuntaa, eikä koneen alarunkoa voida koota ennen kätisyyspäätöstä. Prefab Advanced -rullamuovauskoneen alarungossa on paljon kehitettävää myös valmistettavuuden kannalta. Runko on alun perin kehitetty kattotiilijäljitelmäkoneen rungosta lisäämällä siihen jäykistäviä osia, jolloin rakenteesta on tullut rikkonainen ja tarpeettoman moniosainen. Alarungon hitsauskokoontaminen on alkutilanteessa tehty useista erikokoisista palkeista, latoista ja levyistä.

Samesorilla on vahva itse tekemisen perinne; tuotteet on tehty kokonaan omassa pajassa ja vain omilla koneilla. Yrityksessä ei ole esimerkiksi levytyökoneita, joten tuotteissa ei myöskään ole ollut särmättyjä osia. Monet osat, jotka voitaisiin tehdä levyistä leikkaamalla ja särmäämällä, on tehty hitsaamalla. Alarungon hitsauskokoontamisessa on 145 osaa, 32 nimikettä ja 11 erilaista raaka-ainemateriaalia. Hitsien yhteenlaskettu pituus oli yli 80 metriä ja hitsausliitosten lukumäärä vähintään 120. Leveysäädössä on paljon voimansiirtoakseleita. Voima tuotetaan kaukana sieltä, missä sitä tarvitaan, mikä heikentää hyötysuhdetta ja lisää leveysäätömoottorin tehontarvetta. Leveysäädön voimansiirron kiinnityksessä on erisuuntaisia koneistettuja pintoja ja useita koneistettuja osia. Alarungossa on nostokorvakkeet, mutta niitä ei voi käyttää enää silloin, kun rullamuovausosa on asennettu alarungon päälle.

3 DFM

DFM eli Design for Manufacturability on toimintamalli, jossa tuote suunnitellaan ennakoiden kaikki tuotteen valmistukseen liittyvät toiminnot, joita ovat mm. valmistustekniikka, kokoonpano, kuljetus ja huolto. DFM:llä varmistetaan myös mm. paras hinta, laatu, turvallisuus ja asiakastyytyväisyys. (Anderson 2004, 1.)

Tuotteen suunnitteluvaiheessa määräytyy 80 % tuotteen lopullisista kustannuksista. 60 % kustannuksista määräytyy jo konseptisuunnitteluvaiheessa, jolloin valitaan tuotteen arkkitehtuuri ja pääsuuntaviivat. Tuotteen mennessä tuotantoon on 95 % kustannuksista lyöty lukkoon. Suunnittelusta aiheutuvat kustannukset taas ovat yleensä vain noin 10 % koko tuotteen kustannuksista. Paras mahdollisuus kustannusten vähentämiseksi on tuotteen arkkitehtuurin yksinkertaistaminen. Kustannuksiin on todella vaikea vaikuttaa enää sen jälkeen, kun tuote on mennyt tuotantoon. (Anderson 2004, 5 - 6.) Ongelmia syntyy silloin, kun tuote suunnitellaan ilman tuotannon huomioimista. Tällainen "over-the-wall" -suunnittelu aiheuttaa kustannuksia, jotka olisi voitu välttää suunnitteluvaiheessa tekemällä yhteistyötä tuotannon kanssa. (Anderson 2004, 2.)

3.1 DFM: Suunnittelun ohjeita

DFM:n soveltamiseksi on olemassa monia ohjeita, joista seuraavia ohjeita on sovellettu PreFab Advanced -rullamuovauskoneen alarungon kehittämisessä: Oikea- ja vasenkätisiä osia on vältettävä. Osat tulee suunnitella siten, että ne toimivat sekä oikealla että vasemmalla puolella kokoonpanossa. Tarvittaessa osaan lisätään ominaisuuksia, jotta siitä saadaan sopiva molemmille puolille. Osat tulee suunnitella symmetrisiksi, koska joka suuntaan symmetristä osaa ei voida asentaa väärin. Osan tekeminen symmetriseksi lisäämällä siihen piirteitä on todennäköisesti edullisempaa kuin epäsymmetristen osien asettaminen oikeaan asentoon kokoonpanon aikana. Jos osaa ei voi suunnitella symmetriseksi, suunnitellaan siitä mahdollisimman epäsymmetrinen, jotta sitä ei asenneta väärin. (Anderson 2004, 276 - 277.) Koneistukset suunnitellaan tehtäväksi mahdollisimman vähillä ja yleisillä työkaluilla. Koneistettavien pintojen tulee olla mieluiten yhdessä tasossa ja samansuuntaisia pöydän kanssa (Pahl ym. 2007, 370.) Tuotteen osien määrä suunnitellaan aina mahdollisimman pieneksi, koska jokainen erilainen osa lisää tuotteen elinkaaren aikana kertyviä kustannuksia jopa tuhansia euroja (Piironen 2013, 13).

Tuotteen arkkitehtuuri voidaan joutua suunnittelemaan osto-osien ympärille. Osto-osien käyttö vähentää suunnittelu-, dokumentointi-, prototyyppi-, testaus- ja raaka-ainekustannuksia sekä työtä, joka ei kuulu yrityksen ydinosaamiseen. Osto-osien käyttö myös lyhentää läpimenoaikaa. Osto-osien toimittajat ovat tehokkaita omalla alallaan, koska niillä on kokemus ja osaaminen omasta tuotteestaan ja ne kehittävät tuotteitaan jatkuvasti. Suunnittelussa kannattaa siksi noudattaa niin kutsuttua Andersonin lakia: *Never Design A Part You Can Buy Out Of A Catalog*. (Anderson 2014.)

Erilliset osat tulisi tilanteen salliessa yhdistää yhdeksi osaksi. Osayhdistelmillä vähennetään nimikkeiden määrää, kiinnitysrajapintoja ja pintojen toleranssivaatimuksia. Vierekkäisten osien yhdistämismahdollisuutta voidaan selvittää seuraavilla kolmella kysymyksellä:

1. Liikkuvatko vierekkäiset osat toisiinsa nähden tuotteen ollessa käytössä?
2. Täytyykö vierekkäisten osien olla eri materiaalia?
3. Täytyykö vierekkäisten osien olla erotettavissa toisistaan kokoonpanon tai huollon aikana?

Jos kaikkiin edellä oleviin kysymyksiin vastattiin ei, voidaan osien yhdistämistä harkita. (Anderson 2004, 293.)

3.2 DFA

DFA eli Design for Assembly tarkoittaa suunnittelua kokoonpanomyönteisesti. Suunnittelijalla on suuri vaikutus kokoonpanon kustannuksiin ja laatuun, jotka riippuvat kokoonpanon työvaiheiden määrästä ja suoritustavasta. Kokoonpantavuus, samoin kuin valmistettavuus, tulee huomioida tuotteen rakenteen suunnittelusta asti. Helposti kokoonpantava tuoterakenne saavutetaan, jos kokoonpanon työvaiheet yksinkertaistetaan, standardoidaan ja niiden määrää vähennetään. Näin vähennetään kustannuksia, koska kokoonpanoprosessi kehittyy, sekä parannetaan laatua, koska kokoonpano on selkeämpää ja helpommin hallittavissa.

Seuraavassa on kirjallisuudesta poimittuja ohjeita kokoonpantavuuden kehittämiseksi:

- Toisiinsa liitettäviä rajapintoja vähennetään osia yhdistämällä.
- Tarvetta purkaa kokoonpano tuotteen toimintojen testaamiseksi tulee välttää.
- Asennussuunnat kokoonpanossa suunnitellaan yhtenäisiksi.
- Tuotteen testaus ja visuaalinen arviointi tehdään mahdolliseksi.
- Kiinnittimien käyttöä vähennetään esimerkiksi napsausliitoksilla.
- Ketjumitoitusta tiukkojen toleranssien kanssa vältetään.
(Pahl, Beitz, Feldhusen & Grote 2007, 375 - 376.)
- Nykyisen tai edeltävän tuotteen valmistukseen liittyvät ongelmat tulee ymmärtää. Virheistä tulee oppia eikä niitä tule toistaa.
- Suunnittelussa tulee pyrkiä mahdollisimman vaivattomaan valmistukseen ja kokoonpanoon.
- Liiallisista rajoituksista asennettavuudessa tulee päästä eroon; osan paikkaa ja asentoa ei saa määrittää liian monella kiinnittimellä.
- Jokaisen osan tulee olla asennettavissa paikalleen. Osan täytyy sopia sille tarkoitettuun paikkaan ja sen tulee myös olla siirrettävissä paikoilleen esteettömästi. Osan lisäksi asennuksessa käytettäville työkaluille tulee olla riittävästi tilaa.

- Osan tulee olla vaihdettavissa ilman, että muita osia irrotetaan.
- Kestävimmän osan, eli sen joka pienimmällä todennäköisyydellä hajoaa, tulisi olla asennusjärjestyksen alkupäässä. Sen osan, joka hajoaa todennäköisimmin, tulisi olla viimeisenä asennettava, jotta se voidaan vaihtaa helposti vikatilanteissa.
- Kokoonpano tulee jakaa alikokoonpanoihin ja moduloida mahdollisuuksien mukaan.
- Usean pienen kiinnitystarvikkeen sijaan käytetään pienempi määrä suurempia kiinnittimiä.
- Kokoonpanon eri kohdissa käytetään samanlaisia kiinnittimiä.
- Osien tulee olla asennettavissa ainoastaan oikealla tavalla. Symmetriset kokoonpanot voidaan koota vain yhdellä tavalla, eli oikein.
- Osat suunnitellaan itsepaikoittuviksi.
(Anderson 2004, 252 – 260.)

3.3 DFWA

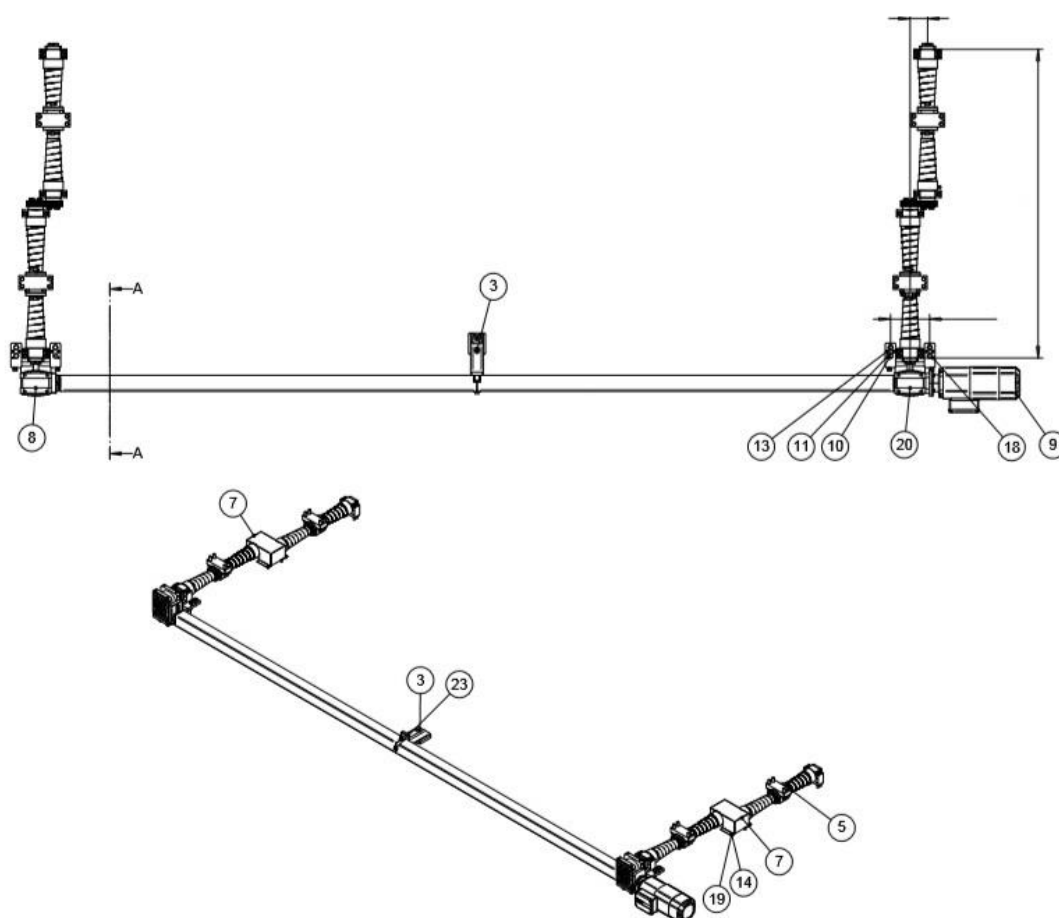
DFWA eli Design for Welded Assembly tarkoittaa suunnittelua hitsattavan kokoonpanon näkökulmasta. Teräsrakenteissa tulisi olla mahdollisimman vähän hitsausliitoksia. Hitsien määrää tulee mahdollisuuksien rajoissa vähentää vähentämällä osien määrää ja käyttämällä taivutettuja levyosia ja valmiita profileja. (Piironen 2013, 40.)

4 ALARUNGON SUUNNITTELU

Työ aloitettiin selvittämällä tutustumalla kohteena olevaan koneeseen ja sen toiminnallisiin vaatimuksiin, sekä hankkimalla tietoa valmistettavuudesta yleisellä tasolla. Kun lähtötilanne oli selvillä, alettiin luonnostella ja ideoida ratkaisuja alkutilanteen ongelmien ratkaisemiseksi. Suurin osa työn alkuvaiheesta oli ideointia, jossa kehiteltiin ratkaisuja alkuperäisen tuotteen ongelmiin. Usein kun jokin idea alkoi vaikuttaa toimivalta, korvautui se uudella paremmalla idealla. Kehitysideoita etsittiin myös kilpailevista tuotteista. Enemmistö muiden valmistajien rullamuovauskoneiden rungoista on hyvin pelkistettyjä, joten mahdollisimman yksinkertainen rakenne haluttiin myös PreFab Advancedin runkoon.

4.1 Leveysäätöratkaisu

Kuvassa 2 on esitetty alarungon voimansiirtokomponentit alkutilanteessa. Peruslevyjen leveysäätö eli sivusiirto tehdään yhdellä 0,75 kW:n oikosulkumootorilla (9), jolta voima siirretään kahdelle matopyörätyyppiselle alennusvaihteelle (20 ja 8). Alennusvaihteisiin on kytketty kuularuuvit, jotka siirtävät toista peruslevyä. Peruslevyjen välissä on hammaspyörät, joilla voima siirretään ensiöpuolen kuularuuveilta toisiopuolen kuularuuveille. Rakenne on todettu hankalaksi asennettavuuden kannalta, koska siinä on paljon sellaisia osia, joiden asennus vaatii suurta tarkkuutta ja paljon aikaa.



KUVA 2. Leveysäädön komponentit alkutilanteessa

Leveyssäädön toteuttamiseksi luonnosteltiin useita vaihtoehtoja. Ensin suunniteltiin entisen tapaista sähkömoottorikäyttöä, jossa voimansiirtoakselit ja vaihteet ovat peruslevyjen välissä, muodostaen symmetrisen rakenteen. Idean hyvänä puolena oli ennestään tuttu teknologia ja ohjaus, huonona puolena entistäkin hankalampi asennus ja huono hyötysuhde pitkien voimansiirtoakselien takia. Toinen vaihtoehto oli sijoittaa koneen molempiin päihin sähkömoottorit, joilla käytetään alkutilanteen kaltaista kuularuuvissäätöä. Parannus ensimmäiseen vaihtoehtoon verrattuna oli voimansiirtokomponenttien vähäisempi tarve, helpompi asennettavuus ja huolto sekä parempi hyötysuhde, huonona puolena kuularuuvien tarve. Koska kuularuuvien asentamisessa on koettu ongelmia, ideoitii niille korvaavia ratkaisuja.

Seuraava idea oli karamoottorin käyttö kuularuuvien sijaan. Karamoottori-idea jalostui nopeasti ja sattumalta lineaarimoottoriksi. Lineaarimoottorikonseptissa leveyssäädön neljä kuularuuvia korvattaisiin neljällä lineaarimoottorilla, joista kaksi liikuttaa yhtä peruslevyä. Lineaarimoottoreiden käyttöä puolsivat helppo asennettavuus, erinomainen hyötysuhde, osien vähyys, vähäinen tilantarve ja mekaaninen kestävyys. Kävi myös ilmi, että Samesor käyttää jo eräessä toisessa kohteessa lineaarimoottoria, joten yrityksessä on kokemusta ko. teknologiasta.

Kun idea lineaarimoottoreista oli saatu, selvitettiin leveyssäädön vaatimukset eli tehontarve ja liikuteltavat massat. Alkutilanteessa sivusiirron sähkömoottorina oli SEW DRE80M4. Moottorin teho on 0,75 kW, nimellismomentti 5 Nm, maksimimomentti 14 Nm, pyörimisnopeus 1435 1/min ja tehokerroin 0,79. Sähkömoottorikäytön suoritusarvot saatiin suoraan SEW:n MOVITOOLS MotionStudio -ohjelmasta, jota käytetään sähkökäyttöjen ohjelmoinnissa. Leveyssäätöä ajettiin molempiin suuntiin ja samalla mitattiin sähkömoottorin suoritusarvoja. Lineaarimoottorien toimittajaksi valittiin SEW, koska yrityksellä on kattava valikoima lineaarimoottoreita ja Samesorilla ollaan oltu tyytyväisiä aikaisempaan yhteistyöhön SEW:n kanssa.

SEW:n edustaja analysoi mittauksia, joista ilmeni, että suurin moottori tuotti hetkellisesti enimmillään 6,5 Nm momentin. Käytössä oli hyvin lyhyt 250 millisekunnin ramppi, jota pidentämällä tarvittavat voimat pienenevät. Rampilla tarkoitetaan sitä aikaväliä, jolla moottori kiihdytetään nolosta suurimpaan pyörimisnopeuteensa.

Moottorin pyörimisnopeus oli sivusiirron aikana enintään 1170 1/min. Alennusvaihteen välityssuhde on 45, joten kuularuuvien pyörimisnopeus oli 26 1/min. Koska kuuruuvien kierteen nousu on 10 mm, on siirtonopeus 260 mm/min eli noin 4,3 mm/s. Peruslevyn siirtomatka leveyssäädössä on 200 mm.

4.2 Voimat leveyssäädössä

Lineaarimoottorien valintaa varten piti selvittää millä voimalla kuularuuvit työntävät peruslevyjä. Oletetaan tilanne, jossa moottorin tuottama maksimimomentti T_{max} jakautuu tasaisesti kaikille neljälle kuularuuville. Moottorin momentti jakautuu ensin puoliksi kahdelle alennusvaihteelle. Alennusvaihteen välityssuhde on 45 ja hyötysuhde SEW:n edustajan (Nurmikari 2014-05-16) arvion mukaan 67 %. Valmistaja ei ilmoita vaihteen hyötysuhdetta, mutta 90 % on käytännössä suurin hyötysuhde, jonka matopyörävaihteella voi saavuttaa, ja senkin vain pienillä (5:1) välityssuhteilla (Stoeber ja Schumacher 2000.)

Ensiöpuolen kuularuuvien momentti T_r lasketaan kaavalla

$$T_r = \frac{T_{max}}{2} * i * \eta_v , \quad (1)$$

jossa T_{max} on suurin moottorin tuottama momentti, i on alennusvaihteen välityssuhde ja η_v on alennusvaihteen hyötysuhde. Sijoittamalla aiemmin mainitut arvot kaavaan 1 saadaan

$$T_r = \frac{6,5 \text{ Nm}}{2} * 45 * 0,67 = 98,0 \text{ Nm}.$$

Kuularuuvien momentti T_r voidaan katsoa jakautuvaksi edelleen tasan ensiö- ja toisiopuolen kuularuuvien välillä, jolloin yhden kuularuuvien momentti T on 49,0 Nm.

Kuularuuvien tuottama aksiaalivoima F voidaan laskea kaavalla

$$F = \frac{T}{2\pi\eta l} , \quad (2)$$

jossa T on kuularuuviin kohdistuva vääntömomentti, η on kuularuuvien hyötysuhde ja l on kuularuuvien kierteen nousu (Nook Industries 2014-05-04.) Kuularuuvien valmistaja ei ilmoita hyötysuhdetta, joten hyötysuhteeksi oletettiin kuularuuveille yleinen 90 %. Sijoittamalla arvot kaavaan 2 saadaan kuularuuvien tuottama suurin aksiaalivoima, joka on

$$F = \frac{49 \text{ Nm}}{2\pi * 0,9 * 0,01 \text{ m}} = 867 \text{ N}.$$

Voima F on riittävä peruslevyjen sivusiirtoon. Voiman perusteella sopiva lineaarimoottori voisi olla esim. SEW SL2-050S.

Peruslevyt ja rullamuovausosa painavat yhteensä noin 7000 kg. Kunkin kahdeksan lineaarikomponentin tulee siis kantaa noin 8 600 N kuorma pystysuunnassa ylhäältä alas, mikäli kuorma jakautuu tasaisesti kaikkien komponenttien kesken. SEW:n katalogin mukaan kaikki lineaarimoottoriyksiköt kestävät ainakin 12 000 N pystysuuntaisen kuorman, joten lineaarimoottorit toimivat koneen painon puolesta.

Lineaarimoottorin mitoituksessa tulee ottaa huomioon sekä staattiset että dynaamiset voimat, joiden yhdistelmästä tarvittava voima koostuu. Staattisilla voimilla tarkoitetaan tässä tapauksessa kitkavoimaa. Kitkavoima F_r lasketaan kaavalla

$$F_r = \mu * F_n , \quad (3)$$

jossa μ on kitkakerroin ja F_n pystysuora voima. Dynaaminen voima on voima, jolla kappale kiihdytetään liikkeeseen. Kiihdytysvoima F lasketaan kaavalla

$$F = ma , \quad (4)$$

jossa m on kiihdytettävän kappaleen massa ja a kiihtyvyys. (Nurmikari 2014-05-16.)

Liikenopeudet leveyssäädössä saavat olla enintään noin 6 mm/s, kuten edellä todettiin. Kiihdytysaika voi olla pidempi kuin alkuperäinen 250 ms. Jos kiihtyvyys on esimerkiksi 0,01 m/s², saadaan kiihdytysajaksi

$$t = \frac{v}{a} = \frac{0,006 \text{ m/s}}{0,01 \text{ m/s}^2} = 0,6 \text{ s}$$

Dynaamiseksi voimaksi yhtä moottoria kohden saadaan tällöin kaavan 4 mukaan

$$F = 1750 \text{ kg} * 0,01 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 17,50 \text{ N}$$

Dynaaminen voima F on vain 2 % kuularuuveilla tuotetusta maksimivoimasta, joten suurin osa voimista menee kitkan voittamiseen.

Rullamuovauskoneen leveyssäädön kitkavoimien määrittäminen on haasteellista. Liikkuivissa rullamuovauskomponenteissa on niin paljon sisäkkäisiä osia ja toisissaan kiinni olevia pintoja, että kitkoja ei tämän työn puitteissa ryhdytty selvittämään. Lineaarimoottorin mitoituksessa turvauduttiin siis vain entisen sähkökäytön suoritusarvoihin. SEW SL2-050S on pienin lineaarimoottori, jolla saavutetaan vähintään 867 N maksimivoima.

Kuularuuvit koneen leveyssäädössä ovat itsepidättyviä, joten leveyssäädössä ei ole jarruja pitämässä peruslevyjä asemassa rullamuovauksen aikana. Lineaarimoottorit eivät ole itsepidättyviä, joten uudessa ratkaisussa tarvitaan jonkinlainen jarru. SEW:n lineaarimoottorijärjestelmiin on saatavilla useita erilaisia jarrumekanismeja, joista sopivin voidaan selvittää SEW:n kanssa yhteistyössä. Lineaarimoottoreiden valitsemiseksi kannattanee tehdä vielä tarkempi tutkimus kitkavoimista leveyssäädössä, jotta moottoreita ei ylimitoiteta vaan päästään kustannustehokkaaseen ratkaisuun.

4.3 Runko-osa

Rungon suunnittelu aloitettiin niin sanotusti puhtaalta pöydältä Andersonin (2004, 159 - 160) esittämän *Zero-Based Approach* -mallin mukaan. Kyseisen mallin mukaan suunnittelu aloitetaan nolasta ja lisätään vain se mitä tarvitaan, sen sijaan että pyrittäisiin vähentämään olemassa olevan tuotteen osia. Runko suunnitellaan jäykkyyden ehdoilla, koska se ei saa taipuilla koneen ollessa käytössä. Siksi materiaaliksi valitaan teräs, jonka lujuus on mahdollisimman pieni. Lujempi teräs on kalliimpaa, mutta ei sen jäykempää kuin vähemmän luja teräs. Rungossa tulee myös olla riittävät koneistusvarat leveyssäätökomponenttien asennuspinnoille. Rungon korkeus määräytyy rullamuovauslinjaston korkeuden mukaan, sillä muovattavan levyn tulee olla samalla korkeudella koko linjastossa. Runko tilataan kiinalaiselta alihankkijalta, joka teettää osan työstä omilla alihankkijoillaan, eikä rungon valmistukselle ole annettu valmistusteknisiä rajoituksia (Heiskanen 20.3.14.)

Runkoa luonnosteltiin sekä käsin piirtämällä että SolidWorks-3D-suunnitteluohjelmalla. Neljä kehityskelpoisinta luonnosta valittiin arvioitavaksi soveltamalla Hietikon (2008, 100) esittämää luonnosten evaluointimenetelmää, jolla luonnoksia arvioidaan spesifikaatioiden mukaan. Taulukossa 1 on esitetty ominaisuudet, joiden mukaan luonnoksille annettiin pisteet. Jokaiselle luonnokselle annettiin kustakin ominaisuudesta pisteet asteikolla 1 - 5, jossa 1 on huonoin ja 5 paras. Ominaisuuksilla oli eri painoarvot niin, että esimerkiksi valmistettavuus meni tärkeydessä ulkonäön edelle. Kunkin ominaisuuden pisteet kerottiin painotuskertoimella, jonka jälkeen pisteet laskettiin yhteen. Eniten pisteitä saanut luonnos valittiin rungon konseptiksi. Kuvassa 3 on eniten pisteitä saanut konsepti. Kaikki luonnokset ovat liitteessä 2.

Leveyssäätö on kallein ja valmistustekniikan kannalta vaativin alarungon osa, joten sitä käytettiin lähtökohtana rungon suunnittelussa ja runko suunniteltiin sen ympärille. Rungolla ei ole muuta tarkoitusta kuin mahdollistaa peruslevyjen ja rullamuovausosan asentaminen ja toiminta. Peruslevyjen tulee olla toisiinsa nähden tarkasti asemoidut, mutta muita tiukkoja toleranssivaatimuksia ei ole. Levyt voivat siis olla yhdessä hieman vinossa, kunhan ne ovat toisiinsa nähden suorassa. Leveyssäätö pyrittiinkin suunnittelemaan mahdollisimman "uivaksi", jolloin vältetään tiukat toleranssit valmistuksessa.

Kiinassa ja Suomessa ovat käytössä eri metallimateriaalien kokovalikoimia koskevat standardit. Rakenneputkien sivumitat ovat Kiinassa suurempia, mutta seinämänpaksuudet pienempiä. Esimerkiksi standardin SFS-EN 10219-2 mukaan nelikulmaisen rakenneputken suurin koko on 400 x 300 x 16, kun taas kiinalaisessa GB/T 6728 -standardissa edellä mainittua kokoa ei tunneta, ja suurin koko on 600 x 400 x 16. SFS-standardissa 400 x 200-kokoisen palkin suurin seinämänpaksuus on 16 mm ja GB/T-standardissa 12 mm.

Prefab Advanced -rullamuovauskoneen rungon tulee olla noin 6 m pitkä ja noin 1,5 m leveä, jotta leveyssäätö mahtuu liikkumaan ääriasentoihinsa. Peruslevyjen yläpinnan tulee olla samassa tasossa kuin aiemmassa mallissa, jotta muovattavan levyn korko ei muutu ja rullamuovauskone toimii osana muuta järjestelmää.

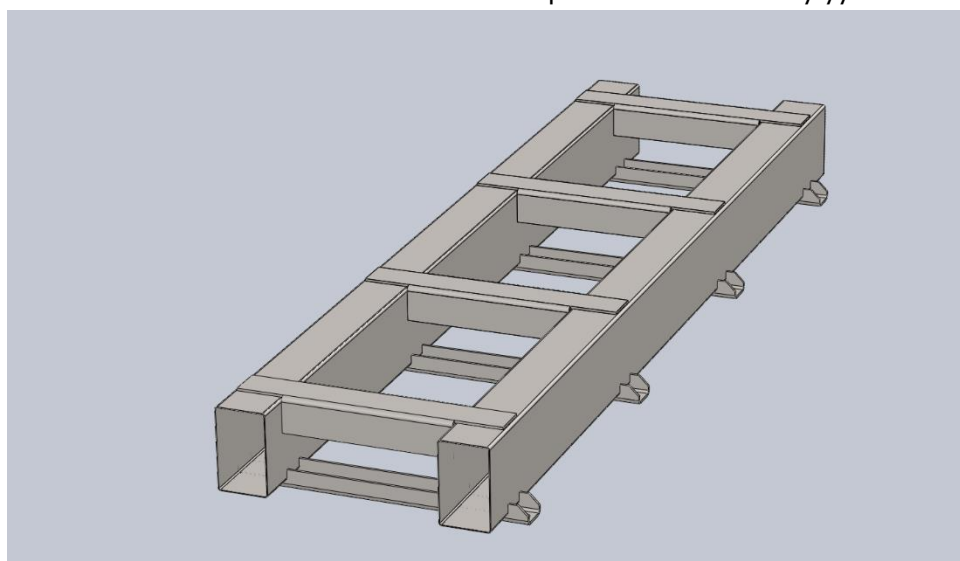
TAULUKKO 1. Luonnosten pisteytys

| Ominaisuus | Painotuskerroin | Luonnos 1 | Luonnos 2 | Luonnos 3 | Luonnos 4 |
|-------------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| hitsattavuus | 1,0 | 4 | 2 | 3 | 4 |
| symmetrisyys | 0,8 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| osien määrä | 0,7 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| raaka-ainemäärien määrä | 0,6 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| työtunnit | 0,8 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| massa | 0,5 | 2 | 1 | 1 | 3 |
| ulkonäkö | 0,4 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| pisteet | | 15,7 | 13,2 | 14,2 | 18,1 |

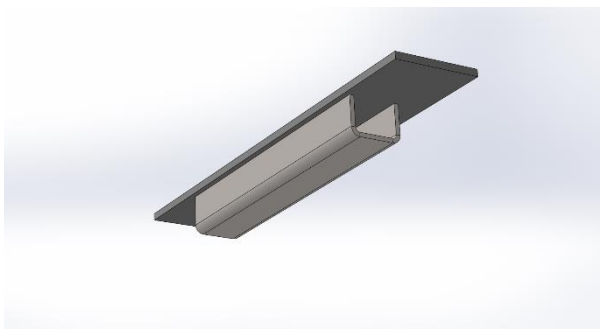
Rungon pituuden takia runkoon valittiin pituussuuntaiseksi rakenteeksi nelikulmaiset putkipalkit, joita saa 12 m:n salkoina. Työvaiheiden määrän minimoimiseksi valittiin rungon pituudeksi 6 000 mm, jolloin 12 m palkista saadaan yhdellä katkaisulla rungon molemmat pituussuuntaiset palkit. Palkkien pituustoleranssi pidetään väljänä, koska sillä ei ole merkitystä toiminnan kannalta. Palkkeja on saatavana myös tarpeeksi korkeaprofiilisenä, jotta yhden palkin korkeus riittää tekemään koneen rungosta tarpeeksi korkean. Koska runko tehdään Kiinassa, käytetään suunnittelussa edellä mainittuja kiinalaisten standardien mukaisia terästuotteiden mittoja. Mitat saatiin suoraan kiinalaiselta alihankkijalta.

Putkipalkkien väliin runkoon hitsataan kuvassa 3 ylimpänä näkyvät levystä särmätyt, poikkileikkaukseltaan U:n muotoiset kannattimet sivusiirron lineaarikomponenteille. Kannattimien päälle asennetaan lineaarimoottorit ja -kiskot, joiden varassa peruslevyt liikkuvat. Kannattimiin koneistetaan tassopinnat hitsauskokoonpanon jälkeen, joten levyn tulee olla riittävän paksu sekä koneen toiminnan että valmistustekniikan kannalta. Rungon tassut tehdään samalla periaatteella kuin lineaarikomponenttien kannattimet: rungon alaosaan tehdään särmätyt kourut, jotka jäykistävät runkoa ja joiden päissä on reiät koneen kiinnittämiseksi lattiaan säätöjaloilla. Tassuosat tehdään samasta materiaalista ja samoilla työkaluilla kuin lineaarikomponenttien kannattimet, jolloin minimoidaan sekä työkalujen vaihdot että raaka-aineiden määrä. Kaikki levyosat voidaan leikata plasmalla, jolloin ne voidaan nestata eli sovittaa levyille siten, että materiaalihukkaa syntyy mahdollisimman vähän. Kaikki levyosat suunniteltiin särmättäväksi yhdellä taivutussäteellä, ja ne on mahdollista tehdä tavallisella täyspitkällä terällä. Rungon konstruktiolla täyttyi tärkein tavoite eli kätisyyden poisto, koska alarunko on joka suuntaan symmetrinen. Myös rungon kaikki yksittäiset osat ovat symmetrisiä tai muotoiltu siten, että osia ei vahingossa asenneta väärin päin.

Lineaarimoottorien kannatinkouruista voidaan joutua tekemään myös kuvan 4 mukaiset, jotta saavutetaan riittävät koneistusvarat lineaarimoottorien asennuspinoissa. Ne kannattimet, joissa on pelkät kiskot, voisivat silloin olla kuvan 5 mukaisia. Tällöin runko-osan raaka-ainemateriaalien lukumäärä nousee kahdesta kolmeen. Tarkempi muoto osille määräytyy lineaarimoottorien mukaan.

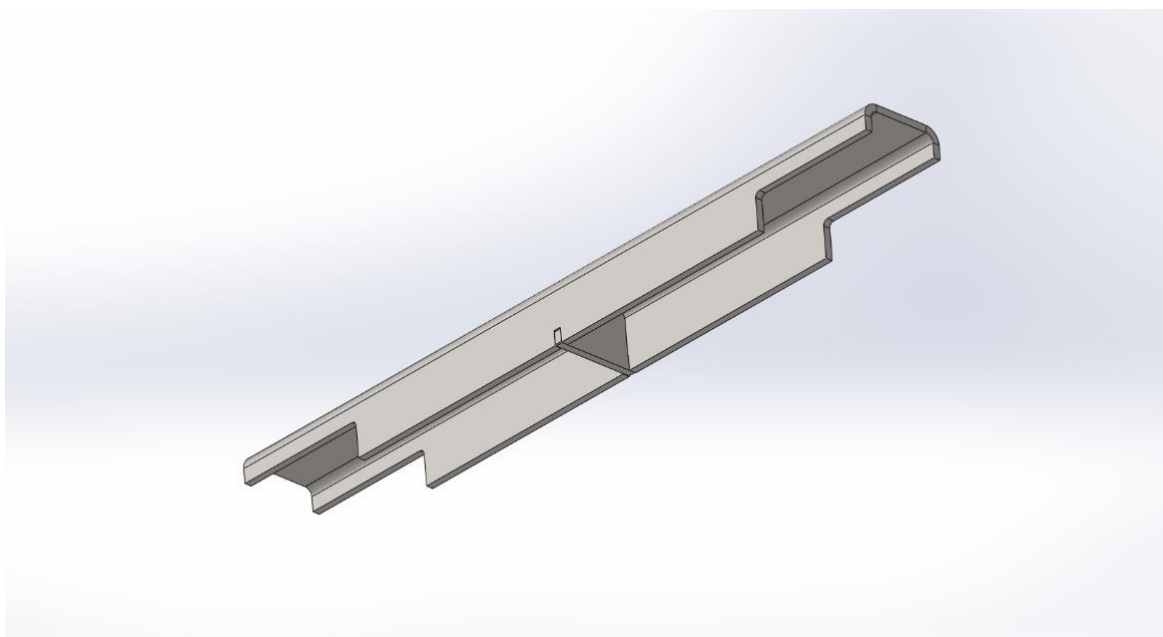


KUVA 3. Eniten pisteitä saanut rungon luonnos.



KUVA 4. Moottorikannattimen vaihtoehto.

Runko-osan suunnittelun lähtökohtana oli SEW SL2-050S -lineaarimoottori, mutta malli toimii vain pienin mittamuutoksin myös muiden, erikokoisten lineaarimoottorien kanssa. Rungon yksityiskohdat varmistuvat, kun lineaarimoottorin malli varmistuu. Moottorimalli ei juurikaan vaikuta rungon valmistuskustannuksiin, koska vain mitat muuttuvat ja osat ja piirteet pysyvät samana.



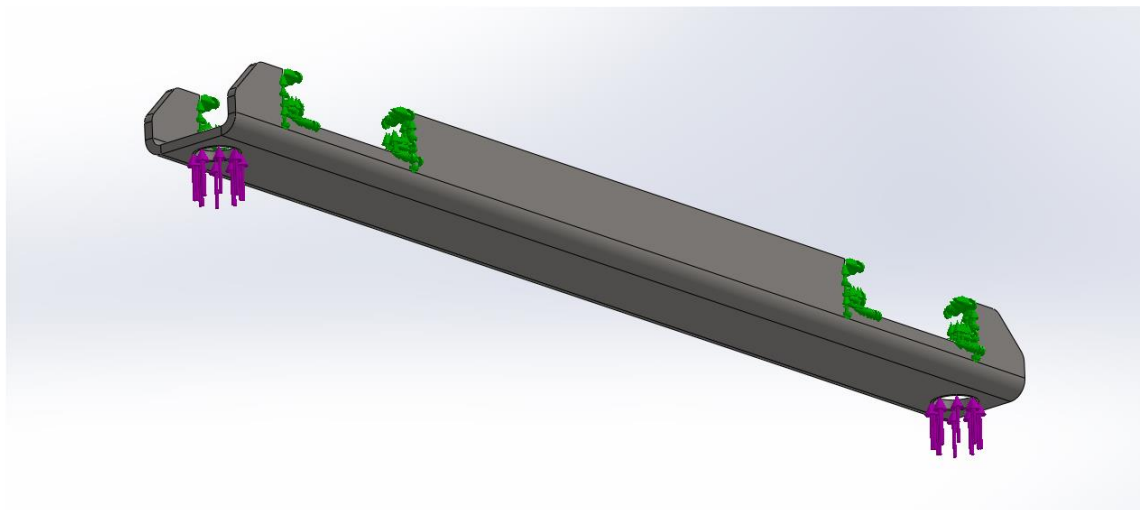
KUVA 5. Vaihtoehtoinen kannatinkouru.

4.4 FEM-analyysi

Rungon jäykkyyttä tarkasteltiin suuntaa antavalla FEM-analyysillä SolidWorksissa. Tietokoneella tehtävä FEM-analyysi on nopea tapa selvittää, täyttääkö luonnosteltu osa sille asetetut vaatimukset tai onko se edes lähellä niitä. Tarkastelun jälkeen voidaan toimivaksi havaittua luonnosta kehittää ja analysoida edelleen tai hylätä toimimaton luonnos tuhlaamatta siihen aikaa. Tässä projektissa katsottiin SolidWorksin FEM-analyysin olevan riittävä rungon tarkasteluun. Tarkasteltavia kohteita rungossa olivat lineaarikomponenttien kannatinlevyt, tassut ja pituussuuntaiset palkit.

4.4.1 Tassukourut

Koneen rungossa on neljä tassukourua, joiden varassa koneen paino on sen ollessa käytössä. Tassun FEM-analyysi tehtiin ensin 15 mm paksulla teräslevyllä. Ne osat, jotka kiinnitetään koneen runkoon hitsaamalla, asetettiin mallissa kiinteiksi. Tassussa olevan reiän ympärille tassun alaosaan tehtiin

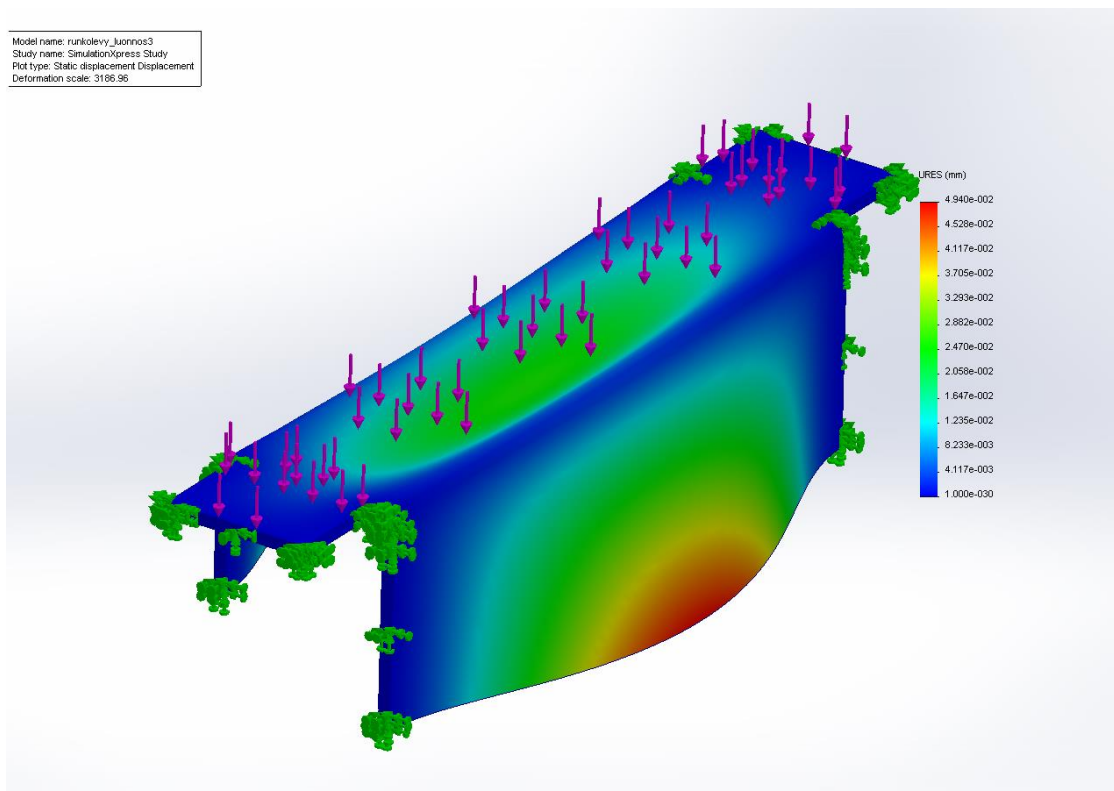


KUVA 6. Koneen painon aiheuttama kuormitus tassukourussa

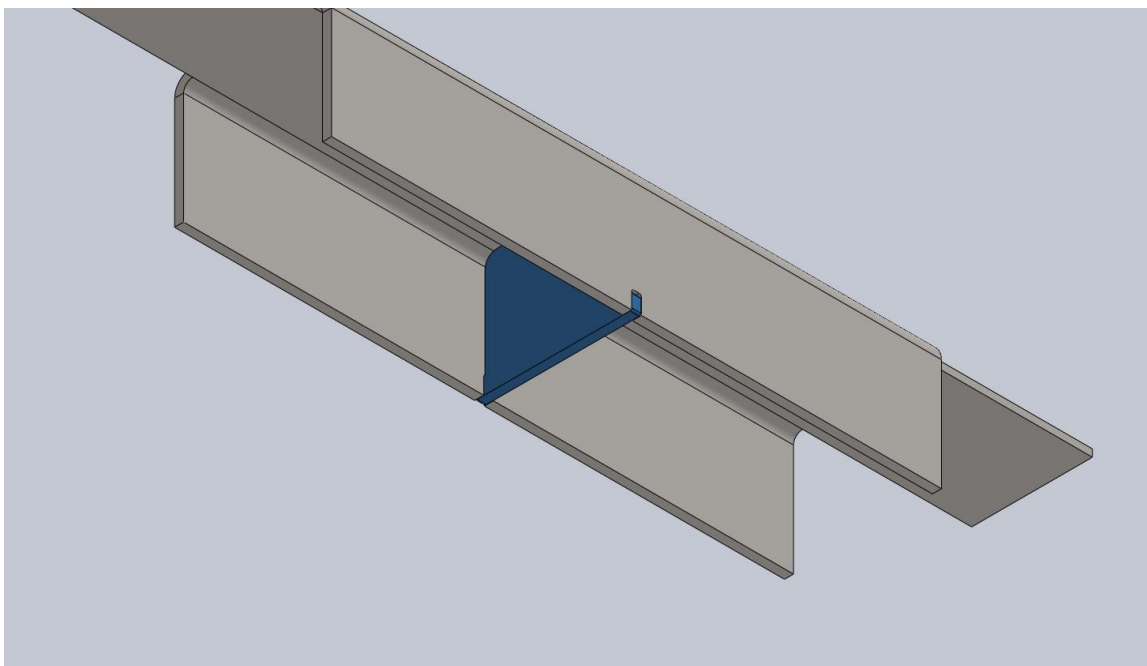
Split Line -toiminnolla ympyrä, joka kuvaa säädettävän ruuvijalan pinta-alaa tassua vasten. Ympyrään kohdistettiin 14 000 N voima, joka vastaa yhteen tassuun kohdistuvaa osaa koko koneen painosta. 15 mm tassun muodonmuutos oli enimmillään alle 0,1 mm ja suurin jännitys noin 103 MPa, joka on alle puolet materiaalin myötölujuudesta. Kuvassa 4 on havainnollistettu tassukourun FEM-analyysissä käytettyä kuormitusmallia. Vihreät nuolet kuvaavat kiinteitä pintoja ja violetit nuolet koneen painon aiheuttamaa kuormitusta.

4.4.2 Linearikomponenttien kannattimet

Linearikomponenttien kannatinlevyillä tarkoitetaan tässä niitä osia, joiden päälle asennetaan lineaarimoottorit ja lineaarikiskot. Kannattimien on oltava niin jäykkiä, että suurimmat muodonmuutokset koneen toiminnan aikana ovat yksittäisiä sadasosamillejä (Virsunen 2014-05-08). Muodonmuutokset kannattimissa aiheuttavat herkästi häiriöitä lineaarijohteiden toiminnassa. Kannatinlevyissä tarkasteltiin ensin 20 mm levyistä muovattu kappale ja sen jälkeen sama kappale, jonka yläosaa oli ohennettu 5 mm siten kuin sitä todellisuudessa koneistettaisiin. Pituussuuntaisiin palkkeihin hitsattavat reunat asetettiin kiinteiksi ja levyn päälle asetettiin 17 000 N:n kuormitus, joka vastaa yhtä neljäsosaa koko rullamuovausosan painosta. Siirtymä kriittisessä paikassa eli levyn yläosassa oli koneistamattomassa eli kauttaaltaan 20 mm paksussa levyssä noin 0,03 mm. Enimmillään levyssä oli noin 0,05 mm:n siirtymiä, ja nekin paikassa, jossa muodonmuutos ei vaikuta koneen toimintaan. Kuvassa 7 on nähtävissä 20 mm levyistä tehdyn kannattimen muodonmuutokset kuormitustilanteessa. Koneistetussa levyssä muodonmuutos kriittisessä yläosassa oli noin 0,04 mm, joka sekään ei vielä vaikuta koneen toimintaan. Koska ohuempikin materiaali havaittiin riittäväksi, tarkasteltiin vielä sekä 15 mm että 12 mm ahiosta koneistamalla oikaistut levyt. 12 mm ahiosta



KUVA 7. Kannatinkourun muodonmuutoksia



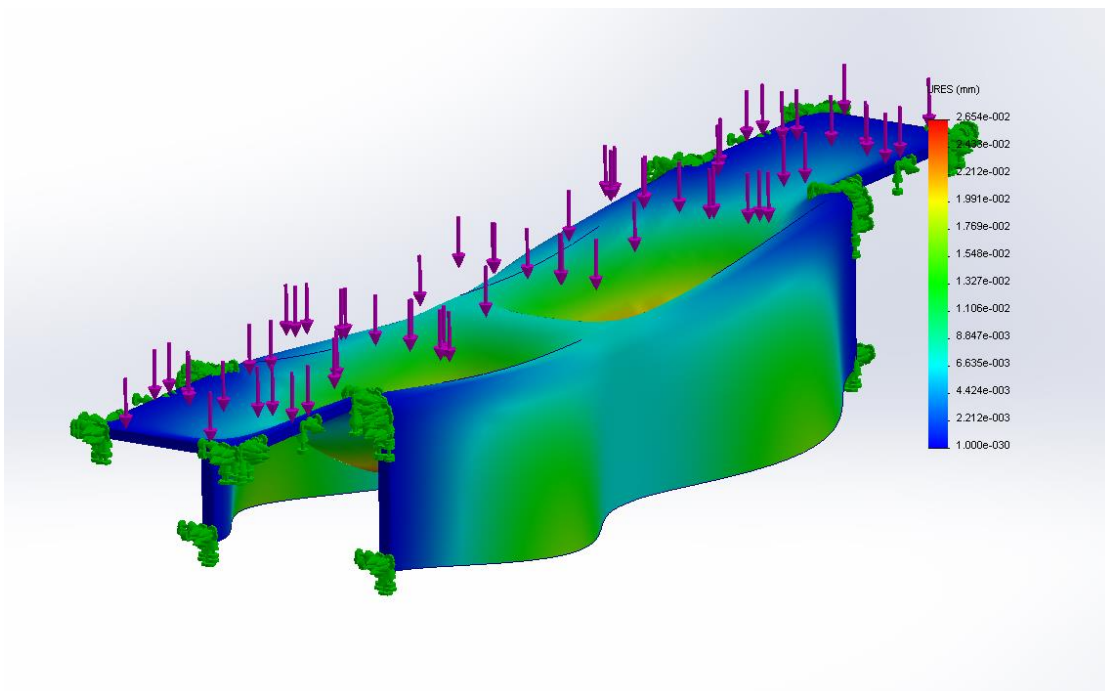
KUVA 8. Kannatinkourun jäykistelevy

tehdyssä levyssä yläosa on 9 mm:n paksuinen. Siinä siirtymät olivat kriittisessä kohdassa enimmillään noin 0,1 mm ja ei-kriittisessä kohdassa noin 0,2 mm. 0,1 mm siirtymän katsottiin olevan liian suuri lineaarikomponenttien alustalle.

Lopulta päädyttiin siihen, että kannatinlevyt tehdään 15 mm levyistä, jotta kaikki rungon levyosat voidaan tehdä samasta materiaaliyhdistelmästä. Siltä varalta, että koneistusvaiheessa poistetaan enemmän materiaalia kuin 3 mm, lisätään kannattimiin vielä kuvan 8 mukaiset jäykistelevyt. Myös jäykistelevy tehdään samasta raaka-aineesta kuin kannatinlevyt ja tassukourut. Jäykistelevy kiinnitetään kouruun hitsaamalla. Jäykistelevylle tehdään kannatinkouruun paikoituslovet ja se muotoillaan siten, että se sopii paikoilleen vain yhdellä tavalla. Jäykistelevyllä varustetulle kourulle tehtiin vielä SolidWorksissa FEM-analyysi, jossa havaittiin, että suurin siirtymä on alle 0,03 mm. Näin ollen kouru on riittävän jäykkä. Kuvassa 9 on nähtävissä muodonmuutokset kourussa.

4.4.3 Pituussuuntaiset palkit

Pituussuuntaisten palkkien tarkoitus on lähinnä pitää kannatinlevyt ja tassukourut asemissaan ja olla rungon julkisivuna. Palkkia analysoitaessa oli rungon mallissa vielä ainoastaan kuusi tassua, joten tassut olivat eri kohdassa kuin lineaarikomponenttien kannatinlevyt. Pituussuuntaisten palkkien analyysissä tassujen kohdat, jotka kiinnitetään lattiaan, asetettiin kiinteiksi, ja kannatinlevyjen kiinnityskohtiin tasaisesti jakautuvaksi asetettiin 34 000 N:n kuorma ylhäältä alas. Suurimmaksi muodonmuutokseksi saatiin 0,2 mm, joka oli palkin yläpinnassa. Koska yläpintaa vasten tulee lineaariyksikön kannatinlevy, ei muodonmuutos todellisuudessa ole niinkään suuri. Muodonmuutosta saadaan merkittävästi vähennettyä laittamalla tassut lineaariyksiköiden kiinnityslevyjen kohdille runkoon, jolloin pituussuuntainen palkki ei taivu.



KUVA 9. Jäykistetyin kannattimen muodonmuutokset.

5 TULOKSET

Työn tulokseksi saatiin PreFab Advanced -rullamuovauskoneen alarungon malli, jossa ei ole kätisyysvaihtoehtoja, vaan joka kootaan aina samalla tavalla. Osien määrä koko alarungossa väheni kiinnittimet poislukien noin 75 %. Määrää laskettaessa joitain entisen leveysäädön alikokoonpanoista käsiteltiin yksittäisinä osina, joten osien määrä saattaa vähentyä vieläkin enemmän. Alarungon hitsauskokoonpanon osien määrä väheni 88 %, ja hitsausliitosten yhteenlaskettu pituus noin 65 %. Leveysäädön osien määrä väheni noin 50 %, kun joitain entisen leveysäädön alikokoonpanoja käsitellään osina. Uusi leveysäätöratkaisu toteutetaan kokonaan valmiilla osto-osilla, kun taas vanhassa mallissa oli leveysäädössä useita omavalmisteosia. Taulukossa 2 on vertailtu osien määrää vanhassa ja uudessa alarungossa.

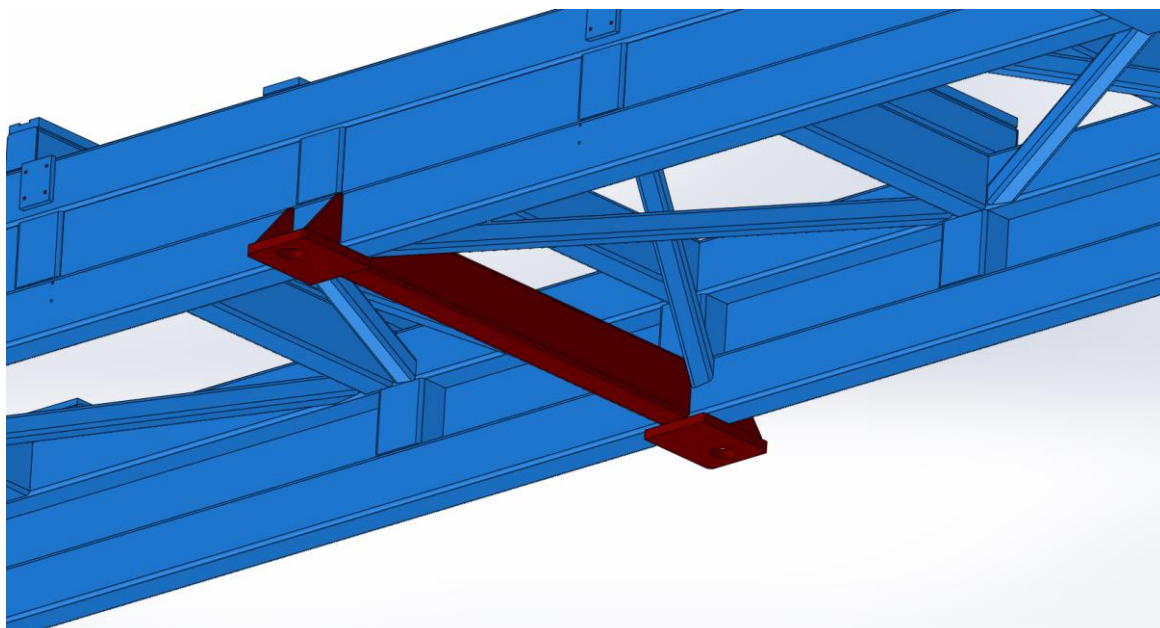
TAULUKKO 2. Alarungon osien määrä ennen ja jälkeen kehitysprojektin.

| | ennen | jälkeen | Muutos (%) |
|--|-------|------------|------------|
| Hitsauskokoonpanon osien määrä | 145 | 18 | -88 |
| Hitsauskokoonpanon nimikkeiden määrä | 32 | 7 | -78 |
| Hitsauskokoonpanon raaka-aineaihioiden määrä | 11 | 3 | -73 |
| Hitsausliitosten yhteispituus (m) | 80 | 28 | -65 |
| Leveysäädön osien määrä* | 44** | 22 (arvio) | -50 |
| Osia yhteensä | 312 | 78 | -75 |

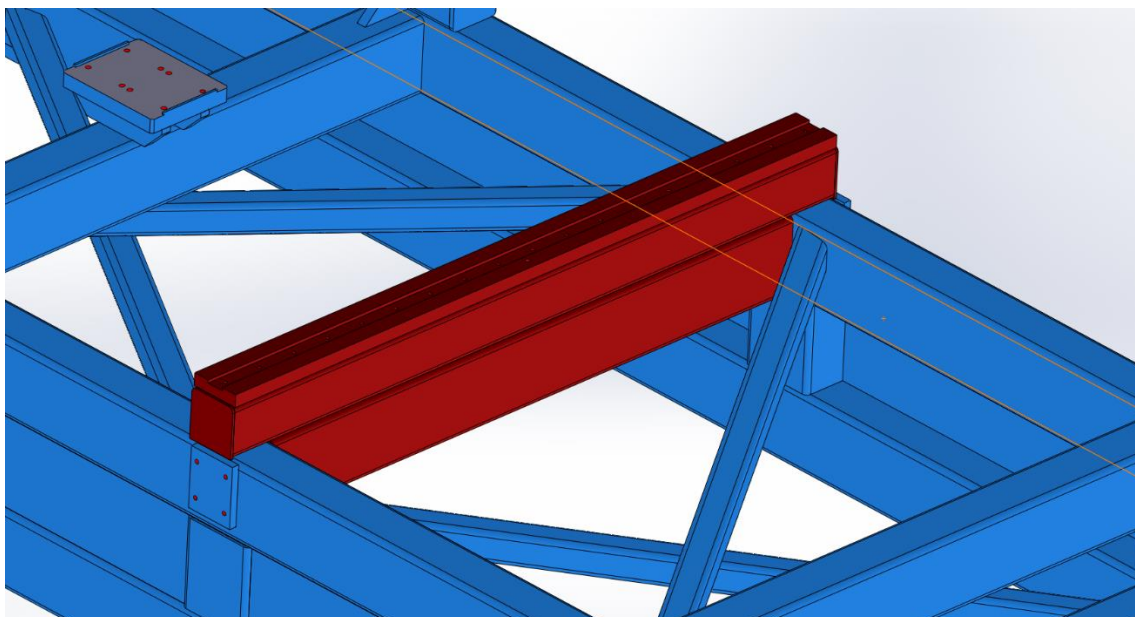
*poislukien kiinnittimet

**osa tästä alikokoonpanoja

Vaikka projektissa ei keskitytty osien vähentämiseen alkuperäisessä rungossa, vaan uuden rungon suunnitteluun alusta asti, voidaan tiettyjä kohtia rungossa vertailla ennen-jälkeen-tyylillä. Kuvissa 10 ja 11 on esimerkkejä osien määrän vähentämisestä alarungossa. Kuvan 10 seitsemän punaisena olevaa erillistä osaa on korvattu uudessa rungossa yhdellä osalla. Käytännössä siis 21 osaa on korvattu



KUVA 10. Tassukourulla korvatut osat.



KUVA 11. Kannatinkourulla korvatut osat

neljällä osalla, kun tarkastellaan koko runkoa. Kuvan 11 punaisella merkityt viisi erillistä osaa on korvattu kahdella osalla, jolloin koko rungossa 20 osaa on korvattu kahdeksalla.

TAULUKKO 3. Alarungon hitsauskokoontalon raaka-aineet

| | ennen | jälkeen |
|-------|---|--------------------------|
| Latat | S355JO 20x50 /EN 10025 S355JO 15x120 /EN 10025 S355JO 25x100 S355JO 10x60 /EN 10025 S355JO 25x120 /EN 10025 | |
| RHS | 60x60x5 /EN 10219 150x100x5 /EN 10219 FE44D 100x60x5 /EN 10219 100x100x5 /EN 10219 | 500x300x6 |
| Levyt | Steel plate S355J2G3 PL 5 Steel plate S355J2G3 PL35 | S235 PL15 (S235 PL25) |

Taulukossa 3 on esitetty alarungon hitsauskokoontalon käytetyt raaka-ainemateriaalit vanhassa ja uudessa runkomallissa. Rungon kokoonpano on esitettyä liitteissä 3 ja 4.

5.1 Kustannukset

Lopulliset kustannukset selviävät, kun suunnitelluista osista tehdään tarjouspyynnöt. Säästöjä on odotettavissa rungon osavalmistuksessa ja hitsauskokoontalon sekä leveysäädön kokoonpanossa. Sen sijaan lineaarimoottorit voivat olla huomattavasti kalliimmat kuin vanhan mallin leveysäätökomponentit.

5.2 Tarkistuslista suunnittelijoiden avuksi

Työssä käytetystä teorian tiedosta kerättiin yrityksen toiveesta tarkistuslista, jota seuraamalla suunnittelijat voivat varmistaa suunnittelemiensa tuotteiden valmistettavuuden. Listassa on ohjeita yksittäisten osien ja kokoonpanojen suunnitteluun. Ohjeet ovat pääosin David M. Andersonin teoksesta *Design for Manufacturability and Concurrent Engineering* ja G. Pahlin, W. Beitzin, J. Feldhusenin ja K.H. Groten teoksesta *Engineering Design: a Systematic Approach*. Tarkistuslista on liitteessä 1.

6 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli kehittää PreFab Advanced -rullamuovauskoneen alarungosta sellainen, että se kootaan aina samalla tavalla eikä oikea- tai vasenkätiseksi. Rungosta haluttiin suunnitella myös mahdollisimman helposti ja nopeasti valmistettava. Työ tehtiin kuopiolaiselle Samesor Oy:lle, joka tuottaa monenlaisia rullamuovauslinjastoja rakennusteollisuuden käyttöön. Työn teoriapohjana oli David M. Andersonin teos *Design for Manufacturability and Concurrent Engineering* sekä muita valmistettavuuden kehittämistä käsitteleviä teoksia ja internetsivustoja.

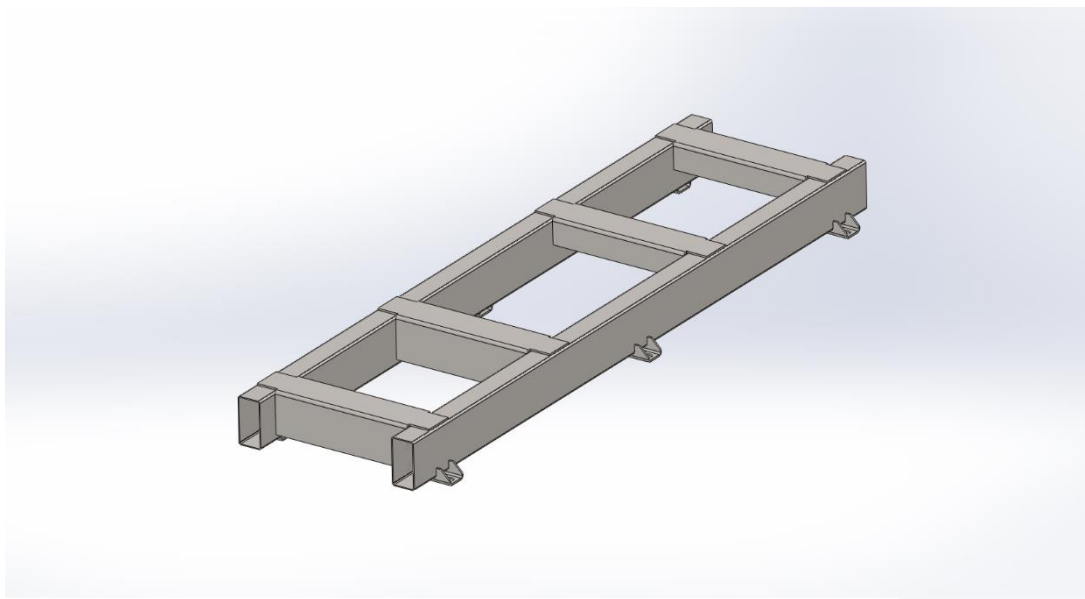
Työ alkoi lähtötilanteen ongelmien ja työn vaatimusten selvittämisellä, minkä jälkeen alettiin luonnostella pääasiassa SolidWorksilla ratkaisuja alkutilanteen ongelmiin. Luonnokset pisteytettiin eri ominaisuuksien mukaan ja eniten pisteitä saanut luonnos valittiin rungon malliksi. Koneen leveyssäätö, jolla säädetään muovattavan profiilin leveys, päätettiin toteuttaa lineaarimoottoreilla entisen oikosulkumoottorin ja kuularuuvien sijaan. Runko suunniteltiin käytännössä lineaarimoottorien ympärille. Rungon osien jäykkyyttä tarkasteltiin SolidWorksin FEM-analyysillä.

Työn tuloksena saatiin suunnitelma sellaisesta rungosta, jossa ei ole kätisyyttä eli joka kootaan aina samalla tavalla. Osien ja raaka-aineiden määrä rungossa väheni merkittävästi, minkä vuoksi myös työvaiheet vähenivät. Lineaarimoottoreiden mitoituksessa kannattaa tehdä tarkempi selvitys tarvittavista voimista, jotta varmistetaan kustannustehokkain ratkaisu.

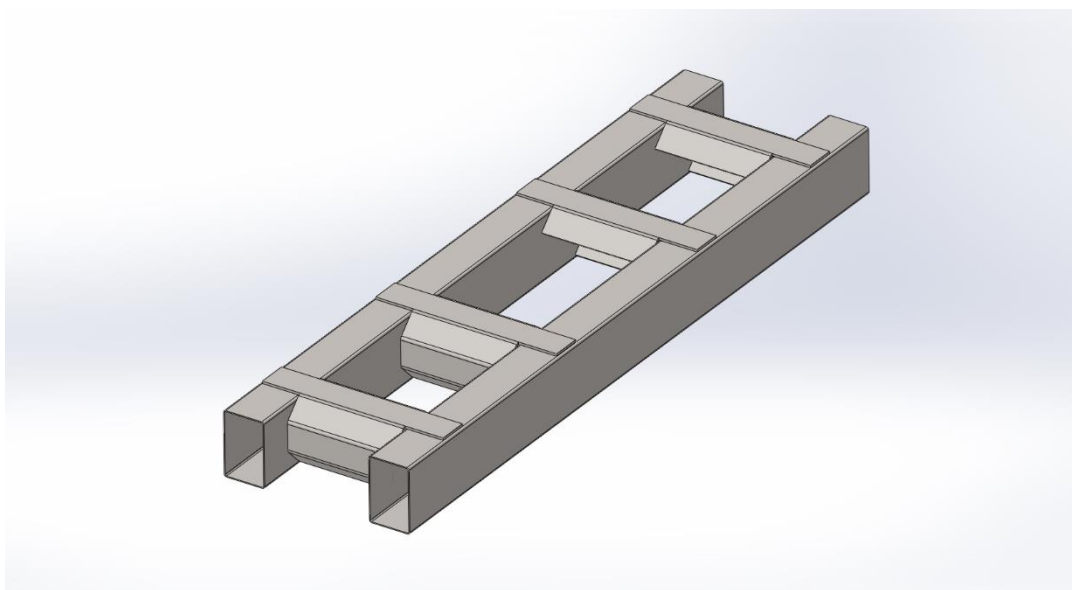
LÄHTEET

- ANDERSON, David M. 2004. Design for Manufacturability & Concurrent Engineering. Cambria: CIM Press
- ANDERSON, David M. 2014. Design for manufacturability. [verkkodokumentti] [Viitattu 2014-05-04.] Saatavissa: http://www.design4manufacturability.com/DFM_article.htm
- HEISKANEN, Simo (2014-03-20). Sourcing Manager [Haastattelu] Kuopio: Samesor.
- HIETIKKO, Esa 2008. Tuotekehitystoiminta. Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja B 2/2008. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulun kuntayhtymä.
- NOOK INDUSTRIES, Ball screw torque calculations. [verkkodokumentti] [Viitattu 2014-05-04.] Saatavissa: http://www.nookindustries.com/LinearLibraryItem/Ballscrew_Torque_Calculations
- NURMIKARI, Esko 2014-05-16. Opinnäytetyö, Samesor [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Tero Kokko.
- PAHL, G., BEITZ, W., FELDHUSEN, J., GROTE, K.H. 2007. Engineering Design: A Systematic Approach. 3rd edition. Lontoo: Springer.
- PIIRONEN, Tomi 2013. Teräsrakenteiden suunnitteluohjeita parempaan valmistettavuuteen. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu, Julkaisutoiminta
- STOEBER, Bernd ja SCHUMACHER, Jim 2000. Gear efficiency – key to lower drive cost. [verkkodokumentti] [Viitattu 2014-05-04.] Saatavissa: <http://machinedesign.com/mechanical-drives/gear-efficiency-key-lower-drive-cost>
- TURUNEN, Jouko (2014-02-07). R&D Manager [Haastattelu.] Kuopio: Samesor.
- VIRSUNEN, Mikael (2014-05-08). Suunnittelija [Haastattelu.] Kuopio: Samesor.

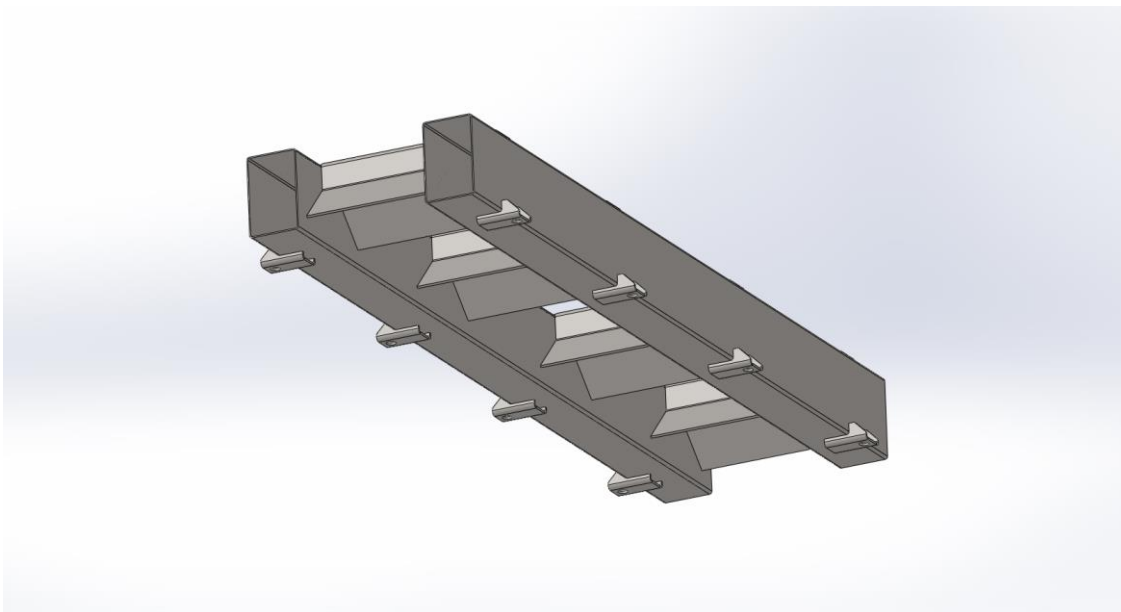
LIITE 2: ALARUNGON LUONNOKSET



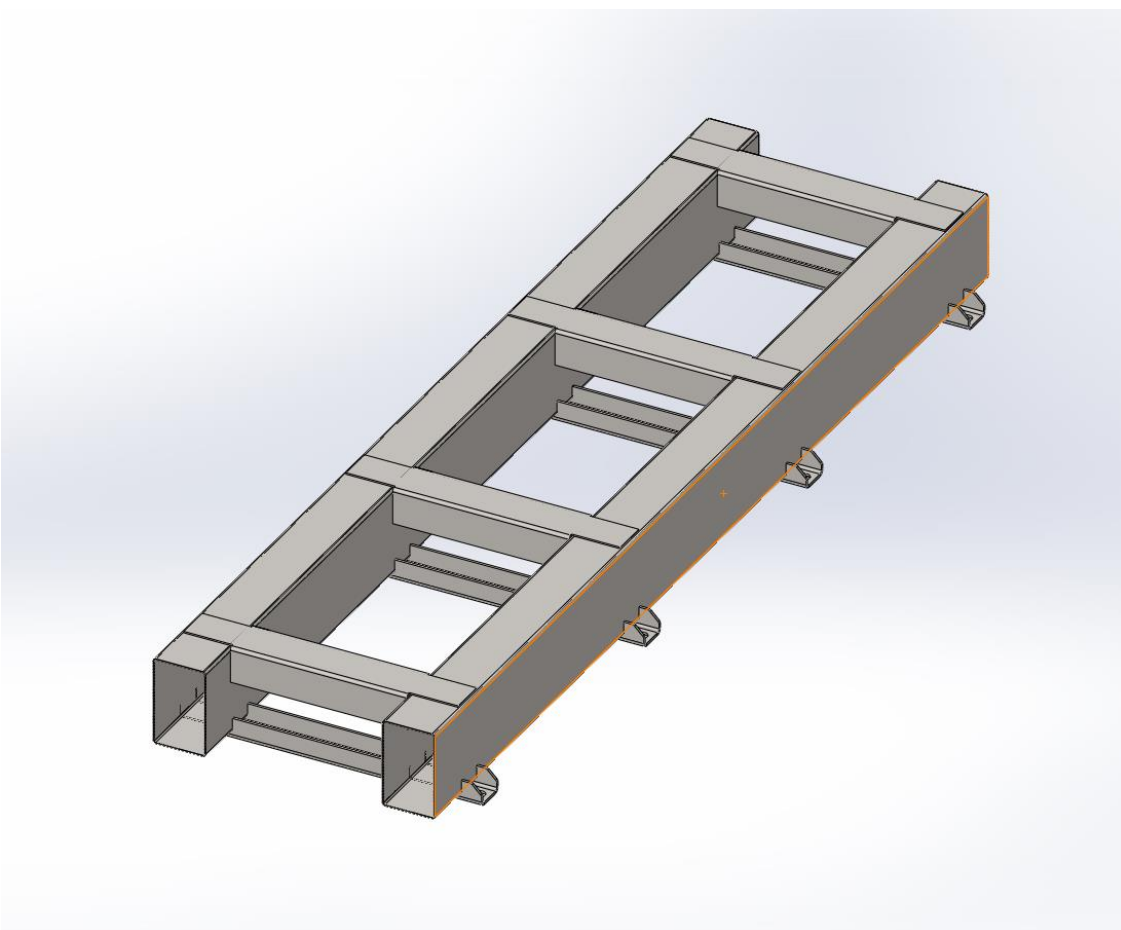
Luonnos 1



Luonnos 2

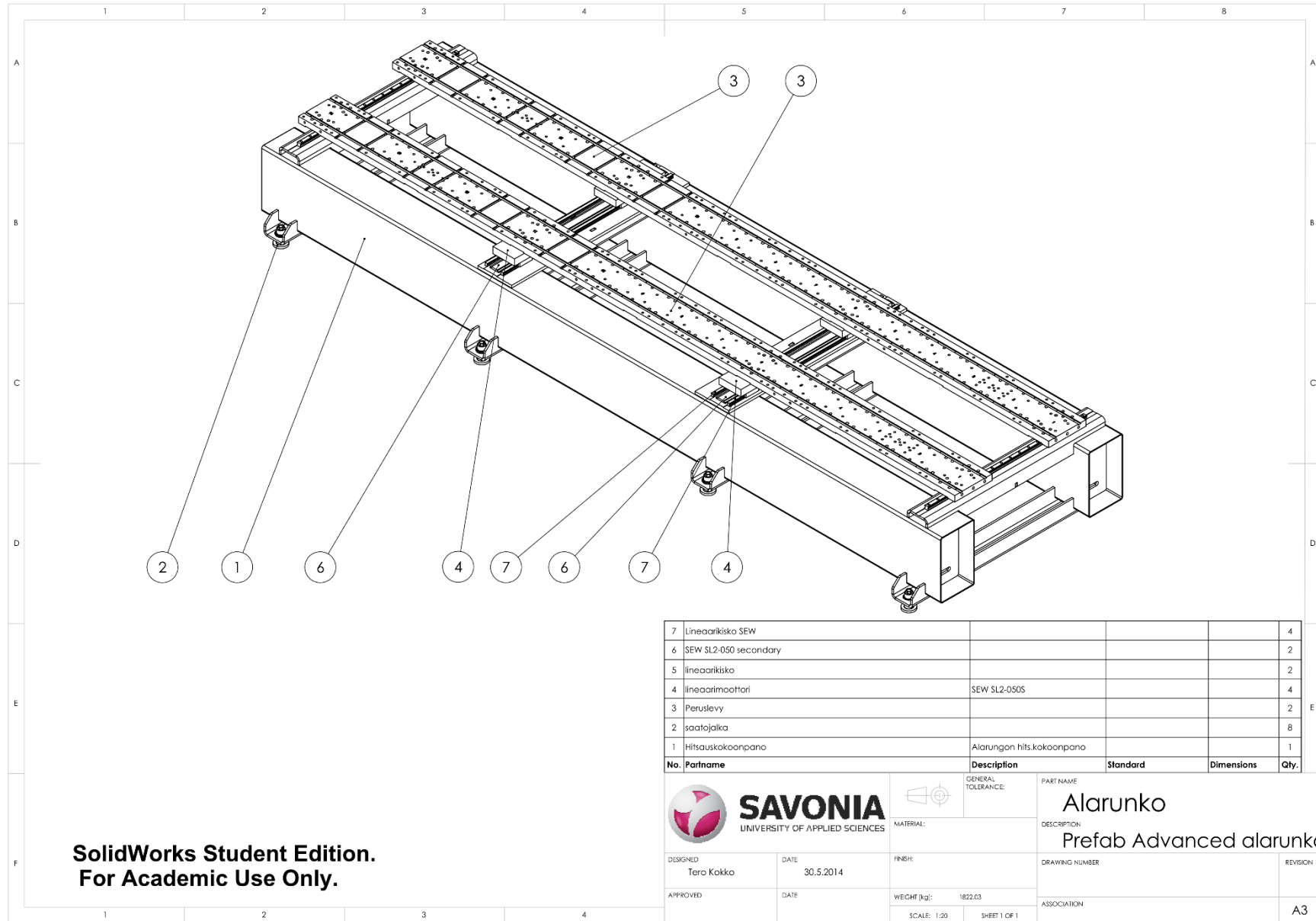


Luonnos 3



Luonnos 4

LIITE 3: UUDEN ALARUNGON KOKOONPANO

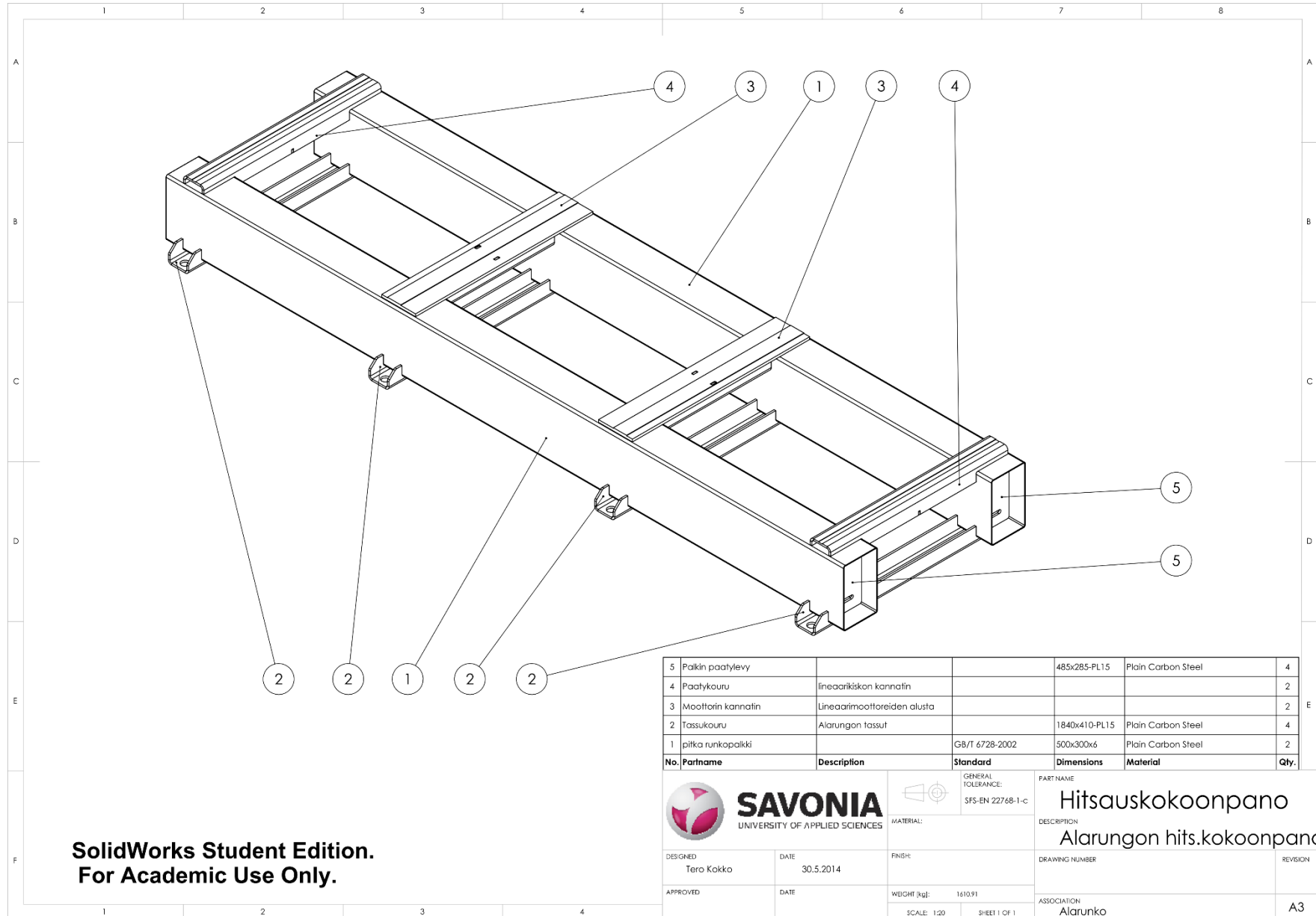


| 7 | Lineaarkisko SEW | | | 4 | |
|-----|-----------------------|---------------------------|----------|------------|------|
| 6 | SEW SL2-050 secondary | | | 2 | |
| 5 | lineaarkisko | | | 2 | |
| 4 | lineaarimootori | SEW SL2-050S | | 4 | |
| 3 | Peruslevy | | | 2 | |
| 2 | saatojalka | | | 8 | |
| 1 | Hitsauskokoontalo | Alarungon hits.kokoontalo | | 1 | |
| No. | Partname | Description | Standard | Dimensions | Qty. |

**SolidWorks Student Edition.
For Academic Use Only.**

| | | | |
|--|--|------------------------|---|
| SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES | | GENERAL TOLERANCE: | PART NAME Alarunko |
| DESIGNED Tero Kokko | | DATE 30.5.2014 | DESCRIPTION Prefab Advanced alarunko |
| APPROVED | | DATE | DRAWING NUMBER |
| WEIGHT (kg): 1822.03 | | SCALE: 1:20 | SHEET 1 OF 1 |
| ASSOCIATION | | | A3 |

LIITE 4: UUDEN ALARUNGON HITSAUSKOKKOONPANO



**SolidWorks Student Edition.
For Academic Use Only.**

| 5 | Palkin paatylevy | | | 485x285-PL15 | Plain Carbon Steel | 4 |
|-----|--------------------|-----------------------------|----------------|---------------|--------------------|------|
| 4 | Paatykouru | lineaarikiskon kannatin | | | | 2 |
| 3 | Moottorin kannatin | Lineaarimoottoreiden alusta | | | | 2 |
| 2 | Tassukouru | Alarungon tassut | | 1840x410-PL15 | Plain Carbon Steel | 4 |
| 1 | pitka runkopalkki | | GB/T 6728-2002 | 500x300x6 | Plain Carbon Steel | 2 |
| No. | Parname | Description | Standard | Dimensions | Material | Qty. |

| | | | |
|--|--|--|--|
| SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES | | GENERAL TOLERANCE: SFS-EN 22768-1-c | PART NAME: Hitsauskokooppa |
| DESIGNED: Tero Kokko | | DATE: 30.5.2014 | DESCRIPTION: Alarungon hits.kokooppa |
| APPROVED: | | DATE: | DRAWING NUMBER: |
| WEIGHT [kg]: 1410.91 | | SCALE: 1:20 | ASSOCIATION: Alarunko |
| SHEET 1 OF 1 | | REVISION: | |
| | | | A3 |

No part of this document may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in database, without written permission of owner.