

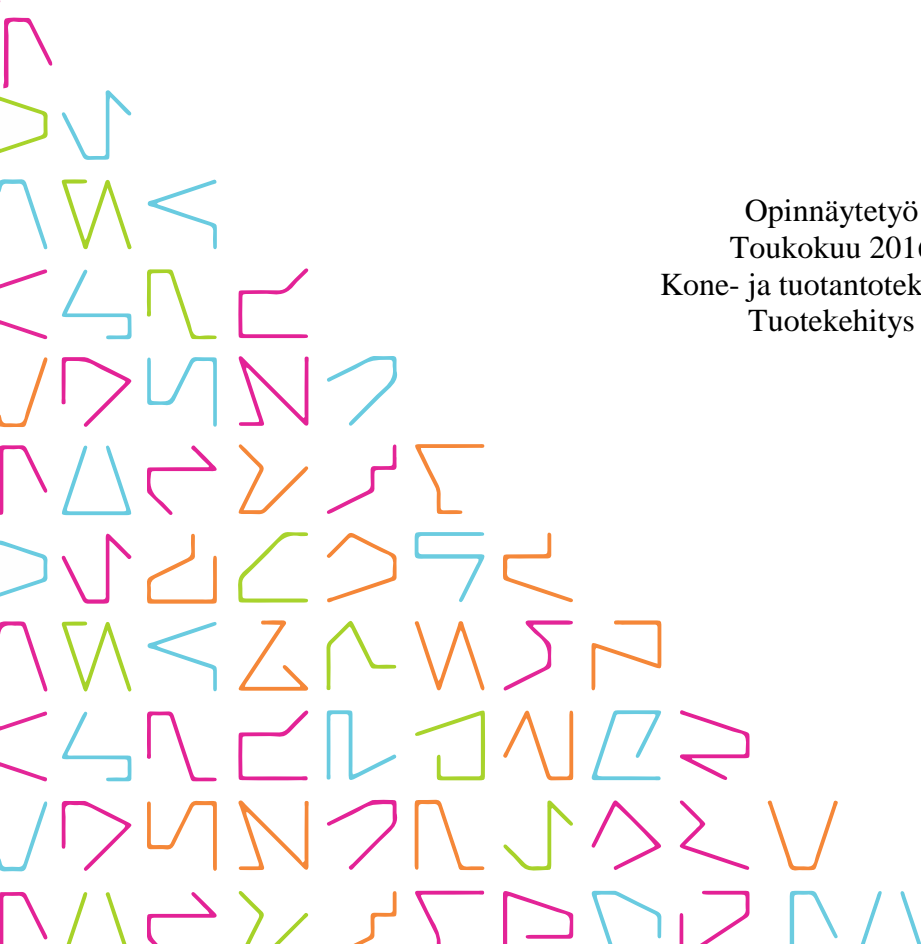


TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

JAUHIMEN MODULARISOITU ASENNUSPETI

Juha Luoma

Opinnäytetyö
Toukokuu 2016
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotekehitys



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotekehitys

LUOMA JUHA:

Jauhimen modularisoitu asennuspeti

Opinnäytetyö 46 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Toukokuu 2016

Tämä opinnäytetyö tehtiin Valmet Technologies Oy:lle, joka toimittaa teknologiaa ja palveluja sellu-, paperi-, ja energiateollisuudelle. Työn tavoitteena oli suunnitella modulaarinen asennuspeti käytettäväksi jauhimien asennukseen tehdastiloihin. Aiemmin asennuspedit on suunniteltu yksittäiskappaleina ja toiveena olikin saada työn tuloksena yksi peruskonstruktio asennuspedille, josta voidaan luoda tilannekohtaisia variaatioita.

Työn aluksi tarkasteltiin yleisesti jauhimia ja niiden asennusta tehdastiloihin sekä aiemmin tehtyjä asennuspetien konstruktioita. Lisäksi kerättiin suunnittelun avuksi lähtötietoja, kuten jauhinten mittatiedot ja referenssilista jauhinten kanssa käytettävistä moottoreista.

Asennuspeti suunniteltiin ja mallinnettiin kolmiulotteisena CAD-mallina Autodesk Inventor -ohjelmalla käyttäen apuna modulointia. Mallia ohjaamaan tehtiin konfigurointityökalu, johon voidaan syöttää asennuspedin generointiin vaadittavat tiedot. Näiden tietojen pohjalta saadaan tilanteeseen sopiva variaatio CAD-mallista, josta saadaan edelleen generoitua työpiirustukset asennuspedille.

Osa opinnäytetyöstä sisältää luottamuksellista materiaalia, joka on poistettu julkisesta versiosta.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering
Product Development

LUOMA JUHA:
Modular Installation Stand for Finer

Bachelor's thesis 46 pages, appendices 3 pages
May 2016

This thesis was made for Valmet Corporation which supplies technologies and services for the paper, pulp and energy industries. The purpose for this thesis was to develop a modular installation stand for finers to be used in factories. Installation stands are previously designed case-by-case and for this thesis hope was to develop one basic construction for installation stand that can be varied for each situation.

The thesis was begun by getting familiar with finers and their installation on factories and by researching previously designed installation stands. Additional knowledge like finer dimensional data and motor references were also compiled to help with the design process.

Installation stand was designed and modelled in Autodesk Inventor design program as a three-dimensional CAD-model using modulation. A configuration tool was built for inputting required parameters to generate model variation that's appropriate to the situation. Manufacturing drawings are also generated from the CAD-model.

Some parts of this thesis are confidential and have been removed from the public version.

Key words: modulation, finer

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TYÖN TAVOITTEET JA TAUSTAT.....	7
2.1	Tutkimussuunnitelma.....	7
2.2	Työn rajaus	8
2.3	Jauhin	8
2.3.1	Jauhimen moottori.....	10
2.3.2	Jauhimen vaihde.....	10
2.4	Jauhimen asennus	11
2.5	Työssä käytetyt välineet.....	13
3	MODULOINTI JA KONFIGUROINTI	15
3.1	Modulointi	15
3.1.1	Modulaarisuuden lajit.....	15
3.2	Konfigurointi	16
3.3	Asennuspedin modulointi ja konfigurointi	16
4	ASENNUSPEDIN SUUNNITTELU	18
4.1	Asennuspedin suunnitteluprosessi	18
4.2	Asennuspedin rakenne yleisesti	19
4.2.1	Runko	20
4.2.2	Kiinnikkeet jauhimelle ja moottorille	26
4.2.3	Tukirakenne vaihteistolle.....	29
4.2.4	Ankkurit asennuspedille.....	32
4.2.5	Nostosilmukkeet.....	33
4.3	FEM-analyysi.....	33
4.4	Konfigurointityökalu	38
4.5	Työpiirustukset	40
5	LOPPUTULOKSET JA POHDINTA.....	41
	LÄHTEET.....	43
	LIITTEET	44
	Liite 1. Asennuspedin erään variaation työpiirustus.	44

LYHENTEET JA TERMIT

2D	2-dimensional – Kaksiulotteinen
3D	3-dimensional – Kolmiulotteinen
CAD	Computer Aided Design – Tietokoneavusteinen suunnittelu
FEM	Finite Element Method – Lujuusanalyysi elementtimentelmällä

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin Valmet Technologies Oy:lle. Valmet on maailman johtava teknologian, automaation ja palveluiden kehittäjä ja toimittaja sellu-, paperi- ja energiäteollisuudelle. Valmetin toiminnot kattavat kaiken kunnossapidon ulkoistuksesta tehtaiden ja voimalaitosten parannuksiin ja varaosiin. Teknologian ytimen Valmetilla muodostavat sellutehtaat, pehmopaperin-, kartongin- ja paperinvalmistuslinjat sekä bioenergiavoimalaitokset. Valmetin automaatiotratkaisuihin sisältyvät kaikki yksittäisistä mittauksista aina koko tehtaan kattaviin automaatioprojekteihin (Valmet Oy. 2015).

Työn tavoitteena oli suunnitella jauhimelle, sitä käyttävälle moottorille ja mahdolliselle vaihteistolle asennuspeti, jolla laitteisto saadaan asennettua tehdassaliin. Asennuspedin tarkempi rakenne ja koko vaihtelee tapauskohtaisesti käytetyn jauhimen koon ja mallin sekä sitä käyttävän moottorin mukaan. Tämän vuoksi asennuspedistä haluttiin moduloitu CAD-malli, jonka rakenne voidaan konfiguroida helposti ja joustavasti vastaamaan projektikohtaisia vaatimuksia. Konfigurointia varten toiveena oli luoda helppokäyttöinen käyttöliittymä. Lisäksi mallista tulisi saada generoitua valmistusta varten 2D-piirustukset.

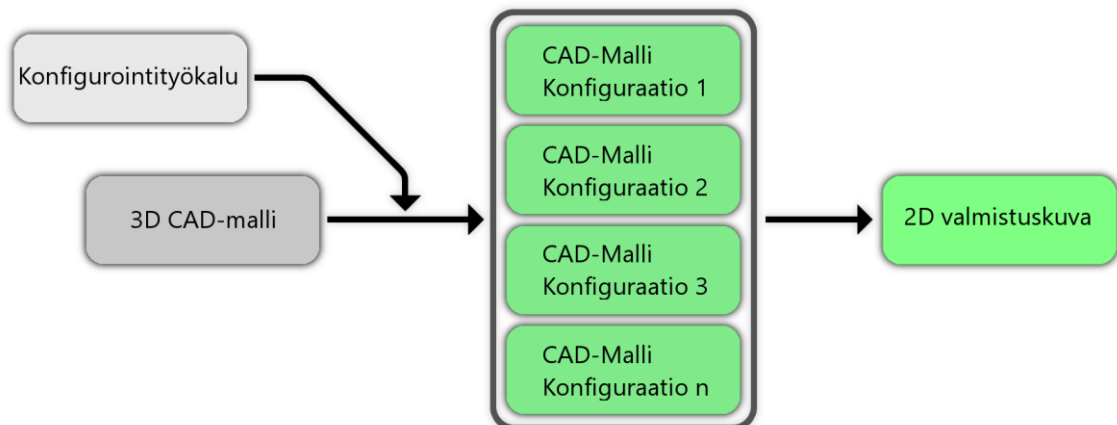
Tämä työ oli tarpeen, koska tällä hetkellä jauhimille ei ole olemassa standardisoitua asennuspetiä vaan ne suunnitellaan projektikohtaisesti.

2 TYÖN TAVOITTEET JA TAUSTAT

2.1 Tutkimussuunnitelma

Työn tavoitteena oli suunnitella ja mallintaa jauhimille sopiva teräksinen asennuspeti, jolle voidaan kiinnittää jauhin ja sitä käyttävä moottori sekä tarvittaessa vaihteisto. Kyseiset laitteet on asennettu usein betonista valetuille jalustoille, mutta ne voidaan asentaa myös teräksiselle asennuspedille. Asennuspeti on konstruktio, jolla laitteet saadaan asennettua tehtaaseen ilman suurimittaisia betonivaluja. Aiemmin asennuspedit on suunniteltu tapauskohtaisesti erikseen jokaiseen projektiin ja Valmetilla ei ole ollut standisoitua asennuspetiä, mikä nostaa kustannuksia projekteille ja vaikuttaa niiden aikatauluihin.

Lopullisena tavoitteena oli tehdä Valmetin käyttöön Autodesk Inventorissa toimiva modulaarinen asennuspedin 3D-malli ja sen 2D-valmistuskuvat sekä Microsoft Excel – taulukkolaskentaohjelmassa toimiva työkalu mallin konfigurointiin. Kuvassa 1 on kuvattu asennuspedin generoinnin periaatetta.



KUVA 1. Asennuspedin generoinnin periaate.

Aluksi suunnitellaan ja mallinnetaan yksi kolmiulotteinen CAD-malli Inventor-ohjelmalla. Konfigurointityökalu rakennetaan ja sidotaan CAD-malliin. Työkalulla valitaan jauhimen ja vaihteiston tyyppi sekä syötetään moottorin tiedot. Tietojen pohjalta saadaan automaattisesti generoitua niitä vastaava variaatio kolmiulotteisesta CAD-mallista. Lopuksi pystytään generoimaan valitusta variaatiosta sille kaksiulotteiset työpiirustukset esimerkiksi asennuspedin valmistusta varten. Mallia ja konfigurointityökalua käyttäen on

tarkoituksena pystyä luomaan nopeasti ja joustavasti kuhunkin tilanteeseen sopivat variaatio jauhimien asennuspedille.

2.2 Työn rajaus

Työn alussa sovittiin asennuspetiä lähettävän suunnittelemaan Valmetin OptiFiner Pro ja OptiFiner Conflo -jauhimien tuoteperheille. Lisäksi toiveena oli tarkastella mahdollisuutta sisällyttää samaan asennuspedin rakenteeseen vaihteistolliset ja suoravetoiset variaatiot. Tarvittaessa työtä voitaisiin kuitenkin rajata sisältämään vain OptiFiner Pro -tyyppiset jauhimet. Myös vaihteiston sisällyttämisestä samaan malliin voitaisiin tarvittaessa luopua ja esimerkiksi tehdä kaksi perusversiota, joista toisesta saadaan generoitua vaihteelliset ja toisesta suoravetoiset variaatiot.

Työn edessä käytiin keskusteluja suunnittelun tarkemmasta rajauksesta. Tietojen karttuessa ja suunnittelun edessä päätettiin keskittyä erityisesti uudempien OptiFiner Pro -jauhimien tuoteperheeseen ja tehdä ensisijaisesti niille sopiva asennuspeti. Vaihteiston tukirakenteen moduulin sisällyttäminen samaan malliin paljastui jo työn alkuvaiheilla mahdolliseksi.

Työn alkaessa valmistua CAD-mallin skaalaus ilmeni hyvin joustavaksi, jonka ansiosta työ saatiin kattamaan myös OptiFiner Conflo -jauhimien tuoteperheen malleja.

2.3 Jauhin

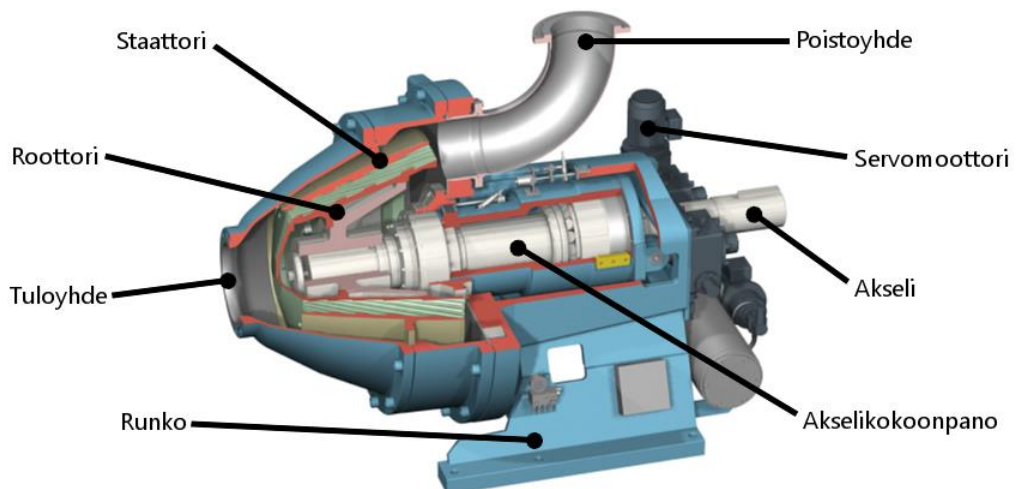
Jauhin on mekaaninen massankäsittelylaite, jolla käsitellään paperimassaa ja sen sisältämiä kuituja. Jauhimet ovat erittäin oleellisia paperimassan kuitujen ominaisuuksien muokkaamisessa, mikä vastaavasti vaikuttaa suoraan tuotetun paperin ominaisuuksiin (Valmet Oy, 2015). Kuitujen ominaisuuksia muuttamalla saadaan muutettua muun muassa valmiin paperin lujutta ja pinnanlaatua. Esimerkiksi massan kuitujen lyhentäminen laskee paperin lujutta, mutta parantaa pinnanlaatua (PrintWiki, 2015).

Valmet tuotti ensimmäiset kartio- ja levyjauhimet 1950-luvulla. Valmetin nykyiseen tuotemallistoon sisältyvät kartiomalliset OptiFiner Conflo -jauhimet ja kuvan 2 mukaiset läpivirtaavat OptiFiner Pro -jauhimet (Valmet Oy, 2015).



KUVA 2. Valmet OptiFiner Pro -jauhin (Valmet Oy, 2015).

Jauhimen rakenne on esitetty kuvassa 3 ja listattu oleelliset osat käyttäen esimerkkinä Valmet OptiFiner Conflo -malliston jauhinta. Paperimassa syötetään jauhimeen tuloyhteestä, josta se kulkee jauhantakammioon. Kammiossa massa kulkee edelleen staattorissa olevien terien ja pyörivän roottorin terien välistä. Varsinainen jauhanta tapahtuu terien välissä, jonka jälkeen massa pumpataan ulos jauhimesta poistoyhteestä. Teräväliä säädetään liikuttamalla servomootorilla koko akselikokoonpanoa ja siinä kiinni olevaa roottoria aksiaalisuunnassa. Säättämällä teräväliä kompensoidaan terien kulumista, mutta myös vaikutetaan jauhannan lopputulokseen.



KUVA 3. Valmet OptiFiner Conflo -jauhimen rakennekuva. (Valmet Oy, 2014)

2.3.1 Jauhimen moottori

Jauhimia käytetään teollisuussähkömoottorilla (kuva 4), joka voi olla kytketty jauhimeen joko suoravedolla tai vaihteen välityksellä. Jauhinta käyttävä moottori ei yleensä kuulu Valmetin toimitukseen, vaan se toimitetaan asiakkaan puolelta. Tämän vuoksi jauhimien kanssa käytettävien moottorien spesifikaatiot vaihtelevat asiakas- ja projektikohtaisesti. Siksi myös asennuspedin suunnittelussa ja sen moduloinnissa täytyy ottaa huomioon hyvinkin erilaiset moottorit. Moottoreille on kuitenkin määritelty Valmetin puolelta jauhimille sopivat käyttötehot ja pyörimisnopeudet.

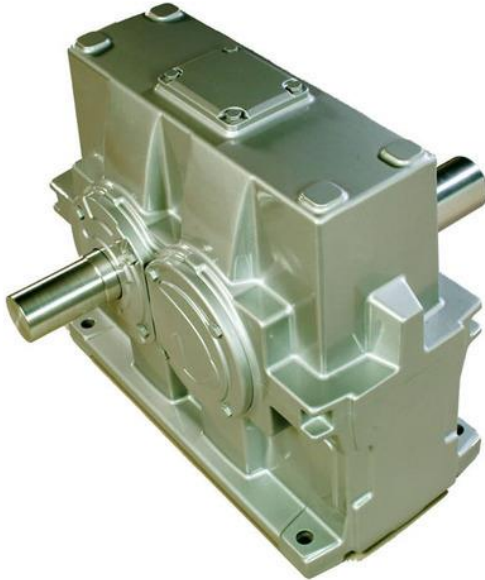


KUVA 4. ABB:n valmistama teollisuussähkömoottori (ABB, 2016).

2.3.2 Jauhimen vaihde

Tarvittaessa jauhimen ja moottorin väliin voidaan asentaa vaihdevälitys, jotta jauhimen pyörimisnopeus saadaan halutulle tasolle tai jotta jauhimen ajamiseen saadaan vaadittava vääntömomentti. Valmetin jauhimien kanssa käytetään kaarihammastettuja alennusvaihteita, jotka on etukäteen mitoitettu ja valittu kullekin jauhinnalle vaadittavan tehonsiir-

tokyvyn mukaan. Vaihteiden tarkat spesifikaatiot olivat tiedossa aloitettaessa asennuspedin suunnittelua. Kuvassa 5 on esimerkki Santasalo Oy:n suunnittelema vaihteesta, jonka konstruktio on samanlainen kuin Valmetin jauhimien kanssa käytettävissä vaihteissa.



KUVA 5. Esimerkki jauhimien kanssa käytettävästä vaihteesta (Santasalo Oy, 2015).

2.4 Jauhimen asennus

Jauhimet asennetaan tehtaissa yleensä betonista valetulle jalustalle, mutta asennus on mahdollista myös teräksiselle asennuspedille. Betonijalusta valetaan tehtaassa paikoilleen vaadittavine raudoituksineen ja laitteiden kiinnitysankkureineen. Laitteet asennetaan jalustan ankkureihin pulteilla. Kuvassa 6 on esitetty Valmet OptiFiner RF 4 -jauhin, vaihteisto ja sähkömoottori asennettuna tehtaassa betonijalustalle.



KUVA 6. Valmet OptiFiner RF 4 -jauhin asennettuna betonijalustalle. (Valmet Oy, 2014)

Toisin kuin betonijalustat, asennuspedit valmistetaan yleensä varsinaisen käyttöpaikan ulkopuolella ja tuodaan paikalleen vasta asennusvaiheessa. Asennuspeti ankkuroidaan suoraan tehtaan lattiana toimivaan betonilaattaan tai jo olemassa olevaan betonijalustaan. Myös jauhinten asennuspedille asennetaan jauhin ja sitä käyttävä moottori sekä tarvittaessa vaihde. Asennuspedeille ei yleensä asenneta Valmetin jauhinten tuoteperheiden suurimpia malleja vaan ne asennetaan järjestäen betonijalustoille, mikä rajaa osaltaan asennuspedin suunnitteluvaatimuksia. Kuvassa 7 on Valmet OptiFiner RF 0 -jauhin asennettuna teräksiselle asennuspedille, joka on tässä tapauksessa edelleen asennettu betonijalustalle.



KUVA 7. Valmet OptiFiner RF 0 -jauhin asennettuna teräspedille. (Innofibre, 2015)

2.5 Työssä käytetyt välineet

Työ tehtiin pääasiassa tietokoneella Autodesk Inventor 2015 CAD-ohjelmalla. Inventor on suunnitteluohjelma, joka mahdollistaa konstruktioiden vapaamuotoisen ja reaaliaikaisen 3D-mallinnuksen parametrisesti. Inventorilla voidaan myös rakentaa kokoonpanoja ja optimoida rakenteita käyttäen esimerkiksi lujuuslaskenta- tai virtaussimulaatiomodulleja. Kaksiulotteiset työpiirustukset voidaan generoida Inventorilla mallinnetusta 3D-mallista käyttäen siitä otettuja projektioita. Työkuvat myös päivittyvät automaattisesti vastaamaan 3D-malliin tehtyjä muutoksia (Autodesk Inc., 2015).

Lujuusanalyysit tehtiin suunnittelun ohessa Autodesk Inventorin FEM-lujuuslaskentamoduulilla, mikä mahdollisti nopean rakenteen iteroinnin lujuusanalyysien pohjalta. Lopulliset lujuuslaskentaratortit valmiista asennuspedin konstruktiosta tehtiin myös Inventorilla.

Suunnittelussa vaadittavien lähtötietojen keräämiseen ja konfigurointityökalun rakentamiseen sekä sen käyttöliittymän luomiseen käytettiin Microsoft Office 2013 Excel -ohjelmaa. Excel voidaan linkittää Inventorin kanssa, jolloin Inventorissa mallinnettavia konstruktioita pystytään ohjaamaan Excelillä parametreja käyttäen. Lisäksi Inventorissa olevia CAD-mallin tietoja pystytään viemään takaisin Exceliin. Asennuspedin konfigurointityökalu on linkitetty Inventorissa olevaan asennuspedin CAD-malliin.

Suunnittelussa apuna käytettyjen tietojen hankintaan käytettiin myös Valmetin sisäistä tuotetiedon hallinnan järjestelmää (engl. Product Data Management, PDM) ja piirustusten taltiointiin käytettävää Sovelia-tietokantaa. Lisäksi tietoa kerättiin kirjallisuudesta, Internetistä ja vanhojen asennuspetien piirustusten paperiversioista sekä Valmetin sisäiseen käyttöön tehdyistä tuote-esityksistä.

3 MODULOINTI JA KONFIGUROINTI

3.1 Modulointi

Modulointi ja termi modulaarisuus voidaan ymmärtää usealla eri tavalla. Suunnittelussa modulaarisuudella yleensä tarkoitetaan erilaisten moduulien tai standardisoitujen osien käyttämistä, joita yhteen liittämällä saadaan aikaan erilaisia variaatioita tuotteesta. Modulaarisuuden tavoitteena on luoda asiakkaille vaatimusten mukaisia tuotteita ja samalla aikaan alentaa yrityksen tuotekehityskustannuksia sekä yksinkertaistaa tuotemalliston ylläpitoa. Moduloinnilla tavoitetaan suuri variaatioiden määrä tuotteesta ja tuotemallistoa pystytään jopa laajentamaan pitäen kuitenkin kustannukset alhaisina. (Ulrich ym. 1994)

3.1.1 Modulaarisuuden lajit

Moduloinnissa käytettävät modulaarisuuden ratkaisut voidaan jakaa viiteen perustyyppiin, jotka ovat seuraavat (Ulrich ym. 1991):

- Komponenttien jakaminen usean tuotteen kesken eli saman moduulin käyttäminen eri tuotteissa ja jopa eri tuoteperheiden välillä.
- Väylämodulaarisuus eli erilaisten moduulien liittäminen samana pysyvään perusrakenteeseen.
- Lohkomodulaarisuus eli moduulien vapaa yhdistäminen toisiinsa niihin määritettyjen rajapintojen välityksellä.
- Komponenttien vaihtomodulaarisuus eli perusrakenteeseen voidaan vaihtaa erilaisia moduuleja, jotka korvaavat toisensa ja muuttavat tuotteen eri variantiksi.
- Parametrinen modulaarisuus eli tuotetta pystytään skaalaamaan tai modifioimaan tapauskohtaisten parametrien mukaan.

3.2 Konfigurointi

Konfigurointi on toimintatapa, jolla voidaan järjestelmällisesti muunnella tuotetta asiakkaiden vaatimusten mukaisesti. Konfigurointiprosessin tuloksena saadaan konfiguraatio, joka on lista tuotteeseen sisältyvistä komponenteista. Konfiguraation pohjalta valmistetaan tuotteesta tilannekohtainen variaatio. Konfiguroinnin tavoitteena on yhdistää tuotteissa massatuotannon ja yksittäiskappalevalmistuksen hyötyjä (Tiihonen ym. 1996).

Konfigurointi on tuotteen ostovaiheen prosessi, jossa käytettävä konfiguroitava tuote on suunniteltu aiemmin. Lisäksi tuotteelle on etukäteen määritelty reunaehdot, joiden sisällä sitä voidaan konfiguroida. Konfiguroitava tuote on tyypillisesti modulaarinen ja suhteellisen yksinkertainen konfiguroida. Parhaat tulokset konfiguroinnista saadaan, kun tuote on suunniteltu alusta alkaen konfiguroitavaksi. (Tiihonen ym. 1996)

Konfigurointityökalu tai konfiguraattori on väline, jolla tehdään tuotteesta konfiguroitavia ja hallitaan tuotteen konfigurointiin käytettäviä tietoja. Konfiguraattorin tulisi olla selkeä käyttää ja estää virheellisten konfiguraatioiden rakentamisen. (Tiihonen ym. 1996)

3.3 Asennuspedin modulointi ja konfigurointi

Työssä tehtävästä asennuspedistä haluttiin modulaarinen malli, jotta yhdestä asennuspedin perusrakenteesta saadaan generoitua erilaisia tapauskohtaisia variaatioita. Tämä otettiin huomioon jo ennen varsinaisen suunnittelun aloitusta modulaarisen rakenteen erityisvaatimusten vuoksi. Asennuspedin modulointi päätettiin tehdä käyttäen väylämodulaarisuutta ja parametrissa modulointia. Perusrakenne pysyy asennuspedin eri variaatioissa samankaltaisena, mutta rakennetta voidaan skaalata tai siihen voidaan lisätä moduuleja tilanteen mukaan.

Autodesk Inventor on parametrinen CAD-mallinnusohjelma eli 3D-mallin geometria muotoutuu syötettyjen parametrien, kuten esimerkiksi mittojen, mukaisesti. Inventorilla voidaan myös rakentaa osakokoonpanoja, joita voidaan lisätä tai poistaa mallista parametrien mukaisesti. Täten Inventor soveltuu hyvin käytettäväksi modulointiin. Ennen

varsinaista mallinnusvaihetta pohdittiin oleelliset parametrit, joiden mukaan mallia variaoidaan. Kyseiset mallia muokkaavat parametrit syötettiin Inventoriin heti mallinnusvaiheen aluksi. Kaikki mallinnuksessa käytettävät mitat ovat joko vakioita tai ne generoidaan ohjelman sisällä parametreista.

Asennuspedin modulaarista mallia ohjaamaan tehtiin konfiguraattori, jolla voidaan graafisen käyttöliittymän avulla valita asennuspedillä käytettävät laitteet. Konfiguraattori laskee asennuspedin variaation generointiin vaaditut parametrit valitun konfiguraation mukaisesti.

Asennuspedin moduloinnin ja konfiguroinnin ratkaisuja ja ongelmakohtia kuvaillaan sekä pohditaan yksityiskohtaisemmin asennuspedin suunnittelua kuvaavassa osiossa.

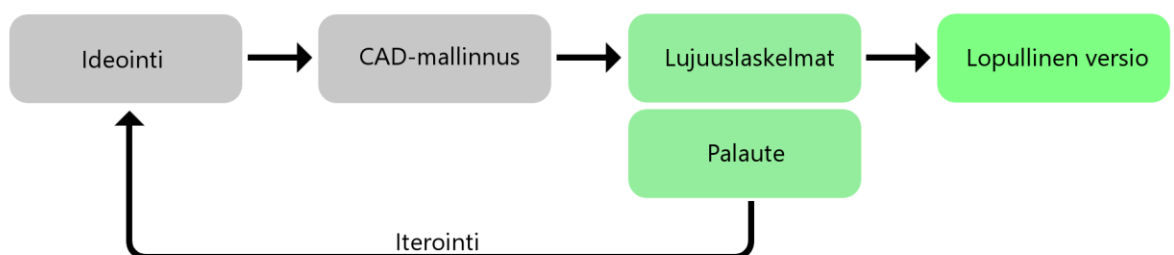
4 ASENNUSPEDIN SUUNNITTELU

4.1 Asennuspedin suunnitteluprosessi

Asennuspedin suunnittelun aloittamisessa käytettiin apuna aiemmin Valmetin ja Etteplan Oy:n, joka tekee suunnittelua alihankintana Valmetille, suunnitteleminen asennuspetien työpiirustuksia. Kyseisistä piirustuksista saatiin hyvä käsitys asennuspedin tarkoituksesta ja vaatimuksista sekä minkälaisiin rakenteisiin ja ratkaisuihin muut suunnittelijat ovat päätyneet aikaisemmin.

Suunnittelun alussa tarkasteltiin Valmetin jauhimien rakenteeseen ja taulukoitiin asennuspedin suunnittelun kannalta oleellisia mittoja, kuten kiinnityspulttien sijaintia ja käyttöakselin akselikorkeutta sekä pituutta. Myös jauhimien kanssa käytettävien vaihteiden mitat koottiin samaan taulukkoon. Valmetin tietokannoista tarkasteltiin myös jauhimien asiakaskokoonpanoja ja erityisesti jauhimien kanssa käytettyjä moottoreita, joista koostettiin suppea referenssilista suunnittelun avuksi ja moduloinnin joustavuuden testaamiseksi. Vertaamalla laitteiden mittoja toisiinsa saatiin ajatus kuinka suuri asennuspetien äärimittojen vaihteluväli tulee olemaan ja millaista konstruktiota kannattaa lähteä yleisellä tasolla hahmottelemaan.

Asennuspedin suunnitteluprosessin periaatetta on esitetty kuvassa 8. Asennuspedin rakenteeksi ideoitiin ja hahmoteltiin aluksi erilaisia ratkaisuja ja niitä myös mallinnettiin karkeasti Inventorilla. Eri ratkaisuvaihtoehtojen hyviä ja huonoja puolia pohdittiin sekä tarkasteltiin miten eri rakenteiden modulointi onnistuu. Tämän jälkeen ratkaisuja karsittiin ja jäljelle jääneitä ratkaisuvaihtoehtoja edelleen iteroitiin pohdinnan, lujuuslaskemien ja saadun palautteen mukaan. Suunnittelua tarkastellaan kunkin osa-alueen kannalta yksityiskohtaisemmin seuraavissa osioissa.



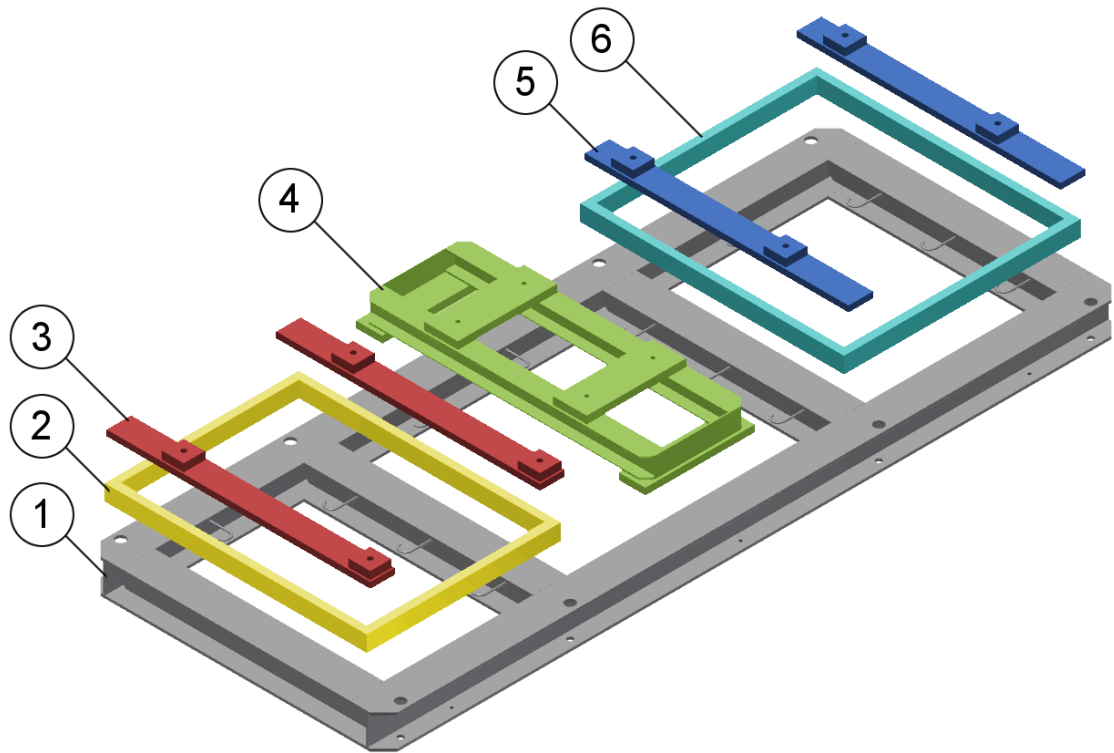
KUVA 8. Asennuspedin suunnitteluprosessi.

Työn edetessä käytiin myös Etteplan Oy:llä ja tarkasteltiin siihen mennessä tehtyä asennuspedin mallia ja konfiguraattoria sekä keskusteltiin eri vaihtoehtoista rakenteelle ja sen moduloinnille. Lisäksi tarkasteltiin aiemmissa asennuspeteihin liittyvissä tehdasprojekteissa käytettyjä moottorien tyypillisiä kokoluokkia.

4.2 Asennuspedin rakenne yleisesti

Asennuspedin piirustukset toimitetaan yleensä asiakkaalle tai se teetetään alihankintana. Valmistus voi tapahtua tämän vuoksi vaihtelevissa tiloissa ja eritasoisilla työvälaineillä. Siksi suunnittelussa vältettiin eksoottisia rakenneratkaisuja, jotka vaatisivat valmistamiseen erikoislaitteistoa tai harvinaisempia materiaaleja.

Asennuspeti on jaettu moduuleihin, joita voidaan skaalata tilannekohtaisesti (kuva 9). Perusrakenteena on runko (kuva 9, osa 1), joka on jokaisessa asennuspedin variaatiossa. Rungon konstruktio on yksinkertainen ja sen suunnittelu erilaisista moduuleista olisi tehnyt rakenteesta huomattavan monimutkaisen verrattuna esimerkiksi aiemmin suunniteltuihin asennuspeteihin. Rungon rakenteen yksinkertaisuus, soveltuvuus skaalaukselle ja tarve moduloinnille johtivatkin parametriseen moduloinnin valitsemiseen sille. Jauhimen kanssa voidaan myös käyttää vaihdetta ja tällöin asennuspedistä generoidaan variaatio, johon on lisätty vaihteen tukirakenne moduulina (kuva 9, osa 4). Myös jauhimen ja moottorin kiinnikkeet (kuva 9, osat 3 ja 5) ovat skaalautuvat. Kiinnikkeiden alle voidaan myös lisätä moduulina laatikkomainen tukirakenne (kuva 9, osat 2 ja 6), jotta asennuspeti saadaan skaalutumaan suurelle määrälle eikokoisia laitteita.



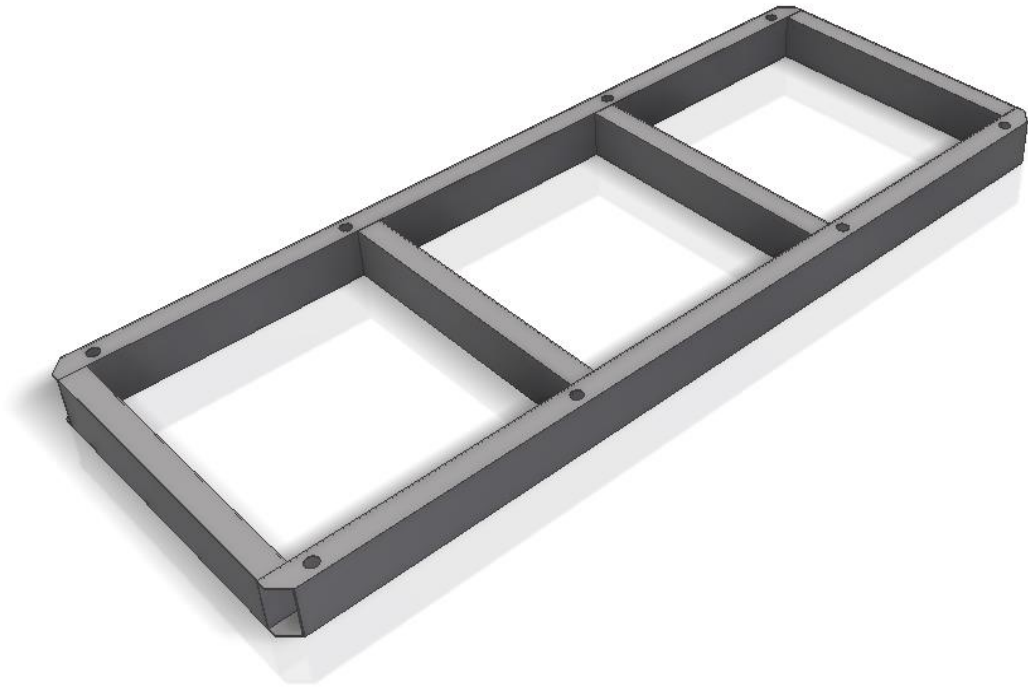
KUVA 9. Asennuspedin jako moduuleihin.

4.2.1 Runko

Asennuspedin suunnittelu aloitettiin harkitsemalla eri vaihtoehtoja rungon perusrakenteeksi. Rungoksi harkittiin muun muassa suorakaideputkipalkkia, U-palkkia, I-palkkia ja levyrakennetta. Heti alkuun kuitenkin levyrakenteinen runko hylättiin sen monimutkaisuuden, kustannusten ja painon takia. Levystä rungon osat leikkaamalla olisi saatu rakenne skaalautumaan suhteellisen helposti kaikille variaatioille. Mutta jotta rakenteen massa pysyisi kohtuullisena, olisi vaadittu lujuus pitänyt saada aikaan geometrialla. Tämä olisi tehnyt rakenteesta huomattaman monimutkaisen osien määrän, leikkumatkan ja hitsaussauman kannalta. Näiden seikkojen vuoksi rakenteen perustaksi päätettiin valita valmis palkkiprofiili, joka on edullinen, luja ja valmistuksen kannalta käytännöllinen ratkaisu.

Kauttaaltaan suorakaideputkipalkkiin tai neliöputkipalkkiin perustuvaa runkorakennetta (kuva 10) tarkasteltiin erityisesti sen suuren taivutusjäykkyyden ja hyvän vääntöjäykkyyden takia. Lujuuden kannalta riittävässä putkipalkissa olisi ollut kuitenkin melko ohuet

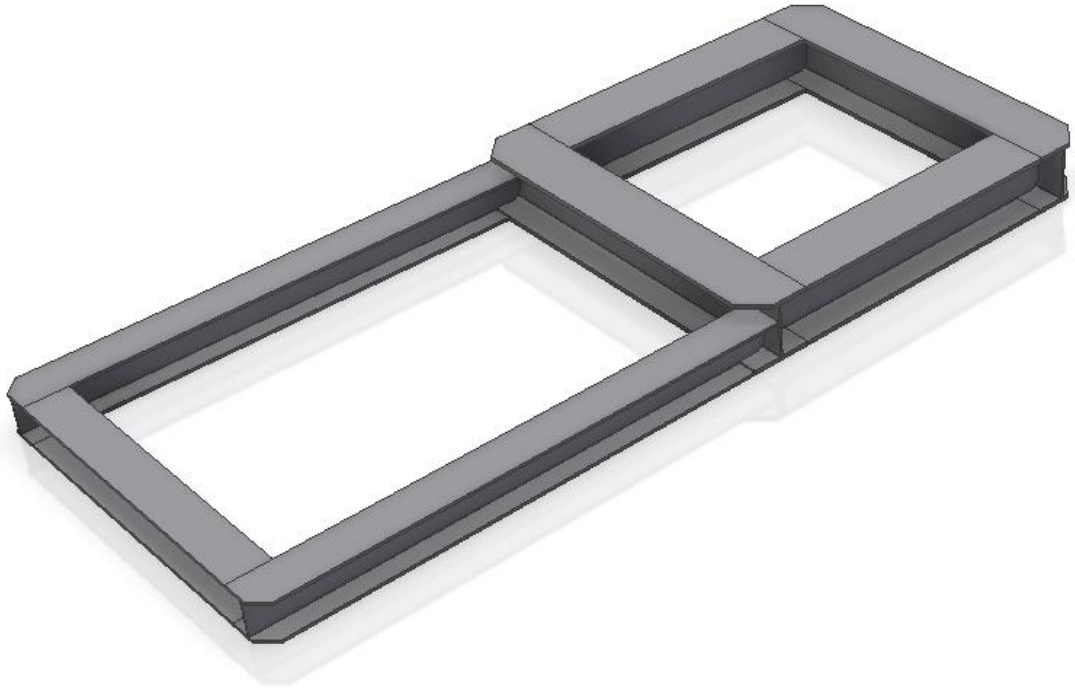
seinämät verrattuna esimerkiksi I-palkkiprofiiliin. Ohuet seinämät olisivat vaatineet etenkin suurempien jauhinten kohdalla laitteiden kiinnityskohtien ja asennuspedin ankkurointipisteiden vahvistamista lisärakenteilla.



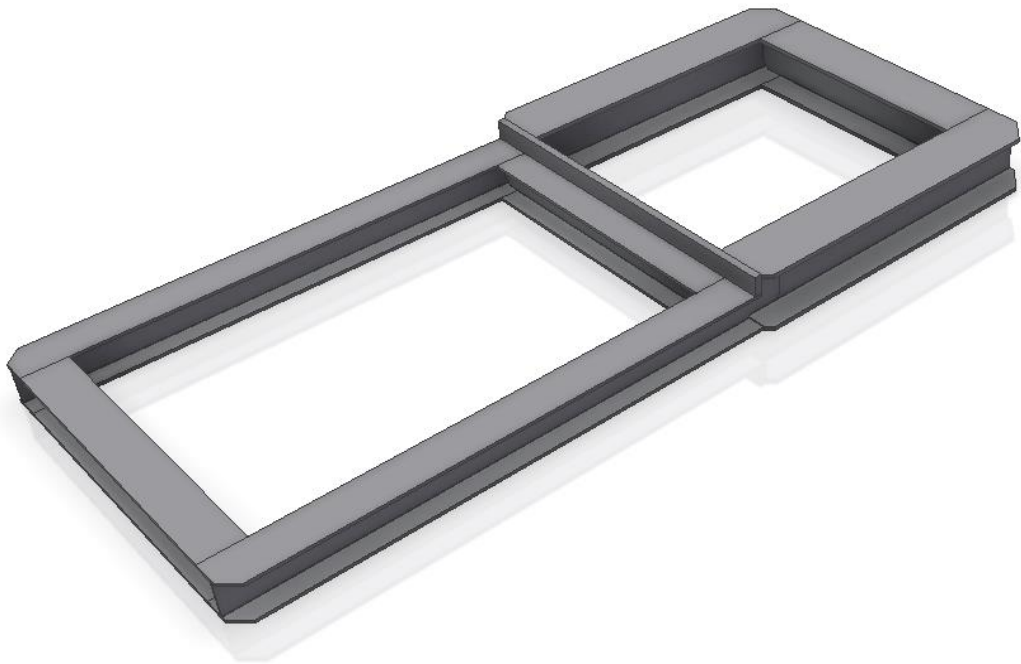
KUVA 10. Kokonaan suorakaideputkipalkkiin perustuva runko.

Kyljellään olevaan U-palkkiin perustuvaa runkoa tarkasteltiin jonkin aikaa suunnittelun alkupuolella, koska rakenteesta olisi saanut melko yksinkertaisen valmistuksen kannalta. Kaikki palkkien leikkaukset olisivat olleet suorakulmaisia ja rakenteen hitsaus kokoon olisi ollut suoraviivaista. Ongelmaksi kuitenkin muodostui yleisten U-palkkien, kuten UNP- ja UPE-standardien mukaisten palkkien suhteellisen kapeat laipat, jotka rajoittivat varsinaisten laitteiden kiinnikkeiden suunnittelua. Sama ongelma oli myös osittain suorakaideputkipalkkiin perustuvan rakenteen kohdalla. Tämän vuoksi päädyttiin suunnittelemaan runkoa pohjautuen I-palkkiin, jossa on suuremmat laipat ja joka on siten joustavampi muun rakenteen suunnittelun kannalta. Myös monet aiemmin suunnitellut asennuspedit ovat pohjautuneet I-palkin käyttämiseen ainakin osana rakennetta ja I-palkki onkin todettu käytössä hyväksi ja kustannustehokkaaksi ratkaisuksi.

Rungon tekemistä useammasta erilaisesta tai erikokoisesta profiilista harkittiin myös, koska siten voitaisiin saada laitteiden vaatimat asennuskorkeudet skaalattua oikeiksi runkopalkkeja muuttamalla valittujen laitteiden mukaan. Kuvissa 11 ja 12 on kuvattuna eräitä ideoita useammasta erikokoisesta I-palkista koostuvaksi rungoksi.



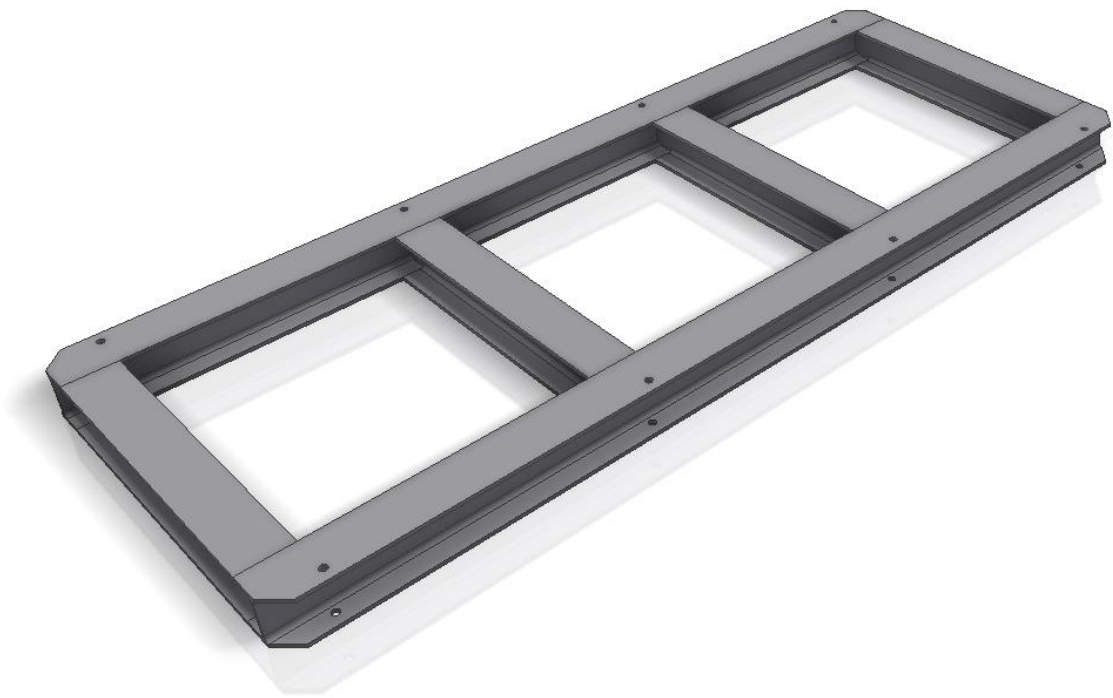
KUVA 11. Erikokoisista I-palkeista koostuva runkorakenne.



KUVA 12. Toinen erikokoisista I-palkeista koostuva runkorakenne.

Käytännössä palkkien standardinmukaiset koot eivät kuitenkaan soveltuneet rakenteen skaalaamiseen, koska akselikorkeuksien erot vaihtelevat laajalla skaalalla. Tämän kaltainen konstruktio olisi soveltunut vain joihinkin tapauksiin ja erikokoisten palkkien lisäksi

olisi vaadittu monen variaation kohdalla korokekappaleita, mikä olisi monimutkaistanut rakennetta. Monimutkaiset usean palkin liitokset olisivat myös tehneet rakenteesta haasteellisemmän valmistuksen kannalta. Runko päädyttiinkin pitämään yksinkertaisena moduloinnin, mutta myös kustannusten ja valmistettavuuden kannalta. Perusrakenteessa päädyttiinkin kuvan 13 mukaiseen konstruktion.



KUVA 13. Asennuspedin runkorakenne.

Rungon rakenne perustuu kauttaaltaan samankokoiseen I-palkkiin ja sivuilla oleviin yhtenäisiin palkkeihin. Näin vältettiin myös sivuilla olevien palkkien liitokset, jotka voisivat olla ongelmallisia lujuuden kannalta käytössä tai asennuspedin noston aikana. Sivupalkkien välissä on neljä poikittaista I-palkkia, joiden päät on muotoiltu sopimaan sivupalkkien laippojen väliin (kuva 14). Poikittaiset palkit ovat jauhimen ja moottorin kiinnityspisteiden sekä kiinnitysankkurien kohdalla. Palkkina päätettiin käyttää eurooppalaisen EN 10025 -standardin mukaista leveälaippaista HEB-palkkia. Materiaalina palkkeissa on S235JRG2 -teräs, jota käytetään myös muissa asennuspedin osissa.



KUVA 14. Runko kuvattuna ilman toista sivupalkkia.

Rungon sisäpuolella on palkkien muodostamat laatikot, jotka valetaan täyteen betonia asennuspedin tehtaaseen asentamisen jälkeen. Betonivalua varten rungon sisäpuolelle päätettiin lisätä tartuntarautoja, jotka valmistetaan 10 mm halkaisijaltaan olevasta harjateräksestä laadultaan A500HW. Valamalla rungon onkalot täyteen betonia saadaan lisättyä asennuspedin lujuutta, mutta myös vähennetään rakenteen herkkyyttä värähtelyihin. Lisäksi tällä estetään tehtaassa käsiteltävän biopohjaisen massan ja muun lian kertyminen asennuspedin rakenteisiin, joka voisi johtaa ei-toivotun kasvuston syntymiseen. Betonivalun kannalta rungon rakentaminen I-palkista on myös perustelua, koska I-palkin laipat osaltaan tukevat valua. Laippojen antama tuki valulle on oleellista erityisesti jos asennuspetiä tarvitsee nostaa tai siirtää myöhemmässä vaiheessa esimerkiksi tehtaan linjastoa muutettaessa.

Viimeistelynä asennuspedin sivuilla olevien I-palkkien päätyihin tehtiin viisteet, jotta muutoin päädyissä olevat terävät kulmat saatiin poistettua. Näin saatiin hieman vähennettyä tehtaissa toimiville työntekijöille tai laitteiden asentajille terävistä kulmista aiheutuvaa vaaran mahdollisuutta.

Lisäksi rungon sivupalkeissa on ankkureiden kiinnitysreikien ohella kierteelliset reiät säätöpultteja varten. Niiden tarkoituksena on auttaa asennusvaiheessa asennuspedin säätämistä vaakatasoon.

Rungon modulointia pohdittiin rungon rakennetta suunniteltaessa ja sen skaalaus vaikutti myös lopullisen rakenneratkaisun valintaan. Mallinnettaessa runkoa käytettiin myös jo alusta asti apuna parametrissa modulointia. Kaikki rakenteen mitat syötettiin parametreina Inventoriin, jotta rakenteen konfigurointi oli mahdollista helposti myöhemmässä vaiheessa. Kaikki käytetyt parametrit nimettiin selkeästi suunnittelun helpottamiseksi.

Rakenteen mallinnuksessa otettiin huomioon geometrian muuttuminen ja vältettiin eri komponenttien sitomista toisiinsa tavalla, joka voisi rikkoa rakenteen sitä skaalatessa tai aiheuttaa virheilmoituksia ohjelmassa. Kaikki rakenteen komponentit onkin mallinnettu käyttäen yhteistä nollapistettä, mikä mahdollistaa komponenttien muokkaamisen yksitellen joustavasti tai jopa niiden poistamisen ilman vaikutusta ympäröivään rakenteeseen. Lisäksi tätä käytettiin apuna jo mallintaessa eri ratkaisuvaihtoehtoja, mikä helpotti useiden eri ratkaisuvaihtoehtojen tarkastelua ilman tarvetta mallintaa suuria osia rakenteesta uudestaan toistuvasti.

Runkorakenteen skaalautuminen on sidottu jauhimen ja moottorin mittoihin ja rungon ääriimitat skaalautuvatkin portaattomasti valittujen laitteiden mukaisesti. Skaalauksessa otetaan myös huomioon vaihteiston mitat, jos sellainen konfiguroidaan malliin. Käytännössä mallille tarvittavat mitat lasketaan käyttäen laitteiden kiinnityspulttien mittajakoja. Asennuspedin leveys määräytyy joko moottorin tai jauhimen pulttijaon leveysmitan mukaan riippuen kumpi mitoista on suurempi. Lisäksi leveyteen lisätään vaihteiston akselien välinen mitta, jos vaihteisto on mallissa näkyvissä. Asennuspedin pituus lasketaan laitteiden pulttijakojen pituuksista ja lisäksi pituudessa otetaan huomioon akselien pituudet ja laitteiden välille vaadittavien kytkimien mitat.

Rungon I-palkin kokoa skaalataan porrastetusti valitun jauhimen koon mukaan. Käytettyjen palkkien koot määriteltiin tekemällä asennuspedille lujuuslaskelmat kunkin jauhimen kohdalle niiden suurimman käyttötehon mukaan. Rungon palkiksi ei kuitenkaan valittu lujuuslaskelmien mukaisesti pienimpiä mahdollisia palkkeja käytännön syistä. Esi-

merkiksi pienimmälle OptiFiner Pro -malliston jauhimelle soveltuvassa palkissa olisi ollut liian pienet laipat rungon ankkureiden asentamiseksi, jonka vuoksi asennuspedissä on pykälää vaadittu suurempi palkkikoko.

4.2.2 Kiinnikkeet jauhimelle ja moottorille

Jauhin ja moottori asennetaan asennuspetiin pulteilla, joille laitteiden valmistajat ovat määritelleet käytettävät koot etukäteen. Jauhimien ja vaihteistojen asennukseen käytettävien pulttien koot ja pulttijaot ovat syötettyinä konfigurointityökalun tietokantaan ja ne muuttuvat CAD-mallissa automaattisesti valitun laitteen mukaan. Moottorin mallia ei kuitenkaan ole tiedossa suunnitteluvaiheessa vaan se valitaan myöhemmin konfigurointivaiheessa asiakkaan toiveiden mukaisesti. Täten myöskään käytettävät pulttikoot ja pulttijaot eivät ole tiedossa moottoreille vaan ne ovat asennuspedin mallissa parametreina, jotka syötetään siihen konfigurointityökalulla. Kiinnikkeiden suunnittelussa huomioitiin myös riittävä materiaalipaksuus kierteiden tekemiselle. Käytännössä tämä vaatii aina materiaalin lisäämisen profiilirakenteisen perusrungon päälle, koska rungon laippojen materiaalipaksuus ei ole riittävä tarpeeksi lujien kierteiden tekemiselle.

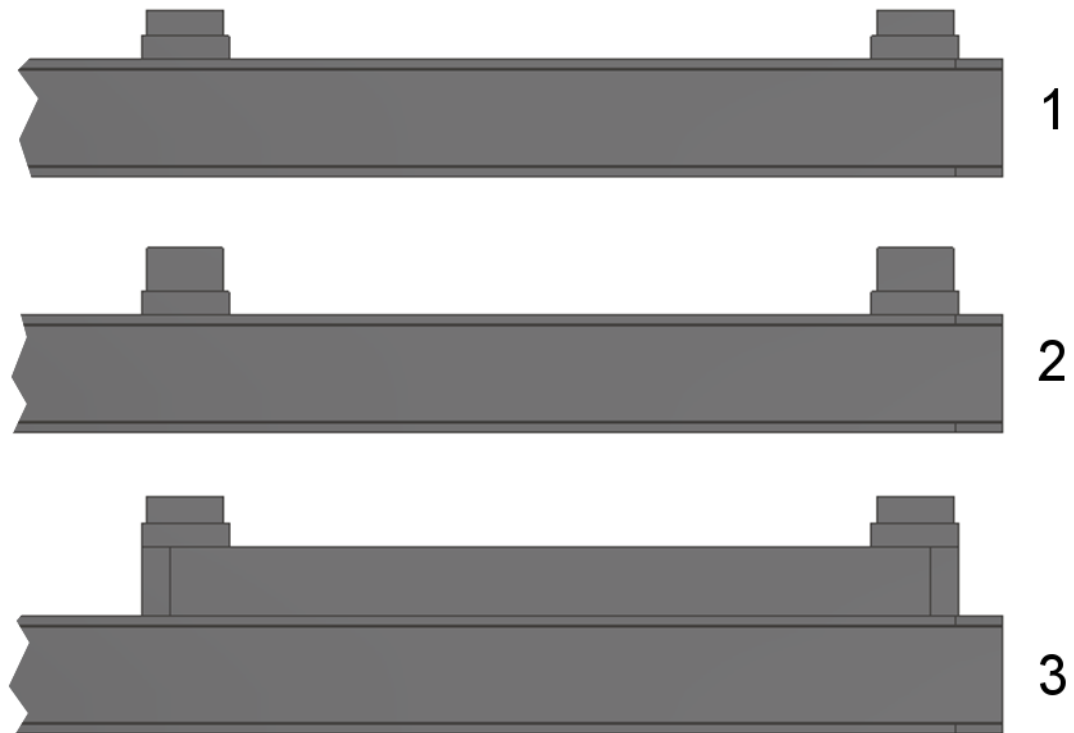
Jauhimen ja moottorin kiinnikkeiden rakenteesta suunniteltiin samankaltainen, koska kyseisten laitteiden asennusvaatimukset ovat samankaltaiset ja laitteiden mitat ovat samaa kokoluokkaa. Täten skaalaus onkin helppo suorittaa kyseisille laitteille samankaltaisesti mallissa.

Kiinnikkeiden sijainti luonnollisesti skaalautuu laitteiden kiinnityksessä käytettävän pulttijaon mukaan, mutta kiinnikkeiden sijainti on otettava huomioon myös korkeussuunnassa. Jauhimien ja moottorien akselikorkeudet vaihtelevat huomattavasti eri konfiguraatioiden mukaan. Esimerkiksi eräässä tapauksessa jauhin voi olla asennettuna 100 mm korkeammalla kuin moottori ja toisessa tapauksessa tilanne voi olla päinvastainen.

Laitteiden akselikorkeudet vaikuttavat suoraan laitteiden asennuskorkeuteen, koska akselien tulee olla keskenään linjassa. Tämän vuoksi laitteiden kiinnikkeiden korkeuksia täytyy pystyä skaalaamaan joustavasti, mikä oli yksi suunnittelun haastavimpia osa-alueita. Laitteiden akselikorkeuksien erotuksen vaihtelu suurella skaalalla vaati paljon skaalausmetodilta ja siihen pohdittiinkin useaa eri ratkaisua. Valmiin palkkiprofiilin käyttäminen

skaalauksessa oli haluttava ratkaisu palkin yksinkertaisuuden ja edullisuuden vuoksi. Palkkeilla korkeuksien skaalaamisesta olisi kuitenkin tullut portaallinen palkkikokojen mukaisesti, joten palkin lisäksi olisi vaadittu vielä erilliset tukirakenteet tai korokekappaleet. Korkeuksien skaalaamiseen tarvittiinkin ratkaisu, jolla komponenttien asennuskorkeutta voidaan muuttaa käytännössä portaattomasti. Valittu ratkaisu koostuu useammasta eri tapauksesta, jotka on etukäteen suunniteltu rakenteeseen ja CAD-malli vaihtaa niiden välillä valitun konfiguraation mukaan. Vaikka käytetty skaalausmetodi koostuu useammasta ratkaisusta, mahdollistaa se korkeusmittojen skaalaamisen täysin portaattomasti ja jopa suuremmalla skaalalla kuin mitä tällä hetkellä asennuspetien kohdalla vaaditaan. Eri tapaukset ja niiden ratkaisut ovat:

- Jos jauhin ja moottori ovat samassa tasossa, niiden kiinnikkeet ovat suoraan asennuspedin rungon päällä (kuva 15, kohta 1).
- Jos moottori on hieman korkeammalla (alle 50mm) kuin jauhin, skaalataan moottorin kiinnikkeitä korkeammiksi (kuva 15, kohta 2).
- Jos jauhin on hieman korkeammalla kuin moottori, skaalataan jauhimen kiinnikkeitä korkeammiksi.
- Jos moottori on selvästi korkeammalla (yli 50mm) kuin jauhin, moottorin kiinnikkeiden alle generoidaan laatikkomainen tukirakenne (kuva 15, kohta 3).
- Jos jauhin on selvästi korkeammalla kuin moottori, jauhimen kiinnikkeiden alle generoidaan laatikkomainen tukirakenne.



KUVA 15. Asennuskorkeuden skaalausratkaisu moottorille kuvattuna sivustapäin.

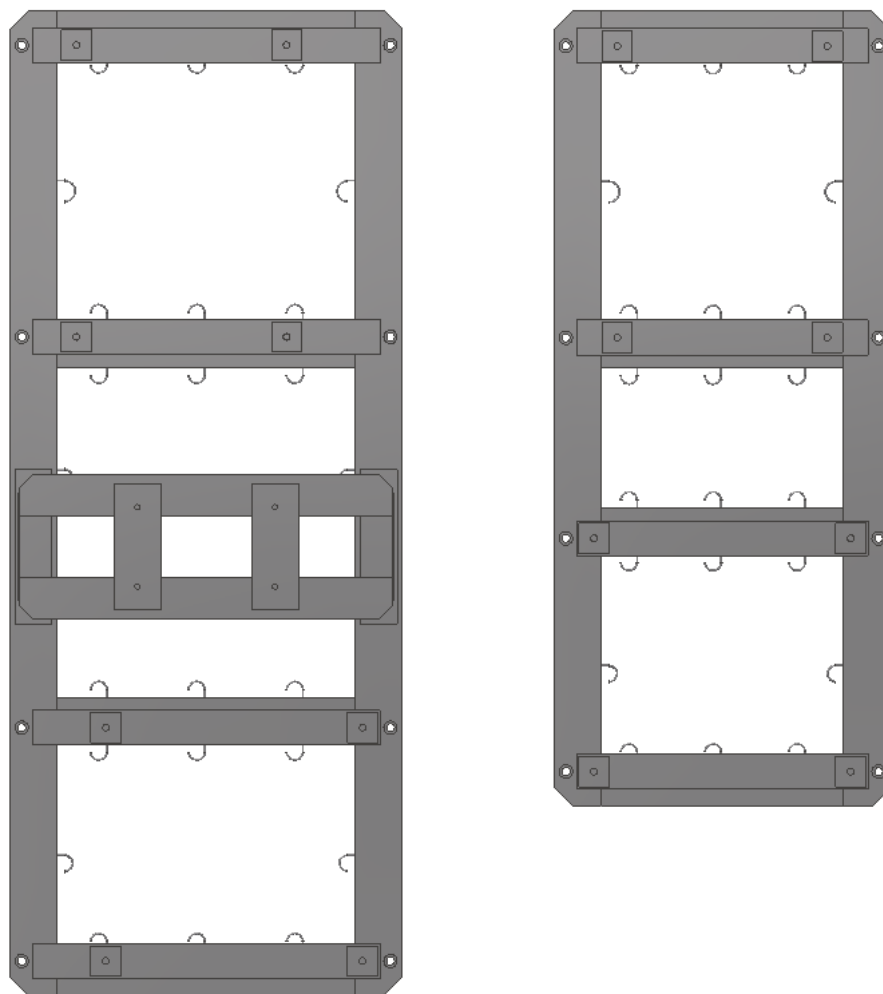
Perusteluna valittuun jauhimen ja moottorin akselikorkeuden eroon (50 mm), jonka ylityessä skaalaukseen käytettävä ratkaisu vaihtuu, ovat osaltaan lujuuslaskemat ja myös yleisesti käytettyjen moottorien mitat. Kiinnikkeistä ei haluttu tehdä tarpeettoman korkeita ”tolppia” missään tilanteessa. Lisäksi 50 mm on yleinen akselikorkeuden ero jauhimien ja niiden kanssa käytettyjen moottorien välillä, joten rakennetta haluttiin skaalata yksinkertaisesti kiinnikkeiden paksuutta muuttamalla kustannussäästöjen toivossa. Laatikkomainen tukirakenne lisää levystä leikattavia osia ja hitsattavan sauman määrää rakenteeseen, mikä nostaa valmistuskustannuksia. Lisäksi erittäin matala laatikko olisi valmistamisen kannalta huono ratkaisu. Näiden seikkojen vuoksi laatikkomaista tukirakennetta käytetään skaalauksessa vain suurien akselikorkeuksien erojen kohdalla.

Kiinnikkeet rakentuvat poikittaisesta tukipalkista ja sen päällä olevista korokepaloista. Tukipalkki on rakenteessa lujuuden, mutta myös skaalaamisen takia. Korokepalojen pinta koneistetaan pinnankarheuteen Ra 12.5 ja kiinnikkeiden välillä on tasovaatimus akselinjausta varten. Suunnittelun aikana harkittiin myös mahdollisuutta kiinnittää laitteet suoraan tukipalkkiin, mutta tukipalkin koon vuoksi sen pinnasta koneistettavaa materiaalia olisi runsaasti. Korokepalat lisäävät asennuspedin osien määrää ja hitsattavaa saumaa,

mutta niiden pinnassa on huomattavasti vähemmän koneistettavaa verrattuna tukipalkkiin. Erilliset korokepalat myös vähentävät huomattavasti rakenteeseen vaadittavan materiaalin määrää verrattuna tukipalkin koon skaalaamiseen suuremmaksi korkeudeltaan. Alempi materiaaliterve osaltaan laskee asennuspedin valmistuksen kustannuksia.

4.2.3 Tukirakenne vaihteistolle

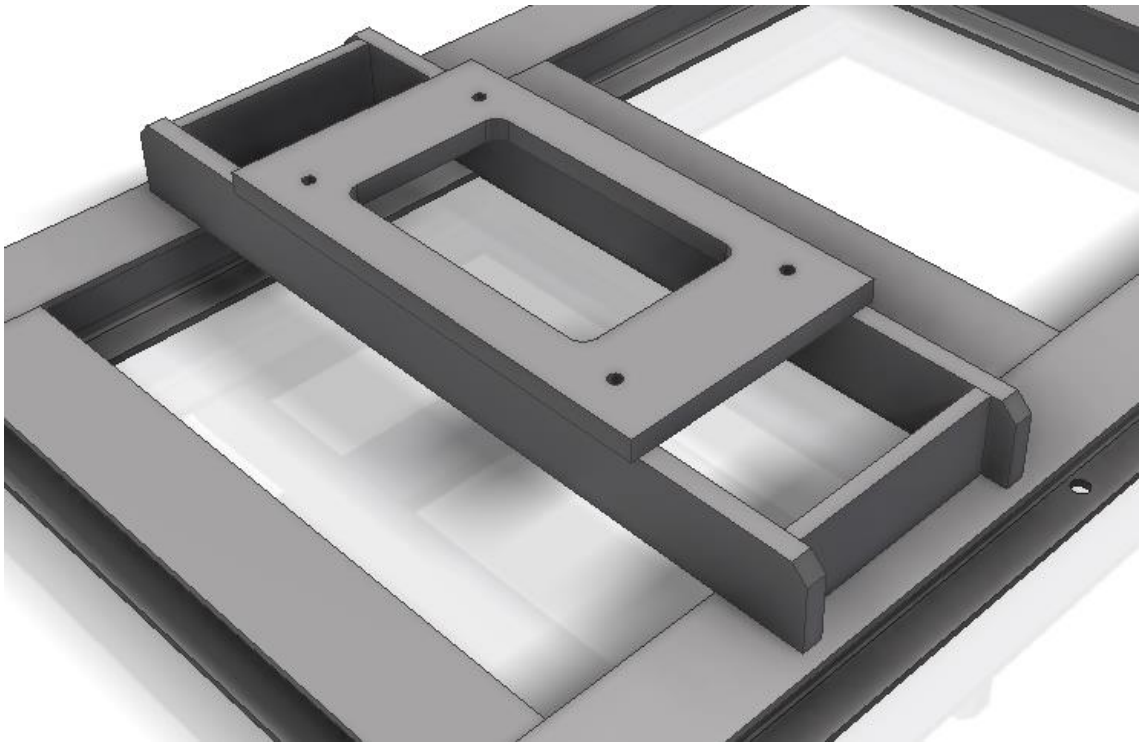
Asennuspedille voidaan asentaa jauhimen ja moottorin väliin tarvittaessa vaihde, minkä vuoksi malliin rakennettiin toiminnallisuus valita onko vaihde käytössä vai ei. Jos vaihdetta ei ole valittu käytettäväksi, sen tukirakenteen moduuli piilotetaan näkyvistä ja kaikki mallin mitat skaalautuvat suoravedolle sopivaksi. Kuvassa 16 on saman jauhinnmallin asennuspeti vaihteellisena ja suoravetoisena variaationa.



KUVA 16. Asennuspeti vaihteella vasemmalla ja suoravedolla oikealla.

Kuva 16 havainnollistaa hyvin myös vaihteen vaikutusta koko asennuspedin rakenteeseen ja mitoitukseen. Vaihde on aina asennettuna sivusuunnassa keskelle teräspetiä ja jauhimen sekä moottorin sijainti sivusuunnassa muuttuu vaihteen akselien sijaintia vastaavaksi. Tämän vuoksi myös asennuspedin kokonaisleveys kasvaa vaihteen kanssa. Vaihteen pituus ja sen akselien pituudet vaikuttavat suoraan asennuspedin pituuteen. Vaihteen akselikorkeus ja moottorin sekä jauhimen asennuskorkeudet vaikuttavat vaihteen kiinnitysrakenteen korkeuteen. Myös vaihteen kiinnityksessä käytettävä pulttijako ja kiinnitysreikien kierteen koko muuttuvat vaihteen tyyppiä vastaaviksi.

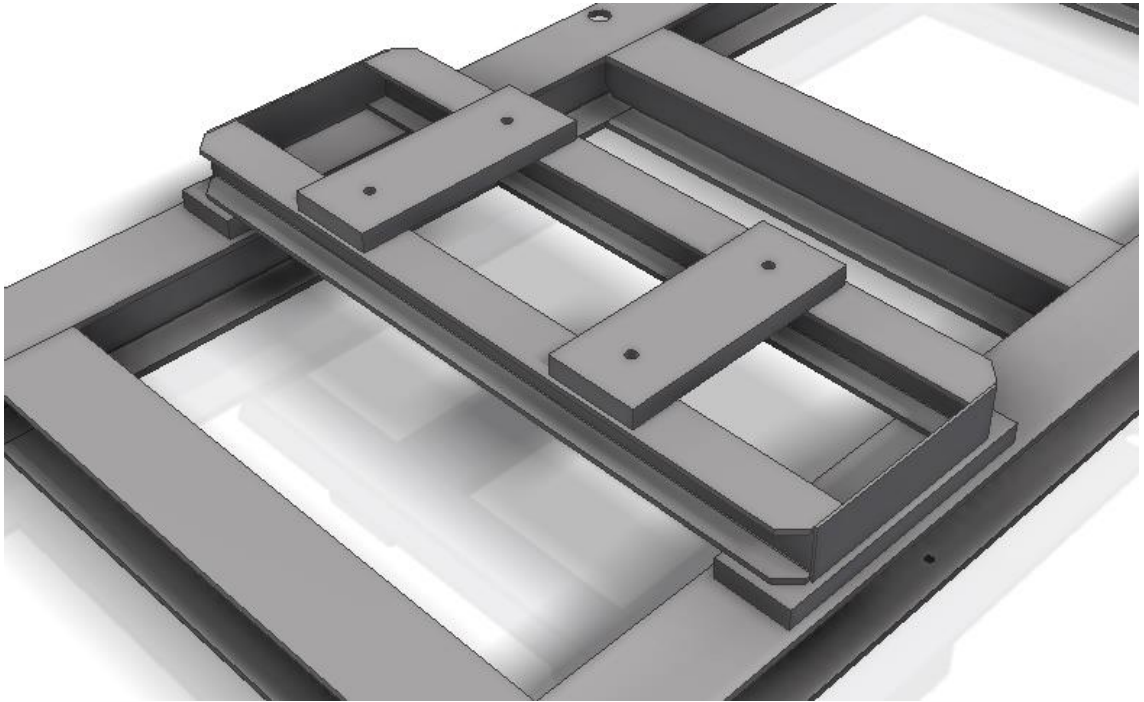
Vaihteen kiinnityksen tukirakennetta pohdittiin runsaasti ja se oli myös skaalauksen osalta haasteellinen. Alkuun tukirakenne perustui levyrakenteeseen, joka ulottui rungon sivupalkkien päälle (kuva 17).



KUVA 17. Levystä suunniteltu tukirakenne vaihteen asentamiseksi.

Suunnittelun edetessä päädyttiin tekemään vaihteen tukirakenne kahdesta poikittaisesta I-palkista ja kahdesta asennuspedin rungon päälle tulevasta korokekappaleesta (kuva 18) suunnittelun aikana saadun palautteen perusteella. Kyseinen ratkaisu vähentää levystä leikkattavia osia ja on myös useimmissa variaatioissa kevyempi konstruktio. I-palkkina päädyttiin käyttämään rungon kanssa samaan standardiin perustuvaa profiilia. HEB-standardin mukaisten I-palkkien mitat yhdessä yksinkertaisten korokekappaleiden kanssa myös

soveltuivat hyvin vaihteiden asennuskorkeuden skaalaamiseen. Jos vaihteen asennuskorkeus on täydellisesti palkin kokoon sopiva, jätetään mallissa automaattisesti korokepalat pois. Tällöin rakenne koostuu ainoastaan palkeista, niiden päällä olevista kiinnikelevyistä ja päätylevyistä.



KUVA 18. Vaihteen tukirakenne.

Itse vaihteen kiinnike oli alkuun levymäinen ja siinä oli kevennysaukot (kuva 17), joista olisi myös saatu betoni valettua vaihteiston tukirakenteen sisälle. Kiinnikelevy vaihdettiin suunnittelun edetessä saadun palautteen myötä kahteen pienempään levyyn, joka on kevyempi, kustannustehokkaampi ja yksinkertaisempi ratkaisu. Vaikka muutoksen myötä osia tulee lisää rakenteeseen, käytettävän materiaalin määrä vähenee ja levystä leikkaamisen sijaan osat voidaan valmistaa teräslatasta katkaisemalla. Myös koneistuksen määrä väheni huomattavasti muutoksen myötä. Kiinnikelevyjen pinta koneistetaan tasoon ja samaan Ra 12.5 pinnankarheuteen kuin jauhimen ja moottorin kiinnikkeet. Vaihteen aiheuttamat kuormitukset kiinnityslevyyn ovat myös suhteellisen pienet, joten kahdesta osasta tekeminen ei aiheuttanut lujisuuden puolesta ongelmia.

Viimeisenä yksityiskohtana vaihteen tukirakenteen päädyissä on levyt, jotka sulkevat rakenteen laatikoksi betonivalua varten. Tukirakenteen sisälle päätettiin olla laittamatta tukirautoja betonia varten, koska laatikko on pieni ja I-palkin laipat tukevat valua hyvin.

4.2.4 Ankkurit asennuspedille

Asennuspedin suunnittelussa otettiin huomioon myös sen asentaminen tehtaaseen. Jo työn alussa tehtiin päätös suunnitella asennuspeti asennettavaksi kemiallisilla ankkureilla (kuva 19), koska ne on todettu aiemmin tehdasprojekteissa hyväksi ratkaisuksi laitteiden asentamisessa. Kemialliset ankkurit ovat yksinkertainen ja nopea keino asennukseen. Suunnittelun aikana tehdyistä lujuusanalyyseistä havaittiin myös asennuspedin ankkureihin kohdistuvien voimien olevan pieniä, mikä mahdollisti kemiallisten ankkurien käytön.



KUVA 19. Kemiallisen ankkurijärjestelmän liimapatruuna ja ankkuritanko. (Hilti Oy, 2015)

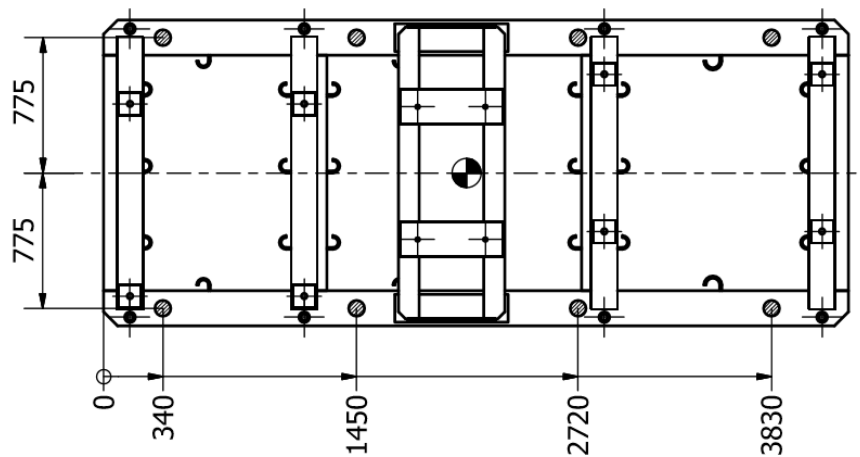
Kemialliset ankkurit asennetaan poraamalla tehtaaseen betoniseen lattialaattaan valmistajan antamien spesifikaatioiden mukaisesti ankkurireiät, joiden koko on hieman käytettävää ankkuritankoa suurempi. Tämän jälkeen ankkurirei'istä poistetaan porauspöly ja -jäte käyttäen paineilmaa. Liimapatruuna lasketaan ankkurireikiin ja ankkuritanko kierretään kiinni, jolloin se rikkoo liimapatruunan. Liiman kuivumisajan jälkeen voidaan asentaa laitteet ankkuritangoille (Hilti Oy, 2015).

Ankkurointia varten suunniteltiin asennuspedin rungon sivuilla kulkevien I-palkkien alempiin laippoihin reiät ankkuritankoja varten. Reiät on kohdistettu I-palkin sivusuunnassa laipan puoliväliin HEB-palkin standardin mukaisesti. Lisäksi palkkien ylempiin laippoihin tehtiin vastaaville kohdille hieman isommat reiät, jotta I-palkin korkeutta pidemmät ankkuritangot saadaan käytännössä asennettua paikoilleen. Myös jauhimen ja moottorin kiinnikkeiden suunnittelussa otettiin huomioon ankkureiden asennuksen vaatima tila. Ankkureiden kiinnitysreikien paikat ovat sivusuunnasta katsottuna vastaavilla

kohdilla kuin jauhimen ja moottorin kiinnikkeet, jotta asennuspetiin tulevia kuormituksia saadaan vähennettyä.

4.2.5 Nostosilmukkeet

Asennuspedin suunnittelussa ajateltiin myös sen nostoa, jota varten asennuspedin rungosta valittiin paikat nostosilmukkeiden asentamiselle. Asennuspetiä on tarkoitus nostaa vain tyhjänä eli sitä ei nosteta laitteiden ollessa asennettuna sille. Nostosilmukkeiden paikat on valittu kahdeksasta kohdasta rungon yläpinnalta mahdollisimman symmetrisesti painopisteen ympäriltä (kuva 20). Nostopisteet sijaitsevat myös painopisteen yläpuolella.



KUVA 20. Erään asennuspedin variaation nostopisteiden paikat.

Koska asennuspedin äärimitat ja massa voivat vaihdella runsaasti eri variaatioissa, yksityiskohtaista nostosuunnitelmaa ei tehty. Valmistuskuviin kuitenkin generoidaan asennuspedin massa ja hitsattavien nostosilmukkeiden paikat, joiden avulla voidaan valita sopivat silmukkeet sekä tehdä suunnitelma nostoon.

4.3 FEM-analyysi

Asennuspedin suunnittelun apuna käytettiin Inventorin FEM-laskentamoduulilla tehtyjä lujuustarkasteluja. Inventorilla tehtiin lujuuslaskelmia mallinnuksen ohessa, jotta rakennetta voitiin iteroida nopeasti ja tehdä manuaalista optimointia muun muassa asennuspedin massan alentamiseksi lujuuden kuitenkin huomattavasti laskematta. Asennuspedille

tehtiin myös lopulliset lujuuslaskelmaraportit kullekin jauhimen kokoluokalle niiden suurimmalla käyttöteholla.

Inventorilla tehtyä lujuustarkastelua varten määritettiin jauhimille ja teholtaan suurimmille niiden kanssa käytettäville moottoreille sekä vaihteistoille tukivoimat. Laskenta tehtiin samalla periaatteella kaikille laitteille, joten käsitellään moottoria esimerkkinä. Moottorin vääntömomentin, pyörimisnopeuden ja mittojen perusteella laskettiin vääntömomentista moottorin kiinnityspisteisiin aiheutuvat voimat. Kyseisten voimien ja moottorin massan avulla laskettiin moottorin kiinnikkeille tukireaktiot.

Käytetään esimerkkinä laskentaan erästä moottoria, jota tarkastellaan aksiaalisuuntaisesta tasosta. Moottori on akselin suhteen symmetrinen ja sen painopiste on sivusuunnassa akselin kohdalla. Yleensä jauhimien kanssa käytettävien moottorien spesifikaatioista saadaan moottorin vääntömomentti, mutta käytetään esimerkkinä erästä moottoria josta sitä ei ole saatavilla. Ensin lasketaan moottorin vääntömomentti T yhtälöstä

$$T = \frac{P}{\omega} \quad (1)$$

jossa P on teho ja ω on kulmanopeuden yksikkö (Tekniikan kaavasto 2008, 93). Kulmanopeus saadaan laskettua yhtälöllä

$$\omega = 2\pi n \quad (2)$$

jossa n on pyörimisnopeus (Tekniikan kaavasto 2008, 92). Moottorin teho P on 800 kW ja pyörimisnopeus n on 900 1/min, jolloin yhtälöistä 1 ja 2 saadaan moottorin vääntömomentille T tulokseksi 8488 Nm. Vääntömomentista T aiheutuva voima F voidaan edelleen laskea yhtälöllä

$$F = \frac{T}{r} \quad (3)$$

Jossa r on voiman ja pyörimisakselin välinen etäisyys (Tekniikan kaavasto 2008, 93). Moottorin kiinnikkeet sijaitsevat vaakasuunnassa symmetrisesti samalla etäisyydellä pyörimisakselista ($r = 530$ mm) rungossa. Täten moottorin vääntömomentista kiinnik-

keisiin vasemmalle ja oikealle syntyvät voimat F_1 ja F_2 ovat saman suuruiset. Esimerkkinä käytetyn moottorin kohdalla vääntömomentista T aiheutuva kokonaisvoima F on 16 015 N ja edelleen voimat F_1 ja F_2 ovat 8008 N.

Moottorin massa m on 5300 kg, joten siitä aiheutuva voima G lasketaan yhtälöllä

$$G = mg \quad (4)$$

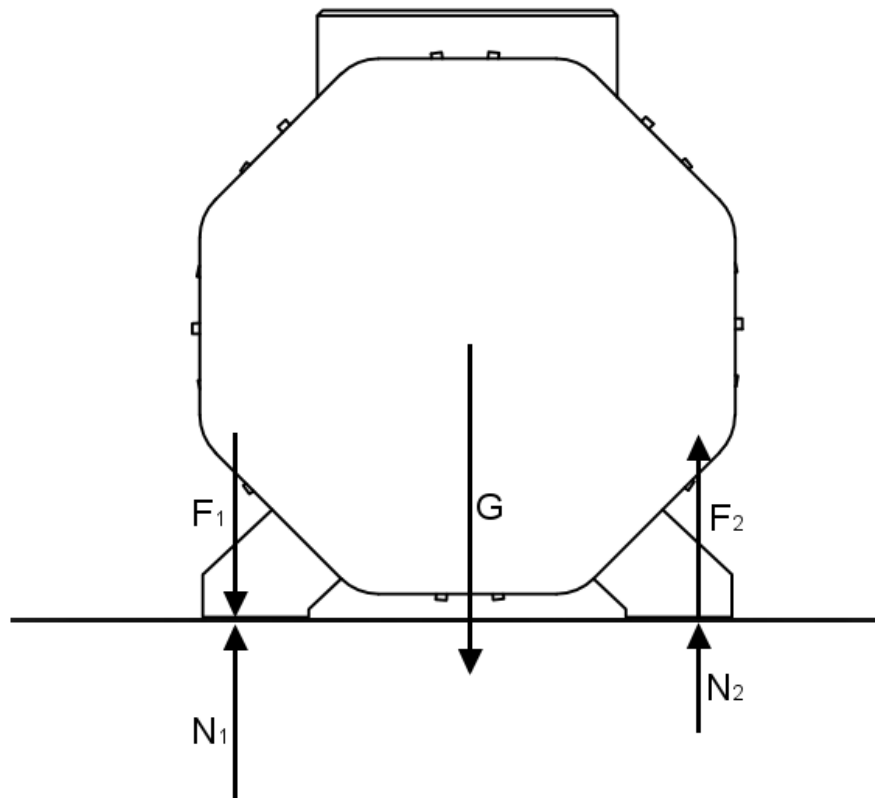
jossa g on putoamiskiihtyvyys $9,81 \text{ m/s}^2$ (Tekniikan kaavasto 2008, 91). Yhtälöstä saadaan edelleen tulokseksi 51 993 N.

Moottori pysyy paikallaan, eikä ole liikkeessä mihinkään suuntaan, joten voimien kokonaissumma $\sum F$ on nolla ja voidaan kuvata liikeyhtälöllä

$$\sum \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{N}_1 + \vec{N}_2 + \vec{G} = \vec{0} \quad (5)$$

jossa on moottoriin vaikuttavat voimat vektorimuodossa (Tekniikan kaavasto 2008, 91).

Moottoriin vaikuttavat voimat on esitetty kuvassa 21.

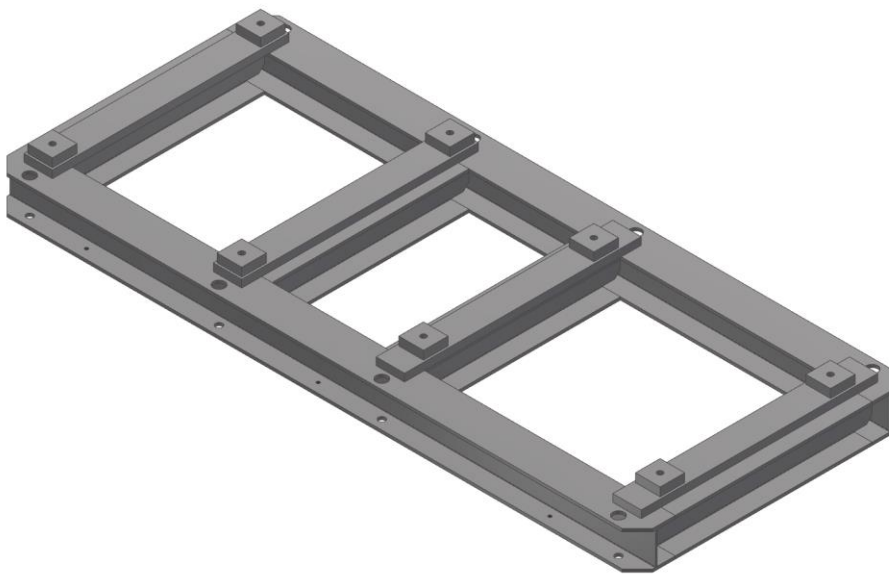


KUVA 21. Moottoriin vaikuttavat voimat.

Kaavasta (5) saadaan edelleen ratkaistua tukivoimat N_1 ja N_2 huomioiden moottorin symmetrisyys vaakasuunnassa ja voimien suunnat. Moottorin tukivoimiksi saadaan vasemmalle puolelle $N_1 = 34\,004\text{ N}$ ja oikealle $N_2 = 17\,990\text{ N}$.

Laskelmat tehtiin vastaavasti myös jauhimille ja vaihteistoille. Saatuja tukivoimia voidaan käyttää Inventorin FEM-laskennassa asennuspedin jännityksien simuloinnissa. Vaihtoehtoinen ratkaisutapa olisi laskea vain vääntömomenteista aiheutuvat voimat ja lisätä laitteiden massat Inventoriin sekä hyödyntää painovoiman simulointia FEM-moduulissa.

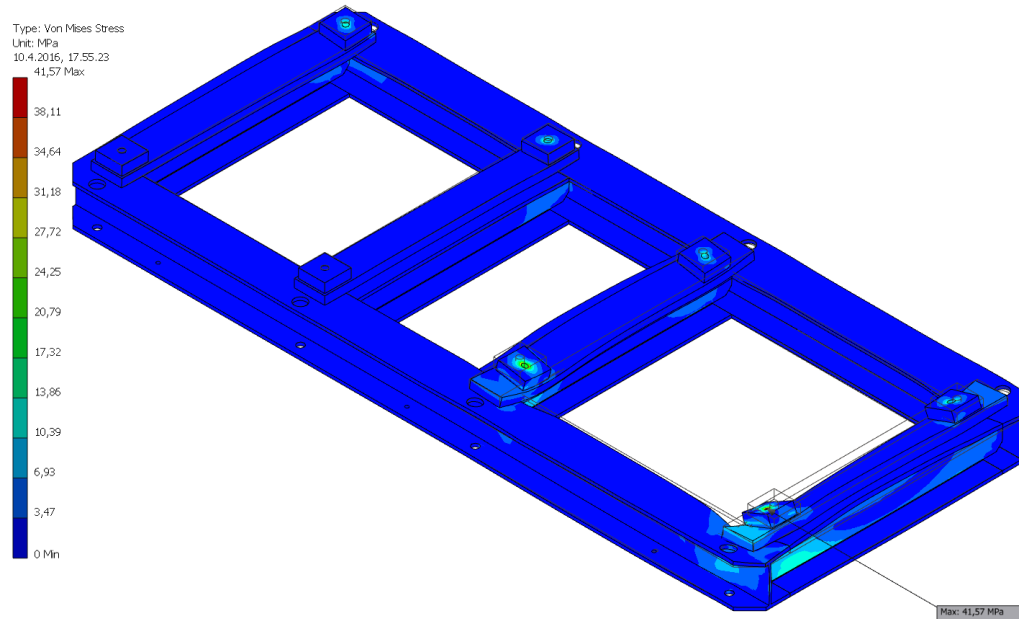
Kuvassa 22 on FEM-analyysissä esimerkkinä käytetty asennuspedin variaatio OptiFiner Pro 2 -jauhimelle ja sille sopivalle moottorille. Jauhimeen ja moottoriin vaikuttavat voimat on asetettu niiden kiinnikepisteisiin. Asennuspeti on tuettu ankkuripisteistä niiden aksiaalisuuntaan ja lisäksi peti on tuettu rungon pohjasta puristusta vastaan. Laskennassa tarkasteltiin asennuspetiä lisäämättä sille 3D-malleja laitteista, mutta niiden aiheuttamat voimat ja niiden massat otettiin huomioon laskennassa.



KUVA 22. FEM-tarkastelussa esimerkkinä käytetty asennuspedin variaatio.

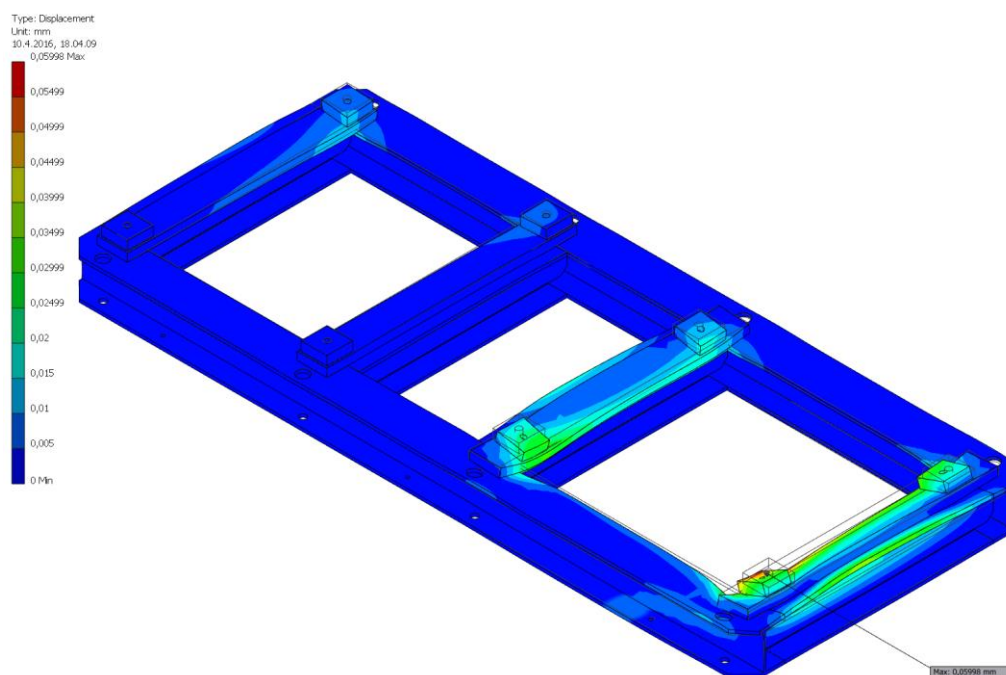
Esimerkitapauksessa asennuspetiin muodostuvat jännitykset ovat pieniä; Von Mises -kriteerin mukaiset vertailujännitykset ovat maksimissaan noin 42 MPa suuruudeltaan (kuva 23). Asennuspedin rakenteessa käytetty teräs on laadultaan S235JRG2, joten jännitykset ovat siis huomattavasti sen myötörajan (235 MPa) alapuolella ja varmuuskerroin

on siten korkea 5,6. Suurimmat jännitykset muodostuvat moottorin kiinnikkeiden kohdalle.



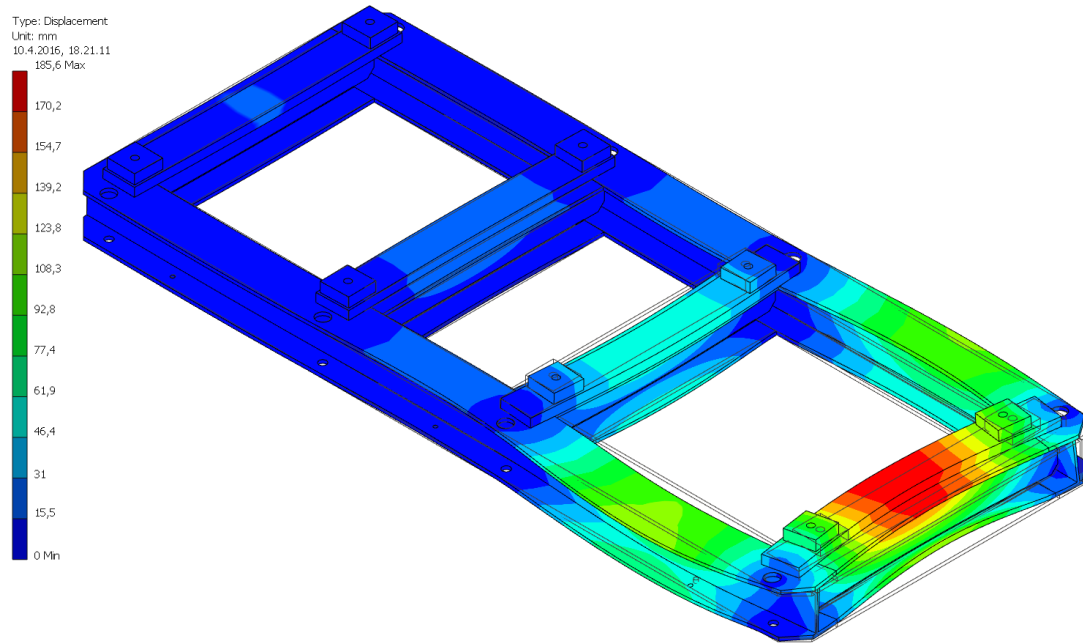
KUVA 23. Von Mises –vertailujännityksen jakautuminen asennuspedillä.

Myös asennuspedin elastiset siirtymät ovat pieniä (kuva 24). Vähäiset siirtymät ovatkin oleellisia akselilinjauksen kannalta. Pienillä runkopalkeilla rakenteen muodonmuutokset olisivat tulleet suuremmiksi ja mahdollisesti jo vaikuttaneet akselilinjaukseen, vaikka muuten rakenne olisikin ollut tarpeeksi luja.



KUVA 24. Rakenteen elastiset siirtymät.

Asennuspedille tehtiin myös Inventorin FEM-moduulilla ominaistajuustarkastelu. Asennuspedin rakenne on huomattavan jäykkä ja analyysin mukaan alin värähtelytaajuus (kuva 25), jolla rakenne alkaa värähtelemään on 256 Hz. Esimerkkitapauksessa asennuspedin rakenne on yksinkertaisimmillaan ja koostuu ainoastaan I-palkeista sekä laitteiden kiinnikkeistä, mikä selittää hyvin korkean ominaistajuuden. Moottorin käyntitaajuus esimerkkitapauksessa on 1000 kierrosta minuutissa eli 16,7 Hz, joten on oletettavissa että rakenne ei ala värähtelemään normaaleissa käyttötilanteissa.



KUVA 25. Alimman värähtelytaajuuden aiheuttamat siirtymät.

4.4 Konfigurointityökalu

Mallin ohjaamiseksi rakennettiin Microsoft Excel -ohjelmassa toimiva konfigurointityökalu ja käyttöliittymä sille. Kyseinen ohjelma valittiin konfiguraattorin pohjaksi, koska se on yhteensopiva valitun CAD-ohjelman kanssa. Konfiguraatiotyökaluun on syötetty taulukkomuodossa tarvittavat vaihteistojen, jauhimien ja HEB-palkkiprofiilien tiedot. Kyseisiä taulukoita on helppo laajentaa jälkikäteen kattamaan myös uusia vaihde- tai jauhinhalleja, jotta samaa asennuspedin mallia voidaan käyttää myös tulevaisuudessa uusien tuotteiden kanssa. Normaalissa käyttötilanteessa, asennuspetiä konfiguroidessa, taulukot ovat piilossa ja näkyvissä on ainoastaan graafinen käyttöliittymä sekä sen käyttöön vaadittava ohjeistus. Konfiguraatiotyökalun käyttöliittymä (kuva 26) on rakennettu selkeäksi myös Exceliä tai Inventoria vähemmän tuntevalle käyttäjälle.



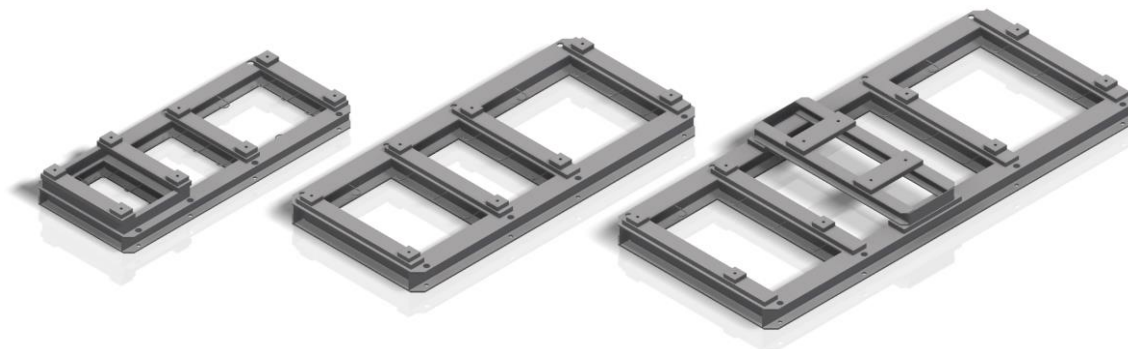
Installation Stand Configuration Tool
For OptiFiner Pro 1, Pro 2, Pro 3 and RF 1, RF 2, RF 3

Finer Model	OptiFiner Pro 2	
Gear Type	No Gear	
Motor Specifications		
Manufacturer	ABB	
Motor model	HXR 500L-6	
Power	1000	kW
RPM	1000	rpm
Shaft height	500	mm
Shaft offset	490	mm
Bolt pattern width	900	mm
Bolt pattern length	1250	mm
Bolt metric size	30	mm
Weight	6080	kg

KUVA 26. Konfiguraattorin käyttöliittymä.

Käyttöliittymässä valitaan pudotusvalikosta ensin jauhimen malli ja sen jälkeen valitaan seuraavasta pudotusvalikosta sille sopiva vaihde. Pudotusvalikossa listatut vaihteet määräytyvät jauhimen mallin mukaan, joten jauhimelle ei voida valita vääränlaista vaihdetta. Lisäksi käyttöliittymään syötetään jauhimen kanssa käytettävän moottorin tiedot, kuten akselikorkeus ja pulttijako.

Konfiguraatiotyökaluun rakennettu logiikka laskee annettujen tietojen pohjalta 3D-mallia ohjaavat parametrit ja kokoaa ne Inventorin käyttämään taulukkomuotoon. Kyseinen taulukko on sidottu CAD-ohjelmassa olevaan asennuspedin malliin ja tiedot siirtyvät ohjelmien välillä aina Excel-tiedostoa tallentaessa. Kun CAD-ohjelmassa päivitetään malli, siitä generoituu variaatio, jonka mitat ja rakenne vastaavat tehtyä konfiguraatiota. Kuvassa 27 on esimerkkejä asennuspedin erilaisista variaatioista.



KUVA 27. Esimerkkejä erilaisista asennuspedin variaatioista.

4.5 Työpiirustukset

Jauhimen asennuspedistä tehtiin myös 2D-työpiirustukset valmistusta varten. Työpiirustukset tehtiin Inventor-ohjelmassa valitsemalla 3D-mallista eri suunnista otetut projektiot ja mitoittamalla ne. Piirustusten tekeminen ja mitoittaminen modulaarisesta tai skaalautuvasta mallista eivät juurikaan poikkea normaalista. Inventorissa on sisäänrakennettuna ominaisuus, joka muuttaa piirustusten projektiot ja mitoituksen vastaamaan 3D-mallia automaattisesti. Skaalautuminen täytyy kuitenkin ottaa huomioon esimerkiksi piirustusten arkkikoon valinnassa ja projektioden sijoittelussa sille, jotta suurikokoiset asennuspedin variaatiot eivät ulotu piirustusalueen ulkopuolelle.

Piirustuksia asennuspedistä on kaikkiaan kolme, joista ensimmäinen on kokoonpanon hitauspiirustus, toinen koneistuspiirustus ja kolmas piirustus sisältää osien piirustukset. Asennuspeti mitoitettiin Aimo Peren Koneenpiirustus 1 & 2 -teoksen oppien ja Valmetin sisäisten piirustuskäytäntöjen mukaisesti. Piirustukset on tehty Valmetin piirustusohjelmalle.

Työpiirustukset sisältävät kaikki eri variaatioiden tiedot. Kun kuva avataan 3D-mallin generoimisen jälkeen, kaikki työpiirustuksen mitat ja yksityiskohdat päivittyvät vastaamaan sitä. Lisäksi kyseisessä variaatioissa käyttämättömät moduulit ja niihin liittyvät mitat poistuvat näkyvistä automaattisesti. Esimerkiksi jos generoituun asennuspetiin ei ole valittu vaihdetta, poistuvat kaikki siihen liittyvät mitoitusyksityiskohdat näkyvistä.

Liitteenä 1 on työpiirustus eräästä asennuspedin variaatiosta.

5 LOPPUTULOKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyössä suunniteltiin uusi modulaarinen asennuspeti käytettäväksi Valmetin jauhimien asennuksessa. Kokonaisuutena työ oli hyvin laaja sisältäen muun muassa asennuspedin CAD-mallinnuksen, lujuuslaskennan, moduloinnin ja konfiguraattorin rakentamisen. Lopputuloksena saatiin kuitenkin yksityiskohtainen asennuspedin CAD-malli ja sitä ohjaava selkeä konfigurointityökalu, jotka toimivat erinomaisesti erilaisten asennuspedin variaatioiden generoinnissa. CAD-mallista saadaan myös generoitua helposti työpiirustukset asennuspedin valmistamista varten. Lopputulos vastaa alussa asetettuja tavoitteita ja toiveena on, että uudella asennuspedin mallilla saadaan jatkossa osaltaan alennettuja eri projektien kustannuksia.

Modulointi ja konfigurointi ovat hyviä ja moderneja keinoja laajentaa tuotemallistoa kattamaan asiakkaiden tarpeiden mukaisia variaatioita tuotteista. Myös suunnittelun kannalta moduloinnin havaittiin tekevän työn suorituksen helpommaksi, kun erilaisia ideoita pystytään kokeilemaan joustavasti suunnitteluprosessin aikana. Myös rakenteen iterointi on nopeaa, kun rakenne on mallinnettu parametrien avulla ja jo alkujaan suunniteltu skaalautuvaksi. CAD-mallinnusta tehtäessä kannattaisikin ottaa samoja seikkoja huomioon, vaikkei tekisikään moduloitua mallia, koska se helpottaa mallinnusprosessia yleisesti.

Toisaalta modulointi vaatii suunnittelulta enemmän kuin normaalisti ja tekee konstruktion suunnittelusta selkeästi normaalitilannetta haastavamman ja enemmän aikaa vievän. Esimerkiksi tässä työssä tehty asennuspedin rakenne on melko yksinkertainen, mutta sen moduloinnin pohdinta ja toteutus vei suurimman osan suunnitteluajasta. Työkaluina käytetyt ohjelmat ovat joustavia ja ne mahdollistaisivat hyvinkin monimutkaisten moduloitujen konstruktioiden suunnittelun. Mutta jos rakenteesta suunnitellaan monimutkainen ja sisältämään laaja määrä erilaisia variaatioita, saatetaan kadottaa osa moduloinnin hyödyistä. Pahimmillaan saatettaisiin päätyä suunnittelemaan useita hyvin erilaisia konstruktioita, jotka vain ovat samassa CAD-mallissa. Moduloidun rakenteen kohdalla saatetaan päätyä myös helposti suuriin kompromisseihin, koska paras ratkaisu jollekin variaatiolle ei välttämättä ole hyvä kaikille muille variaatioille.

Koska modulointi lisää suunnitteluvaiheen vaatimaa aikaa, se myös nostaa suunnittelun kustannuksia. Mutta vastaavasti pidemmällä aikavälillä modulaarinen rakenne laskee suunnittelukustannuksia, kun rakennetta ei tarvitse suunnitella aina uudestaan vaan siitä

voidaan nopeasti konfiguroida tilanteeseen sopiva variaatio. Moduloitu rakenne, kuten tässä työssä tehty asennuspeti, vaikuttaa soveltuvan parhaiten yksinkertaisempiin konstruktioihin, joiden rakennetta halutaan varioida lähinnä eri mittatiedoilla tai yksinkertaisilla moduuleilla.

Alettaessa suunnittelemaan moduloitua rakennetta kannattaisikin pohtia, kuinka suuria eriä tuotetta tullaan valmistamaan. Suurissa määrissä massatuotetun tuotteen kohdalla modulointi ei välttämättä tuo suurta hyötyä, koska tuotetta optimoimalla voidaan saada suurien valmistuserien myötä kustannussäästöjä. Moduloitu rakenne vaikuttaa sopivan parhaiten pienien tuote-erien valmistukseen ja tuotteisiin, joista valmistetaan erilaisia variaatioita yksittäiskappaleina. Näissä voidaan hyväksyä tiettyjä kompromisseja pidemmän ajan säästöjen toivossa ja tuotemalliston joustavuuden kannalta.

LÄHTEET

Autodesk Inc. verkkosivu. 2016. Autodesk Knowledge Network for Autodesk Inventor. <https://knowledge.autodesk.com/support/inventor-products>

Autodesk Inc. verkkosivu. 2016. Inventor 2015 Help. <http://help.autodesk.com/view/INVENTOR/2015/ENU/>

Autodesk Inc. verkkosivu. 2015. Inventor features: Product design and modeling. Luettu 12.11.2015. <http://www.autodesk.com/products/inventor/features/product-design-modeling>

Hilti (Suomi) Oy. 2016. Adhesive anchor system. PDF. Luettu 12.2.2016. Saatavilla: https://www.hilti.fi/medias/sys_master/documents/hf6/9132895305758/Technical_data_sheet_for_HVU_adhesive_anchor_system_Technical_information_ASSET_DOC_2331232.pdf

Mäkelä, M. Soininen, L. Tuomola, S. Öistämö, J. 2008. Tekniikan kaavasto. Tammer-tekniikka. ISBN 9789525491487.

Pere, Aimo. 2012. Koneenpiirustus 1 & 2. Kirpe Oy. ISBN 9789526741918.

PrintWiki verkkosivu. 2015. Refining. Luettu 11.12.2015. <http://printwiki.org/Refining>

SFS-EN 10025. 2004. Kuumavalssatut rakenneteräkset.

Tiihonen, J., Soininen, T., Männistö, T., Sulonen, R. 1996. State-of-the-practice in Product Configuration - A Survey of 10 Cases in the Finnish Industry. PDF. Luettu 3.4.2016. Saatavilla: <https://www.cs.helsinki.fi/u/jutiihon/publications/TiihonenEtAl1996State.pdf>

Ulrich, K., Dasu, S., Eastman, C. 2012. Management of Design – Engineering and Management Perspectives. Hollanti: Springer. ISBN 9789401046091.

Ulrich, K., Tung, K. 1991. Fundamentals of Product Modularity. New York: American Society of Mechanical Engineers (ASME). ISBN 0791808769.

Valmet Oy verkkosivu. 2015. Valmet lyhyesti. Luettu 10.11.2015. <http://www.valmet.com/about-us/valmet-in-brief/>

Valmet Oy verkkosivu. 2016. Pulping and fiber. Luettu 1.2.2016. <http://www.valmet.com/products/pulping-and-fiber/>

LIITTEET

Liite 1. Asennuspedin erään variaation työpiirustus.

1 (3)

