

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Arto Hassinen

ENERGIAPUUHARVESTERIN
ALENTAMINEN

VALMISTUSKUSTANNUSTEN

Opinnäytetyö
Toukokuu 2015



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2015
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p. (013) 260 6800

Tekijä(t)
Arto Hassinen

Nimeke
Energiapuuharvesterin valmistuskustannusten alentaminen

Toimeksiantaja:
Pentin Paja Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli alentaa kaivinkoneessa käytettävän EV28 energiapuuharvesterin valmistuskustannuksia. Säästöihin pyrittiin muokkaamalla harvesterin rakennetta ja toimintoja. Kehitystyö ei saanut heikentää tuotteen toiminnollisia eikä lujuusopillisiä ominaisuuksia. Työ tehtiin toimeksiantona Pentin Paja Oy:lle

Aluksi tutustuttiin käytössä oleviin tuotekehitysmenetelmiin ja niistä valittiin tähän työhön sopivat. Lisäksi perehdyttiin hitsauksen huomiointiin suunnittelussa. Tämän jälkeen työssä selvitettiin nykyisen rakenteen kustannukset ja jaoteltiin ne pienempiin osiin, jonka perusteella päätettiin pienentää valmistuskustannuksia vähentämällä osien lukumäärää ja hitsaustyön osuutta. Tuotekehitysideoiden pohjalta harvesteri mallinnettiin uudelleen.

Työn tuloksena harvesterin valmistuskustannuksia saatiin alennettua yllättävän paljon pelkästään osien muokkauksella ja hitsaustyötä vähentämällä. Työ oli onnistunut, vaikka tavoitteeksi asetettua säästöä ei täysin saavutettukaan. Tuotekehitys täytti sille asetetut muut ehdot eivätkä tuotteen toiminnot ja lujuusopilliset ominaisuudet kärsineet. Jatkokehityksessä rakenteet tulee mitoittaa lujuusopin kannalta suurempien säästöjen saavuttamiseksi.

Kieli
suomi

Sivuja 38
Liitteet 3
Liitesivumäärä 3

Asiasanat
tuotekehitys, hitsaus, tuotesuunnittelu, DFMA, DFX, energiapuu



THESIS
May 2015
Degree Programme in Machine- and
Production Engineering

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
FINLAND
p. (013) 260 6800

Author (s)
Arto Hassinen

Title
Decreasing Manufacturing Costs of Energy Wood Harvester

Commissioned by
Pentin Paja Oy

Abstract

The aim of this thesis was to decrease the manufacturing costs of the EV28 energy wood harvester used in excavators. Decreased manufacturing costs were achieved by modifying the functions and the construction of the harvester. This thesis was commissioned by Pentin Paja Oy.

Different kinds of product development methods were researched, and the most suitable method was chosen for this thesis. Taking welding into account in the product development process was also researched. After the theoretical section, the costs for manufacturing the existing model were studied and divided into smaller sections. With this information in mind, product development focused on decreasing the number of parts and the need for welding. A new energy wood harvester was modelled based on product development ideas.

As a result of this thesis, the production costs of the harvester were decreased surprisingly much simply by modifying parts and decreasing the amount of welding. This thesis is successful, even though it did not fully achieve its aim in cost savings. The thesis fulfilled all of its other aims, and it did not decrease the functions or the strength of the harvester. In the future, materials should be calculated to achieve greater savings.

Language
Finnish

Pages 38
Appendices 3
Pages of Appendices 3

Keywords
product development, welding, product design, DFMA, DFX, wood fuel

Sisältö

1	Johdanto	5
1.1	Pentin Paja Oy	5
1.2	Toimeksianto	5
1.3	Energiapuun korjuu.....	6
2	Tuotekehitys	8
2.1	Tuotekehityksen perusteita.....	8
2.2	Onnistuneen tuotekehitysprosessin edellytykset	9
3	DFX-menetelmä.....	11
3.1	DFX-määritelmä.....	11
3.2	DFA-suunnittelu	11
3.3	DFM-suunnittelu	13
3.4	DFWA-suunnittelu.....	14
4	Hitsaus ja sen huomiointi suunnittelutyössä	15
4.1	Hitsaus.....	15
4.2	Säröily.....	15
4.3	Hitsausjännitysten ja muodonmuutosten pienentäminen.....	16
5	Nykytilanteen kartoitus.....	19
5.1	Nykyinen malli energiapuuharvesteri EV28	19
5.2	Harvesterin eri versiot.....	22
5.3	Nykyisen rakenteen kustannukset	23
6	Tuotekehitysideat.....	25
6.1	Myytävien versioiden vähentäminen.....	25
6.2	Kotelomaiset rakenteet	27
6.3	Osien lukumäärän pienentäminen ja paikoituksen parantaminen.....	28
7	Tuotekehitysideoiden arviointi.....	31
7.1	Taloudelliset säästöt	31
8	Pohdinta.....	35
8.1	Yhteenveto.....	35
8.2	Jatkotoimenpiteet.....	36
8.3	Ammatillinen kasvu.....	36
	Lähteet.....	38

Liitteet

- Liite 1 Vertailukuva uuden ja vanhan mallin välillä sivusta
- Liite 2 Vertailukuva vanhan ja uuden mallin välillä ylhäältä
- Liite 3 Vertailukuva vanhan ja uuden mallin välillä viistosta ylhäältä

1 Johdanto

1.1 Pentin Paja Oy

Pentin Paja Oy on vuonna 1982 Iломantsin Naarvassa perustettu perheyritys. Yritys on erikoistunut pienpuun korjuuseen käytettävien laitteiden valmistukseen ja tuotekehitykseen. Yrityksen valmistamia laitteita käytetään esimerkiksi energiapuun hakkuuseen, ensiharvennukseen, ongelmapuiden kaatoon ja taimikon hoitoon.

Yrityksellä on yhteensä noin 200 m² tuotantotilaa Iломantsissa ja Joensuussa. Pentin Pajan suunnittelutyön lähtökohtana on yksinkertainen rakenne ja helppo tekninen toteutus. Yritys työllistää 22 henkeä ja sen liikevaihto oli vuonna 2013 noin 2,35 miljoonaa euroa. [1]

1.2 Toimeksianto

Työn tehtävänä oli ideoida ratkaisuja, joilla valmiina olevan tuotteen valmistuskustannuksia saataisiin alennettua. Kehitystyön kohteena oli Pentin Paja Oy:n Naarva EV28, keräävä energiakoura, joka on suunniteltu käytettäväksi 13 tonnin tai sitä suuremmissa kaivinkoneissa. Koura on tarkoitettu käytettäväksi energiapuun korjaukseen sekä ongelmapuiden käsittelyyn. Tuotteen rakenne ja komponentit on pyritty pitämään mahdollisimman yksinkertaisina. Koura ei tarvitse toimiakseen lainkaan sähköä ja kaikki kouran toiminnot voidaan toteuttaa vetämällä kouralle kaksi hydraulikkaletkua.

Työn tarkoituksena oli selvittää, millaisia eri tuotekehitysmenetelmiä maailmalla on käytetty, perehtyä niistä muutamaaan tarkemmin ja valita tähän tapaukseen sopiva menetelmä. Valmistelevan tutkimustyön jälkeen selvitettiin, mikä työvaihe tai komponentti nykyisessä toteutuksessa nostaa eniten valmistuskustannuksia. Kun eniten kustannuksia aiheuttava työvaihe tai tuotteen osa oli selvitetty, työssä ideoitiin erilaisia vaihtoehtoisia ratkaisuja ja muutoksia tuotteeseen kustannusten

alentamiseksi. Teoriaosiossa on perehdytty tarkemmin hitsausseamien huomiointiin ottamiseen suunnittelutyössä, koska tuote on kokoonpantu lähes kokonaan hitsaamalla. Hitsausseamien tarkastelua on lähestytty sekä lujuusopillisen kestävyyden että kokoonpantavuuden näkökulmasta.

Työssä ei ole tarkoitus mallintaa valmista tuotetta, eikä piirtää valmistuspiirustuksia. Opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä erilaisia luonnoksia, joiden avulla ideat on helpompi tuoda visuaalisesti esille. Työn tekemistä varten toimeksiantaja toimitti valmiit 3D-kuvat tuotteesta, joita on hyödynnetty tuotekehitysideoita mallinnettaessa.

1.3 Energiapuun korjuu

Koska tuotekehityksen kohteena on energiapuuharvesteri, on tässä kappaleessa kerrottu lyhyesti, mitä energiapuu on. Lisäksi kappaleessa kerrotaan, miksi energiapuuharvesteri ja energiapuu ovat nyt ajankohtaisia.

Energiapuulla tarkoitetaan yleensä nuorta, puunjalostukseen kelpaamatonta rungon osaa. Tällaisia voivat olla esimerkiksi hoitamatta jääneet nuoret metsät. Vanhemmista metsistä energiapuuksi korjataan latvat ja oksat, sekä huonolaatuiset rungot. [2] Energiapuuksi käytetään myös ensiharvennuksesta saatava hienorunkoinen nuori puusto, jonka runkokoko ei kuitenkaan riitä kuitupuuksi. Energiapuun ei tarvitse olla karsittua, sillä usein se jalostetaan hakkeeksi.

Viime vuosikymmenellä energiapuun korjuu kasvoi merkittävästi aiempiin vuosiin verrattuna. Tämä oli osittain seurausta valtion maksamasta uudentyyppisestä energiapuun korjuutuesta, jonka myötä energiapuun korjuu muuttui houkuttelevammaksi niin tavalliselle metsänomistajalle kuin myös metsäalan urakoitsijoille. Korjuutuella tavoiteltiin suurempaa energiapuun käyttöastetta voimalaitoksissa korvaamaan turvetta ja raaka-aineeksi biopoltoaineen valmistuksessa. [3]

Kasvaneen energiapuunkorjuun seurauksena myös energiapuun korjuuseen käytettävän laitteiston kysyntä on kasvanut. Kasvaneen kysynnän johdosta useat konepajat ovat valmistaneet oman mallistonsa energiapuun käsittelyyn.

2 Tuotekehitys

2.1 Tuotekehityksen perusteita

Tuotekehityksellä tarkoitetaan toimintaa, jonka tavoitteena on kehittää yritykselle uusi tuote tai parantaa valmista tuotetta siten, että tuotteesta tulee teknisesti parempi ja valmistuskustannusten kannalta edullisempi. Ulrichin ja Eppingerin [4] määritelmän mukaan tuotekehityksellä tarkoitetaan vaiheita ja toimenpiteitä, jotka yritys käy läpi luodessaan, suunnitellessaan ja tuotteistaessaan uuden tuotteen.

Tuotekehitys on monivaiheinen prosessi. Se käsittää tuoteidean etsimisen, lähtötietojen, kuten kehitysnäkymien ja markkinoiden selvittämisen, tuotteen luonnostelun, tarkemman yksityiskohtaisen suunnittelun, piirustusten laatimisen ja käyttöohjeiden sekä tuotantomenetelmien kehittämisen. [5]

Tuotekehityksen tavoitteena on täyttää asetetut tavoitteet niin hyvin kuin se on teknisesti ja taloudellisesti mahdollista. Tuotekehitystyössä vaaditaan hyvää tietämystä luonnontieteistä ja kykyä ajatella luovasti käytännön näkökulmasta. Tuotekehitystä on myös aiemmin luodun järjestelmän sovittaminen toiseen, alkupe-
räisestä poikkeavaan tarkoitukseen.

Suurimmilla yrityksillä on olemassa tuotekehityksestä vastaava osasto. Pienemmät yritykset eivät välttämättä kykene perustamaan omaa tuotekehityksestä vastaavaa osastoa, jolloin tuotekehitystyö jää hoidettavaksi muiden työtehtävien ohella. Tuotekehityksen osuus liikevaihdosta vaihtelee suuresti teollisuudenalasta riippuen. Esimerkiksi puunjalostuksessa tuotekehityksen osuus on muutamia prosentteja liikevaihdosta, kun taas nopeasti kasvavilla, uusilla aloilla tuotekehityksen osuus voi olla jopa puolet yrityksen liikevaihdosta. [6]

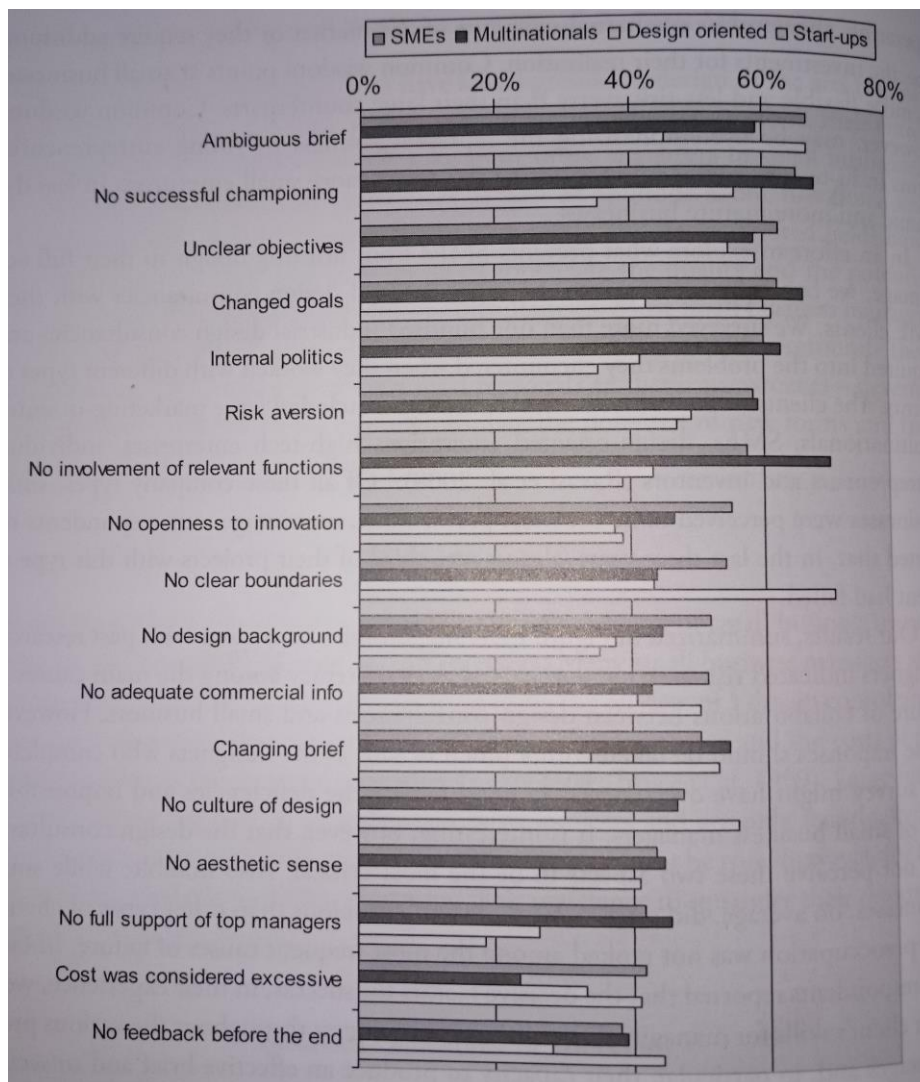
2.2 Onnistuneen tuotekehitysprosessin edellytykset

Tuotekehitystyöstä yrityksissä vastaa yleensä samat henkilöt projektista toiseen. Käytettäessä samoja henkilöitä, etuina tuotekehitystyössä on henkilöstön runsas tietämys yrityksen valmistamista tuotteista, niissä käytettävistä teknisistä ratkaisuista ja komponenteista. Heillä on yleensä myös kokemusta yrityksen tuotannon kapasiteetista ja sen teknisistä mahdollisuuksista esimerkiksi koneistuksen osalta.

Tuotekehitysprojektiin olisi kuitenkin hyvä ottaa mukaan myös ulkopuolisia osapuolia, jotka eivät välttämättä ole koskaan aiemmin työskennelleet kehitettävän tuotteen parissa tai eivät edes kehitystyötä tekevän yrityksen palkkalistoilla. Tällaisia voivat olla esimerkiksi erilaiset suunnittelukonsultit. Useita vuosia saman tuotteen tai tuoteperheen kanssa toimineet henkilöt urautuvat vanhoihin menetelmiin. Heidän tekninen näkökenttensä kapenee eivätkä he välttämättä osaa sen johdosta enää hyödyntää uusia teknologioita tai ajatella niin sanotusti laatikon ulkopuolelta. Yrityksen ulkopuolinen henkilö voi tuoda esille uusia ratkaisuja tai teknologioita, joita yrityksen tuotekehityshenkilöstö ei välttämättä ole tajunnut aiemmin käyttää. On myös mahdollista, että jonkin sovellus on kehittynyt heidän tuotteisiinsa sopivaksi.

Onnistuneen tuotekehitysprojektin takana on aina onnistunut tehtävänanto. Usein epäonnistuneen projektin takana onkin tiedollisesti vajaa, ylimalkainen tehtävänanto. Tällöin tuotekehityksen parissa työskentelevät eivät välttämättä edes kunnolla ymmärrä, mitä heidän on tarkoitus luoda tai miten heidän täytyy tuotetta kehittää. Tuotekehitysprojektille on asetettava selkeät rajat, joilla määritellään resurssit, kuten aika, henkilöstö, tavoitteet, asiakkaan toiveet, lopullisen tuotteen hinta sekä tehtävät, joista valmiin tuotteen on selviydyttävä. Vuonna 2011 tehtiin tutkimus kirjaan "The Handbook Of Design Management", jossa haastateltiin suunnittelukonsultteja. Haastattelun tuloksena tehtiin kuvio, jossa on määritelty erilaiset syyt, joiden takia tuotekehitysprojektit ovat epäonnistuneet. Noin 65 % pienten- ja keskisuurten yritysten tapauksissa epäonnistumiset johtuivat epäselvistä tehtävänannoista. Kuviossa 1 on kyseisestä tutkimuksesta tehty kuvaaja,

josta selviää yleisimmät projektin epäonnistumisen syyt. Kuviossa on esillä pienten- ja keskisuurten-, kansainvälisten-, suunnitteluun erikoistuneiden ja start-up yritysten tulokset. Kuviossa SME's tarkoittaa pieniä- ja keskisuuria yrityksiä. [7]



Kuvio 1. Yleisimmät syyt tuotantokehitysprosessien epäonnistumiseen erilaisissa yrityksissä. "The Handbook of Design Management" - kirjasta. © Ravasi ja Stigliani, 2011.

3 DFX-menetelmä

3.1 DFX-määritelmä

Tuotekehityksessä käytetään hyvin usein DFX-menetelmää, joka tulee englanninkielisistä sanoista Design for X tai Design for Everything. Vapaasti suomennettuna tämä tarkoittaa sitä, että tuotetta tai osaa lähdetään suunnittelemaan jonkin tietyn näkökulman kannalta, kuten esimerkiksi kokoonpanon kannalta myönteisesti (DFA). Komponentteja voidaan myös suunnitella valmistettavuuden kannalta myönteiseksi, jolloin käytetään nimitystä DFM (Design for Manufacturing). Hyvin usein nämä kaksi edellä mainittua tapausta katsotaan olevan hyvin vahvasti sidottuna toisiinsa, ettei ole järkevää suunnitella tuotetta tai komponenttia vain toisen periaatteen näkökulmasta. Tällaisissa tapauksissa onkin järkevää huomioida molemmat seikat suunnitteluvaiheessa, jolloin menetelmästä käytetään lyhennystä DFMA (Design for Manufacturing and Assembly). Hitsattavista kokoonpanoista käytetään DFWA - lyhennettä (Design for Welding Assembly). Tätä menetelmää käytetään tässä opinnäytetyössä. [8]

3.2 DFA-suunnittelu

DFA-menetelmässä suunnittelija pyrkii suunnittelemaan valmistettavan tuotteen kokoonpanon kannalta edulliseksi. Tuotteen kokoonpantavuus onkin otettava huomioon suunnittelutyön hyvin aikaisessa vaiheessa. Kokoonpantavuutta on hyvä arvioida 3D-malleilla. Kokoonpanon arviointiin vaikuttaa hyvin paljon kokoonpanoympäristö ja menetelmät. Automatisoitu kokoonpano asettaa tuotesuunnittelulle aivan erilaiset rajoitukset kuin manuaalinen kokoonpano. Yleensä kokoonpano tehdään kuitenkin pääosin manuaalisesti.

Kokoonpanon kannalta suunniteltaessa tärkein periaate on pyrkiä mahdollisimman vähäiseen osien lukumäärään. Mitä enemmän osia on, sitä enemmän on työvaiheita koko tuotteen elinkaaren ajan: enemmän suunniteltavaa, enemmän

työpiirustuksia tehtävänä, enemmän valmistettavia komponentteja, enemmän kokoonpantavia osia ja enemmän kierrätettävää materiaalia. Hietikon mukaan ”jokaisen osan myötä kustannukset lisääntyvät eksponentiaalisesti”. [8, s.155] Jokaisen suunnitellun osan kohdalla on mietittävä, onko osa tarpeellinen tai voisiko se olla kiinteänä osana isommassa kokonaisuudessa. Tähän on apuna kolme hyvää kysymystä, jotka kannattaa esittää osan tarpeellisuutta pohtiessa:

- Pitääkö osan päästä liikkumaan suhteessa muihin kokoonpanon osiin?
- Pitääkö osan olla eri materiaalia?
- Pitääkö osan olla irrotettavissa huollon tai muun syyn takia?

Jos osa saa kyllä vastauksen johonkin noista kolmesta kysymyksestä, voidaan se laskea mukaan osien teoreettiseen minimimäärään.

Suunnitteluvaiheessa on myös hyvä pohtia, kuinka kokoonpanossa käytettävät osat olisi mahdollisimman helppoa ja vaivatonta asentaa eikä, niiden käsittely veisi ylimääräistä aikaa. Esimerkiksi toisiinsa takertuvat, koukkumaiset osat hidastavat kokoonpanoa turhaan, kun kokoojan on ensin irrotettava takertuneet osat toisistaan. Myöskin muotonsa tai kokonsa puolesta hankalasti käsiteltäviä osia tulisi välttää. Esimerkiksi pienten osien käsittely manuaalisesti voi olla hyvin hidasta.

Suunnitellessa on pyrittävä käyttämään mahdollisimman paljon symmetrisiä osia, jolloin osan voi asentaa kahdella ”oikealla” tavalla. Mikäli symmetrisyyttä ei voida saavuttaa, on pyrittävä ratkaisuihin, joissa osaa ei voida asentaa väärin niin sanotun poka yoke – periaatteen mukaisesti. Poka yokessa tavoitteena on suunnitella ja valmistaa tuotteet sekä osat siten, ettei niitä ole mahdollista asentaa tai käyttää väärin. Esimerkkinä poka yokesta voisi olla vaikka kuvan kaksi mukainen ethernet-liitin, jota ei voi kytkeä väärin päin.



Kuva 1. Ethernet liitin, jota ei voi kytkeä väärinpäin. Lähde: Google-kuvahaku.

3.3 DFM-suunnittelu

Suunnitellessaan tuotetta DFM-periaatteen mukaisesti suunnittelija kiinnittää työssään huomion valmistuksen asettamiin vaatimuksiin. Tällaisia voivat olla työstökoneiden asettamat rajoitukset työstöominaisuuksien osalta ja esimerkiksi käytettävissä olevien tuotantotilojen mahdollisuudet sekä rajallisuudet. Suunnittelussa on pyrittävä ratkaisuihin, joilla komponentit pystytään valmistamaan mahdollisimman valmiiksi yhdellä laitteella tai työstökerralla siirtojen ja kappaleen käsittelykertojen minimoimiseksi.

Suunnittelijan on myös käytettävä toleransseja oikein. Tarpeettoman tiukat toleranssit lisäävät valmistuskustannuksia erilaisten erikoisprosessien tai erikoistyökalujen myötä. On myös tärkeää käyttää standardimittoja aina, kun mahdollista työstöjen ja koneistusten määrän minimoimiseksi. Valmistuksen kannalta on edullista käyttää muutenkin standardiosia tai osia, jotka on suunniteltu jo aikaisemmin.

3.4 DFWA-suunnittelu

Desing For Welding Assembly suunnittelussa pyritään suunnittelemaan tuoterakenne siten, että se olisi mahdollisimman edullinen hitsauskokoontalon kannalta. DFWA menetelmä pyrkii hyvin pitkälle samoihin tavoitteisiin kuin DFA-menetelmä, mutta siinä otetaan huomioon hitsauksen tuomat erikoisvaatimukset, kuten hitsausasennot, hitsauspolttimen vaatima tila ja rakenteeseen tuotava lämpökuorma.

Suunnittelussa kannattaa pyrkiä tilanteeseen, jossa mahdollisimman moni sauma pystyttäisiin hitsaamaan kappaletta kääntelemättä jalkoasennossa, sillä se on työergonomialtaan paras ja tässä asennossa hitsaustyö on kaikista tehokainta. Koska kaikkia saumoja ei välttämättä pysty hitsaamaan jalkoasennossa kappaletta kääntämättä, on pyrittävä käyttämään kiinnittimiä ja kappaleen kääntämiseen tarkoitettuja laitteita hitsauksen helpottamiseksi. [9]

Rakennetta suunnitellessa on otettava huomioon hitsauspolttimen vaatima tila, jolloin kotelomaisia rakenteita tulee välttää tai niiden täytyy olla ainakin sivulta avonainen. Liian pienet kotelomaiset rakenteet, joiden sisällä hitsauspolttinta ei mahdu käsittelemään helposti, hidastavat ja hankaloittavat hitsaustyötä tarpeettomasti. Tällaisissa tapauksissa onkin pyrittävä pääsemään eroon kotelomaisesta rakenteesta tai pohdittava mahdollisuutta hitsata vain kotelon ulkopuoliset saumat.

Hitsauksen helpottamiseksi rakenteet ja osat kannattaa suunnitella siten, että ne on helppo asemoida tai siten, ettei niitä voi hitsata väärään kohtaan. Mikäli hitsaus suoritetaan manuaalisesti, pelkästään jo visuaaliset piirteet helpottavat paikkoittamista. Automatisoidussa prosessissa pelkästään visuaaliset piirteet vaativat konenäön käyttämistä. Automatisoidun hitsauksen yhteydessä onkin hyvä pyrkiä osiin, joita ei tarvitse erikseen asemoida. Hitsauksen kannalta edullista on myös pyrkiä järjestelmiin, joissa kerran asemoitu osa pysyy paikallaan koko prosessin ajan.

4 Hitsaus ja sen huomiointi suunnittelutyössä

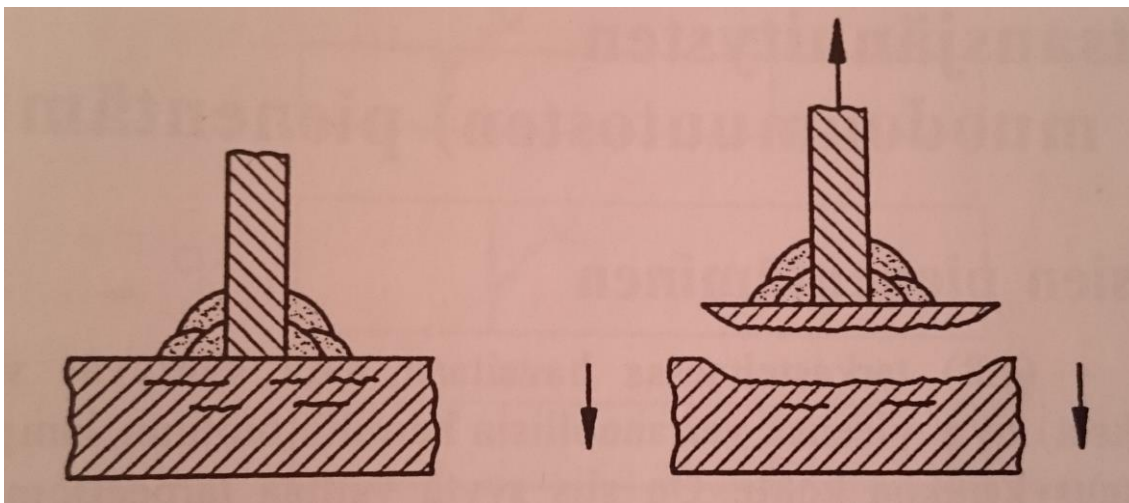
4.1 Hitsaus

Hitsaus on ”osien liittämistä toisiinsa käyttämällä hyväksi lämpöä ja/tai puristusta siten, että osat muodostavat jatkuvan yhteyden”[10]. Lähes jokainen Suomen metalliteollisuudessa työskentelevä joutuu tekemisiin hitsattujen rakenteiden kanssa tavalla tai toisella. Hitsaus on hitsattavan materiaalin osalta hyvin raju tapahtuma, johon liittyvät nopeiden ja suurten lämpötilamuutosten aiheuttamat jännitystilat sekä lämpötilanmuutoksen aiheuttamat muutokset materiaalin ominaisuuksiin. Hitsattaessa muodostuu lähes poikkeuksetta ei-toivottuja muodonmuutoksia. Hitsaussaumamat aiheuttavat myös kappaleen geometriaan epäjatkuvuuskohtia, jotka aiheuttavat erisuuruisia jännityskeskittymiä sekä – huippuja. Aiemmin mainittujen faktojen valossa voidaan todeta, että hitsatun rakenteen suunnitteluun ja lujuuslaskentaan liittyy monia seikkoja, joita ei tarvitse huomioida hitsaamattomia koneenosia suunnitellessa.[11]

4.2 Säröily

Hitsauksen jäljiltä rakenteeseen jää helposti suuria sisäisiä jännityksiä. Jännitykset muodostuvat suurista lämpötilanmuutoksista ja siitä johtuvista lämpölaajenemisista. Ongelmallisia nämä jännitykset ovat käytettäessä materiaaleja, jotka ovat valmistusvaiheessa voimakkaasti orientoituneita, kuten esimerkiksi valssatuissa teräksissä niiden paksuussuunnassa. Säröt voivat johtua myös erilaisista seosaineiden sulkeumista materiaalissa. Jäykät teräkset ovat alttiimpia säröilemään kuin sitkeästi käyttäytyvät teräkset. Sitkeissä teräksissä oleva, hitsauksesta johtuva jännitysalue venyy plastisesti ensimmäisellä kuormituskerralla, mutta ei enää myöhemmin ellei kuormitus kasva. Sitkeät teräkset sallivatkin paremmin rakenteissa olevat pienet säröt ja halkeamat menettämättä lujuusopillisia ominaisuuksiaan kuin jäykät teräkset. Erityisen ongelmallinen tilanne on kuviossa 2 esitellyissä T-liitoksissa, joissa veto kohdistuu valssauspintaa vasten kohtisuorassa. Tällaisen liitoksen hajonta kestävyys suhteen on niin suuri, ettei pelkällä

ylimitoituksella saavuteta riittävän luotettavia rakenteita. Aineen sitkeyden tulee kin olla riittävä estämään särön äkillinen kasvu, vaikka aine olisi jännitetty yli myötörajan. [11]

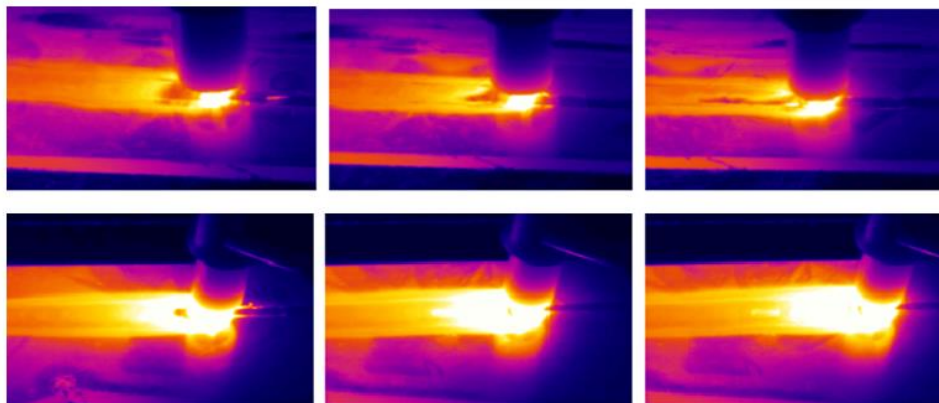


Kuvio 2. Tyypillinen lamellirepeämä. Vasemmalla on poikkileikkaus T-liitoksesta levossa, josta näkee materiaalissa olevat sulkeumat ja säröt, joiden kohdalta materiaali repeää. Lähde: Niemi E. & Kemppi J. "Hitsatun rakenteen suunnittelun perusteet"

Nykyisin on saatavana niin sanottua z-terästä, jotka sietävät erittäin hyvin myös levyn paksuussuuntaista rasitusta. Paremmat lujuusopilliset ominaisuudet saavutetaan käsittelemällä raaka-aine ennen valua siten, että sulfidisulkeumat säilyvät valssauksessa pallomaisina ja tuotteen ominaisuudet säilyvät lähes isotrooppisina. [12]

4.3 Hitsausjännitysten ja muodonmuutosten pienentäminen

Kuten aiemmin opinnäytetyössä on todettu, kappaleeseen muodostuvat jäännösjännitykset syntyvät lämpötilavaihtelujen ja epätasaisen lämpöjakauman vuoksi. Kuvassa 2 on hyvin nähtävillä, kuinka suuret lämpötilavaihtelut tulevat materiaaliin hitsauksessa.



Kuva 2. Lämpökamerakuva TIG-hitsauksesta. Kuvasta näkee kuinka suuret lämpötilaerot hitsaus aiheuttaa materiaaliin. Valkoinen väri kuvaa kuuminta osaa kuvassa. Kuva: SAMK

Koska lämpölaajeneminen on lineaarista, pituuden muutos on suoraan verrannollinen lämpötilan muutokseen. Tästä voidaan vetää johtopäätös, että jos hitsauksessa muodostuvia hitsausjännityksiä halutaan mahdollisimman pieniksi, tulee hitsiin kerralla tuotava lämpömäärä pitää mahdollisimman alhaisena. Pienahitsien a-mittaa ei tulisi valita suuremmaksi kuin lujuuslaskelmat ja hitsattavuuden vaatima minimilämmöntuonti vaatii. Hitsin poikkipinta-alaan voidaan vaikuttaa oikealla hitsausmenetelmän valinnalla, railon mitoituksella ja sen valmistarkkuudella. Tuotuun energiamäärään voidaan vaikuttaa myös palkokerrosten lukumäärällä. Useammalla palkomäärällä materiaaliin tuodaan kerralla vähemmän lämpöenergiaa, joka osaltaan pienentää raaka-aineissa tapahtuvia rakennemuutoksia. Useampaa palkomäärää käyttäessä saumojen kulmavetäytymä on kuitenkin aina sitä suurempi, mitä useampaa palkoa käytetään.

Muodonmuutoksia voi pienentää kiinnittämällä hitsattavat kappaleet tukevasti hitsauksen ajaksi. Kutistuessaan kuuma hitsi myötää, sillä se ei pysty siirtämään kiinnitettyjä osia. Jäähtymisen loppuvaiheessa hitsi on kuitenkin niin luja, ettei muodonmuutoksia voi estää kokonaan. Kiinnittimien irrottamisen jälkeen hitsausjännitykset laukeavat osittain ja kappaleeseen syntyy kimmoisia muodonmuutoksia. Kokonaisuudessaan muodonmuutokset jäävät kuitenkin huomattavasti pienemmäksi kuin ilman kiinnittimiä hitsattaessa.

Hitsauksessa syntyviä jännityksiä voidaan myös laukaista hitsauksen jälkeen erilaisin erilaisten mekaanisten menetelmien avulla. Esimerkiksi lentokoneolosuhteissa käytetään kuulapuhallusmenetelmää, joka parantaa materiaalien väsymislujuutta myös hitsatuissa teräsrakenteissa. Mainittu kuulapuhallusmenetelmä kuuluu vasartamismenetelmiin, jossa pintakerroksen käsittely pyrkii venyttämään ainetta. Materiaalissa syvemmällä olevat, muokkaantumattomat kerrokset estävät pintakerroksen leviämisen, joten pintaan jää puristusjännitys. Hitsausvetojännityksen muuttaminen puristukseksi on edullista väsymisen ja jännityskorroosion ehkäisemiseksi.

Eräs melko paljon käytetty hitsauksen jälkikäsittely on myöstö. Myöstöä käytetään haurastumisvaaran vähentämiseksi ja koneistettavien kappaleiden mittatarkkuuden säilyttämiseksi. Myöstöä ei kuitenkaan voida käyttää liitoksessa, jossa perusaineilla tai perusaineella ja lisäaineella on erilaiset lämpölaajenemiskertoimet. [12]

5 Nykytilanteen kartoitus

5.1 Nykyinen malli energiapuuharvesteri EV28

Harvesteri on rakenteeltaan ja toimintaperiaatteeltaan pidetty hyvin yksinkertaisena. Tällä ajattelulla on tavoiteltu mahdollisimman edullista ja helposti käytettävää tuotetta, jota osaa käsitellä myös sellaiset käyttäjät, jotka eivät käytä päivittäin metsätyökoneita tai jotka eivät välttämättä käytä tuotetta pääasiallisena tulonhankkimisvälineenä. Kuvauksen mukaiset käyttäjät voivat olla esimerkiksi maatalousyrittäjiä, jotka harjoittavat sivutulona metsätaloutta. Harvesteri sopii hyvin käytettäväksi kaivinkoneessa, sillä tuotteeseen ei kuulu arvokkaita elektroniisia mittalaitteita eikä muutakaan elektroniikkaa, jota metsäkoneiden harvestereissa runsaasti käytetään. Traktorin kuormaajalla käytettäväksi tuote ei suuren massansa takia sovellu. Harvesterissa ei ole ominaisuutena rungon syöttöä, jolla puiden karsinta on usein toteutettu. Tässä tuotteessa karsintaominaisuus olisi turha, sillä energiapuuta ei välttämättä tarvitse karsia – energiapuu jalostetaan hyvin usein hakkeeksi tai polttopuuksi.



Kuva 3. EV28 harvesteri käytössä. Kuvassa tuotekehittävä energiapuuharvesteri on kiinnitettyä kaivinkoneen puomiin. Kuva: Pentin Paja Oy.

Harvesterissa on kolme eri toimintoa: leukojen sulkeminen, leukojen avaus ja keräysastian salpojen avaus. Kaikki toiminnot ovat toteutettu kahdella hydraulikkaliitännällä, eli harvesteria voidaan ohjata $\frac{3}{4}$ -venttiilillä. Harvesteri toimii siten, että

harvesterin leuat viedään katkaistavan puun lähelle. Kun leukoja suljetaan, leuat painavat puuta giljotiiniterää vasten katkaisten sen. Kun puu on poikki, leuat painavat puun jousikuormitteista keräystaskun takaseinänä toimivaa levyä vasten ohi vapaasti sisään päästävien salpojen. Kun puun runko on ohittanut jousilla ohjatut salvat, painuvat salvat takaisin sisäänpäin estäen puunrungon tippumisen keräystaskusta. Jousikuormitteinen takaseinä työntää runkoja koko ajan salpoja vasten estäen runkoja heilumasta vapaasti taskussa.

Kun katkaistu runko on keräystaskussa, voidaan katkaisukäpälät avata taas auki-asentoon. Käpälien avauduttua käyttäjä ohjaa harvesterin taas seuraavan katkaistavan puun lähelle ja käpäliä käyttämällä puu leikkautuu terää vasten painuen edellisen tapaan keräystaskuun. Taskun takaseinä siirtyy taemmas, jotta uusi runko mahtuu taskuun. Käyttäjä voi kerätä siis taskuun useamman rungon ilman, että hänen täytyy asetella katkaistut puut yksi kerrallaan pinoon. Kuvassa 4 taskussa on kolme käsiteltyä runkoa.

Kun käyttäjä haluaa tyhjentää taskun, kääntää hän harvesterin siten, että katkaistut rungot ovat suunnilleen samansuuntaisia maanpinnan kanssa, ja pitää tassujen avausventtiiliä auki. Salvat avautuvat sekvenssiventtiilillä ohjatun sylinterin avustuksella, kun paine tassujen avauspuolen järjestelmässä on kasvanut riittävän suureksi. Jousikuormitettu taustalevy tyhjentää tehokkaasti keräystaskun. Taskun tyhjennettyä käyttäjä voi kääntää harvesterin takaisin niin sanottuun perusasentoon ja katkaista seuraavan rungon.



Kuva 4. EV28-harvesteri edestä katsottuna. Harvesterin keräystaskussa on kolme runkoa, ja kuljettaja voi halutessaan kaataa lisää puita ennen taskun tyhjentämistä. Kuva: Pentin Paja Oy.

Tämänhetkinen malli on valmistettu melko pitkälle vanhan, ulkopuolisen keksijän rakentaman prototyypin pohjalta. Prototyyppi oli rakennettu kourassa olevan keräilyominaisuuden patentin testaamiseksi. Pentin Paja osti patentin, ja sai myös aiemmin valmistetun protoharvesterin haltuunsa. Tuotteeseen on kuitenkin tehty joitain päivityksiä ja muutoksia, mutta esimerkiksi minkäänlaista lujuuslaskentaa kouralle ei ole missään vaiheessa tehty. Lisäksi kouran hitsausaumoja ei ole lainkaan mitoitettu. Toisaalta kaivinkoneessa käytettävän kouran kuormituksia on haastavaa arvioida kuljettajien laajan käyttökirjon takia. Juuri kaivinkonekäytön takia ei ole nähty tarpeelliseksi optimoida rakenteita lujuuden suhteen, vaan on käytetty reiluja materiaalipaksuuksia. 13 tonnin painoinen kaivinkone, jolle koura on suunniteltu, jaksaa hyvin käsitellä hieman alle 1000 kg painoista kouraa. Kouran ylimääräinen massa aiheuttaa kuitenkin ylimääräisiä polttoainekustannuksia loppukäyttäjälle ja rasittaa koneen puomistoa turhaan. Tuotannossa ylimääräinen massa nostaa valmistuskustannuksia niin komponenttien hintojen kuin myös jokaisen työvaiheen osalta.

5.2 Harvesterin eri versiot

Pentin Pajalla on tarjolla kaksi eri variaatiota kourasta. Yleisempi ja mainostempimpi malli on niin sanotusti pitkällä hännällä varustettu koura, jossa on vakiovarusteena NTP 10 – pikakiinnitysjärjestelmä. NTP 10 – pikakiinnitysjärjestelmä on pohjoismaissa yleisesti käytössä, mutta muualla Euroopassa järjestelmä on vähemmän tunnettu. Tämän takia yritys on valmistanut myös vientiin sopivan mallin, jossa pikakiinnitysjärjestelmä on jätetty pois ja kiinnityspinta on käännetty hieman kulmaan vaakatasoon nähden paremman käsiteltävyyden saavuttamiseksi. Kuvassa 5 on rinnakkain pikakiinnittimellä varustettu malli ja Euroopan markkinoille tarkoitettu malli. Pikakiinnikkeellä varustetun mallin tunnistaa pitkästä ”hännästä”.



Kuva 5. Vasemmalla on NTP 10 - kiinnittimellä varustettu malli, oikealla mallinnettu lyhempi runko. Lähde: Pentin Paja Oy

5.3 Nykyisen rakenteen kustannukset

Tuotekehittävässä kourassa on melko paljon erilaisia osia, pelkästään levyosia on lähes sata ja erilaisia nimikkeitä levyosilla on 49. Runsaista levyosien lukumäärästä seuraa luonnollisesti monia hitsausaumoja. Kuten teoriaosuudessa on mainittu, lujuusopin kannalta tulisi välttää hitsausaumoja ja ylimääräisen lämpöenergian tuontia materiaaleihin parhaan mahdollisen väsymiskestävyyden saavuttamiseksi. Useiden hitsausaumojen myötä myös hitsauksen osuus nousee kokonaiskustannuksista merkittävästi. Kuviossa 3 on esitettyä alkuperäisen tuotteen valmistuskustannukset.



Kuvio 3. Alkuperäisen tuotteen kustannukset jaettuna eri osiin.

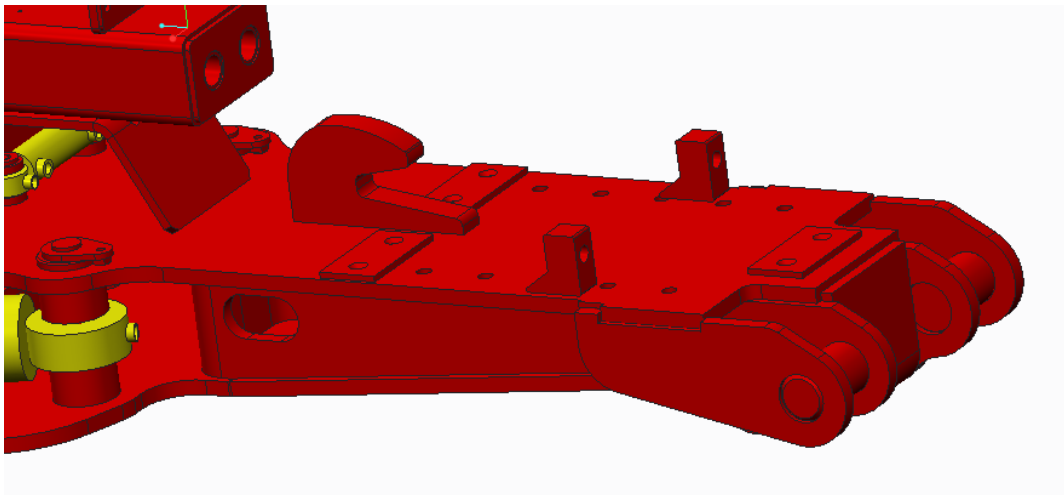
Kuten kuvio 3 voidaan lukea, hitsauksen osuus on kaikista valmistuskustannuksista ylivoimaisesti suurin, hieman yli kolmannes. Toiseksi suurin menoerä on teräslevyosien osto. Levyt tulevat yritykselle valmiiksi leikattuina ja taivutettuina, jolloin niistä ei enää tule lisäkustannuksia muissa työvaiheissa.

Kuvion 3 perusteella kannattaa siis keskittyä alentamaan kustannuksia hitsauksen ja teräslevyjen osalta, sillä nämä kaksi ovat suurimmat kustannukset. Hitsauskuluja voi vähentää suunnittelemalla rakenne mahdollisimman pienellä tarvittavien hitsausseamojen lukumäärällä ja suunnittelemalla hitsattavat saumat mahdollisimman edullisiksi hitsaajan kannalta. Toisin sanoen suunnittelijan tulee välttää hankalia, kotelomaisia rakenteita ja hankalia asentoja. Teräslevyjen osuutta voi pienentää suunnittelemalla rakenne mahdollisimman pienellä osien lukumäärällä ja pelkistämällä osat mahdollisimman yksinkertaisiksi polttoleikkauksen ja taivutuksen kannalta. Tässä työssä on keskitytty erityisesti hitsattavuuden parantamiseen ja hitsaustyön vähentämiseen.

6 Tuotekehitysideat

6.1 Myytävien versioiden vähentäminen

Tuotteesta on tarjolla kahta eri mallia. Tuotekehitysideoita pohdittaessa on ajateltu kahden eri variaation tarpeellisuutta ja eri mallien valmistettavuutta. Pika-kiinnittimellä varustetun mallin hyviä puolia on valmiiksi rakenteessa oleva pika-kiinnike. Eurooppalaisia asiakkaita ajatellen pikakiinnike on kuitenkin täysin turha ominaisuus eikä se tuo ostajille mitään lisäarvoa. Kokoonpanon kannalta pika-kiinnittimellä varustettu malli on huomattavasti haasteellisempi, sillä kyseisen mallin pohjalevy on huomattavan pitkä (noin 1,8 m) ja raskas (noin 126 kg), jolloin se on erittäin haastava ja jopa jossain määrin vaarallinen käsitellä ilman kunnollisia nostimia ja kiinnittimiä. Kuvassa 6 on pikakiinnittimellä varustetun 3D-kuva. Kuvasta voidaan nähdä, että kiinnitin on melko pitkä ja komponentit suuria. Tuotannon ongelma on, ettei pikakiinnittimellä varustetun mallin pohjalevyä saada kunnolla kiinnittimeen kiinni sen suuren kokonsa takia.

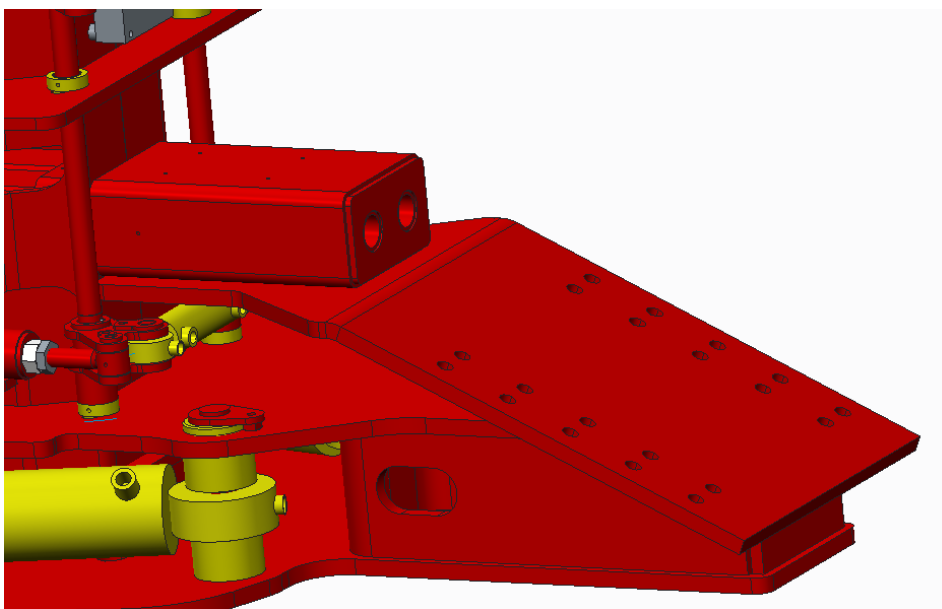


Kuva 6. NTP 10 - pikakiinnittimellä varustettu malli.

Eurooppalaisille markkinoille tarkoitetun mallin etuna on pienempi koko, sopivuus sekä pohjoismaiden että muun Euroopan markkinoille sellaisenaan, pienempi osalukumäärä sekä osien parempi käsiteltävyys kokoonpanossa. Pika-kiinnik-

keen puuttuminen ei estä myyntiä pohjoismaihin, sillä erilaisia pultattavia pikakiinnittimiä on markkinoilla runsaasti. Jos toimeksiantaja kuitenkin näkee pikakiinnikkeen tarpeelliseksi, yritys voisi suunnitella ja ottaa oman NTP 10 – kiinnittimen tuotteistoonsa ja myydä kiinnikkeen kouran mukana valmiiksi asennettuna mikäli asiakas sen tahtoo. Kiinnitintä voisi myydä myös omana tuotteenaan. Tämän mallin etuna ovat myös sen paremmat liikeradat maassa pitkällään olevia runkoja ajatellen, sillä vino kiinnityspinta sallii suuremman kulman vaakatason alapuolelle.

Vertailun vuoksi mainittakoon, että pienemmän mallin pohjalevy on noin 1,5 m pitkä ja painaa noin 113 kg. Pohjalevy on edelleen varsin raskas, mutta pienemmän kokonsa vuoksi yrityksen tuotannossa olevia kiinnittimiä pystytään hyödyntämään paremmin. Kuvassa 7 on kuvankaappaus vinolla kiinnityspinnalla varustetusta mallista. Kuvasta nähdään, että tämä malli on huomattavasti lyhempi ja käytettävät komponentit ovat pienempiä.

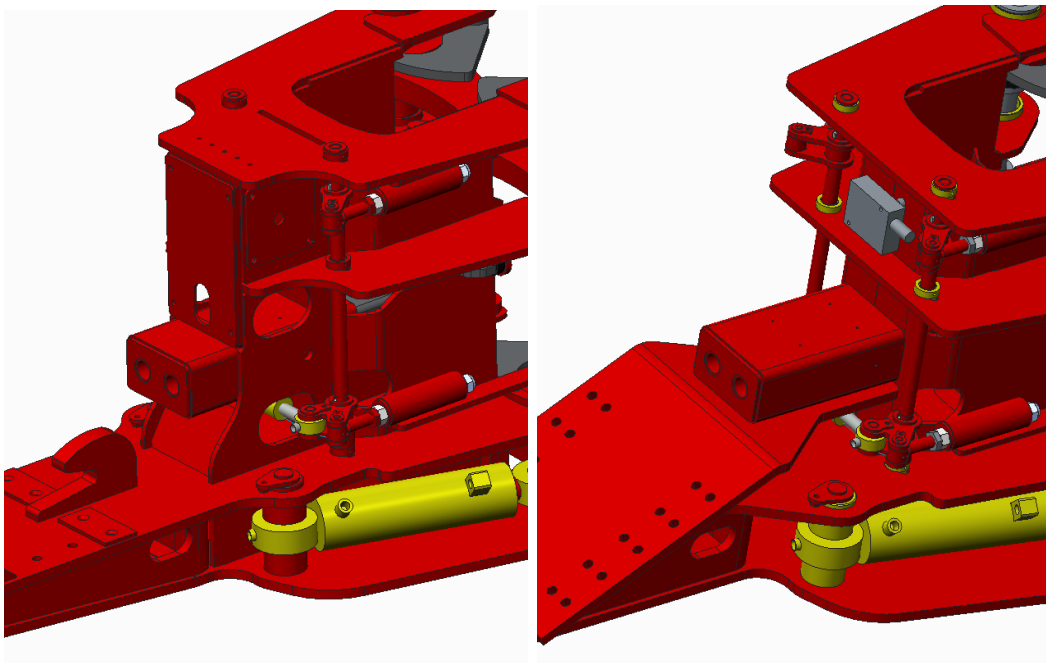


Kuva 7. Vinolla kiinnityspinnalla valmistettu malli.

Pohdintojen perusteella on järkevää siirtyä vain yhteen harvesterimalliin, joka voidaan myydä sellaisenaan mihin tahansa maahan. Lisäksi se on helpompi ja turvallisempi valmistaa, ja joka on luultavasti myös edullisempi pienemmän massan ja vähempien työvaiheiden johdosta.

6.2 Kotelomaiset rakenteet

Koska tuotteen alkuperäisessä rakenteessa oli hitsauksen kannalta paljon hankalia kotelomaisia rakenteita, tuotekehitystyö aloitettiin yksinkertaisesti poistamalla 3D-mallista lujuuden ja toiminnollisuuden kannalta tarpeettomiksi arvioituja osia. Kuvasta 8 näkee hyvin, kuinka harvesterin takaosasta on poistettu paljon kotelomaisia rakenteita. Jotkin tuotteen muodoista vaikuttivat myös tuotteelle lisäarvoa tuottamattomilta, joten ne päätettiin poistaa päivitetystä versiosta. Myös nämä muutokset voi nähdä kuvasta 8. Selkeimpänä erona voi huomata päällimmäisen levyn muodonmuutoksen sen takaosasta. Muotoja muuttamalla ja osia poistamalla pyrittiin myös vähentämään eri työvaiheiden määrää kokoonpanovaiheessa. Hitsattavien saumojen lukumäärän alennettua rakenteisiin tuotava hitsausenergia pienenee ja näin ollen myös muodonmuutokset tuotteessa jäävät pienemmiksi. Suurille lämpötilavaihteluille altistuneiden alueiden vähennettyä harvesterin väsymislujuuksien pitäisi myös kasvaa.

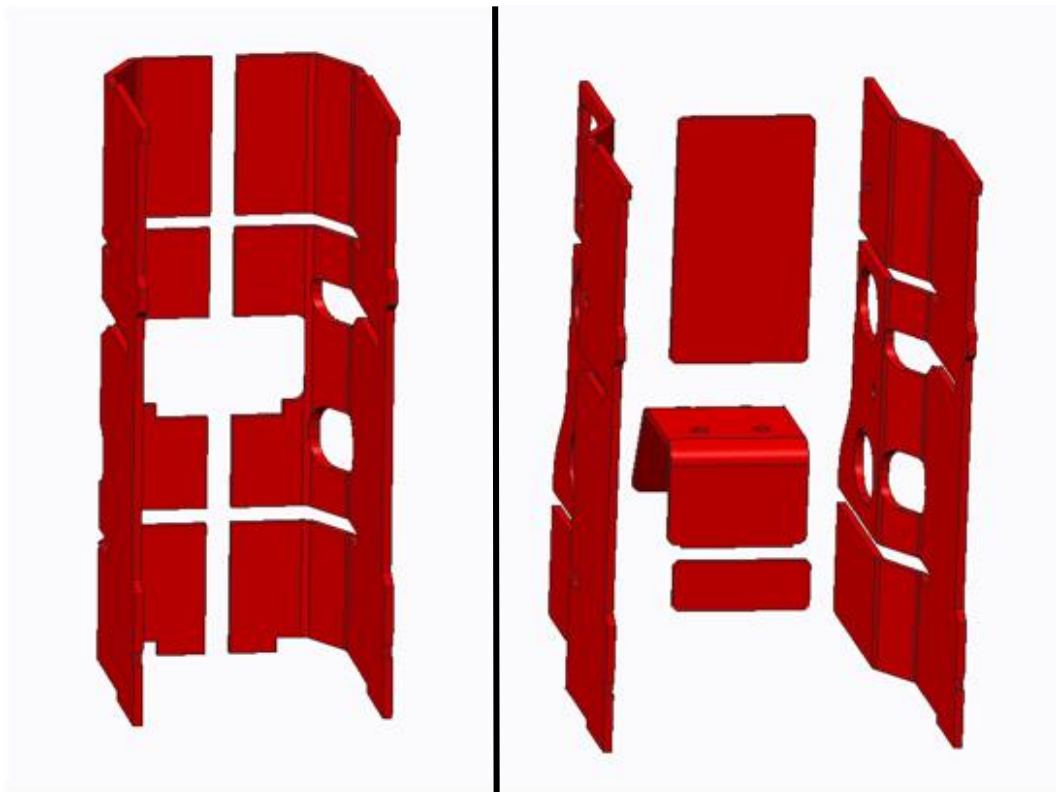


Kuva 8. 3D-mallit harvesterista. Vasemmalla on alkuperäinen malli, oikealla tuotekehityksen tulos. Kuvista voi hyvin nähdä, kuinka kotelomaiset rakenteet ovat vähentyneet.

Kuvasta 8 voi nähdä myös, kuinka kiinnityspintana toimiva levy on jatkettu pystyrunkoon asti. Aiemmin kiinnityslevy vinossa mallissa päättyi jousikotelon takapään alle.

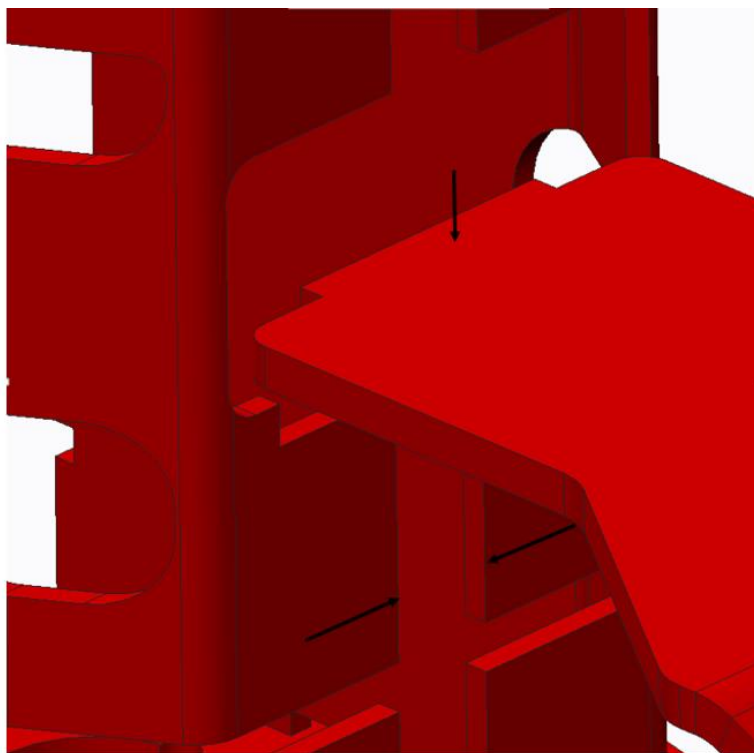
6.3 Osien lukumäärän pienentäminen ja paikoituksen parantaminen

Teräslevyjien osuuden ollessa tuotteen kokonaiskustannuksista noin kolmanneksen työssä otettiin osien vähentäminen yhdeksi tavoitteeksi suunnitellessa muutoksia tuotteeseen. Osien vähentämisen myötä muutamat komponenteista ovat muodoltaan hieman monimutkaisempia, mutta kuitenkin varsin helposti valmistettavissa. Yksi merkittävimmistä muutoksista valmiissa tuotteessa on pystyrungon muuttaminen viisiosaisesta kaksiosaiseksi. Kolmen osan jäätyä pois pystyrungosta hitsauksen määrä väheni huomattavasti alkuperäiseen pystyrunkoon verrattuna. Nyt rakenne on myös joustavampi ja kestää paremmin väsyttäviä kuormituksia.



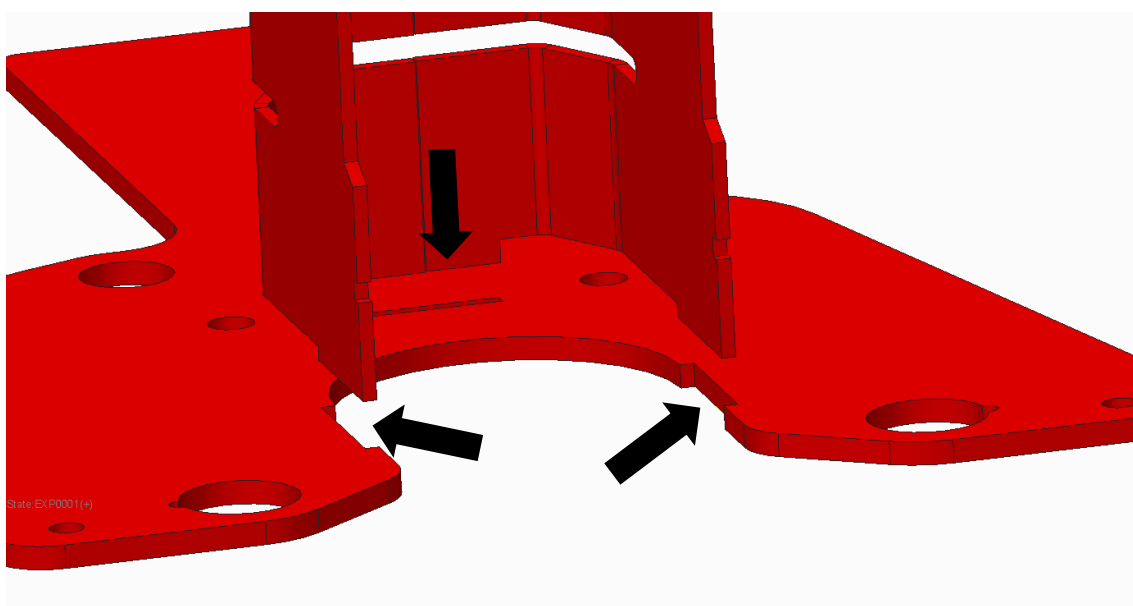
Kuva 9. Pystyrungon muutokset. Vasemmalla on päivitetty kahden komponentin versio. Oikealla vanha design, joka koostuu viidestä komponentista.

Hitsauksen parantamiseksi työssä on pyritty tekemään tuotteeseen ja osiin muotoja, joiden avulla osien paikoittaminen hitsausvaiheessa helpottuisi DFWA –periaatetta noudattaen. Tuotteen osiin on pyritty suunnittelemaan muotoja, joiden avulla osat pystyttäisiin liittämään toisiinsa siten, ettei niitä voi asentaa väärään kohtaan tai ettei hitsaajan tarvitse mitata paikoittaakseen komponentteja. Alkuperäisenä ideana oli käyttää polttoleikkausvälineillä tehtäviä visuaalisia paikoitusmuotoja kuten levyjen pintaan tehtyjä matalia uria sekä lovia ja muita sellaisia muotoja, joita voitaisiin käyttää apuna paikoituksessa. Lopulta yhtään tällaista muotoa ei suunniteltu, sillä osiin pystyttiin suunnittelemaan sellaisia muotoja, joiden avulla komponentit pystytään fyysisesti paikoittamaan ilman mittaamista ja sovittamista. Tällaisia ovat esimerkiksi osaan tehdyt lovet, joihin toiset komponentit voidaan asetella. Esimerkki tällaisesta lovesta on kuvassa 10. Kuvassa on esillä harvesterin pystyrunko, johon on tehty upotukset vaakatasossa näkyvälle levymäiselle osalle. Vaakatasossa olevan osan yläpuolella oleva neliskulmainen reikä on tarkoitettu keräystaskun pohjaa työntävien jousien kotelolle.



Kuva 10. Paikoittamista helpottavia lovia. Pystyrungossa olevassa nelikulmion muotoisen reiän alalaidassa on upotukset vaakatasossa olevalle levyosalle paikoituksen helpottamiseksi.

Kuvassa 10 näkyvän kaltainen kolous on tehty myös pohjalevyyn helpottamaan pystyrungon paikoitusta. Pystyrunkoon on mallinnettu tätä varten pienet ulokkeet, jotka upotetaan pohjalevyn reikiin. Näin ollen pystyrungon osat saadaan paikoitettua kahdesta kohdasta, sillä jo alkuperäisessä mallissa oli pohjalevy muotoiltu niin, että se paikoitti pystyrungon osat etulaidoistaan. Kuvassa 11 on näkyvillä pohjalevy ja pystyrungon levyt. Kuvassa olevat nuolet osoittavat, mistä kohdista pystyrunko patikoituu pohjalevyyn nähden. Kuvassa alempana olevat paikoitusmuoto oli valmiina oleva, taempi kolous on ideoitu tässä työssä uudistetun pystyrungon rakenteen myötä.



Kuva 11. Pystyrungon paikoitus. Kuvassa on nuolilla merkity kohdat, joista pystyrungon osat paikoittuvat alarunkoon nähden.

7 Tuotekehitysideoiden arviointi

7.1 Taloudelliset säästöt

Työn päätavoitteena oli saada pienennettyä valmistuskustannuksia tuotekehityksen avulla. Koska levyosat ja hitsaus veivät molemmat noin kolmanneksen koko tuotteen kustannuksista, otettiin nämä kohdat säästökuurin kohteeksi. Levyosien kustannuksia pyrittiin alentamaan osien lukumäärää vähentämällä. Harvesterista saatiin vähennettyä yhteensä 11 nimikettä, joka tarkoittaa valmiissa tuotteessa 15 osaa, sillä joitakin nimikkeitä on harvesterissa useampi kuin yksi. Lisäksi mallissa, jossa ei ole pikakiinnitintä, on yksi nimike jota ei niin sanotussa pitkähäntäisessä pikakiinnikemallissa ole. Muokattuja nimikkeitä on yhteensä kuusi, joita kutakin tulee valmiiseen kokoonpanoon yksi kappale.

Levyosia muokkaamalla saavutetut säästöt on laskettu osien painon avulla. Alkuperäisen osan paino selvitettiin 3D – mallista asettamalla osalle materiaalin tiheydet, jonka avulla cad – ohjelma osaa laskea massan kappaleen tilavuuden avulla. Kun osan hinta jaettiin sen massalla, saadaan hinta painoyksikköä kohti. Uudelleen suunnitellun osan massan pystyi samalla tavalla selvittämään cad – ohjelman kautta. Kertomalla massa hinnalla painoyksikköä kohden saadaan arvio uuden osan hinnasta. Koska osien piirteet pysyivät melko samanlaisina, voidaan tällaista laskentatapaa pitää hyvin luotettavana. Alla on esitettyä laskentatapa kaavan muodossa:

$$\frac{\text{alkpu. hinta}}{m_1} * m_2 = \text{Uuden hinta}$$

jossa m_1 = alkuperäinen massa ja
 m_2 = uusi massa.

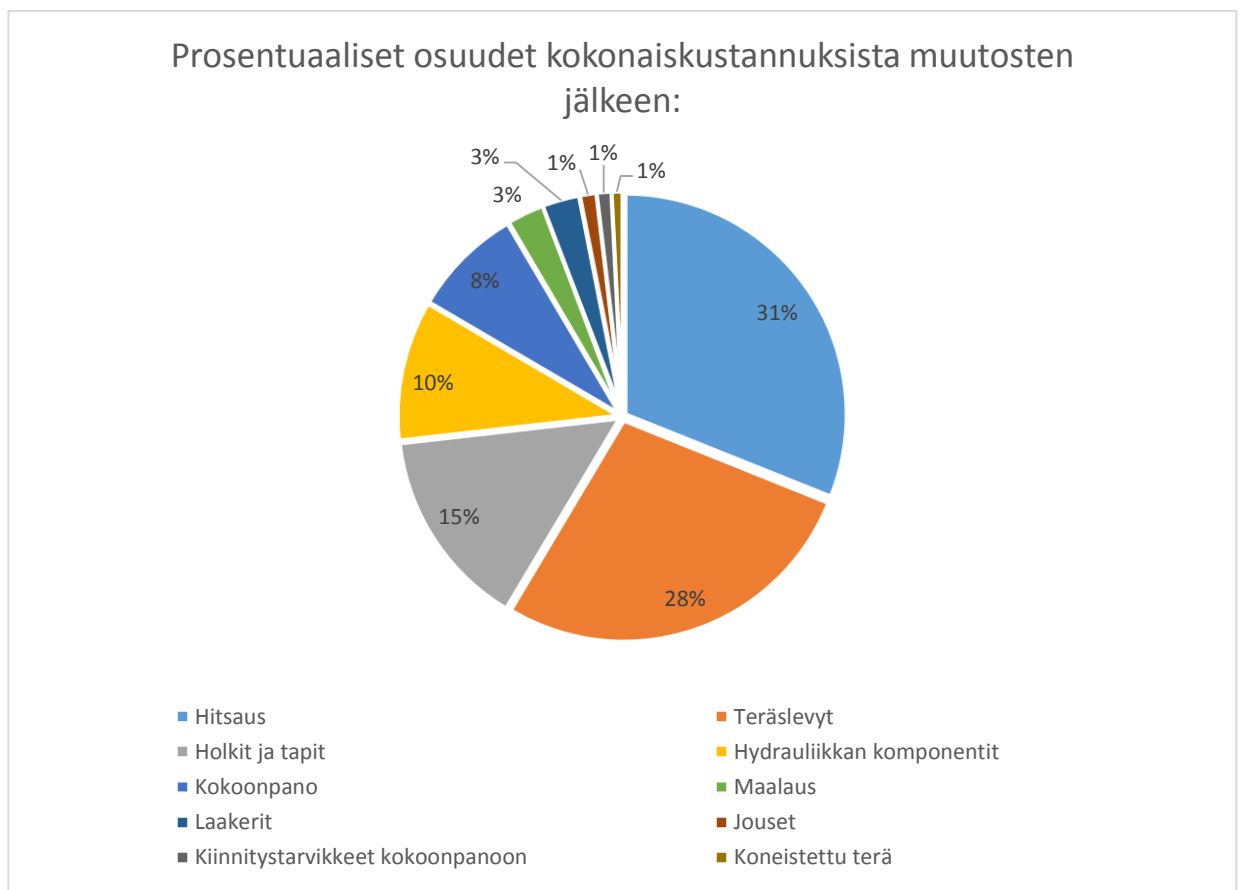
Päivittämällä osien muotoja ja poistamalla turhia osia saatiin edellistä laskutapaa käyttämällä päivitetyn version levyosien hinnaksi 92 prosenttia nykyisen mallin

levyosiin verrattuna. Vertailukohteena on käytetty NTP – 10 pikakiinnittimellä varustettua mallia, sillä tuotantokustannukset ja osien hinnat oli laskettu käyttämällä kyseistä mallia. Merkittävimpiä säästöjä syntyi giljotiinin ylälevystä, jonka uusi hinta muokkauksen jälkeen on arvion mukaan noin 64 prosenttia vanhasta. Säästöä syntyi, koska uusi levy on edellistä huomattavasti lyhempi. Uudessa mallissa on kuitenkin nimike, jota vanhemmasta ei löydy. Tämä nimike syö melko paljon osia poistamalla saavutettuja säästöjä.

Osien lukumäärän vähentämisen myötä myös hitsauksen määrä putoaa merkittävästi. Lähtötilanteessa hitsaus oli merkittävin kuluerä tuotteen valmistuksessa 34 % osuudella kokonaiskustannuksista. Hitsauksen arvo on laskettu hitsausaumometriä kohden mittaamalla 3D – mallista kaikki hitsattavat saumat metreinä. Tämän jälkeen nykyisin käytetty tuntimäärä on jaettu saadulla hitsausaumojen summalla. Näin laskemalla on saatu selville suhdeluku, joka kertoo kuinka monta tuntia hitsausometriä kohden on käytetty. Koska hitsauksen tunti-hinta on tiedossa, pystyttiin myös päivitetyn mallin hitsauksen kulut arvioimaan hitsattavien saumojen pituuden avulla. Hitsauksen arviointi on tässä tapauksessa hieman epätarkkaa, sillä esitetty malli ei lainkaan huomioi uusien piirteiden tuomaa etua osien paikoituksen kannalta, vaan hitsauksen arvo perustuu nyt pelkästään aiemmassa mallista saatuun hitsauksen nopeuteen. Merkittävä puute lähtötiedoissa oli hitsauskuvien puuttuminen. Saumojen summaa laskiessa ei voinut olla varma, minkälaiset saumat missäkin kohdassa on. Työssä kuitenkin oletettiin, että kaikki sellaiset kohdat, jotka pystytään hitsaamaan ympäri ja molemmilta puolilta, myös hitsattiin. Saatu hinta on kuitenkin vertailukelpoinen nykyiseen hintaan, sillä ennallaan pysyneet hitsausaumamat ovat mitattu molemmista malleista samalla tavalla ja niiden summat olivat mittausten jälkeen yhtä suuret.

Osia poistamalla ja suunnittelemalla osien piirteitä uudelleen päivitetyn harvesterin hitsaustyö maksaa arvion mukaan 77 prosenttia lähtötilanteeseen arvosta. On kuitenkin huomattava, että päivitetyn mallin hitsaus on todellisuudessa luultavasti vielä edullisempaa, sillä käytetyssä laskutavassa ei voida huomioida päivitettyjen piirteiden tuomaa helpotusta komponenttien paikoitusten suhteen ilman erillistä kerrointa.

Kokonaisuudessaan päivitetty harvesteri maksaa arviolta 85 prosenttia nykyiseen konstruktion verrattuna. Esitetty arvio on melko maltillinen ja saavutetut säästöt voivat todellisuudessa olla vielä suuremmat. Kuviossa 4 on esitettyä jokaisen kustannusluokan osuudet kokonaisvalmistuskustannuksista päivitysten jälkeen. Kuvioista huomataan, että hitsaus ja teräslevyt ovat edelleen suurin menoerä, mutta niiden molempien osuudet ovat tippuneet kolme prosenttiyksikköä.



Kuvio 4. Harvesterin arvioidut kokonaiskustannukset eriteltynä muutosten jälkeen. Hitsaus ja teräslevyt ovat edelleen suurimmat osuudet kokonaisuudesta, mutta molemmat pienenevät kolme prosenttiyksikköä.

Tuotekehityksen yhtenä tavoitteena oli, että tuotteen lujuusopilliset ja toiminnalliset ominaisuudet säilyvät ennallaan. Tämän tavoite saavutettiin, sillä energiapuuharvesterin toimintoihin vaikuttaviin osiin ei tehty lainkaan muutoksia. Rakenteiden materiaalivahvuudet säilytettiin ennallaan, jolloin päivitetyn mallin pitäisi olla vähintään yhtä kestävä kuin edeltäjänsä. Hitsaussaumojen vähentymisen myötä, voidaan itse asiassa väittää harvesterin väsymiskestävyyden jopa parantuneen. Tälle väittämälle ei kuitenkaan ole mitään mittauksellista eikä laskennallista perustetta, sillä tuotteen lujuusopillinen tarkastelu rajattiin tuotteen ulkopuolelle. Viitteissä 1 – 3 on rinnakkain esiteltynä vanha ja päivitetty versio.

8 Pohdinta

8.1 Yhteenveto

Työn toimeksiantona oli ideoida tuotekehitysideoita, joilla toimeksiantoyrityksen valmistaman energiapuuharvesterin tuotantokustannuksia saataisiin alennettua. Toimeksiantajan haaveena oli saavuttaa 50 prosentin säästöt, mutta tavoitetta alennettiin 25 prosenttiin, sillä työn valmistuskustannusten puolittamista ei pidetty realistisena tavoitteena yhdessä opinnäytetyössä. Työn tarkoituksena ei ollut laatia valmistusdokumentteja eikä mitoittaa tuotetta lujuusopillisten vaatimusten mukaan. Tavoitteena oli kuitenkin, että tuotteen lujuusopilliset ja toiminnalliset ominaisuudet säilyvät ennallaan. Opinnäytetyö täyttää sille asetetut vaatimukset, mutta suunniteltuun säästötavoitteeseen ei työssä esitettyjen laskujen perusteella päästy. Maltillisesti arvioituna työssä esitettyjen tuotekehitysideoiden avulla saavutettiin 15 prosentin säästö. Säästöt toteutuivat muokkaamalla osien muotoja ja vähentämällä osien lukumäärää. Osia muokkaamalla ja niiden lukumäärää pienentämällä myös hitsauskustannukset alenivat huomattavasti.

Työtä voidaan pitää onnistuneena, vaikkei tavoitettua 25 prosentin säästöä saavutettukaan. Tuotetta valmistavan yrityksen kannattaa ehdottomasti ottaa esitetyt ideat käyttöön ainakin sovellettuina. Esitetyt ideat vaikuttavat melko pieniltä, mutta niiden yhteisvaikutukset tuotteen loppuhintaan ovat merkittäviä. Pienet muutokset ovat helpompia tuoda käytäntöön kuin suuret muutokset. Kun esitetyt tuotekehitysideat on viety läpi, voi yritys jatkaa tuotekehitystä esimerkiksi materiaalipaksuusien tarkastelulla. Tuotekehitys ei arvion mukaan huonontanut tuotteen lujuutta, vaan jopa parantaa sitä.

Koteloiden vähentämisen myötä tuotteen hydraulikka on hieman enemmän esillä, ja näin ollen esimerkiksi hydraulikkaletkut saattavat käytössä vaurioitua juuttuessaan kiinni ympäröiviin puihin ja oksiin. Toisaalta mitoittamalla letkut sopiviksi, voidaan letkuvaurioiden riskiä alentaa. Myös harvesterin hydraulikkaventtiili on aiempaa enemmän esillä. Tämä lisää venttiilin rikkoutumisriskiä jonkin ulkoisen tekijän vaikutuksesta, mutta toisaalta myös helpottaa huoltoa ja venttiilin

säätöä. Venttiili jää kuitenkin melko hyvin suojaan rungon taakse, joten kovin suurta riskiä rikkoutumiselle ei ole.

Työn toteutus sujui suunnitellussa järjestyksessä, mutta aikataulussa pysyminen tuotti ongelmia ja työ saatiin valmiiksi tavoiteltua myöhemmin. Haastavin vaihe oli lähteiden etsiminen teoriaosaan ja kerätyn materiaalin läpikäyminen. Ideointi ja suunnittelu sujuivat helposti ja melko nopeasti.

8.2 Jatkoimenpiteet

Opinnäytetyön edetessä tuotteessa ja sen puutteista nousi esiin joitakin jalostamisen arvoisia ajatuksia. Tässä työssä niitä ei kuitenkaan ole käsitelty. Ensimmäinen huomio on hitsauskuvien puuttuminen. Koska nykyisestä tuotteesta ei ole valmistettu hitsauspiirustuksia eikä saumoja ole mitoitettu, hitsataan tuotetta tarpeettoman suurilla saumanpaksuuksilla. Tarpeettoman suuret saumavahvuudet lisäävät hitsauskustannuksia merkittävästi. Lisäksi ylimitoitettut saumat lisäävät materiaaliin tuotua lämpöenergiaa, joka taas huonontaa tuotteen väsymiskestävyyttä. Kaiken lisäksi yrityksellä ei ole mitään varmuutta siitä, minkälaisia kuormia harvesteri kestää. Siksi harvesterin hitsaussaumojen mitoittaminen ja hitsauspiirustusten teko on ensiarvoisen tärkeä jatkotoimenpide.

Toinen jatkotoimenpide voisi olla materiaalivahvuuksien tarkastelu. Tämänhetkessä mallissa käytetään melko suuria materiaalipaksuuksia. Tuotteen valmistuskustannukset luultavasti putoaisivat merkittävästi, jos tuotteessa käytettävät materiaalit mitoitettaisiin.

8.3 Ammatillinen kasvu

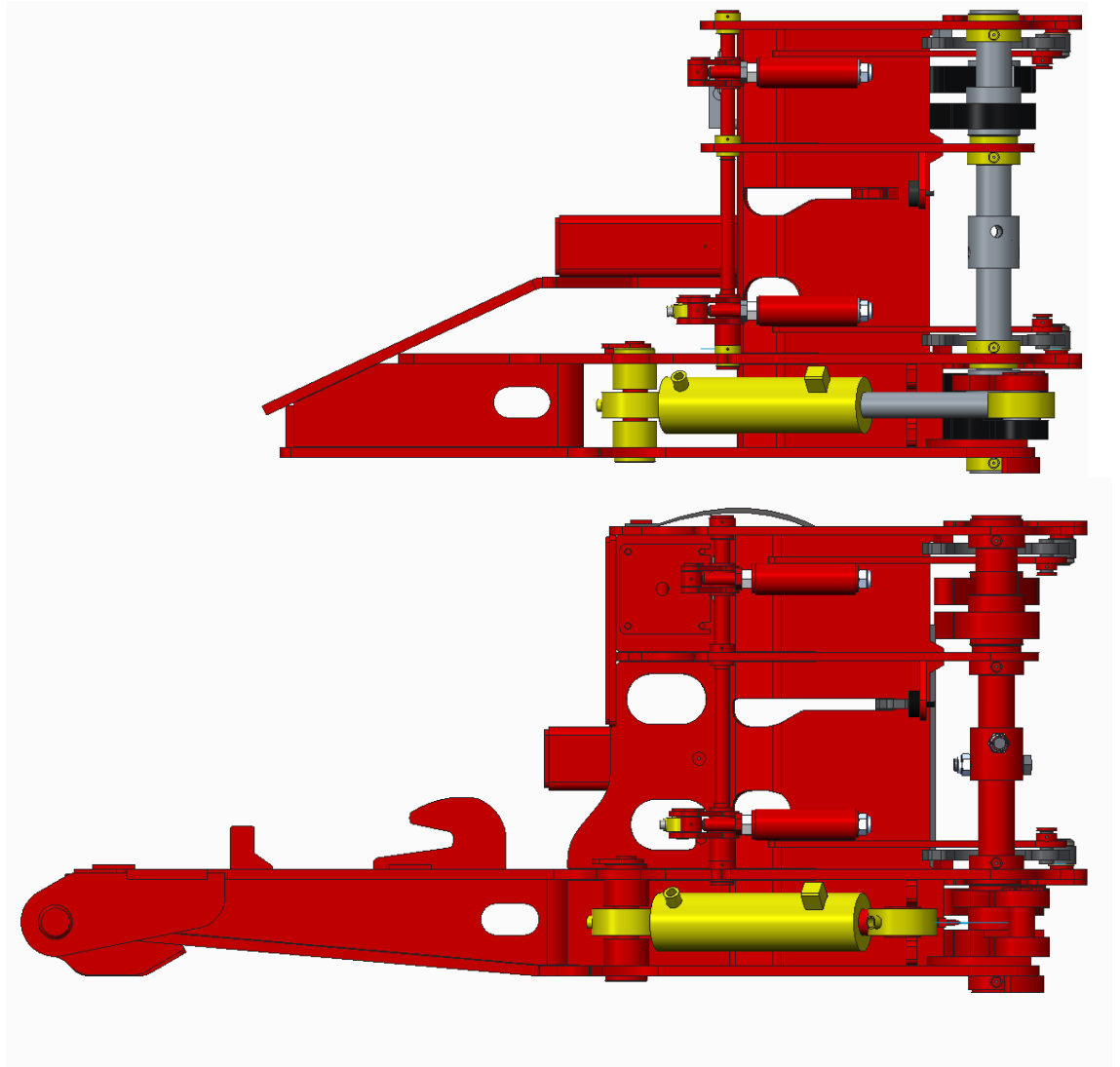
Opinnäytetyön aiheena tuotekehitystyö oli opettavainen. Teoriatietoa kerätessä sain runsaasti uutta tietoa tuotekehityksen teoriasta ja osaan työn jälkeen paremmin huomioida hitsauksen suunnitellessa tuotteita. Uskon osaavani nyt parem-

min ottaa huomioon tuotekehityksessä yleisesti esiintyneet ongelmat. Työ oli mielekäs ja riittävän haastava. Työhön olen tyytyväinen ja pidän sitä onnistuneena. Laskennalliset säästöt yllättivät minut, sillä en uskonut saavuttavani noin merkittäviä säästöjä keskittymällä pelkästään hitsaukseen ja levyosiin. Työssä oli toimeksiantajan puolesta melko vapaat kädet toimia, mutta sain kuitenkin riittävästi ohjeistusta ja tukea toimeksiantajayritykseltä. Ohjeistus oppilaitoksen puolesta oli myös riittävää ja asiantuntevaa.

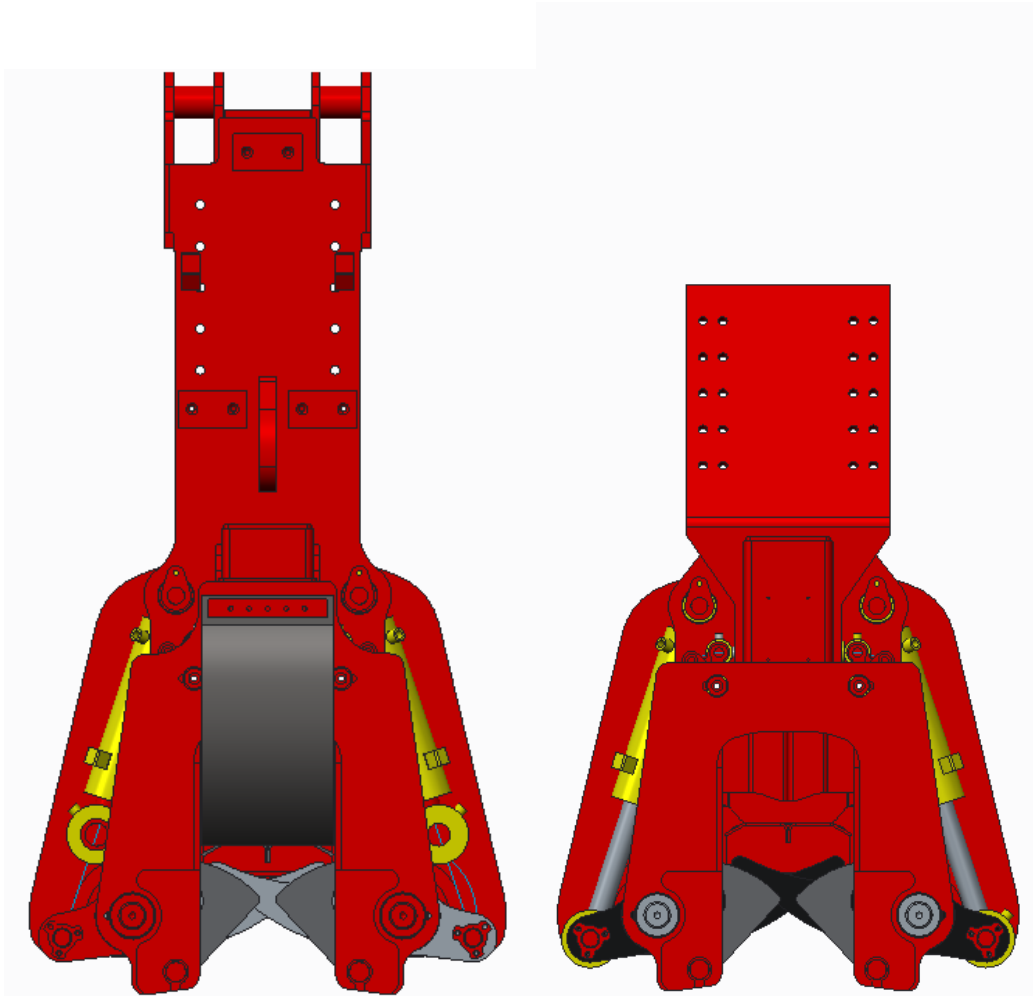
Lähteet

1. Pentin Paja Oy. Yritys. 2015. Saatavissa:
<http://www.pentinpaja.fi/fi/yritys/> Hakupäivä: 10.1.2015.
2. Suomen metsäkeskus. Energiapuu. 2014. Saatavissa:
<http://www.metsakeskus.fi/energiapuu#.VNBrR8k-k9z>. Hakupäivä:
2.1.2015.
3. Motiva Oy. Energiaa metsästä. 2014. Saatavissa:
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/energiaa_metsasta. Hakupäivä: 12.1.2015.
4. Ulrich, K, Eppinger, S. Product design and development. Irwin McGraw-Hill. Boston. 2000.
5. Jokinen, Tapani. Tuotekehitys. Otatieto. Helsinki. 2001
6. Wikipedia. Tuotekehitys. 2015. Saatavissa:
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Tuotekehitys>. Hakupäivä: 5.2.2015
7. Cooper, R, Jungringer, S & Lockwood, T. The Handbook of Design Management. BERG. Oxford, New York. 2011.
8. Hietikko, E. Tuotekehitys. Savonia-ammattikorkeakoulun kuntayhtymä. Kuopio. 2008.
9. Kemppi Oy. Hitsausaapinen. 2013. Saatavissa:
www.kemppi.com. Hakupäivä: 14.2.2015.
10. SFS 3052 Standardi. Hitsaussanasto. Yleistermit. 1976.
11. Niemi, E & Kemppi, J. Hitsatun rakenteen suunnittelun perusteet. Painatuskeskus. Helsinki. 1993
12. Rautaruukki Oyj. Z-levyt. 2014. Saatavissa:
<http://www.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Terastuotteet/Kuumavalssatut%20-%20kasittelyohjeet/Ruukki-Kuumavalssatut-teräkset-Z-levyt.pdf>.
Hakupäivä: 15.2.2015

Vertailukuva uuden ja vanhan mallin välillä sivusta



Vertailukuva vanhan ja uuden mallin välillä ylhäältä



Vertailukuva vanhan ja uuden mallin välillä viistosta ylhäältä

