

ATV-metsäperävaunun optimointi ja kehittäminen

Benjam Kantonen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2015

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) Kantonen, Benjam	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 20.04.2015
	Sivumäärä 75	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: (X)
Työn nimi ATV-metsäperävaunun optimointi ja kehittäminen		
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Miikka Parviainen		
Toimeksiantaja(t) Nokka Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö tehtiin muuramelaiselle Nokka Oy:lle, joka on pitkänlinjan maa- ja metsäkoneita valmistava perheyrittys. Opinnäytetyössä pyrittiin kehittämään Nokka Forest Pro -metsäperävaunua sen eri osa-alueilla. Tavoitteina oli alentaa metsäperävaunun painoa, muuttuvia kustannuksia ja osien määrää sekä parantaa kuormauksen vakavuutta. Määräväksi tavoitteeksi opinnäytetyön aikana nousi Forest Pro -metsäperävaunun vakavuus kuormaustilanteessa. Vakavuuden määrittäminen tukeutui konedirektiiviin ja SFS-EN ISO 12999 + A1 -standardiin.</p> <p>Opinnäytetyössä edettiin Ulrich & Eppingerin tuotekehitysprosessin mukaisesti tuoteohjelman suunnittelusta aina tuotteen testaukseen asti. Opinnäytetyö sisälsi siis tuotekehitysprosessin aikana tehtyjen muutosten mukaisen ensimmäisen prototyypin valmistuksen, mutta ei kuitenkaan tuotannon käynnistämistä.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena Forest Pro -metsäperävaunusta saatiin kuormauksen vakavuudeltaan merkittävästi edistyneempi tuote, jolloin kuormaajaa on helpompi hallita sekä metsäperävaunulla työskentely on turvallisempaa ja tehokkaampaa. Myös tuotteen valmistettavuus ja kokoonpantavuus paranivat. Rakenteiden suurien muutoksien vuoksi kustannukset ja paino pysyivät kuitenkin lähes ennallaan.</p> <p>Opinnäytetyön raportissa käsitellään myös lyhyesti omatoimisen metsänhoidon piirteitä ja tulevaisuuden kehitystä ATV-metsäperävaunun markkinoiden ja tarpeellisuuden näkökulmasta. Teoriaosuudessa käydään läpi tuotekehitysprosessin vaiheet ja siihen vahvasti sidoksissa olevat osa-alueet, kuten kustannusten arviointi ja valmistustekniikoiden huomioiminen suunnittelussa.</p>		
Avainsanat (asiasanat) ATV, metsäperävaunu, suunnittelu, tuotekehitys		
Muut tiedot		



Author(s) Kantonen, Benjam	Type of publication Bachelor's thesis	Date 20.04.2015
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 75	Permission for web publication: (X)
Title of publication Optimization and Development of the ATV Forest Trailer		
Degree programme Machine and production technology		
Tutor(s) Parviainen, Miikka		
Assigned by Nokka Ltd		
<p>Abstract</p> <p>The bachelor's thesis was assigned by Nokka Ltd, which is a long-term family business in the field of farm- and forest machinery. The purpose of the study was to develop the Nokka Forest Pro forest trailer in various fields. The target of the thesis was to lower the weight and variable costs. The target was also to decrease the number of the components and to make the forest trailer more stable in the loading situations. During the study the stability of the Forest Pro in the loading situation became the imperative target. The stability is determined according to the Machinery Directive and the standard SFS-EN ISO 12999 + A1.</p> <p>The study followed the Ulrich & Eppinger product development method, from planning to product testing. The thesis included manufacturing the first prototype of the updated product but not the activation of the manufacture.</p> <p>As the study result the Forest Pro became a significantly more stable product in the loading situations. Owing to this the loader is easier to control and working with the forest trailer is safer and more effective. Also the products manufacture and assembly improved remarkably. Because of the big structural changes, the costs and the weight stayed almost unchanged.</p> <p>The forestry features and prospects of the ATV forest trailer are presented shortly in the thesis from the aspect of necessity and markets. The theory handles the development processes phases and the strongly attached aspects to it, for example cost estimates and the recognition of the manufacturing methods in product design.</p>		
Keywords/tags (subjects) ATV, forest trailer, product design, products development		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

Käsitteet	4
1 Johdanto.....	5
2 Toimeksiantaja.....	5
3 Opinnäytetyön aihe.....	6
3.1 Taustat	6
3.2 Tavoitteet.....	7
3.3 Aiheen rajaus	7
4 Omatoiminen metsänhoito.....	8
4.1 Kevyet koneet metsänhoidossa	9
4.2 Markkinat.....	10
4.3 Nokka Forest Pro.....	12
4.4 Kilpailijat.....	13
5 Tuotekehitys	15
5.1 Tuotekehitysprosessi	16
5.2 Tuotekehityksen apumenetelmät.....	20
5.2.1 Lähtökohtainen suunnittelu DFX	20
5.2.2 Vaatimuslista.....	23
5.2.3 Benchmark	23
5.2.4 Arvoanalyysi.....	24
6 Lujuustarkastelut	25
7 Materiaalit.....	27
8 Kustannukset	29
8.1 Kustannusten arviointi ja laskenta.....	31
8.2 Hitsauskustannukset.....	33
9 Valmistusteknologiat tuotekehityksessä	35
9.1 Ohutlevyteknologioiden hyödyntäminen suunnittelussa.....	35
9.1.1 Laserleikkaus.....	36
9.1.2 Levytyökeskus	37

	2
9.1.3 Särmäys.....	39
9.1.4 Taivutusautomaatti.....	41
9.2 Hitsauksen huomioiminen suunnittelussa.....	42
10 Standardit ja direktiivit.....	46
10.1 SFS-EN ISO 12100.....	47
10.2 SFS-EN 12999 + A1.....	48
11 ATV-Metsäperävaunun suunnittelu	51
11.1 Tuoteohjelman suunnittelu	51
11.2 Konsepti- ja systeemisuunnittelu.....	52
11.3 Detaljisuunnittelu	57
11.3.1 Lujuustarkastelut	64
11.3.2 Materiaalivalinnat.....	65
12 Tulokset.....	66
12.1 Kustannukset	68
12.2 Tulosten analysointi ja jatkotoimenpiteet.....	69
13 Pohdinta	70
LÄHTEET.....	72
LIITTEET	75

KUVIOT

Kuvio 1 Metsänomistajien investointihalukkuus. (Parviainen 2014, 5, muokattu.).....	11
Kuvio 2 Forest Pro -metsäperävaunu ja kuormain. (Nokka Oy 2015.)	12
Kuvio 3 Tuotekehitysprosessin kulku. (Hietikko 2008, 42, muokattu.)	17
Kuvio 4 Tuotteen vuorovaikutussuhteet. (Björk 2012, 74, muokattu.)	28
Kuvio 5 Kustannuksien vaikutusalueet. (Piironen 2013, 4, muokattu.).....	30
Kuvio 6 Hitsatun rakenteen valmistuskustannuksien jakautuminen. (Piironen 2013, 6, muokattu.)	32
Kuvio 7 3D -laaserleikkaus (Trumpf 2015.)	37
Kuvio 8 Sivulle taittuvien kaaritutukijalkojen luonnostelma.....	55
Kuvio 9 Kuormainpukin osat	58
Kuvio 10 Kuormainpukki hitsattuna.....	60
Kuvio 11 Uusi ohutlevystä valmistettu sermi	60
Kuvio 12 Kuormainpukin kokoonpano.....	61
Kuvio 13 Moottorin muovinen suoja	62
Kuvio 14 Forest Pro -metsäperävaunun runko	63
Kuvio 15 Forest Pro kokoonpano.....	64
Kuvio 16 Uuden Forest Pro:n Beta prototyyppi.....	67
Kuvio 17 Uusi Forest Pro mönkijän perässä.....	71

TAULUKOT

Taulukko 1 Teknisiä tietoja	14
Taulukko 3 Arvoanalyysi. (Routio 2007.)	24
Taulukko 2 Tasaluja kaksoispienaliitoksen a/t-suhde. (Matilainen 2011, 115, muokattu.)	43
Taulukko 4 Vakavuuslaskelmat.....	53
Taulukko 5 Vakavuuden toteutus analyysi	54
Taulukko 6 Sermin toteutus.....	56
Taulukko 7 Materiaalit kuormainpukissa ja tukijaloissa	65
Taulukko 8 Kustannusten vertailu	68

KAAVAT

Kaava 1 Tasapainoyhtälöt (N, Nm)	26
Kaava 2 Työkustannukset. (K_T).....	33
Kaava 3 Hitsauslisäaineen kustannukset. (K_L).....	33
Kaava 4 Suojakaasukustannukset. (K_S).....	33
Kaava 5 Energiakustannukset. (K_E)	34
Kaava 6 Konekustannukset. (K_K)	34
Kaava 7 Koneen tuntihinta. (H_{KT})	34
Kaava 8 Taivutettavan laipan minimi pituus. (b)	40
Kaava 9 Taivutettavan laipan minimi pituus 90° taivutuksessa. (b)	40
Kaava 10 Minimi-etäisyys reiän ulkoreunasta taivutuslinjaan. (x_1).....	40
Kaava 11 Minimi-etäisyys loven ulkoreunasta taivutuslinjaan. (x_2)	40
Kaava 12 Pienahitsin a-mitta sopivan lämmöntuonnin perusteella. (a).....	45
Kaava 13 Vakavuuskokeen koekuorman määrittäminen. (TL)	49
Kaava 14 Vakavuuskertoimen määrittäminen. (K_S)	49
Kaava 15 Nostokyvyn rajoittimen toleranssi. (Δ).....	49
Kaava 16 Maalevyyn resultanttipaine. (P).....	50

KÄSITTEET

ATV	All-Terrain Vehicle, käytetään mönkijä-sanana lyhenteenä.
Benchmark	Jonkin muun toiminnan vertailua omaan toimintaan ja samalla oman toiminnan kehittämistä.
DFX	Desing for X, lähtökohtainen suunnittelu.
FEM	Finite Element Method, Tietokoneavusteinen lujuuslaskenta.
Koneturvallisuudirektiivi	Ohjaa koneiden turvallisuutta tuotteen suunnittelussa.
Metsäperävaunu	Ajoneuvoon liitettävä perävaunu, jolla voidaan kuljettaa puita.
Puutavarakuormaaja	Laite, jolla voidaan siirtää puita hydrauliseksi käyttäen.
SolidSworks	Tietokoneavusteinen suunnittelu ohjelmisto.
Standardi	Ohjaa yleiseen menetelmään joka on laadittu yhteiseksi toimintatavaksi.
Valmistuspiirustus	Kaksiulotteinen piirustus, jossa ohjeistetaan tuotteen valmistusta.
3D	Kolmen tilaulottuvuuden kuva.

1 JOHDANTO

Yrityksien jo olemassa olevien tuotteiden uudelleen kehittäminen on yksi tuotekehityksen suurimmista työllistäjistä. Asiakastarpeet kehittyvät sitä mukaa, kun markkinoille lanseerataan uusia ja kilpailevia tuotteita. Tämän vuoksi myös omat tuotteet on pidettävä ajan tasalla. On myös selvää ettei Suomalainen yritys kykene kilpailemaan markkinoilla tuotteiden hinnan avulla, joten kilpailuedut on löydettävä muulla tavalla, kuten esimerkiksi laadulla ja ominaisuuksilla. (Hietikko 2010, 11.)

Ammattikorkeakoulun opinnäytetyön tarkoituksena on soveltaa tutkinnon aikana opittuja tietoja ja taitoja käytännön tehtävässä. Suoritin Insinööritutkintoihin kuuluvan harjoittelun Nokka Oy:ssä kesällä 2014, jonne hakeuduin metsä- ja maataloustaustani vuoksi. Harjoittelun ja henkilökohtaisen kiinnostuksen ansiosta minulle tarjoutui mahdollisuus tehdä kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelmaan kuuluva opinnäytetyö tuotekehitysprosessista. Opinnäytetyö käsittelee Nokka Oy:n mönkijän perään liitettävää Forest Pro ATV-metsäperävaunua. Työn tarkoituksena on kehittää tuotetta eri osa-alueilla ja näin pyrkiä edistämään sen kiinnostavuutta nopeasti kehittyvillä markkinoilla.

2 TOIMEKSIANTAJA

Nokka Oy:n tunnuslause: ”Aika koneita”, kuvaa hyvin yrityksen historiaa ja valmistusmetodeja. Nokka Oy on pitkän linjan maa- ja metsätalouskoneita valmistava perheyritys. Yrityksen juuret ovat Viitasaarelta, jossa se perustettiin vuonna 1976 nykyisen hallituksen puheenjohtajan Jorma Nokkalan toimesta. Toiminta aloitettiin Lantarenki-lannanlevittimen ja lumilinjosten valmistuksella. Nykyisin yritys toimii Muuramen teollisuuskylässä. Aikavälillä 1976 - 2015 Nokka Oy on ehtinyt valmistamaan hyvin monenlaisia tuotteita, mutta tuotteet ovat kuitenkin aina liittyneet tie- ja kiinteistöhoitoon, maatalouteen tai metsänhoitoon. Tällä hetkellä yrityksen päätuotteet ovat traktoriin liitettävät lumilingot sekä erilaiset metsätyökoneet. Nousevana tuoteryhmänä ovat mönkijäkäyttöiset pienkoneet. (Yritysesittely Nokka Oy 2014.)

Nokka Oy on yksi osa suuremmasta konsernista nimeltään Nokka Yhtiöt Oy. Nokka Yhtiöt konsernin omistajina toimii Nokkalan perhe ja toimitusjohtajana Petteri Nokkala. Konsernissa työskentelee yhteensä noin 108 henkilöä ja yhtiön liikevaihto 2013 vuonna oli noin 14 miljoonaa euroa. Nokka Yhtiöihin kuuluu myös toinen tytäryhtiö nimeltä Pematic Oy, joka on yksi Suomen suurimmista teollisuus- ja mobile-sylintereiden valmistajista. Yritys on valmistanut räätälöityjä sylintereitä asiakkailleen jo kolmen vuosikymmenen ajan. (Yritysesittely Nokka Oy 2014; Yritysesittely Pematic Oy.)

3 OPINNÄYTETYÖN AIHE

Opinnäytetyö käsittelee Nokka Oy:n Forest Pro -metsäperävaunua. Aihe on pohjimmiltaan tuotekehityspainotteinen, jolloin tavoitteet ovat hyvin konkreettisia ja kohdistettuja johonkin tiettyyn tuotteeseen. Tuotekehityspainotteiset opinnäytetyöt ovat useimmiten kvalitatiivisia eli laadullisia tutkimuksia. Laadullinen tutkimus on pohjimmiltaan tutkimus, joka ei perustu tilastoihin vaan analyyttiseen tutkintaan. Laadullisessa tutkimuksessa on hyvä olla laaja aineisto johon tukeutua, sillä tutkimuksen tulokset pohjautuvat aihetta käsittelevään teoriaan ja yksittäisiin havaintoihin. (Kananen 2008, 24 - 25.)

Opinnäytetyö ei täytä täysin tuotekehitysprosessin eikä myöskään tuotekehitysprojehtin piirteitä, vaan on enemmänkin niiden rajatapaus. Opinnäytetyö sisältää aikataulun ja tarkat tavoitteet, mutta organisaatio sen toteutuksessa on yleensä pieni. Tämä aiheuttaa haasteita esimerkiksi laaja-alaisessa osaamisessa ja luonnostelu vaiheen ideahakumenetelmien käytössä. Myös tämä opinnäytetyö asettuu aiheensa vuoksi kyseisten tuotekehitysmenetelmien rajalle.

3.1 Taustat

ATV-metsäperävaunut ovat metsätaloustekniikoiden historiassa melko uusi tuoteryhmä. Osittain tämän vuoksi, ja kuten muillakin teknisillä aloilla, myös ATV-metsäperävaunujen kohdalla markkinoiden tarjonnan kehittyminen on nopeaa. Uusien kilpailijoiden tullessa markkinoille ja vanhojen kehittäessä tuotteitaan, on myös Nokka Oy:n vastattava markkinoiden kehitykseen. Kilpailijoiden lanseerattessa

uusia, edistyneitä tuotteita markkinoille, muuttuvat sitä mukaan myös asiakastarpeet. Asiakkaiden kommenttien pohjalta on tehty huomioita muun muassa Forest Pro -metsäperävaunun tukijaloista ja niiden vakavuudesta. Näiden asiakastarpeiden ja laajentuneen markkinatarjonnan pohjalta päätettiin alkaa kehittämään myös Nokka Oy:n Forest Pro -tuotteita.

Kun päätös kehitysprosessin käynnistämisestä oli tehty, nousi esiin myös tuotannollisia ja kustannuksellisia tarpeita. Projektin ohessa pyritään myös kehittämään Forest Pro:n tuotannollisia ominaisuuksia ja samalla vähentämään sen valmistus- ja materiaalikustannuksia. Markkinoiden hintakilpailun kiristyessä myös Nokka Oy:n on vastattava haasteeseen, pysyäkseen kiinnostavana vaihtoehtona.

3.2 Tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää ATV-metsäperävaunua valmistettavuuden, kustannuksien ja rakenteen näkökulmasta. Tavoitteena on vähentää metsäperävaunun osia, eri valmistusmenetelmiä ja materiaaleja käyttäen, ja näin samalla kehittää sen tuotannollisia ominaisuuksia. Tavoitteena on myös karsia metsäperävaunun tuotanto- ja materiaalikustannuksia. Valmistusmenetelmillä ja materiaalivalinnoilla pyritään myös vähentämään metsävaunun kokonaispainoa. Suunnittelussa otetaan huomioon metsäperävaunun rakenteelliset ratkaisut ja tutkitaan mahdollisuuksia tehdä vaunusta vakaampi kuormaus tilanteessa.

3.3 Aiheen rajaus

Opinnäytetyö rajautuu lähinnä kuormainpukin ja tukijalkojen uudelleensuunnitteluun. Metsäperävaunun muita osuuksia ei huomioida, elleivät ne rajoita suunnittelua. Nykyisen rakenteen aiheuttama vakavuuden puutteellisuus aiheuttaa turvallisuusriskin, jonka vuoksi tukijalat on suunniteltava uudelleen standardin SFS-EN 12999 + A1 mukaan. Standardi huomioi tukijalkojen tarvittavan vakavuuden käytännön kokeella.

Opinnäytetyö toteutetaan täysimittaisena tuotekehitysprosessina, jolloin aiheen laajuus kasvaa väistämättä suureksi. Pääpiirteissään prosessissa käsitellään seuraavia aihealueita:

- Tarpeiden määrittäminen
- Ratkaisujen haku ja arviointi analyyttisten menetelmien avulla
- Tuotteen osien suunnittelu ja mallinnus sekä osien optimointi
- Lujuuksien tarkastelut FEM-laskennan avulla
- Valmistuspiirustuksien laadinta
- SFS-EN ISO 12100 ja SFS-EN 12999 + A1 -standardien huomioiminen
- Valmistusteknisten ratkaisujen huomioiminen suunnitteluvaiheessa
- Kustannuslaskenta
- Alihankintaverkoston luominen ja tarjousten pyytäminen
- Ensimmäisten prototyypin osien tilaus ja valmistuksen ohjaus
- Ensimmäisen prototyypin tuotetestaus ja mahdollisten jatkotoimenpiteiden raportointi

4 OMATOIMINEN METSÄNHOITO

Omatoiminen metsänhoito ja uusiutuva energia ovat nousseet metsänhoidon hallitseviksi teemoiksi viimevuosien aikana. Omatoimiseksi metsänhoidoksi voidaan lukea esimerkiksi taimien istutus, taimikon hoito, ensiharvennukset ja metsänhoito esimerkiksi tuulenkaatojen kerääminen ja energiapuun poisto. Metsänhoidon omatoimisuusaste vaihtelee kuitenkin erittäin paljon niin ajankäytön kuin hoitokalustonkin vuoksi. Suuremmat harvennukset ja päätehakuut kuitenkin tehdään raskaalla kalustolla, jota harvalta metsänomistajalta itseltään löytyy.

Metsä nähdään nykyään monipuolisena harrastuskohteena eri virkistysmahdollisuuksineen, sekä hyvin tuottavana omaisuutena. Jyväskylän ammattikorkeakoulun teettämän tutkimuksen mukaan yli 70 % metsänomistajista tekisi mielellään metsänhoitotyöt itse. Omatoimisen metsänhoidon lisääntymisen syy on myös se, että metsien tilakoot ovat pienentyneet isojen tilojen jakaantuessa nuoremmille sukupolville. Keskimääräinen tilakoko on Suomessa noin 30 hehtaaria ja tyyppillisimpiä metsänomistajia ovat eläkeläiset sekä toimihenkilöt. (Parviainen 2014, 4 - 6.)

4.1 Kevyet koneet metsänhoidossa

Yhä useampi suomalainen omistaa metsää joko itse, vanhempien kautta tai perikunnan jäsenenä. Asutuksien keskittyessä kaupunkeihin kasvavat monien metsänomistajien kohdalla etäisyydet kodin ja metsäpalstan välillä suureksi. Metsäpalstat voivat myös sijaita pirstaloituneina hyvin laajalla alueella. Tämä aiheuttaa ongelmia muun muassa ajankäyttöön ja kaluston kuljettamiseen. Tästä syystä kaluston olisi hyvä olla kuljetettavissa henkilöautolla tai henkilöauton peräkärryllä.

Kevyiksi koneiksi voidaan määritellä alle yhdeksäntuhatta kiloa painavat koneet, mutta henkilöautolla kuljetettavan kaluston tulee kuitenkin olla tätäkin kevyempää. Omatoimiseen metsänhoitokalustoon kuuluu yleensä pieni traktori ja siihen liitettävät lisälaitteet. Henkilöautolla kuljetettavaan kalustoon taas kuuluvat yleensä mönkijä ja siihen liitettävät lisälaitteet. Mönkijän lisälaitteiksi voidaan luetella esimerkiksi juontovaunu, metsäperävaunu tai hydraulisella kuormaajalla varustettu metsäperävaunu. Lisälaitteiden voimanlähde tulee olla liitettynä itse lisälaitteeseen, mutta markkinoille on kuitenkin viimeaikoina tullut mönkijämalleja, jotka sisältävät hydrauliiikan ulostulokytkennän. Tämä lisää mönkijän käyttömahdollisuuksia entisestään, sillä kyseiset lisälaitteet eivät enää tarvitse omaa voimanlähdeyksikköä. (Parviainen 2014, 7.)

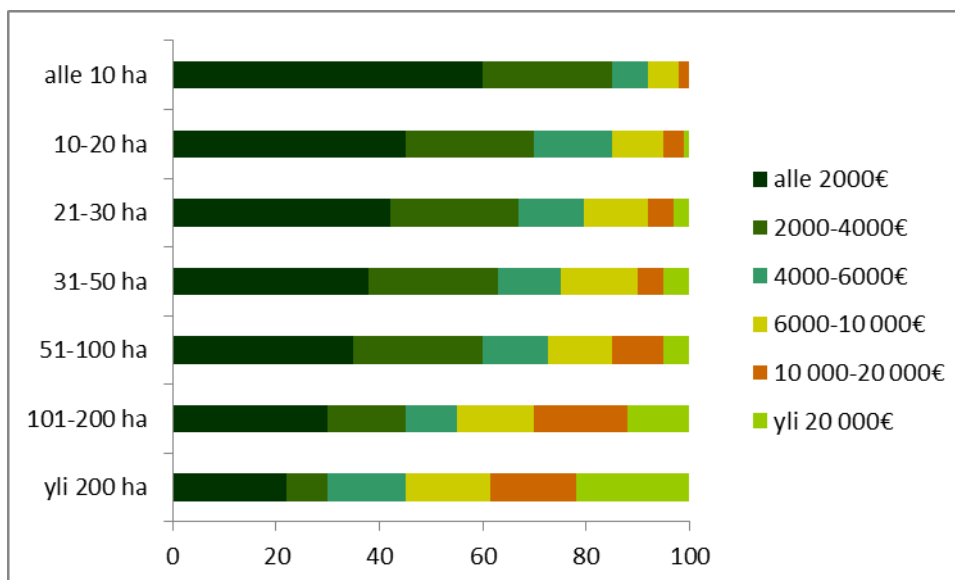
Mönkijän perään liitettävät hydraulisella kuormaajalla varustetut metsäperävaunut on pyritty suunnittelemaan mahdollisimman pieniksi, mutta kuitenkin tehokkaiksi työkaluiksi. Tämän todistaa muun muassa Koneviesti-lehden testi, jonka mukaan 300 metrin ajomatalla on mahdollista tunnin aikana ajaa 5-6 kuutiota puita metsästä tien varteen. Keskimääräinen kuormakoko mönkijällä ajettaessa on noin puolitoista kuutiometriä per kuorma. Työn tehokkuutta ei kuitenkaan kannata yrittää kasvattaa kuormien kokoa suurentamalla, vaan pikemminkin työn sujuvuudesta huolehtimalla. Suuria kuormakokoja kuljetettaessa ajonopeus laskee huomattavasti ja kalusto kärsii liiallisesta rasituksesta. Mönkijään liitettävien metsäperävaunujen tarkoitus ei ole kilpailla suurilla metsäkoneilla vastaan, vaan tarjota metsänomistajille pienempi ja edullisempi kalusto-vaihtoehto metsänhoitoon. Ne ovat myös erittäin luontoystävällisiä tuotteita niin päästöjen, kuin metsävaurioidenkin suhteen. Ne ei

vaadi metsään erillisiä teitä kulkeakseen, jonka ansiosta ylimääräisiä puita ei tarvitse kaataa pois teiden alta esimerkiksi yksittäisiä tuulenkaatoja kerättäessä. (Nykänen 2010, 72; Parviainen 2014, 17.)

4.2 Markkinat

Suomi on Euroopan metsäisin maa. Maapinta-alastamme metsän osuus on 75 %, joka vastaa noin 4,5 hehtaaria yhtä suomalaista kohti, kun taas Euroopan vastaava keskiarvo on 1,3 hehtaaria. Suomen tuottavasta metsämaasta 60 % on yksityishenkilöiden omistuksessa ja koko väestöstä metsänomistajia on 14 %. Ennen tyypillinen metsänomistaja oli vähän kouluja käynyt maatalan isäntä, mutta nykyään niin sanottua tyypillistä metsänomistajaa ei voida määrittää. Tänä päivänä myös korkeasti koulutetut, kaupunkilaiset ja naiset omistavat yhä enemmän metsiä. Tavallinen yksityisen henkilön omistuksessa oleva metsätila on kooltaan 20 - 49 hehtaaria. Metsätilojen määrä on myös noussut, Luonnonvarakeskuksen laatimien tilastojen mukaan, vuosien 2006 - 2012 välillä noin 5000 kappaleella. Metsänomistus on siis edelleen kasvava trendi Suomessa. Metsätilojen määrän kasvaessa, markkinatilanne Forest Pro:n kaltaisilla tuotteilla paranee, sillä potentiaalisia asiakkaita on yhä enemmän. Metsänomistajien ollessa yhä useammin kaupunkilaisia ja naisia, syntyy tarve pienemmälle metsänhoitokalustolle, sillä näillä ryhmillä traktoreita harvemmin on käytettävissä. ATV-kaluston etuna on myös sen vähäinen tilantarve varastoinnissa sekä helppo kuljetettavuus esimerkiksi kaupungin ja metsäpalstan välillä. Myös investointi- ja käyttökustannukset ovat isompaa kalustoa huomattavasti edullisemmat. (Metsäyhdistys metsänomistus; Metsäyhdistys Suomen metsävarat; Luonnonvarakeskus.)

Metsänomistajista 18 % käyttää mönkijää ja siihen liitettäviä lisälaitteita metsänhoidon apuna. Mönkijän omistajista noin 1/3 käyttää tällä hetkellä kuormaimella varustettua metsäperävaunua metsänhoidossa ja useilla on kiinnostusta ottaa kyseinen kalusto käyttöön. Oheisesta kuviosta (Kuvio 1) selviää metsänomistajien investointihalukkuus. Kuormaimella varustettu metsäperävaunu asettuu arvoltaan 6000 - 20 000 € hintahaarukkaan. Tämän suuruisia investointeja ollaan valmiita tekemään kaikissa metsätilojen kokoluokissa. (Parviainen 2014, 5 - 6.)



Kuvio 1 Metsänomistajien investointihalukkuus. (Parviainen 2014, 5, muokattu.)

Kevyet koneet metsänhoidossa -hankkeeseen osallistui 2754 metsänomistajaa. Hankkeessa tehdyn kyselyn mukaan 44 % metsänomistajista tekee energiapuuhahakkuut itse sekä 22 % tekee myös ensiharvennushakkuut omatoimisesti. Hakkuiden metsäkuljetuksia eivät kuitenkaan kaikki suorita itse. Energiapuun metsäkuljetuksia suorittaa 27 % ja ensiharvennuksen metsäkuljetukset vain 16 %. Näistä luvuista voidaan siis lukea se, että metsänomistajat suorittavat omatoimisia hakkuita, mutta huomattavasti pienempi osa tekee itse myös puiden metsäkuljetukset. Suurimpana syynä vähäisten metsäkuljetuksien määrään on tarvittavan kaluston puute. (Parviainen 2014, 5.)

Metsäkeskuksen vuonna 2013 tekemien energiapuun korjuujäljen tarkastuksien mukaan yli puolessa korjuukohteista oli huomautettavaa. Korjuujäljen tarkastuksessa huomioidaan metsän puustoon ja maaperään jääneiden vaurioiden määrä korjuun jälkeen. Suurimmaksi ongelmaksi tutkimuksessa todettiin koneiden kuljettajien ammattitaidon puutos, mitä ei kuitenkaan voida pitää ainoana syynä korjuujäljen heikkouteen, nykykaluston koko huomioon ottaen. Kevyet metsäkoneet vaativat vain noin kaksi metriä leveät ajourat, mikä on huomattavasti vähemmän, kuin raskaamman kaluston ajoura-tarve. Kevyellä kalustolla ajettaessa ajoreitti pystytään suunnittelemaan siten, että metsän puustoon tulevien vaurioiden määrä voidaan minimoida. Kevyet metsäkoneet eivät myöskään aiheuta painaumia maaperään, alhaisen painonsa vuoksi. Metsäkeskus toteuttaa korjuujälkien laadunvalvontaa vuosittain. Koska metsän hyvinvointiin ja korjuujäljen laadukkuuteen kiinnitetään

jatkuvasti enemmän huomiota, tarjoutuu pienemmälle metsänhoitokalustolle mahdollisuus vallata itselleen markkinatilaa suuremmilta metsäkoneilta. (Metsäkeskus 2014, 1 - 6; Parviainen 2014, 17.)

4.3 Nokka Forest Pro

Nokka Forest Pro (Kuvio 2) on mönkijällä vedettävä metsäperävaunu, joka sisältää hydraulisesti toimivan kuormaimen. Lisäksi Forest Pro on varustettu hydraulisella nelivedolla, joka on ehdoton vaikeakulkuisissa maastoissa sekä suuria kuormia kuljetettaessa. Voimanlähteenä hydraulikalle toimii oma polttomoottori liitettynä hydraulikkapumppuun. Metsäperävaunu on siis täysin itsenäinen, eikä tarvitse mönkijää muuhun kuin siirtymävaiheisiin. Forest Pro -metsäperävaunussa on myös siirrettävä kuormatila, jolla voidaan säätää mönkijään kohdistuvaa aisapainoa. Siirrettävä kuormatila mahdollistaa myös erittäin lyhyen kokonaispituuden, jolloin kuljetettavuus henkilöautolla paranee. (Tekniset tiedot 2015.)



Kuvio 2 Forest Pro -metsäperävaunu ja kuormain. (Nokka Oy 2015.)

Koneviesti-lehti testasi Nokka Oy:n valmistaman Forest Pro -metsäperävaunu ja kuormain -paketin keväällä 2014. Koneviesti on puolueeton tekninen ammattilehti, joka on erikoistunut maa- ja metsätalouden koneisiin. Testiin kuului erilaisia mittauksia sekä energiapuun ja tuulenkaatojen ajoa metsäolosuhteissa. Suurimmat

kehut Forest Pro sai erinomaisesta kuormaajastaan, joka lehden mukaan ”toimi kuin ajatus”. Metsäperävaunun neliveto todettiin tehokkaaksi ja tarpeelliseksi haastavassa maastossa liikuttaessa. Hydraulinen rungon jatke sai myös kiitosta, sillä sen avulla pystytään säätämään aisapainoa jopa 152 - 262 kg välillä. Tämä mahdollistaa esimerkiksi monen mittaisen puun ajon, eikä kuorman paino kohdistu liiallisesti mönkijään. Moitteita Koneviesti-lehti antoi tukijalkojen vakavuudesta, sekä rungon notkumisesta. Molemmat näistä asioista vaikuttavat kuormauksen tarkkuuteen ja heikentävät erinomaisen kuormaajan ominaisuuksia. (Nykänen 2014, 96 - 98.)

Jyväskylän ammattikorkeakoulun hankkeessa nimeltä ”Kevyet koneet metsänhoidossa”, tehtiin työtehosuriantakoe mönkijään liitettävillä metsäperävaunuille. Vertailtavat tuotteet olivat metsäperävaunu vinssi-kuormaajalla ja hydraulisella kuormaimella varustettu Nokka Forest Pro. Kokeessa huomioitiin tyhjänä ajo, siirtyminen, kuormaus, kuormattuna ajo, purkaminen ja apuajat. Puiden kuormaus osoittautui kummallakin menetelmällä eniten aikaa vieväksi toiminnoksi, sillä puiden kerääminen pienemmistä kasoista vaatii useita toistoja kummallakin menetelmällä. Suurimmat erot menetelmien välillä olivat kuorman purussa, jossa hydraulisen kuormaimen hyöty on kiistaton. Forest Pro:n siirtymiset olivat hiukan kankeampia, mutta kokonaistuottavuudessa Forest Pro suoriutui huomattavasti tehokkaammin - 2,8 m³/h, kun ilman kuormainta tuottavuus jäi 1,4 m³/h. On kuitenkin hyvä huomioida, että tuottavuuteen vaikuttaa suuresti myös yksittäisten puiden tilavuus. (Parviainen 2014, 11 - 12.)

4.4 Kilpailijat

Erilaisten mönkijöiden lisävarusteiden valmistus on kiihtynyt viimeaikoina ja myös kuormaimella varustettuja metsäperävaunuja on tullut markkinoille yhä enemmän. Suomessa valmistajia on vain muutama, kun taas Ruotsissa mönkijän metsäperävaunu valmistajia on useampia. Suurin osa valmistajista on keskittynyt ainoastaan mönkijöiden lisävarusteiden valmistamiseen.

Oheisessa taulukossa (Taulukko 1) on vertailtu eri valmistajien malleja. Vertailtaviksi malleiksi on pyritty valitsemaan Suomen markkinoilla olevien valmistajien

samankaltaiset mallit. Kaikki valitut mallit ovat yksipalkkirunkoisia, vetäviä kärryjä ja sisältävät kuormaajan sekä oman hydraulikkayksikön. Tiedot on haettu valmistajien nettisivuilta ja esitteistä sekä Koneviesti-lehden testeistä.

Taulukko 1 Teknisiä tietoja

Valmistaja ja malli	Nokka Forest Pro MV 160 HD + HK 1042	Multi-Mette XLT-5 4WD	Vahva Jussi 400 + 1.5T	Avesta 4.2H	Kranmann T1700 4WD + Kranmann 330	Country 330 +T5
Tekniset ominaisuudet						
Kantavuus 0 - 20km/h, kg	1000	2000	1500	1800	1300	1500
Vaunun paino, kg	345	-	150	340	210	160
Vaunun leveys, mm	1300	1400	1250	1350	1350	1260
Raideleveys, mm	1040	1100	1100	1150	1150	1100
Maavara, mm	330	-	372	-	-	350
Tukijaljojen väli, mm	1700	2400	1411	-	-	-
Tukijalkojen tyyppi*	T	S	S	T	T	T
Sermin rakenne**	V	V	R	V	V	R
Työpaine, bar	175	-	175	160	150	-
Kuormaajan max ulottuvuus, m	4,2	4,2	4	4,2	3,3	3,3
Kuormaajan nostokyky x ulottuvuudella, kg/m	165/4,2	220/3,2	250/3,2	170/3,0	150/3,0	-
Kuormaajan nostokyky x ulottuvuudella, kg/m	400/2,0	-	370/2,0	340/1,7	350/1,5	420/1,6
Vaunun runkopalkki	80x80x4	90x90x3 RHS	-	-	80x80x4 VRK	-
<p>* T = teleskooppi S = sivulle taittavat kaaritukijalat</p> <p>** V = Verkko R = Ritilä</p>						

Merkittävimmät erot (Taulukko 1) tulevat kuormaajan nostokyvyistä. Nokan ja Vahva Jussin kuormaimet ovat selkeästi tehokkaimmat. Kuormaajan korkeasta nostokyvystä seuraa kuitenkin vakavuusongelma, joka Koneviesti-lehden testin mukaan vaivaa kumpaakin edellä mainittua vaunua (Nykänen 2009, 75; Nykänen 2014, 98). Vaunujen painon vaihteluun vaikuttaa suurimmilta osin kuormatilan ja telin liikuteltavuus, mikä vaatii raskaamman runkorakenteen. Tukijaloissa käytetään kahta erilaista menetelmää; ne voivat olla teleskooppi tai sivuille taittavat kaaritukijalat. Teleskooppimalliset tukijalat ovat yleisemmät, mihin on luultavammin syynä niiden helppo sijoittaminen sermin yhteyteen. Myös sermeissä on käytetty vain kahdenlaisia menetelmiä: teräsverkkoa ja teräksistä lattatangoista toteutettua ritilää.

Erot kilpailijoiden välillä ovat hyvin pieniä. Mekaniikaltaan suurimmat eroavaisuudet ovat aisapainon säädössä. Osa valmistajista on päättänyt siirrettävään teliin, jolloin kuormatila pysyy vakio-kokoisena. Kaikissa malleissa aisapainon säätö ei ole mahdollista. Nokan Forest Pro on ainoa metsäperävaunu, jossa moottori ja hydraulikkapumppu voidaan sijoittaa kärryn aisalle. Tämä helpottaa vaunun kytkentää mönkijään, mutta lisää entisestään aisapainoa. Avesta ja Kranmann ovat kehittäneet vaunuihinsa hydraulisesti kääntyvän aisan, joka on ratkaisuna tuttu suuremmista traktorikäyttöisistä metsäperävaunuista. Kääntyvä aisa lisää mönkijän ja metsäperävaunun ketteryyttä. (Nykänen 2010, 70 - 73.)

Vetävän telin toteutukseen on kolmea eri menetelmää. Yleisin ja helpoin on riparulla ratkaisu, jossa veto tapahtuu painamalla telipyörien väliin hydraulikkamoottorilla pyörivä ripapyörä. Riparullaveto ei kuitenkaan mahdollista telojen käyttöä, mikä auttaisi etenemistä kosteissa maastoissa. Toinen yleinen menetelmä on hydraulisesti toimivat napamoottorit, jotka kiinnitetään suoraan vetävään pyörään. Suurin ongelma napamoottoreilla on niiden heikko käytettävyyys suurissa nopeuksissa. Nopeuden kasvaessa täytyisi veto olla mahdollista kytkeä pois päältä, esimerkiksi vapaakytkimellä, hydraulikkaöljyn lämpenemisen vuoksi. Kolmas ja monimutkaisin, sekä teknisesti haastavin rakenne on hydraulikkamoottorilta pyörille ketjuvälityksellä toteutettu veto. Tässä toteutustavassa kohdataan kuitenkin samat haasteet, kuin edellisessä vaihtoehdossa. (Nykänen 2013, 56 - 57; Hakala 2010, 66 - 69.)

5 TUOTEKEHITYS

Menestyvän yrityksen yksi tärkeimmistä osa-alueista on osaava ja innovatiivinen tuotekehitys. Menestyksen edellytyksenä on myös jatkuva uusien tuotekehitysprojektien aloittaminen. Yrityksen tuotteiden elinkaari määrää yhtäaikaisten tuotekehitysprojektien määrän, sillä osa tuotteista auttamattomasti vanhenee ja niiden myynti vähenee. (Jokinen 2010, 9 - 11.)

Markkinoiden tarpeet ja kilpailijat ohjaavat pääsääntöisesti tuotekehityksen toimintaa. Markkinoiden tarpeita on osattava lukea ja tuotekehityksen on pystyttävä muuttamaan tarpeet toiminnoiksi. Tuotekehitys pyrkii vastaamaan asiakkaiden yhä vaativampiin tarpeisiin muun muassa huomioimalla niin sanotun asiakkaan äänen

(The voice of the customer). On tärkeää huomioida, että henkilö joka ostaa tuotteen, on kaikista tärkein henkilö tuotteen kaupallisen menestyksen kannalta. Olipa tuote miten hyvin suunniteltu tahansa, saattaa siitä kuitenkin tulla täydellinen taloudellinen epäonnistuminen, jos asiakas ei osta tuotetta. Tästä syystä asiakkaan äänellä on huomattavan suuri rooli tuotteen ominaisuuksien määrittelyssä. Tärkeää on siis tiedostaa; ketä asiakkaat ovat, mitä he haluavat ja mistä he ovat valmiita maksamaan. Lisäksi kilpailu kansainvälisillä markkinoilla on kiristynyt, eivätkä pelkät tuotteiden toiminnot enää riitä tyydyttämään markkinoiden tarpeita. Yhä suurempaan merkitykseen ovat nousseet tuotteen käytettävyys, luotettavuus, muotoilu, ergonomisuus ja yksilöllisyys. Näihin kaikkiin vaatimukseen ei varsinkaan PK-yrityksiltä löydy osaamista, jonka vuoksi tuotekehitys tapahtuu yleensä yhteistyössä eri yritysten kanssa tai jopa osittain ulkoistettuna palveluna. Tästä syystä yrityksen verkostoituminen on myös tuotekehityksen osalta erittäin tärkeää. (Cross 2011, 122; Hietikko 2008, 11 - 17, 55.)

Tuotekehityksen päätehtävät ovat uusien tuotteiden suunnittelu markkinoille tai jo olemassa olevan tuotteen uudelleen kehittämistä ja kilpailukyvyn parantamista. Kuitenkin ajallisesti suurin osa tuotekehitystyöstä koostuu jo olemassa olevien tuotteiden kehittämis- ja muutostöistä. Useimmiten asiakkaat haluavat ennemmin nähdä kehitystä, parannuksien muodossa, kuin täysin uusia innovaatioita. Tuotekehityksen päätavoite on kuitenkin tuottaa yritykselle voittoa ja pitää yrityksen toiminta taloudellisesti kannattavana. (Cross 2011, 137; Huhtala 1987, 37.)

5.1 Tuotekehitysprosessi

Tuotekehitystoimintaa voidaan kuvata projekti- tai prosessiluonteisina toimintoina. Tuotekehitysprosessi kuvaa yrityksen tuotekehityksessä tapahtuvia jokapäiväisiä toimintoja, kun taas projekti on piirteeltään rajatumpi ja sen tavoite on asetettu johonkin tiettyyn tuotteeseen. Projektille ominaisia piirteitä ovat myös tarkasti suunniteltu aikataulu ja projektille nimetty työryhmä, joka koostuu useista yrityksen eri tulosalueista. (Hietikko 2008, 45.)

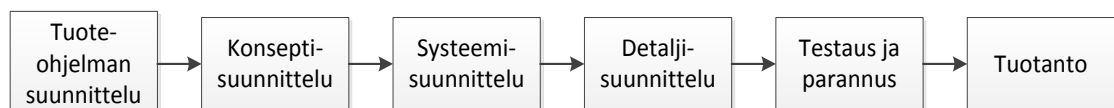
Tuotekehitysprosessit voidaan jakaa eri osa-alueisiin niiden luonteen mukaan. On olemassa muun muassa markkinavetoisia prosesseja, teknologiatyöntöprosesseja ja

platform-prosesseja. Markkinavetoisessa prosessissa pyritään tyydyttämään markkinoiden eli asiakkaiden tarpeet. Edellä kuvattu asiakkaan ääni (The voice of the customer) korostuu voimakkaasti tällaisessa prosessissa.

Teknologiatyöntöprosessissa taas halutaan tuoda uutta teknologiaa markkinoille, jolloin yleensä tuote ja tarve ovat täysin uusia. Tällaisissa prosesseissa ongelmaksi voi muodostua asiakastarpeen puute, sillä varmuutta tuotteen kaupallisesta menestyksestä markkinoilla ei ole. Teknologiatyöntöprosessissa tuotteen tulisi olla vaikeasti kopioitavissa sekä tarjota selkeää etua kilpaileviin tuotteisiin nähden. Platform-prosessi kuvaa tuotekehitysprosessia, jossa pyritään parantamaan jo olemassa olevaa tuotetta esimerkiksi jonkin teknologia-innovaation tai taloudellisten syiden innoittamana. Teknologiatyöntöprosessia ja Platform-prosessia voidaan pitää ominaisuuksiltaan melko samankaltaisina. Erona niiden välillä kuitenkin on se, että Platform-prosessi on jo etukäteen tietoinen tuotteensa markkinatarpeesta ja se on kevyempi toteuttaa, kun prosessia ei tarvitse aloittaa nolasta. (Eppinger 2012, 18 - 20; Hietikko 2008, 41 - 42.)

Tuotekehitysprosessin etenemiseen on kehitelty hyvin monia erilaisia malleja. Suurin osa etenemismalleista perustuu niin sanottuun portti kulkuun, jolloin seuraavaa tehtävää ei voida tehdä ennen kuin edellinen on valmis. Oheisessa kuviossa (Kuvio 3) esitellään Ulrich & Eppingerin malli tuotekehitysprosessin kulusta.

Tuotekehitysprosessi alkaa **tuoteohjelman suunnittelulla**, joka sisältää tavoitteiden rajauksen sekä mahdolliset alkuselvitykset. Suurempien tuotekehitysohjelmien aloittamiseksi on syytä laatia projektisuunnitelmat ja esiselvitykset esimerkiksi markkinanäkymästä ja kehittämiskustannuksista, sekä tutkia mahdollisten standardien ja direktiivien vaikutus tuotteeseen. Tuoteohjelman suunnittelussa luodaan vaatimuslista, joka sisältää reunaehdot ja lopulliselle tuotteelle asetetut vaatimukset. (Eppinger 2012, 12 - 16; Hietikko 2008, 42 - 43; Jokinen 2010, 14.)



Kuvio 3 Tuotekehitysprosessin kulku. (Hietikko 2008, 42, muokattu.)

Seuraava vaihe tuotekehitysprosessissa on **konseptisuunnittelu** (Kuvio 3).

Konseptisuunnittelun tärkein osa on selvittää tuotekehitysprosessin tarpeet

asiakastarpeiden keräämisellä ja kilpailijoiden benchmarkauksella. Tarpeiden selvittämiseen voidaan käyttää esimerkiksi QFD -laatutalo menetelmää, jossa asiakastarpeet pyritään kuvaamaan mahdollisimman konkreettisina tarpeina tai arvoanalyysia, jossa spesifikaatiot arvostellaan painoarvon ja arvosanan mukaan. Tärkeintä on saada aikaan mahdollisimman paljon tuotespesifikaatioita, jotka ovat erilaisia mitattavia arvoja, joille voidaan asettaa tavoitteet. Tuotespesifikaatiot siirretään arvoineen vaatimuslistaan. Kaikkia tuotespesifikaatioita ei kuitenkaan voida mitata arvoilla, jolloin ne tulee määritellä lyhyesti muutamalla sanalla. (Hietikko 2008, 43, 55, 65.)

Varsinainen konseptisuunnittelu voidaan aloittaa kun lähtötiedot on saatu kasaan. Konseptisuunnittelu on pohjimmiltaan ongelman ratkaisua ja tuotteen hahmottelua. Konseptisuunnittelua voidaan kuvata myös luonnosteluksi, yhteinen tekijä näillä on kuitenkin luovuus. Luovuutta on erittäin hankala ohjata, mutta sitä voidaan helpottaa ongelmien jaottelulla pienempiin osa-alueisiin, siirtämällä ongelma toiseen asiayhteyteen, tai yleistämällä ongelma laajemmaksi. Luovassa ongelmanratkaisuprosessissa tärkeintä on myönteinen ajattelu syntyneitä ratkaisuja kohtaan. Systemaattisella ongelmanratkaisumenetelmällä voidaan tukea luovaa ajattelua. Systemaattiset ja luovat menetelmät eivät kuitenkaan sulje toisiaan pois, sillä suurin osa ihmisen luovasta ajattelusta tapahtuu alitajunnassa, eikä näin ollen voida olettaa ratkaisujen syntyvän määrättyllä hetkellä. Konseptisuunnittelun aikana muodostuneet ratkaisuvaihtoehdot arvostellaan, joista valitaan muutama ratkaisu jatkokehitystä varten. (Eppinger 2012, 15; Hietikko 2008, 83 - 95; Jokinen 2010, 34 - 36.)

Konseptisuunnittelua seuraa **systemisuunnittelu** (Kuvio 3). Systemisuunnittelussa pyritään luomaan tuoterakenne ja modulointi valittujen luonnosten pohjalta. Moduloinnin tarkoituksena on hyödyntää samaa perustuotetta eri asiakastarpeissa, muuttamalla ainoastaan osakokonaisuuksia. Perusrakenteen tulee siis sisältää esimerkiksi useamman moottorivaihtoehdon asennusreiät, jotta niitä ei tarvitse työstää erikseen. Tämän vuoksi modulointi on yksi tärkeimmistä tuotteen rakenteeseen vaikuttavista tekijöistä. Myös systemisuunnittelun aikana tuotteen rakenne voidaan jaotella pienempiin kokonaisuuksiin. Tällöin voidaan samalla miettiä jo tuotteen alustavat omavalmiste, alihankinta ja ostettavat standardiosat. Jo

systemisuunnittelu vaiheessa voidaan käyttää DFX – menetelmiä, joissa tarkoituksena on kiinnittää huomiota esimerkiksi tuotteen valmistettavuuteen ja kokoonpantavuuteen. (Eppinger 2012, 15; Hietikko 2008, 109 - 120.)

Systemisuunnittelu vaihe on tehtävä huolellisesti, sillä silloin tehdyt päätökset ovat pohjana **detalji-suunnittelulle** (Kuvio 3) eli viimeistelyvaiheelle.

Detalji-suunnitteluvaiheessa tuote saa lopullisen rakenteensa. Jokaisen osan materiaalit ja valmistusmenetelmät valitaan, sekä luodaan valmistuspiirustukset ja DXF-tiedostot työstökoneille. Detalji-suunnittelussa asetetaan osille mitta toleranssit, sekä valitaan loput standardiosat kuten pultit ja mutterit. Tässä vaiheessa myös kustannukset tarkentuvat ja näin tuote pystytään lopullisesti hinnoittelemaan. (Eppinger 2012, 15, Hietikko 2008, 43, 123.)

Varsinaista **tuotannon käynnistämistä** (Kuvio 3) edeltää niin sanottu 0-sarja, jolla pyritään testaamaan tuotteen tuotantoa ja samalla koulutetaan henkilökuntaa tuotteen valmistuksessa. 0-sarjaa ennen on kuitenkin vaihe, jolloin tuotteen ominaisuudet testataan. **Testaus** (Kuvio 3) on erittäin tärkeä vaihe tuotteen toiminnallisuuden kannalta, sillä silloin tuote testataan oikeassa käytössä. Testausvaiheessa tuotteen prototyypeistä voidaan valmistaa useampia eri versioita. Niin sanottu Alpha-versio, eli aikaisen vaiheen prototyyppi on tuotteesta valmistettu ensimmäinen fyysinen kokonaisuus, jota ei välttämättä ole valmistettu lopullisen tuotteen materiaaleista. Suunnitteluprosessin edetessä tuotteesta voidaan valmistaa myös Beta-prototyyppi, joka jäljittelee mahdollisimman tarkasti lopullista tuotetta. Beta-version prototyyppejä testataan myös asiakkaiden toimesta tuotteen tyyppillisessä käyttöympäristössä. Testaus vaiheesta on tärkeää kerätä talteen kaikki mahdollinen tieto, niin valmistuksen kuin käytönkin osalta, sillä mahdolliset valmistustekniset ja toiminnalliset ongelmat on edullisempaa korjata vielä tässä vaiheessa. (Eppinger 2012, 15 - 16, Hietikko 2008, 43; Jokinen 2010, 96 - 99.)

Perimmiltään suunnittelu on ongelmien ratkaisua ja päätöksien tekoa. Kokenut suunnittelija tekee keskimäärin yhden päätöksen joka minuutti. Tuotekehitys prosessien eteneminen on tärkeää, mutta tärkeämpää on rohkeus lopettaa se tai peruuttaa aikaisempaan vaiheeseen, jolloin säästetään kustannuksia. (Hietikko 2008, 126.)

5.2 Tuotekehityksen apumenetelmät

Tuotekehityksen apu- ja tukimenetelmistä tunnetuimpia ovat ideanhakumenetelmät. Apumenetelmiä on pyritty kehittämään myös suunnittelun muihin vaiheisiin sekä suunnittelun hallintaan. Tuotekehityksessä on hyvä käyttää apuna myös muista yhteyksistä tuttuja analyyskejä ja periaatteita. Seuraavaksi käsitellään muutamia tässä opinnäytetyössä käytössä olevia apu- ja tukimenetelmiä.

5.2.1 Lähtökohtainen suunnittelu DFX

Perinteinen asenne suunnittelujoilla on pitkään ollut: ”Me suunnittelemme ja muut valmistavat” (Hietikko 2010; 17). Tämä on kuitenkin erittäin virheellinen ajattelumalli, kun tavoitteena on suunnitella tuote mahdollisimman ”valmiiksi” jo ennen kuin tuotetta edes aletaan valmistaa. DXF (Desing For X) on tuotteen tavoitteellista suunnittelua. Sen tarkoituksena on ottaa tuotteen suunnittelussa huomioon ennalta määrättyjä asioita. Tyypillisimmät DXF-menetelmät ovat DFA (Desing For Assembly) ja DFM (Desing For Manufacturing), jotka voidaan yhdistää yhteiseksi menetelmäksi DFMA (Desin For Manufacturing and Assembly). DFA-suunnittelussa pyritään tekemään tuotteesta mahdollisimman yksinkertainen ja kokoonpanossaan virheetön tuote. DFM on tuotteen valmistusystävällistä suunnittelua. DFX-menetelmää voidaan soveltaa moneen muuhunkin osa-alueeseen kuten laatuun, hitsattavuuteen, ympäristöystävällisyyteen ja vaikkapa huollettavuuteen. (Hietikko 2010, 15; Hietikko 2008, 153.)

DFMA on työkalu, jolla suunnittelija pyrkii vähentämään ylimääräisiä kustannuksia ja tehostamaan tuotantoa. Valmistustekniikoiden huomiotta jättäminen suunnittelussa aiheuttaa ongelmia erikoisten valmistusmenetelmien ja turhien työvaiheiden muodossa. Myös kokoonpantavuus on erittäin tärkeä asia, sillä kokoonpano on tuotesuunnittelun keskeisin tekijä. Tuote on yleensä useiden osien kokoonpano, jossa jokainen osa vaatii käsittelyn (paikantaminen, siirto ja asemointi) sekä asennuksen (asennus ja kiinnitys). Kokoonpantavuuden suunnitteluun vaikuttaa erityisesti kokoonpanon automaatioaste, eli onko tuote tarkoitettu kokoonpanna manuaalisesti, mekaanisesti vai automatisoidusti. DFMA työkalu voi olla avuksi myös esimerkiksi alihankinta sopimuksien neuvottelutilanteissa. Työkalun avulla voidaan

hahmottaa mitä jokin osa tuotteesta saisi maksaa. Historiansa aikana DFMA metodi on vaikuttanut teollisuuden kehitykseen enemmän kuin yksikään toinen suunnittelumetodi. (Boothroyd 2002, 1, 35; Hietikko 2010, 16; Hietikko 2008, 154 - 155.)

DFM on pohjimmiltaan ajattelutapa, mutta se pitää sisällään myös erilaisia apukeinoja kuten suosituksia, tarkistuslistoja, peruseriaatteita ja peukalosääntöjä. Ensisijaisia osia DFM -tarkastelussa ovat kalleimmat ja tuotteen rakenteessa keskeisimmät osat. Osien suunnittelussa on huomioitava kuitenkin kaikkien osien kokonaisuus, jotteivät saadut hyödyt huku pienempien yksittäisten osien monimutkaisiin ratkaisuihin. Tärkein peukalosääntö on tutkia koko tuoteperheen osat ja käyttää mahdollisimman paljon jo olemassa olevia osia tai standardiosia. Osien määrän vähentäminen on suuri etu esimerkiksi hitsauskokoontamisissa, mutta liiallinen osien yhdistäminen saattaa lisätä kustannuksia osien valmistuksessa. Modernien valmistusmenetelmien hyödyntämisessä kannattaa kuitenkin olla rohkea, sillä nykyaikaiset CNC tekniikan koneet kykenevät valmistamaan hyvinkin monimutkaisia muotoja. Seuraavassa muutamia DFM -suunnittelun peruseriaatteita. (Hietikko 2008, 157; Lempiäinen 2003, 35 - 37.)

- Osien tulee olla symmetrisiä
- Ei vasen/oikea -kätisiä osia
- Käytä työstökoneiden standardi kiinnittimiä ja työkaluja
- Aseta koneistettavat mitat lähelle standardimateriaalien mittoja
- Pyri yhden asetuksen työstöihin
- Optimoimateriaalit, suosi standardeja
- Vältä turhan tarkkoja toleransseja
- Helppo asemointi
- Optimoimateriaalit, suosi standardeja

DFMA:n sisältämä toinen menetelmä on DFA. Sen tarkoituksena on kiinnittää huomiota tuotteen kokoonpantavuuteen jo suunnitteluvaiheessa. DFA -suunnittelun tärkein tavoite onkin minimoida osien määrä. Yksinkertaisimmillaan DFA -suunnittelua voi toteuttaa tekemällä jokaiselle tuotteen osalle kolmen kysymyksen analyysin. (Hietikko 2008, 154; Lempiäinen 2003, 70.)

- Tuleeko osa valmistaa eri materiaalista?
- Täytyykö osan olla irrotettavissa kokoonpanosta, esimerkiksi huoltotöiden ajaksi?
- Vaatiiko toiminnallisuus osan liikkumisen muihin osiin nähden?

Oheinen DFA -analyysi on varsin ankara tuotteen muita vaatimuksia kohtaan. Jos vastaus on kielteinen, on osa ”turha” eikä sitä kannata valmistaa erillisenä osana. Analyysi ei ota kantaa esimerkiksi tuotteen ulkonäköön eikä osien geometrioihin, jotka saattavat aiheuttaa ongelmia valmistuksessa. Monimuotoisempi menetelmä onkin arvioida osien kokoonpantavuus laajemmin. Arviointi alkaa kokoonpanon runko-osan määrittämisellä. Rungon on hyvä olla stabiili, jolloin se ei vaadi ylimääräisiä toimenpiteitä, eli esimerkiksi erillisiä tukirakenteita kokoonpanon ajaksi. Kaikkien osien asennukset runkorakenteeseen olisi hyvä mahdollistaa samassa rungon asennossa. Suuret ja painavat osat on suunniteltava nostettavaksi nosturilla tai muulla nostimella. Kokoonpanossa käytetyt liitokset eivät saa yhtäaikaisesti sisältää useita osia eivätkä myöskään paikoillaan pidettäviä osia. Liitosten tulee olla yksinkertaisia, ja niiden tulee sisältää yhden osan paikoitus ja kiinnittimen asennus. Osat suunnitellaan helposti asennettaviksi esimerkiksi viisteiden avulla. Liitoksien ympärillä tulee huolehtia tarvittava asennustila. Osien muodoissa kannattaa hyödyntää Poke Yoke -periaatetta, jonka tavoitteena on vain yhden asennustavan mahdollistaminen. (Boothroyd 2002, 87 - 92, Hietikko 2008, 154 - 156; Lempiäinen 2003, 71 - 75.)

Kokoonpantavuutta voidaan arvioida hyvin tarkasti myös erillisillä tietokoneohjelmistoilla. Niiden peruseriaate on osien ja niiden liittämiseen käytettyjen menetelmien korrelointi. Ohjelmistojen ensisijaisena tarkoituksena on ottaa huomioon automatisoitu kokoonpano. Automatisoidut kokoonpanolinjat vaativat suuria volyymeja, jolloin se ei ole aina kannattavaa eikä edes taloudellisesti mahdollista. Automatisoituun kokoonpanoon suunniteltu tuote on joka tapauksessa yksinkertaisempi ja täten helpompi kokoonpanna myös manuaalisesti. Kokoonpantavuuden huomiointia ei siis voida ylikorostaa. Yleisesti ottaen voidaan todeta, että kokoonpantavuus on tärkeämpi osa suunnittelu vaihetta kuin valmistettavuus, koska kokoonpanotyö vaatii enemmän resursseja tuotteen valmistuksessa. Poistetut osat vapauttavat myös aikaa ja vähentävät kustannuksia,

sillä vähennettyjä osia ei tarvitse suunnitella, ohjata, kuljettaa, valmistaa, testata eikä varastoida. (Lempiäinen 2003, 70 - 71, 155.)

5.2.2 Vaatimuslista

Vaatimuslista on tuotteen spesifikaatioiden hallintaa varten laadittava luettelo, jota käytetään yhtenä tuotekehityksen apumenetelmänä. Tuotekehitysprosessissa aluksi määritetään suunniteltavan tuotteen vaatimukset eli spesifikaatiot, jotka halutaan tuotteeseen sisällyttää. Vaatimukset laaditaan asiakastarpeiden tai sisäisten kehityskohteiden pohjalta. Spesifikaatioiden olisi hyvä olla mitattavia suureita, jolloin vaatimusten rajaaminen ja vertailu on helpompaa. Asiakkaan tarve voi esimerkiksi olla ”tuotteen helppo asennettavuus”, mutta tällaisenaan tarvetta ei voida siirtää vaatimuslistaan, vaan se on muutettava mitattavaan muotoon. Tässä tapauksessa mitattava muoto voisi olla esimerkiksi: ”asennusaika - alle 75 sekuntia”.

Spesifikaatioista laaditaan vaatimuslista, joka pitää sisällään tuotteen toiminnalliset-, teknilliset- ja kustannusvaatimukset. Vaatimukset luokitellaan kiinteisiin vaatimuksiin (kv), vähimmäisvaatimuksiin (vv) ja toivomuksiin (t). Kiinteät vaatimukset ovat spesifikaatioita, joiden toteutuminen on välttämätöntä. Vähimmäisvaatimukset taas rajaavat spesifikaatioita arvoihin, jotka tuotteen tulee vähintään saavuttaa, mutta raja-arvojen sivuuttaminen suotuisaan suuntaan ei ole haitallista. Toivomukset ovat spesifikaatioita, joita tuotteelta ei varsinaisesti vaadita, vaan niiden toteutuminen on pelkästään myönteinen asia. Toivomukset sallivat myös vähäisiä lisäkustannuksia, jotka voivat ylittää määritetyn budjetin. Vaatimuslista on avuksi myös tuotekehitysprosessien ja -projektien hallinnoinnissa, sillä sen avulla voidaan varmistaa muun muassa se, että suunnittelutiimi ja johto tähtäävät samaan ennalta määritettyyn tavoitteeseen. (Eppinger 2014, 92; Hietikko 2008, 65; Huhtala 1987, 40 - 42.)

5.2.3 Benchmark

Benchmarkauksessa pyritään selvittämään kilpailijoiden kyky toteuttaa vertailtavia ominaisuuksia sekä kykyä tyydyttää asiakastarpeita. Vertailua voidaan tehdä joko spesifikaatioihin tai tarvelauseisiin nähden. Spesifikaatioiden vertaileminen tapahtuu yleensä teknisien mittaustulosten kautta, jolloin vertailukohtana toimii jokin

mitattava suure. Tarvelauseisiin vertaaminen taas vaatii enemmän kilpailijoiden tutkimista käytännön tasolla. Vertailu tapahtuu lähinnä asiakkaiden haastatteluilla, ammattilehtien testituloksien tarkastelulla ja suorittamalla itse kokeita vertailtavilla tuotteilla. Tarvelauseiden vertailutuloksia ei voida mitata jonkin suureen kautta, joten on hyvä luoda vertailun mahdollistava asteikko, jossa käy ilmi, miten kilpaileva tuote pystyy toteuttamaan tarvelauseen. Benchmarkkauksen tuloksia verrataan omaan tuotteeseen ja saatujen tulosten pohjalta tehdään tavoitesuunnitelmia tuotteen tuotekehitykseen. (Hietikko 2008, 66 - 67.)

5.2.4 Arvoanalyysi

Arvoanalyysi on systemaattinen menetelmä tuotteen ominaisuuksien arviointiin. Mikäli vertailussa huomioidaan myös kustannukset, voidaan siitä käyttää myös nimeä hyötykustannusanalyysi. Tällöin tavoitteena on ylimääräisten kustannuksien poistaminen heikentämättä tuotteen laatua. Arvoanalyysissä on oleellista tutkia tuotteen toimintoja eli spesifikaatioita, jolloin tavoitteena on löytää paras, optimaalisin ratkaisu. Arvoanalyysi on hyvin laajasti käytetty menetelmä eri tuotekehitysvaiheiden apuna, sitä voidaan käyttää myös kehittelyvaiheessa ratkaisujen arviointiin ja valitsemiseen. Arvoanalyysistä on olemassa monia eri variaatioita. (Björk 2014, 92; Jokinen 2001, 93)

Taulukko 2 Arvoanalyysi. (Routio 2007.)

Vaihtoehdon ominaisuus	Painoarvo P	Vaihtoehto 1		Vaihtoehto 2	
		Arvosana A	PxA	Arvosana A	PxA
Kapasiteetti	40	2	80	5	200
Käytön helppous ja automaattisuus	40	3	120	4	160
Muotoilu	10	5	50	2	20
Materiaalit, kierrätettävyys	10	3	30	2	20
Yhteensä	100	--	280	--	400

Oheisessa taulukossa (Taulukko 2) kuvataan arvoanalyysi esimerkin muodossa. Analyysissä listataan arvioitavat spesifikaatiot, jotka yllä olevassa esimerkissä on kuvattu vasemman puoleisessa sarakkeessa. Jokaiselle spesifikaatiolle määritellään painoarvo siten, että arvojen summa on sata. Painoarvot kuvaavat spesifikaation tärkeyttä tuotteen toimintojen kannalta. Taulukkoon listataan mahdolliset toteutustavat (taulukossa Vaihtoehto 1 ja Vaihtoehto 2) ja arvioidaan listattujen

spesifikaatioiden toteutumista kyseisessä toteutustavassa esimerkiksi asteikolla 1 - 5. Seuraavaksi kullekin spesifikaatiolle annettu painoarvo ja arvosana kerrotaan keskenään ja kyseinen tulo merkitään omalle rivilleen (PxA). Lopuksi kunkin toteutustavan tulot summataan ja suurimman summan saanut toteutustapa valitaan jatkokehitykseen. Suurimman summan saanut toteutustapa ei kuitenkaan välttämättä ole edullisin vaihtoehto, ellei kustannuksia ole otettu huomioon. Monissa tapauksissa muut spesifikaatiot nousevat kuitenkin kustannuksia tärkeämpään asemaan. (Routio 2007.)

6 LUJUUSTARKASTELUT

Lujuustarkastelun tarkoituksena on selvittää kuormitukset, muodonmuutokset ja jännitys jakaumat, joita tarkasteltavassa osassa tai rakenteessa esiintyy. Näin voidaan arvioida osan tai rakenteen kestävyyttä, sekä määrittää sen optimaalinen käyttöikä. Periaatteena on ennakoida osan tai rakenteen mekaanista käyttäytymistä tietyissä kuormitustilanteissa. Kuormitustilanteita ovat ns. staattinen-, tykyttävä- ja vaihtokuormitus. Vaihtokuormitus aiheuttaa väsymistä, jota kuvataan särönkasvuilmionä. Väsyminen on tyypillisintä hitsatuilla rakenteilla, joihin kohdistuu toistuvia jännitysvaihteluita. Lujuustarkastelut ovat yleensä mitoitustehtäviä, jolloin rakenteelle tai osalle on jo määritelty kuormitukset ja sallitut jännitykset. Tämän kaltaisissa tilanteissa tavoitteena on määrittää rakenteen tai osan mitat, joilla se kestää siihen kohdistuvat rasitukset. (Björk 2014, 17 - 22; Matilainen 2011, 88 - 91; Niemi 1993, 69 - 71.)

Lujuustarkastelu vaatii kuormien määrittämisen, jolloin kuormat joko saadaan aiemmin määritellyistä arvoista tai matemaattisesti laskemalla. Kuormien määrittämiseen käytetyt matemaattiset mallit ovat enemmän tai vähemmän idealisoituja, jonka vuoksi lujuuksien määrittämissä on yleensä aina virhemarginaalia. Kuormien määrittämisen apuna käytetään yleensä jäykän kappaleen statiikkaa, mikä perustuu ulkoisten voimien tasapainoon. Tasapaino ehdot täyttyvät seuraavilla yhtälöillä (Kaava 1).

Kaava 1 Tasapainoyhtälöt (N, Nm)

$$\sum F = 0$$

$$\sum M_0 = 0$$

- F = Rakenteeseen tai osaan kohdistuvat voimat (N)
- M₀ = Rakenteeseen tai osaan vaikuttavat momentit (Nm)

”Jäykän kappaleen ollessa tasapainossa on kaikkien siihen vaikuttavien voimien pidettävä toisensa tasapainossa”. (Niemi 1993, 69.) Oheinen sääntö on yksi tärkeimpiä lujuusopin perusteita. Vaikka rakenteet harvemmin ovat täysin jäykkiä, joudutaan lujuuslaskennassa usein yksinkertaistamaan todellista tilannetta niin sanotulla vapaakappale-mallilla. (Niemi 1993, 22, 69 -71.)

Kuormitusten aiheuttamat jännitykset voidaan jakaa rasituslajeihin. Veto- ja puristusvoimat saavat aikaan veto- ja puristusjännityksiä, jotka ovat normaalijännityksiä. Leikkausrasitus muodostuu leikkauspinnassa vastakkaisien voimien muodostamana leikkausjännityksenä. Taivutusmomenttirasitus taas esiintyy puristusjännityksenä sekä vetojännityksenä rakenneosan taipuessa, jonka vuoksi rakenneosan keskilinjaan muodostuu täten leikkausjännitys. Vääntömomenttirasitus johtuu momenteista, jotka pyrkivät kääntämään rakenne osaa oman keskilinjansa ympäri, jolloin rakenneosan ulkokehälle muodostuu leikkausjännitys. (Matilainen 2011, 93 - 102.)

Sallitun jännityksen ylärajana pidetään yleensä materiaalin myötörajaa (R_e). Tämä ei kuitenkaan ole ainoa mitoitusperuste. Rakenteessa tai osassa esiintyvät jännitykset voidaan jakaa primaarisiin, sekundaarisiin ja epälineaarisiin jännityksiin. Primaarijännitykset ovat rakenteen vallitsevia jännityksiä ja sekundaariset taas ovat paikallisia huippuarvoja. Epälineaariset jännitykset muodostuvat yleisimmin hitsaussaumojen rajalinjoille. Mitoittamisessa käytetään usein varmuuslukuperiaatetta, jossa mitoitus tapahtuu myötörajaan nähden suhdeluvun suuruutena. Varmuusluvulla pyritään ottamaan huomioon epätarkkuustekijät sekä kestävyys mahdollisissa ylikuormitustilanteissa. Varmuusluku staattisilla kuormituksilla tulisi olla noin 1,2 - 2,0. (Björk 2014, 28 - 29, 43; Matilainen 2011, 89 - 90; Niemi 2003, 12- 13.)

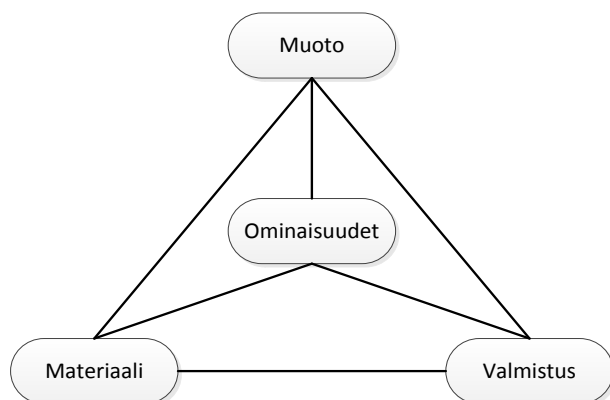
Tietokoneavusteinen suunnittelu mahdollistaa nykyään myös lujuuksien tarkastelun. Elementtimenetelmä eli FEM (Finite Element Method) perustuu kappaleeseen muodostettujen useiden sauvojen tasapainoyhtälöihin. 3D -mallista luodaan elementtiverkko, joka jäljittelee laskettavan kappaleen muotoja. Elementtiverkon tiheyttä voidaan muuttaa, riippuen laskennan halutusta tarkkuudesta. Haittana verkon tiheyden lisäämisellä on sen raskaus, joka vaatii tietokoneelta paljon laskentatehoa. Kappale tuetaan kiinnityspisteillä, jotka kuvaavat mahdollisimman hyvin todellista tilannetta. Kiinnityksien määrittämisen jälkeen kappaleelle asetetaan kuormitukset, jotka voivat olla voimia tai momentteja. Laskennan parhaimman onnistumisen kannalta on tärkeää määrittää kuormitukset mahdollisimman tarkasti. FEM-laskennasta saatuja tuloksia täytyy analysoida kriittisesti, sillä laskenta ei ota huomioon stabiliteetin vaikutuksia. FEM-ohjelmisto ei myöskään kykene jakamaan jännityksiä primaarisiin ja sekundaarisiin, jolloin laskennan ilmoittamat pienet paikalliset huippuarvot eivät suoraan johda rakenteen alimitoitukseen. FEM laskenta on kuitenkin korvaamaton apu monimutkaisten rakenteiden mitoittamisessa. (Hietikko 2008, 103 - 104; Hietikko 2010, 249 - 269.)

7 MATERIAALIT

Materiaalit voidaan luokitella perinteisen luokituksen mukaan metalleihin, keraameihin, lasihin, elastomeereihin, polymeereihin ja näiden kaikkien yhdistelmään eli komposiitteihin. Näistä käytetyimpiä materiaaleja ovat metallit. Teräs on yhä edelleen maailman käytetyin materiaali, mutta nousevana materiaalina pidetään alumiinia, joka mahdollistaa kevyiden rakenteiden suunnittelun. (Björk 2012, 73 - 75.)

Suunniteltavaan tuotteeseen olisi lähtökohtaisesti valittava materiaaleiksi edullisimmat vaihtoehdot. Valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa materiaalin saatavuus, erä koko, lujuusominaisuudet, korroosionkesto, hitsattavuus, muokattavuus, työstettävyys, ulkonäkö, varastointiaika ja -tilan tarve, sekä pintakäsittelyominaisuudet. Parhaaseen mahdolliseen lopputulokseen johtavaa optimaalista materiaalinvalintasytematiikkaa ei kuitenkaan ole.

Tämä johtuu valinnan moniulotteisuudesta ja myös erilaisten materiaalien runsaasta valikoimasta. (Björk 2014, 91; Piironen 2013, 6.)



Kuvio 4 Tuotteen vuorovaikutussuhteet. (Björk 2012, 74, muokattu.)

Tuotteen rakenne koostuu sen toimintojen ympärille, jolloin tuotteen toimintoihin ovat vuorovaikutuksessa sen muoto, materiaalit ja valmistusmenetelmät (Kuvio 4). Materiaalin valinnassa tulee ottaa huomioon valmistusmenetelmät, joilla materiaalista valmistettavia osia tullaan tekemään. Esimerkiksi hitsaaminen, valaminen, koneistaminen ja muovaaminen vaativat materiaaleilta erilaisia ominaisuuksia. Myös tuotteen halutut muodot ohjaavat materiaalivalintaa hyvin suuresti, sillä kaikkien materiaalien muovattavuus ei ole samalla tasolla. (Björk 2012, 74.)

Materiaalilla ja sen ominaisuuksilla on hyvin suuri vaikutus rakenteen kestävyteen. Esimerkiksi teräksellä on monia eri ominaisuuksia, kuten sitkeys-, venymä-, lujuus- ja kovuusominaisuuksia, jotka vaikuttavat rakenteen kestävyteen. Rakenteen lujuutta voidaan kasvattaa valitsemalla suurempia lujuuksia omaavia suurlujuusteräksiä, kun taas jäykkyyden lisäämisessä tulee kasvattaa rakenteen tai osan äärimittoja. Tämä johtuu teräksen kimmomoduulista, joka on kaikilla teräslaaduilla lähes sama. Myös teräksen tiheys on sama kaikilla teräslaaduilla, joten painon tiputtamisen vaatii lujempien teräksien käyttöä. (Björk 2012, 77 - 80; Piironen 2013, 6 - 7.)

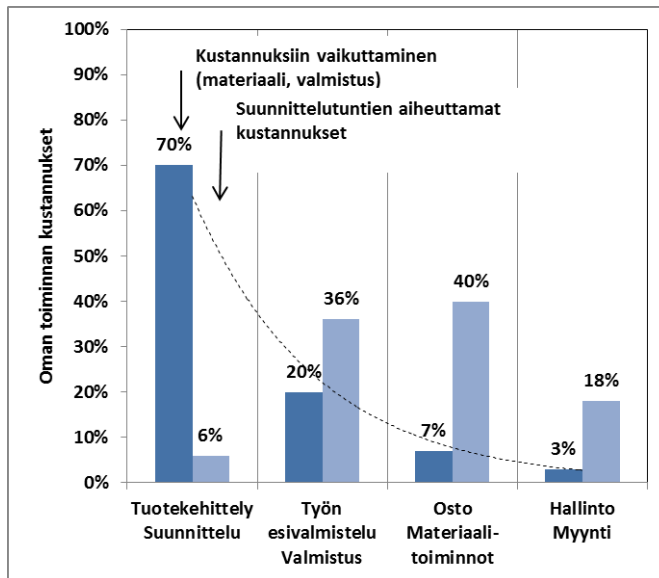
Suunniteltaessa tuotetta on syytä selvittää käytettävien materiaalien saatavuus ja materiaaliainhioiden varastointikoot. Materiaaliainhio on esimerkiksi jokin tietyn muotoinen ja mittainen rakenneputki tai pyöröterästanko. Materiaalivalinnoissa olisi syytä hyödyntää suurten valmistajien käyttämiä materiaaliainhioita, jolloin saatavuus on parempaa ja kustannukset alhaisempia. Myös tuotteen rakenteessa sekä

tuoteperheen sisällä olisi suotavaa käyttää samaa materiaaliahiota mahdollisimman paljon, sillä näin voidaan tehostaa tuotantoa vähäisillä materiaali- ja asetusvaihdolla. (Piironen 2013, 12.)

8 KUSTANNUKSET

”Hyvin suunniteltu on puoliksi tehty” – sanonta kuvaa hyvin onnistunutta tuotekehitysprosessia. Valitettavan usein kuitenkin erityisesti suomalaisissa konepajoissa tämä sanonta ei toteudu, vaan se käännetään muotoon ”ensin suunnitellaan ja sitten tehdään”. Jos valmistus jätetään huomioimatta suunnitteluvaiheessa seuraa tuotantovaiheessa haasteita, jotka aiheuttavat ylimääräisiä kustannuksia organisaatiolle. Suurimaksi ongelmaksi kuitenkin muodostuu se, että suunnittelijoiden resurssit hukkuvat tuotannossa ilmenevien haasteiden selvittämiseen ja korjaamiseen. Näin ollen varsinaiseen tuotekehitykseen ei riitä aikaa. Jos tuote suunniteltaisiin jo alusta asti huolellisesti, mahdolliset ongelmat huomioiden, jäisivät ylimääräiset kustannukset pieniksi. (Hietikko 2008, 151.)

Tuotteen kustannuksista määräytyy suurin osa jo suunnitteluvaiheessa. Suunnittelun vaikutuksenalaisia kustannuksia tuotteessa on jopa 70 - 80 % (Hietikko 2008, 151.), kun suunnitteluajasta aiheutuvat kustannukset ovat vain murto-osa siitä (Kuvio 5). Tälläkin perusteella voidaan suunnitteluprosessin todeta olevan erittäin tärkeässä asemassa kannattavan liiketoiminnan näkökulmasta.



Kuvio 5 Kustannuksien vaikutusalueet. (Piironen 2013, 4, muokattu.)

Suunnitteluvaiheessa voidaan vaikuttaa tuotteen muuttuviin kustannuksiin, jotka koostuvat mm. materiaaleista, standardi-osista, valmistusmenetelmistä ja valmistusajoista. Kiinteisiin kustannuksiin ei kuitenkaan tuotekehityksellä juurikaan voida vaikuttaa, sillä ne pysyvät lähes samoina tuotantomääristä riippumatta. Kiinteitä kustannuksia ovat esimerkiksi tuotannon koneiden poistot. Itse suunnittelusta aiheutuvat kustannukset eivät ole merkittäviä ja tuotekehitykseen panostetut resurssit maksavat itsensä takaisin yli kymmenkertaisesti (Kuvio 5). Tämän vuoksi yritysten olisi hyvä lisätä resursseja tuotekehitykseen. Valitettavan usein tämä kuitenkin nähdään vain ylimääräisenä kuluna. (Järvenpää 2010, 54 - 56; Piironen 2013, 4.)

Monet menestyneet yritykset ovat käsittäneet suunnittelun tärkeyden kustannustehokkaassa toiminnassa. Esimerkiksi Samsung, Toyota ja Catepillar hyödyntävät tehokkaasti suunnittelukeskeistä toimintatapaa. Ne ovat oivaltaneet, että tuotteen suunnittelun alkuvaiheissa kustannuksiin voidaan vaikuttaa ylivoimaisesti eniten. Vaikutusmahdollisuudet tuotteen kustannuksiin pienenevät sitä mukaan mitä pidemmälle työ tuotannossa etenee. Tuotantovaiheessa kustannuksiin voidaan puuttua ainoastaan tuottavuutta parantamalla. (Järvenpää 2010, 168.)

Suuri osa tuotekehitysprosesseista on platform-prosesseja, jolloin jo olemassa olevaa tuotetta halutaan jatko-kehittää. Tällöin voidaan puhua niin sanotusta tavoitekeskeisestä kustannuslaskennasta. Tavoitekustannuslaskennassa (Target

Costing) pääperiaatteena on tuotteen myyntihinnan määrittäminen asiakaskeskeisesti, jonka jälkeen asetetaan yläraja tuotteen valmistuskustannuksille. Kyseinen laskentamalli sai alkunsa kilpailun vapauduttua ja kiristyttyä lähes kaikilla markkinoilla joitakin vuosia sitten. Tätä ennen vähän kilpailuilla ja säädellyillä markkinoilla hinnoittelu tapahtui hyvin kustannusperusteisesti – myyntihinta oli tuotantokustannusten ja voittotavoitteen summa. Viitteitä tavoitekustannuslaskentaan voidaan kuitenkin löytää jo 1930 -luvulta. Esimerkiksi tunnetun Volkswagen ”Kuplan” suunnittelun pohjana oli 990 DM:n tavoitehinta. Platform-prosesseissa tuotteen nykyinen markkinahinta määrittelee uuden tuotteen valmistuskustannukset, mikä mukaillee hyvin tavoitekustannuslaskennan periaatteita. (Järvenpää 2010, 168; Tenhunen 2013)

8.1 Kustannusten arviointi ja laskenta

Kustannusten arviointi on haastavin osa tuotekehitysprosessia.

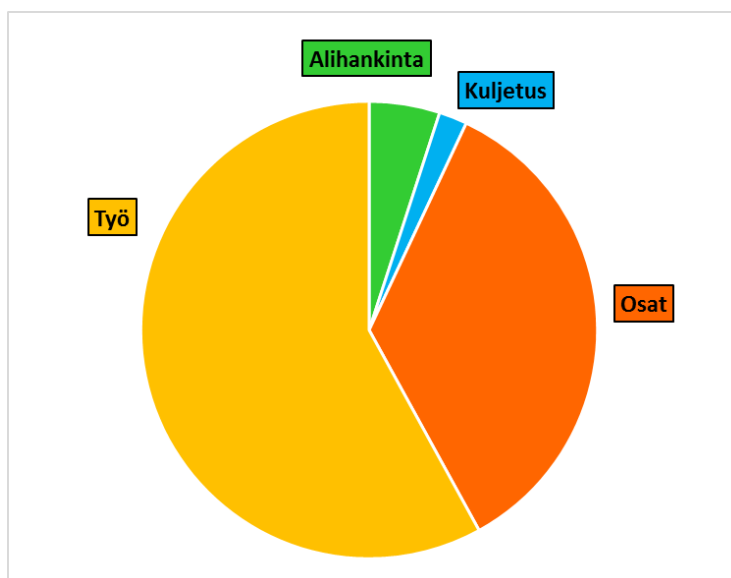
Tuotekehitysprosessin alkuvaiheissa olisi erittäin tärkeää kyetä arvioimaan tuotteen materiaali- ja valmistuskustannukset mahdollisimman tarkasti. Kustannusten arviointi joudutaan konseptisuunnitteluvaiheessa perustamaan yrityksen kokemuksiin ja aiempien vastaavanlaisten tuotteiden vertailuihin. Mitä pitemmälle tuotteen konstruktion suunnittelussa edetään, sitä helpommaksi kustannusten arviointi muuttuu. Toisaalta samalla myös pienenevät mahdollisuudet vaikuttaa tuotteen kustannuksiin. (Hietikko 2008, 152.)

Mitä kokeneempi suunnittelija on, sitä tarkemmin hän pystyy arvioimaan seikkoja, jotka vaikuttavat kustannuksiin. Kuitenkaan edes kokenut suunnittelija ei aina pysty huomioimaan kaikkia kustannuksiin vaikuttavia seikkoja, esimerkiksi tuotannon asettamia vaatimuksia. Yrityksen oman ja alihankkijoiden konekannan tuntemus on tärkeä tekijä suunnittelijan tekemissä valmistusteknisissä valinnoissa.

Kustannusarvioinnin myötä voidaan päättää tuotekehitysprosessin kannattavuudesta ja sen viennistä seuraavaan vaiheeseen. (Hietikko 2008, 152; Piironen 2013, 6)

”Yrityksillä on useita syitä laskea tuote- ja palvelukohtaisia yksikkökustannuksia. Tätä informaatiota voidaan käyttää hinnoittelussa, toiminnan tehostamisessa, valmistettavien tuotteiden valinnassa, toiminnan ohjauksessa sekä ’ostaa vai

valmistaa’ -päätöksissä.” (Järvenpää 2010, 101.) Yksikkökustannusten arviointiin voidaan käyttää useita erilaisia menetelmiä. Käytetyimpiä menetelmiä kustannuslaskentaan ovat jakolaskenta ja lisäyslaskenta. Näitä laskentamenetelmiä sovelletaan erilaisissa tuotantotavoissa; jakolaskenta sopii yhtenäiseen massatuotantoon kun taas lisäyslaskenta on käyttökelpoisempi erätuotannossa, jossa on useita erilaisia tuoteryhmiä. Konepajateollisuuteen lisäyslaskenta on siis sopivampi vaihtoehto. Kun yritys hyödyntää kustannusten määrittelyssä lisäyslaskentaa, luokittelee se kulunsa välittömiin ja välillisiin kustannuksiin. Välillisiä kustannuksia ovat esimerkiksi johdon palkat ja koneiden poistot, kun taas välittömiin kustannuksiin voidaan laskea muun muassa raaka-aine ja valmistuskustannukset. Kuten aiemmin jo todettiin, on tuotekehityksellä mahdollista vaikuttaa ainoastaan välittömiin kustannuksiin. (Järvenpää 2010, 101, 113 - 114.)



Kuvio 6 Hitsatun rakenteen valmistuskustannuksien jakautuminen. (Piironen 2013, 6, muokattu.)

Tuotteiden valmistuskustannukset muodostuvat työstä, materiaalista, pintakäsittelystä ja kuljetuksesta, työn osuus on suurin noin 60 % (Kuvio 6). Työ pitää sisällään osien valmistuksen, hitsauksen ja kokoonpanon. Osien valmistuskustannukset sisällytetään usein materiaalikustannuksiin kun käytetään alihankintaverkostoja. Tärkeää on määrittää suurimmat kustannustekijät ja pyrkiä alentamaan niitä. Valmistusmenetelmiksi tulisi jo suunnitteluvaiheessa valita tehokkaimmat ja taloudellisimmat vaihtoehdot sekä suosia koneellisia menetelmiä. (Piironen 2013, 6.)

8.2 Hitsauskustannukset

Hitsauskustannukset voidaan laskea monella eri suhteella, yleisimmät tavat ovat hitsiainetuotto tai hitsattava matka aikaan suhteutettuna. Hitsauskustannukset ilmoitetaan joko matkaa, aikaa tai hitsiainekiloa kohden. Hitsauskustannuksiin vaikuttavat myös esimerkiksi kappaleiden siirtoajat, asettelu sekä viimeistely, joita pyritään huomioimaan paloaikasuhteella. Paloaikasuhte on valokaaren paloajan ja työn kokonaisajan suhde, jonka vuoksi kaariajan tehostamisen lisäksi olisikin tärkeää tehostaa koko valmistusprosessia. Tyypillisin paloaikasuhte vaihtelee 20 - 40 % välillä. Sitä on kuitenkin vaikea määrittää laskennallisesti, joten paloaikasuhteen määrittäminen tulee tehdä työpaikkakohtaisilla mittauksilla tapauskohtaisesti. (Lukkari 2011, 2 - 4; Lukkari 2002, 58 - 61.)

Käsin hitsauksen kustannukset voidaan laskea melko tarkasti. Kustannukset koostuvat työkustannuksista, hitsausainekustannuksista, suojakaasukustannuksista, energiakustannuksista ja koneen tuntihinnasta. Kaavat joita laskennassa käytetään, ovat seuraavanlaiset (Kaava 2 - Kaava 7). (Lukkari 2002, 58 - 61.)

Kaava 2 Työkustannukset. (K_T)

$$K_T = \frac{M}{T} * \frac{1}{e} * H_T (\text{€} / m)$$

- M = Hitsiainemäärä (kg/m)
- T = Hitsiaineentuotto (kg/h)
- e = Paloaikasuhte
- H_T = Työtunnin hinta (€/h)

Kaava 3 Hitsauslisäaineen kustannukset. (K_L)

$$K_L = M * \frac{H_L}{N} (\text{€} / m)$$

- M = Hitsiainemäärä (kg/m)
- H_L = Lisäaineen ostohinta (€/kg)
- N = Hyötyluku

Kaava 4 Suojakaasukustannukset. (K_S)

$$K_S = \frac{M}{T} * V * H_S * 0,12 (\text{€} / m)$$

- M = Hitsiainemäärä (kg/m)
- T = Hitsiaineentuotto (kg/h)
- V = Kaasun virtaus (l/min)
- H_S = Suojakaasun ostohinta (€/m³)

Kaava 5 Energiakustannukset. (K_E)

$$K_E = M * E * H_E (\text{€} / m)$$

- M = Hitsausainemäärä (kg/m)
- E = Energian kulutus (kWh/hitsiainekilo)
- H_E = Energian hinta (€/kWh)

Kaava 6 Konekustannukset. (K_K)

$$K_K = \frac{M}{T} * \frac{1}{e} * H_{KT} (\text{€} / m)$$

- M = Hitsiainemäärä (kg/m)
- T = Hitsiaineentuotto (kg/h)
- e = Paloaikasuhte
- H_{KT} = Koneen tuntihinta (€/h)

Kaava 7 Koneen tuntihinta. (H_{KT})

$$K_{KT} = (H_H * (\frac{1}{T_p} + \frac{P}{2 * 100}) + Y) * \frac{1}{T_K} (\text{€} / m)$$

- H_H = Koneen ostohinta (€)
- T_p = Koneen poisto aika (a)
- p = Pääoman korkoprosentti (%)
- Y = Vuosittaiset kunnossapitokustannukset (€)
- T_K = Koneen vuosittainen käyttöaika (h)

Hitsatun rakenteen kokonaiskustannuksista noin 60 % koostuu työstä (Kuvio 6).

Työosuus pitää sisällään myös hitsauksesta aiheutuvat kustannukset, jonka vuoksi on tärkeää ottaa hitsauskustannukset huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Itse hitsauksesta aiheutuviissa kustannuksista työn osuus on noin 80 - 90 %. Merkittävin tekijä hitsauskustannuksissa on hitsaussauman määrä, minkä vuoksi hitsaussaumoja tulisi suunnitella rakenteeseen mahdollisimman vähän. Hitsausaineen kulutukseen vaikuttaa hitsausauman pituus sekä sen vahvuus. Muistisääntönä voidaan pitää 2/3 sääntöä, jossa hitsaussauman vahvuuden kasvaessa kaksinkertaiseksi kasvavat hitsauskustannukset kolminkertaiseksi. Ylimoitusta tulisi siis välttää, jolloin tasalujiksi hitseiksi mitoitetaan ainoastaan kriittiset voimaliitokset. Myös turhan paksut materiaalit aiheuttavat ylimääräisiä hitsauskustannuksia, sillä niiden lämmön ja hitsausainemäärän tarve on suurempi. Olisi siis suotavaa käyttää lujempia teräksiä, jolloin voidaan alentaa materiaalin vahvuutta.

Myös hitsauksen valmistusprosessin kokonaisvaltainen tehostaminen esimerkiksi hyvällä luoksepäästävyydellä ja osien itsepaikoituksella on erityisen tärkeää kustannusten kannalta, sillä ne alentavat työn kokonaisaikaa ja parantavat paloaikasuhdetta. (Lukkari 2011, 3 - 4, 7 - 8; Piironen 2013, 40 - 42.)

9 VALMISTUSTEKNOLOGIAT TUOTEKEHITYKSESSÄ

Valmistusmenetelmien huomioimiseen tuotekehityksessä on laadittu monia eri periaatteita ja myös laskennallisia ohjeita. Onkin tärkeää ottaa nämä ohjeet huomioon suunnittelussa ja varmistaa onnistunut tuotteen valmistus. Seuraavissa kappaleissa käsitellään tässä opinnäytetyössä käytettyjä valmistusmenetelmiä suunnittelun näkökulmasta.

9.1 Ohutlevyteknioiden hyödyntäminen suunnittelussa

Ohutlevyt rajataan perinteisesti 3 - 4 mm ainevahvuuksiltaan oleviin levyihin, vaikka nykyaikaiset valmistusmenetelmät kykenevät käsittelemään tätäkin paksumpia ainevahvuuksia. Ohutlevyrakenteiden päätarkoituksena on kuitenkin keventää painoa rakenteen jäykkyydestä tinkimättä. Tyypillisimpiä esimerkkejä tällaisista rakenteista ovat kenno- ja kotelorakenteet. Onnistuneesti suunniteltu ohutlevyrakenne vaatii erittäin monenlaisia huomioita, vaikka kappaleiden muodoiksi sallitaan hyvinkin monimutkaisia rakenteita. Ohutlevytuotteita valmistaessa ensimmäisenä työvaiheena on yleensä levyn leikkaaminen. Leikkausmenetelmänä käytetään edullisinta ja tehokkainta tapaa huomioiden samalla kappaleen vaatimat toleranssit, sillä täten voidaan välttää ylilaatu ja näin säästää kustannuksissa. Suurimpina tekijöinä leikkausmenetelmää valittaessa on otettava huomioon erän valmistusmäärät, kappaleen muodot sekä leikattavan materiaalin ominaisuudet. (Matilainen 2011, 3, 142, 169, 205; Piironen 2013, 17.)

9.1.1 Laserleikkaus

Laserleikkaus on yksi termisenleikkaamisen menetelmä, muita menetelmiä ovat plasma- ja kaasuleikkaus. Laserleikkauksen suosio on noussut viimeaikoina hyvin merkittäväksi, mihin syynä lienevät menetelmän huomattavat edut ja tehokkuus. Laserleikkaus mahdollistaa metallien lisäksi monien muidenkin materiaalien leikkuun. Teräksellä leikkuupaksuudeksi suositellaan 5 - 10 mm, mutta maksimissaan paksuus voi olla jopa 25 mm, mikä riittääkin tavanomaisessa koneenrakennuksessa vallan mainiosti. Lisäksi leikkausjälki on lähes moitteeton eikä täten tarvitse viimeistelyä juuri koskaan. Paksuimmilla vahvuuksilla on kuitenkin otettava huomioon tarkkojen yksityiskohtien ja pienien reikien minimointi, sillä ne aiheuttavat ylimääräisiä ongelmia sekä heikentävät sulan poistumista railosta. Myös pinnankarheus kärsii paksuja materiaaleja leikattaessa. Järkevämpää onkin vaihtaa materiaalia, paksuuden kasvattamisen sijaan, kun lujuutta halutaan lisätä. (Matilainen 2011, 158 - 169.)

Yleisesti laserleikkaamisen tarkkuutena pidetään 0,1 mm, materiaalivahvuuden ollessa alle 10 mm. Tarkkuus riittää normaaleihin levyliitoksiin, mutta ei saavuta aivan soviteliitosten vaatimia toleransseja. Railon leveys laserleikkauksessa on noin 0,5 - 1,0 mm. Laitteiston ollessa kunnossa, ei railon alareunaan muodostuvaa pursetta tarvitse ottaa huomioon, kun taas normaalisti termisillä leikkausmenetelmillä purseen muodostuminen on yleistä. (Matilainen 2011, 158 - 169.)



Kuvio 7 3D -laaserleikkaus (Trumpf 2015.)

Laserleikkauksella leikattavat muodot voivat olla erittäin monimutkaisia. Leikkauslinjoja yhdistämällä voidaan kappaleen kaikki muodot toteuttaa ainoastaan yhdellä aloituksella ja lopetuksella. Näitä ominaisuuksia kannattaakin hyödyntää koko valmistusketjua ajatellen. Ylimääräisiä osia voidaan jättää pois, sekä osiin voidaan lisätä paikoitusnastoja, esimerkiksi ulokkeita ja koloja, sillä nämä helpottavat osien itsepaikoitusta hitsauskokoontamovaiheessa. Paikoitusnastojen sovitevälykset tehdään yleisesti noin 0,2 mm tarkkuuteen. Laserleikkaus mahdollistaa myös niin sanotun 3D-leikkaamisen (Kuvio 7). Tyypillisimpiä 3D-leikkaamisen sovellusalueita ovat muovattujen kappaleiden aukotus sekä palkkien- ja putkiprofiilien leikkaamiset ja aukotukset. Aukotuksia voidaan tehdä myös kokoonpanohitsauksen jälkeen, jolloin rakenteen tarkkuus ja lujuus kasvavat entisestään. (Matilainen 2011, 164 - 169.)

9.1.2 Levytyökeskus

Levytyökeskus on osa mekaanisia leikkausmenetelmiä. Leikkausmenetelmässä syntyy leikkautunutta pintaa noin 20 - 60 %, jota kutsutaan kiillottuneeksi vyöhykkeeksi. Muodonmuutosrajan ylittyttyä, leikkauspinnan loppuosa repeää mikä saa aikaan heikkolaatuisen pintalaadun etenkin paksuimmilla materiaaleilla. Tyypillisimmät materiaalipaksuudet levytyökeskuksella lävistettäessä ovat 0,5 - 8 mm välillä. Levytyökeskuksen kustannukset eivät muutu 1 - 5 mm materiaalivahvuuksilla, tämä on huima etu laserleikkaukseen verrattuna, jossa kustannukset nousevat lähes suoraan verrannollisesti materiaalin vahvuuteen nähden (Matilainen 2011, 189.). Menetelmä soveltuu lähes kaikille materiaaleille. Levytyökeskus on parhaimmillaan

erittäin nopea ja se onkin erittäin tehokas, kun valmistetaan suuria eräkokoja ja runsasreikäisiä kappaleita joissa leikkausmuodot ovat toistuvia. Nykytekniikan ohjelmointi mahdollistaa kuitenkin pienempienkin määrien valmistuksen levytyökeskuksella, kunhan huomioidaan yksinkertaiset muodot. (Matilainen 2011, 169 - 170, 180 - 181; Piironen 2013, 21 - 22.)

Mekaanisessa leikkaamisessa käytetään terinä yleensä suoraviivaisia tai suljettuja muotoja. Yleisimpiä standardoituja muotoja ovat pyöreät ja neliömäiset reiät. Työkaluja on saatavilla myös räätälöitynä, jolloin voidaan toteuttaa monimutkaisempia muotoja yhdellä lävistysiskulla. Räätälöidyt työkalut ovat kuitenkin kalliita, eikä niitä suositella käytettäväksi kuin erittäin suurissa eräkoissa. Nykyaikaiset MULTITOOL -työkalut sisältävät useita muotoja samassa työkalussa, mikä mahdollistaa useamman erilaisen reiän käytön kappaleessa, kuitenkin hidastamatta työvaihetta. Kappaleet irrotetaan levystä nakertamalla tai kulmaleikkurilla. Kulmaleikkurilla on mahdollista irrottaa suoraviivainen kappale levystä yhdellä iskulla, kun taas nakertamisella kappaleen leikkaus toteutetaan useilla limittäisillä iskuilla. Suunnittelussa on otettava huomioon nakertamisen aiheuttama epätasainen leikkuupinta. Niin sanotut INDEX -työkalut mahdollistavat leikkuupään käännön, jolloin muotojen ei tarvitse olla ainoastaan suoraviivaisia.

Monipuolisimmillaan levytyökeskus voi sisältää myös termisiä leikkauslaitteita, jolloin saadaan myös esimerkiksi laserleikkauksen edut mukaan nopeaan mekaaniseen lävistämiseen. Myös pienimuotoiset muovaukset ovat mahdollisia, joilla voidaan lisätä esimerkiksi levypinnan jäykkyyttä. Muovaustyökaluilla on mahdollista saada aikaan esimerkiksi uria, kauluksia ja ilmarakoja. Tärkeintä on ottaa selvää levytyökeskuksessa käytössä olevat työkalut sekä lisävarusteet ja huomioida niiden muodot ja mahdollisuudet suunnitteluvaiheessa. (Matilainen 2011, 182 - 183, 187; Piironen 2013, 21 - 22.)

Levytyökeskuksen tarkkuus muodostuu paikoitustarkkuudesta joka normaalisti on noin $\pm 0,1$ - $\pm 0,15$ mm sekä toistotarkkuudesta joka on $\pm 0,3$ mm. Nämä tarkkuudet toteutuvat noin 40 - 80 m/min tavanomaisella paikoitusnopeudella. Myös työkaluvälitys on otettava huomioon levytyökeskuksen tarkkuudessa. Välitys on yleisesti noin 10 - 30 % materiaalin vahvuudesta. Leikattavien reikien ulkoreunojen välin sekä etäisyyden levyn reunasta tulisi olla kaksi kertaa materiaalin vahvuuden suuruinen.

Samoin myös reikien sijoitus taivutuksen ulkoreunasta pitäisi olla vähintään kolme kertaa materiaalin vahvuuden suuruinen. (Matilainen 2011, 181 - 187; Piironen 2013, 21.)

9.1.3 Särmäys

Särmääminen on yksinkertaisin ja yleisin tapa taivuttaa levyä. Särmäyksessä levy taivutetaan painamalla yläterää alavastinta vasten. Särmäysmenetelmiä on kolmea erilaista kuten vapaataivutus, pohjaaniskutaivutus ja taivutus elastista alaterää vasten. Vapaassa taivutuksessa taivutus tapahtuu kolmen pisteen välillä, kun pohjaaniskutaivutuksessa yläterä painetaan täysin alaterää vasten. Vapaataivutus on epätarkin taivutusmenetelmä, jonka vuoksi sitä ei voida käyttää tarkkojen kappaleiden valmistuksessa. Tärkein taivuttamisen ominaisuus on mahdollisuus korvata hitsejä ja vähentää näin osia. Lisäksi taivutukset mahdollistavat levyrakenteen jäykistämisen ja lisäävät näin rakenteen stabiiliutta. Taivuttaminen on kuitenkin vaativa prosessi, jonka vuoksi suunnittelussa se täytyy ottaa tarkasti huomioon. (Matilainen 2011, 133, 239 - 242, 248; Piironen 2013, 25.)

Särmättävän kappaleen mittojen tulee olla soveltuvat käytettävälle särmäyspuristimelle. Tyypillisimmät särmäyspuristimet ovat 2 - 4 m leveitä, mutta myös jopa 10 m leveitä särmäyspuristimia on olemassa. Ongelmallisin ominaisuus levyn taivuttamisessa on takaisinjousto. Takaisinjoustoon vaikuttaa levyn geometria, materiaali, käytettävät työkalut ja taivutuskone. Tärkeimpiä tekijöitä taivutuksen suunnittelussa ovat taivutussäde, taivutettavien laippojen korkeudet sekä kappaleen oikaistu pituus. Oikaistu kappale saadaan helpoiten luotua nykyaikaisten suunnitteluohjelmistojen avulla. Muut ominaisuudet on suunnittelijan otettava huomioon suunnitteluvaiheessa. Minimi taivutussäde määräytyy pääasiassa materiaalin, työtavan ja kappaleen ominaisuuksien mukaan. Materiaalien valmistajat ilmoittavat yleensä materiaalien minimi-taivutussäteet. Kappaleen kaikissa taivutuksissa on hyvä käyttää samaa taivutussädettä, jos se vain on mahdollista, sillä näin välttyään ylimääräisiltä työkalun vaihdoilta. Valmistajan antaman minimi taivutussäteen alle on vaikea päästä, eikä sitä suositella, sillä vaarana on taivutuksen ulkopinnan venymän aiheuttama murtuminen. Pienen taivutussäteen aikaansaamiseksi voidaan käyttää apuna perforointia, jossa taivutuslinjaan tehdään

reikäjono. Viimeisenä taivutuksen suunnittelussa täytyy ottaa huomioon taivutettavien laippojen minimi pituus. Se saadaan yleensä selville levyvalmistajien taulukoista, mutta sitä voidaan myös arvioida seuraavilla kaavoilla (Kaava 8, Kaava 11).

Kaava 8 Taivutettavan laipan minimi pituus. (b)

$$b = r_s * 2s(mm)$$

- r_s = Sisäsäde (mm)
- s = Materiaalin vahvuus (mm)

Kaava 9 Taivutettavan laipan minimi pituus 90° taivutuksessa. (b)

$$b = \frac{\sqrt{2}}{2} * W(mm)$$

- W = Alatyökalun leveys (mm)

Taivutettavat laipat eivät saa myöskään olla liian korkeita. Tähän ei kuitenkaan ole olemassa sen tarkempia ohjeita, vaan rajoitukset tulevat käytännössä taivutuslaitteistosta ja työkaluista. Reikien ja lovien sijoittaminen voidaan määrittää aiemmin mainittujen nyrkkisääntöjen lisäksi myös laskemalla. Seuraavilla kaavoilla on mahdollista laskea minimi-etäisyys reiän ja loven ulkoreunasta taivutuslinjaan (Kaava 10, Kaava 11).

Kaava 10 Minimi-etäisyys reiän ulkoreunasta taivutuslinjaan. (x_1)

$$x_1 = \sqrt{d * s} + 0,8 * R_i * \sqrt{\frac{b}{d}}(mm)$$

- d = Reiän halkaisija (mm)
- s = Materiaalin vahvuus (mm)
- R_i = Taivutuksen sisäsäde (mm)
- b = Laipan pituus (mm)

Kaava 11 Minimi-etäisyys loven ulkoreunasta taivutuslinjaan. (x_2)

$$x_2 = 1,1 * \sqrt{d * s} + 0,8 * R_i * \sqrt{\frac{b}{d}}(mm)$$

- d = Reiän halkaisija (mm)
- s = Materiaalin vahvuus (mm)
- R_i = Taivutuksen sisäsäde (mm)
- b = Laipan pituus (mm)

Suosittelavia kulmia ovat 45, 90 ja 135 astetta, muiden kulmien käyttämiseen täytyy löytyä perustelut, sillä ne aiheuttavat ylimääräistä työtä valmistusvaiheessa. Suurien sarjojen valmistuksessa on kannattavaa tehdä muutamia taivutuskokeita ennen varsinaista tuotannon aloittamista. (Matilainen 2011, 245 - 258, 262; Piironen 2013, 26 - 28, 33 - 34.)

Taivutuksen tarkkuutena voidaan yleisesti pitää $\pm 0,5$ mm. Tarkkuus koostuu taivutuksen sijainnista ja itse taivutuksesta. Taivutuksen sijaintiin vaikuttaa hyvin suuresti levyn leikkauksessa muodostuneet mittavirheet, sillä yleensä taivutuslinja mitataan levyn ohjausreunaan eli johonkin leikatuista reunoista.

Suunnitteluvaiheessa onkin hyvä määrittää ohjausreunan tarkkuus ja mitoittaa taivutuslinjat samaa ohjauslinjaa käyttäen. (Matilainen 2011, 253 -254.)

Suljettuja muotoja taivuttaessa on taivutuslinjojen leikkauspisteisiin hyvä tehdä helpotuksia. Yksinkertaisin helpotus on tehdä leikkauspisteisiin reikä, mikä onnistuu helposti niin termisillä kuin mekaanisilla leikkausmenetelmillä. Reiän halkaisija tulee olla vähintään kaksi kertaa taivutuksen sisäsäde. Pyöreä muoto estää repeämisen ja tekee kappaleesta kestävämmän, sekä toimii myös hyvänä vesireikänä. Suljetussa muodossa laippojen väliin muodostuvaan nurkkaan on hyvä jättää rakoa noin 0,5 - 1 kertaa materiaalin vahvuuden verran. (Matilainen 2011, 259 - 263; Piironen 2013, 30.)

9.1.4 Taivutusautomaatti

Taivutusautomaatti on parhaimmillaan kun valmistettava kappale sisältää paljon erisuuntaisia taivutuksia. Taivutusautomaatilla valmistettavan kappaleen suunnittelussa täytyy huomioida lähes samat asiat kuin särmätyn kappaleen suunnittelussa. Suurimmat ja tiukimmat rajoitteet särmäykseen verrattuna ovat materiaalin vahvuus, levyaihion koko sekä taivutettavien laippojen korkeudet. Laipan korkeus saa yleisesti olla noin 210 mm, mutta rajat ovat kuitenkin konekohtaisia. Taivutusautomaatti käsittelee kappaletta tason päällä, jonka vuoksi valmistettavan kappaleen viimeinen taivutus on suunniteltava ylöspäin. Menetelmän mittatarkkuus on tarkempi kuin särmäyksen, joka mahdollistaa monipuolisia muotoja. Muodot

voivat olla esimerkiksi pyöreitä linjoja tai vaikkapa täysin suljettuja kotelomuotoja, jotka lisää rakenteen jäykkyyttä merkittävästi. (Matilainen 2011, 133, 267 - 271.)

9.2 Hitsauksen huomioiminen suunnittelussa

Hitsaus on yksi käytetyimmistä metallien liittämismenetelmistä. Se on hyvin laaja käsite ja pitää sisällään monia eri hitsausmenetelmiä ja -prosesseja. Hitsausprosessit on ryhmitelty standardissa SFS-ISO EN 4063:ssa, jopa 70 erilaiseen luokkaan. Käytetyin hitsausprosessi Suomen konepajateollisuudessa kuitenkin on MIG/MAG -hitsaus. Seuraavissa osioissa käsitellään hitsatun rakenteen suunnittelua perinteisimmille hitsausprosesseille. Hitsatun rakenteen ensisijainen vaatimus on, että se kestää siihen kohdistuvat rasitukset. Suunnittelussa on myös tärkeää ottaa huomioon kolme päätekijää: hitsattava perusaine sekä hitsattavuus rakenteellisesta ja valmistuksellisesta näkökulmasta. Nämä tekijät voidaan vielä avata Piironen luokittelemiin viiteen vaiheeseen: materiaalin valinta, hitsin koko ja mitoitus, railo ja liitostyyppi, valmistettavuus ja hitsille asetettava vaatimukset. (Lukkari 2002, 23; Matilainen 2011, 274 - 275; Piironen 2013, 40.)

Hitsiliitokset voidaan jakaa liitostyyppeihin, jotka ovat voimaliitos, kiinnitysliitos, sideliitos ja varusteluhitsi. Voimaliitos kytkee rakenneosat sarjaan ja välittää samalla rasituksia osasta toiseen. Voimaliitos mitoitetaan tasalujaksi rakenteen sisältämien osien mukaan. Kiinnitysliitos on tyyppillinen levyrajojen ja tankojen liitoshitsi, jota käytetään esimerkiksi I -palkin kasaamiseen. Kiinnitysliitoksessa saumat ovat yleensä pitkiä, jonka vuoksi liitoksessa voidaan käyttää myös katkositsejä. Sideliitoksella voidaan kiinnittää rakenteiden tukiosia, kuten esimerkiksi kotelopalkin sidelevyt. Sidosliitokseen ei varsinaisesti kohdistu rasituksia, eikä sitä sen vuoksi tarvitse mitoittaa tarkasti. Varusteluhitseiksi taas luetaan kannakkeiden kiinnitykset rakenteeseen. Tärkein huomio varusteluhitsiä suunnitellessa on sen sijoittelu ja tarvittavan lämmön tuonti väsymismurtumien ja halkeamien muodostumisen ehkäisemiseksi. (Matilainen 2011, 110 - 111; Niemi 1993, 16 - 21; Piironen 2013, 40.)

Hitsausliitosmuotoja on neljä erilaista, ne ovat päittäisliitos, päällekkäisliitos, kulmaliitos ja reunaliitos. Liitosmuodot voidaan jakaa vielä railo- ja hitsimuotoihin, joilla liitos on mahdollista toteuttaa. Yleisimmät railo- ja hitsimuodot, jotka on

määritelty standardissa SFS 3052, ovat pienahitsi, V-hitsi, puoli V-hitsi ja I-hitsi. Railon valitsemiseen vaikuttaa eniten hitsausasento. Yleisimmät hitsausasennot ovat jalkohitsi, lakihitsi, pystyhitsi ja vaakahitsi. Pienahitsi voidaan jakaa lisäksi jalkopienahitsiin, alapienahitsiin ja yläpienahitsiin. Jalko- ja jalkopienahitsit ovat edullisimpia hitsausasentoja, jonka vuoksi tuotteen suunnittelussa on pyrittävä suosimaan kyseisiä hitsausasentoja. Hitsaussaumot sallivat hitsattavien kappaleiden väliin pienen ilmaraon, mutta rako ei saisi kuitenkaan yleisesti olla yli 2 mm suurempi. Vaativampien hitsien suunnittelussa on syytä kääntyä yrityksen tuotannon tai ulkopuolisen asiantuntijan puoleen. Tarkempia ohjeita railon mitoittamiseen löytyy standardin SFS-EN ISO 9692 osista 1 - 3. (Niemi 1993, 12, 13 - 15, 224, 286 - 287.)

Hitsin mitoittaminen on yksi hitsauksen suunnittelun päätekijä. Hitsausliitoksen staattiseen mitoittamiseen on olemassa Eurokoodi 3 SFS-EN 1993 standardi, joka sisältää laskennallisia hitsauksen mitoitusperusteita. Mitoittaminen on kuitenkin haastavaa monimutkaisissa rakenteissa, sillä hitsiin kohdistuvien voimien määrittäminen voi olla hankalaa. Niemen mukaan hitsauksen laskennallista mitoittamista ei useinkaan tarvitse tehdä, vaan liitokset mitoitetaan muilla menetelmillä tasalujiksi rakenteen materiaalien kanssa. Tasalujat hitsaussaumot voidaan määritellä seuraavien periaatteiden mukaan. Standardin SFS 2373 mukaan päittäisliitos on tasaluja, kun se on läpihitsattu. Myös kaksoispienaliitos voidaan todeta tasalujaksi seuraavan taulukon mukaisilla a/t suhteilla (Taulukko 3).

Taulukko 3 Tasaluja kaksoispienaliitoksen a/t -suhde. (Matilainen 2011, 115, muokattu.)

Rakenneteräs	Nimellinen paksuus ≤ 40 mm		
	f_y N/mm ²	f_u N/mm ²	a/t
S 235	235	360	0,42
S 275	275	430	0,4
S 355	355	510	0,5
S 420	420	540	0,63
S 460	460	570	0,65

Yksipuoleista pienaliitosta tulisi välttää, sillä liitokseen kohdistuva vetojännitys saattaa nousta liian suureksi rakenteeseen kohdistuvien momenttien ja kuormitusten vuoksi. Rakenneputkilla yksipuoleinen pienaliitos voidaan kuitenkin

sallia, mikäli se voidaan toteuttaa ympärihitsattuna. Rakenneputkiliitoksissa hitsin a-mitta tulisi olla sama kuin rakenneputken seinämän vahvuus. Päällekkäisliitoksissa hitsin a-mitta tulisi mitoittaa vähintään saman vahvuiseksi kuin materiaalin vahvuus, näin hitsistä saadaan tasaluja materiaaliin nähden. Muotoilulla ja hitsien sijoittelulla on myös hyvin suuri merkitys hitsien lujuuden kannalta. Hitsausliitokset pitäisi sijoittaa pois voimien vaikutusalueilta, sekä kuormien johtaminen osalta toiselle tulisi toteuttaa suoraviivaisesti ja lyhimmän mahdollisen linjan kautta. (Matilainen 2011, 115, 116, 131 - 134, 225; Niemi 1993, 203, 219 - 228.)

Väsyminen on yksi hitsattujen rakenteiden suurimmista ongelmista, sillä arviolta 80 - 90 % hitsatuista rakenteista murtuu juuri rakenteen väsymisen vuoksi. Väsyminen on pohjimmiltaan särönkasvuilmiö, joka johtuu toistuvista jännityksen vaihteluista ja ilmenee yleensä hitsaussaumojen rajaviivoilla. Säröjä muodostuu etenkin hitsattaessa, mutta myös muista syistä. Väsyminen jaetaan kolmeen vaiheeseen, jotka ovat ydintyminen, särönkasvu ja loppumurtuma. Väsymiskestävyyttä on mahdollista parantaa ottamalla se huomioon suunniteltaessa hitsattua rakennetta. Tehokkain menetelmä väsymiskestävyyden parantamiseen on nimellisenjännityksen vaihteluvälin pienentäminen. Tämä tarkoittaa käytännössä järeämpää rakennetta tai uutta rakenteen muotoilua. Rakennetta voidaan muokata esimerkiksi momenttivartta lyhentämällä, vähentämällä rakenteen epäkeskisyyksiä, suosimalla rasituksen suuntaisia sivupienahitsejä, sijoittamalla hitsi taivutuspalkin neutraaliakselin läheisyyteen, lisäämällä jäykisteitä ja suunnittelemalla symmetrisiä liitoksia. Myös jouhevat liitokset ja kappaleiden muodot vähentävät jännityskeskittymien muodostumista. Hitsaussauman muotoilulla ja laadulla on suuri merkitys väsymiskestävyyteen. Varsinaisesti hitsaussauman laatuun ei suunnittelussa voida vaikuttaa, mutta hitsaussauman vaatimuksia voidaan määritellä valmistuspiirustukseen. Hitsaussauman tulisi olla mahdollisimman jouheva liitettäviin kappaleisiin nähden. Laadukkaan hitsin aikaansaaminen on haastavaa, sillä se edellyttää virheetöntä hitsaussaamaa, alkusäröjen poishiontaa hitsaussauman rajaviivoilta sekä jäännösjännityksien poistamista esimerkiksi myöstöhehkuksella. (Matilainen 2011, 118 - 124, 280 - 281; Niemi 1993, 229 - 231, 274 - 282.)

Rakenneputket ovat standardoinnin ansiosta hyvin yleisiä materiaaleja konerakennuksessa, minkä vuoksi niiden liittämiseen on laadittu yksilöllisiä ohjeita.

Rakenneputkien liittämässä toisiinsa käytetään pääsääntöisesti piena- ja puoli V-railoa. Tyypillisin rakenneputkien rakenne on niin sanottu K-liitos, jossa putket muodostavat K kirjaimen muotoisen ristikkorakenteen. Liitettävien rakenneputkien päitä ei tulisi sijoittaa liian lähelle toisiaan, ellei niitä voida asettaa limittäin, eli vähintään 50 % päällekkäin. Muussa tapauksessa liitettävien rakenneputkien päiden väliin tulisi jäädä ainakin kaksi kertaa rakenneputken seinämän vahvuuden verran väliä. Liitettävien rakenneputkien liittymiskulmana on suositava $60^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$, sillä tällöin poikittaiset hitsit voidaan toteuttaa pienahitseillä. Muussa tapauksessa tylpän kulman railo tulee viistää puoli-V -railoksi. (Matilainen 2011, 133 - 134, Niemi 1993, 225 - 226, 287 - 290.)

Hitsattavilla materiaaleilla on suuri merkitys hitsauksen kestävydessä ja rakenteen hitsattavuudessa. Kun rakenteessa käytetään useita eri materiaaleja, on hitsin lujuus aina heikomman materiaalin mukainen. Myös eri materiaalipaksuuden vaikuttavat hitsattavuuteen, minkä vuoksi tulisi välttää suuria materiaalin vahvuus vaihteluja samassa rakenteessa. (Piironen 2013, 41.)

Lämmöntuonnin hallinta on hitsauksessa haastavaa, sillä se aiheuttaa hitsattaviin kappaleisiin muodonmuutoksia ja saa aikaan sisäisiä jännityksiä hitsausseaman läheisyyteen. Lämmöntuonniltaan sopivan a-mitan voi määrittää seuraavalla kaavalla (Kaava 12).

Kaava 12 Pienahitsin a-mitta sopivan lämmöntuonnin perusteella. (a)

$$a \geq \sqrt{t} - 0,5(mm)$$

- t = Materiaalin vahvuus (mm)

Lämmön tuonti korostuu yhä enemmän ohutlevykappaleita hitsattaessa. Hitsin mitoittamisessa tulisi välttää ylimitoitusta, sillä tällöin hitsattaviin materiaaleihin kohdistuu ylimääräistä lämpöä. Tärkein lämmöntuontia ohjaava tekijä on a-mitta. Perinteisimmällä MAG -hitsauksella pienin mahdollinen a-mitta on a3 kun taas suurin yhdellä hitsipalolla hitsattava sauma on a6 ja monipalkosaumalla a15. Sopivaksi a-mitaksi voidaan arvioida 3 - 4 mm paksuisilla materiaaleilla 3mm, 5 - 6 mm paksuisilla materiaaleilla 4 mm ja 8 - 12 mm paksuisilla materiaaleilla 6 mm. Hitsausseaman a-mittaa ohjaa myös aiemmin mainitut lujuustekniset mitoitus, jotka on otettava

huomioon myös lämmöntuonnissa. (Matilainen 2011, 318 - 319; Niemi 1993, 206; Piironen 2013, 42.)

Hitsattavaa rakennetta suunniteltaessa tulisi saumojen määrä pyrkiä pitämään mahdollisimman alhaisena, mikä edellyttää osamäärän minimointia ja profiilien sekä taivutettujen muotojen käyttöä. Myös turhan tarkkojen toleranssien käyttöä tulisi välttää, sillä hitsatuissa rakenteissa saavutetaan tyypillisesti 2 - 5 mm toleranssit ja suuremmissa rakenteissa 10 - 40 mm toleranssit. Suuret hitsattavat rakenteet olisi hyvä jakaa pienempiin osahitsauskokoontaihin, jolloin kappaleiden käsittely on kevyempää ja läpimenoaika nopeampaa. Hitsausjärjestys ja luoksepäästävyys ovat tehokkaan hitsauksen kannalta erittäin oleellisia asioita, jonka vuoksi niitä on syytä miettiä jo suunnitteluvaiheessa. Rakenteen tulisi noudattaa DFA periaatteita ja mahdollistaa koko rakenteen kasaamisen silloittamalla tai jigillä ennen varsinaista hitsaamista. Rakenteen on mahdollistettava yksinkertaisen jigin, johon osat voidaan tuoda suoraviivaisesti. Piironen mukaan hitsattavat rakenteet on hyvä suunnitella hitsattavaksi robotilla, sillä jos hitsaus onnistuu robotilla, niin se varmasti onnistuu myös käsin. Hitsaussaumojen ympärillä on siis oltava runsaasti tilaa. (Niemi 1993, 283 - 286; Piironen 2013, 40, 43 - 47.)

10 STANDARDIT JA DIREKTIIVIT

Standardit ja direktiivit ohjaavat yleisiin menetelmiin jotka on laadittu yhteisiksi toimintatavoiksi. Tunnetuimmat standardien tunnuksset ovat ISO, EN ja SFS. Suomessa vahvistetut standardit merkitään SFS tunnuksella ja Euroopan Unionin sisäisesti vahvistetut EN tunnuksella. Kansainvälinen standardi merkintä on ISO tunnus. ISO -standardit ovat voimassa kaikkialla ilman erillistä maan vahvistusta. (Suomen standardisoimisliitto SFS RY.)

Standardien tarkoituksena on lisätä turvallisuutta ja helpottaa jokapäiväistä elämää. Esimerkkinä standardin jokapäiväisen elämän helpottamiseen voidaan pitää mittayksiköjä. Mittayksiköiden standardi on ISO tunnuksen alainen, jolloin ne ovat voimassa kansainvälisesti. Standardit mahdollistavat myös eri valmistajien tuotteiden yhteensopivuuden. (Suomen standardisoimisliitto SFS RY.)

Teollisuuden tyypillisimpiä standardoituja osia ovat pultit, mutterit ja ruuvit, mutta myös esimerkiksi hydraulikkakomponenttien kierteet on standardoitu. Standardit mahdollistavat tuotteiden joustavamman suunnittelun ja helpottavat komponenttien valintaa. (Suomen standardisoimisliitto SFS RY.)

Vaikka standardien ja direktiivien käyttö ei yleisesti ole pakotettua, on osa turvallisuutta käsittelevistä standardeista Suomen lain mukaan pakollisia. Konetekniikassa turvallisuutta ohjaavat koneturvallisuusdirektiivi ja sen sisältämä SFS-EN ISO 12100 standardi. Euroopan unionissa käytössä on 2006/42/EY konedirektiivi, joka käsittelee niin kuluttaja-tuotteita kuin tuotantokoneita. Tuotteen konedirektiivin täyttämistä vastaa valmistaja. Koneen suunnittelun aikana valmistajan tehtäviin kuuluu arvioida riskit, selvittää turvallisuusvaatimukset ja noudattaa niitä, sekä laatia käyttöohjeet, kasata tekninen tiedosto, laatia vaatimustenmukaisuusvakuutus ja kiinnittää CE -merkintä. (Työsuojeluhallinto 2008, 3 - 6.)

10.1 SFS-EN ISO 12100

Euroopan markkinoille saatettavien koneiden tulee täyttää konedirektiivin turvallisuusvaatimukset. SFS-EN ISO 12100 on kansainvälinen A-tyyppin standardi turvallisten koneiden suunnitteluun. Standardi on perusta koneiden turvallisuuden standardiryhmälle:

- A-tyyppin standardit sisältävät koneturvallisuuden perusteet, suunnitteluperiaatteet ja näkökohdat
- B-tyyppin standardit käsittelevät yksittäisiä turvallisuusnäkökohtia, kuten turvaetäisyyksiä
- C-tyyppin standardit keskittyvät tiettyjen koneryhmien turvallisuuteen

SFS-EN ISO 12100 käsittelee turvallisuuden peruskäsitteet, periaatteet ja menetelmät koneen suunnittelussa. Standardin tärkein osa on vaaratekijöiden ja riskien arviointiin käytettävä riskianalyysi. (SFS-EN ISO 12100, 2010, 6 - 12.)

Turvallisen koneen suunnittelu aloitetaan vaaratekijöiden ja riskien arvioinnilla, mikä tapahtuu huomioimalla vaaratekijöiden ja riskien esiintymistodennäköisyys ja vakavuus sekä mahdollisen vamman ja terveyshaitan suuruus. Nämä seikat tulee

ottaa huomioon koneen suunnittelussa, rakenteessa ja käyttöohjeissa. Arviointi tapahtuu SFS-EN ISO 12100 standardin mukaan seuraavasti:

- Koneen raja-arvojen määrittäminen (sisältäen vähäisen koneen väärinkäytön)
- Vaarojen ja vaaratilanteiden tunnistaminen
- Vaaratilanteiden ja riskien suuruuden arviointi
- Määritetään riskien pienentämisen tarve
- Poistetaan, rajataan tai pienennetään vaaratekijät ja riskit

Riskien poistaminen ja pienentäminen saattaa vaatia toimenpiteen iterointia niin useasti, että kone voidaan todeta turvalliseksi. Vaaratekijöiden ja riskien pienentämistä on käsitelty standardin SFS-EN ISO 12100 kohdassa 6. ja esimerkkitalanteita on esitelty standardin liitteessä B. (SFS-EN ISO 12100, 2010, 6 - 12, 52 - 102, 106 - 125; Työsuojeluhallinto 2008, 7 - 8.)

Koneen vakavuus, tai sen puute, on yksi metsäkoneiden ja yleensäkin nosturikoneiden suurimmista turvallisuusriskeistä ja vaaratekijöistä. SFS-EN ISO 12100 ottaa kantaa koneen vakavuuteen ja sen aiheuttamiin turvallisuusriskeihin kohdissa 6.2.3, 6.2.6, 6.3.2.6. Oheisten kohtien mukaan kone on suunniteltava vakavuuden kannalta turvalliseksi sille määritetyissä käyttöolosuhteissa, esimerkiksi alhaisella painopisteellä ja tarvittavalla tukipinnalla. Vakavuus on toteutettava erilaisilla rajoittimilla, kuten kuorman- kiihtyvyyden- tai liikkeenrajoittimilla, jos tarvittavaa vakavuutta ei muutoin pystytä saavuttamaan. Myös menetetyt vakavuuden ilmaisevia hälyttimien käyttöä on harkittava, jos vakavuus on kriittisellä tasolla. (SFS-EN ISO 12100, 2010, 52 - 102.)

10.2 SFS-EN 12999 + A1

CEN:n laatima SFS-EN 12999 + A1 on hydraulikäyttöisien nostureiden suunnittelun, laskelmien, tarkastusten ja vähimmäisvaatimusten määrittämiseen laadittu standardi. Se on C-tyyppin standardi ja vaihtoehto konedirektiivin 2006/42/EY turvallisuusvaatimusten täyttämiseen. Standardi ei suoranaisesti sovelleta metsäkoneiden nosturin suunnitteluun, mutta se kuitenkin sisältää viittauksia puutavaranosturin suunnitteluun. (SFS-EN 12999 + A1, 2012, 8 - 12.)

SFS-EN 12999 + A1 standardi käsittelee hyvin laajasti hydraulikäyttöisen nosturin suunnittelua. Standardi käsittelee myös koneen vakavuutta nosturikäytössä. Nosturikäytössä tarvittava vakavuus toteutetaan yleensä lähes poikkeuksetta tukijalkoja hyödyntäen. SFS-EN 12999 + A1 määrittää vakavuuden kohdassa 5.10.3 siten, ettei kone saa kaatua ennakoituissa työskentelyolosuhteissa. Vakavuus on todettava kohdan 6.2.5 mukaisella vakavuuskokeella, eikä se ota kantaa laskennalliseen vakavuuden määrittämiseen. Vakavuuskoe suoritetaan kuormaamattomalla koneella ja koe on suoritettava oheisten laskujen (Kaava 13) määrittämällä koekuormalla.

Kaava 13 Vakavuuskokeen koekuorman määrittäminen. (TL)

$$TL = K_s * P * (K_s - 1) * G'_b (kg)$$

- K_s = Vakavuuskerroin
- P = Nostokyky (kg)
- G'_b = Pistemassa puomin kärjessä, joka aiheuttaa saman momentin kääntökeskiöön kuin puomiston omamassa (kg)

Vakavuuden koekuorman määrittämiseen tarvittava vakavuuskerroin voidaan laskea kohdan 5.6.2.1 kaavalla (Kaava 14), mutta se on oltava kuitenkin vähintään 1,1.

Kaava 14 Vakavuuskertoimen määrittäminen. (K_s)

$$K_s = 1 + \frac{\Delta\%}{100}$$

- Δ = Nostokyvyn rajoittimen toleranssi

Kaava 15 Nostokyvyn rajoittimen toleranssi. (Δ)

$$\Delta \leq 8 + 0,5R \leq 20$$

- R = Kuormaajan hydrauliuuttuma (m)

Riippumatta hydrauliuuttumasta, nostokyvyn rajoittimen toleranssi Δ voidaan puutavarakuormaimilla ja kuormaimilla todeta olevan 20 %, kun kuormaimen nostokyky on pienempi kuin 1 000 kg ja suurin nettonostomomentti pienempi kuin 40 000 Nm. (SFS-EN 12999 + A1, 2012, 46 - 48, 58, 70.)

Vakavuuskoe tulee toteuttaa epäedullisimmalla koneen kokoonpanolla sekä epäedullisimmissa koneen käyttöolosuhteissa, kuitenkin niin että alusta on tarpeeksi luja. Koekuorma tulee nostaa suurimmilla kuormamomenttiasetuksilla, sekä tarvittaessa kaikilla valmistajan ilmoittamilla nostomomenttialueilla. Koekuormaa

käännetään koko kuormaajan kääntökaaren läpi. Koneen asetuksia voidaan muuttaa, esimerkiksi nostamalla painerajoja kokeen ajaksi, jotta koekuormitus saadaan. Koe voidaan todeta hyväksytyksi, kun kuormituksen aikana koekuorma pysyy paikallaan ja vähintään yksi lukittu pyörä koskee maahan. Maasta siis saa irrota useampia tukijalkoja ja pyöriä. (SFS-EN 12999 + A1, 2012, 70 - 72.)

SFS-EN 12999 + A1 standardiin on kohdassa 5.4.1.2. määritelty myös tukijalkaan kohdistuvia suunnitteluperusteita. Tukijalan tulee sisältää maalevy, joka painautuu maata vasten mukautumalla 10° kallistumiseen, mutta puutavaranostureiden tukijalkoihin ei vaadita kallistumisen mukautumista. Maalevyn maahan kohdistuva resultanttipaine voidaan laskea (P), joka enimmillään saa olla 4 MPa.

Kaava 16 Maalevyn resultanttipaine. (P)

$$P = \frac{M_{dyn}}{L * A} (Pa)$$

- M_{dyn} = Kääntökeskiön suurin momentti sisältäen dynaamiset kertoimet (Nm)
- L = Kääntökeskiön ja tukijalan etäisyys (m)
- A = Maalevyn pinta-ala (m²)

Tukijalat tulee voida lukita työskentely- ja kuljetusasentoon. 5.5.6.1 ja 5.5.6.2 kohtien mukaan hydraulisesti toimivat tukijalat tulee varustaa lukkoventtiilillä, jotka sijaitsevat liikkeen toteuttaman hydraulisylinterin läheisyydessä. Hydraulisylinterin ja lukkoventtiilin väliin tulevat putket tulee mitoittaa kestäämään 3 kertaa maksimityöpaine. (SFS-EN 12999 + A1, 2012, 38, 44.)

11 ATV-METSÄPERÄVAUNUN SUUNNITTELU

Suunnittelu aloitettiin tutkimalla Nokka Forest Pro -metsäperävaunun nykyisiä ratkaisuja ja keräämällä lähtötietoja. Suunnitteluprosessi pyrittiin toteuttamaan tiiviissä yhteistyössä Nokka Oy:n kanssa, ottamalla huomioon henkilöstön kokemukset ja heidän kauttaan saadut asiakastarpeet.

11.1 Tuoteohjelman suunnittelu

Tuoteohjelman suunnittelu alkoi vaatimuslistan laadinnalla (Liite 1). Opinnäytetyön aihe painottui Forest Pro -metsäperävaunun kahteen eri osa-alueeseen. Pääpaino suunnittelulla oli kuormaajapukin moduulilla, mikä pitää sisällään sermin, tukijalat, hydraulikkakoneikon ja kuormaajan tukirakenteet. Tämän vuoksi myös vaatimuslista painottui kuormaajapukin moduulin vaatimuksiin. Toinen osa-alue suunnittelussa oli rungon jatkeen välyksen poisto, jonka vaatimukset olivat alusta pitäen tiukat, sillä välyksen poiston tarpeellisuudesta oli monta näkemystä puolesta ja vastaan. Suunnittelun pohjana toimi nykyinen Forest Pro -metsäperävaunu, jolloin opinnäytetyötä voidaan pitää platform prosessina. Tämän vuoksi vaatimuslista pyrittiin pitämään mahdollisimman selkeänä viitaten nykyisiin ratkaisuihin sekä fyysisiin ominaisuuksiin ja mittoihin.

Opinnäytetyön yhtenä tavoitteena oli parantaa Forest Pro -metsäperävaunun vakavuutta kuormaustilanteessa. Vakavuuden parantaminen arvioitiin tärkeäksi spesifikaatioksi yhdessä Nokan tuotekehityshenkilöstön kanssa. Syynä tähän olivat asiakkaiden huomiot sekä henkilöstön omat kokemukset Forest Pro:n vakavuudesta. Koneviesti-lehden testissäkin Forest Pro sai huomautuksia ainoastaan kuormauksen vakavuuden puutteista (Nykänen 2014, 98). Ongelmaa lähdettiin purkamaan standardien ja direktiivien kautta. Vakavuus on yksi suurimpia koneen turvallisuuteen viittaavia tekijöitä. Standardien 2006/42/EY ja SFS-EN ISO 12100 mukaan vakavuuden on oltava sillä tasolla, ettei vakavuuden menettämistä tapahdu koneen normaaleissa käyttötarkoituksissa. Tarkempia määräyksiä lähdettiin etsimään SFS-EN 12999 + A1 hydraulinostureiden suunnittelua ohjeistavasta standardista. Vaikkakaan kyseisessä standardissa ei suoranaisesti oteta kantaa ATV-kokoluokan koneisiin, suoritettiin standardin mukainen vakavuuskoe silti myös Forest Pro:lle (Liite 2). Forest Pro on

nykyratkaisuiltaan toteutettu teleskooppitukijaloilla, joiden tukileveys on noin 1,65 metriä. Nykyiset tukijalat eivät täyttäneet vakavuuskokeen vaatimuksia millään mittausalueella. Kokeen aikana pyrittiin samalla hakemaan vaadittavaa tukijalkojen väliä, jolloin kokeen kriteerit täytyisivät. Tukijalkojen vaadittavaksi tukiväliksi saatiin 3,25 metriä. Tämä on melko leveä ajatellen kuormaimen ulottumaa, joka on maksimissaan 4,2 metriä.

11.2 Konsepti- ja systeemisuunnittelu

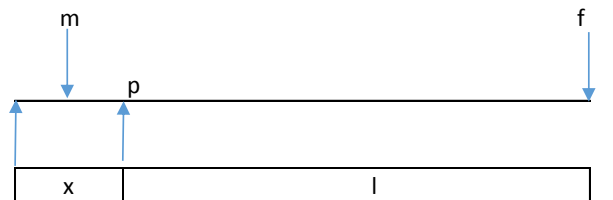
Konseptisuunnittelua aloittaessa olivat suunnitteluprosessin tarpeet hyvin selvillä. Vaikka opinnäytetyön aiheessa painotettiin Forest Pro:n kuormainpukin optimointia, sekä painon ja valmistuskustannuksien alentamista, osoittautui suunnitteluprosessin määrääväksi tekijäksi kuitenkin kuormauksen vakavuuden parantaminen. Kuormauksen vakavuus asetettiin suunnitteluprosessin ohjaavaksi tekijäksi, jonka vuoksi muut tarpeet pyrittiin toteuttamaan mahdollisuuksien mukaan.

Koneen vakavuus perustuu tukijalan tukipisteen ja koneen keskilinjan väliseen etäisyyteen. Vakavuuteen vaikuttaa myös nostettavan kuorman vastapainon suuruus. Forest Prossa suurin vastapainon aiheuttaja kuormaustilanteessa on metsäperävaunu, mutta metsäperävaunun oma massa jää aivan liian kevyeksi kuormaajan nostokykyyn nähden. Tämä aiheuttaa ristiriidan opinnäytetyön päätavoitteiden välille; vaunun painon vähentämiselle ja samalla vakavuuden lisäämiselle. Vaunun massaa pitäisi pystyä siirtämään vaunun keskilinjasta reunoille, jolloin tukivoimat nousevat suuremmiksi. Vakavuutta hahmoteltiin myös karkeilla laskelmilla (Taulukko 4), joissa otettiin huomioon kaikki metsäperävaunun keskilinjaan vaikuttamat massat. Tällöin myös puolet mönkijän massasta otettiin huomioon. Mönkijävalmistajien ilmoitusten pohjalta laitteen massaksi määritettiin yleisimpien mönkijämallien massojen keskiarvo. Laskennalliseksi maksimi tukiväliksi saatiin 2,96 metriä. Tukijalkojen tukivälin tavoitearvoksi määritettiin 3 metriä kokeellisten ja laskennallista tulosten pohjalta. Uuden Forest Pro:n lopullinen vakavuus todetaan SFS-EN 12999 + A1 mukaisella vakavuuskokeella, kun tuotteen prototyyppi valmistuu.

Taulukko 4 Vakavuuslaskelmat

Vakavuuslaskenta

Honda Ringon		294 kg	
Can Am Outlander		324 kg	
Polaris Sporman		316 kg	
Yamaha Grizzly		294 kg	
Keskisarvo	m_p	307 kg	mönkijän massa
$m_{p\%}$	50 %		mönkijän massan vaikutus
m_k	345 kg		kärryn massa, sis. moottori
m_n	54 kg		nosturin massa (pystytuomi, kääntölaite, nostosyl.)
m_m	16 kg		moottorin massa, Honda GX200
m_v	40 kg		venttiilipöydän massa, sis. arvio letkujen massasta



l	1	2	3	4	m	
m	576,5	576,5	576,5	576,5	kg	$(=m_k+(m_{p\%}*m_p)+m_n-m_m+m_v)$
f	739,8340776	419,8341	284,8341	194,8341	kg	$(=P+G'_b)$

x	2,57	2,91	2,96	2,70	m	$(x=(l*f/m*g)*2)$
---	------	------	------	------	---	-------------------

Tarvittavan vakavuuden saavuttamiseksi tärkein tekijänä on tukijalkojen toteutus. Tukijalkoja pyrittiin ideoimaan markkinoilla olevien kilpailevien mallien ja muiden tukijalkoja sisältävien koneiden mukaan. Vakavuuden toteutustapaa haettiin arvoanalyysillä (Taulukko 5), jossa ATV-kokoluokka huomioiden spesifikaatioiksi määritettiin: vakavuus, keveys, kustannukset, yksinkertaisuus, huollettavuus, säädettävyys, kompaktius ja käytettävyys. Ideoinnin tuloksena teknisiksi ratkaisuiksi saatiin nykyiset teleskooppi-tukijalat, sivuille taittavat kaaritukijalat, levitettävät tukijalat - kuten nosturiautoissa, vastapaino - kuten kaivinkoneissa sekä liikeratakuormaajan tavoin toimivat liikeratatukijalat. Oheisen arvoanalyysin ja sen sisältämien spesifikaatioiden mukaan sivuille taittavat kaaritukijalat ovat paras vaihtoehto vakavuuden toteuttamiseen.

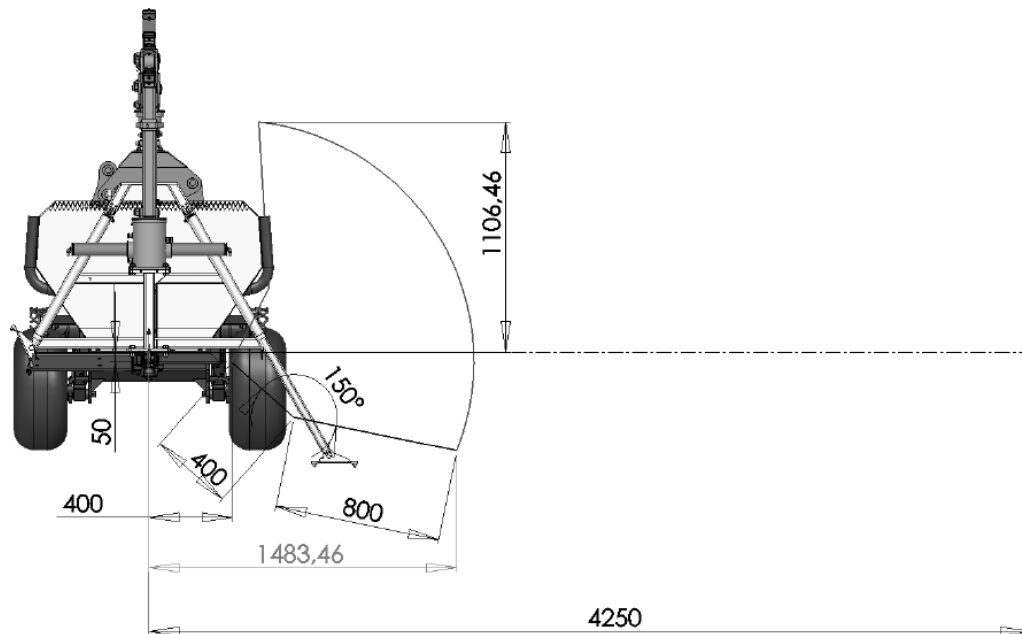
Taulukko 5 Vakavuuden toteutus analyysi

Vakavuuden toteutus

Tekninen ratkaisu	Spesifikaatiot								Yhteensä
	Vakavuus	Keveys	Kustannukset	Yksinkertaisuus	Huollettavuus	Säädettävyys	Kompakti	Käytettävyys	
Painoarvo P	30	15	15	10	5	10	5	10	100
Teleskooppi tukijalka A	3	4	4	4	3	2	4	4	
PxA	90	60	60	40	15	20	20	40	345
Sivulle taittavat kaaritukijalat A	5	4	4	5	4	2	3	3	
PxA	150	60	60	50	20	20	15	30	405
Levitettävät tukijalat A	5	2	3	3	2	5	2	2	
PxA	150	30	45	30	10	50	10	20	345
Vastapaino A	2	1	3	5	5	1	2	2	
PxA	60	15	45	50	25	10	10	20	235
Liikerata tukijalat A	5	3	3	2	2	3	3	3	
PxA	150	45	45	20	10	30	15	30	345

*Arvostelu tapahtuu asteikolla 1-5, jossa 1=Ei toteudu lainkaan ja 5=Toteutuu erinomaisesti

Oheisessa kuviossa (Kuvio 8) luonnosteltiin sivulle taittuvien kaaritukijalkojen sijoittelua Forest Pro -metsäperävaunuun. Luonnostelun tavoitteena oli hahmotella tukijalkojen mittoja suhteessa vaunun muihin mittoihin. Tukijalkojen nivelpisteen mitoittaminen sopivalle leveydelle muodostui suurimmaksi haasteeksi, sillä varsinainen tukijalan pituus tulisi saada mahdollisimman lyhyeksi. Tukijalan pituus ja jalan kestävyys ovat suorassa vaikutussuhteessa keskenään ja erityisesti jalkojen taipuminen voi muodostua ongelmaksi. Ylös taitettuna jalat eivät myöskään saisi nousta liian korkealle, eivätkä ylittä kuormatilan ja renkaiden sivulinjaa sivusuunnassa. Sivulinjan ylittämisen ehkäisemiseksi tukijalkaan on tehtävä 150° taitos.



Kuvio 8 Sivulle taittuvien kaaritukijalkojen luonnostelma

Varsinaisen kuormainpukin rakenne on myös hyvin paljon kiinni tukijalkojen toteutustavasta, sillä rakenteissa kulkevien voimien ja rasituksien tulisi välittyä mahdollisimman suoraviivaisesti tukipintoihin. Tukijalkoja pyrittiin pitkään suunnittelemaan sermin yhteyteen, mutta kaikkiin tarpeisiin vastaavaa ratkaisua ei olisi ollut mahdollista sillä tavoin toteuttaa. Sivulle taittavat kaaritukijalat tarvitsevat kuitenkin melko suuret hydraulisyliinterit, mikä aiheutti ongelmia tilan tarpeen ja suojaamisen suhteen. Lisäksi kuormaajan aiheuttamien voimien haluttiin välittyvän mahdollisimman suoraan tukijaloille, jolloin tukijalkojen vienti etäämmäksi sermin sisään ei ollut toivottua. Forest Prossa hydraulikoneikko moottoreineen on sijoitettava kuormainpukin sisälle, joten myös sen tilan tarve on otettava suunnittelussa huomioon. Tämä aiheuttaa rakenteelle lisähaasteita kestävyden ja keveyden suhteen. Useiden luonnosten joukosta lopullinen kuormainpukin malli alkoi hahmottua. Kuormainpukin tueksi ja tukijalkojen kiinnitykseen valittiin A-kirjaimen mallinen pukki, joka sijoitetaan mahdollisimman lähelle kuormaajaa. A-pukki mahdollistaa kuormaajan aiheuttaminen voimien ja rasituksien suoran välityksen kuormaajalta tukijaloille, sekä tukijalkojen sylintereiden sijoittamisen sermin taakse suojaan. Kyseisellä rakenteella saavutetaan myös suuri tukijalkojen nivelpisteiden etäisyys.

Kuormainpukki sisältää sermin, joka on suojana kuljettajalle sekä laitteistoille kuormatilan ja kuormaajan välissä. Forest Pro:n nykyinen sermi on toteutettu teräsverkosta, hitsaamalla se kuormatilaan mukailevaan kehikkoon. Nykyinen sermi sisältää hyvin paljon erilaisia osia ja runsaasti hitsaustyötä. Nykyisen verkon valmistaminen oikeisiin mittoihin on haastavaa, jonka vuoksi se leikataankin muotoonsa vasta kuormainpukin hitsausvaiheessa. Myös uuden sermin toteutukseen haettiin ratkaisua arvoanalyysillä (Taulukko 6). Arvoanalyysin spesifikaatioiksi määritettiin kestävyys, keveys, osakustannukset, yksinkertaisuus, läpinäkyvyys, valmistettavuus ja osien tarve. Tekniset ratkaisut painottuivat käytännössä materiaaleihin, sillä sermin muotoon ei juurikaan voida vaikuttaa, koska sen tulee olla kuormatilaan mukaileva. Teknisiksi ratkaisuksi listattiin ritilä, verkko, ohutlevy, muovi ja komposiitti. Ratkaisut pitävät sisällään oletettavan valmistustavan ja rakenteen, joka on otettu huomioon arvioinnissa. Sermin tekniseksi ratkaisuksi oheisen arvoanalyysin mukaan valikoitui ohutlevy. Yhdestä ohutlevystä voidaan muotoilla koko sermi, jolloin yksittäisten osien määrä jää hyvin vähäiseksi. Sermin tarvittavat tukirakenteet suunnitellaan vasta myöhemmässä vaiheessa.

Taulukko 6 Sermin toteutus

Tekninen ratkaisu	Spesifikaatiot								
	Kestävyys	Keveys	Osa kust.	Yksinkertaisuus	Ulkonäkö	Läpinäkyvyys	Valmistettavuus	Osien tarve	Yhteensä
Painoarvo P	10	10	10	20	5	10	25	10	100
Ritilä A	5	2	3	2	3	4	2	2	
PxA	50	20	30	40	15	40	50	20	265
Verkko A	2	5	4	3	3	5	2	3	
PxA	20	50	40	60	15	50	50	30	315
Ohutlevy A	3	3	3	3	3	3	5	4	
PxA	30	30	30	60	15	30	125	40	360
Muovi A	3	4	3	3	5	3	3	3	
PxA	30	40	30	60	25	30	75	30	320
Komposiitti A	4	5	1	3	4	3	3	3	
PxA	40	50	10	60	20	30	75	30	315

*Arvostelu tapahtuu asteikolla 1-5, jossa 1=Ei toteudu lainkaan ja 5=Toteutuu erinomaisesti

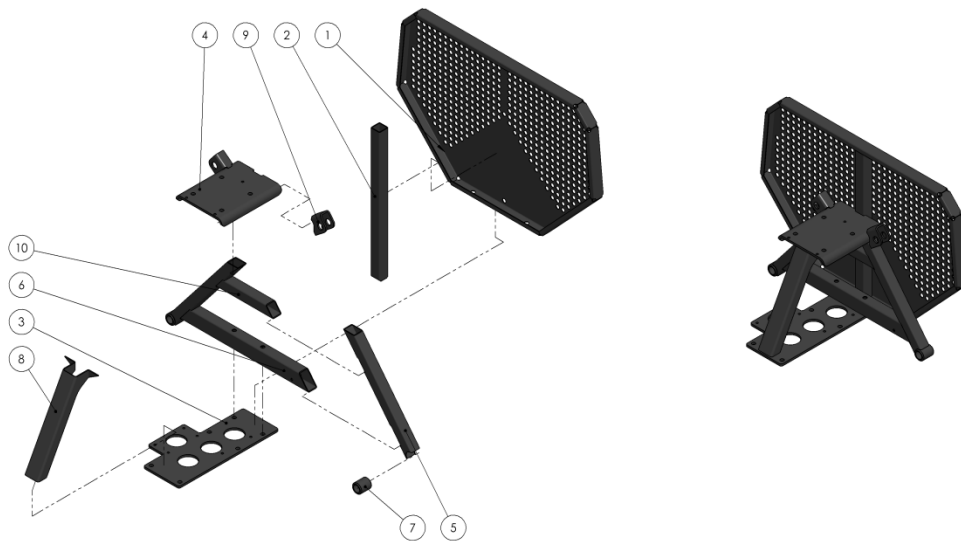
Forest Pro -metsäperävaunun rungonjatkeen välyksen poistoon päätettiin jo tässä vaiheessa soveltaa Nokan kuormainten jatkeissa kauan käytössä olleita nylon liukupaloja. Ratkaisu on täten testattu moneen otteeseen ja todettu kestäväksi.

Liukupalojen vaihto on myös ollut hyvin harvinaista Nokan kuormaimissa, joten myöskään Forest Prossa liukupalat eivät tule aiheuttamaan ylimääräistä huollon tarvetta.

Uuden Forest Pro:n rakenne pyritään suunnittelemaan mahdollisimman symmetriseksi. Moduloitava rakenne pidetään samalla tasolla kuin nykyisessä Forest Prossa. Kuormainpukin mitoissa on kuitenkin otettava huomioon varaus toisen moottorivalmistajan moottorille. Uuden moottorin käyttöönotosta ei vielä tässä vaiheessa ollut varmuutta, mutta varaus oli kuitenkin hyvä ottaa huomioon jo nyt. Sivulle taittuva kaaritukijalka ja sen sylinteri suunnitellaan siten, että sitä voidaan käyttää kuormainpukin kummallakin puolella. Forest Pro:n hydraulisyksikön suojat suunnitellaan vasta, kun muut rakenteet ovat valmiit, jolloin ne eivät rajoita kuormainpukin suunnittelua.

11.3 Detaljisuunnittelu

Nokka Oy:n tuotteet perustuvat enimmäkseen rakenneputkista ja levyistä valmistettuihin hitsausrakenteisiin. Omat tuotannon toiminnot on pyritty supistamaan lähinnä hitsaukseen ja kokoonpanoon, minkä vuoksi Nokalla onkin hyvin monipuolinen ja osaava osavalmistuksen alihankintaverkosto. Myös tässä opinnäytetyössä rakenteet on pyritty valmistamaan tutuilla valmistusmenetelmillä hyödyntämällä Nokan alihankintaverkostoa. Opinnäytetyön edetessä arvioitiin alihankkijoiden kanssa yhteistyössä osille parhaat mahdolliset valmistusmenetelmät. Valmistusmenetelmiksi levyjen leikkaamiseen valittiin laserleikkaus, sillä kyseistä menetelmää käytetään paljon Nokan aiemmissa tuotteissa. Nokalla vähemmän käytössä ollut mekaaninen leikkaus levytyökeskuksella valittiin suurien levypintojen työstötavaksi, sillä se on kustannustehokkain menetelmä paljon reikiä sisältävien levyjen työstössä. Levyjen taivuttamiseen valittiin työtavaksi ensisijaisesti särmääminen. Monimutkaisempien osien taivutukset tullaan tekemään taivutusautomaatilla. Taivutusautomaatilla onnistuu suljettujen profiilien valmistus, sekä se on tehokas valmistusmenetelmä kun työstettävässä kappaleessa on paljon taivutuksia ja kun taivutukset ovat hyvin lähekkäin toisia. Taivutusautomaatilla saadaan aikaan myös tarkemmat taivutukset kuin särmäyspuristimilla, tämä täytyy huomioida etenkin kun taivutetut reunat hitsataan yhteen.



Kuvio 9 Kuormainpukin osat

Jo luonnosteluvaiheessa Forest Pro:n uuden kuormainpukin rakenteesta oli tiedossa selkeät piirteet. Oli myös tiedossa, että kuormainpukin laippa, johon kuormaaja kiinnitetään, on hyvin suuren rasituksen kohteena. Kuormaajan kiinnityslaippaan kohdistuu suurimmillaan 10 kNm vääntömomentti. Suurin vääntömomentti esiintyy koko kuormaajan liikealueella, joka on 220 astetta. Uuden kuormainpukin (Kuvio 9) perusrakenteesta suunniteltiin piirteiltään samankaltainen kuin nykyinen tuotannossa oleva versio. Syynä tähän on jo aiemmin mainittu moottorin sijoittaminen kuormaajan kiinnityslaipan alle. Osat 5,6 ja 10 (Kuvio 9) muodostavat A kirjaimen muotoisen rakenteen, johon kiinnitetään tukijalat. A rakenteen pystyputket (5, Kuvio 9) kolottiin siten, että rakenteen poikkiputket (6 ja 10, Kuvio 9) asettuvat paikalleen itsestään. A rakenne mahdollisti myös ohuemman materiaalin käytön, jolloin paino pystyttiin pitämään mahdollisimman alhaalla. A kirjaimen muotoinen rakenne antaa samalla myös tuen kuormaimen kiinnityslaipalle (4, Kuvio 9).

Nykyisessä mallissa kuormainpukin suora 16 mm vahva kiinnityslaippa ei tulisi FEM -laskentojen perusteella kestäämään uudessa rakenteessa. Laippaa tuli siis jäykistää, eikä vahvuuden lisääminen enää ollut vaihtoehtona. Useiden luonnosten ja FEM laskentojen perusteella kuormajalaippa päätettiin valmistaa 10 mm vahvasta Optim

650 MC teräksestä, johon tehdään lisäksi 90° taivutukset reunoille. Oheinen materiaali valittiin myös sen pienen taivutussäteen vuoksi. Optim 650 MC teräksen taivutussäde on vain 14 mm. Kuormaajan kiinnityslaipan taivutuksien mitat osoittautuivat kriittisiksi. Kiinnityslaipan taivutuksista tehtiin mahdollisimman pienet, jotta kuormaaja ei nousisi turhan korkealle. Optim 650 MC teräksen minimi taivutuslaippa määritettiin laskennallisesti (Kaava 8), sekä samalla myös tarkistettiin vaadittava etäisyys taivutuksien ja reikien välille (Kaava 10). Taivutuksien ja lujemman materiaalin ansiosta kuormainlaippa kestää FEM -laskentojen mukaan kuormaajaan aiheuttaman 10 kNm vääntömomentin (Liite 3). Kuormainlaipan kiinnitysreiät haluttiin pitää ”porareikinä” laipan jäykkyyden säilyttämiseksi.

Kuormainlaipan etummainen tuki (8, Kuvio 9) toteutettiin ohutlevystä muotoillen, jolloin tuen yläkiinnityspintaan saatiin mahdollisimman tukeva hitsaussauma. Aluksi tukea pyrittiin sisällyttämään samaan osaan kuormainlaipan kanssa, mutta laipan materiaalivahvuus ja muotojen päällekkäisyydet leikattavassa levyssä aiheuttivat liikaa ongelmia.

Tukijalkojen sylintereiden korvakkeet (9, Kuvio 9) asettuivat väkisin melko korkealle, jotta tukijalalle saavutettiin tarvittava liikealue. Korvakkeet kuitenkin sitovat kuormainlaippaa ja pukin A rakennetta entisestään, mikä onkin ainoastaan hyvä asia. Kuormainpukin pohjalevyä (3, Kuvio 9) kevennettiin aukotuksilla kohdista, jossa rasituksia ei esiinny. Kuormainpukin A rakenne ja etutuki hitsataan pohjalevyyn ja lisäksi A rakenne sidotaan varsinaiseen metsäperävaunuun pulteilla osassa 6 olevien reikien kautta. Osa 2 on sermin (1, Kuvio 9) tukirakenne, jolloin se suojaa samalla kuormaajaa ja tukee kuormainlaippaa entisestään.



Kuvio 10 Kuormainpukki hitsattuna

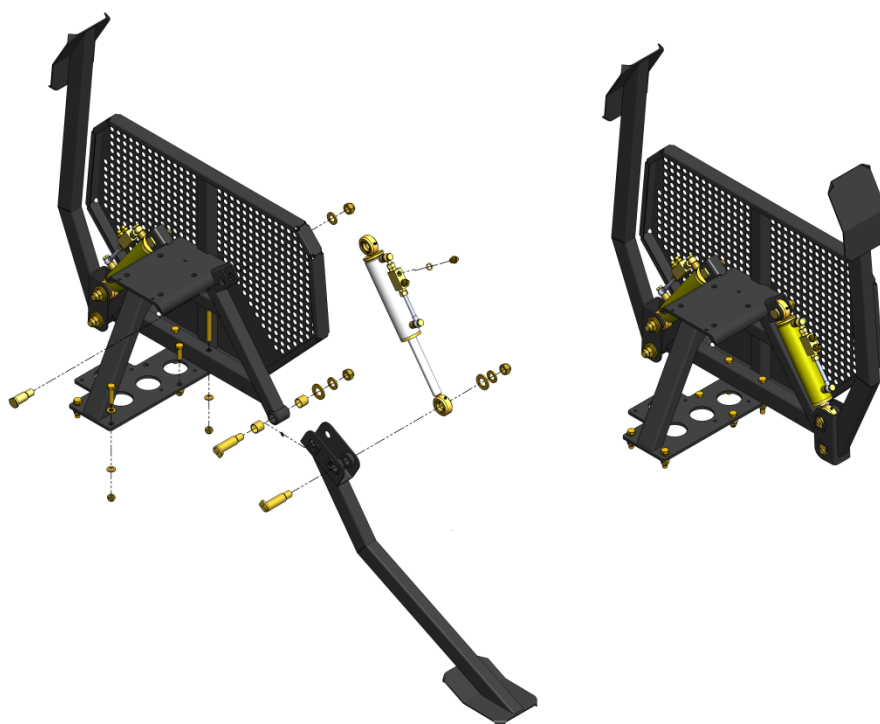
Kuormainpukin hitsauskokoontalon (Kuvio 10) osien määrä tippui 13 osaan, kun se nykyisessä kuormainpukissa oli 30 osaa. Uuden kuormainpukin tukijalkojen nivelholkkeina on käytetty kuormaimessa käytössä olevia holkkeja, jolloin uusien osien määrä ei kasva turhaan. Hitsausseamat on mitoitettu pääsääntöisesti tasalujiksi. Pienimmän sallitun a-mitan vuoksi osa saumoista on kuitenkin ylimitoitettuja. Hitsausriloiksi pyrittiin mahdollisuuksien mukaan suunnittelemaan pienasauma ja suurin osa hitsausseamoista onnistuttiin suunnittelemaan hitsattavaksi jalkoasennossa.



Kuvio 11 Uusi ohutlevystä valmistettu sermi

Hitsausseamojen lukumäärä tippui 37 kappaleeseen, kun vanhassa pukissa hitsausseamojen lukumäärä on 40 kappaletta. Tähän lukuun ei ole laskettu sermin

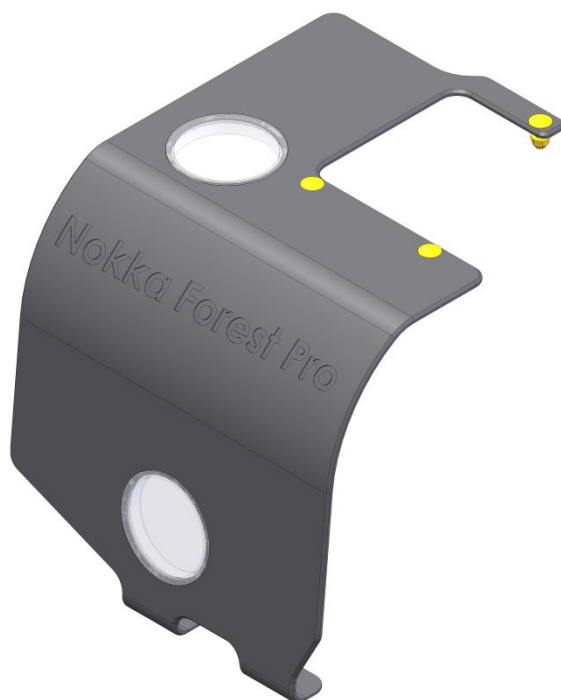
verkon hitsaussaumojä, joita vanhassa mallissa kertyy noin 100 kappaletta. Vaikka saumat ovat lyhyitä, on verkon hitsaus vanhassa mallissa erittäin työläs vaihe. Uuden kuormainpukin sermi on toteutettu yhdestä 2 mm vahvasta ohutlevystä (Kuvio 11). Sermin kaikki leikattavat reiät ovat samankokoisia ja leikkauslinjat täysin suorja, jolloin sermin levyaihiö voidaan leikata levytyökeskuksella. Sermin taivutukset tehdään taivutusautomaatilla, joka mahdollistaa kotelomaisen rakenteen, mikä tekee sermistä itsessään jäykän. Taivutuksien reunat hitsataan TIG -hitsauksella alihankkijan toimesta, jolloin sermi on täysin valmis asennettavaksi Nokalle saapuessaan.



Kuvio 12 Kuormainpukin kokoonpano

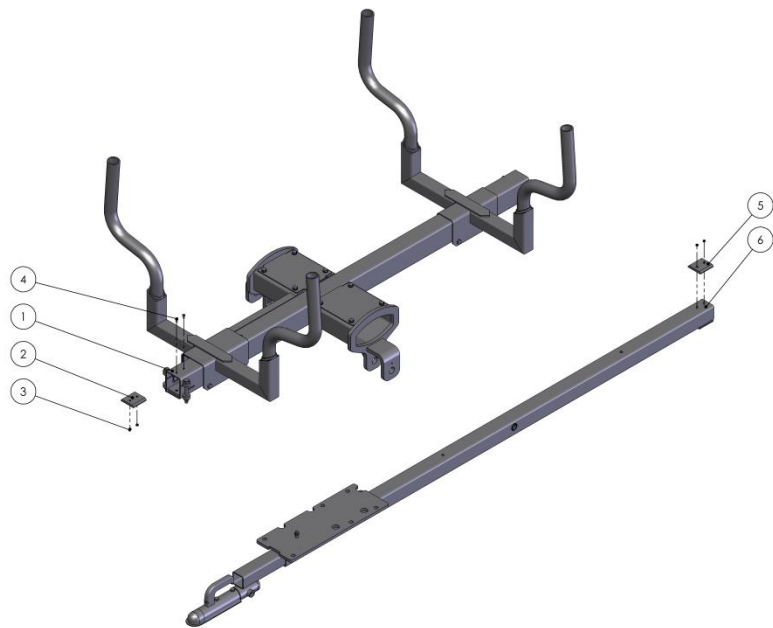
Kuormainpukin kokoonpantavuutta pyrittiin uudessa pukissa korostamaan selkeillä osien kiinnityslinjoilla (Kuvio 12). Uuden kuormainpukin osamäärä nousi 51 osaan, kun se vanhassa kuormainpukissa oli 27 osaa. Osien määrän kasvu oli väistämätöntä sivulle taittuvien kaaritukijalkojen tarvitsemien tappien ja liukulaakereiden vuoksi. Suurin osa osista on kuitenkin standardi aluslevyjä ja muttereita, jolloin ne eivät aiheuta valmistuskustannuksia. Kiinnitystappeina ja liukulaakereina on käytetty jo Forest Pro:n kuormaimessa käytössä olevia osia. Aiempien osien käyttö kasvattaa osien volyyymia, jolloin myös osien kustannukset alenevat. Tukijalkojen sylinteri

suunniteltiin yhdessä Pematicin suunnittelijan kanssa. Sylinteri on mitoiltaan samaa kokoluokkaa kuin kuormaajan sylinterit, jolloin varaosina toimivat esimerkiksi samankokoiset tiivisteet. Sylintereihin asennettiin kiinteät konedirektiivin mukaiset lukkoventtiilit.



Kuvio 13 Moottorin muovinen suoja

Moottorin suoja (Kuvio 13) suunniteltiin viimeisenä, sillä sen muodoilla ja rakenteella ei ollut niin suurta merkitystä toimintojen kannalta. Suoja päätettiin valmistaa muovista, jolloin sen muotoilu oli helpompaa ja siitä saatiin kokonaispainoltaan kevyempi. Moottorisuojan tarkoituksena on ehkäistä veden ja lumen pääsy suoraan moottorille. Myös metsässä olevat oksat voivat tunkeutua moottoriin ja aiheuttaa vaurioita. Moottorisuoja valmistettiin 6 mm vahvasta PE-HD muovista jyrsimällä ja suojan muoto toteutettiin lämpömuovaamalla se Leo Laine Oy:n ultravalo-tekniikalla. Levyn muotoon jyrsimässä jyrsitään suojaan samalla myös Nokka Forest Pro logo. Moottorin tankkaamista ja moottoriöljyn tarkistusta varten jätettiin toimenpiteiden vaatimat aukot, joihin asetettiin noin 112 mm leveät DBI plasticsin DA tulpat. Näin ollen moottorisuoja ei varsinaisesti sisällä kuin kolme osaa.



Kuvio 14 Forest Pro -metsäperävaunun runko

Forest Pro -metsäperävaunun (Kuvio 14) rungonjatkeen välys poistettiin lisäämällä putkien väliin nylonista valmistetut liukupalat (2 ja 5, Kuvio 14). Liukupalat kiinnitetään rakenneputkiin pulteilla ja muttereilla (3 ja 4, Kuvio 14). Rungon rakennetta muutettiin vaihtamalla runkojatkeen ulompi putki (1, Kuvio 14) 80x80x4 neliöputkesta 100x80x4 suorakaideputkeen. Runkojatkeen sisempi putki (6, Kuvio 14) pysyi ennallaan lukuun ottamatta liukupalojen tarvitsemia reikiä. Ulomman putken korkeuden kasvattaminen vaati muutamia pieniä muutoksia rakenteiden levyleikkeissä. Muutokset ovat kuitenkin pieniä, lähinnä osien valmistuksessa huomioitavia toimenpiteitä esimerkiksi uuden DXF -tiedoston käyttöön otto. Muutokset eivät kuitenkaan aiheuta toimenpiteitä kokoonpanojen hitsauksessa.



Kuvio 15 Forest Pro kokoonpano

Detaljisuunnittelun aikana uudesta Forest Pro:sta kasattiin metsäperävaunun täydellinen kokoonpano (Kuvio 15). Kokoonpanon yhteydessä viimeisteltiin osat ja luotiin osista valmistuspiirustukset sekä DXF -kuvat.

11.3.1 Lujuustarkastelut

Uuden Forest Pro:n rakenteiden lujuudet tarkasteltiin käyttäen apuna FEM -laskentaa. FEM -laskentoja suoritettiin useaan otteeseen suunnitteluprosessin edetessä. Laskentojen rasitusten määrittämisessä pohjana käytettiin Forest Pro kuormaajan bruttonostomomenttia, joka on 10 kNm. Rasitusten määrittämiseen käytettiin myös fysiikan kaavoja, jotka saatiin Esko Valtasen Tekniikan taulukkokirjasta. Tarkemmat laskelmat lopullisista Forest Pro:n muutoksista on esitetty liitteessä 3. Laskelmat tehtiin kuormainpukille, kuormainjalalle, sermille sekä tukijalkojen sylinteri korvakkeelle. Laskelmien perusteella voidaan todeta

rakenteiden riittävä kestävyys niille asetettujen rasituksien mukaan. Rakenteiden kestävyys todetaan kuitenkin lopullisesti vasta käytännön testeissä, jolloin rakenteet joutuvat todellisille rasituksille.

11.3.2 Materiaalivalinnat

Kuormainpukin ja tukijalkojen hyvin oleellisena materiaalin valintakriteerinä oli keveys. Eri teräslaaduilla ei kuitenkaan voida vaikuttaa keveyteen, kun paksuus pidetään samana, sillä kaikkien teräslaatuojen tiheys on 7850 kg/m^3 . Kuormainpukin perus teräslaatuuna käytettiin S355 terästä ja rakenneputkina Ruukin double grade kaksoisluokiteltuja S355-S420 teräslaatuja. Kuormaajan kiinnityslaipassa käytetään Optim 650 MC terästä. Hydraulikoneikon suoja valmistetaan PE-HD muovista, joka taivutetaan muotoonsa. Eri materiaalilaadut pyrittiin pitämään mahdollisimman vähäisinä (Taulukko 7). Täysin mutkaton optimointi materiaalien välillä ei ollut mahdollista, kun sekä paino että kustannukset haluttiin pitää matalina.

Taulukko 7 Materiaalit kuormainpukissa ja tukijaloissa

Käytetyt materiaalit

Materiaali	Mitat (mm)	Myötölujuus (Mpa)	Taivutussäde (mm)	Taivutusvastus (mm^3)	Paino (kg/m)
S355 levy	2	355	4	-	*
S355 levy	4	355	10	-	*
S355 levy	6	355	16	-	*
S355 levy	10	355	25	-	*
Rakenneputki	50x50x3	355/420	-	7,79	4,25
Rakenneputki	70x50x3	355/420	-	12,59	5,19
Optin 650 MC levy	10	650	14	-	*
PE-HD	6	24	-	-	**

* Tiheys 7850 kg/m^3

** Tiheys 950 kg/m^3

Forest Pro:n metsäperävaunun rungossa materiaalit pysyvät ennallaan lukuun ottamatta rungon liukujatkeen päällimmäistä putkea, joka muutettiin $100 \times 80 \times 4$ rakenneputkeen. Materiaalina myös näissä rakenneputkissa toimii Ruukin double grade rakenneputki. Rungon liukujatkeen liukupalat ovat materiaaliltaan nylonia.

Uudessa kuormainpukissa tappeja ja holkkeja käytettiin lähinnä tukijalkojen nivelissä. Tapit ja holkit valittiin Forest Pro:ssa jo aiemmin käytössä olleista osista, jolloin niiden materiaaleja ei tässä oteta huomioon.

12 TULOKSET

Opinnäytetyön tavoitteina oli kehittää Forest Pro:ta valmistettavuuden, kustannuksien ja rakenteen näkökulmasta. Valmistettavuutta pyrittiin parantamaan yhdistämällä osia hyödyntäen eri valmistusmenetelmiä sekä tuomalla Forest Pro:hon täysin uusia ratkaisuja. Tavoitteina oli myös alentaa Forest Pro:n painoa sekä parantaa kuormaustilanteen vakavuutta. Forest Pro:n uudet rakenteet pyrittiin suunnittelemaan mahdollisimman hyvin näitä tavoitteita noudattamalla. Suunnitteluprosessin edetessä kuitenkin ilmeni, että määrääväksi tekijäksi asettui kuormattavuuden vakavuus, mikä vaikutti olennaisesti myös opinnäytetyön tuloksiin tavoitteiden osalta.

Opinnäytetyön tavoitteista tärkeimmäksi nousi kuormauksen vakavuuden parantaminen, sillä se on erittäin merkittävässä osassa tuotteen käytettävyyden ja turvallisuuden näkökulmasta. Ratkaisuksi vakavuuden parantamiseen valittiin sivuille taittavat kaaritukijalat, joiden avulla pystyttiin toteuttamaan 2,95 m tukipisteiden tukiväli. Kuormauksen vakavuus todennettiin tekemällä standardin SFS-EN 12999 + A1 sisältämä vakavuuskoe uudelleen (Liite 2). Sivuille taittavat kaaritukijalat paransivat kuormattavuutta hyvin oleellisesti. Kuormaaminen on nyt myös tasaista, turvallista ja helposti hallittavaa, vaikka metsäperävaunu olisi tyhjiillään.

Yksi opinnäytetyön tavoitteista oli poistaa Forest Pro:n rungon liukujatkeen välykset. Välyksen poisto onnistuikin erittäin hyvin, eikä runko enää notku jatkokohdastaan. Välyksen poisto myös vakavoittaa kuormausta entisestään, kun metsäperävaunun runko pysyy yhtenäisenä. Lisäksi liukujatkeen liikkuvuus parani oleellisesti. Aiemmin pelkät putket ovat saattaneet tarttua toisiinsa kiinni ruostumalla pitkään seisoessaan tai putkiin tulleiden kolhujen vuoksi. Liukupaloilla tiivistetty liukujatke ei myöskään ole niin tarkka putkien suoruudesta. Tämä helpottaa erityisesti hitsauksen jälkikäsittelyä, jolloin rungon rakenneputkien paikallisten lämmöntuontien aiheuttamia vääntymiä ei tarvitse huomioida niin tarkasti.

Forest Pro:n valmistettavuus parantui monellakin eri tavalla. Kriittisimmän kokonaisuuden, eli kuormainpukin osien määrä tippui 30 osasta 13 osaan. Tämä on merkittävä tekijä kuormainpukin tuotannonohjauksessa. Suurin osien vähennys

saatiin aikaan valmistamalla koko sermi yhdestä ohutlevystä. Sermin valmistus ohutlevystä myös nopeuttaa hitsaus-työvaihetta. Rakenteessa on myös käytetty paikoitusnastoja parantamaan osien sijoittumista oikeille paikoilleen.

Hitsaustyövaiheeseen tullaan tekemään hitsausjigi, jolla loput osat saadaan asetettua hitsauksen ajaksi paikoilleen. Sivulle taittuvan kaaritukijalan lisääminen hitsaustyötä, vaikka tukijalkojen osien määrä kasvaa viidestä osasta vain seitsemään osaan. Kaaritukijalkojen hitsausosuudet ovat kuitenkin hyvin yksinkertaisia, eivätkä näin ollen lisää työn määrää suuresti.

Forest Pro:n painon alentamista ei tässä opinnäytetyössä saavutettu. Varsinaisesta kuormainpukista painoa saatiin tippumaan 5,2 kg, kun taas sivulle taittuvien kaaritukijalkojen sylinterin kasvattivat paino 2,79 kg kappaleelta. Myös sivulle taittuvien kaaritukijalkojen kokoonpanoon tarvittavat tapit lisäsivät painoa. Metsäperävaunun rungonjatkeen muutokset lisäsivät painoa 2,97 kg. Forest Pro:n kokonaispaino nousi kuitenkin vain 2,6 kg.



Kuvio 16 Uuden Forest Pro:n Beta prototyyppi

Opinnäytetyön tuloksista muodostuneesta uudesta Forest Pro:sta valmistettiin beta luokituksen mukainen prototyyppi (Kuvio 16). Prototyypin valmistuksen aikana ilmeni

muutamia muutostarpeita, joita tässä opinnäytetyössä ei enää käsitellä, vaan uudet muutokset siirtyvät seuraaviin malleihin. Prototyypin mukaan uusi Forest Pro on perusratkaisuiltaan ja rakenteiltaan varsin onnistunut. Seuraavaksi prototyyppiä pyritään testaamaan mahdollisimman paljon sille tyypillisissä käyttöympäristöissä. Prototyyppi ylikuormitetaan testien aikana säätämällä hydrauliiikan paine noin 30 % vakio-arvoja suuremmaksi. Näin voidaan todeta lopullisesti rakenteiden kestävyys.

12.1 Kustannukset

Opinnäytetyön yksi tavoitteista oli alentaa Forest Pro -metsäperävaunun kustannuksia opinnäytetyöhön sisällytettyjen osa-alueiden kohdalla. Kuormauksen vakavuuden noustessa tärkeimmäksi kehitystavoitteeksi, suunnittelun kohteena olevan kuormainpukin rakenne muuttui täysin, jolloin myös kustannuksien alentamisesta tuli haastavampaa. Euromääräisiä kustannuslaskentoja ei sisällytetä opinnäytetyöhön, sillä ne pitävät sisällään toimeksiantajan salaisia osahintoja ja valmistuskustannuksia. Laskennat tehtiin uuden ja vanhan Forest Pro:n muuttuville kustannuksille osien ja hitsauksen tasolla. Näin kustannuksia voitiin verrata toisiinsa luotettavasti.

Taulukko 8 Kustannusten vertailu

Uusi Forest Pro		Vanha Forest Pro		Muutokset
Nimikenro.	Nimitys	Nimikenro.	Nimitys	Hinta %
2AT1566	Kuormaint. Hits	2AV0057	Kuomaint. Hits	-12
2AT1569	Tukijalka	-	Tukijalat	-3
3AT1916	Sylinteri	3AV0103	Sylinteri	8
2AT1568	Kuormainteline	2AV0046	Kuormanteline	8
-	Moottorisuoja	3AV0456	Moottorisuoja	-32
2AT1571	Runko osat	2AV0058	Runko osat	4
2AT1576	Hydrauliöljys. Hits	3AV0451	Hydrauliöljys. Hits	-5

Oheisessa taulukossa (Taulukko 8) on esitetty opinnäytetyön vaikutuksenalaisten kustannusten muutokset. Kustannukset on ilmoitettu prosentuaalisina muutoksina, jolloin kustannusten aleneminen on ilmoitettu miinus merkkisenä ja kustannusten nouseminen plus merkkisenä. Varsinaisen hitsatun kuormainpukin kustannukset alenivat 12 %, mutta suurempien sylintereiden ja tukijalkoihin tarvittavien niveltappien vuoksi kuormaintelineen kokoonpanon kustannukset nousivat 8 %.

Myös rungon välyksen poisto nosti rungon kustannuksia 4 %. Kokonaiskustannuksien muutos opinnäytetyön vaikutusalueilla, johon on laskettu kuormainteline kokoonpano, moottorisuoja, runko osien ja hydraulioöljysäiliön kustannukset, oli loppujenlopuksi plus 8 %. Muut Forest Pro:n osa-alueiden kustannukset pysyvät ennallaan, jolloin koko Forest Pro -metsäperävaunun (ei sisällä kuormainta) kustannukset nousevat vain noin 2 %.

12.2 Tulosten analysointi ja jatkotoimenpiteet

Vaikkakaan kaikkia alkutilanteen tavoitteita ei pystytty täyttämään, ovat opinnäytetyön tulokset onnistuneet. Tavoitteet Forest Pro:n muuttuvien kustannuksien sekä painon alentamisesta eivät täyttyneet, koska kuormainpukin rakenne muuttui hyvin oleellisesti sivuille taittuvien kaaritulijalkojen vuoksi. Uuden ja vanhan Forest Pro:n kustannuksia ei voida täten suoraan verrata toisiinsa. Kun muutokset ja vakavuuden lisäämisen hyödyt otetaan huomioon, on 2 % kokonaiskustannuksien nousu varsin pieni. Myöskään Forest Pro:n 2,6 kg kokonaispainon nousu ei tule vaikuttamaan metsäperävaunun toiminnallisuuteen. Tärkeimpänä tavoitteen oli vakavuuden lisääminen. Forest Pro:n kuormattavuuden vakavuus parani huomattavasti ja myös SFS-EN 12999 + A1 standardin vakavuuskokeen mukaan se voidaan todeta huomattavasti vakaammaksi. Tämä on merkittävä etu niin kilpailijoihin nähden kuin asiakastyytyvyydenkin kannalta.

Uuden Forest Pro:n ensimmäinen prototyyppi osoitti, että monet sen ratkaisusta ovat toimivia ja pienen jatkokehityksen jälkeen käyttökelpoisia. Opinnäytetyön keskeisin osuus oli Forest Pro:n kuormainpukki, jonka valmistettavuus parani osien ja hitsauksen vähenemisen ansiosta. Ohutlevystä valmistettu sermi on nopea ja tehokas valmistaa sekä liittää kuormainpukin rakenteeseen. Prototyypin valmistuksessa suurimmiksi korjaustoimenpiteiksi osoittautui sermin tukeminen sekä tukijalkojen jäykkyyden ja kestävyuden lisääminen. Sermin rakennetta tullaan ensisijaisesti tukemaan levytyökeskuksella tehdyillä jäykistejuovilla levyn leikkausvaiheessa. Jos tämä ei riitä, hitsataan sermin sisäpuolelle pistehitsein jäykistävä poikkirima. Tukijalkojen jäykkyyttä pyritään parantamaan tukijalan rakenteen muutoksilla, esimerkiksi taivuttamalla tukijalka muotoonsa yhdestä putkesta tai pyrkimällä mahdollisuuksien mukaan suoraan tukijalkaan.

13 POHDINTA

ATV-kokoluokan koneet ovat kasvattaneet suosiotaan ja ala onkin huimassa kasvussa. Tämän ja oma mielenkiintoni metsäkoneita kohtaan tekivät opinnäytetyöstä hyvin mieleisen ja kiinnostavan, sekä myös toimeksiantajan näkökulmasta hyödyllisen.

Opinnäytetyö, jonka aiheena on parantaa markkinoilla olevaa tuotetta, on melko laaja ja haastava aihe, kun tavoitteeksi on asetettu uusi markkinoille asti vietävä tuote. Tämä opinnäytetyö osoitti myös hyvin, kuinka tuotekehitysprosessien tavoitteet ja niiden painotus saattavat muuttua prosessin aikana.

Tuotekehitysprosessin tavoitteet vaikuttavat suuresti toisiinsa, eikä kaikkia tavoitteita välttämättä pystytä toteuttamaan. Myös suunnittelijan kokemus ja valmistustekniikoiden tuntemus ovat hyvin tärkeässä osassa tuotekehitysprosessin onnistumista. Tämänkin prosessin aikana voitiin jälleen todeta, kuinka suunnittelijan on lähes välttämätöntä tuntea yrityksen tuotanto ja toimintatavat hyvin, jotta ne voidaan huomioida jo suunnitteluvaiheessa. Jotta suunnittelija pystyisi huomioimaan kaikki nämä seikat työssään, on hänen mielestäni hyvä jalkautua tuotannon pariin ja ottaa vastaan myös tuotannon työntekijöiden kehitysehdotukset. Vaikka nykyiset suunnitteluohjelmistot tarjoavat monipuolisia työkaluja, nousee käytännön työn ja kokemuksen pohjalta konkreettisia huomioita, jotka saattavat suunnitteluvaiheessa muutoin jäädä huomaamatta. Nämä menetit ovat luonnollisesti elintärkeitä etenkin aloittelevalle suunnittelijalle.



Kuvio 17 Uusi Forest Pro mönkijän perässä

Opinnäytetyön tuloksena saatiin toimiva ja yhtenäinen kokonaisuus (Kuvio 17), vaikkakin uusi Forest Pro vaatii vielä hieman jatkokehitystä. Suurien muutoksien vuoksi uusi Forest Pro vaatii vielä testausta sille ominaisissa työtehtävissä ja tyypillisissä olosuhteissa. Rakenteiden merkittävät muutokset eivät kuitenkaan aiheuttaneet suuria kustannus ja painon muutoksia, mikä on mielestäni onnistunut saavutus. Päättävöitteena oli vakavuuden lisääminen, joka toteutuikin hyvin ja antoi toivottua jäämäkkyyttä kuormaamiseen ja näin paransi myös käytettävyyttä.

Opinnäytetyö oli hyvä oppimistilanne, joka lisäsi suunnitteluprosessin ja sen osa-alueiden tuntemusta. Etenkin eri valmistustekniikoiden tuntemus ja kustannuksien arviointikyky kasvoi tämän opinnäytetyön aikana.

LÄHTEET

- 3D - laserleikatun kappaleen kuva Trumpf sivustolla. Viitattu 25.2.2015.
http://www.trumpf-machines.com/fileadmin/DAM/trumpf-machines.com/Produkte/TruLaser_Tube/Tube_Potential/comparison_cost_and_time.jpg
- Björk, T., Hautala, P., Huhtala, K., Kivioja, S., Kleimola, M., Lvi, M., Martikka, H., Miettinen, J., Rantala, A., Rinkinen, J. & Salonen, P. 2014. Koneenosien suunnittelu. Helsinki: Sanoma Pro Oy
- Boothroyd, G., Dewhurst, P. & Knight, W. 2002. Product design for manufacture and assembly. New York: Marcel Dekker Inc.
- Cross, N. 2011. Engineering design methods, strategies for product design. England: John Wiley and sons Ltd.
- Eppinger, S & Ulrich, K. 2012. Product design and development. New York: The McGraw-Hill Companies.
- Hakala, T. 2010. Multi-Mette XLT-5 4wd –kuormainperävaunu Kuormaa, vetää ja vinssaa. Koneviesti 10, 66-69.
- Hietikko, E. 2008. Tuotekehitystoiminta. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulun kuntayhtymä.
- Hietikko, E. 2012. SolidWorks tietokoneavusteinen suunnittelu. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.
- Huhtala, V., Makkonen, T., Ojanen, T. & Rusanen, A. 1987. Konstruktitekniikka. Helsinki: Valtion painatuskeskus.
- Jokinen, T. 2010. Tuotekehitys. Aalto-yliopisto Teknillinen korkeakoulu. Viitattu 29.11.2014. <http://lib.tkk.fi/Reports/2010/isbn9789526033204.pdf>
- Järvenpää, M. Länsiluoto, A. Partanen, V. & Pellinen, J. 2010. Talousohjaus ja kustannuslaskenta. Helsinki: WSOYpro Oy.
- Kananen, J. 2008. KVALI Kvalitatiivien tutkimuksen teoria ja käytänteet. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu
- Lempiäinen, J. & Savolainen, J. 2003. Hyvin suunniteltu – Puoliksi tehty. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys Ry.
- Lukkari, J. 2002. Hitsaustekniikka, Perusteet ja kaarihitsaus. Helsinki: Opetushallitus.
- Lukkari, J. 2011. Hitsaustalous ja tuottavuus. Hitsaustekniikka 3, 7-8.
- Luonnonvarakeskus. Metsämaan omistus. Viitattu 15.2.2015.
http://www.metla.fi/metinfo/mo/metsamaan_omistus.htm

- Niemi, E. 1993. Hitsatun rakenteen suunnittelun perusteet. Helsinki: Painatuskeskus Oy.
- Nokka Forest Pro kuva Nokka Oy: sivustolla. Viitattu 25.1.2015. http://www.nokka.fi/filebank/1485-Nokka_peravaunu.jpg
- Nykänen, S. 2009. Vahva-Jussi-kuormaajavaunu pienkoneisiin Jukolan Jussi. Konevisti 10, 74-75.
- Nykänen, S. 2014. Forest Pro 1042 –metsäperävaunu Omatoimiseen puunkorjuuseen. Konevisti 8, 96-98.
- Nykänen, S. 2010. Avesta 4.2 H Metsäperävaunu kaikilla herkuilla. Konevisti 7, 70-73.
- Nykänen, S. 2013. Country 330 T5 –vaunu Napaveto helpottaa mönkimistä. Konevisti 4, 56-57.
- Nykänen, S. 2010. Kuormaajalla varustettu mönkijän metsäperävaunut testissä, Puu liikkumaan!. Konevisti 2, 66-69.
- Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E. & Hultin, S. 2010. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Tampere: teknova Oy.
- Metsäkeskus. 2014. Energiapuun korjuun laatu vaihtelee liian paljon. Viitattu 15.2.2015. <http://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/korjuujaljen-tarkastusraportti-2013.pdf>
- Metsäyhdistys. Metsänomistus. Viitattu 15.2.2015. <http://www.smy.fi/forest-fi/metsanomistus/>
- Metsäyhdistys. Suomen metsävarat. Viitattu 15.2.2015. <http://www.smy.fi/forest-fi/suomen-metsavarat/>
- Parviainen, M., Pellinen, R., Salminen, M. & Sauranen, T. 2014. Kevyet koneet metsänhoidossa opas metsänomistajille. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorekakoulu.
- Piironen, T. 2013. Teräsrakenteiden suunnitteluohjeita parempaan valmistettavuuteen. Savonian-ammattikorkeakoulu, HitNet. Viitattu 30.10.2014. <http://portal.savonia.fi/pdf/julkaisutoiminta/2013-hitnet-suunnittelijanopas.pdf>
- Routio, P. 2007. Tuote ja tieto. Tuotteiden tutkimus ja kehittäminen. Viitattu 15.3.2015. <http://www2.uiah.fi/projects/metodi/089.htm>.
- SFS-EN ISO 12100. 2010. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- SFS-EN 12999 + A1. 2012. Nosturit. Kuormausnosturit. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- Suomen standardisoimisliitto SFS RY. Standardit. Viitattu 25.1.2015. http://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/julkaisut/standardit

Suomen standardisoimisliitto SFS RY. Standardit tutuiksi. Viitattu 25.1.2015.
http://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/standardi_tutuksi

Teknisiä tietoja Nokka Forest Pro ATV-tuotteista Nokka Oy:n sivustolla. Viitattu 14.2.2015. <http://www.nokka.fi/nokka/tuotehakemisto?id=70&selCategory=48>

Tenhunen, M. 2013. Johdon laskentatoimen peruskäsitteet, menetelmät ja tekniikat (jatkuu). Johdon laskentatoimen koulu osa 3/10. Viitattu 1.2.2015.
<http://tilisanomat.fi/content/johdon-laskentatoimen-perusk%C3%A4sitteet-menetelm%C3%A4t-ja-tekniikat-jatkuu>

Työsuojeluhallinto. 2008. Koneturvallisuus. Koneiden tekniset vaatimukset ja vaatimustenmukaisuus. Tampere: Multiprint. Viitattu 26.1.2015.
http://tyosuojelujulkaisut.wshop.fi/documents/2008/12/tso_16-2009.pdf

Valtanen, E. 2010. Tekniikan taulukkokirja. Mikkelo: Genesis-Kirjat Oy.

Yritysesittely Nokka Oy:n sivustolla. Viitattu 29.11.2014.
<http://www.nokka.fi/nokka/yritysesittely>

Yritysesittely Pematic Oy:n sivustolla. Viitattu 14.2.2015.
<http://www.pematic.fi/>

LIITTEET

Liite 1. Tuotekehitys prosessin vaatimuslista

Liite 2. Forest Pro:n vakavuuskoe standardin SFS-EN 12999 + A1 mukaan.

Liite 3. Uuden Forest Pro:n FEM lujjuustarkastelut

Liite 4. Uuden Forest Pro:n kokoonpano kuvat

Liitteet poistettu julkisesta versiosta.