

Toni Saarela

**Energiapuukouran kehitysprosessi maataloustraktorin
sekä pienien ja keskisuurien metsäharvestereiden
puutavarakuormaajaan**

Opinnäytetyö

Kevät 2011

SeAmk Tekniikanyksikkö

Auto- ja Kuljetustekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: SeAmk Tekniikka

Koulutusohjelma: Auto- ja kuljetustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: maatalouskonetekniikka

Tekijä: Toni Saarela

Työn nimi: Energiapuukouran kehitysprosessi maataloustraktorin sekä pienien ja keskisuurien metsäharvestereiden puutavarakuormaajaan

Ohjaaja: Jukka Aarnio

Vuosi: 2011

Sivumäärä: 66

Liitteiden lukumäärä: 2

Tämä opinnäytetyö sisältää energiapuukouran kehitysprosessin. Kehitysprosessin taustalähtökohdiksi selvitetään perusteellisesti taloudelliset näkemykset sekä työtehokkuusnäkemykset. Työssä käydään läpi tuotekehityksen teoriaa uuden tuotekehitysprojektin alkuhetkistä tuotteen osien yksityiskohtaiseen detaljisuunnitteluun asti. Työssä perehdytään lisäksi myös tietokoneavusteisen suunnittelun teoriaan sekä suunnittelumenetelmiin. Työn lopussa on myös hydraulikkajärjestelmän komponentteja ja toimintaa käsittelevää teoriaa. Varsinainen energiapuukouran kehitysprosessi alkaa työn tilaajan energiapuukouralle asetettujen vaatimuksien ja toiveiden selvityksellä, joiden pohjalta valitaan varsinainen tuotekonsepti. Energiapuukouran kehitysprosessi jatkuu tuotekonseptin valinnan jälkeen energiapuukouran osien detaljisuunnittelulla. Työn lopussa kerrotaan energiapuukouran hydrauliiikan toimintavaatimuksista sekä kerrotaan energiapuukouran hydrauliiikan toteutuksesta hydraulikaavion avulla.

Avainsanat: tuotekehitys, tuotesuunnittelu, energiapuukoura,

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Automotive and Transportation Engineering

Specialisation: Automotive and Work Machine Engineering

Author: Toni Saarela

Title of thesis: Development process of the energy wood harvester head

Supervisor: Jukka Aarnio

Year: 2011

Number of pages: 66

Number of appendices: 2

This bachelor thesis includes the development process of the energy wood harvester head. At the beginning the readers are told very well both the economical and work efficiency issues which are behind this development process. This bachelor thesis goes through the whole product development process theory how the new product ideas are born and until then are developed step by step into new product detail design. This bachelor thesis also deals with computer-aided design and the design methods theory.

The development process of the energy wood harvester head itself starts with first identifying the customer needs, desires and priorities which are the bases of creating and selecting the product concept. Then the product development process continues to the head design details of the energy wood processor. Hydraulic is also a very important part of the energy wood harvester head working so the last part of this bachelor thesis includes the hydraulic systems basic theory which is shows the hydraulic of the energy wood harvester head. The hydraulic design is presented in the picture how hydraulic system works.

Keywords: product, development, designing, energy, wood, harvester, head,

SISÄLTÖ

OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ	1
THESIS ABSTRACT	2
SISÄLTÖ	3
KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO	6
KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET	8
1 JOHDANTO	9
1.1 Talouspoliittiset vaikutukset	9
1.2 Työtehokkuus, työergonomia sekä taloudelliset näkemykset.....	11
2 TUOTEKEHITYS	13
2.1 Mitä tuotekehitys on ?	13
2.1.1 Tuotekehityksen tulokset.....	14
2.1.2 Tuotekehityksen haasteet	15
2.2 Tuotekehityksen vaiheet	15
2.2.1 Asiakastarpeiden tunnistaminen	15
2.2.2 Tuotespesifikaation määrittely.....	17
2.2.3 Tuotekonseptin luonti	20
2.2.4 Layout-suunnittelu.....	22
2.2.5 Detalji-suunnittelu	24
3 ENERGIAPUUKOURALLE ASETETUT VAATIMUKSET JA TOIVEET	25
3.1 Energiapuukouran pakolliset vaatimukset.....	25
3.2 Toiveet energiapuukouran mahdollisille lisäominaisuuksille	27
3.3 Tuotekonseptin valinta	29
4 TIETOKONEAVUSTEINEN SUUNNITTELU	31
4.1 Tuotesuunnittelu osana tuotekehitystä	31
4.2 DFMA.....	32
4.3 Rinnakkaissuunnittelu	33
4.4 Parametrinen piirremallinnus ja mekaniikkasuunnittelu.....	34

5	ENERGIAPUUKOURAN OSIEN SUUNNITTELU	36
5.1	Pihti	36
5.1.1	Vasen pihti	36
5.1.2	Oikea pihti	37
5.2	Energiapuukouran pihtirunko	38
5.3	Pihtien välivipu	39
5.4	Puun katkaisuterä	40
5.5	Tiltausrunko	41
5.6	Energiapuukouran osakokoonpano.....	42
6	MATERIAALIEN VALINTA SEKÄ OSIEN VALMISTUSMENETELMÄT	44
6.1	Tiltausrunko ja pihtirunko	44
6.2	Pihdit	44
6.3	Puun katkaisuterä	45
6.4	Tapit	45
6.5	Tappien liukulaakeriholkit.....	45
7	HYDRAULIIKAN TEORIAA	46
7.1	Mitä hydraulikka on	46
7.2	Hydrauliikkajärjestelmien päätyypit	47
7.2.1	Avoin järjestelmä.....	47
7.2.2	Ympäripumppaava järjestelmä.....	47
7.2.3	Vakiopainejärjestelmä	48
7.2.4	Kevennetty vakiopainejärjestelmä.....	48
7.2.5	Kuormantunteva järjestelmä	48
7.2.6	Suljettu järjestelmä.....	49
7.3	Hydrauliikkajärjestelmän peruskomponentit ja sijoituspaikka järjestelmässä.	49
7.3.1	Öljysäiliö.....	49
7.3.2	Hydraulipumput.....	50
7.3.3	Putkisto	50
7.3.4	Suodattimet.....	51

7.3.5 Paineenrajoitusventtiilit	52
7.3.6 Virtauskuristimet	52
7.3.7 Suuntaventtiilit.....	52
7.3.8 Toimilaitteet.....	54
8 ENERGIAPUUKOURAN PROTOTYYPIN HYDRAULIIKAN	
TOTEUTUS.....	56
8.1 Hydraulinen tiltaus- ja pihtiautomaatiikka	56
8.2 Energiapuukouran hydraulikaavio	57
9 LOPPUPÄÄTELMÄT.....	59
10LÄHTEET.....	60
LIITE 1: ENERGIAPUUKOURAN PIHTIRUNGON	
VALMISTUSPIIRUSTUS.....	62
LIITE 2: ENERGIAPUUKOURAN RÄJÄYTYSKUVA	64

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Sähkön hintakehitys 1998 - 2011 maatilatalous.....	9
Kuvio 2. Puupolttoaineiden hintakehitys Suomessa 2008 - 2010	10
Kuvio 3. Nelivetotraktori etenee helposti metsän paksussa lumihangessa	12
Kuvio 5. Maataloustraktori puutavarakuormajalla.	27
Kuvio 6. Pieni metsäharvesteri.....	27
Kuvio 7. Energiapuurungot pitää katkoa sopivan pituisiksi kuormausta ja kuljetusta varten.....	29
Kuvio 8. Energiapuukouran tuotekonsepti.	30
Kuvio 9. Energiapuukouran tuotekonsepti.	30
Kuvio 10. Vasen pihti.	37
Kuvio 11. Oikea pihti.	38
Kuvio 12. Energiapuukouran pihtirunko.	39
Kuvio 13. Pihtien välivipu.	40
Kuvio 14. Energiapuukouran puun katkaisuterä.....	41
Kuvio 15. Energiapuukouran tiltausrunko.	42
Kuvio 16. Energiapuukouran osakokoonpano.	43

Taulukko 1. Lukuarvollinen tavoitespesifikaatio taulukko. (Multidisciplinary Engineering Design Program, [viitattu 27.3.2011].).....	18
Taulukko 2. Tarve-lukuarvo-specifikaatiomatriisi. (Multidisciplinary Engineering Design Program, [viitattu 27.3.2011].).....	18

Käytetyt termit ja lyhenteet

DFMA	Design for manufacturing and assembly tarkoittaa tuotesuunnittelutapaa osavalmistuksen ja kokoonpanon ehdoilla niin, että osat ovat edullisia valmistaa ja tuotteen kokoonpano on mahdollisimman yksinkertainen sekä helppo suorittaa.
Energiapuu	Metsästä ensiharvennuksen ja harvennushakkuiden tuotteena syntyvä energiantuotantoon menevä raakapuuaines, jota ei voida tai haluta myydä sellupuuksi paperitehtaille.
Energiapuukoura	Laite, jolla suoritetaan koneellisesti metsän ensiharvennusta ja harvennushakkuita, joissa kertyy energiapuuta.
Kääntörotaattori	Hydraulinen kouran kääntäjä, joka mahdollistaa kouran pyörimisen portaattomasti ympäri pysty akselin suunnassa.
Parametri	Tuotteen mitoitusarvo
Tiltausrunko	Ammattitermi hakkuupään kääntörungolle, johon kaatopään pihtirunko nivelöityy.
Tilttisylinteri	Kaksitoiminen hydraulisylinteri, joka suorittaa kouran tiltaus käännön

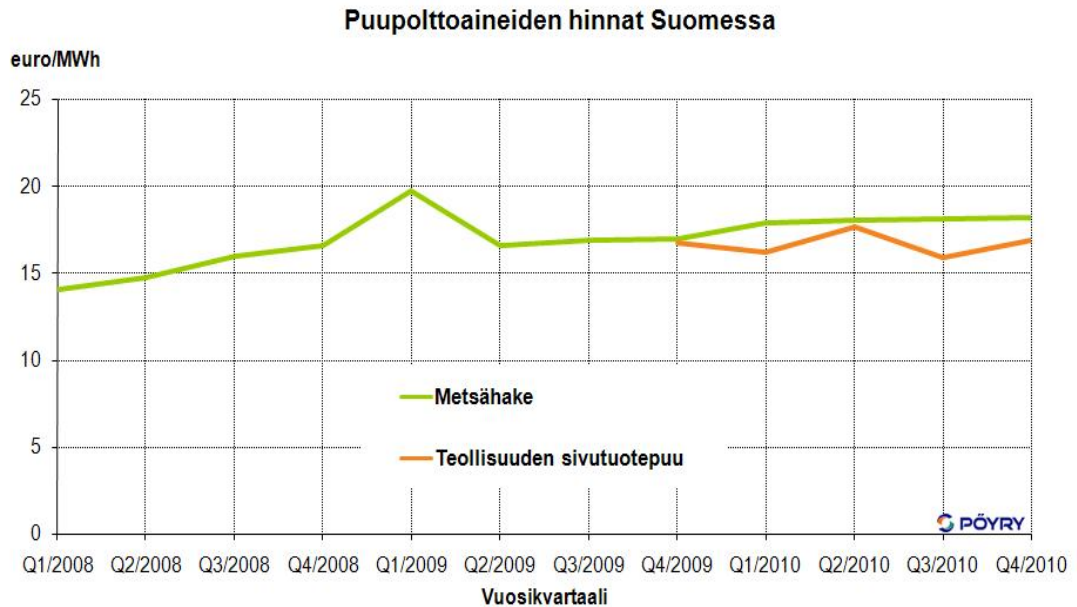
1 JOHDANTO

1.1 Talouspoliittiset vaikutukset

Tulevaisuuden energiansaanti sekä jatkuva energiankulutuksen kasvu on ollut kuuma puheenaihe Suomessa koko 2000-luvun ajan. Öljypohjaisten polttoaineiden sekä myös sähkön hinta on kohonnut vuosi vuodelta vuosikymmenien ajan. Lisäksi kyseisten lämmitysenergiamuotojen kilowattituntihinta heilahtelee paljon, jopa rajusti tuotantotavasta riippumatta maailmalla vaikuttavista tilanteista riippuen. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi yhteiskunnalliset kriisit sekä luonnonkatastrofit, kuten poikkeavat säätilat, joiden vaikutus heijastuu yleensä melkein heti öljyn tai sähkön hintaan. Talouslaman tai talouden laskusuhdanteen aika tosin hillitsee energian hinnan kasvukehitystä, koska öljyä ja sähköä kulutetaan vähemmän pienentyneen teollisuustuotannon vuoksi, mutta talouskasvun aikana energiankysyntä kasvaa koko ajan, jonka seurauksena energianhinta pyrkii jatkuvasti nousemaan. Joka tapauksessa talvi on aina joka vuosi se ajankohta, jolloin energian hinta kipuaa maksimiinsa Suomessa talvipakkasista johtuvan lämmityskauden vuoksi. (Energian hankinta, hinta ja kulutus [viitattu 17.2.2011].) Esimerkkinä sähkön hinnan jyrkät heilahtelut maatilatalousasiakkaille vuosina 1998 - 2010 käyvät ilmi Tilastokeskuksen sähkönhintadiagrammista kuluttajatyypeittäin Kuviosta 1.



Kuvio 1. Sähkön hintakehitys 1998 - 2011 maatilatalous.



Kuvio 2. Puupolttoaineiden hintakehitys Suomessa 2008 – 2010.

Tästä johtuen bioenergian käyttö on kohonnut todella kilpailukykyiseksi lämmitysenergian tuotantovaihtoehdoksi lämmitysenergian tuotantoverailussa, joka selviää hyvin Kuvion 2. diagrammista (Puupolttoaineiden hinnat Suomessa [viitattu 17.2.2011].) Bioenergia on edullisin lämmitysmuoto, vaikka se onkin kaikista työläin lämmitysenergiamuoto itse tuotettuna. Itse tuotettu bioenergia on silti kilpailukykyisin vaihtoehto varsinkin, jos lämmitettävää kiinteistöalaa on useampi omakotitalo ja lämmin talli. Entistä kilpailukykyisemmäksi bioenergia tulee verrattuna sähköisesti toteutettuihin lämmitysmuotoihin vuoteen 2015 mennessä, jos pahimmat skenaariot uusista neljän vuoden aikana asennettavista hetkellisen kulutuksen mittaavista sähkömittareista pitävät paikkansa. Tällöin sähkönmyyjäyhtiöt eivät luultavammin enää tee kiinteähintaisia sähkösopimuksia pienasiakkaille, vaan sähkönkuluttajaa tullaan laskuttamaan sähköstä hetkellisen kulutuksen ja senhetkisen sähkön pörssihinnan mukaan. Se tarkoittaisi sitä, että tällä hetkellä kohtalaisen edullisista ilmalämpöpumppu-lämmitysmenetelmistä tuleekin kalliita, koska sähkön pörssihinta on kovimmilla pakkasilla jopa monikymmenkertainen verrattuna kesäisiin sähkön pörssihintoihin. (MOT: Energiamiina [viitattu 17.2.2011].) Tulevaisuuden lämmitystapaa ja

lämmitysenergiamuotoja pohdiskeltaessa itse tuotettu bioenergia vaikuttaakin todella riskittömältä vaihtoehdolta kustannusten kasvuyllätyksiä ajatellen, jos katsellaan puupolttoaineiden hintakehitystä viime vuosina. Kiinteistöjen lämmityskäyttöön itse energiapuulla tuotetun bioenergian tuotantokustannuksiin vaikuttavat eniten työkoneiden polttoainekustannukset, jotka muodostuvat työkoneilla suoritettavasta puunkorjuusta, metsäkuljetuksesta, kaukokuljetuksesta sekä haketuksesta. Koneellisen energiapuunkorjuun, kuljetuksen ja haketuksen polttoainekustannukset ovat bioenergiantuotannossa suuruudeltaan keskimäärin 26,4 % (Kustannustekijöiden vaikutukset bioenergian tuotannon arvoketjuissa 2010, 12.)

1.2 Työtehokkuus, työergonomia sekä taloudelliset näkemykset

Maatalousyhtymä Saarelan kiinteistöjen lämmityksen muuttaminen bioenergian käytöstä sähkökäyttöisiin ilmalämpöpumppuihin tai maalämpöön ei olisi järkevää, koska nykyinen toimiva hakelämpökeskus on hyvässä toimintakunnossa ja kiinteistöjen lämmitysmuodon vaihto ilma- tai maalämpöpumppujärjestelmiin aiheuttaisi kiinteistöjen vesikiertoisiin patterilämmitysjärjestelmiin suuren remontin. Lisäksi sähkön hinta saattaa edellä mainituista seikoista johtuen kohota tulevaisuudessa arvaamattomasti, joten kustannusten kannalta on siis turvallisinta pysytellä bioenergialla toimivan hakelämpökeskuksen käytössä tulevaisuudessakin.

Maatalousyhtymä Saarela on käyttänyt metsähaketta kiinteistöjensä lämmitykseen jo 1970-luvun lopusta lähtien, kun vanhasta öljylämmitysjärjestelmästä luovuttiin. Hakkeeksi menevä energiapuu on hakattu näihin päiviin asti oman maatalousyhtymän jäsenten metsurityönä moottorisahalla maatalousyhtymän jäsenten omista metsistä. Myös energiapuun ajo metsästä omalle energiapuuterminaalialueelle sekä energiapuun haketus on suoritettu maatalousyhtymän omalla konekalustolla. Tällöin Maatalousyhtymä Saarelan lämmitykseen käyttämä bioenergian puuraaka-aine on ilmaista ja metsähakkeen

kilowattituntihinta muodostuu ainoastaan energiapuun korjuu- ja haketuskuluista Metlan laskelmien mukaisesti.

Maatalousyhtymä Saarelan omistamien metsien ensiharvennus sekä harvennushakkuun tarve on kuitenkin suurempi, mitä tähän asti maatalousyhtymän jäsenten metsurihakkuuna on suoritettu. Ongelmaksi vain on muodostunut se, että maatalousyhtymän omistajat ovat ylittäneet jo 60 ikävuoden rajan eikä heidän terveys tahdo kestää enää fyysisesti raskaita metsuritöitä. Erityisesti viimeiset kaksi lumista talvea 2010 ja 2011 ovat tehneet energiapuun hakkuusta entistä raskaampaa metsurityönä tehtäväksi, koska metsuri joutuu rämpimään metsässä puuta karsiessaan ja pinotessaan 40 - 50 cm:n lumihangessa. Nelivetotraktori sen sijaan ei tunne puolimetrisen lumihangen vastusta, vaan etenee metsämaastossa tällöin jopa tasaisemmin ja maastovaurioita jättämättä kuin sulan maan aikana (Kuvio 3.).

Edellä mainituista seikoista johtuen Maatalousyhtymä Saarelalle on syntynyt kova tarve koneellistaa energiapuunhakkuu. Maatalousyhtymältä löytyy omasta takaa useampia traktoreita sekä puutavarakuormaaja ja metsäperävaunu. Ainut lenkki, joka puuttuu täysin koneellisesta energiapuun korjuuketjusta, on monipuolinen traktorin puutavarakuormaajaan asennettava energiapuukoura, jonka kehitysprojekti annettiin minulle tehtäväksi.



Kuvio 3. Nelivetotraktori etenee helposti metsän paksussa lumihangessa

2 TUOTEKEHITYS

2.1 Mitä tuotekehitys on ?

Tuotekehitys tarkoittaa kokonaisuudessaan prosessia, joka alkaa uuden markkinaraon havaitsemisesta ja päättyy uuden tuotteen tuotantoon, myyntiin ja jakeluun asiakkaille. Yritystoiminnassa tuotekehityksen tarkoitus on kehittää asiakkaille uusia ratkaisuja asiakastarpeiden tyydyttämiseksi. Tuotekehitystoiminnalla on kaksi eri tehtävää. Tuotekehitys kehittää vanhoja jo olemassa olevia tuotteita ominaisuuksiltaan paremmaksi tai tarkoitus voi myös olla täysin uuden tuotteen kehittäminen havaittujen asiakastarpeiden pohjalta. Tuotekehitys on yritykselle tulevaisuuden panostus, jolla pyritään tekemään omasta yrityksen tuotteesta mahdollisimman hyvä ja kilpailukykyinen markkinoilla olevien kilpailijoiden tuotteisiin nähden. Tuotekehityksen päämääränä syntyvän uuden tuotteen pitää täyttää nykyisiä tuotteita tai ratkaisuja paremmin muuttuneet asiakastarpeet. Muuttuneita asiakastarpeita voivat esimerkiksi olla tekninen suorituskyky, hinta, koko tai muotoilu. (Ulrich & Eppinger 2008, 2.)

Jotta yritys onnistuisi tuotekehityksessä toivotulla tavalla, tuotekehitysprojektin kannalta on erittäin tärkeää ymmärtää asiakkaiden nykyiset tarpeet sekä miettiä myös asiakkaiden mahdollisia tulevaisuuden tarpeita. Tämän vuoksi tuotekehitysprojektiin osallistuu yleensä aina yrityksen markkinointi, tuotekehitys ja tuotanto sekä usein myös komponenttien ostotoiminto, laadunkehitys ja huoltotoimintojen edustajat. Markkinoinnin tehtävä on välittää tietoa asiakkaiden ja yrityksen välillä sekä määrittää varsinainen asiakassegmentti. Tämän vuoksi markkinointi pystyy yleensä parhaiten tunnistamaan asiakastarpeita ja uusia tuotemahdollisuuksia havaittujen asiakastarpeiden ja tuotemahdollisuuksien pohjalta. Varsinaisen konstruktiivisen tuotesuunnittelun suorittaa tuotekehitystiimi. Tuotekehitysprojektissa varsinaisen kehitettävän tuotteen lisäksi yrityksen tuotteiden valmistuksesta vastaava tuotantotiimi kehittää tuotteen osavalmistusta ja kokoonpanoa uutta tuotetta varten sopivaksi. (Ulrich & Eppinger 2008, 3.)

2.1.1 Tuotekehityksen tulokset

Tuotekehityksessä onnistumisen mittaamiseksi on olemassa monia eri tapoja mutta luonnollisesti tärkeimmät tuotekehityksessä onnistumisen mittarit ovat seuraavat:

1. **Tuotelaatu:** Tuotelaatua mitataan siten, kuinka hyvin tuote täyttää asiakastarpeet ja onko tuote luotettava ja helppokäyttöinen käytössä. Tuotelaadun onnistuminen on verrannollinen tuotteen markkinaosuuteen ja tuotteesta saatavaan hintaan, jonka asiakkaat ovat valmiita tuotteesta maksamaan.
2. **Tuotekustannus:** Tuotekustannus sisältää tuotteen valmistusta varten hankittavien laitteiden ja työkalujen investointikulut sekä tuotekohtaiset tuotteen valmistuksen yksikkökustannukset. Tuotekustannus määrää, kuinka paljon tuotteen myyntihinnasta jää valmistajalle katetta.
3. **Kehittämisaika:** Tuotteen kehittämisaika tarkoittaa aikaa, joka kuluu markkinoiden asiakastarpeiden huomaamisesta uuden kehitetyn tuotteen myynnin aloittamiseen. Kehittämisaika kuvaa, kuinka nopeasti yritys reagoi markkinoiden asiakastarpeiden muutoksiin.
4. **Kehittämiskustannukset:** Sisältävät uuden tuotteen kehityskulut. Yleensä merkittävin osa uuden tuotteen investoinneista, jotka yrityksen on pakko tehdä, että uusi tuote saadaan myyntiin ja saavutetaan taloudellista tuottoa.
5. **Kehittämiskyky:** Tuotekehitystiimin ja koko yrityksen kokemus tuotekehityksestä. Tuotekehittämiskyky on yrityksen immateriaalista pääomaa, joka näkyy tehokkaana ja taloudellisena tuotekehityksenä tulevaisuudessa.

Tuotekehitysmittareita vertaillaan luonnollisesti kilpailijoiden tuloksiin. (Ulrich & Eppinger 2008, 2.)

2.1.2 Tuotekehityksen haasteet

Menestystuotteen kehittäminen on yleensä kovaa ja pitkäjänteistä työtä ja yleensä vain muutamat yritykset onnistuvat tuotekehityksessä useammin kuin joka toinen kerta. Tuotekehityksen tärkeimpiä haasteita ovat:

- Tuotekehityksen yksi suurimmista haasteista on se, että on osattava tehdä oikeanlaisia kompromisseja, jotta tuote olisi menestyksenkäs, mutta ei liian kallis valmistaa ja myydä.
- Tuotekehityksessä onnistuminen vaatii myös ajan tasalla olemista, koska teknologia kehittyy koko ajan ja kilpailijat lanseeraavat uusia tuotteita markkinoille jatkuvasti. Myös asiakastarpeet muuttuvat koko ajan.
- Tuotteen yksityiskohdat pitää miettiä huolella valmistuskustannuksien, kokoonpanon, käytön ja huollon kannalta.
- Tuotekehityksellä on aina aikataulupaineita, koska tuotekehitys on suoritettava yleensä aina mahdollisimman nopeasti. Tällöin eri ratkaisujen ja päätöksien tekemiseen ei ole paljon aikaa.
- Uuden tuotteen kehitys, tuotanto ja markkinointi vaatii aina uusia investointeja. Uuden tuotteen pitää olla asiakkaiden näkökulmasta miellyttävä eikä liian kallis, jotta yrityksen tekemillä tuotekehitys investoinneilla ansaittaisiin kohtuullista tuottoa. (Ulrich & Eppinger 2008, 6.)

2.2 Tuotekehityksen vaiheet

2.2.1 Asiakastarpeiden tunnistaminen

Asiakastarpeiden tunnistamista ei tehdä pelkästään kirje-, sähköposti tai puhelinkyselyillä, koska ne eivät anna tarpeeksi tietoa ja selvää kuvaa tuotekehitystiimille tuotteen käyttöympäristöstä. Asiakkaille on toki hyvä tehdä

tuotteeseen liittyviä erilaisia kyselyitä, joiden perusteella voidaan kerätä asiakkailta tarpeellista tietoa ja selvittää tuotteen lyhyen aikavälin pieniä muutostarpeita. (Ulrich & Eppinger 2008, 57.)

Kun tuotekehityksen tarkoituksena on luoda uusi tuote tai tehdä huomattavia muutoksia vanhaan tuotteeseen, tuotekehitystiimin täytyy tutustua ja tutkia syvästi, miten asiakas tuotetta käyttää käytännössä. Tuotekehitystyössä tulisi aina olla mukana henkilö tai henkilöitä, jotka pystyvät asettumaan asiakkaan asemaan ja tuntevat täten asiakkaiden toimintatavat ja menetelmät hyvin.

Asiakastarpeen tunnistustyössä on ensimmäiseksi ymmärrettävä, mitä tarve oikein on. Tätä varten on hyvä muodostaa tuotteen pääasiakkaista noin kymmenen henkilön haastatteluryhmä tai useampia ryhmiä. Heidän kanssaan tuotekehitystiimi käy tutustumassa paikan päällä asiakkaan työhön, jota varten kehitysprojektissa on tarkoitus uutta tuotetta tai tuoteparannuksia kehittää. Tuotekehitystiimin jäsenet seuraavat asiakkaan työntekoa sekä haastattelevat ja yleensä myös videoivat ja valokuvaavat asiakkaita työntöön äärellä. Lisäksi tuotekehitystiimin jäsenten on hyvä tutustua ja perehtyä asiakkaan työhön konkreettisesti tekemällä samaa työtä kuin asiakas asiakkaan käyttämällä työkaluilla. Tällä tavoin tuotekehitystiimi ymmärtää, miten kehitettävä tuote toimii työssä parhaiten ja mitä ominaisuuksia tuotteelta erityisesti vaaditaan. (Ulrich & Eppinger 2008, 56-57.)

1. asiakastarpeiden tunnistamisen keskeiset tavoitteet ovat:
2. varmistaa, että kehiteltävä tuote vastaa asiakastarpeita
3. tunnistaa sekä näkyvät, että piilevät asiakastarpeet
4. hankkia faktapohja varsinaiselle tuotespesifikaation luomiselle
5. luoda asiakastarpeiden priorisointilista tuoteprosessille
6. varmistaa ettei mikään erityisen tärkeä asiakastarve unohdu listalta
7. kehittää asiakastarpeiden yhteinen ymmärryspohja tuotekehitystiimin jäsenille (Ulrich & Eppinger 2008, 54.)

Asiakastarpeiden tunnistamisen jälkeen kerätty raakatieto tulee jalostaa tuotteen varsinaisiksi teknologiavaatimuksiksi asiakkaiden tarpeiden kuvauksien pohjalta.

Kun asiakkailta kerätty raakatieto on jalostettu varsinaisiksi tuotteen teknologiavaatimuksiksi, seuraava vaihe on tuotteelle asetettujen vaatimusten luokittelu tuotteen primääri- ja sekundäärivaatimuksiksi. Luokittelun jälkeen on jokaiselle vaatimukselle annettava lisäksi painoarvo esimerkiksi numeroilla 1–5, jotta tuotekehityksessä osataan tehdä oikeanlaisia kompromisseja, jos tarve sitä vaatii. Tuotteen vaatimusten painoarvolistauksen jälkeen on hyvä tehdä listauksen pohjalta myös kilpailijoiden tuotteiden vertailu, jos markkinoilla sellaisia on. (Ulrich & Eppinger 2008, 56–66.)

2.2.2 Tuotespesifikaation määrittely

Tuotespesifikaation määrittelyssä on tarkoituksena muuntaa tunnistetut sekä painoarvolistatut asiakastarpeet tuotteen mekaanisiksi tavoitespesifikaatioiksi. Listatuille tavoitespesifikaatioille annetaan painoarvo yhä esimerkiksi numeroilla 1–5. Tuotespesifikaation määrittely antaa tuotekehitystiimille tuotesuunnittelun suunnan ja päämäärät, mutta spesifikaatiolista ei vielä määrää suunnittelijoita, kuinka päämäärät pitää toteuttaa teknisesti. Unelmatilanteessa tuotespesifikaatio tarvitsee määrittellä vain kerran tuotekehitysprosessin alussa, mutta käytännössä aina tuotespesifikaatio määrittelyssä on aina kaksi vaihetta. (Ulrich & Eppinger, 2008, 72–74.)

Tavoitespesifikaatioiden luominen sisältää neljä eri vaihetta. Ensimmäinen vaihe tuotespesifikaation määrittelyssä on tavoitespesifikaatioiden luominen asiakastarpeiden tunnistamisen jälkeen. Ensimmäisessä vaiheessa tärkeimmiksi tavoitespesifikaatioiksi valitaan asiakastarpeiden määrittelylistauksesta ne kohdat, joille voidaan antaa selvä lukuarvon yksikkö. Näillä asiakastarpeilla on käyttäjäkokemusten mukaan tärkein merkitys, jotta he olisivat tyytyväisiä tuotteeseen. Kyseisillä spesifikaatioilla on siis suora merkitys siihen, kuinka hyväksi asiakas tuotteen kokee. Tavallisesti lukuarvo spesifikaatiolistaus tehdään taulukkona (Taulukko 1.) tai asiakastarve-lukuarvo-spesifikaatiomatriisina (Taulukko 2.), josta käy ilmi lisäksi, kuinka tuotteen lukuarvolliset spesifikaatiot vaikuttavat tiettyihin asiakastarpeisiin. (Ulrich & Eppinger 2008, 75–77.)

Taulukko 1. Lukuarvoinen tavoitespesifikaatio taulukko. (Multidisciplinary Engineering Design Program, [viitattu 27.3.2011].)

#	Metric	Units	Importance (Stars)	Min	Target	Max
1	Production Cost	U.S. \$	*****		50	
2	Usable Temperature Range	°F or °C	***		(30-120)°F or (0-50)°C	
3	Water-Proof	IPX Standard	***		3	
4	Heat/Sand-Proof (Air Tight)	Binary	***		Yes	
5	Storage Capacity	mAh	****		6000	
6	Recharge-ability	Cycles	*****		500	
7	Lifetime	hrs	*****		100,000	
8	Light Intensity	Lumen	***		150-250	
9	Light Distribution	Lux	*****		>150/4m ²	
10	Functional Drop Height	m	***		3	
11	Drop Cycles	Cycles	***		50+	
12	Lens Hardness (Resists Scratching)	Mohs Hardness	***		6+	
13	Efficiency (Light Source)	Lumens/Watt	*****		100	
14	Efficiency	hrs/charge	*****		60	
15	Charge Time	hrs	***		≤4	
16	Recyclable Parts	% by weight	**		50	
17	Environmentally Friendly	Meets ROHS	***		Yes	
18	Aesthetically Pleasing	Subjective	*		Yes	
19	Weight (Mass)	lb (kg)	*		<10lb (<4.5kg)	

Taulukko 2. Tarve-lukuarvo-specifikaatiomatriisi. (Multidisciplinary Engineering Design Program, [viitattu 27.3.2011].)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Needs	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Provides a Better Lighting Solution	1								X	X	X					X									
Off-Grid Energy Source	2					X																			
Low Purchase Cost	3	X	X																						
Low Operating Cost	4						X																		
Able to be Manufactured in Developing World	5																			X		X	X		
Safe	6												X	X	X										
Universal Application (Transferability)	7		X																		X	X	X		
Easy to Use	8																X	X	X						X
Long Operation time	9					X	X	X																	
Able to Withstand Harsh Climate Conditions	10		X	X	X											X									
Durable/Robust	11		X	X	X							X				X									
Provides Comfortable lighting	12								X	X	X														
Can be made out of Recycled Materials	13																			X	X				
Clean energy source	14																				X			X	
Can be easily recycled at end of life	15																			X	X			X	

Tavoitespesifikaatiolistauksen toisessa vaiheessa kerätään vertailutietoa markkinoilla olevista kilpailijoiden tuotteista. Kilpailijoiden tuotteista taulukoidaan lukuarvo-spesifikaatiot, joko saatavilla olevista puolueettomista tutkimustuloksista, jos sellaisia ei ole saatavilla, niin tuotekehitystiimin jäsenet suorittavat kyseiset tutkimukset. Kilpailijoiden tuotteiden lukuarvo-spesifikaatioita verrataan oman tuotteen asetettuihin lukuarvotavoitespesifikaatioihin sekä määriteltyyn asiakastarvelistaan. Kyseinen kilpailijavertailu tehdään siksi, että tuotekehitystiimi voi keskustella valitsemistaan tuotteen tavoitespesifikaatioiden lukuarvoista ja samalla tuotekehitystiimi voi miettiä, tarvitseeko oman tuotteen tavoitespesifikaatioiden lukuarvoja vielä muuttaa, jotta tuote menestyisi kilpailijavertailuun pohjautuvan ennusteen mukaan paremmin markkinoilla. Tuotekehitystiimin on silti muistettava, että kilpailijavertailun takia asiakkaiden asettamia asiakastarpeita ei saa silti ylen katsoa. Kehiteltävän tuotteen menestys voi riippua juuri siitä, että kehitettävästä tuotteesta tulee juuri sellainen kuin asiakkaat itse ovat asiakastarpeina määritelleet. (Ulrich & Eppinger 2008, 79.)

Tavoitespesifikaation määrittelyn kolmannessa vaiheessa tarkoituksena on tarkentaa ja määrittää tuotteen lukuarvillisille tavoitespesifikaatioille selkeät mittayksiköt kilpailijavertailun jälkeen. Kilpailijoiden spesifikaatiot pisteytetään selvittyjen asiakastarpeiden pohjalta ja kilpailijoiden spesifikaatiopisteitä verrataan oman tuotekehitysprojektin tuotteen tavoitespesifikaatioihin. Tämän jälkeen oman tuotteen spesifikaatiolistaan lisätään asiakkaiden toivoman ideaalisen mittayksiköllisen lukuarvon rinnalle sarakkeet minimi ja maksimi lukuarvoille. Minimi ja maksimi lukuarvo-sarakkeisiin määritellään halutut raja-arvot kilpailijavertailun pohjalta. (Ulrich & Eppinger 2008, 79–83.)

Tavoitespesifikaatiomäärittelyn neljännessä vaiheessa tuotekehitystiimi miettii asetettujen tavoitespesifikaatioiden painoarvoa vielä kerran markkinalähtöisesti vertaillen kilpailijoiden markkinamenestystä heidän tuotteiden spesifikaatioiden pohjalta. Samalla tuotekehitystiimi käy vielä läpi tavoitespesifikaatiolistan yksitellen läpi pohtien kysymyksiä ”onko kyseinen spesifikaatio painoarvoltaan todella näin

suuri?”, ”tarvitaanko menestykseen näin monipuolinen tuote, vai takaako menestyksen yksinkertaisempi ratkaisu?” Tarkkojen pohdintojen jälkeen tuotekehitystiimi asettaa lopulliset tavoitespesifikaatiot tuotteelle. (Ulrich & Eppinger 2008, 83.)

Määriteltyjä tuotteen tavoitespesifikaatioita käytetään ohjeena ja tavoitteena konseptisuunnitteluvaiheessa. Lopulliset tuotespesifikaatiot valitaan vasta sitten, kun tuotekehitystiimi on valinnut konseptisuunnitteluvaiheen tuloksina syntyneistä tuotekonseptimalleista lopullisen tuotekonseptin. (Ulrich & Eppinger 2008. 83.)

2.2.3 Tuotekonseptin luonti

Konseptisuunnitteluvaiheessa tuotespesifikaatiomäärittelyn jälkeen suunnitellaan olennaisilta osiltaan karkeasti suuntaa antava tuotteen toimintaperiaate, perusteknologia sekä ulkomuoto. Tuotekonseptit esitetään yleensä kaksi- tai kolmeulotteisina piirustuksina sekä lyhyellä tekstikuvauksella. Vaihtoehtoisia tuotekonsepti vaihtoehtoja voidaan tehdä muutamia erilaisia. Yleensä erilaisia tuotekonseptivariaatioita tehdään jopa 5-10 kappaletta. Erilaisten tuotekonseptien luominen ja pohdinta antaa tuotekehitystiimille vahvistuksen siitä, että erilaisia ratkaisumalleja on pohdittu oikeasti ja jatkoon valitaan se, joka täyttää määritellyt tavoitespesifikaatiot ja asiakastarpeet parhaiten. Eri tuotekonsepti vaihtoehtojen määrä on syytä rajata kuitenkin kohtuulliseksi sen takia, ettei lopullisen tuotekonseptin valinta tule liian vaikeaksi. (Ulrich & Eppinger 2008, 98.)

Tuotekonseptien luonti on luovaa työtä ja konsepteja luovan henkilön on erityisen tärkeää pystyä tarvittaessa irrottautumaan olemassa olevien ratkaisujen kahleista, jotta asiakastarpeiden pohjalta tulisi luotua aivan uudenlaisia tuotekonsepti vaihtoehtoja. Tavallisesti tuotekonseptien luomisessa tapahtuvat virheet tehdään siinä, kun keskitytään ainoastaan yhteen tai kahteen vanhaan ratkaisutapaan, eikä tuotekonseptien luojilla ole halua tutustua tai harkita muiden yritysten sekä tuotekehityshenkilöiden tuotekonsepti vaihtoehtoja. Tuotekonseptien luomisvirheisiin kuuluu myös eri ratkaisuvaihtoehtojen rajallinen tarkastelu sekä

lupaavien osaratkaisujen tehon käyttö, koska niiden tarjoamista mahdollisuuksista ei oteta tarpeeksi selvää. Tuotekonseptin järjestelmälliseen luomiseen on olemassa kuitenkin viisi eri vaihetta sisältävä metodi. (Ulrich & Eppinger 2008, 99.)

Tuotekonseptin luomisen ensimmäisessä vaiheessa on tarkoitus selkeyttää ja tehdä tavoitespesifikaatioiden ja asiakastarpeiden vaatimuksien asettamista haasteista mahdollisimman yksinkertaisia, jonka tausta-ajatuksena on kysymys ”Mitä tuotteen pitää tehdä ja miten?”. Koska monet tuotteet ovat monimutkaisia ja koostuvat useista osista sekä erilaisista toiminnoista, täytyy tuotekonseptin kokoonpano hajottaa yleensä pienempiin toimintoihin ja alatoimintoihin, jotka määrittellään tuotekonseptisuunnittelun toisessa vaiheessa. Toimintojen määrittäminen onnistuu esimerkiksi piirtämällä käsitekartta tuotteen toiminnasta. Toimintojen määrittämisen jälkeen jokainen käsitekartan toiminto pienitään vielä pienemmiksi alatoiminnoiksi, joille määritetään tarkka kuvaus, mitä kyseisen tuotteen osan pitää suorittaa. Kun toimintokoonpanot on saatu muodostettua, valitaan niistä tuotteen menestyksen kannalta tärkeimmät ensimmäiseksi ratkaistavaksi, joiden jälkeen ratkaistaan vasta merkitykseltään pienemmät toimintokokoonpanot. (Ulrich & Eppinger 2008, 101–104.)

Toisessa tuotekonseptin luomisvaiheessa etsitään valmiita ulkoisia ratkaisuja yleisesti koko tuotekehityshaasteeseen sekä määritettyihin toimintokokoonpanoihin. Erilaisista ratkaisuvaihtoehdoista kerätään tietoa tuotteen pääkäyttäjiltä, sekä eri alojen asiantuntijoilta. Tuotekonseptin toimintokokoonpanoihin kannattaa etsiä aiheeseen liittyvää tietoa internetistä sekä alan lehdistä ja kirjoista. Samankaltaisten tuotteiden tuotekonseptien vertailu on myös hyvä tapa löytää olemassa olevia ratkaisuja ja perehtyä jo olemassa oleviin tuotekonsepteihin. Tuotekonseptiin sovellettavaksi soveltuvia patentteja tulee myös etsiä, koska patenteista on tarkat tiedot piirustuksia myöten helposti saatavilla. Patentteja etsimällä selviää lisäksi, joudutaanko joitain tuotekonseptin ratkaisumalleja lisensoimaan ja maksamaan korvausta patenttioikeuden omistajalle, vai pystytäänkö mahdollinen patentti kiertämään. Kyseinen ulkoisten ratkaisujen etsintä toimenpide tehdään siksi, että valmiiden ratkaisujen hyödyntäminen on

nopeampaa ja halvempaa kuin kokonaan uuden teknologian kehittäminen. Lisäksi valmiin sovelluskelpoisen teknologian hyödyntäminen vapauttaa tuotekehitystiimin resurssit kehittämään niitä toimintokokoonpanoja, joihin ei ole valmiiksi olemassa tarpeeksi hyvää ja soveltuvaa teknologiaa. (Ulrich & Eppinger 2008, 104–107.)

Kolmannessa tuotekonseptin luomisvaiheessa käytetään hyväksi tuotekehitystiimin ryhmän tietotaitoa ja yksilöosaamista luomaan tuotteen toimintokokoonpanoihin täysin uusia konseptimalleja. Näin tehdään esimerkiksi silloin, jos valmista teknologiaa ei ole löydetty sovellettavaksi. Tämän vaiheen idea on kehittää mahdollisimman paljon uusia ennennäkemättömiä ratkaisumalleja tuotekehitystiimin jäsenten jatkopohdintoihin. Kun ryhmä pohtii ja vertailee eri ratkaisumalleja sekä valitsee perustellen jatkokehittelyyn soveltuvia ratkaisuja, hahmottuu yleensä kaikille tuotekehitystiimin jäsenille myös kyky havaita tavoitespesifikaatioiden asettamat rajat tuotteelle. (Ulrich & Eppinger 2008, 107–109.)

Neljännessä tuotekonseptin luomisvaiheessa tehdään luokittelukäsitekartta, johon poimitaan toimintokokoonpanojen ratkaisumalleja luotujen tuotekonsepti-ideoiden pohjalta. Tällä tavoin eri tuotekonseptien ratkaisut saadaan kohtalaisen helposti vertailtua keskenään ja älyttömät ratkaisuideat karsitaan pois. Tällöin jäljelle jää potentiaaliset ratkaisumallit. Jäljelle jäävistä ratkaisumalleista voidaan seuraavaksi tehdä tuotekonseptin yhdistelmätaulukko, jossa on toimintokokoonpanojen alle koottu ratkaisuvaihtoehdot, jotka ovat varsinaisen tuotekonseptin eri yhdistelmien vaihtoehdot. (Ulrich & Eppinger 2008, 110–118.)

Viidennessä tuotekonseptin luontivaiheessa valitaan tarkkojen monipuolisten pohdintojen jälkeen lopullinen tuotekonseptimalli, jota lähdetään kehittämään eteenpäin kohti valmista tuotetta. (Ulrich & Eppinger 2008, 119–120.)

2.2.4 Layout-suunnittelu

Layout-suunnitteluvaiheessa jatkokehittelyyn valitulle tuotekonseptille luodaan funktionaalinen moduulikokoonpanomalli valituksi tulleen tuotekonseptin

toimintokokoonpanoista, joiden tehtävä on tässä vaiheessa kuvattu yleensä sanallisesti. Moduulikokoonpanomallista käy ilmi eri moduulien sijoitus laitteen kokoonpanossa sekä moduulin merkitys laitteen toimintakokonaisuudelle. Tuotteen modulaarisuus mahdollistaa sen, että eri moduulien fyysisten osien suunnittelu ja testaus voidaan jakaa osiin esimerkiksi suunnittelutiimeille sekä tiimien yksilö jäsenille. (Ulrich & Eppinger 2008, 164.) Yksi funktionaalinen moduuli voi sisältää lopulta detalji- suunnittelu vaiheen jälkeen useita fyysisiä osia tuotteen mitoituksen ja toimintatehokkuuden maksimoimiseksi. (Ulrich & Eppinger 2008, 166.)

Modulaarisen tuotteen etuna on se, että samoja osia voidaan käyttää tuoteperheen eri variaatioissa. Myös yhden moduulin rikkoutuessa rikkoutunut moduuli voidaan vaihtaa uuteen ilman, että muita tuotteen moduuleita tarvitsee välttämättä vaihtaa. (Ulrich & Eppinger 2008, 165.)

Erilaisia tuotteen modulaarisuus tyyppisiä on olemassa kolme erilaista

Paikkamodulaarisen kokoonpanon moduuleilla on yksi runkomoduuli. Runkomoduliin kiinnittyy sellaiset moduulit, joiden toiminta ei liity suoraan toisiinsa eikä moduuleita voida yhdistää. Sen sijaan moduulit ovat itsenäisiä laitteita, joiden mitat on standardoitu ja moduuli on standardimittojen vuoksi helppo asentaa eri merkkisiin ja mallisiin tuotteisiin. Esimerkkinä tästä on esimerkiksi Din-1 standardikokoinen autoradio, joka asennetaan Din-1 standardimittaiselle paikalle runkomoduulina toimivaan auton kojelautaan auton merkistä ja mallista riippumatta.

Väylämodulaarisessa kokoonpanossa on runkomoduuli, johon toiset moduulit kiinnittyvät väylämäisesti. Moduulien kiinnitykset toisiinsa ovat aina samanlaiset. Tällaisia ovat esimerkiksi kauppojen hyllyjärjestelmät, joissa pystytolpat toimivat aina runkomoduulina. Vastaavasti hyllyjen välipalkit kiinnittyvät pystytolppiin aina samalla tavalla ja hyllyjärjestelmän pituutta ja korkeutta voidaan tarpeen mukaan helposti muunnella. Myös hyllyjärjestelmien vakiotolppiin voidaan kiinnittää eri tyyppisiä kannattimia.

Rajapintamodulaarisessa kokoonpanossa ei ole yhtä ainoata selvää runkomoduulia, johon toiset moduulit kiinnittyisivät. Kokoonpanon moduulit kiinnittyvät toisiinsa vastakkain olevien pintojensa välityksellä. Tällaisesta kokoonpanosta hyvä esimerkki on Lego-palikat.

Tyypillisimpiä moduulirakenteita ovat paikka- ja väylämodulaariset kokoonpanot. (Ulrich & Eppinger 2008, 166–167.)

Tuotteen modulaarisuusasteeseen ja modulaarisuustyyppiin vaikuttavia seikkoja ovat:

- standardiosien käyttö
- halutut erilaiset tuotevariaatio mahdollisuudet
- tuotteen toimintavaatimukset
- valmistettavuus ja kokoonpano
- huollettavuus (Ulrich & Eppinger 2008, 167-171.)

2.2.5 Detalji-suunnittelu

Layout-suunnitelma antaa tuotteen moduulijaon pohjalta jokaiselle tuotteen moduulille sijainnin ja tehtäväkuvauksen sanallisesti tuotteen toimintakokoonpanossa. Detalji-suunnitteluvaiheessa jokaiselle tuotteen moduulille suunnitellaan varsinaiset tuotteen fyysiset osat moduulikokoonpanoina niin, että jokainen tuotteen moduuli suorittaa layout-suunnittelussa sille määrätyn tehtävän. Lisäksi moduulien osat suunnitellaan sellaisiksi että moduulit sopivat kiinnityksiltään toisiinsa tuotteen layout-suunnitelman moduulikokoonpanon mukaisesti. Detalji- suunnittelussa osat suunnitellaan **DFMA**-suunnittelutavan mukaisesti, josta kerrotaan tarkemmin opinnäytetyön kappaleessa 4.2 (Ulrich & Eppinger 2008, 171.)

3 ENERGIAPUUKOURALLE ASETETUT VAATIMUKSET JA TOIVEET

Kone- ja mekaniikkasuunnittelijalle on tärkeää, että osaa kuunnella työn tilaajan toiveita, koska yleensä työn tilaajalla on suunnittelijaa parempi työkokemus suunniteltavan koneen työsektorilta. Suunnittelijan on osattava kuunnella työn tilaajaa myös siksi, että suunnittelutyön lopputuloksena syntyisi kone, jonka käytöstä ja toiminnasta tulisi juuri sellainen kuin asiakas haluaa.

Jotta varsinainen energiapuukouran prototyypin mekaniikan kehitystyö pääsee alkuun, suunnittelijan on selvitettävä ensimmäisenä työn tilaajan energiapuukouralle asettamat toimintavaatimukset ja mahdolliset suotavat lisätoiveet. Työn tilaajan vaatimuksien ja toiveiden selvittäminen on erityisen tärkeää jotta prototyyppiä kehitettäessä osattaisiin kehitellä oikeantyyppinen laite ja suunnittelutyössä osataan kiinnittää huomiota laitteen olennaisien ominaisuuksien suunnitteluun. Tällöin laitetta kehitettäessä tiedetään myös kehiteltävien ominaisuuksien prioriteettijärjestys, jos kehitystyössä joudutaan tilanteeseen, että on pakko tehdä kompromisseja laitteelle asetettujen ja toivottujen toimintaominaisuuksien suhteen. Energiapuukouran kehitystyöprojekti alkoi sillä, että listattiin työn tilaajan eli Maatalousyhtymä Saarelan osakkaiden kanssa energiapuukouran toimintavaatimukset ja mahdolliset lisätoiveet.

3.1 Energiapuukouran pakolliset vaatimukset

Kehitystyöprojektin kohteena olevasta energiapuukourasta on tarkoitus tulla teknisiltä ratkaisuiltaan ja toimintamekaniikaltaan mahdollisimman yksinkertainen. Tämän vuoksi listattiin energiapuukouran pakolliset vaatimukset seuraavien kysymyksien pohjalta: ” Mitä energiapuukouran on tehtävä, jotta pystymetsässä oleva energiapuun saadaan metsässä olevien hakkuuajourien varteen kasattua ja pätkittyä?”, ” Minkälaista kaadetun energiapuun tulee olla, jotta siirtoajo metsästä energiapuun terminaalikentälle ylipäättään onnistuu traktorilla ja

metsäperävaunulla myös julkisilla maanteillä ? ”Kehitettävän energiapuukouran pakolliset ominaisuudet ovat seuraavanlaiset:

- kehitysprojektin kohteena oleva energiapuukouran pitää pystyä asentamaan maataloustraktorin puutavaranormaajaan (Kuvio 4.) sekä myös pienen ja keskisuuren metsäharvesterin puutavaranormaajaan (Kuvio 5.)
- energiapuukouralla pitää pystyä kaatamaan energiapuuta pystymetsästä ja pinoamaan kaadettu energiapuu kasoihin metsässä noin 15–20 metrin välein olevien ajourien varteen.
- energiapuukouran kiinnitys puutavaranormaajaan pitää olla sellainen että koura pystyy pyörimään portaattomasti pysty akselinsa ympäri, jotta kouralla voi helposti tarttua kaadettavaan energiapuunrunkoon kaikista mahdollisista puunkaatosuunnista.
- energiapuukouralla pitää tarvittaessa pystyä kaadettujen pitkien energiapuurunkojen katkomiseen maassa, koska yli viisimetristen puunkaatosuunnien jatkokäsittelyminen ja ajaminen pois metsästä ovat hidasta ja hankalaa.
- päämääränä on energiapuukouran mahdollisimman yksinkertainen toiminta ja rakenne.
- energiapuukouran rakenteen tulisi olla mahdollisimman kompakti ja tasapainoinen, jotta sen kuljettaminen kaadettavien puiden tyville tiheässä ensiharvennuskasvuun olisi mahdollisimman helppoa, nopeaa sekä hallittua eikä jätettävälle kasvatuspuustolle aiheutuisi täten ylimääräisiä puunkorjuuvaurioita, jotka aiheutuvat ensiharvennuksesta.
- energiapuukouran puunkatkaisumenetelmä ei saa olla helposti vaurioituva.
- kouran pitää olla mahdollisimman kevyt, jotta traktorin puutavaranormaajissakin riittää voima pitkällä ulottuvuudella.



Kuvio 4. Maataloustraktori puutavara kuormajalla.



Kuvio 5. Pieni metsäharvesteri.

3.2 Toiveet energiapuukouran mahdollisille lisäominaisuuksille

Energiapuukouran mahdollisiksi lisäominaisuuksiksi listattiin työnteon helppoutteen ja työergonomian lisäkehittämistä koskevia asioita.

Energiapuukouran monipuolisuuden lisäämiseen tähtäävät lisäominaisuudet vähentäisivät poikkeustapauksina eteen tulevat työntekijän fyysiset työt mahdollisimman vähäisiksi. Energiapuukouran lisäominaisuuksiksi listasimme seuraavia asioita:

- kouralla olisi hyvä pystyä katkaisemaan ja kaatamaan usean pienen energiapuun puskia kerralla, mutta yksittäisten energiapuiden keräily ominaisuutta ei tarvitse olla. Eli joka kerralla katkaistu puu viedään suoraan kasalle puun katkaisun jälkeen.
- kouralla olisi todella hyvä pystyä myös kaatamaan pöllipuunkokoista puuta, jotta kouralla pystyisi operoimaan myös sellaisissa kohteissa, jotka ovat luonnollisesti uudistuneet ja puuston laatu ja koko vaihtelee, koska ensiharvennus on jäänyt suorimatta tai myöhästynyt pahasti.
- kouralla olisi hyvä pystyä myös mahdollisuuksien mukaan isompien kaadettavien puiden tyvipuolen pystykarsintaan ennen puun kaatoa ja katkomista kasalle, koska suurien oksaisten runkojen käsittely ja siirtoajo on hitaampaa ja vaikeaa.
- kourassa ei tarvitse olla minkäänlaisia mittalaitteita hakattavaa puustoa varten.
- kouran tiltaustoiminto voisi olla sentyyppinen, että se voisi toimia sekä automaattisesti että valinnaisesti hydraulilohkolla ohjattuna, jos joudutaan katkomaan pitempiä puita maassa keskeltä runkoa poikki. Pitkät energiapuurungot on katkottava maksimissaan viiden metrin pituisiksi, jotta puut voidaan helposti kuormata metsäperävaunuun metsässä. Lisäksi puutavaran pituus pitää olla sopiva, jotta energiapuukuormista tulee tieliikennekelpoisia. (Kuvio 6.)

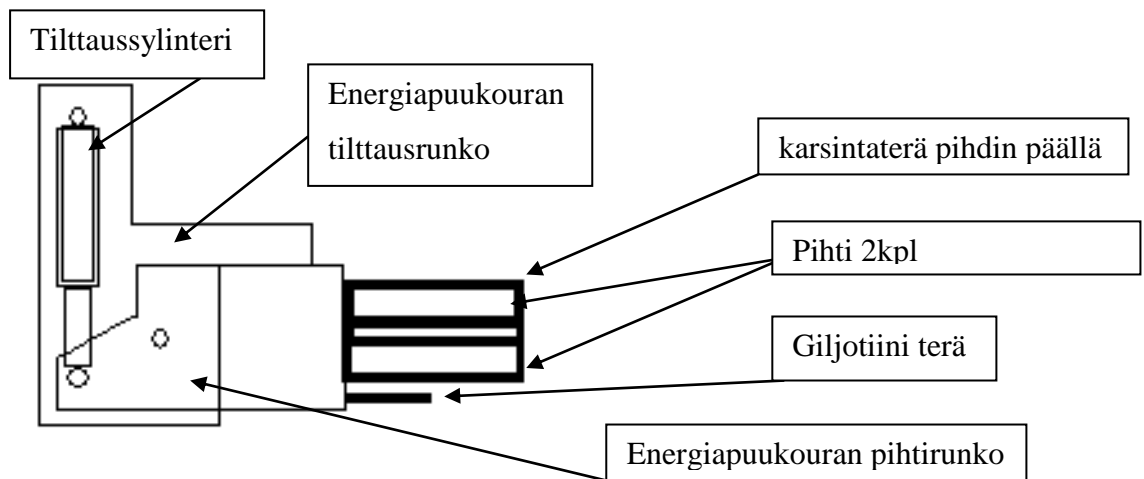


Kuvio 6. Energiapuurungot pitää katkoa sopivan pituisiksi kuormausta ja kuljetusta varten.

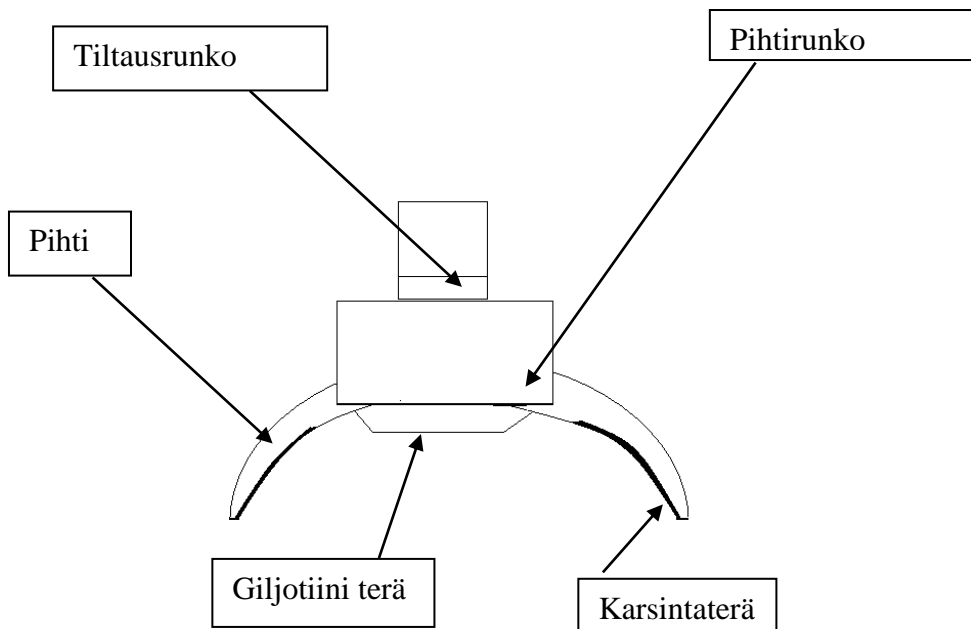
3.3 Tuotekonseptin valinta

Koska energiapuukouralla pitää pystyä kaatamaan ja kasaamaan hallitusti puuta pystystä vaakatasoon pinotuksi metsässä olevien ajoreittien varrelle, energiapuukourassa täytyy olla tällöin tiltaustoiminto, jolla kouran pihtiosa kääntyy 90 astetta pystytasosta vaakatasoon. Vaadittava energiapuukoura pitää olla mahdollisimman yksinkertainen ja kevyt rakenteeltaan, joten pyrkimyksenä on välttää ylimääräisiä osia. Energiapuukouran on pakko saada ote kaadettavasta ja katkottavasta puusta, joten siinä on oltava kaksi liikkuvaa pihtiä. Jotta ylimääräisiltä energiapuukouran osilta vältytään, puuhun takertuva pihtiosa antaa myös puun katkaisuun puristusvoiman. Jotta puu leikkautuisi energiapuukouran pihtien puristusvoimasta poikki, kouran runko-osassa täytyy olla terä, jota vasten energiapuukouran pihdit puristavat puun poikki. Energiapuukouran puunkatkaisuterä ei saa olla helposti vaurioituva, joten tällöin paras vaihtoehto on kiinteä giljotiiniterä, jonka etuna on se, että puun katkaisuterä ei liiku kouran runko-osan alapuolelle maata vasten niin kuin liikkuvat terät. Lumen alla voi olla kiviä piilossa, joihin liikkuva terä helpommin osuu ja tylsyy. Giljotiiniterä ei myöskään tylsyy pienestä kiven kolhusta välttämättä heti teroituskuntoon niin kuin vauhdilla pyörivälle sahanketjulle aina käy kiveen tai maahan pyyhkäisyssä. Giljotiiniterä on myös todella helppo ja nopea teroittaa eikä se vaadi kovasti ammattitaitoa. Jotta koura pystyy pyörimään portaattomasti ympäri, energiapuukourassa täytyy olla ympäripyörivä rotaattori eli kouran kääntäjä. Lisäksi kouran rakenteen tulee olla

sellainen, etteivät kouran osat osu pyöriessään puutavara kuormaan puomiin. Isompien puunrunkojen karsintaa varten kouran pihteihin lisätään karsintaveitset. Energiapuukouran tuotekonsepti on esitetty Kuvioissa 7. ja 8.



Kuvio 7. Energiapuukouran tuotekonsepti.



Kuvio 8. Energiapuukouran tuotekonsepti.

4 TIETOKONEAVUSTEINEN SUUNNITTELU

4.1 Tuotesuunnittelu osana tuotekehitystä

Tuotesuunnittelu on osa tuotekehitysprosessia. Tuotteen suunnittelu tarkoittaa prosessia, jossa havaittujen asiakastarpeiden, vaatimuksien ja asetettujen reunaehtojen selvittämisen pohjalta saadun tiedon perusteella luodaan rakenteita, jotka pystyvät suorittamaan halutut toiminnot. Tuotesuunnittelu alkaa tuotekehitysprosessin konseptisuunnitteluvaiheen loppuvaiheessa tai sen jälkeen, jolloin erilaisista osien luonnoksista voidaan tehdä ensimmäiset tietokonemallit osien testaamista ja valmistettavuuden arviointia varten. (Hietikko 2007, 12–13.)

Tuotesuunnittelu vaatii aina enemmän tai vähemmän luovuutta. Suunniteltava tuote jaetaan yleensä pienempiin toimintokokoonpanoihin ja ne vastaavasti pienempiin osakokoonpanoihin sekä yksittäisiin fyysisiin osiin, joita suunnitellaan erikseen. Tuotesuunnitteluprosessi voi olla myös rekursiivinen eli ylemmän tason suunnitelmia ei voida toteuttaa ennen kuin sen alapuolella olevat tasot on suunniteltu valmiiksi. Tuotesuunnitteluprosessi on lisäksi yleensä iteratiivinen, eli tuotesuunnitteluprosessin edetessä aikaisempiin tuotesuunnitteluprosessin osasuunnitelmiin tehdään koko ajan muutoksia ja parannuksia sen mukaan, kun tuotteen lopullisen kokoonpanon parametrit tarkentuvat tuotesuunnittelun edetessä. Käytännössä iteratiivisuus tarkoittaa sitä, että tuotteen tietyt osat suunnitellaan alussa pitemmälle kokeilumielessä, jolloin niitä joudutaan myöhemmässä vaiheessa muuttamaan ja korjaamaan, jotta osat soveltuvat muiden tuotteen eri toimintokokoonpanojen osakokoonpanojen kanssa toimivaksi lopulliseksi tuotekokoonpanoksi.

Tuotesuunnittelussa määrätään suurin osa tuotteen valmistuskustannuksista. Tuotesuunnittelu vaikuttaa ratkaisevasti myös tuotteesta saatavaan markkinahintaan sillä perusteella, kuinka paljon asiakkaat ovat valmiita maksamaan kyseisenlaisesta tuotteesta ominaisuuksien perusteella. Tällöin

tuotteesta saatavan myyntikatteen suuruus päätetään melkein kokonaan tuotesuunnitteluvaiheessa. (Hietikko 2007, 13–14.)

4.2 DFMA

DFMA eli Design For Manufacturing and Assembly tarkoittaa suomeksi suunnittelua valmistuksen ja kokoonpanon ehdoilla. DFMA on tuotesuunnittelun ajattelumalli, jolla suunniteltavasta tuotteesta pyritään suunnittelemaan kokoonpanoltaan mahdollisimman yksinkertainen ja virheetön kokonaisuus, joka on myös valmistusystävällinen. DFMA:n idea on se, että suunniteltavan tuotteen osien suunnittelussa otetaan huomioon osien valmistustekniikat, jotta osilla olisi helppo ja nopea valmistettavuus. Lisäksi DFMA-ajattelumalli tähtää tuotteen mahdollisimman helppoon ja nopeaan kokoonpanoon, jolloin valmiin tuotteen laatu paranee ja valmistuskustannukset laskevat. (Hietikko 2007, 15–16.) Valmistuskustannuksien lasku tietenkin joko suurentaa tuotteesta saatavaa myyntikatetta tai ainakin parantaa tuotteen kilpailukykyä markkinoilla kilpailijoiden tuotteita vastaan. Nopeasti ja helposti kokoonpantava mahdollisimman yksinkertainen tuote on myös käyttäjän kannalta huoltoystävällinen.

DFMA-tuotesuunnittelumallin keskeinen tekijä on kokoonpano, joka toimii koko tuotteen osien sekä tuotteen suunnittelun yhdistävänä tekijänä. DFMA:n perusteella määräytyy tuotteen alkuperäinen kokoonpano sekä tuotteen elinkaaren myöhempien vaiheiden huolto- sekä korjaustöiden helppous. DFMA pyrkii siihen, että tuotteen kokoonpanossa on mahdollisimman vähän osia ja ylimääräisiä osia on kaikin keinoin pyrittävä välttämään. Jotta DFMA-suunnittelumallilla päästäisiin asetettuihin tavoitteisiin, on DFMA-suunnittelua varten kehitetty erilaisia DFA-analyysejä (Design For Assembly) eli tuotteen kokoonpanon analyysimalleja. (Hietikko 2007, 16–17.) Yksinkertaisimmillaan DFA-analyysi suoritetaan Hietikon mukaan jokaiselle kokoonpantavalle osalle siten, että jokainen osa asetetaan seuraavien kysymyksien alaiseksi:

1. Onko osan liikuttava muihin osiin nähden kokoonpanon toiminnan kannalta?
2. Täytyykö osa valmistaa eri materiaalista kuin muut kokoonpanon osat?
3. Onko osa erotettava muista osista huollon yhteydessä tarpeellisen purkamisen ja uudelleenkokoonpanon johdosta?

4.3 Rinnakkaissuunnittelu

Tuotteen osien suunnittelu määrittää suurimman osan tuotteen valmistuskuluista. Lisäksi myöhäisessä vaiheessa tuotteen valmistusprosessia esiin tulevat muutostarpeet tulevat kaikista kalleimmaksi. Tämän takia nykyään tuotesuunnittelu toteutetaan yleensä rinnakkaissuunnitteluna, jossa tuotesuunnittelussa toimii tiimi, joka koostuu varsinaisista uuden tuotteen tuotesuunnittelijoista sekä tuotteen osien valmistusosastojen tai alihankkijoiden edustajista sekä myös tuotteen kokoonpano-osaston edustajista. Tällöin uutta tuotetta suunniteltaessa pystytään kehittämään samalla myös tuotteen osavalmistusta sekä tuotteen kokoonpanoa vaadittuun suuntaan, jos tarvetta muutoksille ilmenee. Tällöin tuotteen valmistusketju on heti valmis, kun uutuustuotteen valmistus aloitetaan. Jos uutuustuote aiotaan valmistaa nykyisillä tuotantomenetelmillä, se on otettava huomioon tuotesuunnittelussa alusta alkaen. Tuotesuunnittelijoiden on siis oltava selvillä tuotteen valmistusmenetelmistä. Rinnakkaissuunnitteluun kuuluu myös tuotteen elinkaarimallin hallinta, joka tarkoittaa sitä, että tuote suunnitellaan niin, että tuote soveltuu toimintansa lisäksi myös jokaiseen elinkaarensa vaiheeseen. Tuotteen elinkaari jaetaan osiin esimerkiksi seuraavanlaisesti:

1. alkuperäinen idea
2. tarvekartoitus
3. luonnostason tuotesuunnittelu
4. yksityiskohtien suunnittelu
5. valmistusjärjestelmän luonnostelu

6. tuotantosuunnitelma
7. valmistus
8. kokoonpano
9. prototyypin testaus
10. markkinointi ja myynti
11. asennus, käyttöönotto ja käyttäjäkoulutus
12. tuotteen käyttö
13. ylläpito, huolto ja tuki
14. käytöstä poisto ja kierrätys (Hietikko 2007, 18–19.)

4.4 Parametrinen piirremallinnus ja mekaniikkasuunnittelu

Parametrinen piirremallinnusjärjestelmä on tietokoneavusteinen suunnitteluohjelmisto, jonka avulla suunniteltava osa mallinnetaan kolmiulotteisen geometrian perusteella. Kolmiulotteisia osamalleja voidaan käyttää huomattavasti paremmin hyödyksi useiden syiden johdosta kuin kaksiulotteisia osapiirustuksia. Kolmiulotteiset osamallit ovat hyödyllisiä esimerkiksi silloin, kun halutaan tutkia suunniteltavan tuotteen kokoonpanon mekaanista toimintaa. Tällöin kolmiulotteisien osamallien avulla huomataan, törmäävätkö kokoonpanon osat toisiinsa ja onko kokoonpanossa virheitä, jotka aiheuttaisivat osien yhteensopimattomuuden konkreettisesti fyysisessä tuotteen kokoonpanossa. (Hietikko 2007, 23.)

Parametrisuus tarkoittaa käytännössä sitä, että suunniteltujen osien mittoja voidaan muuttaa missä vaiheessa suunnittelua tahansa. Esimerkiksi silloin, kun suunnittelun edetessä huomataan, että tuotekokoonpanon osat vaativat muokkaamista, jotta ne sopisivat yhteen varsinaisessa tuotekokoonpanossa. Tämä helpottaa ja nopeuttaa tuotekokoonpanon ja osakokoonpanojen mallinnusta, koska suunnittelun alkuvaiheessa harvoin tiedetään suunniteltavan kohteen tarkkoja lopullisia mittoja, vaan ne tarkentuvat vaihe vaiheelta tuotesuunnittelun

edetessä. Parametrisuus siis helpottaa tuotegeometriaan tehtäviä muutoksia huomattavasti tuotesuunnittelun edetessä. Välttämättä edes itse osageometriaan ei tarvitse koskea, vaan riittää, että esimerkiksi muutetaan kyseisen osageometrian mittalukuja, jolloin kyseisen kappaleen geometria muuttuu automaattisesti myös osaan kytketyissä osa- sekä tuotekokoonpanoissa. (Hietikko 2007, 23.)

5 ENERGIAPUUKOURAN OSIEN SUUNNITTELU

Energiapuukouran osat suunniteltiin Autodesk inventorin versioilla 2009 ja 2011. Jokaisesta energiapuukouran osasta tehtiin aluksi karkeat osamallit tuotespesifikaatiomäärittelyn pohjalta, joita lähdettiin muokkaamaan valmiiksi lopulliseen muotoonsa Autodesk inventorin assembly-kokoonpanotoiminnolla. Assembly-kokoonpanotoiminnossa pystyy simuloimaan kokoonpanon osien liikkeitä sekä lisäksi assemblyn inspect-toiminnolla pystyy mittaamaan kokoonpanon osien välisiä mittoja, jolloin on helppo nähdä osien tarvittavat detaljimuutokset. Osien detaljimuutokset on helppointa suorittaa assembly-toiminnossa klikkaamalla kyseisen osan kohta auki kokoonpanon piirrepuusta ja tämän jälkeen valitsee osasta sen sketsin, johon haluaa tehdä muutoksen. Muutoksen suorittamisen jälkeen return-toiminto päivittää sketsimuutokset assembly-kokoonpanoon heti.

5.1 Pihti

5.1.1 Vasen pihti

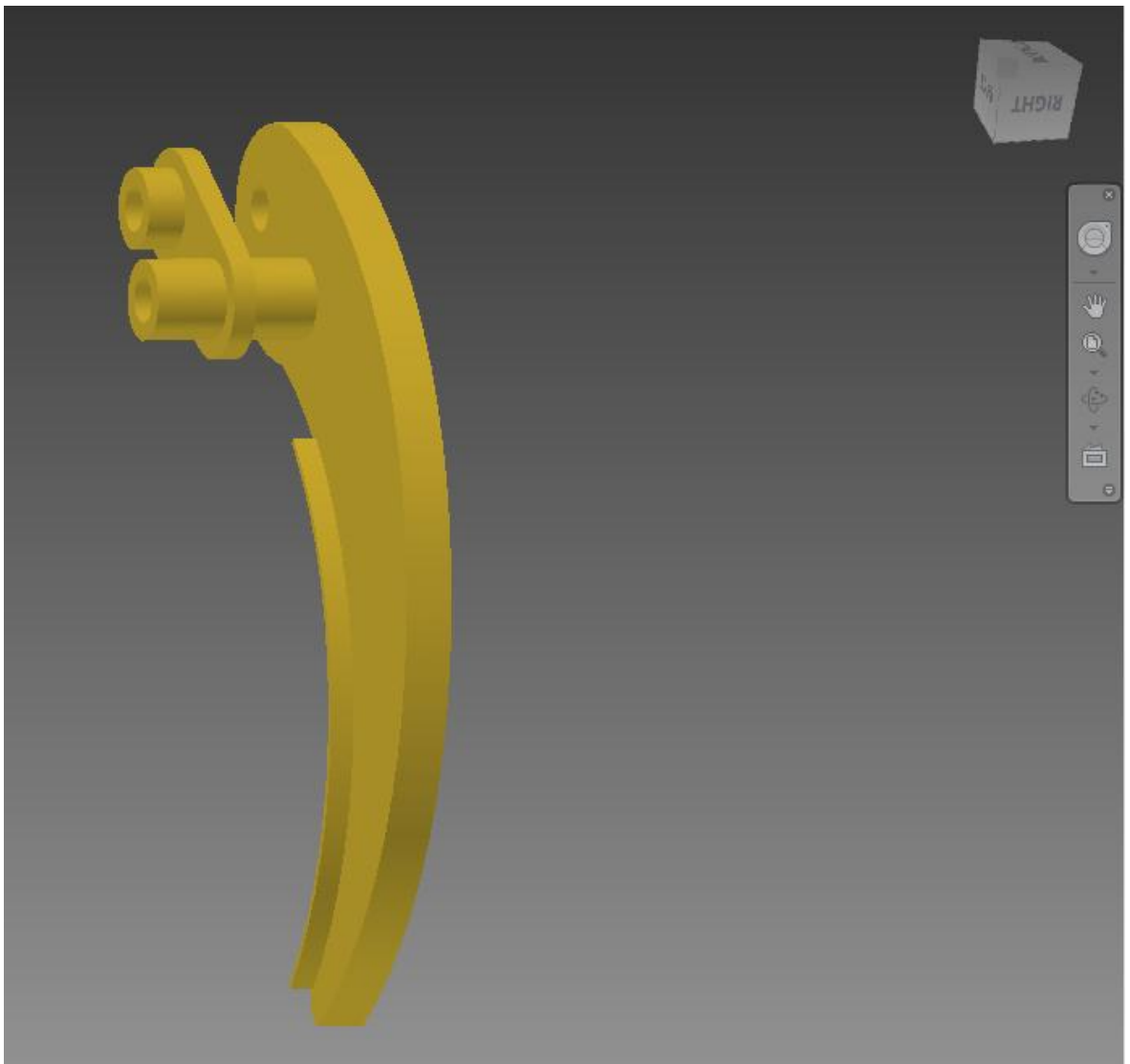
Kaikista ensimmäiseksi tehtiin vasemman pihdin karkea osamalli, josta muotoutui lopulta Autodesk inventorilla tehdyssä assembly-kokoonpanossa monien muutoksien kautta osa, joka on Kuviossa 9.



Kuvio 9. Vasen pihti.

5.1.2 Oikea pihti

Oikeanpuoleinen pihti syntyi aluksi vasemman pihdin osa-aihion peilikuvana. Assembly-kokoonpanossa suoritetuissa useissa detajji-muutoksissa oikeanpuoleisesta pihdistä muokkautui Kuviossa 10. oleva osa.

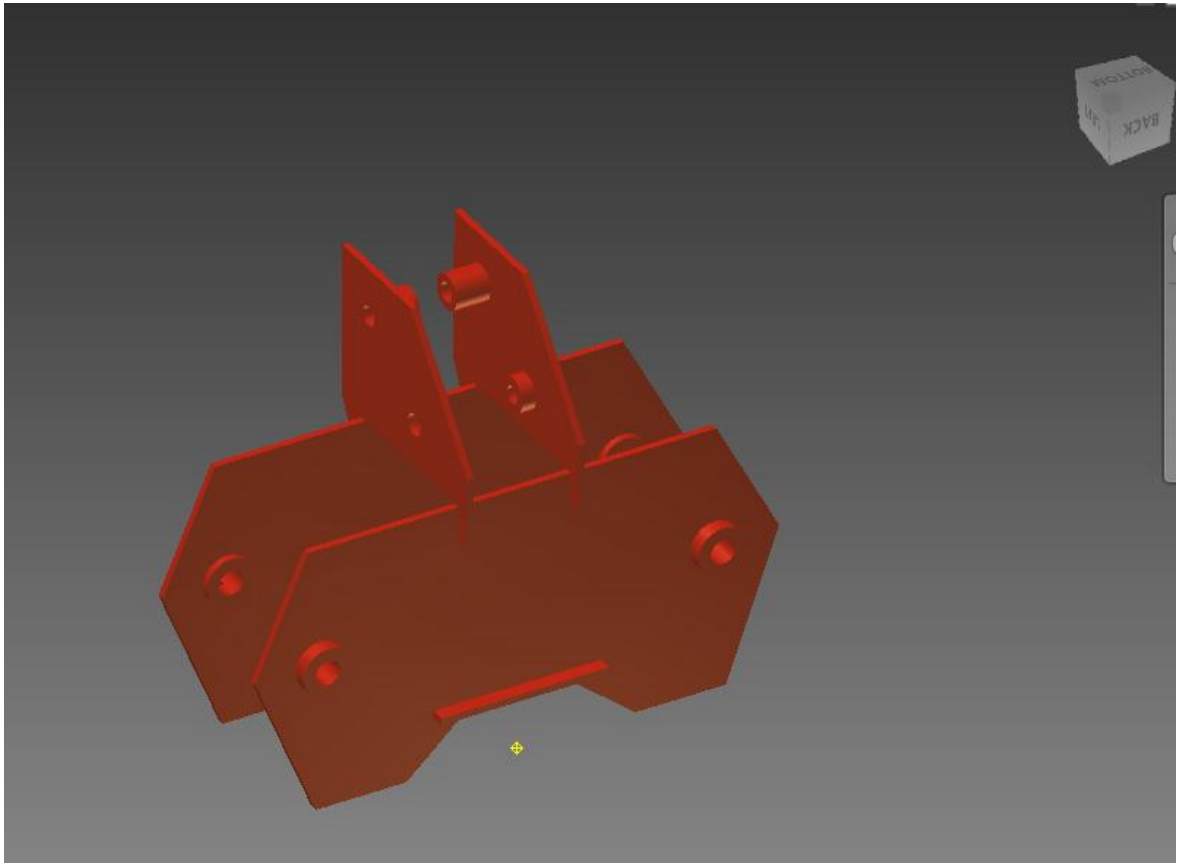


Kuvio 10. Oikea pihti.

5.2 Energiapuukouran pihtirunko

Energiapuukouran pihtirungosta piirrettiin ensimmäiseksi osan raaka-aihioksi suorakulmainen etulevy, jossa oli paikat vasemman ja oikean pihdin tapeille. Ensiksi pihtirungon avulla muokattiin pihtien geometria kuntoon, jonka jälkeen alettiin muokata itse pihtirunkoa sellaiseksi, että pihdit ja kouran kaikki liikkuvat

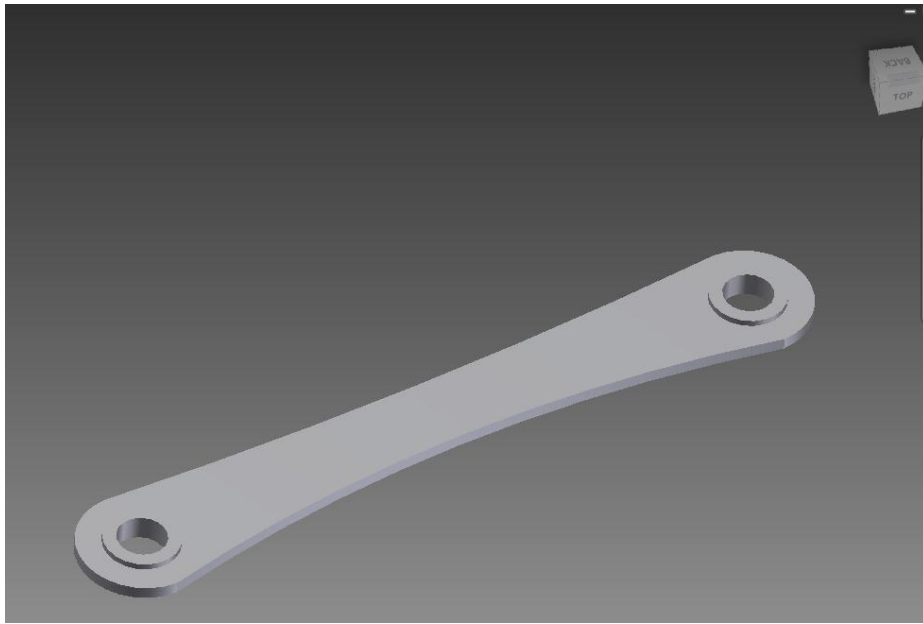
osat mahtuvat pihtirungon sisään suorittamaan liikeratansa. Lopulta pihtirungosta tuli Kuviossa 11. esitetynlainen osa.



Kuvio 11. Energiapuukouran pihtirunko.

5.3 Pihtien välivipu

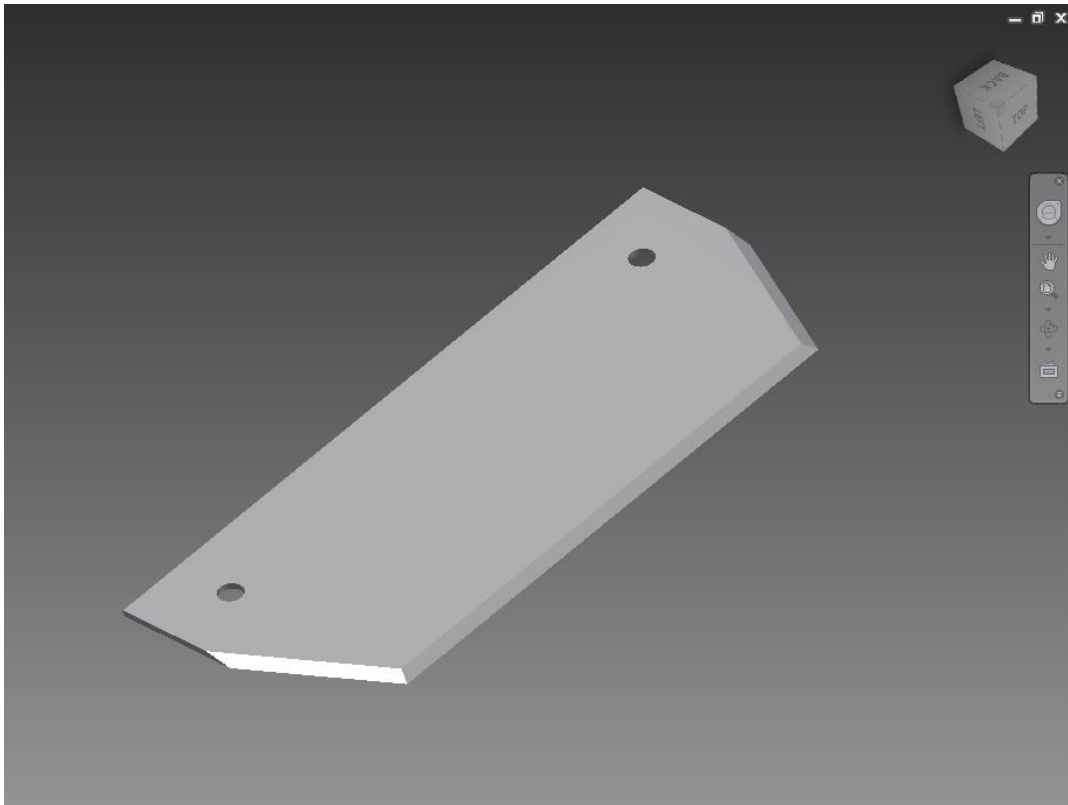
Pihtien välivipu, joka käyttää energiapuukouran vasenta pihtiä oikean pihdin välityksellä syntyi niin, että kun pihdit olivat saaneet oikean perusmuotonsa ja pihdit olivat kiinni pihtirungossa, oli seuraavaksi vuorossa välivivun suunnittelu. Välivivun suunnitteluun vaikutti sekä pihtien halutut liikeradat sekä pihtirunko, jonka sisällä välivivun on sovittava liikkumaan. Lopulta välivivusta tuli useiden kokeilujen ja muutoksien kautta yksinkertainen osa, joka on Kuviossa 12.



Kuvio 12. Pihtien välivipu.

5.4 Puun katkaisuterä

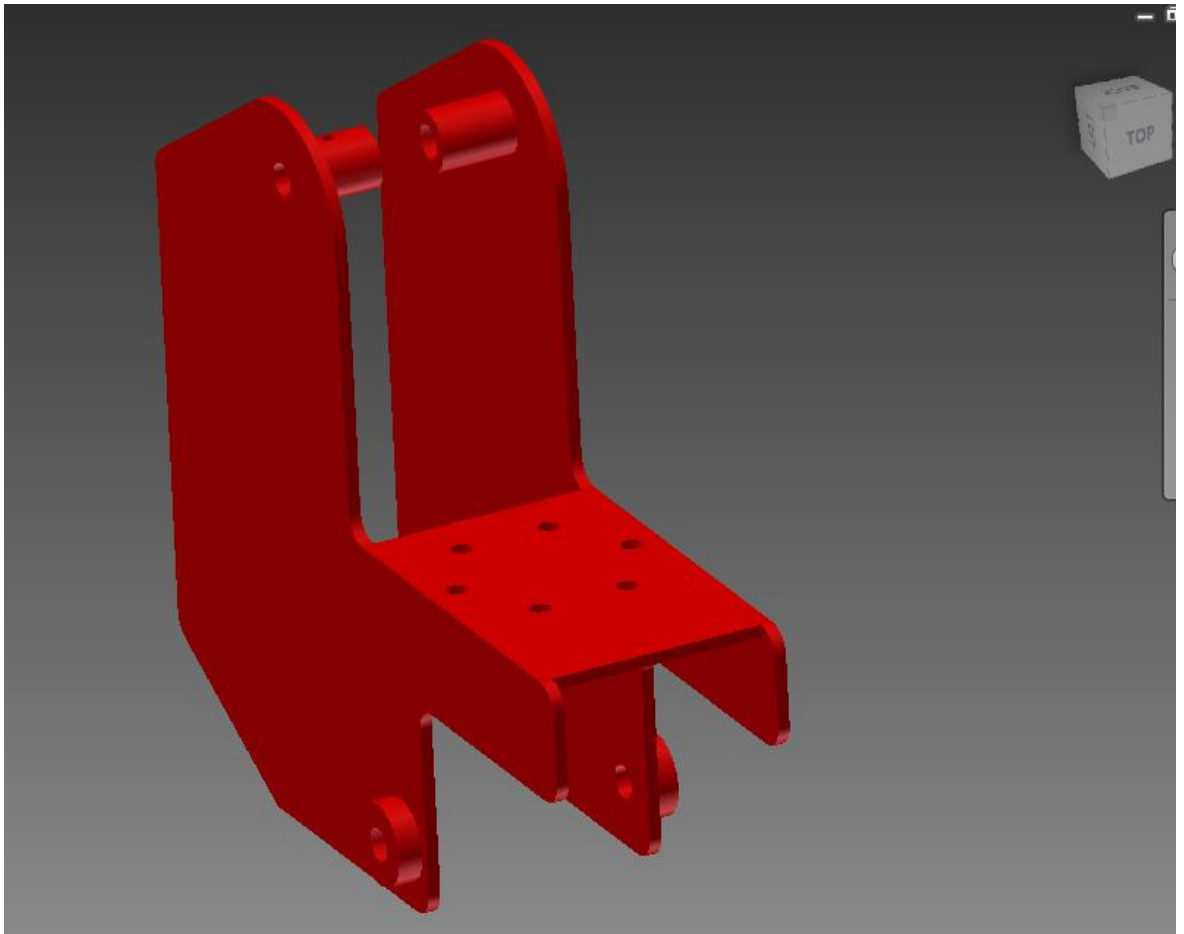
Puun katkaisuterä mallinnettiin vasta, kun oli saatu pihdit ja pihtirunko valmiiksi. Sen jälkeen pihtirungosta otettiin mittoja assembly-kokoonpanon inspect-toiminnolla. Seuraavaksi puunkatkaisuterästä mallinnettiin inspect-toiminnolla saatujen mittojen mukaan suorakulmainen osa-aiho, josta muokkaantui lopulta muutaman detaljimutoksen jälkeen Kuviossa 13. näkyvä osa.



Kuvio 13. Energiapuukouran puun katkaisuterä.

5.5 Tiltausrunko

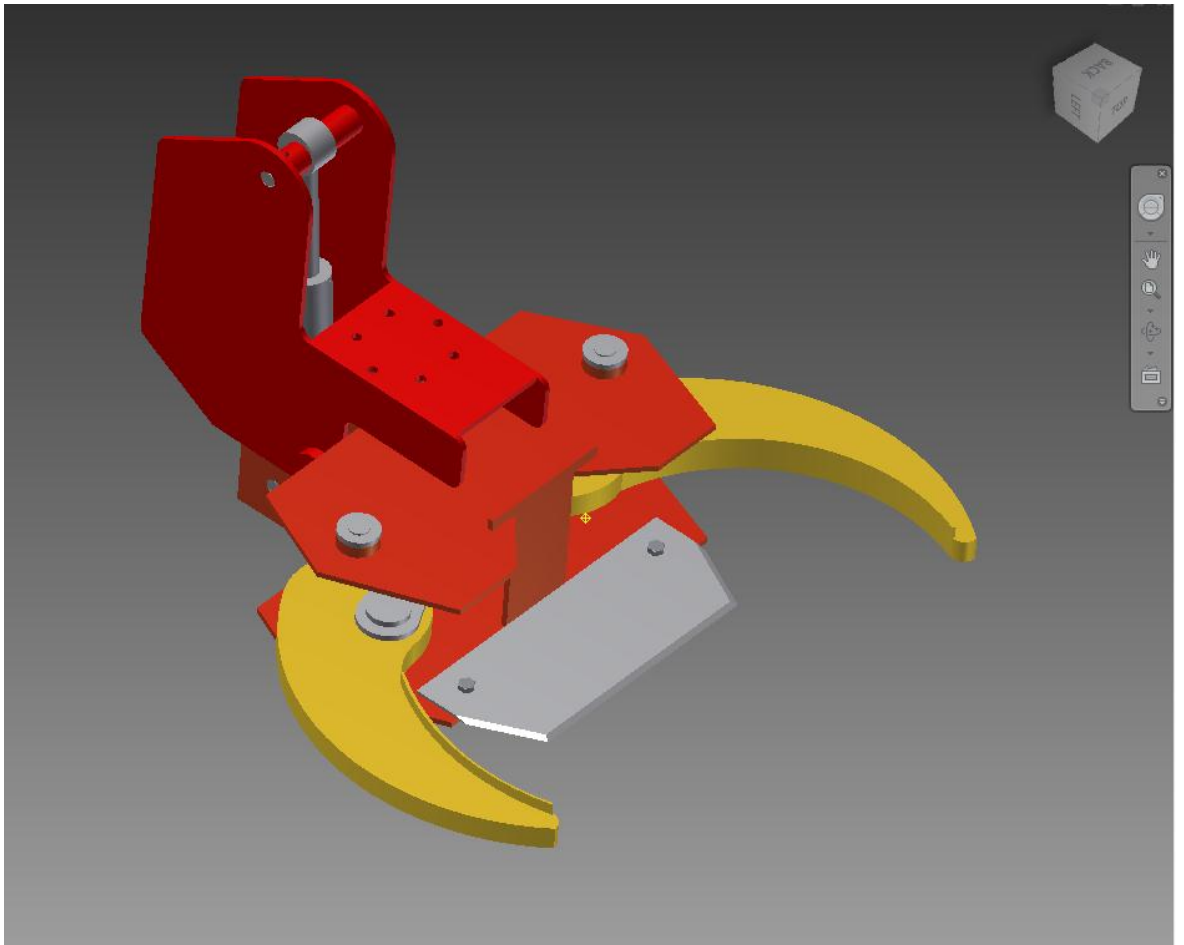
Pihtirungon osien mallintamisen jälkeen vuorossa oli energiapuukouran tiltausrungon suunnittelu. Tiltausrungon suunnitteluun vaikuttavia asioita olivat muun muassa pihtirungon nivelöinti ja tiltaussylinterin sekä pihtirungon liikegeometriat. Lisäksi tiltausrunkoon piti tulla paikka kourankääntörotaattorille sekä tiltaussylinterin taakse tilaa asentaa liikkeitä ohjaavat sekventiaalisesti toimivat paineenrajoitusventtiilit. Lopulta useiden detaljimuutoksien jälkeen tiltausrunko on valmiina Kuviossa 14.



Kuvio 14. Energiapuukouran tiltausrunko.

5.6 Energiapuukouran osakokoonpano

Energiapuukouran assembly-osakokoonpano on valmiina ilman kouran kääntörotaattoria on Kuviossa 15.



Kuvio 15. Energiapuukouran osakokoonpano.

6 MATERIAALIEN VALINTA SEKÄ OSIEN VALMISTUSMENETELMÄT

6.1 Tilttausrunko ja pihtirunko

Energiapuukouran tilttausrungon ja pihtirungon materiaaliksi valitaan 10 mm paksu Weldom 700 -rakenneteräslevy, jolla on hyvät hitsausominaisuudet. Weldom 700 kestää tavallisiin EN 10025-2-standardin mukaisiin seostamattomiin rakenneteräslehtisiin verrattuna huomattavasti enemmän puristus-, isku- ja vääntörasitusta aina -60 °C lämpötilaan saakka. Weldom -rakenneteräslevyn väsymiskestävyys on myös tavallisia teräslehtisiä huomattavasti suurempi, jolloin energiapuukouran runko-osat kestävät pidempään käytössä ilman väsymismurtumia. Weldom 700 -rakenneteräslevyn käyttö energiapuukouran runkorakenteissa mahdollistaa myös ohuemman materiaalivahvuuden käytön, jolloin energiapuukourasta tulee mahdollisimman kevyt. Pihti- ja tilttausrungon osat leikataan konepajalla muotoonsa laserilla, jotta kappaleiden osista tulee mittatarkat sekä kerralla valmiita hitsattavaksi. Polttoleikkauksessa energiapuukouran koneistettaviin osiin tulisi väkisin muodonmuutoksia ja kappaleista tulisi epätarkempia. Tilttaus- ja pihtirunko kasataan mig-hitsauksella koneistetuista osista.

6.2 Pihdit

Pihtien materiaaliksi valitaan materiaalivahvuudeltaan 40 mm oleva Weldom 700 -rakenneteräslevy, joka kestää isku-, vääntö- ja väsymisrasitusta hyvin. Pihtien materiaalipaksuus on hiukan ylimitoitettu tarkoituksella silmällä pitäen pihtien väsymiskestävyyttä, koska energiapuukouran pihtit altistuvat koko ajan jatkuville isku-, vääntö- ja puristusrasitukselle, jolloin myös materiaali väsy eniten käytössä. Myös pihtien osat leikataan laserilla muotoonsa konepajalla sekä pihtien kokoaminen suoritetaan mig-hitsauksella.

6.3 Puun katkaisuterä

Puun katkaisuterän materiaaliksi valitaan hankaavaa kulutusta sekä iskuja, vääntöä ja puristusta hyvin kestävä materiaalivahvuudeltaan 5 mm oleva Raex 500 -kulutusteräs. Energiapuukouran puun katkaisuterä altistuu koko ajan käytössä hankaukselle, iskuille sekä vääntö ja puristusrasitukselle. Puun katkaisuterä leikataan myös muotoonsa laserilla.

6.4 Tapit

Energiapuukouran tappimateriaaliksi tulee standardikokoiset ulkohalkaisijalta 25 mm ja 35 mm olevat karkaistut tapit.

6.5 Tappien liukulaakeriholkit

Tappien liukulaakeriholkkien materiaaliksi valitaan S3552H -rakenneteräsputki, jota tarvitaan kahta eri kokoluokkaa erikokoisten runkotappien ja liukulaakeripuslien takia. Liukulaakeriholkkien aihoksi valitaan ulkohalkaisijaltaan 51 mm ja 70 mm olevat rakenneteräsputket, joiden seinämävahvuudet ovat vastaavasti 12,5 ja 16 mm. Rakenneteräsputkesta katkotaan sopivan mittaiset liukulaakeriholkkien aihiot ja holkkien päähän porataan jo tässä vaiheessa 10 mm:n reikä kouran runkotappien lukitukseen käytettäville 10 mm:n putkisokille. Tämän jälkeen liukulaakeriholkkiaihiot kiinnitetään energiapuukouran runko-osiin mig-hitsauksella. Kun energiapuukouran runko-osat ovat koottu täydellisiksi kappaleiksi mig-hitsauksella, on vuorossa vasta sen jälkeen liukulaakeriholkkien jysintä H7 toleranssiin energiapuukouran tappien liukulaakeripuslille. Liukulaakeriholkkien koneistus suoritetaan aarporalla, jolloin samalla voidaan suoristaa myös liukulaakeriholkkien tappilinja suoraksi.

7 HYDRAULIIKAN TEORIAA

7.1 Mitä hydrauliiikka on

Hydrauliikkajärjestelmä on tärkeä kokonaisuus autoissa, kuljetuskalustossa, työkoneissa, laivoissa ja lentokoneissa. (Aula & Mikkonen 2008, 10.) Hydrauliikkajärjestelmällä tarkoitetaan tehonsiirtojärjestelmää, joka muuntaa mekaanisen esimerkiksi sähkö- tai polttomoottorilla tuotetun tehon hydrauliseksi tehoksi eli öljynpaineeksi ja tilavuusvirraksi. Perushydrauliikkajärjestelmä koostuu öljysäiliöstä, pumpusta sekä hallinta- ja toimilaitteista. (Aula & Mikkonen 2008, 11.) Hydrauliikkajärjestelmän toimilaitteet muuntavat hydraulisen tehon jälleen takaisin mekaaniseksi energiaksi kuten, hydraulimoottorin pyörintäliikkeeksi tai sylinterin suoraviivaiseksi työntö- tai vetoliikkeeksi. (Keinänen & Kärkkäinen 1997, 97.) Hydraulisyylinterin liike perustuu hydrostaattiseen tehonsiirtoon eli nesteen paine- tai potentiaalienergiaan. Hydraulimoottorin pyörintäliike perustuu hydrodynaamiseen tehosiirtoon eli nesteen liike-energiaan ja paineeseen. (Keinänen & Kärkkäinen 1997, 100.)

Hydrauliikan etuja ovat suuri voiman ja momentin tuotto. Hydrauliikkajärjestelmässä voiman, momentin ja nopeuden säätö voidaan toteuttaa portaattomasti. Lisäksi hydrauliiikan etu on toimilaitteiden jarrutus, joka ei vaadi erillistä mekaanista kuluva kitkajarrua. Virtaava hydraulineeste myös voitelee ja jäähdyttää toimilaitetta. (Keinänen & Kärkkäinen 1997, 99.)

Hydrauliikan haittoina pidetään tehohäviöitä, jotka ovat suuret pitkillä siirtomatkoilla ja hyötysuhde ei tällöin ole kovin hyvä. Lisäksi hydraulineesteet ovat palavia ja ympäristöä likaavia aineita ja kaikki hydrauliiikkajärjestelmät vuotavat ainakin hiukan. (Keinänen & Kärkkäinen 1997, 100.)

7.2 Hydraulikkajärjestelmien päätyypit

7.2.1 Avoin järjestelmä

Avoimessa järjestelmässä pumppu imee öljyn öljysäiliöstä. Avoimessa järjestelmässä käytetään pumppuja joiden pyörintä- ja öljynvirtaussuunta on rakenteellisesti määrätty. Avoimessa hydraulikkajärjestelmässä pumpun tuottama öljyn tilavuusvirran suunta on vakio riippumatta siitä, onko käytössä vakio- tai säätötilavuuspumppu. Toimilaitteen toiminnan suuntaa ja liikenopeutta muutetaan suuntaventtiilillä. Avoimen järjestelmän suodattimien tehtävä on vakio, imusuodatin sijaitsee tankissa, painesuodatin öljyn pääpainelinjassa ja palusuodatin öljyn paluulinjassa. (Aula & Mikkonen 2008, 80.) Avoimessa järjestelmässä voi olla useita toimilaitteita, joita käytetään yhtä aikaa tai erikseen. Avoimessa järjestelmässä toimilaitetta ei voida jarruttaa pumpun avulla. Lisäksi avoimessa järjestelmätyypissä on kavitaation vaara pumpun imupuolella imutapahtumassa syntyvän alipaineen vuoksi. (Keinänen & Kärkkäinen 1997, 256.) Avoimia hydraulikkajärjestelmätyyppejä on olemassa neljä erilaista.

7.2.2 Ympäripumppaava järjestelmä

Järjestelmän suuntaventtiilillä on avoin keskiasento. Kun öljyä ei ohjata toimilaitteille, vakiokierrostilavuuksisen pumpun tuottama tilavuusvirta kulkee pumpulta suuntaventtiin keskiasennon kautta palusuodattimen läpi takaisin tankille. Kun suuntaventtiin karaa liikutetaan keskiasennosta, sulkeutuu öljyn vapaakierto ja öljy ohjautuu toimilaitteelle ja sieltä edelleen paluulinjaan ja tankille. Tämä järjestelmätyyppi on yleinen vanhemmissa liikkuvissa työkoneissa. (Aula & Mikkonen 2008, 31.)

7.2.3 Vakiopainejärjestelmä

Vakiopainejärjestelmässä vallitsee aina vakiopaine ja hydraulipumppu on kierrostilavuudeltaan säädettävä ja suuntaventtiilillä on suljettu keskiasento. Kun järjestelmäpaine on saavutettu eikä öljyä ohjata toimilaitteelle, pumpun kierrostilavuus pienenee nolnaan. Vakiopainejärjestelmässä tarpeellinen on paineakku, johon paineenalaista öljyä varastoituu, koska heti kun öljyä ohjataan toimilaitteelle, järjestelmäpaine laskee hetkeksi, kun pumpun kierrostilavuus suurenee. (Aula & Mikkonen 2008, 31–32.)

7.2.4 Kevennetty vakiopainejärjestelmä

Kevennetty vakiopainejärjestelmä poikkeaa vakiopainejärjestelmästä niin, että järjestelmän lepopaine on vain murto-osa järjestelmän työpaineesta. (Aula & Mikkonen 2008, 32.)

7.2.5 Kuormantunteva järjestelmä

Kuormantuntevassa järjestelmässä on säätävällä kierrostilavuudella oleva pumppu, joka on yleensä aksiaalimäntäpumppu. Aksiaalimäntäpumpun kierrostilavuutta säätämällä säädetään järjestelmäpainetta ja tilavuusvirtaa toimilaitteiden liikkeiden tarpeiden mukaan. Pienillä kuormilla järjestelmäpainetta ei nosteta suuremmaksi kuin toimilaitteen kuorma tarvitsee. Lisäksi maksimipaineet voidaan asettaa suuntaventtiilien karoille toimilaittekohtaisesti. Kuormantuntevan hydraulijärjestelmän etuna ovat pienet tehohäviöt muihin järjestelmätyyppeihin verrattuna. (Aula & Mikkonen 2008, 33–34.) Tämä järjestelmätyyppi on yleisin 2000-luvun liikkuvissa työkoneissa.

7.2.6 Suljettu järjestelmä

Suljetussa hydraulikkajärjestelmässä käytetään muuttuvatilavuuksista vinolevy-aksiaalimäntäpumppua, jonka rakenne on samanlainen kumpaankin virtaussuuntaan. Suljetun järjestelmän pumppu imee öljyä suoraan toimilaitteen paluulinjasta eli hydraulineeste palaa toimilaitteelta suoraan pumpun imupuolelle. Pumpun virtaussuunnan vaihto on mahdollista pumpun vinolevyn kulman kääntämisellä nollakulman toiselle puolelle. Pumpun mekaaninen pyörintäsuunta on vakio, mutta paluulinja eli matalapainelinja ja painelinja vaihtavat keskenään paikkoja. (Aula & Mikkonen 2008, 81.) Suljetun järjestelmän öljytilavuus on pieni ja jatkuvassa kierrossa oleva öljy kuumenee helposti, joten lähes aina suljettu hydraulikkajärjestelmä vaatii erillisen öljynlauhduttimen. Suljetussa hydraulikkajärjestelmässä toimilaitteita on yleensä yksi ja toimilaitetta voidaan jarruttaa pumpun avulla. (Keinänen & Kärkkäinen 1997, 256.) Siksi suljettua hydraulikkajärjestelmää käytetään tavallisemmin työkoneiden ajovoimansiirrossa. Suljettu hydraulikkajärjestelmä vaatii lisäksi kiinteätuottoisen apupumpun, joka vaihtaa työkierrossa olevaa öljyä säiliössä olevaan suodatettuun ja jäähdytettyyn öljyyn. Lisäksi apupumppu tuottaa ajopumpun säätimen pilottipaineen. (Aula & Mikkonen 2008, 81.)

7.3 Hydraulikkajärjestelmän peruskomponentit ja sijoituspaikka järjestelmässä.

7.3.1 Öljysäiliö

Hydraulikkajärjestelmän ensimmäinen komponentti alkupäästä on öljysäiliö. Säiliön tehtävä on varastoida ja jäähdyttää öljyä. Säiliö valmistetaan yleensä teräslevystä ja on varusteltu tyhjennys -ja täyttöaukolla, huohottimella,

lämpömittarilla sekä nestepinnan tarkkailusilmällä tai tasomittarilla. Hydraulinesteen viipyessä säiliössä siitä erottuu epäpuhtauksia, jotka painuvat joko säiliön pohjalle sakaksi tai nousevat nesteen pinnalle. Säiliön koko mitoitetaan yleensä noin 2–3 kertaa suuremmaksi kuin järjestelmän hydraulipumpun nimellinen tilavuusvirta on minuutissa. Säiliö tulisi aina sijoittaa hydraulipumpun yläpuolelle (Keinänen & Kärkkäinen 1997, 160.)

7.3.2 Hydraulipumput

Järjestelmän hydraulipumppu sijoitetaan yleensä mahdollisimman lähelle öljysäiliötä tai jopa öljysäiliön sisälle. (Keinänen & Kärkkäinen 1997, 160.) Mekaaninen teho muutetaan hydrauliseksi tehoksi hydraulipumpulla. Hydraulipumppu on hydraulikkajärjestelmän sydän. Hydraulikkassa käytettävien pumppujen toiminta perustuu yleensä syrjäytysperiaatteeseen ja ne tuottavat tilavuusvirtaa. Pumpulla muunnetaan pumpun akselille tuleva mekaaninen energia hydrauliseksi energiaksi. Järjestelmäpaine syntyy vasta silloin, kun pumpun tuottaman tilavuusvirran kulkua vastustetaan toimilaitteen kuormalla. (Keinänen & Kärkkäinen 1997, 120.) Erilaisia hydraulipumppu tyyppisiä on neljä: hammaspyöräpumput, ruuvipumput, siipipumput ja mäntäpumput. (Keinänen & Kärkkäinen 1997, 122.)

7.3.3 Putkisto

Hydrauliputkisto yhdistää hydraulikkajärjestelmän komponentit toisiinsa. Hydraulipumpulle on saatava öljyä säiliöstä ja pumpun tuottama hydraulinen energia on siirrettävä toimilaitteille ja sieltä edelleen takaisin säiliöön tai pumpulle. Jäykkiä joustamattomia teräsputkia käytetään laitteissa, jotka vaativat suurta tarkkuutta ja nopeutta. Liikkuvien toimilaitteiden hydrauliputkistona käytetään taipuisia hydrauliletkuja, jotka myös vaimentavat ja katkaisevat laitteiston värähtelyä. Paineen noustessa letkut laajenevat ja jousto tasaa järjestelmän paineiskuja. (Keinänen & Kärkkäinen 1997, 162–163.)

7.3.4 Suodattimet

Suodattimien tehtävä on poistaa hydraulioöljystä kiinteät partikkelit, jotka hydraulikkajärjestelmässä liikkuaessaan aiheuttavat vaurioita. (Keinänen & Kärkkäinen 1997, 131.) Tällaisia vaurioita ovat pumpun tai hydraulimoottorin kuluminen, suuntaventtiilien karajumit ja ohivuoto sekä hydraulisynterin tiivisteiden vaurioitumisen aiheuttama ohivuoto. Tavallisessa hydraulikkajärjestelmässä on vähintään neljä eri suodatintyyppiä.

Huohotinsuodatin asennetaan öljysäiliön huohotinputkeen säiliön korkeimpaan kohtaan siten, ettei öljy pääse suodattimeen. (Keinänen & Kärkkäinen 1997, 155.) Huohotinsuodattimen tehtävänä on suodattaa epäpuhtaudet öljysäiliöön virtaavasta korvausilmasta (Keinänen & Kärkkäinen 1997, 151.)

Imusuodatin asennetaan hydraulipumpun imupuolelle öljysäiliön ja pumpun väliin. Imusuodattimen tarkoitus on suojata pumpua öljyssä olevilta kiinteiltä epäpuhtauksilta, jotka ovat joutuneet öljyn sekaan esimerkiksi öljysäiliön täytön aikana. (Keinänen & Kärkkäinen 1997, 151.)

Painesuodatin suodattaa pumpun painepuolelta tulevan tilavuusvirran. (Keinänen & Kärkkäinen 1997, 151.) Painesuodatin asennetaan pumpun painelinjaan heti pumpun ja paineenrajoitusventtiilin jälkeen. Jos painesuodattimella halutaan suodattaa koko hydraulijärjestelmän öljy, on painesuodatin asennettava ennen paineenrajoitusventtiiliä. (Keinänen & Kärkkäinen 1997, 154.)

Palusuodatin asennetaan hydraulikkajärjestelmän paluulinjaan ja sen tehtävä on suodattaa toimilaitteilta tuleva paluuöljy. (Keinänen & Kärkkäinen 1997, 151.) .Palusuodattimen asennuspaikka on yleensä öljysäiliön kannessa (Keinänen & Kärkkäinen 1997, 155.)

7.3.5 Paineenrajoitusventtiilit

Paineenrajoitusventtiilit ovat yleensä säädettäviä jousikuormitteisia kuulaventtiileitä, joiden tehtävä on rajoittaa hydraulikkajärjestelmän maksimipaine komponenttien sallimalle tasolle, jottei järjestelmään tulisi ylikuormitusvaurioita. Venttiilin toimintaperiaate on yksinkertainen. Kun järjestelmäpaineen aiheuttama voima ylittää paineenrajoitusventtiilin jousikuorman, venttiili avautuu, öljy pääsee venttiilin kautta paluulinjaan ja järjestelmäpaine laskee. Kun järjestelmäpaine on laskenut säädettyyn arvoon, paineenrajoitusventtiilin jousikuorma sulkee venttiilin. (Louhos 1992, 58–59.) Paineenrajoitusventtiili sijaitsee avoimessa ympäripumppaavassa vakio tilavuuspumpulla varustetussa hydraulijärjestelmässä painelinjassa heti pumpun jälkeen, jonka tehtävänä on toimia järjestelmäpaineen rajoitusventtiilinä / vapaakiertoventtiilinä johtamalla pumpun ylimäärä tuotto tankkiin. (Aula & Mikkonen 2008, 55.)

7.3.6 Virtauskuristimet

Virtauskuristimen tehtävä on säätää toimilaitteen liikenopeutta säätämällä toimilaitteelle menevää öljyn tilavuusvirtaa. Virtauskuristimia käytetään ympäripumppaavissa hydraulikkajärjestelmissä, joissa on vakio tilavuuspumppu. Virtauskuristin voidaan tarpeen mukaan asentaa pumpulta tulevaan painelinjaan ennen suuntaventtiiliä tai suuntaventtiilin jälkeen ennen toimilaitetta. (Keinänen & Mikkonen 1997, 188.)

7.3.7 Suuntaventtiilit

Suuntaventtiilit ovat hydraulikkajärjestelmän hallintalaitteita. Suuntaventtiileillä määrätään hydraulipumpulta tulevan öljynvirtauksen suunta toimilaitteelle, joka taas määrää sen piteneekö vai lyheneekö sylinteri tai pyörikö hydraulimoottori myötä- tai vastapäivään (Aula & Mikkonen 2008, 13.) Suuntaventtiilin ohjaustyyppinä on kolme erilaista.

Mekaanisesti ohjatuilla suuntaventtiileillä tarkoitetaan sellaisia suuntaventtiilejä, joissa suuntaventtiilin karaa ohjataan suoraan lihasvoimalla mekaanisen vivunvälityksellä joko käsillä tai jalalla. Tällöin tilavuusvirran suunnan lisäksi voidaan ohjata myös tilavuusvirran suuruutta, jolloin saavutetaan hyvä ohjaustuntuma. Tämä suuntaventtiilityyppi on edullisin ja se on yleinen liikkuvassa kalustossa. (Keinänen & Kärkkäinen 1997, 198.) Tällöin venttiilistö on sijoitettava käyttäjän lähelle.

Hydraulisesti esiohjattuja suuntaventtiilejä käytetään silloin kun suuntaventtiilistö halutaan sijoittaa hyvään paikkaan ja raskaan mekaanisesti ohjatun suuntaventtiilistön tuominen koneenkäyttäjän luokse esimerkiksi ohjaamoon olisi epätaloudellista ja hankalaa. Letkurikon sattuessa korkeapaineinen öljysuihku olisi myös vaarallinen koneenkäyttäjälle. Hydraulisessa esiohjauksessa koneen käyttäjän luokse ohjaamoon tulee joystik ohjatut esiohjauslohkot, joissa öljynpaine on maksimissaan 2,5 Mpa ja virtaus on pieni, joten esiohjausventtiilien letkutkin ovat pienet ja kevyet. Esiohjaussuuntaventtiileillä hallitaan varsinaisen suuntaventtiilin ohjauskaran päihin vaikuttavaa ohjauspainetta. Esiohjauspaine ja samalla varsinaisen suuntaventtiilikaran liikematka on verrannollinen esiohjausventtiilin hallintavivun liikematkaan. Varsinainen suuntaventtiilikara on jousikeskitetty. (Aula 2008, 110.)

Sähköisesti esiohjattuja suuntaventtiileitä käytetään myös silloin kun varsinainen suuntaventtiilistö halutaan sijoittaa hyvään paikkaan työkoneessa, eikä haluta tuoda raskasta venttiilistöä käyttäjän lähelle. Sähköinen esiohjaus mahdollistaa vapaamman sijoittelun ohjausjoystikeille, koska joystikeilta vedetään ainoastaan taipuisa toiminnoista riippuva, yleensä 3–7 johtoinen johtosarja varsinaisena suuntaventtiilistönä toimivalle mangneettiventtiilistölle. Sähköistä hydrauliiikan esiohjausta on käytetty yleisesti premiumtason liikkuvissa työkoneissa, kuten traktoreissa, kaivinkoneissa, trukeissa yms. 2000-luvun alusta alkaen. Sähköinen esiohjaus toimii niin että ohjausjoystikin eteen, taakse ja sivulta sivulle -liike kytkee jännitteen jousikeskitteisen mangneettiventtiilin karan päässä olevaan sähkösolenoidiin proportionaalisesti, eli joystikin liike on verrannollinen solenoidille menevään mangnetointijännitteeseen. Solenoidi magnetoituu ja vetää

suuntaventtiilin karaa auki, jolloin öljy pääsee toimilaitteelle. Kun ohjausjoystikki katkaisee ohjaussolenoidin jännitteen, palaa suuntaventtiilin kara keskiasentoon jousikeskityksen avulla. (Louhos 1992, 55.) Lisäksi ohjausjoystikin päässä voi olla myös nappikytkimet, joilla ohjataan on/off tyyppisiä lisähydrauliikan suuntaventtiileitä. Tällä tavoin kahdella ohjausjoystikilla voidaan ohjata yhteensä kuutta eri toimintoa. (Louhos 1992, 75.)

7.3.8 Toimilaitteet

Hydraulimoottoreita on olemassa kolmea erityyppiä ja ne ovat gerotormoottori, siipimoottori sekä hammaspyörämoottori. (Aula & Mikkonen 2008, 53.) Nämä hydraulimoottorit toimivat aivan niin kuin vastaavalla rakenteella olevat hydraulipumput mutta toiminta on päinvastainen. Hydraulimoottori muuntaa öljyn virtauksen ja paineen takaisin mekaaniseksi vääntömomentiksi ja kulmanopeudeksi. (Aula & Mikkonen 2008, 55.)

Hydraulisyylinterit muuttavat hydraulisen energian takaisin lineaariseksi mekaaniseksi energiaksi. Hydraulisyylinterit jaetaan toimintatavan ja käyttötarkoituksen mukaan yksitoimisiin ja kaksitoimisiin sylintereihin.

Yksitoimiset hydraulisyylinterit ovat yleensä työntösylintereitä, johon pumpulta tuleva tilavuusvirta ja paine vaikuttaa ainoastaan sylinterin männän alapuolelle maksimivoiman aikaansaamiseksi. Yksitoimiseen sylinteriin on kuitenkin järjestettävä vuotoöljyn paluulinja tankkiin männänvarren puolelta jottei ohivuotoöljy pursua ulos tiivisteitteiden välistä työliikkeen ääriasennoissa pullauttaen sylinterin tiivisteet pois paikoiltaan. (Aula & Mikkonen 2008, 154.)

Kaksitoimiset hydraulisyylinterit voidaan jakaa yksi tai kaksi vartisiin työsyylintereihin. Kaksivartista sylinteriä käytetään hydrostaattisessa ohjauksessa, koska liikenopeus on yhtä suuri molempiin suuntiin. (Aula & Mikkonen 2008, 157.) Kaksitoimiset yksivartiset työsyylinterit sijoitetaan yleensä työkoneisiin niin, että

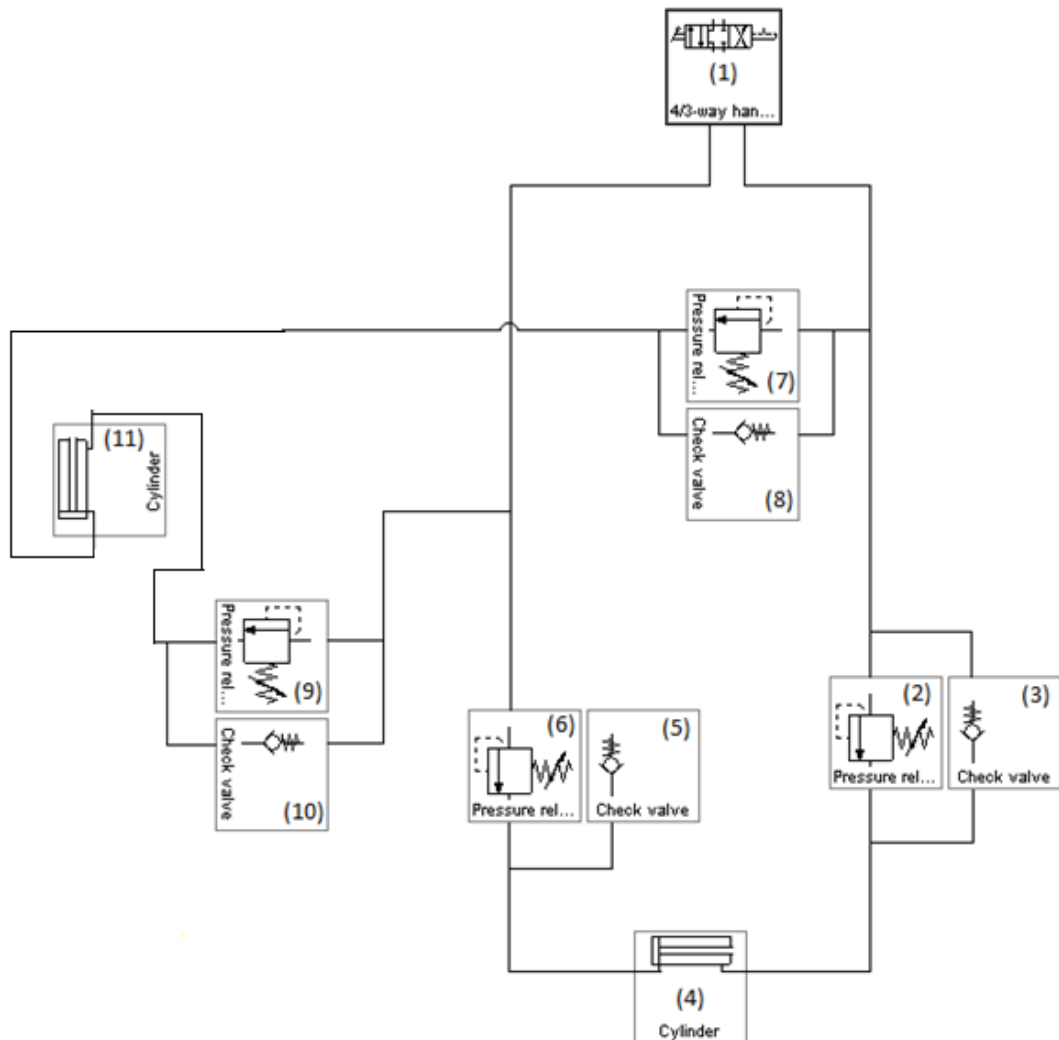
eniten voimaa tarvitseva toiminto toimii sylinterin työntösuuntaan, jolloin pumpun tuottama paine ja tilavuusvirta vaikuttaa sylinterin männän alapuolella ja sylinterin maksimi voima on tällöin käytettävissä.

8 ENERGIAPUUKOURAN PROTOTYYPIN HYDRAULIIKAN TOTEUTUS

8.1 Hydraulinen tiltaus- ja pihtiautomatiikka

Jotta energiapuukouran käytöstä ja työskentelystä tulisi mahdollisimman helppoa ja joutuisaa, energiapuukouran tiltaus- ja pihtitoimintoon on syytä kehittää sellainen liikeautomatisointi, että yhdellä hydrauliiikan suuntaventtiilillä voidaan hallita energiapuukouran kummankin liikkeen peräkkäinen suoritus niin, että ensin energiapuukoura suorittaa pihtitoiminnon ja sen jälkeen automaattisesti perään tiltaustoiminnon. Tiltaustoiminnolla energiapuukouran pihtiosa kääntyy pystyasentoon tai vaaka-asentoon, jolloin pihdillä voidaan ottaa kiinni kaadettavasta energiapuunrungosta sekä kääntää katkaistu puu vaaka-asentoon. Energiapuukouran pihtitoiminnolla tartutaan ja katkaistaan puu kannosta irti. Puun katkaisun jälkeen energiapuukouran pihtiosa pitää energiapuusta kiinni, jotta puun kaataminen vaaka-asentoon tiltaussyylinterillä onnistuu. Tämän jälkeen kaadettu energiapuu voidaan viedä kouralla kasalle ja vasta tämän jälkeen energiapuukoura suorittaa pihdin avausliikkeen, kun koneenkuljettaja haluaa. Tällöin kaadettu energiapuu jää siististi kasaan ajotien varteen odottamaan metsäperävaunulla suoritettavaa siirtoajoa.

8.2 Energiapuukouran hydraulikaavio



Kuvio 17. Energiapuukouran hydraulikaavio.

Energiapuukouran tiltaus- ja puristusautomaatiikan toteutus puunkaatoa aloitettaessa onnistuu niin, että puutavarakuormajan venttiilistön 4/3-suuntaventtiili (1) ohjaa hydraulipumpun hydraulioöljyn tuoton sekvenssiventtiilinä toimivan esiohjatun paineenrajoitusventtiilin (2) kautta pihitsylinterin (4)

männänvarren puolelle, jolloin pihtisylinterin paluuöljy pääsee vastaventtiin (5) kautta paluulinjaan. Pihti avautuu, kunnes pihtisylinterin (4) mäntä on sylinteriputken pohjassa, jolloin järjestelmäpaine kasvaa traktorin hydraulipumpun maksimiksi rajoitettuun 190 bariin, jolloin sekvenssiventtiinä toimiva 160 barin avautumispaineelle asetettu esiohjattu paineenrajoitusventtiili (7) aukeaa ja hydrauliohjattujen tuotto pääsee tilitysytinterin (11) männän alapuolelle ja sylinteri pitenee, jolloin tilitysytinterin männänvarren puolen paluuöljy pääsee vastaventtiin (10) kautta paluulinjaan. Energiapuukouran pihtiosa kääntyy nyt pystyasentoon valmiiksi ottamaan kiinni kaadettavasta puusta.

Varsinainen puunkaato alkaa, kun energiapuukoura on kaadettavan puun kannolla ja puutavarakuormaajan 4/3-suuntaventtiili (1) ohjaa hydrauliohjattujen tuotto 100 barin avautumispaineelle asetetun esiohjattujen sekvenssipaineenrajoitusventtiilille (6) ja öljy pääsee tämän kautta pihtisylinterin (4) männän alapuolelle ja pihtisylinterin männänvarren puolen paluuöljy pääsee paluulinjaan vastaventtiin (3) kautta. Energiapuukouran pihdit alkavat puristua tällöin kiinni. Kun pihdit puristavat puun poikki ja katkaistu puunrunko painaa energiapuukouran pihtirungon keskiosan puuvastinta vasten, hydrauliiikan järjestelmäpaine nousee tällöin yli 160 barin, jolloin sekvenssiventtiinä toimiva esiohjattu paineenrajoitusventtiili (9) avautuu ja öljy pääsee tilitysytinterin (11) männänvarren puolelle ja tilitysytinterin männän puolelta öljy pääsee paluulinjaan vastaventtiin (8) kautta. Tällöin tilitysytinteri lyhenee ja energiapuukouran pihtiosa kääntyy vaakaa-asentoon pihtien pitäessä kiinni puusta. Kun puu on siirretty kasan kohdalle, 4/3-suuntaventtiili (1) ohjaa jälleen hydrauliohjattujen sekvenssipaineenrajoitusventtiin (2) kautta pihtisylinterin (4) männänvarren puolelle ja pihtisylinterin männän alta öljy pääsee jälleen paluulinjaan vastaventtiin (5) kautta. Tällöin energiapuukouran pihti avautuu ja puu jää kasalle. Toistamalla edellä kerrottuja toimintoja energiapuukouralla voi kaataa ja katkoa puuta käyttämällä tilitysytinterin ja pihtitoimintoon yhtä tavallista puutavarakuormaajan puutavarakouran pihdin käyttö 4/3-suuntaventtiiliä (1)

9 LOPPUPÄÄTELMÄT

Energiapuukouran kokoonpanosta tuli mahdollisimman yksinkertainen, kuten asiakastoiveena oli. Tosin yksinkertaisen mekaniikkakonseptin valinta ei mahdollistanut sitä, että energiapuukouraan olisi saanut puun karsintaterät sijoitettua niin, että puuta pystykarsiessa karsintaterät olisivat vasten puuta ympäri koko puunrungon. Pelkkiin pihteihin sijoitetut karsintaterät mahdollistavat ainoastaan puolet puunrungon ympärysmittasta karsittavan kerrallaan. Energiapuukouralle kaavailtu puun karsinta on kuitenkin harvinainen, joten yksinkertaisimman mekaniikkakonseptin valinta oli järkevää laitteen keveyttä sekä osien vähäistä lukumäärää ajatellen.

Energiapuukouran osista: pihtirungosta, tiltausrungosta, pihtien välivivusta sekä puun katkaisuterästä, tuli niin yksinkertaisia osia, että niiden valmistaminen onnistuisi jopa maatilapajassa kulmahiomakoneella, penkkiporakoneella, sorvilla sekä mig-hitsillä. Ainoastaan energiapuukouran pihdeistä tuli muodoltaan sellaiset, että ne täytyy koneistuttaa ulkopuolisella metalliverstaalla. Lisäksi energiapuukouran suunnittelussa hyödynnettiin valmiiden standardiosien saatavuutta niin, että hydraulisylinterit ja puomiston tapit sekä liukulaakeripuslat ovat halkaisijaltaan standardimittaisia ja tällöin mahdollisimman edullisia. Energiapuukouran valmistaminen omana työnä ei tule siis älyttömän kalliiksi. Kallein ostettava yksittäinen energiapuukouran osa on kääntörotaattori.

10LÄHTEET

- Aula, E. & Mikkonen, P. 2008. Liikkuvan kaluston sähköhydrauliikka. Helsinki: Opetushallitus
- Backman, M. MOT: Energiamiina [verkkajulkaisu]. Helsinki: YLE TV1 [viitattu: 17.2.2011]. Saatavana: http://ohjelmat.yle.fi/mot/arkisto/mot_energiamiina
- Hietikko, E. 2007. Autodesk Inventor. Jyväskylä: Gummerrus
- Ihalainen, T. & Niskanen, A. 2010. Kustannustekijöiden vaikutukset bioenergian tuotannon arvoketjuissa. [verkkajulkaisu]. Vantaa: Metla. Metlan työraportteja ISSN 1795-150X. [viitattu 19.2.2011]. saatavana: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2010/mwp166.htm>
- Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 1997. Koneautomaatio 1: hydrauliikka ja pneumatiikka. Helsinki : WSOY
- Louhos, P. & Louhos, J.P. 1992. Ajoneuvo- ja työkonehydrauliikat. 3. uud. p. Kangaslampi : Karjala-Dealers
- Ulrich, K. & Eppinger, S. 2008. Product design and development. 4.p. New York: McGraw-Hill Companies.
- Energian hankinta, kulutus ja hinnat 3. vuosineljännes. 2010. [verkkajulkaisu]. ISSN=1798-3363. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 17.2.2011]. Saatavana: http://www.stat.fi/til/ehkh/2010/03/ehkh_2010_03_2010-12_16_tie_001_fi.html
- Maataloustraktori puutavarakuormaajalla [verkkosivu]. Kruunupyy: Oy Wikar Ab [viitattu 25.2.2011]. Saatavana: <http://www.kronos.fi/fin/gallery.htm>
- Multidisciplinary Engineering Design Program. Ei päiväystä. [verkkajulkaisu]. [viitattu: 27.3.2011]. Saatavana: <http://edge.rit.edu/content/P08427/public/Establish%20specificatios>

Sähkönhintaa kuluttajatyypeittäin snt/kWh. Ei päiväystä. [verkojulkaisu].
Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 17.2.2011].

Saatavana:

http://pxweb2.stat.fi/graph/?matrix=050_ekkh_tau_105_fi&timeid=2011217384464&lang=3

Pieni metsäharvesteri. [verkkosivu] Pori: Sampo-Rosenlew Oy [viitattu 25.2.2011].

Saatavana:

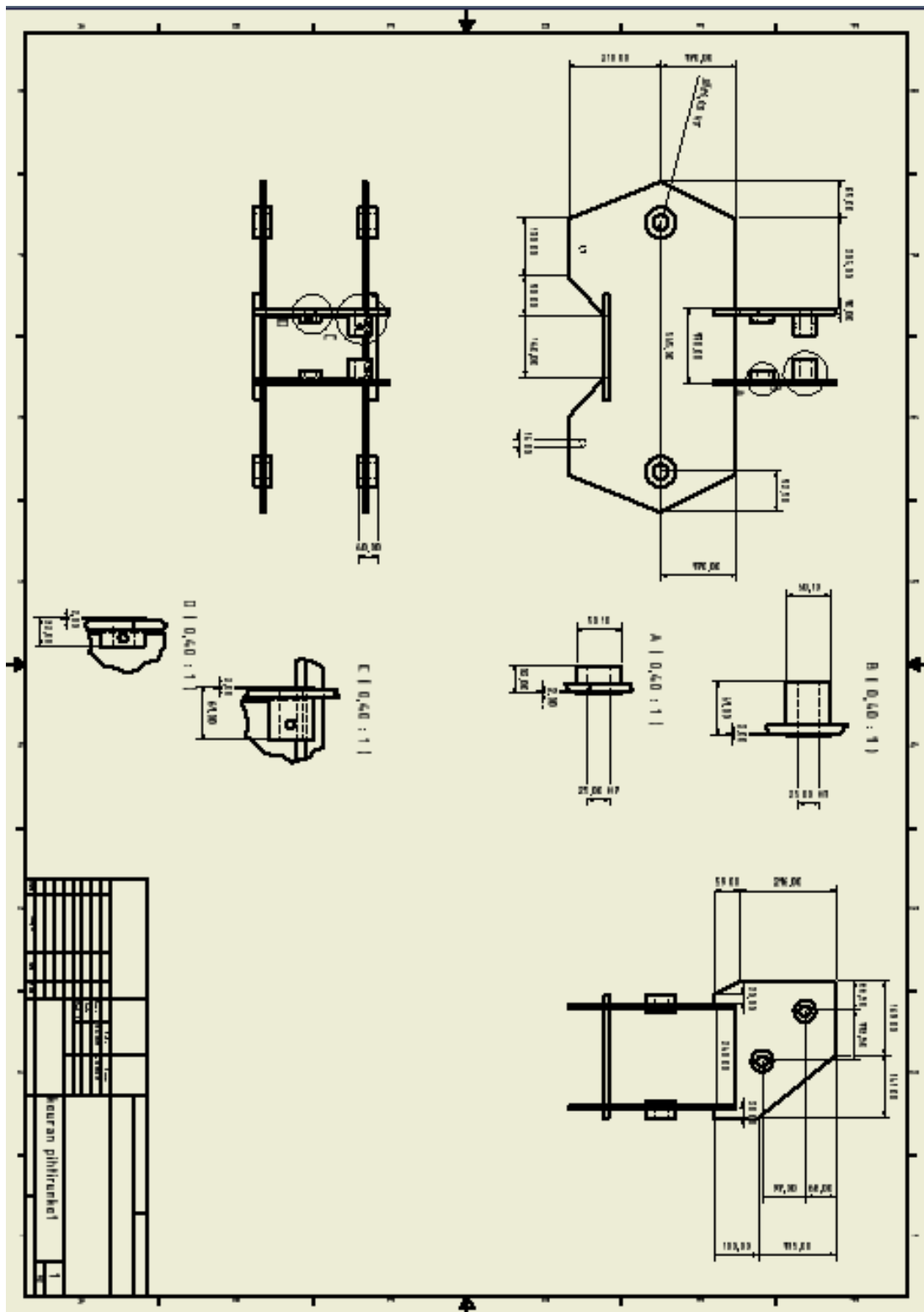
http://www.sampo-rosenlew.fi/upload/tuotteet/harvesterit/46/46_ajo.jpg

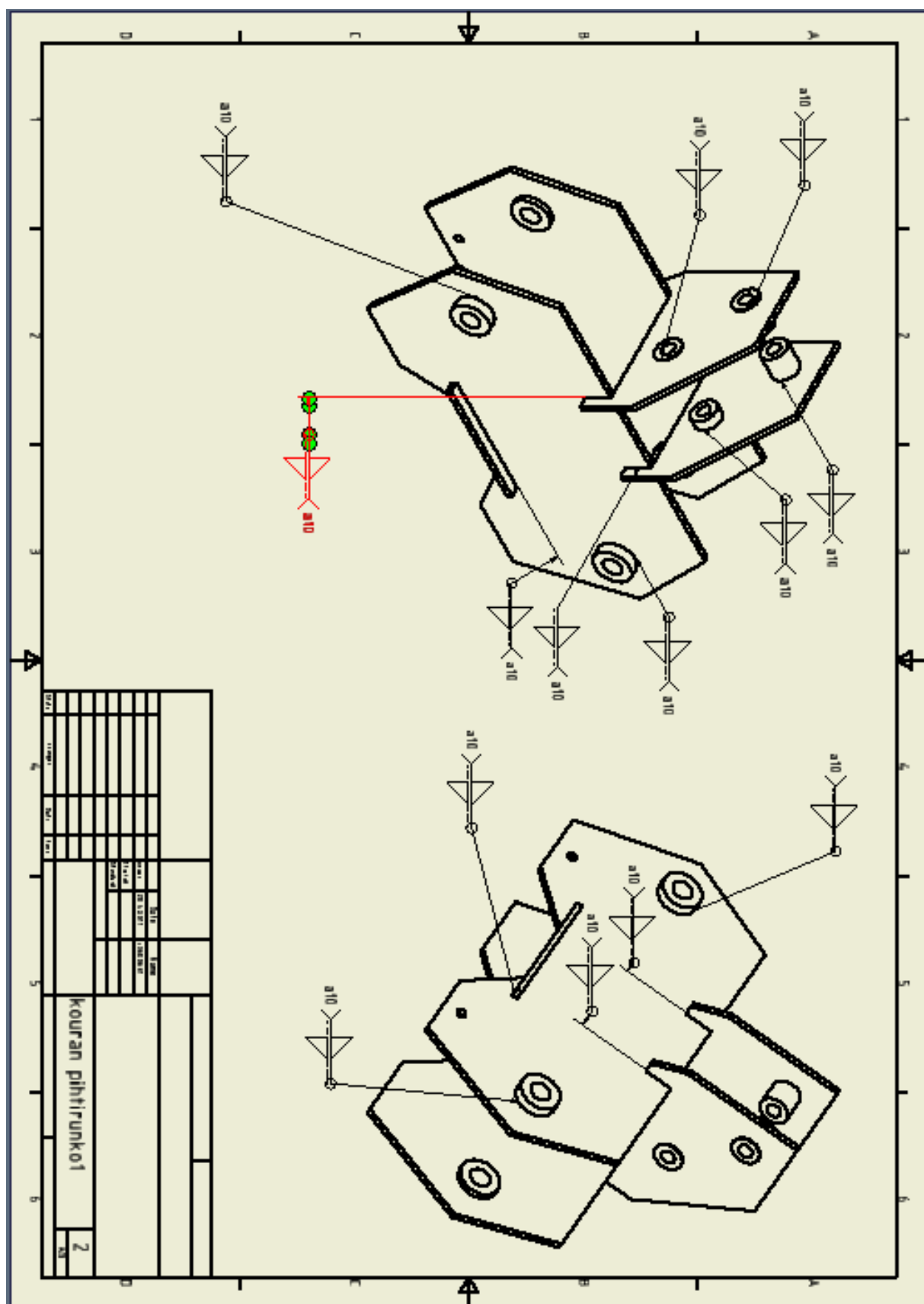
Puupolttoaineiden hinnat Suomessa €/ MWh. Ei päiväystä. [verkojulkaisu].

Vantaa: Pöyry Management Consulting Oy [viitattu: 17.2.2011].

Saatavana: <http://www.puunhinta.fi/tilastot.htm?graph=fi-all-main>

LIITE 1: ENERGIAPUUKOURAN PIHTIRUNGON VALMISTUSPIIRUSTUS





LIITE 2: ENERGIAPUUKOURAN RÄJÄYTYSKUVA

