
VALMISTUSKUSTANNUSTEN ARVIOINTI TUOTEKEHITYS- VAIHEESSA

Joonas Savolainen

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Joonas Savolainen	
Työn nimi Valmistuskustannusten arviointi tuotekehitysvaiheessa	
Päiväys	29.4.2011
Sivumäärä/Liitteet	38 + 22
Ohjaaja(t) TkT Yliopettaja Esa Hietikko	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) DigiBranch	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyö oli osa Savonia-ammattikorkeakoulun toteuttamaa DigiBranch-hanketta. DigiBranch-hanke tutkii ja kehittää valmistettavuutta ja digitaalista koneenrakennusta. Valmistuskustannusten arviointi tuotekehitysvaiheessa on yksi mahdollisuus saada kilpailuetua paikallisilla ja globaaleilla markkinoilla. Valmistuskustannusten arviointi mahdollisimman aikaisessa vaiheessa on tärkeää, koska suurin osa kustannuksista määräytyy suunnitteluvaiheessa.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää laskentamalli, joka voidaan kytkeä osaksi 3D-ohjelmistoa sekä testata sen toimivuutta. Testaus suoritettiin case-kokoonpanon avulla, jonka työhön tarjosi Junttan Oy. Laskentamalliksi valikoitui Lucas-menetelmä, jonka pohjalta rakennettiin Excel-sovellus. Testausympäristönä käytettiin Savonia-ammattikorkeakoulun käytössä olevaa konekantaa. Testauksen tuloksia verrattiin toteutuneisiin kustannuksiin ja tiedot analysoitiin.</p> <p>Lopputuloksena syntyi Excel-sovellus ja case-kokoonpanon valmistuskustannusarviointi, jossa esitetään laskennan käytännön suorittaminen ja työn tulokset. Tulokset olivat osittain lupaavia, huolimatta monista mahdollisista virhelähteistä. Laskentamallin toimivuuden testaus vaatisi sen soveltamista todellisessa toimintaympäristössä sekä kustannusparametrien jatkuvan kehittämisen tietojärjestelmiä hyväksikäyttäen.</p>	
Avainsanat tuotekehitys, valmistuskustannus	
Luottamuksellisuus julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Industrial Engineering and Management			
Author(s) Joonas Savolainen			
Title of Thesis Estimating the Cost of Manufacturing at the Product Development Stage			
Date	April 29, 2011	Pages/Appendices	38 + 22
Supervisor(s) Mr Esa Hietikko, D.Sc., Senior Lecturer			
Project/Partners DigiBranch			
<p>Abstract</p> <p>The aim was to find a calculation model that can be turned into 3D software, as well as to test its effectiveness. The thesis was a part of the DigiBranch- project carried out by Savonia University of Applied Sciences. DigiBranch-project researches and develops digital manufacturability and mechanical engineering. Estimating the cost of manufacturing the product development stage is an opportunity to gain a competitive advantage in local and global markets. Estimating the cost of manufacturing as early as possible is important because most of these costs depend on the design.</p> <p>Testing was conducted with a case product offered by Junttan Ltd. The Lucas- method was selected as a calculation model and a Excel- application was built on the basis of it. The testing environment used was the machinery of Savonia University of Applied Sciences. The test results were compared to actual costs and the data was analyzed.</p> <p>As a result there were an Excel- application and a report, which shows the calculation of the practical execution and the results of the work. Partially the results were promising despite of many possible sources of error. To test the calculation model would require a real testing environment as well as its cost parameters. It also requires continuing development of parameters using information systems.</p>			
Keywords product development, manufacturing cost			
Confidentiality Public			

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty DigiBranch-hankkeelle. Työn tavoitteena oli tutkia valmistuksen kustannusarviointimahdollisuutta tuotekehitysvaiheessa. Työn valvoi tekniikan tohtori Esa Hietikko Savonia-ammattikorkeakoulusta.

Suuret kiitokset koko koneosaston henkilökunnalle ja Junttan Oy:n T & K-johtajalle Markku Penttiselle sujuvasta yhteistyöstä. Kiitokset DigiBranch-hankkeelle, joka mahdollisti työn toteutumisen, sekä kaikille muille, jotka ovat auttaneet työn valmistamisessa.

Kuopiossa 29.04.2011

Joonas Savolainen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	8
2	TYÖN TAUSTAT JA LÄHTÖKOHTA	10
2.1	Työn lähtötilanne ja kehitystarve.....	10
2.2	Työn sidosryhmät	10
2.2.1	Savonia	10
2.2.2	DigiBranch.....	11
2.2.3	Junttan Oy.....	11
2.3	Työn rajaus.....	12
3	VALMISTUSKUSTANNUSTEN ARVIOINTI TUOTEKEHITYKSESSÄ.....	13
3.1	Valmistuskustannus.....	14
3.2	Valmistuskustannuksien osatekijät	14
3.2.1	Osat ja komponentit	15
3.2.2	Materiaalikustannukset.....	15
3.2.3	Prosessointikustannukset.....	16
3.2.4	Kokoonpano	16
3.2.5	Työ- ja laitekustannukset kokoonpanossa	17
3.2.6	Valmistuksen yleiskustannukset.....	17
3.3	DFM – Tuotteen valmistusmyönteinen suunnittelu.....	18
3.4	DFA – Kokoonpanomyönteinen suunnittelu	18
3.4.1	Kokoonpantavuuden arviointi	19
3.4.2	Lucas DFA -arviointimenetelmä.....	19
3.5	Valmistuskustannusten laskenta.....	20
3.5.1	Malli 1 – Lucas	20
3.5.2	Malli 2 – yhtäläisyyden mukaan.....	22
3.5.3	Malli 3 – materiaalikustannusosuuden mukaan	22
3.5.4	Malli 4 – regressiolaskenta	22
3.5.5	Malli 5 – kustannusten arviointi poistettavan materiaalin mukaan.....	22
3.6	Laskentamallien vertailu	23
3.7	Piirteet	23
3.8	Valmistuskustannuskäyttöliittymän suunnittelu	25
3.8.1	Vaatimusmäärittely.....	25
3.8.2	Toiminnallinen suunnittelu	25
4	LASKENTAMALLIEN VERTAILU	26
4.1	Pisteytyksen arvosteluperusteet	26
4.2	Lopulliset mallit ja pisteet.....	27
5	CASE- KOKOONPANON ARVIOINTI	28
5.1	Case-kokoonpano	28

5.1.1 Testausympäristö	28
5.1.2 Testien suorittaminen	32
5.1.3 Laskennan virhelähteet	33
6 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	34
7 LÄHTEET	37

LIITTEET

Liite 1 Laskentamallien arviointi

Liite 2 Valmistuskustannusten arviointi ja tulokset

1 JOHDANTO

Voimistuva kilpailu ja kasvavat asiakkaiden vaatimukset ohjaavat suomalaista metalliteollisuutta. Valmistavilta yrityksiltä vaaditaan nopeaa ja joustavaa toimitusta, mikä tuo haasteen tuotteen koko valmistusketjulle. On sanomattakin selvää, etteivät suomalaiset yritykset voi kilpailla kansainvälisillä markkinoilla edullisella työvoimalla tai halvoilla tuotantokustannuksilla. Täten kilpailuetua täytyy etsiä muista lähteistä.

Kustannustehokkaiden ratkaisujen on lähdettävä suunnittelijasta. Suunnittelijan tulisi tämän työ hoitaakseen tuntea saatavilla olevat valmistusmenetelmät ja niihin vaikuttavat kustannustekijät läpikotaisin. On utopiaa olettaa, että jokainen suunnittelija kykenee hallitsemaan tämän asian täydellisesti. Ongelma on todellinen varsinkin kokemattomille suunnittelijoille. Asian tärkeyttä lisää tosiasia, että suurin osa kustannuksista määräytyy jo tuotekehityksen alkuvaiheessa.

Ongelma ei suinkaan ole uusi vaan ratkaisua on haettu jo vuosikymmenten ajan. Kustannuslaskenta sinänsä ei ole ollut mahdoton tehtävä, mutta sen vaatima työmäärä on suuri. Lisäksi jokaiselle suunnitelmalle tulisi tehdä oma kustannuslaskenta.

Nykyisin monilla yrityksillä on käytössä toiminnanohjausjärjestelmä. Toiminnanohjausjärjestelmän ideana on kerätä tietoa ja tarjota mahdollisuus löytää kehityskohteita. Valmistuskustannusten arviointiin on siis nykyisin olemassa tietoa tuottavia järjestelmiä. Haaste on löytää oikeat laskennan menetelmät, jotka soveltuvat integroitaviksi suunnitteluohjelmaan. Haaste on myös tehdä laskennasta niin helppoa, että suunnittelijan ei tarvitse käyttää kustannusarviointiin kohtuuttomasti aikaa. Lisäksi laskennan tulosten tulisi vastata todellisuutta luotettavasti, jottei väärä informaatio ohjaa suunnittelijaa väärään suuntaan.

Tämä opinnäytetyö on osa Savonia-ammattikorkeakoulun toteuttamaa DigiBranch-hanketta. DigiBranch-hanke tutkii ja kehittää valmistettavuutta ja digitaalista koneenrakennusta. Työ on jatkoa DigiBranch-hankkeessa toteutetulle alihankkijaverkoston kyvykkyystudkimukselle. Tämä opinnäytetyö käsittelee valmistuskustannusten arviointia tuotekehitysvaiheessa. Työ toteutetaan tapaustutkimuksena. Case-kohteeksi valikoitui Junttan Oy:n paalutuskoneen keili, koska se oli monipuolinen ja sen valmistamiseen sovellettiin useita eri työmenetelmiä.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia mahdollisuuksia valmistuskustannusten arviointiin tuotekehitysvaiheessa. Ideaalitulanteessa malli ohjaa suunnittelua kustannus-

tehokkaampiin ratkaisuihin. Käytännössä kustannusten arviointi tuo säästöjä valmistuskustannuksiin. Tuotantoverkoston kyvykkyyden ja kustannusarvion yhdistäminen antaa tehokkaan vaikutusmahdollisuuden valmistuskustannuksiin. Onnistunut valmistuskustannusten arviointi jo tuotekehitysvaiheessa antaa yritykselle kilpailuetua kove-nevilla markkinoilla.

Opinnäytetyö toteutetaan vertailemalla olemassa olevia kustannuslaskentamalleja. Näistä laskentamalleista valitaan parhaiten suunnitteluohjelmaan integroitavissa ole-va malli. Mallin suorituskykyä arvioidaan case-kokoonpanon avulla, josta muodostuu käsitys niiden hyödynnettävyydestä. Tavoitteena on, että tämän opinnäytetyön poh-jalta suunnitteluohjelmaan voidaan integroida työkalu, joka kertoo suunnittelijalle suo-raan tuotteen valmistuksen kustannusarvion.

2 TYÖN TAUSTAT JA LÄHTÖKOHTA

2.1 Työn lähtötilanne ja kehitystarve

Nykyisin suunnittelija arvioi tuotteen valmistettavuutta kokemukseräisesti. Tietoa ker-
tyy valmistuksesta saadusta palautteesta, työyhteisöstä sekä yleisistä suunnitte-
lusäännöistä. Nykyajan trendin mukaan suunnittelu ja tuotanto eriytyvät ja alihankin-
nan määrä lisääntyy. Tämä hidastaa puolestaan informaation kulkua valmistuksen ja
suunnittelun välillä.

Osaaminen ja ketteryys ovat Pohjois-Savossa toimivien teollisuusyritysten tulevai-
suuden kilpailuetu. Informaation kulku ei saa muodostua kehityksen pullonkaulaksi.
Tämän vuoksi opinnäytetyö keskittyy kustannusinformaation esilletuomiseen jo tuote-
kehityksen alkuvaiheessa. Visiona on auttaa erityisesti nuoria suunnittelijoita, jotka
eivät voi vielä tukeutua täysin kokemukseensa. Verrataan tilannetta auton polttoai-
neen kulutusmittariin: tiedostaessaan tekojensa vaikutuksen polttoaineenkulutukseen
kuljettaja pyrkii alentamaan kulutusta.

Opinnäytetyö on osa DigiBranch-hanketta. DigiBranch-hankkeen tarkoituksena on
vastata teknologiateollisuudesta tuleviin kehitystarpeisiin. Opinnäytetyön tarkoitus on
tukea Pohjois-Savon teknologiateollisuuden tuottavuuden kehittämistä. Pohjois-
Savossa on merkittävä ja kasvava teknologiateollisuus, jonka yksi haaste on tuotta-
vuuden kehittäminen verkostossa.

2.2 Työn sidosryhmät

2.2.1 Savonia

Savonia-ammattikorkeakoulu on noin 6 300 opiskelijan koulutuspaikka, jota ylläpitää
Savonia-ammattikorkeakoulun kuntayhtymä. Kuntayhtymän jäsenkunnat ovat Iisalmi,
Kiuruvesi, Kuopio, Lapinlahti ja Varkaus. Kuntayhtymää johtaa Veli-Matti Tolppi.

Savonia-ammattikorkeakoulun visiona on olla rohkea uudistaja ja yhteistyökykyinen
tulevaisuuden osaamisen kehittäjä. Arvoja ovat asiakaskeskeisyys, asiantuntijuus ja
yhteisöllisyys. Tehtävänä on uudistaa työ-, elinkeino- ja kulttuurielämän osaamista ja
edistää vaikutusalueen kilpailukykyä ja hyvinvointia sekä koulutuksella että tutkimus-
ja kehitystyöllä. Erityisenä tehtävänä on Pohjois-Savon ja Itä-Suomen elinvoimaisuu-
den turvaaminen. (Savonia, 2011.)

2.2.2 DigiBranch

Euroopan Unionin rahoitusta Pohjois-Savossa ohjataan teemaohjelmilla. Teknologia-teollisuuden uudet suunnittelu- ja tuotantomenetelmät -ohjelman mukaan Pohjois-Savon teknologiateollisuudessa keskitytään verkostomaiseen toimintaan, teknologisen kyvykkyyden parantamiseen, osaamisen kehittämiseen ja työvoiman saatavuuden turvaamiseen sekä elinkaariliiketoiminnan kehittämiseen. DigiBranch-hanke on yksi teemaohjelmaan sisältyvistä hankkeista. (Digikone, 2011.)

Konepajojen vahvuus ja kilpailukyvyyn perusta Suomessa on joustava, nopea ja kustannustehokas pienerätuotanto. Osa konepajoista on omaksunut tämän kilpailukykyisen tuotantotavan ja sitä kehitetään jatkuvasti suorituskykyisemmäksi. Toisaalta isolla osalla pk-yrityksistä ei ole riittäviä resursseja käytettävissään tuotannonkehitystyöhön. Tuotantoketjun saumaton toiminta liittyy vahvasti kilpailukykyyn. Ammattikorkeakoulujen tutkimus- ja kehitystoiminnan merkitys tuotannonkehityksessä tulee korostumaan, mikä edellyttää nopeaa yhteistyö- ja toimintamallien kehittämistä ja ammattikorkeakoulujen roolin vakiinnuttamista osaksi toimitusketjuja. (Digikone, 2011.)

DigiBranch-tutkimusyksikkö kehittää digitaalista tuotantoa. Tutkimusyksikkö kehittää soveltavaa tutkimusta ja toteuttaa siihen liittyvää koulutusta. Yksikkö hyödyntää toiminnassaan yritysmaailmasta tulevia tutkimusaiheita ja innovaatiotarpeita. Tutkimustyötä toteuttavat tutkimusinsinöörit, opettajat, opinnäytetöiden tekijät sekä yritysten henkilökunta. Yksi sovellettava ala on valmistettavuuden ja tuottavuuden kehittäminen toimitusverkostossa, mihin tämä opinnäytetyö keskittyy. (Digikone, 2011.)

2.2.3 Junttan Oy

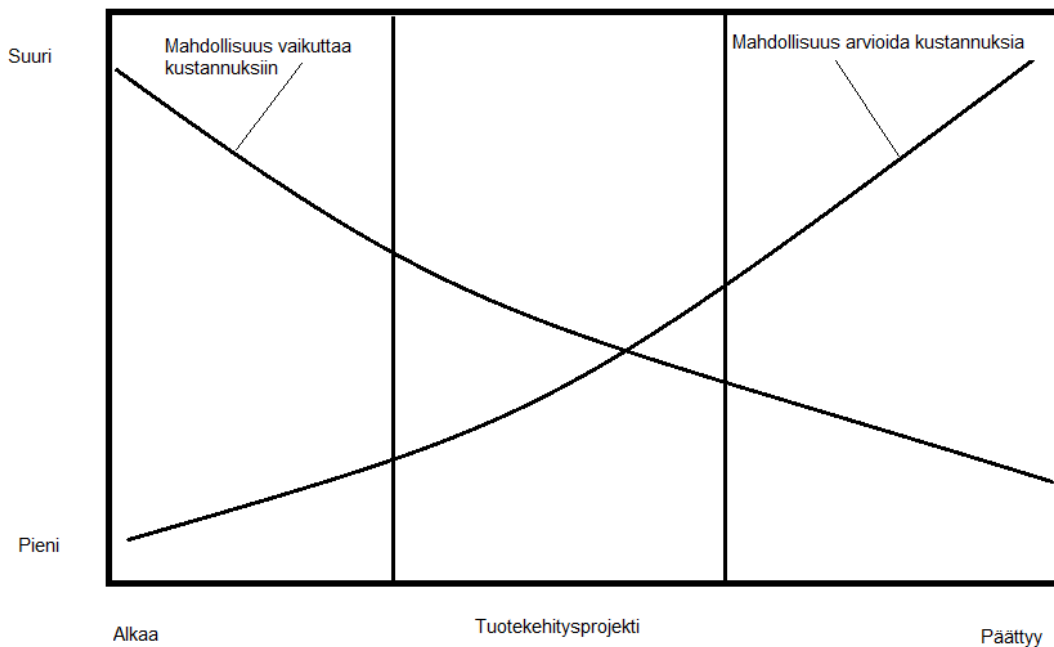
Junttan Oy suunnittelee, valmistaa, markkinoi ja huoltaa hydraulisia paalutuskoneita. Näiden lisäksi yritys huolehtii asiakkaistaan varaosapalvelulla, tuotetuella ja koulutuksella. Junttan Oy valmistaa myös porapaalukoneita, syvästabilointikoneita, hydraulisia järkäleitä, kairoja ja voimayksiköitä kaikkiaan 45 maahan. Junttan Oy:n arvoja ovat luotettavuus, monipuolisuus, jatkuva kehitystyö ja kumppanuus. Junttan Oy tarjoaa tähän opinnäytetyöhön asiantuntemusta laskentamallien kehitykseen. Lisäksi Junttan Oy tarjoaa konkreettisen case-kokoonpanon. (Junttan, 2011.)

2.3 Työn rajaus

Opinnäytetyö rajataan kustannuslaskentamallien vertailuun ja testaukseen. Kirjallisuudessa esitetyt kustannuslaskentamallit arvioidaan ja vain integroitavat mallit valitaan. Testaus suoritetaan case-kokoonpanon avulla. Käytännössä case-kokoonpanon osista muodostetaan valmistuskustannusarvioita. Kustannusarviointi rajataan valittuihin piirteisiin: leikkaus, särmäys, hitsaus ja koneistus. Kokoonpano ja sen merkitys käsitellään tässä työssä vain teoriassa. Valmistuskustannusarvioista selviää mallien tarkkuus ja käyttökelpoisuus käytännössä. Itse sovelluksen valmistaminen ei kuulu tämän työn piiriin, vaan tässä opinnäytetyössä suunnitellaan sovelluksen yleinen toimintaperiaate.

3 VALMISTUSKUSTANNUSTEN ARVIOINTI TUOTEKEHITYKSESSÄ

Tuotekehityksen kriittinen vaihe on valmistuskustannusten arviointi suunnittelussa. Suurin osa valmistuskustannuksista määräytyy suunnittelijan työn perusteella (kuvio 1). Perinteisesti on turvaututtu kokemukseen ja valmistusosastolta saatuun palautteeseen valmistettavuudesta. Nykyisin tuotesuunnittelua tehdään 3D-sovelluksilla ja valmistus on usein alihankkijan hoidettavana. Nopeatempoinen suunnittelu ja kasvavat vaatimukset luovat paineita suunnittelijoille. Valmistuskustannusten tietäminen helpottaisi suunnittelijaa tehtävässään.



KUVIO 1. Mahdollisuus arvioida ja vaikuttaa kustannuksiin tuotekehityksessä.

Ainoa tarkka tapa valmistuskustannusten arviointiin on eri valmistusvaihtoehtojen tapauksittainen laskenta käyttäen menetelmäkohtaisia kustannustekijöitä. Usein vaikeutena on se, että laskentamenetelmät on tehty laskentatoimen käyttöön, joten tulokset yksittäisissä tapauksissa eivät aina ole vertailukelpoisia. Lisäksi valmistuskustannusarvioita pitäisi tyydyttävällä tarkkuudella voida tehdä jo tuotekehityksen aikaisessa vaiheessa. Tätä tarkoitusta varten ei ole olemassa käyttökelpoisia menetelmiä ja taulukoita. (Åhlström 1986, 22.)

3.1 Valmistuskustannus

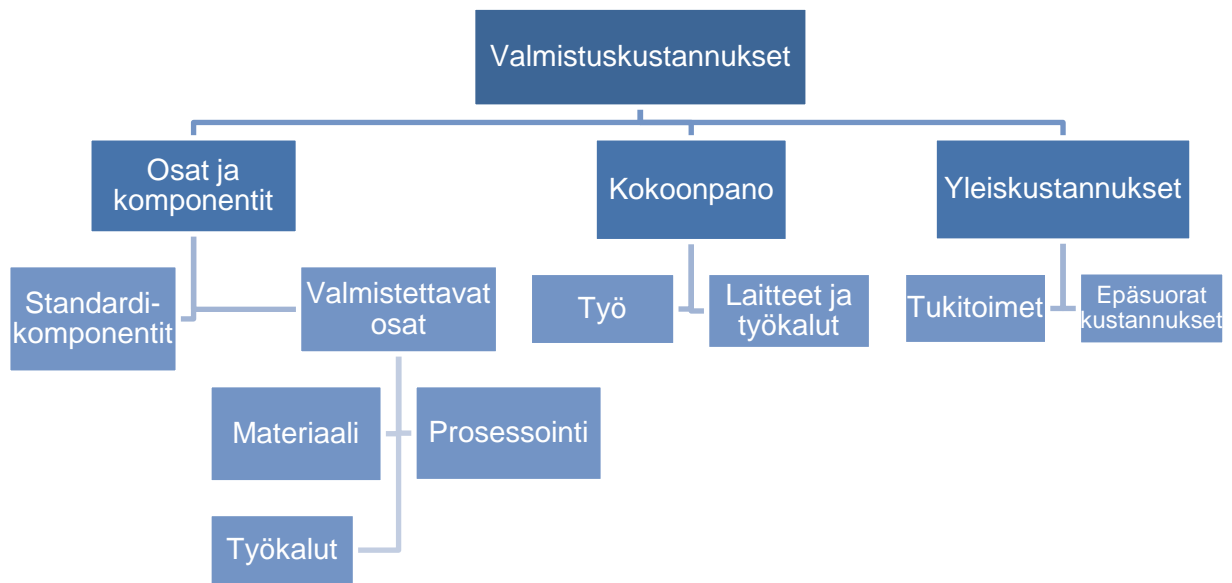
Tuotteen valmistuskustannukset muodostuvat hyvin monesta tekijästä (kuvio 2). Kokonaisuudessaan valmistuskustannuksiin lasketaan kaikki panokset, joilla raaka-aineesta jalostetaan valmis tuote. Valmistuskustannuksia voidaan jakaa pienempiin osiin niiden käsittelyn helpottamiseksi. Opinnäytetyössä keskitytään osien valmistuskustannuksiin.

Valmistusjärjestelmään tuodaan panoksia. Panoksia ovat materiaalit, työ, osto-osat, laitteet, tieto, työkalut, energia, tarvikkeet ja palvelut. Valmistusjärjestelmä tuottaa edellä mainituista panoksista valmiita tuotteita ja hukkaa. Valmistuskustannukset muodostuvat kaikkien panosten summasta. Kirjanpidollisesti voidaan asiaa monimutkaistaa useammalla kysymyksellä. Mitkä ovat valmistusjärjestelmän rajat? Miten kulut jaetaan ajan suhteen? Miten kulut kohdennetaan useamman tuotantolinjan kesken? (Ulrich & Eppinger 1995, 183–184.)

3.2 Valmistuskustannuksien osatekijät

70–80 % tuotteen elinkaaren kustannuksista muodostuu suunnitteluvaiheessa. Kokenut suunnittelija arvioi kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä melko luotettavasti, mutta työ hankaloituu tehtäväkentän ollessa laaja. Vaikeuksia voivat tuottaa esimerkiksi kokoonpanon asettamat vaatimukset tai hitsatun rakenteen koneistukseen liittyviä vaatimukset (toleranssit, kiinnitykset yms.). Kokemus voi olla myös este kehitykselle. Vanhoista totutuista menetelmistä ei haluta luopua ja uudet valmistusmenetelmät jäävät vaille huomiota.

Valmistusmyönteisyyteen tulisi kiinnittää huomiota erityisesti konseptisuunnitteluvaiheessa, koska tuotteen osien valmistusmenetelmät päätetään tuotekehityksen alkuvaiheessa. Tällöin suunnittelijan tulisi tuntea valmistusmenetelmät ja pystyä arvioimaan eri vaihtoehtojen valmistettavuutta. Suunnittelun ja valmistuksen eriyttäminen heikentää pitkällä aikavälillä suunnittelijan valmistusteknistä osaamista. (Hietikko 2008, 151.)



KUVIO 2. Valmistuskustannusten jakautuminen.

Tuotantopanokset sisältävät materiaalit, ostetut komponentit, työpanoksen, energian ja laitteet. Valmistuskustannukset ovat kaikkien tuotantopanosten ja tuotetun jätteen hävittämisestä syntyvien kustannusten yhteenlaskettu summa. (Ulrich & Eppinger 1995, 183.)

3.2.1 Osat ja komponentit

Osat ja komponentit jakaantuvat kahteen osaan: standardikomponentit ja valmistettavat osat. Opinnäytetyössä keskitytään valmistettaviin osiin, sillä standardikomponenttien hintaan ei suunnittelussa voida vaikuttaa. Valmistettaviin osiin liittyy materiaali-, prosessointi- ja työkalukulut. Suunnittelijan tehtävä on tuotetta suunniteltaessaan ottaa huomioon tuotteelle sopiva materiaali ja rakenne. Tämä vaihe on kriittinen, koska jo tässä vaiheessa suurin osa tuotteen kustannuksista määräytyy tehtyjen valintojen mukaan. (Ulrich & Eppinger 1995, 184–188.)

3.2.2 Materiaalikustannukset

Yleisesti tiedetään, että suomalaisessa konepajassa materiaalin osuus tuotteen lopullisesta hinnasta on keskimäärin 50 %. Kustannuksiin vaikuttavat materiaalin laatu,

jalostusaste ja markkinahinta. Lisäksi useissa yrityksissä materiaalikustannuksiin lasketaan kuuluvaksi myös materiaalisia. Materiaalisia sisältää hankinta-, vastaanotto-, tarkastus-, kuljetus- ja varastointitoiminnoista sekä koroista, poistoista yms. aiheutuvat menot. (Valtanen 1986, 5.)

Materiaalikustannukset määräytyvät painosta tai tilavuudesta sekä hintakertoimen tulona. Materiaalikustannukset ovat osa tuotantokustannuksia. Tuotantokustannukset sisältävät sekä muuttuvia että kiinteitä kustannuksia. Kuitenkin suunnittelussa tehtävien päätösten kannalta muuttuvat kustannukset ovat oleellisempia, koska näihin voidaan suoraan vaikuttaa suunnittelussa tehtävillä päätöksillä. (Pahl & Beitz 1990, 484–486.)

3.2.3 Prosessointikustannukset

Prosessointikustannukset ovat riippuvaisia valitusta työstömenetelmästä ja siihen liittyvistä kustannuksista. Eräkoolla on merkittävä vaikutus valmistuskustannuksiin. Suuri erä koko jakaa asetuksesta ja muista pakollisista toiminnoista johtuvat kustannukset.

Määritettäessä perusprosessointikustannuksia yksinkertaiselle tuotteelle on välttämättä ymmärtää tuotantotekijät, joista prosessointi on riippuvainen. Näitä ovat laitekustannukset sisältäen asennuksen, käyttökustannukset (työvoima, johto ja yleiskustannukset), prosessointiaika, työkalukustannukset ja osan kysyntä. (Swift & Booker 2003, 282–283.)

3.2.4 Kokoonpano

Kokoonpanotyö on kappaleiden käsittelyä ja siirtämistä paikasta toiseen. Lisäksi siihen luetaan varastointi, liittäminen, asentaminen, sovittaminen, testaus ja tarkastus. Ainoastaan asentaminen tuo lisäarvoa, muu kokoonpano aiheuttaa aikaviivettä ja nostaa tuotteen kustannuksia. Ilman edellisiä toimintoja ei kokoonpano kuitenkaan ole mahdollista. Tämän vuoksi kokoonpanon osuus pyritään pitämään mahdollisimman vähäisenä, jotta kustannukset pysyvät kurissa. Kokoonpanon suuri osuus kustannuksista ei aina johdu loppukokoonpanon toiminnan tehottomuudesta. Kustannukset saattavat johtua aikaisemmista vaiheista, mikäli kokoonpantavuutta ei ole otettu huomioon. Kokoonpano sitoo lisäksi pääomaa ja aiheuttaa kustannuksia keskeneräisenä tuotantona ja varastona. (Lapinleimu, Kauppinen & Torvinen 1997, 111–112.)

Kokoonpanon keskeisin lähtökohta on osien lukumäärä. Mitä vähemmän osia tuotteessa on, sitä parempi. Jokainen osa lisää kustannuksia eksponentiaalisesti. Tämän vuoksi tuotteen jokaisen osan tarpeellisuutta tulee pohtia huolellisesti. Osien lukumääräinen vähentäminen johtaa todennäköisesti monimutkaisiin rakenteisiin. Tämä ei välttämättä muodostu kuitenkaan ongelmaksi nykyaikaisten CNC-koneiden ansiosta. (Hietikko 2008, 155.)

3.2.5 Työ- ja laitekustannukset kokoonpanossa

Useammasta osasta koostuva tuote vaatii kokoonpanoa. Yleisesti kokoonpano on ainakin osittain manuaalista, vaikka automaation oletetaan kasvattavan osuutta valmistuksen lisäksi myös kokoonpanossa. Kokoonpanon työkustannuksia voidaan arvioida laskemalla yhteen kokoonpanon eri operaatioiden vaatima aika ja kertomalla se tuntihinnalla. Kokoonpanotyön hinta vaihtelee suuresti maailmanlaajuisesti. (Ulrich & Eppinger 1995, 189.)

Kokoonpanoa varten osat tulisi suunnitella siten, että ne ovat helppoja käsitellä ja asentaa. Osa on helppo käsitellä manuaalisesti, jos sitä pystyy käsittelemään ilman työkaluja. Osan tulisi olla symmetrinen ja kooltaan sellainen ettei tartuntatyökaluja tai optista suurennusta tarvita. (Poli 2001, 255–256.)

Kokoonpanon työkalut ovat pääsääntöisesti käsityökaluja. Näin ollen niiden merkitys valmistuskustannuksia ajatellen on vähäinen. Kokoonpanijat käyttävät työssään tavallisesti yksinkertaisia ja halpoja laitteita. Monipuolisten ja kalliiden työkalujen käyttö on harvinaista. (Lapinleimu, Kauppinen & Torvinen 1997, 116–117.)

3.2.6 Valmistuksen yleiskustannukset

Valmistuksen yleiskustannukset pitävät sisällään erilaisia valmistusta tukevia toimintoja sekä epäsuoria kustannuksia. Näitä ovat tuotantojohto, työnjohto, tuotantosuunnittelu, tuotesuunnittelu, tuotannon energia, kunnossapito ja tuotantovälineiden hankinta ja ylläpito.

Valmistuksen yleiskustannukset ovat kiinteä kuluerä ja niiden suuruudet vaihtelevat yrityskohtaisesti. Näin ollen valmistuksen yleiskustannusten osuus kokonaisvalmistuskustannuksista on riippuvainen käyttöasteesta. (Jadelcons 2011.)

3.3 DFM – Tuotteen valmistusmyönteinen suunnittelu

Tuotteen valmistusmyönteinen suunnittelu DFM (Design For Manufacturing) keskittyy huomioimaan valmistuksen asettamat vaatimukset tuotteelle. Valmistuskustannukset ovat päätekijä tuotteen menestymiselle. Yksinkertaisesti taloudellinen menestyminen on katteen ja myyntimäärän yhteistulos. Taloudellisesti menestyvä tuote varmistetaan valmistamalla laatua, vaikka valmistuskustannuksia minimoidaan.

DFM aloitetaan konseptisuunnittelun yhteydessä. Tällöin määritellään tuotteen toiminnot ja ominaisuudet. Hinta on yleisesti yksi tärkeä kriteeri, kun päätetään asioista. Kustannusten arviointi tässä vaiheessa on tärkeää, sillä se vaikuttaa tulevan tuotteen toimintoihin ja ominaisuuksiin.

DFM:n viisi vaihetta:

1. Arvioi valmistuskustannuksia
2. Vähennä osiin kohdistuvia kuluja
3. Vähennä kokoonpanon kuluja
4. Vähennä tukitoimintojen kuluja
5. Harkitse DFM päätöksien muita vaikutuksia.

(Ulrich & Eppinger 1995, 181–183.)

3.4 DFA – Kokoonpanomyönteinen suunnittelu

DFA tarkoittaa kokoonpantavuuden huomioimista tuotesuunnittelussa. Päätaavoite on suunnitella tuote mahdollisimman vähillä osilla. Toinen tavoite on minimoida osien yhdistämiseen kuluva aika. DFA analysointiin kuuluu osien syöttämisen ja liittämisen vaatimukset, kokoonpanon yleiset vaatimukset sekä yksittäisten osien asettamat vaatimukset kokoonpanolle. Kokoonpantavuuden arviointiin vaikuttaa lisäksi se, että onko kokoonpano manuaalista, mekanisoitua vai automatisoitua. (Hietikko 2008, 154–155.)

Kokoonpano voi aiheuttaa suuren osan valmistuksen työkustannuksista. Kokoonpantavuuden arviointi on suoritettava tuotekehityksen aikaisessa vaiheessa. Tällöin voidaan tehokkaimmin vaikuttaa kokoonpanossa syntyviin kustannuksiin. DFA mittaa tuotteen kokonaiskokoonpanon tehokkuutta sekä käsittelyn ja liittämisen helppoutta. (Ullman 2003, 298–300.)

3.4.1 Kokoonpantavuuden arviointi

Kokoonpantavuuden arviointia käsitellään teoriassa, koska sen huomiointi on tärkeää valmistettavuuden lisäksi. Tässä opinnäytetyössä kokoonpantavuus on rajattu työn ulkopuolelle, joten kokoonpanon arviointiin tai sen menetelmiin ei syvennyttä tarkemmin. On kuitenkin todettava, että kokoonpano muodostaa huomattavan osan kokonaisvalmistuskustannuksista, joten kokoonpantavuutta ei tule sivuuttaa tuotesuunnittelussa tai kustannuslaskennassa. Luvussa 3.4.2 esitellään yksi kokoonpantavuuden arviointimenetelmä.

Kokoonpantavuutta parantavien menetelmien kehittäminen käynnistyi 1970-luvun lopulla. Tunnetuimpia kokoonpanon arviointimenetelmiä ovat Boothroyd-Dewhurst Design for Manufacture and Assembly (USA), Lucas Design for Assembly (UK) ja Hitachi Assembly Evaluation Method (Japani), joita kaikkia käytetään laajalti teollisuudessa. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 155.)

Arviointimenetelmät analysoivat kokoonpanotyön kulut ja käyttävät omaa tietokantaa antaakseen peruslinjaukset ja numeraaliset arviot. Arvioiden perusteella voidaan parantaa tuotesuunnittelun kykyä huomioida kokoonpanotyö. Kaikki menetelmät arvioivat kokoonpantavuutta omalla laskentamenetelmällään. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 155–156.)

3.4.2 Lucas DFA -arviointimenetelmä

Lucas *Design for Assembly* muodostuu toiminnallisesta analyysistä, käsittely- tai syöttöanalyysistä sekä sovitusanalyysistä. Lucas DFA sisältää potentiaalisten kokoonpanoon vaikuttavien tekijöiden määräämisen ja yhteenvedon. Lisäksi menetelmä sisältää kappaleenkäsittelyn suunnittelun. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 157–158.)

Lucas-menetelmä jaetaan kuuteen työvaiheeseen: vaatimuslistaan, suunnitteluun, toiminnalliseen analyysiin, käsiteltävyyteen ja syöttöanalyysiin sekä osien sovitusanalyysiin. Varsinaisia Lucas-analyyseja ovat toiminnallisuus, käsiteltävyys ja syöttö sekä sovitus. (Chan & Salustri 2005.)

Toiminnallisuusanalyysin avulla osat jaetaan välttämättömiin (A-osat) ja eivälttämättömiin osiin (B-osat). Suunnittelussa A-osien tavoitemäärä on 60 %. Tuloksena saatava suunnittelutehokkuus saadaan laskettua seuraavasti:

$$E = \frac{A}{A+B} \times 100 \quad (3.1)$$

E = suunnittelutehokkuus

A = välttämättömät osat

B = ei-välttämättömät osat.

Osien käsiteltävyys- ja syöttöanalyysi tehdään erikseen manuaali- ja automaattikokoonpanolle. Analyysi vertaa kokoonpanoon kuuluvia osia tietokantaan, minkä avulla saadaan selvitettyä osan käsittelyindeksi. Koko tuotteen käsittelyindeksi saadaan laskemalla yhteen kaikkien osien käsittelyindeksit. Osien sovitusanalyysi analysoidaan kuten osien käsiteltävyys ja syöttö. Osien liitettävyys analysoidaan tietokannan pohjalta ja tuloksena saadaan osan liitettävyyden indeksi ja liitettävyyssuhde. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 158–159.)

3.5 Valmistuskustannusten laskenta

Tietyt kustannukset ovat riippuvaisia tilauksen määrästä, toiminta-asteesta tai valmistuserän suuruudesta. Niinpä suuremman valmistusmäärän myötä materiaalikustannukset, valmistuspalkkakustannukset, apu- ja kulutusainekustannukset nousevat. Näitä kuluja kutsutaan muuttuviksi kustannuksiksi. Kiinteitä kustannuksia ovat sellaiset, jotka tiettyinä aikavälinä pysyvät entisellään. Ne aiheutuvat yleensä yrityksen ylläpidosta, esimerkiksi työnjohtajien palkoista, työtilojen vuokrista, pääoman koroista. (Pahl & Beitz 1990, 484.)

3.5.1 Malli 1 – Lucas

Tämä malli on rakennettu ottaen huomioon materiaalin tilavuus ja prosessointi. Prosessoinnin kustannukset perustuvat kertoimiin, jotka vertaavat suunniteltua kappaletta ideaalimalliin.

Peruskaava:

$$M_i = VC_{mt} + R_c P_c \quad (3.2)$$

jossa

M_i = valmistuskustannukset

V = kappaleen tilavuus

C_{mt} =materiaalikustannus (tilavuusyksikkö huomioiden)

R_c =suhteellinen kustannuskerroin

P_c =perusprosessointikustannukset.

Mikäli prosessoiteja on enemmän kuin yksi kappale, saa kaava muodon:

$$M_j = VC_{mt} + R_{c_1} P_{c_1} + R_{c_2} P_{c_2} \dots + R_{c_n} P_{c_n} \quad (3.3)$$

Perusprosessointikustannukset (P_c)

Jotta voidaan esittää ideaalikappaleen perusprosessointikustannukset tietyssä prosessissa, on välttämätöntä tietää, mistä tekijöistä kustannukset muodostuvat. Näitä kustannuksia ovat

- laitekustannukset sisältäen asennuksineen
- käyntikustannukset (työ, vuorojen lkm, työnjohto, yleiskulut jne.)
- prosessointiajat
- työkalukustannukset
- tuotteen kysyntä (eräkkoko).

Saadaan kaava:

$$P_c = \alpha T + \frac{\beta}{N} \quad (3.4)$$

jossa

α = käynnistys- ja prosessointikustannukset. Tämä sisältää tehtaasta, työvoimasta, johdosta ja yleiskustannuksista kertyvät kulut sekuntia kohti

β = prosessikohtaiset työkalukustannukset ideaalikappaleelle

T = prosessointiaika sekunneissa. (prosessoitessa ideaalikappaletta)

N = tuotantomäärä vuodessa.

Suhteellinen kustannuskerroin (R_c)

Tämä kerroin määrittelee kuinka paljon kalliimpi valmistettava suunniteltu komponentti on verrattuna ideaalimalliin:

$$R_c = C_{mp} C_c C_s C_{ft} \quad (3.5)$$

jossa

C_{mp} = materiaalin soveltuvuus prosessiin

C_c = muodon monimutkaisuus

C_s = minimi poikkipintakerroin

C_{ft} = pinnanlaatu ja toleranssi.

(Swift & Booker 2003, 250–273.)

3.5.2 Malli 2 – yhtäläisyyden mukaan

Tämä malli soveltuu laskentaan, mikäli tuotesarjassa on geometrisesti yhtäläisiä tai puoliyhtäläisiä rakenneosia. Malli soveltuu myös käyttöön, vaikka tuotteessa on vain muunnelma jo tunnetuista rakenneosista. Tuotantokustannusten suuruus saadaan indeksikappaleesta porraskertoimen avulla. Porraskerroin on riippuvainen valmistusmenetelmästä ja verratun kappaleen koosta. (Pahl, Beitz, Feldhusen & Grote 2007, 547–557.)

3.5.3 Malli 3 – materiaalikustannusosuuden mukaan

Jos tietyllä sovellusalueella on tunnettu aineskustannusten AK suhde m tuotantokustannuksiin TK ja se on likimain vakio, voidaan tiedossa olevien materiaalikustannusten perusteella arvioida tuotantokustannukset. Ne ovat tällöin $TK = AK/m$. Tämä menetelmä ei tosin päde silloin, kun rakennekoko muuttuu suuresti. (Pahl & Beitz 1990, 494.)

3.5.4 Malli 4 – regressiolaskenta

Tilastollisella laskennalla selvitetään kustannusten tai hintojen riippuvuus erilaisista suureista, kuten tehosta, painosta, läpimitasta, akselikorkeudesta. Regressiolaskennalla etsitään riippuvuutta, joka regressiokertoimien ja eksponenttien avulla määrää regressioyhtälön. Sillä taas voidaan tietyllä hajonnalla laskea kustannukset. Yhtälön määrittämiseen tarvittava työmäärä voi olla huomattavan suurta. Regressioyhtälö pitäisi rakentaa siten, että muuttuvat suureet, kuten tuntimäärät ovat käytäntöön soveltamisen takia omina tekijöinä tai sijoitettuna yhtälöön suhteellisten kustannusten muodossa. (Pahl & Beitz 1990, 494–495.)

3.5.5 Malli 5 – kustannusten arviointi poistettavan materiaalin mukaan

Ajatuksena on määrittää poistettavan materiaalin yksikköhinta. Hintaan vaikuttavat menetelmä, toleranssi, sarjakoko jne. Mikäli poistettavan materiaalin yksikköhinta voidaan kohtuullisen tarkasti määrittää, voidaan sitä hyödyntää helposti sovellusym-

päristössä. Laskentakaava tässä tapauksessa on: Valmistuskustannus = Aihionhinta (tilavuus x materiaalin hinta) – poistettavan materiaalin hinta (yksikköhinta x tuotteen tilavuus). Laskentamallille ei löytynyt varsinaista teoreettista pohjaa.

3.6 Laskentamallien vertailu

Laskentamalleja vertaillaan pisteytystaulukolla. Pisteytystaulukkoon listataan ne vaatimukset, joita laskentamalleille asetetaan. Lisäksi määritellään pisteytys sekä perusteet pisteytykselle. Jokainen malli arvioidaan piirteittäin. Laskentamallien arviointi suoritetaan yhdessä asiantuntijoiden kanssa. Tarvittaessa pisteytystä painotetaan, jotta tärkeät ominaisuudet saavat suuremman merkityksen.

Laskentamallien vertailun vaatimukset asetetaan tarpeiden mukaan. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan laskentamallin soveltuvuutta osien valmistuskustannusten arviointiin sekä soveltuvuutta suunnittelijan työkaluksi. Tällöin laskentamallille on asetettava vaatimuksia tarkkuuden, integroitavuuden ja huomioon on otettava käytön helppous. Lisäksi on arvioitava laskentamallin kyky huomioida eri työmenetelmiä, toimintaympäristöjä ja käyttöönoton vaatima työmäärä.

Jokainen laskentamalli on arvioitava piirteittäin, koska jokainen piirre on omalaatuinen. Pisteytyksen perusteet tulee pitää kuitenkin aina samana, vaikka arviointi tapahtuukin tietyn piirteen näkökulmasta. Näin lopputuloksena on kokonaisvaltaisesti sopivin lopputulos.

3.7 Piirteet

Työhön valitut piirteet ovat leikkaus, särmäys, hitsaus ja koneistus. Piirteiden valintaan vaikuttivat niiden yleisyys. Nämä neljä piirrettä kattavat suurimman osan konepajatoiminnasta. Tässä työssä ei huomioida koneiden energia- ja työkalukustannuksia, sillä ne vaihtelevat suuresti yritys- ja konekohtaisesti.

Plasmaleikkaus

Plasmaleikkauksen kustannukset jakautuvat työ-, kone- ja ainekustannuksiin. Työkustannukset ovat leikkauskonetta operoivan henkilön palkkakustannukset sivukuluneen ja yleiskustannukset. Konekustannukset muodostuvat investoinnista ja ylläpito-kustannuksista. Osan valmistuskustannukset on sidottu aikaan. Käytetty aika on riippuvainen leikkausnopeudesta. Leikkausnopeus muodostuu pääsääntöisesti leikkaus-

pituudesta, leikattavasta materiaalista ja ainevahvuudesta. Ainekustannukset ovat riippuvaisia leikattavasta materiaalista, joka määrää kaasukustannuksen. Leikkausaika puolestaan määrittää kaasun kulutuksen.

Särmäys

Särmäyskustannukset muodostuvat kone- ja työkustannuksista. Konekustannukset sisältävät investoinnin ja ylläpitokulut. Työkulut sisältävät työntekijän palkan ja sivukulut. Itse työ ei vaadi lisääaineita tai muuta prosessissa kuluva ainetta. Särmäyskustannukset ovat riippuvaisia ajasta. Särmäysaikaan vaikuttaa levyn koko, särmien lukumäärä, sarjakoko sekä asetus ja ohjelmointi.

Hitsaus

Hitsauskustannukset muodostuvat useista osatekijöistä. Yleisesti hitsauskustannukset muodostuvat kone-, työ- ja ainekustannuksista. Konekustannukset muodostuvat hankintahinnasta ja ylläpidosta. Työkustannukset koostuvat esivalmistelusta ja hitsaustyöstä. Ainekustannukset pitävät sisällään kulutetun lisäaineen ja kaasun.

Kokonaiskustannukset muodostuvat koneen tuntihinnasta, työtunninhinnasta, sekä kaasun ja lisäaineen ostohinnasta. Tarvittavia suureita laskentaan ovat railon ominaispinta-ala, joka määrää hitsiainemäärän. Lisäksi tarvitaan kaariaika, jotta voidaan määrittää kulutettu suojakaasu. Paloaikasuhteen avulla voidaan määrittää hitsausaika, jonka perusteella määritetään työ- ja konekustannukset työlle.

Lastuava työstö

Lastuavan työstön kustannukset muodostuvat kone-, työ- ja työkalukustannuksista. Konekustannukset muodostuvat investoinnista ja ylläpidosta. Työkustannukset ovat operaattorin palkka- ja muut yleiskustannukset. Lastuava työstö perustuu materiaalin muokkaamiseen eri menetelmin. Yleisempiä menetelmiä ovat sorvaus, jyrsintä ja poraus. Muokkaamista varten tarvitaan työkaluja, jotka ovat prosessoinnin kuluvia osia. Työkalukustannukset vaihtelevat suuresti työstettävän materiaalin ja valitun työkalumateriaalin mukaan. Tässä työssä ei huomioida työkalukustannuksia, sillä ne ovat aina yrityskohtaisia.

Työ- ja konekustannukset ovat riippuvaisia ajasta. Nopeuteen vaikuttavat lastuttava materiaali, työmenetelmä (sorvaus, jyrsintä, poraus jne.), työvaihe (rouhinta ja vii-

meistely), poistettavan materiaalin määrä sekä koneen kyky. Tekijöiden paljous johtaa siihen, että tarkat kustannukset täytyy määrittää yritys- ja konekohtaisesti.

3.8 Valmistuskustannuskäyttöliittymän suunnittelu

Sovelluksen suunnittelu voidaan karkeasti jakaa kolmeen päävaiheeseen: käyttöliittymän tekemiseen, toteutukseen ja testaukseen. Ensimmäinen vaihe pitää sisällään vaatimusmäärittelyn, toiminnallisen suunnittelun ja visuaalisen suunnittelun. Toteutusvaihe sisältää käyttöliittymän toteutuksen, järjestelmän testauksen, käsikirjojen toteutuksen ja käytettävyydestien valmistelun. Testausvaihe pitää sisällään käytettävyydestestauksen, käyttöönoton ja seurannan. (Sinkkonen, Nuutila & Törmä 2009, 38–39.)

Tässä työssä ei varsinaisesti suunnitella käyttöliittymää tai sovellusta, mutta niiden vaatimukset huomioidaan laskentamallien vertailussa. Lisäksi esitetään ohjelmiston yleinen toimintaperiaate. Tarkoituksena on, että mallia voidaan jatkossa käyttää pohjana mahdolliselle sovellussuunnittelulle.

3.8.1 Vaatimusmäärittely

Vaatimusmäärittely sisältää käyttäjätutkimuksen, tutkimuksen analysoinnin ja käyttäjävaatimukset. Vaiheen tarkoituksena on saada selville ne vaatimukset, jotka sovellukselle asetetaan sovellussuunnittelussa. Vaatimuksien lähteenä käytetään käyttäjiä, jotta vaatimukset ovat todenmukaisia. (Sinkkonen ym. 2009, 38–39.)

3.8.2 Toiminnallinen suunnittelu

Toiminnallinen suunnittelu sisältää toimintatavan suunnittelun, rakenteen suunnittelun, käytettävien tietojen suunnittelun ja vuorovaikutuksen yksityiskohdat. Tarkoituksena on suunnitella vaatimuksia vastaava sovelluksen toiminta. Huonosti toteutettu toiminnallinen suunnittelu johtaa vääriin toimintoihin ja ristiriitaiseen toimintalogiikkaan. Nämä johtavat työn vaikeutumiseen, vääriin tulkintoihin ja virheisiin. (Sinkkonen ym. 2009, 38–39.)

Käyttöönoton helppous:

Laskentamallin vaatima pohjadata määrä. Vähäinen työ = 4 – 5 p, jonkin verran työtä = 3 p, huomattava tai kohtuuton työmäärä = 1 – 2 p. (vrt. hyöty)

Sopivuus eri työmenetelmille:

Käykö sama laskentamalli useammalle piirteelle? (1=1p, 2=3p, >=3=5p)

Itsenäisyys:

Laskentamallin toiminta ilman lisäarvojen syöttöä. (Ei lisäarvojen syöttöä= 5p, 2-4 lisäarvon syöttö=3, yli kuuden lisäarvon syöttö=1)

Soveltuvuus yleiseen käyttöön:

Onko laskentamalli sovellettavissa muihin ympäristöihin? Kyllä tai todennäköisesti=4-5p, ehkä tai luultavammin=3p, ei tai ei todennäköisesti=1-2p

4.2 Lopulliset mallit ja pisteet

Särmäyksen, leikkauksen ja hitsauksen lopullisiksi laskentamalleiksi valikoituivat mallit 1 ja 3. Kyseessä ovat Lucas-laskentamalli ja materiaalikustannusosuusmalli. Koneistuksen osalta jatkoon pääsi myös kustannusarviointi materiaalin poiston mukaan laskeva malli 5.

Mallista 1 löytyy teoreettista pohjatietoa, mutta käytännön tarkkuudesta ei ollut tietoa saatavilla. Malli 3 on ollut teollisuudessa pitkään käytössä. Sen tarkkuus on ollut suuntaa antava, mutta riittävä menetelmä useimmissa tapauksissa. Mallin tarkkuus parantuu kokemuksen mukaan. Malli 5 on uudenlainen näkökulma kustannusten laskentaan. Mallille ei löytynyt vastaavaa teoria- ja käytännön pohjaa kuin muilla malleilla. Työssä teoreettisena tietona ja kustannusparametrien lähteenä käytetään vuonna 2001 aiheesta julkaistua tieteellistä artikkelia. Oletamus on, että myös tämän laskentamallin toiminta on riippuvainen kokemuksesta ja historiatiedon hyödyntämisestä. Toteutunut laskentamallien pisteytys on nähtävissä liitteessä 1.

5 CASE- KOKOONPANON ARVIOINTI

Case-kokoonpanon osien valmistuskustannusten arviointia varten Lucas-mallista tehtiin Excel-sovellus. Excel-sovelluksen tekeminen ei ollut välttämätöntä, mutta helppotti jatkotyöskentelyä huomattavasti. Lucas-laskentamalli perustui prosessointikustannuksiin sekä erityyppisiin kertoimiin. Leikkaukselle ja hitsaukselle ei ollut saatavilla kyseessä olevia kertoimia, joten valmistuskustannusarviointi tehtiin suoraan prosessointikulujen avulla. Laskennan virhelähteet käsitellään luvussa 5.1.3.

Laskentaa varten kustannustietoja kerättiin Savonia-ammattikorkeakoulun sisältä. Koneistus oli ainoa piirre, jolle kustannusparametreja ei ollut saatavilla. Tässä työssä koneistuksen kustannusparametreina käytettiin eteläkorealaisten vuonna 2001 tekemää tutkimusta aiheesta. Tutkimuksessa oli määritelty eri lastuavien menetelmien (sorvaus, poraus, jysintä, tasaus) rouhinta- ja viimeistelynopeudet. Nopeudet oli määritelty eri materiaaleille työstettäessä pikaterästyökaluilla.

Tässä työssä valmistuskustannusarviointi rajattiin osien valmistuskustannusten arviointiin. Kokoonpanon kustannusarviointi jätettiin kokonaan tämän opinnäytetyön ulkopuolelle.

5.1 Case-kokoonpano

Keilin arvioitu kokoonpano painaa 1 258 kiloja, ja se koostuu 30 nimikkeestä ja 88 osasta. Kokoonpano sisälsi 9 nimikettä, jotka olivat oletettavasti ostokomponentteja. Näiden nimikkeiden valmistusta ei arvioitu mutta hitsaukset arvioitiin.

5.1.1 Testausympäristö

Testausympäristönä työssä käytettiin Savonia-ammattikorkeakoulun konekanta. Tähän päädyttiin, sillä tästä konekannasta oli saatavissa työtä varten kustannustietoja. Ainoastaan koneistuksen kustannusparametreja ei ollut saatavissa. Puute kustannustiedoista korvattiin teoreettisilla tiedoilla. Lisäksi laskennassa huomioitiin työtilan kulut.

Tilakustannuksissa huomioitiin hallin investointikustannus, poistoaika, vuotuiset ylläpitokustannukset/m² ja neliömäärä. Tuotantokoneista huomioitiin investointikustannus, poistoaika, ylläpitokustannukset, jyvitysosuus hallin kustannuksista, työkulut ja

muut yleiskulut. Koneiden tarkemmat kustannusparametrit on kuvattu opinnäytetyön liitteessä 2.



KUVA 1. Hitsausrobotti OTC ja kääntöpöytä. Kuva Joonas Savolainen 18.3.2011.

Kuvassa 1 on testausympäristössä oleva hitsausrobotti, jonka pääominaisuudet ovat:

- MIG/MAG- hitsaus
- pulssihitsaus
- railonhaku ja -seuranta
- sulatusteho 500 A
- ulottuvuus 2 m
- 5 m lineaarinen rata.

Kuvassa 1 on lisäksi 2-akselinen kääntöpöytä, jonka pääominaisuudet ovat:

- kuormankantokyky 2000 kg
- kappaleen pyörähdyssäde 1,5 m
- grillimahdollisuus 3 m–5,5 m pituisille kappaleille.

Testausympäristössä on MIG/MAG -hitsausrobotti, jonka kuormankantokyky on 6 kiloa. Hitsausrobotti on sijoitettu 5 metrin lineaariradalle ja sen yhteydessä toimii kap-

paleenkäsittelyrobotti sekä 2-akselinen kääntöpöytä. Hitsausasemassa voidaan hitsata suuria, jopa 2 000 kilogramman painoisia kappaleita.



KUVA 2. Kappaleenkäsittelyrobotti Nachi. Kuva Joonas Savolainen 18.3.2011.

Kuvassa 2 on toimintaympäristössä oleva kappaleenkäsittelyrobotti, jonka pääominaisuuksia ovat:

- ulottuvuus 2,5 m
- 10 m lineaarinen rata
- kuormankantokyky yli 100 kg
- työkalunvaihtaja.

Kappaleenkäsittelyrobotti avustaa hitsausrobotia sekä särmäyspuristinta. Se kykenee käsittelemään suurimmillaan 100 kilogramman kappaleita. Robotti on sijoitettu 10m lineaariradalle ja sen ulottuvuus on 2,5 m.



KUVA 3. FINN-POWER B160-3060. Kuva Joonas Savolainen 18.3.2011

Kuvassa 3 on toimintaympäristössä oleva särmäyspuristin, jonka pääominaisuuksia ovat:

- puristusvoima 1600 kN
- työpituus 3 m
- manuaali-/robottisärmäys.

FINN-POWER B160-3060 (kuva 3) on NC- ohjattu särmäyspuristin. Puristusvoimaa on 160 tonnia ja työpituutta 3 metriä. Särmäyspuristin kykenee kommunikoimaan kappaleenkäsittelyrobotin kanssa, jolloin se pystyy miehittämättömään automaattiseen särmäykseen.

Hienosädeplasma:



KUVA 4. MetalMaster 3015. Kuva Joonas Savolainen 18.3.2011

- työalue 1,5 m x 3,0 m
- suurin leikkausvahvuus 25 mm (musta), 20 mm (Al&RST).

Testausympäristössä on myös NC- ohjattu hienosädeplasmalaitteisto (kuva 4), jonka työalue on 1500 mm x 3000 mm ja suurin leikkausvahvuus yleisesti on 20 mm.

5.1.2 Testien suorittaminen

Case-kokoonpanon osien valmistuskustannuksia arvioitiin tehdyn Excel-sovelluksen avulla. Case-kokoonpanoksi valittu keili sisälsi 88 osaa ja arvioitujen osien paino oli yhteensä 1 258,5 kg. Ennen testausta kappaleen osia arvioitiin ja tuloksille tehtiin taulukkopohja. Laskentaan tehtiin myös rajaus, ettei laitteiston kyvykkyyttä huomioida tässä tapauksessa lainkaan. Oletuksena oli, että testausympäristö kykenee valmistamaan osan.

Case-kokoonpanon jokainen osa arvioitiin Lucas-metodin periaatteiden mukaisesti. Arviointia edelsi Excel-sovelluksen laatiminen, johon laadittiin laskentataulut kaikille piirteille. Sovelluksen tarkempi kuvaus on liitteessä 2. Hinta-arviot kerättiin laskentatauluun, johon myös kirjattiin hinnan muodostumisperusteet. Laskenta eteni osa osalta ja jokainen tarvittava piirre arvioitiin osasta. Luonnollisesti esimerkiksi hitsausta ei arvioitu, mikäli osa ei sitä sisältänyt. Tarkempi laskenta ja tulokset esitellään liitteessä 2.

Osan kustannusparametrien selvittämiseksi käytettiin Solidworks-ohjelmistoa. Ohjelman avulla kappaleista saatiin suoraan esimerkiksi tilavuus. Lisäksi sovellus helpotti tiettyjen mittojen saamisessa kappaleesta esimerkiksi leikkauspituutta ajatellen. Osien part-tiedostot helpottivat arviointia verrattuna tilanteeseen, jossa arviointia olisi pitänyt tehdä pelkkien piirustusten avulla. Osaan monimutkaisimmista osista oli suoraan tehty useampia konfiguraatioita eri työstövaihteita varten. Tämä onkin hyvä tapa, mikäli laskenta halutaan jatkossa automatisoida.

5.1.3 Laskennan virhelähteet

Laskennassa olevia mahdollisia virhelähteitä esitellyssä arvioinnissa olivat konekanta, kertoimien oikeellisuus ja työkalukustannusten puuttuminen arvioinnista. Konekanta on virhelähteenä, sillä todellisuudessa tuotteita ei valmisteta Savonia-ammattikorkeakoulun konekannalla. Kertoimien oikeellisuus on myös yksi virhelähde, koska Lucas-laskentamallin kertoimet ovat teoreettiset eikä niitä ole mukautettu konekantaan. Hitsaus oli lisäksi menetelmä, jolle kertoimia ei ollut luotu lainkaan. Särjäykselle ja leikkaukselle käytettiin samoja levytyön Lucas-kertoimia. Työkalukustannuksia ei huomioitu arvioinnissa, koska sellaisia tietoja ei toimintaympäristöstä ollut saatavilla.

Virhelähteistä huolimatta voidaan olettaa, että case-kokoonpano valmistetaan vastaavilla koneilla. Arvioinnissa käytettiin lisäksi Junttan Oy:n antamia materiaalikustannuksia. Työn tarkoituksena on testata laskentamallia, ei tuottaa tarkkaa euromääräistä tulosta, joten virhelähteet on hyväksytyttyä.

6 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tarkoituksena oli tutkia valmistuskustannusten arviointia tuotekehitysvaiheessa. Työ aloitettiin kirjallisuustutkimuksella ja laskentamallien vertailulla. Tavoitteena oli tutkia case-kokoonpanon avulla, kuinka valittu laskentamalli toteuttaa laskentaa. Tärkeimpiä laskennan esittelyä ja tulokset ovat nähtävissä liitteessä 2.

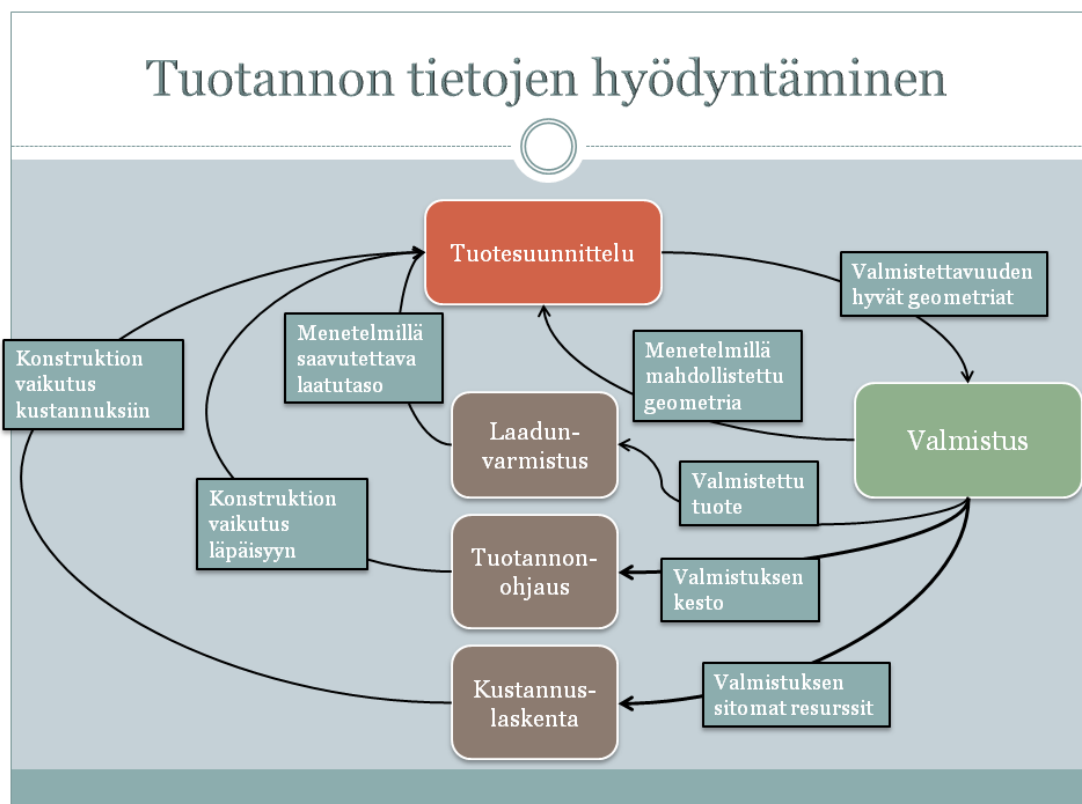
Case-tutkimuksessa Lucas-malli todettiin kehityskelpoiseksi laskentamalliksi. Laskennan euromääräiset tulokset eivät vastanneet todellisuutta. Tähän on todennäköisesti syynä kustannusparametrien lähde eikä itse laskentamalli. Tärkein havainto oli, että laskentamallin tulokset olivat samassa suhteessa toteutuneiden kustannusten kanssa. Korrelaatiokertoimen arvoksi muodostui 0,9941 ja regressiosuoran $R^2 = 0,988$. Tämä tarkoittaa, että korrelaatio on voimakasta ja että regressiomallin avulla voidaan selittää 98 % todellisten kustannusten vaihtelusta kustannusarvion avulla.

Tuloksia analysoitiin tilastomatematiikan menetelmillä, mutta tuloksia ei voida pitää yleispätevinä, koska otanta oli pieni. Analysoinnissa oli mukana yksi case-kokoonpano, mitä ei voida pitää tilastollisesti luotettavana lähdeaineistona. Laskentamallin vahvuutena kuitenkin on, että sitä voidaan muokata. Tällöin sen oletettavasti pitäisi pystyä tarkentumaan ja muokkautumaan eri ympäristöihin.

Laskennassa oli useita virhelähteitä, joten todellinen varmuus mallin toiminnasta vaatii todellisen toimintaympäristön kustannusparametreineen. Laskennan virhelähteitä olivat toimintaympäristö, joka ei vastannut todellisuutta. Toimintaympäristön koneita ei käytetty kappaleiden valmistukseen. Konekanta ei myöskään olisi kyennyt suoriutumaan kaikista tehtävistä. Koneistuksen osalta käytettiin teoreettisia arvoja, sillä muita ei ollut saatavilla. Työkalukustannuksia ei lisätty prosessointikustannuksiin, sillä niiden suuruudesta ei ollut tietoa. Lisäksi yhtenä mahdollisena virhelähteenä on toteuttaja. Huolimatta virhelähteistä voidaan olettaa, että tuote valmistetaan samankaltaisilla koneilla ja kustannukset näin ollen ovat samansuuntaiset. Työn tarkoituksena ei kuitenkaan ollut saada mahdollisimman tarkkaa tulosta vaan testata laskentamalli ja sen suorituskyky.

Tässä case-tutkimuksessa jätettiin arvioinnin ulkopuolelle kokoonpanon arviointi. Tämä tulisi kuitenkin ottaa huomioon, sillä sen vaikutus lopullisiin valmistuskustannuksiin on huomattava. Lucas-menetelmän yksi osa-alue on kokoonpantavuuden arviointi, joten se mahdollistaa arvioinnin ulottamisen myös kokoonpanoon.

Työn yksi lähtökohta oli tutkimustyö alihankkijaverkoston kyvykkyydestä. Tässä työssä tutkittiin, kuinka alihankkijaverkon konekannan kyvykkyys voidaan tuoda suunnittelijan tietoon. Lopputuloksissa yritysmaailma kaipasi kustannustietojen lisäämistä tuloksiin. Tähän toivomukseen opinnäytetyö antaa yhden ratkaisuvaihtoehdon. Henkilökohtaisena visiona on, että suunnitteluohjelmassa on lisätyökalu, joka kertoo suunnitellun osan vaatimat koneet sekä antaa osasta kustannusarvion. Tähän pääseminen vaatii se vielä prototyypisovelluksen rakentamista, kokoonpanon mukaan ottamista, todellisen toimintaympäristön ja jatkuvan laskennan kehityksen. Laskennan jatkuva kehittäminen tulisi toteuttaa tuotannon tietojen systemaattisella hyödyntämisellä (kuva 5).



KUVA 5. Tuotannon tietojen hyödyntäminen.

Yhteenvedon voidaan todeta, että Lucas-mallia voidaan soveltaa kustannusten arviointiin tuotekehitysvaiheessa, mutta sen luotettavuutta ei tämän opinnäytetyön aikana voitu testata. Luotettavuus vaatisi pitkän seurannan ja useita mittaustuloksia. Laskentamallin vahvuutena on sen integroitavuus ja kertoimiin perustuminen, joten sen mukauttaminen ja kehittäminen on mahdollista. Seuraavina vaiheina tulisi testata, kuinka malli soveltuu ohjelmistoympäristöön. Lisäksi valmistuskustannusarviointiin tulisi liittää kokoonpantavuuden arviointi sekä konekannan kyvykkyys. Mikäli kaikki

edellä mainitut toimenpiteet onnistuvat ja suhteellinen tarkkuus on tämän tutkimuksen tasoa, on tuloksena tuotekehitystä mullistava sovellus.

7 LÄHTEET

Ansaharju, T., Ilomäki, O. & Maaranen, K. 1988. *Lastuava työstö*. Porvoo: WSOY.

Autio, A. 1992. *Metallityöt*. Porvoo: WSOY.

Chan, V. & Salustri, F. *DFA The Lucas method*. [viitattu 1.3.2011]. Saatavissa: <http://deed.ryerson.ca/~fil/t/dfmlucas.html>.

Digitaalinen koneenrakennuksen www-sivut [viitattu 30.1.2011]. Saatavissa: <http://digikone.savonia.fi/>

Hietikko, E. 2008. *Tuotekehitystoiminta*. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulun kuntayhtymä.

Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M. & Sihvonen, P. 2007. *Valmistustekniikka*. Helsinki: Hakapaino Oy.

Jadelcons Oy:n www-sivut [viitattu 14.1.2011]. Saatavissa: www.jdc.fi/filebank/15505-YT20_Hinnoittelu_Hankasalmi.pdf

Jung, J.-Y. 2001. *Manufacturing cost estimation for machined parts based on manufacturing features*.

Junttan Oy:n www-sivut [viitattu 1.3.2011]. Saatavissa: www.junttan.com

Lapinleimu, I., Kauppinen, V. & Torvinen, S. 1997. *Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät*. Porvoo: WSOY.

Lempiäinen, J. & Savolainen, J. 2003. *Hyvin suunniteltu-puoliksi valmistettu*. Helsinki: Hakapaino.

Pahl, G. & Beitz, W. 1990. *Koneensuunnitteluoppi*. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus Oy.

Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. & Grote, K. 2007. *Engineering Design- A Systematic Approach*. Berlin: Springer.

Poli, C. 2001. *Design for manufacturing: A Structured Approach*. Amherst: Butterworth-Heinemann.

Savonia-ammattikorkeakoulun www-sivut [viitattu 1.3.2011]. Saatavissa: www.savonia.fi

Sinkkonen, I., Nuutila, E. & Törmä, S. 2009. *Helppokäyttöisen verkkopalvelun suunnittelu*. Hämeenlinna: Kariston Kirjapaino Oy.

Swift, K. G. & Booker, J. D. 2003. *Process Selection From design to manufacture*. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Ullman, D. G. 2003. *The Mechanical Design Process*. New York: McGraw-Hill Inc.

Ulrich, K. & Eppinger, S. 1995. *Product Design and Development*. New York: McGraw-Hill Inc.

Valtananen, E. 1986. Tekninen tiedotus 6/86 *kustannussäästöt konstruointivaiheessa*. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus Oy.

Åhlström, L. 1986. Tekninen tiedotus 3/86 *Uuden tuotteen kehittämien - Uusi työkentelytapa*. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.

Liite 1.

SAVONIA	ARVIINTIRYHMÄ: Joonas Savolainen					PIIRRE: Hitsaus		
Pisteytys (1-5)	4.2.2011					Laatija: Joonas Savolainen	Malli 1: Lucas	Tämä malli on rakennettu huomioiden materiaalin tilavuus ja prosessointi. Prosessoinnin kustannukset perustuvat kertoimiin, jotka vertaavat suunniteltua kappaletta ideaalimalliin.
Vaatus	Malli 1	Malli 2	Malli 3	Malli 4	Malli 5	Peruste arvioinnille		
Tarkkuus	2	2	3	1	1	Oletettu tarkkuus laskennassa. Absoluuttinen=5p, käyttökelpoinen=4-3p, ei tietoa tai käyttökelvoton 2-1p.	Malli 2: Yhtäläisyyslakien mukaan	Muunnoslaskenta yhtäläisyyslakien mukaan. Kustannusten kasvulakien määrittäminen yhtäläisyyslakien mukaan. Tuotantokustannusten suuruus saadaan indeksikappaleen suure porraskertoimella. Porraskerroin on riippuvainen valmistusmenetelmästä ja verrattun kappaleen koosta.
Integroitavuus (kerroin 2)	3	2	4	2	3	Laskentametodin arvioitu siirrettävyys ohjelmistoympäristöön. Helppo=4-5p, mahdollinen=3p, vaikea tai mahdoton=1-2p		
Käyttönoton helppous	3	1	3	1	1	Laskentamallin vaatima pohjadatan määrä. Vähäinen työ=4-5p, jonkin verran työtä=3p, huomattava tai kohtuuton työmäärä=1-2p. (vrt. hyöty)		
Sopivuus eri työmenetelmille	5	3	5	2	2	Käykö sama laskentamalli useammalle piirteelle? (1=1p, 2=3p, >=3=5p)	Malli 3: Materiaalikustannusosuuden mukaan	Jos tietyllä sovellusalueella on tunnettu aineskustannusten AK suhde m tuotantokustannuksiin TK ja se on likimain vakio, voidaan tiedossa olevien materiaalikustannusten perusteella arvioida tuotantokustannukset
Itsenäisyys (ei tarvitse antaa lisäarvoja)	3	1	4	1	3	Laskentamallin toiminta ilman lisäarvojen syöttöä. (Ei lisäarvojen syöttöä=5p, 2-4 lisäarvon syöttö=3, yli kuuden lisäarvon syöttö=1		
Soveltuvuus yleiseen käyttöön	3	2	4	1	4	Onko laskentamalli sovellettavissa muihin ympäristöihin? Kyllä tai todennäköisesti=4-5p, ehkä tai luultavammin=3p, ei tai ei todennäköisesti=1-		
							Malli 4: Regressiolaskenta	Tilastollisella laskennalla selvitetään kustannusten tai hintojen riippuvuus karakteristisista suureista (tehosta, painosta, läpimitasta, akselikorkeudesta ym). Tulos voidaan esittää graafisesti jonkun tällaisen suureen funktiona. Regressiolaskennalla etsitään riippuvuutta, joka regressiokertoimien ja eksponenttien avulla määrää regressioyhtälön. Sillä taas voidaan tietyllä hajonnalla laskea kustannukset.
							Malli 5: Kustannusten arviointi poistettavan materiaalin mukaan	Ajatuksena on määrittää poistettavan materiaalin yksikköhinta. Hintaan vaikuttavat menetelmä, toleranssi, sarjakoko jne. Mikäli poistettavan materiaalin yksikköhinta voidaan kohtuullisella tarkkuudella määrittää, voidaan sitä hyödyntää helposti sovellusympäristössä. Laskentakaava tässä tapauksessa on:
	Yht.	22	13	27	10	17		

Liite 1.

SAVONIA	ARVIOINTIRYHMÄ: Joonas Savolainen					PIIRRE: Koneistus		
Pisteytys (1-5)	4.2.2011					Laatija: Joonas Savolainen	Malli 1:Lucas	Tämä malli on rakennettu huomioiden materiaalin tilavuus ja prosessointi. Prosessoinnin kustannukset perustuvat kertoimiin, jotka vertaavat suunniteltua kappaletta ideaalimalliin.
Vaatus	Malli 1	Malli 2	Malli 3	Malli 4	Malli 5	Peruste arvioinnille		
Tarkkuus	2	2	3	1	3	Oletettu tarkkuus laskennassa. Absoluuttinen=5p, käyttökelpoinen=4-3p, ei tietoa tai käyttökelvoton 2-1p.	Malli 2: Yhtäläisyyslakien mukaan	Muunnoslaskenta yhtäläisyyslakien mukaan.Kustannusten kasvulakien määrääminen yhtäläisyyslakien mukaan. Tuotantokustannusten suuruus saadaan indeksikappaleen suure porraskertoimella. Porraskerroin on riippuvainen valmistusmenetelmästä ja verratun kappaleen koosta.
Integroitavuus (kerroin 2)	3	2	4	2	4	Laskentametodin arvioitu siirrettävyys ohjelmistoympäristöön. Helppo=4-5p, mahdollinen=3p, vaikea tai mahdoton=1-2p		
Käyttönoton helppous	3	1	4	1	2	Laskentamallin vaatima pohjadatan määrä. Vähäinen työ=4-5p, jonkin verran työtä=3p, huomattava tai kohtuuton työmäärä=1-2p. (vrt. hyöty)		
Sopivuus eri työmenetelmille	5	3	5	2	2	Käykö sama laskentamalli useammalle piirteelle? (1=1p, 2=3p, >=3=5p)	Malli 3: Materiaalikustannuso- suuden mukaan	Jos tietyllä sovellusalueella on tunnettu aineskustannusten AK suhde m tuotantokustannuksiin TK ja se on likimain vakio, voidaan tiedossa olevien materiaalikustannusten perusteella arvioida tuotantokustannukset
Itsenäisyys (ei tarvitse antaa lisäarvoja)	3	1	4	1	3	Laskentamallin toiminta ilman lisäarvojen syöttöä. (Ei lisäarvojen syöttöä= 5p, 2-4 lisäarvon syöttö=3, yli kuuden lisäarvon syöttö=1		
Soveltuvuus yleiseen käyttöön	3	2	4	1	4	Onko laskentamalli sovellettavissa muihin ympäristöihin? Kyllä tai todennäköisesti=4-5p, ehkä tai luultavammin=3p, ei tai ei todennäköisesti=1-		
							Malli 4: Regressiolaskenta	Tilastollisella laskennalla selvitetään kustannusten tai hintojen riippuvuus karakteristisista suureista (tehosta, painosta, läpimitasta, akselikorkeudesta ym). Tulos voidaan esittää graafisesti jonkun tällaisen suureen funktiona. Regressiolaskennalla etsitään riippuvuutta, joka regressiokertoimien ja eksponenttien avulla määrää regressioyhtälön. Sillä taas voidaan tietyllä hajonnalla laskea kustannukset.
							Malli 5: Kustannusten arviointi poistettavan materiaalin mukaan	Ajatuksena on määrittää poistettavan materiaalin yksikköhinta. Hintaan vaikuttavat menetelmä, toleranssi, sarjakoko jne. Mikäli poistettavan materiaalin yksikköhinta voidaan kohtuullisella tarkkuudella määrittää, voidaan sitä hyödyntää helposti sovellusympäristössä. Laskentakaava tässä tapauksessa on:
Yht.	22	13	28	10	22			

Valmistuskustannusarvioinnin toteutus ja tulokset

Joonas Savolainen

EKM7SK

VALMISTUSKUSTANNUSTEN LASKENTA

Valmistuskustannusten laskentaan on kehitetty vuosien varrella useita laskentamalleja. Useimmille malleille yhtenäistä on, että niiden soveltaminen käytäntöön on hankalaa. Laskenta lisää tuotekehityksen työmäärää ja hyötyjen määrittely etukäteen on vaikeaa. Vasta kokemuksen kerryttyä voidaan nähdä laskennan hyödyllisyys. Pohjatietojen kerääminen, laskennan suorittaminen ja tiedon ylläpito vaatii resursseja eikä pk-yrityksillä usein ole varaa tehdä ”hyppyä tuntemattomaan”.

Tässä liitteessä esitellään Lucas-menetelmä ja sen antamia tuloksia. Laskentamallin valintaa edelsi eri laskentamallien vertailu, jonka pohjalta valinta tehtiin. Laskentamallin valintaan vaikutti erityisesti integroitavuus, koska se on kriittisin tekijä jatkoa ajatellen.

Case- kokoonpanon arviointiin käytetyt kustannustiedot

Laskennan suorittamista varten tarvittiin kustannustietoja. Kustannustietojen avulla määritettiin Lucas-mallin P_c eli prosessointikustannukset. Kustannustenjakoperusteena oleva vuotuinen käytötuntimäärä laskennassa oli 1680 tuntia.

Prosessointikustannukset koostuivat seuraavista tekijöistä:

TILAT

- hallin investointikustannukset XX€
- hallin koko 380m²
- poistoaika 30 vuotta
- vuotuiset ylläpitokustannukset XX€/ m² / kk (ALV 0 %).

Jokaisen koneen osuus hallin kustannuksista on 25 %.

TUOTANTOKONEET

- investointikustannus
- poistoaika
- ylläpitokustannukset % vuodessa investoinnin arvosta
- jyvitysosuus hallin kustannuksista
- työkustannukset sivukuluineen XX€/h

- muut yleiskulut (0,65 x työkustannukset)

Prosessointiaika määriteltiin jokaiselle piirteelle erikseen. Tietolähteenä käytettiin kertynyttä kokemusta ja seurantaa. Leikkaus, särmäys ja hitsaus ovat tutkittuja menetelmiä Savonia-ammattikorkeakoulussa. Ainoastaan koneistukselle jouduttiin käyttämään teoreettisia arvoja. Tietolähteenä tässä tapauksessa on eteläkorealaisen Changwon National University:n tekemä tieteellinen julkaisu: "Manufacturing cost estimation for machined parts based on manufacturing features". Julkaisussa esitetään rouhinta- ja viimeistelynopeudet eri materiaaleille työvaiheittain käyttäen pikateräs-työkaluja.

Särmäysaikaan vaikuttavia tekijöitä:

- levyn koko
- särmien lukumäärä
- kappalemäärä
- asetus ja ohjelmointi.

Leikkausnopeuteen vaikuttavia tekijöitä:

- leikkauspituus
- leikattava materiaali
- ainevahvuus.

Hitsausnopeuteen vaikuttavia tekijöitä:

- railon muoto
- kaariaikasuhde
- hitsauspituus
- hitsin a-mitta/poikkipinta-ala.

Koneistuksen nopeuteen vaikuttavia tekijöitä:

- lastuttava materiaali
- työmenetelmä (sorvaus, jyräys, poraus jne.)
- työvaihe (rouhinta/viimeistely)
- poistettavan materiaalin määrä
- koneen kyky.

MATERIAALIKUSTANNUKSET

Materiaalien hankintahinnat ovat riippuvaisia tilausmääristä sekä maailmanmarkkinahinnoista. Suurempia määriä ostava saa tuotteensa luonnollisesti halvemmalla kuin pienempiä määriä ostava. Hintaan vaikuttaa myös materiaalin tarkempi sisältö ja toimitusmuoto. Laskennassa käytetty materiaalin hintatieto on peräisin Junttan Oy:ltä, koska arvioitava case-kokoonpano on Junttan Oy:n tuote.

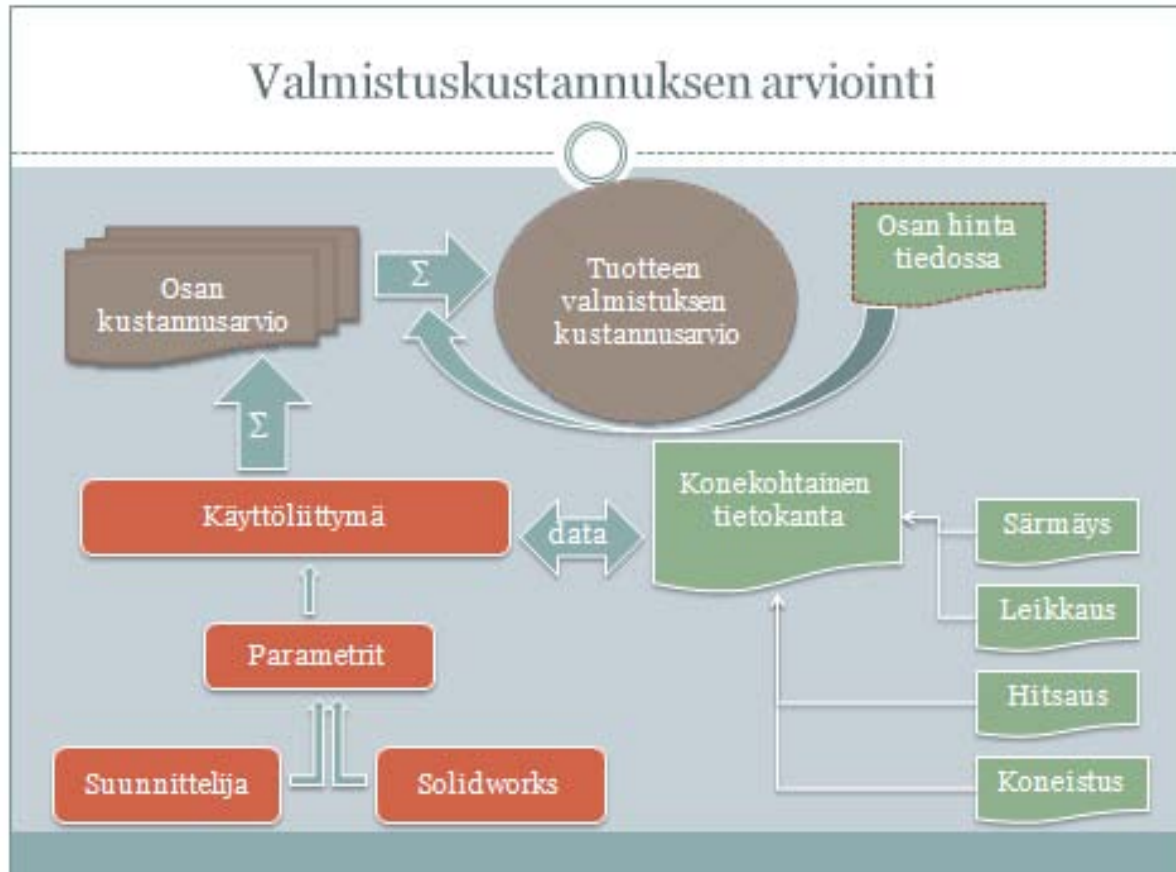
TYÖN TOTEUTUS

Työ toteutettiin käyttämällä Lucas-mallin pohjalta tehtyä Excel-laskentasovellusta (kuva 1) ja Solidworks-sovellusta. Kokoonpanon osat tarkasteltiin soveltuvilla piirteillä ja tiedot siirrettiin Excel-sovellukseen. Excel-sovellus valittiin laskennan ympäristöksi, koska taulukkolaskenta soveltuu hyvin kertoiimiin perustuvaan laskentaan. Lucas-mallin kertoimet määritettiin osin tekijän ja osin piirustusten pohjalta. Laskennan yleiskuvaus on nähtävissä kuvassa 2.

The screenshot displays a complex Excel spreadsheet with multiple tables. The top table lists material properties with columns for Material (Materiaali), Modulus (E), Poisson's Ratio (ν), Yield Strength (R_{eH}), Tensile Strength (R_m), and others. Below this is a 'PROCESS' table with columns for 'Tolerance' (Toleranssi), 'Pre-heat' (Preheattu), 'Heat Treatment' (Lämpökäsittely), and 'Machining' (Käsiteltäminen). A 'TOLERANCE' table follows, detailing tolerance ranges for different materials and processes. To the right, a 'PROCESS' table lists 'Shear metal work' (Sähkötöitä metallissa) with values for different processes. Below the tables, there is a diagram of a cylindrical component with dimensions labeled, and a 'Käyttökäyttöolosuhteet' (Operating conditions) table. The bottom part of the image shows a list of 'Häiriötilanteet' (Failure modes) with associated risk levels and mitigation measures.

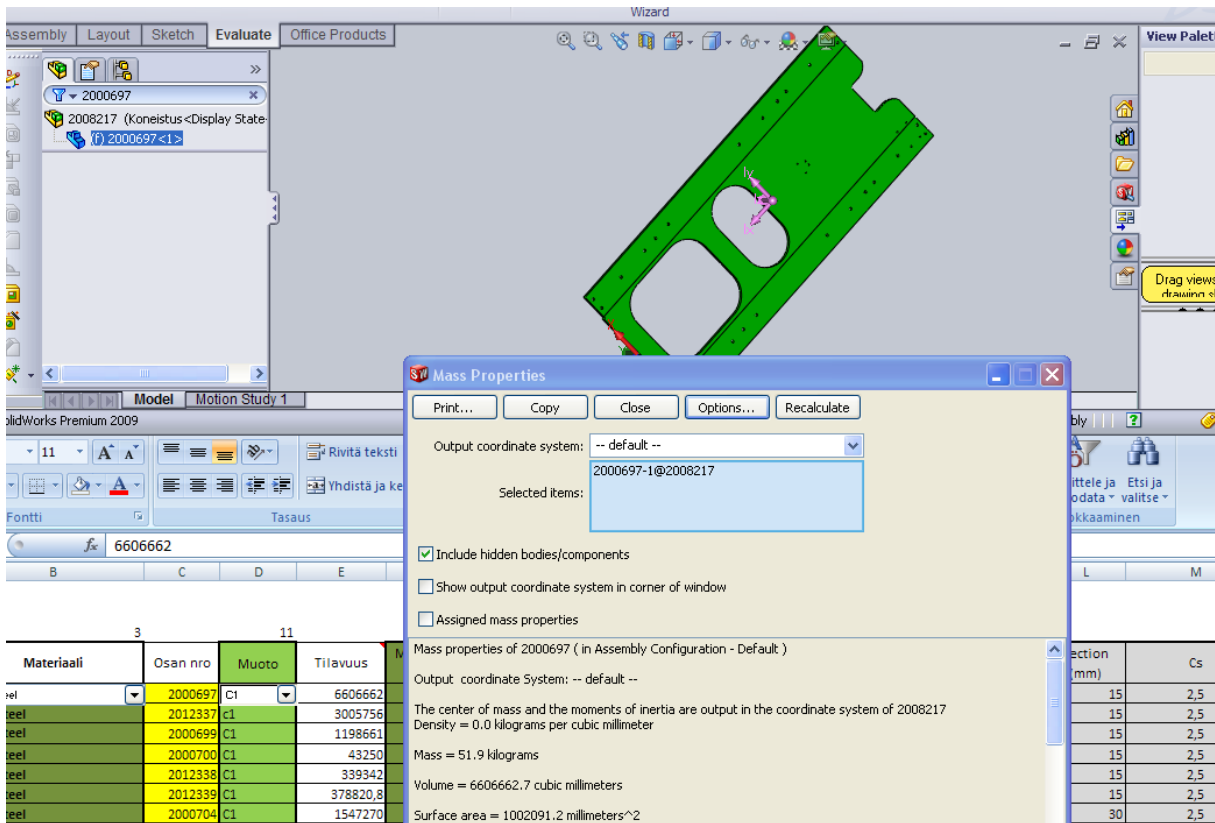
KUVA 1. Lucas-mallista tehty Excel-sovellus

Työn yksi osuus oli laatia Excel-sovellus, joka suorittaa laskennan oikein ja päivittää tiedot koonti-taulukoihin automaattisesti. Tuloksena syntyi yhdentoista välilehden laskentataulukko, joka suorittaa laskennan kohtuullisen tehokkaasti. Sovelluksen välilehdet muodostuivat kahdesta koontitaulukosta. Näihin taulukoihin siirtyivät tiedot laskennan lopputuloksista. Ensimmäisessä välilehdessä on kaikkien osien tiedot ja toisessa välilehdessä arvioitavan kokoonpanon osat. Näin siksi, että osa osista ei kuulunut arvioinnin piiriin. Lisäksi sovelluksessa on kaksi välilehteä leikkausta, koneistusta ja hitsausta varten. Toiseen välilehteen kirjattiin pohjatiedot ja toiseen Lucas-malli. Särmäys ei vaitinut pohjatieto-välilehteä. Lisäksi sovelluksessa on välilehdet tuotteen muotoja ja materiaalihintoja varten. Muodot-välilehdellä on havainnollistava kuva Lucas-kertoiimiin vaikuttavista muodosta.



KUVA 2. Laskennan yleiskuvaus

Laskentaa varten jokainen osa arvioitiin piirteittäin ja tarvittava informaatio kerättiin Solidworks-ohjelman avulla. Valmistuskustannusten lisäksi arvioitiin materiaalikustannukset. Tätä varten tarvittiin osan tilavuus, materiaali sekä muoto. Arvioinnin käytännön suorittaminen esitetään kuvassa 3. Materiaalikustannuksia varten arvioitiin kappaleen lopullinen tilavuus, sillä Lucas-malli huomioi materiaalin hävikin.



The screenshot shows the SolidWorks interface with a 3D model of a green mechanical part. A 'Mass Properties' dialog box is open, displaying the following information:

- Output coordinate system: -- default --
- Selected items: 2000697-1@2008217
- Include hidden bodies/components
- Show output coordinate system in corner of window
- Assigned mass properties

Mass properties of 2000697 (in Assembly Configuration - Default)

Output coordinate System: -- default --

The center of mass and the moments of inertia are output in the coordinate system of 2008217

Density = 0.0 kilograms per cubic millimeter

Mass = 51.9 kilograms

Volume = 660662.7 cubic millimeters

Surface area = 1002091.2 millimeters²

Materiaali	Osan nro	Muoto	Tilavuus
neeli	2000697	C1	660662
leeli	2012337	C1	3005756
leeli	2000699	C1	1198661
leeli	2000700	C1	43250
leeli	2012338	C1	339342
leeli	2012339	C1	378820,8
leeli	2000704	C1	1547270

KUVA 3. Tilavuuden arviointi

Seuraavassa vaiheessa määriteltiin osien päätyöstömenetelmät. Levytuotteilla päätyöstömenetelmä oli leikkaus ja muilla osilla koneistus. Leikkauskustannuksia varten osista arvioitiin leikkauspi-tuus ja paksuus. Lisäksi valittiin leikkauksen kustannusparametreista plasmaleikkauksen virta-arvot. Näitä olivat 30A, 80A ja 130A. Leikkaus suoritettiin pienimmällä mahdollisella virta-arvolla. Leikkausajan laskenta suoritettiin leikkauksen pohjatieto-välilehdellä (Kuva 4).

The CAD software window shows a green extruded part. A measurement window titled 'Measure - 2008336.SLDPRT' displays the following data:

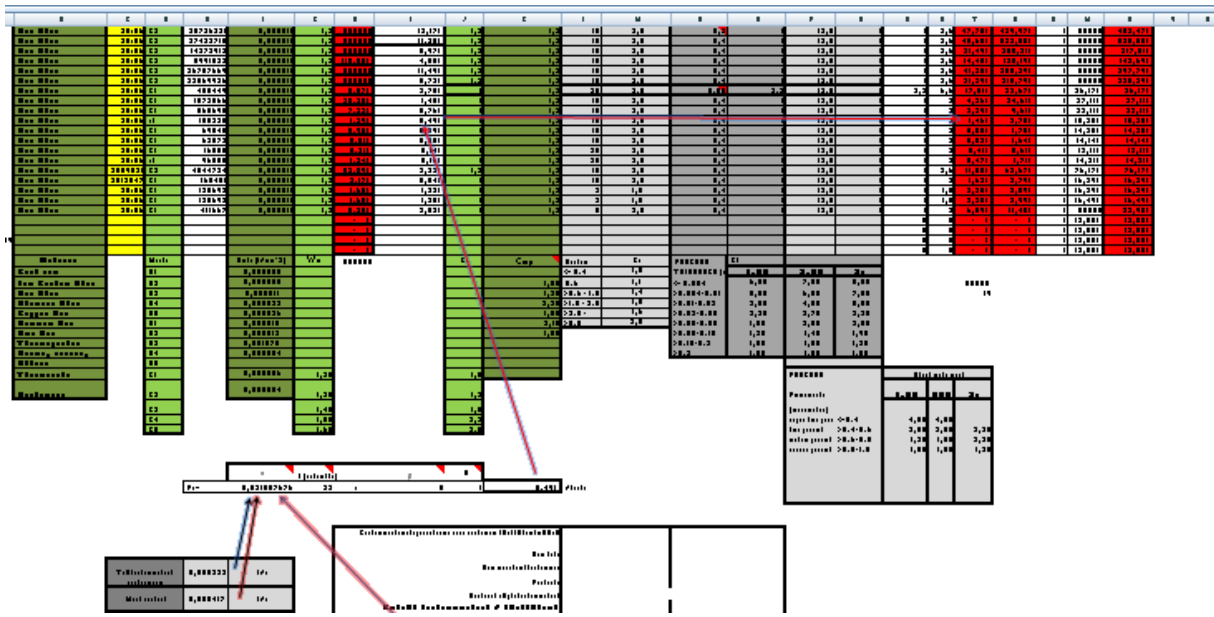
- Face<1>
- Area: 10022.86mm²
- Perimeter: 667.84mm

The Excel spreadsheet below shows a table with the following data:

C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
oneen käyttöaikaasuhte, sis asetusajan:				P	Leikkausp.	Leikkausnopeus	1	Aika/h	Ainevahvuus	10
				L						Musta 80A
	Ohjelmointiaika:									
	Puhkaisuja / kpl									
	Kaasukustannus €/h:									
	leikkausaika:			REIKÄ / Laippa			Merkkkaus	Leikkausp.		
	Koneaika:					kpl				
	Osia kpl					D				
	1. OSAN KUSTANNUKSET YHTEENSÄ:									
	Tuottotavoite:									
	1. OSAN MYYNTIHINTA									
	+ ALV 22 %									
	JRAAVIEN OSIEN KUSTANNUS				667	Leikkauspituus yht	Leikkausaika/kpl [s]	0	22	
	RAAVIEN OSIEN MYYNTIHINTA									
	+ ALV 22 %									
	HINTA YHTEENSÄ		=>		/kpl					
	+ ALV 22 %		=>		/kpl					

KUVA 4. Leikkausajan määrittäminen

Leikkauksen pohjatieta välilehdeltä siirrettiin leikkauksen Lucas -välilehdelle (Kuva 5). Lucas-laskennan mukaan prosessointiaika kerrottiin perusprosessointi kertoimella (P_c) sekä muilla Lucas-kertoimilla. Lopputuloksena saadaan osan valmistuskustannus leikkauksen osalta.



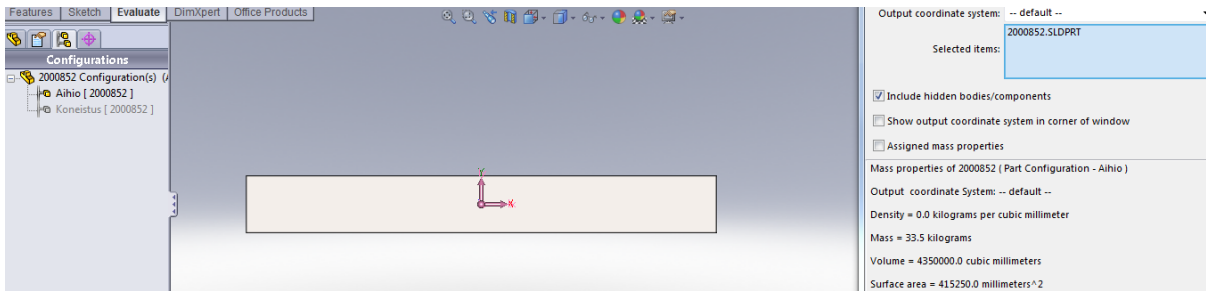
KUVA 5. Leikkaus Lucas-välilehti

Koneistus määriteltiin samojen periaatteiden mukaisesti kuin leikkaus. Prosessointiajan määrittämiseksi tarvittiin 3D-mallista aihion ja tuotteen tilavuus. Laskenta suoritettiin poistettavan materiaalin mukaan. Pohjatietoina käytettiin seuraavia arvoja:

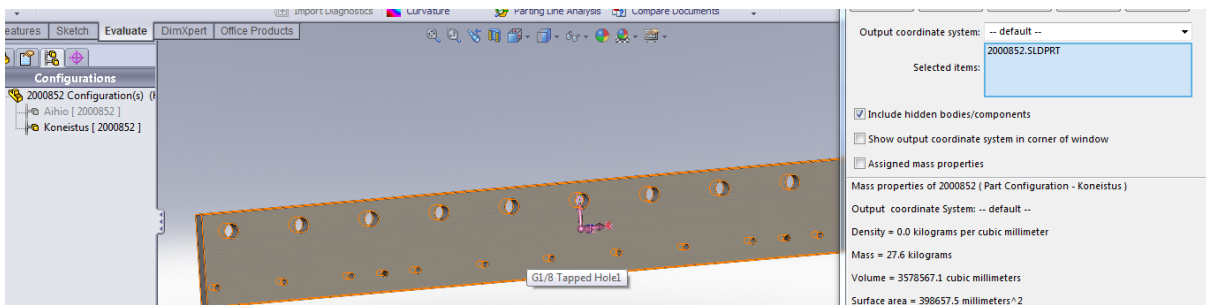
Materiaalin poistotehokkuus [mm ³ /min] (rouhinta+pikaterästyökalu)						
Materiaali	Kovuus[BHN]	Sorvaus	Tasaus (=luku*n(=hampaiden lukumäärä) oletus 4)	Jyrsintä (luku * n * l) n=leikkaavien särmien lkm 4, särmän pituus 2mm	Poraus	
Low carbon steel	150-200		7865,79	16387,06	10487,72	62270,83
Medium carbon steel	200-250		6882,57	15076,09	6554,82	55716
Alloy steel	150-200		8193,53	14420,61	6554,82	58993,42
Stainless steel	135-185		8193,53	15076,09	7865,79	37690,24
Tool steel	200-250		4424,51	7210,31	2621,93	19664,47

Tuotteen viimeistelynopeus [mm ² /min] (pikaterästyökalu)			
Materiaali	Kovuus[BHN]	Sorvaus	Poraus
Low carbon steel	150-200	8645,14	12387,07
Medium carbon steel	200-250	7032,24	5870,96
Alloy steel	150-200	9161,27	6322,57
Stainless steel	135-185	4903,22	3612,9
Tool steel	200-250	4967,73	2387,09

Tiedot ovat peräisin teoreettisesta lähteestä (Jung, 2001), koska toimintaympäristöstä ei ollut saatavilla vastaavia tietoja. Poistettavan materiaalin määrässä käytettiin hyväksi konfiguraatioita, mikäli tämä oli mahdollista. Kuvissa 6 ja 7 esitetään kuinka konfiguraatioita käytännössä hyödynnettiin.



Kuva 6. osan aihio



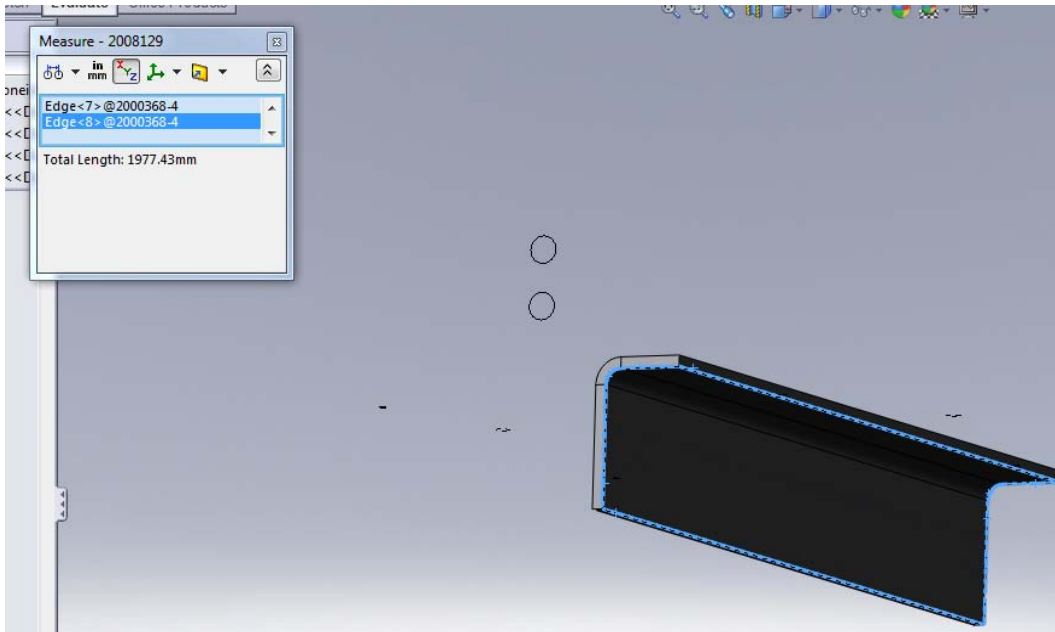
KUVA 7. valmis osa

Solidworks-ohjelmasta saadut tiedot syötettiin Excel-sovellukseen, jolloin saatiin perusprosessointiaika. Tämän jälkeen tuotteelle määritettiin muoto ja muut Lucas-kertoimet. Tuloksena syntyivät osaan kohdistuvat koneistuskustannukset. Arviointi suoritettiin kaikille osille, jotka sisälsivät koneistettuja muotoja joko osatasolla tai kokoonpanossa.

Särmäyksen aiheuttavat kustannukset määräytyivät levyn koon mukaan. Koko määritettiin pinta-alasta ja levyt jaettiin kolmeen ryhmään. Pienet levyt vaativat 40 sekuntia koneaikkaa, keskikokoiset 60 sekuntia ja isot 120 sekuntia taivutusta kohden. Näistä saatiin osaan kohdistuvat prosessointiajat. Lisäksi määriteltiin Lucas-kertoimet kokoonpanon toleranssivaatimusten mukaisesti.

Hitsauksen arviointi poikkesi hieman muista piirteistä, sillä hitsaus ei varsinaisesti ole osavalmistusta vaan liittämistä. Hitsaukselle ei ollut teorioissa määriteltyjä Lucas-kertoimia ja niiden määrittely jätettiin työn ulkopuolelle. Arvioinnin etuna oli, että hitsausta on tutkittu toimintaympäristössä runsaasti muiden hankkeiden aikana. Laskennan oletuksena oli, että hitsaukset suoritetaan hitsausrobotilla, jota avustaa kappaleenkäsittelyrobotti. Todellisuudessa tämä ei kuitenkaan ole mahdollista, koska osa hitseistä ei ole robotihitsattavia. Työn tarkoituksena ei ollut tutkia, että kykeneekö toimintaympäristö valmistamaan tuotteen vaan oletuksena on, että kaikki työt suoritetaan ympäristön koneilla.

Hitsauksen arviointi aloitettiin tutkimalla kappaleen piirustuksia. Hitsausmerkinnät sisältävät osat käsiteltiin ja kuvan 8 mukaisesti hitsausauman pituus määritettiin Solidworks-ohjelman avulla.



KUVA 8. Hitsauspituuden arviointi

Piirustuksista selvisi, että kuvan 9:n sauma on a5, joten laskenta suoritettiin näiden arvojen mukaisesti. Robottihitsauksen kaariaikasuhteena käytettiin 50 %. Hitsausnopeuden määrittämiseksi hyödynnettiin aiempaa tutkimustietoa. Jokainen piirustuksiin merkitty hitsi arvioitiin ja prosessoinnin kustannukset kerättiin taulukkoon. Kustannukset sisältävät konekustannukset (hitsaus- ja kappaleenkäsittelyrobotit), työkustannukset, yleiskustannukset, sekä materiaalikustannukset (hitsausaine+kaasu).

Toleranssi- ja pinnankarheudet määritettiin piirustusten perusteella. Yleistoleranssina oli ISO-2768-m, jota sovellettiin Lucas-kertoimiin. Merkityt toleranssit ja pinnankarheudet käsiteltiin erikseen kuvan 9 mukaisesti.

C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
2008131	C2	37423710	0,000011	1,2	481,95 €	11,28 €	1,2	1,2	10	2,5	0,4	1
2008132	C2	14273912	0,000011	1,2	183,82 €	5,97 €	1,2	1,2	10	2,5	0,4	1
2008133	C2	8991823	0,000011	1,2	115,80 €	4,00 €	1,2	1,2	10	2,5	0,4	1
2008134	C2	26707669	0,000011	1,2	343,95 €	11,49 €	1,2	1,2	10	2,5	0,4	1
2008135	C2	22069926	0,000011	1,2	284,22 €	8,72 €	1,2	1,2	10	2,5	0,4	1
2012316	C1	455449	0,000011	1,2	5,87 €	2,70 €	1	1,2	35	2,5	0,05	2,2

KUVA 9. Tolerantia

TULOKSET

Työn alkuvaiheessa oli selvää, että laskentamallin tarkkuus ei voi alkuvaiheessa olla täydellinen, koska laskennan virhelähteitä on useita. Kuten jo aiemmin on mainittu, kaikkia osia ei pystytä käytössä olevilla koneilla valmistamaan, mutta tätä ei lainkaan huomioitu työn tuloksissa. Arvioinnit sisältävät aloituskustannukset ensimmäisen valmistettavan osan osalta. Koneistuksessa ja hitsauksessa ensimmäisen osan kustannukset ovat XX€/osa. Leikkauksen ja särmäyksen ensimmäisen osan kustannukset ovat XX€/osa. Alla on esitetty testikokoonpanon toteutuneet kustannukset ja Lucas-menetelmän avulla arvioidut kustannukset.

Case-kokoonpano koostui yhteensä 30 nimikkeestä ja 88 osasta. Nimikkeistä yhdeksää ei arvioitu, sillä ne olivat osto-osia, tai niillä ei ollut merkitystä esim. kiinnike, lenkki ja sähköputki. Kaikkien nimikkeiden hitsaukset kuitenkin arvioitiin.

Arvioidut kustannukset

Arvio (ilman 1. osan kust.) Arvio (1. osa mukana)

Osavalmistus	22 %	19 %
Hitsaus	26 %	38 %
Koneistus	16 %	20 %
Materiaalikustannukset	36 %	22 %
Yhteensä	100 %	100 %

Toteutuneet kustannukset

Osavalmistus	20 %
Hitsaus	30 %
Koneistus	10,5 %
Materiaalikustannukset	36,5 %
Tarvikkeet	1 %
<u>Käsittelykulut</u>	2 %
Yhteensä	100 %

Lisäksi kappaleen valmistamiseen liittyy maalaus sekä kokoonpanokustannuksia. Nämä jätettiin vertailun ulkopuolelle, sillä näiden kustannuksia ei arvioitu lainkaan

Tarkkuus

Osavalmistus	<u>Toteutunut</u>	<u>ilman 1.osan kust.</u>	<u>1. osan kanssa</u>
%- osuus	100 %	69 %	98 %
%- ero		-31 %	- 2 %

Hitsaus	<u>Toteutunut</u>	<u>ilman 1.osan kust.</u>	<u>1. osan kanssa</u>
%- osuus	100 %	54 %	129 %
%- ero		- 46 %	+29 %

Koneistus	<u>Toteutunut</u>	<u>ilman 1.osan kust.</u>	<u>1. osan kanssa</u>
%- osuus	100 %	98 %	198 %
%- ero		-2 %	+98 %

Materiaalikustannus	<u>Toteutunut</u>	<u>ilman 1.osan kust.</u>	<u>1. osan kanssa</u>
%- osuus	100 %	63 %	63 %
%- ero		-37 %	-37 %

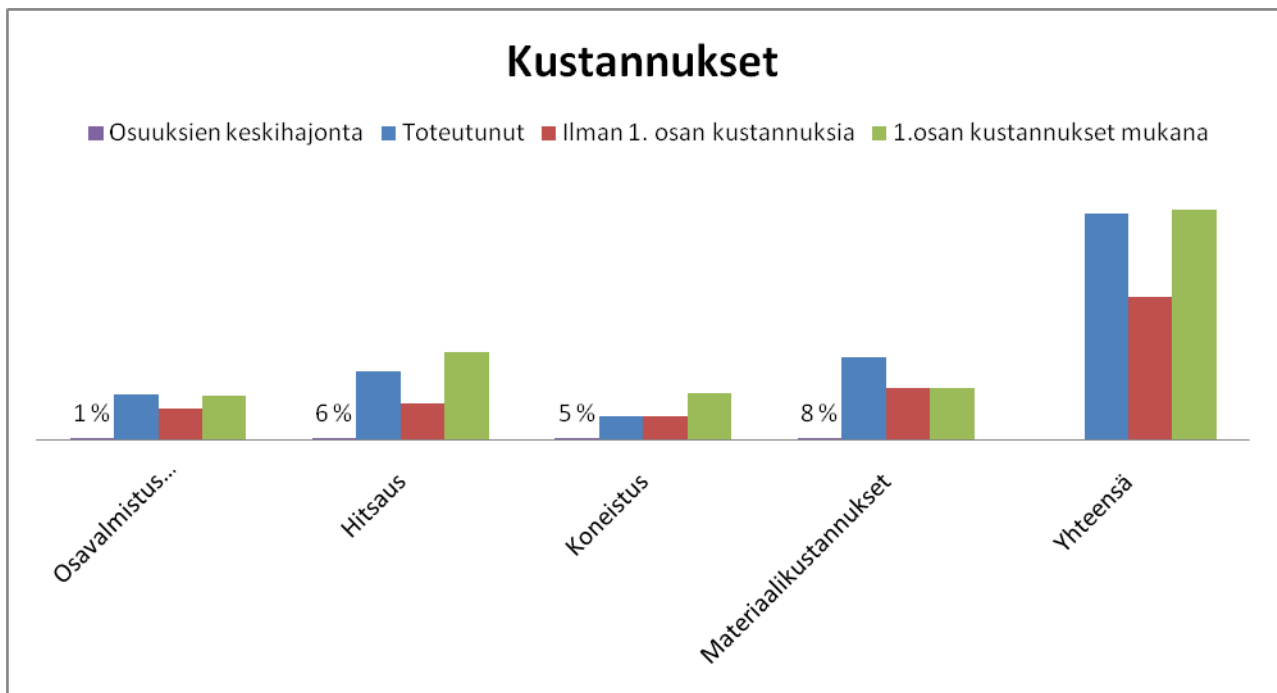
Yhteensä	<u>Toteutunut</u>	<u>ilman 1.osan kust.</u>	<u>1. osan kanssa</u>
%- osuus	100 %	63 %	102 %
%- ero		-37 %	+2 %

Yhdenmukaisuus

	<u>Toteutunut</u>	<u>ilman 1.osan kust.</u>	<u>1. osan kanssa</u>
Osavalmistus	20 %	22 %	19 %
Hitsaus	30 %	26 %	38 %
Koneistus	10,5 %	16 %	20 %
Materiaalikustannukset	36,5 %	36 %	22 %

Yhdenmukaisuuden eroavaisuudet prosenttiyksiköinä

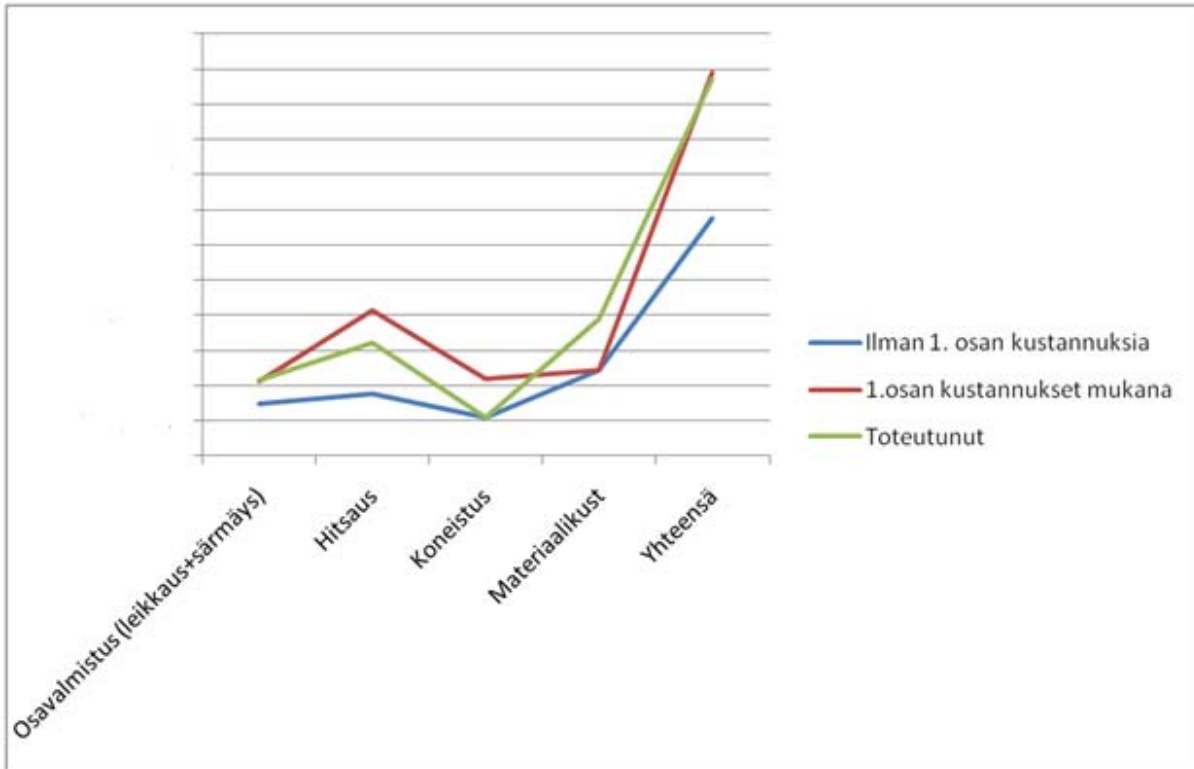
Osavalmistus	2 %	1 %
Hitsaus	4 %	8 %
Koneistus	5,5 %	9,5 %
Materiaalikustannukset	0,5 %	14,5 %



KUVA 10. Kustannukset

Korrelaatio

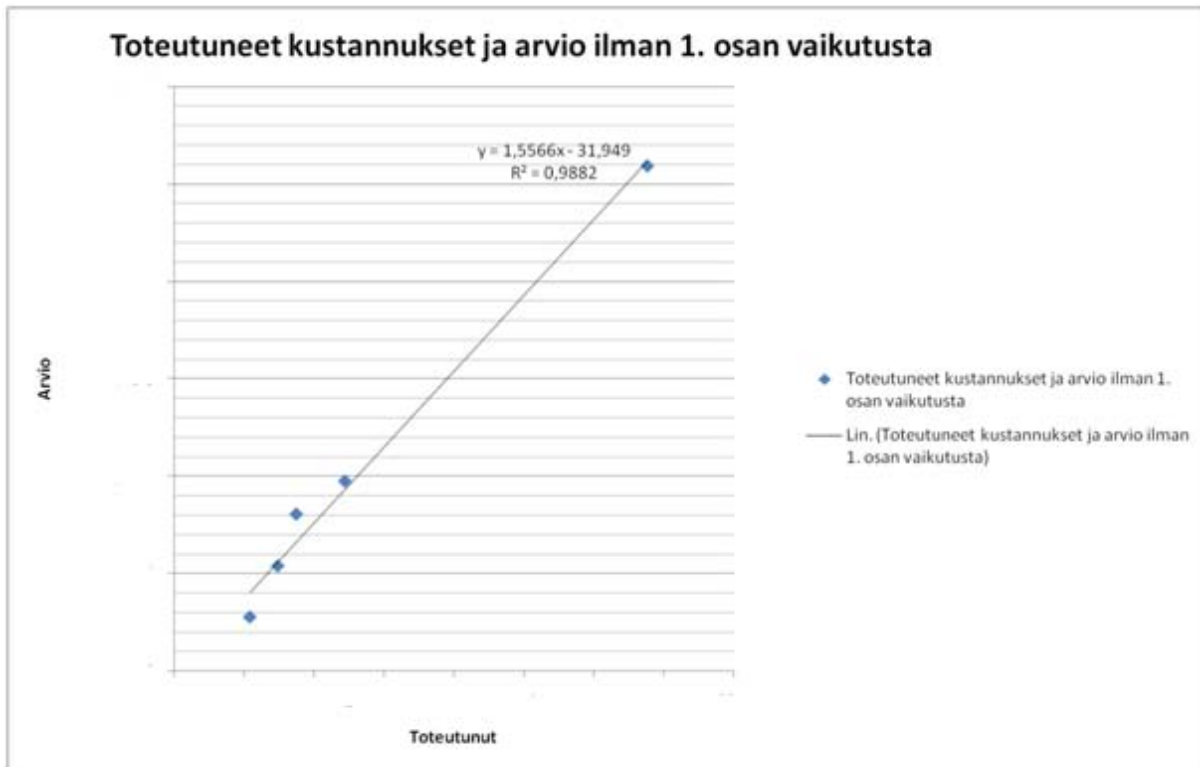
Korrelaatio kertoo muuttujien lineaarisen yhdenmukaisuuden. Korrelaatiokerroimen arvo on välillä [-1,1]. Korrelaatio on positiivisesti voimakasta, mikäli arvo lähenee 1:stä ja negatiivisesti, jos arvo lähenee -1:stä.



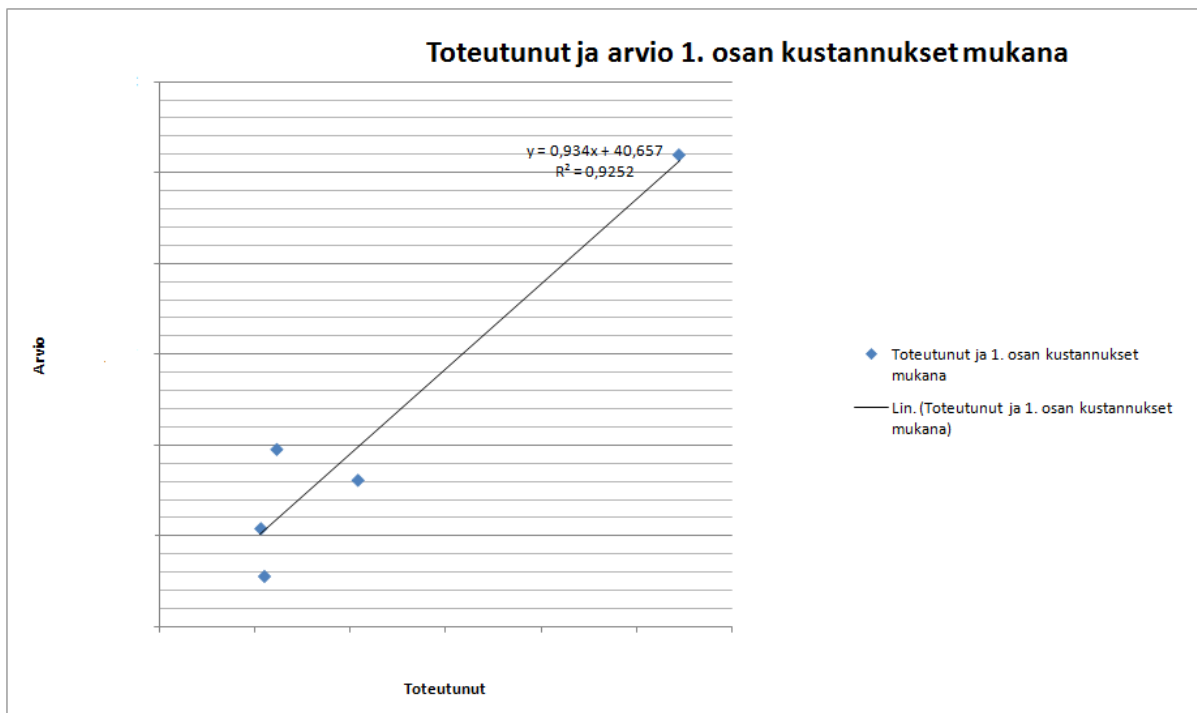
KUVA 11. Korrelaatio

	Korrelaatiokerroin
Toteutunut ja arvio ilman 1.osan kustannuksia:	0,9941
Toteutunut ja arvio 1.osan kustannukset mukana:	0,9619

Regressio



KUVA 12. Toteutuneiden kustannusten ja arvion (ilman 1.osan vaikutusta) regressiosuora



KUVA 13. Toteutuneiden kustannusten ja arvion (1.osan kustannukset mukana) regressiosuora

Case-tutkimuksen perusteella Lucas-menetelmä antaa lupaavia tuloksia. Tulokset osoittavat arvioinnin tuloksien olevan samassa suhteessa kuin toteutuneiden kustannusten. Tuloksista voidaan todeta, että ilman ensimmäisen osan kustannuksia saadut laskennan tulokset korreloivat voimakkaasti toteutuneiden tulosten kanssa. Laskennan tuloksiin syntyi hajontaa, kun mukaan otettiin ensimmäisen osan kustannukset. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että piirteille määrätyt aloituskustannukset olivat oletuksia. Kuvissa 12 ja 13 on selkeästi nähtävissä hajonnan lisääntyminen.

www.savonia.fi

