

Antti Kärkkäinen & Jaakko Laine

Sahauksen optimointi

-Yksiulotteinen aihioon pakkaus sahaushukan minimoimiseksi

Opinnäytetyö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tradenomikoulutus
Liiketalouden koulutusohjelma
Kevät 2009



Koulutusala Yhteiskuntatieteiden, liiketalouden ja hallinnon ala	Koulutusohjelma Liiketalouden koulutusohjelma
Tekijä(t) Antti Kärkkäinen & Jaakko Laine	
Työn nimi Sahausten optimointi – Yksiulotteinen aihioon pakkaus sahaushukan minimoimiseksi	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Tuotantotalouden ammattiopinnot	Ohjaaja(t) Jarmo Happonen Toimeksiantaja Länkelin Oy
Aika Kevät 2009	Sivumäärä ja liitteet 46 + 3 + CD-ROM
<p>Tässä opinnäytetyössä kuvataan ikkunantehdas Länkelin Oy ikkunoiden ja parvekkeen ovien alumiinisten ulkopuiteiden ja karmilistojen sahausten optimointia. Tutkimusongelma pohjautuu niin kutsuttuun 'cutting and packing' -ongelmaan. Kyseisessä ongelmakentässä ongelmaa kutsutaan vapaasti suomennettuna yksiulotteiseksi aihioon pakkaukseksi (engl. one dimensional bin-packing). Tällä tarkoitetaan sitä, että miten eripituiset ulkopuiteiden katkaisumitat sijoitetaan alumiinintuottajalta tilattaviin 6 000 millimetrin aihioihin, jotta sahaushukka ja alumiinaihioiden kulutus voidaan minimoida. Keskeisenä rajoitteena on se, että sahattavat kappaleet eivät saa ylittää yksin tai yhdessä aihion mittoja.</p> <p>Yksiulotteisen aihioon pakkauksen ongelma voidaan ratkaista nopeasti käyttämällä ongelman pelkistäviä algoritmeja. Tällä tarkoitetaan sitä, että tietokoneohjelmaan kirjoitetaan tapa käsitellä ongelma yksinkertaisesti. Tällöin säästyy laskenta-aikaa ja myös tulos on käytännön elämään riittävän hyvä. Tutkimusongelman ratkaisee riittävän hyvin niin kutsuttu First-Fit-Decreasing -algoritmi.</p> <p>Länkelin Oy:ssä päädyttiin keväällä 2008 tutkimusongelman osaratkaisuun käyttämällä tietokoneohjelmaa, joka ratkaisee yksiulotteisen aihioon pakkauksen ongelman. Ratkaisua ei kuitenkaan voida hyödyntää tuotannossa. Toimistossa sillä sitä vastoin saadaan aikasäästöjä.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä esitellään kolme lisäratkaisuvaihtoehtoa, joista kaksi perustuu yksiulotteiseen aihioon pakkaukseen: optimoiva katkaisusaha ja nc-servomoottoroitu kuljetin. Kolmas on ulkoistaminen, jolloin ongelmakenttä siirretään alihankkijalle.</p>	
Kieli	Suomenkielinen
Asiasanat	Optimointi, sahaaminen, sahaus, hukka, sahaushukka, minimointi, ikkunateollisuus, yksiulotteinen, operaatiotutkimus, ulkoistaminen, optimoiva katkaisusaha, servo-ohjaus, NC-tekniikka ja algoritmi.
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun Kaktus-tietokanta <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School Business	Degree Programme Business administration
Author(s) Antti Kärkkäinen & Jaakko Laine	
Title Sawing Optimisation – One-dimensional Bin-packing for Minimising Sawing Wastage	
Optional Professional Studies Production Economics	Instructor(s) Jarmo Happonen
	Commissioned by Länkelin Ltd
Date Spring 2009	Total Number of Pages and Appendices 46 + 3 + CD-ROM
<p>The subject of the thesis is to describe the optimal aluminium jamb and frame sawing process in window industry. The research problem is based on the so called '<i>cutting and packing</i>' problem. Cutting and packing contains four types of optimisation. The 'bin-packing' type resolves the research problem.</p> <p>The problem is called 'one- dimensional bin-packing', which means inserting the different cutting particles into 6000 mm billet (<i>bin</i>) that the aluminium supplier offers in an optimal way. Also the following preconditions must be met: sawing wastage and the consumption of the billets must be minimal and the length of the particles must not exceed the length of the 6000 mm billet.</p> <p>The one-dimensional bin-packing problem can be quickly solved by using computer algorithms. The so called First-Fit-Decreasing (FFD) algorithm solves the research problem efficiently. FFD algorithm returns a reasonably good result in a short computing time.</p> <p>A partial solution was found in spring 2008 when the commissioning company Länkelin Ltd started to use a computer program that solves the one-dimensional bin-packing problem. The solution cannot be utilised in production. Meanwhile, time can be saved in office use.</p> <p>In this thesis three additional solutions are introduced. Two of those are based on one-dimensional bin-packing: optimizing cross-cut saw and NC servo motor conveyor. The third one is outsourcing, which transfers the problem to the subcontractor.</p>	
Language of Thesis	Finnish
Keywords	Bin-packing, Cutting and packing, Optimisation, Operational research, Window industry, Outsourcing, Cross-cut saw, Algorithm, First-Fit-Decreasing, NC, Servo motor.
Deposited at	<input checked="" type="checkbox"/> Kaktus Database at Kajaani University of Applied Sciences <input checked="" type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

ALKUSANAT

Kiitokset ohjauksesta ja ideoista Kajaanin ammattikorkeakoulun lehtori Jarmo Happoselle ja yliopettaja Eero Pikkaraiselle NC-servo-ohjattavan kuljetinratkaisun ideasta. Kiitos myös Oulun yliopiston professori Keijo Ruotsalaiselle opinnäytetyön näkökulman tarkentamisesta.

Kiitoksia maailmalle, että se pysyi riittävän vakaana tämän kirjoitusprosessin aikana.

Kajaanissa 14.4.2009

Antti Kärkkäinen ja Jaakko Laine

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 OPTIMOINNISTA.....	3
3 CUTTING & PACKING –ONGELMA	5
3.1 YKSIULOTTEINEN C&P-ONGELMA	5
3.2 KAKSIULOTTEINEN C&P-ONGELMA.....	5
3.3 KOLMIULOTTEINEN C&P-ONGELMA	6
3.4 MONIULOTTEISET C&P-ONGELMAT	6
4 ALGORITMEISTA.....	9
4.1 NF-ALGORITMI	10
4.2 FF-ALGORITMI.....	12
4.3 FFD-ALGORITMI	14
5 NC-TEKNIikka JA SERVOJÄRJESTELMÄ	19
6 INVESTOINTILASKELMAT	27
7 ULKOISTAMINEN	29
8 TAPAUSKERTOMUS LÄNKELIN OY	36
8.1 NC-SERVO-OHJATTAVA KULJETIN JA OPTIMOINTIOHJELMA.....	38
8.2 OPTIMOIVA KATKAISUSAHA	39
8.3 ULKOISTAMINEN	40
9 JOHTOPÄÄTÖKSET	41
9.1 NC-SERVO-OHJATTAVA KULJETIN	41
9.2 OPTIMOIVA KATKAISUSAHA	41
9.3 ULKOISTAMINEN	42
10 POHDINTA.....	43
LÄHTEET	44

LIITTEET

1 JOHDANTO

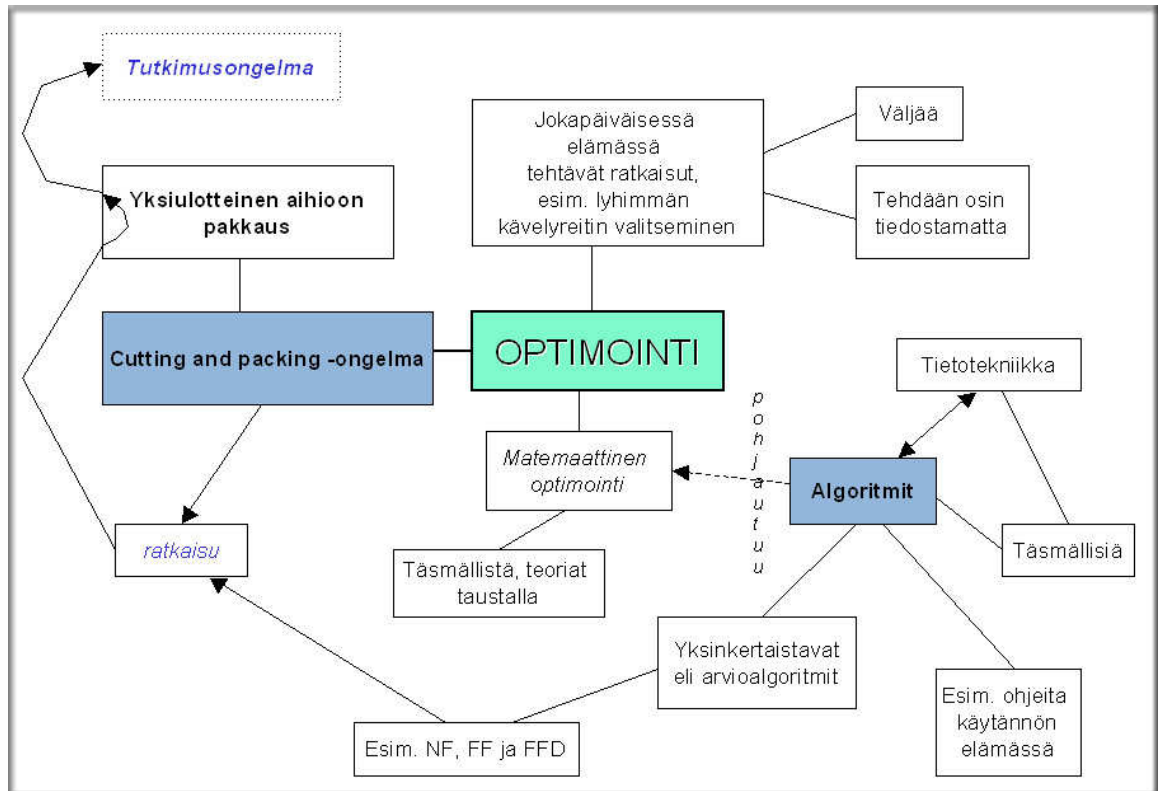
Näinä kustannussäästöjen aikoina kaikki tuotannon prosessit tutkitaan tarkasti lävitse, voidaanko jossakin tuotantovaiheessa kasvattaa säästöjä. Monessa yrityksessä yksi keskeinen säästämisen kohde on materiaalihukan pienentämisessä ja oikeassa raaka-aineen tilaustarpeessa. Tässä opinnäytetyössä on kuvattu niin sanottu yksiulotteinen aihioon pakkauksen ongelma (engl. one dimensional bin-packing problem) ja tapauskertomus ikkunateollisuudesta.

Opinnäytetyön tutkimuskohteena on alumiinin sahaushukan vähentäminen Länkelin Oy:ssä. Tavoitteena on tuoda rahallista säästöä yritykselle vähentämällä alumiiniprofiilien sahaushukkaa. Aihetta käsitellään optimoinnin teorian ja algoritmien avulla.

Länkelin Oy:ssä otettiin käyttöön 2008 osaratkaisu, joka perustuu yksiulotteisen aihioon pakkauksen tekevään optimointiohjelmaan. Optimointiohjelman tulokset eivät kuitenkaan ole hyödynnettävissä tuotannon puolella (toimiston puolella saadaan hyötyjä). Tarkastellaan ratkaisuvaihtoehtoja, jotta optimointia voidaan hyödyntää myös tuotannossa.

Ensimmäisessä vaihtoehdossa optimointi tehdään tietokoneella erillisellä optimointiohjelmalla. Sahauksessa käytetään servomoottorilla toteutettua aihiota liikuttavaa kuljetinta ja kiinteää sahaa, jolla optimointiohjelman tulosteiden mukaiset kappaleet sahataan. Toisessa vaihtoehdossa käsitellään optimoivaa katkaisusahaa, joka itsessään sisältää optimointiohjelman. Kolmantena vaihtoehtona on sahauksen ulkoistaminen toiselle yritykselle, jolloin alumiiniprofiilit tulevat suoraan koottavaksi pyydettyyn katkaisumittaan katkaistuina.

Toivottavasti lukija voi lukiessaan opinnäytetyötä hahmottaa kokonaisuutta alla olevan kuvion 1. perusteella. Kuviossa 1. on opinnäytetyön termien ja aiheiden suhteita toisiinsa ja tutkimusongelmaan yritetty piirtää selventäväksi käsitekartaksi.



Kuvio 1. Opinnäytetyön termien ja aiheiden liittyminen toisiinsa ja tutkimusongelmaan.

2 OPTIMOINNISTA

Optimointi tarkoittaa (teknisesti) jonkin ongelman tai tehtävän minimiratkaisun etsimistä. Vaikka optimointi liittyy vahvasti matematiikkaan ja myös tässä työssä asiaa joudutaan osittain tarkastelemaan matematiikan avulla, jokainen meistä tekee jokapäiväisessä elämässään paljon optimointia. Esimerkiksi mikä on lyhin reitti kauppaan, jos käydään ensin kirjastossa, tai mitä kannattaa lukea, jos kokeeseen valmistautuminen on jäänyt viimeiseen päivään (tällöin luetaan vain mahdolliset tiivistelmät). Minimointiin liittyy väistämättä maksimoiminen; edellisissä esimerkeissä maksimoitaisiin reitin kustannuksella muun muassa ostosaikaa ja kokeeseen valmistautumisessa maksimoidaan sekä vapaa-aikaa että kokeessa onnistumista (vaikka kiitettävään tulokseen ei ehkä päästäkään). Usein optimointiongelmat ilmenevät maksimoinnin ongelmana. Esimerkkinä on opintotuen rahojen riittävyyden varmistaminen seuraavaan tukeen. Tällöin olisi minimoitava kulutusta. Ostetaan esimerkiksi mahdollisimman edullista ruokaa, eikä käytetä rahaa epäoleellisiin, kuten alkoholiin. Käytännön elämässä optimointi tehdään usein tilannetta automaattisesti pohtimatta ja pelkistäen. Matemaattisella optimoinnilla päästään tarkempiin tuloksiin. (Haataja 1993, 13; Wikipedia, Matemaattinen optimointi 2009.)

Matemaattisesti optimointi on sellaisen pisteen hakemista, jossa reaaliarvoinen funktio $f(x)$ — joksi tutkittava optimointiongelma on käännetty — saa pienimmän arvonsa. Tällöin haetaan minimipistettä sopivalla arvolla x . Usein optimointi pitää tehdä maksimoinnin avulla. Matemaattisesti maksimoinnin ratkaisee aina jokin minimointi, joten optimoinnin ratkaisee aina lopulta minimointi. (Kaleva, Matemaattinen Optimointi 1 2009; Wikipedia, Matemaattinen optimointi 2009.) Käytännön esimerkkinä taloustieteessä lasketaan usein kustannusoptimi. Matemaattisesti esitettynä tällöin haetaan tuotannon määrää x , jolla tuotettavat hyödykkeet synnyttävät keskimääräisiltä yksikkökustannuksiltaan pienimmät kustannukset. (Oulasvirta, Lapin yliopisto 2009.)

Optimointi kuuluu osana laajempaan kokonaisuuteen, operaatiotutkimukseen. Operaatiotutkimuksessa lasketaan matemaattisten mallien, tilastollisen analyysin

ja algoritmien (katso kappale 4. Algoritmeista) avulla optimaalisia tai lähes optimaalisia ratkaisuita monimutkaisiin ongelmiin. Usein ongelmia käsitellään optimoinnin avulla tekemällä maksimointeja tai minimointeja. (Wikipedia, Operational research.) *(On huomionarvoista, että opinnäytetyö liittyy oikeastaan vahvasti operaatiotutkimukseen, sillä tutkimusongelmaa lähestytään algoritmien [tietokoneohjelma] kannalta.)*

Optimointia (matemaattista optimointia) on hyödynnetty esimerkiksi kunnan kuljetusten (koulukuljetukset, lumenauraus, ateriapalvelu ja kodinhoidon reitit) ja reittien järjestelemiseen. Optimointia ohjaavat tekijät voivat olla kokonaisuutena erittäin monimutkaisia. On esimerkiksi huomioitava kuljetuksesta riippuen varastot, asiakkaiden osoitteet, aikataulut, kuljetusten täyttöaste, nopeusrajoitukset, ruuhka-ajat, kuljettajien työvuorot ja ylityökustannukset, maantieteellinen tieto, suunnitteluajanjakson pituus ja että esimerkiksi lämmin ruoka päätyy lämpimänä jokaiselle kodinhoidon asiakkaalle. Mitä enemmän tekijöitä huomioidaan, sitä raskaammaksi optimoiminen käy. Optimoiminen tehdäänkin tietokoneella, sillä arvioiden mukaan ihmiselle yli viiden auton reittien suunnitteleminen on ylipääsemätöntä. (Bräysy 2007.)

Kunnan kuljetusten tapauksessa optimoinnin hyödyt syntyisivät reittien lyhenemisestä, joka säästää muun muassa polttoainekustannuksia, kaluston kulumisesta, työaika ja vähentää ympäristön kuormittumista. Myös kuljetusten täyttöaste parantuu ja asiakkaiden palvelu todennäköisesti paranee (esimerkiksi lämmin ruoka ei ehdi jäähtyä liian pitkien matkojen aikana). Joissakin tapauksissa on laskettu jopa 70 % säästöjä kuljetuksista ja 30 % säästöt syntyvät melko helposti. (Bräysy 2007.)

3 CUTTING & PACKING –ONGELMA

Yksiulotteinen aihioon pakkauksen ongelma luokitellaan niin kutsutuksi 'cutting and packing' -ongelmaksi. Cutting and packing (C&P) -ongelmalla tarkoitetaan sitä, että erilaiset katkaisumitat täytyy sijoittaa määrättyyn aihioon (määrättyihin aihioihin) siten, että yksittäiseen aihioon syntyy minimaalinen hukka. Keskeistä on, että aihioden mitat ovat aina suurempia kuin katkaisumitta, eikä katkaisumitoilla saa ylittää aihion mittoja. Minimaalisen hukan lisäksi aihioden kulutuksen on oltava mahdollisimman pieni. (Dyckhoff ym. 1992, 7, 8, 10.)

C&P-ongelmat voivat olla yksi-, kaksi-, kolmi- tai moniulotteisia (enemmän kuin kolme ulottuvuutta, yleensä aika-avaruus yhtenä lisäulottuvuutena) tai ne voivat koskea muita kuin avaruudellisia ulottuvuuksia, kuten massaa, aikaa (muuten kuin aika-avaruuden tarkastelussa), tietokoneen muistin varaamista tai taloudellista ulottuvuutta (esimerkiksi budjetointi). Muut kuin avaruudelliset ulottuvuudet jätetään tässä työssä tarkastelematta. (Dyckhoff ym. 1992, 14, 26.)

3.1 Yksiulotteinen C&P-ongelma

Yksiulotteisissa C&P-ongelmissa vain katkaisumittojen ja aihioden pituuksilla on väliä. Esimerkkinä on putkien ja tankojen katkaisumittojen sijoittaminen aihioon. Sahattavat kappaleet voivat hyvin olla leveämpiä tai kapeampia, vain pituus on keskeinen. Tilannetta kuvaa esimerkki: erimittaisten janojen sijoittamisen ongelma isompiin janoihin. (Dyckhoff ym. 1992, 26.) *(Tämän opinnäytetyön tutkimusongelma käsittelee yksiulotteista C&P-ongelmaa.)*

3.2 Kaksiulotteinen C&P-ongelma

Kaksiulotteisissa C&P-ongelmissa sahattavien kappaleiden (levy) pituus ja leveys ratkaisevat aihioon (iso levy) sijoittamista. Esimerkiksi miten sijoitetaan erikokoiset ikkunalasien leikkausmitat isoihin ikkunalasiaihioihin. Materiaalin paksuus on vakio (tai sillä ei ole väliä). (Dyckhoff ym. 1992, 26.)

3.3 Kolmiulotteinen C&P-ongelma

Kolmiulotteiset C&P-ongelmat koskevat kolmiulotteisia kappaleita, jolloin myös kappaleen syvyys huomioidaan. Kappaleet voivat esimerkiksi olla erikokoisia laatikoita ja aihio on varasto, jonne pitää mahduttaa mahdollisimman paljon laatikoita. (Dyckhoff ym. 1992, 26.)

3.4 Moniulotteiset C&P-ongelmat

Moniulotteiset C&P-ongelmat katsotaan tässä neljäksi ulottuvuudeksi (kolme avaruudellista ulottuvuutta ja aika-avaruus). Tällöin kolme ulottuvuutta voivat koskea laatikoiden mahduttamista varastoon. Lisäksi huomioidaan aika. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että tietynlaiseen (tietynmuotoiseen) varastoon ei kannata ajan minimoimiseksi lastata isoja raskaita ja hitaasti siirrettäviä laatikoita. (Dyckhoff ym. 1992, 26-27.)

Sen lisäksi, että C&P-ongelmia tarkastellaan avaruudellisilla ulottuvuuksilla, ne jaetaan

- 1) *Bin-packing (BP) tyypin optimointiin*
- 2) *Cutting-stock (CS) tyypin optimointiin*
- 3) *Repunpakkaus (engl. Knapsack [KS]) tyypin optimointiin*
- 4) *Paletin-täyttö (engl. Pallet loading [PL]) tyypin optimointiin.*

Jokaisen avaruudellisen ulottuvuuden C&P-ongelmia voidaan ratkaista tietyillä BP, CS, KS tai PL -tyypin optimointimenetelmillä. Optimointimenetelmät ovat käytännössä tietoteknisiä algoritmeja (katso selitys kappale 4. Algoritmeista). (Dyckhoff ym. 1992, 41.)

Neljästä seuraavassa vertailun vuoksi esitettävästä optimointityypistä bin-packing (BP) ratkaisee tämän tutkimuksen yksiulotteisen aihioon pakkauksen ongelman. (Tutkimusongelma 'aihioon pakkaus' on vapaa suomennos tästä englanninkielisestä termistä 'bin-packing'.)

BP tyypin optimointi

BP-tyypissä keskenään erikokoiset kappaleet sijoitetaan niitä itseään isompiin kohteisiin. Huomioidaan kappaleiden ja kohteiden samankaltaisuuksia. Esimerkiksi halutaan sijoittaa katkaisumitat aihioon (aihioihin) niin, että sahaushukka ja aihioden kulutus on minimissään. Tämän tyypin optimointi on yleensä matemaattisesti monimutkaista, mutta optimointia voidaan yksinkertaistaa niin sanotuilla arvio-BP-algoritmeilla, kuten Next-Fit ja First-Fit. (Dyckhoff ym. 1992, 41.)

CS tyypin optimointi

CS tyypissä kappaleet jaotellaan ryhmiin, jossa ryhmän sisällä olevilla kappaleilla on keskenään samankaltaisuutta. Sitten ryhmät sijoitetaan sopivaan kohteeseen. Esimerkkinä voisi olla ruuvien lajittelu koon mukaan (ryhmiin) ja näiden ruuviryhmien pakkaaminen laatikkoon (kohteeseen). Kun kappaleet käsitellään ryhmänä, optimointi yksinkertaistuu huomattavasti, koska optimoinnin kohteena on vain ryhmä. Vertailun vuoksi BP:ssä tutkittavat yksiköt ovat aina yksittäisiä kappaleita. Niin sanotut simplex-algoritmit antavat jo hyvän tuloksen. (Dyckhoff ym. 1992, 41.)

KS tyypin optimointi

KS:n tapauksessa täytyy sijoittaa mahdollisimman suuri määrä kappaleita kohteeseen, jolla on rajoitteita (Dyckhoff ym. 1992, 41). Esimerkiksi on valittava kappaleista, jotka ovat eripainoisia ja erikokoisia, sellaiset, joiden yhteispaino ei ylitä kohteen kantavuutta. Myös kappaleiden yhteisarvo on oltava mahdollisimman suuri. (Parviainen, Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2009.)

Paletin-täyttö tyyppin optimointi

Keskenään samankaltaiset (mittaiset) kappaleet sijoitetaan niitä itseään isompiin kohteisiin. Optimointi on kevyt toteuttaa ja siihen kelpaa yksi ratkaisu, sillä yksi paleteilla täytetty kohde toimii aina esimerkkiratkaisuna jatkossa. (Dyckhoff ym. 1992, 41-42.)

Seuraavaksi käsitellään algoritmeja ja esitellään yksiulotteisen aihioon pakkauksen ongelman (bin-packing) ratkaisevia erilaisia tietoteknisiä algoritmeja.

4 ALGORITMEISTA

Algoritmilla tarkoitetaan täsmällisiä ohjeita, joilla päästään johonkin haluttuun lopputulokseen. Algoritmit liitetään yleensä tietotekniikkaan (ohjelmiin) ja matematiikkaan, mutta monet käytännön elämässä esille tulevat ohjeet ovat niin ikään algoritmeja. Esimerkkinä ovat koulun antamat luento-ohjeet opinnäytesuunnitelmaan ja opponijalle opponoinnin avuksi. Tällöin ohjeet voivat olla melko väljät ja vaiheet lopputulokseen vaihtelevat suuresti. Periaate on kuitenkin se, että jos ohjeita (algoritmia) ei noudateta, oikeaan lopputulokseen ei voida päästä.

Yllä kuvatussa tapauksessa opinnäytesuunnitelman ja opponoinnin ohjeet antoivat väljän tavan käsitellä aihetta lopputulokseen pääsemiseksi. Algoritmeissa voi usein ilmetä vaihtoehtoisuutta, jossa joudutaan esimerkiksi punnitsemaan kahta tilannetta ja valitsemaan toinen. Esimerkiksi on mietittävä opponentin kannalta aiheen käsittelemistä: jos opponentti on perehtynyt tuotantotalouteen, voidaan suunnitelmassa esittää vähemmän tarkasti tiettyjä aihealueita. Jos taas opponentti on opiskellut vaikka markkinointia, on aihealueet esitettävä tarkemmin suunnitelmassa.

Tietoteknisiin ja matemaattisiin algoritmeihin liittyy pääsääntöisesti erittäin täsmällinen ohjeistus lopputulokseen pääsemiseen (tarkennettu algoritmi). Eikä lopputuloskaan saa vaihdella. Jos esimerkiksi luodaan pieni taskulaskimen kaltainen ohjelma, jota ohjaa yksinkertainen laskenta-algoritmi, joka sisältää yhteen-, vähennys-, kerto- ja jakolaskujen säännöt (ohjeet). Tällöin on tärkeää, että laskinohjelman käyttäjä saa oikean lopputuloksen, eli esimerkiksi laskutoimituksesta '2*4' saadaan 'kahdeksan'. Toisaalta opinnäytetyön maailmasta tarkennettu algoritmi olisivat tarkat sivuasettelut ja täsmällinen lähteiden merkitseminen. (Mukaillen: Vihtonen 2002.)

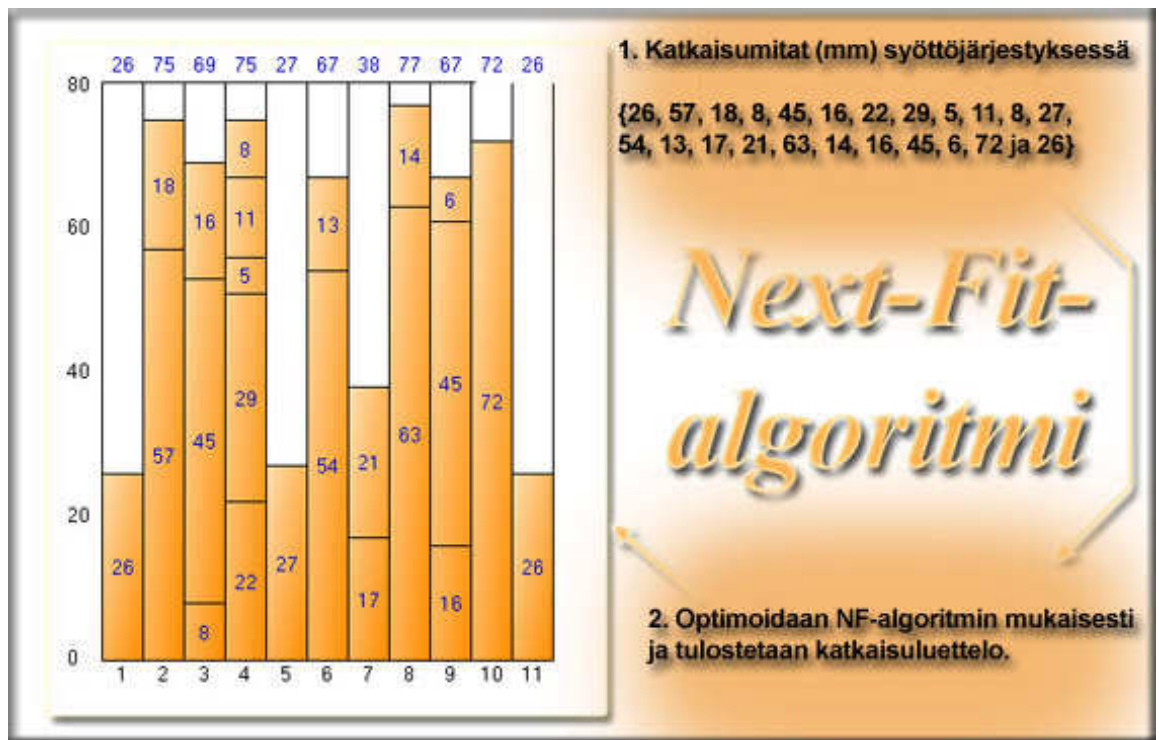
Yksiulotteinen aihion pakkauksen ongelman ratkaiseminen on varsin työläs operaatio. Jotta varmasti voitaisiin todeta kaikkein optimaalisin katkaisumittojen matemaattinen sahausjärjestys, pitäisi käydä lävitse kaikki mahdolliset

järjestykset (yhdistelmät). Täsmällinen ratkaisu vie myös paljon enemmän aikaa (eksponentiaalisesti), mitä enemmän erilaisia katkaisumittayhdistelmiä on optimoituva. Jo melko pienet sahausmäärät voivat johtaa tähtitieteellisiin katkaisumittayhdistelmiin. Siksi optimointia on lähestytty kehittämällä yksinkertaistuksia algoritmeihin; tällöin tarkka matemaattinen käsittely jätetään taka-alalle ja suunnitellaan laskennan yksinkertaistuksia. Niinpä kyseisiä algoritmeja kutsutaan arvio-algoritmeiksi (engl. approximation algorithm). Niiden antama tulos on parhaimmillaan yleensä lähes yhtä hyvä kuin käymällä kaikki mahdolliset yhdistelmät lävitse. Aikaa kuitenkin säästyy usein huomattavasti. (Høyland 1992, 2.)

Seuraavaksi käsitellään joitakin yleisiä (yksiulotteisen) aihioon pakkauksen tietoteknisiä algoritmeja. Rajoitteena niille on se, että aihion koko täytyy aina olla kiinteä. Tämä ehto kuitenkin aina täyttyy opinnäytetyön ongelmassa (6 000 mm aihiot).

4.1 NF-algoritmi

NF eli *Next-Fit* on yksinkertaisin käsiteltävistä algoritmeista. Sitä käytettäessä katkaisumitat käydään syöttöjärjestyksessä (esimerkiksi tuotantokoneesta yksitellen tulevat kappaleet) lävitse ja sijoitetaan aktiiviseen aihioon. Kun algoritmi lukee ensimmäisen katkaisumitan, se tuottaa ja aktivoi ensimmäisen aihion. Sen jälkeen se sijoittaa mitan aihioon (kuvio 2.). Algoritmi huomioi, että yksittäiseen aihioon sijoitettavat mitat eivät ylitä aihion pituutta. Kun yksittäiseen aihioon ei mahdu enää seuraavaa mitta, algoritmi tuottaa uuden aihion, muuttaa sen aktiiviseksi ja sijoittaa mitan sinne. Mittojen sijoittaminen aihioihin jatkuu niin kauan, kunnes viimeinen mitta on sijoitettu aihioon. Tämän jälkeen algoritmi sulkee viimeisenkin aktiivisen aihion. (Høyland 1992, 2.)



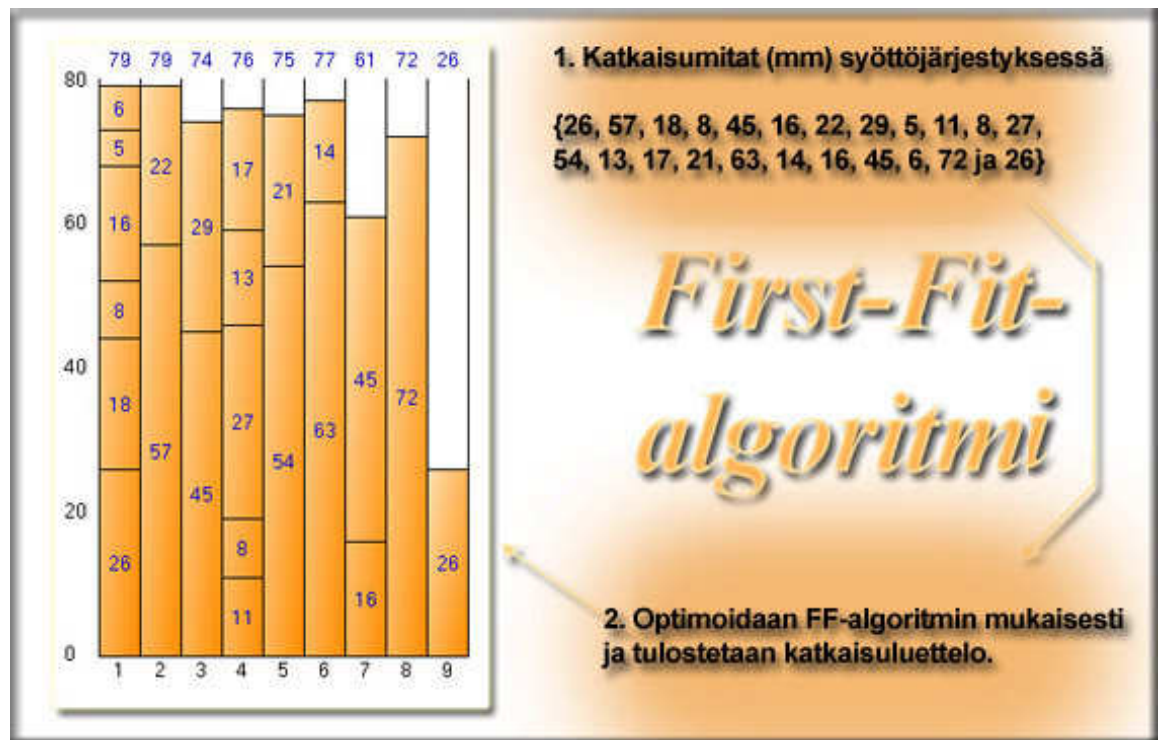
Kuvio 2. Next-Fit -algoritmin toimintaa, sahaushukka (valkoisella oranssien palkkien [katkaisumittojen] yllä) on suuri, 29,7%. (Muokattu ohjelmistotulosteesta.)

Kuvion 2. tulkinta:

Algoritmi saa esimerkiksi tuotannonohjausjärjestelmästä katkaisumittoja viiden sekunnin välein. Tarkoituksena on sahata miniteräsprofiileja asiakkaalle 80 mm aihioista mahdollisimman optimaalisesti. Ensimmäinen teräsprofiilin katkaisumitta (26 mm) asettaa algoritmin tuottamaan ja aktivoimaan ensimmäisen aihion ja sijoittamaan mitan sinne. Seuraava katkaisumitta (57 mm) ei enää mahtuisi aihioon, koska mittojen kokonaispituus on 83 mm. Algoritmi päättää ensimmäisen aihion käsittelyn, tuottaa ja aktivoi seuraavan aihion ja antaa samalla esimerkiksi automaattisahalle käskyn katkaista 26 mm teräsprofiili 80 mm aihioista. Katkaisumitan 57 mm jälkeen on vuorossa mitta 18 mm. Koska aihiossa on vielä tilaa 23 mm, mitta sijoitetaan aihioon. Tässä vaiheessa toisessa aihiossa on enää 5 mm vapaata tilaa. Niinpä neljäs katkaisumitta ei enää mahdu aihioon. Algoritmi antaa taas käskyn automaattisahalle katkaista 57 mm ja 18 mm uudesta aihioista. Tämä prosessi jatkuu niin kauan kuin katkaisumittoja saadaan (tässä tapauksessa listauksen viimeinen mitta on 26 mm).

4.2 FF-algoritmi

FF eli *First-Fit* -algoritmi on *NF*-algoritmia kehittyneempi. *NF*:in tapauksessa jo täytettyihin aihioihin on saattanut jäädä sen verran tyhjää tilaa, että käsittelyssä oleva katkaisumitta saattaisi mahtua sinne (kuvio 3.). Tällöin jätetään käsittelyyn hetkellä oleva aktiivinen aihio taustalle ja aktivoidaan uudelleen aihioita vasemmalta lähtien. Yksittäistä katkaisumittaa koetetaan mahduttaa johonkin uudelleen aktivoituun aihioon. Mikäli katkaisumitta ei uudelleen aktivoituihin aihioihin mahdu, algoritmi ottaa taustalle jätetyn aktiivisen aihion ensisijaiseksi aktiiviseksi ahioksi ja sijoittaa mitan sinne, jos se mahtuu. Jos ei mahdu, tuotetaan ja aktivoidaan uusi aihio ja sijoitetaan mitta sinne. *FF*:llä saadaan usein aihoiden päähän jäävää hukkaa pienennettyä ja jopa kokonaisten aihoiden määrää vähennettyä. (Høyland 1992, 3.)



Kuvio 3. First-Fit-algoritmin toimintaa, sahaushukka on kohtuulliset 14,0%. (Muokattu ohjelmistotulosteesta.)

Kuvion 3. tulkinta:

Ensimmäinen katkaisumitta käynnistää algoritmin tuottamaan ja aktivoimaan ensimmäisen aihion. Mitta 26 mm sijoitetaan sinne. Toinen mitta 57 mm ei mahdu enää 1. aihioon. Siis aihio suljetaan ja toinen tuotetaan ja aktivoidaan, sijoitetaan 57 mm sinne. Kolmas katkaisumitta 18 mm mahtuisi ensimmäiseen

aihioon. Niinpä algoritmi aktivoi uudelleen 1. aihion ja sijoittaa mitan sinne. Myös mitta 8 mm mahtuu sinne, mutta 45 mm ei mahdu ensimmäiseen eikä toiseenkaan aihioon. Siis suljetaan 1. ja 2. aihiot, tuotetaan ja aktivoidaan kolmas aihio, johon mitta 45 mm voidaan sijoittaa. Mitta 16 mm mahtuu 1. aihioon, sillä algoritmi on ohjelmoitu tutkimaan vapaata tilaa äärimmäisenä vasemmalta alkaen.

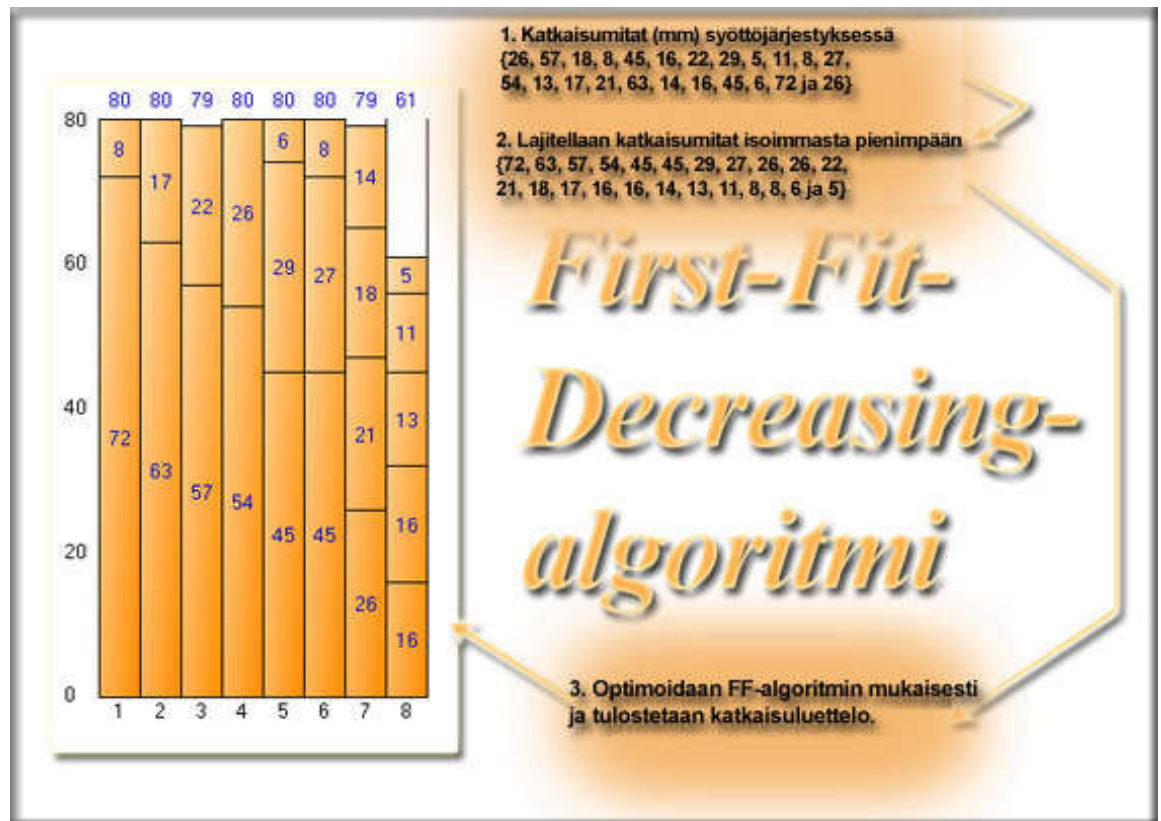
Loppujen lopuksi mitat mahtuvat selvästi tiiviimmin kuin NF-algoritmia hyödynnettäessä. Tuotannossa on huomattava, että esimerkiksi edellä esitetty miniteräsprofiilien sahaaminen on tehtävä sykleittäin (esimerkiksi optimoidaan ensimmäiset kymmenen tai 20 katkaisumittaa ja sahataan teräsprofiilit vasta sitten).

NF- ja FF-algoritmeja kutsutaan *on-line* -algoritmeiksi ja niille on tyypillistä reaaliaikaisuus tai melko lyhyet odotusajat. Tämä tarkoittaa sitä, että katkaisumitat optimoidaan aihioihin sellaisessa mittojen tulojärjestyksessä kuin ne saadaan (esimerkiksi tuotantokoneelta). Ongelmana tässä on se, että katkaisumitat tai niiden kokonaismäärä eivät ole tiedossa. Vain historia (täytetyt aihiot) ja nykytilanne tiedetään. Varsinkin isot katkaisumitat, jotka saadaan tietoon myöhemmin, heikentävät *on-line* -algoritmien tehoa. Isojen katkaisumittojen on nimittäin optimoinnin tehokkuuden kannalta tärkeää olla sahauksen järjestyslistalla alussa. (Høyland 1992, 5-7.)

Off-line -algoritmeja ovat esimerkiksi First-Fit-Decreasing (FFD) ja Best-Fit-Decreasing (BFD) (BFD on melko samantyyppinen FFD:n suhteen toiminnallisesti ja tehollisesti ja siksi sen tarkastelu jätetään tässä pois). *Off-line* -algoritmien tapauksissa kaikki sahattavat mitat ja määrät on saatava yhdellä kertaa. Käytännössä katkaisumitat lajitellaan jonoon isoimmasta pienimpään (laskevassa järjestyksessä). Jos yhtä mittaa on useampi, ne ovat peräkkäin. *Off-line* -algoritmit soveltuvat hyvin sahauksen etukäteen tapahtuvaan suunnitteluun ja esimerkiksi raaka-aineen oikeaan tilaustarpeeseen. Reaaliaikaisessa käytössä niiden etu ja tarkoitus menisivät hukkaan. (Høyland 1992, 6-8; Khuri, San José State University.)

4.3 FFD-algoritmi

First-Fit-Decreasing -algoritmi toimii kaksivaiheisesti: ensin sahausmitat järjestellään isoimmasta pienimpään (laskevasti). Toisessa vaiheessa toimitaan kuten pelkän First-Fit -algoritmin tapauksessa (kuvio 4.). Tällä tavalla saadaan sijoiteltua isot mitat alkuun ja hankalat pienet mitat voidaan hajasijoitella aihioihin. Käytännössä FFD-algoritmi ratkaisee paitsi tämän opinnäytetyön optimointiongelman (etukäteen tehtävä suunnittelu on tässä ongelmassa mahdollinen), myös muut (yksiulotteiset) bin-packing -ongelmat hyvin tehokkaasti, kun mitataan hyvää lopputulosta ja optimointiin käytettävää aikaa. (Khuri, San José State University.)



Kuvio 4. First-Fit-Decreasing -algoritmin toimintaa, sahaus hukka on vain 3,30 %. (Muokattu ohjelmistotulosteesta.)

Kuvion 4. tulkinta:

FFD-algoritmi kuuluu niin sanottuihin off-line -algoritmeihin. Tämä tarkoittaa sitä, että algoritmin tehokkaan toiminnan kannalta koko katkaisuluettelo on saatava kerralla. Miniteräsprofiilien kannalta tämä tarkoittaa kaikkien katkaisumittojen käsittelyä kerralla, jolloin suuret katkaisumitat voidaan järjestää alkuun, joka tehostaa algoritmin toimintaa FF:iin verrattuna; itse katkaisuluettelon optimointi tehdään FF:llä. Käytännössä miniteräsprofiilit sahataan kaikki kerralla, ei yksitellen eikä erissä.

FFD-algoritmista on kehitetty viime vuosina muunnoksia, joilla optimointia on entisestään parannettu. Perinteiseen FFD-algoritmiin liittyy nimittäin jonkin verran optimoinnin tehottomuutta, jos optimoitavissa katkaisumitoissa on paljon pieniä mittoja. Näillä algoritmin muunnoksilla sahaushukka pienenee entisestään. (Sallaume ym. 2000.)

Algoritmien vertailua toisiinsa ja käsin tehtävään optimointiin sahausvaiheessa

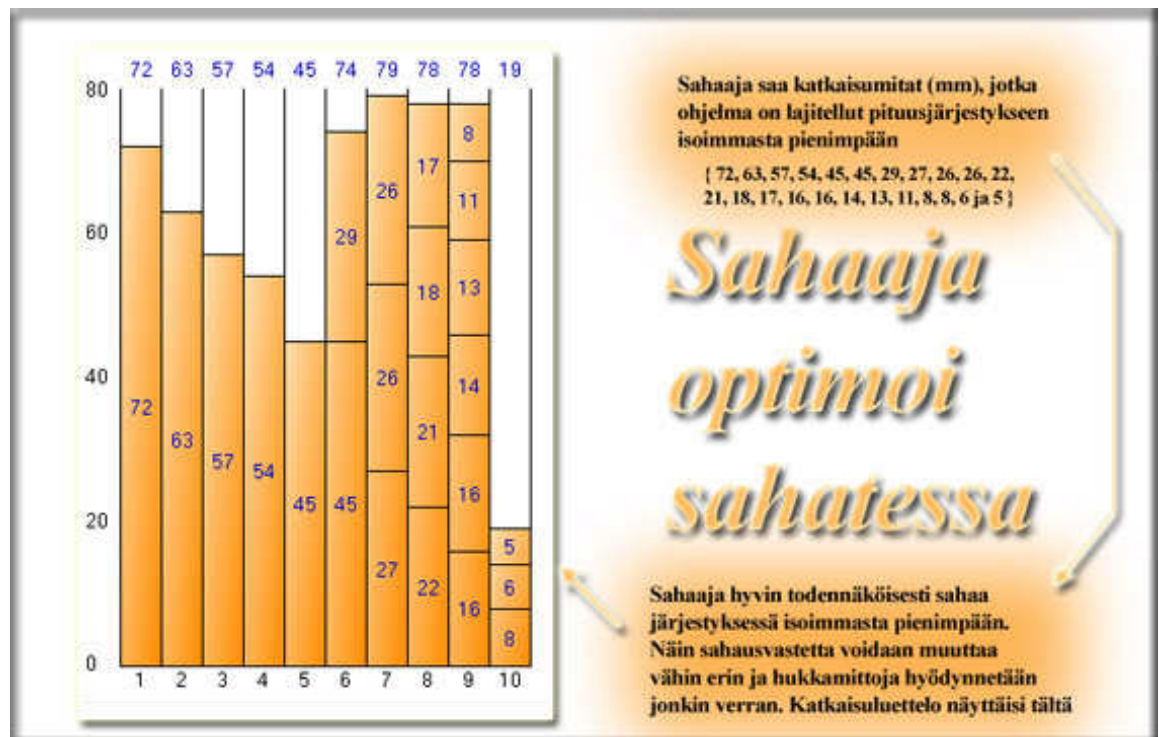
Algoritmeja vertaillaan toisiinsa mittaamalla ajankäyttöä ja optimointitehokkuutta (taulukko 1.). Ajankäytön osalta taulukon 1. merkinnät 'logaritminen' viittaa siihen, että mitä enemmän katkaisumittoja joudutaan optimoimaan, ajankäyttö kasvaa suhteessa enemmän (logaritmisesti). (Mukaillen: Høyland 1992, 8.)

Sahaushukan arvioimisessa, jos puhutaan esimerkiksi 100 metrin sahaamisesta NF:ää hyödyntämällä (hukka- % noin 25), 25 metriä voidaan luokitella jätteeksi tai osa on vähintään varastoitava. FF:llä (hukka- % noin 15) 15 metriä jäisi hyödyntämättä. Mutta FFD:llä jääetään helposti noin 5 %:in hukkaan, eli 100 metristä saataisiin hyödynnettyä jopa 95 metriä. Tämä tuo yleensä selviä materiaalisäästöjä heikkoihin optimointikeinoihin verrattuna.

Taulukko 1. Algoritmien tehokkuus suhteessa ajankäyttöön. Vertailun vuoksi on käsin tehtävä optimointi sahausvaiheessa. (Mukaillen: Høyland 1992, 8)

Algoritmi	Ajankäyttö		Optimointitehokkuus
	<i>esikäsittely</i>	<i>optimointivaihe</i>	
<i>Next-Fit</i>	Ei esikäsittelyä	Vähäinen (lineaarinen)	Huono
<i>First-Fit</i>	Ei esikäsittelyä	Logaritminen	Keskinkertainen / melko hyvä
<i>First-Fit-Decreasing</i>	Logaritminen	Logaritminen	Hyvä / erittäin hyvä
<i>Käsin tehtävä optimointi</i>	Voidaan ohittaa	Logaritminen / mahdotonta	Huono

Taulukko 1. osoittaa käsin tehtävän optimoinnin tehottomuuden. Syntyy sahaushukkaa ja aihioita kuluu enemmän. Aikaa kuluu myös optimoinnin suunnitteluun sahatessa. Kuviossa 5. esitetään arvio, millaisen katkaisukaavion taitava sahaaja voisi työskennellessään tuottaa.



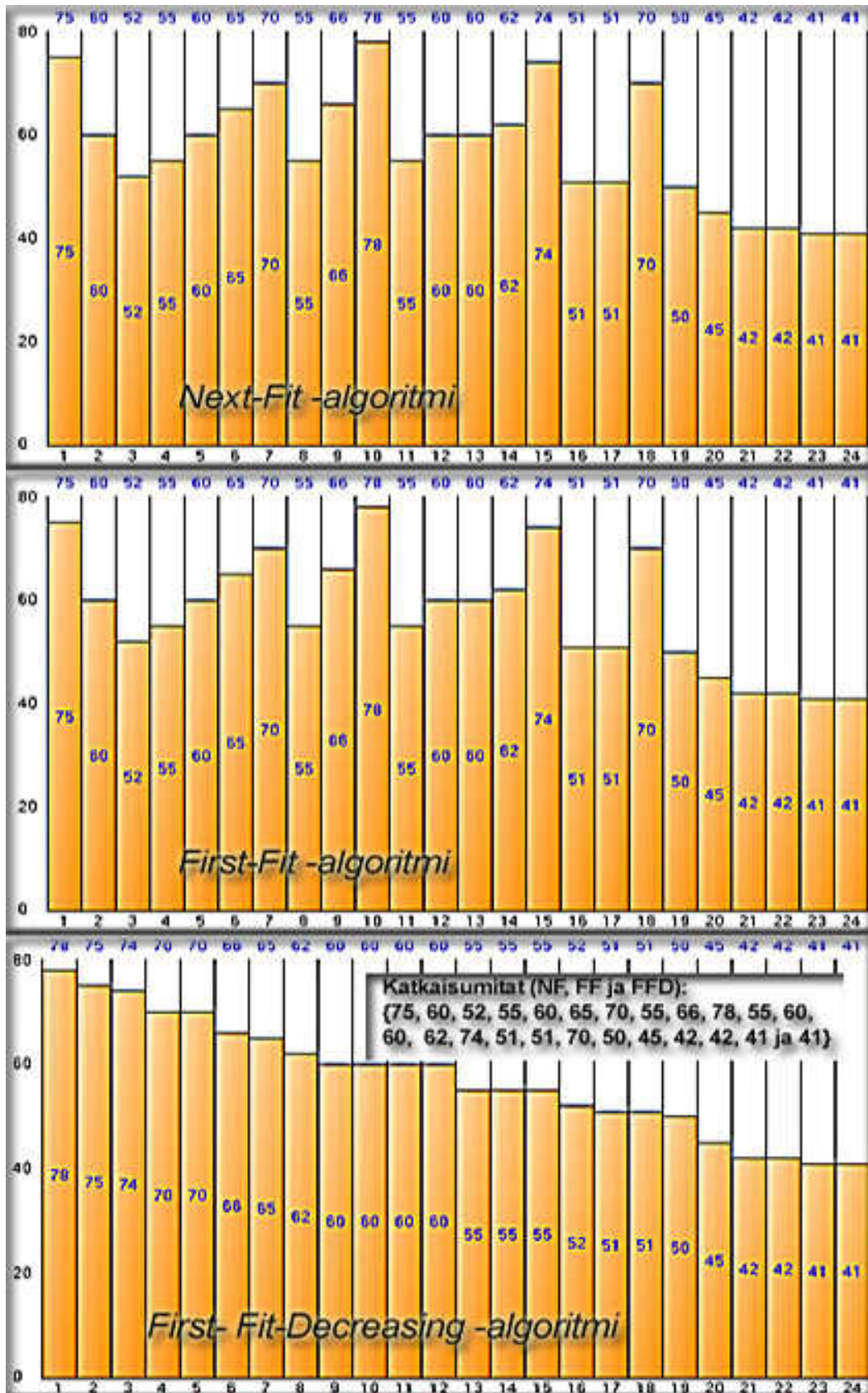
Kuvio 5. Taitava sahaaja optimoi työtä tehdessään. Hänen tekemänsä optimointi saattaisi olla kuvion katkaisukaavion mukainen. Sahaushukka on tässä 22,6 %, eli hieman parempi kuin NF-algoritmilla, mutta huono kunnollisiin algoritmeihin verrattuna. (Muokattu ohjelmistotulosteesta.)

Ongelmalliset mitat

Länkelin Oy:ssä päädyttiin keväällä 2008 osaratkaisuun, jossa ryhdyttiin käyttämään ohjelmaa, joka tekee yksiulotteisen aihioon pakkauksen optimaalisesti. Välillä tuli esille — käytännön huomiona — sahausmittoja optimoitaessa syntyvät tavallista suuremmat sahaushukat (esimerkiksi 25 %, mikä on paljon), kun ohjelma toimii FFD:n periaatteilla. Normaalisti kun katkaisumittoja optimoidaan, mukana on paljon sekalaisia mittoja. Tällöin sahaushukka on pientä ja katkaisukaavio on tiivis (sahaushukka jää helposti 1-7 %:iin).

Kuviossa 6. on esitetty ääriesimerkki katkaisumitoista, joissa kahden mitan summa ylittää aina 80 mm. Sen tähden yhteen aihioon mahtuu vain yksi mitta ja kaikki edellä tarkastellut algoritmit ovat yhtä tehottomia (FFD vain järjestää mitat isoimmasta pienimpään). Asian voi myös päätellä esitettyjen algoritmien toimintatavasta: ne koettavat mahdollistaa kaksi tai useamman mitan samaan aihioon. Jos sovitettavan mitan ja aihiossa ensimmäisenä olevan mitan summa on suurempi kuin aihion pituus, niin käsittelyvuorossa oleva katkaisumitta joudutaan aina sijoittamaan toiseen (uuteen) aihioon.

Käsin optimoiminen (sahaaminen) tuottaisi yhtä hyvän (tai huonon) tuloksen. Sahaushukka kuvion 6. tapauksissa on peräti 28,1 %. Parempaa tulosta ei voi saada millään algoritmilla, sillä kaikkien niiden ehdot perustuvat useamman mitan sijoittamiseen aihioon siten, että yhteismitta ei ylitä aihion mittaa. Tällaisessa tapauksessa pitää hyväksyä sahaushukka, koska katkaisumittoja ei ollenkaan voida optimoida.



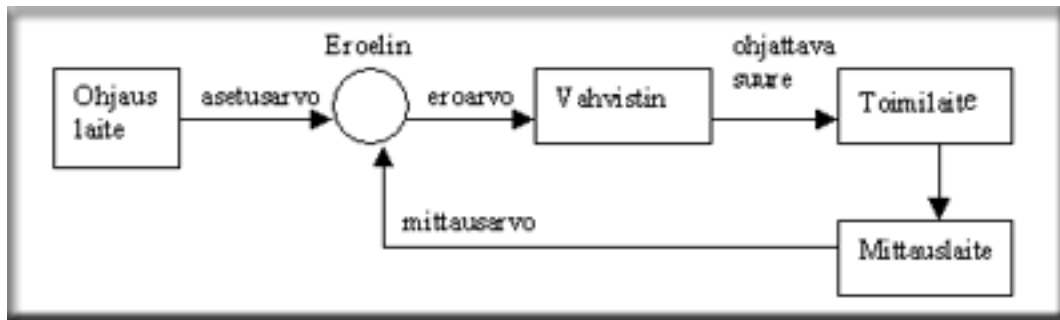
Kuvio 6. Kannattaa kaivaa käsisaaha esille. NF, FF ja FFD tuottavat kaikki yhtä huonon tuloksen. Sahaushukka on 28,1 %. Mittoja ei voi optimoida, käsin sahattaessa saataisiin sama lopputulos. (Muokattu ohjelmistotulosteesta.)

5 NC-TEKNIikka JA SERVOJÄRJESTELMÄ

Numeerisella ohjauksella (NC) tarkoitetaan koneen ohjausta merkeillä ja numeroilla. Konetta ohjaa yleensä joko ohjelmoitava logiikka tai tietokone. Numeerisen ohjauksen etuina ovat esimerkiksi tarkkuus, nopeus ja käsin tehtävän työn väheneminen ja siten palkkakustannusten pieneneminen. Esimerkki NC-ohjelmoinnista: N005 G00 X150.000 Y350.000 Z50.00, jossa N on lausenumero, G on liiketila (tässä tapauksessa on kyseessä nopea liike) ja XYZ ovat koordinaatit. (Pikkarainen 1999, 7-10, 79-85.)

Servolla tarkoitetaan asemointiin perustuvaa järjestelmää, jonka oleellisena osana on takaisinkytkentä toimilaitteen ohjauspiirille. Takaisinkytkennällä mitataan lähtöarvo, jota verrataan järjestelmän ohjauksen ohjearvoon. Servotekniikassa järjestelmän tehtävänä on ohjata toimilaite haluttuun arvoon. Toimilaitteina voivat olla erilaiset moottorit tai sylinterit. Servotekniikan avulla saadaan aikaan nopeita ja tarkkoja liikkeitä. Servotekniikan muuttuminen digitaaliseksi helpottaa järjestelmän suunnittelutyötä. Digitaaliset järjestelmät voidaan koota valmiista yksiköistä kuten mikrotietokoneista, ohjelmoitavista logiikoista sekä askelmoottoreista, jotka ovat helpompia rakentaa kuin analogiset järjestelmät. (Fonselius, Rinkinen, Vilenius 1998, 7-8.)

Kuviossa 7 on kuvattu servojärjestelmän periaatteellinen rakenne. Ohjauslaitteena yleensä oleva tietokone tai ohjelmoitava logiikka antaa asetusarvon, joka johdetaan eroelimen kautta vahvistimeen ja joka lopulta muuntaa arvon toimilaitteelle sopivaksi. Toimilaite suorittaa ohjauksen antaman tehtävän. Takaisinkytkennästä saatu signaali muokataan sopivaksi ja johdetaan eroelimeen. Eroelin vähentää ohjauslaitteen antamasta ohjausarvosta takaisinkytkennästä saadun signaalin. Toimilaite on saavuttanut halutun tilan, kun asetusarvo ja takaisinkytkennästä saatu signaali ovat yhtä suuret. Tällöin eroarvoksi tulee nolla. (Fonselius, Rinkinen, Vilenius 1998, 8.)



Kuvio 7. Servojärjestelmän periaate (Fonselius, Rinkinen, Vilenius 1998, 8.)

Avoim ohjauspiiri

Avoimessa ohjauspiirissä voidaan käyttää askelmoottoria. Askelmoottori pyörähtää nimensä mukaisesti askelittain, esimerkiksi yhden asteen. Askelmoottorin heikkoutena on liian pieni vääntömomentti. Pienen vääntömomentin takia askelmoottori hukkaa herkästi ohjauspulsseja. Avoimen ohjauspiirin heikkoutena on se, että moottorin ohjaaman luistin siirtymästä matkasta ei ole minkäänlaista varmistusta. Tällöin ohjausjärjestelmä ei voi korjata liikettä tilanteessa, jossa luistin siirtymä ei ole halutunlainen. (Pikkarainen 1999, 7-27.)

Suljettu säätöpiiri

Suljetussa säätöpiirissä käyttömoottoria ohjataan takaisinkytkennän kautta, jolloin ohjausjärjestelmä tietää luistin sijainnin tarkasti. Takaisinkytkentä muodostuu mittauselimestä ja vertailuelimestä. Takaisinkytkennällä ohjattua moottoria kutsutaan servomoottoriksi. Mittauselin antaa asema-arvon vertailuelimelle, joka vertaa sitä asetusarvoon. Jos arvot eroavat toisistaan, vertailuelin antaa käyttömoottorille ajosignaalin. Mittausmenetelmiä on kaksi, absoluuttinen ja inkrementaalinen. Absoluuttisessa menetelmässä luistin sijaintia verrataan koko ajan nollapisteeseen. Inkrementaalisisessa menetelmässä mittaus tapahtuu pulsseilla; laskemalla yhteen pulssit saadaan selville luistin aseman muutokset. (Pikkarainen 1999, 7-27.)

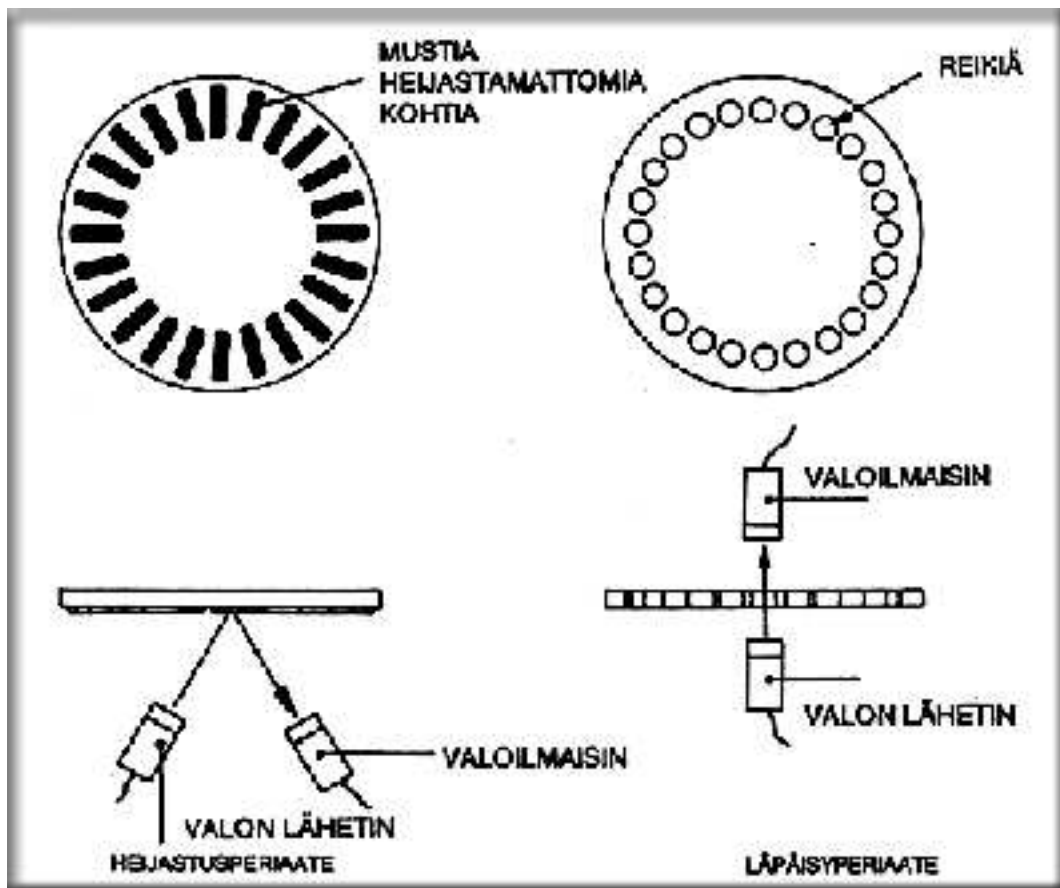
Mittausarvoja voidaan käsitellä joko digitaalisesti tai analogisesti. Digitaalisessa menetelmässä mittausarvo annetaan toistuvilla signaaleilla ja arvoa käsitellään

vain digitaalisessa muodossa. Analogisessa menetelmässä käytetään muuttuvaa suuretta. Mittauselin lähettää mitatun suureen, jännitteen tai jonkin muun absoluuttisesti muuttuvan suureen avulla. Analogisessa menetelmässä signaali joudutaan kuitenkin muuttamaan digitaalseksi, koska ohjauksen ja vertailuelinten toiminta on digitaalista logiikkapiirien takia. Tällöin välille asennetaan A/D-muunnin, joka muuntaa mittausarvon logiikalle sopivaksi. (Pikkarainen 1999, 27.)

Antureista

Servojärjestelmässä ohjauslaite tarvitsee asemasta jatkuvaa tietoa. Lineaarisesti liikkuvilla antureilla mitataan suoraviivaista liikettä ja pyörivillä antureilla mitataan kulmaliikettä. Pyörivää anturia voidaan käyttää myös suoraviivaisen liikkeen mittaamiseen, mikäli suoraviivainen liike välitetään pyöriväksi liikkeeksi. Anturit jaetaan digitaalisiin ja analogisiin. Digitaaliset anturit ovat yleensä joko koodi- tai pulssiantureita. Analogisena anturina käytetään yleensä potentiometriä. Nykyisin analogisten antureiden käyttö on vähenemässä digitaalisten ohjauslaitteiden yleistymisen myötä. (Fonselius, Rinkinen, Vilenius 1997, 123.)

Pulssianturit (kts. kuvio 8.) ovat yleensä optisesti toteutettuja. Optinen pulssianturi koostuu valonlähteestä, valonilmaisimesta, hilakiekosta ja tarvittavasta mittauselektronikasta. Pulssianturi edellyttää laskuria. Hilakiekko sijoitetaan valonlähteen ja valokennon väliin. Hilakiekko on jaoteltu valoa läpäiseviin ja valoa läpäisemättömiin vuorotellen toistuviin tasalevyisiin sektoreihin. Hilakiekko katkoo valosignaalia pyöriessään, jolloin valonilmaisimelta saadaan lähtönä pulssijono. Anturin mittaustarkkuus riippuu siitä, kuinka paljon hilakiekossa on sektoreita.



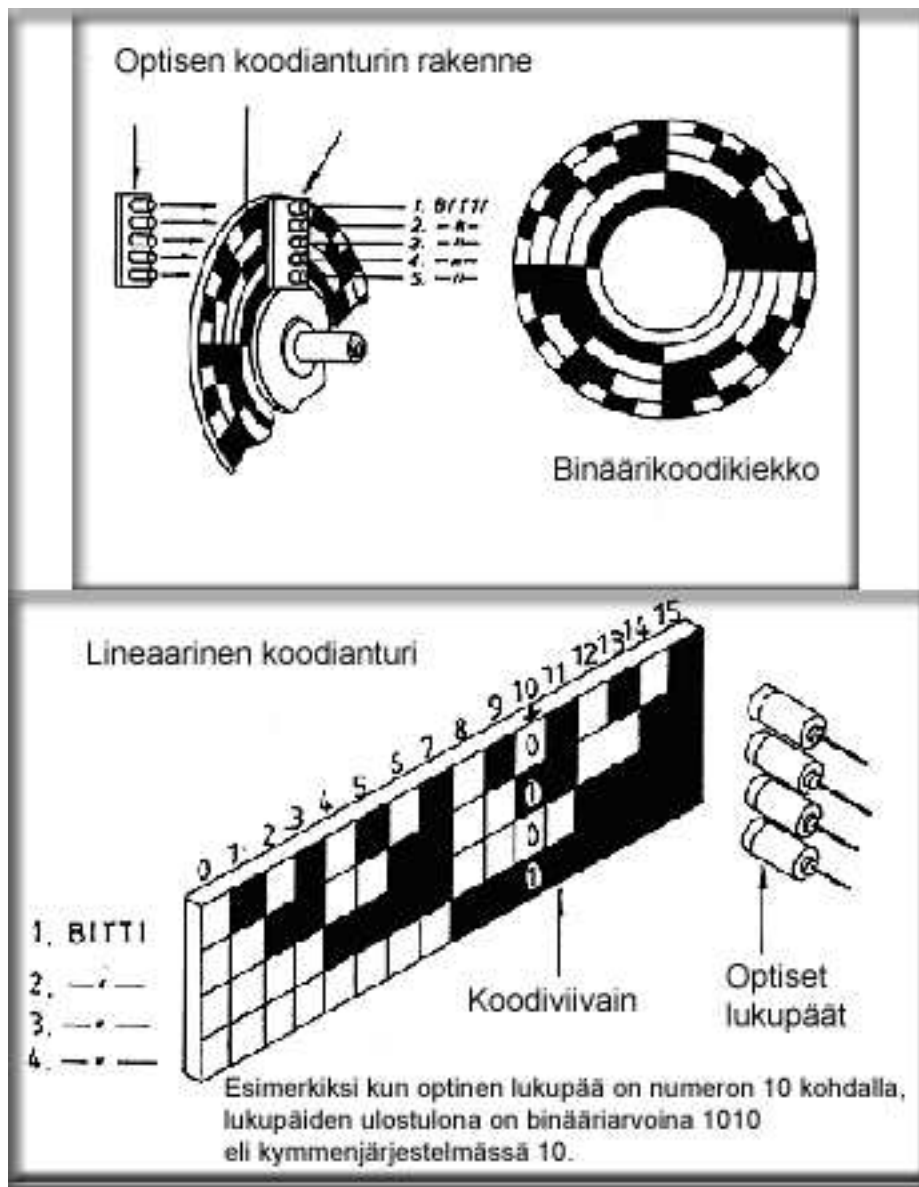
Kuvio 8. Optisen pulssianturin toiminta (Pentti Viluksela 2009.)

Yksinkertaisella pulssianturilla ei saada selville liikkeen suuntaa. Liikesuunnan selvittämiseksi täytyy käyttää joko kahta peräkkäistä valokennoa tai kahta sektorikiekkoa ja kahta rinnakkaista valonilmaisinta. Kahta kennoa käytettäessä saadaan signaali, jonka vaihe-ero on 90 astetta. Vaihesiirron avulla päätellään liikkeen suunta. Anturit soveltuvat myös nopeuden mittaamiseen, koska anturin pulssitaajuus on verrannollinen liikkeen nopeuteen. (Fonselius, Rinkinen, Vilenius 1997, 126-127; Kotamäki, Nyberg 1992, 24.)

Suoraviivaisen liikkeen mittaamiseen voidaan käyttää myös lineaarista pulssianturia. Lineaarisen pulssianturin toimintaperiaate on samanlainen kuin pyörivässä pulssianturissa, mutta hilakiekkona on tässä tapauksessa viivaimena. Viivaimen tai kennon liikkeessä saadaan pulssi. Pitkiä matkoja voidaan mitata käyttämällä useampaa perättäistä mittasauvaa, mutta usein on edullisempaa muuttaa lineaariliike pyöriväksi, jolloin voidaan käyttää tavallista pulssianturia. Anturi täytyy suojata epäpuhtauksien varalta, sillä epäpuhtaudet voivat sotkea

hilaviivat. Yleensä pyörivä anturi on helpompi suojata kuin lineaarinen. (Fonselius, Rinkinen, Vilenius 1997, 127.)

Koodianturin rakenne on samankaltainen kuin pulssianturin. Koodianturissa hilakiekkoon on koodattu tietyllä tavalla ja valonilmaisimia sekä valonlähteitä on useampia (kts. kuvio 9.). Koodianturi on absoluuttianturi, jonka käytössä ei tarvita laskuria pulssien laskemiseen. Koodianturissa kulma-asentoa vastaa tietty koodi. Koodiantureita on sekä suoraviivaisia että pyöriviä. Koodianturia käytettäessä etuna on, että pulssianturin tapaan sitä ei tarvitse käynnistyksen yhteydessä ajaa tiettyyn nolla-asemaan. Koodiantureita käytetään luotettavuutensa vuoksi yleensä NC-koneissa ja robotiikassa. Koodiantureiden käyttöä rajoittaa korkea hinta. (Fonselius, Rinkinen, Vilenius 1997, 127; Kotamäki, Nyberg 1992, 25.)



Kuvio 9. Optisen koodianturin (kiekko ja lineaarinen) toiminta (Pentti Viluksela 2009.)

Ohjelmoitava logiikka

Ohjelmoitava logiikka eli PLC on laite, joka ohjaa lähtöihin kytkettyjä toimilaitteita ohjelman ja anturien antamien signaalien mukaan. Ohjelmoitava logiikka koostuu tulo- ja lähtöyksiköistä, keskusyksiköstä, ohjelmamuistista, ohjelmointilaitteesta ja virtalähteestä. Tuloyksiköihin kytketään tulosignaalit erilaisilta antureilta ja lähtöyksiköihin kytketään kaikki logiikan ohjaamat toimilaitteet ja toimielimet. Keskusmuisti sisältää logiikan ohjausohjelman eli käskyt, joilla logiikan pitää toimia. Keskusyksikkö suorittaa ohjelmamuistin mukaisen ohjelman asettamalla lähdöt tiloihin, joissa niiden ohjausohjelman ja tulojen mukaan pitää olla.

Ohjelmointilaitteen avulla ohjelmoidaan sekä käynnistetään ja pysäytetään logiikka. Virtalähde muodostaa logiikan ja ulkoisten ohjausten tarvitsemat tehonsyötöt. Ohjelmoitavan logiikan sijaan voidaan käyttää tavallista mikrotietokonetta. (Kotamäki, Nyberg 1992, 82-90.)

Optimoiva katkaisusaha

Optimoivan katkaisusahan hyötynä on vähentynyt hävikki ja sitä kautta kasvanut tuottavuus. Optimoivan katkaisusahan toimii sille annettujen mittojen mukaan laskemalla vaihtoehdot, joilla hukkatavaran osuus on mahdollisimman pieni. Optimoiva katkaisusaha toimii optimointiohjelmaan ja tavalliseen katkaisusahaan verrattuna itsenäisemmin ja siksi se vaatii vähemmän ihmisen ohjausta.

Optimoivan sahan etuja:

- sahan ohjaus 'muistaa' mitat
- tarkkuus
- nopeus.

(Dimter 2009.)



Kuvio 10. Optimoiva katkaisusaha optimoimassa puun mittoja, mutta laitteisto käy myös alumiinin leikkaukseen. (Dimter 2009.)

6 INVESTOINTILASKELMAT

Investoinnin kannattavuutta mittaava investointilaskelma tehdään investoinnin pitoajalle. Laskelman tarkoituksena on selvittää investoinnin järkevyyttä ja kannattavuus. Investointilaskelman merkitys korostuu silloin, kun investointivaihtoehtoja on useampia. Investointilaskelman tekeminen on liiketaloudellisesti järkevää, sillä investointilaskelmassa pitää miettiä investoinnin tuottoa, rahoitusvaihtoehtoja ja investoinnin toteutuskustannuksia. Investointilaskelman merkitys nousee investoinnin koon mukana, mitä suurempi investointi on, sitä enemmän täytyy panostaa investointiin liittyvien tietojen keräämiseen. (Posintra 2008.)

Useimmiten yritykset tekevät harvoin keskenään samankaltaisia investointeja, tällöin kokemusta investointien aiheuttamien kustannusten arvioinnista ei ole. Tämän takia investoinnit on suositeltavaa tehdä mahdollisimman valmiina kokonaisuuksina. Vaikka investoinnit tehtäisiin avaimet käteen periaatteella, kustannukset pyrkivät tästä huolimatta kasvamaan, koska toteutuksen aikana huomattujen puutteiden huomioon ottaminen ja poistaminen aiheuttaa lisäkustannuksia. Tästä syystä investointibudjettiin olisi syytä varata noin 20 % ylimääräinen puskuri. Kustannusten ylityksen lisäksi riskinä on toimituksen viivästyminen, jolloin investointi ei maksakaan itseään takaisin suunnitellun aikataulun mukaan. (Posintra 2008.)

Investoinnin kannattavuutta tulee arvioida vähintään kahdella seuraavista menetelmistä:

- nykyarvomenetelmä
- takaisinmaksuajan menetelmä
- annuiteettimenetelmä
- sisäisen korkokannan menetelmä
- yksinkertaistettu sisäisen korkokannan menetelmä.

Nykyarvomenetelmässä tuotot ja kustannukset diskontataan hankintahetkeen. Investointi on kannattava käytetyn korkokannan mukaan, jos tuottojen nykyarvo

on vähintään yhtä suuri kuin kustannusten nykyarvo. Nykyarvomenetelmä on suositeltavin vaihtoehto kertainvestoinnin kannattavuutta laskettaessa.

Annuiteettimenetelmässä kannattavuutta tarkastellaan vuositasolla. Menetelmässä lasketaan tuottojen ja kustannusten erotus vuotta kohti laskentakorkokannan mukaan. Myös hankintameno ja jäännösarvo lasketaan vuotta kohti. Hankintakustannuksesta lasketun annuiteetin ja vuotuisten kustannusten summana saadaan menoannuiteetti. Jäännösarvon annuiteetin ja vuotuisen bruttoannuiteetin summana saadaan tuloannuiteetti. Investointi on kannattava käytetyn laskentakorkokannan mukaan, kun tuloannuiteetti on vähintään samansuuruinen menoannuiteetin kanssa. Annuiteettimenetelmä on suositeltavin vaihtoehto jos investointi on toistuva eli se uusitaan pitoajan loppuessa.

Sisäisen korkokannan menetelmä on yleisimmin käytössä oleva menetelmä investointilaskennassa. Menetelmässä lasketaan minkä korkokannan mukaan kustannukset ja tuotot tietyllä hetkellä ovat yhtä suuret. Kustannukset ja tuotot diskontataan yleensä investoinnin hankintahetkeen. Investointi on kannattava, mikäli sisäinen korkokanta on vähintään asetetun tuottovaatimuksen suuruinen. Jos investointi rahoitetaan omalla pääomalla, on sisäisen korkokannan menetelmä käyttökelpoisiin vaihtoehto. (Karjalainen 2005, 103-112; Posintra 2008.)

7 ULKOISTAMINEN

Ulkoistamisella tarkoitetaan organisaation toimintaansa tarvitsemien tuotteiden ja tai palveluiden tuottamisen siirtämistä ulkopuoliselta organisaatiolta ostettavaksi. Yritykset keskittyvät nykyään yhä tarkemmin omaan ydinosaamiseensa, jolloin kaikkea tarvittavaa ei ole kannattavaa tuottaa itse. Ulkoistamalla tuotteiden tai palveluiden valmistusta yritys voi keskittyä siihen mikä on sen kannalta tuottavinta. Kustannussäästö on yksi tärkeimmistä perusteista ulkoistamiselle. Ulkoistava yritys odottaa ulkoistetun toiminnon olevan kustannuksiltaan edullisemmän kuin itse tuotetun. (Pajarinen 2001, 6.)

Ulkoistaminen koostuu kahdesta peruselementistä. Ensimmäinen elementti sisältää ulkoistettavan toiminnon tuottamisen lopetuksen yrityksen sisällä sekä toimintoon mahdollisesti liitoksissa olevien tuotantovälineiden myynnin. Ulkoistamiseen liittyy usein myös työntekijöiden siirtyminen ulkoistettavan toiminnon mukana. Toisen peruselementin muodostaa ulkoistettavan toiminnon suorittamista koskeva sopimussuhde yritysten välillä. Ulkoistamisen yhteydessä osapuolina olevien yritysten välinen suhde voi perustua joko ainoastaan sopimukseen tai yhteiselle omistukselle sopimuksen lisäksi. (Kiiha 2002, 1-2.)

Ulkoistamisen syitä on monia:

- kustannusten alentaminen
- kapasiteetin tarve
- laadun parantaminen
- kausittaiset kysynnän ja tarjonnan muutokset
- erityisosaaminen tai investointitarve
- tyytymättömyys omaan valmistukseen
- keskittyminen ydinosaamiseen tai tuottavampaan toimintaan.

(Karjalainen, Maijala, Lindgren 1999, 16-25; Wikipedia, Ulkoistaminen.)

Kielteisen ulkoistamis päätöksen tekoon voi vaikuttaa:

- tarve valvoa valmistusta
- toimitushäiriöt tai muut ongelmat
- henkilöstöjärjestelyt
- kuljetusongelmat
- tuotteeseen liittyvät liikesalaisuudet
- mahdollisten toimittajien puute.

(Karjalainen, Maijala, Lindgren 1999, 16-26; Wikipedia, Ulkoistaminen.)

Ulkoistamista mietittäessä tehtävien kustannuslaskelmien tuloksena voi olla, että omavalmistus on kustannustehokkaampi vaihtoehto kuin ulkoistaminen. Kuitenkin yrityksen taloudellinen asema ja riskinsietokyky voivat aiheuttaa sen, että ulkoistaminen on yrityksen kannalta parempi vaihtoehto. Ulkoistamista harkitseva yritys ei halua sitoa pääomaansa investointeihin, joita oman valmistuksen ylläpitäminen tai aloittaminen vaatii. Tuotteiden tarvitsemat erityiset koneet tai laitteet voivat aiheuttaa sen, että valmistuskapasiteetin hankkimisen ja ylläpidon kustannukset tuotetta kohden nousevat liian suuriksi. (Karjalainen, Maijala, Lindgren 1999, 20-25.)

Valmistustoimintojen lisäksi ulkoistaminen tuo usein säästöjä myös hankinta- ja varastotoimintoihin. Ulkoistavan yrityksen nimikkeiden ja tavarantoimittajien määrä pienenee, koska alihankkija vastaa osasta materiaalihankinnoista. (Karjalainen, Maijala, Lindgren 1999, 21.)

Yrityksen tuotannon ulkoistaminen asettaa vaatimuksia molemmille osapuolille. Logistiikalla, johon kuuluvat tiedonsiirto, varastointi ja kuljetus, täytyy olla suuri reaktionopeus. Valmistajan täytyy pystyä yhdistämään yksittäisten osien toimitus tuotantoonsa ja kustannusten säästämiseksi tämä edellyttää sitä, että toimitukset tapahtuvat ilman välivarastointia. Ketjua voidaan kuvata JOT-mallin avulla, jossa oleellista on tuotteiden kuljetukseen ja varastointiin liittyvien toimintojen uudelleenjärjestely. JOT:n ideana on ainoastaan tarvittavien raaka-aineiden tai tuotteiden toimittaminen niitä tarvitsevalle asiakkaalle. Tähän sisältyy myös se,

että tuotteita toimitetaan vain tarvittava määrä, jolloin varastoa ei synny. (Kiiha 2002, 10-11.)

Valmistajan tuotanto on mitoitettava mahdollisimman lyhyellä aikavälillä vallitsevaan kysyntään. Tämän vuoksi myös yrityksen alihankkijoiden on sovittava tuotantonsa ulkoistavan yrityksen tuotantoprosessin mukaan. Nykyaikaiselle tuotantoyhteistyölle onkin oleellista, että alihankinnassa tuotanto tapahtuu valmistajan vaatimusten perusteella siten, että komponentit ja osatuotteet ovat juuri oikeaan aikaan valmistajalla ilman välivarastointia lopputuotteeseen liittämiseksi. Tämä on mahdollista nykyaikaisen tietotekniikan avulla. (Kiiha 2002, 11.)

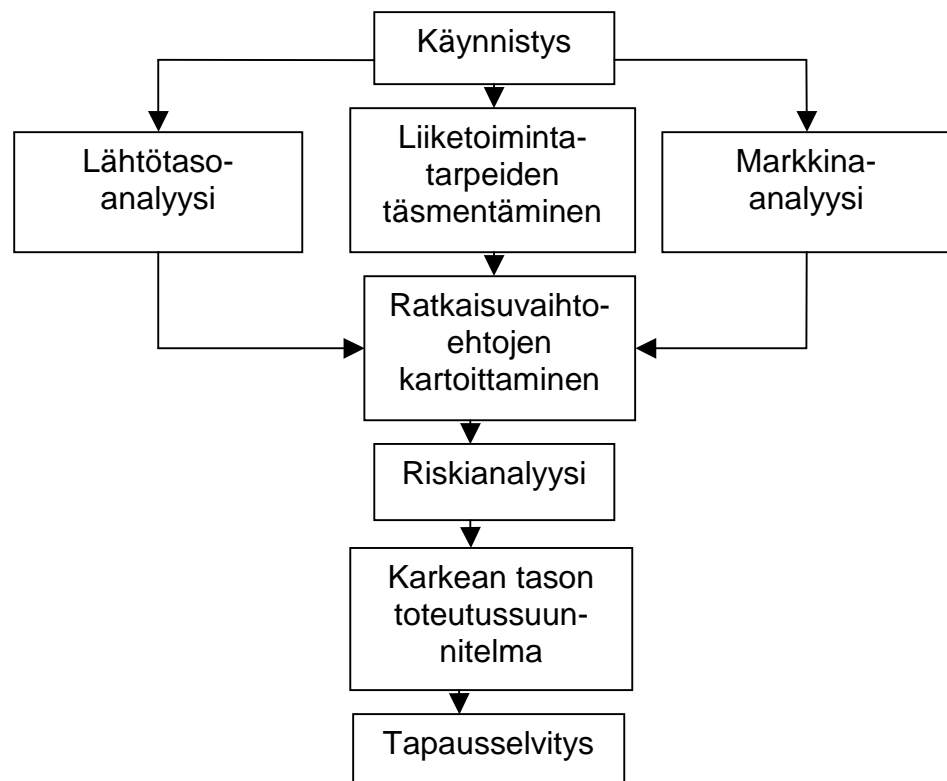
Ulkoistamisen yhteydessä voi syntyä erilaisia liikesuhteita. Näistä yksinkertaisin on osto-myyntisuhde, joka ei sisällä muuta lisäarvoa tuottavaa kanssakäymistä. Kehittyneempää suhdetta yritysten välillä edustavat erilaiset verkostosuhteet, joiden tyypillisiä piirteitä ovat vastavuoroisuus, synergia, keskinäiset voimasuhteet ja riippuvuus. Taulukossa 2. on kuvattu yhteenveto tärkeimmistä liikesuhteista ominaispiirteineen. (Pajarinen 2001, 13-15)

Taulukko 2. Ulkoistamisen yhteydessä syntyviä liikesuhteita (Pajarinen 2001, 13-15.)

Yhteistyömuoto	Keskeiset ominaisuudet
Hintakilpailuttaminen	<ul style="list-style-type: none"> -Ostetaan yksinkertaisia tuotteita, joita ei haluta itse valmistaa -Toimittaja keskittyy hintatehokkuuteen, tuotekehitykseen ei panosteta -Toimittajaa kilpailutetaan usein, josta johtuen sopimukset ovat lyhytkestoisia -Suhde etäinen.
Laatukilpailuttaminen	<ul style="list-style-type: none"> -Ostetaan tuotteita, joita ei itse kyetä valmistamaan -Valitaan toimittaja, joka valmistaa tarvittavat tuotteet riittävällä laadulla mahdollisimman halvalla -Suhde etäinen.
Läheinen yhteistyö	<ul style="list-style-type: none"> -Kilpailukykyä parannetaan toimitussuhdetta kehittämällä -Toimittajalta odotetaan aloitteellisuutta sekä erikoisosaamista -Usein toimittaja osallistuu tuotteen ja tuotannon suunnitteluun -Yhteistyö aikaisempia huomattavasti tiiviimpi ja suhde pitkäkestoisempi.
Strateginen kumppanuus	<ul style="list-style-type: none"> -Samat kuin läheisessä yhteistyössä -Suhde avoin ja intensiivinen -Pitkäkestoinen suhde, jossa toimittajat kehittävät itseään asiakkaan pitkän tähtäimen suunnitelmien mukaisesti -Tuoteomistaja keskittyy ydinosamiseksi ja toimittajat valitaan kehityskyvyn ja verkostoon soveltuvuuden perusteella.

Ulkoistamispäätös

Ulkoistamisprosessi jakautuu kolmeen ajallisesti peräkkäiseen vaiheeseen. Nämä ovat ulkoistamispäätös, toimittajan valinta ja siirtymävaihe. Ulkoistamispäätösprosessissa kartoitetaan riskejä, taloudellisia vaikutuksia, esteitä ulkoistamiselle, resursseja ja ulkoistettavia toimintoja. Kuviossa 11. on kuvattu ulkoistamispäätösprosessin vaiheet.



Kuvio 11. Ulkoistamispäätösprosessin vaiheet. (Kiiskinen, Linkoaho, Santala 2002, 102.)

Käynnistysvaiheessa sovitaan tavoitteet ja periaatteet, joilla ulkoistamisprosessi viedään läpi. Käynnistysvaiheessa laaditaan alustava suunnitelma ja kartoitetaan sopivaa osaamista. Koska lähes poikkeuksetta ulkoistamiseen yhdistetään irtisanomiset, projektijohtamisen merkitys korostuu. Tämän vuoksi on tärkeää, että sovitaan projektin viestinnästä ja laaditaan suunnitelma siitä, miten eri kohderyhmät pidetään tietoisina projektin edistymisestä. Käynnistysvaiheen lopputuloksena projektille on nimetty sponsori eli ylimmän johdon taustatuki, nimetty projektityöskentelyn kannalta tärkeimmät resurssit, laadittu aikataulutettu

projektisuunnitelma, laadittu viestintäsuunnitelma ja määritetty päätöksenteko- ja raportointiprosessit.

Ulkoistamispäätös perustuu aina liiketoiminnan tarpeisiin, jolloin johto tekee tarpeelliset rajaukset ja peruslinjaukset. Johdon tulee myös määrittää ulkoistamiselle konkreettiset tavoitteet. Tavoitteiden viestintä organisaatiolle on ulkoistamisen onnistumisen kannalta ehdottoman tärkeää. Jos tavoitteet eivät ole henkilöstölle ja projektiryhmälle selviä, projektin läpivienti hidastuu ja projekti voidaan kyseenalaistaa helposti. Liiketoimintatarpeiden täsmentäminen tarkoittaa peruskriteeristön määrittämistä, jotta eri vaihtoehdot voidaan ottaa huomioon. Tässä vaiheessa analysoidaan tekijät, jotka voivat mahdollisesti estää ulkoistamisen. Vaiheen lopputuloksena on näkemys ulkoistamisen mahdollisuuksista ja esteistä.

Lähtötasoanalyysin tavoitteena on saada selkeä näkemys nykyisestä tilanteesta, jossa palvelu tai tuote tuotetaan itse. Lähtötasoanalyysin aikana määritetään lähtötaso, joka sisältää kustannukset, pääoman ja henkilöstön. Jos ulkoistaminen edellyttää kiinteän omaisuuden tai aineettomien oikeuksien siirtoa tuottajalle, on niiden kirjanpito- tai markkina-arvo määritettävä tässä vaiheessa. Tärkein osa on kuitenkin henkilöstö, jonka arviointi suoritetaan kahdesta näkökulmasta, pääomana ja kustannuksena. Tämän vaiheen lopputuloksena selvillä ovat nykyiset palvelut ja niiden kustannukset, määritetty rajattua palvelupakettia vastaavan pääoman arvo, tehty osaamiskartoitus ja selvitetty nykyinen henkilöstö, tunnistettu prosessin kehittämiskohteet ja selvitetty nykyiset ja arvioitu rajauksen mukaiset volyymit.

Markkinaselvityksen tarkoituksena on selvittää markkinoiden kyky toimittaa haluttu palvelu tai tuote ennen varsinaista tarjouskierrosta. Yksityisellä sektorilla on mahdollista rajata tämän vaiheen perusteella pois ne palveluntarjoajat, joille ei ole järkevää lähettää tarjouspyyntöä. Tämän vaiheen lopputuloksena ovat selvillä potentiaaliset palveluntarjoajat. Yksittäisen palveluntarjoajan kohdalta on selvitetty karkealla tasolla kyky palvelun tai tuotteen tuottamiseen, liiketoiminnan jatkuvuuteen, hinnoitteluperusteisiin ja aikaisempiin kokemuksiin ja referensseihin.

Ratkaisuvaihtoehtojen kartoituksessa voidaan yleisesti todeta, että tavoitteena on löytää mahdollisimman kustannustehokas vaihtoehto. Ratkaisuvaihtoehdot ja niistä saatavat hyödyt tulee olla määriteltyinä ennen tarjouskierroksen alkua. Näin saadaan selkeät kriteerit, joiden avulla voidaan rajata palveluntarjoajat, joiden osaaminen riittää haluttuun ratkaisuun.

Riskianalyyssissä käydään läpi riskien lisäksi myös hyötyjä. Vastuun siirto yrityksen ulkopuolelle sisältää aina riskejä, joihin täytyy valmistautua. Näitä ovat taloudelliset, toiminnalliset ja lainopilliset riskit. Toiminnallisista riskeistä tärkeimmät ajoittuvat siirtymävaiheeseen, jolloin on varmistettava toiminnan virheetön jatkuvuus. Osaamisen säilyttäminen liittyy myös toiminnallisiin riskeihin. Osaavan henkilöstön siirtyminen palveluntarjoajalle on edellytys kumppanuuden toimivuudelle, jos sopimus kattaa riittävän laajan määrän toimintoja tai yksittäisen toiminnon volyymit ovat suuria. Lainopillisten riskien kohdalla on varmistuttava, ettei sopimuksessa ole yrityksen kannalta epäsuotuisia kohtia. Mikäli palveluntarjoaja käyttää alihankkijaa, on varmistuttava kolmannen osapuolen kyvystä tuottaa haluttu palvelu ja varmistuttava sen liiketoimintojen vakaudesta.

Alustavassa toteutussuunnitelmassa täsmennetään rajaukset, tarvittavat resurssit ja tehtävien vaiheistus vastuun siirtoon saakka. Toteutussuunnitelmassa määritellään ulkoistettavan toiminnon kehittämistarpeet yrityksen sisällä. Prosessin tehostaminen auttaa yritystä sopimusneuvotteluissa ja auttaa varmistamaan laadun uudessa toimintamallissa. Vaiheen lopputuloksena on aikataulutettu ja vaiheistettu suunnitelma, johon on täsmennetty tärkeät päivämäärät sekä niihin liittyvät projektin osat. Toteutussuunnitelma toimii pohjana taloudelliselle arvioinnille.

Perustana ulkoistamispäätökselle on taloudellinen analyysi (tapausselvitys), jossa arvioidaan uudenlaisen toimintamallin kustannuksia ja säästöjä. Kustannusarvio perustuu kustannuksiin nykyisellä toimintamallilla sekä arvioon uuden toimintamallin kustannuksista. (Kiiskinen, Linkoaho, Santala 2002, 101-114.)

8 TAPAUSKERTOMUS LÄNKELIN OY

Länkelin Oy valmistaa ikkunoiden ulkopuitteet muiden ikkunatehtaiden tapaan alumiiniprofiilista (aiho). Lisäksi yritys valmistaa kaksiovisia parvekkeenovia, joissa ulommaisena olevassa ovesa on alumiiniset puitteet. Alumiiniprofiilit (kiinteä pituus, 6 000 mm) tilataan ikkunoita tilaavan asiakkaan haluaman värisävyn mukaan alumiinin toimittajalta. Alumiinin tarve lasketaan tuotannonsuunnittelun mukaisesti. Tuotannonsuunnittelu taas rakentuu erityisesti asiakkaiden ikkuna- ja ovitoimitusajoista.

Tuotannonsuunnittelijat tekevät ikkuna- ja ovisuunnitelmat siihen sopivalla ohjelmistolla. Ohjelmisto tulostaa muun muassa ikkunan ja ovien ulkopuitteiden ja karmilistojen katkaisumitat työpapereiksi. Tästä lasketaan käsin alumiinin tarve ja tilataan sen mukaan alumiiniprofiilia. Lisäksi käsin laskennassa käytettävät sahausmittojen työpaperit voidaan antaa alumiinin sahaajalle tuotantoon, jos papereihin ei välillä ehdi tulla muutoksia. Niiden mukaan sahaaja sahaa mitat yleensä järjestyksessä isoimmasta pienimpään ja varastoi osat mittojen mukaan odottamaan ulkopuitteiden kasaamista ikkunoiksi ja oviksi ja peitelistojen kiinnittämistä karmiin. Ulkopuitteiden sahaamisessa on myös huomioitava 10 mm sahausvara mittojen välissä, sekä 45 asteen jiiritys. Karmilistat sahataan joko suoraan tai jiiriin.

Länkelin Oy tuotantopäällikön Hannu Hakalan mukaan kyseisessä *käsin laskennassa tuotannonsuunnittelijalla kuluu paljon aikaa, varastoon kertyy vähitellen ylimääräisiä profiileja ja sahaushukkaa syntyy*. Varsinaisia alumiinin sahaushukan arvioita tai laskutoimituksia ei kuitenkaan ole tehty.

Tuotannonsuunnittelijoiden tietopohjalta tehdään ensin excelissä toimiva ratkaisu, joka säästää tuotannonsuunnittelijan käsin laskentaa. Tämä ei kuitenkaan ratkaise sahaushukan ja varastoon kertyvän materiaalin ongelmaa.

Seuraavaksi tutkitaan erilaisilla optimoinnin hakusanoilla sekä suomeksi että englanniksi internet-lähteitä. Optimointiongelmaksiksi täsmentyy siten 'bin-packing

problem'. Samalla tutustutaan erilaisiin valmiisiin yksiulotteisen aihioon pakkauksen ohjelmistotyökaluihin, jollaiseksi lopulta valitaan Astrokettle Algorithms 1D Stock Cutter, joka on kehitetty yksiulotteiseen aihioon pakkauksen optimointiin. Ilmaisen version mukaan päädytään lisenssiin, joka mahdollistaa jopa 5 000 katkaisumitan optimoimisen. Liitteessä 1. on kuvattu 1D Stock Cutter ohjelman käyttöä ja siitä saatavia tulosteita. *(Ohessa olevalla CD-ROM –levyllä on kokeiltavaksi 1D Stock Cutter ohjelmiston rajattu versio. Lisäksi voi kokeilla yksiulotteinen aihioon pakkaus –ohjelmaa, joka on yksinkertaisempi, kuin 1D Stock Cutter, mutta suomenkielinen.)*

1D Stock Cutter -ohjelmaa ruvetaan hyödyntämään tuotannonsuunnittelussa välittömästi. Katkaisumitat saadaan työpapereista ja optimointiohjelma laskee nopeasti (0,5-2 minuutissa) optimaalisen alumiiniprofiilien eli aihioden määrän. *Edellisissä kappaleissa ei edes ole kunnolla huomioitu optimoinnin ajansäästöä toimiston puolella.* Samalla saadaan valmis graafinen alumiinin katkaisukaavio. Käsin laskennassa aikaa pelkästään tilattavien alumiinien määrän laskemiseen vie noin 15-30 minuuttia, eikä käsin laskettaessa saataisi optimaalisia katkaisukaavioita. Ongelma vaikuttaa ratkaistulta.

Kun 1D Stock Cutter:in katkaisukaaviota tarjotaan alumiinin sahaajalle työpapereiksi, *ilmenee kaksi ongelmaa: tarve välivarastolle ja jatkuva sahausvasteiden muuttaminen.* Välivarasto saadaan ratkaistua moniosaisesta metallihyllystä, mutta sahausvasteiden jatkuva muuttaminen hidastaa sahaamista paljon. Tämä johtuu siitä, että perinteisesti sahaaja sahaa kaikki mitat järjestyksessä, jolloin vastineiden siirtäminen on hänelle optimaalista. Uudessa menetelmässä mitat eivät ole sahaajan kannalta optimaalisessa järjestyksessä, ainoastaan sahaushukan kannalta. Samanlaiset mitat ovat usein hajautettuina eri aihioihin. Ratkaisua ei voida soveltaa tuotannossa. *Sen sijaan tuotannonsuunnittelija laskee ohjelmalla edelleen tilattavan alumiinin määrän (optimoituun aihiomäärään on lisättävä yksi tai kaksi ylimääräistä ahiota, koska tuotannossa optimoitua katkaisukaaviota ei voida edellä esitetystä ongelmasta johtuen käyttää), jolloin säästyy aikaa ja varastot pysyvät paremmin kurissa.*

Todetaan kuitenkin, että ammattitaitoinen sahaaja tekee työssään optimointia: aihioista jäävät sopivan pitkät hukkapalat hyödynnetään pienissä mitoissa. Ongelmaksi jää kuitenkin edelleen sahaushukka, sillä taitavinkaan sahaaja ei ehdi tai pysty tekemään mielessään optimointiohjelman kaltaista katkaisukaaviota. Tutkimusongelma pohjautuu taloudelliseen tappioon, jonka aiheuttaa sahaushukka. Alumiiniprofiilit ovat kalliita, eikä pienistä hukkapaloista saada kuin jätealumiinin hinta.

Seuraavaksi tutkaillaan *mahdollisia ratkaisuvaihtoehtoja. Näiksi vaihtoehtoiksi täsmentyvät NC-servo-ohjattava sahauskuljetin, jolloin sahaajan ei tarvitse huomioida vasteen muuttamista. Toisena vaihtoehtona on optimoiva katkaisusaha, joka pohjautuu yksiulotteiseen aihioon pakkaamiseen. Kolmantena on koko alumiiniprofiilien sahaamisen ja varastoimisen ulkoistaminen. Tässä tapauksessa yksiulotteinen aihioon pakkauksen ongelma siirtyy alihankkijalle.*

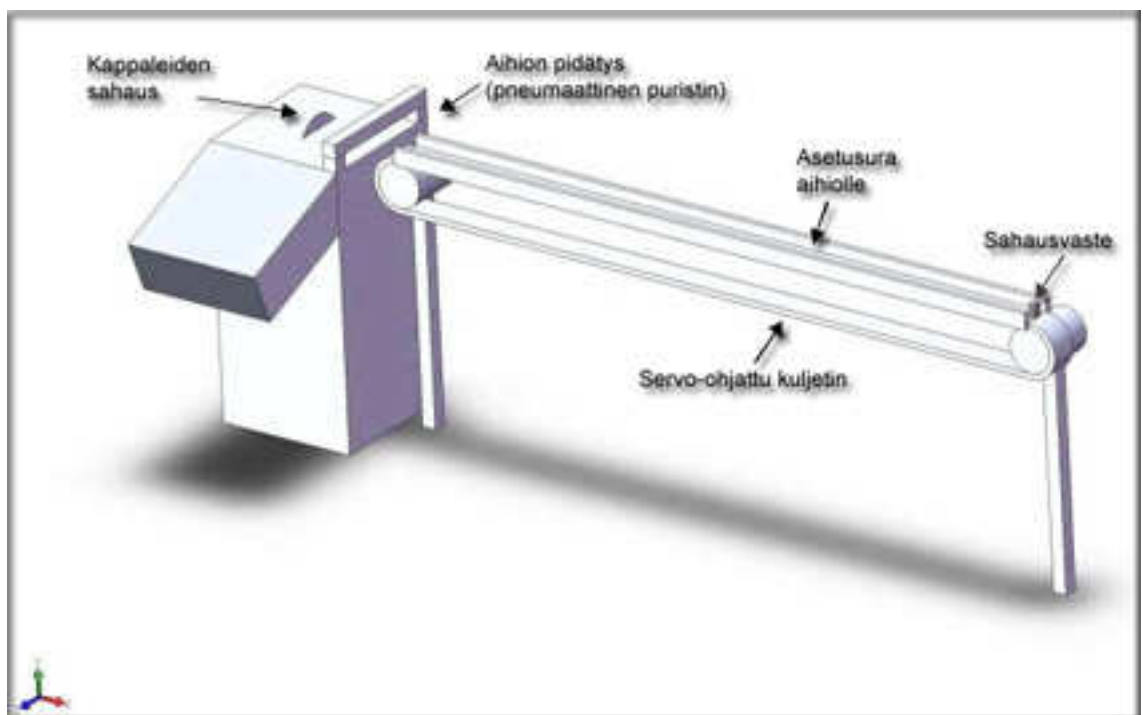
8.1 NC-servo-ohjattava kuljetin ja optimointiohjelma

Eero Pikkaraisen mukaan servojärjestelmän toteutus olisi suunnilleen seuraavanlainen:

- toimintaa ohjaava ohjelmoitava logiikka
- katkaisusaha
- vasteella varustettu kuljetin
- takaisinkytkennällä varustettu moottori kuljettimen pyörittäjänä
- pneumaattinen puristin, joka lukitsee kappaleen.

Käytännön toteutus näillä komponenteilla toimisi periaatteessa hyvin samankaltaisesti kuin optimoiva katkaisusaha. Kuljettimen ja sahan toimintaa ohjaa ohjelmoitava logiikka, joka saa sahattavien kappaleiden mitat erillisen optimointiohjelman tuottaman sahauslistan kautta tai suoraan optimointiohjelmalta. Ohjelmoitava logiikka ohjaa koko sahan toimintaa. Kuljettimen liikettä ohjataan servomoottoreilla, jolloin saadaan oikea katkaisukohta. Puristin toimii paineilmasynterillä ja pitää aihiota paikallaan, kun oikea katkaisukohta on saavutettu.

Käytännössä työntekijä säätää sahan leveyden palkille sopivaksi ja tarkistaa, että vaste on nollakohtassa. Sahattava kappale asetetaan hihnalle vastetta vastaan. Kuljetin ajaa kappaleen oikealle kohdalle ja kappale lukitaan pneumaattisen sylinterin käyttämällä puristimella, jonka jälkeen kappale sahataan. Lukitus poistuu ja aihio ajetaan uudelle oikealle katkaisukohtalle. Tämä jatkuu kunnes aihio loppuu. Vaste palautetaan nollakohtaan ja sahaussykli toistuu uuden aihion kohdalla (katso periaate kuvioista 12. Liitteenä 2. on kuvasuurenos kuljetinjärjestelmästä.). (Pikkarainen 2009.)



Kuvio 12. Periaatekuva NC-servo-ohjattavasta kuljetimesta. (Muokattu ohjelmistotulosteesta.)

8.2 Optimoiva katkaisusaha

Optimoivan katkaisusahan toiminta voi parhaimmillaan olla pitkällekin automatisoitua. Tässä tapauksessa kyseessä on kuitenkin optimoiva katkaisusaha, joka vaatii käyttäjän läsnäoloa. Käyttäjän tehtävänä on syöttää aihio sahalle ja poistaa katkaistut kappaleet sahasta. Sahan toiminta kappaleen syötön jälkeen on automaattista kappaleiden poistoon saakka. Sahalle annetaan ennen sahauksen aloitusta tarvittavat kappaleiden mitat ja saha laskee oman

sisäisen optimointiohjelmansa avulla tarvittavien kappaleiden mitat huomioiden sahauksesta johtuvan häviön. Tämän jälkeen käyttäjä syöttää aihion sahaan ja saha ajaa kappaleen määrättyyn asemaan joko liikkuvan vastimen tai karhennetun syöttöpyörän avulla. Saha katkaisee profiilista tarvittun mitan ja optimointiohjelma antaa uuden mitan, jonka mukaisesti vaste ajaa aihion haluttuun paikkaan. Tämä toistuu samanlaisena kunnes aihio tai sahattavat mitat loppuvat. (Mukaillen: Dimter 2009.)

8.3 Ulkoistaminen

Ulkoistamisprosessi tulee suorittaa teoriaosiossa kuvatun mallin mukaisesti. Tällä tavalla ulkoistamisen hyödyt saadaan selkeämmin esille. Ulkoistamisprosessin lähtökohtana yrityksessä on ulkoistaa alumiiniprofiilien sekä karmilistojen sahaus. Lähtötasoanalyysissä selvitetään yrityksen kohdalla oman tuotannon kustannukset sekä tärkeänä osana määritetty oman tuotannon kehittämiskohteet. Liiketoimintatarpeiden täsmentämisessä yrityksellä on tavoitteena saada alumiinin hukkaa pienemmäksi, varastoa selkeämmäksi sekä tämänhetkisen sahaustoiminnan käyttämää aikaa pienemmäksi. Markkinaselvityksessä vaihtoehtoina on joko suoraan toimittajalta tulevat määrämittaiset kappaleet tai toimittajan ja yrityksen välissä oleva yritys, joka katkoo kappaleet määrämittaan. Ratkaisuvaihtoehtoina ovat ulkoistaminen tai investointi laitteisiin, joita on käsitelty opinnäytetyössä. Toteutus suunnitelmassa käsitellään ulkoistamisen aikataulua. Tapaus selvityksessä vertaillaan ulkoistamisen kustannuksia oman tuotannon jatkamisen kustannuksiin, johon otetaan mukaan tuotannon kehittämisestä aiheutuvien laitteiden investointilaskelmat. (Kiiskinen ym. 2002.)

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

NC-servo-ohjattu kuljetin ja optimoiva katkaisusaha osoittautuivat käytännössä yhtä kalliiksi. Optimoiva katkaisusaha saattaa itse asiassa olla halvempi kuin projektina toteutettava NC-servo-ohjattu kuljetinratkaisu. Nimittäin kuljetinratkaisussa ohjelmointi tuottaisi suhteessa laitteistoon huomattavan kustannuserän. Joka tapauksessa Länkelin Oy:n sahaustarve on varsin pieni edellisille ratkaisuille. Ulkoistaminen nousee varsin vakavasti otettavaksi vaihtoehdoksi.

9.1 NC-servo-ohjattava kuljetin

NC-servo-ohjattu kuljetinratkaisu olisi mielekästä toteuttaa insinööriyönä. Kustannukset ohjelmoitavan logiikan, ohjelmoinnin, sahan sekä muiden tarpeiden osalta tulisi ensimmäiseksi selvittää tarkemmin. Tällaisen projektina toteutetun sahan kannattavuutta rajoittaa optimoivaan katkaisusahaan verrattuna huonot käyttömahdollisuudet muihin tarkoituksiin. Pelkästään aihoiden sahaukseen tarkoitetun laitteen toteutus kuitenkin olisi kallis käyttömahdollisuuksiin nähden. Sahan koko profiilien mitan takia olisi suuri, koska aihion liikuttamiseen tarvittavan kuljettimen on oltava pidempi kuin profiilin mitta (6 000 mm). Tähän on lisättävä vielä sahan vaatima tila.

Pikkaraisen mukaan NC-servoratkaisun tarvikekustannukset olisivat kymmenisen tuhatta euroa. Ohjelmointiratkaisu synnyttäisi lisäkustannuksia niin, että kokonaiskustannus olisi jopa 50 000 euroa.

9.2 Optimoiva katkaisusaha

Optimoivan katkaisusahan investointi tulisi liian kalliiksi Länkelin Oy:n tapauksessa. Sahan tarjoama kapasiteetti jäisi joka tapauksessa vajaakäytölle. Lisäksi valmiiden vaihtoehtojen syöttöongelman (syöttörullakäyttöinen) ratkaisu voi aiheuttaa lisäkustannuksia, koska epäsäännöllisten ahioprofiilien syöttö tasaisesti vaikeutuu ja profiilin maalipinta on herkkä vaurioitumaan. Sahan

sijoittaminen kokonsa puolesta voi olla ongelmallista, sillä sahan mitat ovat syöttökuljettimen takia suuret.

9.3 Ulkoistaminen

Valmiiksi sahattujen aihoiden ostaminen hyödyttäisi yritystä monella tavalla. Toimenpiteen toteutus ei vaatisi irtisanomisia, koska aihoiden sahaus on ollut sivutyötä. Varaston puolella nimikkeiden määrä vähenisi aihoiden poistumisella. Hyötynä olisi myös ennen varastoon jääneiden keskeneräisten aihoiden poistuminen. Hukatavaran kustannukset jäävät nolnaan yrityksen ostaessa valmiit profiilit ulkopuolelta. Luonnollisesti lisäkustannuksia syntyisi siitä, että alihankkija hinnoittelisi aihoiden optimaalisen katkaisemisen.

Suurin ulkoistamisen ongelma on yleensä logistinen riski. Tämä tarkoittaa sitä, että tässä tapauksessa edes katkaisuluettelo ei välttämättä ole saapunut alihankkijalle. Myös häiriöt esimerkiksi rahdissa voisivat estää tuotannon.

10 POHDINTA

Pienten katkaisumittojen sijoittaminen niitä itseään isompiin aihioihin osoittautui erittäin vaikeasti lähestyttäväksi. Lähdekirjallisuus on pääsääntöisesti englanninkielistä, eikä ilmeisesti suomalaisessa koulujärjestelmässä (peruskoulut, lukiot ja ammatilliset oppilaitokset) ongelmaa tuoda esille. Kuuleman mukaan monet yliopistossa matematiikkaa lukevat eivät hekään tunne optimoinnin taustoja. Lähdemateriaalissa asiat näkyy esitettävän vaikean matemaattisesti.

Tästä ei pienen yrityksen toimitusjohtaja tule hullua hurskaammaksi, kun häntä neuvotaan hakemaan internetistä optimoinnin hakusanalla tietoa oman yrityksensä sahaushukan minimointiin. Ensimmäisten hakutulosten matemaattisuus on varmasti lannistavaa. Tässä mielessä tutkimuksen teorian käsittelyssä miellyttävä poikkeus oli Dyckhoffin ym. ”*Cutting and Packing in Production and Distribution: A Typology and Bibliography*”, jossa ongelmaa käsitellään kohtuullisen selväsanaisesti.

Aiheen tutkiminen on kyllä ollut erittäin opettavaista, sillä vaikka optimoinnin ongelmia on tutkittu jo 1900-luvun alussa, niin materiaali on edelleen vieraskielistä ja edellä mainitun haastavaa ymmärtää.

Sekä projektina tehtävä NC-servo-ohjattava kuljetin ja optimoiva katkaisusaha ovat molemmat kalliita investointeja. Ja projekti, vaikka siinä voi itse säästää rakennuskustannuksissa, tuottaa jopa suuremmat kustannukset kuin valmis optimoiva katkaisusaha. Siksi ulkoistamisen edut, poistuvat varastot ja optimointiongelmien kasvavat niin suuriksi, että ulkoistamista voidaan tässä tapauksessa suositella.

Toivottavasti tästä opinnäytetyöstä voi olla muillekin yrityksille apua, mikäli ne ovat suunnittelemassa sahausensa optimointia. Varsinkin pienissä yrityksissä ei välttämättä ole tietoa optimoinnin aihepiiristä ja optimoinnin mahdollisuuksista.

LÄHTEET

Bräysy, Olli. 2007. Optimoinnin hyödyt kunnallisissa kuljetuksissa ja palveluissa. PDF-dokumentti. Saatavilla: <http://www.polemiikki.fi/files/1134-BRAYSY.pdf> (Luettu 2.2.2009).

Dimter. PDF-dokumentti. Saatavilla: [http://www.weinig.com/C1256FAF0043EEBF/vwContentByKey/W26DRKGA635ALPADE/\\$FILE/Prospekt_OptiCut_Highspeed_Serie_GBR.pdf](http://www.weinig.com/C1256FAF0043EEBF/vwContentByKey/W26DRKGA635ALPADE/$FILE/Prospekt_OptiCut_Highspeed_Serie_GBR.pdf) (Luettu 3.4.2009).

Dyckhoff, Harald ym. 1992. Cutting and Packing in Production and Distribution: A Typology and Bibliography. Physica-Verlag.

Fonselius, Jaakko, Rinkinen, Jari, Vilenius, Matti. 1997. Koneautomaatio, servotekniikka. Opetushallitus.

Haataja, Juha. 1993. Optimointitehtävien ratkaiseminen. CSC-Tieteellinen laskenta Oy: yliopistopaino.

Høyland, Sven Olai. 1992. Bin-packing in "1.5 dimension" and variants of the Next-Fit rule for one-dimensional packing. Department of Informatics, University of Bergen: Norway. Tohtorintyö.

Karjalainen, Jouko, Maijala, Mikko, Lindgren, Matti. 1999. Tuotannollinen ulkoistaminen. Metalliteollisuuden Keskusliitto.

Karjalainen, Leila. 2002. Optimi matematiikkaa talouselämän ammattilaisille. Otavan Kirjapaino Oy: Keuruu.

Khuri, Sami. Evolutionary Heuristics for the Bin Packing Problem. Post-script-dokumentti. Saatavilla: <http://www.cs.sjsu.edu/~khuri/icannga.ps> (Luettu 6.2.2009).

Kiiha, Jarkko. 2002. Yritystoiminnan ulkoistaminen ja sopimusvastuu. Gummerus Kirjapaino Oy: Saarijärvi.

Kiiskinen, Satu, Linkoaho, Anssi, Santala, Riku. 2002. Prosessien johtaminen ja ulkoistaminen. WS Bookwell Oy: Porvoo.

Kotamäki, Miikka, Nyberg, Timo. 1992. Koneautomaatio 2000. Valtion painatuskeskus: Helsinki.

Oulasvirta, Lasse. Julkinen taloushallinto - Kustannuslaskenta julkisyhteisöissä. Powerpoint-esitys. Saatavilla:
http://www.ulapland.fi/includes/file_download.asp?deptid=16968&fileid=5890&file=20050406093104.ppt (Luettu 28.1.2009).

Pajarinen, Mika. 2001. Ulkoistaa vai ei – Outsourcing teollisuudessa. Elinkeinoelämän tutkimuslaitos.

Parviainen, Sirkku. Optimoinnin perusteet -kurssi. PDF-dokumentti. Saatavilla:
www.lut.fi/fi/technology/mathspysics/studies/courses/BM20A1700/Documents/uku7v08.pdf (Luettu 14.2.2009).

Pikkarainen, Eero. 1999. NC-tekniikan perusteet Opetushallitus.

Pikkarainen, Eero. Servojärjestelmien haastattelun muistiinpanot, 12.3.2009.

Posintra 2008. Investoinnin laskenta. Web-dokumentti. Saatavilla:
http://www.jdc.fi/filebank/3780-YT_22_Investointilaskelmat_080512.pdf (Luettu 10.2.2009).

Sallaume, Silas yms. 2008. One dimensional Cutting Stock Problem with Redevelopment of the Surplus Material. Universidade Federal Fluminense: Brazil. Saatavilla: http://www.engopt.org/nukleo/pdfs/0295_engopt2008_csp.pdf (Luettu 7.2.2009).

Vihtonen, Esa. 2002. Ohjelmoinnin perusteet. PDF-dokumentti. Saatavilla:
<http://www.it.lut.fi/kurssit/02-03/010511020/ohjper02.pdf> (Luettu 6.2.2009).

Viluksela, Pentti. 2009. EVTEK. Graafinen tuotantoautomaatio. PDF-dokumentti. Saatavilla: http://nww.evtek.fi/n/penttiv/gta/gta_kalvot1.pdf (Luettu 3.4.2009).

Wikipedia: Matemaattinen optimointi. Web-dokumentti. Saatavilla: http://fi.wikipedia.org/wiki/Matemaattinen_optimointi (Luettu 28.1.2009).

Wikipedia: Operational research. Web-dokumentti. Saatavilla: http://en.wikipedia.org/wiki/Operations_research (Luettu 2.2.2009).

Wikipedia: Outsourcing. Web-dokumentti. Saatavilla: <http://en.wikipedia.org/wiki/Outsourcing> (Luettu 10.2.2009).

Wikipedia: Ulkoistaminen. Web-dokumentti. Saatavilla: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Ulkoistaminen> (Luettu 9.2.2009).

LIITTEET

Liite 1. 1D Stock Cutter –ohjelmiston käyttöohje

Liite 2. Kuvasuurennos NC-servo-ohjattavan kuljetinratkaisun periaatteesta

Alumiinin ja puiden katkaisun optimoiminen käyttämällä 1D Stock Cutter – ohjelmaa

Kuva 1. Näkymä 1D Stock Cutter -ohjelmasta

The screenshot shows the 1D Stock Cutter software interface with the following components:

- PIECES to CUT OUT:** A table listing sizes, quantities, and remaining stock.

Size	Q'ty	Left	Mark
1714	2	0	RAL 024
1519	54	0	1-2197
1309	4	0	
1304	68	0	
669	22	0	
2608	10	0	
1348	18	0	
1188	28	0	
648	8	0	
508	8	0	
458	3	0	
- STOCK MATERIAL to USE:** A table showing material specifications.

Size	Max	Use	Cost
6000	500	49	0
3000000	500	49	0
- TASK:** sembra1592_1_702
- Summary:** Total Utilization 98.19%, Total Waste 5228, Total Length 288000, Total Cost 0.
- Buttons:** Stock, Run, Settings, View, Data, Track.
- CUTTING LAYOUTS (10):** Shows 40 cuts.
- Layout Table:**

No	Mult	Size	Offcut	Pieces to cut out
1	6	6000	0	2608 1519 1304 508
2	3	6000	0	2608 1348 1309 669
3	6	6000	0	1348 1304 1304 1304 648
4	2	6000	0	1714 1304 1188 1188 508
5	6	6000	15	1519 1519 1519 1348
6	6	6000	15	1304 1304 1304 1304 669
7	12	6000	32	1519 1304 1188 1188 669
8	6	6000	59	1519 1519 1519 1304
9	1	6000	158	2608 1348 1348 458
Last 1	6000	322	1348 1309 669 648 648 458 458	
- Bottom Bar:** 288310, 225, 0, Comments, ? Exit.

Katkaisuluettelo

Näihin kenttiin syötetään katkaisuluettelosta saatavat mitat "Size" ja lukumäärät "Q'ty". (Mittojen järjestyksellä ei ole väliä ja sama mitta voi huoletta esiintyä eri riveillä eri lukumäärillä, ohjelma laskee ennen optimointia samat mitat yhteen.) "Left" tarkoittaa vajaalla varastolla puuttuvia mittoja, jos tässä on lukuja, kasvata varastoa. "Mark" jätetään tyhjäksi.

Aihiovarasto

Tähän syötetään aihion mitta "Size" ja lukumäärä "Max", joka (lukumäärä) kannattaa asettaa mahdollisimman suureksi, esimerkiksi 500 (kpl), tai isoissa töissä jopa 800.

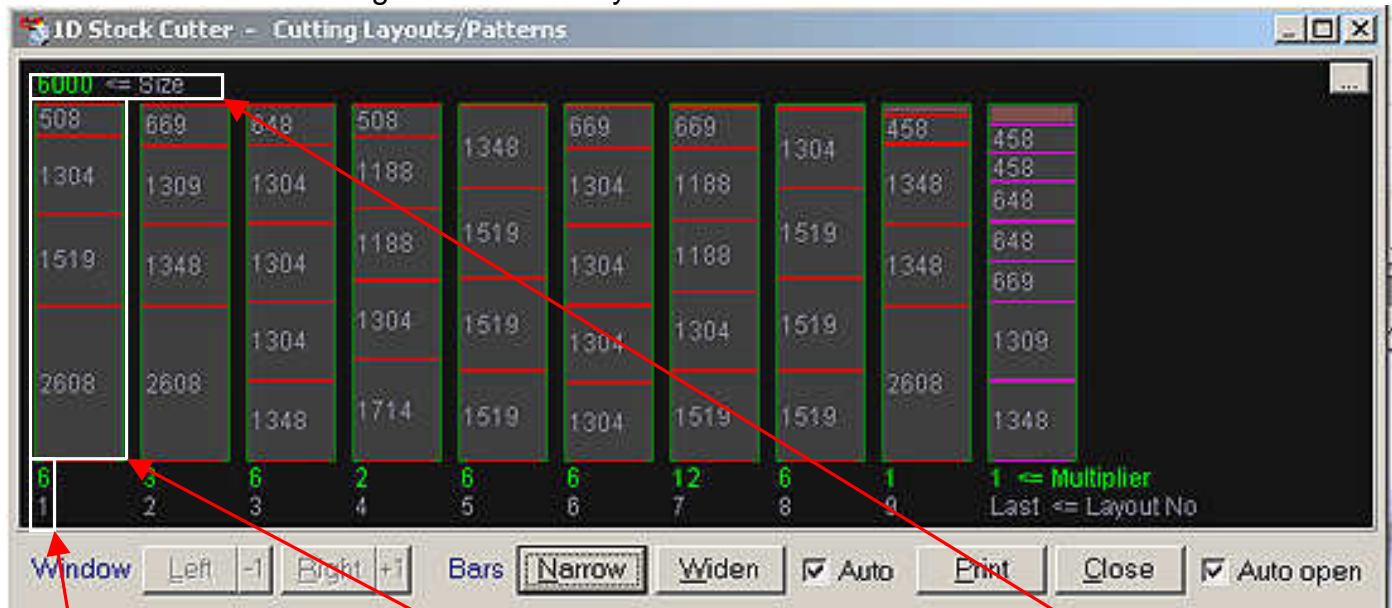
Asetukset

Tässä osiossa tärkeimpiä nappeja ovat "Settings" ja "Run". "Run" –napista käynnistyy optimointi syötetyille luvuille ja Settings'stä tehdään asetukset. Settings käsitellään kappaleessa 2.

Katkaisuohjeet

Kun optimointi on toimitettu tekemällä sopivat säädöt "Settings" ja ajettu "Run", niin tähän kohtaan ilmestyvät optimaaliset sahausmitat, muuten kenttä on tyhjä. "No" tarkoittaa montako erilaista sahausta aihioista tulee, "Mult" tarkoittaa montako kertaa kyseinen sahausaihio esiintyy, "Offcut" sitä, paljonko kyseisestä sahausaihiosta jää hukkaa ja "Pieces to cut out" on optimaaliset sahausmitat Lisäksi **pääikkunan alle ilmestyy ikkuna, jossa sahausmitat ovat graafisesti esitetty sahattaviin mittoihin, kuva 2.**

Kuva 2. Sahattavat aihiot graafisesti esitettynä



Sahausjärjestys ja määrä

Vihreällä näkyvä luku osoittaa, montako tällaista yksittäistä sahausaihiota on sahattava. Harmaalla oleva luku puolestaan osoittaa järjestyslukua; (**Last**) viittaa viimeiseen järjestys(lukuun).

Miten aihio sahataan

Tällainen pystypalkki osoittaa graafisesti sahausmittoja. Luku esitetään millimetreissä. Lukujen väliset kentät on erotettu punaisella tai vaaleanpunaisella vaakaviivalla ja niihin on yleensä huomioitu sahausvara, esimerkiksi 20 mm.

Sahausaihion mitta

(**Size**) eli pituus (tässä tapauksessa 6000 mm, mutta voi olla toinenkin).

Optimoinnin askeleet:

a) Syötä katkaisumitat kenttiin "**PIECES to CUT OUT**" kuvan 1. mukaisesti; "**Size**" – pystytaulukon tulevat katkaisumitat ja "**Q'ty**" –pystytaulukon kunkin katkaisumitan lukumäärät.

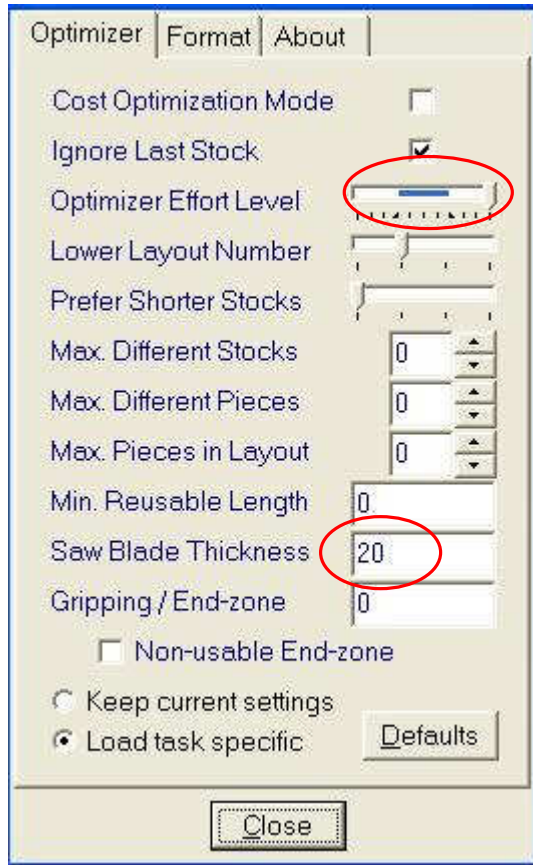
b) Kirjaa aihion pituus "**Size**" -pystyriville "**STOCK MATERIAL to USE**" –kohtaan, esimerkiksi 6000. "**Max**" -pystyriville puolestaan syötetään mahdollisimman suuri luku (esimerkiksi 500). Tällä tarkoitetaan sitä määrää, joka aihioita on käytettävissä. Jos luku on liian pieni, ohjelma laskee optimoinnin väärin. Mikäli "**PIECES to CUT OUT**" -kohtaan "**Left**" –pystyriville ilmestyy lukuja (mittojen perään), niin "**Max**" -luku on liian pieni. Kasvata sitä silloin.

c) Napsauta "**Setting**" –nappia. Tällöin aukeaa uusi ikkuna (katso kuva3. kappale 2), josta säädä "**Optimizer Effort Level**" säädin ääriasentoon oikealle (paras optimointitulokset). Lisäksi syötä "**Saw Blade Thickness**" arvoksi 20 (mm). Tällä tarkoitetaan leikatessa väistämättä syntyvää hukkaa, joka on tässä 20 mm.

d) Napauta "**Run**" –nappia ja odota, kunnes laskenta on valmis (Optimizer Run... -ikkuna katoaa). Optimoidut sahausmitat ilmestyvät kohtaan "**CUTTING LAYOUTS**". Lisäksi ne tulostuvat kuvan 2. mukaisesti graafisesti.

Asetusten muuttaminen ”Settings”

Kuva 3. Settings (eli optimoinnin asetukset)



Aseta kuvan 3. mukaisesti ”**Optimizer Effort Level**” –säädin ääriasentoon oikealle sekä ”**Saw Blade Thickness**” –arvoksi **20** (mm). Asetukset tulevat voimaan ja pääikkuna näkyviin napsauttamalla ”**Close**” –nappia.

NC-servo-ohjattavan kuljetinratkaisun periaate

