

Osajärjestelmän vaikutus prosessijärjestelmän elinjaksotuottoon LCP-laskentamalli

Ville Taipale
VTT Valmistustekniikka



ISBN 951-38-5325-X (nid.)
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-5326-8 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1998

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Valmistustekniikka, Turvallisuustekniikka, Tekniikankatu 1, PL 1701, 33101 TAMPERE
puh. vaihde (03) 316 3111, faksi (03) 316 3782

VTT Tillverknings teknik, Säkerhetsteknik, Tekniikankatu 1, PB 1701, 33101 TAMMERFORS
tel. växel (03) 316 3111, fax (03) 316 3782

VTT Manufacturing Technology, Safety Engineering,
Tekniikankatu 1, P.O.Box 1701, FIN-33101 TAMPERE, Finland
phone internat. + 358 3 316 3111, fax + 358 3 316 3782

Toimitus Leena Ukssoski

Libella Painopalvelu Oy, Espoo 1998

Taipale, Ville. Osajärjestelmän vaikutus prosessijärjestelmän elinjaksotuottoon. LCP-laskentamalli [The impact of a partial system to the Life Cycle Profit of a process system]. Espoo 1998, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1920. 52 s. + liitt. 1 s.

Avainsanat lubrication systems, life cycle analysis, reliability, performance, benefit cost analysis, Life Cycle Profit

Tiivistelmä

Tutkimuksessa kehitettiin LCP-laskentamalli, jonka avulla pystytään arvioimaan Safematic Oy:n suunnittelemien ja valmistamien keskusvoitelujärjestelmien elinjaksokustannukset sekä kyseisten järjestelmien vaikutus eri prosessijärjestelmien elinjaksokustannuksiin ja -tuottoihin. Yleisemmin voitelujärjestelmä voidaan ymmärtää prosessin osajärjestelmänä. Työ rajattiin keskusvoitelujärjestelmien elinjaksokustannusten tarkasteluun, mutta saaduista tuloksista voidaan kehittää jatkossa samankaltainen laskentamalli myös tiivistejärjestelmille sekä muille komponenteille.

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa suoritettiin häiriö- ja vikatiedon keruu kahdelta eri sellutehtaalta. Tiedot hankittiin kohdetehtaiden kunnossapitojärjestelmistä ja niitä tarkennettiin asiantuntija-arvioilla. Näitä tietoja käytettiin hyväksi sekä esimerkitapauksia laadittaessa että lopullista laskentamallia kehitettäessä.

Kohdetehtaiden kunnossapidon tietojärjestelmien häiriö- ja vikatiedosta laaditut esimerkkitaloukset osoittavat, että laakerivaurioiden ja suunnittelemattomien seisokkien määrä on vähentynyt olennaisesti keskusvoitelujärjestelmän käyttöönoton jälkeen. Tutkimuksessa on pystytty osoittamaan, että keskusvoitelujärjestelmän käyttöönotolla on selkeä yhteys käyttövarmuuden paranemiseen. Tutkimuksen aikana kävi myös ilmi, että laakerivaurioiden aiheuttamat seisokit saattavat olla yhteydessä myös muista mekaanisista syistä aiheutuviin seisokkeihin. Näiden taloudellinen vaikutus on hyvin suuri Suomen paperi- ja selluteollisuudelle. Näitä ei kuitenkaan tämän tutkimuksen puitteissa ollut mahdollista tutkia.

Laskentamallin avulla suoritettavat laskelmat osoittavat, että investointi keskusvoitelujärjestelmään on kannattava. Kehitetty laskentamalli perustuu todelliseen käyttökokemustietoon useammalta vuodelta. LCP-laskentamallien luotettavuus tarkistettiin herkkyyksianalyysiä hyväksikäyttäen.

Taipale, Ville. Osajärjestelmän vaikutus prosessijärjestelmän elinjaksotuottoon. LCP-laskentamalli [The impact of a partial system to the Life Cycle Profit of a process system]. Espoo 1998, Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1920. 52 p. + app. 1 p.

Keywords lubrication systems, life cycle analysis, reliability, performance, benefit cost analysis, Life Cycle Profit

Abstract

The purpose of this study is to develop a LCP-calculation model which enables the estimation of life cycle costs of centralized lubrication systems designed and manufactured by Safematic Oy as well as the impact of these systems on the life cycle costs and profits of various processes. In general centralized lubrication system can be considered as a part of a process. This study concentrates on the life cycle costs of centralized lubrication systems, but based on the results, it is possible to develop a similar calculation model for mechanical sealing systems as well as for other components.

Initially failure information was collected from two pulp mills. The information was gathered from the mill maintenance systems and it was supplemented by expertize evaluations. This information was utilized both in the example cases and in developing the final calculation system.

The example cases based on the mills studied show a dramatic drop both in bearing failures and in the number of unplanned shut-downs after the installation of a centralized lubrication system. The study clearly indicates the impact of a centralized lubrication system on runnability. The shut-downs caused by bearing failures also seem to be related to shut-downs caused by other mechanical reasons. These shut-downs have a major economical impact on the Finnish pulp and paper industry. However, it was not possible to look into these problems in this study.

The calculations carried out by using the LCP-calculation model clearly showed that investing on centralized lubrication system is highly profitable. The final calculation model is based on the actual user experience data collected during several years. The reliability of the system was checked by the help of a sensitivity analysis.

Alkusanat

Tämä raportti liittyy osana kansalliseen Käyttövarmuus kilpailutekijänä (KÄKI)-teknologiaohjelmaan, jonka puitteissa tehtiin selvitys osajärjestelmän vaikutuksesta prosessijärjestelmän elinjaksotuottoon, LCP-laskentamalli.

Tutkimuksessa kerättiin vika- ja häiriötietoa kahdelta kohdelaitokselta. Kunnioittaen projektien osapuolien toivetta työssä ei mainita kyseisiä kohdelaitoksia eikä liitetietoihin ole sisällytetty kaikkia tietoja, joita on käytetty johtopäätösten teossa. Tämä saattaa haitata tutkimuksen ymmärtämistä joiltain osin.

Tuloksena on saatu ensimmäisen sukupolven LCP-laskentamalli. Kiitän molempien kohdelaitosten henkilöstöä hyvästä yhteistyöstä tiedonkeruuta tehtäessä sekä tekn. tri Veikko Rouhiaista saamistani kommentteista. Haluan myös kiittää projektin rahoittajia Safematic Oy:tä ja Teknologian kehittämiskeskusta TEKESiä.

Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKUSANAT	5
1. JOHDANTO	9
1.1 Käyttövarmuuden merkitys yrityksille	9
1.2 Rasvakeskusvoitelujärjestelmän kuvaus	9
1.3 Partnership-periaate	13
1.4 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus	14
2. LCC/LCP-LASKENTA	16
2.1 LCC - Life Cycle Cost, yleistä	16
2.1.1 Elinjaksokustannusten muodostuminen	17
2.1.2 Tuotekehitysvaiheen merkitys tuotteen elinjaksokustannuksissa	17
2.2 LCP - Life Cycle Profit, yleistä	18
2.2.1 LCP-analyysin käyttöön liittyvät perustelut	19
2.2.2 LCP-projekti	21
2.2.3 LCP- projektin organisointi	23
2.2.4 LCP-laskelman tekeminen	24
3. VOITELUN MERKITYS TEOLLISUUDEN KÄYTETTÄVYYDEN KANNALTA	25
3.1 Yleistä	25
3.2 Voiteluautomaation taloudellinen merkitys	26
4. TIEDONKERUU	31
4.1 Tiedonkeruun tavoitteet	31
5. KOHDETEHTAILTA KERÄTYN TIEDON ANALYSOINTI	32
5.1 Seisokit	32
5.1.1 Case 1: Seisokkien kehitys, Yritys A	32
5.1.2 Seisokkien taloudellinen vaikutus tuotantoon	33
5.2 Voiteluaineen kulutus ja ympäristövaikutukset	35
5.2.1 Case 2: Voiteluaineen kulutuksen ja tuotannon kehitys	35
5.3 Case 3: Voiteluautomaation vaikutus laakerivaurioihin	37
5.3.1 Yritys A: keittämö	37
5.3.2 Yritys A: lajittamo	39
5.3.3 Yritys A: valkaisimo	40

5.3.4 Yritys A: keittämö, lajittamo, valkaisu	40
5.3.5 Yhteenveto	41
5.4 Case 4: Laakereiden kulutus, Yritys B	42
5.5 Case 5: Laakereiden kulutus Yritys B:n kuorimolla	43
6. LCP-LASKENTAMALLIN KEHITTÄMINEN JA SOVELTAMINEN	44
6.1 LCP-laskentamallissa käytettävät tiedot	44
6.1.1 Kustannukset	44
6.1.2 Tuotot	44
6.2 Laskentamallissa käytetyt periaatteet	44
6.2.1 Laskentamallin arviointi	46
6.2.2 Herkkyysanalyysin käyttäminen LCP-laskentamallissa	47
7. PÄÄTELMÄT	51
LÄHDELUETTELO	52
LIITE	
LCP-LASKENTAMALLI	

1. Johdanto

1.1 Käyttövarmuuden merkitys yrityksille

Komponentin tai järjestelmän käyttövarmuuden eli luotettavuuden suunnittelu kuuluu olennaisena osana liikkeenjohdolliseen ja kokonaistaloudelliseen päätöksentekoon, koska näin vaikutetaan saatavilla olevien rajallisten resurssien järkevään hyväksikäyttöön (Lyytikäinen, 1987). Käyttövarmuudella tarkoitetaan teknisen laitteen tai järjestelmän kykyä toimia halutulla tavalla ilman häiriöitä ja käyttökeskeytyksiä. Käyttövarmuudella tarkoitetaan myös kohteen ja sen kunnossapito-organisaation kykyä suorittaa vaadittu toiminto määräoloissa vaaditulla ajanhetkellä tai aikavälillä. Käyttövarmuus riippuu kohteen toimintavarmuudesta, kunnossapidettävyydestä ja kunnossapitovarmuudesta. Käyttövarmuus vaikuttaa suoraan tuotannon määrään ja laitoksen kannattavuuteen. Kustannuksiin käyttövarmuus vaikuttaa mm. kunnossapitotöistä ja varaosavaraston pidosta aiheutuvien kustannusten kautta.

Panostukset käyttövarmuuteen teollisuudessa ovat olleet vähäisiä. Rajoituksena ovat olleet menetelmien huono tunnettavuus sekä se, että saatavia etuja on joissakin tapauksissa ollut vaikea arvioida. Panostukset käyttövarmuuteen ovat olleet vähäiset myös siksi, ettei asiakkaiden taholta ole tähän mennessä juurikaan esitetty selkeitä vaatimuksia tuotteiden käyttövarmuuden suhteen. Tilanne on kuitenkin muuttumassa. Lisääntyvän elinkaariajattelun myötä tuotteiden elinikäisiin kokonaiskustannuksiin ja -tuottoihin aletaan kiinnittää entistä enemmän huomiota. Tällöin tuotteen käyttövarmuus tulee nykyistä useammin selkeäksi vaatimukseksi. Enää ei riitä tuotteen toiminnan takaaminen tietyinä takuuajoina, vaan valmistaja joutuu esimerkiksi määrittelemään tuotteen vikataajuuden, käytettävyyden ja eliniän. (Toola et al. 1996)

1.2 Rasvakeskusvoitelujärjestelmän kuvaus

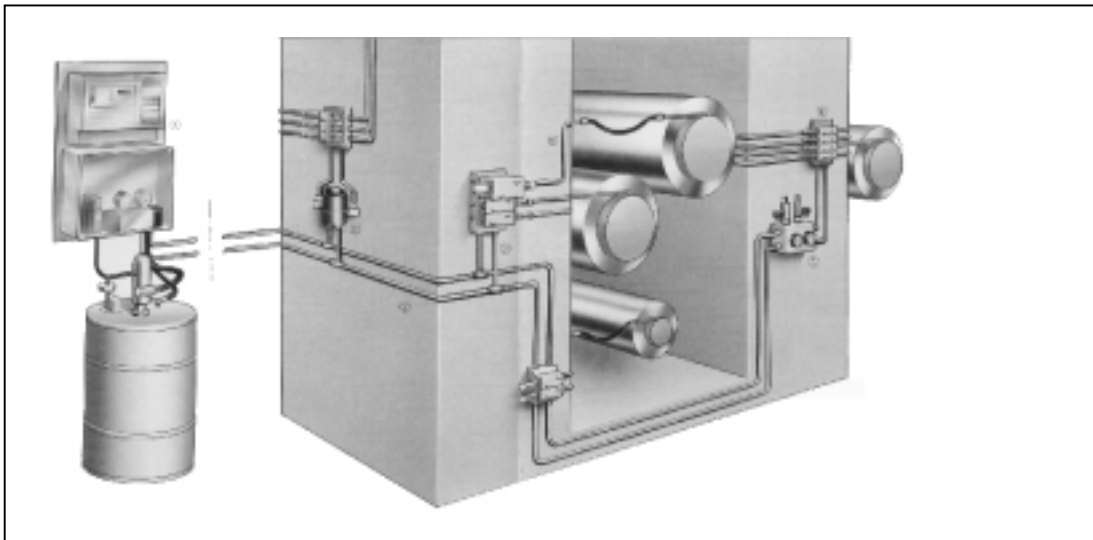
Yleisin Suomen teollisuuden käytössä oleva voitelujärjestelmätyyppi on keskitetty rasvakeskusvoitelujärjestelmä. Tämän järjestelmän myötä on päädytty usein hyvinkin laajoihin toteutuksiin, joissa yksi täysautomaattinen voitelukeskus voitelee koko tehtaan tai tehdasosaston kaikki voitelukohteet.

Järjestelmässä on jokaista voitelukohdetta varten annostin. Annostin voidaan säätää syöttämään voitelukohteelle tarkasti voitelutarvetta vastaava voiteluainemäärä. Voitelujärjestelmien tavoitteena on pyrkiä ennalta ehkäisemään tuotantolaitteiden laakerivaurioita ja vaurioista johtuvia tuotantokatkoja. Laajinta niiden käyttö on sellu- ja paperiteollisuudessa sekä mekaanisessa puunjalostuksessa ja terästeollisuudessa.

Rasvakeskusvoitelujärjestelmä voidaan rakentaa voitelemaan yksittäinen kone tai koneosasto. Voitelukohteiden määrä yhdessä järjestelmässä voi olla muutamasta useisiin satoihin, jopa tuhansiin. Monikanavaisilla ohjauskeskuksilla voidaan huomioida tiettyjen järjestelmän osien erityiset voitelutarpeet, esim. käynnin mukainen voitelu, jolloin taataan mahdollisimman tehokas lopputulos.

Rasvakeskusvoitelujärjestelmä (kuva 1) on rakenteeltaan kaksiputkinen, pakkotoiminen järjestelmä, jossa voitelukeskukselta annostinryhmille johtaa kaksi rinnakkaista runkoputkea. Sen tärkeimpiä sovelluskohteita ovat erilaiset rasvavoidellut laitekokonaisuudet, kuten paperikoneet apulaitteineen, prosessiosastot, kuorimot, hiomot, voimalaitokset, valssauslinjat, pakkaus sekä painokoneet. Keskusvoitelujärjestelmän pääkomponentit ovat

1. voitelukeskus
2. putkisto
3. annostinryhmät.



Kuva 1. Rasvakeskusvoitelujärjestelmä.

VOITELUKESKUS

Voitelukeskus koostuu kahdesta osasta; ohjauskeskuksesta ja pumppaukeskuksesta.

1. Ohjauskeskus

Voiteluvälin säätö tapahtuu ohjauskeskuksesta. Normaalisti voiteluväli on muutamasta tunnista kahteen vuorokauteen olosuhteista riippuen, mutta huomattavasti lyhyempiäkin voiteluvälejä voidaan käyttää. Ohjauskeskus valvoo myös laitteiston toimintaa ja antaa hälytyksen, mikäli paine ei nouse pumppauksen aikana riittävästi runkoputkistossa tai voiteluainetyynyri on tyhjä. Paineen nousua järjestelmässä valvotaan runkoputkiston etäisimpään päähän sijoitettavalla painekeytkinasennelmalla. Monikanavaisissa järjestelmissä painekeytkinvalvonta toteutetaan kanavakohtaisesti.

Järjestelmän koon sekä voideltavien laitteiden vaatimusten mukaisesti valitaan sopiva ohjausosa. Suurimmissa järjestelmissä saattaa olla kymmeniä eri voitelukanavia yksilöllisine voiteluohjelmineen. Yhden ohjauskeskuksen alaisuudessa voi olla useita erillisiä pumppauskeskuksia, jotka mahdollistavat erilaisten voiteluaineiden käytön.

Pumppauskeskus

Pumppauskeskus sisältää hydraulisen ohjausosan sekä tynnyripumpun varusteineen. Voiteluaine pumpataan paineilmatoimisella tynnyripumpulla suoraan tynnyristä ohjausventtiilin kautta runkoputkiin siten, että voitelukeskus paineistaa vuorotellen järjestelmän kahta runkoputkea. Pumpun painesuhde on 50 : 1, joten runkoputkistojen maksimikäyttöpaine on noin 250 bar.

PUTKISTO

Putkistomateriaali on yleensä ruostumatonta tai haponkestävää terästä käyttökohteessa vallitsevista olosuhteista riippuen. Tarvittaessa määrätyissä kohteissa käytetään joustavia teräskudoshahvisteisia letkuja. Putkisto mitoitetaan normaalisti painehäviön mukaan. Kaksiputkisen voitelujärjestelmän periaate edellyttää paitsi riittävän korkeaa käyttöpainetta paineistettavassa runkolinjassa myös riittävää paine-eroa runkolinjojen välillä, jotta luistinventtiilit pystyvät liikkumaan puolelta toiselle mahdollistaen annostimien toiminnan.

Jotta riittävä paine-ero voidaan saavuttaa, edellytetään putkiston suunnittelussa ja mitoituksessa asiantuntemusta sekä voiteluaineen ja ympäristön olosuhteiden huomioimista. Kaikissa laajemmissa keskusvoitelujärjestelmän toteutuksissa korostuu järjestelmäsuunnittelun merkitys. Putkistomitoitukset ja nollausventtiilit tulee mitoittaa kyseisten vaatimusten mukaisesti.

ANNOSTIMET

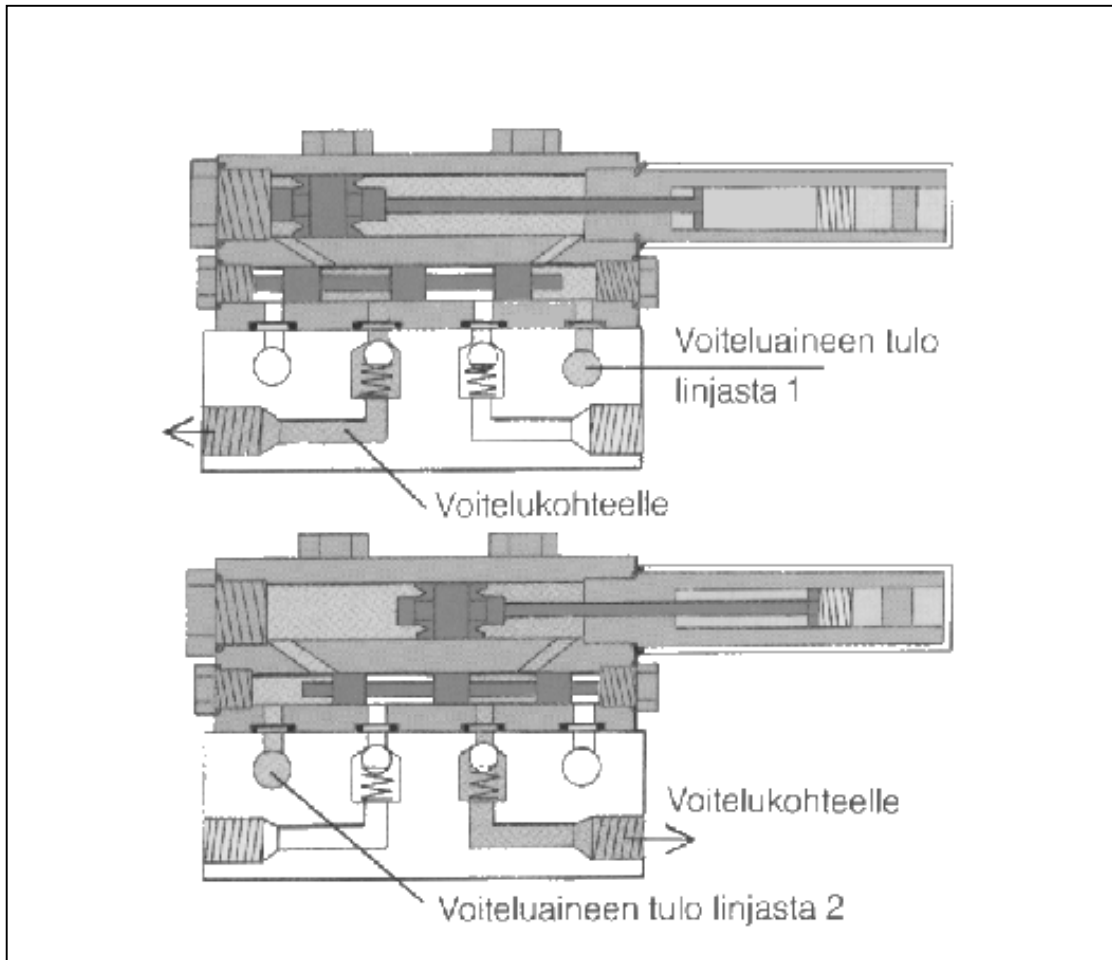
Rasvakeskusvoitelujärjestelmä on ns. kaksiputkinen voitelujärjestelmä, jossa runkoputkia vuorotellen paineistamalla saadaan annostimet toimimaan ja latautumaan pakkotoimisesti.

Annostimen luistinventtiili ohjaa voiteluaineen vuorotellen annostelumännän oikealle tai vasemmalle puolelle riippuen siitä, kumpi runkolinja on paineistettu. Voiteluaineen paine siirtää annostelumännän vastakkaiseen asentoon ja työntää voiteluaineen edeltään pohjalaatan kautta voitelukohteelle. Annostelijan toimintaperiaate esitetään kuvassa 2.

Voiteluaineannosta säädetään rajoittamalla päämännän iskunpituutta. Mikäli annostin voitelee vain yhtä voitelukohdetta, on siinä toisentyyppinen ohjauskara, jolloin toinen ulostuloista on tulpattu. Annostimet ovat moduulirakenteisia ja ne kiinnitetään kahdella ruuvilla erillisen pohjalaatan päälle. Kaikki putkiliitännät ovat pohjalaatassa, joten annostimia vaihdettaessa putkia ei tarvitse irrottaa. Moduulirakenteisissa järjestelmissä ei myöskään varaosiksi tarvita erikokoisia annostinryhmiä, vaan muutama kappale yksittäisiä annostimia riittää. Annostimen rakenteessa on huomioitu riittävä tiivistys, jonka ansiosta on saavutettu pienillä annosmäärillä tarkoituksenmukainen annostelutarkkuus.

Annostimia valmistetaan kuutta eri kokoa, jolloin voiteluaineannos voi olla 0,05 - 200g/jakso. Kaksi pienintä kokoa kattavat teollisuuden tarpeen 90-prosenttisesti. Loput koot on tarkoitettu erikoissovellutuksiin, joissa esim. voiteluväliä ei voi säätää kovin

lyhyeksi. Annostimien materiaali on sinkitty, ja keltapassivoitu teräs ja pohjalaatat ovat eloksoitua alumiinia. Korrosiivisiin olosuhteisiin valmistetaan kaikkia komponentteja myös haponkestävästä teräksestä. Annostimien rakenteessa tulee kiinnittää huomiota tiivistykseen ja annostelutarkkuuteen myös pienillä annosmäärillä.



Kuva 2. Annostelijoiden toiminta.

YKSIPUTKISET RASVAVOITELUJÄRJESTELMÄT

Voitelujärjestelmien käytön lisääntyessä on alettu automatisoida myös kevyempien tuotantoprosessien voitelua, minkä myötä ovat kehittyneet yksiputkiset rasvajärjestelmät. Nämä järjestelmät soveltuvat hyvin kohteisiin, joissa tarvitaan pieniä kerta-annoksia ja joissa voidaan käyttää ”puolijuoksevia” NLGI 0 -luokan rasvoja. Tyypillisiä sovelluskohteita ovat panimojen pullotuslinjat, meijereiden pakkauskoneet, paperinjalostuskoneet, työstökoneet ja muut vastaavat laitteistot.

Suurissa yksiputkisissa rasvavoitelujärjestelmissä käytetään samoja monikanavaisia mikroprosessoripohjaisia ohjauskeskuksia kuin laajoissa rasvavoitelujärjestelmissä. Laajimmillaan yksiputkisissa rasvavoitelujärjestelmissä voi olla toistakymmentä voitelukanavaa ja useita tuhansia voitelukohteita. Yksiputkisten rasvavoitelujär-

jestelmien myötä voiteluautomaatio on mahdollista toteuttaa entistä edullisemmin. Tällöin se on teknisesti ja taloudellisesti perusteltavissa kohteissa, jotka eivät aikaisemmin ole tulleet kustannussyistä kysymykseen.

1.3 Partnership-periaate

Safematic Oy:n toiminnan tarkoituksena on parantaa asiakasyritysten tuotantovälineiden käytettävyyttä. Perusfilosofiana on, että asiakasyritys pystyy keskittymään entistä paremmin omaan ydinosamaiseensa eli tuotantonsa eikä sen tarvitse tuhlaata resurssejaan voiteluhuoltoon.

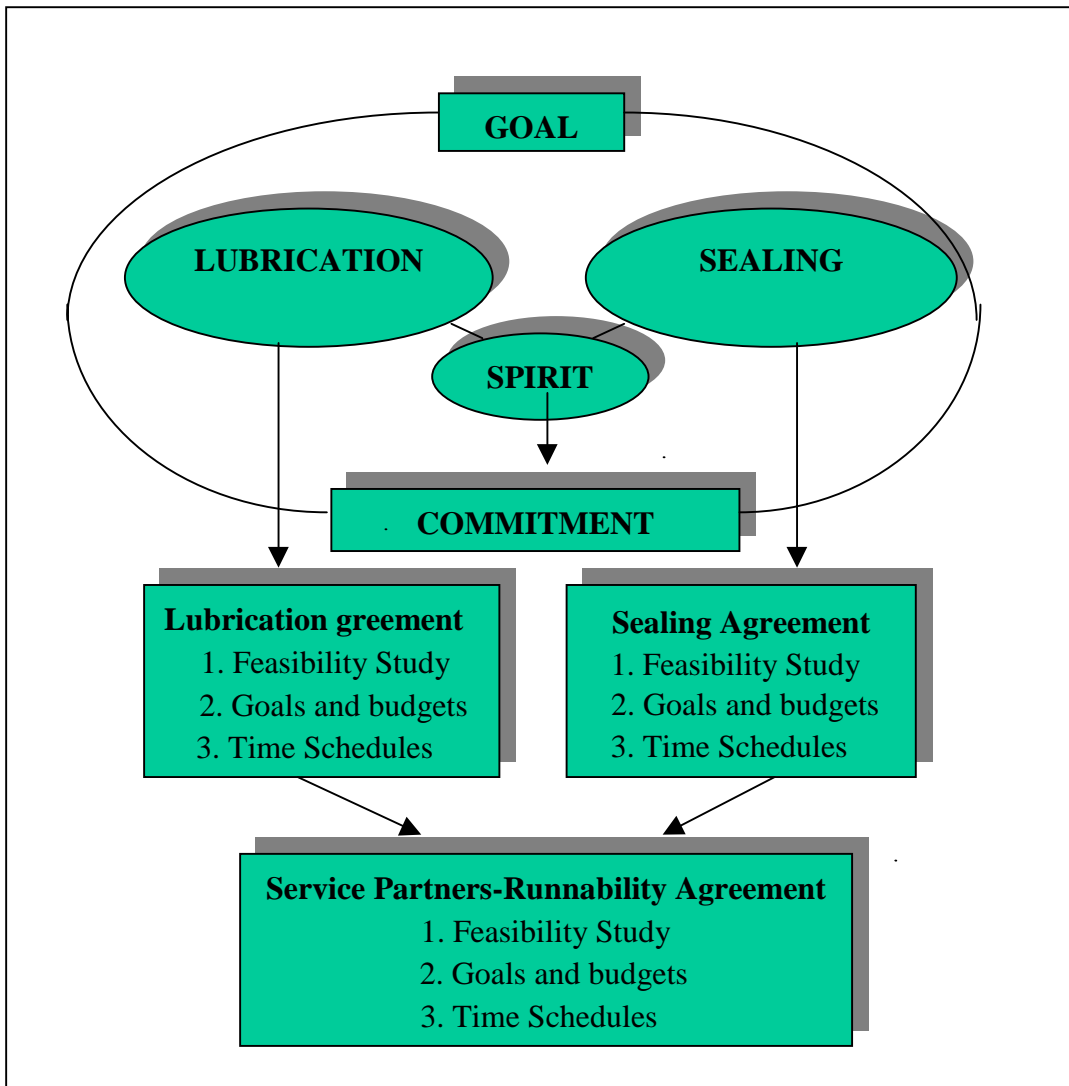
Tulevaisuudessa teollisuus tulee keskittymään yhä enemmän ydinosamaiseensa ja pyrkii hakemaan yhteistyökumppaneita hoitamaan perustuotantonsa kunnossapitotoimintoja. Tällaiset yhteistyökumppanit ovat teollisuudelle tärkeitä erityisesti silloin, kun teollisuus haluaa nostaa tuotantovälineidensä käytettävyyttä. Prosessiteollisuudessa pitkien ja yhä automatisoidumpien tuotantolinjojen käyttöönotto nostaa käyttövarmuuden eli jatkuvan keskeytymättömän tuotannon merkitystä. Täten yhteisesti sovitut partnership-sopimukset prosessiteollisuuden ja kunnossapitoa harjoittavien yritysten välillä tulevat tulevaisuudessa lisääntymään merkittävästi. Suhteellisiin etuihinsa keskittymällä kumpikin osapuoli saavuttaa maksimaalisen hyödyn.

Yhteisesti sovitun partnership-toiminnan lähtökohtana on molempien osapuolien pyrkimys syvälliseen yhteistyöhön ja aitoon, todelliseen kumppanuuteen. Kumppanuudella tähdätään molempia osapuolia hyödyttävään kokonaisuuteen. Tämän kumppanuuden luomiseksi on laitetoimittajan hyvä esittää asiakkaalle laskelmia, joiden avulla voidaan määrittää toimitettavien järjestelmien tulevat kustannukset ja tuotot. Kyseiset laskelmat voidaan esittää LCP-laskentamallien avulla.

Safematic Oy:n ja prosessiteollisuuden välisillä partnership-sopimuksilla pyritään erityisesti parantamaan asiakastehtaiden käyttövarmuutta ja käytettävyyttä sekä alentamaan tuotantokustannuksia. Partnership-sopimuksella pyritään edistämään asiakkaan ja laitetoimittajan välistä yhteistyötä ja samalla se tehostaa toimintaa verrattuna perinteiseen liiketoimintamalliin, jossa yritykset toimivat tilannekohtaisesti. Sopimus sitoo kumppanuusosapuolet strategiseen suunnitteluun. Lisäksi tavoitteena on siirtyä Mill Wide -voitelu- ja tiivistämisratkaisuihin yksittäisten komponenttien sijasta. Kyseisellä sopimuksella pyritään alentamaan pitkällä tähtäimellä myös voitelu- ja tiivistämisjärjestelmien kokonaiskustannuksia sekä huoltokustannuksia. Käytännössä sopimus etenee siten, että yhteiset yhteistoimintaryhmät

- tunnistavat ongelmakohdat,
- kehittävät ja suosittelevat niihin ratkaisut,
- tekevät eri projekteille kustannusarviot ja aikataulut,
- asettavat pysyvät standardit,
- osallistuvat konkreettisiin hankintapäätöksiin.

Tätä polkua kuvataan seuraavassa kaaviossa (kuva 3).



Kuva 3. Safematic Oy:n yhteistyösopimusmalli.

1.4 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus

Raportti liittyy kansalliseen ”Käyttövarmuus kilpailutekijänä” -ohjelmaan (KÄKI). Tämä TEKESin vuonna 1995 aloittama teknologiaohjelma pyrkii luomaan keinoja, joiden avulla teollisuus voi antaa tuotteidensa käyttövarmuudesta tarkemman ja vakuuttavamman teknisen kuvauksen. Ohjelman taustalla on se tosiasia, että laitteistojen kunnossapitoon kuluu paljon rahaa.

Tuotteidensa käyttövarmuuden avulla Suomen teollisuus voi parantaa kansainvälistä kilpailukykyään. Ohjelma painottuu koneiden ja laitteistojen käyttövarmuuden kehittämiseen unohtamatta kokonaisten tuotantolaitosten käyttövarmuutta. Käyttövarmuuden osoittaminen on ollut aiemmin ongelma. Tämä teknologiaohjelma luo keinoja, joilla toimintavarmuudesta ja vikatodennäköisyydestä voidaan kertoa täsmällisesti.

Ohjelma yhdistää aiemmin käytössä olleet erilaiset näkökulmat. Se on poikkitekninen ulottuessaan asiakasvaatimuksista suunnitteluun ja ennakoivasta komponenttien testauksesta laitteisiin sijoitettaviin toimintaa ja kuntoa osoittaviin mittausjärjestelmiin. Mukana on myös inhimillisten tekijöiden huomioon ottaminen ja päätöksenteon tehostaminen. Lopputuloksena on työkaluja, joilla käyttövarmuutta voidaan mitata tai joilla taataan katkoton toiminta. Käyttövarmuus kilpailutekijänä -ohjelma suuntautuu kolmelle teollisuudenalalle. Nämä ovat energiantuotanto, prosessiteollisuus ja metalliteollisuus.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli kehittää ensimmäisen sukupolven laskenta- ja tiedonkeruumalli, jonka avulla arvioitiin Safematic Oy:n suunnittelemien ja toimittamien voitelujärjestelmien elinjaksokustannukset sekä kyseisten järjestelmien vaikutus eri prosessijärjestelmien elinjaksokustannuksiin ja -tuottoihin. Safematicin tuotteilla parannetaan prosessiteollisuuden käyttöastetta vähentyneiden kunnossapitoseisokkien ansiosta. Erityisesti voitelujärjestelmien osalta tätä on vaikea etukäteen todistaa, ja ongelma on tullut esiin suurien vientiprojektien yhteydessä. Yleisemmin voitelujärjestelmä voidaan ymmärtää prosessin osajärjestelmänä. Saatuja tuloksia voidaan käyttää hyväksi myös kehitettäessä tiivistejärjestelmien sekä muiden komponenttien LCP/LCC-laskentamalleja. (LCP - Life Cycle Profit, LCC - Life Cycle Cost). LCP/LCC-laskentamallin kehittämisessä ja todentamisessa tarvitaan todellista käyttökokemustietoa prosessilaitoksista.

Työssä kehitettiin alustava tiedonkeruumalli ja -menetelmät, joiden avulla saatavien tietojen perusteella osajärjestelmän vaikutuksia käyttäjätehtaan käyttövarmuuteen voidaan luotettavasti selvittää. Tämän informaation avulla luotiin saaduista tiedoista LCP/LCC-laskentamalli.

2. LCC/LCP-laskenta

2.1 LCC - Life Cycle Cost, yleistä

Investoinnin käyttö- ja kunnossapitokustannukset sekä seisokkien aiheuttamat välilliset kustannukset ovat usein huomattavia verrattuna hankintahintaan. Tämän vuoksi erilaisissa päätöksentekotilanteissa olisi hyödyllistä arvioida kustannuksia esimerkiksi elinjaksokustannus- eli LCC-analyysin avulla. LCC-tarkastelussa pyritään huomioimaan kaikki tuotteen tai järjestelmän koko elinjakson aikana syntyvät merkittävät kustannukset riippumatta siitä, missä elinjakson vaiheessa kustannukset syntyvät tai kuka ne maksaa. Vaikka LCC-menetelmä on peräisin jo 1960-luvulta, ei sitä vielääkään sovelleta kovin laajasti ja johdonmukaisesti. Ensimmäisenä LCC-menetelmää kehitettiin 1960-luvulla Yhdysvaltain puolustusministeriössä, missä sitä käytettiin päätettäessä hankinnoista. Puolustusvoimista LCC-tarkastelu levisi muille julkisille aloille, ja paikoittain Yhdysvaltain lainsäädäntö on jo kauan edellyttänyt elinjaksokustannusanalyysiä julkisten hankintojen yhteydessä. LCC-menetelmää on käytetty myös teollisuudessa; erityisesti laskelmia on tehty suunniteltaessa voimalaitoksia, öljynporauslauttoja, rautateitä ym. suuria järjestelmiä (Brown & Yanuck 1985).

Investointikustannukset ovat yleensä muita kustannuksia merkittävämpi tekijä tuotteilla, joilla on lyhyt elinjakso. Investoinnin ollessa pitkäikäinen muodostuvat hankintahintaa merkittävämmiksi tekijöiksi tavallisesti muut kustannukset, jolloin LCC-laskentamallin käyttö kannattaa. LCC-menetelmästä saatava etu on sitä suurempi, mitä korkeammat käyttöön ja kunnossapitoon liittyvät kustannukset ovat verrattuna hankintahintaan. LCC:n suurin ongelma on tulevien kustannusten määrittämisen vaikeus. Tulevat kustannukset jätetäänkin usein selvittämättä, ja päätökset tehdään pelkästään hankintahinnan ja muiden elinjakson alussa syntyvien kustannusten perusteella.

Elinjaksokustannusanalyysi kannattaisi kuitenkin tehdä useimmissa päätöksentekotilanteissa, koska epätarkkakin laskelma antaisi tarkemman kuvan ratkaisuvaihtoehtojen kokonaiskustannusvaikutuksista kuin pelkkä hankintahintavertailu. On myös hyvä tehdä elinjaksotuottoanalyysi, jolloin voidaan selvittää kyseisen investointipäätöksen tuomat tuotot (LCP).

Tuotteen elinjaksokustannukset (LCC - Life Cycle Cost), kattavat standardiluonnoksen IEC 300-3-3Ed 1 mukaan kaikki tuotteen hankintaan ja käyttöön liittyvät kustannukset tuotteen elinjakson aikana. LCC-tarkastelu mahdollistaa esim. investointivaihtoehtojen vertailun, jossa hankintahinnan lisäksi huomioidaan eri investointivaihtoehtojen suunnitellun pitoajan aikana syntyvät kunnossapito- ja käyttökustannukset sekä epäkäytettävyydestä aiheutuvat kustannukset. Näiden ”näkymättömien kustannusten” vaikutus investoinnin kokonaiskustannuksiin saattaa olla huomattavan suuri (IEC 1996). Life Cycle Cost -ajattelu on johtamassa siihen, että asiakkaan vaatimukset tuotteiden luotettavuuden osalta ovat kasvaneet, ja joissakin tapauksissa vaaditaan eriteltyä osoitusta tuotteen käyttövarmuudesta.

Ympäristövaikutuksia arvioitaessa käytetään usein tuotteen elinkaarianalyysiä. Elinkaarianalyysissä (LCA - Life Cycle Analysis) lähdetään liikkeelle tuotteiden valmistuksessa ja energiantuotannossa tarvittavien raaka-aineiden erottamisesta

luonnonvaroista ja päädytään valmistusprosessien, käytön ja hylkäämisen jälkeen materiaalien loppusijoitukseen (Moilanen & Martin 1996, s. 169). Tuotteen elinkaari on siis laajempi käsite kuin tuotteen elinjakso, joskin englanninkielisessä lähdekirjallisuudessa käytetään yleisesti molemmista termiä ”Life Cycle”.

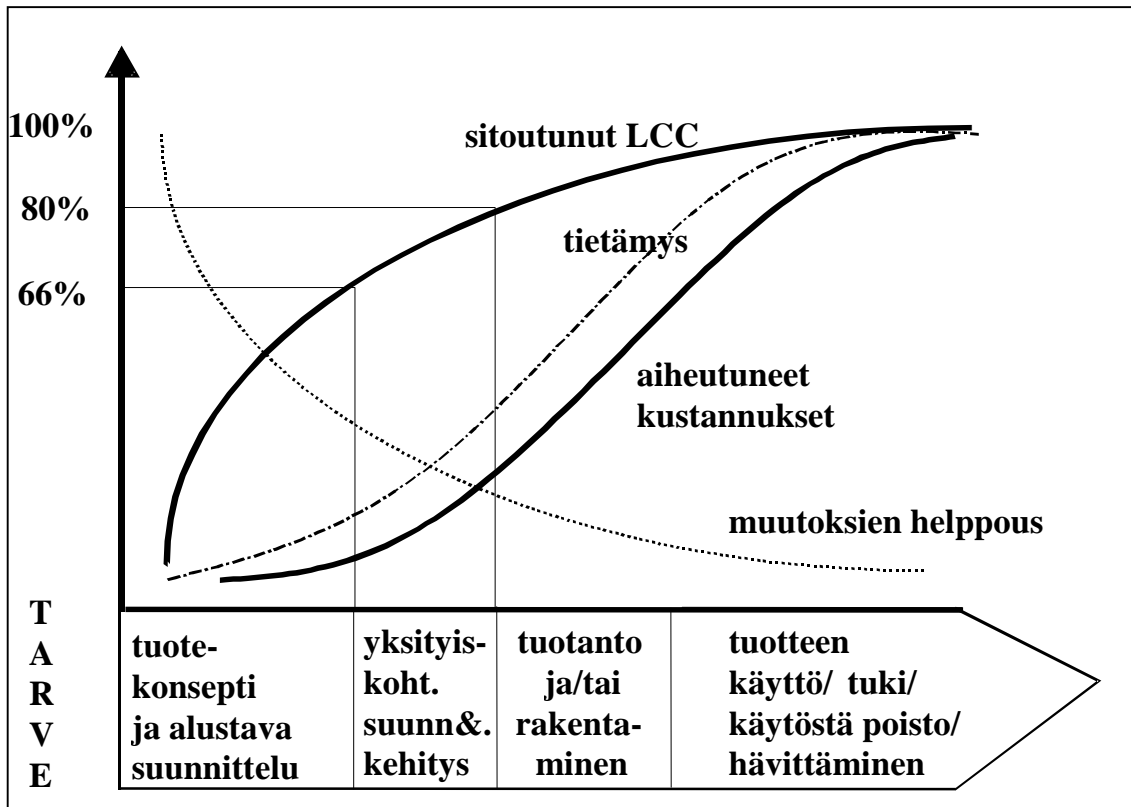
Kirjallisuudessa esiintyy myös käsite elinjaksotuotto (LCP - Life Cycle Profit), joka on LCC-käsitettä laajempi termi. LCP-laskelmissa otetaan elinjaksokustannusten lisäksi huomioon tuotteen, laitteen, prosessin, projektin tms. elinjakson aikana saatavat tuotot. LCP-analyysi on kehitetty erityisesti investointivaihtoehtojen arvioinnin pohjaksi (Ahlmann 1984, Riikonen 1996, s.185).

2.1.1 Elinjaksokustannusten muodostuminen

Tuotteen elinjaksokustannuksilla tarkoitetaan tuotteen koko käyttöiän aikana syntyneitä kustannuksia, joita ovat mm. tutkimus- ja tuotekehityskustannukset, valmistuskustannukset, käyttökustannukset ja kunnossapitokustannukset sekä tuotteen käytöstä poistamisesta sen elinjakson lopussa syntyvät kulut. Tuotteen elinjakso ”Life Cycle” alkaa, kun kuluttajan tarve tiedostetaan, ja päättyy, kun tuote tai järjestelmä poistetaan käytöstä (IEC 1996). Elinjaksotarkasteluja voidaan ja pitäisi suorittaa tuotteen elinjakson kaikissa vaiheissa, joten tarkastelujakson pituus voidaan valita LCC-tarkastelun tavoitteisiin nähden sopivaksi.

2.1.2 Tuotekehitysvaiheen merkitys tuotteen elinjaksokustannuksissa

Valtaosa tuotteen kustannusvaikutuksista määrätään elinjakson alussa tehdyillä päätöksillä. Siksi onkin tärkeää, että LCC-tarkasteluja tehdään mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jolloin tuotekonseptiin voidaan vielä helposti tehdä muutoksia. Kuvassa 4 kumulatiivisessa elinjaksokustannusten kuvaajassa on korostettu tuotekonseptin luomisen ja esisuunnittelun tärkeyttä.



Kuva 4. Kustannusten ja tietämyksen kertyminen sekä LCC:n sitoutuminen elinjakson aikana (Fabrycky & Blanchard 1991, s. 13).

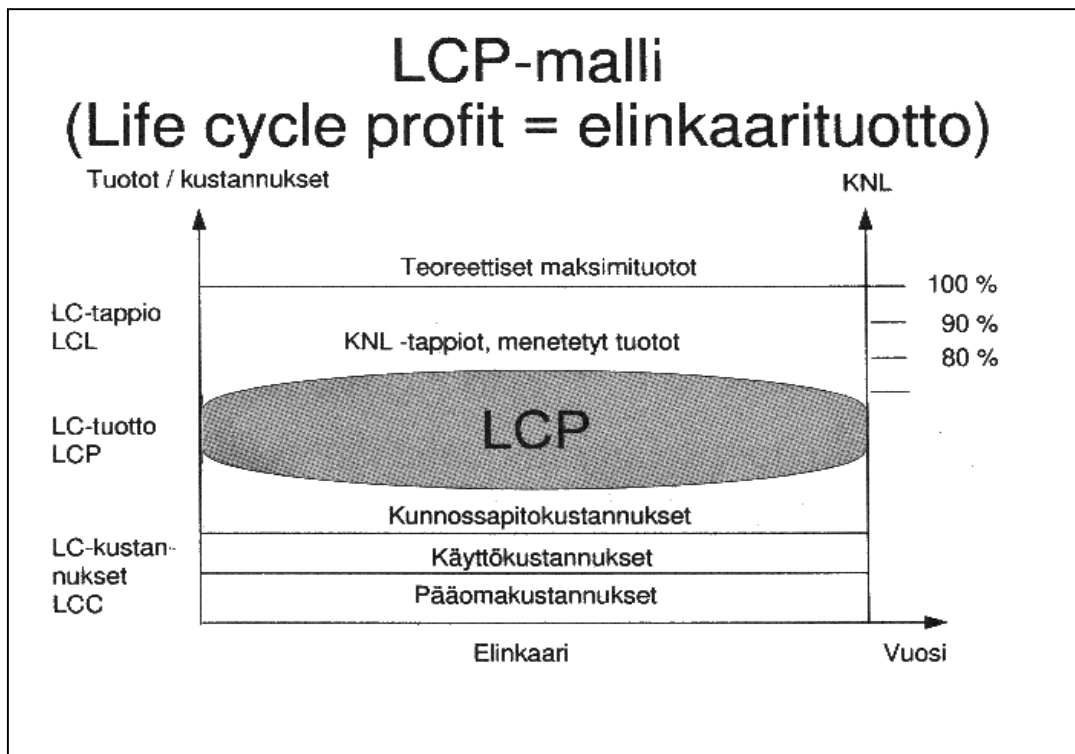
Fabrycky ja Blanchard (1991, s. 12) esittävät arvion, että yli puolet tuotteen elinjakso-kustannuksista on sidoksissa alustavassa suunnitteluvaiheessa jo tehtyihin tuotteen ominaisuuksiin, suorituskykyä, luotettavuutta ja käytettyä teknologiaa määrittäviin ratkaisuihin. Suunnittelu- ja tuotekehitysvaiheen päättyessä vielä suurempi osa elinjakso-kustannuksista on sidoksissa. Todellisista kustannuksista sen sijaan vain pieni osa on syntynyt tuotekehitys- ja suunnitteluvaiheen loppuun mennessä. (Kortelainen 1997)

2.2 LCP - Life Cycle Profit, yleistä

Kuten jo aikaisemmin mainittiin, kirjallisuudessa esiintyy myös käsite elinjakso-tuotto (LCP - Life Cycle Profit), joka on LCC-käsitettä laajempi termi. Kun LCC-laskelmat ottavat huomioon elinjakso-kustannukset, LCP-laskelmat laajentavat huomion tuotteen, laitteen, prosessin, projektin tms. elinjakson aikana saataviin tuottoihin. LCP-analyysi onkin kehitetty erityisesti investointivaihtoehtojen arvioinnin pohjaksi (Ahlmann 1984, Riikonen 1996, s. 185). Tuotteen, laitteiston, tehtaan tai järjestelmän LCC on kokonaiskustannus, joka kattaa kaikki tuotteen ostamisesta, käyttämisestä ja kunnossapidosta aiheutuneet käyttäjän kustannukset. LCC-tekniikka on siis laskentatapa, jonka avulla voidaan ostaa kokonaiskustannuksiltaan halvin tuote ja

selvittää sen kustannukset koko eliniän ajalta. Tällä päästään eroon nykyisin ylikorostuneesta tavasta tarkastella vain hankintakustannuksia. LCP:n käyttö on lisääntynyt viime vuosina erityisesti yritysjohton työkaluna arvioitaessa mahdollisen investoinnin kannattavuutta. Tulevaisuudessa sen käyttö tulee yleistymään erityisesti investointipäätöksiä tukevana työkaluna.

LCC-analyysi ei kuitenkaan riitä yrityksissä. Siellä täytyy määritellä tuotot markkinalähtöisesti ja kannattavuusarviot on tehtävä kaikista hankinnoista. LCP-analyysillä voidaan tehdä tuottoarviot siten, että kaikki elinikäkustannukset huomioidaan analyysissä. Kuvassa 5 esitetään pääpiirteittäin, kuinka LCP-malli rakennetaan.

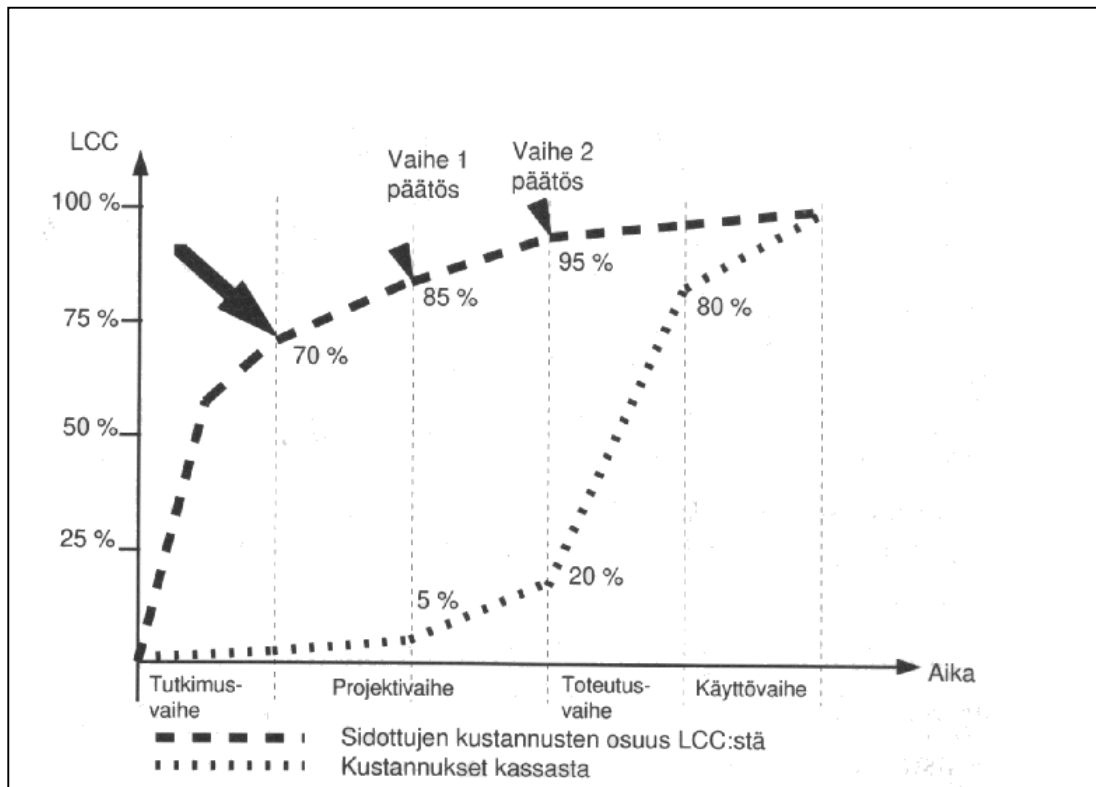


Kuva 5. LCP-malli (Riikonen 1996).

2.2.1 LCP-analyysin käyttöön liittyvät perustelut

Investointipäätöstä tehtäessä on tutkittava kunnolla kaikki kustannukset ja tuotot. Näin ei kuitenkaan läheskään aina toimita.

Esim. puolustuslaitoksessa on huomattu, että jo tutkimusvaiheessa (esiprojektissa) on lyöty lukkoon noin 70 % tulevista kustannuksista. Kun eri teollisuusyrityksissä on tutkittu, mikä vaikuttaa tuottojen poisjäämisen suuruuteen, voidaan todeta, että suunnittelu- ja hankintavaiheilla on ratkaiseva vaikutus. Kuvasta 6 käy ilmi, kuinka projektin alussa tehdyt päätökset määrittävät suurimman osan tulevista kustannuksista.



Kuva 6. LCC määräytyy paljolti varhaisien vaiheiden päätöksistä (Riikonen 1996).

Eräissä petrokemian teollisuuslaitoksessa kävi ilmi, että suunnittelusta ja hankinnoista johtuvat käyntihäiriöt olivat 60 % kaikista käyntihäiriöistä. Operoinnista ja puutteellisesta ylläpidosta johtuvat käyntihäiriöt taas olivat 30 % ja 10 % kaikista käyntihäiriöistä. (Riikonen 1996)

Yksinkertainen nyrkkisääntö on, että jonkin muutoksen toteuttaminen maksaa ideavaiheessa havaittuna ja toteutettuna yhden markan. Sama muutos maksaa kymmenen markkaa suunnitteluvaiheessa, 100 markkaa tuotantolaitteiston valmistusvaiheessa ja 1 000 markkaa, kun tuotantolaitteisto on käytössä. Eli kymmenen markan lisäinvestointi suunnitteluvaiheessa saattaa säästää 1 000 markkaa käyttövaiheessa. (Riikonen 1996)

Näiden syiden lisäksi muita hyviä syitä käyttää LCP-analyysiä ovat:

- Saadaan suurempi valmius varhaisessa vaiheessa havaita ja estää ongelmat.
- Saadaan tarkemmat tiedot vian mitoittamista ja korjausta varten.
- Laitteiston varsinaiset käyttäjät sitoutuvat enemmän projektityöhön, mikä antaa paremmat lähtökohdat päätöksentekoon ja lisää motivaatiota.
- Tekninen suorituskyky vastaa paremmin käyttövarmuusominaisuuksia, koska huomataan alimitoitettujen käyttövarmuusominaisuuksien maksavan paljon tuotteen koko eliniän ajalta.
- Saadaan hyvä tietopohja tuotanto- ja kunnossapito-organisaatioiden mitoittamiseen sekä pätevyystavoitteille.

- Vastaa hyvin laatuvarustuksia.
- Huolellinen analyysi voi helpottaa laatusertifioimista.
- Saadaan kattavammat taustatiedot toimittajavalintoihin.
- Muodostetaan yhdenmukaistettu päätöksentekoprosessi, ts. on helppo verrata ja asettaa paremmuusjärjestykseen eri investointivaihtoehtoja.
- Ostaja ja myyjä voivat nähdä kokonaisuuden, jolloin voidaan paremmin ehdottaa parannuksia tai vaihtoehtoisia ratkaisuja.
- Käyttäjä saa taloudellista perustietoa, jota voi käyttää pitkän aikavälin suunnittelussa ja budjetoinnissa, koska kustannukset on arvioitu tuotteen koko elinajalle.
- Kehitetään valmius ottaa huomioon kustannukset tulevia muutoksia varten (riskin arviointi). (Riikonen 1996)

LCP-analyysiä käytettäessä on hyvä muistaa, että sen käyttö on hyödyllistä sekä korvausinvestoinneissa ja korjausrakentamisessa että pelkissä uusissa investoinneissa.

2.2.2 LCP-projekti

Projektiorganisaatioon osallistuvien tulee olla mukana hankkimassa ja arvioimassa tietoja, joita LCP-laskelmantekemiseen tarvitaan. Koko linjaorganisaatio pitää saada työhön mukaan, jotta mahdollisimman monet sitoutuisivat projektiin. Henkilöstön tulee osallistua projektiin niin aikaisessa vaiheessa, että se voi vaikuttaa siihen ennen, kuin kustannusten pääkohdat lopullisesti päätetään.

LCP-laskelman avulla on pystyttävä vertaamaan tarkasti eri ratkaisuja. On haettava vastauksia siihen, mikä vaihtoehto on paras, sekä tehtävä herkkyysanalyysijä vaihtelemalla erilaisia parametrejä.

LCP-analyysi

1. vastaa kysymykseen, mikä käytettävyyssaste tarvitaan, jotta projektista tulee kannattava
2. kertoo, onko investoinnin läpivienti ylipäättänsä kannattava
3. on hyvä apuväline elinkausikustannusten ja -tuottojen ohjaukseen ja laskemiseen
4. on oikea dokumentti esitettäväksi yrityksen hallitukselle investointipäätöksen perusteeksi
5. antaa laitevalmistajalle selvän kilpailuedun kilpaileviin yrityksiin nähden.

LCP-pohjaisen hankintatyön aikana tehdään myös parannuksia elinkausiylijäämän kasvattamiseksi. Tämä merkitsee tiivistä yhteydenpitoa asiakkaan ja toimittajan välillä molempien osapuolten hyväksi. Asiakas saa laitteiston, jolla on korkea elinjaksotuotto, ja toimittaja saa lisää tietoa, mikä lisää hänen valmiuttaan myydä laitteistoa muille asiakkaille.

LCP-laskelmassa tarvittavat tiedot:

1. Hankintakustannukset
 - Kaikki kustannukset, joilla on tekemistä uuden laitteiston asennuksen ja hankinnan kanssa.

2. Kulut, joita ei voida poistaa
 - Kustannukset, jotka syntyvät hankinnan yhteydessä, mutta joita ei poisteta. Esim. asennuksen ja käyntiinajon yhteydessä muiden koneiden seisokkikustannukset ja koulutus.
3. Vuotuiset kunnossapitokustannukset
 - Laitteiston vaatimat kustannukset, jotka liittyvät ennakoivaan ja korjaavaan kunnossapitoon, varaston käsittelyyn ja koulutukseen.
4. Vuotuiset käyttökustannukset
 - Laitteiston käyttöön liittyvät mahdolliset lisäkulut, säästöt yms. (kuten energia, vesi, raaka-aineet, palkat ja saneeraus).
5. Vuotuiset kiinteät kustannukset
 - Esim. hallintokustannukset ja vakuutukset. Pienten investointien yhteydessä nämä kustannukset ovat yleensä alhaiset.
6. Jäännösarvo tai lopettamisesta aiheutuvat kulut
 - Jos taloudellisen eliniän jälkeen voidaan odottaa jotain voittoa tai kustannuksia, ne kuuluvat tähän ryhmään.
7. Vuotuiset tuotot
 - Tähän kuuluvat maksimaalinen ja toteutunut tuotanto laskettuna kokonaistehokkuuden avulla ($K \times N \times L$) sekä hinta/yksikkö (kpl, tonni, tms.). (Riikonen 1996)

K = Käytettävyys (kuinka suuren osan kokonaisuudesta kone toimii)
 N = Nopeuskerroin (todellinen tuotantonopeus/teoreettinen maksiminopeus)
 L = Laatukerroin (kuinka suuri osa valmistuksesta on hyvä laatuista)

Ennen kuin tiedot on saatu käyttöön, joudutaan tavallisesti keräämään paljon taustatietoja. Tämä voi koskea esim. sisältyvien komponenttien erilaisia käyttövarmuustietoja, jotka puolestaan voivat vaikuttaa niin kunnossapitokustannuksiin kuin valmistettavissa olevan määrän arvoonkin.

Tarvittavia taustatietoja voidaan hankkia

1. käyttämällä omaa kokemusta,
2. käyttämällä toisten kokemusta,
3. kysymällä toimittajalta,
4. käyttämällä standardeja.

Yleisesti ottaen toimittajan ja asiakkaan välisestä yhteistyöstä on merkittävästi apua LCP-laskentaa tehtäessä ja tuottoja laskettaessa.

1. Oma kokemus

Analysoidaan omasta KNL-järjestelmästä (käytettävyys x nopeus x laatu) tai muusta seurantajärjestelmästä saatua laitteen käytettävyyttä koskevaa tietoa. Arvioidaan

historiatiedot, koneraportit ja muut dokumentit. On tärkeätä varata aikaa tuotteen toimintavarmuuden, kunnossapidettävyyden ja kunnossapitovarmuuden arvioimiseen sekä analysoimiseen. On hyvä tehdä haastatteluja laitteen tuntevalta käyttö- ja kunnossapitohenkilöstöltä. Vaikka ollaan ostamassa uudentyyppistä laitetta, siihen voi kuulua useita samoja tai samankaltaisia osia, kuin on jo käytössä olevissa laitteissa. Kun aikomuksena on ostaa korkean elinjaksotuoton omaava laite, kannattaa ehdottomasti käyttää hyväksi kaikki tieto omasta käytössä olevasta laitteesta.

2. Toisten kokemukset

Otetaan yhteyttä oman tai muiden alojen kollegoihin. Otetaan avuksi riippumattomia asiantuntijoita ja laitoksia. Oma tehokas seuranta on eduksi, koska muut yritykset pitävät hyödyllisempänä antaa tietoja itsestään, kun tietävät saavansa vuorostaan apua jossakin muussa tilanteessa.

3. Toimittajan informaatio

Toimittajalta voi vaatia, että hän antaa pyydetyt tiedot. Toisaalta voidaan itse tehdä tarvittavat arviot ja hyväksyttää ne toimittajalla. Ongelma saattaa syntyä siitä, mitä takuita toimittaja on valmis antamaan. Ostosopimukseen voidaan ehkä lisätä erilaisia sakkoehtoja. Jos ostajalla ja/tai toimittajalla ei ole kokemusta LCP- ja LCC-laskentamallien käytöstä hankintoja tehtäessä, mahdollisten virheinvestointien tai virheinvestointineuvojen määrä kasvaa. Onkin erittäin tärkeätä arvioida toimittajan pätevyys ja uskottavuus. Aina kannattaa pyytää suosituksia aikaisemmilta asiakkailta.

4. Standardien käyttö

Seurataan elinikäitietoja sekä mahdollisimman laajalti tehdasnormeja, standardeja ja alan standardeja yleisesti. Kun tämä kaikki tieto on käsitelty, täytyy määrittää taloudellinen elinikä vuosina ja selvittää laskentakorko. Tärkeä seikka kaikessa LCP- ja LCC-laskentamallien teossa on antaa kaikkien asianosaisten, kuten kunnossapidosta, tuotannosta sekä suunnittelusta vastaavien, osallistua arviointien tekemiseen jo mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Projektin alussa muutos maksaa huomattavasti vähemmän kuin käyttövaiheessa. Mielenkiinto koneen ajamiseen ja hoitamiseen parhaalla tavalla kasvaa, kun kaikki osapuolet ovat mukana vaikuttamassa laitteen valintaan ja suunnitteluun. (Riikonen 1996)

2.2.3 LCP-projektin organisointi

Kun yritys käyttää LCP-menetelmää hankinnassa, tarvittavien laskelmien tekeminen on alkuvaiheessa annettava nimetyn henkilön tehtäväksi. Hänen on saatava toimintatavasta perusteellinen koulutus, kun taas muut osapuolet organisaatiossa tarvitsevat vähemmän koulutusta. Kun LCP-laskentamallia on käytetty muutamissa projekteissa, vastuu voi siirtyä projektinvetäjille, joilla pitää olla mahdollisuus saada tietyn asiantuntijan apua ongelmatilanteissa. Pienempien LCP-projektien yhteydessä, kuten yksittäisissä koneasennuksissa, on täysin mahdollista tehdä tarpeelliset laskelmat ilman erityisohjelmia. Kun tietomäärä lisääntyy ja mutkistuu, on pakko siirtyä käyttämään erityisiä tietokonepohjaisia ohjelmia. Tällöin LCP-analyysiin saadaan kapasiteettia lisättyä huomattavasti ja sen voi tehdä täydellisemmin. Vaihtoehtoisten ratkaisujen määrä lisääntyy sekä virhelaskelmien riski pienenee. Täten saadaan myös valmiudet kehittää graafisia esityksiä ja tehdä yksinkertaisella tavalla herkkyyksianalyysyjä ja muita simulointeja. (Riikonen 1996)

2.2.4 LCP-laskelman tekeminen

Suurin ja laajin työ LCP-laskennassa on kehittää skenaariot tulevista tuotoista ja kustannuksista. Kun ne on kehitetty, käytetään arviointien tekemiseen investointien vakiintuneita laskentamenetelmiä.

Yrityksessä tehtäviä investointeja on arvioitava kannattavuuden näkökulmasta. Kannattavuus määritellään usein vuosipohjaisena, mutta investointi ulottuukin useammalle vuodelle. Siksi on tärkeää määrittää kannattavuus arvioimalla sisään- ja ulosmaksujen erotus investoinnin koko eliniän ajalta. On myös huomioitava, että maksuja suoritetaan eri ajankohtina, ja siksi ne on diskontattava määritellylle perusvuodelle.

Investointi sitoo ja vapauttaa pääomaa eri ajankohtina. Koronsaantimahdollisuuksien vaihtelevuudesta johtuen maksuja ei voida laskea sellaisenaan yhteen kannattavuutta määriteltäessä. Ne täytyy ensin tehdä vertailukelpoisiksi korkolaskennan avulla. Korkolaskentaan käytetään kolmea eri menetelmää, jotka on jo aiemmin esitelty: nykyarvo-, annuiteetti- ja sisäisen korkokannan menetelmiä. Laskelman onnistumisen kannalta on erittäin tärkeää pystyä kartoittamaan ja arvioimaan ajankohtineen kaikki kustannukset, joita investointi aiheuttaa elinikänsä aikana.

Perinteinen LCC-analyysi auttaa ottamaan kaikki kulut systemaattisella tavalla huomioon. LCP-analyysi auttaa lisäksi tuottojen suuruuden ja ajankohtien arvioimisessa. Tämä tapahtuu siten, että LCP-analyysi ottaa huomioon epäkäytettävyydestä, kapasiteetin riittämättömästä käytöstä ja huonosta laadusta johtuvat tuotannonmenetykset. On muistettava, että tämänyyppisissä laskelmissa on aina tietty epävarmuus. Siksi onkin tehtävä vaihtoehtoisia laskelmia sekä herkkyyssanalyysyjä sekä otettava käyttöön aikahorisontteja. (Riikonen 1996)

3. Voitelun merkitys teollisuuden käytettävyyden kannalta

3.1 Yleistä

Voitelun tavoitteena on toisiaan vasten pyörivien tai liukuvien koneenosien kosketuspintojen välissä syntyvän kitkan pienentäminen ja osien kulumisen ehkäiseminen ja vähentäminen. Voiteluhuollon onnistuneen toteutuksen tuloksena saavutetaan

- koneenosien ja laitteiden pidempi kestoikä,
- huoltojen vaatimien seisokkiaikojen lyhentäminen,
- käyttövarmuuden paraneminen,
- koneiden energiahyötysuhteen paraneminen ja näin ollen merkittävä energiansäästö.

Teollisuudessa voiteluhuolto vaikuttaa siis hyvin merkittävästi tuotantotoiminnan kokonaistaloudellisuuteen. Voiteluhuollosta muodostuvien kustannusten arvioidaan olevan Suomen teollisuudessa yhteensä n. 320 Mmk (2 x voiteluaineen ostohinta), mikä vastaa n. 3 %:a teollisuuden kunnossapitokustannuksista (Pajukoski 1997). Näin ollen voitelusta muodostuvat kustannukset ovat hyvin pienet kokonaiskunnossapitokustannuksiin verrattuna, kun otetaan huomioon se, kuinka paljon voiteluhuollon laadukas toteuttaminen tuo. Lisäksi voiteluhuollon oikea toteuttaminen on ympäristöä säästävää toimintaa.

Voiteluhuolto on prosessiteollisuuden ennakkohuollon keskeisiä osatekijöitä. Prosessiteollisuuden koneiden ja laitteiden käytettävyydelle asetetaan korkea vaatimustaso, jonka saavuttamiseksi on useiden eri osa-alueiden toimittava saumattomasti yhteen. Korkean käytettävyydystason rakentaminen alkaa koneiden, laitteistojen ja prosessin suunnittelusta jatkuen materiaalivalintoihin, valmistukseen ja asennukseen. Prosessinohjaus ja -valvonta yhdessä suunnitelmallisen huollon ja kunnossapidon kanssa varmistavat korkean käytettävyydystason. Yksi keskeinen osatekijä pyrittäessä korkeaan käytettävyyteen on hyvin toimiva voiteluhuolto.

Oikeat voitelutekniset ratkaisut luovat pohjan prosessin häiriöttömälle toiminnalle. Voiteluhuollon keskeisimpiä osatekijöitä ovat voitelulaitteisto, olosuhteet ja itse voitelukohde. Tekninen kehitys ja osaaminen voiteluhuollon alueella on edennyt voimakkaasti viime vuosina. Kehitys on johtanut automatisoituihin voitelulaitteistoihin, voitelun valvonta- ja ohjausautomaation kehittymiseen sekä voiteluaineiden kehittymiseen. Voiteluhuolto on kehittynyt automatisoidun prosessitekniikan tärkeäksi osa-alueeksi.

3.2 Voiteluautomaation taloudellinen merkitys

1. Alhaisemmat laitevauriot

Luotettavasti ja säännöllisesti tapahtuva voitelu karsii pois puutteellisesta voitelusta aiheutuneet laakeri- yms. laitevauriot. Laakerointien kannalta edullinen tilanne saavutetaan annostelemalla voiteluainetta usein ja pieninä kerta-annoksina. Kohteet, joissa esiintyy paljon vieraita partikkeleita ja joissa kosteusprosentti on suuri, ovat ongelmallisia laakereiden voitelun kannalta. Näissä kohteissa käsivoitelun yhteydessä laakeripesään kulkeutuu epäpuhtauksia ja kosteutta, jotka saavat aikaan laakerin ennenaikaisen hajoamisen.

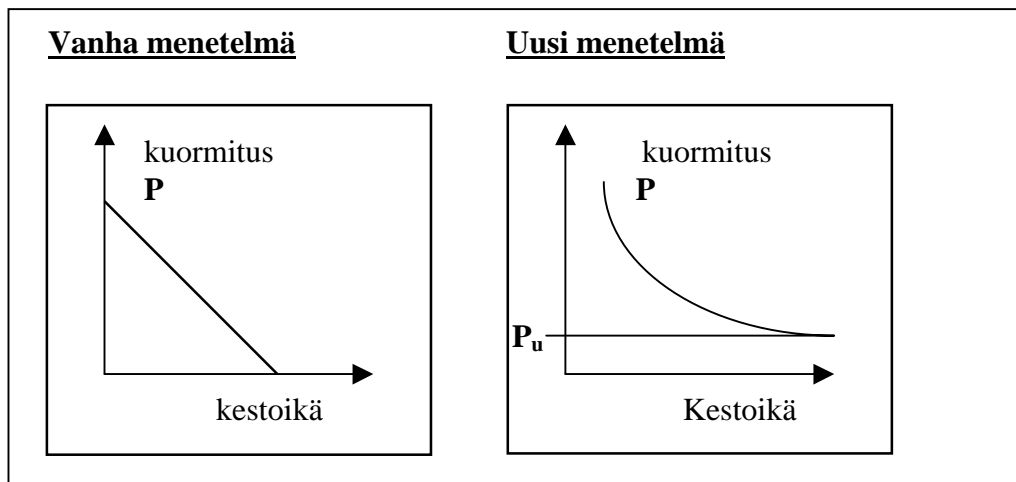
Useissa kohteissa on todettu, että automaattisella keskusvoitelulla on pystytty ehkäisemään vieraiden partikkeleiden ja kosteuden pääsy laakeripesään sen tiiviyn ansiosta.

SKF:n tutkimuksen mukaan laakerivauriot aiheutuvat seuraavista syistä:

16 %	VÄÄRÄ ASENNUSTAPA: liiallinen voimankäyttö, hitsauspillillä lämmittäminen tai muu välittömästi laakeria vaurioittava menetelmä asennusvaiheessa.
36 %	HUONO VOITELU: puutteellinen tai liiallinen voitelu, voiteluaineen koostumus.
14 %	EPÄPUHTAUDET: vierintälaakereiden ja voiteluaineen kunnon kannalta epäpuhtauksia ovat erilaiset partikkelit, vesi, ilma ja muut kaasut.
34 %	MUUT SYYT: väsymiskestojen saavuttaminen, väärä mitoitus, esim. akselin linjaus- ja epätasapainovirheiden aiheuttamista dynaamisista ylikuormituksista tai ennalta arvaamattomista muutoksista ympäristötekijöissä (lämpötila, kierrosluku, jne). Myös paljon ehjiä laakereita vaihdetaan ”varmuuden vuoksi” -huoltojen yhteydessä.
100%	YHTEENSÄ

Tämän SKF:n tutkimuksen mukaan (SKF 1989 - 1996) voitelusta aiheutuneita laakerivaurioita on n. 50 % (huono voitelu 36% + epäpuhtaudet 14%). Näin ollen oikein toteutetulla voiteluhuollolla on mahdollista eliminoida voitelusta ja epäpuhtauksista aiheutuneet laakerivauriot ja samalla puolittaa laakerivaurioiden kokonaismäärä.

SKF:n uuden kestoikäteorian mukaan laakeri, joka toimii täysin puhtaissa olosuhteissa sekä on kohtuullisesti kuormitettu ja hyvin voideltu, ei vaurioidu. Laakerissa ei näy väsymisilmiöitä ja se pyörii ”ikuisesti”. Voitelun vaikutus laakerin kestoikään on jo kauan ollut tiedossa ja se on myös huomioitu laakerien kestoikälaskelmissa. Seuraavalla sivulla on verrattu vanhaa ja uutta kestoikäteoriaa (kuva 7).



Kuva 7. Laakerien kestoikäteoria (SKF 1989 - 1996).

Vanhalla menetelmällä saadaan aina rajoitettu väsymiskesto. Uusi menetelmä antaa väsymiskuormituksen rajan P_u , jonka ala-puolella ei synny laakerissa väsymisvaurioita, jos voitelu on täysin puhdasta.

Vierintälaakereiden kestoikäkokeet SKF:n ERC-tutkimuskeskuksessa antoivat uutta tietoa puhtauden tärkeydestä voitelussa ja sen vaikutuksesta kestoikään. Uusi kestoikäteoria osoittaa puhtauden tärkeyden laakerien käytössä. Vieraat hiukkaset lyhentävät laakerin kestoikää ratkaisevasti. Parempi puhtaus laakerin käytössä johtaa huomattavasti pidempään kestoikään kuin on aiemmin luultu (SKF 1989 - 1996).

Puhtautta voidaan parantaa seuraavasti:

- puhdas käsittely ja asennus,
- puhtaampi voiteluaine,
- tehostettu tiivistys.

Pidemmän kestoian ansiosta saavutetaan:

- suurempi luotettavuus,
- pienempi vauriotiheys,
- konekannan suurempi käyttöaste,
- käyttövarmuuden paraneminen,
- laakerikoon muuttaminen pienempään.

Uuden kestoikäteorian ansiosta voidaan laakerin kestoikä ennustaa tarkemmin kuin aiemmin. Tämän teorian myötä laakerin kestoikälle on olennaisen tärkeää, että

- käyttöolosuhteet ovat puhtaat,
- suodatus ja tiivistys ovat tehokkaat,
- huolto, voitelu ja voiteluaine ovat asianmukaisia,
- asennus on oikein suoritettu ja materiaaleja käsitellään asianmukaisesti. (SKF 1989 - 1996)

Näihin kaikkiin voidaan vaikuttaa ratkaisevasti oikeanlaisen voitelumenetelmän valinnalla. Keskusvoitelujärjestelmällä on suuri merkitys puhtauden kannalta, mistä johtuen kohdetehtäillä on voitu vähentää niinkin ratkaisevasti laakerivaurioita järjestelmän käyttöönoton myötä.

Laakerivaurioiden yhteydessä usein vaurioituu muitakin laitteita tai osia. Yleisimmin hajoaa liukurengastiiviste. Haastattelujen perusteella laakerivaurion yhteydessä joudutaan lähes poikkeuksetta vaihtamaan vioittunut liukurengastiiviste uuteen. Sähkömoottorin laakerin hajoaminen johtaa usein koko sähkömoottorin uusimiseen, koska laakerivaurio hajoittaa myös roottorin. Pumpun laakerin hajoaminen johtaa poikkeuksetta myös juoksupyörän uusimiseen. Seuraavassa esitetään laakerivaurion keskiarvokustannukset toiselta kohdetehtäältäamme.

Laskelmiin on otettu keskiarvoja sen perusteella, kuinka paljon ja minkälaisissa kohteissa vaurioita eniten syntyy.

Laakerivaurio muualla kuin sähkömoottorissa tai pumpussa

1. laakeri	ka. 2 000 mk
2. liukurengastiiviste	ka. 4 000 mk
<u>3. työ (7 h x 180 mk/h)</u>	<u>ka. 1 260 mk</u>
YHT.	ka. 7 260 mk

Korjauksen kohteena ovat usein esim. akselien laakeristot. Korjaustyö koostuu laakeripesän kasaamisesta (4 h) ja laakerin asennuksesta (3 h). Liukurengastiiviste on vaihdettava lähes poikkeuksetta, kun laakeri hajoaa, sillä laakerivaurio aiheuttaa lähes poikkeuksetta myös liukurengastiivisteen vaurioitumisen.

Laakerivaurio sähkömoottorissa

Sähkömoottorit Yritys B:ssä ovat tehoiltaan 0,25 kw - 800 kw. Moottorien hinnat ovat tehosta riippuen 600 mk - 200 000 mk. Alle 45 kw:sia on n. 80 %. 45 kw:n sähkömoottorin hinta on n. 20 000 mk. Moottoreiden laakereita hajoaa yhtä paljon moottorin kokoluokasta huolimatta. Häiriö- ja vikatietojen mukaan sellutehtaassa laakereita hajoaa sähkömoottoreissa ja pumpuissa kutakuinkin yhtä paljon. Näissä tapahtuvat laakerivauriot ovat n. 80 % kaikista laakerivaurioista. Loput 20 % vaurioista tapahtuvat muissa kohteissa.

1. sähkömoottori	ka. 32 240 mk
<u>2. työ (3 h x 180 mk/h)</u>	<u>ka. 540 mk</u>
YHT	ka. 32 780 mk

Laakerivaurio pumpussa

Pumpun laakerivaurio tulee kustannuksiltaan suuremmaksi kuin edellisissä tapauksissa. Pumpujen hinnat vaihtelevat, mutta alla olevassa laskelmassa on laskettu keskiarvohinta. Laakereita on oletettu hajoavan yhtä paljon huolimatta pumpun kokoluokasta. Laakerin hajottua vaihdetaan pumpu ja juoksupyörä, joka maksaa n. 40 % pumpun kokonaishinnasta.

1. pumppu	ka. 30 000 mk
2. juoksupyörä	ka. 12 000 mk
3. työ (5 h x 180 mk/h):	ka. 900 mk
YHT.	ka. 42 900 mk

Jatkossa laskentamallissa tullaan käyttämään seuraavia oletuksia vaurioiden jakaantumisesta ja näistä muodostuvaa keskiarvokustannusta yhdelle laakerivauriolla:

- laakerivauriot pumpuissa ovat 40 %,
- laakerivauriot sähkömoottoreissa ovat 40 %,
- laakerivauriot muualla ovat 20 %.

Tällöin keskiarvokustannukseksi yhdelle laakerivauriolla muodostuu n. 32 000 mk.

2. Menetetty tuotanto

Laakerivaurioista johtuvien korjausseisokkien aiheuttama tuotannonmenetys on merkittävä kustannuserä. Kun tiedetään, paljonko paperikoneen seisokitunti maksaa, voidaan laskea, että usein jo yksi vaurio on kalliimpi kuin keskusvoitelujärjestelmän investointi. Toisen kohdotehtaan laakerivaurioista aiheutuvien seisokkien osuus massalinjalla (v. 1987 - v. 1997) oli n. 44 % kaikista seisokeista. Kun vielä huomioidaan, että laakerivaurioilla saattaa olla suora yhteys myös muihin seisokkeihin, on laakereiden kunnonvalvonnalla ja voitelulla erittäin suuri merkitys tehtaan seisokkien kokonaismäärän pienenemiseen ja käytettävyyden paranemiseen.

Seisokin hinnaksi muodostuu menetetyn tuotannon arvo. Laakerivaurion aiheuttama seisokki kestää keskimäärin kuusi tuntia. Mikäli sellutehtaan tuotantomäärä olisi n. 58 tonnia/h ja sellutonnin hinta on n. 3 000 mk. Kuuden tunnin tuotanto on n. 358 tonnia. Yhdestä seisokista aiheutunut tuotannonmenetys maksaa silloin n. 1 074 000 mk. Tästä hyvänä esimerkkinä on kohdotehtaan sattunut seisokki, jolloin vaihdettiin keittämöllä rikkoutunut tiiviste ja laakeri. Seisokin aikana menetettiin tuotantoa 2 290,7 tonnia. Tästä voidaan laskea, että tuotannonmenetyksenä aiheutuva epäkäytettävyys oli tällöin n. 6 872 100 mk. Kyseisestä seisokista aiheutui huomattavasti suurempi tuotannonmenetys kuin keskimääräisessä laakerivaurion aiheuttamassa seisokissa. Jo yhden tällaisen seisokin välttäminen maksaisi keskusvoitelujärjestelmän hankintahinnan moninkertaisesti takaisin.

3. Alhaisemmat kunnossapitokustannukset

Vaurioiden luonnollisen vähenemisen ansiosta niin varaosa- kuin korjauskustannuksissa saavutetaan huomattavia säästöjä. Varastossa olevien varaosien määrää voidaan vähentää, eikä lisääntyviin huoltohenkilöstötarpeisiin tarvitse varautua. Voiteluainemäärien kulutusta voidaan vähentää, jolloin voiteluaineen varastointitarve vähenee.

4. Alhaisemmat työvoimakustannukset

Tarpeettoman käsityön jäädessä pois voidaan tehostaa henkilöresurssien käyttöä ja samalla saavuttaa säästöä työvoimakustannuksissa. Tarkasteltavaksi otetaan esimerkiksi tehdaslaitos tai osasto, jossa on 1 000 voitelupistettä. Haastattelujen perusteella yhden voitelupisteen voitelu manuaalisesti vie keskimäärin n. 3 min. Voitelupisteiden voitelujakso on erilainen kohteesta riippuen, mutta keskimääräinen voitelujakso on n. 2 viikkoa, eli kokonaisaika on 1 350 h/a. Yhden voitelijan palkkakulut ovat 180 mk/h, joten tarpeettoman manuaalisen voitelun pois jäädessä säästöksi kertyisi 1 350 h x 180 mk/h = 243 000 mk vuodessa.

5. Parempi työturvallisuus

Käsivoitelutyö tapahtuu usein varsin vaikeissa olosuhteissa ja koneiden käynnin aikana, mikä saattaa olla hyvinkin vaarallista. Tämä johtuu siitä, että säästösyistä koneita ei haluta seisottaa turhaan huollon vuoksi. Automaattinen voitelujärjestelmä voitelee koneet käynnin aikana turvallisesti ilman henkilökunnan työskentelyä vaarallisissa kohteissa. Vaarallisia kohteita ovat esim. liikkuvat kohteet, korkeissa lämpötiloissa käyvät koneet ja epäpuhtaassa ympäristössä toimivat koneet.

Käsivoitelussa työntekijä altistuu jatkuvasti rasvoille ja öljyille työtehtävää suorittaessaan. Keskusvoitelua käytettäessä henkilökunnan altistus voiteluaineille on vähäisempi kuin käsivoitelua tehtäessä ja altistusta tapahtuu ainoastaan voiteluainesäiliötä täytettäessä. Manuaalisessa voitelussa on ongelmana myös voiteluaineen roiskuminen ympäristöön, kuten lattialle ja portaisiin, mikä puolestaan lisää työntekijöiden liukastumisalttiutta. Viimeisten vuosien aikana on kiinnitetty yhä enemmän huomiota ympäristön saastumiseen sekä ihmisen terveyttä vaarantaviin tekijöihin.

Tapaturmakustannusten välttäminen ei liene liikkeenjohdolle riittävä perustelu pääoman sijoittamiselle uuteen investointiin. Toisaalta esim. kompastumisenkin hinta voi nousta melkoisen korkeaksi, jos seurauksena on vaikkapa sääriluun murtuma, joka vaatii 4 - 5 kuukauden töistä poissaolon ja pari leikkausta. Kun lisäksi otetaan huomioon muut mahdolliset tapaturmat, saattaa investointi olla perusteltu pelkillä tapaturmakustannusten säästöilläkin. Olennaisinta on, että tapaturmakustannukset eivät ole ainoa huomioon otettava rahaerä torjuntatoimien taloudellisuutta tarkasteltaessa. Hyötypuolelle on pantava myös muita lisääntyneestä turvallisuudesta koituvia säästöjä. Työympäristön turvallisuuden parantaminen tuo mm. seuraavia hyötyjä:

- yrityksen tai organisaation yrityskuva paranee,
- henkilöstön luottamus johtoon paranee,
- häiriöt vähenevät,
- työt sujuvat paremmin,
- työn laatu paranee. (Uusi-Rauva et al. 1988)

4. Tiedonkeruu

4.1 Tiedonkeruun tavoitteet

Tiedonkeruun tavoitteena oli kerätä vika- ja häiriötietoa hankkeen kohdelaitoksilta. Tiedot kerättiin pääasiallisesti kohdetehtaiden erilaisista kunnossapidon tietojärjestelmistä.

Toimintasuunnitelma tiedonkeruuta tehtäessä oli:

1. selvittää järjestelmät ja muut mahdolliset tiedonlähteet, joista voi löytää tietoa vioista ja häiriöistä. Tarkoituksena oli myös tehdä selvitys siitä, kuinka kyseisiä järjestelmiä käytetään ja mitä raportteja niistä on mahdollista saada. Esimerkkiraportit otettiin mukaan tarkemmin tutkittavaksi VTT:lle.
2. valita jokin satunnainen päivä ja selvittää kyseisenä päivänä kaikki kirjatut häiriöt ja viat kohdetehtailta. Tuli myös selvittää, miten viat ja häiriöt on kirjattu eri järjestelmiin ja kuinka paljon päällekkäisiä järjestelmiä on tehtaalla käytössä.
3. selvittää viat ja häiriöt jostain kohdetehtaiden osajärjestelmästä (esim. kuitulinjasta, pesulinjasta ja valkaisimosta) ajassa niin pitkälle taaksepäin kun mahdollista.
4. kunnossapidon tietojärjestelmistä saadun tiedon täydentäminen asiantuntija-arvioilla.

Tätä suunnitelmaa noudatettiin pääpiirteissään, mutta kohdelaitosten erilaisista tietojärjestelmistä johtuen toimintatapaa hieman muunneltiin kentällä toimimisen helpottamiseksi.

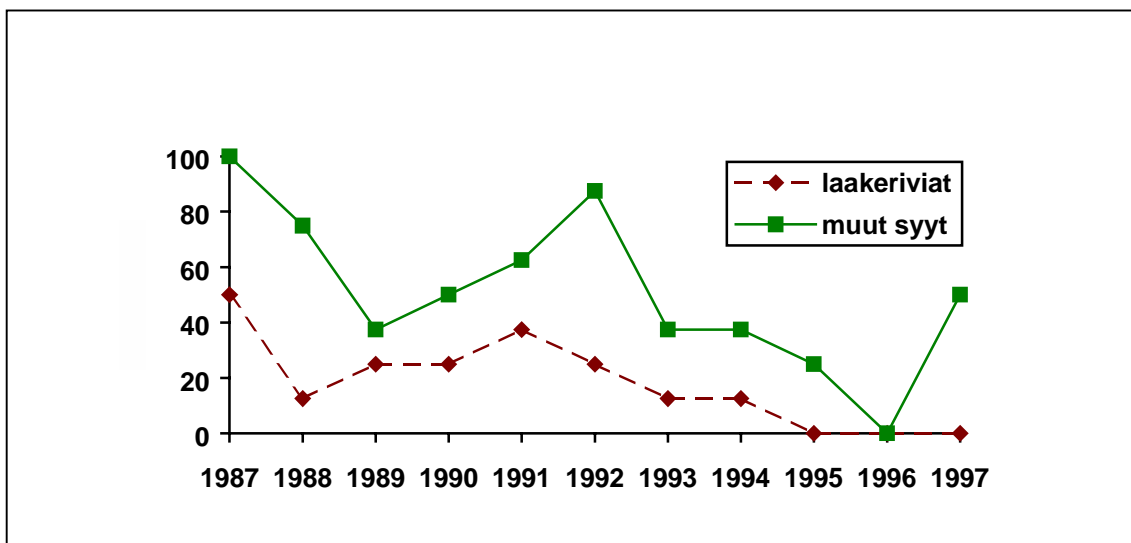
5. Kohdetehtailta kerätyn tiedon analysointi

Johtopäätökset on tehty saatavilla olevan aineiston perusteella. Kaiken kaikkiaan saatavilla oleva tieto kattaa suhteellisen hyvin sen tutkimusosa-alueen, joka on oleellisin. Tarkoituksena olivat seurata vikojen ja suunnittelemattomien seisokkien kehitystä. Kiinnostuksen kohteena oli erityisesti laakerivioista aiheutuneet seisokit ja viat. Koska työssä oli tarkoituksena tutkia keskusvoitelujärjestelmän elinjaksotuottoja, oli tarkoituksenmukaista lähestyä ongelmaa aluksi laakerivikojen ja niiden aiheuttamien suunnittelemattomien seisokkien kartoittamisella. Laakerivikojen ja niiden aiheuttamien seisokkien kustannuksiin saatiin perusteellista tietoa asiantuntijahaastattelujen ja kunnossapidon kustannusseurannan avulla.

5.1 Seisokit

5.1.1 Case 1: Seisokkien kehitys, Yritys A

Suunnittelemattoman seisokin aiheuttama tuotannonmenetys on rahallisesti merkittävä menoerä, jota tulisi aina välttää. Kuva 8 esittää seurattu Yritys A:ssa sattuneiden suunnittelemattomien seisokkien kehitystä vuodesta 1987 vuoteen 1997. Tiedot on saatu kunnossapidon historiatietoraporteista.



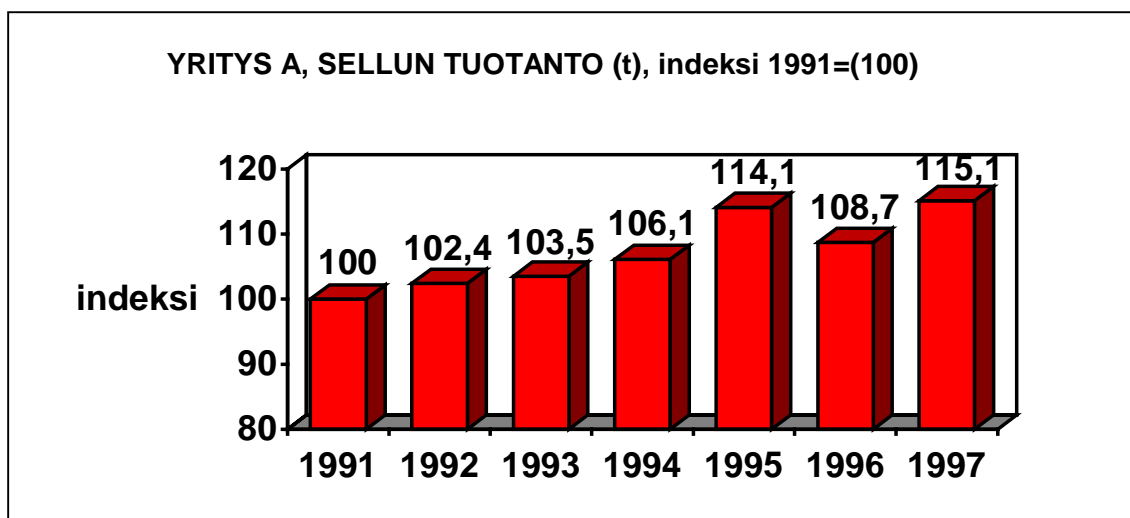
Kuva 8. Yritys A:n seisokkien kehitys vuosina 1987 - 1997.

Kuvan 8 käyrät esittävät kaikki sellutehtaan massaosastolla tapahtuneet laakeri- ja muista mekaanisista vaurioista aiheutuneet seisokit vuosilta 1987 - 1997. Kuvasta voidaan todeta, että vuoden 1994 jälkeen ei ole ollut yhtään laakerivioista johtuvaa seisokkia. Tähän on vaikuttanut kriittisten laakereiden jatkuvan seurannan lisäksi vuonna 1994 asennettu keskusvoitelujärjestelmä. Kohteisiin, joissa on ollut vuosina 1987 - 1994 seisokkiin johtanut laakerivika, on asennettu vuoden 1994 kesällä keskusvoitelujärjestelmä.

Kuvaajia tarkastellessa voidaan myös todeta, että laakerivaurioiden ja muiden vaurioiden aiheuttamien seisokkien määrä on vuositasolla suhteessa toisiinsa. Kun laakerivioista johtuvat seisokit vähenevät, vähenevät myös muista syistä aiheutuneet seisokit, tosin pienellä viiveellä. Tämän perusteella voidaan olettaa, että laakerivaurio saa usein aikaan myös jonkin muun koneenelimen kulumisen tai heikkenemisen, jonka jälkeen kyseinen kone-elin vikaantuu aiheuttaen lopulta seisokin. Ei kuitenkaan voida varmuudella päätellä, että laakerivaurioiden vähentämisellä voidaan vähentää myös muista vioista aiheutuvia seisokkeja. Yleiseen seisokkien vähenemiseen on voinut vaikuttaa muitakin tekijöitä, kuten esimerkiksi mahdolliset muutokset kunnossapidossa. Se voidaan aineiston perusteella päätellä, että laakerivikoihin keskusvoitelujärjestelmällä on ollut selvä vaikutus. Ennen keskusvoitelujärjestelmän käyttöönottoa on laakerivioista johtuvia seisokkeja ollut keskimäärin 2 kpl/a, mutta keskusvoitelujärjestelmän käyttöönoton jälkeen niitä ei ole ollut yhtään.

5.1.2 Seisokkien taloudellinen vaikutus tuotantoon

Selluntuotannon merkittävän kasvun edellytyksenä voidaan pitää vähentyneitä seisokkeja. Laakerivaurioiden osuus Yritys A:n sellutehtaalla kaikista suunnittelemattomista seisokeista vuosina 1987 - 1994 oli 41,0 %. Vuoden 1994 jälkeen ei laakerivioista aiheutuneita seisokkeja ole ollut, joten suunnittelemattomien seisokkien määrä on vähentynyt huomattavasti ja tehtaan käyttövarmuus ja luotettavuus ovat parantuneet. Eräs merkittävä syy tähän on ollut kattavan keskusvoitelujärjestelmän käyttöönotto massalinjalla. Tämän johdosta tuotannon kasvulle on luotu vahvat perusedellytykset. Kuvasta 9 käy ilmi, että vuonna 1996 tuotanto on laskenut. Kyseisenä vuonna on erilaisia suunniteltuja tuotannollisia seisokkeja ollut n. 4 viikkoa ja osa niistä ulottui myös vuoden 1997 puolelle.



Kuva 9. Yritys A:n tuotannon kehitys vuosina 1991 - 1997.

Käytettävyys on käyttövarmuuden mitta ja kuvaa järjestelmän kykyä suoriutua tehtävästään ilman vika-aikaa tai tuotantokatkoja.

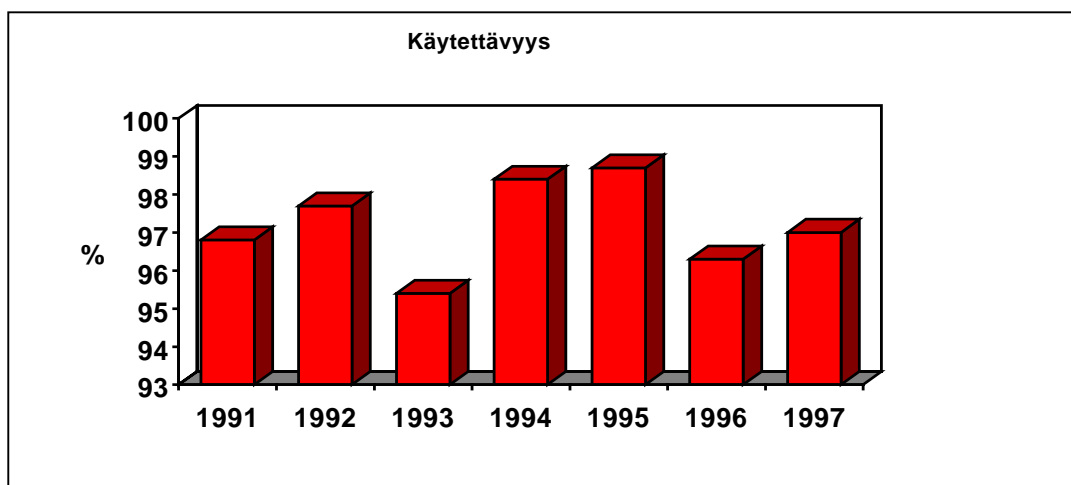
$$\text{Käytettävyys} = \frac{\text{ajoaika}}{(\text{kokonaisaika} - \text{suunn.seisokit})}$$

Merkittävin syy tuotannon kasvuun on käytettävyyden parantuminen vuodesta 1991 vuoteen 1997. Seuraavaksi otetaan tarkasteltavaksi kaksi tilannetta,

1. tilanne ennen keskusvoitelujärjestelmän asennusta,
2. tilanne keskusvoitelujärjestelmän asennuksen jälkeen.

Edellä mainituille tilanteille lasketaan käytettävyyden vuosikeskiarvot. Vuotta 1996 ei huomioida silloin tapahtuvien suunniteltujen seisokkien takia. Vuosina 1991 - 1993 käytettävyyden keskiarvoksi saadaan 96,60 %. Keskusvoitelujärjestelmän käyttöönoton jälkeisille vuosille (1994, 1995, 1997) käytettävyyden keskiarvoksi saadaan 97,85 %, jolloin käytettävyyden nousu on **1,25 %**. Tämän suuruinen käytettävyyden kasvu lisää tuotantotunteja kyseisessä tehtaassa 93 tuntia. Kun tuotantomäärä on n. 58 t/h ja sellun hinta on n. 3 000 mk/t, seisokkitunnin tuotannon arvoksi muodostuu 174 000 mk. 1,25 %:n käytettävyyden nousulla saadaan näin ollen $174\,000 \text{ mk/h} \times 93 \text{ h} = 16\,182\,000 \text{ mk}$ lisää tuottoa.

Tulee myös huomioida, että suunnittelematon seisokki aiheuttaa kustannuseriä, joita ei useinkaan tiedosteta tai niitä on vaikea määrittää. Suunnittelematon seisokki aiheuttaa tuotannon menetyksen lisäksi kustannustekijöitä tehtaalle tulevien ja sieltä lähtevien toimitusten sekä tuotanto-ohjelmien uudelleen järjestelyissä. Myös seisokin jälkeinen käynnistys eli laadun trimmaus kohdalleen muodostaa merkittävän kustannuserän. Silloin ajetaan usein hylkyä pulpperiin tai rullalle. Hyllyn ajoaika on tapauskohtainen ja usein se onkin merkittävä kustannuserä. Näitä kustannuseriä ei ole jatkossa esitetyissä laskelmissa kuitenkaan huomioitu niiden vaikean määriteltävyyden vuoksi. Käytettävyyden kehitys esitetään kuvassa 10.



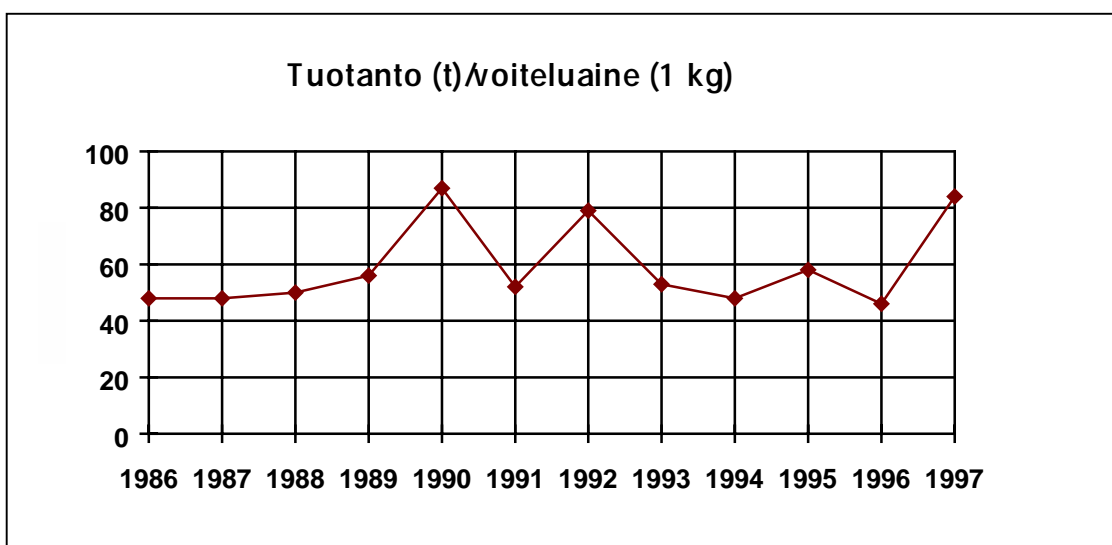
Kuva 10. Käytettävyyden kehitys Yritys A:ssa.

Käytettävyyden paranemisen on mahdollistanut suunnittelemattomien seisokkien määrän väheneminen. Näistä merkittävänä osana on laakerivaurioiden aiheuttamien odottamattomien seisokkien välttäminen.

5.2 Voiteluaineen kulutus ja ympäristövaikutukset

5.2.1 Case 2: Voiteluaineen kulutuksen ja tuotannon kehitys

Kuvassa 11 esitetään voiteluaineen kulutuksen kehitys suhteessa sellutonnin tuottamiseen Yritys B:n sellutehtaalla vuosina 1986 - 1997.



Kuva 11. Yritys B:n tuotanto ja voiteluaineen kulutus vuosina 1986 - 1997.

Kuva selventää sitä, kuinka monta sellutonnia voidaan tuottaa kilolla voiteluainetta. Voiteluaineen kulutus on laskenut vuodesta 1986 vuoteen 1997. Vuonna 1997 voiteluaineen kulutus oli 6 700 kg. Vuodet 1990 - 1992 eivät ole vertailukelpoisia, sillä silloin on ollut laman aiheuttamia tuotantoseisokkeja. Vuonna 1996 on käynnistetty uusi linja, jossa uutena olivat keittämö, kaustisointi, meesauuni, kuivauskone ja mäntylinjan valkaisu. Uuden linjan käynnistysvaiheessa on jouduttu pitämään ylimääräisiä seisokkeja, jotka selittävät tuotannon laskun ja samalla selvän poikkeaman verrattuna yleiseen noususuhdanteeseen. Vuonna 1996 asennettu kattava keskusvoitelujärjestelmä selittää puolestaan voiteluaineen kulutuksen huomattavan nousun kyseisenä vuonna.

Uuden keskusvoitelujärjestelmän asennuksen yhteydessä tehdään järjestelmän ensitäyttö, mikä selittää voiteluaineenkulutuksen huomattavan kasvun vuonna 1996. Kun tiedetään putkien halkaisijat ja pituudet sekä voiteluaineen paino, voidaan laskea järjestelmän ensitäyttöön kuluva voiteluainemäärä. Lisäksi tulee huomioida, että voiteluainetta kuluu järjestelmän komponentteihin ja ilmaukseen.

Kuten jo aiemmin todettiin, lamavuodet 1990 - 1992 eivät ole vertailukelpoisia muiden vuosien kanssa ja siksi ne rajataan tarkastelun ulkopuolelle. Kun verrataan vuoden 1997 voiteluainekulutusta keskiarvokulutukseen, saadaan voiteluainekulutuksen muutos.

- Voiteluaineen keskikulutus vuosina 1986 - 1989 ja 1993 - 1996 oli **7 949 kg**.
- Voiteluaineen kulutus vuonna 1997 oli **6 700 kg**.

Keskiarvokulutuksen muutoksesta nähdään automaattisen keskusvoitelujärjestelmän aikaansaama voiteluainemäärän väheneminen, mikä on 15,7 %. Muutos on merkittävä, kun otetaan huomioon, kuinka paljon tuotantokoneiden nopeus ja tehokkuus ovat kasvaneet.

Voiteluaineen kulutuksen laskeminen ei tuo säästöjä ainoastaan niiden hankinnassa tapahtuvien kustannussäästöjen vaan myös käytettyjen voiteluaineiden käsittely- ja varastointikustannusten kautta. Voitelusta aiheutuvien käytettyjen voiteluaineiden käsittelykustannukset muodostuvat vuotojen ja jätteiden keräilystä ja siivouksesta, jätteiden käsittelystä, voiteluainepäästöjen aiheuttamista sisäisten vedenpuhdistusjärjestelmien kustannuksista sekä mahdollisista ympäristöhaittojen korvauksista.

Voiteluainevuodot voitelujärjestelmästä tai voitelukohteesta joutuvat prosessi-teollisuudessa usein jäädytys- tai pesuvesiin, joista erityisesti voitelurasvojen erottaminen sisäisessä kierrossa on hyvin vaikeaa. Voiteluainevuodoista merkittävä osa joutuu tehtaan jätevesipäästöjen mukana luontoon. Ympäristökuormitusten vähentämiseksi on voiteluaineiden käyttöä pyrittävä vähentämään.

Voiteluainekulutuksen vähentämisessä on ratkaiseva rooli voitelukohteiden voitelutavalla. Kohdetehtaalla, jossa on asteittain käyttöön otettu automaattinen keskusvoitelujärjestelmä, on vuotuista voiteluainekulutusta pystytty vähentämään 15,7 % (ks. kuva 2). Tällä hetkellä automaattinen keskusvoitelujärjestelmä kattaa vain n. 50 % kyseisen tehtaan voitelupisteistä. Mikäli järjestelmä kattaisi koko tehtaan voitelupisteet, saataisiin voiteluainekulutusta vähentämään n. 31 %, jos voitelukohteet ovat samanlaisia.

Erään teollisuuslaitoksen kokemuksen mukaan voiteluainejätteen käsittelyn kokonaiskustannukset ovat n. 2 x voiteluaineen vuotuinen ostohinta (Pajukoski 1997). Kohdetehtaalla voiteluaineen kulutus saatiin pienemmäksi n. 1 300 kg. Voiteluaineen hinta on n. 30 mk/kg, jolloin 1 300 kg maksaa 39 000 mk. Voiteluaineen käsittelyn kokonaiskustannukset ovat tällöin n. 2 x 39 000 mk = 78 000 mk. Voiteluaineiden aiheuttamat ympäristökuormitushaitat ja -kustannukset saattavat olla moninkertaiset käsittelykustannuksiin verrattuna, mutta niiden muuttaminen rahaksi on hyvin vaikeaa. Joskus ympäristölle aiheutuneet tuhot tai haitat saattavat olla pysyviä, jolloin niiden rahallinen arvo voi olla mittaamaton.

Keskusvoitelun ansiosta voitelukohteelle saadaan tarkka voiteluaineannostus, jolloin koneista valuvat voiteluainepäästöt voidaan minimoida. Tämän ansiosta saadaan luotua siistimpi työympäristö, mikä osaltaan ehkäisee työtapaturmia sekä parantaa henkilökunnan viihtyvyyttä.

5.3 Case 3: Voiteluautomaation vaikutus laakerivaurioihin

Kuten aiemmin todettiin, on voitelulla on suuri vaikutus laakerivaurioihin. Seuraavassa casessa on tutkittu Yritys A:n sellutehtaan massankäsittelyosastoa. Massankäsittelyosastolta on otettu erityisen tarkastelun kohteeksi

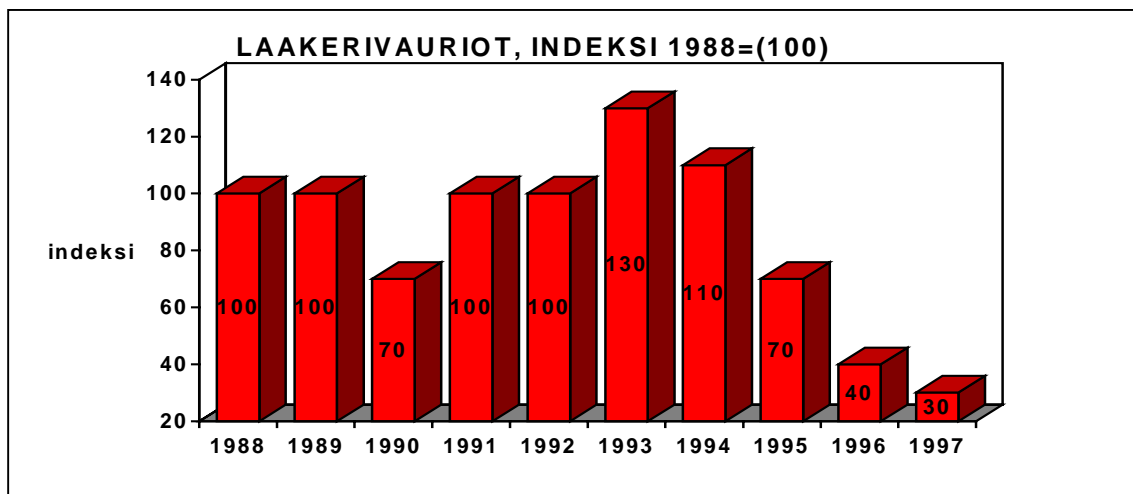
1. keittämö,
2. lajittamo,
3. valkaisimo.

Näitä osastoja voidaan pitää yhtenä merkittävänä kokonaisuutena. Kyseisille osastoille on asennettu keskusvoitelujärjestelmä vuoden 1994 kesällä. Keskusvoitelun ja manuaalisen voitelun piirissä voitelukohteita on tällä hetkellä tarkasteltavilla osastoilla seuraavanlaisesti:

Osasto	Manuaalinen	Keskusvoitelu
Keittämö	33 % (41 pistettä)	67 % (85 pistettä)
Lajittamo	25 % (63 pistettä)	75 % (189 pistettä)
Valkaisimo	60 % (143 pistettä)	40 % (58 pistettä)
YHTEENSÄ	43 % (247 pistettä)	57% (332 pistettä)

Seuraavissa kuvaajissa tarkastellaan kunnossapitotöiden rekisteristä saatujen laakerivaurioiden kehitystä vuodesta 1988 alkaen. Laakerivaurioiden vähenemistä tutkittaessa on laskettu keskimääräinen laakerivauriomäärä vuotta kohti ennen vuotta 1994 ja vuoden 1994 jälkeen. Vuonna 1994 asennettiin keskusvoitelujärjestelmä, joka kattaa edellä mainitun määrän voitelupisteitä. Seuraavien kuvien perusteella voidaan todeta, että laakerivaurioiden määrä on laskenut jokaisella osastolla vuoden 1994 jälkeen.

5.3.1 Yritys A: keittämö

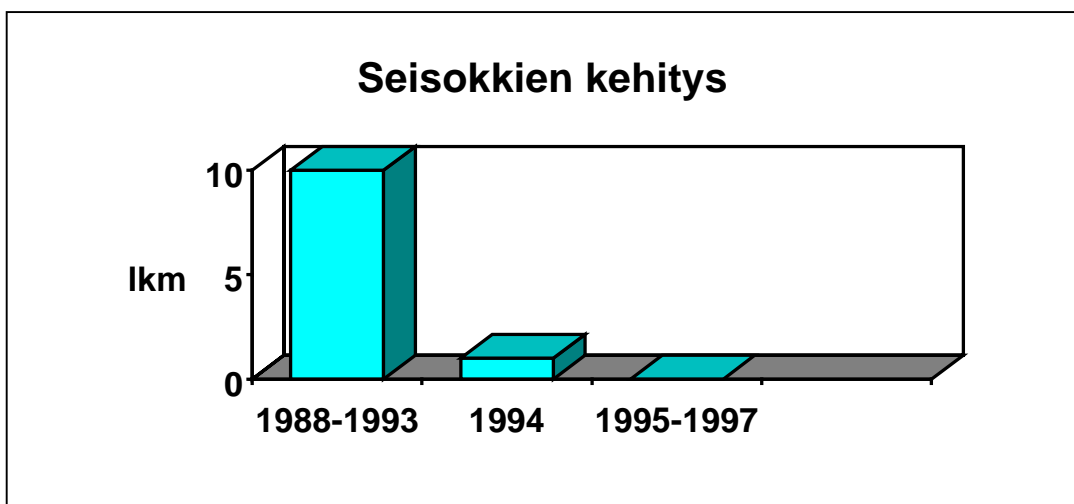


Kuva 12. Keittämön laakerivauriot vuosina 1988 - 1997.

Keittämössä, kuten kaikkialla massalinjalla on asennettu keskusvoitelujärjestelmä vuonna 1994. Laakerivauriot ovat kääntyneet merkittävään laskuun voitelujärjestelmän käyttöönottovuodesta lähtien. Vaikka keskusvoitelun piirissä on vain 67 % voitelukohteista, ovat laakerivauriot pudonneet 77 % ”huippuvuodesta” 1993 vuoteen 1997. Luotettavamman kuvan saamiseksi lasketaan laakerivaurioiden vuosikeskiarvo. Tätä varten tarkastellaan kahta ajanjaksoa, vuosia 1988 - 1994 (tilanne ennen keskusvoitelujärjestelmän käyttöönottoa) ja vuosia 1995 - 1997 (tilanne keskusvoitelujärjestelmän käyttöönoton jälkeen). (Kuva 12.)

Laakerivaurioiden vuosikeskiarvo ennen vuotta 1995 on 10,1 kpl/a, kun taas vuosien 1995 - 1997 keskiarvoksi saadaan 4,7 kpl/a. Keittämön laakerivaurioiden määrä on siis vähentynyt 54 %. Keittämön osuus sekä laakerivaurioista että muista syistä johtuneista seisokeista on ollut suurin koko sellutehtaalla, minkä johdosta edellistä tarkastelua voidaan pitää yleisesti mielenkiintoisena. Ennen vuotta 1994 oli keittämössä laakerivaurioista aiheutuvia seisokkeja 10 kpl, vuonna 1994 enää 1 kpl ja vuoden 1994 jälkeen seisokkeja ei ole ollut yhtään (kuva 13).

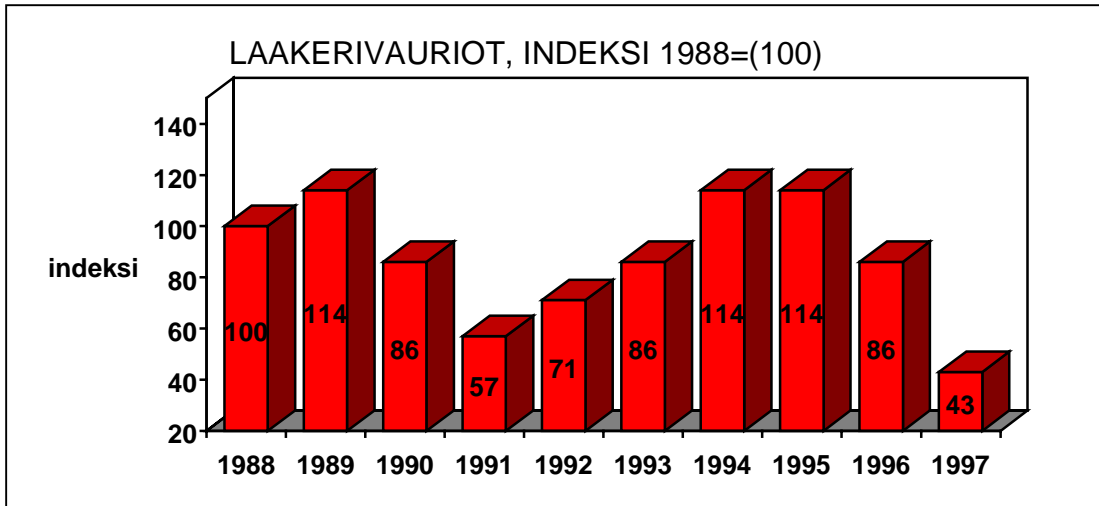
Kuvassa 13 esitetään laakerivurioista aiheutuvien seisokkien kehitys keittämössä ennen 1988 - 1997.



Kuva 13. Keittämössä tapahtuvien seisokkien määrä vuosina 1988 - 1997.

5.3.2 Yritys A: lajittamo

Lajittamossa laakerivaurioiden määrä on kääntynyt laskuun voitelujärjestelmän käyttöönoton jälkeen. Laakerivauriot ovat vähentyneet 63 % ”huippuvuodesta” 1994 vuoteen 1997. (Kuva 14.)

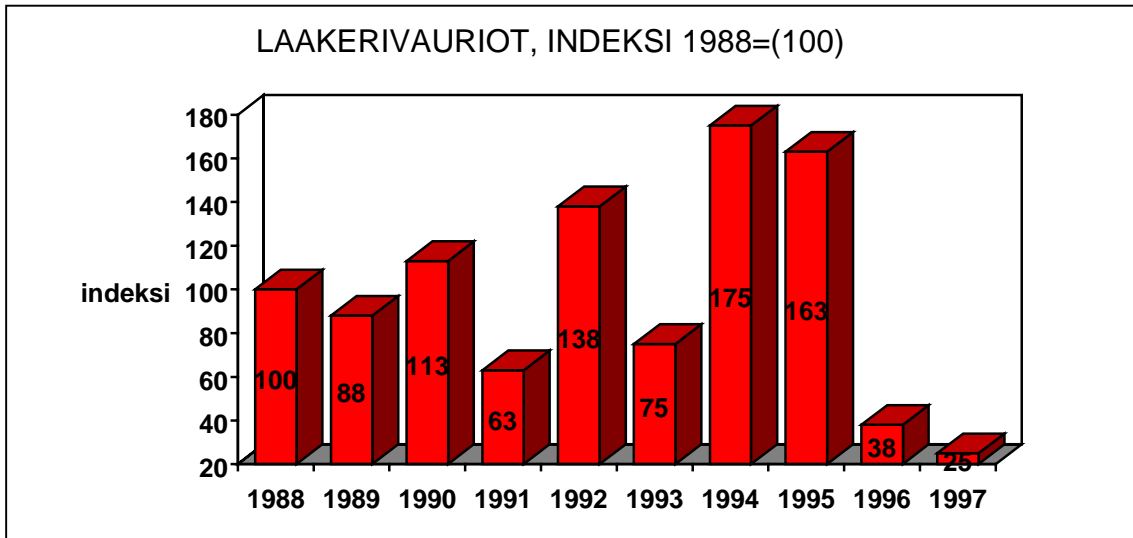


Kuva 14. Lajittamossa tapahtuvien laakerivaurioiden määrä vuosina 1988 - 1997.

Luotettavampi luku saadaan laskettaessa vuosittainen keskiarvo. Laakerivaurioiden keskiarvoksi vuosilta 1988 - 1994 saadaan 7,7 kpl/a. Vastaavaksi keskiarvoksi vuosille 1995 - 1997 saadaan 5,7 kpl/a. Lajittamossa tapahtuneet laakerivauriot ovat siis vähentyneet 26,0 %. Keittämön laakerivaurioiden vähenemiseen verrattuna (54 %) ei lajittamossa tapahtunut laakerivaurioiden määrän vähentyminen ollut yhtä dramaattista. Eräs syy tähän eroon on olosuhteiden erilaisuus. Laakerin eliniän kannalta keittämön olosuhteet ovat vaihtelevammat ja hankalammat kuin lajittamossa. Lajittamossa on kuitenkin pystytty ehkäisemään laakerivaurioista aiheutuneet seisokit vuoden 1994 jälkeen. Ennen vuotta 1994 oli kolme laakerivaurioista aiheutuvaa seisokkia, kun taas vuoden 1994 jälkeen niitä ei ole ollut.

5.3.3 Yritys A: valkaisu

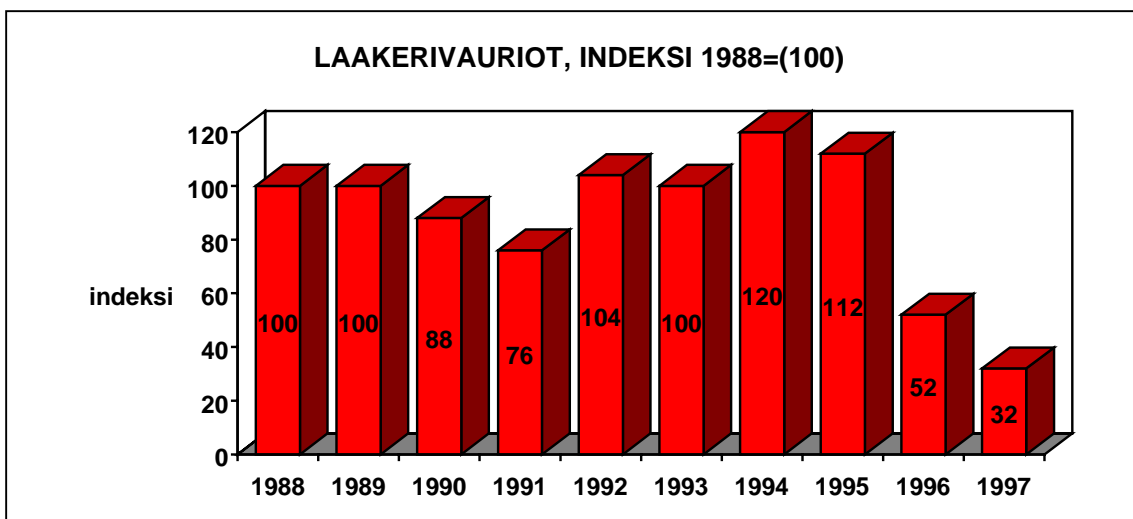
Valkaisimossa keskusvoitelun piirissä on vain 40 % voitelupisteistä. Tästä huolimatta laakerivaurioiden määrä on saatu laskemaan huomattavasti. Kun tarkastellaan vaurioiden vuosittaista määrää vuosien 1988 - 1994 aikana saadaan keskiarvoksi 10 vauriota/a. Vuosien 1995 - 1997 keskiarvoksi saadaan 6 vauriota/a. Laakerivauriot ovat siis pudonneet 40 %. Vaurioiden muutos huippuvuodesta 1994 vuoteen 1997 on merkittävä. Laakerivauriot ovat tällöin vähentyneet 86 %. (Kuva 15.)



Kuva 15. Laakerivaurioiden määrä valkaisimolla vuosina 1988 - 1997.

5.3.4 Yritys A: keittämö, lajittamo, valkaisu

Kuvaan 16 on koottu kaikki massankäsittelyosastolla tapahtuneet laakerivauriot ajanjaksona 1988 - 1997. Vuoden 1994 jälkeen keskusvoitelun piirissä on ollut 57 % voitelupisteistä. Loput voitelukohteet on voideltu manuaalisesti.



Kuva 16. Laakerivaurioiden määrä massalinjalla vuosina 1988 - 1997.

Laakerivauriot ovat vähentyneet selvästi keskusvoitelujärjestelmän käyttöönoton jälkeen. Vauriot ovat laskeneet vuoden 1994 ”huippuvuoden” 30:stä vuoden 1997 kahdeksaan. Näin ollen vauriot ovat vähentyneet 73 %. Aiempien esitystapojen mukaisesti esitettynä (laakerivaurioiden vuosikeskiarvo ennen ja jälkeen voitelujärjestelmän käyttöönottovuoden) laakerivauriot vähenivät 36 %. Laakerivaurioita on ollut hyvin tasaisesti aina vuoteen 1995 asti, jonka jälkeen vaurioiden väheneminen on selkeästi havaittavissa. Keskusvoitelujärjestelmä kattaa tällä hetkellä 57 % voitelukohteista. Mikäli keskusvoitelujärjestelmä kattaisi kaikki voitelukohteet sataprosenttisesti, vähenisivät laakerivauriot tämän tapauksen perusteella massalinjalla 63 %, mikäli oletetaan kaikkien laakerivaurioiden aiheutuneen huonosta voitelusta. Todellisuudessa laakerivaurioiden vähenemiseen saattaa olla muitakin syitä, kuten kunnossapitotoiminnan tehostuminen tms.

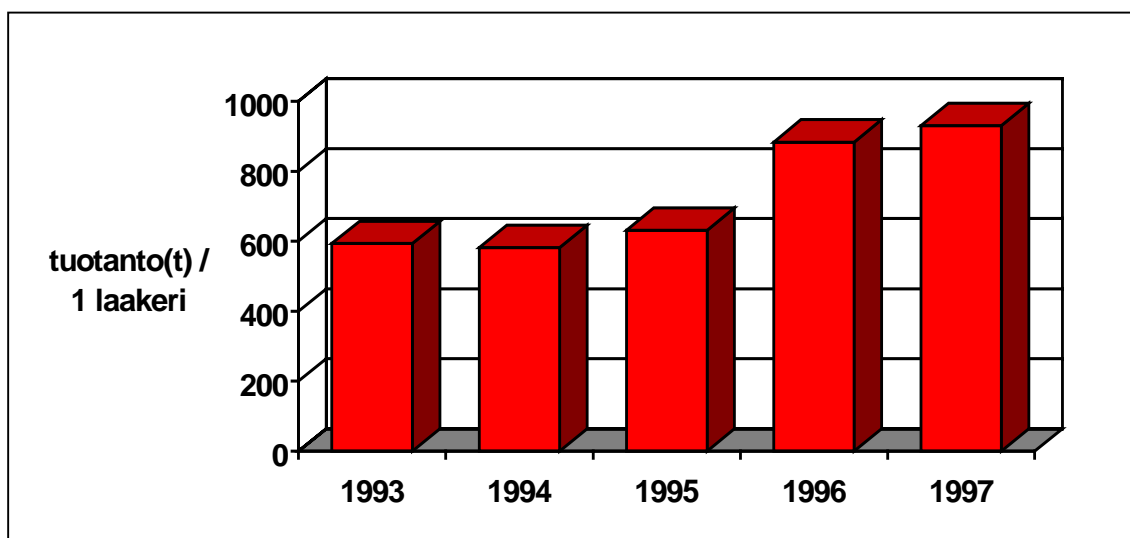
5.3.5 Yhteenveto

Ennen keskusvoitelujärjestelmän käyttöönottoa laakerit on voideltu manuaalisesti, jolloin laakerit ovat saattaneet kärsiä puutteellisesta voiteluhuollosta ja niissä on saattanut olla väsymis- ja kulumisvaurioita. Monissa laakereissa saattaa olla piilevä vika, joka ei paljastu syntyessään vaan voi ilmetä vasta yksilön toimintaan liittyvissä testeissä tai käyttötilanteen muuttuessa (Tamminen & Reunanen 1981). Tästä johtuen laakerivauriot eivät vähene heti keskusvoitelujärjestelmän käyttöönoton jälkeen, kuten aiemmin esitetyistä kuvaajista voidaan todeta.

Mikäli tutkitaan laakerivaurioiden kehitystä osastoittain, voidaan todeta, että valkaisimossa ja keittämössä vaurioiden määrän lasku on ollut ilmeisintä. Näiden osastojen olosuhteet ovat vaikeimmat laakerien kestoiän kannalta. Tulokset korostavat sitä, kuinka keskusvoitelujärjestelmästä saatu hyöty on suurimmillaan juuri vaikeahkoissa olosuhteissa. Kuten aiemmin mainittiin, tämän tapauksen perusteella laakerivauriot saataisiin laskemaan 63 %, mikäli keskusvoitelujärjestelmä kattaisi kaikki voitelupisteet. Tulos on yhdenmukainen niiden tulosten kanssa, joihin aiemmat tutkimukset ovat päätyneet. SKF:n tutkimuksen mukaan (SKF 1989 - 1996) yli 50 % laakerivaurioista johtuu voitelusta. Jauhaisen (1998, s. 40 - 41) mukaan jopa 80 % ennenaikaisista laakerivaurioista aiheutuu voiteluongelmista ja epäpuhtauksista.

5.4 Case 4: Laakereiden kulutus, Yritys B

Kuvan 17 pylväsdiagrammissa esitetään laakereiden kulutusta ja tuotannon kehitystä Yritys B:n sellutehtaalla. Kaavio kuvastaa sitä, kuinka monta sellutonnin voidaan tuottaa laakeria kohti.



Kuva 17. Yritys B:n sellutehtaan laakereiden kulutus suhteessa tuotantoon.

Kuvasta nähdään, että laakereiden kulutus suhteessa sellutonnin tuottamiseen on vähentynyt vuodesta 1993 vuoteen 1997. Yritys B:n sellutehtaalla keskusvoitelujärjestelmä kattaa tällä hetkellä n. 50 % voitelupisteistä. Uusi linja on otettu käyttöön vuonna 1996, mikä on aiheuttanut tuotantoseisokkeja ja vanhan sellutehtaan alasajon. Tuotanto on kasvanut vuodesta 1993 (lukuun ottamatta vuotta 1996) ja samanaikaisesti laakereiden kulutus on pienentynyt vuosien 1993 - 1995 keskiarvosta (730 kpl/a), vuoteen 1997 (602 kpl/a). Laakereiden kulutus on siis laskenut 17,5 %. Nämä laskelmat kuvaavat kaikkien laakereiden kulutusta. Luku sisältää myös ne laakerit, jotka on vaihdettava säännöllisin väliajoin ilman, että niissä olisi mitään mekaanista vikaa. Tämän ns. ”turhien laakereidenvaihtojen” osuutta kaikkien vaihdettujen laakereiden määrästä ei pystytä kohdetehtaiden tietojärjestelmistä saatavissa olevien tietojen perusteella tarkasti määrittämään. Mikäli huomioidaan uusi laakereiden kestoikäteoria, on turhien laakereiden vaihdon määrän oltava mittava jo pelkästään vuositasolla.

Haastateltujen henkilöiden kokemusten perusteella kohdetehtaalla vaihdetaan myös suhteellisen paljon ehjiä laakereita. Näiden lukumäärän selvittäminen on kuitenkin hyvin vaikea ja resursseja vaativa tehtävä johtuen sekä useista eri kunnossapitotöitä tekevistä tahoista että kunnossapitotietojärjestelmästä saatavien raporttien puutteellisuudesta.

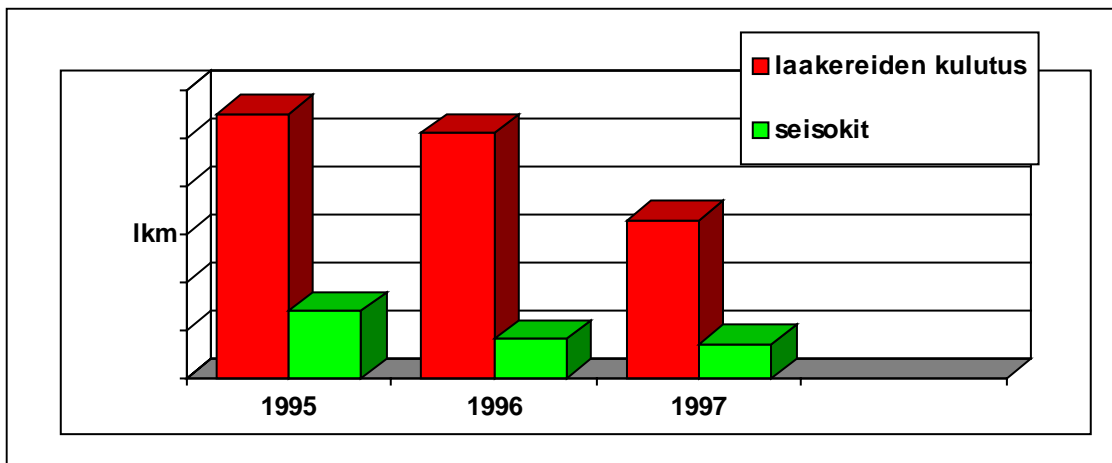
Yleensä tuotannon määrällä ja laakerikulutuksella on selvä positiivinen yhteys, eli kun tuotanto kasvaa, myös laakerikulutus kasvaa. Keskusvoitelujärjestelmän aiempi asteittainen ja vuoden 1996 laajempi käyttöönotto on saanut laakerikulutuksen pienenevän tuotannon määrän kasvusta huolimatta. Vaurioiden tarkkaa osuutta

laakereiden kokonaiskulutuksesta on vaikea selvittää, sillä tehtaalle on asennettu keskusvoitelujärjestelmiä asteittain ja kunnossapidon tietojärjestelmästä ei ole saatavissa yksityiskohtaista tietoa tapahtuneista laakerivaurioista.

5.5 Case 5: Laakereiden kulutus Yritys B:n kuorimolla

Kuorimo on otettu asteittain keskusvoitelun piiriin. Osa kuorimon voitelukohteista on ollut jo kauan keskusvoitelun piirissä, kun taas osa kohteista on otettu keskusvoitelun piiriin vasta vuosina 1995 ja 1996. Asennusten eriaikaisuudesta johtuen kuorimo ei anna täysin luotettavaa tietoa voitelujärjestelmän eduista laakerivaurioiden kehityksessä. Kuorimo on kuitenkin hyvä esimerkkikohte siellä vallitsevien vaikeiden olosuhteiden johdosta. Voitelun piirissä on paljon kohteita, joissa esiintyy kosteutta, epäpuhtauksia ja hitaasti pyöriviä laakereita. Haastattelujen perusteella laakerivaurioiden määrä on näissä kohteissa vähentynyt huomattavasti.

Yritys B, laakereiden kulutus/seisokit (KUORIMO)



Kuva 18. Kaavio Yritys B:n kuorimon laakereiden kulutuksen ja seisokkien kehityksestä.

Kuvasta 18 käy ilmi, että laakereiden kulutus kuorimolla on pudonnut 40 % vuodesta 1995 vuoteen 1997 ja samalla ajanjaksolla seisokit ovat pudonneet 14:stä seitsemään eli 50 %.

6. LCP-laskentamallin kehittäminen ja soveltaminen

Edellä esitettyjen tulosten perusteella saadaan laskentamalliin perustiedot. Yritys A:n kunnossapidon tietojärjestelmää käytetään aktiivisesti ja sinne kirjataan perusteellisesti korjaukset ja niiden kohteet. Yritys A:n sellutehdas on käynnistynyt 1980-luvulla ja siellä on alusta alkaen painotettu, että henkilöstön tulee kirjata tunnollisesti kaikki korjaukset ja huoltotyöt.

Jatkossa esiteltävät laskentamallit perustuvat kohdelaitoksilta saatuihin lukuihin. Koska Yritys A:stä saadut kunnossapidon tietojärjestelmästä saadut raportit olivat yksiselitteisempiä, niitä tullaan käyttämään myös laskentamallissa. Yritys B:ltä saatuja tuloksia voidaan pitää laskentamallin tukena.

6.1 LCP-laskentamallissa käytettävät tiedot

6.1.1 Kustannukset

1. Keskusvoitelujärjestelmän hankintakustannukset.
2. Keskusvoitelujärjestelmän kunnossapitokustannukset.

6.1.2 Tuotot

1. Vähentyneet laakerivauriot.
2. Vähentyneet tiivistevauriot.
3. Vähentyneet muut laitevauriot (sähkömoottorit, pumput).
4. Vähentyneet tuotannon menetykset.
5. Vähentyneet seisokit ja siitä aiheutuva käytettävyyden paraneminen.
6. Vähentynyt työvoiman tarve, voitelutyötä tehnyt henkilö voidaan siirtää muuhun tuottavaan työhön.
7. Varastoarvon pieneneminen.
8. Voiteluaineen käytön väheneminen.
9. Voiteluaineesta aiheutuneiden jälkikäsitteilykustannusten väheneminen.

Tuottoja, joita on vaikea mitata rahana, ei näissä laskelmissa huomioida (esim. vähentyneet ympäristöongelmat, parantunut ja siistimpi työympäristö sekä parantunut työturvallisuus).

6.2 Laskentamallissa käytetyt periaatteet

Kehitettyssä laskentamallissa käytetään tukena Yritys A:n sellutehtaan kunnossapitojärjestelmästä saatua todellista vika- ja häiriötietoa. Taustatietoa tapahtuneisiin vikoihin ja häiriöihin on saatu haastattelemalla tehtaan kunnossa-

pitohenkilöstöä. Laskelmia tarkasteltaessa tulee huomioida myös sellun hinnan vaihtelu ja lopputuotteen kysynnän vaihtelut. Tehdyt laskelmat perustuvat sellun nykyhintaan.

Ensisijaisena kohteena ovat seuraavat osastot massalinjalta: keittämö, lajittamo ja valkaisimo. Näitä kolmea osastoa pidetään yhtenä kokonaisuutena tässä laskentamallissa, tosin jokaisesta osastosta voidaan jatkossa muokata oma laskentamallinsa. Tämä kolmen osaston kokonaisuus sisältää 579 voitelupistettä, joista 332 pistettä kuuluu keskusvoitelun piiriin. Loput voidellaan manuaalisesti.

Laskentamalli perustuu seuraaviin tutkimuksissa selvinneisiin seikkoihin, joista osa on jo aiemmin perusteltu. Jatkossa esitetyt hinnat ovat arvioita eivätkä päde yleisesti missä tahansa kohteessa, vaan ovat enemmänkin suuntaa antavia. Arvioidut hinnat on vielä pyöristetty lopullisesti lähimpään tuhanteen.

1. Keskusvoitelujärjestelmän (332 voitelupistettä) hinta on 664 000 mk.
2. Kyseisen keskusvoitelujärjestelmän huoltokustannukset ovat 20 000 mk/a.
3. Laakerivauriot vähenivät kyseisessä kohteessa keskimäärin (case 3) 36 % eli 25:stä vauriosta 16:een. Asiantuntija-arvioiden perusteella yhden laakerivaurion kustannuksiksi sellutehtaalla muodostuu keskimäärin n. 32 000 mk, joka koostuu varaosista ja työstä. Laakerivaurion kokonaiskustannukseksi muodostuu tällöin $9 \times 32\,000\text{ mk} = 288\,000\text{ mk}$. Keskimääräisissä kustannuksissa on laskettu sähkömoottorissa, pumpussa tai muualla (esim. akselissa tms.) tapahtuvan laakerivaurion hinta. Oletuksena on se, että vauriot jakautuvat jo aiemmin esitetyllä tavalla.
4. Laakerivioista johtuneet seisokit vähenivät. Ennen vuotta 1994 niitä oli keskimäärin 2 kpl ja vuoden 1994 jälkeen ei yhtään. Seisokin keskimääräinen kesto on 6 h. Sellun tuotantomäärä on n. 58 t/h ja sellun hinta on n. 3 000 mk/t. Tästä on kuitenkin vähennettävä selluntuotannon muuttuvat kustannukset 1 400 mk/t, jotka koostuvat raaka-aine-, kemikaali-, polttoaine-, energia- ja pakkaus-kustannuksista. Tällöin kuuden tunnin seisokin menetys on n. 557 000 mk.
5. Manuaalisesta voitelusta aiheutuvat palkkakustannukset vähenevät. Keskimääräinen voitelujakso on kaksi viikkoa. Haastattelujen perusteella on arvioitu, että yhden voitelupisteen voitelu kestää keskimäärin kolme minuuttia ja palkkakustannukset ovat 180 mk/h. Tällöin kokonaispalkkakustannuksiksi muodostuu n. 78 000 mk/a.
6. Voiteluaineen kulutus vähenee 31,4 %. Kulutus on ollut n. 3 000 kg/a, eli kulutus vähenee 942 kg. Kun voiteluaine maksaa n. 30 mk/kg, säästöä kertyy 28 000 mk.
7. Voiteluaineen jälkikäsitteilykustannukset ovat 2 x voiteluaineen ostohinta. Jälkikäsitteilykustannukset ovat silloin 56 000 mk.

Taulukon 1 laskentamallissa on käytetty Yritys A:n sellutehtaalta saatuja tietoja, jotka juuri aiemmin yksityiskohtaisesti mainittiin.

Taulukko 1. Laskentamalli, joka perustuu todelliseen kunnossapitotietoon.

<u>LCP-LASKENTAMALLI</u>				
<u>KUSTANNUKSET:</u>				
1. JÄRJESTELMÄN HINTA	(332 pistettä)			664 000 mk
2. JÄRJESTELMÄN HUOLTO/A				20 000 mk
<u>YHT.</u>				684 000 mk
<u>TUOTOT:</u>				
1. LAAKERIVAURIOT VÄHENEVÄT 36%				288 000 mk
2. KAKSI SEISOKKIA				1 114 000 mk
3. PALKKA KUSTANNUKSET VÄHENEVÄT				78 000 mk
4. VOITELUAINEEEN KULUTUS VÄHENEVÄT (-31,4 %)				28 000 mk
5. VOITELUAINEEEN JÄLKIKÄSITTELY				56 000 mk
<u>YHT.</u>				1 564 000 mk
<u>TULOS = TUOTOT – KUSTANNUKSET</u>				880 000 mk

6.2.1 Laskentamallin arviointi

Laskentamallissa esitetyt järjestelmän hankintakustannukset on saatu järjestelmän toimittajalta. Järjestelmän hintaan ja huoltokustannuksiin ei liity epävarmuuksia, kun taas järjestelmän tuomiin tuottoihin niitä saattaa liittyä. Koska laskentamallin tiedot perustuvat kohdetehtaalta saatuun todelliseen kunnossapitotietoon, on tietojen luotettavuus suhteellisen hyvä. Laskentamallissa on huomioitu usean vuoden tapahtumat ja niistä on laskettu keskiarvot. Tämä menettely vähentää laskentamallin epäluotettavuutta mm. minimoimalla satunnaiset heilahtelut.

Laskentamallin mukaan keskusvoitelujärjestelmän tuoma vuositulo on 880 000 mk. Tuotot ovat merkittävät, kun summaa verrataan keskusvoitelujärjestelmän hankintahintaan. Tuotot muodostuvat pääosin tuotannonmenetyksien välttämisestä. Jo yhden seisokin välttäminen saattaa maksaa keskusvoitelujärjestelmän hinnan moninkerroin takaisin. Tämän laskentamallin perusteella keskusvoitelujärjestelmän investointi on erittäin kannattava. Se maksaa itsensä takaisin alle puolessa vuodessa.

6.2.2 Herkkyysanalyysin käyttäminen LCP-laskentamallissa

Herkkyysanalyysin avulla pystytään selvittämään, kuinka herkkiä saadut tulokset ovat laskelmissa käytettyjen oletusten suhteen. Seuraavassa menetellään siten, että yhtä parametriä muutellaan muiden pysyessä vakiona. Seisokkien määrä on ratkaisevassa asemassa laskentamallissa, sillä niiden aiheuttamista tuotannonmenetyksistä kertyy suurin kustannuskokonaisuus. Seuraavassa on tehty laskentamallin kannalta erilaisia variaatioita muutellen seisokkien määrää ja sen vaikutusta lopullisiin voitelujärjestelmistä aiheutuneisiin tuottoihin. Ensimmäisessä laskentamallissa on tilanne, jossa vuoden aikana tapahtuisi vain yksi seisokkiin johtanut laakerivaurio.

Taulukko 2. Laskentamalli tilanteesta, jossa on vain yksi laakerivaurion aiheuttama seisokki.

LCP-LASKENTAMALLI					
KUSTANNUKSET:					
1. JÄRJESTELMÄN HINTA	(332 pistettä)				664 000 mk
2. JÄRJESTELMÄN HUOLTO/A					20 000 mk
YHT					684 000 mk
TUOTOT:					
1. LAAKERIVAURIOT VÄHENEVÄT 36 %					288 000 mk
2. YKSI SEISOKKI					557 000 mk
3. PALKKA KUSTANNUKSET VÄHENEVÄT					78 000 mk
4. VOITELUAINEEEN KULUTUS VÄHENEY (-31,4 %)					28 000 mk
5. VOITELUAINEEEN JÄLKIKÄSITTELY					56 000 mk
YHT.					1007 000 mk
TULOS = TUOTOT – KUSTANNUKSET					323 000 mk

Taulukon 2 laskentamallin luoman tilanteen tapahtuminen on suhteellisen todennäköistä, mutta ei yhtä todennäköistä kuin aiemman laskentamallin luoma tilanne (kaksi seisokkia). Vaikka ilman kekusvoitelujärjestelmää tapahtuisikin vain yksi seisokkiin asti johtanut laakerivaurio, laskelman perusteella kekusvoitelujärjestelmän tuoma tuotto olisi vieläkin suhteellisen suuri. Tämän laskelman perusteella kekusvoitelujärjestelmä maksaa itsensä takaisin reilussa puolessa vuodessa. Seuraavaksi on kuviteltu tilanne, jossa vuoden aikana ei tapahtuisi yhtään seisokkia (taulukko 3). Tämä tilanne on erittäin epätodennäköinen sen kunnossapitotiedon pohjalta, mikä on ollut käytettävissä tässä tutkimuksessa.

Taulukko 3. Laskentamalli tilanteesta, jossa ei ole yhtään laakerivaurion aiheuttamaa seisokkia.

<u>LCP-LASKENTAMALLI</u>				
<u>KUSTANNUKSET:</u>				
1. JÄRJESTELMÄN HINTA	(332 pistettä)			664 000 mk
2. JÄRJESTELMÄN HUOLTO/A				20 000 mk
<u>YHT</u>				684 000 mk
<u>TUOTOT:</u>				
1. LAAKERIVAURIOT VÄHENEVÄT 36 %				288 000 mk
2. EI SEISOKKIA				0 mk
3. PALKKAKUSTANNUKSET VÄHENEVÄT				78 000 mk
4. VOITELUAIINEEN KULUTUS VÄHENEVÄT (-31,4 %)				28 000 mk
5. VOITELUAIINEEN JÄLKIKÄSITTELY				56 000 mk
<u>YHT.</u>				450 000 mk
<u>TULOS = TUOTOT – KUSTANNUKSET</u>				-234 000 mk

Taulukon 3 laskentatilanne on erittäin epätodennäköinen. Mikäli seisokkiin asti johtanutta laakerivauriota ei ensimmäisen vuoden aikana tapahdu, on erittäin todennäköistä, että seuraavana vuonna niitä tapahtuisi useita. Todennäköisesti seisokkeja olisi enemmän kuin kaksi, jolloin kahden seisokin vuosikeskiarvo toteutuisi.

Aikaisemmat laskentamallit perustuvat todelliseen tilanteeseen, jossa keskusvoitelujärjestelmä kattaa 57 % voitelukohteista. Seuraavaksi on toteutettu laskentamalli kuvitellussa tilanteessa, jossa voitelujärjestelmä kattaa kaikki voitelupisteet. Kohde on sama massalinja, ja oletus on, että kaikki 579 voitelupistettä ovat keskusvoitelun piirissä. Tässä laskentamallissa käytettävät luvut perustuvat jo aiemmin tehtyihin laskelmiin. Tällöin laakerivaurioiden määrä pienenee 63 %.

Laskentamallissa on seisokkien määrän oletettu pysyvän ennallaan, sillä kohteissa, joissa ei ole ollut keskusvoitelua aikaisemmin, ei myöskään ole ollut yhtään seisokkiin johtanutta laakerivauriota. Voiteluaineen ja työvoiman tarve lähes kaksinkertaistuu. Samoin järjestelmän hinta on suurempi voitelupisteiden määrän lisääntyneenä lähes kaksinkertaiseksi.

Taulukko 4. Laskentamalli kohteesta, jossa keskusvoitelujärjestelmä kattaa kaikki voitelupisteet.

<u>LCP-LASKENTAMALLI</u>			
<u>KUSTANNUKSET:</u>			
1. JÄRJESTELMÄN HINTA	(579 pistettä)		1 158 000 mk
2. JÄRJESTELMÄN HUOLTO/A			35 000 mk
<u>YHT</u>			1 193 000 mk
<u>TUOTOT:</u>			
1. LAAKERIVAURIOT VÄHENEVÄT 63 %			480 000 mk
2. 2 SEISOKKIA			1 114 000 mk
3. PALKKAKUSTANNUKSET VÄHENEVÄT			135 000 mk
4. VOITELUAINEEN KULUTUS VÄHENEVÄT (-31,4 %)			49 000 mk
5. VOITELUAINEEN JÄLKIKÄSITTELY			98 000 mk
<u>YHT.</u>			1 876 000 mk
<u>TULOS = TUOTOT – KUSTANNUKSET</u>			<u>683 000 mk</u>

Taulukon 4 laskentamalli perustuu samoihin tietoihin kuin aiemmat mallit. Vaikka oletuksena on lähes kaksinkertaistaa keskusvoitelujärjestelmän piiriin kuuluvat voitelukohteet, eivät tuotot kuitenkaan kaksinkertaistu. Laakerivaurioiden välttämisen johdosta, kuten myös palkka- ja voiteluainekustannusten osalta, kustannussäästöt kasvavat huomattavasti. Mahdollisten seisokkien määrä ei kasva kyseisessä kohteessa, vaan niiden oletetaan pysyvän ennallaan. Kohde on nyt jo niin laaja, ettei sen voida olettaa säästyvän ilman keskusvoitelujärjestelmän olemassaoloa kaikilta seisokkiin johtavilta laakerivaurioilta. Tässä tilanteessa herkkyyksianalyysin tekeminen on turhaa.

Lopullinen laskentamalli on toteutettu Excel-tilinlaskentaohjelmalla ja on liitteenä 1. Laskentamalli perustuu edellä esitettyihin tietoihin. Laskentamalliin syötetään keskusvoitelujärjestelmän laajuus voitelupisteinä, jonka jälkeen se diskonttaa tuotot ja kustannukset viidelle vuodelle ja laskee elinjaksotuoton sekä ensimmäiselle vuodelle että viiden vuoden päähän investoinnista. Laskentamallissa on käytetty jo aiemmin saatujen tuloksien ja haastattelujen perusteella pääteltyjä kertoimia ja lukuja. Seuraavassa luetellaan keskeisimmät.

1. Voitelupisteen hankintahinta on 2 000 mk.
2. Voitelupisteen huoltokustannus on vuodessa 60,3 mk/piste.
3. Investoinnin korko on 8 %.
4. Laakerivaurioiden määrä vähenee 63 %.
5. 8 % laakerivaurioista aiheuttaa suunnittelemattoman seisokin.
6. Palkkakustannukset vähenevät. Keskimääräisen voitelujakson pituudeksi on arvioitu kaksi viikkoa, yhden kohteen voiteluun menee kolme minuuttia ja palkkakustannukset ovat 180 mk/h.

7. Voiteluaineen kulutus ennen keskusvoitelujärjestelmän käyttöönottoa on 9 kg/voitelukohde/a ja voiteluaineen kulutus vähenee 31,4 %.
8. Voiteluaineen hinta on 30 mk/kg.
9. Voiteluaineen jälkikäsittelykustannukset (2 x voiteluaineen ostohinta) vähenevät.
10. Diskonttotekijä on 10 %.

7. PÄÄTELMÄT

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli kehittää LCP-laskentamalli keskusvoitelujärjestelmän elinjaksotuottojen ja -kustannusten tarkasteluun. Yleisemmin keskusvoitelujärjestelmä voidaan ymmärtää prosessin osajärjestelmänä. Kunnossapidonhistoriatiedon avulla tutkittiin laakerivaurioiden vaikutusta suunnittelemissa seisokkeihin. Näiden tulosten avulla pystyttiin arvioimaan keskusvoitelujärjestelmän elinjaksotuotot ja luotiin realiteetteihin perustuva LCP-laskentamalli. Kohdetehtaiden kunnossapitohistoriatiedot ja asiantuntija-arviot osoittavat, että tehtaiden käytettävyyttä on pystytty parantamaan keskusvoitelujärjestelmän käyttöönoton jälkeen. Käyttövarmuuden paraneminen vaikutti myös suunnittelemissa seisokkien määrään vähentyvästi.

Tutkimuksessa selvisi, että laakerivaurioilla saattaa olla yhteys myös muista syistä johtuviin seisokkeihin. Kun laakerivaurioista aiheutuvat seisokit vähenivät, vähenivät samalla myös muista syistä aiheutuneet seisokit. Tosin muiden seisokkien vähenemiseen saattaa olla vaikuttanut myös muita tekijöitä, kuten esimerkiksi tehostunut kunnossapitotoiminta.

Kun koneiden nopeuksia ja tuotantomääriä kasvatetaan, voitelun merkitys vahvistuu prosessiteollisuudessa. Tutkimusta tehtäessä laakerien vuosikulutus osoittautui paljon suuremmaksi kuin todellisten laakerivaurioiden määrä, koska ehjiä laakereita vaihdetaan hyvin paljon. Saattaisi olla jatkossa kannattavampaa keskittyä laakereiden oikeaan voiteluun ja näin ollen niiden kestoajan pidentämiseen. Suurimmat laakerit voivat maksaa satoja tuhansia markkoja kappale, ja näin ollen tehdaskohtaisesti saatetaan puhua jopa miljoonien markkojen kustannuserästä, jota voimme kutsua "turhaksi menoeräksi". Tätä ongelmaa ei ole kuitenkaan analysoitu tässä työssä tarkemmin.

Tutkimuksen tuloksena voidaan todeta keskusvoitelujärjestelmän investoinnin olevan kannattavan. Tuotantomäärien kasvu tulevaisuudessa vie tuottavuuden sekä käytettävyyden merkityksen entisistä korostuneempaan asemaan koko Suomen teollisuudessa. Tulevaisuudessa onkin vaikea kuvitella prosessiteollisuuslaitosta ilman täysin kattavaa keskusvoitelujärjestelmää yhtenä laitoksen käyttövarmuuden peruspilarin luojana. Lisäksi mekaanisten koneiden kehittämisessä järjestelmien monimutkaistuminen saattaa johtaa aikaisempaa pitempiin elinkaariodotuksiin, mikä puolestaan saattaa vaikuttaa yritysten investointilogiikkaan. Vaikka keskusvoitelujärjestelmä onkin vain yksi osa tehdaskokonaisuudessa, voi sen rooli ulottua jopa liiketaloudellisiin toimintaperiaatteisiin.

LÄHDELUETTELO

Ahlmann, H. 1984. Maintenance Effectiveness and economic models in the terogenic concept. Maintenance Management International. N:o 4, s. 131 - 139.

Brown, R. & Yanuck, R. 1985. Introduction to life cycle costing. USA: The Fairmont Press. 309 s.

Fabrycky, W. & Blanchard, B. 1991. Life-cycle cost and economic analysis. Prentice-Hall, inc. 384 s.

IEC 1996. 'Draft IEC 300-3-3: Dependability management - Part 3. Application guide-Section 3: Life Cycle Costing'. Final Draft International Standard. April 1996. 29 s.

Jauhiainen, T. 1998. Voitelun vaikutus vierintälaakerin käyttöikään. Kunnossapitolehti 1/1998, s. 40 - 41.

Kortelainen, H. 1997. LCC - Life Cycle Cost, Tuotteen elinjaksokustannukset. Valtion teknillinen tutkimus keskus. Raportti VALB 23118. 30 s.

Lamberg, M. Voiteluhuollon merkitys. Kunnossapitolehti, kunnossapitokoulu 8/1991, s. 2.

Lyytikäinen, A. 1987. Käyttövarmuuskäsikirja. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 678. 147 s. + liitt. 6 s.

Moilanen, T. & Martin, C. 1996. Financial evaluation of environmental investments. Institution of Chemical Engineers, UK. 177 s.

Pajukoski, M. 1997. Voiteluhuollon strategiat. Kunnossapitolehti, 1/1997, s. 8 - 10.

Riikonen, E. 1996. LCP-elinkaarituohtoanalyysi. Juva A. & Gustavson S. (toim.). Käynnissäpidon johtaminen ja talous. Painoryhmä Oy. 224 s.

Sarsama, J. 1997. Luotettavuustekniikan termejä standardiin SFS-IEC 50 (191) pohjautuen. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Raportti VALB 222. 28 s.

SKF:n tutkimusraportteja ja seminaarimateriaalia 1989 - 1996.

Tamminen, J. & Reunanen, M. 1981. Mekaanisten laitteiden vikaantuminen. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 40. 61 s. + liitt. 17 s.

Toola, A., Rosqvist, T. & Sarsama, J. 1996. Käyttövarmuus kilpailutekijänä. Voima ja Käyttö 3/1996, s. 36.

Uusi-Rauva, E., Aaltonen, M. & Saari, J. 1988. Työtaturmien seurauskustannusten yritystason arviointimenetelmä. Teknillinen korkeakoulu, Report No 105. 70 s.

LIITE 1

LCP LASKENTAMALLI											
KUSTANNUKSET:					1. vuosi	2.vuosi	3.vuosi	4.vuosi	5.vuosi	YHT.	
1. JÄRJESTELMÄN HINTA: voitelukohteiden lkm.?				800	1 600 000 mk						723 200 mk
2. JÄRJESTELMÄN HUOLTO/A					48 000 mk	39 840	36 000	32 640	29 760		186 240 mk
3. KOROT (8%)					128 000 mk	106 240	96 000	87 040	79 360		496 640 mk
YHT					1 776 000 mk					LCC	1 406 080 mk
TUOTOT:											
1.LAAKERIVAURIOT VÄHENEVÄT 60%					696 375 mk	577 991	522 281	473 535	431 752		2 701 934 mk
2.SEISOKIT VÄHENEVÄT					1 465 567 mk	1 216 420	1 099 175	996 585	908 651		5 686 398 mk
3.PALKKAKUSTANNUKSET VÄHENEVÄT					187 200 mk	155 376	140 400	127 296	116 064		726 336 mk
4.VOITELUAINEEEN KULUTUS VÄHENEVÄT (-31,4 %)					68 095 mk	56 519	51 071	46 305	42 219		264 210 mk
5.VOITELUAINEEEN JÄLKIKÄSITTELY					136 191 mk	113 038	102 143	92 610	84 438		528 419 mk
YHT.					2 553 427 mk					LCP	9 907 298 mk
TULOS=TUOTOT-KUSTANNUKSET					777 427 mk					LCP-LCC	8 501 218 mk

DISKONTTOTEKIJÄ $i = 10 \%$

LAINAN KORKOKANTA 8%