
TULISTINTUOTANNON KEHITTÄMINEN YIT TEOLLISUUS- JA VERKKOPALVELUT OY:LLÄ

Esko Kilpeläinen

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto



| | |
|--|------------------------------|
| Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala | |
| Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma | |
| Työn tekijä(t) Esko Kilpeläinen | |
| Työn nimi Tulistintuotannon kehittäminen YIT Teollisuus- ja Verkkopalvelut Oy:llä | |
| Päiväys 12.12.2010 | Sivumäärä/Liitteet 48 / 1 |
| Ohjaaja(t) Lehtori Jyri Tuovinen / tuotantopäällikkö Marko Mikkonen | |
| Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) YIT Teollisuus- ja Verkkopalvelut Oy, Varkauden konepaja | |
| Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön aiheena oli selvittää automaattisten laitteistojen soveltuvuutta YIT Teollisuus- ja Verkkopalvelut Oy:n Varkauden konepajan tulistintuotantoon.</p> <p>Työn tarkoituksena oli löytää sopivat automaattiset laitteistot, pyytää tarjoukset laitteistoista ja selvittää konepajan tuotantoon parhaiten soveltuva kokonaisuus sekä tehdä investointi- ja kustannuslaskelmat laitteistoista. Laitteistojen sijoittelusta tehtiin layout- suunnitelmia erilaisilla kokoonpanoilla ja suunniteltiin mahdollisia tuotantotilojen laajennusosia.</p> <p>Työssä tutkittiin yrityksen tuotantoa nykyisillä laitteistoilla sekä selvitettiin parannusta vaativia työvaiheita ja mahdollisuuksia parantaa tuottavuutta automaattisilla laitteilla. Menetelminä käytettiin tiedonhakua internetistä laitteistovalmistajien kotisivuilta, kirjallisuuslähteistä, valmistusdokumenteista ja haastattelututkimusta.</p> <p>Työn tuloksena yritys sai tietoa automaattisista putkentaivutuskoneista, jatkohitsauslaitteista ja viisteityskoneista. Tietoa saatiin myös niiden eduista ja haitoista, tarjoukset laitteistoista, layout- ja laajennussuunnitelmat tuotantotiloille sekä kustannus- ja investointilaskelmat laitteistoista. Työtä tullaan käyttämään osana pitkän tähtäimen suunnitelmaa sekä investointihakemusten liitteenä.</p> | |
| Avainsanat putkentaivutus, tulistin, investointilaskelmat | |
| julkinen | |

| | | | |
|---|-------------------|------------------|--------|
| Field of Study Technology, Communication and Transport | | | |
| Degree Programme Mechanical Engineering | | | |
| Author(s) Esko Kilpeläinen | | | |
| Title of Thesis Development of Superheater Production for YIT Industrial and Network Services Ltd. | | | |
| Date | December 12, 2010 | Pages/Appendices | 48 / 1 |
| Supervisor(s) Jyri Tuovinen, Lecturer / Marko Mikkonen, Production Manager | | | |
| Project/Partners YIT Industrial and Network Services Ltd, Varkaus | | | |
| <p>Abstract</p> <p>The aim of this final year project was to find out the suitability of automatic production equipment for the superheater production at the workshop of YIT Industrial and Network Services Ltd in Varkaus. The purpose was to find out the best equipment for superheater production and the optimal combination and request quotations for this equipment. Cost and investment calculations were also to be done and a layout to place the equipment and make enlargement plans was to be made.</p> <p>In this project the production with the equipment used currently was studied and the problems with this equipment and working phases as well as the possibilities to develop the production were examined. Information was collected from the Internet, literature, old production documents and by interviewing the operators.</p> <p>As a result of the project the company gained information on automatic tube bending machines, automatic welding machines, automatic beveling machines and the advantages and disadvantages of this equipment. The company got offers for machines, layout and enlargement plans were made, cost and investment calculations about production equipment were done as well.</p> | | | |
| Keywords tube bending, superheater, investment calculation | | | |
| public | | | |

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty YIT Teollisuus- ja Verkkopalvelut Oy:n Varkauden konepajalle. Työn tarkoituksena on tutkia tulistintuotannon kehittämistä pääasiassa lisäämällä tuotantolaitteistojen automaatioastetta.

Haluan kiittää Varkauden konepajan tuotantopäällikkö Marko Mikkosta mielenkiintoisesta aiheesta ja hyvästä työn ohjauksesta ja valvonnasta sekä Savonia-ammattikorkeakoulun lehtori Jyri Tuovista työn ohjauksesta. Kiitokset kuuluvat myös yrityksen henkilökunnalle yhteistyöstä ja avusta työssä.

Haluan esittää suuret kiitokset perheelleni ja ystäväilleni tuesta ja kannustuksesta opintojen aikana.

Kuopiossa 12.12.2010

Esko Kilpeläinen

SISÄLLYS

| | | |
|--------|---|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 8 |
| 2 | PERUSTIETOJA YRITYKSESTÄ..... | 9 |
| 2.1 | YIT Oyj | 9 |
| 2.2 | YIT Teollisuus- ja Verkkopalvelut Oy | 10 |
| 3 | TYÖNTUTKIMUS | 11 |
| 4 | TUOTANTOJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU | 15 |
| 5 | KAPASITEETTI JA LÄPÄISYAIKA | 22 |
| 5.1 | Kapasiteetti..... | 22 |
| 5.2 | Läpäisy aika | 22 |
| 6 | INVESTOINTILASKELMAT | 24 |
| 6.1 | Yleistä investoinneista | 24 |
| 6.2 | Perinteiset investointilaskelmat..... | 25 |
| 6.3 | Laskentamenetelmät | 26 |
| 6.3.1 | Nykyarvomenetelmä (NA)..... | 26 |
| 6.3.2 | Annuiteettimenetelmä..... | 27 |
| 6.3.3 | Sisäisen korkokannan menetelmä..... | 28 |
| 6.3.4 | Korottoman takaisinmaksuajan menetelmä | 29 |
| 6.3.5 | Korollisen takaisinmaksuajan menetelmä | 29 |
| 7 | HÖYRYKATTILA JA TULISTIN | 30 |
| 7.1 | Höyrykattila..... | 30 |
| 7.2 | Tulistin..... | 31 |
| 7.2.1 | Tulistintyytit..... | 31 |
| 7.2.2 | Tulistimien rakenne | 33 |
| 7.2.3 | Tulistinmateriaalit | 33 |
| 8 | NYKYINEN VALMISTUSJÄRJESTELMÄ | 34 |
| 8.1 | Tiedonkeruututkimus | 34 |
| 8.2 | Työnmittaus..... | 34 |
| 8.2.1 | Suunnittelutuotteisto | 34 |
| 8.2.2 | Kelloaikatutkimus | 35 |
| 8.2.3 | Haastattelututkimus..... | 35 |
| 9 | TUTKIMUKSEN TULOKSET | 36 |
| 9.1 | Valmistusmäärät..... | 36 |
| 9.2 | Taivutuskapasiteetin laskenta ja tahtiajan määrittäminen..... | 36 |
| 10 | UUSI JÄRJESTELMÄ..... | 38 |
| 10.1 | Tuotantolinjan automatisointivaihtoehdot..... | 38 |
| 10.1.1 | Automaattiset viisteytyskoneet..... | 38 |

| | |
|--|----|
| 10.1.2 Automaattinen putkenjatkohitsauslaite..... | 38 |
| 10.1.3 Automaattinen putkentaivutuskone..... | 41 |
| 11 LAITTEISTOJEN KUSTANNUSARVIOT | 44 |
| 12 ESIMERKKIPROJEKTI NYKYLAITTEISTON JA UUSIEN LAITTEISTOJEN EROISTA LÄPIMENOAJAN JA KUSTANNUSTEN OSALTA..... | 45 |
| 13 LAYOUT-SUUNNITELMAT JA MAHDOLLINEN TUOTANTOTILOJEN LAAJENNUSOSA | 46 |
| 13.1 Layout-suunnitelma | 46 |
| 14 YHTEENVETO | 47 |
| LÄHTEET..... | 48 |

LIITTEET

Liite 1 Diskonttaustaulukko

1 JOHDANTO

Työn tavoitteena on selvittää mahdollisuudet kehittää tuotantoa ja kasvattaa tuottavuutta lisäämällä automatisoituja laitteistoja YIT Teollisuus- ja Verkkopalvelut Oy:n Varkauden konepajalle. Työssä pyritään selvittämään automatisoidun laitteiston edut verrattuna nykyiseen manuaaliseen laitteistoon, automaattisen putkentaivutuskoneen soveltuvuus tulistimien valmistukseen ja laitteistojen kustannusarviot. Lisäksi tehdään layout-suunnitelmat kyseisille laitteistoille.

Työn painopisteenä on tutkia CNC-ohjelmoitavan putkentaivutuskoneen etuja tuotannossa sekä niiden soveltuvuutta nykyisiin tuotantotiloihin. Automaattiset viistekoneet ja hitsausautomaatio ovat toissijaisia tutkimuskohteita.

Työn tuloksena on tarkoitus saada mahdollisimman kustannustehokas, nykyaikainen ja tuottava laitteistokokonaisuus tulistinelementtien valmistukseen. Laitteistolla tavoitellaan säästöjä esimerkiksi nopeuttamalla läpimenoaikaa ja vähentämällä virheitä. Työn lopputuloksena pyritään saamaan kustannus- ja investointilaskelmat sekä layout-suunnitelmat tuotantolinjasta. Työtä on tarkoitus käyttää osana YIT:n pitkän tähtäimen suunnitelmaa ja CNC-putkentaivutuskoneen investointihakemuksen liitteenä.

Aloituspalaveri pidettiin 22.6.2010 ja siihen osallistuivat opinnäytetyöntekijä Esko Kilpeläinen, Varkauden konepajan tuotantopäällikkö Marko Mikkonen sekä lehtori Jyri Tuovinen Savonia-ammattikorkeakoulusta.

Työ rajattiin opinnäytetyön aloituspalaverissa ainoastaan paineenalaisiin kattilaputkistoihin ja niissä pääasiassa tulistinputkiin. Yleisimmät YIT:n Varkauden konepajalla valmistettavat tulistimet ovat putkihalkaisijat 31,8 - 38 mm, mutta joskus jopa 44,5 mm. Putken seinämänvahvuudet ovat 3,5 - 7,1 mm.

2 PERUSTIETOJA YRITYKSESTÄ

2.1 YIT Oyj

YIT (Yleinen InsinööriToimisto) aloitti toimintansa Suomessa 1912. Nykymuotoinen YIT muodostettiin 1987, kun yhdistettiin YIT, Perusyhtymä ja Vesto-ryhmä. Maaliskuussa 2006 yhtiökokous päätti muuttaa yhtiön nimeksi YIT Oyj:n.

Vuoden 2009 alusta alkaen YIT:n toiminta on jaettu kolmeen toimialaan (prosenttiosuus konsernin henkilöstöstä 9 / 2010):

- Kiinteistö- ja teollisuuspalvelut 76 %
 - suurin teollisuuden investointi- ja kunnossapitopalveluiden tarjoaja Suomessa
- Suomen rakentamispalvelut 12 %
 - suurin rakennusliike Suomessa
- Kansainväliset rakentamispalvelut 10 %
 - suurin ulkomainen rakennusliike Venäjällä
 - yksi suurimmista rakennusliikkeistä Baltian maissa

Konsernipalveluiden henkilöstön osuus on noin 1 %. Yrityksen liikevaihto vuonna 2009 oli 3 452,4 M€, josta liikevoitto oli 165,5 M€. Yrityksen henkilöstö loppuvuonna 2009 oli 23 480. YIT:llä on yli 400 toimipistettä Pohjoismaissa, Venäjällä, Keski-Euroopassa ja Baltian maissa. (YIT Oyj)

2.2 YIT Teollisuus- ja Verkkopalvelut Oy

YIT Teollisuus- ja Verkkopalvelut Oy on Suomen johtava teollisuuden palveluyritys ja markkinajohtaja Pohjois-Euroopan korkeapaineputkisto toteutuksissa. Teollisuuden palveluihin kuuluu kuusi konepajaa, joissa työskentelee yhteensä noin 3 800 työntekijää. Liikevaihto vuonna 2008 oli 430 M€.

Palveluita kokonaisvaltaisiin investointiprojekteihin ovat:

- Suunnittelu
- Materiaalihankinnat
- Esivalmistus konepajoilla
- Asennus
- Käyttöönotto
- Projektinhallinta

Varkauden konepajalla on keskitytty voimalaitoskattiloiden osien valmistukseen. Yleensä valmistettavat osat tulevat jo toiminnassa olevien kattiloiden huolto- ja korjausosiksi. Toimintaan kuuluu myös asennustyöt. Erikoisosaamisalueena toimii:

- Voimakattilat
- Soodakattilat
- Lämmöntalteenottokattilat
- Tulistimet ja ekonomaiserit
- Teollisuuden energialaiteratkaisut
(YIT Oyj)

YIT:n Varkauden konepajalla työskentelee 67 työntekijää, joista 27 työskentelee asennuspuolella ja 11 toimihenkilönä. Suurimmat asiakkaat ovat SSAB, LKAB, Holmen Group, Smurfit Kappa, Stora Enso ja Metsä-Botnia. YIT:n Varkauden konepaja on itselleni tuttu paikka, koska olen työskennellyt siellä yli kahden vuoden ajan hitsaajana ennen kuin aloitin opiskelut. Opiskelujen ohella olen myös koulun loma-aikoina ollut siellä töissä. Kaikki opintoihin kuuluvat harjoittelut olen suorittanut kyseisessä yrityksessä työnjohtoharjoittelijan nimikkeellä työskennellen.

3 TYÖNTUTKIMUS

Kaikkia työn tuottavuuden kehittämiseen tähtäviä tutkimuksia kutsutaan työntutkimukseksi. Työntutkimuksen sisältö on määritelmän mukaan seuraava:

”Työntutkimus on ihmisten, materiaalien ja tuotantovälineiden yhteistoiminnan järjestelmällistä tutkimista tarkoituksena löytää paras menettelytapa. Sen päämääränä on lisäksi hyvien työolosuhteiden luominen ja työn suorittamiseksi tarvittavan ajan määrittäminen”.

Tätä määritelmää hyväksi käyttäen voidaan työntutkimusta soveltaa hyvin laajalti koko tuotantojärjestelmään.

Yleisimmin työntutkimuksella tarkoitetaan työnmittausta, ajankäyttö- ja menetelmätutkimusta.

Työntutkimuksen päämääriä ovat:

1. *Ajankäytön tehostaminen.* Työaika pyritään käyttämään niin tehokkaasti kuin mahdollista välittömään työtehtävään ja tuottamattomia apu-, tauko- ja häiriöaikoja pyritään välttämään.
2. *Työnkulun tehostaminen.* Suunnitellaan tuotantoprosessi siten, että toisiaan seuraavat työvaiheet toimivat mahdollisimman tehokkaasti.
3. *Yksittäisten työvaiheiden tehostaminen.* Tavoitteena on kehittää työvaiheen tehokkuutta muuttamalla työolosuhteita, välineitä ja suoritustapaa.
4. *Työliikkeiden kehittäminen.* Työliikkeitä tarkastellaan yksityiskohdittain pyrkimyksenä parantaa tehokkuutta sekä ergonomiaa ja työturvallisuutta.
(Haverila, Uusi-Rauva, Kouri & Miettinen 2009, 490)

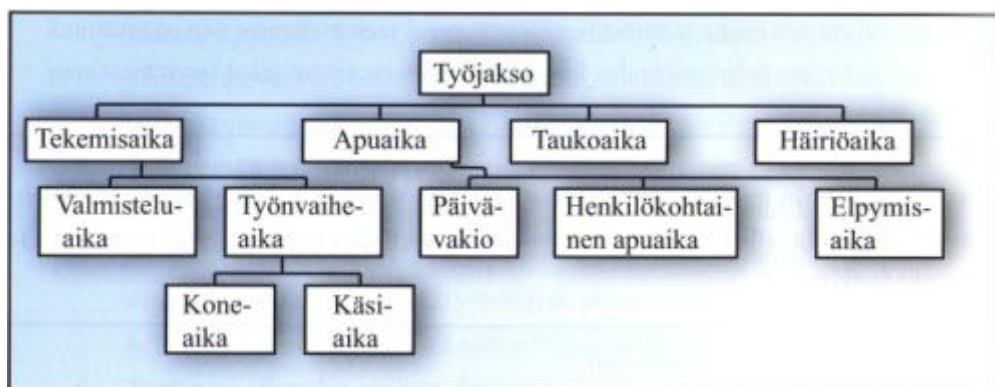
Ajankäyttötutkimus

Ajankäyttötutkimuksen perustana on työajan jakaminen tehokkaaseen työaikaan ja erilaisiin aikahäviöihin. Tutkimuksessa analysoidaan työmenetelmien epäkohtia tavoitteena kehittää niitä menetelmätekniikkaa apuna käyttäen.

Ajankäyttötutkimuksella tavoitellaan seuraavia asioita:

1. Pyritään selvittämään työvoiman ja koneiden käytössä tai työkappaleiden kulussa tulevien aikahäviöiden suuruus ja niiden aiheuttaja. Tutkimuksen perusteella etsitään sopivia keinoja aikahäviöiden pienentämiseksi.
2. Arvioidaan apuaikaisä työnmittausta varten. Apuaikaan sisältyvät ne toimenpiteet, jotka ovat työn suorittamisen kannalta välttämättömiä, mutta eivät sisälly varsinaiseen työn tekemisaikaan. Työn mittauksessa apuajat ilmoitetaan yleensä prosenttiosuutena varsinaisesta työajasta. Apuaikoja ovat esimerkiksi koneen puhdistus ja huoltotoimenpiteet sekä tuntiseurantakortin ja mahdollisten tarkastuspöytäkirjojen täyttö. Ajankäyttötutkimus perustuu työajan jaotteluun eri aikalajeihin. Tavallisimmin käytetty aikalajijako käy ilmi kuvasta 1.

(Haverila ym. 2009, 491)



KUVA 1. Työnjakson jakaminen eri aikalajeihin (Haverila ym. 2009, 491)

Tekemisaika on varsinaisten työtehtävien suorittamiseen kuluva aika eli tuottava aika.

Valmisteluaikana tehdyt työosat esiintyvät vain kerran valmistuserää kohden.

Työnvaiheaikana tehdyt työn osiot riippuvat valmistettavasta kappalemäärästä.

Koneaika on koneen tekemää työtä, johon koneenkäyttäjä ei voi vaikuttaa.

Käsi aikaan koneen työntekijä voi vaikuttaa omalla työpanoksellaan, siihen kuuluu työntekijän tekemän työn lisäksi esimerkiksi materiaalin syöttö työkoneeseen ja koneen päälle laittaminen.

Apu aika sisältää työolosuhteiden ylläpitämiseksi tehtyjä, ajoittain toistuvia työtapah-
tumuja, kuten koneen huoltoa tai siivousta.

Päivävakio sisältää toistuvat työtapah-
tumat, jotka eivät riipu tehtävästä työstä.

Henkilökohtainen apu aika on työntekijän henkilökohtaisia tarpeita varten varattu
aika.

Elpymisaika on työn rasittavuudesta johtuvaa lepoaika.

Tauko aika on ylimääräistä taukoihin käytettyä aikaa.

Häiriö aika on erilaisten odottamattomien keskeytysten kuluttamaa aikaa kuten sähkökatkoja tai koneen häiriöitä.

Ajankäyttötutkimus voidaan toteuttaa kahtena erilaisena tutkimuksena, joko jatkuvana ajankäyttötutkimuksena tai havainnointitutkimuksena. Jatkuvassa ajankäyttötutkimuksessa seurataan työntekijöiden suoritusta koko työjakson ajan. Saadut tulokset kertovat tarkasti työajan jakautumisen eri aikalajeihin. Menetelmä antaa varmoja tuloksia, mutta vaatii runsaasti resursseja tutkimuksen suorittamiseen.

Havainnointitutkimuksessa tarkastellaan työn tekemistä tiettyinä havaintohetkinä. Havaintohetkinä, jotka ovat satunnaisia tai määritellyin aikaväleihin toistuvia, kirjataan menossa oleva tapahtuma ja sen aikalaji. Työajan jakauma määritellään saaduista tutkimusaineistoista tilastollisten menetelmien avulla. Periaatteessa eri aikalahjavain-
tojen prosentuaalinen osuus kertoo kuinka työaika jakautuu eri aikalajeihin. Havain-
nointitutkimus on helpompi tehdä, sitä voidaan jatkaa pidemmän aikaa ja se vaatii vähemmän resursseja. Haittapuolena on eri aikahäviöiden aiheuttajien vaikeampi määrittely ja sitä kautta vaikeampi aikahäviöiden poistaminen. (Haverila ym. 2009, 492)

Työnmittaus

Työnmittauksella tarkoitetaan työmäärän tutkimista, jonka työntekijät tekevät tuoteyk-
sikköä kohden. Työmäärä arvioidaan kokeneen työntekijän normaaleissa työoloissa vakiomenetelmillä tekemän työn pohjalta.

Työmäärää käytetään eri työmenetelmien keskinäisessä vertailussa, tuotteiden hin-
noitteluperusteen, tuotannon kuormitussuunnittelussa, työntekijöiden palkkauksen perustana sekä valmistusmenetelmien kehittämisessä.

Työnmittauksessa käytetään seuraavia menetelmiä:

1. **Kelloaikatutkimus.** Kelloaikatutkimus voidaan jakaa normaaliaikatutkimukseen ja jatkuvaan ajankäytön tutkimukseen. Normaaliaikatutkimusta käytetään silloin kun työt ja niiden työvaiheet toistuvat samanlaisina. Työ jaetaan pienempiin osiin, joiden suorittaminen mitataan erikseen. Jatkuvaa ajankäyttötutkimusta käytetään, kun työtehtävät eivät toistu samanlaisina ja työjärjestys vaihtelee. Tällöin tutkimusten kesto-aika on pidempi ja mittaukset tehdään koskien suurempia kokonaisuuksia.
2. **Havainnointitutkimus.** Havainnointitutkimuksessa työaika jaotellaan eri aikakalajeihin.
3. **Haastattelu.** Työntekijöiden haastatteluissa saadaan karkeita arvioita eri työtehtäviin kuluva ajasta.
4. **Vertailu.** Vertaillaan työtä toiseen vastaavaan työhön, josta on esimerkiksi aikaisempaa kokemuseräistä tietoa. Vertailussa voidaan myös käyttää apuna standardiaikajärjestelmiä, joilla lasketaan eri työvaiheiden standardiajat.
5. **Aikalaskelmat.** Automaattisten koneiden työaika saadaan selville laskemalla tai mittaamalla työnkiertoon kulunut aika.
6. **Laskelmat.** Laskelmat perustuvat työn jakamiseen hyvin pieniin työnosiin. Työnosille on määritetty yleispäteviä suoritusajoja, jolloin työaika saadaan laskemalla työnosiin kuluneet ajat yhteen. Suomessa eniten tunnettu laskelmamenetelmä on MTM (Methods Time Measurement) erilaisine sovelluksineen.
(Haverila ym. 2009, 492)

4 TUOTANTOJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Tuotantojärjestelmän suunnittelun olennaiset vaiheet ovat:

- Tuoteanalyysi
 - Tuotantoanalyysi
 - Valmistusstruktuurin luominen
 - Ohjausperiaatteiden määrittäminen
 - Valmistusyksiköiden kapasiteettilaskelmat
 - Valmistusyksiköiden tekniikan kehittäminen
 - Solujen sisäinen layout
 - Valmistusyksiköiden sijoittelulayout
 - Sisäisen logistiikan kehittäminen
- (Lapinleimu, Kauppinen & Torvinen 1997, 300)

Suunnittelu voi alkaa luettelon mukaisesti, mutta kaikki osat vaikuttavat niin paljon toisiinsa, että yhtäaikainen kokonaissuunnittelu ja kehittävä aikaisempaan osaan palaaminen osoittautuvat käytännössä välttämättömiksi. (Lapinleimu ym. 1997, 300)

Suunnittelutuotteisto

Tuotantojärjestelmän suunnittelu edellyttää suunnittelutuotteistoa, jonka valmistamiseksi järjestelmä suunnitellaan.

Suunnittelutuotteistoon valitaan kustakin tuotteesta ja variantista tyypilliset edustajat. Kappaleen koolla on vaikutusta valmistusmenetelmiin ja tuotantokalustoon. Tästä syystä suunnittelutuotteistoon on otettava pieniä, keskikokoisia ja suuria tuotteita. Suunnittelutuotteiston tarkoituksena on supistaa pienemmäksi sitä nimikemäärää, jota on tehtaan suunnittelussa käsiteltävä suhteellisen yksityiskohtaisesti. Suunnittelutuotteiston on edustettava koko tuotteistoa siten, että eri variantit, välikoot ja rinnakkaistuotteet voidaan valmistaa suunnittelutuotteistolle suunnitellulla järjestelmällä. Jos tuotevalikoima on suppea ja tuotantovolyymi suuri, kaikki tuotteet on mahdollista ottaa mukaan suunnittelutuotteistoon.

Suunnittelutuotanto saadaan siten, että annetaan kullekin suunnittelutuotteiston osalle tuotteen vuosivolyymi ja näin saadaan kokonaisvolyymi, joka vastaa suunniteltavan tehtaan vuosivolyymiä. Liikkeenjohdon strateginen asia on päättää suunnittelutuotanto ja tuotemäärät.

Volyymit voidaan määrittellä tehtaan valmistumisvuodeksi ja siitä esimerkiksi kolmen tai viiden vuoden päähän. Tällä tavalla toimien saadaan muutostrendi näkymään ja sitä voidaan käyttää suunnittelussa apuna. Tehdas voidaan suunnitella osioittain toteutettavaksi. (Lapinleimu ym. 1997, 302)

Tuoteanalyysi

Tuoteanalyysin tarkoituksena on antaa selkeämpi kuva tuotteiden tärkeimmistä piirteistä sekä antaa perusta tuotantojärjestelmän suunnittelulle.

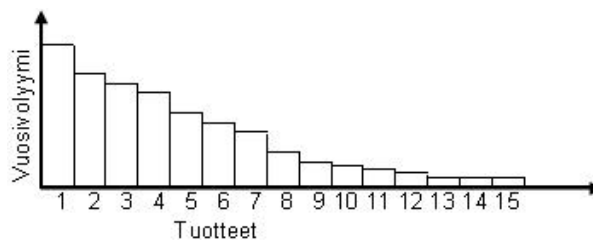
Sellaisia piirteitä ovat:

- Tuotteiden rakenne, modulointi, pääosat
- Ominaisuudet, esimerkiksi tarkkuudet ja käytettävät materiaalit
- Tuotantovolyymit
- Asiakasvaatimukset, toimitusaika ja erilaisten versioiden määrä
(Lapinleimu ym. 1997, 302)

Tuoteanalyysissä voidaan käyttää seuraavia malleja:

- 20 / 80-sääntö
 - 20 % yrityksen valmistamista tuotteista tuo 80 % yrityksen tuotosta
 - Eri tuotteiden kohdalla nimikkeistä 20 % vastaa 80 % koko tuotteen osien kustannuksista
 - Säännön avulla voidaan valikoida tuotteet, jotka ovat lopputuloksen kannalta tärkeimpiä
- Tuote-määrä-piirros
 - tuotteet tai tuotekokonaisuuden osat on järjestetty kappalemääräisen vuosivolyymin mukaiseen järjestykseen (kuva 2)
 - se antaa mahdollisia viitteitä valmistusjärjestelmän suunnittelulähtökohdaksi

(Rationalisointi Ry, Tehtaan layout-suunnittelukurssi; Lapinleimu ym. 1997, 303)



KUVA 2. Tuote-määrä-piirros (Lapinleimu ym. 1997, 303)

Tuotantoanalyysi

Tuotantoanalyysillä voidaan syventää tuotantojärjestelmän suunnittelun teknisiä perusteita. Tuotantoanalyysin keskeinen tehtävä on selvittää, mitä järjestelmältä vaaditaan suunnittelutuotannon valmistamiseksi.

Tahtiaika on erittäin havainnollinen suure, jolla saadaan mielikuva valmistuksen rytmistä. (Lapinleimu ym. 1997, 303)

Tuotantolinjan tasapainottaminen perustuu tahtiajan määrittämiseen. Tahtiaika lasketaan haluttuun tuotantomäärään perustuen seuraavalla kaavalla:

$$\text{Tahtiaika} = \frac{\text{Aika}}{\text{Haluttu tuotanto}} \quad (1)$$

(Haverila ym. 2009, 485)

Tuotantoanalyysin pohjalta suunnitellaan valmistusjärjestelmän struktuuri ja ohjausperiaatteet. (Lapinleimu ym. 1997, 303)

Struktuurin suunnittelu

Struktuurin suunnittelussa mallituotteistosta on muodostettava osakokoonpanoja ja näistä edelleen osaryhmiä. Osaryhmien on koostuttava valmistettavuuden kannalta samanlaisista osista siten, että niiden valmistukseen voidaan muodostaa järkevä valmistusyksikkö (solu). Kaikissa soluissa ei voi eikä tarvitse ollakaan kaikkia laitteita.

Osaryhmät ja niitä vastaavat solut voidaan muodostaa perustuen tuoterakenteeseen, ryhmäteknologiaan tai funktionaaliseen solujen muodostamiseen.

Tavoitteena on saavuttaa tuoteperustainen periaate. Se sitoo solut liiketoimintaan ja tuotannon ohjaukseen, koska soluille muodostuu hyvin selkeä kuva omasta osuudestaan toimintaan ja sitä kautta myös tulokseen. Lopputuotteiden ollessa perusteiltaan samanlaisia soluille muodostuu omaa osuuttaan vastaava kapasiteetti. Tuotannon ohjauksessa ei siinä tapauksessa tarvitse tarkastella muuta kuin loppukokoonpanon kuormitusta. Volyymin ja automaation soveltamissyistä usean tuotteen osavalmistus joudutaan usein keskittämään yhdeksi komponenttien valmistusyksiköksi.

Sama tilanne toistuu alihankintatehtaalla, joka toimittaa osia usealle asiakasyritykselle. Tällöin muodostetaan ryhmäteknologinen solu. Muodostettava solu voi olla esimerkiksi akseli- tai pyöräsolu. Hyvin sekalaisessa tuotannossa, jossa ei ole mitään tiettyä valmistettavaa tuotetta, joudutaan käyttämään funktionaalisin perustein suunniteltavia valmistusyksiköitä. Tällöin sovelletaan valmistusmenetelmien jakoa esimerkiksi seuraavalla tavalla:

- *ohutlevy-yksikkö*
- *karkealevy-yksikkö*
- *keskiraskas koneistusyksikkö*
 - *sorvausryhmä*
 - *koneistuskeskusryhmä*
- *raskas koneistus*

Struktuurin synnyttäminen on silti kaikissa kolmessa tapauksessa välttämätöntä riittävän pienten itsenäisten yksiköiden saavuttamiseksi. Solujen muodostamista varten tehtävää valmistettavien osien ryhmittelyä helpottamaan on kehitetty erilaisia tekniikoita. Niistä ehdottomasti tärkein on **työnkulkukaavio** (kuva 3). (Lapinleimu ym. 1997, 304 - 308)

| Aloitus: | | Lopetus: | | | | Kuljetukset | | | |
|-----------------------------------|------------|-----------|----------|-----------------------|-----------|-------------|----------|----------|----------|
| Tuote: | Asiakas: | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Valmistusmäärä: | Sarjakoko: | | | | | Aika (s) | Aika (s) | Aika (s) | Aika (s) |
| | Työn vaihe | Käsittely | Kuljetus | Varastointi ja odotus | Tarkastus | | | | |
| Kuvaus | | | | | | | | | |
| Varasto | ◇ | △ | □ | ☒ | ☆ | | | | |
| Kuljetus varastosta | ◇ | △ | □ | ☒ | ☆ | | | | |
| 1. työvaihe | ◇ | △ | □ | ☒ | ☆ | | | | |
| Kuljetus seuraavalle työvaiheelle | ◇ | △ | □ | ☒ | ☆ | | | | |
| 2. työvaihe | ◇ | △ | □ | ☒ | ☆ | | | | |
| 1. tarkastus | ◇ | △ | □ | ☒ | ☆ | | | | |
| Kuljetus seuraavalle työvaiheelle | ◇ | △ | □ | ☒ | ☆ | | | | |
| 3. työvaihe | ◇ | △ | □ | ☒ | ☆ | | | | |
| 4. työvaihe | ◇ | △ | □ | ☒ | ☆ | | | | |
| 5. työvaihe | ◇ | △ | □ | ☒ | ☆ | | | | |
| 2. tarkastus | ◇ | △ | □ | ☒ | ☆ | | | | |
| Pakkaus kuljetusta varten | ◇ | △ | □ | ☒ | ☆ | | | | |

◇ = Työn vaihe △ = Käsittely □ = Kuljetus
☒ = Varastointi ja odotus ☆ = Tarkastus

KUVA 3. Työnkulkukaavio, josta selviää työvaihejärjestykset ja vaiheajat

Työnkulkukaaviot havainnollistavat, perustuvat tekniikkaan ja niitä voidaan käyttää myös esimerkiksi läpäisyajan määrittämiseen. Niistä selviää työvaihejärjestykset ja työkappaleiden liikkeet. Yleisten projektitietojen lisäksi kaaviossa on kuvausosa, josta käy ilmi missä työvaiheessa kappale kulloinkin on. Vaiheen kohdalle merkataan tehtävä työlaji ja siihen kuluva aika. Työlajeja on viisi: työvaihe, käsittely, kuljetus, varastointi ja odotus sekä tarkastus. Lopuksi vaiheet yhdistetään toisiinsa ja saadaan selville työlajit ja niihin kuluva aika. Muita ryhmittelyyn käytettyjä menetelmiä ovat mm. osa-vaihekaavio ja yhteyssuhdepiirros. Osa-vaihe-kaaviolla yhdistetään tarvittavat resurssit valmistettaviin osiin, mutta sitä käytettäessä työnvaihejärjestys häviää. Yhteyssuhdepiirrosta käytetään päävirtojen ja niistä muodostettavien yksiköiden löytämiseen. (Lapinleimu ym. 1997, 304 - 308)

Valmistustekniikka

Seuraavaksi suunnittelu kohdistuu solujen sisäiseen tekniikkaan. Ennen suunnittelu- vaiheen aloitusta on hyvä sopia miehitys eli tulevat käyttäjät. Siinä tapauksessa he voivat osallistua tulevan työpaikkansa suunnittelemiseen ja toteuttamiseen.

Valmistustekninen suunnittelu kohdistetaan:

- *valmistusmenetelmiin*
- *solun konevalintoihin*
- *solun työvälineisiin*
- *asetusten eliminointiin*
- *solujen sisäiseen layoutiin*
- *solun nosto- ja siirtolaitteisiin*
- *soluissa (erityisesti kokoonpanosoluissa) mahdollisesti varastoitaviin c-materiaaleihin.*

(Lapinleimu ym. 1997, 308)

Valmistusteknisen suunnittelun osana on myös valmistusaikojen laskeminen. Aikoja käytetään tehtaan tehon seurannassa, tehtaan kapasiteetin laskennassa, kuormituksessa ja palkkiopalkkauksen perusteena. Kokonaissysteemiä suunniteltaessa pohditaan ja asetetaan läpäisyaikatavoitteet. Solun tekniikan suunnittelu perustuu tähän tavoitteeseen. (Lapinleimu ym. 1997, 308)

Layout-suunnittelu

Tehtaan layout-suunnittelulla tarkoitetaan solujen ja muiden valmistusyksiköiden sekä kuljetusväylien ja varastojen sijoittelua käytettävissä oleviin tai laajennettaviin tiloihin. Tekniikka määrää yleensä suuren osan solujen sisäisestä layoutista. (Lapinleimu ym. 1997, 309)

Työnkulun ja tuotantolaitteiden sijoittelun perusteella layout jaetaan kolmeen päätyyppiin: tuotantolinjalayoutiin, funktionaaliseen layoutiin ja solulayoutiin. Myös paikallista järjestelmää sekä tuotetehtaita ja verstaita käytetään yleisesti. (Haverila ym. 2009, 475 - 479; Tuotantotalous)

Tuotantolinjassa koneet ja laitteet on sijoitettu valmistettavan tuotteen mukaiseen järjestykseen. Tuotantolinja on erikoistunut tietyn tuotteen valmistukseen.

Funktionaalisisessa layoutissa koneet ja työpaikat on ryhmitelty työtehtävän samankaltaisuuden perusteella. Esimerkiksi kaikki sorvit ovat sorvaamossa, porat poraamossa ja hitsauspaikat hitsaamossa.

Solulayout muodostaa itsenäisen, eri koneista ja työpaikoista kootun ryhmän, jossa valmistetaan tiettyjä osia tai suoritetaan tiettyjä työvaiheita. Solulayoutia voidaan pitää eräänlaisena välimuotona funktionaalisisesta layoutista ja tuotantolinjasta.

Paikallisessa järjestelmässä tuote tehdään samassa paikassa ja työkalut ja työntekijät tulevat tuotteen luokse. Paikallisessa järjestelmässä tehdään yleensä raskaita, yksittäistuotanto kappaleita. (Haverila ym. 2009, 475 - 479; Tuotantotalous)

Suuren tuotantolaitoksen toiminta voidaan jakaa tarvittaessa pienempiin erikoistuneisiin yksiköihin, joista käytetään nimitystä **tuotetehtas** tai **-verstas**. Tuotetehtas on itsenäinen organisaatioyksikkö, joka vastaa oman tuotteen tai osan valmistamisesta. Tuotannon ja tuotetehtaisiin jako tehdään tuotteen tai valmistusteknologian mukaan. (Haverila ym. 2009, 475 - 479; Tuotantotalous)

Järjestelmän suunnitteluperiaatteita

Jatkuva virtaus

Kaikkien valmistusjärjestelmien suunnitteluun pätee sama sääntö: *mitä vähemmän on rajapintoja ja liittymiä, sen paremmat ovat sekä tuottavuus että ohjattavuus*. Tämä lause on voimassa sillä edellytyksellä, ettei rajapintoja vähennetä menetelmien kustannuksella. Rajapinnat muodostuvat pääasiassa työn keskeytyksistä. Jos on mahdollista soveltaa linjoja, silloin on edullisinta, että kappaleet etenevät yhtäjaksoisesti valmiiksi asti. Silti voidaan pitää pieniä puskurivarastoja.

Ne ovat kiinteä osa linjan työnkulkua. Sen sijaan tuotteiden odottaminen erikseen aloitettavaan jatkokäsittelyyn merkitsee katkosta työnkulussa. *Kerralla valmiiksi* -periaate vähentää rajapintoja ja nopeuttaa tuotantoa. (Lapinleimu ym. 1997, 311)

Muunneltavuus

Tulevaisuudessa tuotteiden elinkaaret lyhenevät ja teknologiat kehittyvät sekä tuotteissa että tuotannossa. Tämä on lisännyt valmistusjärjestelmän muunneltavuuden merkitystä ja tarvetta. Muunneltavuus näkyy sekä solujen sisäisen layoutin joustavuutena että tekniikassa. Tästä syystä esimerkiksi automaatiosovelluksissa joustavat ratkaisut menevät usein jäykkien mekaanisten edelle vaikka jäykkä ratkaisu olisi selkeästi tehokkaampi. (Lapinleimu ym. 1997, 311)

Suora tiedonsiirto

Suorat ja vähärajapintaiset tiedonsiirtokanavat ovat yhtä tärkeitä kuin yhtäjaksoiset materiaalivirrat. (Lapinleimu ym. 1997, 311)

5 KAPASITEETTI JA LÄPÄISYAIKA

Kapasiteetti kuvaa tuotantoyksikön tehokkuutta aikayksikössä. Läpäisy aika kertoo, missä ajassa tuote valmistuu ja se voidaan määrittää kokoonpanolle tai yksittäiselle osalle.

5.1 Kapasiteetti

Kapasiteetti kuvaa tuotantokykyä. Se kertoo tuotantoyksikön enimmäissuorituskyvyn aikayksikössä. Kapasiteettia hallitaan työpisteen kapasiteetilla ja suunniteltujen töiden kuormituksella. Kuormitussuhteen avulla voidaan laskea tietyn ajanjakson kuormituksen suhde maksimikapasiteettiin. (Haverila, Uusi-Rauva, Kouri, Miettinen 2005, 399)

$$\text{KUORMITUSSUHDE} = \frac{\text{KUORMITUS} \cdot 100 \%}{\text{KAPASITEETTI}} \quad (2)$$

(Haverila ym. 2005, 399)

5.2 Läpäisy aika

Läpäisy aika kertoo, kuinka kauan tuotteen valmistuksesta kuluu aikaa sen valmistamiseen. Sitä voidaankin pitää tuotantojärjestelmän tärkeimpänä mittarina. Läpäisy aika ei ole tuottavuuden tai valmistusajan mittari. Läpäisy aika on mahdollista määrittää koko tilaukselle, valmistukselle, osavalmistukselle ja kokoonpanolle. Tuottava työvaihe on usein pieni osa läpäisy aikkaa. Läpäisy aika muodostuu suurimmaksi osaksi odottamisesta, kuljetuksista ja tarkastuksista. (Lapinleimu ym. 1997, 53 - 54)

Lyhyt läpäisy aika on merkki yrityksen hyvin toimivasta, joustavasta ja tehokkaasta tuotantojärjestelmästä. Lyhyt läpäisy aika mahdollistaa lyhyet toimitusajat. Lyhyen läpäisyajan tuotannossa tuotteet tehdään peräkkäin ja rinnakkaisia työvaiheita on vähemmän. (Lapinleimu ym. 1997, 55)

Läpäisyajan lyhentämiskeinoina käytetään valmistuserien koon pienentämistä ja väli-varastojen poistamista. Valmistuserän koolla on suuri vaikutus läpäisy aikaan. Suurissa erissä läpäisyajat kasvavat eri vaiheiden välisten aikojen kasvaessa eräkoon suhteessa. Läpäisy aikkaa lyhennetään selkiyttämällä materiaalivirtoja, jolloin kuljetukset ja siirrot saadaan minimiin. Pienet eräkoot eivät ole taloudellisesti kannattavia. (Haverila ym. 2005, 491 - 492)

Asetusaikoja voidaan pienentää teknisillä ratkaisulla ja oikealla organisoinnilla. Seuraavat asetukset voidaan tehdä edellisen työvaiheen aikana. Tuotteiden ja toiminnan laatuun läpäisy aikojen lyhentyminen vaikuttaa suuresti. Virheet ja häiriöt tulevat nopeasti esille, mutta haittapuolena siinä on tuotannon nopea pysähtyminen. Läpäisy ajan lyhentyminen kasvattaa tuotantoprosessin tuottavuutta, koska laatu paranee. Selkeä materiaalivirta yhdistettynä toimivaan layoutiin vähentää ohjauksen tarvetta. (Haverila ym. 2005, 491 - 492)

6 INVESTOINTILASKELMAT

6.1 Yleistä investoinneista

Yritys maksaa menoja saadakseen tuloja, joten tästä syystä kaikkia menoja voidaan pitää investointeina tulon saavuttamiseksi. Yleisimmin investointeina pidetään rahamäärältään suuria menoja, joiden tulon odotusaika on pitkä. Investointi voi olla joko rahoitus- tai reaali-investointi. Rahoitusinvestoinnissa sijoitetaan rahaa obligaatioihin tai debenttureihin. Reaali-investoinnissa hankitaan toimitiloja, koneita ja laitteita sekä toteutetaan kampanjoita, panostetaan tuotekehitykseen ja luodaan markkinointikanavia. Eräänlaisena investointina voidaan pitää myös henkilöstön koulutusta.

Jokaisen investoinnin on oltava kannattavaa investoinnin luonteesta riippumatta. Investoinnit ovat merkittävä tekijä yrityksen tulevaisuuden kannalta. Sijoittamalla omaa ja vierasta pääomaa sidotaan yrityksen toimintamuodot pitkäksi aikaa.

Koko kansantalouden kannalta investoinneilla on valtava merkitys. Niiden avulla luodaan uusia työpaikkoja, rationalisoidaan toimintaa, parannetaan tuottavuutta, parannetaan työturvallisuutta teettämällä vaaralliset työvaiheet koneilla, mahdollistetaan kasvu ja edistetään muiltakin osin yhteiskunnan kehitystä.

Investointien huolellinen suunnittelu ja niihin liittyvän rahoituksen sekä kannattavuuden laskeminen on tärkeää. Yrityksen kokoon suhteutettuna liian suuri investointi voi vaarantaa koko yrityksen tulevaisuuden. Investointipäätöksen valmistelu onkin tärkeässä roolissa yrityksen toiminnan suunnittelussa.

Investointien suunnittelun vaiheet ovat yleensä:

1. *Investointitarpeen toteaminen*
2. *Tavoitteiden täsmentäminen asiassa*
3. *Investointivaihtoehtojen etsiminen ja kehittäminen*
4. *Investointivaihtoehtojen edullisuustekijöiden ja riskien kartoittaminen*
5. *Vaihtoehtolaskelmien laatiminen ja vaihtoehtojen vertaaminen*
6. *Investoinnin pääomatarpeen ja rahoituksen suunnittelu*
7. *Päätöksenteko asiassa*
8. *Investoinnin toimeenpano ja sen valvonta*

Investointitarpeen voi aiheuttaa koneiden vanheneminen, toimitilojen ahtaus, yrityksen aktiivinen kasvu, yrityksen hyvä tulos tai markkinatilanne. (Haverila ym. 2009, 195 - 196)

6.2 Perinteiset investointilaskelmat

Laskelmien tarkoituksena on tehdä vertailu eri investointivaihtoehtojen välillä. Laskelmat perustuvat pääosin markkinoista, investoinnin aiheuttamista kustannuksista ja tuotoista sekä pääomatarpeista hankittuihin tietoihin tai arvioihin. Mitä merkittävämstä hankkeesta on kyse, sitä enemmän tiedonkeruuseen on panostettava.

Investointilaskelmien tekoon liittyviä tyypillisiä ongelmia ovat:

- Investointien kertaluonteisuus
- Nopeasti tapahtuvat ympäristömuutokset
- Varauksellinen suhtautuminen trendeihin
- Suunnittelutilanteen monimutkaisuus ja tiedon väärä tulkinta
- Laskettavien ja ennustettavien tekijöiden mittaamisongelmat
- Liikkeenjohdon kyvykkyyden heijastuminen projektin maksuvirroissa
- Eri ajanjaksojen tuottojen ja kustannusten vertailukelpoisuuden toteuttaminen

Yleisesti tunnettuja laskentamenetelmiä ovat:

- Nykyarvomenetelmä
- Annuiteettimenetelmä
- Sisäisen korkokannan menetelmä
- Korollinen takaisinmaksuajan menetelmä
- Koroton takaisinmaksuajan menetelmä

Neljä ensimmäistä ovat peruslaskentamenetelmiä ja viimeinen yksinkertaistettu menetelmä. (Haverila ym. 2009, 199)

Laskelmissa tarvittavia lähtötietoja ovat:

- Perusinvestointi- eli perushankintakustannus
- Laskentakorkokanta
- Juoksevasti syntyvät tuotot
- Juoksevasti syntyvät kustannukset
- Investointiajanjakso tai pitoaika
- Investointikohteen jäännösarvo

Perushankintakustannus (H) on investoinnin kustannus ja se sijoittuu lähimmäksi päätöksentekohetkeä, jolloin sen määrittämiseen liittyy eniten epävarmuutta.

Laskentakorkokantaa (i) voidaan pitää tuottovaatimuksena, joka suunnitellun investoinnin tulee toteuttaa. Laskentakoron avulla tehdään vertailukelpoisiksi eri ajankohti- en suoritukset. Vertailu tehdään diskonttaamalla arvioitu tulevaisuudessa toteutuva rahavirta sovittua laskentakorkokantaa käyttäen nykypäivään. Diskonttaustekijän v_n kaavan yleinen muoto on:

$$v_n = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (3)$$

Diskonttauksessa käytetään yleensä apuna diskonttaustaulukkoa.

Juoksevasti syntyvät tuotot ja kustannukset ovat investoinnista seuraavia vuotuisia tuottoja ja kustannuksia. Niiden erotusta kutsutaan **nettotuotoksi (S)**. Nettotuoton asemasta voi tulla myös kustannussäästöjä. Kustannusten arvioinnissa lähdetään liikkeelle ensin tuottojen ennusteesta ja siitä johdetaan kustannukset.

Investointiajanjaksoksi (n) kutsutaan investointikohteen arvioitua pitoaikaa. Ajanjaksolla tarkoitetaan esimerkiksi koneen tai laitteen käyttöikä.

Jäännösarvolla (JA) tarkoitetaan myyntituloa, joka arvioidaan saatavaksi investointikohteen myynnistä käyttöajan jälkeen.

(Haverila ym. 2009, 199 - 202)

6.3 Laskentamenetelmät

6.3.1 Nykyarvomenetelmä (NA)

Nykyarvomenetelmässä kaikki tuotot ja kustannukset diskontataan nykyhetkeen valitulla laskentakorkokannalla. Laskentakorkokannaksi valitaan yleensä oman pääoman tuottovaatimus. Menetelmän mukaisesti investointi on kannattava, kun nykyarvo on positiivinen. Jaksollisten maksujen nykyarvotekijän $a_{n/i}$ laskentakaava on seuraava:

$$a_{n/i} = \frac{(1+i)^n - 1}{1 \cdot (1+i)^n} \quad (4)$$

(Haverila ym. 2009, 202 - 203)

Nykyarvomenetelmän laskukaava on seuraava:

$$NA = a_{n/i} \cdot S + \frac{JA}{(1+i)^n} - H \quad (5)$$

jonka termit $a_{n/i}$ eli jaksollisen suorituksen diskonttauskerroin ja $(1+i)^{-n}$ eli yksittäisen suorituksen diskonttauskerroin voidaan katsoa myös diskonttaustaulukosta (liite 1). $v_n=(1+i)^{-n}$ termi on esitetty diskonttaustaulukossa kaavan 3 muodossa. Tällöin kaava 5 saa muodon:

$$NA = a_{n/i} \cdot S + v_n \cdot JA - H \quad (6)$$

(Tuovinen, J. 2005 s. 13)

6.3.2 Annuiteettimenetelmä

Annuiteettimenetelmä on tavallaan käänteinen tapaus verrattuna nykyarvomenetelmään. Investoinnin hankintameno jaetaan pitovuosille yhtä suuriksi pääomakustannuksiksi. Ne muodostuvat poistoista ja käytettävän laskentakorkokannan mukaisista korkokustannuksista. Investointia pidetään kannattava, jos vuotuiset nettotulot ovat vähintään yhtä suuret tai suuremmat kuin pääomakustannukset. Jaksollisten maksujen nykyarvon kaavalle käänteinen annuiteetikertoimen kaava on:

$$\frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (7)$$

Kerrointa käytettäessä annuiteetiksi saadaan: Annuiteetti = pääomakustannuskerroin x hankintakustannus. (Haverila ym. 2009, 203 - 204)

Oletetaan nykyarvo nolaksi ja johdetaan nykyarvon kaavasta 5 tarvittava nettotulo S:

$$a_{n/i} \cdot S + \frac{JA}{(1+i)^n} - H = 0 \quad (8)$$

$$S = \frac{H - \frac{JA}{(1+i)^n}}{a_{n/i}} \quad (9)$$

joka saa seuraavan muodon annuiteettikertoimet avaamalla:

$$S = \frac{H - \frac{JA}{(1+i)^n}}{\frac{1 - (1+i)^n}{i}} \quad (10)$$

(Tuovinen, J. 2005 s. 19)

6.3.3 Sisäisen korkokannan menetelmä

Sisäinen korkokanta osoittaa korkokannan, jolla nykyarvoksi saadaan nolla. Netto-
tuottojen nykyarvo tulee siis yhtä suureksi kuin peruskustannukset. Jos sisäinen kor-
kokanta on vähintään tavoitteeksi asetetun pääoman tuotto-%:n suuruinen, voi-
daan investointia pitää edullisena. (Haverila ym. 2009, 204)

Sisäinen korkokannan laskukaava on seuraava:

$$a_{n/i} = \frac{H - \frac{JA}{(1+i)^n}}{S} \quad (11)$$

(Tuovinen, J. 2005 s. 16)

6.3.4 Korottoman takaisinmaksuajan menetelmä

Korottoman takaisinmaksuajan menetelmässä selvitetään milloin investoinnin netto-tuotot ylittävät perushankintakustannukset. Menetelmällä selvitetään koroton takaisinmaksuaika. Menetelmä on yksinkertainen ja tästä syystä yleisesti käytetty. Menetelmä soveltuu parhaiten käytettäväksi kun tuottojen kertymistä on hankala arvioida pitkällä tähtäimellä. Menetelmän mukaan investoinnit kannattaa suorittaa silloin kun takaisinmaksuaika tulee lyhyeksi. Menetelmällä ei saada selville investoinnin kannattavuutta vaan enemmänkin rahoitusvaikutuksia.

Laskenta tapahtuu kaavalla:

$$n = \frac{H}{S} \quad (12)$$

(Haverila ym. 2009, 205 - 206)

6.3.5 Korollisen takaisinmaksuajan menetelmä

Takaisinmaksuaika ilmoittaa ajan, jona investointi maksaa itsensä takaisin. Takaisinmaksuajalla ei mitata investoinnin kannattavuutta vaan ennemmin likviditeetti- tai rahoitusvaikutusta. Kun laskelmissa otetaan huomioon rahan aika-arvo ja käytetään laskentakorkoa, saadaan takaisinmaksuajan kaavaksi:

$$\sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+i)^t} - H = 0 \quad (13)$$

Jos vuotuiset nettotulot säilyvät vakiona, yhtälö supistuu muotoon:

$$a_{n/i} \cdot S - H = 0 \quad (14)$$

$$a_{n/i} = \frac{H}{S} \quad (15)$$

Eli haetaan jälkeempään suoritettujen jaksollisten maksujen diskonttaustekijä, jonka suuruus on hankintahinnan ja maksun osamäärä. Tästä selvitetään n , kun tiedetään laskentakorkokanta i . (Tuovinen, J. 2005 s. 18)

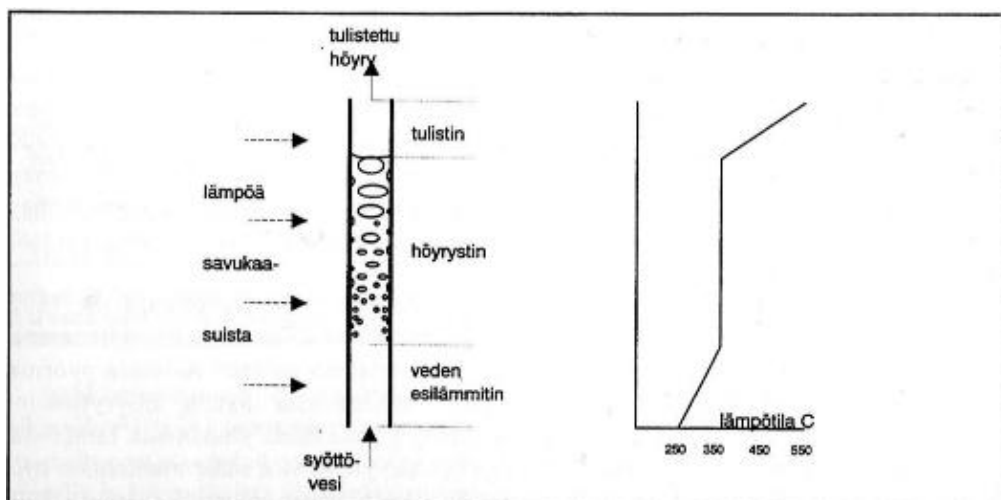
7 HÖYRYKATTILA JA TULISTIN

Voimalaitoskattilat ovat höyrykattiloita, joilla tuotetaan lämpö- ja sähköenergiaa. Tulistimet ovat tärkeässä roolissa, jotta saadaan mahdollisimman kuumaa höyryä. Tulistetusta höyrystä saadaan tuotettua sähköenergiaa enemmän kuin tulistamattomasta.

7.1 Höyrykattila

Höyrykattilassa tuotetaan syötetystä vedestä höyryä. Nykyaikainen kattila voidaan ajatella pitkäksi putkeksi, jossa toisesta päästä vesi syötetään nestemäisenä ja toisesta päästä vesi tulee ulos tulistuneena höyrinä. Höyrykattilan toimintaperiaate selviää kuvasta 4. Vesi lämmitetään höyrystymislämpötilaan, vesi höyrystyy painetta vastaavassa höyrystymislämpötilassa ja lopuksi muodostunut vesihöyry tulistetaan eli lämmitetään höyrystymislämpötilaa korkeampaan lämpötilaan. Voimalaitosten höyrykattiloissa käytetyt paineet ovat tyypillisesti 150 - 220 bar ja lämpötilat 450 - 550 °C.

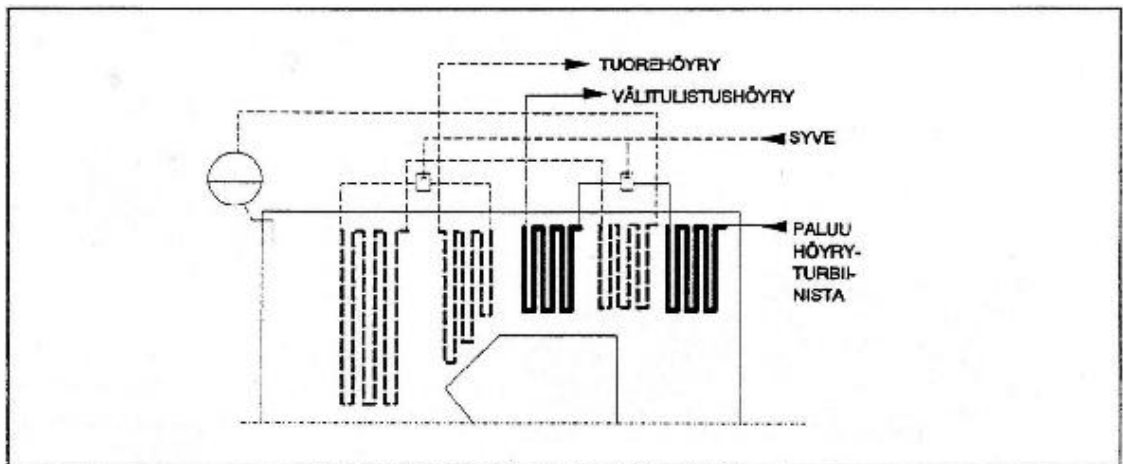
Veden lämmittäminen höyryksi ja tulistetuksi höyryksi vaatii energiaa. Tarvittava energia saadaan polttamalla fossiilisia polttoaineita kuten hiiltä, turvetta tai maakaasua. Kattilaan syötetään polttoaine ja palamisilma, jotka reagoiessaan tuottavat polttoaineeseen sitoutuneesta kemiallisesta energiasta lämpöenergiaa. Lämpöenergia on sitoutunut savukaasuihin ja se pyritään hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti jäädyttämällä savukaasuja erilaisilla lämmönsiirtimillä ennen kuin savukaasut johdetaan puhdistuksen kautta piippuun ja sieltä puhdistettuna ympäristöön. Erilaisia lämmönsiirtimiä ovat tulistin, höyrystin, vedenesilämmitin ja palamisilman esilämmitin. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 1999, 7)



KUVA 4. Höyrykattilan toimintaperiaate (Huhtinen ym. 1999, 7)

7.2 Tulistin

Liike-energiaa saadaan sitä enemmän, mitä kuumempaa höyry saadaan johdettua höyryturbiiniin. Materiaalitekniisten rajoitusten vuoksi tulistetun höyryn lämpötila on maksimissaan noin 550 °C eli höyry johdetaan turbiiniin noin 200 °C tulistuneena. Välitulistimella on mahdollista vielä tehostaa höyryturbiinin sähköntuottoa. Välitulistus tarkoittaa turbiinin läpi johdetun höyryn kierrättämistä takaisin kattilaan, jossa sitä tulistetaan uudelleen matalammassa paineessa. Loppulämpötilat ovat kuitenkin samaa tasoa kuin tulistimissa. Tulistimet sijoitetaan kuvan 5 mukaisesti tulipesän yläosaan. Tällä alueella savukaasut ovat vielä tarpeeksi kuumia tulistukseen. Tässä sijainnissa myös säteilylämmönsiirto on pienempi kuin tulipesässä, joten tulistinputkien ylikuumenemisriski on pienempi. (Huhtinen ym. 1999, 174)



KUVA 5. Tulistimien ja välitulistimien sijoitus kattilan tulipesän yläosaan (Huhtinen ym. 1999, 174)

7.2.1 Tulistintyypit

Tulistimet jaetaan sijoitustapansa mukaan neljään ryhmään (kuva 6):

- Säteilytulistin
- Verhotulistin
- Konvektiotulistin
- Yhdistelmätulistin

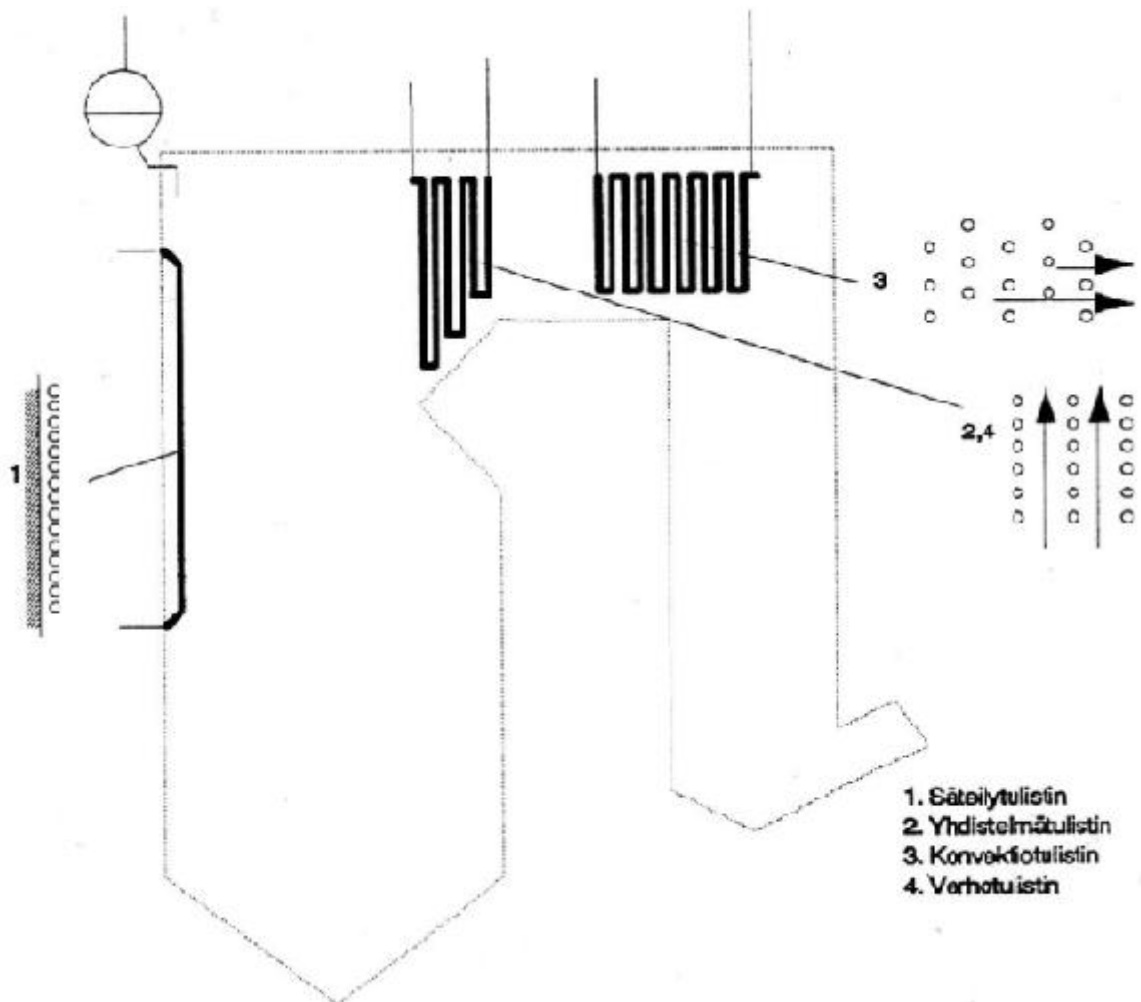
Säteilytulistin sijaitsee tulipesän yläosassa ja lämpö siirtyy pääosin liekeistä säteilemällä. Se on hyvin usein seinätulistin.

Verhotulistin toimii säteilytulistimen periaatteella, mutta sillä on myös toinen tehtävä. Se suojaa jäljempänä olevia tulistimia savukaasujen epäpuhtauksilta. Verhotulistimet muodostuvat useasta levymäisestä putkiryhmästä, jotka jakavat savusolan osiin. Verhotulistimia käytetään yleensä erityisen liikaavia polttoaineita käytettäessä.

Konvektiotulistin on yleisin tulistintyyppi. Se sijoitetaan tulipesän jälkeen liekeiltä suojaan. Lämpö siirtyy vain konvektion eli kosketuksen kautta. Konvektiotulistimia on kahta eri tyyppiä, vaaka- ja pystyputkitulistimia.

Yhdistelmätulistimissa osa toimii säteilytulistimena ja osa konvektiotulistimena.

(Huhtinen ym. 1999, 175 - 176)



KUVA 6. Tulistintyyppien sijoittuminen kattilaan (Huhtinen ym. 1999, 175)

7.2.2 Tulistimien rakenne

Voimalaitoskattilan tulistin koostuu ryhmästä erilaisia tulistimia, jotka muodostuvat useista jakokammioista lähtevistä putkielementeistä. Tulistinyksikkö on periaatteessa nippu teräsputkia, jotka roikkuvat tulipesän katosta. (Huhtinen ym. 1999, 177)

7.2.3 Tulistinmateriaalit

Tulistimet ovat kattilan yläosassa korkeassa lämpötilassa, joten käytettäville metalleille asetetaan erityisiä vaatimuksia. Materiaalien on oltava kuimalujia eli niiden virumiskestävyys on hyvä ja materiaalien täytyy kestää tulta (ei saa esiintyä kuumakorroosiota eli hilseilyä).

Kuimalujat metallit on jaettu neljään ryhmään:

- seostamattomat teräkset
- niukkaseosteiset ferriittiteräkset
- runsasseosteiset martensiittiteräkset
- runsasseosteiset austeniittiteräkset.

(Huhtinen ym. 1999, 178)

8 NYKYINEN VALMISTUSJÄRJESTELMÄ

8.1 Tiedonkeruututkimus

Työn alussa perehdyttiin konepajan tuotantoprosessiin ja valmistettaviin tuotteisiin. Prosessia seurattiin alusta loppuun ja havainnoitiin, miten työn sujuvuutta ja nopeutta voitaisiin parantaa. Tietoja kerättiin vanhoista valmistusdokumenteista, joista selvitettiin vuosittaiset taivutus- ja hitsausmäärät. Taivutuspyötkirjoista selvitettiin taivutus-tietoja, kuten tiedot tarkastuksista, seinämien ohenemisesta sekä taivutuskulmien säilymisestä toleranssien sisällä.

8.2 Työnmittaus

8.2.1 Suunnittelutuotteisto

Taivutuskoneella taivutettavat tulistinelementit voi jakaa ryhmiin ainoastaan elementin pituuden ja putken halkaisijan mukaan. Tuotantomäärien selvittäminen tulevaisuudessa on hyvin hankalaa, koska tulistimien valmistus on aina projektikohtaista ja niitä on projektista riippuen 30 - 100 elementtiä per tulistinpaketti. Paketteja voi olla useita esimerkiksi 1-, 2- ja 3-tulistin.

Suunnittelutuotteiston jaossa tärkeimpinä kriteereinä käytettiin putken halkaisijaa ja tulistimen pituutta. Historiatietojen pohjalta tulistimet jaettiin ryhmiin vuosivolyymin mukaisesti 18 kuukauden ajalta alkaen vuodesta 2009. Tulevaisuuden osalta voidaan arvioida elementtijaon pysyvän samankaltaisena putkien halkaisijaltaan ja pituudeltaan, koska kattiloissa käytetyt tulistimet ovat kooltaan melko samanlaisia. Pienimmät halkaisijat ovat 31,8 mm ja suurimmat 44,5 mm. Kyseisiä halkaisijoita ei ollut valmistuksessa tarkkailuaikavälillä.

Varkauden konepajalla valmistettavat tulistinelementit ovat yleensä joko verho- tai konvektiotulistimia. Ne voivat myös olla yhdistelmätulistimia.

8.2.2 Kelloaikatutkimus

Työssä ei tehty varsinaista kelloaikatutkimusta, koska sellainen oli tehty aikaisemmin ja sitä on käytetty jo vuosia projektien työn osuuden hinnoitteluperusteena ja osatekijänä työntekijöiden palkkauksessa. Laskelmissa tarvittavat aikatiedot saatiin tuotantopäällikkö Marko Mikkoselta ja niiden pohjalta tehtiin myöhemmin esille tulevat laskelmat (ks. kappale 14).

8.2.3 Haastattelututkimus

Työssä tehtiin haastattelututkimus ennalta tehdyn kysymyslomakkeen mukaisesti. Taivutuskoneenkäyttäjän kanssa pidettiin puhelinpalaveri, jossa selvitettiin laitteiston parannusehdotuksia ja nykyisen laitteiston ongelmakohtia. Koneenkäyttäjä sai myös kertoa omia mielipiteitään ja esittää laitteistojen mahdollisia sijoituspaikkoja layoutiin.

9 TUTKIMUKSEN TULOKSET

Tutkimuksesta saaduista tuloksista nähdään tuotantojärjestelmän tämänhetkinen tilanne ja järjestelmän parannuskohteita.

9.1 Valmistusmäärät

Historiatietoa putkitaivemääristä haettiin konepajan arkistosta projektikansioista. Kansioita oli joka vuodelle kymmeniä, joten työ vei paljon aikaa vaikka sainkin tehtävään hieman apua. Taivutusmääriin ei ole eritelty pelkästään tulistinelementtitaivutuksia vaan niihin on laskettu kaikki konepajalla taivutetut ja raportoidut taivutukset. Kaikista pienistä projekteista ei ole raportoituja taivutustietoja, joten taivutusmäärät ovat hieman todellista pienemmät. Raportoimattomat taivutukset ovat kuitenkin suuruusluokaltaan joitakin prosentteja kokonaismäärästä, joten se ei aiheuta suuria heittoa tuloksiin. Kansioissa oli suuremmista projekteista putkitaivepöytäkirjat, joissa oli koko sarjan taivemäärät ja niiden tarkastusprosentti.

Historiatiedot koottiin viiden vuoden ajalta aikavälillä 2005 - 2009 ja siitä saatiin kattava kuva, kuinka suurista taivutusmääristä on kyse vuositasolla.

Jatkohitsien korjausmäärien selvittäminen olisi vienyt tarpeettoman paljon aikaa eikä siitä olisi ollut niin paljon hyötyä työn suorittamiseen, joten päädyttiin siihen, että valitaan huonoimmin mennyt projekti viime vuosilta ja lasketaan sen korjausprosentti.

9.2 Taivutuskapasiteetin laskenta ja tahtiajan määrittäminen

Tulistinelementit valmistetaan tuotantosolussa. Solussa valmistetaan useista eri putken halkaisijoista projektikohtaisesti tilattuja tulistimia. Toimitusajat tilauksesta toimitukseen voivat olla jopa 12 kuukautta tilauksen suuruuden ja putkimateriaalin toimitusajan mukaan. Yleisimmin tuotanto on kertavalmistusta tai pienerätuotantoa. Sarjakoko vaihtelee projekteittain. Putken halkaisijat ovat 31,8 - 44,5 mm tulistinvalmistuksessa.

Kuormitussuhde lasketaan sivun 23 kaavan 2 avulla.

Taivutuksen tahtiaika laskettiin tarjouslaskennassa käytetyn taivutuskapasiteetin avulla sivun 18 kaavan 1 mukaan. Kapasiteetti pätee sarjavalmistuksessa. Tahtiaika on yhden taivutuksen aika.

Ohitusputkia taivutettaessa tahtiaika on pienempi, koska putki joudutaan katkaisemaan useammin. Suuremmilla halkaisijoilla ja paksummilla ainevahvuuksilla taivutusmäärä on luonnollisesti pienempi.

10 UUSI JÄRJESTELMÄ

10.1 Tuotantolinjan automatisointivaihtoehdot

10.1.1 Automaattiset viisteytyskoneet

Yritysvierailu

Automaattisen viisteytyskoneen toiminnasta saatiin tietoa vierailamalla koneita käytävässä yrityksessä. Viisteytyskone voidaan yhdistää raepuhalluslinjan molempiin päihin, jolloin putken ensimmäinen pää viistetään ennen raepuhallusta ja toinen pää raepuhalluksen jälkeen. Putki lähtee putkihylyltä raepuhallusradalle, jolloin se käy ensimmäisellä viisteytyskoneella. Putken ohitettua rajakytkimen, viisteytyskone saa signaalin kiinnittää putki ja viisteyttää putkenpää. Tästä putki siirtyy samaa rataa pitkin päinvastaiseen suuntaan ja kulkee suihkupuhdistusautomaatin läpi ja siitä edelleen toiselle viisteytyskoneelle, joka toimii samalla periaatteella kuin ensimmäinen. Tällaiset laitteet on mahdollista tehdä normaaleista paineilmaviisteytyskoneista liittämällä niihin erilliset ohjausyksiköt.

Viisteytysautomaatti

Pemamekin esikäsittely- ja hitsauslinjastossa putki kulkee omalla linjastollaan ja käy raepuhalluksen jälkeen pää kerrallaan viisteytyskoneilla, joita tarvitaan tässäkin linjastossa kaksi kappaletta. Toimintaperiaate on samanlainen kuin edellisessä laitteistossa. (Mika Nihti, Pemamek Oy)

10.1.2 Automaattinen putkenjatkohitsauslaite

Työ aloitettiin selvittämällä, että millaisia laitteistoja voidaan käyttää painelaiteputkisten jatkohitsaukseen. Koska painelaitehitsauksen laatuvaatimukset ovat erittäin tarkat, myös laitteistojen ominaisuudet on huomioitava normaalia tarkemmin. Painelaitehitsauksen putkenjatkohitsausmenetelmäksi soveltuu TIG-hitsaus.

Jatkohitsausasema

Jatkohitsausasemalla putken päät kiinnitetään vastakkain jättäen sopiva ilmarako. Hitsaustapahtuma ohjelmoidaan koneelle ja automaatti hitsaa hitsin valmiiksi. Jatko-hitsaus tapahtuu putkea pyörittämällä. Laitteisto on yleensä yhdistetty siirtopöytään, jolla putket kuljetetaan hitsauskohtaan. (Pemamek Oy ; Teknohaus Oy)

Jatkohitsausasema lisälaitteineen vaatii suuret tuotantotilat ja käytettävä tuotantojärjestelmä on yleensä tuotantolinjatyyppinen.

Jatkohitsausasemalla saavutettavat edut

Jatkohitsausasemalla valmistuu tasalaatuista hitsausjälkeä nopeasti. Hitsausvirheiden määrä vähenee ja työ on helposti toistettavissa. Putkia ei tarvitse silloitushitsata etukäteen, koska putket kiinnitetään pyörityspakkoihin kiinni. Hitsaajalla on parempi työergonomia. Hitsauksen lämmöntuonti on hallittua, joten perusmateriaalin lämpötilasta johtuvat muutokset vähenevät.

Jatkohitsausaseman huonot puolet

Huonona puolena on aseman korkea hinta ja suuri tilantarve. Hitsausviisteen valmistuksen on oltava tarkka ja aseman yhteyteen onkin yleensä liitetty viisteytyskone. Jatkettu putki on työnnettävä koko hitsausaseman läpi, jolloin linjaston on oltava todella pitkä.

TIG-orbitaalihitsauslaitteisto

TIG-orbitaalihitsauslaitteistoja on kahta eri lajia. Toisessa putki pyörii ja hitsauslaitteisto pysyy paikallaan ja toisessa hitsauslaitteisto kiinnitetään paikallaan olevaan putkeen ja hitsauspää kiertää putken ympäri hitsaten hitsin kerralla valmiiksi. Hitsauspihtejä on olemassa kahta eri mallia, avo- ja umpipihti. Avopihti soveltuu paremmin paksuille ainevahvuuksille kun taas umpipihti ohuille, yhdellä palkokerroksella hitsattaville ainevahvuuksille. Avopihtiä käytetään yksi- tai monipalkohitsauksessa ja sitä voidaan käyttää joko lisääineettomaan tai lisääineelliseen hitsaukseen. Umpipihtiä käytetään yleisesti suuret puhtausvaatimukset omaavissa hitsauksissa, esimerkiksi lääke- ja elintarviketeollisuuden putkistoissa. (Karppinen 2008, 46 - 48)

TIG-orbitaalin hitsaustyökalu on kevyt ja sitä on helppo liikuttaa ja asettaa hitsauskohtaan. Muu laitteisto ei ole normaalia TIG-hitsauslaitteistoa suurempi, joten se ei vie lattiapinta-alaa kovin paljon. Etua on myös siitä, että putkea ei tarvitse jatkettuna työntää koko laitteiston läpi vaan hitsaustyökalu toimii kuin pihdit, joten ne saa avattua ja otettua pois putken päältä. Orbitaalilaitteiston hankintaa tukee myös se, että laitteistoa voi käyttää asennuskohteissa silloin kun konepajalla ei ole tulistinelementin jatkohitsausta. Tässä tapauksessa kun kyseessä on pieni halkaisija ja melko ohut seinämänvahvuus voidaan olettaa, että mekanisoitu orbitaalihitsaus ei ole niin merkittävästi nopeampi kuin putken hitsaaminen käsin, varsinkin kun silloitushitsaus on joka tapauksessa suoritettava käsin etukäteen.

TIG-hitsausorbitaalilla saavutettavat edut

Tutkimuksen (Karppinen 2008, 102) mukaan Ø 48,3 x 4,5 mm seostamattoman ja saumattoman S355J2H-teräsputken TIG-orbitaalihitsaus vei aikaa asetuksineen noin 11 minuuttia kun vastaava aika käsin hitsatulla jatkohitsillä oli noin 40 minuuttia. Aikaa orbitaalihitsauksessa kuluu huomattavasti enemmän ensimmäisillä koehitsauksilla, joissa määritetään parametrit. Määrityksiä tallentamisen jälkeen laitteista saadaan täysi hyöty irti.

Muita etuja ovat muun muassa:

- Tasalaatuinen hitsausjälki, kun asetukset on saatu kohdalleen
- Hitsaajan parempi työergonomia
- 25-50 % tehokkaampi tuottavuus käsin hitsaukseen verrattuna
- Hitsausaika lyhenee 50-70 %
- Laatu: korjauksia ja virheitä vähemmän
- Lämmöntuonti on hallittua
- Työn toistettavuus

(Promaint 3/2010 s.50; Karppinen 2008, s.30 - 32)

TIG-hitsausorbitaalien huonot puolet

Silloitushitsauksen on oltava tarkka ja tasalaatuinen. Viiste on oltava huomattavasti tarkemmin valmistettu kuin käsin hitsaukseen vaaditaan. Hitsausparametrien asettaminen ja säätäminen vie aikaa, jotta asentohitsauksessa saadaan tasalaatuinen hitsi joka puolelle. (Promaint 3/2010 s.50)

10.1.3 Automaattinen putkentaivutuskone

Esiselvitys

Selvitystyö aloitettiin tutustumalla eri putkentaivutuskonevalmistajien internet-sivuihin, joilta etsittiin YIT:n käyttöön soveltuvaa CNC-putkentaivutuskonetta. Koneista valikoitui heti alussa suurin osa pois, koska ne olivat tarkoitettu ainoastaan ainevahvuudeltaan liian ohuille putkimateriaaleille konepajan käyttöön. Taivutuskoneita on saatavilla kahta eri tyyppiä, ensimmäisessä putken sisään laitetaan tuurna, joka estää putken painumisen ruttuun taivutettaessa ja toinen on ilman tuurnaa. Tuurnallisia taivutuskoneita käytetään pääasiassa ohuemmillä ainevahvuuksilla, joten valitaan tuurnaton malli.

Sopivien ehdokkaiden löydyttyä alettiin selvittää koneiden tarkempia ominaisuuksia ja mittoja sekä hintatietoja valmistajilta ja toimittajilta. Tietoja koneista saatiin kahdesta eri yrityksestä, jotka antoivat hyvin yksityiskohtaisia tietoja laitteiden ominaisuuksista sekä niiden hankintakustannuksista. Yritykset kertoivat, että kyseisiä koneita on käytössä useilla eri YIT:n kanssa samalla alalla työskentelevillä yrityksillä, joten ne soveltuisivat varmasti konepajan toimintaan. Laitteistotoimittajat olivat Herber Ab Ruotsista ja Tesproma Suomesta, joka toimittaa Saksalaisen Schwarze-Robitec GmbH:n taivutuskoneita. Toisella YIT:n konepajalla Ylivieskassa on Schwarze-Robitec:n CNC-ohjattu putkentaivutuskone jo käytössä eli kokemusta vastaavasta laitteistosta on jo ennestään yrityksen sisällä. Myös tällä hetkellä käytössä oleva taivutuskone on saman valmistajan tekemä, joten se on merkittävästi tuttu ja luotettavaksi todettu. Laitteistoista lähetettiin tarjouspyynnöt edellä mainittuihin yrityksiin käyttökuntoon asennettuina ja tarvittavilla lisälaitteilla varustettuna.

Alustava laitevalinta

Taivutuskoneet on valittu hieman suuremmaksi kapasiteetiltaan kuin on tarpeen tulistintaivutuksessa. Valinnassa on otettu huomioon mahdollinen käyttö ohitusputkien taivutuksessa ja muissa suuremman putkikoon sovelluksissa. Hankintahinta ei ole niin paljon suurempi isommalla kapasiteetilla, että siitä syystä kannattaa hankkia pienempi kone. CNC-putkentaivutuskoneen hankinnassa kannattaa ottaa huomioon myös mahdollinen jatkokäyttö. Laitteiston käyttöikä on kuitenkin vähintään 20 vuotta, todennäköisesti jopa pitempi.

Automaattisella putkentaivutuskoneella saavutettavat edut

Tärkeimpinä etuina voidaan pitää laitteiston nopeutta sekä virheiden määrän vähentymistä. Yhdellä ohjelmoinnilla voidaan taivuttaa koko yksittäinen tulistinelementtikierro sekä kokonainen tulistinpaketti. Koneenkäyttäjä vapautuu ohjelmoinnin ja ohjelman käyntiin laitton jälkeen muihin töihin ja voi esimerkiksi esikäsitellä putkia suihkupuhdistusautomaatilla samaan aikaan. Se on nopeampi, koska koneenkäyttäjän ei tarvitse jokaiseen taivutukseen erikseen mitoittaa ja asettaa putkea tiettyyn kohtaan vaan kone hoitaa kaikki työvaiheet. Ohjelmoinnin onnistuttua kone tekee samanlaisia elementtejä niin monta kuin tarvitaan, ei siis ole inhimillisen erehdyksen vaaraa. CNC-ohjatun koneen hankinta mahdollistaa tuotantokapasiteetin huomattavan nostamisen. Koneenkäyttäjän työergonomia paranee, koska kone kuljettaa putken taivutuskohtaan ja suorittaa raskaat ja aikaa vievät työkaluvaihdot lisälaitteella automaattisesti.

CNC-ohjatun taivutuskoneen etuja verrattuna manuaaliohjaukseen ovat:

- Valmiit taivutusohjelmat, jotka löytyvät nopeasti koneen muistista
 - Ohjelmiin tallennetaan työkalutiedot, jolloin kone ottaa huomioon työkalukohtaiset mitat ja taivutuspainet
 - Ohjelmiin tallennetaan materiaalitiedot, jolloin kone ottaa huomioon materiaalin ominaisuudet taivutuksessa. Tämän avulla taivutuskorjaukset, taivutuspainet ja jousipalautumat on huomioitu ja taivutuskulmista tulee juuri halutut
 - Kaikki liikkeet ovat automaattisia ja ottavat huomioon yllämainitut asiat. Taivutustulos on tästä syystä aina haluttu ilman testitaivutuksia ja koneenkäyttäjän tekemiä säätöjä
 - Automaattinen putkensyöttö, putkivarasto ja taivutussuunnanvaihto tai kääntöpöytä
 - Työn lopputulos ei riipu koneenkäyttäjistä, konetta voi käyttää myös työntekijä joka ei tunne materiaaliominaisuuksia tai taivutusprosessia tarkemmin
 - Taivutus voidaan suorittaa myös miehittämättömänä
 - Taivutusohjelma voidaan simuloida ennen taivutusta
 - Taivutusohjelma voidaan ladata suoraan suunnittelusta
 - Asetustyön minimointiin voidaan käyttää työlistoja
 - Automaattinen 1D/3D työkaluvaihto
 - Laitteeseen on mahdollista liittää automaattinen saha ja katkaisu esimerkiksi ohitusputkien valmistukseen
 - On line- yhteys valmistajaan helpottaa vianmääritystä ja huoltoa
 - Automaattiset voitelujärjestelmät taivutustyökaluille ja koneen luisteille
 - Taivutusnopeutta voi säätää portaattomasti
- (Taneli Raivio, Tesproma Oy)

Suurin hyöty CNC-putkentaivutuskoneesta saadaan tulistinelementeissä, joissa on paljon taivutuksia ja valmistusmäärä on useita kymmeniä. Elementin pituudella ei ole juurikaan merkitystä tuotannon nopeuteen, koska putken kuljetusnopeus on suurin piirtein sama nykyisessä manuaalikoneessa kuin CNC-koneessa. Elementin suorien osien pituus siis vaikuttaa vain kuljetusnopeuteen ja tarvittavaan taivutustehoon.

CNC-putkentaivutuskoneella saavutetaan huomattava kilpailuetu saman alan yritysten välillä. Läpimenoaika ja projektien kokonaistuntimäärää pienenee. Tarjouksen hinta pienenee, koska elementtejä voidaan tuottaa nopeammin ja toimitusaikaa voidaan lyhentää.

Automaattisen putkentaivutuskoneen huonoja puolia ovat:

Laitteiston hankintahinta on kallis ja pelkkä taivutuskoneen hankinta ei riitä. Erikoisille putkille on hankittava tarvittavat lestit ja työkalut sekä kääntöpöytä ja muut lisälaitteet. Jos ohjelma ei tule suoraan suunnittelijalta, sarjan ensimmäinen kappale vaatii pitkän asetus- ja ohjelmointiajan. Koneen ohjelmoijat ja käyttäjät tarvitsevat koulutusta. Laitteiston huolto- ja korjauskustannukset ovat suuremmat, koska on enemmän huollettavia osia ja tekniikkaa. Yksittäiskappalevalmistuksessa CNC-ohjelmoitavaa konetta ei ole kannattavaa käyttää, koska asetus aika on pitkä.

11 LAITTEISTOJEN KUSTANNUSARVIOT

Tarjousten perusteella laskettiin laitteistovaihtoehtojen kokonaishinnat. Kustannusarviot tehtiin Tesproma Oy:n ja Pemamek Oy:n laitteistoista, koska kyseisistä yrityksistä saatiin tarkimmin eriteltyt tarjoukset. Taivutuskoneissa hintaa on vaikea arvioida täsmällisesti, koska työkalujen ja lestien määrä vaikuttaa huomattavasti hankintahintaan. Eri halkaisijoille ja taivutussäteille on oltava eri työkalut, joten niistä muodostuu hintaa nopeasti lisää. Tarvittavat kuljettimet ja putkihyllyt nostavat valmiin linjan kustannuksia muutamilla prosenteilla. Niitä ei tässä työssä ole käsitelty ollenkaan.

12 ESIMERKKIPROJEKTI NYKYLAITTEISTON JA UUSIEN LAITTEISTOJEN EROISTA LÄPIMENOAJAN JA KUSTANNUSTEN OSALTA

Ajansäästö- ja kustannuslaskelmat tehtiin tarjouslaskennassa käytettävien työvaiheiden aika- ja hinnoittelutietojen perusteella. Tarjouslaskennassa käytettävät tiedot saatiin tuotantopäällikkö Marko Mikkoselta.

Laskelmien teossa otettiin huomioon kaikki työvaiheet putken liikkeestä putkihyllystä valmiiksi tulistinelementiksi. Laskelma aloitettiin kokoamalla kaikki työvaiheet Excel-tiedostoon, jossa niitä on helppo muokata ennakkotietojen ja mittaustulosten mukaan. Laskennan putkimateriaaliksi valittiin 15Mo3 ja putkikooksi 33,7 x 4,0 mm, koska materiaali ja putkikoko vaikuttavat jokaisen työvaiheen kestoajaan. Isompi putkihalkaisija ja erikoisempi materiaali kasvattavat kestoajaa huomattavasti. Laskenta- ja mittausarvot syötettiin ohjelmaan ja laadittiin tarvittavat kaavat, joilla saadaan kerralla laskettua kaikkien työvaiheiden ajat yhteen. Näin toimien ei jokaisen muutoksen jälkeen tarvitse erikseen suorittaa laskuja.

CNC-putkentaivutuskoneen taivutusaika saatiin Tesproma Oy:n Taneli Raiviolta. Taivutusaika perustuu Schwarze Robitec:n tekemiin mittauksiin, joissa on verrattu uuden tulistinelementin taivutusta manuaalikoneella ja CNC-putkentaivutuskoneella.

Laskelmissa on käytetty tuotantotapana sarjavalmistusta ja laskelmista selviää yhden elementin valmistusaika. Sarjan ensimmäinen elementti vie huomattavasti enemmän aikaa, koska lestien ja taivutustyökalujen vaihto vie aikaa. Lisäksi manuaalikoneella on taivutettava koetaipeita. Lestin vaihdon osuus tulistinvalmistuksen kokonaisajasta on todella pieni, koska yleensä taivutustyökalut on vaihdettava koko projektin aikana kerran tai maksimissaan kaksi kertaa jos tehdään erilaisia elementtejä saman projektin sisällä erikokoisesta putkesta. Laskennassa ei ole otettu huomioon työntekijän vapautumista muihin tehtäviin CNC-putkentaivutuskoneen käynnistämisen jälkeen. Se on kuitenkin merkittävä osa säästöä, koska nykylaitteistolla tarvitaan koko ajan taivutuskoneen käyttäjää.

CNC-koneella ei tarvitse kuin ottaa ohjelma käyttöön tiedostoista ja käynnistää ohjelma, mistä syntyy huomattavat aika- ja kustannussäästöt.

13 LAYOUT-SUUNNITELMAT JA MAHDOLLINEN TUOTANTOTILOJEN LAAJENNUSOSA

Layout-suunnitelmat ja laajennusosat mallinnettiin AutoCAD LT 2010-ohjelmistolla, joka on yleisesti käytetty ohjelmisto Varkauden konepajalla.

13.1 Layout-suunnitelma

Esikäsittelytuotantotilojen layout on tällä hetkellä solutyypinen, mutta myös osittain paikallinen järjestelmä. Samassa tilassa on kaikki esikäsittelystä putkentaivutukseen, mutta hitsaus tapahtuu eri tuotantotilassa. Solulayout on tulevaisuudessakinärkevin valinta, koska tuotantomäärät eivät ole kovin suuria, mutta tuotteiden vaihtuvuus on suurta. Jopa yksittäisten projektien sisällä on useita erilaisia tulistimia. Jos tuotantomäärät kasvaisivat huomattavasti ja tuotteet olisivat samanlaisia, siinä tapauksessa olisiärkevää miettiä tuotantolinjalayoutia. Se myös edellyttäisi omaa tuotetta, jonka valmistus on jatkuvampaa. Projektiluontoisena työstä ei voi millään saada niin jatkuvaa, että tuotantolinja saataisiin kannattavaksi, koska tilauskanta vaihtelee jatkuvasti.

Layout-suunnittelu aloitettiin mallintamalla tämänhetkinen pohjapiirustus paperisen pohjapiirustuksen ja omien mittausten perusteella. Mittaukset suoritettiin mittanauhalla ja laseretäisyysmittarilla. Piirustukseen mallinnettiin kiinteät koneet ja laitteet nykyisille paikoilleen.

14 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheena oli selvittää mahdollisuudet tuotannon kehittämiseen ja kasvattamiseen lisäämällä automatisoituja laitteita tuotantoon. Laitteistoista oli useita eri vaihtoehtoja, joten parhaan mahdollisen kokonaisuuden etsiminen oli melko työlästä. Aihealue oli laaja ja työ oli mielenkiintoista ja haastavaa. Lisähaastetta toi taivutus-konevalmistajien sijainti ulkomailla, joten työssä joutui käyttämään myös englannin ja ruotsin kieltä. Työn alkuvaiheessa tein tarkan aikataulun ja työ valmistui aikataulun mukaisesti, vaikka teinkin työtä suurimmaksi osaksi kesällä työnjohtotehtävien ja syksyllä opiskelujen ohella.

Työssä selvitettiin automatisoidun laitteiston etuja ja haittoja, niiden soveltuvuutta tulistintuotantoon, pyydettiin tarjoukset laitteistovalmistajilta ja tehtiin kustannusarvio ja investointilaskelmat sekä erilaisia layout-vaihtoehtoja laitteistojen sijoituspaikoiksi.

Työn tuloksena yritys sai teoriatietoa työntutkimuksesta, tuotantojärjestelmän suunnittelusta sekä kapasiteetista ja läpäisyajasta. Laitteistoille on valmiit suunnitelmat sijoituspaikan osalta, joista voidaan ottaa käyttöön tilanteeseen sopivin vaihtoehto. Yritys sai laskelmat aika- ja kustannussäästöistä sekä investointilaskelmat. Tärkeitä tuloksia ovat myös kustannusarviot ja tarjoukset, jotka voidaan suoraan laittaa investointihakemuksen liitteeksi.

Työtä voi vielä jatkojalostaa tarkemmalla linjaston suunnittelulla, jossa suunnitellaan kaikki kuljettimet, rullaradat ja työtasot. Lisäksi työtä voidaan jatkaa toteuttamalla laitteistojen investoinnit.

LÄHTEET

Haverila Matti J, Uusi-Rauva Erkki, Kouri Ilkka, Miettinen Asko. *Teollisuustalous*. Infacs Oy, Tampere 2009. Kuudes painos.

Haverila Matti J, Uusi-Rauva Erkki, Kouri Ilkka, Miettinen Asko. *Teollisuustalous*. Tammer-paino, Tampere 2005. Viides painos.

Herber Engineering AB. [verkkodokumentti]. [viitattu 14.7.2010] Yrityksen kotisivut. Saatavissa: <http://www.herber.se/>

Huhtinen Markku, Kettunen Arto, Nurminen Pasi, Pakkanen Heikki. *Höyrykattilatekniikka*. Oy Edita Ab, Helsinki 1999. 2.-4. painos.

Karppinen Marko. *Pienihalkaisijaisten putkien orbitaali-TIG-hitsaus Aker Yardsilla*. Insinööriyö. Stadia Helsingin ammattikorkeakoulu 2008.

Lapinleimu Ilkka, Kauppinen Veijo, Torvinen Seppo. *Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät*. WSOY, Porvoo 1997. 1. painos.

Nihti Mika, Pemamek Oy. [sähköpostiviesti 22.10.2010]

Raivio Taneli, Tesproma Oy. [sähköpostiviesti 18.8.2010]

Rationalisointi Ry, *Tehtaan layout-suunnittelukurssi*

Schwarze-Robitec GmbH. [verkkodokumentti]. [viitattu 14.7.2010] Yrityksen kotisivut. Saatavissa: <http://www.sch-r.com/>

Teknohaus Oy. [verkkodokumentti]. [viitattu 20.10.2010] Yrityksen kotisivut. Saatavissa: <http://www.teknohaus.fi/>

Tesproma Oy. [verkkodokumentti]. [viitattu 14.7.2010] Yrityksen kotisivut. Saatavissa: <http://www.tesproma.fi/>

Tuovinen Jyri. *Laskentatoimi 1*. Luentomoniste. Savonia-ammattikorkeakoulu 2005.

YIT Oyj. [verkkodokumentti]. [viitattu 14.7.2010] Yrityksen kotisivut. Saatavissa: <http://www.yit.fi/>

TAULUKKO 1: Yksittäisen suorituksen diskonttauskerroin v_n

$$v_n = \frac{1}{(1+i)^n}$$

| n \ i | 5% | 6% | 7% | 8% | 9% | 10% | 11% | 12% | 13% | 14% | 15% | 16% | 17% | 18% | 19% | 20% | 21% | 22% | 23% | 24% |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 0,952 | 0,943 | 0,935 | 0,926 | 0,917 | 0,909 | 0,901 | 0,893 | 0,885 | 0,877 | 0,87 | 0,862 | 0,855 | 0,847 | 0,84 | 0,833 | 0,826 | 0,82 | 0,813 | 0,806 |
| 2 | 0,907 | 0,899 | 0,873 | 0,857 | 0,842 | 0,828 | 0,812 | 0,797 | 0,783 | 0,769 | 0,756 | 0,743 | 0,731 | 0,718 | 0,706 | 0,694 | 0,683 | 0,672 | 0,661 | 0,65 |
| 3 | 0,864 | 0,84 | 0,816 | 0,794 | 0,772 | 0,751 | 0,731 | 0,712 | 0,693 | 0,675 | 0,658 | 0,641 | 0,624 | 0,609 | 0,593 | 0,579 | 0,564 | 0,551 | 0,537 | 0,524 |
| 4 | 0,823 | 0,792 | 0,763 | 0,735 | 0,708 | 0,683 | 0,659 | 0,636 | 0,613 | 0,592 | 0,572 | 0,552 | 0,534 | 0,516 | 0,499 | 0,482 | 0,467 | 0,451 | 0,437 | 0,423 |
| 5 | 0,784 | 0,747 | 0,713 | 0,681 | 0,65 | 0,621 | 0,593 | 0,567 | 0,543 | 0,519 | 0,497 | 0,476 | 0,456 | 0,437 | 0,419 | 0,402 | 0,386 | 0,37 | 0,355 | 0,341 |
| 6 | 0,746 | 0,706 | 0,668 | 0,63 | 0,596 | 0,564 | 0,535 | 0,507 | 0,48 | 0,456 | 0,432 | 0,41 | 0,39 | 0,37 | 0,352 | 0,335 | 0,319 | 0,303 | 0,289 | 0,275 |
| 7 | 0,711 | 0,668 | 0,623 | 0,583 | 0,547 | 0,513 | 0,481 | 0,45 | 0,425 | 0,4 | 0,376 | 0,354 | 0,333 | 0,314 | 0,296 | 0,279 | 0,263 | 0,249 | 0,235 | 0,222 |
| 8 | 0,677 | 0,627 | 0,582 | 0,54 | 0,502 | 0,467 | 0,434 | 0,404 | 0,378 | 0,351 | 0,327 | 0,305 | 0,285 | 0,266 | 0,249 | 0,233 | 0,218 | 0,204 | 0,191 | 0,179 |
| 9 | 0,645 | 0,592 | 0,544 | 0,5 | 0,46 | 0,424 | 0,391 | 0,361 | 0,333 | 0,308 | 0,284 | 0,263 | 0,243 | 0,225 | 0,209 | 0,194 | 0,18 | 0,167 | 0,155 | 0,144 |
| 10 | 0,614 | 0,558 | 0,508 | 0,463 | 0,422 | 0,386 | 0,352 | 0,322 | 0,295 | 0,27 | 0,247 | 0,227 | 0,208 | 0,191 | 0,176 | 0,162 | 0,149 | 0,137 | 0,126 | 0,118 |
| 11 | 0,585 | 0,527 | 0,475 | 0,429 | 0,388 | 0,35 | 0,317 | 0,287 | 0,261 | 0,237 | 0,215 | 0,196 | 0,178 | 0,162 | 0,148 | 0,135 | 0,123 | 0,112 | 0,103 | 0,094 |
| 12 | 0,557 | 0,497 | 0,444 | 0,397 | 0,356 | 0,319 | 0,286 | 0,257 | 0,231 | 0,208 | 0,187 | 0,168 | 0,152 | 0,137 | 0,124 | 0,112 | 0,102 | 0,092 | 0,083 | 0,076 |
| 13 | 0,53 | 0,469 | 0,415 | 0,368 | 0,326 | 0,29 | 0,258 | 0,229 | 0,204 | 0,182 | 0,163 | 0,145 | 0,13 | 0,116 | 0,104 | 0,093 | 0,084 | 0,075 | 0,068 | 0,061 |
| 14 | 0,505 | 0,442 | 0,388 | 0,34 | 0,299 | 0,263 | 0,232 | 0,205 | 0,181 | 0,16 | 0,141 | 0,125 | 0,111 | 0,099 | 0,088 | 0,078 | 0,069 | 0,062 | 0,055 | 0,049 |
| 15 | 0,481 | 0,417 | 0,362 | 0,315 | 0,275 | 0,239 | 0,209 | 0,183 | 0,16 | 0,14 | 0,123 | 0,108 | 0,095 | 0,084 | 0,074 | 0,065 | 0,057 | 0,051 | 0,045 | 0,04 |
| 16 | 0,458 | 0,394 | 0,339 | 0,292 | 0,252 | 0,218 | 0,188 | 0,163 | 0,141 | 0,123 | 0,107 | 0,093 | 0,081 | 0,071 | 0,062 | 0,054 | 0,047 | 0,042 | 0,036 | 0,032 |
| 17 | 0,436 | 0,371 | 0,317 | 0,27 | 0,231 | 0,198 | 0,17 | 0,146 | 0,125 | 0,108 | 0,093 | 0,08 | 0,069 | 0,06 | 0,052 | 0,045 | 0,039 | 0,034 | 0,03 | 0,026 |
| 18 | 0,416 | 0,35 | 0,296 | 0,25 | 0,212 | 0,18 | 0,153 | 0,13 | 0,111 | 0,095 | 0,081 | 0,069 | 0,059 | 0,051 | 0,044 | 0,038 | 0,032 | 0,028 | 0,024 | 0,021 |
| 19 | 0,396 | 0,331 | 0,277 | 0,232 | 0,194 | 0,164 | 0,138 | 0,118 | 0,098 | 0,083 | 0,07 | 0,06 | 0,051 | 0,043 | 0,037 | 0,031 | 0,027 | 0,023 | 0,02 | 0,017 |
| 20 | 0,377 | 0,312 | 0,258 | 0,215 | 0,178 | 0,149 | 0,124 | 0,104 | 0,087 | 0,073 | 0,061 | 0,051 | 0,043 | 0,037 | 0,031 | 0,026 | 0,022 | 0,019 | 0,016 | 0,014 |
| 21 | 0,359 | 0,294 | 0,242 | 0,199 | 0,164 | 0,135 | 0,112 | 0,093 | 0,077 | 0,064 | 0,053 | 0,044 | 0,037 | 0,031 | 0,026 | 0,022 | 0,018 | 0,015 | 0,013 | 0,011 |
| 22 | 0,342 | 0,278 | 0,226 | 0,184 | 0,15 | 0,123 | 0,101 | 0,083 | 0,068 | 0,056 | 0,046 | 0,038 | 0,032 | 0,026 | 0,022 | 0,018 | 0,015 | 0,012 | 0,01 | 0,009 |
| 23 | 0,326 | 0,262 | 0,211 | 0,17 | 0,138 | 0,112 | 0,091 | 0,074 | 0,06 | 0,049 | 0,04 | 0,033 | 0,027 | 0,022 | 0,018 | 0,015 | 0,012 | 0,01 | 0,009 | 0,007 |
| 24 | 0,31 | 0,247 | 0,197 | 0,158 | 0,126 | 0,102 | 0,082 | 0,066 | 0,053 | 0,043 | 0,035 | 0,028 | 0,023 | 0,019 | 0,015 | 0,013 | 0,011 | 0,01 | 0,008 | 0,007 |
| 25 | 0,295 | 0,233 | 0,184 | 0,146 | 0,116 | 0,092 | 0,074 | 0,059 | 0,047 | 0,038 | 0,03 | 0,024 | 0,02 | 0,016 | 0,013 | 0,011 | 0,009 | 0,007 | 0,006 | 0,005 |

TAULUKKO 2: Jaksollisen suorituksen diskonttauskerroin $a_{n,i}$

$$a_{n,i} = \frac{1 - (1+i)^{-n}}{i}$$

| n \ i | 5% | 6% | 7% | 8% | 9% | 10% | 11% | 12% | 13% | 14% | 15% | 16% | 17% | 18% | 19% | 20% | 21% | 22% | 23% | 24% |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 0,952 | 0,943 | 0,935 | 0,926 | 0,917 | 0,909 | 0,901 | 0,893 | 0,885 | 0,877 | 0,87 | 0,862 | 0,855 | 0,847 | 0,84 | 0,833 | 0,826 | 0,82 | 0,813 | 0,806 |
| 2 | 1,859 | 1,833 | 1,808 | 1,783 | 1,759 | 1,736 | 1,713 | 1,691 | 1,668 | 1,647 | 1,626 | 1,605 | 1,585 | 1,566 | 1,547 | 1,528 | 1,509 | 1,492 | 1,474 | 1,457 |
| 3 | 2,723 | 2,673 | 2,624 | 2,577 | 2,531 | 2,487 | 2,444 | 2,402 | 2,361 | 2,322 | 2,283 | 2,246 | 2,21 | 2,174 | 2,14 | 2,106 | 2,074 | 2,042 | 2,011 | 1,981 |
| 4 | 3,546 | 3,465 | 3,387 | 3,312 | 3,24 | 3,17 | 3,102 | 3,037 | 2,974 | 2,914 | 2,855 | 2,798 | 2,743 | 2,69 | 2,639 | 2,589 | 2,54 | 2,494 | 2,448 | 2,404 |
| 5 | 4,329 | 4,212 | 4,1 | 3,993 | 3,89 | 3,791 | 3,696 | 3,605 | 3,517 | 3,433 | 3,352 | 3,274 | 3,199 | 3,127 | 3,056 | 2,991 | 2,926 | 2,864 | 2,803 | 2,745 |
| 6 | 5,076 | 4,917 | 4,767 | 4,623 | 4,486 | 4,355 | 4,23 | 4,117 | 3,998 | 3,889 | 3,784 | 3,685 | 3,589 | 3,498 | 3,411 | 3,328 | 3,245 | 3,167 | 3,092 | 3,02 |
| 7 | 5,786 | 5,582 | 5,389 | 5,206 | 5,033 | 4,868 | 4,712 | 4,564 | 4,423 | 4,288 | 4,16 | 4,039 | 3,922 | 3,812 | 3,706 | 3,605 | 3,508 | 3,416 | 3,327 | 3,242 |
| 8 | 6,463 | 6,21 | 5,971 | 5,747 | 5,535 | 5,335 | 5,146 | 4,968 | 4,799 | 4,639 | 4,487 | 4,344 | 4,207 | 4,078 | 3,954 | 3,837 | 3,726 | 3,619 | 3,518 | 3,421 |
| 9 | 7,108 | 6,802 | 6,515 | 6,247 | 5,995 | 5,759 | 5,537 | 5,328 | 5,132 | 4,948 | 4,772 | 4,607 | 4,451 | 4,303 | 4,163 | 4,031 | 3,905 | 3,786 | 3,673 | 3,566 |
| 10 | 7,722 | 7,36 | 7,024 | 6,71 | 6,418 | 6,145 | 5,889 | 5,65 | 5,428 | 5,216 | 5,019 | 4,833 | 4,659 | 4,494 | 4,339 | 4,192 | 4,054 | 3,923 | 3,799 | 3,682 |
| 11 | 8,308 | 7,887 | 7,499 | 7,139 | 6,805 | 6,495 | 6,207 | 5,938 | 5,687 | 5,453 | 5,234 | 5,029 | 4,836 | 4,656 | 4,486 | 4,327 | 4,177 | 4,035 | 3,902 | 3,776 |
| 12 | 8,863 | 8,384 | 7,943 | 7,538 | 7,161 | 6,814 | 6,492 | 6,194 | 5,918 | 5,66 | 5,421 | 5,197 | 4,988 | 4,793 | 4,611 | 4,439 | 4,278 | 4,127 | 3,985 | 3,851 |
| 13 | 9,394 | 8,853 | 8,358 | 7,904 | 7,487 | 7,103 | 6,75 | 6,424 | 6,122 | 5,842 | 5,583 | 5,342 | 5,118 | 4,91 | 4,715 | 4,533 | 4,362 | 4,203 | 4,053 | 3,912 |
| 14 | 9,899 | 9,295 | 8,745 | 8,244 | 7,785 | 7,367 | 6,982 | 6,628 | 6,302 | 6,002 | 5,724 | 5,468 | 5,229 | 5,008 | 4,802 | 4,611 | 4,432 | 4,285 | 4,148 | 3,962 |
| 15 | 10,38 | 9,712 | 9,108 | 8,559 | 8,061 | 7,608 | 7,191 | 6,811 | 6,462 | 6,142 | 5,847 | 5,575 | 5,324 | 5,092 | 4,876 | 4,675 | 4,489 | 4,315 | 4,153 | 4,001 |
| 16 | 10,84 | 10,11 | 9,447 | 8,851 | 8,313 | 7,824 | 7,379 | 6,974 | 6,604 | 6,265 | 5,954 | 5,668 | 5,405 | 5,162 | 4,938 | 4,73 | 4,538 | 4,357 | 4,189 | 4,033 |
| 17 | 11,27 | 10,48 | 9,763 | 9,122 | 8,544 | 8,022 | 7,549 | 7,12 | 6,729 | 6,373 | 6,047 | 5,749 | 5,475 | 5,222 | 4,99 | 4,775 | 4,578 | 4,391 | 4,219 | 4,059 |
| 18 | 11,69 | 10,83 | 10,08 | 9,372 | 8,756 | 8,201 | 7,702 | 7,25 | 6,84 | 6,467 | 6,128 | 5,818 | 5,534 | 5,273 | 5,033 | 4,812 | 4,608 | 4,419 | 4,243 | 4,08 |
| 19 | 12,09 | 11,18 | 10,34 | 9,604 | 8,954 | 8,365 | 7,839 | 7,368 | 6,938 | 6,55 | 6,198 | 5,877 | 5,584 | 5,318 | 5,07 | 4,843 | 4,635 | 4,442 | 4,263 | 4,097 |
| 20 | 12,48 | 11,47 | 10,59 | 9,818 | 9,129 | 8,514 | 7,963 | 7,469 | 7,025 | 6,623 | 6,259 | 5,929 | 5,628 | 5,353 | 5,101 | 4,87 | 4,657 | 4,46 | 4,279 | 4,11 |
| 21 | 12,82 | 11,76 | 10,84 | 10,02 | 9,292 | 8,649 | 8,075 | 7,582 | 7,102 | 6,687 | 6,312 | 5,973 | 5,665 | 5,384 | 5,127 | 4,891 | 4,675 | 4,476 | 4,292 | 4,121 |
| 22 | 13,18 | 12,04 | 11,06 | 10,2 | 9,442 | 8,772 | 8,178 | 7,645 | 7,17 | 6,743 | 6,359 | 6,011 | 5,698 | 5,41 | 5,149 | 4,909 | 4,69 | 4,488 | 4,302 | 4,13 |
| 23 | 13,49 | 12,3 | 11,27 | 10,37 | 9,58 | 8,883 | 8,268 | 7,718 | 7,23 | 6,792 | 6,399 | 6,044 | 5,723 | 5,432 | 5,167 | 4,925 | 4,703 | 4,499 | 4,311 | 4,137 |
| 24 | 13,8 | 12,55 | 11,47 | 10,53 | 9,707 | 8,985 | 8,349 | 7,784 | 7,283 | 6,835 | 6,434 | 6,073 | 5,746 | 5,451 | 5,182 | 4,937 | 4,713 | 4,507 | 4,318 | 4,143 |

www.savonia.fi

