

SYMBELT-TELAN PURISTINKENGÄN KONEIS- TUS

Mauno Hämäläinen

Opinnäytetyö
Marraskuu 2013

Paperikoneteknologian koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala



Tekijä(t) HÄMÄLÄINEN, Mauno	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 30.9.2013
	Sivumäärä 69+22	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus () saakka	Verkkojulkaisulupa myönnetty (x)
Työn nimi SymBelt-telan puristinkengän koneistus		
Koulutusohjelma Paperikoneteknologian koulutusohjelma, kunnossapidon suuntautumisvaihtoehto		
Työn ohjaaja(t) KIVISTÖ, Hannu, Lehtori PARVIAINEN, Miikka, Lehtori		
Toimeksiantaja(t) Metso Paper Oy, Imu- ja valurautatelavalmistus KARTTUNEN, Harri, Verstaspäällikkö		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Paperikoneessa käytettävien SymBelt-telojen puristinkengien valmistukseen käytetään nykyisin alihankkijoita. Paperialan kiristyneen kilpailun vuoksi Metso Paper on alkanut kyseenalaistaa alihankkijoiden käyttöä ja tutkimaan niiden kustannuksia. Opinnäytetyön ehdotus tuli Metso Paperilta.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, mikä on tehokkain tapa valmistaa SymBelt-telan puristinkengiä Metso Paperin Rautpohjan yksikössä käytössä olevista menetelmistä. Valmistukseen käytettävissä ovat koneistuskeskus ja höylä, jolla pystytään tarvittaessa koneistamaan osa puristinkengästä. Myös valmistusta edellyttävät investoinnit piti selvittää. Toisena tavoitteena oli määrittää työn kustannukset.</p> <p>Tehtävänä oli siis selvittää tehokkain Metso Paperin Rautpohjan yksikössä käytettävä valmistusmenetelmä SymBelt-telan puristinkengälle ja laskea valmistuksesta aiheutuvat kustannukset. Lopuksi kuului tehdä investointilaskelma kustannuksiin ja menetelmiin perustuen ja tuottaa tällä tavoin tarpeellista tietoa toimeksiantajan investointiehdotusta varten. Toimeksiantajan investointiehdotukseen perustuen yritys päättää myöhemmin, siirretäänkö SymBelt-telan puristinkengien tuotanto Metso Paperin Rautpohjan yksikköön.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin toiminnallisena opinnäytetyönä. Tuloksena saatiin investointilaskelma käytettäviin menetelmiin ja kustannuksiin perustuen, minkä perusteella SymBelt-telan puristinkengän koneistus on 33 % halvempi Rautpohjan yksikössä ja takaisinmaksuaika alle 2 vuotta. Metso Paperin Rautpohjan yksikön käytännön mukaan tämä olisi kannattava investointi. Tuloksena saatua Excel-taulukkoa voidaan jatkossa käyttää eripituisten SymBelt-telan puristinkengien valmistuskustannuksien määrittämiseen ja valmistusmenetelmän työjärjestystä työkappaleen ohjelmoinnin perustana. Opinnäytetyön merkittävämpänä välituloksena huomattiin, että jos SymBelt-telan puristinkengien valmistusta edellyttävät korjausinvestoinnit toteutetaan, niiden seurauksena nykyisin koneistettavilla kappaleilla tuottavuus paranee 20–30 %.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Investointi, kannattavuus, kustannuslaskenta, lastuava työstö, menetelmäsuunnittelu		
Muut tiedot		



Authors HÄMÄLÄINEN, Mauno	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 30.9.2013
	Pages 69+22	Language Finnish
	Confidential () Until	Permission for web publication (x)
Title Machining of Symbelt's shoe presses		
Degree Programme Paper Machine Technology		
Tutors KIVISTÖ, Hannu, Senior Lecturer PARVIAINEN, Miikka, Senior Lecturer		
Assigned by Metso Paper Oy, Suction and Cast Iron Rolls KARTTUNEN, Harri, Workshop Manager		
<p>Abstract</p> <p>Subcontractors are currently being employed in the production of Symbelt shoe presses used in paper machines. Due to increased competition in the paper industry, Metso Paper has started questioning the use of subcontractors and examining their costs. That is why Metso Paper put forth the proposal for the present study.</p> <p>The objective of the study was to identify the most effective way of manufacturing Symbelt shoe presses using techniques employed by Metso Paper Rautpohja Unit. The available machines for this manufacturing process are milling and boring machines and industrial planes. The required investments needed to be calculated. The second objective was to determine the overall costs of the work.</p> <p>Therefore, the objective was to determine the most effective way of manufacturing Symbelt shoe presses at Metso Paper Rautpohja Unit and calculate the manufacturing costs involved. Following this, investment calculations based on costs and manufacturing methods had to be made in order to procure the necessary information for the company's investment proposal. Based on this proposal, the company would subsequently decide whether or not to move the production of Symbelt shoe presses to Rautpohja Unit.</p> <p>The thesis was executed as a functional thesis. The main result was an investment calculation, which shows that manufacturing Symbelt shoe presses at the Rautpohja Unit is 33 % cheaper, with a pay-back period of less than two years. This would be a worthwhile investment due to policies at Rautpohja Unit. The resulting Excel-based calculation table can be used to determine the manufacturing costs of Symbelt shoe presses of various lengths. Manufacturing methods can be used as the basis for programming. The most significant result of the thesis was that if the proper investments in unit repairs are made, thus ensuring the most effective manufacturing process for Symbelt shoe presses, the overall productivity of the current fabrication units will improve by 20–30 %.</p>		
Keywords Investment, profitability, cost accounting, machining, process planning		
Miscellaneous		



SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
2	TOIMEKSIANTAJA	7
3	PURISTINOSA PAPERIKONEESSA	7
3.1	Veden poisto paperirainasta	7
3.2	Taipumakompensoidut telat.....	10
3.3	Uiva Sym-tela	12
3.4	SymBelt-tela.....	14
3.5	SymBelt-telan puristinkenkä.....	17
4	PURISTINKENGÄN KONEISTUS	19
4.1	Jyrsintä.....	19
4.2	Höyläys	23
5	MENETELMÄSUUNNITTELU.....	25
5.1	Työjärjestyksen suunnittelu.....	26
5.2	Raaka-aineen valinta	26
5.3	Kiinnitysten suunnittelu	28
5.4	Työkalun valinta	28
5.5	Työstöarvot.....	31
5.6	Työvarojen määrittäminen	39
5.7	Työstöaika.....	41
6	TALOUDELLISUUSTARKASTELU	43
6.1	Investointi.....	43
6.2	Investointilaskelma	43
6.3	Kustannusten tekijät	44

7	LÄHTÖTILANNE.....	47
8	TOTEUTUSTAPA.....	48
8.1	Tiedonhaku	48
8.2	Valmistusmenetelmän suunnittelu ja valmistuskustannuksien määrittäminen	49
9	TULOSTEN TARKASTELU.....	57
10	POHDINTA.....	60
11	LÄHTEET	65
12	LIITTEET.....VIRHE. KIRJANMERKKIÄ EI OLE MÄÄRITETTY.	
	Liite 1. Päätyjen rouhinta tasojrismellä	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
	Liite 2. Karkea rouhinta tasojrismellä	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
	Liite 3. Karkea rouhinta: kiinnityskohdat kulmapäällä ...	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
	Liite 4. Ura kiinnitystä varten, rouhinta ja viimeistely....	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
	Liite 5. Päätyjen olakkeet, rouhinta ja viimeistely	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
	Liite 6. Ison poteron rouhinta	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
	Liite 7. Ison poteron väliviimeistely ja viimeistely kulmapäällä	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
	Liite 8. Pienet urat (2kpl), rouhinta ja viimeistely	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
	Liite 9. Sokkelipoteran rouhinta.....	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
	Liite 10. Sokkelipoteran ura	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
	Liite 11. Sokkelipoteran	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
	Liite 12. Poraukset ja kierteet	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.

Liite 13. Kalvaukset, avarrukset ja interpolaatio..... Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.

Liite 14. Yläpuolen pinnan suorat osat, väliviimeistely ja viimeistely kulmapäällä Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.

Liite 15. Öljytasku, väliviimeistely ja viimeistely kulmapäällä . Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.

Liite 16. Pyöritys, väliviimeistely ja viimeistely kulmapäällä .. Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.

Liite 17. Päätyjen viisteet, väliviimeistely ja viimeistely. Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.

Liite 18. Öljynsyöttöura, rouhinta ja viimeistely kulmapäällä . Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.

Liite 19. HÖ6:n vertailuaika yläpuolen pinnan valmistukseen, väliviimeistely ja viimeistely..... Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.

Liite 20. Valmistusmenetelmä, kappaleaika ja valmistuskustannukset Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.

Liite 21. Investointilaskelmat Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.

KUVIOLUETTELO

KUVIO 1. Paperikoneen sivuprofiili	8
KUVIO 2. Paperirainan kuiva-ainepitoisuus ennen märkäpuristusta ja märkäpuristuksen jälkeen, kuviossa 3 nippiä	9
KUVIO 3. Märkäpuristuksen toimintaperiaate.....	10
KUVIO 4. Taipumakompensoitujen telojen kehitys. Viivakuormien kompensoitumahdollisuudet merkitty punaisella viivalla	11
KUVIO 5. Taipumakompensointi kiinteästi bombeeratulla eli tynnyrimäisellä telalla	12
KUVIO 6. Sym-telan toimintaperiaate, ylempi painekammio merkitty punaisella	13

KUVIO 7. Leikkaus Sym-telan rakenteesta, tiiviste merkitty oranssilla staattiseen akseliin.....	13
KUVIO 8. Nippipaine telanipissä.....	14
KUVIO 9. SymBeltin (pitkänippi) ja perinteisen telanipin painekuvaajien vertailu.....	15
KUVIO 10. Yleiskuva SymBelt-telasta	16
KUVIO 11. Kenkäpuristimen nippi, muokattu	17
KUVIO 12. Puristinkenkä	17
KUVIO 13. Puristinkengän profiili, keskellä näkyy öljytasku	18
KUVIO 14. Jyrsintä	19
KUVIO 15. Nousullinen interpolaatio	21
KUVIO 16. Esimerkki vaakakaraisesta koneistuskeskuksesta viidellä liikeakselilla, viidennen ollessa kulmapään pystysuuntainen 180°:een liike	22
KUVIO 17. Höylä	24
KUVIO 18. Höylän liikkeet vaiheittain, pöydän liike merkitty vihreällä ja teräpidikkeen liike sinisellä.....	25
KUVIO 19. Levyaihioita	27
KUVIO 20. Secon työkalusovellus.....	29
KUVIO 21. Terästen jaottelu.....	30
KUVIO 22. Terästen Mc-koodit.....	30
KUVIO 23. Iscarin laskinsovellus.....	33
KUVIO 24. Leikkuuleveys	36
KUVIO 25. Esimerkit: vasemmalla leikkauskuva työvaiheesta, keskellä työvaiheen reiän mitat ja oikealla reiän kärkikulman korkeus	38
KUVIO 26. Esimerkki lastujen määrästä jyrsimellä, tummansinisellä merkitty työvarat	39
KUVIO 27. Esimerkki työkappaleen sivuprofiilista, aihion tilavuus merkitty punaisella katkoviivalla. Huomaa yläpuolen pinta-alan monimutkainen pinta.....	40
KUVIO 28. Ohjelmoinnin periaate jyrsinnässä	42
KUVIO 29. Työajan jakautuminen	45
KUVIO 30. Kulmapään liikkuvuus ja kiinnityksen vaikutus siihen, mitä työkappaleen pintoja voidaan koneistaa	51

KUVIO 31. Työstöarvot, työkaluna Pokolmin tasojrnsin. Lastuamisleveys on 80 % työkalun halkaisijasta.	53
KUVIO 32. Työjärjestys	56
KUVIO 33. Karkea rouhinta, poistettava ainemäärä merkitty keltaisella	Virhe.
Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.	
KUVIO 34. Kiinnityskohdat, poistettava ainemäärä merkitty keltaisella	Virhe.
Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.	
KUVIO 35. Ura kiinnitystä varten, poistettava ainemäärä merkitty keltaisella	Virhe.
Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.	
KUVIO 36. Päätyjen olakkeet, poistettava ainemäärä merkitty keltaisella	Virhe.
Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.	
KUVIO 37. Ison poteron rouhinta, poistettava ainemäärä merkitty keltaisella	Virhe.
Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.	
KUVIO 38. Ison poteron viimeistely, poistettava ainemäärä merkitty keltaisella	Virhe.
Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.	

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Koneistuskeskuksen teknisiä tietoja	23
Taulukko 2. Työstöarvojen muuttujia	32

1 JOHDANTO

Paperiteollisuuden kannattavuus on laskenut jo usean vuoden ajan painopaperin heikon kysynnän vuoksi. Erityisesti Euroopan alueella sanomalehtipaperin käytön sijasta suositaan yhä suuremmissa määrin lukulaitteita ja Internetiä. Paperialan liikevaihto on maailmanlaajuisesti kärsinyt alentaen myös paperikoneiden kysyntää. Tämän seurauksena paperikonemarkkinoilla on alettu keksiä keinoja, joilla saadaan aikaiseksi mahdollisia säästöjä. Aiemmin hyviksi todettuihin ratkaisuihin on otettu uusia näkökulmia erityisesti kustannusten kannalta.

Enemmistö maailman paperikoneista on valmistettu Metson tai sen edeltäjien valmistamilla koneilla. Metso Paperin (myöhemmin Rautpohja) suurin yksikkö sijaitsee Jyväskylässä, jossa suunnitellaan ja valmistetaan paperikoneen osia kuten SymBelt-teloja. SymBelt-tela on telamalli, joka säästää energiaa ja lisää paperikoneen tehokkuutta. Sen toiminta perustuu kehittyneeseen tekniikkaan, joka mahdollistetaan käyttämällä telan sisällä erityistä *puristinkenkää*.

SymBelt-telojen puristinkenkien valmistukseen käytetään nykyisin alihankkijoita. Paperialan kiristyneen kilpailun vuoksi alihankkijoiden käyttöä on alettu kyseenalaistaa ja niiden kustannuksia on alettu tutkia. Opinnäytetyön **tavoitteena** oli tutkia, mikä on tehokkain tapa valmistaa SymBelt-telan puristinkengiä Rautpohjassa käytössä olevista menetelmistä. Valmistukseen käytettävissä ovat koneistuskeskus ja höylä, jolla pystytään tarvittaessa koneistamaan osa puristinkengästä. Myös valmistusta edellyttävät investoinnit piti selvittää. Toisena tavoitteena oli määrittää työn kustannukset.

Tutkimuskysymykset olivat seuraavat:

- Mikä on tehokkain tapa valmistaa SymBelt-telan puristinkengiä Rautpohjassa käytössä olevista menetelmistä?
- Mitä investointeja tarvitaan, jotta puristinkengiä voidaan valmistaa Rautpohjassa tehokkaimmalla tavalla?

Tehtävänä oli siis selvittää tehokkain Rautpohjassa käytettävä valmistusmenetelmä SymBelt-telan puristinkengälle ja laskea valmistuksesta aiheutuvat kustannukset. Lopuksi kuului tehdä investointilaskelma kustannuksiin ja menetelmiin perustuen ja tuottaa tällä tavoin tarpeellista tietoa, jotta toimeksiantaja voi tehdä laskelman pohjalta investointiehdotuksen. Toimeksiantajan investointiehdotukseen perustuen yritys päättää myöhemmin, siirretäänkö SymBelt-telan puristinkenkien tuotanto Metso Paperin Rautpohjan yksikköön.

Toimeksiantaja vaati investointilaskelman toteutuksen tuotantotaloudellisesta ja valmistusteknisestä näkökulmasta. Tarkkoja SymBelt-telan puristinkenkien valmistukseen kohdistuvia työtunteja ja alihankkijoilla käytettäviä valmistusmenetelmiä ei ollut etukäteen tiedossa, joten opinnäytetyö päätettiin toteuttaa toiminnallisena opinnäytetyönä ja tutkimusmenetelmäksi valikoitui perusteellinen tarkastelu jokaiselle työvaiheelle. Menetelmän avulla työajan määrittämisen ohessa saadaan selville valmistusmenetelmä ja valmistusta edellyttävät investoinnit, joihin valmistuskustannukset lopulta pohjautuvat. Valmistuskustannuksia voidaan vertailla sitten SymBelt-telan puristinkenkien hankintahintaan. Todettiin, että valittu tutkimusmenetelmä on luotettava, tavoitteiden kannalta olennainen ja sen avulla saadaan täsmälliset tulokset Rautpohjan näkökulmasta.

Koska puristinkengän valmistukseen tarvitaan työpiirustusten perusteella jyrshintää, poraamista ja mahdollisesti höyläämistä, tutkittiin kaikki työstömenetelmät. Opinnäytetyön toteuttamistapana on perinteinen tutkielmamalli (johdanto, menetelmät ja aineisto, tulokset sekä pohdinta ja päätelmät). Opinnäytetyössä kerrotaan työstömenetelmien lisäksi toimeksiantajasta, puristinkengän teoriasta, menetelmäsuunnittelusta ja taloudellisuustarkastelusta. Lopuksi esitellään toteutustapa, saadut tulokset ja niiden tarkastelu sekä pohdinta.

2 TOIMEKSIANTAJA

Lähes 1 500 ammattilaista työllistävä Metso Paperin Rautpohjan yksikkö (myöhemmin Rautpohja) sijaitsee Jyväskylässä. Se on tällä hetkellä Metson suurin toimipiste. Hieman yli 50 hehtaarisella tehdasalueella sijaitsevat paperi- ja kartonkitehdas, teknologiakeskus, paperikoneiden huoltokeskus sekä rautavalimo. (Tervetuloa Metsolle Rautpohjaan 2013, 3.)

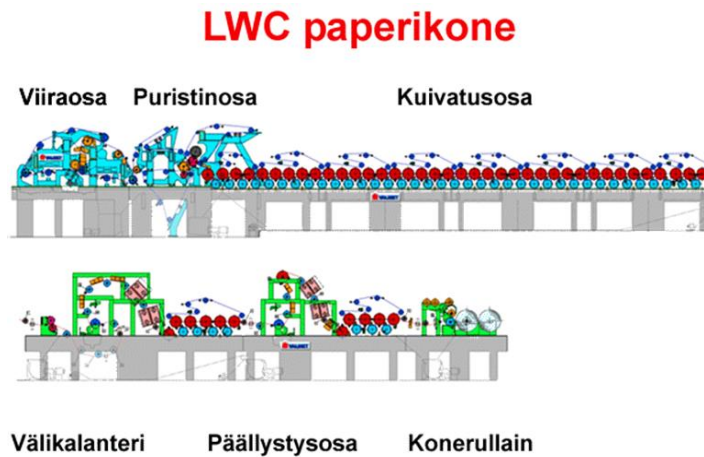
Rautpohjassa valmistetaan pääosin teloja ja määränpään osia paperiteollisuuteen. Toimipisteen henkilöstöstä 400 on tuotannossa, toimihenkilöiden määrän ollessa huomattavasti suurempi. Toimihenkilöt vastaavat muun muassa suunnittelusta, tuotannon- ja valmistustoiminnan kehityksestä ja tehdaspalveluista. (Metso Paper Machines unit Jyväskylä 2010.)

3 PURISTINOSA PAPERIKONEESSA

3.1 Veden poisto paperirainasta

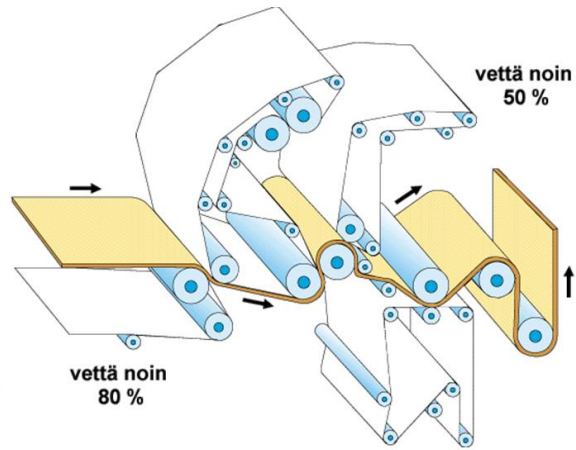
Paperin valmistusprosessissa sekoitetaan raaka-ainekomponentit vesipitoiseksi massaseokseksi, levitetään teos tasaiseksi massarainaksi eli paperiradaksi sekä lujitetaan rainaa poistamalla siitä vettä paperikoneen viiraosassa. Tämän jälkeen rainaa puristetaan ja siitä haihdutetaan vettä paperikoneen puristinosan ja kuivausosan läpi. Veden poistuessa rainasta saadaan aikaiseksi kuivaa paperituotetta, joka on jälkikäsitte-

lyprosesseja vaille valmis. Kuviossa 1 näkyvät paperikoneen eri osat. (Knowpap 2012.)



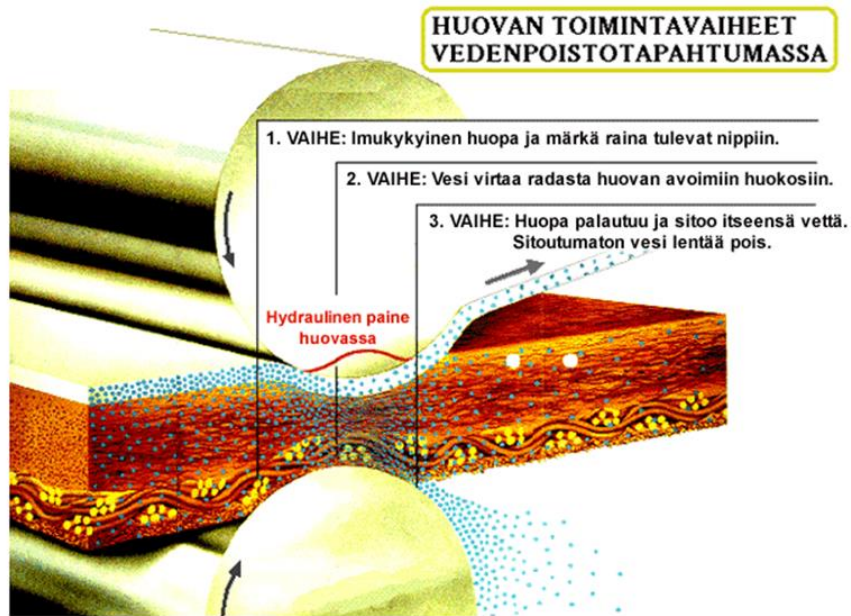
KUVIO 1. Paperikoneen sivuprofiili (Knowpap 2012)

Puristinosa tarkoittaa nostaa viiraosalta tulevan paperirainan kuiva-ainepitoisuutta puristamalla siitä vettä pois mekaanisesti (ks. kuvio 2). Vedenpoisto tapahtuu tavallisimmin kahden toisiaan vasten puristetun telan avulla. Telojen välistä puristusaluetta kutsutaan **nipiksi**. Nippien lukumäärä vaihtelee paperikoneen puristinosaan mallista riippuen. Vedenpoiston lisäksi prosessi myös tiivistää rainaa. Puristimella pyritään saavuttamaan riittävän suuri märkäluku, joka mahdollistaa paperirainan siirtymisen paperikoneen kuivatusosaan ilman katkoja. (Mt.)



KUVIO 2. Paperirainan kuiva-ainepitoisuus ennen märkäpuristusta ja märkäpuristuksen jälkeen, kuviossa 3 nippiä (Knowpap 2012)

Märkäpuristuksen periaatteena on, että rainan tilavuus pienenee ja vedelle ei jää enää tilaa, joten se siirtyy huopaan (ks. kuvio 3). Veden siirtymiseen vaikuttavat useat tekijät. Tärkeimpiä niistä ovat muun muassa käytetty puristinpaine ja puristusaika, lämpötila, koneen nopeus sekä viivakuorma ja viipymä nipissä. (Mt.)



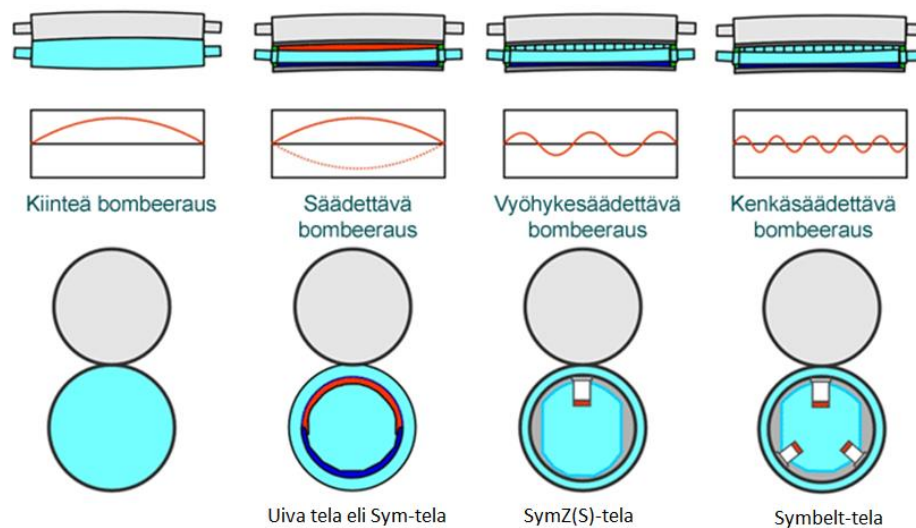
KUVIO 3. Märkäpuristuksen toimintaperiaate (Knowpap 2012)

Nippien puristusaineilla on suuri merkitys paperikoneen taloudellisuuteen, sillä puristinosan märkäkuivaus vähentää huomattavasti kuivatusosan – ja näin ollen koko paperilinjän energiakulutusta. Puristuksen alussa on tarkoitus edetä puristusainetta vähitellen kasvattaen, sillä liian voimakas tai äkillinen puristusaineen nousu huuhtoo paperirainasta tärkeitä ainesosia. Radan edetessä useiden puristinnippien läpi puristinpainetta voidaan vähitellen kasvattaa. Puristinpainetta ei kuitenkaan viimeisessä nipissä voi nostaa tietyn rajan yli, koska se vaikuttaa oleellisesti rainan paksuuteen. (Knowpap 2012.)

3.2 Taipumakompensoidut telat

Märkäpuristus vaikuttaa useaan valmistettavan tuotteen ominaisuuteen. Puristinosan komponentit, kuten telat ja niiden pinnoitteet, on valittava sopiviksi valmistettavan tuotteen ja paperikoneen ajonopeuden mukaan. Koska teloihin vaikuttaa

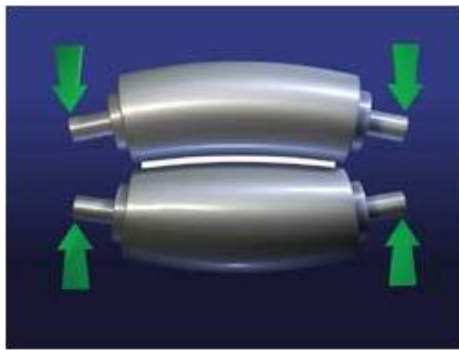
niiden oman painonsa lisäksi ulkoisten voimien aiheuttama yhteiskuorma, ne alkavat taipua. (Knowpap 2012.) Taipunut tela jättää tyhjää tilaa nipin keskiosaan keskipakovoiman takia. Toisin sanoen nipin poikittaissuuntainen viivakuorma on suurempi telojen reunoissa kuin keskellä. (Lukas 2009.) Telojen taipuminen aiheuttaa näin ollen laatuongelmia paperirainan reunojen paksuuteen. Ongelmien takia on kehitetty menetelmiä, joiden avulla vastatelan taipuminen nipissä saadaan kuriin. Nippikuormituksen tasaisuus mahdollistaa paperirainan tasapaksuisuuden, eli mitä parempi säädettävyys telalla on, sitä tasaisempi raina saadaan aikaiseksi. Kuviossa 4 on esitetty taipumakompensoidun telan eri kehitysvaiheita. (Knowpap 2012.)



KUVIO 4. Taipumakompensoitujen telojen kehitys. Viivakuormien kompensatiomahdollisuudet merkitty punaisella viivalla (Knowpap 2012, muokattu)

Kuviossa 4 esiintyvällä **Bombeerauksella** tarkoitetaan telan muodon muuttamista, jolla pyritään tasaamaan puristuspainetta nipissä. Perimmäinen tarkoitus bombeerauksella on kompensoida vastatelan taipumaa. Ensimmäinen ja yksinkertaisin taipuman kompensointimenetelmä on telan muodon pysyvä muuttaminen eli kiinteä bombeeraus. Käytännössä tässä menetelmässä puristetaan tynnyrimäiseksi koneistettua, eli kiinteästi bombeerattua, telaa vasten sen vastatela (ks. kuvio 5). Tynny-

rimäisyys auttaa kompensoimaan vastatelan taipuman. Taipuman kompensoinnin seurauksena puristuspaine tasaantuu ja tuloksena on parantunut rainan poikittais-suuntainen laatu ja paksuus. (Knowpap 2012.)

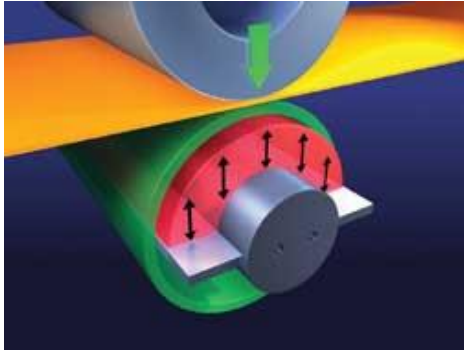


KUVIO 5. Taipumakompensointi kiinteästi bombeeratulla eli tynnyrimäisellä telalla (Lukas 2009)

Nykyajan paperikonetta tulee pystyä ajamaan useilla nopeuksilla. Nopeuden vaihtuessa myös viivakuorman arvot vaihtuvat ja tämän takia bombeerauksen säädettävyyttä tarvitaan enemmän. Uudemmissa teloissa bombeerausta pystyy muuttamaan useasta eri kohdasta, joko kuormitusta lisäämällä tai vähentämällä (ks. kuvio 4). Säädettävän taipumakompensaation tarkoituksena on kontrolloida telan taipumaa hydrauliiikan avulla. (Knowpap 2012.)

3.3 Uiva Sym-tela

Paperikoneen puristinosassa käytettävä Sym-tela on perinteinen niin sanottu uiva taipumakompensoitu tela. Nimitys ”uiva tela” on johdettu telavaipan säädettävästä pystysuuntaisesta liikkumisesta (ks. kuvio 6). Tällä telatyypillä saadaan aikaan kohtuullisen tasainen nippikuormitus koko paperirainan leveydeltä. (Knowpap 2012.)



KUVIO 6. Sym-telan toimintaperiaate, ylempi painekammio merkitty punaisella (Lukas, A. 2009)

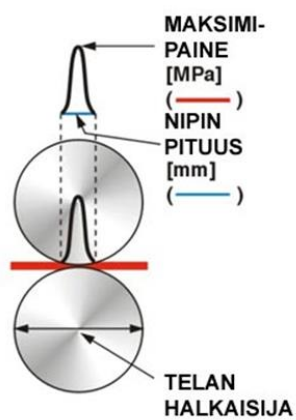
Telatyyppin toiminta perustuu pyörimättömään keskiakseliin, jonka sivuilla ja päädyissä on tiivisteet (ks. kuvio 7). Tiivisteillä saadaan aikaiseksi Sym-telan sisälle kaksi eri painekammioita, jotka tiivisteet erottavat toisistaan (ks. kuvio 6). Paine tehdään hydraulisesti öljyn avulla. Kammioiden paine-ero pakottaa telavaipan liikkumaan tarpeen mukaan joko vastatelaan kohti tai siitä pois. Tällä tavalla vastatelan taipuma saadaan kompensoitua. Toimintaperiaatteena siis telavaipan asemaa keskiakseliin nähden voidaan säätää painekammioiden paine-eroilla, keskiakselin pysyessä paikoillaan. (Deflection-compensated rolls maintenance 2010.)



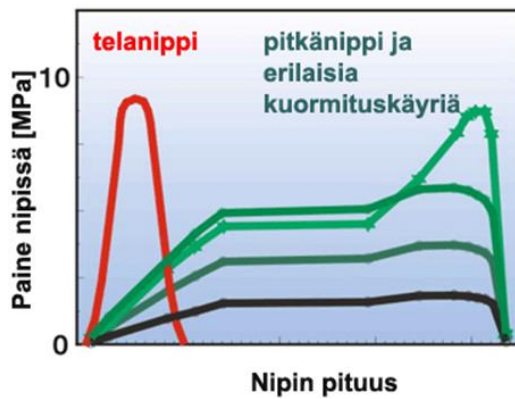
KUVIO 7. Leikkaus Sym-telan rakenteesta, tiiviste merkitty oranssilla staattiseen akseliin (Knowpap 2012)

3.4 SymBelt-tela

Perinteisen telanipin painekuvaaja on kellokäyrän muotoinen (ks. kuvio 8). SymBelt-tela tunnetaan toiselta nimeltään kenkäpuristintelana, koska sen painekuvaajan profiili muistuttaa kengän muotoa. Verrattuna tavalliseen telapuristukseen SymBelt-tela on telatyyppi, joka tuottaa pidemmän viiveajan nipissä (ks. kuvio 9). Parannettu telamalli mahdollistaa myös puristuspuheen jakaantumisen tasaisemmin kompensoimalla telaa monesta eri kohdasta (ks. kuvio 4). Pidempi viiveaika yhdessä tasaisen puristuspuheen kanssa tekee veden poistosta tehokasta ja paperirainasta tasapaksuisista. (Onnela n.d.)

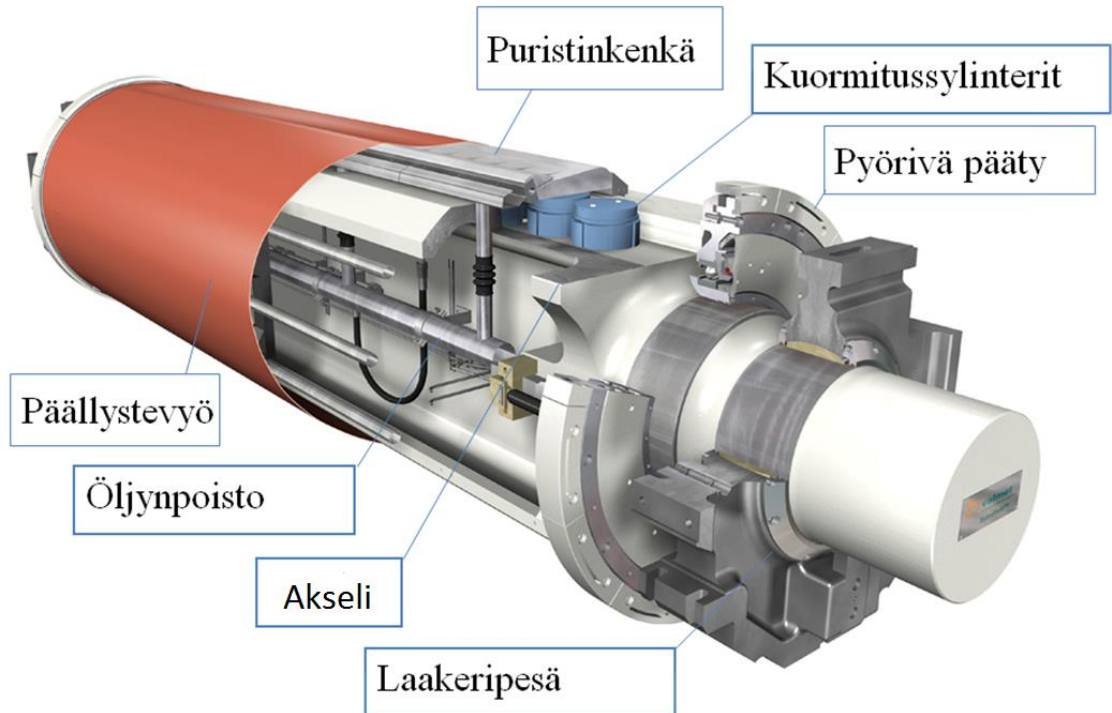


KUVIO 8. Nippipaine telanipissä (Knowpap 2012)



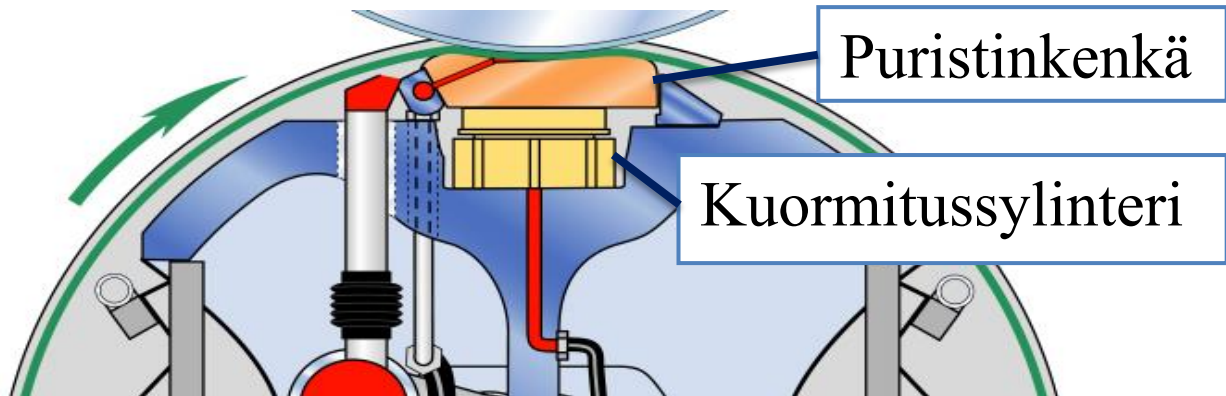
KUVIO 9. SymBeltin (pitkänippi) ja perinteisen telanipin painekuvaajien vertailu (Knowpap 2012)

Metson suunnittelema ja Rautpohjassa kokoonpantava SymBelt-tela eroaa perinteisestä Sym-telasta hieman rakenteeltaan. Osittaisesta läpileikkauksesta näkyvät kenkäpuristintelan eri osat (ks. kuvio 10). Voidaan huomata, että SymBelt-telassa on samat peruselementit kuin perinteisessä Sym-telassa, kuten staattinen keskiakseli ja paineen tuonti öljyn avulla. Liikkuvan vaipan sijaan siinä on päällystevyö eli "belt". (Knowpap 2012.) Kenkäpuristintelojen rakenne on suunniteltu erityisesti kestämään kaikkein korkeimpia nippikuormia. Koska SymBelt-telalla voi helposti vaihdella nippi-kuormituksia paperikoneen tuotteen ja ajonopeuden mukaan, menetelmä mahdollistaa huomattavan parannuksen paperikoneen nopeuteen sekä tuotantokapasiteetin lisääntymiseen. (Paper machine press sections 2006.)



KUVIO 10. Yleiskuva SymBelt-telasta (Onnela n.d., muokattu)

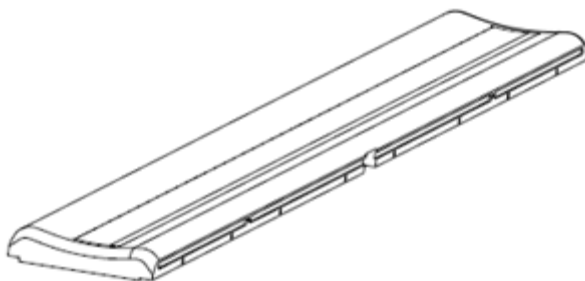
SymBelt-telan toimintaperiaate on johdettu perinteisen Sym-telan ideasta. Sen tärkein osa on telan sisällä oleva puristinkenkä, joka puristetaan hydraulisesti vastatelaan vasten (ks. kuvio 11). Öljy syötetään puristinkengän läpi sen keskellä sijaitsevaan öljytaskuun, minkä avulla puristusaine saadaan aikaiseksi. Öljytaskun pyöritys jäljittelee vastatelan muotoa ja loput yläpuolen pyöritykset mahdollistavat päällystevyön sulavan etenemisen, kuten kuviossa 11 on esitetty. Rinnakkain asetettujen kuormitussylinterien yksittäisiä kuormituksia vaihtamalla saadaan muutettua nippi optimaaliseen asentoon. (Onnela n.d.)



KUVIO 11. Kenkäpuristimen nipin poikkileikkaus, muokattu (Onnela n.d.)

3.5 SymBelt-telan puristinkenkä

SymBelt-telan puristinkenkä on kuumavalssatusta rakenneteräksestä koneistettava paperikoneen osa, jota Metson alihankkijat valmistavat Karlstadissa ja Tikkakoskella (ks. kuvio 12). Karlstadissa käytetään S235JR:ää ja Tikkakoskella S355JR:ää, koska ne ovat halpoja ja helposti koneistettavia materiaaleja. Puristinkenkien pituudet vaihtelevat paperikoneen leveyden mukaan keskikokoisten ollessa noin 8 000 mm pitkiä. (Pääkkönen 2013.)



KUVIO 12. Puristinkenkä (Auric 2013)

Puristinkengän työpiirustuksessa ilmenevien urien, porauksien ja viisteiden ynnä muiden työvaiheiden tekoon tarvitaan useaa erilaista työkalua. Pyöritykset puristinkengän yläpuolen päädyissä ja pituussuunnassa ovat Suihkasen (2013) mukaan Sym-Belt-telan toiminnon kannalta tärkeimmät pinnat, sillä ne vaikuttavat suoraan nippi-paineeseen, päällystevyön kulumiseen ja paperirainan laatuun. Tämän takia niiden suoruu- ja pinnankarheustoleranssit ovat todella vaativia. Öljytaskun pinta ei saa kuitenkaan olla liian sileä, sillä muuten öljy karkaa taskusta liian nopeasti johtaen paineen riittämättömyyteen ja/tai puutteelliseen voiteluun (ks. kuvio 13). (Suihkanen 2013.)



KUVIO 13. Puristinkengän profiili, keskellä näkyy öljytasku

Puristinkenkien kokonaiskustannukset löytyvät Rautpohjan toiminnanohjausjärjestelmästä, mutta työstöajan osuutta on vaikea arvioida, koska siellä ei erikseen ole selvitystä mitä kaikkea hankintahintaan sisältyy (Baan 2013).

4 PURISTINKENGÄN KONEISTUS

Tässä luvussa kerrotaan jysinnästä, poraamisesta ja höyläämisestä. Jysintä ja poraaminen ovat työstömenetelmiä, joita SymBelt-telan puristinkengien koneistukseen vaaditaan. Osa puristinkengästä on mahdollista koneistaa vaihtoehtoisesti höyläämällä. Työstömenetelmiin on otettu Rautpohjan konekannan näkökulma.

4.1 Jysintä

Jysiminen on lastuava työstömenetelmä, jossa pyörivää, tavanomaisimmin monihampaista työkalua käyttäen irrotetaan lastuja työstettävästä kappaleesta (ks. kuvio 14) (Ansaharju & Maaranen 2001, 319).



KUVIO 14. Jysintä (Max chip thickness n.d.)

Jyrsinnässä työkappale kiinnitetään tavallisimmin suoraan jyrsinkoneen pöytään yleiskiinnittimien avulla. Ansaharju ja muut ovat todenneet, että kiinnitystapoja on olemassa myös muita, mutta niitä varten tarvitaan lisälaitteita. Kiinnityksen jälkeen kappaleen suuntaus voidaan tarkistaa mittakellon eli ”kellotuksen” avulla tarpeen vaatiessa. (Ansaharju & Maaranen 2001, 354–355.)

Jyrsimen terähampaiden aineena käytetään yleensä kestäväää kovametallia. Sen rinnalla käytetään myös halvempää pikaterästä (Ansaharju & Maaranen 2001, 30).

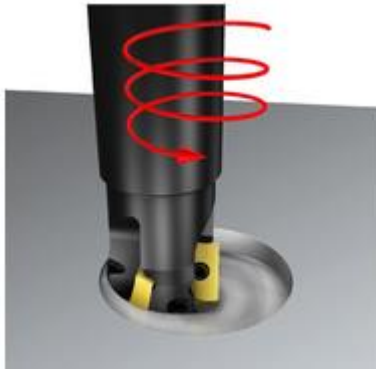
Poraaminen jyrsinkoneella

Jyrsinkone soveltuu myös muun muassa poraamiseen, reikien avarrukseen ja kalvimiseen sekä kierteittämiseen. Näiden menetelmien periaatteet ovat samat, työkalut ja työstöarvot vain eriävät. (Initial considerations n.d.)

Aivan kuten jyrsinterissä, teräaineena käytetään kovametallia ja pikaterästä. Työkalun kärkikulma valitaan työstettävän aineen mukaan, esimerkiksi terästä porattaessa se on 118 astetta. (Ansaharju & Maaranen 2001, 30, 77.)

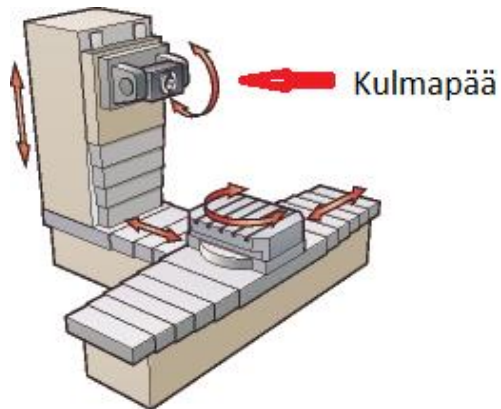
Koneistuskeskus

Koneistuskeskuksilla voidaan soveltaa ja yhdistää perinteisiä työstömenetelmiä, mikä mahdollistaa hyvin monimutkaistenkin kappaleiden koneistuksen. Tällaisista esimerkinä nousullinen interpolaatio, jossa yhdistyvät poraus ja jyrsintä (ks. kuvio 15). Menetelmässä suurennetaan alkureikää syöttämällä sitä jyrsimen liikkeillä x ja y-suunnissa ympyrän kaarta pitkin. Terä pyörii koko ajan ja etenee tietyllä syötöllä z-suuntaan kuten poratessa. (Circular ramping 2013.)



KUVIO 15. Nousullinen interpolaatio (Circular ramping 2013)

Rautpohjassa on useita koneistuskeskuksia, yksi näistä on 3-hallissa sijaitseva Toshiba-merkkinen HMC4. Kyseinen työstökone on vaakakarainen poraus- ja jyrsinkone eli koneistuskeskus (ks. kuvio 16), jolla voidaan porata ja jyrsiä. Kyseinen kone on varustettu numeerisella ohjauksella, automaattisella työkalunvaihtajalla, kulmapäällä ja usealla kiinnitysalustalla muiden erityispiirteidensä lisäksi. HMC4:llä voidaan koneistaa jopa 9 000 mm pituisia kappaleita. Työkalujen vaihtoaika työkalusta toiseen on noin 50 sekuntia. Jos työkalun vaihdon suorittaa manuaalisesti, siihen menee 20 sekuntia. (Specifications for CNC horizontal boring and milling machine 1986, 1-14.)



KUVIO 16. Esimerkki vaakakaraisesta koneistuskeskuksesta viidellä liikeakselilla, viidennen ollessa kulmapään pystysuuntainen 180°:een liike (Initial considerations n.d., muutettu)

Ohjattavia akseleita HMC4:ssä on kymmenen, joista osa on kiinnitysalustoja ohjaavia akseleita (mts. 5.) Normaali työstö onnistuu kolmella liikeakselilla (ks. kuvio 16). Vaativampiin työstöihin tarvitaan kulmapäätä. Kulmapää on koneeseen kiinnitettävä työväline, jolla pystytään työstämään raaka-ainetta eri kulmissa. 3D-muotoja tehdessä kulmapään ohjaukseen tarvitaan 5-akselinen ohjaus, jota HMC4:llä ei tällä hetkellä ole, mutta se voidaan tarvittaessa hankkia. (Initial considerations n.d.) Taulukossa 1 näkyy HMC4:n työstöä ajatellen tärkeimmät maksimiarvot. Taulukosta voidaan päätellä, ettei kulmapäätä voida käyttää raskaammassa (yli 15 kW vaativassa) työstössä.

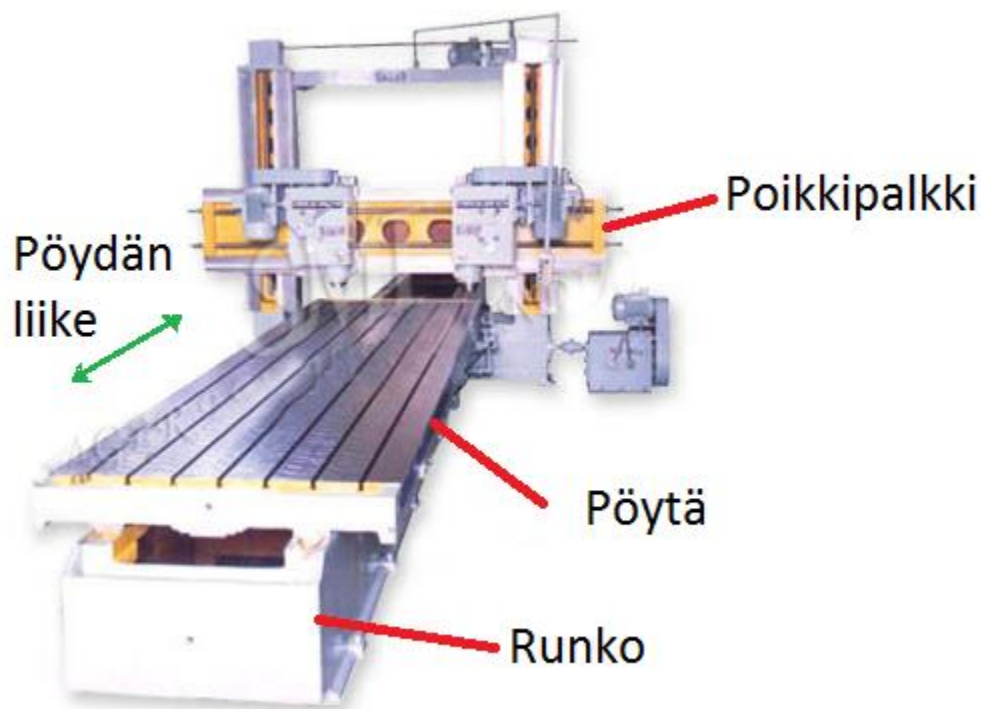
Taulukko 1. Koneistuskeskuksen teknisiä tietoja. (Specifications for CNC horizontal boring and milling machine1986, 12)

Merkitys	Normaali työstö	Työstö kulmapäällä
Maksimiteho	37 kW	
Sallittu lastuamisteho		15 kW nopeudella 200 rpm
Sallittu karan pyörimisnopeus	800 rpm	300 rpm
Lyhytaikaisesti	1 600 rpm	1 500 rpm

HMC4 työllistää neljä ammattilaista. Kone toimii kahdessa vuorossa ja jokaisessa vuorossa koneistajista toinen toimii koneen käyttäjänä toisen ollessa apumiehenä/asettajana. (Tolmunen 2013.)

4.2 Höyläys

Höylä on työstökone, jolla poistetaan raaka-ainetta lastu kerrallaan pelkästään työkappaleen pituussuunnassa (ks. kuvio 17). Höylän huono puoli verrattuna jyrshintään on se, että sillä voidaan työstää vain yhteen suuntaan, koska työkalu tarvitsee aina paluuliikkeen. Tämän takia höylääminen on yleensä melko hidasta. (Hedman 2013; Kelppe 2013; Kääriäinen 2013; Mustonen 2013.)

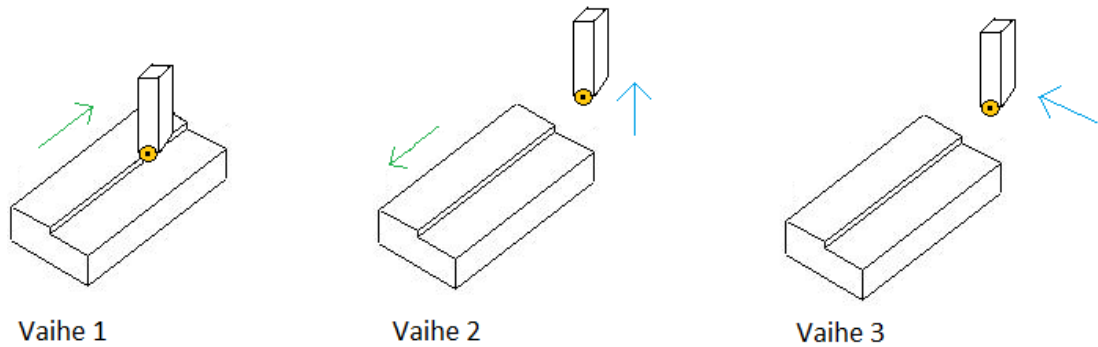


KUVIO 17. Höylä (Heavy Duty Plano Miller. n.d., muokattu)

Höylän toimintaperiaatteena on, että työpöytään kiinnitettyä kappaletta kuljetetaan tietyllä nopeudella kohti poikkipalkissa olevaa teräpalaa kohti. Ensimmäisessä vaiheessa (vaihe 1) tapahtuu lastuaminen (ks. kuvio 18). Kun lastu on kokonaan katkenut, teränpidin nousee ja pöytä tekee paluuliikkeen (vaihe 2). Paluuliikkeen jälkeen teräpalaa siirretään sivulle (vaihe 3). Tätä toistetaan, kunnes kappale on valmis. (Iivarinen 2013; Kelppe 2013.) Nikamaan (2013) mukaan paluuliikkeen ja teräpalan siirtojen arvot ovat konekohtaisia, esimerkiksi 2-hallin höylällä, Waldrich Goburg-merkkisellä HÖ6:lla, paluuliike on maksimissaan 70 m/min, asetusliikkeet ovat 0,6 mm viimeistelyssä ja 1 mm rouhinnassa (kuviossa 18 vaihe 3). Asetusliike on pienempi (noin 0,3–0,5 mm), jos työkalulla tehdään kaarevaa muotoa. (Nikamaa 2013.)

Menetelmällä saadaan työstettyä pitkiä kappaleita, kuten paperikoneen perälaatikon osia. Numeerisen ohjauksen avulla voidaan tehdä vaikeitakin pyöristyksiä ja aalto-maisia muotoja kappaleen leveyssuunnan pintaan. Höylällä voidaan käyttää samoja

paloja kuin jyrsinnässä ja sorvauksessa. (Iivarinen 2013; Kelppe 2013; Mustonen 2013.)



KUVIO 18. Höylän liikkeet vaiheittain, pöydän liike merkitty vihreällä ja teräpidikkeen liike sinisellä (Iivarinen 2013; Kelppe 2013)

5 MENETELMÄSUUNNITTELU

Työjärjestyksellä on suuri vaikutus kappaleen lopputulokseen. Työjärjestyksen lähtökohtana on työpiirustus, josta selviää tiedot aihioista ja raaka-aineesta. Lisäksi piirustus kertoo koneistettavat pinnat, pintamerkit, mitoitus, mittatoleranssit sekä muoto- ja sijaintitoleranssit. Menetelmien suunnittelu sisältää muun muassa seuraavia toimenpiteitä:

- työjärjestyksen (työvaiheiden) suunnittelu
- raaka-aineen (aihion) valinta
- työkappaleen kiinnityksien suunnittelu
- työkalujen (terien) valinta
- työstöarvojen valinta
- työvarojen määrittäminen. (Ansaharju & Maaranen 2001, 496.)

5.1 Työjärjestyksen suunnittelu

Työjärjestystä miettiessä täytyy ensin analysoida työkappale kokonaisuudessaan kaikkine muotoineen, mittoineen ja laatuvaatimuksineen ja miettiä, mitä koneistusvaiheita ja työkaluja niiden toteuttamiseen vaaditaan (Initial considerations n.d.). Koneistusprosessit jaetaan rouhintaan, väli viimeistelyyn ja viimeistelyyn (Profile milling n.d.). Esimerkiksi tarkkamittaisen reiän tekeminen sisältää kaikki edellä mainitut menetelmät: ensin porataan reikä, minkä jälkeen tämä esiporattu alkureikä väli viimeistellään avartimella ja viimeistellään lopuksi kalvimella (Ansaharju & Maaranen 2001, 98-100; Initial considerations n.d.).

Muun muassa aihion esikäsittelyistä ja lastuamisvoimista johtuvat sisäiset jännitykset saattavat aiheuttaa työkappaleeseen muodon muutoksia ja vääntyilemistä, kun sitä koneistetaan. Tämän takia työstettävää kappaletta on välillä käännettävä ja rouhittava eri puolilta puhtaaksi ennen viimeistelyä. (Kääriäinen 2013.) Kappaleen käännoissä ja kiinnityksissä kuitenkin kuluu aikaa, joten työjärjestys pitää miettiä tuotannon tehokkuuden kannalta (Lepola & Työosuuskunta Vararengas 2009).

5.2 Raaka-aineen valinta

Raaka-aine toimitetaan tankoina, levyinä ja valettuina tai taottuna aihioina asiakkaan tarpeen mukaan. Levyistä valmistetut ahiot (ks. kuvio 19.) on yleensä polttoleikattu sopiviin työvarallisiin mittoihin koneistusta varten. (Ansaharju & Maaranen 2001, 62.) Pääkkösen (2013) mukaan Rautpohjassa on tapana tilata reilun kokoinen aihio ja irrottaa sen päädyistä noin 10 mm leveä pala testejä varten. Testeillä varmistetaan

tilatun raaka-aineen mekaaniset ominaisuudet kovuusmittauksilla. (Pääkkönen 2013.)



KUVIO 19. Levyihioita

Raaka-aineita valittaessa on suositeltavaa vertailla niiden ominaisuuksia ja hintoja. Penna (2013) toteaa, ettei tällä hetkellä tiettyjen samankaltaisten terästen hinnoissa ole paljoa eroa, mutta seosaineiltaan – ja näin ollen myös ominaisuuksiltaan ne ovat hieman erilaisia. (Penna 2013.) Puristinkengän työpiirustusten mukaisten rakenneterästen (S235JR ja S355JR) eli niukkahiilisten terästen ($< 0.25\% \text{ C}$) ominaisuuksia tarkastellessa on hyvä muistaa, että niiden koneistus vaatii lastunmurto-ongelmien takia erityistä huomiota. Hiilipitoisuus vaikuttaa terästen kovuuden ja sitkeyden suhteeseen; raaka-aineen hiilipitoisuuden laskiessa myös kovuus laskee ja vastaavasti sitkeyden nousee. (ISO P steel n.d.) Hiilipitoisuuden lasku Lähteenmäen (2004) mielestä heikentää raaka-aineen lastuttavuutta. Koska sitkeästä raaka-aineesta lastu ei irtoa niin

hyvin kuin kovasta raaka-aineesta, se johtaa irtosärmän muodostukseen ja huonoon lastunmurtoon. (Lähteenmäki 2004.) Näiden seurauksena on vaikeampi päästä pinnanankarheuden vaatimuksiin (ISO P steel. n.d.; Tool wear. n.d.).

5.3 Kiinnitysten suunnittelu

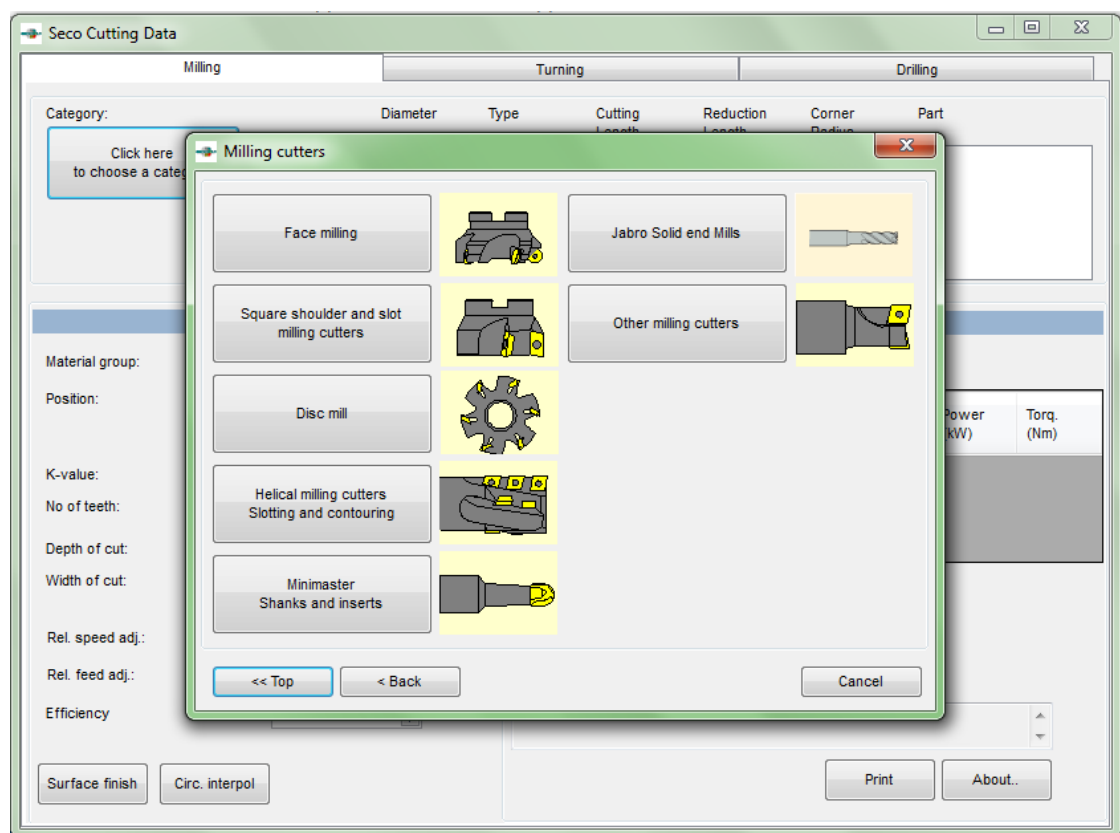
Työkappale pyritään kiinnittämään työstökoneeseen aina mahdollisimman tukevasti. Kiinnityksiin vaikuttaa muun muassa kappaleen muodot ja mitat sekä koneen liikeraata. Jos kappaleen koko pinta vaatii työstöä, kiinnitys on suunniteltava niin, ettei se ole työstön esteenä. Tarpeen vaatiessa työkappale voidaan kiinnittää esimerkiksi kiinteään kulmatasoon, jolloin kappale on 90 asteen kulmassa kiinnitysalustaan nähden. (Ansaharju & Maaranen 2001, 350–352.)

Vaihtoehtoisesti työkappaleeseen voi tehdä esimerkiksi kiinnitysuria tai -reikiä kiinnitystä helpottamaan. Kiinnityksissä voidaan käyttää myös jigiä, kiinnitystä nopeuttavaa työkalua. Jigin avulla saadaan tehtyä tasalaatuisia tuotteita. Uuden jigin pystyy hinnoittelemaan sen parametrien mukaan; yleensä arvioidaan jigiin tarvittavan raaka-aineen paino ja kerrotaan se hintatiedoilla. Esimerkkinä rakenneterästen hinnat, jotka ovat tällä hetkellä noin 1 €/kg (Nordic steel price 2012).

5.4 Työkalun valinta

Sopivan työkalun löytäminen tiettyyn tehtävään on tehokkaan työstön perusedellytys. Joitakin teriä käyttämällä voidaan korvata muita työvaiheita, koska ne ovat kestäviä ja monipuolisia ja soveltuvat rouhinnasta väliviimeistelyyn ja viimeistelyyn (T-max P – wiper n.d.). Työkalu- ja terävalmistajien taulukot ja sovellukset (ks. kuvio 20) auttavat työkalun valinnassa. Työkalun valintaan vaikuttavat:

- materiaaliluokitus
- työvaihe
- parametrit. (Guided product search n.d.)



KUVIO 20. Secon työkalusovellus (Seco Cut n.d.)

Materiaaliluokitus

Raaka-aineet on jaoteltu niiden lastuttavuuden mukaan (ks. kuvio21). Työstettävän materiaalin luokitukset ja ominaisuudet on standardisoitu (ISO P steel. n.d.). Lastuttavuusryhmän selvittämiseen tarvitaan muun muassa seosaineiden ja kovuuden arvot. Esimerkiksi S235JR:n 0.2 %:n ja S355JR:n 0.24 %:n hiilipitoisuuden

maksimiarvoillaan ne ovat alle 0.25 %, joten molemmat kuuluvat ensimmäisen materiaaliryhmän ensimmäiseen alaryhmään (ks. kuvio 22) (Valtanen 2010, 1114).

P	Steel
1	Unalloyed (Mn < 1,65%)
2	Low alloyed (alloying el...
3	High alloyed (alloying e...
4	Sintered steels
5	Stainless steel (ferritic/...

KUVIO 21. Terästen jaottelu (Guided product search n.d.)

MC-koodi	Materiaaliryhmä	Alaryhmä	Valmistusprosessi	Lämpökäsittely	Nimellisko- vuus	Ominaislujuus, $k_{0.1}$ (N/mm ²)	m_0			
P1.1.Z.AN	1	1	Z	taottu/valssattu/ lylmävedetty	AN	hehkutettu	125 HB	1500	0.25	
P1.1.Z.HT					HT	nuorutettu	190 HB	1770	0.25	
P1.2.Z.AN		2	Z	taottu/valssattu/ lylmävedetty	AN	hehkutettu	190 HB	1700	0.25	
P1.2.Z.HT					HT	nuorutettu	210 HB	1820	0.25	
P1.3.Z.AN		1	3	Z	taottu/valssattu/ lylmävedetty	AN	hehkutettu	190 HB	1750	0.25
P1.3.Z.HT						HT	nuorutettu	300 HB	2000	0.25

KUVIO 22. Terästen Mc-koodit (ISO P steel. n.d.)

Työvaihe

Työvaihe voi olla esimerkiksi reiän poraus, kierteen sorvaus tai uran jyrästä (Guided product search n.d.).

Parametrit

Työstön parametrit jaottuvat rouhintaan, väliviimeistelyyn ja viimeistelyyn. Työpiirustuksesta selviävät työvaiheen mitat rajoittavat työkalujen valintaa; esimerkiksi 50

mm:ä syvän reiän tekoon tarvitaan yli 50 mm:ä pitkä pora. Muita tarvittavia parametreja ovat muun muassa koneen tiedot, työkalun kiinnitysten tukevuus ja jäähdytystapa. (Guided product search n.d.)

Huomioitavaa työkalun valinnassa

Joihinkin työvaiheisiin saattaa soveltua monta erilaista työkalua, esimerkiksi urien jyrksinnässä voidaan käyttää varsijyrsimiä, kiekkojyrsimiä tai siilijyrsimiä. Tällöin muun muassa koneen teho, työvaiheen mitat ja työkalun ominaisuudet vaikuttavat työkalun valintaan; kiekkojyrshintä on tehokkain tapa jyrsiä suuria määriä pitkiä ja syviä uria, varsijyrsimen etuina on kuitenkin sen geometrian tuoma monipuolisuus. Siilijyrsin taas mahdollistaa suurimman lastuvirran. (Overview n.d.)

5.5 Työstöarvot

Työstettäessä raaka-ainetta millä tahansa menetelmällä on tärkeää, että työ käy nopeasti, terä kestää mahdollisimman kauan sekä työstöjälki ja mittatarkkuus ovat hyvät. Näihin vaikuttaa koneistuksessa käytettävät työstöarvot. (Ansaharju & Maaranen 2001, 20.) Taulukossa 2 näkyy työstöarvojen muuttujia.

Taulukko 2. Työstöarvojen muuttujia (Formulas and definitions n.d.; Milling 2010, 465)

Työstöarvo	Tunnus	Yksikkö
Lastuamisnopeus	Vc	m/min
Karan pyörimisnopeus	n	rpm
Syöttö/kierrös	fn	mm/kierr.
Syöttönopeus	Vf	mm/min
Syöttö/hammas	fz	mm
Kehäsyöttö	Vfm	mm/min
Tehollisten hampaiden lukumäärä	z	kpl
Työkalun halkaisija	Dc	mm
Työkalun halkaisija tehollisessa lastuamissyvydessä ap	Dcap	mm
Koneistushalkaisija	Dm	mm
Teräpalkan halkaisija	iC	mm
Lastuamissyvyys	ap	mm
Lastuamisleveys	ae	mm
Lastuvirta	Q	cm ³ /min
Koneistuspituus	lm	mm
Työstöaika	Tc	min
Nettoteho	Pc	kW

Työstöarvoja varten on olemassa työkaluvalmistajien (Iscar, Seco ja Sandvik ym.) tarjoamia sovelluksia (ks. kuvio 23). Normaalisti työstöarvot valitaan kuitenkin kokeemusperäisesti ja ohjearvoilla, jotka on taulukoitu. Ammattitaitoinen koneistaja määrittää tavallisimmissa tapauksissa työstöarvot ulkoa. (Ansaharju & Maaranen 2001, 19–26.)

Milling

Application: Face milling

Insert Type: Round

Data for Face milling

Tool diameter (D): 100 mm

Cutting width (ae): 80 mm

Number of inserts (z): 6

Feed per tooth (fz): 0.5 mm

Depth of cut (ap): 5 mm

Spindle speed (n): 795.8 rpm

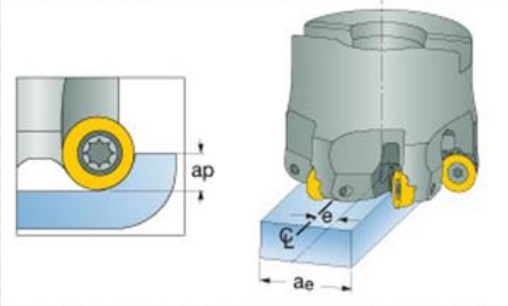
Cutting velocity (Vc): 250 m/min

Workpiece material: Low alloy & c

Effective rake angle (γ): 17 deg.

Insert diameter (d): 20 mm

Eccentricity (e): mm



Results

Kc (effective):	1883 N/mm ²	269 KPsi
Net mean power demand:	30.8 KW	41.85 HP
Material removal rate:	954.96 cm ³ /min	58.27 in ³ /min
Max spindle bending force :	7896.64 N	1775.24 lb
Average chip thickness:	0.2034 mm	0.008 inch
Mean torque:	369.6 Nm	3271.24 inch*lb

Plot power cutting force time variation

Plot spindle bending force vector time variation

KUVIO 23. Iscarin laskinsovellus (Machining Power n.d.)

Lastuamisnopeus ja karan pyörimisnopeus

Työstöarvojen valinta jokaiselle työkalulle alkaa lastuamisnopeuden määrittämisellä. Lastuamisnopeus on nopeus, jolla työkalu ja työstettävä kappale liikkuvat toisiinsa nähden. (Ansaharju & Maaranen 2001, 21.) Arvoihin vaikuttavat muun muassa terän raaka-aine, työstettävän kappaleen raaka-aine sekä olosuhteet, joissa työstö tapahtuu. Lastuamisnopeutta ja myös muita koneistuksen työstöarvoja valittaessa tulee ottaa huomioon kuitenkin myös muun muassa seuraavat seikat:

- Kovalle raaka-aineelle valitaan pienempi lastuamisnopeus kuin pehmeälle.
- Rouhinnassa valitaan pienemmät työstöarvot kuin viimeistelyssä.
- Tukeva ja hyväkuntoinen työstökone sallii suurempia lastuamisnopeuksia.

- Tukevasti kiinnitettyä kappaletta voidaan työstää suuremmilla lastuamisnopeuksilla.
- Jos valitaan liian suuri lastuamisnopeus, työkalun terät tylsyvät tavallista nopeammin.
- Jos valitaan liian pieni lastuamisnopeus, koneistetun pinnan laatu on usein huono.
- Millaiset laatuvaatimukset työkappaleella on? (Ansaharju & Maaranen 2001, 357–358.)

Kun sopiva lastuamisnopeus on valittu, saadaan karan pyörimisnopeus laskukaavasta

$$n = \frac{Vc \cdot 100}{\pi \cdot D_{cap}}, \quad (1)$$

missä Vc on lastuamisnopeus ja D_{cap} työkalun halkaisija tehollisessa lastuamissyvydessä (a_p) (Formulas and definitions n.d.; Milling 2010, 465). Pyörimisnopeuksien määrittämiseen voidaan käyttää myös ”nyrkkisääntöä”, joka on kovametalliterillä

$$n \left[\frac{1}{min} \right] \approx \frac{30\,000}{halkaisija [mm]} \quad (2)$$

ja pikaterästerillä

$$n \left[\frac{1}{min} \right] \approx \frac{6\,000}{halkaisija [mm]} \quad (3)$$

(Ansaharju, T. & Maaranen, K. 2001, 358–359).

Syöttö

Syöttö määrää terän nopeuden, jolla se työntyy lastuttavaan raaka-aineeseen. Porausissa ja höyläyksessä syötön arvo voidaan valita suoraan taulukoista raaka-aineen mukaan. (Ansaharju & Maaranen 2001, 26.) Jyrsinnässä pöytäsyöttö lasketaan kaavalla

$$V_f = f_z * n * z , \quad (4)$$

missä f_z on hammaskohtainen syöttö, n karan pyörimisnopeus ja z hampaiden määrä. Sisäpuolisessa nousuinterpolaatiossa V_{fm} on yhtä kuin V_f . (Formulas and definitions n.d.; Milling 2010, 465; Ansaharju & Maaranen 2001, 360.)

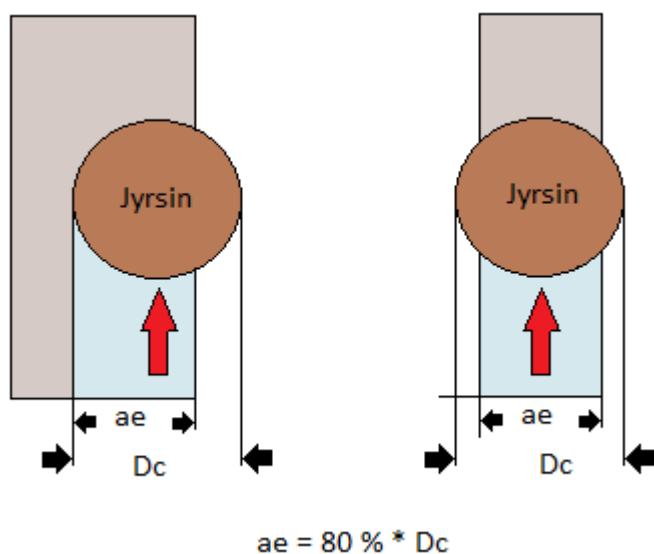
Lastuamissyvyys ja lastuamisleveys

Lastuamissyvyys on koneistamattoman pinnan ja koneistetun pinnan välinen etäisyys. Jyrsinnässä työkalun lastuavan osan leveyttä säteen suunnassa kutsutaan lastuamisleveydeksi. (The milling cutter. n.d.) Muuttujien arvoja määrittäessä on hyvä ottaa huomioon tavallisten seikkojen (ks. edellinen luettelo) lisäksi:

- työkappaleeseen jätetty työvara
- työkalun malli ja koko
- koneen koko ja teho.

Lastuamissyvyyden ja -leveyden suureiden arvot voi määrittää oman harkinnan ja kokemuksen mukaan, suositeltavaa on kuitenkin käyttää taulukoituja ohjearvoja (Ansaharju & Maaranen 2001, 362). Rokala (2013) totesi, että ohjearvoissa annetun lastuamisnopeuden maksimiarvon puolittaminen antaa optimaalisen lastuamisnopeuden arvon terien käyttöön ja lastuttavuuden kannalta (Rokala 2013).

Joissakin tapauksissa, kuten jyrsintapeissa ja nurkkajyrsimissä eli ”turboissa”, lastuamisleveys voi olla yhtä suuri kuin työkalun halkaisija. Yleisenä ohjeena on, että tasojyrsimen halkaisijan (D_c) tulisi olla vähintään 20 % suurempi kuin lastuamisleveys (a_e), kuten kuviossa 24 (Chip formation n.d).



KUVIO 24. Leikkuuleveys (Chip formation n.d, muokattu)

Huomioitavaa työstöarvoja valitessa

Työstöarvojen suuruutta porauksille määrittäessä on syytä muistaa, että syöttönopeuden (s) yksikkö on mm/kierros (Formulas and definitions n.d.; Milling 2010, 465).

Lastuamisnopeus avartimella on noin puolet ja kalvimella vastaavasti kolmasosa poraamisessa käytetystä lastuamisnopeudesta. Kierteityksessä käytetään noin neljäsosaa lastuamisnopeudesta, jota poraamiseen tarvitaan. (Ansaharju & Maaranen 2001, 96–100.) Kierteitä tehdessä on otettava huomioon, että kierretapin paluuliikkeen vauhti on sama kuin sen työntöliikkeessä, koska molemmat liikkeet joudutaan tekemään samalla syöttöliikkeellä (Kääriäinen 2013). Syöttö määräytyy kaavalla

$$s = Vf = P * n, \quad (5)$$

missä P on kierteen nousu ja n karanopeus (Formulas n.d.).

Sisäpuolisen nousuinterpolaation keskiösyöttö saadaan kaavalla

$$Vf = \frac{Vfm * (Dm - Dcap)}{Dm}, \quad (6)$$

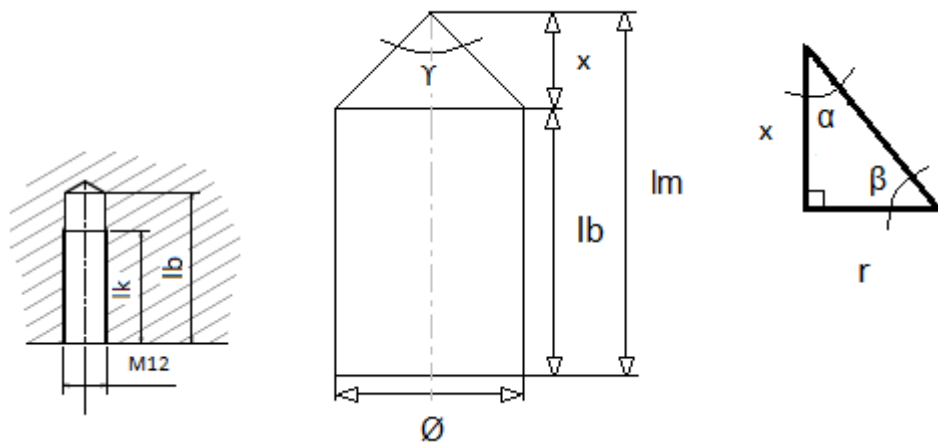
missä Vfm on kehäsyöttö, Dm koneistushalkaisija ja $Dcap$ työkalun halkaisija tehollisessa lastuamissyvydessä (ap) (Circular ramping n.d.).

Työstöarvojen suuruutta rajoittavat koneen tehot, varsinkin kulmapäällä työstettäessä. Jyrinnässä vaadittavan tehon terästä lastuttaessa voidaan laskea kaavalla

$$Pc [kW] = \frac{ae * ap * vf}{18\,000}, \quad (7)$$

missä ae on lastuamisleveys, ap lastuamissyvyys ja Vf pöytäsyöttö (Milling 2010, 465).

Yksi olennaisimmista porausten työstöarvoista on koneistuspituus (lm) (ks. kuvio 25). Työpiirustuksen leikkauskuvissa näytetään tavallisesti porauspituus ilman terän kärkikulmaa. Työstöaikoja varten pitää kuitenkin ottaa huomioon poran kärjen kulkematka (x), joka porauspituuteen (lb) lisättynä on työkalun todellinen koneistuspituus. Kierteittäessä ja avartaessa koneistuspituuteen ei tarvita kärkikulmaa, joten lm on yhtä kuin lk .



KUVIO 25. Esimerkit: vasemmalla leikkauskuva työvaiheesta, keskellä työvaiheen reiän mitat ja oikealla reiän kärkikulman korkeus

Kun terän kärkikulma (γ) on selvitetty, poran kärjen kulkema matka (x) lasketaan suorakulmaisen kolmion kaavalla

$$x = \tan \beta * r, \quad (8)$$

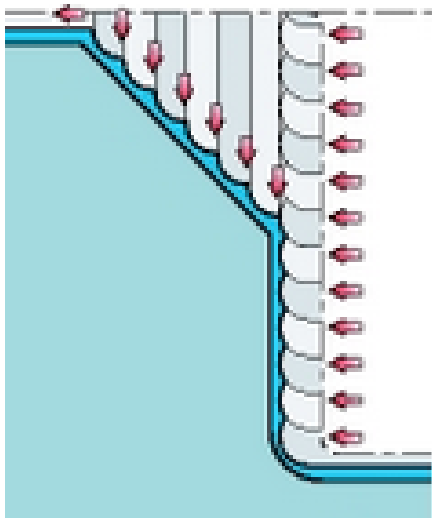
missä β on kulma-aste ja r reiän säde (Valtanen, E. 2010, 43). Kulma (α) on puolet kärkikulmasta (γ), jolloin (β) on ratkaistavissa kaavalla

$$\alpha + \beta = 90^\circ, \quad (9)$$

missä α ja β ovat kolmion kulma-asteet. Säde (r) on puolet halkaisijasta (\emptyset). (Valtanen, E. 2010, 21.)

5.6 Työvarojen määrittäminen

Lastuttavan aineen määrän voi arvioida aihion ja työpiirustuksen sekä työkalun parametrien perusteella (Application checklist n.d.). Lastujen lukumäärän tulos pyöristetään aina ylöspäin ja niiden lukumäärään vaikuttaa lastunsyvyys, lastuamisleveys ja työvarat viimeistelyä varten. Tavoitteena on ennen viimeistelyä päästä mahdollisimman lähelle lopullisia muotoja rouhinnalla/väliviimeistelyllä (ks. kuvio 26). Viimeistelyssä parhaaseen laatuun päästään, kun työkappaleessa on edellisten vaiheiden jäljiltä mahdollisimman pieni työvara. (Constant stock n.d.)



KUVIO 26. Esimerkki lastujen määrästä jyrsimellä, tummansinisellä merkitty työvarat (Constant stock n.d.)

Lastujen määrän määrittäminen vaatii usein poistettavan lastumäärän tilavuuden selvittämistä. Suorakulmaisessa kappaleessa tilavuuden kaava on

$$V = abc, \quad (10)$$

missä a, b ja c ovat sivujen pituudet. Suorakulmaisissa kolmioissa kaava on

$$A = \frac{ab}{2}, \quad (11)$$

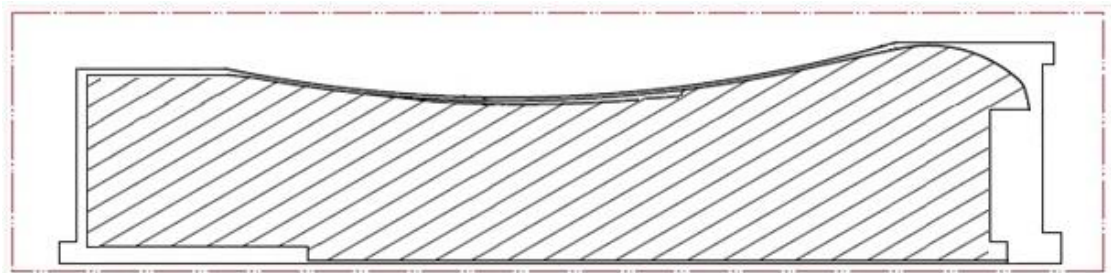
missä a ja b ovat suoran kulman viereiset sivut. Tähän voidaan käyttää apuna myös työkappaleen painoa, eli voidaan laskea aihion paino ja vähentää siitä valmiin kappaleen paino käyttämällä kaavaa:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (12)$$

missä m on paino ja V tilavuus. Jos kappale on hieman monimutkaisempi (ks. kuvio 27), pinta-alan saa selville, kun piirin tai säteen pituus leveyssuunnassa kerrotaan koneistuspituudella. Pinta-ala sijoitetaan sen jälkeen kaavaan

$$V = A * h, \quad (13)$$

missä A on pinta-ala ja h lastunsyvyys. Monimutkaisten pintojen pinta-ala selviää integroimalla. (Valtanen 2010, 20-27.)



KUVIO 27. Esimerkki työkappaleen sivuprofiilista, aihion tilavuus merkitty punaisella katkoviivalla. Huomaa yläpuolen pinta-alan monimutkainen pinta. (Auric 2013, muokattu)

5.7 Työstöaika

Työstöön menevää aikaa (T_c) laskettaessa voidaan käyttää kaavaa:

$$T_c = \frac{lm}{vf'} \quad (14)$$

missä lm on koneistuspituus ja V_f syöttö. Tuottavuutta mitattaessa käytetään lastuvirtaa (Q). Lastuvirta teräkselle eli aineenpoisto minuuttia kohti saadaan kaavalla

$$Q = \frac{ae*ap*vf}{1\ 000}, \quad (15)$$

missä ae on lastuamisleveys, ap lastuamissyvyys ja V_f pöytäsyöttö. (Formulas and definitions n.d.; Milling 2010, 465; Productivity in milling n.d.)

Reiän avarruksen (avartimella tai kalvaimella) työstöaika saadaan kaavalla

$$T_c = \frac{lm}{fn*n'} \quad (16)$$

missä lm on koneistuspituus, f_n kierrossyöttö ja n karan pyörimisnopeus (Formulas and definitions n.d.).

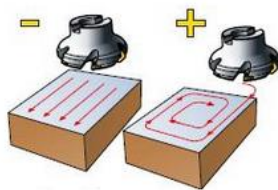
Ohjelmoinnin näkökulma

Ohjelmoijan tavoite on tehdä lastuaminen mahdollisimman tuottavaksi. Iivarinen (2013) sanoo, että työstöajan pituus riippuu paljolti ohjelmoinnin menetelmistä ja koneistustavoista. Ohjelmasta pitäisi saada turhat liikkeet ja ylimääräiset pikaliikkeet pois. Koneistuksen tuottavuuteen vaikuttaa koneen liikeratojen optimointi kaarevilla liikkeillä (ks. kuvio 28). Aina tätä ei voida kuitenkaan toteuttaa. Tällaisissa tapauksissa koneistuspituus on pidempi kuin kappaleen pituus, sillä työkalun pitää mennä työkappaleen yli lastu kerrallaan. Jyrkässä koneistuspituuden saa kaavalla

$$T_c = l + Dc, \quad (17)$$

missä Dc on työkalun halkaisija ja l lastunpituus. (General face milling n.d.; Iivarinen 2013; Hedman 2013.)

Laadi rata niin, että jyrsin lastuaa jatkuvasti



KUVIO 28. Ohjelmoinnin periaate jyrsinnässä (Keep cutter engaged n.d.)

Höylämisessä jatkuvaan lastuamiseen ei koskaan päästä sen yhdensuuntaisen lastunpoiston takia. Lisäksi koneistuspituus Kelpen (2013) mukaan on todellisuudessa pitempi kuin lastuttava kappale, sillä menetelmä edellyttää, että pöydän syöttöliike alkaa ennen kappaletta – ja päättyy reilusti kappaleen yli. (Iivarinen 2013; Kelppe 2013.)

Työstöstä aiheutuu työkappaleen lämpeneminen. Hedman (2013) toteaa, että jyrsinnässä lämpeneminen aiheuttaa muutoksia kappaleeseen, joten lämmöntuonti olisi hyvä saada kuriin. Merkitsevin työstöajan muuttuja on lastuamissyvyys, jonka optimoinnilla voidaan vähentää työstöön kuluva aikaa. Jyrsintä pitäisi suorittaa ”kevyesti ja nopeasti”. (Hedman 2013; Productivity in milling n.d.)

6 TALOUDELLISUUSTARKASTELU

6.1 Investointi

Kun yritys hankkii koneita ja kalustoa tai huoltaa niitä, se investoi. Huoltotoimenpiteenä voi olla vaikkapa parantava kunnossapito, jonka tarkoituksena on parantaa kohteen turvallisuutta, luotettavuutta tai kunnossapidettävyyttä muuttamatta kohteen toimintoa (PSK 6201, 2011, 23). Tällaisia toimenpiteitä varten pitää kuitenkin selvittää, onko investointi kannattavaa.

6.2 Investointilaskelma

Jokainen yritys pyrkii kannattavaan toimintaan ja tuottamaan voittoa. Yrityksen toiminnan kannattavuus riippuu kustannusten ja tuottojen määrästä. Jos tuotot ovat suuremmat kuin kustannukset, toiminta on kannattavaa. (Tomperi 2010, 8.)

Investoinnin kannattavuutta varten täytyy tehdä investointilaskelmia. Näiden laskelmien tarkoitus on osoittaa, mikä investointi tai investointivaihtoehto kannattaa toteuttaa. (Investment proposal 2013.) Investointilaskelmia varten on hyvä ottaa selvää, onko yrityksellä alennussopimuksia sen yhteiskumppaneiden, kuten Rautpohjalta esimerkiksi on työkalutoimittajien kanssa (Tolmunen 2013).

Yksi investointien laskentamenetelmistä on takaisinmaksuajan menetelmä (Eklund & Kekkonen 2011, 120). Takaisinmaksuaika kertoo ajan, jonka kuluessa investointi maksaa itsensä takaisin. Takaisinmaksuaika ilmaistaan aina vuosina, ja siihen vaikut-

taa tuotannon vuotuinen volyymi, joka perustuu edellisten vuosien valmistusmääriin. Takaisinmaksuajan kaava on

$$Takaisinmaksuaika = \frac{\text{Investoinnin hankintameno}}{\text{Vuotuinen nettotuotto}} \quad (18)$$

(Investment proposal 2013.)

6.3 Kustannusten tekijät

Valmistustoiminnassa kustannuksia aiheutuu raaka-aineiden hankkimisesta, työntekijöiden palkasta ja muista henkilöstömenoista, toimitilojen vuokrista sekä koneiden käyttämisestä (Tomperi 2010, 9; Tolmunen 2013).

Työkustannukset saadaan laskettua kaavalla

$$Työkustannukset = \text{Työaika} * \text{Tuntikustannukset} \quad (19)$$

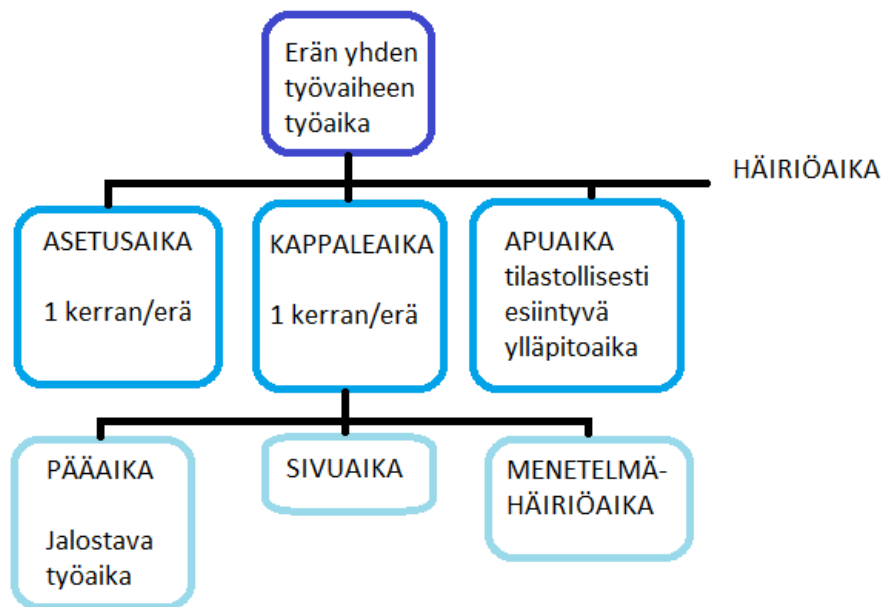
(Lapinleimu ym. 1997, 70; Tolmunen 2013). Tuntikustannusten suuruus selvitetään kaavalla

$$Tuntikustannukset = \frac{\text{Koneen vuotuisat kustannukset}}{\text{Käyttötuntimäärä}} \quad (20)$$

(Pöytry, Kettunen & Kilponen 2004, 14).

Työstökoneen käyttäjän lisäksi samassa vuorossa olevan apumiehen tuntikustannusta laskiessa on kohdistettava osakustannukset kuten palkat, koneen sähkönkulutus ja koneen lattiavuokrat pelkästään apumiehen osalta (Lapinleimu ym. 1997, 65). Esimerkiksi Tolmuseen (2013) mukaan HMC4:n tuntikustannus on xxx €/h, ja apumiehen tuntihinnaksi on laskettu xx €/h (Tolmunen 2013).

Kuten jo edellä mainittiin, työkustannuslaskelmaan tarvitaan työajan arvo. Työaika erän yhdelle työvaiheelle jakaantuu asetusajaan, kappaleajaan ja apuajaan (ks kuvio 29). Lisäksi on häiriöaikaa, joka käsittää odottamattomat häiriöt ja keskeytykset tuotannossa, kuten työkalujen huollot ja sähkökatkokset. (Kellokallen ABC 2009; Lapinleimu ym. 1997, 49–52.)



KUVIO 29. Työajan jakautuminen (Lapinleimu ym. 1997, 50)

Asetusaika

Työstöä varten tarvittaviin valmisteluihin kuluva aika kutsutaan asetusajaksi (Kellokallen ABC 2009).

Kappaleaika

Kappaleajan muuttujat ovat pääaika, sivuaika ja menetelmähäiriöaika, eli menetelmään sidotut häiriöt, joita voidaan tuotantoa tehdessä seurata (Lapinleimu ym. 1997, 49–52).

Pääaika (työstöaika)

Pääaika on työsuorituksen jalostava vaihe, esimerkiksi kappaleen lastuaminen sorvillä (Kellokallen ABC 2009). Periaatteena on, että aina kun kone lastuaa, se tuottaa. Jos asettaja pystyy tekemään asetukset toiseen pöytään työstön ollessa käynnissä ensimmäisellä pöydällä, pääaika saadaan optimoitua. (Tolmunen 2013.)

Sivuaika

Työtä ei voida tehdä ilman sivuaikaa. Sivuaikaan sisältyy:

- työkappaleen tuominen koneelle ja kiinnitys
- työkalujen vaihdot
- koneen paikoitusliikkeet
- mittaukset
- työkappaleen irrotus ja siirto pois koneelta. (Lapinleimu ym. 1997, 49–52.)

Apuaika

Varsinaisen tekemisajan ulkopuolella olevasta ajasta käytetään käsitettä apuaika. Tällä tarkoitetaan tapahtumia, joihin ei voida vaikuttaa, kuten terien kulumisesta johtuvaa pää- ja sivuajan menetystä. Tolmunen (2013) kertoo, että apuaikaan sisältyy myös henkilökohtainen apuaika; työaikalain mukaiset tauot, erikoiset mittaukset sekä elpymisajat ynnä muut inhimilliset tekijät. (Kellokallen ABC 2009; Tolmunen 2013.)

Tolmunen (2013) kertoo, että konepajoissa käytetään konekohtaista apuaikakerrointa, joka helpottaa työaikojen määrittämistä. Kertomalla päätunnit apuaikakerroimella saadaan todelliset pää- ja sivuajat. Apuaikakerroin johdetaan koneen käyttöhistorias- ta. (Tolmunen 2013.)

Huomioitavaa kustannusten tekijöitä määrittäessä

Nykyaikana työajat voi saada suoraan työkappaleelle tehdyn ohjelman simuloinnilla. Simulointi on oiva työkalu, sillä se laskee työstöajan lisäksi työkalunvaihdot, pikaliik- keet ja paikannukset ynnä muut muuttujat. (Hedman 2013.)

Valmistuskustannuksiin vaikuttaa asiat, joita ei aina oteta huomioon. Näitä ovat muun muassa suunnittelun ja ohjelmoinnin kustannukset. Metson Paper Oy:n tapana on nykyisin lisätä valmistushintaan vain ohjelmoinnista koituvat kustannukset. Työkappaleiden hintaan sisältyy näin ollen aina suunnittelun kustannukset. (Tolmunen 2013.)

7 LÄHTÖTILANNE

SymBelt-telan puristinkengät on aikaisemmin valmistettu alihankkijoilla. Toimeksiantaja on ollut tyytymätön nykyiseen tilanteeseen, jonka takia tutkimustyö on ollut tarpeellista. Ongelmat nykyisessä toimintatavassa ovat muun muassa:

- **vaihteleva toimitusvarmuus** (toimitusten myöhästely)
- **kallis hankintahinta** (työtunnit – ja sitä myötä myös työkustannukset vaikuttavat yllättävän suurilta)
- **hidas reagointi** projekteissa ja ongelmatilanteissa (asiantuntijoita ja vastuuhenkilöitä vaikea tavoittaa)
- **tekniset ratkaisut korjauksissa** (esimerkiksi työpiirustuksia ynnä muita tarvittavia tietoja ei ole saatu ajoissa)
- **epäselvä kustannusvastuu korjaustilanteissa** (jos vikoja on ilmennyt, alihankkijat ovat ensisijaisesti syyttäneet esimerkiksi virheellistä kokoonpanoa tai asennuksia, vaikka ne olisi tehty ohjeiden mukaisesti). (Karttunen 2013.)

Osaksi edellä mainittujen syiden vuoksi puristinkengien kokoonpano on siirretty Rautpohjaan ja niiden muutos- ja korjaustöitä on tehty Rautpohjassa HÖ6:lla. Valmistukseen käytettävissä olevat työstökoneet ovat koneistuskeskus HMC4 ja höylä HÖ6;

höylällä olisi mahdollista viimeistellä puristinkengän yläpuolen aaltomainen pinta. (Tolmunen 2013.)

8 TOTEUTUSTAPA

8.1 Tiedonhaku

Ensimmäisenä päätin tutustua valmistettavaan tuotteeseen perin pohjin työpiirustusten tarkkailulla. Rautpohjassa sijaitseva SymBelt-telojen kokoonpano mahdollisti puristinkengän tarkastelun ja alihankkijoiden käyttämien työstömenetelmien tarkkailun. Kokoonpanijoilta sain paljon käytännön tietoa, ja kun suunnittelijat kertoivat omat näkökulmansa, pystyin miettimään valmistuksen kannalta tärkeimpiä seikkoja. Koneistajilta ja työnjohdolta sain puolestaan valmistustekniset näkemykset. Kun edellisiin tietolähteisiin lisää vielä terävalmistajan edustajan ja ohjelmoijien haastattelut, sain kokonaiskuvan monesta erilaisesta näkökulmasta.

Työkappaleen valmistuksen näkeminen olisi ollut hyödyllinen keino tutustua alihankkijoiden käytettävissä oleviin menetelmiin ja työkaluihin. Samoja menetelmiä olisi voinut sitten käyttää ja kehittää Rautpohjan konekannan mukaiseksi. Alihankkijoiden konepajoilla vierailu ei kuitenkaan ollut mahdollista, sillä he eivät halunneet luovuttaa osaamistaan muille.

Tietolähteitä miettiessä kartoitin ensin, mitä tietoja tavoitteisiin pääsemiseksi tarvitaan ja sen jälkeen mitä kautta ne löytyvät. Hain tietoa systemaattisesti eri lähteistä kuten standardeista, sillä sieltä saa hyvin tarkkaa ja ajankohtaista tietoa. Etsin myös aiempia tutkimustöitä, jotka liittyvät kyseessä olevaan ilmiöön.

8.2 Valmistusmenetelmän suunnittelu ja valmistuskustannuksien määrittäminen

Valmistusmenetelmän suunnittelu alkoi työpiirustukseen ja työkappaleeseen tutustumalla. Työpiirustuksista selvisi, että alihankkijat käyttivät kierrereikiä (jigiä varten) ja kiinnitysuraa kiinnitysapuna. Työpiirustuksen mukaan kappale on kiinnitetty aiemmin vaakatasoon ja työvaiheet oli jaettu kolmeen vaiheeseen: 1) yläpuolen rouhinta, 2) alapuolen rouhinta ja viimeistely sekä 3) yläpuolen viimeistely. Näitä menetelmiä olisi voinut halutessaan käyttää tai kehittää. Tavoite oli kuitenkin löytää tehokkain valmistusmenetelmä, joten valmistusta jouduttiin pohtimaan monelta eri kantilta. Varmaa kuitenkin oli, että työpiirustuksessa vaadittava päätyjen jälkikäsitely olisi joka tapauksessa pakollinen työvaihe.

Ennen varsinaista tutkimustyön aloitusta päätettiin, että valitaan työstöarvot tehokaimman lastun poiston kannalta. Jos työstökoneella ei syystä tai toisesta näihin pysyttäisi, pitäisi keksiä keinot, joilla tavoitteisiin päästään.

Koska työkappaleiden pituudet vaihtelevat projektien mukaan (ks. luku 3.5), päätettiin laskea työstöaika ja sen myötä myös valmistuskustannukset ja investointilaskelmat Excel-ohjelman avulla. Valmistukseen menevää aikaa laskettiin erikseen puristinkengän keskiosalle metrin matkalta ja päätettiin käsitellä päädyt kiinteinä kustannuksina. Tällä keinolla keskiosan pituuden voisi jatkossa muuttaa projektin mukaisesti ja lisätä siihen päätyjen valmistukseen menevä aika eli kiinteät kustannukset. Esimerkkilaskuihin valittiin 7290 mm pitkä puristinkenkä, jonka nykyinen hankintahinta löydettiin Rautpohjan toiminnanohjausjärjestelmästä.

Raaka-aine

Käytettyjen raaka-aineiden eroja vertailtiin standardeista keskittymällä ensisijaisesti niiden lastuttavuusominaisuuksiin (ks. kuvio 22). Raaka-aineiden hintoja alettiin etsiä taulukoista ja samalla yritettiin selvittää, olisiko Rautpohjalla sopimus raaka-aineen

toimittajan kanssa, jolla saisi alennusta materiaaleista. Tällaista sopimusta ei kuitenkaan ollut minkään tahon kanssa, joten terästen hinnat täytyi etsiä Internetistä.

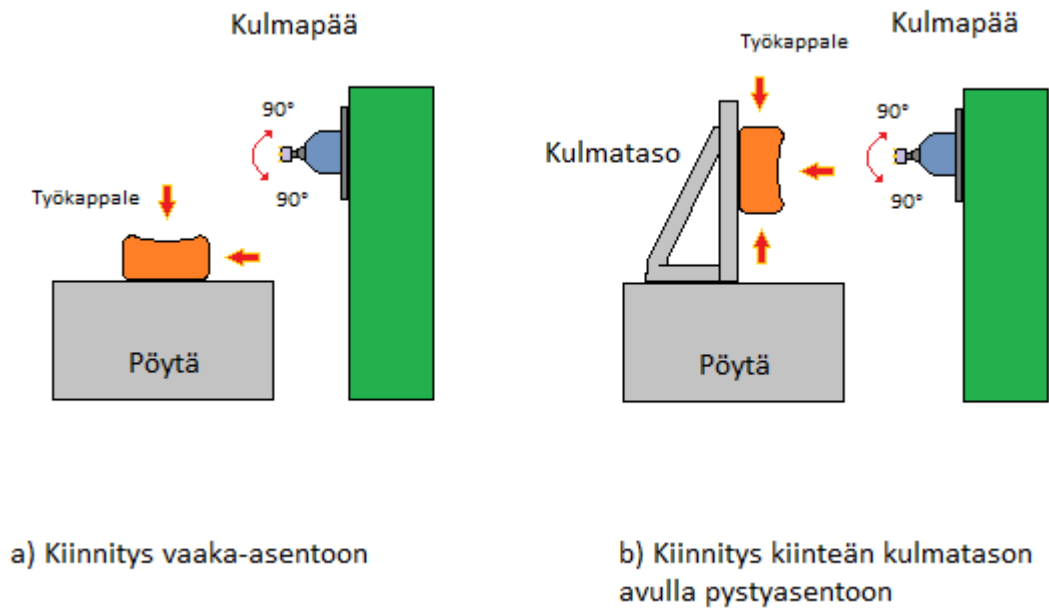
Nykyisten hintojen mukaan rakenneteräs S355JR on hieman kalliimpi kuin S235JR (Nordic steel price 2012). Kuten luvussa 5.2 todettiin, kovempi (ja usein kalliimpi) raaka-aine saattaa vähentää työstöaikaa ja nostaa samalla tuotannon tehokkuutta tehden siitä todellisuudessa edullisemman vaihtoehdon. Tällöin kannattaa valita käyttötarkoitukseen sopivampi raaka-aine, tässä tilanteessa siis raaka-aine, jolla päästään helpommin pinnankarheustoleranssien vaatimuksiin. Raaka-aineeksi valittiin näin ollen S355JR, jolla on terässtandardien mukaan suurempi hiilipitoisuus (Valtanen 2010).

Kiinnitys

Työkappaleen yläpuolen aaltomainen muoto, päätyjen melkein pallomainen viiste sekä poteroiden kulmittainen muotojyrsintä ja poraukset tekivät selväksi, että puristinkengän valmistuksessa tarvitaan kulmapäätä. Teoriaosiossa kävi ilmi, että puristinkengän suoruus vaikuttaa nipin ominaisuuksiin ja sitä kautta paperirainan laatuun (ks. luvut 3.4 ja 3.5). Tämän vuoksi ylä- ja alapuolien pinnat pitäisi saada mieluiten kerralla koneistetuiksi, jolloin työkappaleesta tulisi heitoton toisiin pintoihin nähden eikä mittatarkkuus kärsisi. Oli siis tutkittava, voidaanko kiinnityksillä vaikuttaa kappaleen valmistukseen ja vaadittaviin suoruustoleransseihin. Tästä seurauksena alettiin selvittää työkappaleen kiinnitystapaa, jolla pystytään koneistamaan mahdollisimman monta pintaa yhdellä asetuksella. Tämä vaikuttaisi myös siihen, montako kertaa kappale täytyisi kääntää. Kääntöjen minimointi säästäisi aikaa ja toisi lisää tehokkuutta (ks. luku 5.1). Tiedossa oli, ettei käännöiltä voisi välttyä, koska niitä tarvitaan työkappaleen vääntyilemisen ehkäisemiseksi.

Näytti siltä, että jos työkappaleen kiinnittää samalla tavalla kuin työpiirustuksessa oli näytetty, kulmapäällä pystyttäisiin koneistamaan vain kahta pintaa päätyjen lisäksi. Tähän tulokseen tultiin, koska kulmapää ei mene takakulmalle eli yli 90 asteen kulmaan, kuten kuviossa 30 on esitetty (Iivarinen 2013). Myös työkalujen pituuden riittämättömyyden kanssa tulisi tämän takia ongelmia (Hedman 2013). Kiinnitys kiinte-

ään kulmatasoon taas toisi mahdollisuuden koneistaa kolmea pintaa ja päätyjä, jolloin ylä- ja alapuolien pinnat voitaisiin koneistaa yhdellä asetuksella. Koska yläpuolen aaltomainen pinta on koneistettava yhdellä kertaa, valittiin kiinnitys pystyasentoon kuvion 30 mukaisesti.



KUVIO 30. Kulmapään liikkuvuus ja kiinnityksen vaikutus siihen, mitä työkappaleen pintoja voidaan koneistaa (Hedman 2013, Iivarinen 2013)

Työkalut

Ennen varsinaista työjärjestyksen suunnittelua valittiin sopivat työkalut eri työvaiheille. Työkalujen valinnassa auttoivat höylällä ja HMC4:llä työskentelevät koneistajat, jotta jokaisessa työvaiheessa olisi käytössä aina optimaalinen työkalu. Työkalukuvas-toista löydettiin laskuja varten tarvittavat tiedot työkaluista ja teristä.

HMC4:n laajasta työkaluvalikoimasta yritettiin etsiä ensisijaisesti sopivimmat työkalut jokaiseen käyttökohteeseen. Työkalujen ensisijaisena kriteereinä olivat muun muassa tuottavuus, kestävyys ja viimeistelyominaisuudet. Jos sopivaa työkalua ei löytynyt,

piti sellainen etsiä työkaluvalmistajien kuvastosta mahdollista investointia varten. Työkaluja etsittiin pääasiassa Metso Paper Oy:n yhteiskumppaneiden kuvastoista alennussopimuksien vuoksi (ks. luku 6.2). Erikoistyökalujen tiedot saatiin Iscarin edustajalta.

Työstöarvot ja työvarat

Työkalujen valinnan jälkeen alkoi työstöarvojen hahmottaminen. Ensimmäisenä etsittiin lastuamisnopeus taulukoista, kuten luvussa 5.5 on todettu. Taulukoita löytyi teräpalarasioista, koneistusta käsittelevistä kirjoista sekä työkaluvalmistajien kuvastoista.

Lastuamisnopeutena toteutettiin Rokalan (2013) antamaa neuvoa puolittaa maksimi-lastuamisnopeus (Rokala 2013). Lastuamisarvon ja työkalun parametrien perusteella voitiin määrittää muita työstöarvoja. Ne laskettiin koneistuksen peruskaavoilla (ks. luku 5.5) tai otettiin ohjearvot taulukoista. Työvaroiksi valittiin 1,5 mm väliviimeistelylle riippumatta työvaiheesta. Viimeistelyyn tarvittavaksi työvaraksi määritettiin 0,5 mm. Tämä katsottiin riittäväksi, jotta pinnankarheuden toleransseihin päästään.

Työstöarvoja varten kokeiltiin vertailun vuoksi myös useita työkaluvalmistajien tarjoamia laskinsovelluksia, joiden avulla laskutoimituksia saatiin nopeutettua ja varmennettua. Käytettävyydeltään parhaaksi työstön laskinsovellukseksi soveltui Iscarin sovellus (ks. kuvio 23), sillä muut ohjelmat olivat hieman vaikeita materiaalin valinnan kannalta. Esimerkiksi Sandvikin laskin antoi vain leikkuusuositukset eikä sallinut muokata muun muassa karanopeutta. Secon työkalusovellus (ks. kuvio 20) antoi työkalulle syöttöarvon halutun pinnankarheuden mukaan, joten sitä käytettiin hyväksi. Lopulta kaikki arvot laitettiin Exceliin työvaiheen työajan laskemista varten (ks. kuvio 31). Kuviossa 31 näkyy esimerkki työstöarvoista, jotka löytyivät työkalukuvastosta. Karan pyörimisnopeudet laskettiin kaavalla 1 ja pöytäsyötöt kaavalla 4 jokaisessa työvaiheessa paitsi kalvauksissa ja avarruksissa, joissa käytettiin pyörimisnopeuden kaavoja 2 ja 3. Laskelmat näkyvät liitteissä 1–21 yksityiskohtineen.

Teräpala	Pokolm RFMX 06 20 843 (P 40, PVML coated)		
Työkalun halkaisija (Dc)	100	mm	
Teräpalan halkaisija (ic)	20	mm	
Tehollisten hampaiden lukumäärä (zn)	6	kpl	
Koneistettava materiaali	S355JR		
Lastuamisleveys (ae)	80	mm	
Valittu lastuamissyvyys (ap)	5	mm	
Valittu lastuamisnopeus (vc)	175	m/min	
Valittu syöttö/hammas (fz)	0,4	mm	
Karan pyörimisnopeus (n)	557,0	rpm	
Pöytäsyöttö (vf)	1336,9	mm/min	
Lastuvirta (Q)	534,8	cm³/min	

KUVIO 31. Työstöarvot, työkaluna Pokolmin tasojyrsin. Lastuamisleveys on 80 % työkalun halkaisijasta.

Työstöaika

Valmistuskustannuksiin vaikuttaa olennaisesti työstöaika, jonka määrittämiseksi tarvittiin edellä mainittujen arvojen lisäksi poistettavien lastujen määrän laskemista (ks. luku 6.3). Tätä varten piti kuitenkin selvittää, kuinka paljon lastua poistetaan ennen väliviimeistelyä ja viimeistelyä. Lastujen määrän laskeminen alkoi työvarojen summittaisella arvioinnilla siitä, kuinka paljon voi rouhia kappaleen pinnasta (ks. kuvio 26). Tavoite oli päästä haluttuun pinnankarheuteen ja mittatarkkuuteen mahdollisimman tehokkaasti luvun 5.7 mukaan. Havaittiin, että yksinkertaisemmissa työvaiheissa lastujen määrät voitaisiin määrittää esimerkiksi jakamalla työpiirustuksista saadut työvaiheiden mitat työkalun lastuamislevydellä (ks. liite 1). Lastujen määrän määrittämiseen käytettiin kaavoja 10–13. Kuten luvussa 5.6 on todettu, lastujen lukumäärän tulos pyöristettiin aina ylöspäin.

Aiempien tutkimusten laskukaavoja tutkimalla tuli mieleen, että työstöajan voisi laskea koneistuspituuteen nojaavan yhtälön (kaava 14) ohella toisellakin tapaa: lastuvir-

ran avulla (Haapala 2008, 8-10). Kaavan voi johtaa lukujen 5.6 ja 5.7 kaavoista. Kaava sai muodon

$$T_c = \frac{V}{Q} \quad (21)$$

eli työstettävän lastumäärän tilavuus (V) jaettuna lastuvirralla (Q). Tätä tapaa varten pitää selvittää työvaiheen aihion tilavuus ja vähentää siitä valmiin (koneistetun) pinnan tilavuus. Käytännössä siis lasketaan ensin rouhinnassa poistettava lastumäärän tilavuus, joka on valmiin kappaleen pinta lisättynä työvaroilla, ja sitten pelkän työvaran tilavuus väliviimeistelyä ja viimeistelyä varten. Tilavuuden laskemiseksi käytettiin hyväksi luvun 5.6 mukaisia työpiirustuksesta saatavia parametreja (paino, tiheys, mitat). Monimutkaiset työvaiheet ajateltiin ratkaista integraalin avulla, mutta sitten huomattiin, että Catia-suunnitteluohjelman avulla saisi pinta-alan huomattavasti helpommin selville.

Näytti siltä, että lastuvirran avulla voi laskea tiettyjä työvaiheita tarkemmin. Esimerkkinä urien jyrsinät ja poteroiden kaivamiset kappaleen sisälle jyrshintapeilla, sillä niissä työkalu ei tule kappaleen ulkopuolelle lastujen välissä, vaan raaka-ainetta pyritään poistamaan jatkuvalla syötöllä optimoimalla jyrsimen liikerata (Keep cutter engaged n.d.). Muissa työvaiheissa taas pitäisi ottaa huomioon työkalun kulkema matka, jonka se tekee ylittäessään kappaleen (kaava 17). Joissakin työvaiheissa, kuten kierteiden teossa poistettavan lastumäärän tilavuutta on vaikea määrittää, sillä raaka-ainetta poistetaan niin vähän. Tämän takia kierteiden työaikojen määrittämisessä käytettiin kaavaa 14. Myös poraukset on helpompi laskea koneistuspuuden kaavalla 14, kun niiden lieriön ja kärjen osalta ei tarvitse määrittää erikseen tilavuutta. Laskutapa piti täten valita työvaiheen mukaan.

Luvussa 6.3 kerrotaan valmistusajasta ja sen muuttujista. Valmistusaikaa varten työaikoihin liittyvät sivuajat, asetajat, työkalun vaihto-aika, paikoitus-aika, kulmapään vaihto-aika ja jälkikäsitteilyihin menevät ajat kysyttiin suoraan koneistajilta. Kun kappaleaika kerrottiin apuaikakertoimella, saatiin tulokseksi valmistusaika (ks. kuvio 29).

Työjärjestys

Työjärjestys selkeytyi työkalujen valintojen jälkeen, sillä niistä selvisivät kaikki työvaiheet. Kun työvaiheet sai jaoteltua rouhintaan, väliviimeistelyyn ja viimeistelyyn, oli helpompi nähdä koneistuksen osalta kokonaisuus. Tässä vaiheessa ruvettiin miettimään, kummalla työstökoneella saataisiin tehokkaammin viimeistelyä puristinkengän yläpuoli, jolla on todella korkeat pinnankarheustoleranssivaatimukset. Ongelmaa alettiin pohtia listaamalla molempien menetelmien edut ja haitat. Etujen ja haittojen listauksen jälkeen näytti kuitenkin siltä, että puristinkengän yläpuolen aaltomaisen pinnan viimeistely onnistuisi molemmilla työstökoneilla. Koska tavoitteena oli löytää tehokkain valmistusmenetelmä, ongelman perusteellisin ja luotettavin ratkaisutapa oli jyrinnän ja höyläämisen työstöaikojen vertailu. Opinnäytetyön edetessä kävi ilmi, ettei höylällä päästä suoraan laatuvaatimuksiin, joten sen jälkeen tarvitaan jälkikäsitely. Näin ollen jälkikäsitely otettiin mukaan höyläämisen työstöaikojen laskelmiin.

Työjärjestystä varten annettiin jokaiselle työvaiheelle niitä kuvaavat nimet (ks. kuvio 32). Työstö päätettiin aloittaa päädyn rouhinnalla, sillä sitä tehdessä voidaan määrittää työkappaleen nollapiste. Työjärjestys pyrittiin tekemään niin, ettei kappale alkaisi vääntelehtiä, kuten 5.1 luvussa todettiin. Rouhintavaiheista edettiin väliviimeistelyihin ja viimeistelyihin, jotta mittatarkkuus ja laatu eivät kärsisi (ks. luku 5.5). Työvaiheiden laskutoimitukset löytyvät liitteistä 1-21, joissa on selitetty laskujen yksityiskohdat.

TYÖJÄRJESTYS JA AJAT			
			TYÖVAIHE
YLÄPUOLI VAROILLE		Asetus	
		Päätyjen rouhinta	
		Karkea rouhinta	
		Ura kiinnitystä varten	
		Kääntö	
ALAPUOLI VALMIIKSI		Päätyjen olakkeet	
		Iso potero	
		Pieni ura	
		Sokkelipotero	
		Poraukset	
		Kierteittäminen	
		Kalvaukset, väljennykset ja interpolaatio	
		Kääntö	
		Kellotus	
YLÄPUOLEN VIIMEISTELY		Yläpuolen suorat osat	
		Öljytasku	
		Pyöritys	
		Päätyjen viisteet	
		Öljynsyöttöura	
MUUT		Työkalun vaihto aika	
		Paikoitus aika	
		Kulmapään vaihto aika	
JÄLKIKÄSITTELY		Käsinhionta	

KUVIO 32. Työjärjestys

Investointilaskelmat

Investointikohteita kirjattiin muistiin heti, kun niiden tarve ilmeni. Luvun 6.3 mukaiset investointilaskelmat tehtiin vertaamalla alihankkijoiden kokonaiskustannuksia eli hankintahintaa Rautpohjan valmistuskustannuksiin. Takaisinmaksuajan laskemiseen tarvittiin puristinkenkien volyymit, jotka löydettiin Metson sisäisistä ostokannoista. Metson toimihenkilöiden mukaan Metso Paper Oy:n käytäntönä on, että investointi katsotaan yleisesti kannattavaksi, jos takaisinmaksu aika on alle 2 vuotta (Investment proposal 2013).

Opinnäytetyön edetessä ilmeni, että HMC4:n karalaakereiden heikon kunnon vuoksi kara kuumenee jo 12 minuutin jälkeen, jonka seurauksena sitä on jäähdyteltävä. Ny-

kyisellä kunnolla pystytään työstämään vain 600 rpm:llä tunti kerrallaan. Edellä mainitut seikat tarkoittavat kunnossapidon standardien mukaan, että koneistuskeskus HMC 4 karalaakereiden heikon kunnan takia koneen nopeus ja käytettävyys ovat laskeneet. Siitä johtuen myös laatuvaatimukseen pääseminen on hankaloitunut. Jos koneen häiriöt poistetaan ja palautetaan kone alkuperäistä vastaavaan kuntoon, koneistehokkuus saadaan entiselle tasolle. (PSK 6201, 2011, 4, 5, 23.) Koska tehokain puristinkengän valmistusmenetelmä vaatii ajoittain jatkuvaa työstöä yli 600 rpm:llä, koneen kara täytyy kunnostaa. Remontin kustannusarvio saatiin kunnossapidon vastuuhenkilöltä ja se merkittiin investointeihin.

9 TULOSTEN TARKASTELU

Koneistuksen kannattavuus

Koneistuksen kannattavuus riippuu kustannusten ja tuottojen suhteesta. Kannattavuus todennetaan laskuilla. Tulosten perusteella 7290 mm pitkän Symbelt-telan puristinkengän tehokain valmistusmenetelmä kustantaa Rautpohjassa xx xxx €, joten valmistus on 33 % halvempaa Rautpohjassa kuin käyttämällä alihankkijoita (ks. liite 20). Lähtötilanteen ongelmiin vedoten tästä hyötynä ovat:

- vuosittainen kustannussäästö puristinkenkien valmistuksessa
- toimitusvarmuuden paraneminen
- läpimenoaikojen huomattava lyheneminen
- puristinkenkien korjaus- ja muutostyöt samassa paikassa.

Koska puristinkengän päädyt käsiteltiin kiinteinä kustannuksina ja keskiosa muuttuvana, esimerkikappale (tässä 7290 mm pitkä puristinkenkä) olisi voinut olla minkä mittainen tahansa, kunhan sen hankintahinta tiedetään. Kun tulosten yhteydessä tarkasteltiin eripituisten puristinkenkien valmistuskustannuksia, huomattiin lyhyem-

pien kappaleiden olevan kuitenkin metrinhinnaltaan suurempia kuin pitempien. Asiaa tutkimalla selvisi, että metrihintojen muutos selittyy kiinteiden kustannuksien osuuden kasvamisella muuttuviin kustannuksiin nähden. Sama ero huomattiin myös alihankkijoiden hinnoittelussa. Johtopäätöksenä puristinkenkien koneistuksen kannattavuus on siis puristinkenkien pituudesta riippumaton.

Tulosten luotettavuutta arvioidessa on otettava huomioon, että koneistuksen kokonaiskustannuksien määrittämisessä lopullisiin tuloksiin vaikuttavat ensisijaisesti työstöarvojen valinnat ja työstöajan laskutavat. Työstöarvojen laskuissa on monta muuttujaa, joiden osalta voi tulla myös virheitä. Luotettavuuden takia kaikki opinnäytetyössä tehdyt työstöön liittyvät laskutoimitukset on varmistettu Iscarin laskinsovelluksella. Luotettavuutta laskuille lisäsi myös, kun HMC4:llä työskentelevien koneistajien arvioita työstöajoista kysyttiin tietyille työvaiheille, kuten päätyjen rouhintaan ja kierteiden tekoon: laskuja etukäteen paljastamatta vastaukseksi oli saatu lähes samat tulokset. HMC4:llä työskentelevien koneistajien mielestä lopullinen puristinkengän kappaleaika on todentuntuinen ja hyvinkin mahdollinen.

Merkittävin kappaleajan muuttuja tässä yhteydessä on ohjelmointitapa. Ohjelmoinnilla pystytään lisäämään merkittävästi koneistuksen tuottavuutta, jolloin työstöaika lyhenee. Tulosten pohjalta ensisijaiseksi jatkotoimenpiteeksi suosittelin lyhyen (esimerkiksi 1 m) palan aihion tilausta, jonka avulla voidaan testata ohjelmointitapoja ja työmenetelmiä sekä todeta päästäänkö pinnankarheustoleranssiin. Samalla voidaan tehdä myös alustavia työstöajan kellotuksia. Toimeksiantaja totesi menetelmän hyväksi ja aikoo käyttää sitä tarpeen vaatiessa eli jos puristinkenkien tuotanto päätetään siirtää Rautpohjaan.

Tehokain menetelmä valmistaa puristinkenkä

Symbelt-telan puristinkenkien koneistukseen vaaditaan vähintäänkin jyrshintää ja poraamista, vaihtoehtoisena ratkaisuna on myös höylääminen. Jyrshinnän ja höyläämisen työstöaikojen vertailun johtopäätöksenä voidaan kuitenkin todeta, että Rautpohjassa tehokain tapa valmistaa puristinkenkä on koneistaa se kokonaan HMC4:llä.

Tehokkain valmistusmenetelmä löytyy kokonaisuudessaan liitteestä 20. Valmistusmenetelmän työjärjestystä voidaan käyttää ohjelmoinnin apuna.

Jos höylään hankkisi hiontalaitteen, tilanne saattaisi olla toisenlainen: hiomalaikalla päästään todella vaativiin pinnankarheustoleransseihin, jolloin jälkikäsittelyä ei tarvita ja höylääminen voisi osoittautua tehokkaammaksi menetelmäksi viimeistellä puristinkengän yläpuoli.

Valmistusta edellyttävät investoinnit

Investointiin kuuluu niin koneen huolto kuin varaosien ostokin. Investointi perustuu usein tarpeeseen ja koska selvityksen perusteella HMC4:llä ei tarvittavia työkaluja puristinkengän valmistukseen ollut, pitää niihin investoida. Tehokkain valmistusmenetelmä edellyttää myös muita investointeja (ks. liite 21). Muut investoinnit ja niiden perustelut:

- 5-akselinen ohjaus tarvitaan päätyjen tekoon, sillä puristinkengän päätyjen viisteitä ei voida koneistaa ilman sitä.
- Jigin hankinta kannattaa, koska sillä saadaan nopeutettua työstöä.
- Työstöarvot olivat monessa työvaiheessa yli 600 rpm jatkuvaa työstöä. Tehokkain puristinkengän valmistustapa vaatii kararemontin, joka mahdollistaa 800 rpm ilman aikarajoitusta. Kararemontin yksityiskohdat löytyvät liitteestä 21.

Jigin hankkiminen ei ole pakollista, mutta sen hyötyinä tuottavuuden lisäksi on työturvallisuus ja tuotteiden tasalaatuisuus. Selvityksen perusteella toimeksiantaja aikoo käyttää jigiä.

Investointilaskelmat

Takaisinmaksuaikaa verrattiin Rautpohjan käytäntöön mitata investoinnin kannattavuutta. Investointilaskelmien perusteella Symbelt-telan puristinkenkien tuotannon siirto Rautpohjaan olisi Metson käytäntöjen perusteella kannattavaa, sillä takaisin-

maksuaika on alle 2 vuotta. Tämän toimeksiantaja liittää investointiehdotukseensa ja lopullinen päätös tuotannon siirrosta Rautpohjaan jää yrityksen johtoryhmälle.

Välituloksia

Raaka-aineen ja kiinnitysten valinnat ovat hyvin perusteltuja. Opinnäytetyön yhtenä merkittävämpänä välituloksena huomattiin, että HMC4:n kararemontin seurauksena saadaan muita hyötyjä, muun muassa:

- Nykyisin koneistettavilla kappaleilla tuottavuus paranee 20–30 %.
- Voidaan koneistaa uusia kappaleita, joita nykyisellä koneen kunnolla ei ole voitu tehdä.

Näiden tulosten perusteella saataisiin merkittäviä parannuksia koko tuotantoon ja sillä on varmasti painoarvoa SymBelt-telan puristinkenkien tuotannon siirron kannalta.

10 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, mikä on tehokkain tapa valmistaa SymBelt-telan puristinkengiä Rautpohjassa käytössä olevista menetelmistä. Toisena tavoitteena oli selvittää työn kustannukset. Tuloksena saatiin menetelmiin ja kustannuksiin perustuva investointilaskelma.

Opinnäytetyö oli mielestäni hyvin haastava ja laaja, sillä valmistettavassa tuotteessa on erikoisia pintoja ja sen valmistukseen tarvitaan useita erilaisia työvaiheita. Laajuuden perustelen myös sillä, että tavoitteisiin pääseminen edellytti monen eri alan tuntemusta, kuten valmistusteknisiä oppeja ja tuotantotalouden tietämystä. Opinnäytetyössä pääsin soveltamaan omakohtaisia tietotaitojani, sillä olen työskennellyt useita vuosia Metso Paper Oy:llä koneistajana. Tästä oli hyötyä, koska esimerkiksi piirustuk-

senlukutaito oli perusedellytys työn onnistumisen kannalta. Opinnäytetyö valmistui sovitussa aikataulussa.

Kirjoitusprosessi ja lähteiden etsintä

Jyväskylän ammattikorkeakoulun tekniikan ja liikenteen alalla Metso Paper on erittäin tunnettu yritys, joten opinnäytetyössä esittelin aluksi Rautpohjan yksikön lyhyesti. Tämän jälkeen keskityin kertomaan syvällisemmin SymBelt-telan puristinkengän, menetelmäsuunnittelun ja valmistuskustannusten teoriaan.

Opinnäytetyötä tehdessä opin joistakin aiheista paljon uutta, kuten esimerkiksi kustannuslaskelmista, joiden käsitteet olivat hieman vieraita minulle. Koneistustaustani ansiosta tiesin jo entiseltään valmistusteknisiä seikkoja. Itselleni oli selvää, että Sandvikin ja muiden työkaluvalmistajien sivuilta löytyy ajankohtaisin tieto koneistuksesta, mitä laajasti teollisuudessa käytetään.

Pyrin koko kirjoitusprosessin aikana siihen, että teksti etenee kohti tavoitteita ja kertomaan nimenomaan opinnäytetyön kannalta kaiken oleellisen. Tässä mielestäni onnistuin ja toin jopa uusia näkökulmia, kuten työstömenetelmien yhteydessä olevien todellisten koneistuspituuden määrittämisen, Catian hyödyntämisen tilavuuksien selvittämiseen ja lastuvirralla tiettyjen työvaiheiden työstöaikojen laskemisen. Näitä ei missään aiemmissa tutkimuksissa ollut.

Opinnäytetyötä varten käytin paljon erilaisia lähteitä (suullisia, kirjallisia, sähköisiä ja painettuja): pyrin hakemaan ensin perusasiat esimerkiksi kirjoista, jonka jälkeen syvensin niitä poimimalla ajankohtaista tietoa monipuolisesti useista eri paikoista ja eri näkökulmista. Käytin tiedonlähteiden etsimiseen Googlea, Google Scholaria, Nelliportaalia, Theseusta sekä JaNetiä hyväkseni. Tietoa puristinkenkään liittyen etsin Metson kotisivuilta, koska sieltä löytyy yrityksen ensisijainen tieto ilman välikäsiä. Artikkeleista, Metson markkinointiesitteistä ja Metson Intranetistä sain perusasioille täsmentävää tietoa. Knowpapista sain puolueetonta tietoa. Työn kannalta olennaisiin tietoihin tuli koneistajilta, sillä he ovat oman alansa asiantuntijoita ja tuntevat työstökoneensa valmiudet. Lukija voi helposti huomata, että joissakin opinnäytetyön teorian

kohdissa on viitattu useaan lähteeseen. Tämä selittyy sillä, että esimerkiksi höyläämisestä ei löytynyt tietoa mistään, joten käytin montaa lähdettä saadakseni tarpeeksi tarkan pohjan tiedoille. Kun kaikki lähteet viittasivat samankaltaisiin seikkoihin, sain varmistettua tiedon luotettavuuden.

Toteutustapa

Työn alkuvuorot kuluivat tiedonhakuun ja tuotteeseen tutustumiseen. Työtapa oli alusta asti melko selkeä ja pyrin etenemään tavoitteita kohti. Toimin omaaloitteisesti ja kenttäkokemukseni perusteella tiesin, että esimerkiksi koneistajilta saa parhaan näkemyksen työkalujen valintaan. Jos olisin päässyt käymään alihankkijoiden konepajoilla, olisi käytettävien menetelmien ja työkalujen tiedosta ollut suuri apu. Kokonaiskuvan tuotteesta sain haastattelemalla puristinkengän valmistukseen liittyviä henkilöitä (ohjelmoijat, suunnittelijat ynnä muut). Yhteistyö sujui hyvin ja heidän panoksensa auttoivat tulosten syntymisessä.

Tutkimuksessa käytetyt ongelmien lähestymistavat ja tutkimusmenetelmät olivat mielestäni oikeat luotettavien tulosten saamiseksi Rautpohjan vaatimusten kannalta. Tutkimusmenetelmää voisi kehittää kappaleajan laskutoimitusten osalta tarkemmaksi, mutta se saattaisi olla vain resurssien tuhlausta, sillä kappaleajan on tarkoitus antaa alustava kustannusarvio investointiehdotuksen tukemiseksi. Täsmällisen kappaleajan saa lopulta kellottamalla työstöä tai seuraamalla työstötunteja toiminnanohjausjärjestelmästä.

Ennen omia laskutoimituksia tutkin muita opinnäytetöitä ja huomasin, että niissä ei ollut otettu huomioon todellisia koneistuspiteuksia. Tällaiset seikat olivat kuitenkin itselle selvää oman koneistustaustani ansiosta, kuten myös työstöarvojen määritykset. Iscarin edustajan neuvo lastuamisnopeuden määrittämiseen oli käytännöllisempi kuin keskiarvojen käyttö, joita aluksi aioin käyttää. Mielestäni tämä oli hyvä keino, sillä liian pieni lastuamisnopeus huonontaa tuottavuutta siinä missä liian suuri lastuamisnopeus aiheuttaa muun muassa terärikkoja johtaen tehokkaan työstöajan menetykseen. Secon työkalusovellus oli kätevä apu työstöarvojen määrittämiseen kuin myös Iscarin laskinsovellus, jonka avulla pystyin varmistamaan laskutoimitusie-

ni luotettavuuden. Excelin käyttö auttoi laskelmia tehdessä, eikä niitä mielestäni olisi kannattanut tehdä toisin, sillä se mahdollistaa laskelmien jatkokäytön. Päätös laskea puristinkengän keskiosan metrin hinta ja käsitellä puristinkengän päätyjä kiinteinä kustannuksina oli mielestäni järkevää.

Työvarat ovat mielestäni sopivat ja ne voi muuttaa tarpeen vaatiessa. Esimerkiksi yläpinnan laatuvaatimuksien takia työvarat voisivat olla viimeistelyä varten pienemmät, jotta pinnankarheuden toleranssit toteutuvat. Työvarojen muuttaminen pienemmiksi ei kuitenkaan muuta opinnäytetyössä laskettuja työstöaikoja, sillä niin pienet erot eivät vaikuta lastujen määriin. Työjärjestys oli selkeä, joten kokonaisuutena menetelmäsuunnittelu oli johdonmukainen.

Työstöaikojen määrittämisessä sovelsin koneistuspiteuteen ja lastuvirtaan perustuvia kaavoja. Kyseisten kaavojen käyttö työvaiheesta riippuen oli aiheellista ja perusteltua. Tuloksena sain työstöön kuluvaan teoreettiseen ajan, joka ei välttämättä ole täysin minutilleen sama kuin käytännössä toteutuva työstöaika, sillä muuttujia on niin paljon. Muuttujien, kuten ohjelmointitavan takia työstöaikojen määrittäminen oli opinnäytetyön vaikein osuus. Henkilökohtaisesti ohjelmointia tehneenä tiedän, että liikeratojen määrittäminen etukäteen on hankalaa, sillä niihin vaikuttaa asiat, jotka usein vasta ohjelman tekovaiheessa tulevat esiin. Työstöaikojen luotettavuus on arvioitu tulosten arvioinnin yhteydessä ja niihin vedoten pääsin mielestäni luotettaviin tuloksiin.

Raaka-aineen ja kiinnitysten valinnat toimivat varmasti käytännössä, eikä niitä olisi kannattanut tehdä toisin. Simulointi olisi ollut paras ja helpoin vaihtoehto määrittää työstä aiheutuvat kustannukset, koska se ottaa huomioon työkalujen vaihtoajat, paikoitusajat ja liikeradat ynnä muut kappaleajan tekijät. Ilman ohjelmoitua ohjelmaa simuloinnin käyttö ei kuitenkaan ollut mahdollista.

Opinnäytetyön merkitys

Tulevia työtehtäviäni ajatellen tämä oli antoisa projekti, sillä opin paljon investoinneista, työaikojen laskemisesta ja tuotannon vaikutuksista toimihenkilön näkökulmasta. Näkemykseni on, että työni tulokset ovat hyödyllisiä toimeksiantajan inves-

tointiehdotusta varten ja jatkossa kappaleaikojen määrityksissä sekä tarvittaessa ohjelmointia ja käytännön suoritusta tehdessä. Luulen, että alihankinnan tarpeen kyseenalaistaminen paperialalla lisääntyy tulevaisuudessa, sillä sen avulla päästään kustannussäästöihin ja voidaan parantaa toiminnan tuottavuutta. Koin opinnäyte-työn tärkeäksi, sillä kyseessä oli Metson Paperin investointikannan mukaan suuri investointi. Toimeksiantajan palaute oli kiittävää ja omasta mielestäni ja työpaikalta saamien palautteiden perusteilla onnistuin tehtävässä hyvin.

11 LÄHTEET

Ansaharju, T. & Maaranen, K. 2001. Koneistus. 2.-3. p. Porvoo: WS Bookwell Oy.

Application checklist. N.d. Coromant Co:n kotisivut. Viitattu 24.8.2013.

http://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/milling/application_overview/profile_milling/application_checklist/Pages/default.aspx.

Auric. 2013. Rautpohjan sähköinen piirustusarkisto. Viitattu 12.8.2013.

Baan. 2013. Rautpohjan toiminnanohjausjärjestelmä. Viitattu 12.8.2013.

Chip formation N.d. Coromant Co:n kotisivut. Viitattu 24.8.2013.

http://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/milling/getting_started/general_guidelines/chip_formation/Pages/default.aspx?#5.

Circular ramping. 2013. Coromant Co:n kotisivut. Viitattu 8.9.2013.

http://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/milling/application_overview/holes_and_cavities/circular_ramping/Pages/default.aspx.

Constant stock. N.d. Coromant Co:n kotisivut. Viitattu 24.8.2013.

http://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/milling/application_overview/profile_milling/constant_stock/Pages/default.aspx.

Deflection-compensated rolls maintenance. 2010. Esite Metson markkinointisivuilla. Viitattu 18.8.2013.

[http://www.metso.com/mp/marketing/Vault2MP.nsf/BYWID2/WID-100503-2256E-8FF54/\\$File/SER33177_V2_EN.pdf?openElement](http://www.metso.com/mp/marketing/Vault2MP.nsf/BYWID2/WID-100503-2256E-8FF54/$File/SER33177_V2_EN.pdf?openElement).

Formulas. N.d. Sandvik Coromant Co:n kotisivut. Viitattu 24.8.2013.

Formulas and definitions. N.d. Coromant Co:n kotisivut. Viitattu 2.9.2013.

http://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/technologies/silent-tools/formulas_and_definitions/pages/default.aspx.

General face milling. N.d. Sandvik Coromant Co:n kotisivut. Viitattu 23.8.2013.

<http://www.sandvik.coromant.com/en->

[us/knowledge/milling/application_overview/face_milling/general_face_milling/Pages/default.aspx?#3.](http://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/milling/application_overview/face_milling/general_face_milling/Pages/default.aspx?#3)

Guided product search. N.d. Sandvik Coromant Co:n kotisivut. Viitattu 23.8.2013.
[http://www.sandvik.coromant.com/en-us/products/pages/toolselector.aspx.](http://www.sandvik.coromant.com/en-us/products/pages/toolselector.aspx)

Haapala, K. 2008. Koneajan laskeminen lastuvirran avulla. Tutkintotyö. Viitattu 11.6.2013.
[https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/8633/Haapala.Kalle.pdf?sequence=2.](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/8633/Haapala.Kalle.pdf?sequence=2)

Halmetoja, A. 2013. Koneistaja. Metso Paper Oy. Haastattelu 25.6.2013.

Heavy Duty Plano Miller. N.d. Työkoneen esittely Raghbirindustriesin kotisivuilla. Viitattu 20.8.2013. [http://www.raghbirindustries.com/heavy-duty-plano-miller.htm.](http://www.raghbirindustries.com/heavy-duty-plano-miller.htm)

Hedman, K. 2013. Ohjelmoija. Metso Paper Oy. Haastattelu 28.5.2013.

Iivarinen, P. 2013. Ohjelmoija. Metso Paper Oy. Haastattelu 11.6.2013.

Initial considerations. N.d. Sandvik Coromant Co:n kotisivut. Viitattu 19.8.2013.
[http://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/milling/getting_started/initial_considerations/Pages/default.aspx.](http://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/milling/getting_started/initial_considerations/Pages/default.aspx)

Investment proposal. 2013. Metson sisäinen investointi-tietokanta. Viitattu 25.8.2013.

ISO P steel. N.d. Sandvik Coromant Co:n kotisivut. Viitattu 22.8.2013.
[http://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/materials/workpiece_materials/iso_p_steel/pages/default.aspx.](http://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/materials/workpiece_materials/iso_p_steel/pages/default.aspx)

Järviö, J., Lehtiö, T. 2012. Kunnossapito. 5. p. Helsinki: KP-Media Oy. Viitattu 19.8.2013.

Karttunen, H. 2013. Verstaspäällikkö. Metso Paper Oy. Haastattelu 6.5.2013.

Keep cutter engaged. N.d. Coromant Co:n kotisivut. Viitattu 24.8.2013.
[http://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/milling/getting_started/general_guidelines/keep_cutter_engaged/Pages/default.aspx.](http://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/milling/getting_started/general_guidelines/keep_cutter_engaged/Pages/default.aspx)

Kelpe, E. 2013. Koneistaja. Metso Paper Oy. Haastattelu 11.6.2013.

Knowpap. 2012. Paperitekniikan ja automaation oppimisympäristö. VTT. Versio 14.0. Viitattu 13.8.2013. <http://www.jamk.fi/kirjasto>, nelli-portaali, Knowpap.

Kääriäinen, H. 2013. Koneistaja. Metso Paper Oy. Haastattelu 14.5.2013.

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

Lepola, Y. & Työosuuskunta Vararengas. 2009. Kellokallen ABC. Viitattu 22.8.2013.
<http://www.aikaonrahaa.com/index.php?s=abc>.

Lukas, A. 2009. Calender technology in nonwovens production. Artikkelin Pakistan Textile Journalin sivuilla. Viitattu 18.8.2013. <http://www.ptj.com.pk/Web-2009/09-09/Andritz-Kusters.htm>.

Lähteenmäki, T. 2004. Sitkeä aine vaatii sitkeät lastu-urat. Artikkelin Tekniikka & Talous-lehden sivuilla. Viitattu 22.8.2013.
<http://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/sitkea+aine+vaatii+sileat+lastuurat/a142643>.

Machining Power. N.d. Iscar Ltd. Viitattu 7.9.2013.
<http://mpwr.iscar.com/machiningpwr/machiningpower.wgx?vwginstance=2331dfd8e1634ceab58f0664165fcfde>.

Max chip thickness. N.d. Sandvik Coromant Co:n kotisivut. Viitattu 20.8.2013.
http://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/milling/getting_started/general_guidelines/max_chip_thickness/pages/default.aspx.

Metso General. 2013. PowerPoint-esitys. Metson intranetin yleiskalvosarja. Viitattu 12.8.2013. <http://avenue.metso.com/AboutUs/Pages/default.aspx>.

Metso Paper Machines unit Jyväskylä. 2010. PowerPoint-esitys. Metson intranetin yleiskalvosarja. Viitattu 13.8.2013.
http://avenue.metso.com/AboutUs/MaterialLibrary/MaterialLibrary/Rautpohja_general_presentation_EN.pptx.

Milling. 2010. Catalogue and technical manual. Viitattu 22.5.2013.
<https://www.pokolm.de/> Downloads> Catalogue (english).

Mustonen, R. 2013. Työnjohtaja. Metso Paper Oy. Haastattelu 15.5.2013.

Nikamaa, I. 2013. Koneistaja. Metso Paper Oy. Haastattelu 11.6.2013.

Nordic steel price. 2012. Viitattu 17. 8.2013.
<http://www.meps.co.uk/NordicPrice.html>.

Onnela, J. N.d. SymBelt. PowerPoint-esitys. Metson sisäisen tietokannan yleiskalvosarja. Viitattu 14.8.2013.

Overview. N.d. Sandvik Coromant Co:n kotisivut. Viitattu 23.8.2013.
<http://www.sandvik.coromant.com/en->

[us/knowledge/milling/application_overview/slot_milling/overview/Pages/default.aspx](http://www.metso.com/us/knowledge/milling/application_overview/slot_milling/overview/Pages/default.aspx).

Paper machine press sections. 2006. Esite Metson markkinointisivuilla. Viitattu 12.8.2013. [http://www.metso.com/mp/marketing/Vault2MP.nsf/BYWID2/WID-051219-2256E-9A525/\\$File/Press_sections_PBL.pdf?openElement](http://www.metso.com/mp/marketing/Vault2MP.nsf/BYWID2/WID-051219-2256E-9A525/$File/Press_sections_PBL.pdf?openElement).

Penna, J. 2013. Hankintavastaava. Metso Paper Oy. Haastattelu 16.8.2013.

Productivity in milling. N.d. Coromant Co:n kotisivut. Viitattu 25.8.2013. http://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/milling/formulas_and_definitions/productivity_in_milling/Pages/Productivity-in-milling.aspx.

Profile milling. N.d. Sandvik Coromant Co:n kotisivut. Viitattu 21.8.2013. http://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/milling/application_overview/profile_milling/profile_milling/Pages/default.aspx.

PSK 6201. 2011. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. 3. p. Suomen Standardisointiliitto. Viitattu 20.8.2013. [Http://www.jamk.fi/kirjasto](http://www.jamk.fi/kirjasto), Nelli-portaali, PSK standardit.

Pääkkönen, A. 2013. Pääsuunnittelija. Metso Paper Oy. Haastattelu 22.5.2013.

Pöyry, J., Kettunen, O., Kilponen, A. 2004. Varaston ulkoistaminen alihankinnassa. Espoo: Otamedia. Viitattu 25.8.2013. <http://scholar.google.fi/>> konetuntihinta.

Rokala, T. 2013. Myynti-insinööri. Iscar Finland Oy. Puhelinhaastattelu 15.8.2013.

Seco Cut. N.d. The software for cutting data.

Specifications for CNC horizontal boring and milling machine. 1986. Instruction manual. Tokyo: Toshiba Machine Co, Ltd.

Suihkanen, J. 2013. Asentaja. Metso Paper Oy. Haastattelu 4.7.2013.

T-max P – wiper. N.d. Sandvik Coromant Co:n kotisivut. Viitattu 23.8.2013. http://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/general_turning/geometry_information/negative_basic_shape_inserts_t_max_p/t_max_p_wiper/pages/default.aspx.

Tervetuloa Metsolle Rautpohjaan. N.d. Rautpohjan perehdyttämisopas.

The milling cutter. N.d. Sandvik Coromant Co:n kotisivut. Viitattu 24.8.2013. <http://www.sandvik.coromant.com/en->

[us/knowledge/milling/formulas and definitions/the milling cutter/Pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/milling/formulas_and_definitions/the_milling_cutter/Pages/default.aspx).

Tolmunen, A. 2013. Työnjohtaja. Metso Paper Oy. Haastattelu 6.5.2013.

Tomperi, S. 2010. Yrityksen taloushallinto 3. Kannattavuus- ja kustannuslaskenta. 5. p. Helsinki: Edita Prima Oy. Viitattu 25.8.2013.

Tool wear. N.d. Sandvik Coromant Co:n kotisivut. Viitattu 22.8.2013.

[http://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/general turning/troubleshooting/tool wear/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/general_turning/troubleshooting/tool_wear/pages/default.aspx).

Valtanen, E. 2010. Tekniikan taulukkokirja. 18. p. Mikkeli: Genesis-Kirjat Oy.