

Planeettapyörän kovasorvaus menetelmän käyttöönoton kannattavuus

Minna Tuomaala

Opinnäytetyö

Huhtikuu 2021

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Tuomaala, Minna	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Huhtikuu 2021
	Sivumäärä 52	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Planeettapyörän kovasorvaus menetelmän käyttöönnoton kannattavuus		
Tutkinto-ohjelma Konetekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Kivistö Hannu, Parviainen Miikka		
Toimeksiantaja(t) Moventas Gears Oy		
Tiivistelmä <p>Työn taustalla on yrityksen jatkuva tarve kehittää tuotannon valmistusta kustannustehokkaammaksi. Kovasorvaus oli vaihtoehto, jonka kannattavuudesta puuttui tarkemmat tiedot. Kovasorvauksen päätarkoitus oli lyhentää valmistuksen hitainta vaihetta, eli reikähiontaan kuluva aikaa.</p> <p>Opinnäytetyön tavoite oli selvittää, saadaanko kovasorvauksella pienennettyä tietyn hammaspyörän valmistuskustannuksia nykyisillä resursseilla. Lähtötietoina tiedettiin, että kovasorvaamalla pyörän reikä lämpökäsittelyn jälkeen hiontaa saadaan nopeammaksi sekä osassa yrityksen sorveista oli ylikapasiteettia, mitä voitaisiin käyttää. Tutkimuksen aikana ongelma kuitenkin poistui muiden kehitysmenetelmien myötä ja tutkimusongelma ei ollut enää ajankohtainen. Tutkimusta jatkettiin oletuksella, että alkuperäinen tutkimusongelma voisi esiintyä tulevaisuudessa uudestaan.</p> <p>Työ toteutettiin perehtymällä aiempiin planeettapyörän valmistukseen liittyviin opinnäytetöihin. Teoreettisen viitekehityksen luomiseksi tehtiin kirjallisuustutkimusta hammaspyörän valmistuksen vaiheista sekä tuotannon kustannuksista. Lisäksi tehtiin havainnointia ja haastatteluja ilmiön luonnollisessa ympäristössä.</p> <p>Tuloksista selvisi, ettei ylikapasiteettia omaavilla sorveilla ole kannattavaa kovasorvata tutkimuksen kohteena olevaa hammaspyörää. Yrityksen toisen mallisella sorvilla hyötyjä saataisiin mutta todellisen hyödyn määrän laskemiseksi tarvitaan lisää käytännön selvityksiä, joita ei työn ajankohtaisuudettomuuden vuoksi tehty. Työn tuloksena syntyi perustason selvitys kovasorvauksen hyödyistä, riskeistä, käytännön mahdollisuuksista ja investoinneista. Tutkimusta voidaan käyttää alustavana tietona, jos kovasorvaus tulee ajankohittaiseksi.</p>		
Avainsanat (asiasanat) hammaspyörä, kannattavuus, sorvaus, hionta, lämpökäsittely		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet) Liite 2 on salassa pidettävä, ja se on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon perusteena on viranomaisten toiminnan julkisuudesta annetun lain (621/1999) 24 §:n kohta 17: yrityksen liike- tai ammattisalaisuus. Salassapitoaika on viisi (5) vuotta. Salassapito päättyy 2026.		

Author(s) Tuomaala, Minna	Type of publication Bachelor's thesis	Date April 2021 Language of publication: Finnish
	Number of pages 52	Permission for web publication: x
Title of publication Title Improving profitability in production of gear wheel by using hard turning		
Degree programme Mechanical engineering		
Supervisor(s) Kivistö Hannu, Parviainen Miikka		
Assigned by Moventas Gears Oy		
Abstract <p>There is always constant need to develop production manufacturing to be more cost-effective. Subject of this thesis was to find out is turning the planet wheel hole after heat treatment profitable. Main purpose was to get hole grinding time faster.</p> <p>It was already known that this method would reduce the grinding time but there was need to find out how it would affect to total manufacturing costs when using only current resources. There was overcapacity with some of the turnings lathes that could be used.</p> <p>During the study, other methods of development were found. This resulted in the situation were the original problem no longer existed, tooth grinding was now slowest stage of work. Thesis was continued with the assumption that original problem could become topical in future.</p> <p>Work was carried out by familiar with previous theses related to manufacturing planet wheels. To create a theoretical frame of reference there was done literary research on the stages of manufacture of the planet wheel and the cost of production. In addition, observations and interviews were conducted.</p> <p>The results of the study found out that it is not profitable to use hard turning by using the lathes with overcapacity. With another kind of lathe benefits could be obtained but the actual amount of the benefit would require more practical experiments which are not current now.</p> <p>The result of work was baseline statement of benefits, risks, practical possibilities and investments related to hard turning. Work can be used as preliminary information if hard turning becomes relevant again.</p>		
Keywords/tags (subjects) gear wheel, profitability, turning, grinding, heat treatment		
Miscellaneous (Confidential information) Annex 2 to be confidential, removed from the public work.		

Sisältö

1	Johdanto	4
1.1	Moventas Gears Oy	5
1.2	Tuulienergiamarkkinat	6
1.3	Tuuliturbiinin rakenne	7
1.4	Tuuliturbiinivaihteen rakenne	8
2	Tutkimuksen tarkoitus ja tavoite.....	9
2.1	Tutkimuksen lähtökohta ja ongelma	9
2.2	Tutkimuksen rajaus ja tavoite	10
2.3	Tutkimusote.....	12
3	Kannattavuuden ja kustannuksien teoriaa	13
3.1	Toiminta-aste, kapasiteetti, käyttöaste ja tuottavuus	13
3.2	Toiminnan kustannuksia ja kustannusten jakaminen	15
3.3	Kustannus-vaikuttavuus-analyysi	16
4	Planeettapyörän valmistuksen työvaiheita teoriassa.....	16
4.1	Sorvaus	16
4.2	Lämpökäsittely	17
4.3	Hionta	18
4.4	Laatu ja laadunvarmistus.....	19
5	Planeettapyörän nykyinen valmistusketju aiheesta tarkastukseen	20
5.1	Planeettapyörän materiaalivirta tehtaassa.....	20
5.2	Alkusorvaus ja poraus.....	21
5.3	Hammastus, viilaus ja lämpökäsittely	24
5.4	Planeettapyörän hiominen.....	25
5.5	Tarkastus ja laatu.....	27
6	Työn toteutus	28
6.1	Lähtötilanteen tietojen keräys	28
6.1.1	Lähtötiedot teemahaastatteluista ja sisäisestä koulutusmateriaalista.....	28

	2
6.1.2 Tietojen keräys toiminnanohjausjärjestelmästä	28
6.1.3 Hionnan työstöajan simulointi	30
6.1.4 Havainnointi reikähionnasta	34
6.2 Kovasorvauksen vaikutukset käytännössä	36
6.2.1 Kovasorvauksen vaikutus hiontaan käytännössä	36
6.2.2 IMT- P32 sorvin kovasorvaus mahdollisuudet käytännössä	38
6.2.3 Doosan sorvin kovasorvaus mahdollisuudet käytännössä	41
7 Tutkimustulokset.....	43
7.1 Yhteenveto mahdollisuuksista ja hyödyistä	43
7.2 Tutkimustulosten tulkinta	45
8 Pohdinta.....	47
Lähteet	49
Liitteet.....	51

Kuviot

Kuvio 1. Moventaksen toimipaikat kartalla	5
Kuvio 2. Uusituvan energian kapasiteetin kasvu 2015-2019.....	6
Kuvio 3. Vaihteellisen tuuliturbiinin rakenne	8
Kuvio 4. Tuuliturbiinivaihteen leikkauskuva	9
Kuvio 5. Tutkimuksen tavoitteeseen pääsyn vuokaavio.....	11
Kuvio 6. Planeettapyörän PPH-5700 leikkauskuva.....	22
Kuvio 7. IMT-P32 koneella sorvattavat pinnat merkitty punaisella, 1. ja 2. vaihe	23
Kuvio 8. Doosan sorvilla sorvattava osuus merkitty punaisella. Oikealla hammasjyrsintään valmis kappale.....	23
Kuvio 9. Hiontaan valmis kappale.....	25
Kuvio 10. Hiottavat pinnat	26
Kuvio 11. Uudella menetelmällä hiottavat pinnat.....	31
Kuvio 12. Reikähionnan NC- ajan vaiheet prosentuaalisessa muodossa	32

	3
Kuvio 13. Reikähionnan kappaleaika prosentuaalisessa muodossa.....	34
Kuvio 14. IMT sorvin työkalut ja PPH- 5700 valmistuksessa käytettävät nelileukapakka	39
Kuvio 15. IMT- P32 sorvin SPC- tilastotieto toteutuneesta reiän halkaisijamitasta	40
Kuvio 16. SPC tilastotieto sorvatuista olakeväleistä	42
Kuvio 17. SPC tilastotieto Doosanilla sorvatuista reiänhalkaisijamitoista.....	42

Taulukot

Taulukko 1. Planeettapyörän yksikköhinta.....	29
Taulukko 2. Planeettapyörän sorvauksen ja hionnan OKA hinnat	29
Taulukko 3. Planeettapyörän työvaiheajoja ERP-järjestelmässä.....	30
Taulukko 4. Simuloitu työstöaika menetelmämuutoksien jälkeen.	32
Taulukko 5. Reikähionnan kappaleaika	33
Taulukko 6. Havainnoitujen todellisten aikojen ja simuloitujen aikojen vertailu.	35
Taulukko 7. Kovasorvauksen hyödyt olakkeen hionta-ajoissa	37
Taulukko 8. Kovasorvauksen hyödyt reiän pistohionta-ajoissa	38
Taulukko 9. Hyöty kovasorvatessa pelkkä olake tai olakkeet	44
Taulukko 10. Hyödyt IMT-P32 sorvilla kovasorvattaessa	44
Taulukko 11. Hyödyt Doosan sorvilla kovasorvattaessa	45

1 Johdanto

Vuosittain määrällisesti kasvavan tuulienergian muodostamiseen valmistetaan tuuliturbiineita, joista osa sisältää tuuliturbiinivaihteen. Opinnäytetyön tilaaja on yksi tuuliturbiinivaihtevalmistajista, Moventas Gears Oy (jatkossa käytetään lyhennettä Moventas), joka kilpailee muiden vaihtevalmistajien kanssa kasvaneista markkinaosuuksista. Kilpailutilanteessa menestyminen edellyttää asiakkaan preferenssien riittävää huomiointia, joita voivat olla esim. laatu, hinta tai tekninen toimivuus. Hinnalla on kuitenkin usein valintaan suuri merkitys ja Pellisen (2019, 31) mukaan pitkällä aikavälillä tuotteen hinnoittelun pohjan luo kustannukset, jotka riippuvat siitä, kuinka reaali-prosessi on organisoitu. Reaali-prosessi muodostuu valmistusprosessiin menevistä tuotannontekijöistä (esim. työ, raaka-aineet) ja sieltä tulevista suoritteista (esim. tavarat).

Opinnäytetyössä selvitettiin, saadaanko planeettapyöräksi kutsutun hammaspyörän valmistusprosessia kustannustehokkaammaksi reiän kovasorvauksen avulla. Planeettapyörä on yksi tuuliturbiinivaihteen useista komponenteista, joita valmistetaan Moventaksen Jyväskylässä sijaitsevassa Ikolan tehtaassa. Yrityksen nykyinen tilauskanta koostuu valtaosin yhden asiakkaan saman kokoluokan vaihteista. Kyseiseen vaihteeseen tarvittavat planeettapyörät ovat kooltaan suurempia, kuin mihin tehtaassa perustamisvuonna (2008) planeettapyörän valmistus koneineen suunniteltiin. Tästä johtuen nykyinen sorvauksen konekanta ei ole kyseisten planeettapyörän valmistamiseen optimaalinen; kaikkien sorvien liikeradat eivät riitä reiän kokonaispituuden sorvaamiseen. Kyseisillä sorveilla on ylikapasiteettia, jota voidaan hyödyntää kovasorvaukseen. Reiän kovasorvauksen myötä työvarat pienenevät, jolloin hionta-aikakin lyhenee. Tämä vähentää hionnasta aiheutuvia kustannuksia.

Planeettapyörän valmistusta on kehitetään yrityksessä jatkuvasti. Myös aiemmin tehtyjä planeettapyörän valmistusprosessiin keskittyviä opinnäytetöitä löytyy useampia, kuten ”Planeettahammaspyörän aihion valmistusmenetelmien optimointi” (Äikäs 2008), jossa keskityttiin planeettapyörän aihion valmistusmenetelmiin, ”Hiontavarojen optimointi hammaspyörän valmistuksessa” (Karvonen 2010), jossa

selvitettiin planeettapyörän hiontavaroihin vaikuttavia tekijöitä alkukoneistuksessa sekä ”Hammaspyöräsolun käynnistys Lean- periaatteita noudattaen” (Joki- Luomala 2009), jossa perehdyttiin Lean- menetelmien avulla planeettapyöräosia valmistavan solun suunnitteluun ja toteuttamiseen.

1.1 Moventas Gears Oy

Moventas on yksi johtavista tuuliturbiinivaihteita valmistavista yrityksistä maailmassa. Yritys on toimittanut yhteensä yli 15 000 vaihdetta ja omaa 40 vuoden kokemuksen tuuliturbiinivaihteiden teknologiasta. Moventas toimii globaalisti yhdeksässä eri maassa (kuvio 1), päätoimipaikka sijaitsee Jyväskylässä. Valmistava tuotanto tehdään Suomessa kolmella eri tehtaalla, Jyväskylässä on kaksi tuotantotehdasta, Ikolan ja Rautpohjan tehdas sekä Karkkilassa yksi. Vaihteiden kokoonpano tehdään myös Ikolan tehtaassa. Yritys työllistää n.500 henkilöä, joista n.400 työskentelee Suomessa. Yrityksen omistaa skotlantilainen Clyde Blowers Capital. (Moventas Company Presentation 2021.)

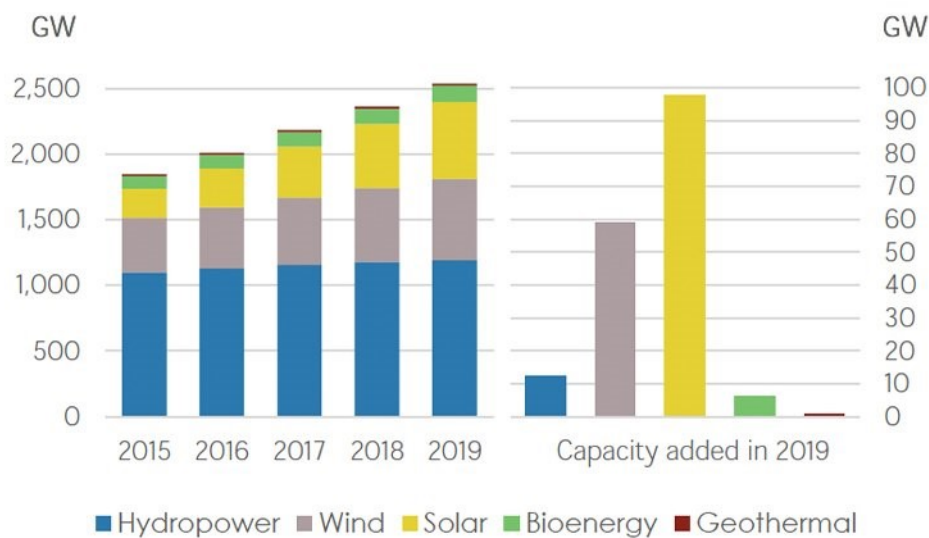


Kuvio 1. Moventaksen toimipaikat kartalla (Moventas Company Presentation 2021)

1.2 Tuulienergiamarkkinat

Uusiutuvan energian määrä kasvaa maailmalla jatkuvasti (kuvio 2). Vuonna 2019 sen osuus rakennetusta energiatuotannosta oli lähes kolmasosa (72 %), josta aurinko- ja tuulienergian osuus oli 90 %. Vuonna 2019 tuulivoimaenergian kapasiteetti kasvoi kymmenen prosenttia edellisestä vuodesta, joka on määrällisesti lähes 60 GW. Suurimmat rakennuttajat olivat Kiina (26 GW) ja Yhdysvallat (9 GW). (Renewables Account for Almost Three Quarters of New Capacity in 2019. 2020.)

Renewable power capacity growth



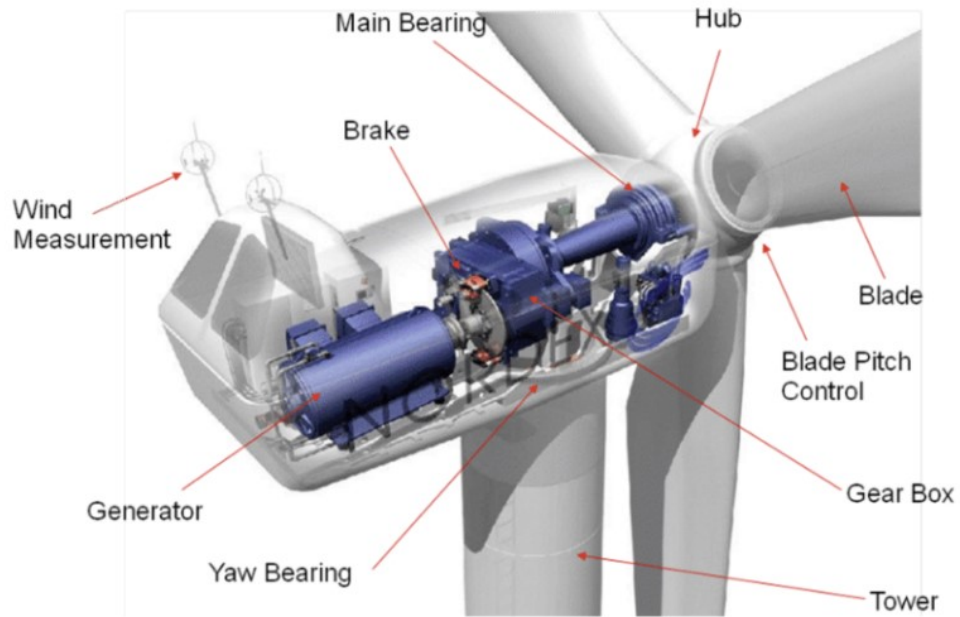
Kuvio 2. Uusiutuvan energian kapasiteetin kasvu 2015-2019 (Renewables Account for Almost Three Quarters of New Capacity in 2019. 2020.)

Kansainvälisen energiajärjestö IEA:n (International Energy Agency) ennusteen mukaan tuulivoimakapasiteetti kasvaa vuosien 2020-2025 aikana noin 65 GW vuodessa. Vuotuinen kasvu voi ennusteen mukaan nousta 100 GW määrään vuodesta 2023 al-

kaen tiettyjen vaatimusten täytyessä. Näitä ovat mm. politiikan tukijärjestelmien kehittyminen, sähköverkkoihin investoiminen, sosiaalisen hyväksynnän lisääntyminen, lupahaasteiden poistaminen, tuulivoimakapasiteetin integroimisen nopeuttaminen sähköverkkoihin, sääntelyyn liittyvien epävarmuustekijöiden ja kehittyvien markkinoiden ulkopuolisten riskien lievittäminen. (IEA Forecast overview 2020.)

1.3 Tuuliturbiinin rakenne

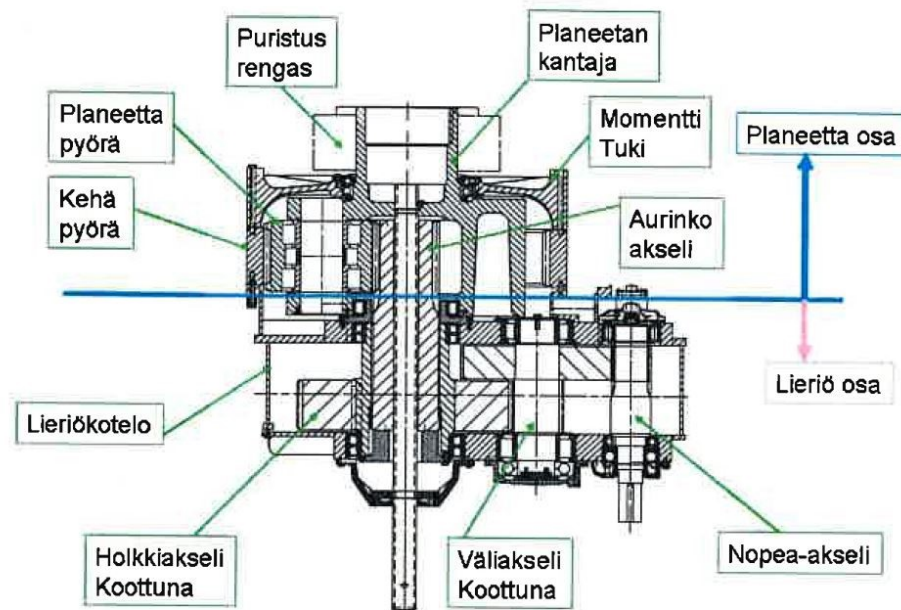
Tuuliturbiinin avulla muodostetaan tuulen liike-energiasta uusiutuvaa energiaa. Tuuliturbiinin pääkomponentit on esitetty kuviossa 3. Turbiinissa on roottori, joka muodostuu navasta ja siihen kiinnitetyistä lavoista. Lavat suunnataan tuulta kohti niin, että tuulen virran ylittäessä lavan, sen toisella puolella ilmanpaine kasvaa ja toiselle puolelle muodostuu alipaine, eli noste. Tästä saadaan roottorin pyörimisliike. Roottori on kiinnitetty sähköä muodostavaan generaattoriin suoraan (suoravetoinen tuuliturbiini) tai pääakselin ja vaihteiston kautta. (How Do Windturbines Work? N.d.)



Kuvio 3. Vaihteellisen tuuliturbiinin rakenne (Lightning and surge protection for wind turbine system n.d.)

1.4 Tuuliturbiinivaihteen rakenne

Vaihdelaatikon avulla saadaan muutettua roottorin pyörintänopeus generaattorin vaatimaksi pyörintänopeudeksi sekä voidaan käyttää fyysisesti pienempää generaattoria. Tuuliturbiinivaihte koostuu planeetta- ja lieriöportaasta (kuvio 4). Portaita voi olla useampia, yleensä yhdestä kahteen. Planeettaportaan pääkomponentteja ovat planeettapyörät, planeetankantaja, kehäpyörä ja aurinkoakseli. Lieriöportaan pääkomponentteihin kuuluu holkkipyörä, välipyörä koottuna holkkien kanssa ja nopea akseli. (Karvonen 2010, 6-7.) Roottorilta tuleva momentti siirtyy pääakselin kautta planeetankantajaan, jossa on asennettuna planeettapyörät, jotka pyörivät kehäpyörää vasten. Planeettapyörät pyörittävät aurinkoakselia, josta momentti siirtyy holkkiakselin kautta väliakselille ja väliakselin kautta nopealle akselille, joka pyörittää generaattoria.



Kuvio 4. Tuuliturbiinivaihteen leikkauskuva (Yrityksen sisäinen koulutusmateriaali 2008)

2 Tutkimuksen tarkoitus ja tavoite

2.1 Tutkimuksen lähtökohta ja ongelma

Tutkimuksessa keskitytään nimikkeen PPH-5700 valmistukseen, joka on Moventak- sen korkeudeltaan suurin sarjassa valmistettava planeettapyörä. Kyseisiä planeetta- pyöriä asennetaan yhteen vaihteeseen viisi kappaletta. Planeettapyörän valmistusprosessin kallein työvaihe on tällä hetkellä hionta. Hionta muodostuu reikä- ja hammashionnasta, jotka tehdään samassa työsolussa kahdella eri koneella. Planeettapyörän hionnan kustannukset lasketaan sen mukaan, kumpi näistä on hitaampi vaihe, eli puhutaan solun tuntihinnasta. Tutkimuksen lähtökohtana on tieto, että reikähionta on näistä kahdesta hitaampi vaihe, joten se on määräävä tekijä laskettaessa hionta-ajasta muodostuvia kustannuksia. Hitain vaihe määrää myös

tuotantovauhdin. Optimaalinen tilanne olisi, jos reikä- ja hammashionnan vaiheajat olisivat ajallisesti yhtä pitkät, jolloin kummalekaan koneelle ei muodostuisi tuottamattonta odotusaikaa.

Planeettapyöriä sorvaavalla osastolla on esiintynyt epätasaista työkuormaa eri koneiden välillä. Tämä johtuu PPH-5700 planeettapyörän suuresta koosta, joka ei ole sorvien kokoon suhteutettuna optimaalinen työstämisen kannalta, vain yksi neljästä sorvista on PPH-5700:lle täysin sopiva. Tällä yhdellä koneella ei ole mahdollista täyttää tuotantotarvetta kokonaan, joten sorvaus kyseiselle planeettapyörälle joudutaan tekemään kahdella eri koneella. Muilla sorveilla ei ole tällä hetkellä tarpeeksi kuormitusta.

Lähtökohtana on myös tieto, että kovasorvaaminen lyhentää hiontaan kuluvaa aikaa. Tämä perustuu yksinkertaisuudessaan siihen, että kovasorvauksen avulla lämpökäsittelyssä syntyneet muodonmuutokset sorvattaisiin pois ja työvaroja jäisi hiontaan vähemmän. Ongelmana on epätietoisuus, kannattaako nykyistä prosessia muuttaa lisäämällä reiän kovasorvaus työvaihe, kun otetaan huomioon kaikki prosessin muutokseen liittyvät syy-seuraus-suhteet. Olennaisimpia tutkimuskysymyksiä ovat:

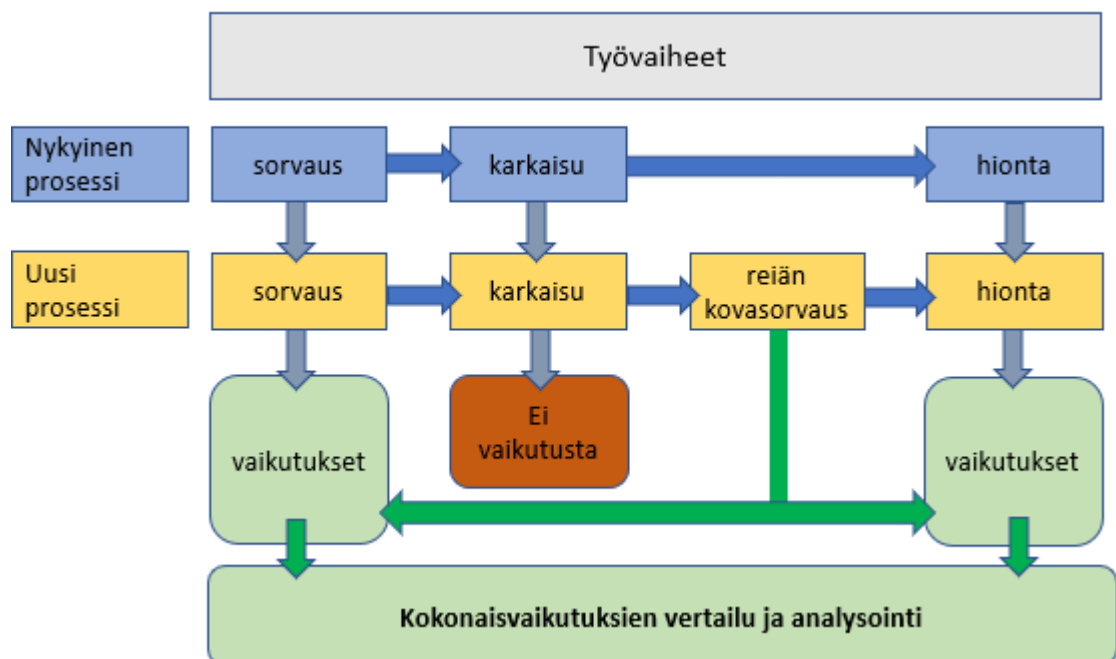
- Onko kovasorvaus kannattavaa nykyisellä konekapasiteetilla?
- Saadaanko kustannustehokkuutta parannettua?
- Saadaanko kovasorvauksella parannettua sorvien ylikapasiteettiongelmaa?
- Mitä investointeja menetelmän käyttöönotto vaatisi?

2.2 Tutkimuksen rajaus ja tavoite

Planeettapyörän valmistusprosessi alkaa aihion tilaamisesta ja päättyy kokoonpanoon. Tutkimuksessa keskitytään reiän kovasorvaukseen ja reikähiontaan. Alihankinta mahdollisuus rajataan yrityksen toiveesta pois. Tutkimustuloksen tarkoitus ei ole antaa näkemystä siitä, kuinka kannattavaa olisi investoida uuteen työstökoneeseen tai kuinka kannattavaa toiminta on nyt. Tarkoitus on rajata tutkimus koskemaan vain kahden eri prosessimenetelmän vertailua nykyisillä koneilla sekä nykyisellä sarjatuotteella.

Tutkimuskysymyksiin vastattaessa on tavoitteena perustella vastaus kattavilla selvityksillä. Laskelmien tekeminen vaatii sorvaus- ja hiontaprosessin työvaiheiden jakamista osiin tarkempaa analysointia varten kuvion 5 mukaisesti. Työvaiheiden systemaattinen analysointi erillisinä osina sekä kokonaisuutena antaa ymmärryksen, millaisesta prosessista on kyse ja mistä kustannukset muodostuvat.

Tutkimus tulee tehdä niin, että päätös prosessinmuutoksen toimeenpanosta voidaan tehdä rationaalisesti johtopäätöksien perusteella. Rationaalinen päätöksenteko etenee vaiheissa. Ensin lähtökohdaksi asetetaan tavoite, joka halutaan mahdollisimman kokonaisvaltaisesti saavuttaa. Tähän tarvitaan tietoa, joka esitetään mieluiten määrällisessä muodossa. Tietojen keräämiseksi on tunnistettava vaihtoehtoiset toimintamallit. Seuraavaksi kerätty tieto analysoidaan, asetetaan paremmuusjärjestykseen, valitaan paras vaihtoehto ja asetetaan tulostavoite. (Pellinen 2019, 37.)



Kuvio 5. Tutkimuksen tavoitteeseen pääsyn vuokaavio

2.3 Tutkimusote

Tutkimusote on kehittämistutkimus. Kehittämistutkimuksen kehittämisen perustana toimii aina teoria tai teorit. Kehittämistutkimus on kehittämistä ja tutkimista, jossa yhdistyy kvalitatiiviset ja kvantitatiiviset tutkimusmenetelmät ja tuloksena syntyy käytännön ratkaisu. (Kananen 2012, 19.)

Kanasen (2012, 25) mukaan kehittämistutkimuksen keskeisiä kysymyksiä ovat esimerkiksi seuraavat:

- Mitkä tekijät vaikuttavat kehitettävään ilmiöön?
- Miten tekijät vaikuttavat ilmiössä?
- Miten kehitystyö tai muutos onnistui?
- Millaisia vaikutuksia kehitystyöllä on?

Kvalitatiivisella, eli laadullisella, tutkimusotteella pyritään kuvaamaan ilmiö ja ymmärtämään se syvällisesti. Laadullisen tutkimuksen peruskysymys on ”Mistä tässä on kyse?”. Laadullisen aineiston analyysi on syklinen prosessi, jossa tehdään vuoroin kenttätöitä ja vuoroin palataan takaisin teoriapohdintojen pariin. Laadullisessa tutkimuksessa ei käytetä määrällisiä menetelmiä, kuten tilastollisia menetelmiä. Sitä voidaan kuitenkin käyttää määrällisen tutkimustulosten ymmärtämiseen. (Kananen 2012, 29-30.)

Opinnäytetyön perustana toimii teorit. Laadullista tutkimusotetta tarvittiin työssä lähtökohtatilanteen arviointiin, ongelman määrittelyyn, teoreettisen viitekehyksen arviointiin sekä itse kehittämisilmiöön perehtymiseen. Laadullisina tiedonkeruumenetelminä käytettiin tarkkailevaa havainnointia ja teemahaastattelua.

Vilkan (2006, 11) mukaan tutkimuksessa havaintoja tulee tarkastella kriittisesti suhteessa esitietoon. Tarkkailevassa havainnointi metodissa tutkija ei osallistu tutkimus-

kohteen toimintaan vaan asettuu tutkimuskohteeseensa nähden ulkopuoliseksi tarkkailijaksi. Tarkkaileva havainnointi sopii erityisesti määrällisen tutkimusmenetelmään soveltuvien mitattavien tutkimusaineistojen tuottamiseen. (Vilkka 2006, 43.)

Kanasen (2010, 54) mukaan teemahaastattelu menetelmään tulee valita henkilöt, joita ilmiö koskettaa. Teemahaastattelun alussa ei tule mennä heti yksityiskohtiin, vaan aloittaa yleistäen. Haastattelujen teemat on valittava niin, että teemat kattavat mahdollisimman kokonaisvaltaisesti koko ilmiön. (Kananen 2012, 102.)

Kvantitatiivinen, eli määrällinen, tutkimusote taas edellyttää teorioita tai malleja tutkittavasta ilmiöstä, eli ymmärrys on olemassa. Laskutoimenpiteitä varten on tunnettava muuttujat ja tekijät. Määrällisessä tutkimuksessa tutkimuskysymykset ovat tiedossa, sillä kysymykset on johdettu ilmiötä selittävistä teorioista. (Kananen 2012, 31.)

Kvantitatiivisena tiedonkeruumenetelmänä tutkimuksessa käytettiin tilastotieteen menetelmiä. Pellisen (2019, 19) mukaan laskentatoimessa on kyse mittauksesta, joka on aina numeerista ja asiat ilmaistaan määrien avulla. Tutkimusongelman vastaus muodostuu mittareista, joilla ennen ja jälkeen tilannetta voi vertailla. Koska kyse on prosessin muutoksesta, joka vaikuttaa useaan mitattavaan asiaan, analyysimenetelmänä tulee ensin selvittää riippuvuudet ja niiden perusteella mallintaa matemaattiset kaavat, joilla voidaan simuloida, kokeilla ja ennakoida eri vaihtoehtoja.

3 Kannattavuuden ja kustannuksien teoriaa

3.1 Toiminta-aste, kapasiteetti, käyttöaste ja tuottavuus

Kapasiteetilla tarkoitetaan yrityksen tai sen jonkun osan maksimituotantomäärää tiettyä ajanjaksona. Kapasiteetin määrä muodostuu resurssien määrästä, joita ovat

mm. koneet, toimitilat, laitteet ja työvoima. (Eklund & Kekkonen 2011, 45.) Usein yrityksissä on tilanne, ettei kapasiteettia ole tarpeeksi tai sille ei ole käyttöä. Kapasiteettivajaus aiheuttaa kustannuksia, kun menetetään myyntiä tai tuotteet toimitetaan asiakkaalle myöhässä. Ylikapasiteetti aiheuttaa kustannuksia, kun tuotantopotentiaalia pidetään yllä ilman käyttöä. Kapasiteetti on tuottavassa käytössä, kun tuotannon tuloksena valmistuu virheettömiä kappaleita tai kun tuotanto tuotteineen kehittyy paremmaksi. Häiriöt, kuten virheelliset tuotteet ja turhat seisokit tekevät kapasiteetista tuottamattoman. Tuottava ja tuottamaton kapasiteetti yhteenlaskettuna muodostaa käytännön kapasiteetin. Käytännön kapasiteetin ylittävä osa kapasiteetista on ylikapasiteettia. Ylikapasiteettia voidaan rakentaa tietylle ajanjaksolle tietoisesti, jos kysyntä on vaihtelevaa. Tällöin kapasiteetti mitoitetaan huippujen mukaan. Vaihtelevasta kysynnästä johtuviin muutoksiin voidaan vastata tuotannon sopeuttamisella osittais- tai kokonaissopeutuksen avulla. Kokonaissopeutuksella tarkoitetaan kapasiteetin lisäämistä tai vähentämistä ja osittaissopeutus tarkoittaa tuotantomäärän lisäämistä tai vähentämistä nykyisellä kapasiteetilla. (Pellinen 2019, 147-148.)

Toiminta-aste kuvaa yrityksen tai sen osan todellista tuotantomäärää tietynä ajanjaksona. Käyttöaste kuvaa, montako prosenttia todellinen tuotantomäärä on sen kapasiteetista. Käyttöasteen nostamisella saadaan tuotetun tavaran kustannuksia alhaisemmaksi, kun samalla kapasiteetilla voidaan tuottaa enemmän. Yrityksen tavoitteena on saada käyttöaste mahdollisimman korkeaksi mutta käytännössä sadan prosentin käyttöaste on tavoitteena epärealistinen, sillä se vaatisi koko kapasiteetin jatkuvaa käyttöä ilman häiriöitä, kuten huoltoja. (Eklund & Kekkonen 2011, 45-48.)

Yrityksissä on usein myös määritelty tavoite tuottavuudelle, joka lasketaan jakamalla suoritteiden määrä tarvittavien tuotannontekijöiden määrällä. Tuottavuutta voidaan tarkastella osatuottavuuksina, kuten materiaalin tuottavuus, konetuottavuus ja työn tuottavuus, joista työn tuottavuus on yleisesti käytetty. Työn tuottavuus lasketaan jakamalla suoritteiden määrä työtuntien määrällä. (Pellinen 2019, 24.)

3.2 Toiminnan kustannuksia ja kustannusten jakaminen

Kaikki yrityksen toiminnan kustannukset jaetaan joko muuttuviin tai kiinteisiin. Muuttuvat kustannukset muuttuvat tuotantomäärän muuttuessa, kun kiinteät taas pysyvät suunnilleen samoina. Kiinteitä kuluja syntyy, vaikka tuotantoa ei olisi ollenkaan, kuten esim. tuotantotilojen lämmityksestä ja investointien poistoista. Aine-, tarvike ja tavarakustannuksilla tarkoitetaan myytävän tuotteen valmistuksesta ja hankinnasta aiheutuvia muuttuvia kustannuksia. Alihankinnan kustannuksilla tarkoitetaan ulkopuolisilta ostettuja työ- ja palvelusuorituksia. Henkilökustannukset koostuvat työvoiman palkkaamisesta, joka sisältää itse palkan lisäksi henkilöstösivukulut. Osa palkkakustannuksista voi olla muuttuvia, osa kiinteitä. Jako voidaan tehdä sen mukaan, että työntekijöiden tuntipalkat ovat muuttuvia kustannuksia ja toimihenkilöiden kuukausipalkat kiinteitä. Tuotannon aiheuttamia kustannuksia ovat aine-, henkilöstö- ja toimitilakustannuksien lisäksi erilaiset tarvikehankinta- sekä koneiden ja laitteiden kunnossapitokustannukset. (Eklund & Kekkonen 2011, 25-32, 42-43.)

Yksikkökustannus kertoo, kuinka paljon yksi tuote aiheuttaa kustannuksia. Yksikkökustannukset voivat olla kiinteitä tai muuttuvia. Yleensä yksikkökustannukset vaihtelevat tuotantomäärän mukaan, esimerkiksi jos tuotantomäärän noustessa työ teetetään ylitöillä, yksikkökustannukset nousevat. Kiinteiden kulujen vaikutus taas yksikkökustannukseen on sitä pienempi, mitä suurempi tuotantomäärä on. (Eklund & Kekkonen 2011, 48.)

Kustannukset tulee jakaa myös välillisiin ja välittömiin, kun halutaan tietää yhden suoritteen aiheuttamat kustannukset. Suoraan tuotteelle kohdistettavat, eli välittömät kustannukset ovat yleensä muuttuvia. Näitä ovat esimerkiksi aine- ja henkilökustannukset. Välillisistä kustannuksista käytetään usein nimitystä yleiskustannukset (overhead cost), jotka aiheutuvat tuotannosta mutta niitä ei voida helposti kohdistaa yksittäiselle tuotteelle, kuten esimerkiksi kaluston ylläpito kustannukset. (Eklund & Kekkonen 2011, 51.) Välilliset kustannukset kohdistetaan ensin kustannuspaikalle, josta ne voidaan jatko kohdistaa tuotteille. Välillisiä kustannuksia kohdistettaessa kustannuspaikoille pyritään määrittämään mahdollisimman hyvin jokin tekijä, jolla voidaan jakaa kustannuksia aiheuttamisperiaatteen mukaan. (Pellinen 2019, 71.)

3.3 Kustannus-vaikuttavuus-analyysi

Kustannus-vaikuttavuus-analyysi (cost-effectiveness analysis) on määritelty prosessiksi, jossa vertaillaan vaihtoehtoisia ratkaisuja tavoitteiden määriteltyjen vaatimusten mukaan. Analyysillä tutkitaan, kuinka paljon arvoa saavutetaan käytetyillä resursseilla. (Engineering Design Handbook - System Analysis and Cost-Effectiveness 2011, 2). Kustannus-vaikuttavuus-analyysi on hyvä analysoinnin menetelmä, kun kaikkia tavoitteita ei voida mitata rahassa. Näin ollen hyödyt voidaan arvioida myös sellaiseen, eikä kaikkia tule muuttaa rahamääräisiksi. Kustannus-vaikuttavuus-analyysi etenee seuraavasti (Pellinen 2019, 181.):

- Tavoitteiden määrittely
- vaihtoehtojen määrittely
- vaikuttavuuden mittarien valinta
- ennakoidut kustannukset
- päätöksentekokriteereiden valinta ja
- valintamallin määrittely.

4 Planeettapyörän valmistuksen työvaiheita teoriassa

4.1 Sorvaus

Sorvaus on lastuava työstömenetelmä, jolla valmistetaan tavallisesti pyörähdyskappaleita, eli kappaleita, joilla on ympyränmuotoinen poikkileikkaus. Lastuavana työkaluna on sorvin teräkelkkaan kiinnitetty terä, jolla työstetään pyörivässä liikkeessä olevaa kappaletta. Kappaleen kiinnitys tulee ehdottomasti tehdä niin, ettei se pääse irtoamaan. Irtoaminen aiheuttaa työturvallisuusriskin sekä laadullisia ongelmia. Sorvaus tulee suorittaa niin, että mittatarkkuus on toleranssin mukainen, pinnanlaatuvaatimus täyttyy, työ käy joutuisasti ja terä ei vaurioidu liian nopeasti. (Maaranen 2012, 129, 169.)

Terämalleja ja -laatuja on lukuisia erilaisia. Teränmuoto, työstöarvot ja työstettävä raaka-aine vaikuttavat siihen, miten helposti lastu irtoaa, minkä muotoista lastua muodostuu sekä terän kestoikään. Tavoite on välttää pitkiä lastunauhoja, jotka voivat aiheuttaa häiriöitä takertumalla toisiinsa, kiertyessään terän ympärille tai tukkiessaan lastunkuljettimen. Teräpalat kuluvat ja tylsistyvät luonnollisesti työstettäessä ja vaativat vaihtoa ajoittain. Epätoivottuja terän rikkoutumisia ovat esim. murtuminen, joka johtuu hakkaavasta työstöstä (esim. kovat materiaalit), värinästä tai lämpötilan vaihteluista. Myös teränvarsiin kohdistuu voimia, jotka aiheuttavat kulumista, jolloin varren kiinnityselementit voivat vaurioitua ja aiheuttaa terien lisäkustannuksia ja heikentää työnlaatua. (Maaranen 2012, 142-151.)

Sorvausprosessiin olennaisesti vaikuttavat tekijät:

- Työkappaleen kiinnitys: tukevuus ja tarkkuus
- työstökoneen suorituskyky: tukevuus, tarkkuus, liikeratojen pituudet
- työstöarvot: lastuamismisnopeus, pyörimismisnopeus, syöttö, lastuamissyvyys
- terälaadun ja -mallin oikea valinta
- leikkuunesteen riittävä jäähditys.

Kovatorvaus tarkoittaa sorvausta, joka tehdään kappaleille, joihin on muodostunut kova pinta lämpökäsittelyn ansiosta. Käytännössä kovatorvaus eroaa ns. pehmeästä sorvauksesta pääasiassa työstöarvojen valinnassa ja käytetyissä leikkaustyökaluissa.

4.2 Lämpökäsittely

Viisi yleisintä lämpökäsittelymenetelmää ovat läpikarkaisu, hiiletyskarkaisu, nitraus, typpihiiletyskarkaisu ja induktiokarkaisu. Näistä hiiletyskarkaisu tarjoaa parhaimman momenttikapasiteetin. Ensisijainen tavoite hiiletyskarkaisussa on saada kappaleeseen kova martensiittinen pintakerros ja jättää sisäosa suhteellisen pehmeäksi. (Rakhit 2000, 2, 39.) Kova pintakerros (60-65 HRC) tarvitaan, jotta kappale kestää käytössä pintakulutuksen sekä pintapaineen. Pyörän sisäosan jäädessä pehmeäksi rakenneeksi, se kestää muodonmuutoksia ja iskuja. (Karvonen 2010, 51.)

Lämpökäsittelyn yleinen ongelma on kappaleissa esiintyvät vääntymät. Vääntymät johtuvat karkaisuprosessiin kuuluvista lämpötilan vaihteluista, jolloin kappaleeseen muodostuu sisäisiä jännitteitä mikrorakenteen ja tilavuuden muuttuessa. Vääntymien syntymekanismi on monimutkainen yhdistelmä eri muuttujista (mm. kappaleen koko ja muoto, jäännösausteniitin määrä, teräksen seostus, sammutusnopeus), jonka poistamiseen ei ole helppoa ratkaisua. (Rakhit 2000, 77.)

4.3 Hionta

Hionta on vanha lastuavan työstön menetelmä, jossa usein käytetään suurella nopeudella pyörivää hiomalaikkaa materiaalin poistamiseen laikkaa pehmeämmästä materiaalista. Hiomalaikka koostuu lukuisista pienistä hiomajyväsistä, jotka on sidottu yhteen sideaineella.

Nykyaikainen hiontateknologia on hyvin pitkälle kehitetty ja menetelmänä merkittävä vaativien kappaleiden valmistuksessa. Hiontaa käytetään usein valmistettaessa korkealaatuisia kappaleita, joissa vaatimuksena on tiukka mittatoleranssi tai pinnan karheus vaatimus. Hionta sopii myös erittäin kovien materiaalien koneistukseen ja viimeistelyyn. Hiontaprosessiin liittyy myös erinäisiä ongelmia. Havaittuja ongelmia ovat mm. lämpövauriot, epätoivottu pinnankarheus, värinä, laikan tukkeutuminen ja laikan nopea kuluminen. Hionnan onnistuminen vaatii oikeanlaisen ymmärryksen prosessiin liittyvien muuttujien vuorovaikutuksesta. (Marinescu, Hitchiner, Uhlmann, Rowe & Inasaki 2007, 3-4.) Ongelmien esiintyminen aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia, joita koostuu mm. hitaammasta läpimenoajasta, epäkuranteista kappaleista, laatuongelmien ratkaisemisesta ja hiomalaikan lyhyemmästä eliniästä.

Hiontaprosessiin olennaisesti vaikuttavia muuttujia ovat (Handbook Gear Grinding 2014, 220):

- Työstökoneen suorituskyky, tukevuus, työkalut, tarkkuus, lämpötila
- hiomalaikan karheus, kovuus, huokoisuus
- teroitustimantin laatu

- leikkuunesteen määrä, laatu, puhtaus, lämpötila
- hiottavan kappaleen hiottavuus, kovuus, fyysiset mitat
- työstöarvot, mm. leikkuunopeus, työkappaleen pyörimisnopeus, lastunpaksuus
- hiomalaikan ja hiottavan kappaleen väliset liikkeet keskenään (kinematiikka).

Reikähionnalla työstetään lieriömäisiä tai kartiomaisia reikiä kappaleisiin. Reiän hiontamenetelmiä ovat pituushionta, pistohionta ja kiertoliikehionta. Pituushionnassa hiomakara tai työkappale tekee edestakaisen pituussyöttöliikkeen, pistohionnassa hiomalaikkaa syötetään kohtisuorasti työkappaletta vasten ilman pituusliikettä ja kiertohionnassa hiomakara tekee reiässä pyörimisliikkeen lisäksi myös kiertoliikettä. (Maaranen 2012, 114.)

4.4 Laatu ja laadunvarmistus

Ensisijaisesti laadulla tarkoitetaan suunnitelman ja toteutumisen yhdenmukaisuutta ilman virheitä. Tuotantotaloudessa käsitteellä laatu viitataan tavara- ja palvelutuotteiden määrättyihin ominaisuuksiin, joilla on merkitystä asiakastytyväisyyteen sekä tuotantokustannuksiin. Laaduttomuus voi aiheuttaa yritykselle merkittäviä kustannuksia. Sisäisiksi virhekustannuksiksi kutsutaan kustannuksia, jotka johtuvat virheistä tuotantojärjestelmän sisällä, kuten suunnittelemattomat seisokit, hylkykappaleet, virheiden korjaaminen ja energiahukka. Ulkoisia virhekustannuksia ovat virheet, jotka ilmenevät asiakkaalla, kentällä tai käytössä. Laadukustannukset voivat olla myös positiivisia, jos ne vähentävät virhekustannuksia. Näitä kustannuksia ovat esimerkiksi laadun varmistusmenetelmien perustaminen ja valvominen systemaattisesti. (Lehtonen 2004, 154-155.)

Tekninen laatu kertoo, kuinka hyvin tuotantoprosessi pystyy vastaamaan sille suunniteltuihin tehtäviin. Sarjatuotannossa tavoite on, että jokaisen toistokerran lopputulos vastaisi alkuperäistä, eikä vaihtelua esiintyisi. Koska täydellinen virheettömyys on lähes mahdotonta, käytetään erilaisia tilastollisia menetelmiä, joiden avulla pyritään hallitsemaan näitä prosessissa esiintyviä vaihteluita. (Lehtonen 2004, 141-144.)

Laadunohjauksen tilastollisen teorian mukaan vaihtelu ei ole haitallista, jos se tunnetaan ja esiintymisen todennäköisyys voidaan ennustaa. Prosessi voi olla tilastollisesti hallinnassa mutta kuitenkin kyvytön pysymään toleranssirajojen sisäpuolella. Toleranssi tarkoittaa, kuinka suurta vaihtelua tuote tai palvelu voi sisältää. Toleranssien asetteluun määrittää tuotteen käyttötarkoitus. Toleranssivälin ja prosessille ominaisen vaihteluvälin suhdetta kutsutaan prosessin suorituskyvyksi. (Lehtonen 2004, 146.)

5 Planeettapyörän nykyinen valmistusketju aiheista tarkastukseen

5.1 Planeettapyörän materiaalivirta tehtaassa

Planeettapyörän prosessikaavio on esitetty liitteessä 1, josta nähdään, että valmistusprosessi muodostuu seuraavista osaprosesseista: tuotannonohjaus, tuotannon suunnittelu, hankinta, logistiikka, valmistus ja tarkastus. Näistä vaiheista kerätään talenteita ja asiakirjoja eri järjestelmiin, pääasiassa Lean toiminnanohjausjärjestelmään. Prosessikaavioon on lisätty keltaisella värillä työvaihe kovalorvaus, jolloin kaavio kuvastaa työnkulua, jos kovalorvaus menetelmä otetaan käyttöön. Nykyinen prosessikaavio ja työnkulku on sama ilman kovalorvausta, kovalorvaus olisi yksi työvaihe lisää lämpökäsittelyn ja reikähionnan väliin.

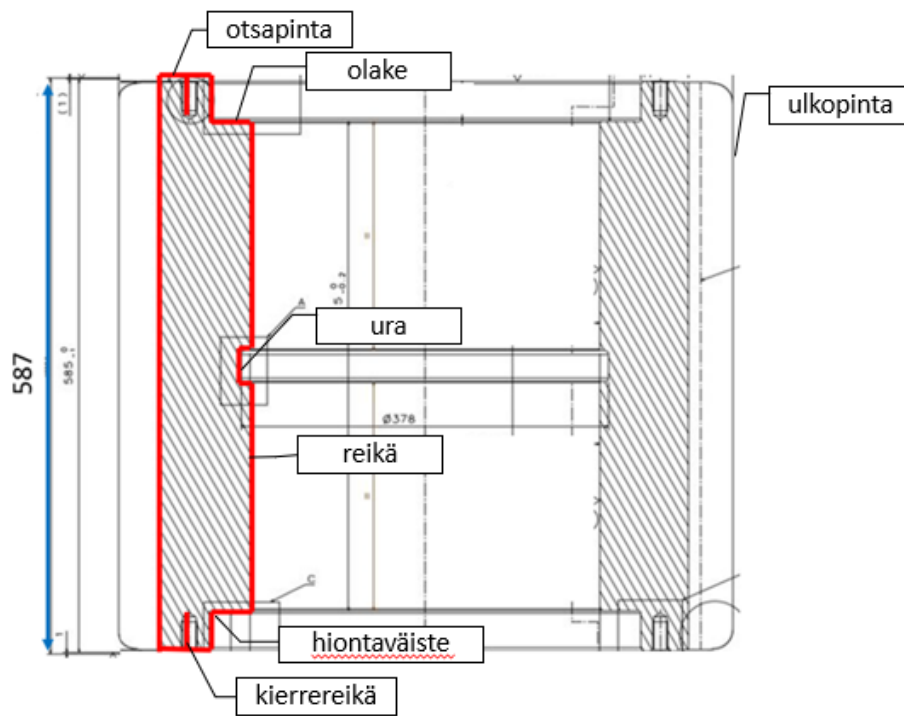
Ikolan tehtaalla on seitsemän toisistaan seinillä erotettua hallia. Sorvaus, hammastus ja viilaus suoritetaan hallissa numero 2, ts. puhutaan 2-hallista. Lämpökäsittelyä varten on karkaisimo (1- halli). Hionta ja tarkastus suoritetaan 3-hallissa. 3-hallin jälkeen planeettapyörä ohjataan valmisvarastohyllyyn, josta se on kokoonpanon käytettävissä. Planeettapyörät liikkuvat hallien ja työpisteiden välillä automatisoidulla viivaunulla, jota ohjataan omalla järjestelmällä (Motus). Trukkeja tai henkilöstöä ei siis ole tarve käyttää itse kappaleen siirtoihin. Planeettapyörän paino on 780 kg, joten

kaikki nostot tehdään nosturilla. Tuotanto on järjestetty tuotteen ympärille linjaläpäisyperiaatteen mukaan, eli tuotantovaiheet seuraavat toisiaan aina samassa järjestyksessä (Pellinen 2019, 29).

5.2 Alkuservaus ja poraus

Aihio varastoidaan 2-hallin hyllyyn, josta se tilataan vihivaunulla työsoluun. Työsoluja on 2-hallissa neljä, joista jokainen muodostuu yhdestä karusellisorvista sekä yhdestä jysinkoneesta. Kolmen solun karusellisorvit ovat merkiltään ja malliltaan IMT P32-TM2. Nämä sorvit hankittiin tehtaalle vuonna 2008, kun sarjassa tehtävät planeetta-pyörät olivat pienempiä. Näiden lisäksi hallissa on yksi uudempi ja isompi karusellisorvi, Doosan Puma VTR-1216 M (jatkossa käytetään lyhennettyä nimeä Doosan).

Aihiosta sorvataan työpiirustuksen mukaisesti ulkopinta, reikä ja ura sekä molemmin puolin otsapinta, olake, hiontaväiste sekä kierrereikä nostolenkkejä varten. Sorvattavat pinnat on merkitty kuvioon 6 punaisella värillä. Koska sorvattavia ja porattavia muotoja on kappaleen molemmin puolin, kappaletta ei saa sorvattua yhdellä kiinnityksellä. Kappale tulee siis kääntää välissä, eli se on sorvattava kahdessa vaiheessa.

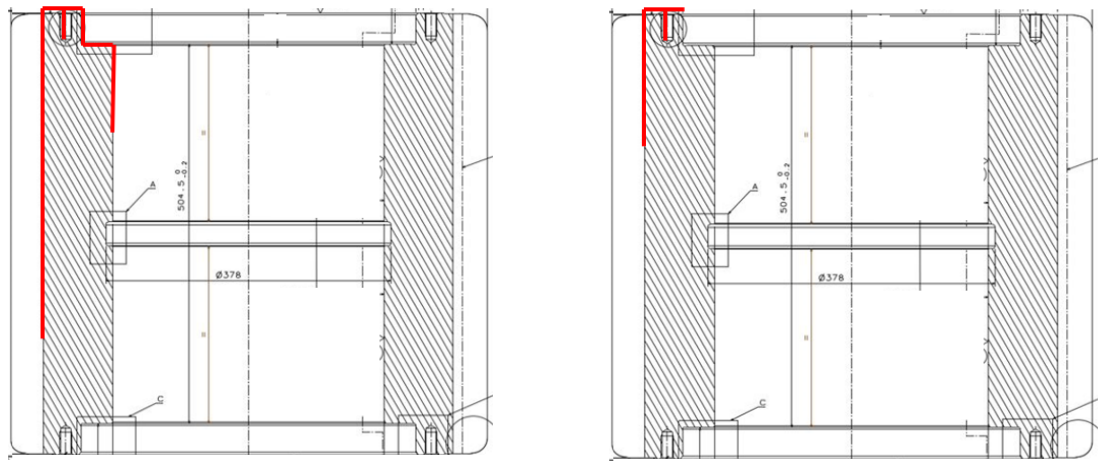


Kuvio 6. Planeettapyörän PPH-5700 leikkauskuva. (Moventaksen omistama työpiirustus 2020, muokattu)

IMT-P32 sorvien ongelma on niiden liikeratojen riittämättömyys PPH- 5700 reiän sorvauksessa. Reiän korkeus on 587 mm (kuvio 6) ja kyseisellä sorvilla voidaan sorvata noin 150 mm syvyyteen. Doosan sorvilla reikä voidaan sorvata koko matkalta yhdellä kiinnityksellä. 2-hallin kapasiteetin tehokkaamman käytön ja työkuorman tasaamisen vuoksi sorvaus on jaettu nykyään seuraaviin vaiheisiin (kuvio 7):

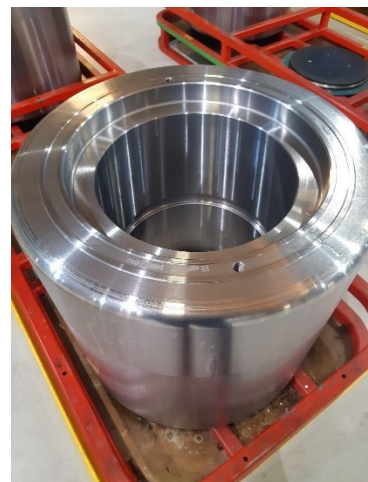
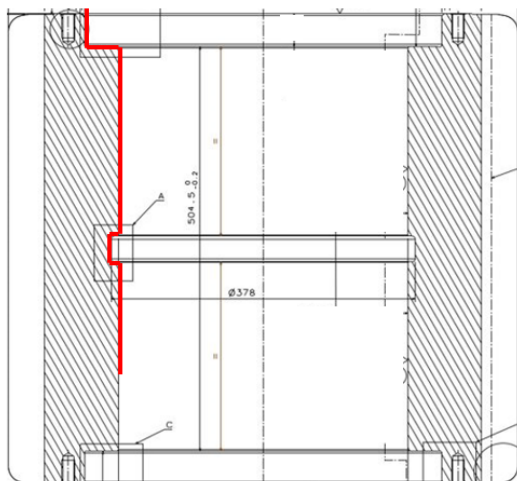
1. Vaihe: Tehdään IMT- P32 sorvilla. Kappale kiinnitetään ulkopuolelta nelileukaistukseen. Kappaleesta sorvataan otsapinta, olake, ulkohalkaisija lähelle kiinnitysleukoja, pistetään hiontaväiste, porataan reikä ja tehdään siihen kierre sekä lisäksi sorvataan sisähalkaisija 150 mm matkalta.

2. Vaihe: Kappale käännetään, keskitetään ja sorvataan samalla koneella ulkohalkaisijan loppuosa, toinen otsapinta sekä porataan reikä ja tehdään siihen kierre.



Kuvio 7. IMT-P32 koneella sorvattavat pinnat merkitty punaisella, 1. ja 2. vaihe

3. Vaihe: Kappale siirretään Doosan sorville. Kappale kiinnitetään ulkopuolelta hydrauliseen kolmileukaistukkaan. Sorvataan olake ja sisäpuolelle ura sekä reikä siltä osin, miltä se 1. vaiheessa jäi sorvaamatta (kuvio 8). Tämän jälkeen kappale on valmis hammasjyrsintään.



Kuvio 8. Doosan sorvilla sorvattava osuus merkitty punaisella. Oikealla hammasjyrsintään valmis kappale.

Kappaleeseen jätettävät työvarat on sovittu niin, että lämpökäsittelyn muodonmuutoksien jälkeen niihin jää tarpeeksi työvaraa hiontaa varten. Työvarojen ollessa liian pienet, reiän muodonmuutoksen jälkeen se ei välttämättä puhdistu kauttaaltaan, jolloin kappale ei ole käyttökelpoinen. Liian suuret työvarat aiheuttavat lisäkustannuksia hionta-ajan pidentyessä, koska materiaalia pitää poistaa enemmän. Lisäksi tällöin lämpökäsittelyssä muodostunut ja työpiirustuksessa vaadittu noin kolmen millin syvyinen kova pintakerros voi hioutua pois. PPH-5700 planeettapyörän reikä sorvataan 0,7 mm päähän valmistamasta ja olakeväli 1,1 mm päähän, eli yhdelle olakkeelle jää 0,55 mm työvaroja ennen karkaisua.

5.3 Hammastus, viilaus ja lämpökäsittely

Hammastus tehdään jyrsinkoneilla. Reiän kovasorvaus ei vaikuta hammastuksen työmenetelmiin. Hammastuksen jälkeen kappaleet ohjataan viilaukseen automatisoituun soluun, josta seuraava työvaihe on hiiletyskarkaisu. Kovasorvaus ei vaikuta myöskään lämpökäsittelyn työmenetelmiin. Lämpökäsittelyssä syntyvät muodonmuutoksien suuruus vaikuttaa kovasorvaukseen ja hionnan vaiheisiin. Planeettapyörissä muodonmuutokset ovat mitattavissa mm. ympyrämuotoisissa, tasomaisuudessa tai epäkeskeisyydessä sekä hampaan geometriassa.

Karkaisussa syntyviin muodonmuutoksiin vaikuttavia tekijöitä käsiteltiin luvussa 4.2. Näiden lisäksi lämpökäsittelyn työnjohtajan mukaan myös samanmallisen pyörän yksilöiden välillä voi esiintyä muodonmuutoksia. Esimerkiksi sillä voi olla vaikutusta, missä kohtaa karkaisun panostelinettä pyörä sijaitsee. Jos hionnassa työvaroja on liian vähän, siitä aiheutuu laatukustannuksia. Tämän vuoksi sorvauksessa jätettävien työvarojen muutoksissa tulee olla hyvin varovainen. Karkaisimosta valmistuttuaan planeettapyörä (kuvio 9) on valmis siirrettäväksi 3-hallin hyllyyn odottamaan hiontaa.



Kuvio 9. Hiontaan valmis kappale

5.4 Planeettapyörän hiominen

3-hallissa on seitsemän planeettapyörän hiontaan sopivaa solua, joista jokaisessa solussa on yksi reikähiomakone sekä yksi hammashiontakone. Hiontajärjestys on aina sama, ensin hiotaan reikä ja tasot reikähiomakoneella ja sen jälkeen toisella koneella suoritetaan hammashionta. Tällä hetkellä PPH- 5700 planeettapyörää hiotaan neljässä eri solussa sarjatyönä. Näiden solujen reikähiomakoneet ovat samanmerkkisiä ja suorituskyvyltään keskenään samantasoisia.

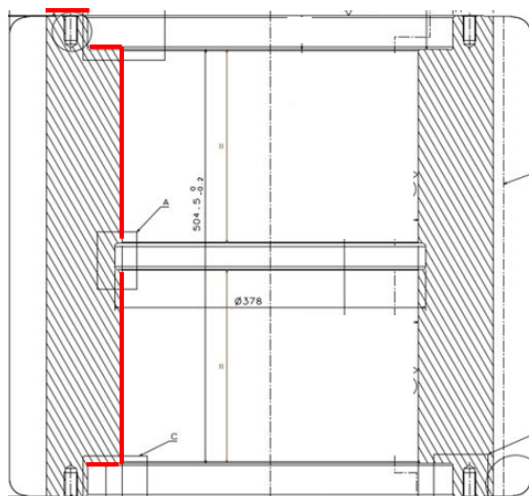
Ennen reikähiontaa kappale käännetään, tarkastetaan kappaleen kiinnityspinta käsin hiomakivellä ja rätillä mahdollisten epätasaisuuksien ja epäpuhtauksien vuoksi, tarkastetaan koneen pöydän puhtaus, keskitetään kappale ja kiinnitetään magneetilla kiinni koneen pöytään, jonka jälkeen voidaan aloittaa hionta. Keskitys tarkoittaa työvaihetta, jossa kappale asetellaan työstökoneen keskelle mittakelloa ja kumivasaraa käyttäen. Kappale keskitetään 0,01- 0,02 mm tarkkuudella.

Hiontavaiheet voidaan jakaa kolmeen eri vaiheeseen: otsapinnan hionta, olakkeiden hionta ja reiän hionta, joista jokainen tehdään eri hiomalaikalla. Ennen aineenpoistoa laikka on ohjelmoitu menemään tietyn matkan päähän kappaleesta pikaliikkeellä,

jonka jälkeen kone aloittaa pinnan etsimisen. Kun laikka hipaisee kappaleen pintaa, kuormitusanturi lähettää signaalin ja kone aloittaa itse hionnan ohjelmoinnissa määritetyillä syöttöarvoilla. Hiomalaikat on myös ohjelmoitu käymään tietyn väliajoin teroituksessa teroitustimantilla, jotta lastuavuus pysyy hyvänä.

Hionta etenee seuraavissa vaiheissa:

1. Vaihe: Otsapinnan tasohionta pituushionnalla. Otsapinta hiotaan hammashionnan kiinnitystä varten.
2. Vaihe: Ala- ja yläolakkeen hionta pistohionnalla.
3. Reiän hionta aloitetaan pistohionnalla neljältä eri korkeudelta. Pistohionnalla reikä hiotaan 0,04mm päähän valmismittasta. Lopuksi reikä viimeistellään pituushiomalla koko matkalta valmismittaan.



Kuvio 10. Hiottavat pinnat

Hammashionnan työmenetelmiä ei ollut tässä tutkimuksessa oleellista käydä syvällisemmin läpi, tutkimukselle oleellista oli kuitenkin selvittää siihen käytetty aika kustannuksien laskentaa varten. Hammashiontaan kuluva aika kelloitettiin tutkimuksen aikana ja kymmenen kappaleen perusteella keskiarvo oli 4 h 37 min.

5.5 Tarkastus ja laatu

Planeettapyörät ovat yksilönumeroituja. Laadunvarmistuksen ja seurannan vuoksi niistä jokaisesta tallennetaan useita asiakirjoja aihion materiaalitodistuksesta vaihteen käyttöönottoon asti. Lisäksi yritys käyttää mm. tilastollista prosessinohjaus välinettä, SPC (Statistical Process Control).

SPC:n avulla systemaattisesti kerätystä tiedosta voidaan seurata prosessien kehittymistä ja vaihtelua sekä reagoida nopeasti mahdollisiin poikkeamiin, joista voi aiheutua laatuongelmia. SPC avulla voidaan analysoida myös prosessin tasaisuuden ennustettavuutta. (Sower 2014, 1,87.)

Mittatuloksia kerätään useista piirteistä, jotka on valittu sen mukaan, kuinka kriittisinä niitä pidetään prosessin laadunvarmistuksen kannalta. Koneistaja kirjaa nämä tulokset järjestelmään jokaisesta kappaleesta. Myös hionnan jälkeen koneistaja kirjaa Lean-järjestelmään ennalta määritellyt piirteet. Tämän lisäksi jokainen planeettapyörä 3D-mitataan määritellyiltä kohdin, poissuljetaan mahdolliset säröt magneettijauhetarkastuksen avulla sekä selvitetään mahdolliset pintapalamiset ja kovuuden vaihtelut Barkhausen menetelmällä.

Valmistusmenetelmien muutoksissa tehdään tarkempi seuranta, ennen kuin sarjatyö uusilla menetelmillä aloitetaan. Käytännössä planeettapyörät hiotaan ensin isommille työvaroilta, tarkistetaan pinnankarheus, varmistetaan muoto 3D-mittauksella sekä tarkistetaan mahdolliset pintapalamiset. Jos korjattavaa ei ole, kappale hiotaan valmiiksi ja seuraavia kappaleita seurataan tarkemmin, jotta prosessin sujuvuus saadaan varmistettua.

6 Työn toteutus

6.1 Lähtötilanteen tietojen keräys

6.1.1 Lähtötiedot teemahaastatteluista ja sisäisestä koulutusmateriaalista

Tutkimuksen teko aloitettiin ongelman tarkemmalla määrittelyllä teemahaastattelun ilmiön parissa työskennelleitä toimihenkilöitä. Haastatteluiden lisäksi tutustuttiin aiempiin opinnäytetöihin, joissa planeettapyörän valmistusta oli käsitelty (ks. johdanto). Lisäksi tutustuttiin yrityksen sisäiseen koulutusmateriaaliin, josta löytyi työohjeistus planeettapyörän valmistuksen työvaiheista sorvauksen ja hionnan osalta. Haastatteluiden ja koulutusmateriaalin läpikäymisen jälkeen planeettapyörän valmistusprosessista materiaalivirtoineen muodostui selvä mielikuva, sekä tieto, mitä tuotantotekijöitä reaali prosessiin tarvitaan.

6.1.2 Tietojen keräys toiminnanohjausjärjestelmästä

ERP-järjestelmästä haettiin tutkimuksen kohteena olevan planeettapyöränimikkeen tiedoista kustannus- ja vaiheikatietoja, joista selvisi planeettapyörän viimeisin hinta, keskihinta, materiaalinkeskihinta, sekä työnkeskihinta, joka oli jaettu vielä osiin ”POH”, eli tuotannon välilliset kustannukset (Production Overhead) ja ”LABOR”, eli työvoimakustannukset. ERPistä haettiin myös lista omakustannushinnoista (OKA). Löytyneistä tiedoista kerättiin tiedot Excel tiedostoon (liite 2), jotta saatiin PPH- 5700 planeettapyörän kustannuksista kokonaiskuva. Euromääräiset tiedot ovat salassa pidettäviä, joten taulukkoon 1 ja taulukkoon 2 tiedot on muutettu prosentuaaliseen muotoon. Taulukosta 1 selviää, että planeettapyörän hinnasta noin puolet (52 %) koostuu materiaalikustannuksista ja puolet (48 %) työhinnasta. Työnkeskihinnasta kolmasosa (33 %) koostuu työvoimakustannuksista ja loput tuotannon välillisistä kustannuksista.

Taulukko 1. Planeettapyörän yksikköhinta

Planeettapyörän kappalehinta (3.3.2021)					
	e/ kpl	osuus keskihinnasta			osuus työnkeskihinnasta
Viim. hinta	xxx				
Keskihinta	xxx				
Mat.keskihinta	xxx	52 %			
Työnkeskihinta (POH + LABOR)	xxx	48 %	POH	xxx e	67 %
			LABOR	xxx e	33 %

Planeettapyörän työnkeskihinta lasketaan yhteen laskemalla eri työvaiheiden hinnat.

Yhden vaiheen hinta lasketaan kaavalla:

Vaiheen aika * OKA + LABOR

Vaiheen ajat on listattu taulukkoon 3. Taulukosta 2 nähdään, että vuonna 2021 OKA ja LABOR kustannukset ovat sorvauksessa ja hionnassa hyvin lähellä toisiaan. Tästä voidaan päätellä, että kovasorvaus ei tuo kustannushyötyä tilanteessa, jossa hionnassa säästetyt tunnit siirtyisivät samansuuruisena sorvaukseen. Mielenkiintoisena huomiona vertaillen edellisen vuoden (2020) OKA hintoja vuoteen 2021, oli sorvauksen ja hionnan välisen eron pienentyminen 22 %:sta 7 %:iin. Jos tutkimus olisi tehty vuonna 2020, olisi luvuista voinut päätellä, että vaikka sorvauksen ja hionnan yhteenlaskettu työvaiheiden tuntimäärä olisi sama, tulisi halvemmaksi, mitä enemmän teetettäisiin sorvauksen puolella. Toisin sanoen, jos kovasorvauksella saataisiin hionnasta tunti pois ja samalla sorvaukseen tulisi tunti lisää, planeettapyörän keskituntihinta putoaisi. 2-koneajo tarkoittaa tilannetta, jossa yksi henkilö ajaa kahta koneetta. Sorvauksessa ja hionnassa on nykyään tämä tilanne, kun solussa on kaksi koneetta.

Taulukko 2. Planeettapyörän sorvauksen ja hionnan OKA hinnat

Omakustannushinnat (OKA) 2021	e/h		Vuonna 2020
Sorvaus	xxx	7 % halvempi kuin hionta	22% halvempi kuin hionta
Hionta	xxx		
Labor 2-koneajo	xxx	sama sorvaus ja hionta	

Kerättyjen kustannuslaskelmatietojen syvemmän ymmärryksen saamiseksi haastateltiin yrityksen talousasiantuntijaa. Haastattelussa selvisi, että sorvauksen kustannuspaikan OKA hinnan muutokseen oli vaikuttanut se, että ennustetut standardituntimäärät olivat laskeneet vuosien 2020 ja 2021 välillä ja kiinteät kulut pysyneet samana. Haastattelussa arvioitiin myös kerättyjen kustannuksien soveltuvuutta tutkimukseen. Arvioinnissa päädyttiin siihen, että koska hinnat ovat yleisiä keskihintoja ja perustuvat osaltaan ennustettuun budjettiin sekä ennustettuihin standarditunteihin, ei niitä tulisi käyttää kuin suuntaa antavina prosessien vertailussa. Kovasorvauksesta mahdollisesti saatujen säästöjen kohdistaminen suoraan tuotteen yksikköhintaan ei menisi niin yksinkertaisesti, vaan näkyisi osana suurempaa kokonaisuutta.

ERP:n tiedoista kerättiin myös tuotannon valmistusvaiheille määritellyt työvaiheajat (taulukko 3). Työvaiheajoja tutkiessa huomattiin, että ennen karkaisua 2-hallin soluissa tehtävistä työvaiheista hammastus (HA) on sorvausta (PSOR 1+PSOR 2) hitaampi vaihe. Toisin sanoen hammastukseen kuluva 4 h on solun läpimenoajan määräävä tekijä. Reikä ja hampaanhionnalle (REHAHI) on määritelty yksi yhteinen aika, 5,5 h. Aiempien haastattelutietojen mukaan tämä on määritelty hitaamman vaiheen, eli reikähionnan mukaan.

Taulukko 3. Planeettapyörän työvaiheajoja ERP-järjestelmässä

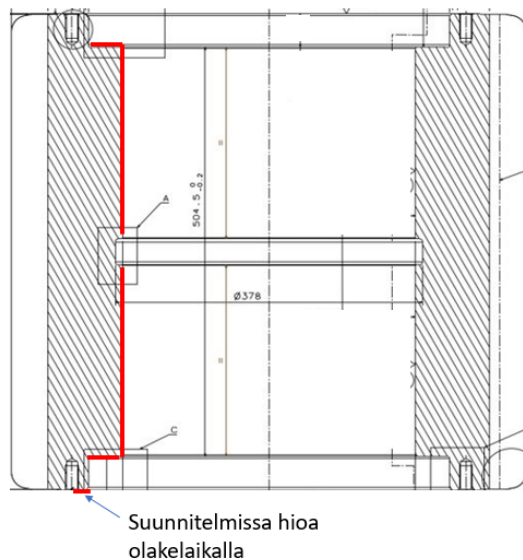
Planeettapyörän valmistuksen vaiheajat (ERP 3.3.2021)		
Vaihe	Nimi	Aika (h)
PSOR 1	1. Sorvausvaihe	1
PSOR 2	2. Sorvausvaihe	1
HA	Hammastus	4
KARKAISU	Karkaisu	778
REHAHI	Reikä ja hampaanhionta	5,5

6.1.3 Hionnan työstöajan simulointi

Tutkimuksen tässä vaiheessa tapahtui tutkimuksen teon kannalta merkittävä käänne, sillä reikähiontaan tehtiin työstömenetelmään muutos, jolla oli reikähionnan työstö-

aikaan lyhentävä vaikutus. Olakkeen hionnan, reiän pistohionnan ja reiän pituushionnan työstöarvoja nostettiin. Kappaleita valmistettiin uusilla työstöarvoilla useampia ja muutokset todettiin laadullisesti hyväksyttäviksi.

Tämän lisäksi tutkimuksen aikana alettiin valmistelemaan uudenlaista menetelmää, jonka jälkeen otsapintaa ei enää hiota, vaan hammashionnalle tarpeellinen kiinnitystaso hiottaisiin olakelaikalla (kuvio 11). Lisäksi tämän menetelmämuutoksen myötä kappaletta ei tarvitse enää kääntää ennen hiontaa ja 1. vaiheen otsapinnan hionnasta (ks. s. 26) voidaan luopua kokonaan. Tämä menetelmämuutos ei valmistunut käytännössä tutkimuksen teon aikana mutta valmistelut olivat lähes valmiit testausta varten, joten tutkimusta jatkettiin tämän menetelmän näkökulmasta.



Kuvio 11. Uudella menetelmällä hiottavat pinnat

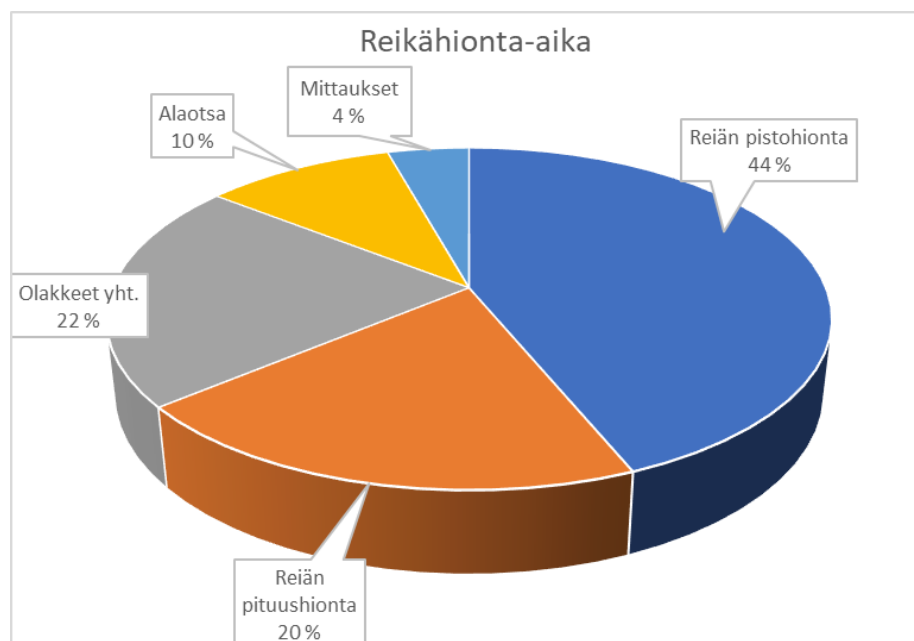
Yrityksen kehitysinsinööri on tehnyt hyvin yksityiskohtaisen Excel laskurin hionnan työstöaikojen simulointia varten. Simulointilaskuriin on määritelty oletetut työvarat, sillä varsinaisia todellisia tavoitteita ei ole määritelty, kuinka paljon työvaroja tulisi käytännössä olla ennen hiontaa. Laskurissa reiän oletettu työvara on 1,2 mm ja olakkeella 0,6 mm. Simulointilaskurin mukaan menetelmämuutoksien jälkeen reikähionnan työstöaika olisi jatkossa 2h 19 min (taulukko 4). Tämä tarkoittaa, että hammashi-

onnasta muodostuisi hiontasolun hitaampi vaihe. Reikähionta olisi jatkossa hammashiontaa 2h 18 min nopeampi. Tutkimusta ei kuitenkaan keskeytetty, sillä oletus on, että hammashiontaa tullaan kehittämään niin, että reikähionnasta voi muodostua jälleen hitaampi vaihe, jolloin reiän kovatorvaus tulisi taas ajankohtaiseksi.

Taulukko 4. Simuloitu työstöaika menetelmämuutoksien jälkeen.

HIONTA-AIKA	min
Reiän pistohionta	61
Reiän pituushionta	28
Yläolakkeen hionta	15
Alaolakkeen hionta	15
Alaotsan hionta	14
Mittaukset	6
YHT	139

Kuviossa 12 on esitetty näiden vaiheiden prosentuaaliset osuudet koko hionta-ajasta. Kuvioista nähdään, että eniten aikaa menee reiän rouhintaan (44%).



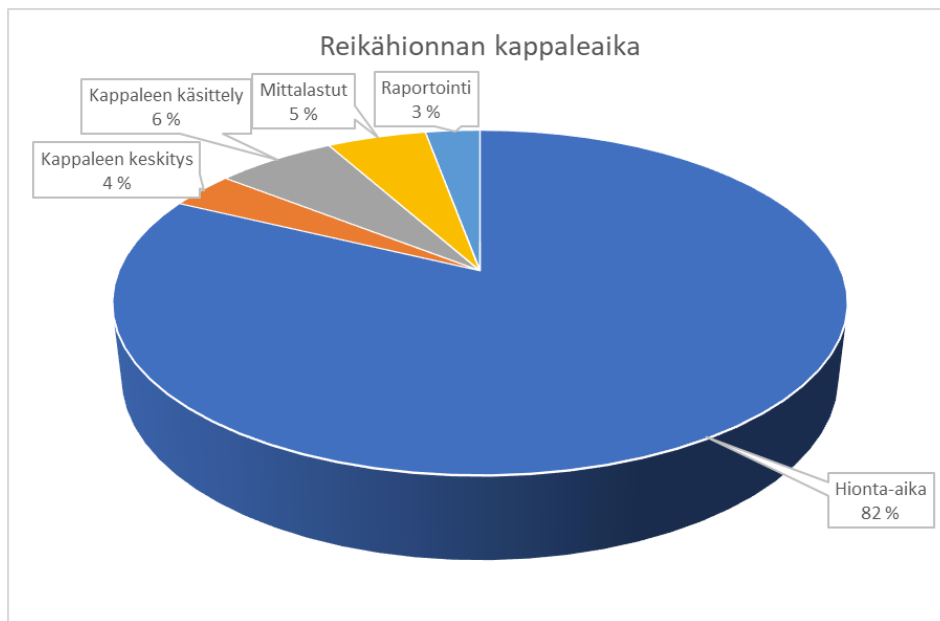
Kuvio 12. Reikähionnan NC- ajan vaiheet prosentuaalisessa muodossa

Taulukossa 5 on esitetty reikähiontaan kuuluva kappaleaika, joka sisältää itse hionnan lisäksi muita työvaiheeseen kuuluvia tehtäviä, kuten kappaleen keskitys ja raportointi. Kappaleaika tarkoittaa käytännössä reikähionnan läpimenoaikaa, eli aikaa, kun työ aloitetaan ja lopetetaan ja kappale on valmis seuraavaan työvaiheeseen. Kappaleajaksi muodostuu simuloinnin mukaan 2h 50 min (170 min). Laskelmassa ei otettu huomioon sarjan ensimmäiseen kappaleeseen menevää kahden tunnin asetusaikaa. Tutkimuksen näkökulmasta tämä ei ole oleellinen tieto, sillä jos vuotuinen tilauskanta on 250 vaihdetta (yrityksen ennuste 2021) se tarkoittaisi 1500 planeettapyörää, jolloin yhden pyörän osuus asetusaikasta on noin viisi sekuntia.

Taulukko 5. Reikähionnan kappaleaika

KAPPALEAIKA	min
Hionta-aika	139
Kappaleen keskitys	6
Kappaleen käsittely	11
Mittalastut	9
Raportointi	5
YHT	170

Kuviossa 13 on esitetty eri työvaiheiden prosentuaaliset osuudet koko kappaleajasta. Kuvioista nähdään, että valtaosa reikähionnan kappaleajasta muodostuu hiontaan kuuluvasta koneajasta (82%).



Kuvio 13. Reikähionnan kappaleaika prosentuaalisessa muodossa

6.1.4 Havainnointi reikähionnasta

Ongelman määrittelyn, lähtötietojen keräämisen, ymmärryksen syventämisen ja uusien hiontamenetelmien jälkeen edellä mainittujen tietojen soveltuvuutta verrattiin käytäntöön ilmiön luonnollisessa ympäristössä.

Soveltuvuutta käytäntöön tarkistettiin tarkkailevan havainnoinnin avulla hiontasolussa. Samalla haastateltiin teemahaastattelu menetelmällä kuutta kyseisellä työpis-
teellä työskentelevää työntekijää. Haastatteluista kirjattiin muistiinpanoja hionnan lisäksi muista esille tulleista ilmiöön liittyvistä asioista, kuten koneiden kunnosta. Työstöaikoja kelloitettiin valmiiksi strukturoidulle lomakkeelle. Kellotuksen aikaan läsnä oli tutkija sekä työntekijä. Ennen työstöajan kelloitusta varmistettiin, että työs-
töarvot ja ohjelmoidut liikeradat vastaavat simuloinnissa käytettyjä arvoja ja mene-
telmiä.

Havainnoinnin aikaan planeettapyörästä hiottiin otsapinta, jolle kellotettiin aika 24 min. Tulevan menetelmämuutoksen jälkeen tämä jää pois ja uusi ”alaotsa”- hionta kestää simuloinnin mukaan 14 min. Näitä aikoja ei ollut olennaista analysoida enempää, sillä ne eivät olleet vertailukelpoisia keskenään eri menetelmän vuoksi. Ensimmäisen kappaleen hionta-aikojen kellotuksen jälkeen kerätyt tiedot ovat taulukossa 6. Taulukon 6 mukaan todellisen ja simuloitun työstöajan erotus on 28 min. Suurin erotus on rouhintapistoajoissa.

Taulukko 6. Havainnoitujen todellisten aikojen ja simuloitujen aikojen vertailu

	Todellinen	Simuloitu	Erotus
Hionnan vaihe	aika (min)	aika (min)	aika (min)
Tasohionta (nyt otsapinta / uusi alaotsa)	24	14	
Olakkeen hionta	38	30	8
Reiän pistohionta			
1. pisto	17	15	2
2. pisto	18	15	3
3. pisto	19	15	4
4. pisto	23	15	8
Pistot yht.	77	60	17
Reiän pituushionta	31	28	3
YHT. Ilman otsapinnan hiomista	146	118	28

Simulointilaskurin luotettavuuden varmistamiseksi kellotettiin aika sellaisen planeettapyörän pistohionnasta, jossa oli 1,2 mm työvaroja. Ajaksi saatiin 15 min, joka vastaa simulointilaskurilla saatua aikaa. Todellisten ja simuloitujen aikojen erotuksen todennäköiseksi syyksi epäiltiin työvaroissa esiintyvää vaihtelua. Reikärouhinnan neljän eri pistohiontojen todellisten aikojen eroista voidaan päätellä kappaleen reiän olleen kartio, sillä 4. piston kohdalla on ollut enemmän työvaroja, kuin 1. piston kohdalla, koska aikaa on kulunut enemmän. Simulointilaskurilla laskien reiän pistohionta ajan ollessa 23 min, työvaroja olisi ollut jopa 2 mm.

6.2 Kovasorvauksen vaikutukset käytännössä

6.2.1 Kovasorvauksen vaikutus hiontaan käytännössä

Kovasorvaus ei aiheuta hiontaan investointeja. Koska otsapinnan hiomisesta luovutaan, voi kovasorvauksella pienentää työvaroja vielä reiän ja olakkeen hionta-ajoista. Olake ja reikä tulee geometrinen toleranssi- ja pinnankarheusvaatimusten vuoksi hioa jatkossakin, koska sorvaamalla näitä ei saada täytettyä.

Kovasorvauksessa jätettäviä työvaroja tulee harkita tarkoin, jotta vältytään valmiin kappaleen sallitun toleranssivälin ylityksiltä. Työvaroja tulee jättää enemmän, mitä sorvauksen normaali prosessin suorituskyvyn vaihteluväli on. Lisäksi työvaroja tulee olla sen verran, että sorvauksesta jäänyt rouheampi pinnankarheus saadaan hiottua vaadittuun hienompaan pinnankarheuteen.

Nykyisien todellisten ja kovasorvauksen jälkeisiä laskennallisia hionta-aikoja ei voida luotettavasti verrata keskenään, sillä nykyisiä hiontaan jääviä työvaroja ei tarkalleen tiedetä. Simulointilaskuri todettiin havainnoinnin avulla luotettavaksi käyttää, sillä simuloinnilla lasketut ja todelliset hionta-ajat ovat lähellä toisiaan. Simuloinnilla voidaan siis laskea, paljon kovasorvauksesta saatu ajallinen hyöty hionta-aikaan nähden tulisi olemaan.

6.2.1.1 Kovasorvauksen vaikutus olakkeen hiontaan

Taulukossa 7 on vertailtu olakkeen kovasorvauksesta saatavia hyötyjä minuuteissa eri työvaroilla. Taulukossa vertaillaan hyötyjä simulointilaskurissa käytettyyn työvaraan 0,6 mm per olake sekä lisäksi on vertailtu tilanteeseen, jos työvaroja olisi 1 mm per olake. Nykyisien todellisten työvarojen arvioidaan jäävän näiden välille. Taulukossa vertaillaan myös tilanteita, joissa vain toinen olake kovasorvataan (hyöty/ yksi olake) sekä tilanteeseen, jossa molemmat olakkeet kovasorvataan (hyöty/ molemmat olakkeet). Jos työvara olisi nykyään 0,6 mm olakkeella, parhaimmillaan kovasorvauksesta

saatu hyöty olisi molempien olakkeiden kovatorvauksen jälkeen jäävällä 0,1 mm työvaralla 10 minuuttia. Jos työvara olisi nykyään 1 mm, samalla tavalla kovatorvatessa hyöty olisi 20 minuuttia.

Taulukko 7. Kovatorvauksen hyödyt olakkeen hionta-ajoissa

Työvara/ olake (mm)	Olakkeet (2 kpl) yhteensä hionta- aika (min)	Hyöty (min) verrattuna työvaraan 0,6 mm/olake		Hyöty (min) verrattuna työvaraan 1 mm/olake	
		Hyöty/ yksi olake	Hyöty / molemmat olakkeet	Hyöty/ yksi olake	Hyöty / molemmat olakkeet
0,1	20	5	10	10	20
0,2	22	4	8	9	18
0,3	24	3	6	8	16
0,4	26	2	4	7	14
0,6	30				
1	40				

6.2.1.2 Kovatorvauksen vaikutus reiänhiontaan

Kovatorvauksella voidaan vaikuttaa reiän hionnan vaiheista rouhintapistoihin, sillä reiän pituushionta tulee tehdä, kuten ennenkin laatuvaatimuksien vuoksi. Pituushiontaa varten tulee jättää minimissään 0,04 mm työvaroja halkaisijamittaan. Taulukossa 8 on vertailtu reiän kovatorvauksesta saatavia hyötyjä minuuteissa eri työvaroilla. Taulukossa vertaillaan hyötyjä simulointilaskurissa käytettyyn työvaraan 1,2 mm sekä lisäksi on vertailtu tilanteeseen, jos työvaroja olisi 2 mm. Nykyisien todellisten työvarojen arvioidaan jäävän näiden välille havainnointien perusteella. Taulukon mukaan saatu hyöty olisi parhaimmillaan 1,2 mm työvaraan verraten 36 minuuttia ja 2 mm työvaraan verrattuna jopa 61 minuuttia.

Koska kovatorvauksen jälkeen lämpökäsittelyssä syntyneitä muodonmuutoksia ei reiän hiottavassa pinnassa enää olisi, voisi ohjelmoitujen pikaliikkeiden paikoitusta muuttaa lähemmäksi. Nykyään hiomalaikka on ohjelmoitu lähestymään pikaliikkeellä reiän pintaan 2 mm päähän tavoitemitasta. Taulukossa 8 on myös esitetty, kuinka paljon pikaliikkeen paikoituksen muuttaminen 1 mm päähän vaikuttaisi reiän pistohionta-aikoihin. Taulukon mukaan pikaliikkeen paikoituksen muuttaminen 1 mm päähän lyhentäisi hionta-aikaa vielä noin viisi minuuttia.

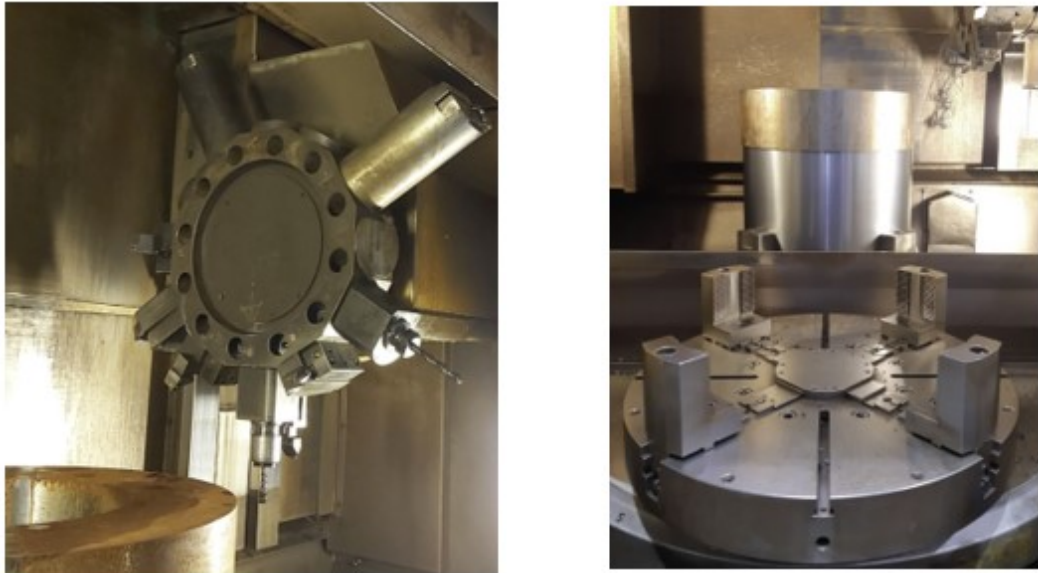
Taulukko 8. Kovasorvauksen hyödyt reiän pistohionta-ajoissa

Työvara reiän halkaisijassa (mm)	Reiän pistohionta-aika yht. (min)	Hyöty (min) verrattuna työvaraan 1,2 mm	Hyöty (min) verrattuna työvaraan 2 mm	Reiän pistohionta-aika, pikaliike 1 mm päähän (min)
0,14	25	36	61	21
0,24	30	31	56	25
0,3	31	30	55	26
0,4	35	26	51	30
1,2	61			
2	86			

6.2.2 IMT- P32 sorvin kovasorvaus mahdollisuudet käytännössä

6.2.2.1 Työkalut ja kiinnitys

IMT- P32 sorvilla voidaan kovasorvata olakkeet ja reikää 150 mm matkalta. Sorviin ei mahdu tämän pidempiä työkaluja (kuvio 14). Hiomalaikan leveys on 123mm. Tämä tarkoittaisi sitä, että jos reikä kovasorvataan 150mm matkalta, hionnassa ensimmäinen rouhinta pisto olisi työstöajaltaan nopeampi. Sorvissa ei ole vapaita työkalupaikkoja, jonka vuoksi pehmeään ja kovasorvaukseen käytettäviä teräpaloja tulisi vaihdella samoihin teräpitimiin. Toinen vaihtoehto olisi löytää teräpala, joka sopisi molempien kovuuksien sorvaamiseen. Koneessa on vaihtopaletti, joissa molemmissa on kiinni ns. kovat leuat (kuvio 14), joilla kappale kiinnitetään. Vaihtopaletti mahdollistaa sen, että sorvattaessa 1. vaihetta, voidaan koneen toimiessa valmistella 2. vaihetta.



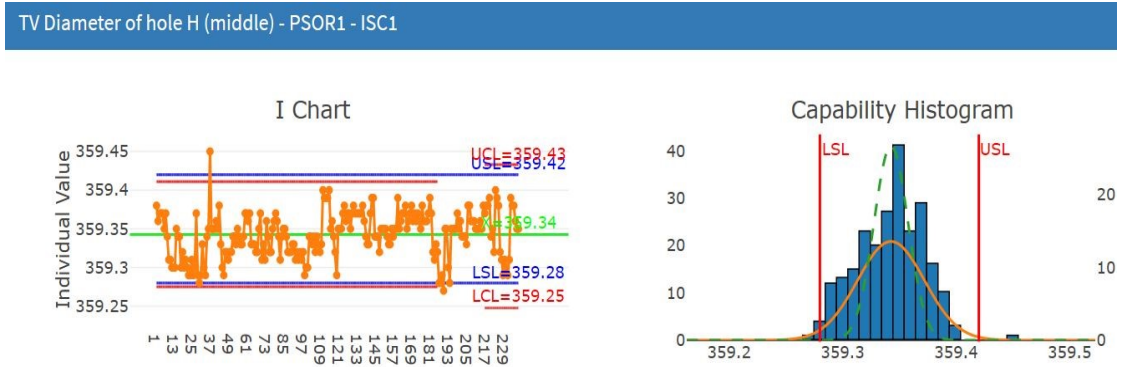
Kuvio 14. IMT sorvin työkalut ja PPH- 5700 valmistuksessa käytettävät nelileukapakka

Kovatorvattava planeettapyörä tulisi kiinnittää hampaiden ulkopinnasta, jolloin leuat olisi vaihdettava, koska kovista leuoista jäisi kiinnityksessä hampaille jälkiä, joita ei laadun puolesta hyväksyttäisi valmiissa kappaleessa. Leukojen vaihto kestää noin 10-15 min. Kovatorvattaessa molemmat olakkeet, tulisi kappale välissä irrottaa, kääntää ja keskittää uudelleen. Kääntö ja uudelleen keskitys kestää yhteensä noin 10-15 min.

6.2.2.2 IMT-P32 sorvin sorvausprosessin suorituskyky

Toteutuneesta olakemitasta ei IMT- P32 sorvilla kerätä tietoa SPC tilastoihin. Toteutunut olakeväli kirjataan ylös Doosan sorvilla. IMT- P32 sorvilta kirjataan jokaisesta kappaleesta toteutunut reiänhalkaisija (kuvio 15). Tilastoiduista tiedoista selviää, että reiän sorvausprosessi pysyy hyvin hallinnassa. PPH-5700 planeettapyörän tavoitehalkaisijamitta on 359,35 mm ja 229 kappaleen keskiarvo on tilaston mukaan 359,34 mm. Otannan planeettapyöröiden mitatut halkaisijamitat ovat välillä 359,27- 359,45 mm. Suurin yksittäinen mittamuutos edellisen ja seuraavan kappaleen välillä on 0,16 mm. Tämä johtuu teräpalan käännöstä tai vaihdosta, joka koneistajan arvion mukaan tehdään noin 20 kappaleen välein. Teräpaloissa ja sen asettumisessa teräpitimeen on pieniä eroja, mikä on normaalia vaihtelua. Reiän sorvauksen vaihteluväliksi voidaan

todeta tavoitemittaan nähden $\pm 0,1$ mm, jos teräpalon vaihdosta tai käännöstä johtuvaa muutosta ei huomioida.



Kuvio 15. IMT- P32 sorvin SPC- tilastotieto toteutuneesta reiän halkaisijamitasta

Erillistä mittalastua teräpalan vaihdon tai käännön jälkeen ei oteta, sillä edellä mainittuja vaihteluvälejä ennen lämpökäsittelyä ei pidetä merkittävänä. Kovasorvauksessa tämä tulee kuitenkin ottaa huomioon arvioitaessa hiontaan jätettäviä työväroja. Käytännössä olakkeelle ja reikään tulee jättää SPC tilastotietojen mukaan vähintään 0,16 mm. Lisäksi reikään tulee lisätä pituushiontaa varten jätettävä 0,04 mm. Nämä huomioon ottaen voidaan kovasorvauksen jälkeen jäävänä minimitäyövarana pitää mittaa 0,2 mm.

Mittalastun ottamisella tarkoitetaan tilannetta, jossa työstökoneella määritellään kappaleen tavoitemitta toleranssialueen ulkopuolelta ennen ensimmäistä lastua. Mittalastun jälkeen kappale mitataan ja mittatuloksen perusteella säädetään asetusmitta, jonka jälkeen kappale voidaan sorvata tavoitemittaan. Mittalastun avulla voidaan ehkäistä toleranssien ylityksistä johtuvien hylkykappaleiden syntymistä mutta aikaa kuluu enemmän. Mittalastun ottamiseen arvioidaan kuluvan noin 7 minuuttia. IMT-P32 sorvissa ei ole luotettavaa automaattista työkalunmittausta. Sorvissa ei ole myöskään automaattista kuormituksenvalvontaa. Kuormitusvalvonnan avulla kone

pysähtyy, kun teräpala rikkoutuu tai kuluu niin paljon, että leikkaava työstö ei ole enää sujuvaa.

6.2.3 Doosan sorvin kovasorvaus mahdollisuudet käytännössä

6.2.3.1 Työkalut ja kiinnitys

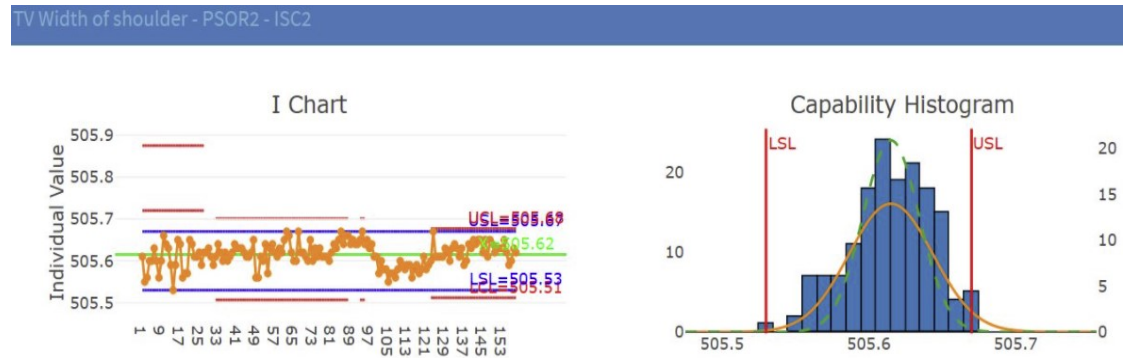
Doosan sorvilla voitaisiin kovasorvata olakkeet sekä reikä koko matkalta. Molempien olakkeiden kovasorvaus vaatisi kappaleen käännön ja uudelleen keskityksen. Doosan sorvilla on nykyään käytössä hydraulinen kolmileukapakka kappaleen ulkopuoliseen kiinnitykseen. Hydraulisen kiinnityksen avulla kappale asettuu vaadittuun tarkkuuteen sorvatulta pinnalta, joten kappaletta ei tarvitse keskittää manuaalisesti. Hydraulisen kolmileukapakan käyttö ei ole sopiva karkaistun planeettapyörän keskitykseen hampailla esiintyvien muodonmuutoksien vuoksi. Hydraulisessa kiinnityksessä on keskitykseen sopiva hienosäätö mahdollisuus mutta sen käyttö on hitaampaa, kuin keskittäminen manuaalisesti tehtynä. Tämä on havaittu käytännössä aiemmin muiden työkappaleiden korjaustöitä tehdessä.

Kyseinen pakka on monitoimipakka, jossa olisi mahdollisuus käyttää myös manuaalisesti kiristettävää nelileukapakkaa. Jos kovasorvausta varten tulee investoida kiinnitysleukapakettiin, jossa olisi mukana sorvattavat leuat kiinnitystä varten, joiden muoto tulisi sorvata planeettapyörän hampaiden ympyränkehää myötäileväksi. Yritys on kysynyt tähän alustavaa tarjousta pari vuotta sitten, jolloin hinta-arvio oli noin 7400e.

6.2.3.2 Doosan sorvin sorvausprosessin suorituskyky

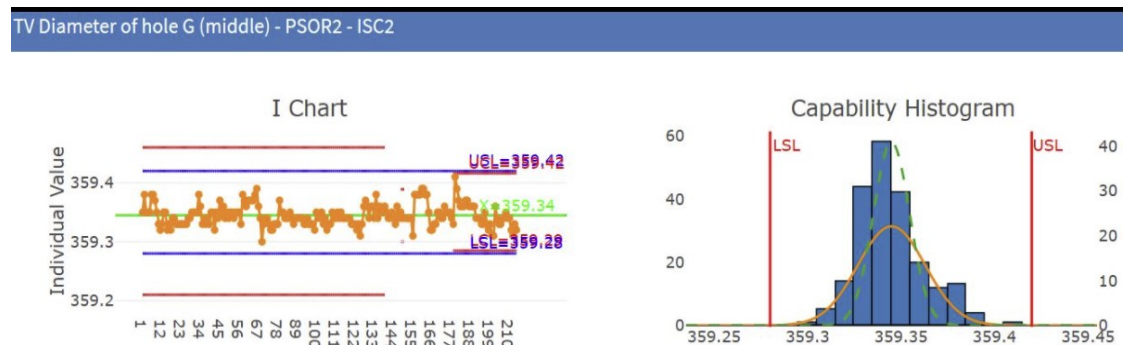
SPC tilastoista kerätyistä tiedoista selviää, että Doosan sorvin toistotarkkuus mittaloksissa on hyvä. Teräpalan käännön tai vaihdon jälkeen ei oteta mittalastua. Työkalamakasiinissa on vapaita työkalupaikkoja erillisille kovasorvaukseen sopiville teräpaloille pitimiseen.

Olakevälin tavoite mitta on 505,6 mm ja 153 peräkkäin sorvattujen planeettapyörien mittatuloksien keskiarvo on 505,62 mm (kuvio 16). Mitatut mitat ovat välillä 505,53-505,67 mm.



Kuvio 16. SPC tilastotieto sorvatuista olakeväleistä (Component Manufacturing Quality Dashboard)

SPC tilastojen mukaan myös reiänhalkaisijan tavoitemitta on toteutunut hyvin (kuvio 17). Tavoitehalkaisijamitta on 359,35 mm ja 230 kappaleen planeettapyörän keskiarvo halkaisijamitassa on 359,34 mm. Halkaisijamitat ovat välillä 359,29-359,43mm.



Kuvio 17. SPC tilastotieto Doosanilla sorvatuista reiänhalkaisijamitoista (Component Manufacturing Quality Dashboard)

Koska Doosan sorvilla ei ole automaattista työkalunmittausta, tulisi mittalastu ottaa teräpalan vaihdon ja käännön jälkeen kovasorvatessa minimityövaraan. Valmismittaan nähden voidaan pitää minimityövarana olakkeella 0,2 mm ja reiässä 0,24 mm. Doosanilla ei ole kuormanvalvontaa, joten kone jatkaa työstämistä esim. teräpalariikon jälkeen ja kappaleesta tulee todennäköisesti hylkykappale. Työntekijän ei oleteta olevan koneen vieressä jatkuvasti valvomassa, sillä työtehtäviin kuuluu myös toisen koneen ajo.

7 Tutkimustulokset

7.1 Yhteenvedo mahdollisuuksista ja hyödyistä

Kovasorvaus vaihtoehtoja löytyi kuusi erilaista. Vaihtoehtoina on kovasorvata:

1. Yksi olake
2. kaksi olaketta
3. yksi olake ja reikä 150mm matkalta
4. kaksi olaketta ja reikä 150mm matkalta
5. yksi olake ja reikä koko matkalta
6. kaksi olaketta ja reikä koko matkalta.

Kahta ensimmäistä vaihtoehtoa ei ole järkevää toteuttaa. Taulukosta 7 (s. 37) nähdään, että vaikka olakkeella olisi ennen hiontaa 1 mm työvaroja, hyödyt olisivat 0,2 mm päähän kovasorvatessa yksi olake yhdeksän minuuttia ja kovasorvatessa kaksi olaketta 18 minuuttia. Hyöty hävitään pelkästään keskityksissä ja käännössä (taulukko 9).

Taulukko 9. Hyöty kovasorvatessa pelkkä olake tai olakkeet

	Keskitys 7 min, kääntö 6 min		Hionnassa säästetty aika (min)		Hyöty max. (min)
		yht. (min)	max		
Yksi olake	keskitys	7	9		2
Kaksi olaketta	2*keskitys ja kääntö	20	18		-2

Seuraavat kaksi vaihtoehtoa (3. ja 4.) voidaan tehdä IMT-P32 sorvilla. Kovasorvauksen hyötyjä on laskettu taulukkoon 10. Vaihtoehto A kuvaa tilannetta, jossa kovasorvauksessa jätettäisiin työvaroja 0,2 mm olakkeelle ja 0,24 mm reiän halkaisijaan sekä hionnan pikaliike olisi ohjelmoitu 1 mm päähän. Tiedot on kerätty taulukoista 7 ja 8. Kovasorvaukseen on laskettu vain kappaleen keskitykseen, kääntöihin ja raportointiin kuluva aika. Taulukon vaihtoehto B poikkeaa vaihtoehdosta A niin, että reikään jätettäisiin työvaroja 0,3 mm. Taulukossa ”hionnassa säästetty aika min” tarkoittaa, jos reiässä olisi työvaroja nykyään hionnassa 1,2 mm ja olakkeella 0,6 mm. ”Hionnassa säästetty aika max ” tarkoittaa tilannetta, jossa työvaroja olisi ennen kovasorvausta reiän halkaisijassa 2 mm ja olakkeilla 1 mm. Hyöty jäisi silti hyvin pieneksi tai sitä ei saavutettaisi ollenkaan, sillä laskelmasta puuttuu vielä itse kovasorvaukseen, teräpalojen vaihtoon ja kääntöön, leukojen vaihtoon sekä mittalastun ottoon kuluva aika.

Taulukko 10. Hyödyt IMT-P32 sorvilla kovasorvattaessa

	Keskitys 7 min, kääntö 6 min, raportointi 5 min		Hionnassa säästetty aika (min)		Hyöty min (min)	Hyöty max. (min)
		yht. (min)	min	max		
Vaihtoehto A						
Yksi olake ja reikä 150mm	keskitys ja raportointi	12	17	37	5	25
Kaksi olaketta ja kaksi reikää 150mm	2*keskitys, kääntö ja raportointi	25	21	46	-5	21
Vaihtoehto B						
Yksi olake ja reikä 150mm	keskitys ja raportointi	12	17	22	5	10
Kaksi olaketta ja kaksi reikää 150mm	2*keskitys ja kääntö	25	21	46	-4	21

Viimeiset kaksi vaihtoehtoa (5. ja 6.) voitaisiin toteuttaa Doosan sorvilla. Hyötyjä on laskettu taulukkoon 11. Vaihtoehto A ja B vastaa työvaroiltaan samanlaista tilannetta, kuin taulukossa 10.

Taulukko 11. Hyödyt Doosan sorvilla kovasorvattaessa

	Keskitys 7 min, kääntö 6 min, raportointi 5 min	yht. (min)	Hionnassa säästetty aika (min)		Hyöty min (min)	Hyöty max. (min)
			min	max		
Vaihtoehto A						
Yksi olake ja reikä	keskitys ja raportointi	12	40	70	28	58
Kaksi olaketta ja reikä	2*keskitys, kääntö ja raportointi	25	44	79	19	54
Vaihtoehto B						
Yksi olake ja reikä	keskitys ja raportointi	12	39	69	27	57
Kaksi olaketta ja reikä	2*keskitys, kääntö ja raportointi	25	43	78	18	53

Taulukon 11 mukaan kovasorvatessa reikä kokonaan, saavutettaisiin hyötyjä jokaisella vaihtoehdolla. ”Hyöty min” sarakkeesta nähdään, että hyöty ei ole ajallisesti kovin suuri, jos kovasorvataan molemmat olakkeet ja reikä. Samasta sarakkeesta vaihtoehdon ”yksi olake ja reikä” hyöty jää alle puolen tunnin (28 min). Parhaimmillaan hyöty olisi lähes tunti (58 min), jos työvaroja on reilummin (”hyöty max”). Näistä ajoista tulee vähentää vielä kovasorvaukseen kuuluva työstöaika sekä muut sorvaukseen liittyvät toimenpiteet, kuten leukojen vaihtaminen, koneen puhdistaminen, palojen kunnan tarkastus ja palojen vaihto. Erot hyödyissä vaihtoehdon A ja B välillä ovat hyvin pienet, joten sorvauksen normaaliin prosessiin kuuluvan vaihteluvälin vuoksi kannattaa valita vaihtoehto B, jolloin laaturiskit pienenevät työvaran ollessa hieman suurempi valmismittaan nähden.

7.2 Tutkimustulosten tulkinta

Alkuperäiseen tutkimuskysymykseen voidaan vastata, että reiän kovasorvaus ei ole tällä hetkellä kannattavaa, sillä reikähionnan nopeutuminen ei paranna planeetta-pyörän hionnan läpimenoaikaa, koska hammashionta on nyt hitaampi vaihe muiden kehitysmenetelmien myötä. Tämä tapahtui tutkimuksen aikana, jonka jälkeen tutki-

musta jatkettiin jatkokysymyksellä, ”Onko kovasorvaus menetelmä kannattavaa nykyisellä konekapasiteetilla, jos hammashiontaa saadaan kehitettyä jatkossa reikähiontaa nopeammaksi?”

IMT-P32:lla kovasorvatessa reikähiontaan kuluva aika lyhenisi mutta säästetty aika kuluisi jo kovasorvauksen asetusten, kappaleen käännön ja keskityksen aikoihin. Hionnan ja sorvauksen tuntihinnat ovat lähes samanarvoiset. Jatkokysymykseen voidaan siis vastata, että IMT-P32 sorveilla, joilla on nykyään ylikapasiteettia, kovasorvaus ei ole tutkimustulosten perusteella kannattavaa. Ylikapasiteetti ongelmaan ei löydetty ratkaisua.

Doosanilla kovasorvatessa saataisiin reikähiontaa nopeammaksi. Hyödyn suuruus on verrannollinen siihen, kuinka paljon työvaroja hiontaan jää ennen kovasorvausta. Jos työvarat ovat reiässä 1,2 mm ja olakkeella 0,6 mm, kovasorvauksesta saatu hyöty ei ole huomattava (taulukko 11). Hyöty olisi hieman alle puoli tuntia, josta tulisi vähentää vielä kovasorvaukseen menevä työstöaika. Jos työvarat ovat reiässä 2 mm ja olakkeella 1 mm, hyöty ennen työstöajan vähentämistä olisi lähes tunnin. Todellisen ajallisen hyödyn laskemiseksi tulisi selvittää kovasorvaukseen kuluva kokonaisaika, jossa olisi otettu huomioon kaikki siihen liittyvät työvaiheet (raportointi, keskitys, työstöaika, mittaus, kappaleen käsittely). Lisäksi tulisi selvittää todellisten työvarojen nykyinen määrä. Ilman näitä selvityksiä ei voi tehdä luotettavaa vertailua menetelmän käyttöönoton perusteeksi.

Doosan sorvilla ei ole tällä hetkellä ylikapasiteettia, mitä voisi hyödyntää kovasorvauksessa. Kiinnitysleukojen vaihdon ja asetuksen teon vuoksi kovasorvausta tulisi tehdä useampi kappale peräkkäin, esimerkiksi viikonloppuvuoron ajan, ettei kovasorvauksesta saatua hyötyä menetetä asetusaikeihin. Tällä hetkellä työpisteessä ei tehdä viikonloppuvuoroa. Viikonlopun työtunnit ovat yritykselle arkitunteja kalliimpia, joten tämä vaatisi tarkempia laskelmia kustannustehokkuuden määrittelyä varten. Alkuinvestointi kovasorvausta varten olisi kiinnitystä varten leukoihin 7400 euroa sekä kovasorvaukseen sopivien teräpalojen tuoma kustannus.

Hyödyn määrää tulee arvioida myös laaturiskien lisääntymisen näkökulmasta; mitä enemmän muuttujia liittyy kappaleen valmistamiseen, sitä enemmän riskien määrä kasvaa. Kovasorvaus työvaiheen lisääminen lisää inhimillisten virheiden määrää, kuten ohjelmointivirheet tai keskityksen teko virheet. Lisäksi laaturiskien määrä kasvaa käyttäjästä riippumattomista syistä, kuten teräpalarikoista.

8 Pohdinta

Tutkimuksessa selvitettiin tekijät, jotka vaikuttavat ilmiöön sekä miten ne vaikuttavat ilmiössä. Tutkimustyölle määriteltiin tavoitteet, jonka mukaan määriteltiin mittarit, joiden mukaan johtopäätöksiä voitiin tehdä. Haastatteluihin valittiin usean vuoden planeettapyörävalmistuksessa työskennelleitä toimihenkilöitä ja työntekijöitä. Tutkimustyön alkuperäinen ongelma muuttui vähemmän ajankohtaiseksi työn aikana, kun ilmiötä kehitettiin muilla tavoin, käytännössä ongelma poistui kokonaan. Tutkimustyön näkökulma muuttui ja tavoitteet tuli määritellä uudestaan. Tutkimuksen tekoa jatkettiin olettaen, että ongelma tulee tulevaisuudessa vastaan uudestaan, kun hammashiontaa saadaan kehitettyä reikähiontaa nopeammaksi. Tämän tapahtuessa tutkimuksen voi toistaa samoilla metodeilla. Tutkimuksen teoriaa ja selvityksiä resursseista voidaan käyttää myös jonkun toisen tuotteen kohdalla alustavana tietopohjana. Kustannus-vaikuttavuus-analyysia varten tulisi tehdä tarkempia selvityksiä, joita nyt ei tehty.

Käytännössä luotettavuuden vuoksi tulisi selvittää tarkemmin, kuinka kauan sorvauksen työvaiheisiin menisi aikaa, kovasorvata kappale käytännössä ja varmistaa vaikutukset laatuun. Laadunvarmistus tulisi ehdottomasti tehdä testikappaleilla ennen menetelmän laajempaa käyttöönottoa laatukustannusriskien välttämiseksi. Testikappaleiden teko keskeyttää sarjatuotannon, joten tällä hetkellä sitä ei nähty kannattavaksi tehdä. Kustannustehokkuuden vertailun vuoksi tulisi laskea työntekijöiden mahdollisten vuoromallimuutoksien kustannukset.

Tutkimuksen lopputulos kovasorvauksen kannattavuudesta on tähän hetkeen onnistunut ja perusteltu. Kehitysideoita ilmiön ympärillä syntyi useampia. Työntekijöiden

kanssa käytyjen haastattelujen sekä havainnointien perusteella tietoisuuden lisääminen hiontaa edeltävistä prosesseista ja prosessien muutoksista olisi tarpeellista. Tämä ilmeni keskusteltaessa aiemmista kokemuksista, kuinka sujuvaa aiempien kehitysmuutoksien teko on ollut. Työntekijät kokivat, että ennakoivaa tietoa tulisi olla enemmän. Havainnointien aikana selvisi myös työstökoneiden eroavaisuuksista huomioita, kuten mittapäiden tarkkuudesta ja yhdellä koneella laikan värinä ongelmista. Koneenkäyttäjä tuntee koneen parhaiten. Nämä tiedot eivät ole suoraan tutkimustyön ongelmaan sidonnaisia mutta vaikuttavat kustannustehokkuuteen. Tiedot ovat arvokkaita, sillä nämä huomioon ottaen nykyisen prosessin kustannustehokkuutta voidaan mahdollisesti parantaa ilman investointeja. Molempiin suuntiin kulkevaan tiedonkulkuun tulee siis panostaa työnjohdon ja työntekijöiden välillä.

Jatkotutkimuksen aihe olisi selvittää, kuinka reikä- ja hammashionnan työstöaikojen ero vaikuttaa kustannustehokkuuteen ja tuottavuuteen. Hitaamman vaiheen koneen käyttöaste ei ole optimaalinen johtuen odotusajoista. Oleellisin jatkotutkimusaihe olisi lämpökäsittelyssä syntyvien mitta- ja muodonmuutoksien systemaattinen seuranta ja tavoitteiden asettaminen työstövarojen määrille. Vääntymien pienentäminen ja hallittavuus ovat tärkeitä itse karkaisutarkoituksen onnistumisessa sekä hionnan kustannuksien minimoimisessa. Seuranta voidaan tehdä normaalin tuotannon ohessa tilastollisesti seuraamalla mitattuja arvoja pidemmältä ajalta. Myös hammashionnan kehitystä varten vääntymien ja muodonmuutoksien tilastollinen seuranta olisi tarpeellista. Luonnollisesti yrityksessä panostetaan seuraavaksi hammashionnan työstöajan lyhentämiseen, johon on jo suunniteltu uuden hiomalaikan testaus.

Lähteet

Component Manufacturing Quality Dashboard. Yrityksen sisäinen SPC tilastotietosivusto. Viitattu 12.3.2021.

Eklund, I. & Kekkonen, H. 2011. Toiminnan kannattavuus. Helsinki: WSOYpro Oy.

Engineering Design Handbook - System Analysis and Cost-Effectiveness: (AMCP 706-191).2011. U.S. Army Materiel Command. Viitattu 28.2.2021. <https://janet.finna.fi>, Knovel

Handbook Gear Grinding. 2014. 3M Abrasive Systems Division.

How Do Windturbines Work? N.D. Artikkele Office of Energy efficiency & renewable energy. Viitattu 24.1.2021. <https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work>

Joki- Luomala, H. 2009. Hammaspyöräsolun käynnistys Lean- periaatteita noudattaen. Opinnäytetyö. Tekniikka ja liikenne. Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Kananen, J. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja- sarja. Tampere: Tampereen Yliopistopaino Oy- Juvenes Print.

Kananen, J. 2010. Opinnäytetyön kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja- sarja. Tampere: Tampereen Yliopistopaino Oy- Juvenes Print.

Karvonen, S. 2010. Hiontavarojen optimointi hammaspyörien valmistuksessa. Diplomityö. Konetekniikan koulutusohjelma. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta.

Lehtonen, J. 2004. Tuotantotalous. Helsinki: Werner Söderström Osakeyhtiö.

Lightning and surge protection for wind turbine system. N.d. LSP kotisivut. Viitattu 24.1.2021. <https://www.lsp-international.com/lightning-and-surge-protection-for-wind-turbine-system/>

Maaranen, K. 2012. Koneistus. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Marinescu, I., Hitchiner, M., Uhlmann, E., Rowe, B. & Inasaki, I. 2007. Handbook of Machining with Grinding Wheels. United States: Taylor & Francis Inc.

Moventas Company Presentation. 2021. Powerpoint-esitys, sisäinen koulutusmateriaali. Moventas Gears Oy Intranet. Viitattu 25.1.2021. <https://moventas.sharepoint.com/sites/intranet>

Pellinen, J. 2019. Kustannuslaskenta ja kannattavuusajattelu. Helsinki: Alma Talent.

Rakhit, A.K. 2000. Heat Treatment on Gears: A Practical Guide for Engineers. A S M International. Viitattu 1.2.2021. <https://janet.finna.fi>, ProQuest Ebook Central

Renewables 2020, analysis and forecast 2025. 2020. IEA. Viitattu 25.1.2021. <https://www.iea.org/reports/renewables-2020/wind>

Renewables Account for Almost Three Quarters of New Capacity in 2019. 2020. Lehdistöiedote. Irena. Viitattu 25.1.2021. <https://www.irena.org/newsroom/press-releases/2020/Apr/Renewables-Account-for-Almost-Three-Quarters-of-New-Capacity-in-2019>

Sower, V. 2014. Statistical Process Control for Managers. Business Expert Press. Viitattu 2.3.2021. <https://janet.finna.fi>, ProQuest Ebook Central.

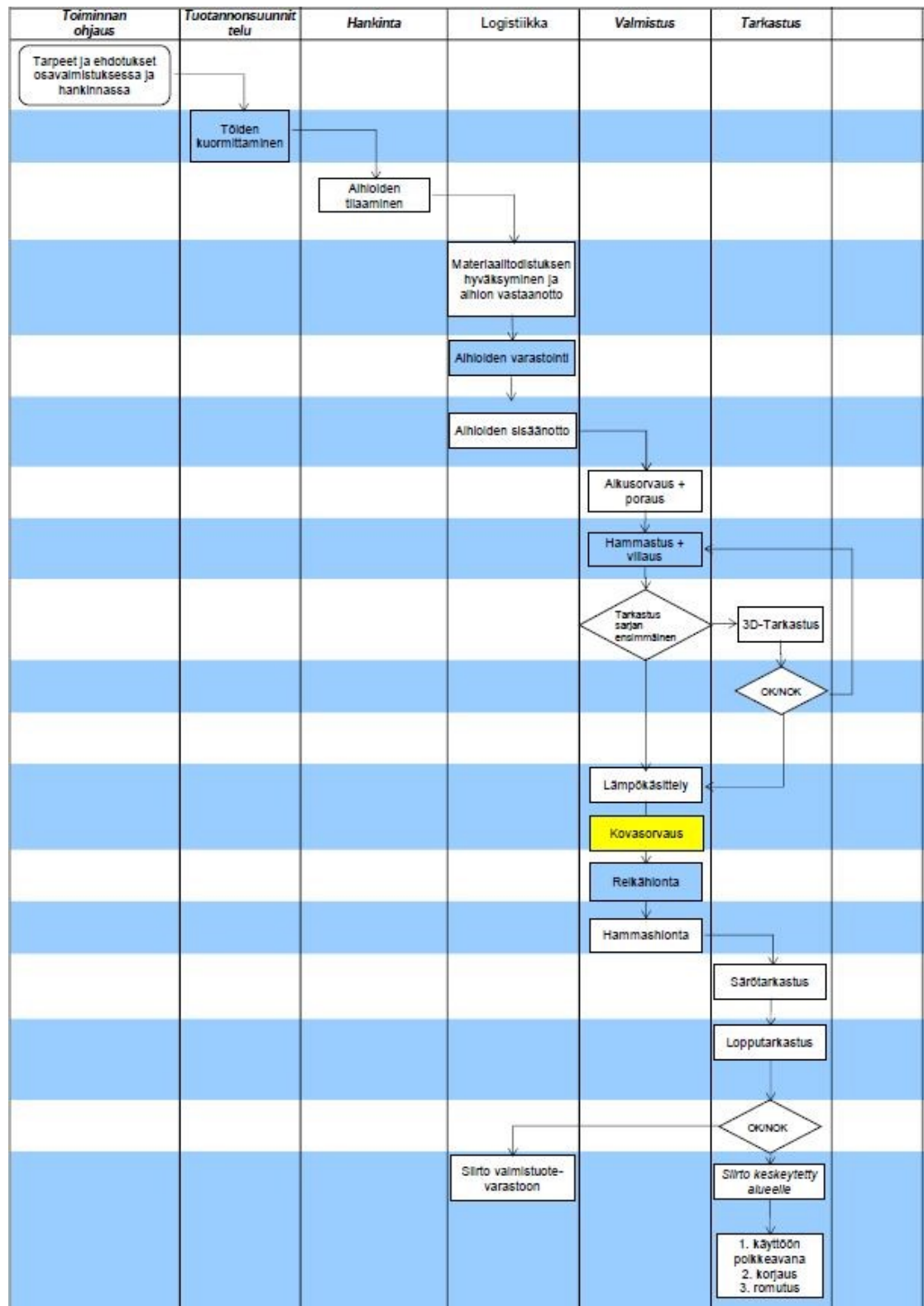
Vilka, H. 2006. Tutki ja havainnoi. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.

Yrityksen sisäinen koulutusmateriaali. 2008. Moventas Gears Oy. Viitattu 25.1.2021. <https://moventas.sharepoint.com>

Äikäs, V. 2008. Planeettahammaspyörän aihion valmistusmenetelmien optimointi. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta. Koneenrakennustekniikan laitos.

Liitteet

Liite 1. Planeettapyörän valmistuksen prosessikaavio. (Tero Jakovlev 2016, muokattu)



Liite 2. Poistettu julkisesta työstä