



# Hammashiomakoneen käyt- töönotto

Jaakko Väinä

OPINNÄYTETYÖ  
Tammikuu 2023

Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Tuotantotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Tuotantotekniikka

VÄINÄ, JAAKKO:  
Hammashiomakoneen käyttöönotto  
AGCO Power Oy

Opinnäytetyö 41 sivua, joista liitteitä 4 sivua  
Tammikuu 2023

---

Opinnäytetyö laadittiin Nokian Linnavuoressa sijaitsevalle AGCO Power Oy:lle, joka valmistaa päätuotteenaan dieselmootoreita maatalouskoneisiin. Työssä tutkittiin ja kehitettiin hammashiontaprosessia toimeksiantajalle hankitun hammashiomakoneen käyttöönoton yhteydessä. AGCO Powerin tuotannossa olevien hammashiomakoneiden työkuorma oli suuri, minkä vuoksi opinnäytetyön kohteena oleva hammashiomakone hankittiin kasvattamaan konekapasiteettia ja tukemaan tuotantoa.

Opinnäytetyönä valmistettiin hammashiomakoneen vastaanottokappaleisiin mahdollisimman laadukas hammasgeometria sekä parannettiin nimikkeiden tuottavuutta lyhentämällä hionnan vaiheaikaa. Työssä perehdyttiin tuotannossa olevien hammashiomakoneiden ja automaattiosolujen toimintaan. Hankitun työstökoneen vaikutus hammashiontaprosessin laaduntuottoon ja toistokykyyn todettiin keräämällä mittausdataa koordinaattimittauslaitteella käyttöönoton yhteydessä hiotuista vastaanottokappaleista. Kerättyjä mittaustuloksia käytettiin vertailudatana tuotannossa olevien hammashiomakoneiden tuloksiin.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa tarkastellaan lyhyesti lieriöhammaspyörän käsitteitä ja geometriaa, joita varsinaisessa kehitystyössä ja tulosten käsittelyssä hyödynnetään. Lisäksi työssä esitellään käyttöön otettu hammashiomakone sekä automaattiosolun toimintaa.

Hammashiomakoneen käyttöönotolla pystyttiin parantamaan vastaanottokappaleiden laatua ja tuottavuutta. Vastaanottoajo valmistui kymmenelle nimikkeelle, joista kahden tuloksia käsiteltiin tässä opinnäytetyössä. Työn valmistumisen jälkeen hammashiomakoneella hiottavien nimikkeiden määrää kasvatetaan ja kehitystyötä jatketaan, mikäli kehitettävää ilmenee.

---

Asiasanat: hammaspyörä, hammashionta, koordinaattimittaus

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical Engineering  
Production Engineering

VÄINÄ, JAAKKO:  
Commissioning of a Gear Grinding Machine  
AGCO Power Oy

Bachelor's thesis 41 pages, appendices 4 pages  
January 2023

---

This Bachelor's thesis was done for the agricultural machine company AGCO Power Oy. In this thesis the gear grinding process was researched and developed in conjunction with the commissioning of a gear grinding machine. AGCO Power purchased the gear grinding machine to support increased production.

As a result, the highest possible gear tooth quality was obtained along with improved productivity. The work included examination of the gear grinding machines and automation cells in production. Improved quality yield and repeatability was discovered by comparing measurement data between acceptance testing gears and production gears. Measurement data related to the comparison was collected with a coordinate measuring machine.

The theoretical part of this thesis discusses the geometry and terminology of gears which were utilized in the actual development work and results. In addition, the thesis includes a section presenting the commissioned gear grinding machine and automation cell.

As a result of the commissioning, quality and productivity of the acceptance testing gears were improved. The acceptance testing was made for ten gears, of which two were processed in this thesis. In the future the purpose is to increase the amount of gears at the gear grinding machine and the development work will continue if necessary.

---

Key words: gear wheel, gear grinding, coordinate measuring

## SISÄLLYS

ERITYISSANASTO .....	5
1 JOHDANTO .....	6
2 AGCO Corporation.....	8
3 LIERIÖHAMMASPYÖRÄN KÄSITTEET JA GEOMETRIA .....	9
3.1 Hampaan profiili .....	9
3.1.1 Profiilin poikkeamat .....	9
3.1.2 Kyljen poikkeamat .....	10
3.2 Pinnanlaatu .....	11
3.3 Jakopoikkeamat .....	13
3.4 Pyörintäpoikkeama.....	13
3.5 Hampaan paksuus ja vaihtelu .....	14
4 TILASTOLLINEN PROSESSINOHJAUS (SPC) .....	15
4.1 Valvontakortit .....	15
4.2 Valvontarajat .....	15
5 HAMMASHIONTA TOIMEKSIANTAJALLA .....	17
5.1 Profilihionta .....	18
5.2 Vierintähionta .....	19
5.3 Kiillotushionta .....	20
6 AUTOMAATIO .....	22
6.1 Muutokset robottisolussa .....	22
6.2 Työkierto automaattisolussa .....	23
7 KAPP NILES .....	25
8 VASTAANOTTOAJON YHTEENVETO .....	27
8.1 Nimikkeiden valinta .....	27
8.2 Mittausmenetelmät ja tulosten käsittely.....	27
8.3 Vaiheaika .....	28
8.4 Pinnanlaatu .....	29
8.5 Vierintäpoikkeamat.....	30
8.6 Profiilin ja kyljen poikkeamat .....	32
9 POHDINTA .....	34
LÄHTEET .....	36
LIITTEET .....	38
Liite 1. Nimikkeen 2 Z14 mittauspöytäkirja.....	38
Liite 2. Nimikkeen 1 Z29 mittauspöytäkirja.....	39
Liite 3. Nimikkeen 1 Z16 mittauspöytäkirja.....	40
Liite 4. Nimikkeen 1 Z19 mittauspöytäkirja.....	41

## ERITYISSANASTO

Toleranssi	Nimellisarvon sallittu mittapoikkeama
Moduuli	Standardoitu hampaan kokoa kuvaava suure
CNC	Computerized numerical control
Vaiheaika	Yksittäisen työkierron kesto
Paletti	Lavamainen alusta kappaleiden käsittelyä varten
Timantointi	Hiomalaikan tai -kiven perusteroitus
Ring Loader	Työstökoneen aihion lastaaja
Päisyys	Lähtöjen määrä vierintähiomakivellä
Micropitting	Hampaan hienokulumisvaurio
Bombeeraus	Yleinen nimitys tynnyrimäiselle muodolle
SPC	Tilastollinen prosessin ohjaus
Tyvilovi	Hampaan tyven helpotus, protuberanssi
Ryntökulma	Hampaan pinnan ja hammaspyörän tangentin välinen kulma

## 1 JOHDANTO

Euroopassa valmistettavien liikkuvien työkoneiden pakokaasupäästöjä säädel-  
lään Stage-luokituksella, joka on samankaltainen raskaiden ajoneuvojen EURO-  
luokituksen kanssa. Asteittain kiristyvät Stage-luokitukset ovat ajaneet moottori-  
valmistajia panostamaan entistä enemmän valmistuksen laatuun ja kannattavuuu-  
teen. Päästöluokitusten tiukentuessa koneistettavien moottorin osien pinnanlaa-  
dun ja tarkkojen mittatoleranssien vaatimustaso kiristyy sekä osien läpimenoai-  
kaa pyritään lyhentämään parantamaan tuottavuutta.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Nokian Linnavuoressa toimiva diesel-  
moottorivalmistaja AGCO Power Oy. Opinnäytetyön aihe syntyi, kun yritys hankki  
Kapp Niles-merkkisen hammashiomakoneen sekä konenäköjärjestelmällä varus-  
tetun automaattiosolon, jossa robotti hoitaa koneistettavien kappaleiden panos-  
tuksen hammashiomakoneeseen. AGCO Powerin tuotannossa olevien ham-  
mashiomakoneiden työkuorma oli suuri, minkä vuoksi opinnäytetyön kohteena  
oleva hammashiomakone hankittiin kasvattamaan konekapasiteettia ja tuke-  
maan tuotantoa. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ja kehittää hammashion-  
taprosessia työstökonehankinnan yhteydessä sekä verrata koneen vastaanotto-  
ajosta saatuja tuloksia jo käytössä olleisiin hiomakoneisiin käyttäen hammaspyö-  
rän laadun sekä tuotannon tehokkuuden määreitä mittareina.

Työn tavoitteena oli selvittää, millä työstöparametreillä ja automaattiosolon muu-  
toksilla työstökoneen vastaanottokappaleiden hammasgeometriasta saataisiin  
mahdollisimman laadukas ja lyhyt vaiheajaltaan. Työn teoriaosuuden painopiste  
oli hammaspyörien geometrian tutkimuksessa, minkä oleellimmat laatuun vai-  
kuttavat määreet esitellään opinnäytetyössä. Työssä esitellään lyhyesti myös  
hammashiontaa työstömenetelmänä. Teorian tutkimiskohteissa käytettiin hy-  
väksi standardeja, kirjallisuutta, konevalmistajien esitteitä sekä omaa ammattitai-  
toa ja henkilökohtaista kokemusta. Minulla oli opinnäytetyön kirjoitushetkellä 13  
vuoden työkokemus hammaspyörien valmistuksesta toimeksiantajalla.

Työssä saadut tulokset hankittiin pääosin 3D-koordinaattimittauskoneella. Tuloksia analysoitiin mm. käyttämällä tilastollisen prosessinohjauksen X-R-valvontakortteja ja histogrammia sekä tutkimalla mittaustuloksia visuaalisesti. Tuloksien vertailussa käytettiin tuotannossa olevilla hammashiomakoneilla hiottujen hammasakseleiden mittatuloksia.

## 2 AGCO Corporation

AGCO Corporation on yksi maailman suurimmista maatalouskoneiden valmistajista, minkä tuotemerkkeihin kuuluvat mm. Fendt, Valtra ja Massey Ferguson. Vuosittain AGCO:lla valmistetaan yhteensä yli 100 000 dieselmoottoria Kiinan, Brasilian, Argentiinan ja Suomen moottoritehtaissa. (AGCO Power 2022.)

Nokian Linnavuorella sijaitseva, vuonna 1942 rakennettu moottoritehdas (kuva 1) työllistää noin 750 henkilöä, päätuotteenaan dieselmoottorit ja -generaattorit. AGCO Powerin tehtaalla valmistetaan vuosittain noin 30 000 dieselmoottoria ja niitä käytetään pääosin traktoreissa sekä työmaa- ja metsäkoneissa. Tehdas on voimakkaiden investointien ansiosta yksi Pohjoismaiden automatisoiduimmista ja sen tuotantokapasiteetti on suunniteltu tuottamaan 50 000 moottoria vuodessa. (AGCO Power 2022.)



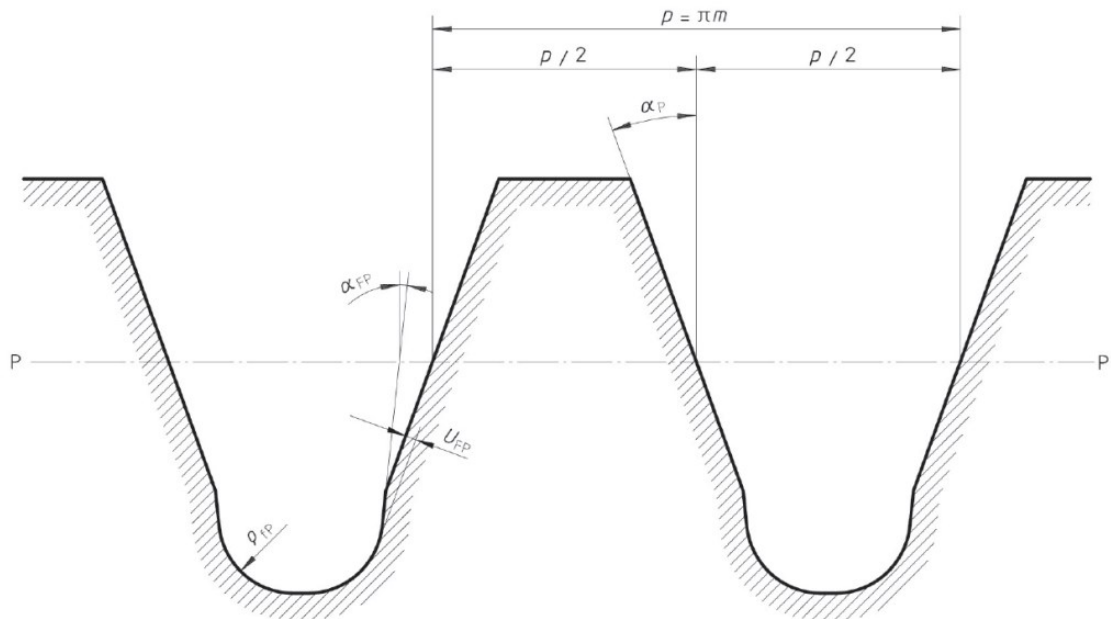
KUVA 1. Linnavuoren moottoritehdas (AGCO Power 2022).

AGCO Powerin hammaspyörä- ja akselivalmistuksen päätoimipaikkana toimii ensimmäisenä tehdasalueelle rakennettu 1-halli, joka keskittyy pääosin moottorituotannon ja AGCO:n sisäisten asiakkaiden tarpeisiin. Hammaspyörä- ja akselivalmistuksen käytössä on noin 50 automatisoitua työstökoneita, joilla työskentelee yhteensä 40 henkilöä 2- ja 3- vuorotyössä. Osastolla valmistetaan sarjatuotannossa yli 300 erilaista nimikettä noin 800 000 kappaleen vuosituotannolla. Akselivalmistuksessa on mahdollista valmistaa 700 mm pituisia akseleita ja hammaspyörille suurin mahdollinen valmistettava halkaisija on 500 mm. Kappaleiden moduulikoot vaihtelevat välillä 2–6, mutta osastolla on valmius tehdä myös 8 moduulin hammastuksia. Samassa tuotantohallissa sijaitsee myös mittaamo, jossa on useita 3D-koordinaattimittauskoneita. (AGCO Power 2022.)

### 3 LIERIÖHAMMASPYÖRÄN KÄSITTEET JA GEOMETRIA

#### 3.1 Hampaan profiili

Hiomavarallisissa hammastuksissa käytetyn tyvilovellisen hampaan perusprofiilin ominaisuudet on määritelty standardissa SFS-ISO 53. Kuviossa 1 esitetty perusprofiilin jako  $p = \pi m$ . Ryntökulmalle  $\alpha_p$  suositus standardissa on 20 astetta, mutta opinnäytetyön toimeksiantajalla valmistetuissa hammaspyörissä käytetään myös ryntökulman asteita 17,5 ja 22,5. Tyviloven kulmat  $\alpha_{FP}$  ja  $U_{FP}$  ovat valmistusmenetelmästä riippuvia, joten niitä ei määritellä standardissa. (SFS-ISO 53 2012, 5–8.)

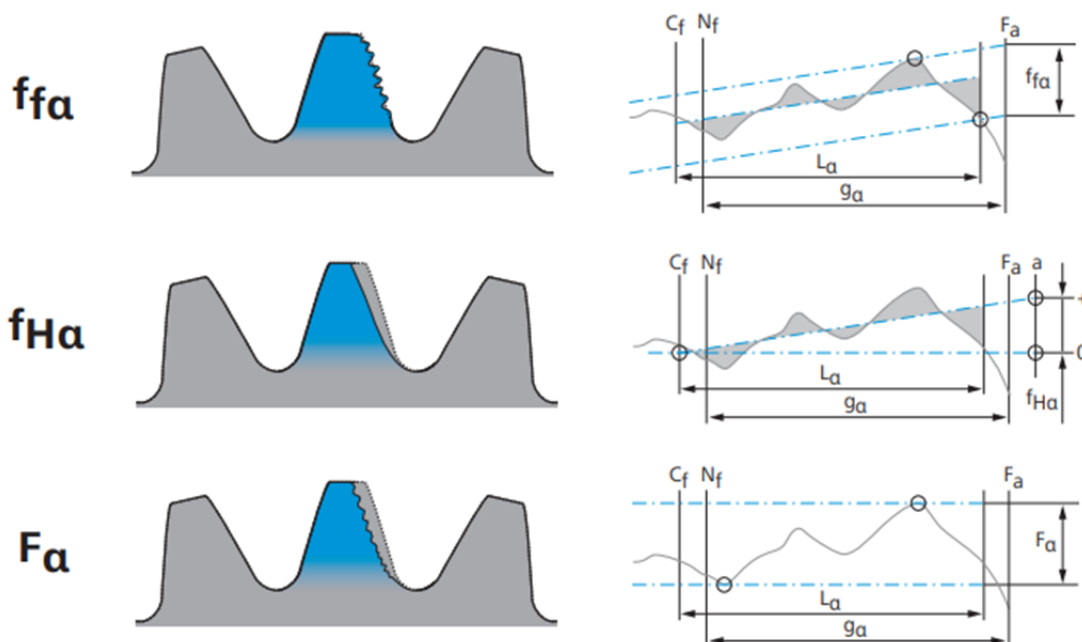


KUVIO 1. Tyvilovellinen perusprofiili (SFS-ISO 53 2012).

##### 3.1.1 Profiilin poikkeamat

Valmistusteknisistä syistä hammashiotun hampaan profiilista ei koskaan saa tehdä täydellistä, vaan siinä esiintyy aina pieniä ja satunnaisia valmistusvirheitä. Profiililla esiintyvän virheen määrään vaikuttavat mm. työstöarvot, välykset sekä hiomalaikan ja timanttipyörän kunto. Profiilivirheet heikentävät hammaskosketusta ja voivat aiheuttaa meluongelmia sekä hammaspyörän ennenaikaista kulumista.

AGCO Powerilla hampaan profiilivirheitä mitataan muoto-, kulma- ja kokonaispoikkeamina, jotka on esitetty kuviossa 2. Profiilin muoto- ja kulmapoikkeama  $f_{f\alpha}$  sekä kokonaispoikkeama  $f_{H\alpha}$  ovat keskiarvollisia poikkeamia tavoiteprofiilista ja kokonaispoikkeamassa  $F_{\alpha}$  muoto- ja kulmapoikkeamat ovat yhdistetty. (SFS-ISO 1328-1 2016, 13–16.)



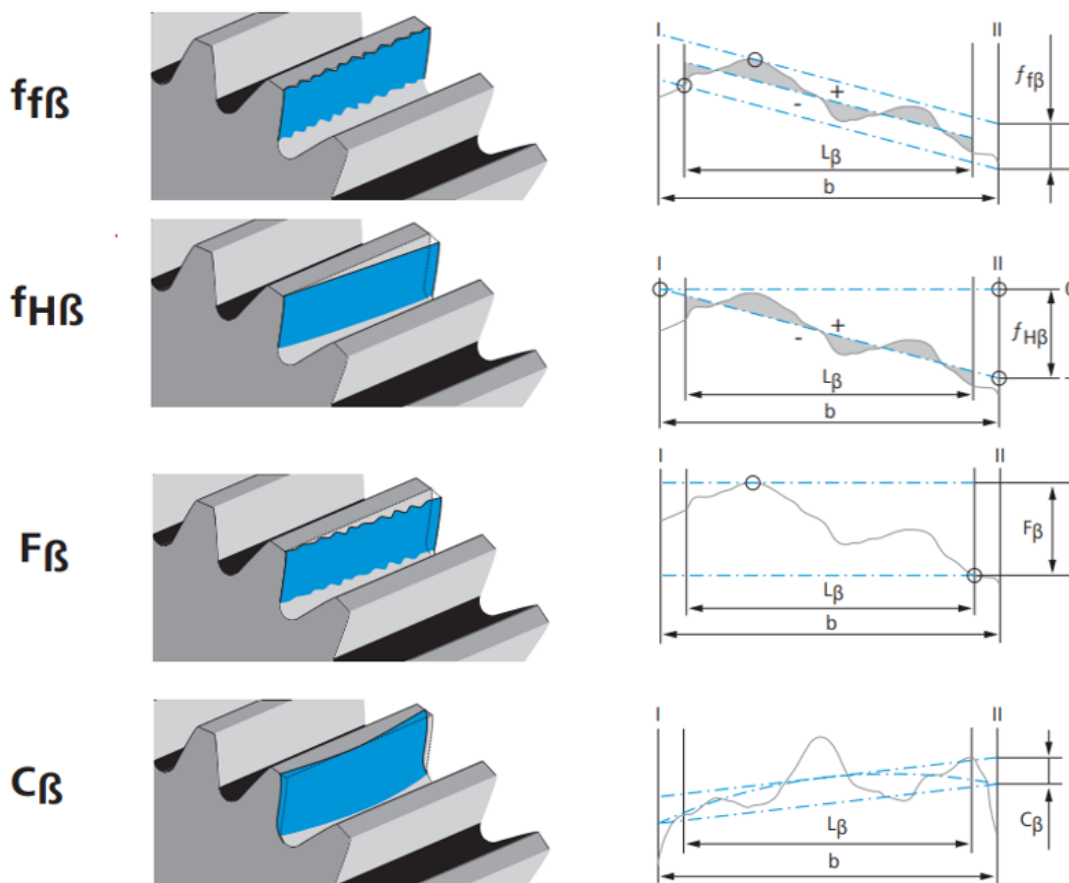
KUVIO 2. Profiilin muoto-, kulma- ja kokonaispoikkeamat (Zeiss 2015, muokattu).

### 3.1.2 Kyljen poikkeamat

Profiilivirheen tavoin hampaan kyljellä esiintyviä poikkeamia tarkastellaan tavoitteellisen ja todellisen suunnan erotuksena. Kyljen poikkeamat voivat aiheutua esimerkiksi kappaleen huonosta kiinnityksestä, lämpökäsittelyssä syntyneistä pintajännityksistä tai kuluneesta hiomalaikasta sekä timanttipyörästä.

Toimeksiantajalla pyritään pitämään kuviossa 3 esiintyvien hampaan kyljen poikkeamia mahdollisimman pienenä. Muoto- ja kulmapoikkeama  $f_{f\beta}$  on erotus tavoitteellisesta kyljen muodosta ja kulmapoikkeaman  $f_{H\beta}$  suuruus kylkilinjan tavoitellusta nousukulmasta. Kyljen kokonaispoikkeamassa  $F_{\beta}$  muoto- ja kulmapoikkeamat on laskettu yhteen. Poikkeamissa on otettu huomioon mahdollinen kyljen tynnyrimäi-

syys, eli bombeeraus  $C_{\beta}$ . Hampaan kyljen tynnyrimäisyyden kautta haetaan helpotusta kompensoimaan hammaskosketuksen kuormituksen epätasaisuutta. (SFS-ISO 1328-1 2016, 17–19.)

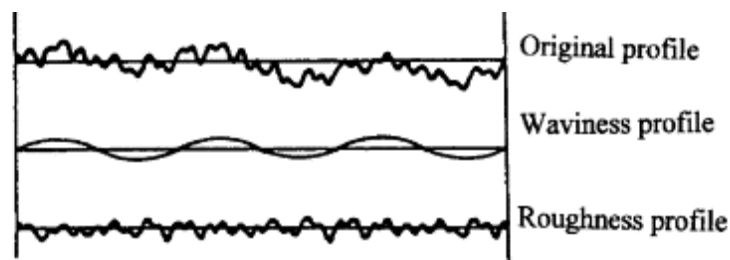


KUVIO 3. Hampaan kyljen poikkeamat sekä bombeeraus (Zeiss 2015, muokattu).

### 3.2 Pinnanlaatu

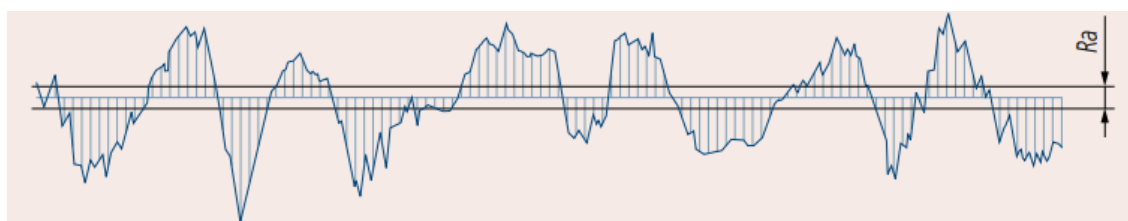
Hiotun hampaan pinta ei ole koskaan täysin sileä, vaan sen profiilissa esiintyy aina poikkeamia. Hampaan pinnoissa esiintyvät poikkeamat jaetaan kolmeen eri profiiliin sen taajuuden mukaan (kuvio 4). P-profiili on pinnan primääri-, eli todellinen profiili, joka sisältää kaikki taajuuden vaihtelut mittauspituudella. P-profiilista käytetään myös todenmukaisempaa alipäästösuodatettua versiota, josta on poistettu mittaustuloksen kannalta merkityksettömät lyhimät aallonpituudet. Keski-suuresta, aaltomaisesta taajuuden vaihtelusta käytetään nimitystä W-profiili, jota esimerkiksi kappaleen suorudessa tai sylinterimäisyydessä esiintyvät muutokset aiheuttavat. Korkeataajuiset lyhytaaltokomponentit luokitellaan R-profiiliin,

jolla kuvataan pinnan karheutta. R-profiili on ylipäästösuodattamalla muokattu versio primääriprofiilista. (Mitutoyo n.d., 1–3; SFS-EN ISO 4287 1997, 2–6.)



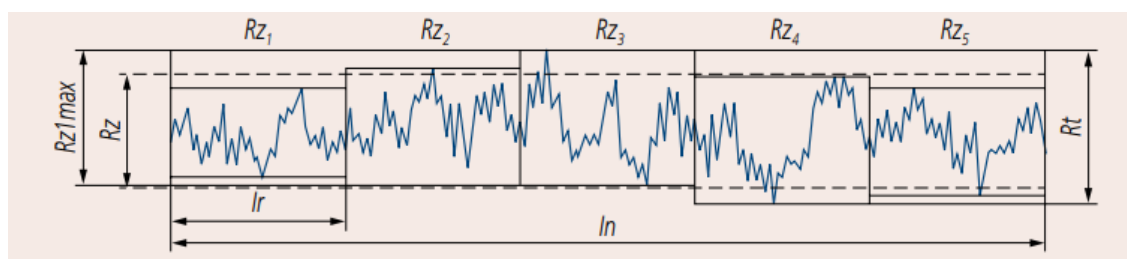
KUVIO 4. P-, W- ja R-profiilit (Raja 2002).

Koneistetun pinnan karheutta mittaavavana suurena käytetään yleisesti R-profiilin aritmeettista keskiarvoa  $R_a$  (kuvio 5). Profiilin keskiarvo on keskiarvo mittauspituudelta, eikä se huomioi yksittäisiä isompia poikkeamia. Mitattavalla pinnalla voi siis olla isokin naarmu tai pykälä ilman, että keskiarvo merkittävästi muuttuu. (Mitutoyo n.d., 1–3; SFS-EN ISO 4287 1997, 2–6.)



KUVIO 5. Profiilin aritmeettinen keskiarvo (Mitutoyo n.d., 3).

Pinnankarheuden maksimiprofiilinsyvyys  $R_z$  (kuvio 6) lasketaan keskiarvona korkeimpien huippujen ja syvimpien laaksojen arvoista. Mittauspituudella  $l_n$  on yleensä viisi mittausjaksoa  $l_r$ , mutta määrä voi vaihdella mittalaitteen mukaan. Kokonaisprofiilin korkeutta ilmoittava suure  $R_t$  on profiilin ylimmän huipun ja alimman laakson summa mittauspituudella  $l_n$ . (Mitutoyo n.d., 1–3; SFS-EN ISO 4287 1997, 2–6.)

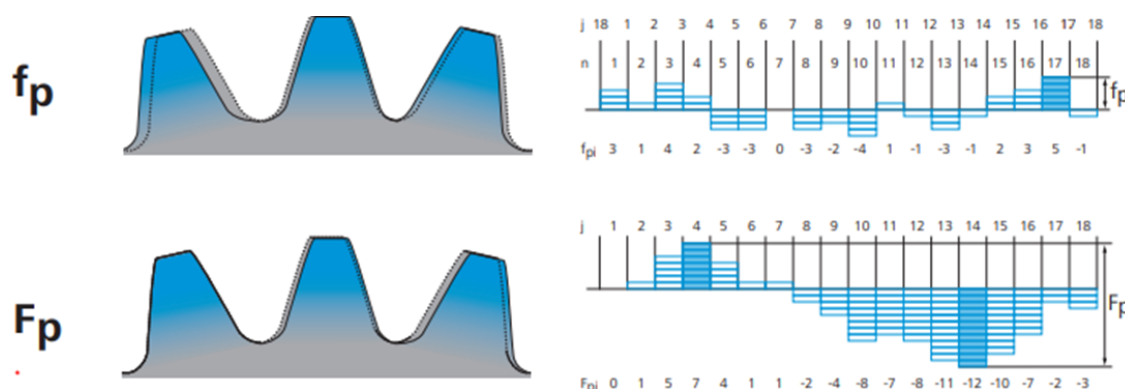


KUVIO 6. Pinnankarheuden maksimiprofiilinsyvyys (Mitutoyo n.d.).

### 3.3 Jakopoikkeamat

Hammastuksen mittauksessa esiintyviä jakovirheitä kategorioidaan yksittäisiin tai kumulatiivisiin jakovirheisiin. Jakovirheet mitataan tarkastusympyrällä, joka on samankeskeinen ja mahdollisimman samansuuruinen hammaspyörän jakohalkaisijan  $d$  kanssa. (SFS 3993 1977, 4)

Yksittäinen jakopoikkeama  $f_p$  on erotus todellisen ja teoreettisen jaon välillä, joista suurin yksittäinen poikkeama on  $f_{pmax}$ . Kokonaisjakopoikkeama  $F_p$  on suurin jakopoikkeamien summa kaikki hampaat huomioiden. Kokonaisjakopoikkeama voidaan määrittää sijaintipoikkeamakäyrästä (kuvio 7) korkeimman ja matalimman pisteen välimatkana. (SFS 3993 1977, 4)

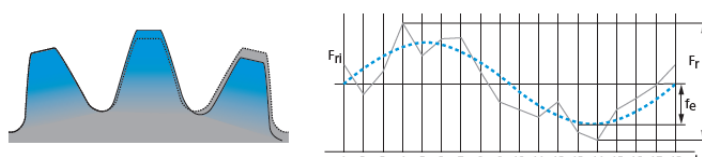


KUVIO 7. Yksittäis- ja kokonaissummapoikkeama (Zeiss 2015, muokattu).

### 3.4 Pyörintäpoikkeama

Kuvioon 8 havainnollistettu hammastuksen säteissuuntainen pyörintäpoikkeama, eli säteisheitto  $F_r$  on hammaspyörän pyörähdysakselin suurimman ja pienimmän etäisyyden erotus. Säteisheiton mittaus suoritetaan perättäisistä hammasaukoista molemmat aukon kyljet mitaten hammaspyörän täyden kierroksen aikana. (SFS 3993 1977, 6)

**$F_r$**  Radial runout deviation  
Range of the radial positional deviation of all gaps. Measured by placing a measuring sphere on both flanks of all gaps.



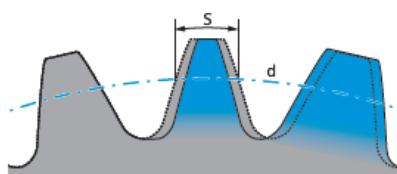
KUVIO 8. Säteis-suuntainen pyörintäpoikkeama (Zeiss 2015, muokattu).

### 3.5 Hampaan paksuus ja vaihtelu

Hampaan paksuus  $s$  (kuvio 9) on hampaan poikittaissuuntainen etäisyys hammasruusun jakohalkaisijalla  $d$ . Hampaan paksuuden vaihtelulla  $R_s$  tarkoitetaan, paljonko hampaan paksuus  $s$  vaihtelee täyden mittauskierroksen aikana hammasruusun jakohalkaisijalla  $d$ . Hampaan paksuuden vaihtelu mitataan molemmista hammasaukon kyljistä täydeltä kierrokselta.

**S****Tooth thickness**

Arc length of the distance of a right to a left flank in a transverse section plane on the reference diameter.



KUVIO 9. Hampaan paksuus jakohalkaisijalla (Zeiss 2015, muokattu).

## 4 TILASTOLLINEN PROSESSINOHJAUS (SPC)

### 4.1 Valvontakortit

Prosessin valvontaan tarkoitettut valvontakortit ovat yksi SPC:n tärkeimmistä työvälineistä. Niiden avulla voidaan todeta, onko valmistusprosessi hallinnassa tai esiintyykö siinä ei-toivottua vaihtelua. Valvontakortit jaetaan kahteen eri pääryhmään. Attribuuttitiedon valvontaan tarkoitetuilla korteilla käsitellään tietoja, joita ei voida ilmaista jonkin suureen mittana. Attribuutti-, eli ominaisuuskorteilla voidaan mitata esim. virheiden lukumäärää tai luokittelevaa (kyllä/ei) tietoa prosessin toteutumisesta. Muuttujien valvontaan tarkoitettut kortit sopivat valmistusprosessin ominaisuutta kuvaavan suureen seurantaan, joka voidaan mitata sekä ilmaista numeerisena suurena. Ehtona valvontakortin käyttöönotolle on, että suureen luonnollinen satunnaisvaihtelu on täysin tai lähes normaalijakauman mukaista. Muuttujien valvontaan käytetyistä korttityypeistä käytetään yleisimmin X-R-korttia, joka toteaa prosessin tilan näyte-erien keskiarvojen avulla. (Lähteenmäki & Leiviskä 1998, 21–23.)

### 4.2 Valvontarajat

X-R-kortin perusajatuksena on piirtää prosessista otetun mittausdatan perusteella käyrä, minkä avulla valvotaan prosessin tilaa. Valvontakortteihin lasketaan alempi- ja ylempi valvontaraja siten, että prosessin ollessa hallinnassa yksikään arvo ei sijaitse yli valvontarajan. Jos jokin arvo valvontakäyrällä sijaitsee valvontarajojen ulkopuolella, syynä on todennäköisesti häiriötekijä prosessissa. (Lähteenmäki & Leiviskä 1998, 21–22.)

X-kortin ylempi valvontaraja lasketaan seuraavalla kaavalla

$$YVR_X = \bar{X} + A_2\bar{R}, \quad (1)$$

alempi valvontaraja kaavalla

$$YVR_X = \bar{X} - A_2\bar{R} \quad (2)$$

ja keskiviiva kaavalla

$$KV_X = \bar{X}, \quad (3)$$

joissa  $\bar{X}$  on kaikkien näyte-erien keskiarvojen keskiarvo,  $A_2$  on taulukon vakioarvo ja  $\bar{R}$  on vaihteluvälien keskiarvo.

R-kortin ylempi valvontaraja lasketaan seuraavalla kaavalla

$$YVR_R = D_4\bar{R}, \quad (4)$$

alempi valvontaraja kaavalla

$$YVR_R = D_3\bar{R}, \quad (5)$$

ja keskiviiva kaavalla

$$KV_R = \bar{R}, \quad (6)$$

joissa  $A_4$  ja  $A_3$  ovat vakioarvoja taulukosta ja  $\bar{R}$  on vaihteluvälien keskiarvo.

Edellä mainittujen kaavojen vakioiden arvot riippuvat havaintojen määrästä kussakin näytteessä. Taulukossa 1 esitetyt kertoimien vakioarvot ovat standardoituja. (SFS 4360 1981, 1)

TAULUKKO 1. Kertoimien vakioarvot X-R-kortille

n	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$d_2$
2	1,88	0	3,268	1,128
3	1,023	0	2,574	1,693
4	0,729	0	2,282	2,059
5	0,577	0	2,114	2,326
6	0,483	0	2,004	2,534
7	0,419	0,076	1,924	2,704
8	0,373	0,136	1,864	2,847
9	0,337	0,184	1,816	2,97
10	0,308	0,223	1,777	3,078

## 5 HAMMASHIONTA TOIMEKSIANTAJALLA

Hammashionta on lähes poikkeuksetta hammaspyörän tai -akselin viimeinen, lämpökäsittelyn jälkeinen työvaihe, jossa hammasjyrsinnästä hampaalle jätetty työvara hiotaan lopulliseen muotoon. Moniakselisella hiomakoneella hammastuksesta saadaan valmistettua korkealaatuinen suuren käyttönopeuden sekä hiomakiven lukuisten leikkuupintojen ansiosta. Onnistunut hionta antaa hammaspyörälle erittäin tarkan geometrian sekä hyvän pinnanlaadun. (Reishauer 2022b.)

Hammashionnan ohella AGCO Power on käyttänyt ulkoisen hammastuksen viimeistelyyn myös kaavintaa, josta ollaan luopumassa enenevässä määrin sen heikomman laadun vuoksi. Hammaspyörän kaavinta on lämpökäsittelyä edeltävä työvaihe, eikä sillä täten voida poistaa lämpökäsittelyssä syntyviä poikkeamia hammastuksesta. Lämpökäsittely hiiletyskarkaisemalla lisää jännityksiä hammaspyörään aiheuttaen jako- ja pyörintäpoikkeamia hammastukselle sekä vääntäen hampaan profiilia ja kylkeä. Lämpökäsittelyn jälkeinen hammashionta poistaa tehokkaasti edellä mainittuja jännitysten aiheuttamia poikkeamia. Kuvassa 2 on esitetty eräs toimeksiantajalla valmistettavista hammasakseleista.



KUVA 2. Toimeksiantajalla valmistettava hammasakseli.

## 5.1 Profiilihionta

Profiilihionta (profile grinding) on työstömenetelmä, jossa hammasaukon molemmat kyljet hiotaan samanaikaisesti hammasvälin muotoisella hiomalaikalla. Tässä työstömenetelmässä hiottava kappale on paikallaan kiinnittimessä hiomalaikan tehdessä hiontatyökiertoja kylkilinjaa pitkin. Tyypillistä hammasväliä kohden työkiertoja on kolme, joista kaksi on rouhintaan ja yksi viimeistelyyn. Profiilihiontaa (kuva 3) käytetään yleisemmin pienillä sarjakoilla tai hammastuksissa, joissa on iso moduuli. Profiilihionta on mahdollista myös ahtaissa tiloissa pienen hiomalaikan halkaisijan ansiosta ja usein ainoa hampaan viimeistelyyn soveltuva työstömenetelmä kappaleille, joissa on useampi hammastus lähellä toisiaan.



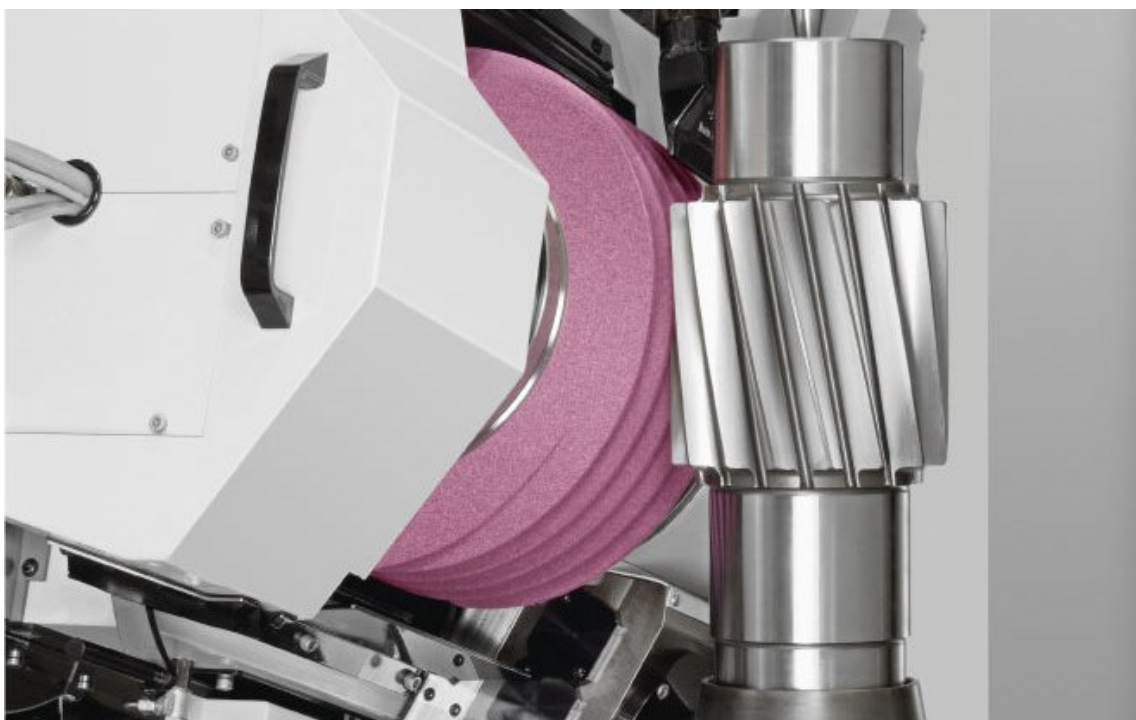
KUVA 3. Yleiskuva profiilihionnasta (Reishauer 2022a).

Toimeksiantaja on käyttänyt profiilihiomalaikan materiaalina boorinitridiä (CBN). CBN-laikkoja ei timantoida hiontatyökiertojen välissä, vaan ne tulevat valmistajalta hampaan profiilille muotoiltuna. Profiilihiontaa on kokeiltu myös timantoitavilla, alumiinioksidisilla ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) kivillä, mutta tulokset laadun suhteen ovat vaihdelleet. Toimeksiantajalla on ollut muutamia nimikkeitä, joissa profiilihiontaa on käytetty toistaiseksi ainoana mahdollisena työstötapana. Näiden nimikkeiden vaihe-aika profiilihiomalla on ollut vierintähiontaa merkittävästi pidempi, mutta laatuvaatimukset ovat täyttyneet. CBN-laikat vaativat myös aika ajoin huoltoa ja niiden

kiertoaika huollossa on pitkä. Profilihiottavan kappaleen tyypillinen hammasjyr-sinnästä jätetty työvara hampaan kylkeä kohden on 70–100 µm.

## 5.2 Vierintähionta

Profilihionnan tavoin vierintähionnassa (generating grinding) hammasaukon mo-lemmat kyljet hiotaan samanaikaisesti kuvan 4 tavoin. Vierintähionta perustuu työkiertoihin, joissa hammaskierukan mallinen, nousullinen hiomakivi (grinding worm) pyörii synkronoidusti kiinnittimessä olevan kappaleen hammasvälissä teh-den edestakaista syöttöliikettä hampaan kylkilinjaa pitkin. Työkierto suoritetaan hammasväliin 3–4 kertaan, joista ensimmäiset rouhintaan ja viimeinen viimeiste-lyyn.



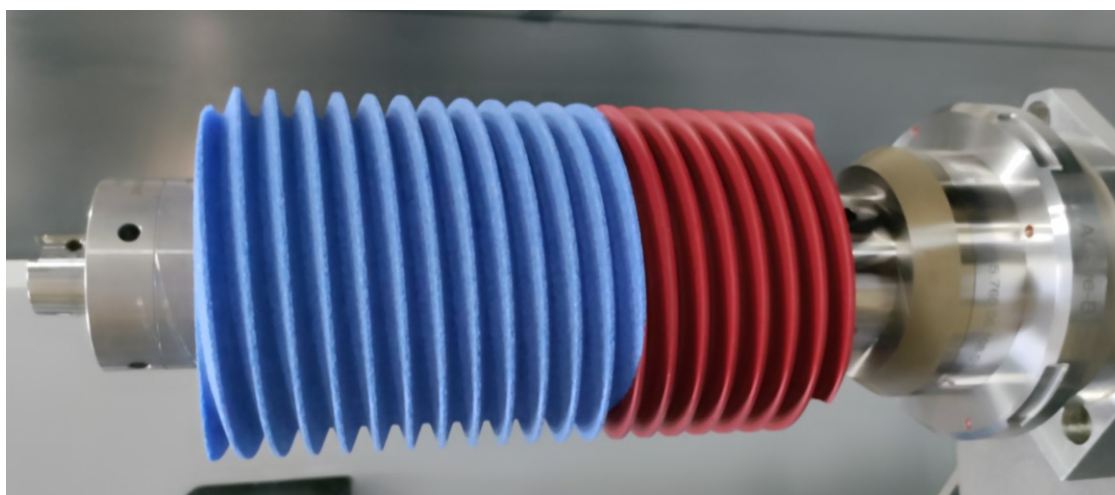
KUVA 4. Yleiskuva vierintähionnasta (Reishauer, 2022a).

Toimeksiantaja on käyttänyt vierintähiontaan alumiinioksidisia hiomakiviä, mitkä timantoidaan työkierrossa nimikkeen mukaan 20–100 kappaleen välein. Vierintä-hiomakivien päisyys vaihtelee 3–7 välillä ja valitaan hiottavan kappaleen ham-masluvun mukaan. Monipäisellä hiomakivellä saadaan suorituskykyä hiontaan, mutta hammastuksen ylimääräisen jakovirheen välttämiseksi hammasluku ei saa

olla jaollinen päisyydellä. Vierintähiottavan kappaleen tyypillinen hammasjyrinästä jätetty työvara hampaan kylkeä kohden on ollut 80–120 µm.

### 5.3 Kiillotushionta

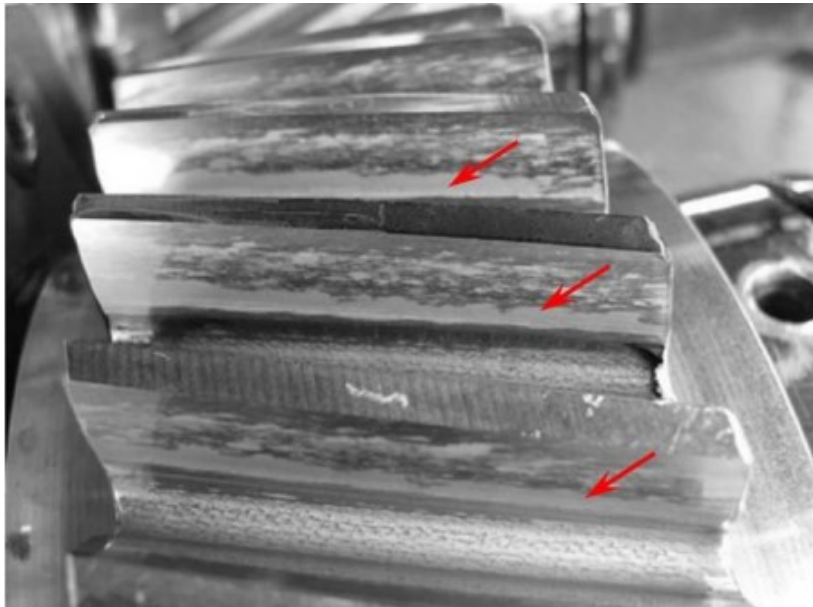
Kiillotushionta on vierintähionnan yhteydessä käytettävänä optio, jossa tavallisen hiomakiven jatkona on hartsilla sidottu, hienommista kiteistä koostuva kiillotusvyöhyke. Kiillotusvyöhykkeellä tapahtuvalla hampaan kyljen viimeistelyllä tavoitellaan parempaa pinnanlaatua. Kuvassa 5 punaisella merkitty kiillotusvyöhyke on materiaaliiltaan merkittävästi joustavampaa ja sen on tarkoitus vain poistaa pinnankarheudesta profiilihuiput, eikä varsinaisesti hioa hammasta. Kiillotus on hammashionnan viimeinen työkierto rouhinta- ja viimeistelyhionnan jälkeen. (Graf 2016, 2–9)



KUVA 5. Vierintähiomakivi kiillotusvyöhykkeellä.

Parempaan pinnanlaadun avulla vähennetään kitkaa hammaskontaktissa sekä hammaspyörän kulumisvaurioita, kuten micropittingiä (kuva 6). Micropitting on hampaan pintaan syntyvää mikrohalkeamista, jota esiintyy pintakarkaistuissa hammaspyörissä liian ohuen voitelukalvon seurauksena (SFS-ISO 10825:2012, 22). Työstökonevalmistaja Reishauerin asiakkaan tekemän kokeen mukaan kiillotushiotussa hammaspyörässä esiintyi merkittävästi vähemmän mikrohalkeamista. Kokeessa verrattiin perinteisellä menetelmällä hiottua sekä kiillotettua automaattivaihteiston planeettapyörää ja niille tehtiin 100,000 kilometrin ajoa vas-

taava, vaihtelevaa kuormitusta sisältävä simulaatiotesti. Kokeen lopuksi planeet-  
tapyörien mikrohalkeilun määrää mitattiin menetettynä painona. Perinteisellä me-  
netelmällä hiotusta hammaspyörästä oli kulunut pois 48 grammaa ja kiillotushio-  
tusta 9 grammaa. (Graf 2016, 2–9.)



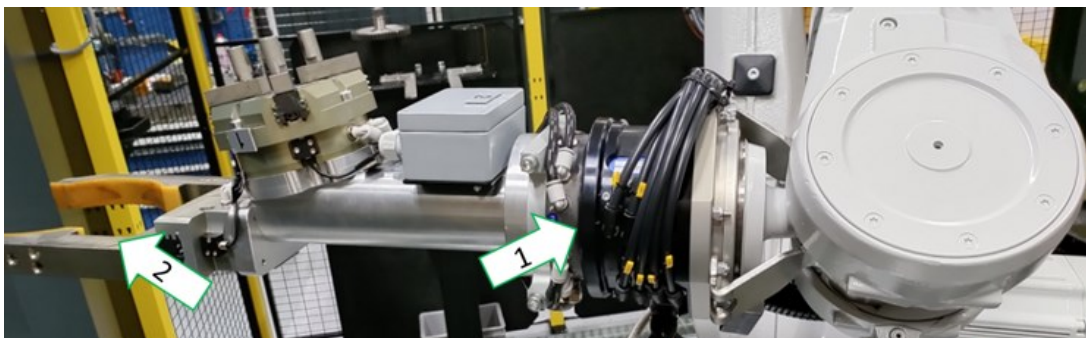
KUVA 6. Hampaan pinnalla esiintyvää mikrohalkeamista (Kekki, 2021).

## 6 AUTOMAATIO

Ennen Kapp Nilesin hankintaa Agco Powerilla oli jo käytössä kaksi robotilla automatisoitua Reishauer-hammashiomakonetta. Automaatiosoluissa on kaksi haarukkanostimella vaihdettavaa palettia, jotka toimivat kappaleiden nouto- ja jättopaikkana. Kappaleen noutaminen robotilla paletilta vaatii erityistä tarkkuutta, minkä vuoksi solut on varustettu 3D-näköjärjestelmillä, mitkä antavat tarkasti noudettavan kappaleen koordinaatit robotille. Robottisolut ovat varustettu myös jättöpaletin kuvausjärjestelmillä, joita käytetään muun muassa akseleiden vientiin reikälevyn mallisille paleteille. Robottisolussa on valutustasolla varustettu kappaleen kääntöhaarukka, joita käytetään myös otteen korjauspaikkana. Robottisolujen alipaineella toimivien välimuovitarttujen avulla mahdollistetaan useamman kappalekerroksen käyttö paleteilla.

### 6.1 Muutokset robottisolussa

Vaikka Kapp Nilesin ympärille rakennettu robottisolun oheislaitteineen oli lay-outiltaan hyvin samankaltainen Reishauer-solujen kanssa, tehtiin siihen joitakin kappaleen käsittelyä helpottavia muutoksia. Reishauer-soluihin hankitut hammasakselien kääntölaitteet korvattiin panostamalla enemmän kuvassa 7 esiintyvän robotin 6-akselin (1) käyttöön ja sen mahdollisuuteen käsitellä vaivattomammin kappaleita. Uudelleen suunnitellun robotin pihtitarttujan (2) avulla hammasakselit oli tarkoitus kääntää 6-akselia pyörittämällä ilman, että tarttujan leukoja tarvitsisi avata. Kapp Niles-soluun kappaleen otteen korjauspaikat oli tuotu lähemmäksi työstökonetta, jotta robotin liikkeen määrää sekä kappaleen kiertoaikaa saataisiin vähennettyä.



KUVA 7. Robotin tarttujat ja 6-akseli.

Kappaleiden leikkuuöljyn talteenottoa varten robottisoluun oli tarkoitus hankkia linkousjärjestelmä (kuva 8), minkä tavoitteena oli saada puolitettua hammashiomakoneen leikkuuöljyn kulutus. Hionnasta valmistuneisiin kappaleisiin tarttunut runsas leikkuuöljy on aiheuttanut ongelmia erityisesti pakkaamon pesukoneissa likaannuttaen pesuveden. Hammashiomakoneen leikkuuöljyn kuluksi vuositasolla on arvioitu 3 000 litraa, minkä puolittuessa saataisiin merkittäviä säästöjä myös taloudellisesti. Linkousjärjestelmän hankinnan toteutuessa robotin työkierto oli suunniteltu siten, että lingolle panostus tehtäisiin siinä työkierron kohdassa, jossa robotti muuten odottaisi tehtävää. Täten vaiheajan kasvu olisi minimoitu.



KUVA 8. Yleiskuva linkousjärjestelmästä (Liebherr, 2022).

## 6.2 Työkierto automaattiosolussa

Kapp Nilesin automaattiosolu oheislaitteineen on esitetty kuvassa 9. Tyypillinen hammasakselin työkierto alkaa kuvaamalla noudettavan kappaleen koordinaatit noutopaletilta (1) 3D-näköjärjestelmän kameralla (3). ABB-robotti vie noudetun kappaleen otteen korjauspaikalle (7) ja hakee hiotun hammaspyörän hiomakoneen panostusluukusta (8). Linkousjärjestelmän vielä puuttuessa robotti kääntää kappaleen hetkeksi lähes pystysuoraan asentoon valuttaakseen leikkuuöljyt koneen alaosassa sijaitsevaan altaaseen (8). Lingon saapuessa valutusvaihe jää pois ja robotti vie kappaleen lingolle. Valmis kappale viedään valutuksesta odotamaan korjauspaikalle, robotti ottaa ajamattoman kappaleen tarttujaan ja panostaa sen Kapp Nilesin ring loaderiin (9). Robotti noutaa ajatun kappaleen otteen korjauspaikalta ja vie jättöpaletille (2), joka täyteen tullessaan kuljetetaan haaruk-

kanostimella pakkaamoon. Välimuovitarttujaa (5) käytetään noutopaletin kerroksen vaihtuessa noutamalla välimuovi noutopaletilta ja viemällä se välimuovitelineeseen (6). Jättöpaletille edeltävä työkierto on päinvastainen. Robotin tarttujat sijaitsevat telineessä (10), josta voidaan tarvittaessa käydä vaihtamaan tarttuja käyttötarpeen mukaan.



KUVA 9. Kapp Nilesin automaattiosolu.

## 7 KAPP NILES

Kapp Nilesin valmistama 350 FLEX HS (kuva 10) on suurnopeuskaralla varustettu hammashiomakone, joka soveltuu kaikenkokoisille tuotantoerille. Hiomakone soveltuu profiili- sekä vierintähiontaan ja sillä voidaan valmistaa korkeintaan 350 mm halkaisijalla olevia kappaleita. Siemensin ohjauksella toimiva käyttöliittymä KN grind on suunniteltu helpottamaan erityisesti asetuksen tekoa sekä hionnan optimointia. Toimeksiantajalle hankittu hiomakone on varustettu sisäänrakennetulla hammasgeometrian mittauslaitteella. (Kapp Niles 2022.)

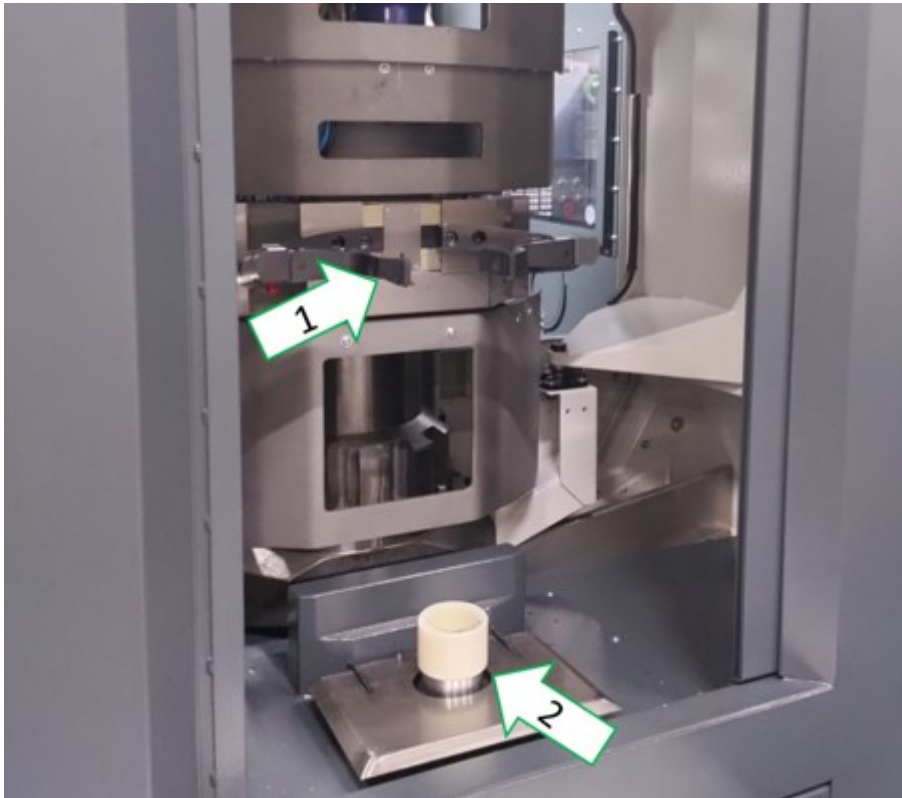


KUVA 10. KNG 350 FLEX HS

Työstökoneen hankintavaiheessa toimeksiantaja katsoi eduksi, että KNG 350 pystyy käyttämään halkaisijaltaan pienempiä (80–200 mm) vierintähiomakiviä, kuin Reishauer-hiomakoneet (275 mm). Pienempi hiomakiven halkaisija antaa lisää ulottuvuutta koneelle, jolla mahdollistetaan laajempi kappalekirjo. Pienellä hiomakiven halkaisijalla pystyy myös hiomaan korkeammilla kierrosluvuilla, minkä avulla saavutetaan kappaleen lyhyempi hionta-aika sekä parempi pinnanlaatu.

Toimeksiantajalle hankittu Kapp Niles käyttää yhtä kappalekiinnitintä Reishauerin kahden sijasta ja lastaa kappaleen itse kiinnittimelle kuvan 11 ring loaderin leu-

kojen (1) avulla lastauskiposta (2) noutaen. Joillakin nimikkeillä kappaleen asennon on koettu olevan robotin leukoja vakaampi ring loaderilla panostettaessa. Reishauerin 2-kiinnitinkäytössä robotti panostaa kappaleen suoraan hiomakoneen kiinnittimeen. Tämä on aiheuttanut ongelmia tietyillä nimikkeillä, joissa robotilla on ollut vaikeuksia saada vakaata otetta kappaleesta, seurauksena törmäys kiinnittimeen.



KUVA 11. Ring loader-lastaaja.

## 8 VASTAANOTTOAJON YHTEENVETO

### 8.1 Nimikkeiden valinta

Kapp Niles-hammashiomakoneen vastaanottoajo valmistui noin 10 nimikkeelle, joista 2 valittiin laadun- ja tuottavuuden vertailuun. Nimike 1:ksi valittiin vaihteiston akseli, jossa oli 3 hiottavaa hammastusta. Nimike 1:n hammastukset ovat lähellä toisiaan, minkä vuoksi vain 1 hammastus on pystytty hiomaan vierittämällä ja loput profiilihiomalla. Profiilihiomnan käytön takia nimikkeen vaihe aika on ollut pitkä ja toimeksiantajalla oli odotukset vaiheajan lyhennykselle. Hammastusten laatu on jo valmiiksi ollut hyvällä tasolla, mutta erityisesti Z16-hammastuksen pinnanlaadun paranemiselle oli odotuksia kiillotushionnan onnistuessa.

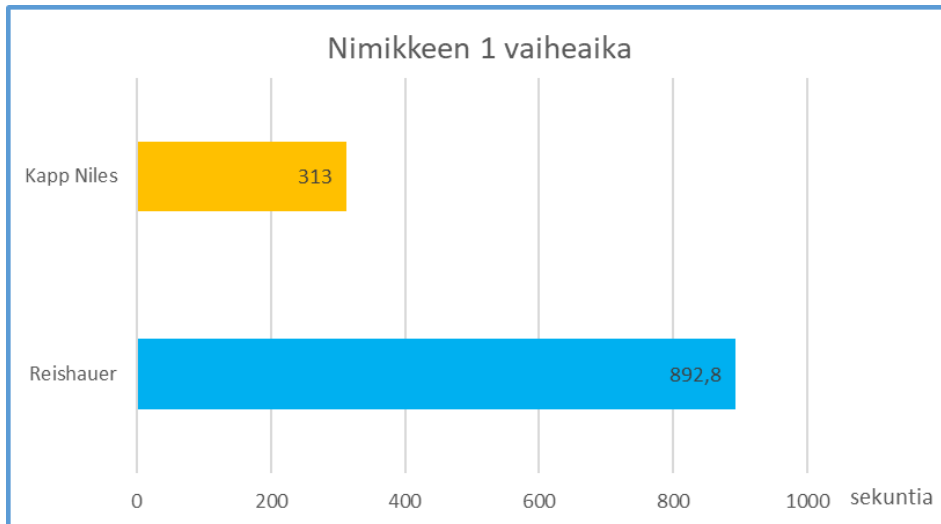
Nimikkeeksi 2 valittiin niin ikään vaihteiston akseli, jossa oli 1 hiottava hammastus. Nimikkeen hiottava hammastus sijaitsee akselin päässä, joka oli Reishauerilla jouduttu profiilihiomaan työstökoneen käyttämän suuren vierintähiomakiven halkaisijan ja tästä aiheutuvan ulottuvuusongelman takia. Myös nimikkeen kappaleen käsittelyssä on ollut ongelmia Reishauerien robottisoluissa, jotka yritettiin poistaa tekemällä muutoksia Kapp Nilesin robottisoluun. Nimike 2:n laatu on ollut valmiiksi hyvällä tasolla, mutta parannusta odotettiin etenkin profiilin- ja kylkilinjan geometriaan.

### 8.2 Mittausmenetelmät ja tulosten käsittely

Vastaanottoajoon liittyvät näytekappaleiden mittaukset suoritettiin toimeksiantajan laboratorio-olosuhteissa sijaitsevalla 3D-koordinaattimittauskoneella. Mittaustuloksista kerättiin työn teoriaosuudessa esiteltyt laatuun liittyvät suureet ja ne koostettiin manuaalisesti Excel-pohjaisiin mittauspöytäkirjoihin. Luotettavamman suorituskyvyn vertailudatan aikaansaamiseksi mittauspöytäkirjojen tiedoista tehtiin X-R-valvontakortti mahdollisuuksien mukaan. Mittaustuloksissa esiintyneet selkeät poikkeavuudet, esimerkiksi asetuskappaleet rajattiin pois tulosten käsittelystä.

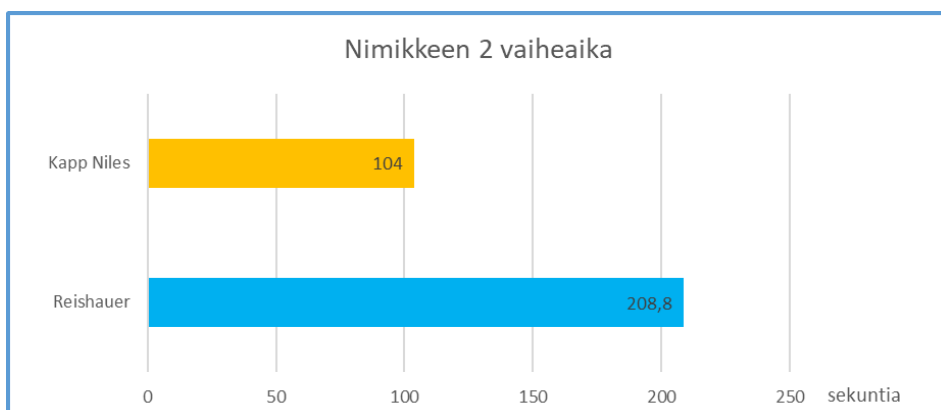
### 8.3 Vaiheaika

Nimike 1:lle suunniteltu vierintähionnan käyttö onnistui kaikilla kolmella hammas- tuksella ja tavoiteltu läpimenoajan lyheneminen toteutui. Nimikkeen hammastus- ten hionta-ajat laskettiin yhteen ja toteutunut vaiheaika on esitetty kuvioon 10. Hammastusten toteutunut läpimenoaika lyheni 65 %:lla ja oli Kapp Nilesillä 313 sekuntia kappaletta kohden.



KUVIO 10. Nimikkeen 1 vaiheaika.

Myös nimikkeelle 2 suunniteltu vierintähionnan käyttöönotto onnistui ja läpime- noajan lyheneminen toteutui. Nimikkeen 1 vaiheaika puolittui ja oli Kapp Nilesillä 104 sekuntia kappaletta kohden (kuvio 11).



KUVIO 11. Nimikkeen 2 vaiheaika.

Kapp Nilesin automaattiosoluun tehtiin joitakin muutoksia työkiertoon ja oheislaitteiden varusteluun liittyen. Akselin kääntölaite jätettiin pois ja tilalle hankittiin paranneltu robotin pihtitarttuja, jolla pystyttiin kääntämään hammasakselit robotin 6-akselia hyväksi käyttäen. Tällä toimenpiteellä robotin työkierron pituudesta saatiin poistettua keskimäärin 10 sekuntia. Nimikkeiden vaiheajassa ei havaittu muutoksia robotin työkierron ollessa hammashiontaa nopeampi, mutta käännössä säästetyllä ajalla robotti ehti valuttamaan kappaleita pidemmän ajan vähentäen kappaleisiin tarttuvaa öljyn määrää. Muilla robottiosuun tehdyillä muutoksilla ei huomattu merkittävää vaikutusta vaiheikaan, mutta kappaleiden käsittelyn varmuuteen liittyviä parannuksia näillä saavutettiin. Leikkuuöljyn talteenottoa varten suunniteltu linkousjärjestelmä oli opinnäytetyön kirjoitusvaiheessa vasta hankinnassa, eikä sillä saavutettuja hyötyjä pystytty toteamaan.

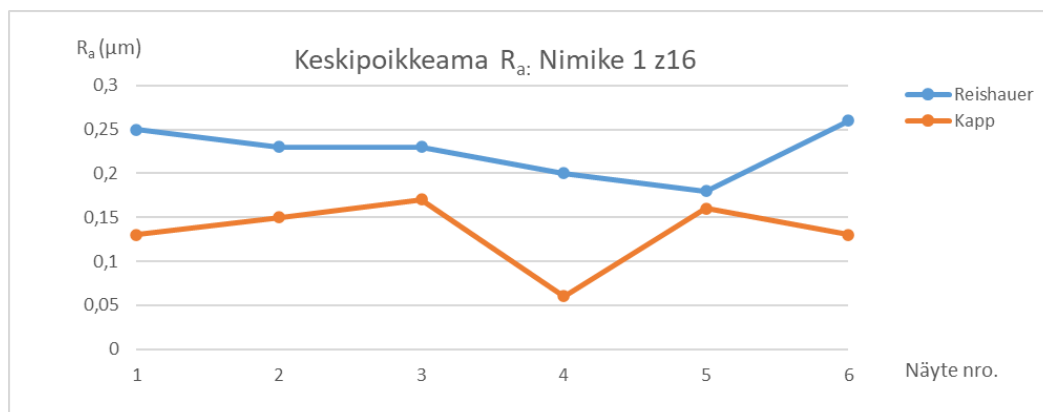
#### 8.4 Pinnanlaatu

Taulukon 2 tarkoituksena oli koostaa nimikkeiden vastaanottoajosta sekä vanhoista mittaustuloksista hankittu pinnanlaatuun liittyvä mittaustulodata sekä laskea näiden välillä tapahtunut muutos. Joillakin nimikkeillä pinnankarheuden muutosta ei pystytty selvittämään riittävän tarkasti mittaushjelmassa tapahtuneiden mitauspituuksien muutosten vuoksi, jotka vaihtelivat 0,48–4,8 mm välillä. Reishauerien vanhemmissa mittaustuloksissa on käytetty tyypillisesti 0,48 mm:n mittauspituutta väärinä pinnanlaatua todellista paremmaksi. Näin ollen data pinnankarheuksien suhteen oli vertailukelpoista vain, jos tuloksissa käytetty mittauspituus oli sama. Nimikekohtaiset mittauspöytäkirjat koostettuna liitteissä 1–4.

TAULUKKO 2. Pinnankarheuden vertailu

Pinnankarheus ( $\mu\text{m}$ )	$R_a$		$R_z$	
	Vasen	Oikea	Vasen	Oikea
Nimike 1 z16 Reishauer	0,22	0,17	1,02	0,86
Nimike 1 z16 Kapp	0,31	0,34	2,01	2,08
<b>Muutos (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>-0,09</b>	<b>-0,16</b>	<b>-0,99</b>	<b>-1,23</b>
Nimike 1 z19 Reishauer	0,56	0,50	4,47	4,02
Nimike 1 z19 Kapp	0,52	0,54	4,69	5,26
<b>Muutos (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>0,05</b>	<b>-0,03</b>	<b>-0,21</b>	<b>-1,24</b>
Nimike 1 z29 Reishauer	0,35	0,31	2,58	2,31
Nimike 1 z29 Kapp	0,34	0,40	2,55	2,88
<b>Muutos (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>0,02</b>	<b>-0,09</b>	<b>0,03</b>	<b>-0,57</b>
Nimike 2 z14 Reishauer	0,45	0,41	2,25	2,10
Nimike 2 z14 Kapp	0,75	0,74	4,46	4,42
<b>Muutos (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>-0,30</b>	<b>-0,32</b>	<b>-2,22</b>	<b>-2,31</b>

Nimike 1:n vastaanottoajossa Z16-hammastuksen viimeistelyyn käytettiin kiillotushiontaa. Kiillotushiottujen kappaleiden mittapöytäkirjoista kerättiin aritmeettisen keskipoikkeama  $R_a$ :n tulokset vertailutaloksi Reishauerien mittatulosten kanssa, mitkä koostettiin kuvioon 12. Vertailukelpoisia tuloksia saatiin 6 näytekappaleen verran, eikä X-R-kortille sopivaa näytteen kokoa täten saavutettu. Vastaanottoajosta saadut tulokset osoittavat pinnankarheuden aritmeettisen keskipoikkeaman parantuneen noin 43 prosenttia.



KUVIO 12. Keskipoikkeama  $R_a$ :n välinen muutos.

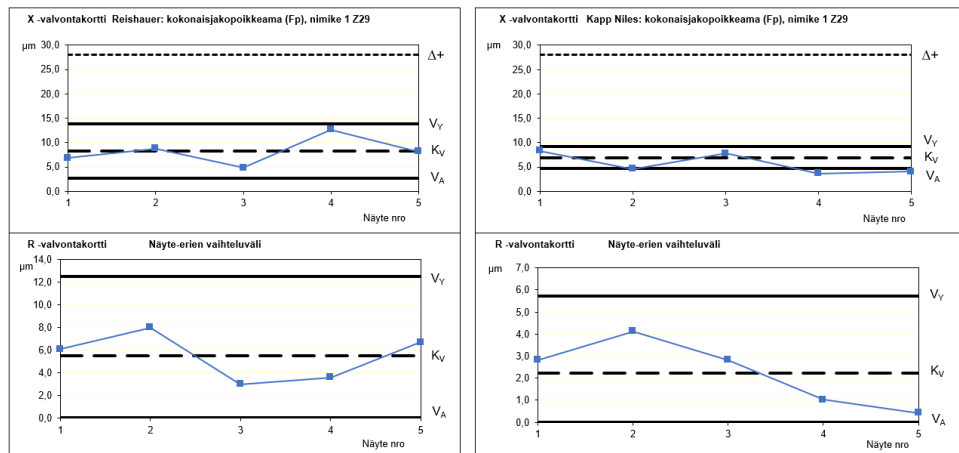
## 8.5 Vierintäpoikkeamat

Taulukoon 3 on koostettu vastaanottoajosta saaduista mittaustuloksista hampaan paksuuden vaihtelun ja vierintäpoikkeamien keskiarvot, joissa vertailutalana toimii Reishauerilla hiotut vastaavat nimikkeet. Tuloksista voidaan päätellä, että hiontaprosessi on ollut kunnossa jo Reishauerilla ja työstökoneesta johtuvia toleranssin ylityksiä on tullut vain satunnaisesti. Vierintäpoikkeamien tulokset pysyivät pieninä, koska lähtömittausohjelmalle otettiin suoraan hammastukselta.

TAULUKKO 3. Vierintäpoikkeamien vertailu

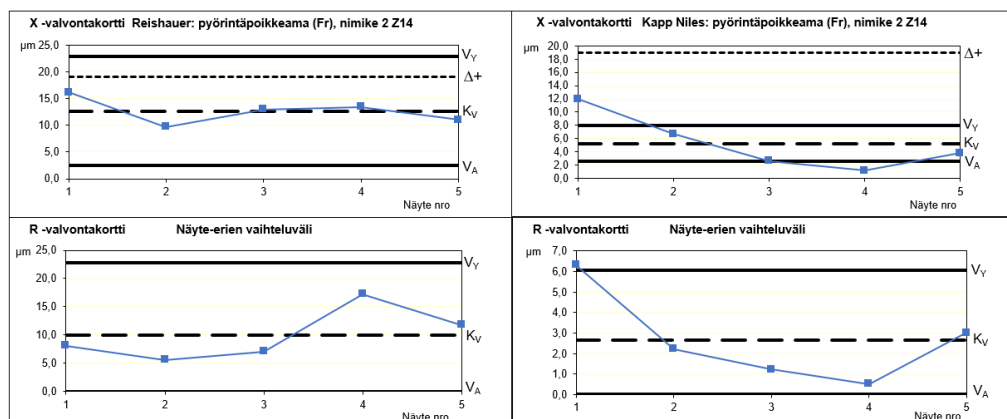
	Hamp. paks. vaiht. ( $\mu\text{m}$ ) $R_s$ 0 +12	Vierintäpoikkeamat ( $\mu\text{m}$ )						Pinnankarheus ( $\mu\text{m}$ )			
		$F_r$ 0 +19	$f_p$ 0 +9		$F_p$ 0 +28		$R_a$		$R_z$		
	ka.	ka.	Vasen	Oikea	Vasen	Oikea	Vasen	Oikea	Vasen	Oikea	
Nimike 1 z16 Reishauer	7,0	6,1	4,4	3,0	7,4	6,2	0,22	0,17	1,02	0,86	
Nimike 1 z16 Kapp	8,6	10,2	2,4	3,0	11,2	11,1	0,31	0,34	2,01	2,08	
<b>Muutos (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>-1,6</b>	<b>-4,1</b>	<b>2,0</b>	<b>0,0</b>	<b>-3,8</b>	<b>-4,9</b>	<b>-0,09</b>	<b>-0,16</b>	<b>-0,99</b>	<b>-1,23</b>	
Nimike 1 z19 Reishauer	6,1	5,8	3,2	2,2	6,9	5,5	0,56	0,50	4,47	4,02	
Nimike 1 z19 Kapp	4,6	5,7	1,7	1,9	7,9	8,0	0,52	0,54	4,69	5,26	
<b>Muutos (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>1,5</b>	<b>0,1</b>	<b>1,6</b>	<b>0,3</b>	<b>-1,1</b>	<b>-2,5</b>	<b>0,05</b>	<b>-0,03</b>	<b>-0,21</b>	<b>-1,24</b>	
Nimike 1 z29 Reishauer	5,2	7,2	1,9	2,0	8,1	8,7	0,35	0,31	2,58	2,31	
Nimike 1 z29 Kapp	4,7	6,4	1,2	1,7	6,6	7,2	0,34	0,40	2,55	2,88	
<b>Muutos (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>0,5</b>	<b>0,8</b>	<b>0,7</b>	<b>0,3</b>	<b>1,4</b>	<b>1,5</b>	<b>0,02</b>	<b>-0,09</b>	<b>0,03</b>	<b>-0,57</b>	
Nimike 2 z14 Reishauer	14,5	14,0	5,0	4,1	16,6	16,2	0,45	0,41	2,25	2,10	
Nimike 2 z14 Kapp	13,0	5,1	2,7	2,3	7,6	7,0	0,75	0,74	4,46	4,42	
<b>Muutos (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>1,6</b>	<b>8,9</b>	<b>2,2</b>	<b>1,8</b>	<b>9,1</b>	<b>9,2</b>	<b>-0,30</b>	<b>-0,32</b>	<b>-2,22</b>	<b>-2,31</b>	

Nimike 1:n vastaanottoajossa kerätystä datasta Z29-hammastuksen vierintäpoikkeamien todettiin vähentyneen keskimäärin 19 prosenttia. Vertailukelpoista mitausdataa saatiin kerättyä vähintään 5 näytteen verran ja X-R-kortin luominen oli täten mahdollista. Kuvion 13 X-R-korttiin on havainnollistettu Z29-hammastuksen kokonaisjakopoikkeaman tilastollinen suorituskyky. X-R-kortin määrittämiseen käytetyt nimikekohtaiset mittauspöytäkirjat koostettuna liitteissä 1–4.



KUVIO 13. Nimikkeen 1 Z29 kokonaisjakopoikkeama.

Nimike 2:lla vierintäpoikkeamien määrää onnistuttiin vähentämään eniten ja toleranssien ylityksiä vastaanottoajossa ilmeni vain yhdessä asetuskappaleessa. Vertailukelpoista dataa saatiin kerättyä vähintään 5 näytteen verran ja nimikkeelle määriteltiin X-R-kortti pyörintäpoikkeaman  $F_r$  määrälle kuvioon 14 esitetynä. Vaikka nimike 2:n pyörintäpoikkeaman määrä pieneni Kapp Nilesillä hiotuna, voidaan X-R-kortista todeta prosessin olevan vielä vaihtelevaa, johtuen osittain suuresta asetusten määrästä. X-R-kortin määrittämiseen käytetyt nimikekohtaiset mittauspöytäkirjat koostettuna liitteissä 1–4.



KUVIO 14. Nimikkeen 2 Z14 pyörintäpoikkeama.

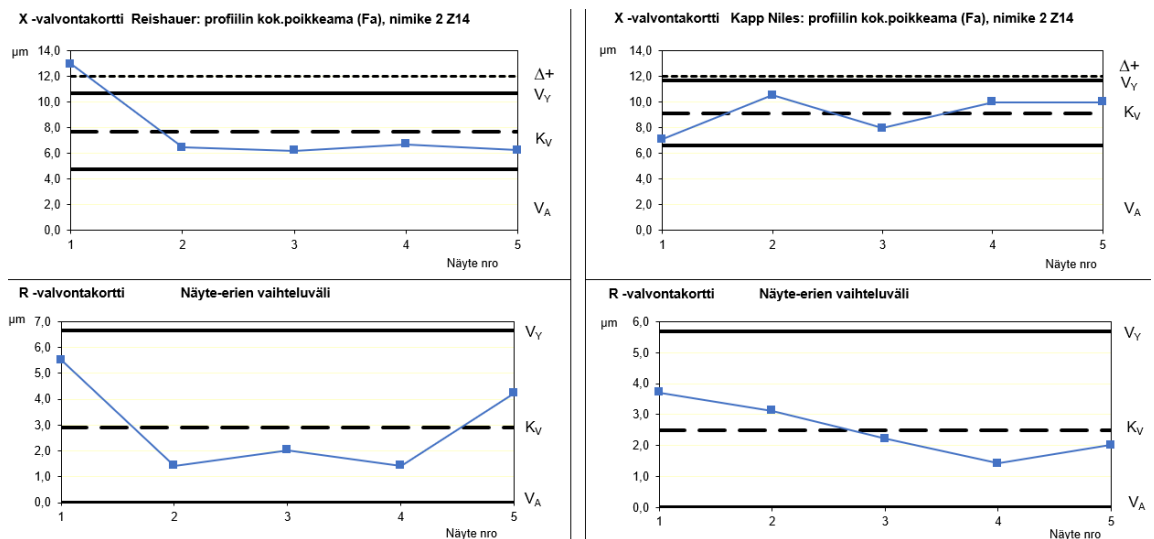
## 8.6 Profiilin ja kyljen poikkeamat

Taulukoon 4 on koostettu vastaanottoajosta saaduista mittaustuloksista profiilin ja kyljen poikkeamien numeraaliset keskiarvot, joissa vertailudatana toimii Reishauerilla hiotut vastaavat nimikkeet. Hampaan kyljellä esiintyvissä poikkeamissa havaittiin vain tavalliseen prosessin vaihteluun kuuluvia muutoksia. Nimike 1:n profiilin poikkeamissa havaittiin merkittäviä muutoksia, jotka saattoivat johtua mittausohjelmiin asetetuista profiilin määrityksen arvoista.

TAULUKKO 4. Mittatuloksien vertailu muotopoikkeamille

	Hampaan profiilin poikkeamat ( $\mu\text{m}$ )						Hampaan kyljen poikkeamat ( $\mu\text{m}$ )							
	$f_{f\alpha}^0$ +8		$f_{H\alpha} \pm 7$		$F_{\alpha}^0$ +12		$f_{f\beta}^0$ +9		$f_{H\beta} \pm 10$		$F_{\beta}^0$ +12		$C\beta$ 0 $\pm$ 5	
	Vasen ka.	Oikea ka.	Vasen ka.	Oikea ka.	Vasen ka.	Oikea ka.	Vasen ka.	Oikea ka.	Vasen ka.	Oikea ka.	Vasen ka.	Oikea ka.	Vasen ka.	Oikea ka.
Nimike 1 z16 Reishauer	16,2	20,3	-7,8	-8,1	21,2	25,1	1,7	3,6	1,0	-0,7	3,2	5,0	N/a	N/a
Nimike 1 z16 Kapp	6,9	6,8	0,8	0,0	7,7	7,3	1,1	1,3	2,6	-2,8	3,4	3,9	N/a	N/a
<b>Muutos (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>9,3</b>	<b>13,4</b>	<b>-8,6</b>	<b>-8,0</b>	<b>13,6</b>	<b>17,8</b>	<b>0,5</b>	<b>2,3</b>	<b>-1,6</b>	<b>2,1</b>	<b>-0,1</b>	<b>1,2</b>		
Nimike 1 z19 Reishauer	2,7	3,7	-0,7	1,2	4,8	5,4	2,1	1,8	0,0	-0,6	4,5	5,5	10,5	8,1
Nimike 1 z19 Kapp	4,6	4,6	-3,1	-3,8	7,4	8,1	1,4	1,5	0,9	0,3	6,8	5,9	6,6	6,4
<b>Muutos (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>-1,9</b>	<b>-0,9</b>	<b>2,4</b>	<b>5,1</b>	<b>-2,7</b>	<b>-2,7</b>	<b>0,7</b>	<b>0,3</b>	<b>-0,9</b>	<b>-0,9</b>	<b>-2,4</b>	<b>-0,4</b>	<b>3,9</b>	<b>1,7</b>
Nimike 1 z29 Reishauer	2,0	1,8	2,1	3,4	24,4	25,2	1,6	1,4	0,3	-0,1	4,7	5,2	8,4	8,5
Nimike 1 z29 Kapp	3,0	2,6	-2,6	-0,7	8,9	9,4	1,1	2,3	3,8	-3,8	6,7	5,2	9,8	8,1
<b>Muutos (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>-1,0</b>	<b>-0,8</b>	<b>4,8</b>	<b>4,1</b>	<b>15,4</b>	<b>15,8</b>	<b>0,5</b>	<b>-0,8</b>	<b>-3,6</b>	<b>3,7</b>	<b>-2,0</b>	<b>0,0</b>	<b>-1,4</b>	<b>0,5</b>
Nimike 2 z14 Reishauer	5,4	6,0	-4,1	-0,8	9,7	8,8	1,0	0,7	2,5	-3,3	5,3	5,7	2,1	1,9
Nimike 2 z14 Kapp	7,7	7,0	-2,7	-2,0	9,5	8,3	2,2	2,1	1,8	-1,1	4,7	4,0	3,4	3,2
<b>Muutos (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>-2,3</b>	<b>-0,9</b>	<b>-1,4</b>	<b>1,3</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>-1,2</b>	<b>-1,3</b>	<b>0,8</b>	<b>-2,2</b>	<b>0,7</b>	<b>1,7</b>	<b>-1,3</b>	<b>-1,3</b>

Nimike 2:n profiilin kokonaispoikkeamassa tapahtunut muutos havainnollistettiin X-R-korttiin (kuvio 15). Valvontakortista voitiin todeta prosessin olevan vakaa erityisesti Kapp Nilesillä, eikä merkittäviä poikkeamia esiintynyt. X-R-kortin määrittäykseen käytetyt nimikekohtaiset mittauspöytäkirjat koostettuna liitteissä 1–4.



KUVIO 15. Nimikkeen 2 Z14 profiilin kokonaispoikkeama.

Mittatuloksen visuaalisen tarkastelun tarkoituksena oli havaita niitä poikkeamia, joita ei välttämättä huomata numeraalisista arvoista. Visuaalisella tarkastelulla voitiin esim. arvioida kyljen muodon symmetrisyyttä tai todeta hampaan pinnalla oleva epätasaisuus sinne kuulumattomaksi roskaksi.

Visuaalisella tarkastelun kautta todettiin, että Kapp Nilesillä hiotuilla hampailla esiintyi vähemmän virheitä. Hampaiden profiilin muodossa todettiin olevan vähemmän värinää sekä tyvi- ja päähelpotukset olivat selkeämmät. Timanttipyörän hyvällä kunnolla ja muodolla oli vaikutusta edellä mainittuihin parannuksiin, eikä täten olleet täysin vertailukelpoisia Reishauerin kuluneilla työkaluilla hiottujen kappaleiden mittatulosten kanssa.

## 9 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tekeminen oli opettavaa ja paikoin haastavaa. Opinnäytetyöprosessi osoittautui kuitenkin mielekkääksi työhistoriani vuoksi, jolloin pystyin käyttämään aiemmin hankittua ammattitaitoa hyväksi opinnäytetyön laatimisessa. Tiedonhankintaa hankaloitti hammashionnan nopea kehittyminen työstömenetelmänä, minkä seurauksena aiheeseen liittyvä lähdemateriaali ei usein ollut ajan tasalla. Merkittävä apu standardien ohella löytyi työstökonevalmistajien tietokannoista, joissa monesti oli luotettavaa ja viimeisintä tietoa tekniikasta.

Ennen opinnäytetyöprosessia asetetut tavoitteet saatiin täytettyä. Työstökone hankittiin ensisijaisesti tukemaan tuotantoa, mutta sillä onnistuttiin myös lyhentämään vastaanottokappaleiden vaiheikaa nimikkeen mukaan 50–65 prosenttia. Pinnanlaatua onnistuttiin parantamaan nimike 1:n vastaanottoajon yhteydessä tehdyssä Z16-hammastuksen kiillotushiontaan liittyvässä testissä, missä pinnan karheuden aritmeettinen keskipoikkeama  $R_a$  parani noin 43 prosenttia. Hammasprofiilin ja kyljen poikkeamissa havaittiin vierintäpoikkeamien ohella vain tavalliseen prosessin vaihteluun kuuluvia muutoksia, mistä voitiin todeta hammashiontaprosessin olleen kunnossa jo ennen Kapp Nilesin käyttöönottoa.

Leikkuuöljyn talteenottoa varten hankittu linkousjärjestelmä ei valitettavasti ehtinyt saapumaan opinnäytetyön aikana, joten sen hyötyjä käytännössä ei päästy toteamaan. Automaatiosoluun tehdyt uudistukset osoittautuivat nimikkeiden vastaanottoajoissa toimintavarmiksi. Hammashiomakoneen ollessa vielä osittaisessa käyttöönottovaiheessa sen täyttä suorituskykyä ei ehditty mittaamaan. Kapp Nilesillä hiottavien nimikkeiden määrää on tarkoitus kasvattaa tulevaisuudessa ja hiontasolun kehitystyötä jatketaan, mikäli kehitettävää ilmenee.

Tulosten esittämistä hankaloitti osittain salassapitovelvollisuus ja näytekappaleista saatu pieni otanta, minkä vuoksi tilastollisen prosessiohjauksen kaikkia työkaluja ei pystytty ottamaan käyttöön. Opinnäytetyössä korostui myös mittakoneohjelmien yhteneväisyyden tärkeys. Vertailukelpoisten näytteiden määrää rajasi mittakoneohjelmissa esiintyneet muutokset ja tekivät nimikekohtaisista mitta-

pöytäkirjoista vaikealukuiset ja osittain epäluotettavat. Mittakoneohjelmien mitaustavan vakiointi helpottaisi tulosten luotettavuutta ja raportointia. Exceliin koostetuista mittapöytäkirjoista tehty hammasgeometrian laadun tutkiminen osoittautui työlääksi ja on mahdollisissa jatkotutkimuksissa poissuljettu vaihtoehto. Mikäli toimeksiantaja näkisi seurantatyökalun tarpeelliseksi, tulisi hammaspyörän laadun suureiden olla manuaalisen koostamisen sijaan suoraan siirrettävissä esimerkiksi koordinaattimittauskoneelta.

Opinnäytetyötä tehdessä kävi myös ilmi, kuinka aikaa vaativaa työstökoneen ja automaatiolosolun käyttöönottoaminen on. Yhden nimikkeen asetusten ja parametrien kohdilleen hakeminen saattaa ottaa aikaa joistakin päivistä viikkoihin ja niiden yhteydessä voi tulla ongelmia esimerkiksi työkalujen sopivuuden tai työstökoneeseen tulleen odottamattoman vian kanssa. Myös kolmessa vuorossa työskentelevien koneen käyttäjien koulutukseen tulisi varata aikaa, jotta muuta tuotantoa olisi mahdollista pitää yllä.

Opinnäytetyön lopputuloksena saavutettiin toimiva työstökonesolu, millä pyritään takaamaan tuotannon ja työpaikkojen pysyvyyttä tehtaalla. Suomalaisten teollisuusyritysten vahvuudet globaaleilla markkinoilla ovat massatuotannon sijaan korkean lisäarvon tuotannossa. Automatisointiin liittyvät investoinnit tyypillisesti tavoittelevat laadun parantamisen ohella tuotannon joustavuutta ja tehostamista. Työntekijän korvaamisen sijaan yritykset entistä useammin kouluttavat vanhat työntekijänsä uusien koneiden käyttäjiksi työnkuvan muuttuessa vähemmän kuormittavaksi.

Lopuksi haluan kiittää opinnäytetyöni ohjaajaa tuesta sekä toimeksiantajaa mahdollisuudesta osallistua työstökoneen käyttöönottoon sekä laadun ja tuottavuuden kehitystyöhön.

## LÄHTEET

AGCO Power. 2022. Historia. Verkkosivu. Viitattu 10.5.2022. [www.agco-power.com/fi/yritys/historia/](http://www.agco-power.com/fi/yritys/historia/)

AGCO. 2022. Historia. Verkkosivu. Viitattu 10.5.2022. [www.agco-corp.com/about.html](http://www.agco-corp.com/about.html)

Carl Zeiss. 2015. Gear metrology. Koulutusmateriaali. Viitattu 28.6.2022. <https://www.zeiss.fi/metrology/services/measuring-services/gear-measurement.html>

Graf, W. 2014. Polish gringing of gears for higher transmission efficiency. Gear Solutions 27.5.2022. Viitattu 23.5.2022. <https://gearsolutions.com/features/polish-grinding-of-gears-for-higher-transmission-efficiency/>

KAPP NILES. 2022. Historia. Verkkosivu. Viitattu 24.5.2022. [www.kapp-niles.com/en/kapp-niles/history](http://www.kapp-niles.com/en/kapp-niles/history)

KAPP NILES. 2022. koneet. Verkkosivu. Viitattu 11.10.2022. <https://www.kapp-niles.com/en/machines/generatingprofile-grinding-machine/kng-flex-hs>

Kekki, J. 2019. Hammaspyörästandardit. Luento 31.8.2022. METSTA konferenssi 31.8.2021. Webinaari. <https://metsta.fi/webinaari-31-8-2021-hammaspyorastandardit-2/>

Liebherr. 2022. Tuotteet. Verkkosivu. Viitattu 30.12.2022. <https://www.liebherr.com/en/sgp/products/products.html>

Lähteenmäki, M. & Leiviskä, K. 1998. Tilastollinen prosessinohjaus: perusteet ja menetelmät. Oulun yliopiston julkaisuja Sarja B. Raportteja 8. Oulu.

Mitutoyo. n.d. Pikaopas pinnankarheuden mittaukseen. Viitattu 16.5.2022. [https://www.mitutoyo.fi/application/files/9315/5888/8225/Quick\\_Guide\\_to\\_Surface\\_Roughness\\_FI\\_WEB.pdf](https://www.mitutoyo.fi/application/files/9315/5888/8225/Quick_Guide_to_Surface_Roughness_FI_WEB.pdf)

Raja, J.& Muralikrishnan, B. & Fu, S. 2002. Recent advances in separation of roughness, waviness and form. Viitattu 16.5.2022. [www-sciencedirect-com.lib-proxy.tuni.fi/science/article/pii/S0141635902001034?via%3Dihub](http://www-sciencedirect-com.lib-proxy.tuni.fi/science/article/pii/S0141635902001034?via%3Dihub)

Reishauer. 2022a. Koneet. Verkkosivu. Viitattu 11.10.2022. <https://www.reishauer.com/en/machines>

Reishauer. 2022b. Teknologia. Verkkosivu. Viitattu 6.6.2022. [www.reishauer.com/en/technology/generating-grinding](http://www.reishauer.com/en/technology/generating-grinding)

SFS-ISO 53. 2012. Lieriöhammaspyörät yleiseen ja raskaaseen käyttöön. Perusprofiili. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Viitattu 10.10.2022. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/ISO/ID2/5/406377.html.stx>

SFS-ISO 1328-1. 2016. Cylindrical gears. ISO system of flank tolerance classification. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Viitattu 28.6.2022. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/ISO/ID2/1/408628.html.stx>

SFS-ISO 3993. 1977. Hammaspyörät. Lieriöhammaspyörät. Evolventtiammas-tus. Poikkeamat ja mittausten menetelmät. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Viitattu 28.7.2022. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/SFS/ID6/3/1509.html.stx>

SFS-EN ISO 4287:en kumottu. 1997. Cylindrical gears. Geometrical product specifications (GPS). Surface texture: Profile method. Terms, definitions and surface texture parameters. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Viitattu 28.8.2022. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN-ISO/ID6/4/13662.html.stx>

SFS-ISO 4360. 1981. Laatuteknikka. x-R-valvontakortti. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Viitattu 25.10.2022. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/SFS/ID2/4/1689.html.stx>

SFS 10825. 2012. Hammaspyörät, hammaspyörien hampaiden kulumisen ja vauriot. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Viitattu 21.6.2022. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/ISO/ID2/1/460671.html.stx>



## Liite 2. Nimikkeen 1 Z29 mittauspöytäkirja

Nimike 1 Z29	Hampaan profiilin polkkeamat (µm)						Hampaan kyljen polkkeamat (µm)						Hampaan paksvaiht. (µm)						Vierintäpolkkeamat (µm)						Pinnanlaatu (µm)					
	$f_{fa} +8$		$f_{fa} \pm 6$		$F_a +10$		$f_{fb} +7$		$f_{fb} \pm 9$		$F_{\beta} +10$		$C\beta 10 \pm 5$		$R_s +12$		$F_r +19$		$f_p +9$		$F_p +28$		$R_a$		$R_z$					
Reihauer	Vasen ka.	Oikea ka.	Vasen ka.	Oikea ka.	Vasen ka.	Oikea ka.	Vasen ka.	Oikea ka.	Vasen ka.	Oikea ka.	Vasen ka.	Oikea ka.	Vasen ka.	Oikea ka.	Vasen ka.	Oikea ka.	Vasen ka.	Oikea ka.	Vasen ka.	Oikea ka.	Vasen ka.	Oikea ka.	Vasen ka.	Oikea ka.	Vasen ka.	Oikea ka.				
22.04.2022 klo.14.48	1	1,9	1,3	1,9	5,6	25,8	30,5	1	0,8	-2,1	5,7	5,1	7,4	7,9	7,8	7,7	2,1	1,9	8,6	10,3	0,36	0,28	2,84	2,41	2,41	2,41				
22.02.2022 klo.23.59	2	2,0	2,5	3,4	6,1	27,2	31,4	2	0,8	-1,8	2,4	5,2	5,5	7,7	7,1	4,0	1,1	1,2	2,9	3,5	0,40	0,33	2,94	2,63	2,63	2,63				
30.12.2021 klo.14.47	3	1,8	1,8	1,2	4,4	24,9	27,6	2,2	0,8	-3,9	3,7	6,6	6,1	7,9	8,2	8,0	1,9	1,9	9,0	10,5	0,35	0,27	3,04	2,37	2,37	2,37				
11.10.2021 klo.19.01	4	1,7	2,2	2,1	5,3	25,2	29,7	1,2	1,5	-0,8	-1,4	4,7	5,0	7,5	8,3	9,2	2,1	2,0	9,5	10,5	0,40	0,34	2,68	2,53	2,53	2,53				
11.10.2021 klo.14.06	5	1,5	1,6	4,5	5,3	28,0	29,5	1,3	0,9	8,5	-5,3	7,9	6,5	8,2	7,5	7,2	1,8	1,8	8,6	9,4	0,33	0,31	2,65	2,54	2,54	2,54				
02.07.2021 klo.13.01	6	1,9	1,4	3,7	3,2	26,5	24,6	1,3	1,1	-2,8	1,8	3,3	2,5	8,9	10,0	2,3	3,6	1,2	1,4	5,1	6,3	0,29	0,19	2,15	1,52	1,52				
01.06.2021 klo.02.33	7	1,7	2,0	4,8	4,9	28,6	29,3	1,4	1,4	-0,7	-1,9	4,1	5,5	8,4	6,8	3	5,4	1,7	1,9	8,1	7,8	0,33	0,27	2,85	3,06	3,06				
31.05.2021 klo.19.11	8	1,4	1,8	3,3	3,0	24,4	27,7	1,7	1,4	4,4	5,7	5,5	7,4	8,6	6,9	8,6	12,1	2,3	2,8	13,1	14,7	0,38	0,35	2,62	2,70	2,70				
12.12.2020 klo.15.20	9	1,2	1,3	4,5	4,9	28,8	28,8	1,6	1,9	1,4	1,5	4,2	5,6	7,6	7,5	4,4	6,4	1,8	1,7	6,2	7,1	0,32	0,33	2,28	2,37	2,37				
30.10.2020 klo.17.29	10	4,0	1,8	4,3	4,0	26,5	29,5	1,3	1,4	1,7	0,4	3,6	6,0	8,7	6,9	1,6	2,4	1,3	1,3	3,2	3,2	0,29	0,26	1,97	1,98	1,98				
30.10.2020 klo.13.15	11	1,5	1,7	4,2	3,6	28,2	29,5	1,4	2,2	1,5	-1,5	3,4	5,7	8,2	6,7	2,3	3,2	1,3	1,7	5,1	4,6	0,31	0,30	2,47	2,27	2,27				
30.10.2020 klo.15.45	12	1,6	1,2	4,7	3,5	28,8	27,5	1,2	1,5	1,0	-1,6	1,9	2,8	9,3	9,1	5,7	7,9	1,9	1,6	5	8,6	0,32	0,26	2,30	1,80	1,80				
20.09.2020 klo.13.10	13	1,4	1,2	4,5	4,0	29,6	28,0	1,4	1,5	2,6	-1,9	3,2	3,4	10,0	10,8	6,4	7,4	1,8	2,1	6,3	9,1	0,33	0,33	2,50	2,05	2,05				
20.09.2020 klo.10.05	14	1,4	1,4	3,5	4,2	28,0	28,0	1,6	1,3	3,8	-2,9	4,3	3,6	7,6	8,9	7,7	10,4	2,8	2,6	14,2	13,6	0,36	0,30	2,35	2,06	2,06				
20.09.2020 klo.09.13	15	1,4	1,7	4,1	5,1	28,0	29,2	1,7	1,4	-4,1	-4,6	3,9	5,9	10,1	10,7	6,4	9,8	2,2	2,1	10,6	12,1	0,34	0,30	2,23	2,03	2,03				
19.09.2020 klo.12.41	16	1,5	1,7	5,2	5,0	27,2	29,3	2,8	2,2	0,1	-4,7	5,6	5,7	6,6	10,9	8,5	12	2,96	2,3	13,2	12	0,37	0,35	2,60	2,24	2,24				
20.08.2020 klo.18.42	17	3,6	4,0	-8,5	-8,5	10,4	11,0	2,3	1,3	-0,2	-3,7	2,9	4,4	8,4	8,2	6	8,4	2	1,6	11,8	7,4	0,44	0,43	3,16	2,60	2,60				
20.08.2020 klo.15.08	18	2,8	2,2	-5,6	-1,5	8,3	4,0	1,4	1,8	5,6	-0,4	5,5	3,4	9,2	9,7	4,4	6,5	1,7	4	5,1	6,5	0,43	0,34	2,81	2,36	2,36				
20.08.2020 klo.13.49	19	3,9	2,0	-5,6	1,9	9,1	3,2	1,7	1,2	10,6	6,9	8,2	5,6	8,4	9,7	5,7	5,2	1,9	2,1	7,6	7,2	N/a	N/a	N/a	N/a	N/a				
KESKIARVO	2,0	1,8	2,1	3,4	3,4	24,4	25,2	1,6	1,4	0,3	-0,1	4,7	5,2	8,4	8,5	5,2	7,2	1,9	2,0	8,1	8,7	0,35	0,31	2,58	2,31	2,31				
Kapp Niles																														
08.05.2022 klo.18.33	1	1,5	1,3	2,1	4,3	25,9	27,3	1,7	1,1	-4,1	3,8	6,3	6,3	8,3	8,3	8,6	2,4	2,4	9,2	11,5	0,39	0,32	2,58	2,44	2,44					
08.05.2022 klo.19.43	2	1,9	1,9	0,6	3	23,8	25,6			-2,8	4,7	6	5,2	9,9	8,1	6,6	9	1,7	9,3	10	0,38	0,36	2,85	2,64	2,64					
02.09.2022 klo.12.15	3	2,5	1,9	-0,4	2,2	2,7	2,8	1,1	3	6,3	-6,5	6	5,2	9,9	8,1	4,2	6,1	1,2	2	6,5	6,7	0,38	0,53	2,47	3,53	3,53				
01.09.2022 klo.15.37	4	2	1,6	0,5	2,7	2,1	2,9	1,1	2,3	3,4	-4,5	4,2	4,3	9,2	8,6	1,9	2,7	0,7	0,6	3,5	3	0,32	0,36	2,35	2,47	2,47				
01.09.2022 klo.14.40	5	1,4	1,4	0,5	2,7	27,8	31	1,1	2,2	6,1	-6,4	5,2	5,9	9,8	8	2,7	3,6	0,7	1,8	3,1	4,3	0,33	0,47	2,58	3,24	3,24				
12.10.2022 klo.19.53	6	7,8	6,3	-13,9	-15,5	15,2	16,4	1,2	3,2	-0,3	0,5	4,9	5,4	9,7	8,3	4,5	5,6	1,1	1	7,2	7,4	N/a	N/a	N/a	N/a	N/a				
12.10.2022 klo.17.07	7	8,8	6,4	-12,7	-12,7	14,8	14,4	1,3	2,5	-2,3	3,3	5,8	6	9,8	8,1	7,8	9,2	1,4	1,6	9,4	10,9	N/a	N/a	N/a	N/a	N/a				
N/a	8	2,2	2,6	-0,9	3,3	2,5	4,5	0,8	2,2	5,3	-5,9	5,7	4,4	9,8	8,9	5,8	7,9	0,9	2,2	6,6	7,2	0,45	0,48	3,3	3,47	3,47				
12.10.2022 klo.14.14	9	7,4	5,5	-10,4	-12,8	12,5	12,7	0,8	2	2,5	-2,8	5,3	3,9	9,2	7,9	5,2	6,2	1,2	1,1	7,4	7,6	N/a	N/a	N/a	N/a	N/a				
27.09.2022 klo.11.28	10	1,7	1,7	1,8	-1,8	2,9	3,2	1,1	2,1	7,1	-6,3	8,6	5,3	10,5	8,2	3,2	4,3	0,7	1,5	3	5,6	0,43	0,44	3,38	2,92	2,92				
27.09.2022 klo.11.03	11	2,1	2,4	-2,6	2,2	3,7	3	1,3	2,7	6,7	-8,4	8,1	6,3	10,3	7,9	1,9	3,5	1	1,9	4	4,5	0,3	0,48	2,34	3,42	3,42				
27.09.2022 klo.10.39	12	2,2	2,4	-2	0,9	3,3	2,4	1	1,9	6,7	-5,8	7,7	4,7	9,8	7,6	3,8	4,6	0,8	1,5	3,9	4,5	0,33	0,47	2,59	3,2	3,2				
26.09.2022 klo.12.59	13	1,7	1,7	-1,7	3	2,8	3,4	1,1	2,1	6,7	-5,9	8,4	5,2	10,6	8,1	3	4,3	1,3	1,6	3,2	4,8	0,18	0,27	1,02	1,48	1,48				
26.09.2022 klo.12.45	14	2	2,1	-2,3	2,3	3,4	3	1,3	2,7	6,2	-7,8	7,8	5,9	10,4	7,8	2,8	3,8	1	1,7	3,9	4,1	0,2	0,21	N/a	N/a	N/a				
26.09.2022 klo.10.59	15	1,9	2	-1,5	1,4	2,6	2,2	1,1	1,8	5,9	-5,1	7,5	4,4	9,8	7,5	3,6	4,4	1	1,5	4	5	N/a	N/a	N/a	N/a	N/a				
26.09.2022 klo.10.46	16	2,8	2,2	-1,6	1,3	3,8	2,3	1	1,9	5,8	-4,9	7,3	4,3	9,8	7,4	4,3	5,5	0,7	1,3	4,3	5,3	N/a	N/a	N/a	N/a	N/a				
22.09.2022 klo.15.53	17	1,5	1,6	-0,5	1,9	2,3	2,9	0,8	2,3	5,6	-5,8	7,8	5,3	9,9	8,1	12,2	18,9	2,8	3,2	24,1	19,8	N/a	N/a	N/a	N/a	N/a				
KESKIARVO	3,0	2,6	-2,6	-0,7	8,9	9,4	1,1	2,3	3,8	-3,8	6,7	5,2	9,8	8,1	8,1	4,7	6,4	1,2	1,7	6,6	7,2	0,34	0,40	2,55	2,88	2,88				



