



Mark Lukjanov

Venttiilitiivisteiden ympyrämäisyydet ja muodonmuutokset erilaisten tartuntavoimien vaikutuksesta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

1.12.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Mark Lukjanov
Otsikko:	Venttiilitiivisteiden ympyrämäisyydet ja muodonmuutokset erilaisten tartuntavoimien vaikutuksesta
Sivumäärä:	28 sivua + 2 liitettä
Aika:	1.12.2023
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine:	Koneensuunnittelu
Ohjaajat:	Yliopettaja Jyrki Kullaa Method Engineer Rami Vilhunen

Tämä insinööri työ tehtiin Valmet Flow Control -yritykselle, jossa tutkittiin Neles R-sarjan DN 500 -segmenttiventtiilitiivisteiden ympyrämäisyyttä ja muodonmuutosta, joka aiheutuu kahden erilaisen puristusleuan tartuntavoimasta. Tutkimuksessa sorvattiin kaksi aihiota kahdella eri menetelmällä, sektoripuristuksella ja uudella hybridipuristuksella.

Tutkimuksessa myös simuloitiin kosketusanalyysi Solidworks Simulation -ohjelman avulla, jossa hyödynnettiin elementtimenetelmää (FEM) muodonmuutoksen määrittämiseksi tutkittavissa kappaleissa.

Lopputuloksena vertailtiin kahdella puristusmenetelmällä sorvattujen tiivisteiden mittoja, minkä perusteella tarkasteltiin, millä menetelmällä saavutettiin paras ympyrämäisyys. Lisäksi simuloituja kosketusanalyysien tuloksia verrattiin, josta tarkasteltiin kumpi puristusmenetelmä aiheutti aihioihin vähiten muodonmuutoksia.

Yhteenvedonä todettiin, että hybridipuristusmenetelmä on paras tapa saavuttaa ympyrämäisyys kyseisissä tiivisteiden malleissa. Hybridipuristusmenetelmän todettiin olevan kustannustehokas ja aikaa säästävä esivalmistuksessa koneistajille.

Avainsanat: Puristusleuka, Kosketusanalyysi, Sektoripuristusmenetelmä, Hybridipuristusmenetelmä, Tiiviste, Aihio

Tämän oppinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Mark Lukjanov
Title: Circularity and deformation of valve seats under different adhesive forces
Number of Pages: 28 pages + 2 appendices
Date: 1 December 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Mechanical Engineering
Professional Major: Machine Design Engineering
Supervisors: Jyrki Kullaa, Principal Lecturer
Rami Vilhunen, Method Engineer

This thesis was conducted for Valmet Flow Control to investigate the circularity and deformation of Neles R-series DN 500 segment valve seats caused by the gripping force of two different types of clamping jaws. The study involved turning two workpieces using two different methods, sector pressing and hybrid pressing. In the study also simulated using Solidworks Simulation software, which utilizes the finite element method (FEM) to determine the deformation in the specimens under study.

The result was a comparison of the dimensions of seats turned by the two compression methods, which was used to determine which method achieved the best circularity. In addition, the simulated contact analysis results were compared to determine which compression method caused the least deformation in the workpiece.

In summary, it was concluded that the hybrid compression method is the best way to achieve circularity in the seat designs in question. The hybrid compression method was found to be cost-effective and timesaving for machinists.

Keywords: Clamping Jaw, Contact analysis, Sector pressing method, Hybrid pressing method, Seat, Workpiece

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Tutkimuksessa käytetyt työvälineet	5
2.1	CNC-sorvauskeskus ja Hydraulinen puristuspakka	5
2.2	Sektoripuristusleuat	6
2.3	Hybridipuristusleuat	7
2.4	3D-koordinaattimittauskone	8
2.5	SolidWorks Simulation	10
3	Sorvausprosessi	10
3.1	Sektoripuristusleukojen esivalmistelu	11
3.2	Hybridipuristusleukojen esivalmistelu	13
3.3	Ohjelman työstöarvot	15
4	Mittaus	16
5	Simulointi	17
6	Tulokset ja vertailu	21
7	Kosketusanalyysin tulokset	23
8	Yhteenveto	25
	Lähteet	27

Liitteet

Liite 1: Sektoripuristusmenetelmän mittaraportti

Liite 2: Hybridipuristusmenetelmän mittaraportti

Lyhenteet

- CNC: *Computer Numerical Control*. Prosessi, jossa tietokoneohjatulla työstökoneella valmistetaan työkappaleita.
- CONT: *Contour*. Leikkuutyökalu seuraa aksiaalisesti rataa, jolla on ennalta määritetty geometria.
- FACE: *Facing*. Materiaalikerroksen poistamista työkappaleen päästä.
- FEM: *Finite Element Method*. Fysikaalisen ilmiön tietokonesimulointi numeerista elementtimenetelmää käyttäen.
- GRV: *Groove*. Uraleikkaus, joka suoritetaan jossain sivussa.
- I.D: *Inner diameter*. Työkappaleen sisähalkaisijan pinnan käsittely.
- O.D: *Outer diameter*. Työkappaleen ulkohalkaisijan pinnan käsittely.
- PTA: *Plasma transferred arc*. Pintahitsauksen lämpöprosessi, jota käytetään suojaamaan metallisten materiaalien pintoja kulumiselta ja korroosiolta.

1 Johdanto

Tiivisteiden tarkoituksena on vähentää tai estää vuotoja, ja tiivisteet voidaan jakaa eri pääluokkiin, joista tässä insinööriyössä tutkittavat venttiilien tiivisteet kuuluvat staattisiin eli lepotiivisteisiin. Staattisissa tiivisteissä tiivistysmateriaalin on oltava sekä elastinen että jäykkä. Tämä on tarpeen, jotta pinnan epätasaisuudet voidaan tasoittaa ja samalla estää tiivisteiden pursuamisen pois paikaltaan. Mahdolliset tiivisteiden vuototapaukset johtuvat tiivistysmateriaalin läpi tapahtuvasta tihkumisesta. Usein venttiilitiivisteessä tiivisteiden ja laipan välinen kosketus on metallia metalliin. (Airila ym. 2010: 636.)

Insinööriyössä tutkittavat tiivisteet ovat osa (kuva 1) Neles R-sarjan DN 500 -segmenttiventtiiliä, joka on yhdensuuntainen sulkeutuva, integroitu laippaventtiili, V-aukkoinen segmentti- ja neljänneskierrosventtiili (Neles segmenttiventtiili sulkukäyttöön, R-sarja).



Kuva 1. Neles R-sarjan segmenttiventtiili, johon on kiinnitetty sininen toimilaite.

Tiiviste sorvataan AISI 316 -ruostumattomasta teräksestä valmistetusta aihio-
osta, jonka tiivistyspintaan on hitsattu PTA plasmahitsauksella kromi-nikkeliseos
Alloy 50Nb -kovahitsauspinnoitus.

Hitsauspinnoite aiheuttaa aihioon lovijännityksiä, jotka tavallisesti aiheuttavat
jännitysten jakautumisen uudelleen levyn paksuuden yli siten, että suurin epäli-
nearinen huippujännitys kohdistuu pintaan (Airila ym. 2010: 284).

Jännitykset on otettava huomioon tiivisteen muotoa tarkasteltaessa. Tiivisteen
tiivistyspinta on kosketuksissa venttiilin segmenttipallon pinnan kanssa ja aihion
takapäässä on tarkoituksella ylimääräistä materiaalia, jonka tehtävä on vain se,

että leuat tarttuvat aihioon sorvausprosessissa ja voivat jättää siihen kiinnitys jäljet. Kuva 2 on kyseisistä aihioista, josta lähdettiin sorvaamaan tiivisteet.



Kuva 2. Kaksi tiivisteiden aihioita ja kolme hybridipuristusleukaa lavalla.

Tässä insinööriyössä tavoitteena oli tutkia, miten uudet hybridipuristusleuat vaikuttavat työkappaleen kokonaiseen ympyrämäisyyteen verrattuna perinteisiin sektoripuristusleukoihin. Perinteisessä kiinnityksessä puristusaine kohdistetaan työkappaleeseen kosketuspisteiden kautta. Ohutseinäisten työkappaleiden kohdalla tämä puristusaine vaikuttaa merkittävästi työkappaleen geometriaan. Tämän takia tuloksena on puristusprosessista johtuva muodonmuutos, joka voi vaikuttaa kielteisesti ympyrämäisyystuloksiin.

Tutkimuksessa verrattiin tiivisteiden ympyrämäisyyttä sorvausprosessien jälkeen, minkä tulosten perusteella voidaan määrittää, mikä puristusleukamenetelmä oli paras aihoiden ympyrämäisyyden mittojen saavuttamiseksi. Tutkimuksessa oli myös otettava huomioon leukojen vaikutus itse sorvausprosessiin eli se, miten paljon sorvauksen esivalmistelu eri menetelmissä vaihtelee koneistajalla.

Tutkimus sisältää myös analyysin elementtimenetelmällä, jossa simuloidaan puristusleukamenetelmien vaikutusta kappaleisiin SolidWorks -ohjelmassa. Insinööriyö tehtiin Valmet Flow Control -yrityksen valmistuspuolelle.

Valmet Flow Control on johtava virtauksensäätöratkaisujen ja -palveluiden toimittaja prosessiteollisuudelle, jolla on asiakkaita monilla eri prosessiteollisuuden aloilla, kuten sellu-, paperi- ja kartonkiteollisuudessa, uusiutuvassa energiantuotannossa, öljy- ja kaasuteollisuudessa, kaivosteollisuudessa, metallinjalostuksessa ja kemianteollisuudessa. Valmet Flow Controlin laajaan tuotevalikoimaan kuuluvat alan johtavat venttiilituotteet, venttiiliautomaattioratkaisut ja niihin liittyvät palvelut. Tunnettuja tuotebrändejä ovat Neles, Neles Easyflow, Jamesbury, Stonel, Valvcon ja Flowrox. Virtauksensäätö-tuotelinjan palveluksessa on liki 3000 alan asiantuntijaa noin 40 maassa. Yhdessä maailmanlaajuisen myynti- ja palvelukumppaniverkoston kanssa Valmet Flow Control palvelee asiakkaita noin 115 maassa. (Virtauksensäätö.)

Seuraavassa osiossa kerrotaan tutkimuksen toteuttamisessa käytetyt työvälineet.

2 Tutkimuksessa käytetyt työvälineet

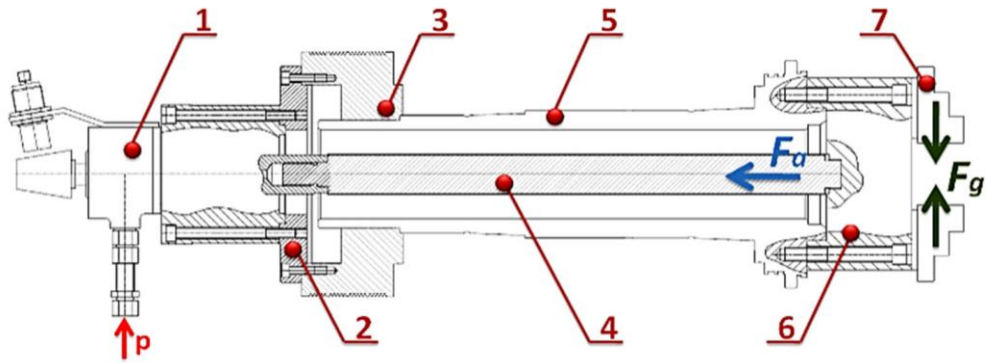
Tutkimuksessa verrataan kahta sorvausmenetelmää, joista yhdessä käytetään sektoripuristusleukoja aihion kiinnittämiseen ja toisessa hybridipuristusleukoja. Sektori- ja hybridipuristusmenetelmissä käytetään samaa työstöohjelmaa aihion sorvaamiseksi. Aihiot sorvataan CNC-sorvauskeskuksella, jossa on käytössä hydraulinen puristuspakka, johon puristusleuat asennetaan paikoilleen. Työstön jälkeen sorvatut aihiot viedään mittaushuoneeseen, jossa ne mitataan koordinaattimittakoneella. Lisäksi SolidWorks-ohjelmistoa käytetään työkappaleiden muodonmuutosten analysointiin.

2.1 CNC-sorvauskeskus ja Hydraulinen puristuspakka

CNC-sorvauskeskuksen perustoimintaperiaate perustuu pyörivään työkappaleeseen, joka on kiinnitetty hydraulisen pakan puristusleukoihin, ja leikkaava vaikutus syntyy kosketuksesta staattisen sorvaustyökalun kanssa. Työkalu etenee kahdella akselilla siten, että työkappale työstetään pituussuunnassa ja aksiaalisesti. (Turning.)

Tutkimusta varten halutut aihiot sorvataan Mori SEIKI SL 603 CNC -sorvauskeskuksella, jossa on Schunk ROTA NCO 500 Z380-SV90° kolmileukainen hydraulinen puristuspakka.

Monissa CNC-sorvauskeskusten pakoissa on hydraulisyylinterit, jotka säätelevät sorvinpakan avautumista. CNC-sorvauskeskus säätelee hydraulisyylinteriin kohdistuvaa puristusvoimaa, joka tuottaa puristusvoiman leuolle. Kuva 3 havainnollistaa hydraulisen pakan sylinteriä, jossa numeroidut kohdat ovat 1.pyörivä hydraulinen kiinnitys-sylinteri, 2.puristussyylinterin sovitin, 3.pääkäytön hihnapyörä, 4.vetotanko, 5.kara, 6. ruuvipuristin, 7.leuat; Fa- puristussyylinterin käyttövoima, Fg-puristusleuan tartuntavoima (Patalas ym. 2018: 2).

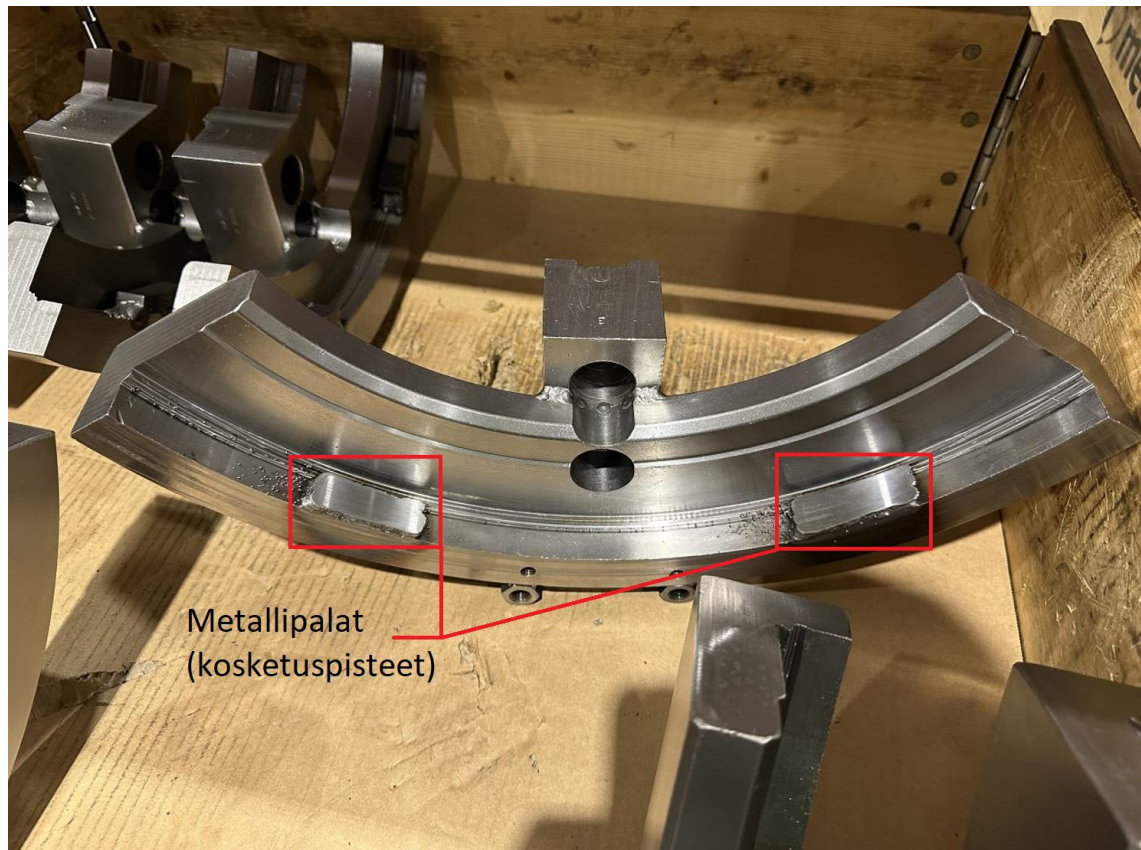


Kuva 3. CNC-sorvin hydraulisen pakan sylinterin konepiirustus (Patalas ym. 2018: 2).

Seuraavaksi kerrotaan tarkemmin tutkimuksessa käytettyjen puristusleukojen ominaisuudet.

2.2 Sektoripuristusleuat

Nykyisessä sorvausmenetelmässä aihion kiinnittämiseen käytetään sektoripuristusleukoja ja niiden profiilit valmistetaan vastaamaan aihion mittoja. Sektoripuristusleuoissa on yhteensä laskettuna kuusi kosketuspistettä, joista aihio puristetaan, eli kaksi kosketuspistettä yhdessä leuassa (kuva 4).

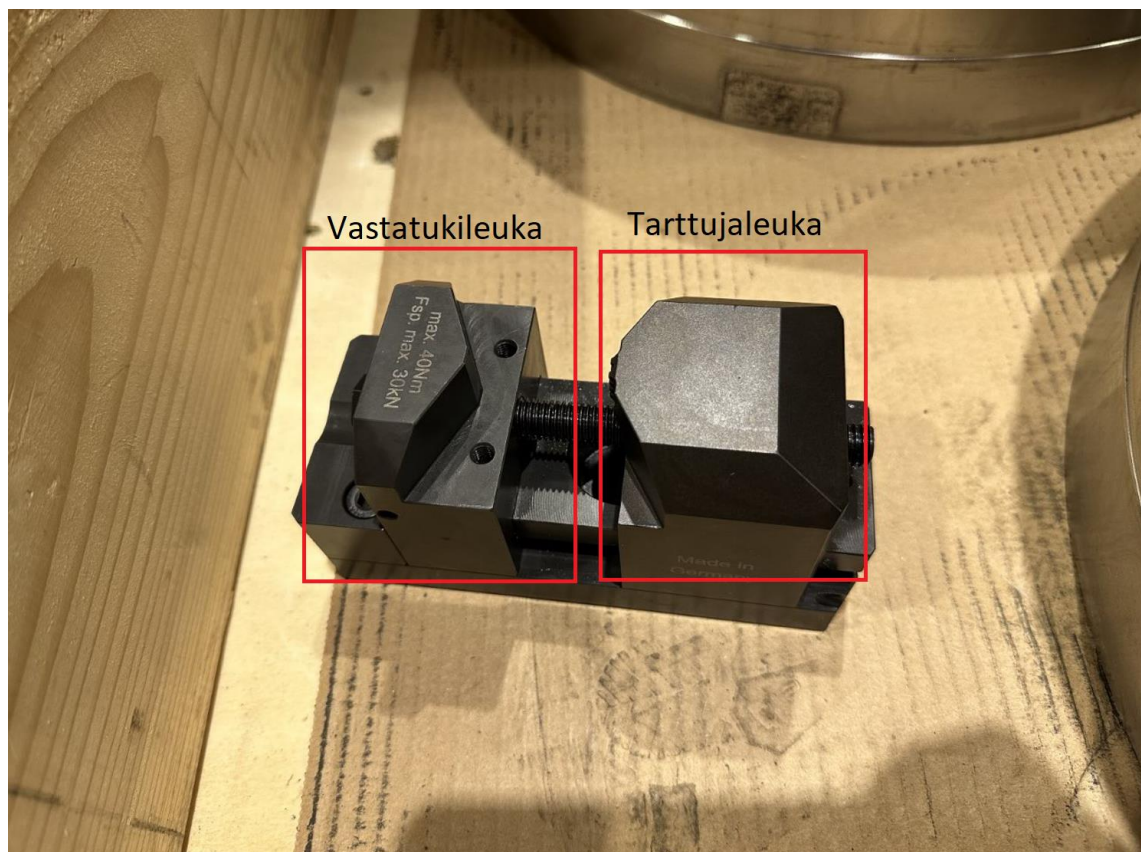


Kuva 4. Sektoripuristusleuka, jossa on kaksi kosketuspistettä.

Sektoripuristusleuat on valmistettu S355-luokan pehmeästä rakenneteräksestä, ja yhdessä sektorileuassa on kaksi hitsattua suorakaiteen muotoista 55 x 22 mm:n metallikappaletta (kuva 4), jotka kohdistuvat työkappaleeseen. Voima kohdistetaan työkappaleeseen kosketuspisteiden kautta, eli kyseisistä metallikappaleista.

2.3 Hybridipuristusleuat

Uudessa sorvausmenetelmässä aihion kiinnittämiseen käytetään INOTop TD060 -hybridipuristusleukoja. Hybridipuristusleuat ovat sorvin leuan ja ruuvipuristimen yhdistelmä, jossa aihio tuetaan kolmella kosketuspisteellä, eli yhdessä leuassa on yksi kosketuspiste (kuva 5). Hybridipuristusleukojen materiaali on 16MnCr5-karkaistua terästä.



Kuva 5. Yksi kolmesta hybridipuristusleuasta.

INOTop-puristusleukojen tehtävä on työkappaleen keskittäminen eikä kiinnittäminen. Tämä tarkoittaa, että puristuspainetta voi vähentää niin paljon, että puristusaine ei enää vaikuta työkappaleeseen sen jälkeen, kun työkappale on keskitetty tarttujaleualla. Keskittämisen jälkeen liikkuvaa vastatukileukaa tuetaan ulkopuolelta kappaletta vasten. Näin ollen puristuksella ei ole vaikutusta työkappaleen geometriaan. (INOLine GESAMTKATALOG 2023.)

2.4 3D-koordinaattimittauskone

Sorvausprosessin jälkeen sorvatut aihiot viedään mittaushuoneeseen, jossa ZEISS MC 850 G2 -koordinaattimittauskoneella (kuva 6) mitataan ympyrämäisyys.



Kuva 6. ZEISS MC 850 G2 -koordinaattimittauskone mittaushuoneessa.

Koordinaattimittauskone mittaa työkappaleen pisteiden sijaintia avaruudessa, eli koordinaatistossa. Kone voi käyttää omaa koordinaattijärjestelmäänsä tai

työkappaleen koordinaattijärjestelmää työkappaleen mittaamiseen. Koordinaattisto varmistaa, että mittaustulokset ovat oikeissa suunnissa eli kohteen suunnassa. (Kesseli 2006: 3.)

2.5 SolidWorks Simulation

Tutkimuksessa tehtiin SolidWorks Simulation -ohjelmassa elementtimenetelmällä analyysi (FEM), jolla tutkittiin puristusleukojen vaikutusta aihion muodonmuutokseen. FEM-analyysillä ennustetaan tuotteen fyysisen käyttäytymisen todellisessa maailmassa. (SolidWorks Simulation.)

SolidWorks Simulation -ohjelman valikoimassa on lineaarisia, epälineaarisia, staattisia ja dynaamisia analyysiominaisuuksia, joista tässä tutkimuksessa käytettiin epälineaarista analyysiä elementtimenetelmällä. Simuloinnissa puristusleuat liikkuvat voiman vaikutuksesta, epälineaarinen analyysi tarjoaa mahdollisuuden suuriin muodonmuutoksiin.

3 Sorvausprosessi

Molemmissa sorvausmenetelmissä oli käytetty samanlaista sorvausohjelmaa, joka koostui 14 prosessivaiheesta, joita on jaoteltu nimellisesti ja numeerisesti (taulukko 1). Ensimmäisissä 13 prosessivaiheessa aihio sorvataan tiivisteeseen muotoon, ja vaiheessa 14 valmis tiiviste irroitetaan leikkaamalla aihion takapäältä. Takapäällä puristusleuat pitävät aihion paikallaan. Tämän ohjelman suorittaminen kestää noin 2,5–3 tuntia.

Sorvaustoimintoja on kahdenlaisia, rouhinta ja viimeistely. Rouhintasorvauksen tavoitteena on työstää kappale ennalta määritellyn paksuuden rajoissa poistamalla mahdollisimman paljon materiaalia mahdollisimman lyhyessä ajassa tarkkuudesta ja pintakäsittelystä. Viimeistelysorvaus tuottaa sileän pinnan ja työkappaleen lopulliset tarkat mitat. (10 Turning Operations You Need To Know.)

Taulukko 1. Prosessin vaiheet jaoteltuina numeerisiin ja vaiheittaisiin tietoihin.

No.	Prosessi	Lisätieto	Vaihe
1	FACE	Otsapinta	Viimeistely
2	I.D.	Pallon kanssa kosketuksissa olevan sisäpinta	Rouhinta
3	I.D.	Pallon kanssa kosketuksissa olevan sisäpinta	Viimeistely
4	I.D.	Sisähalkaisija	Rouhinta
5	O.D.	Ulkopinta	Rouhinta
6	O.D.	Ulkopinta	Viimeistely
7	I.D.	Sisähalkaisija	Viimeistely
8	CONT. GRV	Ulkopinnan urat	Rouhinta
9	CONT. GRV	Ulkopinnan urat	Viimeistely
10	GROOVE	Ulkopinnan urat	Rouhinta
11	GROOVE	Ulkopinnan urat	Viimeistely
12	CONT. GRV	Sisähalkaisijan pisto	Rouhinta / Viimeistely
13	GROOVE	Ulkohalkaisijan pisto	Rouhinta / Viimeistely
14	GROOVE	Tiivisteiden leikkaaminen ahiosta irti	Rouhinta / Viimeistely

Ennen kuin ahio voitiin kiinnittää puristusleukoihin, leuat oli esivalmisteltava. Seuraavassa kohdassa mainitaan puristusleukojen esivalmistelu ja se, millainen puristusaine leukoihin on asetettu. Tutkimuksessa puhutaan paineesta megapascaleina, eli 1 bar on 0,1 MPa.

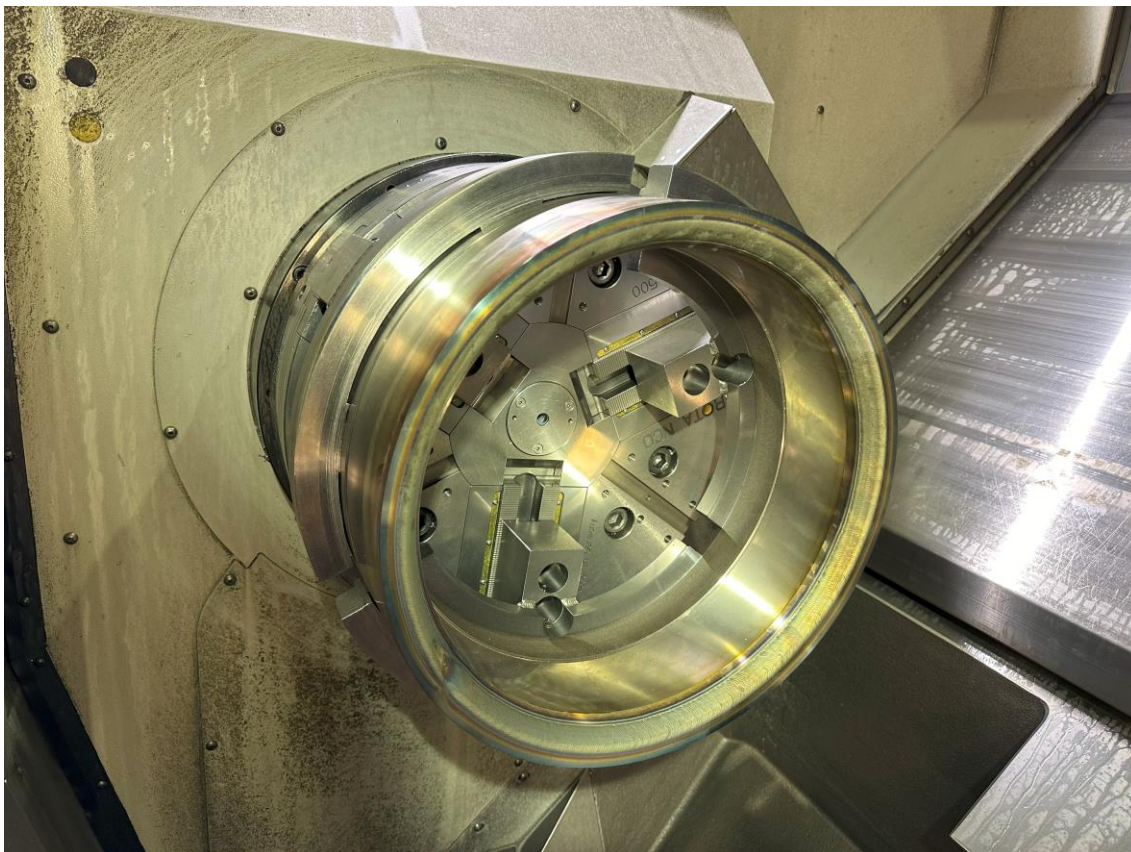
3.1 Sektoripuristusleukojen esivalmistelu

Kun sektoripuristusleuat on asennettu hydrauliseen puristuspakkaan, ne on sorvattava tulevan työkappaleen halkaisijan mukaisiksi apukappaleen avulla. Apukappaleen avulla sektoripuristusleuat asetetaan samalle etäisyydelle toisistaan. Kun sektoripuristusleuat on sorvattu sopiviin mittoihin, apukappale poistetaan, minkä jälkeen koneessa säädetään leukojen korkeat puristusaineet. Ahio puristettiin sektoripuristusleuoilla noin 1.7 MPa paineella kiinni (kuva 7).



Kuva 7. Sorvauskeskuksessa asetettu 17 baarin paine.

Kuva 8 havainnollistaa, kuinka aihio oli puristettu ulkohalkaisijaa vasten sektori-puristusleuoilla.



Kuva 8. Aihio puristettu sektoripuristusleuoilla.

Tämä esivalmistelu kesti noin tunnin, ennen kuin koneistaja pääsi aloittamaan aihion sorvaamista.

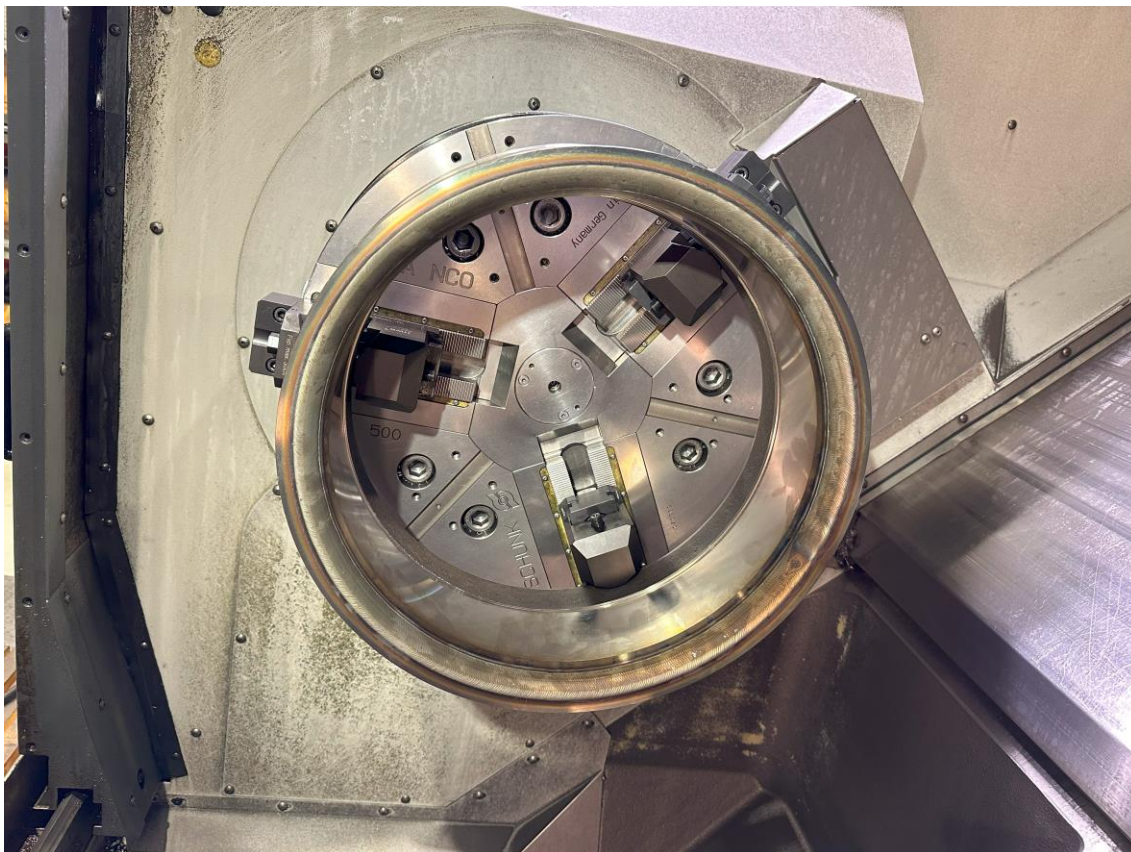
3.2 Hybridipuristusleukojen esivalmistelu

Hybridipuristusleuat asennetaan hydrauliseen puristuspakkaan, jonka jälkeen koneeseen asetetaan alhaiset puristuspainet. Tämän jälkeen kappale kiinnitetään paikalleen liikuttamalla hybridileukojen tartuntaleukaa asetetulla 0.08 MPa paineella kiinni (kuva 9), minkä jälkeen kiinteä vastatukiruuvi kiristetään käsin kappaleeseen 40 Nm:n momentilla. Tämä esivalmistelu oli huomattavasti nopeampi, eli vaihe kesti noin 10min.



Kuva 9. Sorvauskeskuksessa asetettu 0.8 baarin paine.

Kuvassa 10 havainnollistetaan hybridipuristimien kiinnitys ahiosta, miten tartuntaleukaosa tuettiin sisähalkaisijasta ja vastaruuvi kiristettiin momentilla ulkohalkaisijasta.



Kuva 10. Aihio tuettu hybridipuristusleuoilla.

Seuraavassa osiossa kerrotaan sorvausohjelman vaiheissa käytetyt työstöarvot ja työkalut.

3.3 Ohjelman työstöarvot

Kussakin prosessin vaiheessa on käytetty erilaisia työstöarvoja ja työkaluja. Sorvauksessa käytettiin keraamista sorvin palaa ja kovametallista sorvin palaa, joista keraaminen käytettiin vain hitsatun pinnan sorvaamiseen, ja kovametallia käytettiin lopulliseen muodon sorvaamiseksi. Taulukko 2 esitetään yhteenveto kussakin edellä mainitussa vaiheessa (taulukko 1) käytetyistä työstöarvoista ja työkaluista.

Taulukko 2. Ohjelman prosesseissa käytetyt työstöarvot ja työkalut.

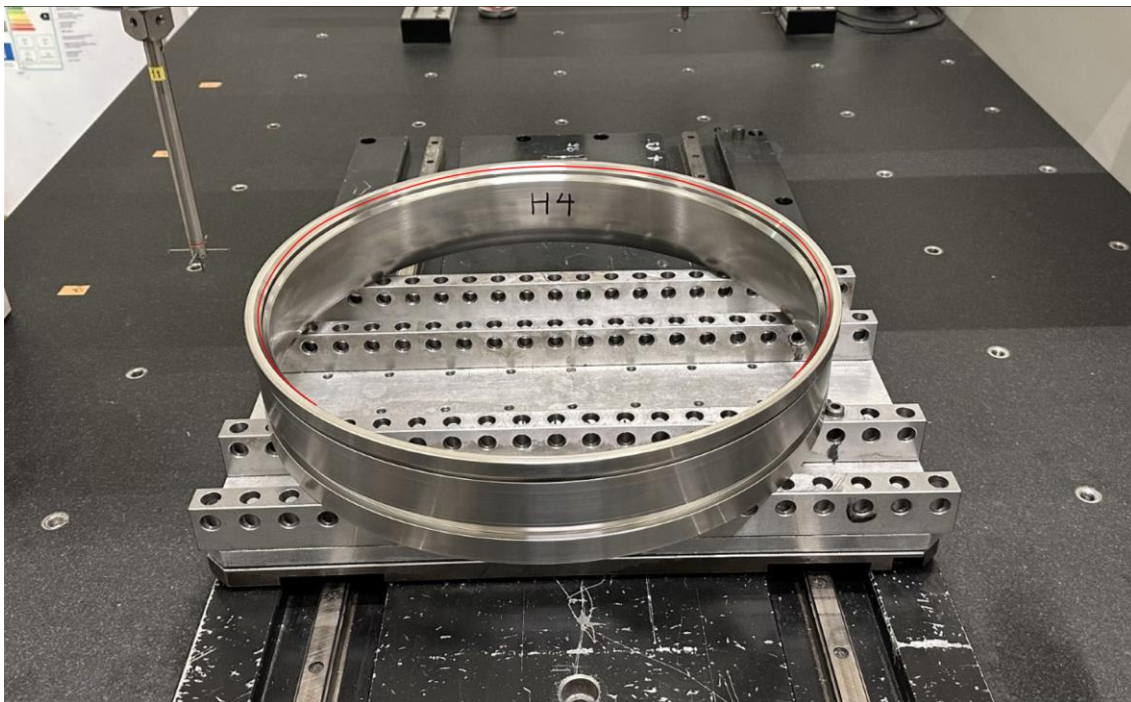
No.	Nirkonsäde (rad)	Leikkuuno- peus	Syöttö (mm/1)	Työkalu
-----	---------------------	--------------------	------------------	---------

(mm/min)				
1	1.2	200	0.1	Keraaminen pala
2	0.8	200	0.05	Keraaminen pala
3	0.8	200	0.1	Keraaminen pala
4	1.2	90	0.25	Keraaminen pala
5	1.2	90	0.25	Kovametalli pala
6	0.8	80	0.15	Kovametalli pala
7	0.8	80	0.15	Kovametalli pala
8	0.1	70	0.01	Kovametalli pala
9	0.1	70	0.01	Kovametalli pala
10	0.1	70	0.01	Kovametalli pala
11	0.1	70	0.01	Kovametalli pala
12	0.1	60	0.1	Kovametalli pala
13	0.1	70	0.01	Kovametalli pala
14	0.1	60	0.1	Kovametalli pala

Normaalissa tuotantotilanteessa tiivisteet viedään sorvauksen jälkeen hiomakoneelle hiontaa varten.

4 Mittaus

Sorvauksen jälkeen molemmat tiivisteet vietiin mittaushuoneeseen ympyrämäisyyden mittaamiseksi koordinaattimittakoneella. Ympyrämäisyysmittaukset oli tehty tiivisteiden tiivistyspinnasta, jonka muotoa pitkin ajettiin koordinaattimittalaitteen mittapäällä. Seuraavassa kuvassa (kuva 11) punainen merkki osoittaa tiivistyspinnan, josta mittaus oli tehty.



Kuva 11. Tiiviste mittauksessa koordinaattimittauskoneella.

Mittaustulokset tulostettiin sähköisesti mukautettuun mittaraporttiin. Mittaraportit on nimetty kahdella tavalla. Tiivistein, jota sorvattiin sektoripuristusmenetelmällä, mittaraportti nimettiin H3-osioksi (liite 1). Tiivistettä, jota sorvattiin hybridipuristusmenetelmällä, mittaraportti nimettiin H4-osioksi (liite 2). Tutkimuksessa mittaraportista otetaan huomioon ainoastaan ympyrämuotoisuuden liittyvät mitat ja visuaaliset kuvat.

5 Simulointi

Sorvausprosesseille tehtiin kosketusanalyysit SolidWorks Simulation -ohjelmalla. Ajatuksena oli tutkia elementtimenetelmällä aihoiden muodonmuutoksia sorvausprosessin aikana. Analyysin tekemistä varten yrityksen järjestelmistä haettiin valmiit CAD-mallit aihioista, minkä jälkeen mallinnettiin sektori- ja hybridipuristusleuat. Puristusleukojen CAD-malleissa on tärkeää mallintaa oikeat mitat kosketuspintoista, jotka koskettavat aihion pintoja, ja hybridipuristusleuan ruuvinreiät, koska ne ovat leukojen liitännelementtejä.

Puristusleukojen 3D-mallien valmistuessa luotiin kokoonpanomalli, johon leuat ja aihio liitettiin. Leuat asetettiin 120 asteen kulmaan toisiinsa nähden ja aihio kiinnitettiin samalla tavalla kuin aihio kiinnitettäisiin leukoihin todellisessa tilanteessa pakassa. Kokoonpanomallin simulaatiopuolelle luotiin epälineaarinen analyysitutkimus, jossa määritettiin materiaali, kiinnitysolosuhteet ja voimat.

Aihion ja puristusleukojen todelliset materiaalit löytyivät ohjelman katalogissa. Kiinnitysehdoissa määritettiin aihion kiinnitys, joka oli kiinnitetty leukaa vasten, sitten leukojen sallittu liikesuunta, kuten todellisessa hydraulisessa pakassa, asetettiin simuloinnissa aksiaalisesti leukojen pituussuunnassa. Hybridipuristusleukojen simuloinnissa leukaan määritettiin ruuviliitännäisiin. Jotta leukojen puristusvoimat olisivat SolidWorks-ohjelmassa samassa arvossa kuin todellisessa tilanteessa, koneenasentajat mittasivat nämä leukavoimat vaihtelevilla paineilla ja karan kierrosluvuilla. Saaduista tuloksista tehtiin Exceliin taulukko ja kuvaaja (kuva 12), jossa näytettiin erilaisissa painepisteissä olevat voimat, jotka sitten määritettiin simuloinnin voimiin.

Kone 560 - Mori Seiki SL-603 Leukojen Puristusvoimat 2.11.2023

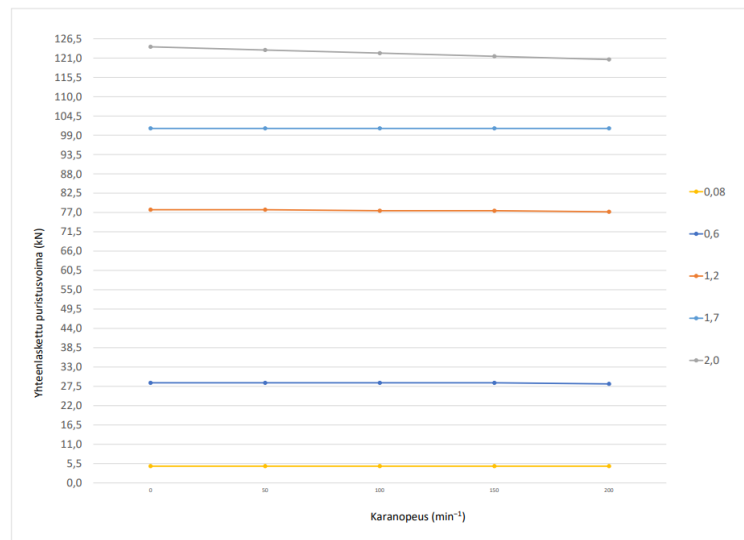
Vetosylinteri paine: 0,08 Mpa		Voima (kN)			
		Leuka 1	Leuka 2	Leuka 3	Yhteensä
Käran hierrosuku (μ /mm)	0	1,6	1,6	1,6	4,8
	50	1,6	1,6	1,6	4,8
	100	1,6	1,6	1,6	4,8
	150	1,6	1,6	1,6	4,8
	200	1,6	1,6	1,6	4,8

Vetosylinteri paine: 0,6 Mpa		Voima (kN)			
		Leuka 1	Leuka 2	Leuka 3	Yhteensä
Käran hierrosuku (μ /mm)	0	9,5	9,2	9,8	28,5
	50	9,5	9,2	9,8	28,5
	100	9,5	9,2	9,8	28,5
	150	9,5	9,2	9,8	28,5
	200	9,4	9,1	9,7	28,2

Vetosylinteri paine: 1,2 Mpa		Voima (kN)			
		Leuka 1	Leuka 2	Leuka 3	Yhteensä
Käran hierrosuku (μ /mm)	0	26,5	25,5	25,8	77,8
	50	26,5	25,5	25,8	77,8
	100	26,4	25,4	25,7	77,5
	150	26,4	25,4	25,7	77,5
	200	26,3	25,3	25,6	77,2

Vetosylinteri paine: 1,7 Mpa		Voima (kN)			
		Leuka 1	Leuka 2	Leuka 3	Yhteensä
Käran hierrosuku (μ /mm)	0	33,7	33,7	33,7	101,0
	50	33,7	33,7	33,7	101,0
	100	33,7	33,7	33,7	101,0
	150	33,7	33,7	33,7	101,0
	200	33,7	33,7	33,7	101,0

Vetosylinteri paine: 2,0 Mpa		Voima (kN)			
		Leuka 1	Leuka 2	Leuka 3	Yhteensä
Käran hierrosuku (μ /mm)	0	42,0	41,0	41,2	124,2
	50	41,7	40,7	40,9	123,3
	100	41,4	40,4	40,6	122,4
	150	41,1	40,1	40,3	121,5
	200	40,8	39,8	40,0	120,6

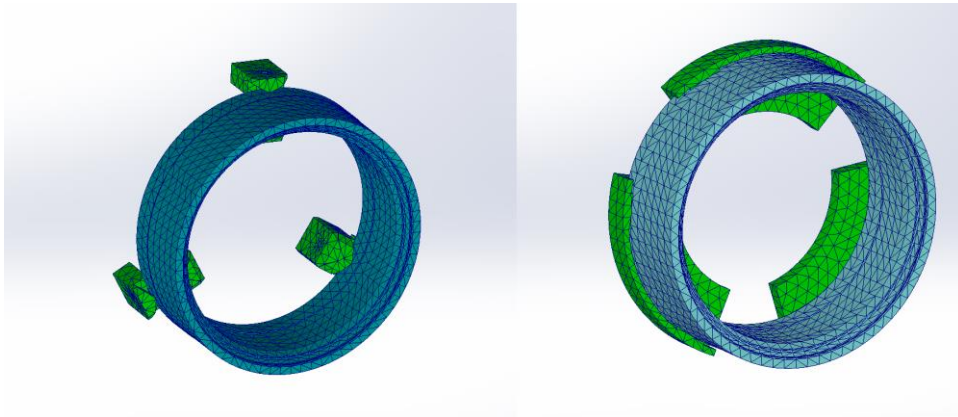


Kuva 12. Mori Seiki SL-603 -leukojen puristusvoimat.

Sektoripuristusmenetelmällä leukojen puristuspaine oli 1,7 MPa, eli (kuva 12) taulukosta näkyvien puristusleukojen voima oli yhteensä 100,98 kN. Hybridipuristusleukamenetelmällä leukojen puristuspaine oli 0,08MPa eli (kuva 12) taulukosta näkyvien puristusleukojen voima oli yhteensä 4,752 kN. Nämä voima-arvot määritettiin simulaatioon.

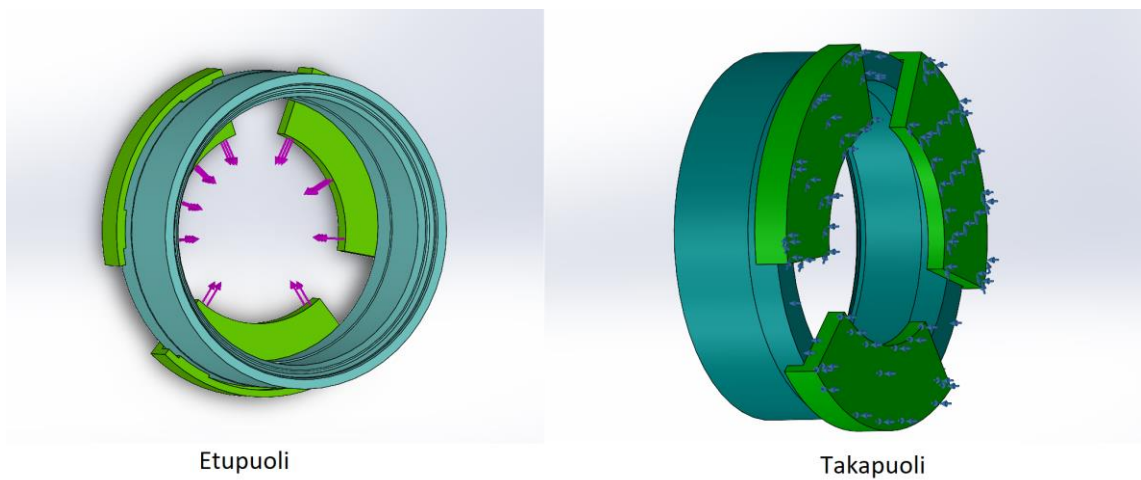
Verkko on olennainen osa elementtimenetelmien analyysin (FEM) simulaatioita. Se on pisteiden ja solujen verkko, jotka muodostavat yhdessä rakenteen. Aihion verkko molemmissa analyyseissä on kolmiomainen, ja kooksi asetettiin 19,51 mm. Tämä verkko oli optimaalinen, koska suuremmat verkot antavat huonoja

tuloksia, mutta pienemmät verkot tekevät laskennasta pitkän (kuva 13).



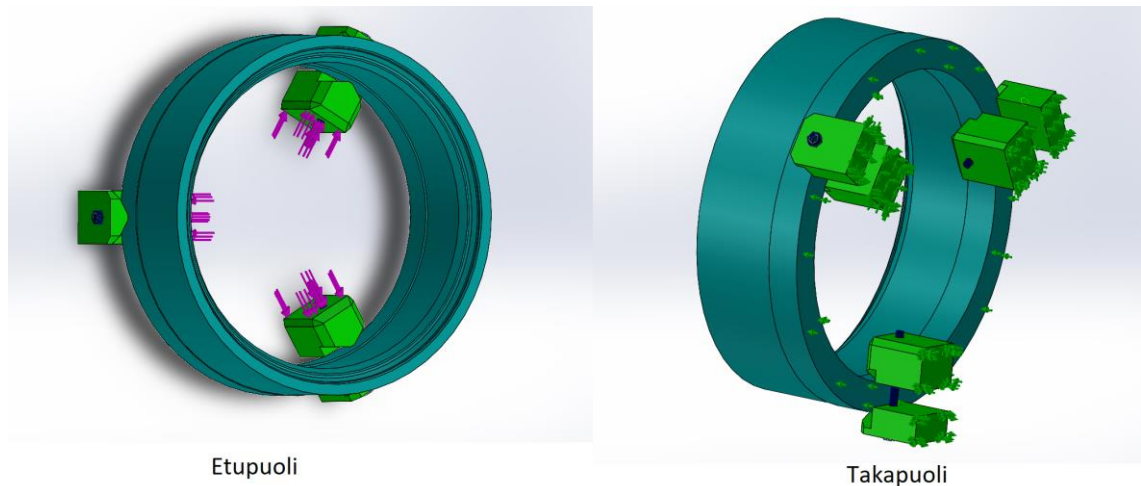
Kuva 13. Osille luodut verkot.

Kuva 14 esittää, miten sektoripuristusmenetelmä rakennettiin SolidWorks Simulation -ohjelmassa asetetuilla ehdoilla ja miten sektoripuristusleuan voiman suunta määritettiin.



Kuva 14. Sektoripuristusmenetelmä rakennettu SolidWorks Simulation -ohjelmaan.

Kuva 15 esittää, miten hybridipuristusmenetelmä rakennettiin SolidWorks Simulation -ohjelmassa asetetuilla ehdoilla ja miten hybridipuristusleuan puristusvoimansuunta tukee sisähalkaisijaa.



Kuva 15. Hybridipuristusmenetelmä rakennettu SolidWorks Simulation -ohjelmaan.

Analyysin suorittamisen jälkeen, kiinnostavat tulokset olivat ainoastaan siirtymisen tuloksia. Nämä tulokset antavat tietoa muodonmuutoksesta puristusleukojen voiman vaikutuksista.

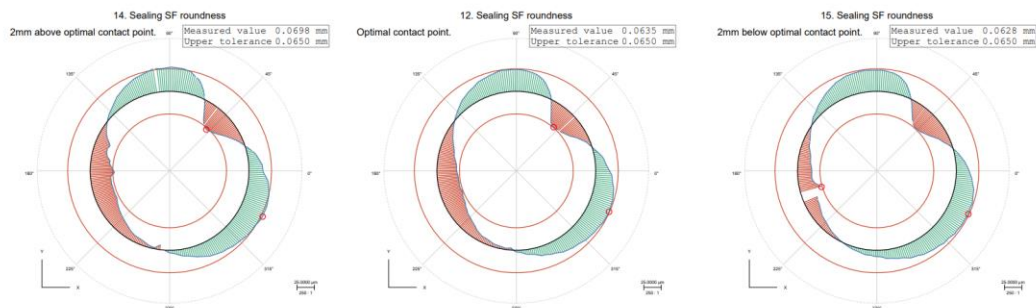
6 Tulokset ja vertailu

Seuraavaksi tarkastellaan mittaushuoneessa tehtyjä mittaraportteja. Vertaillaan tiivisteiden tiivistyspinnan ympyrämäisyyksiä keskenään. Mittaraportin tiivistyspinnan ympyrämäisyyden tuloksia mitoitettiin kolmesta kohdasta, eli mittaraportin kohdassa 12 tiiviste mitoitettiin siten, että tiiviste pinta oli optimaalisessa kosketuspisteessä, kohdassa 14 siten, että tiiviste oli 2 mm optimaalisen kosketuspisteen yläpuolella ja kohdassa 15 siten, että tiiviste oli 2 mm optimaalisen kosketuspisteen alapuolella. Värit ilmaisevat tiivisteiden soikeuden, eli punainen väri osoittaa, mistä tarkasteltava elementti on soikea sisäänpäin ja vihreä väri osoittaa, mistä kohdasta tarkasteltava elementti on soikea ulospäin.

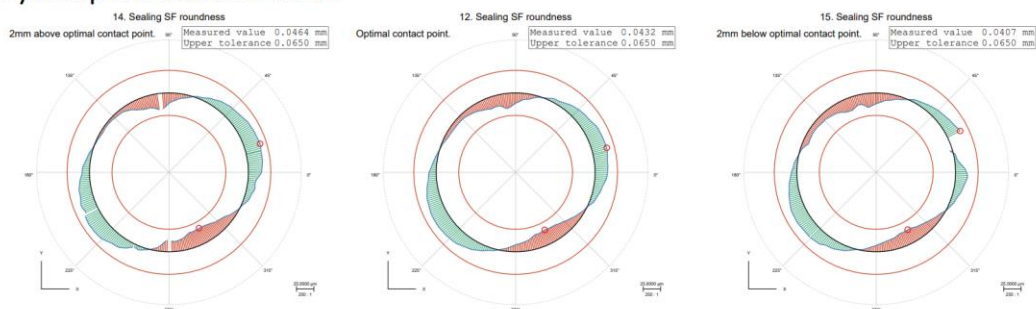
Kuva 16 on esitetty sektoripuristus- ja hybridipuristusmenetelmällä valmistetun tiivisteiden tiivistyspinnan ympyrämäisyyden mitat. Kuvasta käy ilmi, että sallittu tiivisteiden toleranssi on 0,0650 mm, mikä tarkoittaa, että sen arvon ylityksiä ei sallita. Kohdissa 12, 14 ja 15 arvot ovat sektoripuristusmenetelmällä vastaavasti

0,0635 mm, 0,0698 mm ja 0,0628 mm. Tästä voidaan päätellä, että sektoripuristusmenetelmällä ympyrämuotoisuuden mitta on melko lähellä sallitun toleranssin arvon rajaa. Verrattuna hybridipuristusmenetelmää, jossa (kuva 16) alapuolella on esitetty hybridipuristusmenetelmällä valmistetun tiivisteiden tiivistyspinnan ympyrämuotoisuuden mitat. Kohdissa 12, 14 ja 15 arvot ovat vastaavasti 0,0432 mm, 0,0464 mm ja 0,0407 mm. Tästä huomataan, että hybridipuristusmenetelmällä ympyrämuotoisuuden mitat ovat kaukana sallitun toleranssin rajaa.

Sektoripuristusmenetelmä



Hybridipuristusmenetelmä



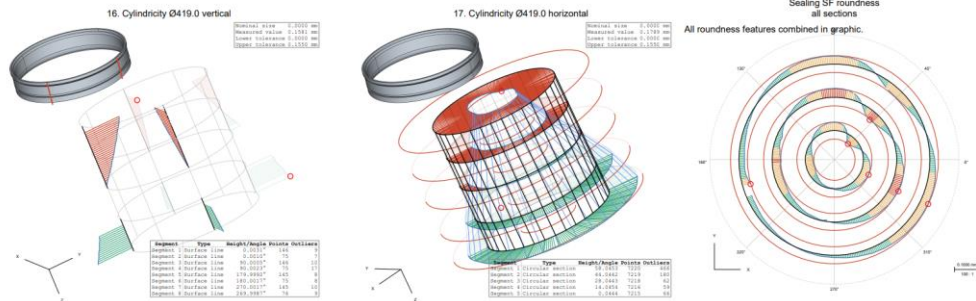
Kuva 16. Mittaraportin tiivistyspinnan ympyrämuotoisuuden tulokset molemmista menetelmistä.

Tästä huomataan, että hybridipuristusmenetelmän ympyrämuotoisuus oli 0.02 mm parempi kuin sektoripuristusmenetelmän arvo.

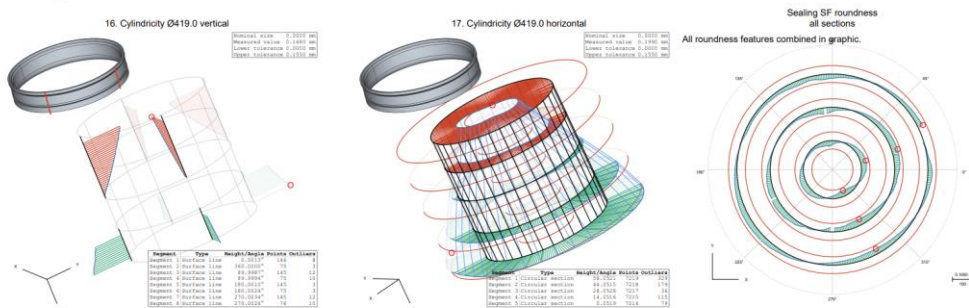
Kuvassa 17 Mittaraportin kohdassa 16 esitetään tiivisteiden pystysuuntainen soikeus, eli millä korkeudella tiiviste on soikea, missä kulmassa ja kumpaan suuntaan. Kohdan 16 mittaus tehtiin kahdeksalla pisteellä, neljä alhaalta ja neljä ylhäältä. Kohdassa 17 esitetään tiivisteiden vaakasuoran soikeuden. Mitat otettiin

viidestä pisteestä eri korkeudella. Viimeisessä kohdassa tiivistepinnan ympyrämäisyyksimitat yhdistettiin yhdeksi kokonaisuudeksi.

Sektoripuristusmenetelmä



Hybridipuristusmenetelmä



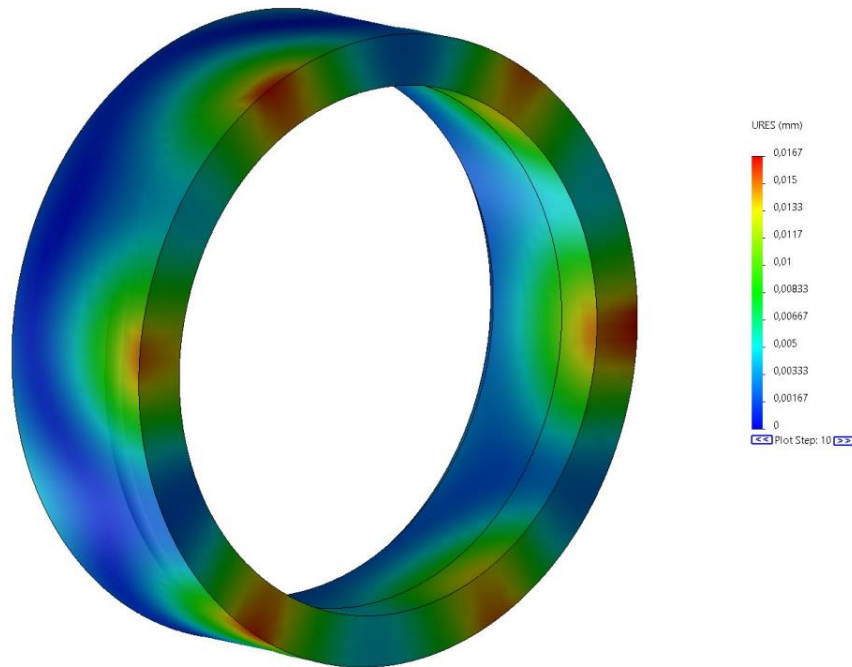
Kuva 17. Mittaraportin tiivisteiden muodon tulokset molemmista menetelmistä.

Kuvassa 17 kohdissa 16 ja 17 olevat soikeudet johtuvat hitsauspinnoitteen aiheuttamista lovijännityksistä, josta mainittiin tarkemmin insinööriyön alussa. Sektoripuristus menetelmään yhdistetyissä ympyrämäisyyksimitoissa keltainen väri osoittaa soikeuden suunnan, joka koskettaa määriteltyä tarkastelurajaa. Hybridipuristusmenetelmän yhdistetyissä ympyrämäisyyksimitoissa ympyrämäisyys pysyy tasaisena tarkastelurajojen sisällä. Seuraavaksi tarkastellaan simulaation kosketusanalyysien tuloksia.

7 Kosketusanalyysin tulokset

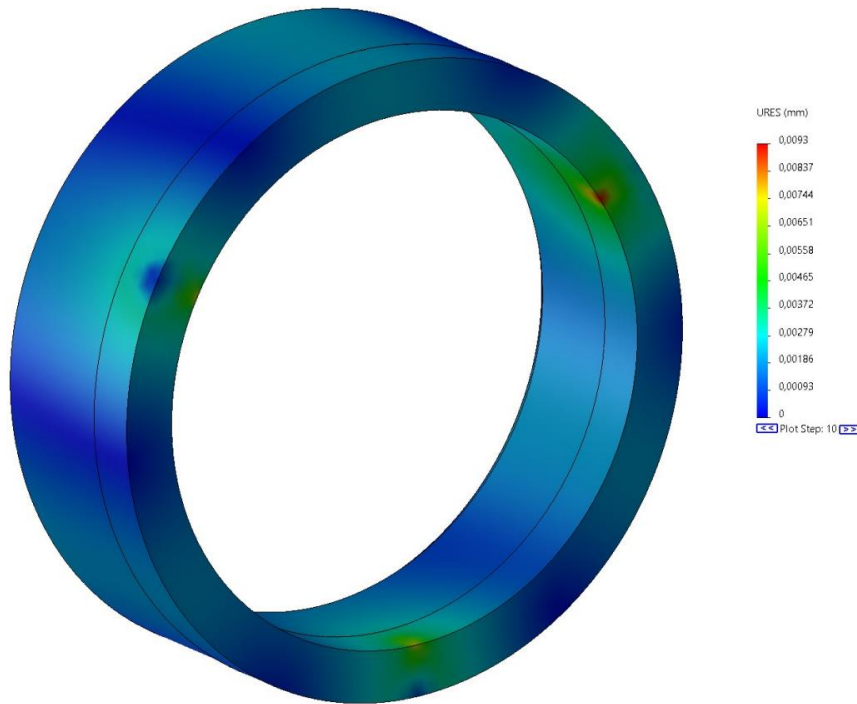
Kosketusanalyysien tulosten perusteella tutkittiin puristusleukojen vaikutusta aihion muodonmuutokseen. Tulokset osoittavat värillä, missä kohdassa muodonmuutoksen suuruus on suurin. Kuvassa 18 on aihion muodonmuutos, joka

aiheutuu sektoripuristusmenetelmässä. Tuloksesta voidaan havaita, että kappaleen suurin siirtymä on 0,0167 mm ja että sektoripuristusmenetelmän vaikutuksesta kappaleessa tapahtuu suurimmat muodonmuutokset kuudessa pisteessä.



Kuva 18. Kosketusanalysoidut aihion muodonmuutokset sektoripuristusmenetelmässä.

Kuvassa 19 kuvataan aihion muodonmuutosta, joka aiheutuu hybridipuristusmenetelmässä. Tuloksista voidaan havaita, että hybridipuristusleuka vaikuttaa aihioon pistemäisesti kolmessa pisteessä, ja tuloksista voidaan havaita, että tällä menetelmällä on vähiten muodonmuutoksia aihioon. Huomataan myös, että kappaleen suurin siirtymä on 0,0093 mm.



Kuva 19. Kosketusanalysoidut aihion muodonmuutokset hybridipuristusmenetelmässä.

Näiden kosketusanalyysien perusteella huomataan, että hybridipuristusmenetelmällä on vähiten muodonmuutoksia verrattuna sektoripuristusmenetelmään.

8 Yhteenveto

Kosketusanalyysin tulosten perusteella voidaan päätellä, että hybridipuristusmenetelmä tuottaa työkappaleeseen pienimmän muodonmuutoksen, jonka ansiosta ympyrämäisyys voitiin sorvata tarkkoihin mittoihin. Kosketusanalyysin avulla ennustettiin, miten leuat vaikuttaisivat aihioon kussakin kohdassa, ja päädyttiin siihen, että hybridipuristusleukojen valmistaja oli oikeassa siinä, että leuoilla on pistemäinen vaikutus kappaleeseen, jonka ansiosta pienemmällä puristusaineella tapahtuu vähiten muodonmuutosta.

Mittausraportteja vertailemalla todettiin, että hybridipuristusmenetelmä antaa paremman ympyrämäisyysmuodon verrattuna sektoripuristusmenetelmään,

jossa havaittiin, että sektoripuristusmenetelmällä ympyrämäisyysmitta ylittää toleranssirajan ja ympyrämäisyysmuoto ei ole tasainen.

Tutkimuksessa havaittiin myös, että sorvausprosessin esivalmistelu oli ajallisesti tehokkaampaa hybridipuristusmenetelmää käytettäessä, jolloin koneistajan työaikaa säästyι tunnin verran. Tämä tarkoittaa, että yrityksen on halvempaa sorvata hybridipuristusmenetelmän avulla.

Sorvausprosesseissa tiivisteisiin jätetään hiomavaraa, koska mittausten jälkeen tiivisteet viedään hiomakoneelle niiden muotojen korjauksessa.

Kaiken kaikkiaan hybridipuristusmenetelmän käyttöönotto tuotannossa ei häiritse tuotantoprosessia, kun koneistajat saavat aihioita, joissa on lopulta leikkausvaihe, jossa tiiviste poistetaan aihion takapäältä, koneistajat voivat käyttää hybridipuristusmenetelmää näihin tiivistemalleihin.

Lähteet

Airila, Mauri; Ekman, Kalevi; Hautala, Pekka; Kivioja, Seppo; Kleimola, Matti; Martikka, Heikki; Miettinen, Juha; Niemi, Erkki; Ranta, Aarno; Rinkinen, Jari; Salonen, Pekka; Verho, Arto; Vilenius, Matti & Välimaa, Veikko. 2010. Koneen-
osien suunnittelu. WSOYpro Oy.

INOLine GESAMTKATALOG 2023. Verkkoaineisto. HWR Spanntechnik.
<<https://www.hwr.de/en/produkte/inotop-en/>>. Luettu 26.10.2023.

Kesseli, Anne. 2006. 3D-Digitointi. Insinööriyö. Lahden Ammattikorkeakoulu.
Theseus-tietokanta.

Neles segmenttiventtiili sulkukäyttöön, R-sarja. Verkkoaineisto. Valmet Oyj.
<<https://www.valmet.com/globalassets/sharepoint/imported/3r27fi.pdf>>. Luettu
23.10.2023.

Patalas, Adam; Regus, Michal & Peta, Katarzyna. 2018. Studies of thin-walled
parts deformation by gripping force during turning process on an example of
bearing ring. Verkkoaineisto. MATEC Web of Conferences.
<https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2018/103/matec-conf_itep2018_02010.pdf>. Luettu 3.10.2023.

SolidWorks Simulation. Verkkoaineisto. Dassault Systèmes. <<https://www.solidworks.com/product/solidworks-simulation>>. Luettu 30.10.2023.

Turning. Verkkoaineisto. DMG MORI. <<https://en.dmgmori.com/products/machines/turning?tax=7178>>. Luettu 26.10.2023.

Velling, Andreas. 2020. CNC Turning – Process, Operations & Machinery. Verkkoaineisto. Fractory. <https://fractory.com/cnc-turning/#CNC_Turning_Process>. Luettu 30.10.2023.

Virtauksensäätö. Verkkoaineisto. Valmet Oyj. <<https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/flow-control/?language=fi>>. Luettu 19.10.2023.

10 Turning Operations You Need to Know. Verkkoaineisto. TURNTECH PRECISION. <<https://turntechprecision.com/clueless-machinist/2020/8/25/10-machining-operations-performed-on-a-lathe>>. Luettu 30.10.2023.

Sektoripuristusmenetelmän mittaraportti



Part name: Seat R500 P F96503
 Supplier: K504
 Reason for test: n def F96503_A.1
 Drawing Number: H170156
 Item Number: 089952
 Gage num...

Part Ident: H3
 Time/Date: 10/29/2023 9:52 AM
 Operator: Harri
 MO number: 4006296072

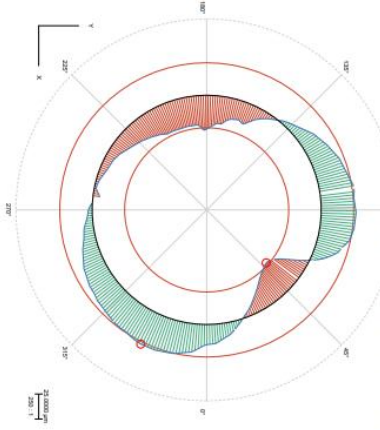
Dimensions

Form

Front page

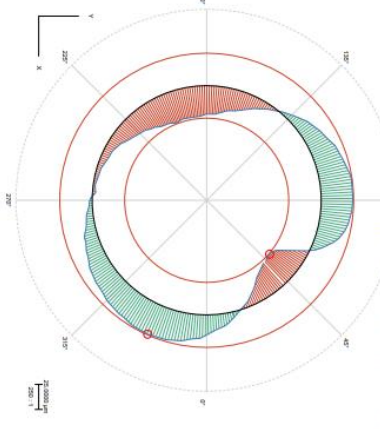
14. Sealing SF roundness

2mm above optimal contact point: Measured value 0.0638 mm
 Upper tolerance 0.0650 mm



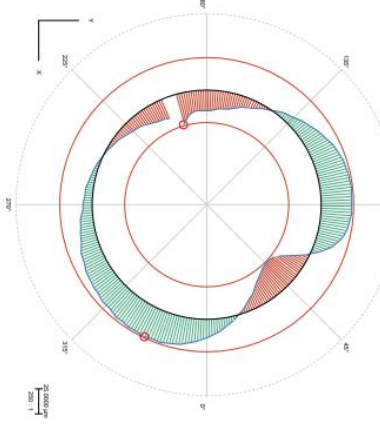
12. Sealing SF roundness

Optimal contact point: Measured value 0.0635 mm
 Upper tolerance 0.0650 mm



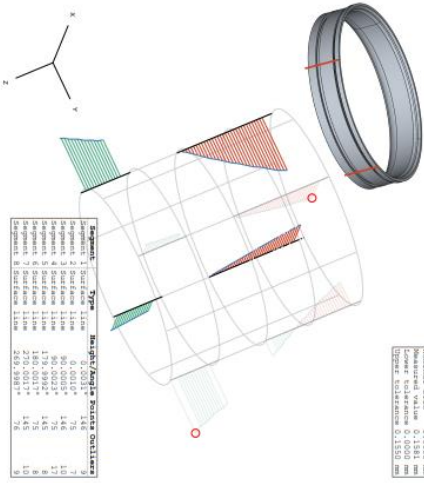
15. Sealing SF roundness

2mm below optimal contact point: Measured value 0.0628 mm
 Upper tolerance 0.0650 mm



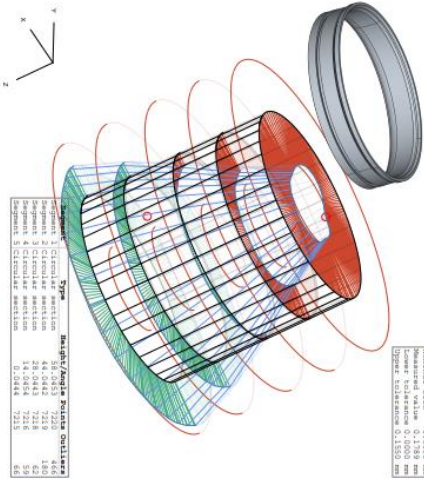
16. Cylindricity Ø419.0 vertical

Measured value 0.0003 mm
 Upper tolerance 0.1550 mm

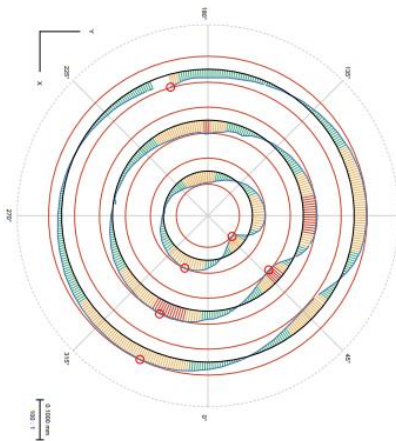


17. Cylindricity Ø419.0 horizontal

Measured value 0.0003 mm
 Upper tolerance 0.1550 mm



All roundness features combined in graphic all sections



Hybridipuristusmenetelmän mittaraportti

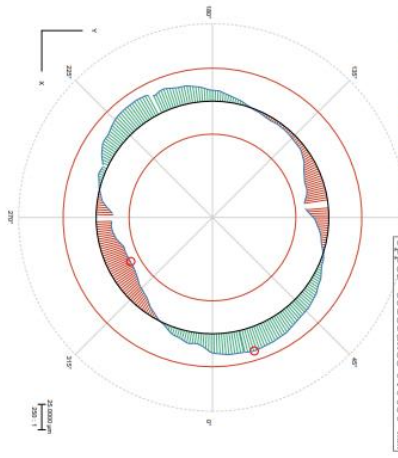


Part name: Seat R500 P F96503
 Supplier: K504
 Reason for test: R def
 Drawing Number: F96503_A.1
 Item Number: H170156
 Gage num...: 088952

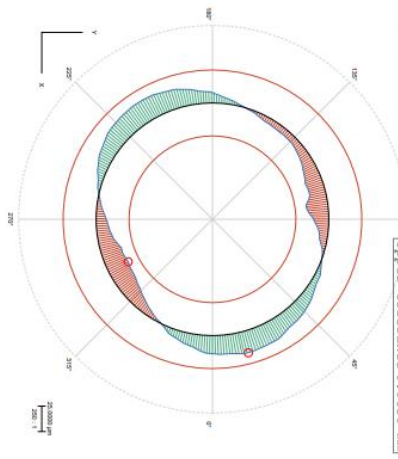
Part Ident: H4
 Time/Date: 10/29/2023 11:45 AM
 Operator: Hanni
 MO number: 4006236072



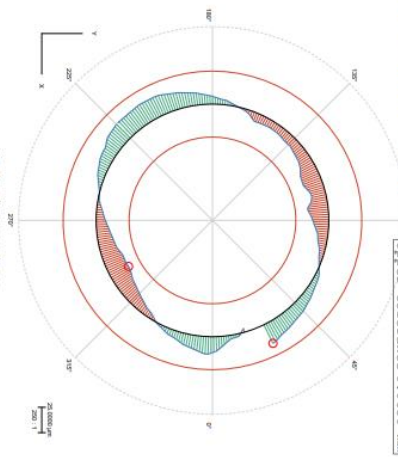
14. Sealing SF roundness
 Zmm above optimal contact point. Measured value 0.0464 mm
 Upper tolerance 0.0650 mm



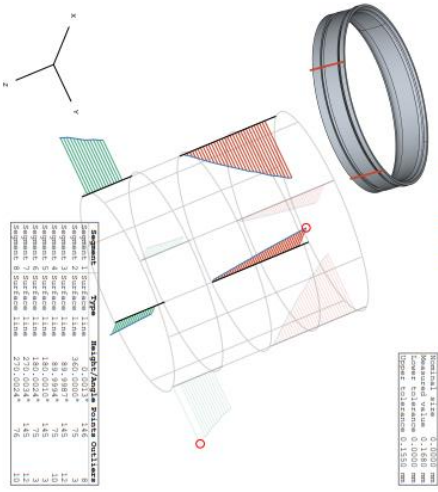
Optimal contact point. Measured value 0.0432 mm
 Upper tolerance 0.0650 mm



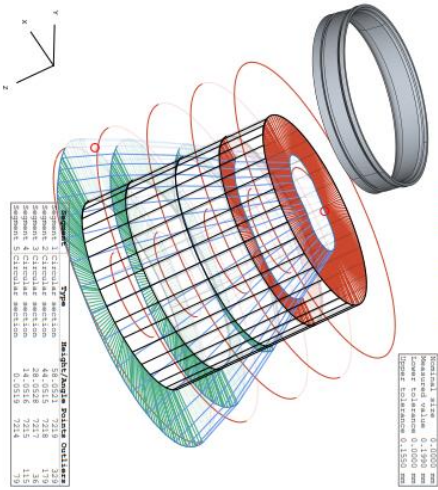
15. Sealing SF roundness
 Zmm below optimal contact point. Measured value 0.0407 mm
 Upper tolerance 0.0650 mm



16. Cylindricity Ø419.0 vertical



17. Cylindricity Ø419.0 horizontal



All roundness features combined in graphic.
 Sealing SF roundness all sections

