

Opinnäytetyö (AMK)
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotekehitystekniikka
2014

Yrjö Lehtinen

KARTIOLIITOKSEN TOLEROINTI GPS- STANDARDIA KÄYTTÄEN

Potkurin kartioliitos



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka | Tuotekehitystekniikka

Opinnäytetyön valmistumisajankohta 2014 | Sivumäärä 42 + 6

Ohjaaja Pekka Törnqvist

Yrjö Lehtinen

KARTIOLIITOKSEN TOLEROINTI GPS-STANDARDIA KÄYTTÄEN

Opinnäytetyön kohdeyrityksenä oli Rolls-Royce Oy Ab:n Rauman toimipiste, joka on osa Rolls-Royce Marinea, joka on tunnettu 360° kääntyvien potkurilaitteiden valmistajana. Rauman toimipisteessä Rolls-Royce valmistaa erilaisilla spesifikaatiolla useamman eri kokoluokan potkurilaitteita erilaisiin käyttötarkoituksiin. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ja ratkaista potkurin kartioliitoksen asennukseen vaikuttavia ongelmia suunnittelun näkökulmasta valmistustekniikka huomioiden. Potkurin kartioliitoksen asennuksessa ilmenevät ongelmat johtuvat pääasiassa potkurin napakartiosta, jonka valmistaminen on erittäin haasteellista.

Tutkimuksen aluksi potkurin kartioliitoksen napakartion suunnittelun ja valmistuksen ongelmanmäärittelyä selvitettiin käymällä läpi liitokseen vaikuttavia ongelmatekijöitä, joista yleisimpiä ovat pinnankarheus, kulma-, muotovirhe sekä pystyraitia sekä ongelmiin vaikuttavia valmistusteknisiä tekijöitä.

Teoreettisesti potkurin kartioliitoksen napakartion suunnittelun ongelmaan haettiin ratkaisua tutkimalla kartioliitoksen toimintaperiaatteita sekä laskentamenetelmää, jonka perusteella Rolls-Royce on asettanut potkurin kartioliitokselle vähittäisvaatimukset. Lisäksi selvitettiin liitoksen soveltamista Rolls-Roycen napakartion tulkkaus- ja potkurin kokoonpano-ohjeiden avulla. Napakartiosta ilmenevien ongelmien ratkaisemiseksi tutkittiin myös teoriaa uusista geometrisen tuotemäärittelyn standardeista (GPS).

Tutkimuksen kehitystyö toteutettiin kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa tutkittiin napakartioissa usein esiintyvien pystysuuntaisina raitoina olevien muotovirheistä johtuvien jännityspiikkien vaikutusta FEM-analyysillä. Toisessa kehitysvaiheessa analysoitiin ja verrattiin vanhan mitoituksen sallimia virheitä GPS-standardilla määritettyjen mitoitusien kanssa napa- ja akselikartioissa sekä kartiotulkeissa. Kehitysoosan lopuksi esiteltiin napa- ja akselikartioiden sekä kartiotulkin konepiirustukset, joissa on sovellettu GPS-standardin mukaisia mitoitusia.

Tutkimuksen tuloksina potkurin kartioliitoksen asennukseen vaikuttavia ongelmia ratkaistiin soveltamalla napa- ja akselikartioiden sekä kartiotulkin konepiirustuksiin GPS-standardin mukaisia mitoitusia. GPS-standardin mukaisesti mitoitetuista ja valmistetuista napa- ja akselikartioista tulee helpommin asennettavia osia. Helpommin asennettavien osien avulla Rolls-Roycen on mahdollista saavuttaa ajallisesti ja siksi myös taloudellisesti huomattavia etuja. GPS-standardia on myös mahdollista soveltaa kaikissa Rolls-Roycen konepiirustuksissa.

ASIASANAT:

GPS-Standardi, Kartioliitos, Potkuri, Kartiotulkki, Potkurinapa, Potkuriakseli, FEM-analyysi

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical & Production Engineering | Production Development

Completion year of the thesis 2014 | Total number of pages 42 + 6

Instructor Pekka Törnqvist

Yrjö Lehtinen

TOLERANCING THE CONE TAPPER CONNECTION USING THE GPS-STANDARD

The target company of this thesis was Rolls-Royce Oy Ab, Rauma unit, which is part of Rolls-Royce Marine, one of the leading manufacturers of the 360° turning propulsion units in the world. Rolls-Royce Rauma unit manufactures the propulsion units with various specification and sizes for different purposes. The objective of this thesis was to research and find a solution to the problems found in the assembly of the propeller cone taper connection in the view of design, considering the production. The main problems in the assembly of the cone taper connection were due to the hub cone, which is the most challenging part to manufacture of the cone taper connections parts.

In the first phase of the study the main problems of the hub cones were discussed in the view of design and production. The main problems in the hub cones were poor surface quality, wrong cone angle, deviations in the shape of the cone surface and vertical stripes.

In the theory phase of the study, the solution to the problems in the propeller hub cone design was researched with literature regarding the basic principles of the cone taper connections and calculation methods, which specify the requirements of the cone taper connections at Rolls-Royce. Also the assembly instructions of cone taper connection and the gauge fitting were examined from the work instructions. To solve the problems in the hub cones, also the theory of new geometrical production specification standards (GPS) was studied.

The development phase of the thesis was carried out in two parts. In the first part, the effects of tension caused by shape deviations that emerge often as vertical stripes in the hub cone were studied by using the finite element method (FEM). In the second part, the old cone tolerance was compared with the new cone tolerance defined by using the GPS-standards in the hub, shaft and gauge cones. The differences in the faults these two tolerances allow were analyzed. At the end of the development work, new drawings of the hub, shaft and gauge cones in accordance with the GPS-standards were introduced.

As a result of the thesis work, the problems affecting the cone taper connection assembly were solved by using the GPS-standards in the drawings of the hub, shaft and gauge cones. Manufacturing the hub, shaft and gauge cones within the tolerances specified in the drawings according to the GPS-standards, makes them easy to assembly. Easy assembly saves considerable amount of time, thus brings financial benefits to the company. GPS-standards are possible and advisable to use also in other product drawings throughout the Rolls-Royce Oy Ab Rauma unit.

KEYWORDS:

GPS-standard, cone taper connection, propeller, gauge, hub, shaft, FEM-analyze

SISÄLTÖ

TERMIT JA LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
2 TOIMINNALLINEN VIITEKEHYS	9
2.1 Rolls-Royce Oy Ab	9
2.2 Kartioliitoksen ongelmat ja niiden todentaminen	10
2.2.1 Pinnankarheus	10
2.2.2 Kulmavirhe	11
2.2.3 Kartiopinnanmuotovirhe	12
2.2.4 Pystyraita	12
2.2.5 Mitoituksen perusvaatimukset liitoksen kannalta	14
3 TEOREETTINEN VIITEKEHYS	15
3.1 Navan ja akselin välinen kartioliitos	15
3.1.1 Kartioliitos	15
3.1.2 Kartioliitoksen toimintaperiaate	15
3.1.3 Tartuntakerroin	16
3.1.4 Kartioliitoksen laskentakaava	17
3.2 Liitoksen sovittaminen	18
3.2.1 Napakartion tarkastaminen kartiotulkkiä käyttäen	18
3.2.2 Potkurikokoonpano	23
3.3 Geometrinen tuotemäärittely (GPS)	24
3.3.1 SFS-EN ISO 8015:2011	24
3.3.2 SFS-EN ISO 3040:2012	25
4 KEHITYSTYÖN TOTEUTUS	26
4.1 Pystyraidan tutkiminen FEM-analyysillä	26
4.2 GPS-standardin käyttö kartioliitoksen mitoituksessa	28
4.2.1 Mitoituksen perusvaatimukset liitoksen kannalta	28
4.2.2 Vanhojen piirustusten puutteiden analyysi liitoksen asennuksen kannalta	29
4.2.3 GPS-standardin soveltaminen kartioliitokseen	32
5 YHTEENVETO	40

LÄHTEET

42

LIITTEET

- Liite 1. Potkurin kartioliitoksen laskentakaava
- Liite 2. FEM-raportti
- Liite 3. GPS-standardin mukaiset konepiirustuskuvat

KUVAT

Kuva 1. Pinnankarheusmittari.	11
Kuva 2. Napakartio, jossa muotovirhe näkyy vaaleana perusmateriaalina.	12
Kuva 3. Napakartio, jossa esiintyy pystyraita.	13
Kuva 4. Potkurikartioliitos (Blom ym. 2006, 112).	16
Kuva 5. Napakartio ennen tulkkausta.	19
Kuva 6. Ohjekuva väritahnan levittämisestä kartiotulkkiin (Rolls-Royce 2014b.).	20
Kuva 7. Kartiotulkki tulkkauksen jälkeen.	22
Kuva 8. Napakartio tulkkauksen jälkeen.	23
Kuva 9. Napakartion 3D-malli, jonka kartioreikä on piparkakun muotoinen.	27
Kuva 10. FEM-analyysin kuvaus, miten pystyraidat vaikuttavat jännitysten jakautumiseen navassa.	28
Kuva 11. Vanha kartiotulkin piirustus (Rolls-Royce 2009).	29
Kuva 12. Vanha akselikartion piirustus (Rolls-Royce 1987a.).	30
Kuva 13. Vanha potkurinapakartion piirustus (Rolls-Royce 1987b.).	30
Kuva 14. Vanhan kartiomitoituksen hyväksymä virhe.	32
Kuva 15. Kartion toleranssin määrittäminen (SFS-EN ISO 3040, 18).	34
Kuva 16. Miten kartion mitoitus esiintyy käytännössä kuvan 15. määrittelyssä (SFS-EN ISO 3040, 18).	34
Kuva 17. GPS-standardin kartiomitoituksen hyväksymä virhe.	35
Kuva 18. Napakartion mitoitus GPS-standardia käyttäen.	37
Kuva 19. Kartiotulkin mitoitus GPS-standardia käyttäen.	38
Kuva 20. Akselikartion mitoitus GPS-standardia käyttäen.	39

TAULUKOT

Taulukko 1. Virheitä aiheuttavat tekijät.	14
Taulukko 2. Tartuntakertoimia puristusliitokselle (Blom ym. 2006, 107).	17
Taulukko 3. Tartuntakertoimia kutistusliitokselle (Blom ym. 2006, 107).	17
Taulukko 4. Potkurin kartioliitoksen laskennan perusarvot (Rolls-Royce 2014c.).	18
Taulukko 5. Napakartion tulkkauksen mittapöytäkirja (Rolls-Royce 2014b.).	21

TERMIT JA LYHENTEET

GPS	Geometrical Production Specifications, eli Geometrinen tuotemäärittely
FEM	Finite Element Method, eli Elementtimenetelmä
RAM-puomi	Pystysorvin teräpitimen pystypuomi
US-laite	Underhull Stationary, eli Laivan runkoon kiinteästi asennettava potkurilaite
UL-laite	Underhull Lifiable, eli Laivan rungon sisään vedettävä teleskooppimallinen potkurilaite
UUC-laite	Underwater Unit Complete, eli US-laitetta isompi vedenalaisesti asennettava potkurilaite
Contaz-laite (CTZ)	Contra-rotating Azimuth, eli Kahdella vastakkain pyörivällä potkurilla varustettu laite
CP-potkuri	Controllable pitch propeller, eli Potkuri, jossa lapakuuma on hydraulisesti säädettävissä

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö kuuluu kone- ja tuotantotekniikan alan tuotekehitystekniikkaan. Opinnäytetyön tavoitteena on potkurin kartioliitoksen asennukseen vaikuttavien ongelmien tutkiminen sekä niiden poistaminen mahdollisimman yksinkertaisilla ratkaisuilla. Potkurin kartioliitos käyttää samanlaista kartioliitosta kuin esimerkiksi työkalukartiot, joka ammattikielessä tunnetaan nimellä morsekartio. Potkurin kartioliitoksen asennukseen liittyvät ongelmat esiintyvät pääasiassa potkurin napakartiossa, jonka valmistaminen on potkurin suuresta halkaisijasta sekä potkurin materiaalista johtuen haastavaa. Akseleissa on harvemmin ongelmia, koska akselikartion valmistaminen on helpompaa, koska materiaali on helpompaa työstää sekä akselien kiinnitykset ja työstökoneen teräpitimet ovat tukevampia. Tästä syystä tässä opinnäytetyössä keskitytään napakartiossa ilmeneviin ongelmiin.

Selvitettäessä ongelman mahdollisia ratkaisuvaihtoehtoja työpaikkaohjaajani Juha Malisen kanssa käydyssä keskustelussa päätettiin, että navan, akselin sekä tulkin piirustusten mitoitus tulisi päivittää tarkemmiksi sekä yhteensopiviksi, jotta liitoksen asennuksesta saataisiin oikein valmistettuna nykyistä helpommin asennettava. Opinnäytetyön aloituspalaverissa ohjaava opettaja Pekka Törnqvist ehdotti GPS-tuotemäärittelyn standardin soveltamista kyseisiin piirustuksiin, jotta liitoksen vaatimat toleranssit saataisiin asetettua piirustuksiin mahdollisimman yksiselitteisiksi sekä liitoksesta tulisi näiden parametrien sisällä oikein valmistettuna helposti asennettava.

Opinnäytetyö sisältää viisi lukua. Johdannossa käydään läpi opinnäytetyön rakenne sekä ongelmanasettelu yleisellä tasolla. Toisessa luvussa kuvataan opinnäytetyön toiminnallinen viitekehys eli esitellään kohdeyritys Rolls-Royce Oy Ab:n Rauman yksikkö sekä työn ongelmanasettelu. Kolmannessa luvussa esitellään opinnäytetyön teoreettinen viitekehys eli navan ja akselin välinen kartioliitos ja sen toimintaperiaate, tartuntakerroin sekä kartioliitoksen laskentaperiaate. Lisäksi kuvataan liitoksen sovittaminen sekä kokoonpano ja lopuksi Geometrisen tuotemäärittely (GPS). Opinnäytetyön neljännen luvun kehitys-

työosuudessa esitellään ensin pahimman mahdollisen muotovirheen tapauksen osalta FEM-analyysillä tutkittuja kartion jännityspiikkejä. Lisäksi luvussa neljä analysoidaan vanhojen piirustusten puutteita sekä kehitystyöosuudessa sovelletaan GPS-standardin määrittelyjä navan, akselin ja tulkin konepiirustuksiin. Viidennen luvun yhteenveto-osuudessa tiivistetään tämän opinnäytetyön tulokset ja niiden vaikutukset. Lähteinä työssä käytetään ammattikirjallisuutta, Rolls-Roycen työohjeita, laskentakaavioita sekä vähittäisvaatimuksia ja liitokseen liittyviä dokumentteja sekä GPS-standardin materiaaleja ja oppikirjoja.

2 TOIMINNALLINEN VIITEKEHYS

2.1 Rolls-Royce Oy Ab

Tämä opinnäytetyö tehtiin Rolls-Royce Oy Ab:lle Rauman yksikköön (RR). Toimintansa Raumalla aloittanut RR on perustettu vuonna 1988 yhdistämällä 1940 perustettu Rauma-Repolan kansikonetehtas, 1965 perustettu Hollmingin konepaja ja vuonna 1988 perustettu Aquamaster-konepaja. Uuden perustetun yrityksen nimeksi tuli Aquamaster Oy. Vuonna 1995 pörssi-yhtiö Vickers plc. osti Aquamaster Oy:n, mikä johti tiiviiseen yhteistyöhön KAMEWA AB:n kanssa. Vuonna 1998 yrityksen nimi muuttui Kamewa Finland Oy:ksi. Vuonna 1999 Vickers siirtyi englantilaisen Rolls-Roycen omistukseen, jonka jälkeen yrityksestä tuli osa Rolls-Royce konsernia ja vuonna 2000 yrityksen nimi muutettiin Rolls-Royce Oy Ab:ksi, joka on osa Rolls-Royce Marinea. (Rolls-Royce 2014a.)

Rolls-Roycen Rauman yksikön tavaramerkkinä tunnetut 360° pyörivät potkurilaitteet saivat alkunsa vuonna 1965, jolloin ensimmäinen AQUAMASTER-potkurilaitte valmistui Raumalla. Vuodesta 2004 lähtien Rolls-Roycen valmistus on keskitetty Raumalle pääasiallisina kohteina maantielautat, offshore-huoltoalukset, hinaajat sekä öljynporauslautat. (Rolls-Royce 2014a.)

Vuonna 2013 Rolls-Roycen liikevaihto oli 579 miljoonaa euroa (463 MGBP). Rauman toimipisteessä työskentelee noin 520 henkilöä. (Rolls-Royce 2014a.)

Rolls-Roycen Rauman yksikkö valmistaa erilaisilla spesifikaatiolla useamman eri kokoluokan potkurilaitteita. Tästä esimerkkinä ovat perusmallinen US-laitte, laivan rungon sisään vedettävä teleskooppimallinen UL-laitte, offshore eli öljynporauslauttoihin tarkoitettu laite UUC-laitte sekä tuplapotkurilla varustettu Contaz-laitte (CTZ), jonka avulla pystytään mahdollisimman pienellä kulutuksella tuomaan lisää työntövoimaa. Laitteisiin on mahdollisuus saada lisäominaisuuksia. Esimerkiksi US-laitteeseen voidaan asentaa CP-potkuri, jossa potkurin lapakulma on säädettävissä hydraulisesti. (Rolls-Royce 2014a.)

2.2 Kartioliitoksen ongelmat ja niiden todentaminen

Potkurin kartioliitos käyttää samanlaista kartioliitosta kuin esimerkiksi työkalukartiot, joka ammattikielessä tunnetaan nimellä morsekartio. Potkurin kartioliitoksen asennukseen liittyvät ongelmat esiintyvät pääasiassa potkurin napakartiossa, jonka valmistaminen on haastavaa johtuen potkurin suuresta halkaisijasta sekä potkurin materiaalista. Potkureissa käytettävä materiaali on alumiinipronssia, joka pehmeystään johtuen vaikeasti työstettävä materiaali. Koska kartioliitoksen asennuksessa potkurinnavassa ilmenee useita erilaisia virheiden aiheuttamia ongelmia, ei potkurin asennuksessa akselilleen ole aiemmin pystytty määrittämään asennustyöhön käytettävää aikaa vakiona. Ongelmista johtuen asennuksessa joudutaan usein tekemään ylimääräistä korjaustyötä, jotta liitoksesta saadaan riittävän pitävä. Koska kokonaisasennusaika on kriittinen tekijä potkurin asennustyössä, tulisi löytää ratkaisu, joka vähentäisi tai poistaisi turhaa asennus- ja korjausaikaa kartioliitoksen asennuksessa. Akseleissa esiintyy ongelmia harvemmin, koska akselikartion valmistaminen on helpompaa johtuen helpommin työstettävästä materiaalista sekä tukevammista työstökoneen teräpitimistä ja akselien kiinnityksistä. Tästä syystä tässä opinnäytetyössä on keskitytty vain napakartiossa ilmeneviin ongelmiin.

Kartioliitoksissa voi esiintyä useita erilaisia ongelmakohtia, mutta niistä yleisimpiä ovat pinnankarheus, kulma-, muotovirhe sekä pystyraita. Pinnankarheutta tarkastellaan pinnankarheusmittarilla sekä kulma-, muotovirhettä ja pystyraita tarkkaan valmistetulla kartiotulkillä. Liitokseen kohdistuu voimakas momentti, joka määrittää Rolls-Roycen vähittäisvaatimuksen liitokselle, joka on pinnankarheudeltaan enintään Ra 1,6 sekä kartiotulkin on saavutettava vähintään 80 %:n kiinnitys. (Rolls-Royce 2014b.)

2.2.1 Pinnankarheus

Kartioliitoksissa pinnankarheuden merkitys on erittäin suuri, koska kyseessä on aksiaalisesti kiristettävä kartiokitkaliitos, missä pinnankarheuden on oltava erit-

täin hieno. Hienolla pinnakarheudella saavutetaan mahdollisimman suuri tartunta, koska karkeammalla pinnankarheudella tartuntakerroin jää liian pieneksi pintoaikkeaman harjakorkeudesta sekä harjannoususta johtuen. Tulkkauksessa napakartion väritys saattaa näyttää hyvältä, mutta liian karkeasta pinnasta johtuen kiinnityksessä oleva tartunta voi jäädä liian pieneksi, jolloin liitos ei ole tarpeeksi pitävä kestääkseen siihen kohdistuvan momentin. Pinnan karheutta voidaan tutkia pinnankarheusmittarilla (kuva 1), joka mittaa pinnankarheutta tietyltä matkalta mittarissa olevan kynnen avulla ja ilmoittaa karheusarvon kyseiseltä matkalta.



Kuva 1. Pinnankarheusmittari.

2.2.2 Kulmavirhe

Kartiokulman tarkkuuden merkitys on myös liitoksen yhteensopivuuden ja pitävyyden kannalta tärkeä. Kartiokulma on oltava akselissa sekä navassa mahdollisimman lähellä toisiaan, jotta liitoksessa saavutettaisiin mahdollisimman suuri kiinnityspinta. Jos kulmavirhe on liian suuri, niin virhe on havaittavissa navan tulkkauksenvaiheessa siten, että tulkki jättää jäljen vain toiseen päähän kartiota. Tällaisissa tapauksissa on vaarana, että potkuri pääsee heilumaan akselissa sekä öljynpaineella avattava liitos vuotaa.

2.2.3 Kartiopinnanmuotovirhe

Kartiopinnanmuotovirheellä tarkoitetaan kiinnityspinnan eli kartiopinnan muotoa. Muotovirheistä yleisimmät potkurinapakartiossa ovat kupera eli tynnyrimäinen (kuva 2) tai kovera tiimalasimainen muoto. Muotovirheen ollessa liian suuri se näkyy tulkkauksessa seuraavasti: kovera muotovirhe jättää jäljen vain navan keskiosaan eli tulkki kantaa navan keskeltä ja pääsee heilumaan navassa. Kupera muotovirhe esiintyy tulkkauksessa siten, että tulkki jättää jäljen navan ylä- ja alapäähän. Muotovirheet esiintyvät yleensä tulkkauksessa paikkakohtaisesti johtuen pinnan aaltomaisuudesta. Muotovirheellä on lähes samanlainen vaikutus kiinnitykseen kuin kulmavirheellä.



Kuva 2. Napakartio, jossa muotovirhe näkyy vaaleana perusmateriaalina.

2.2.4 Pystyraita

Pystyraita on silmällä havaittavissa oleva pyöreiden muotovirhe, joka ilmenee tulkkauksessa tummina ja vaaleina akselinsuuntaisina raitoina (kuva 3). Tästä

johtuen voidaan todeta, että reikä ei ole täysin pyöreä vaan ”piparkakun” muotoinen eli kartion pinta on kehäsuunnalta epätasainen. Pystyraitia johtuu työstökoneen väljyydestä, jossa joko RAM-puomi tai pöytälaakeri on kulunut väljäksi ja pääsee heilumaan tai työkalu on varreltaan heikko ja pääsee resonoimaan työstön aikana ja aiheuttaa kyseisen raidoituksen. Pystyraidoituksen vaikutusta ei ole aikaisemmin tutkittu, mutta epätasaisesta muodostaan johtuen se saattaa aiheuttaa epätasaisia jännityksiä. Pystyraidan aiheuttamien jännityksien vaikutusta tutkitaan FEM-analyyseissä.



Kuva 3. Napakartio, jossa esiintyy pystyraitaa.

Taulukossa 1 on esitettyinä virheitä aiheuttavat tekijät matriisimuodossa, josta voidaan havaita virheisiin vaikuttavien tekijöiden laajuus esiintyviin virheisiin nähden.

Taulukko 1. Virheitä aiheuttavat tekijät.

Kartiossa esiintyvien virheiden aiheuttavat tekijät		Pinnan- karheus	Kulmavirhe	Muotovirhe	Pystyraita
Väärä terävalinta	Terä väistää		X	X	
	Terä ylileikkaa		X	X	
Työstökoneen väljyys	Pöytälaakeri	X	X	X	X
	RAM-puomi	X	X	X	X
Työstöarvot	Liian suuri syöttö	X			
	Alhainen leikkuunopeus	X			
Tukevuus	Heikosti kiinnitetty kappale		X	X	X
	Työkaluvarsi taipuu		X	X	
Värinä	Heikko työkalun kiinnitys	X		X	X
	Huonokuntoinen terä	X		X	
Työstövirhe	Ohjelmointi	X	X		
	Asetus	X	X		

2.2.5 Mitoituksen perusvaatimukset liitoksen kannalta

Kartioliitoksen perusvaatimusten täyttämiseksi on konepiirustuskuvien mitoitus-
sien oltava myös perusvaatimusten mukaiset, jotta saavutetaan RR:n sovi-
tusohjeen edellyttämät kriteerit. Ongelmana on, että piirustusten mitoitukset ei-
vät täytä kyseisen ohjeen vaatimia kriteereitä. Ongelman ratkaisemiseksi on
navan, akselin ja tulkin kartioiden mitoitus päivitettävä nykyaikaiseen mitoitus-
menetelmään.

Tässä opinnäytetyössä ongelmanratkaisumenetelmänä tutkitaan uuden tuote-
määrittelystandardin eli GPS-standardin soveltamista kartioliitoksen mitoitus-
seen. GPS-standardille tulisi pystyä määrittelemään mitoitukselle riittävät para-
metrit, jotta kartioliitoksen vähittäisvaatimukset voidaan toteuttaa.

3 TEOREETTINEN VIITEKEHYS

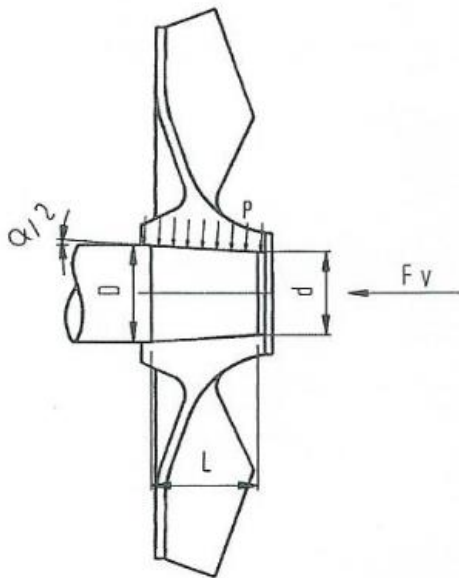
3.1 Navan ja akselin välinen kartioliitos

3.1.1 Kartioliitos

Kartioliitos on kitkan ja puristusvoiman yhteisliitos, joka kuuluu samaan ryhmään kitka-, kutistus- ja puristusliitosten kanssa, jossa navan ja akselinväliselle liitospinnalle syntyy kitkasulkeinen sekä puristusvoiman aiheuttama voimakasliitos. (Blom ym. 2006, 104)

3.1.2 Kartioliitoksen toimintaperiaate

Liitoksen pitävyys perustuu navan ja akselin välille muodostuvaan jännitystilaan, mikä johtuu navan sisäpuolelta tulevan puristusvoiman aiheuttamasta venymästä navassa, joka puristuu akselin päälle. Tällaista jännitystilaa kutsutaan pintapaineeksi, jonka vaikutuksesta kitkasulkeinen liitos välittää akselin säteensuuntaista voimaa ja kuvasta (kuva 4) voidaan tulkita, että akselikartion aksiaalisuuntainen voima muuttuu kartiokulman ansiosta tangentiaalivoimaksi. Liitoksessa vaikuttava kitka ei ole suoranaisesti materiaalista ja pinnankarheudesta johtuva kitka, vaan useamman eri tekijän vaikuttama kitka, jota kutsutaan tartuntaker-toimeksi. (Blom ym. 2006, 104, 112)



Kuva 4. Potkurikartioliitos (Blom ym. 2006, 112).

3.1.3 Tartuntakerroin

Liitoksen välissä vallitsevaa tartuntaa mitataan laskennallisesti tartuntakertoimella, joka tarkoittaa säteen suuntaisen puristusvoiman suhdetta irrotusvoimaan. Taulukoissa (taulukko 2 ja 3) on esitelty eri materiaalien tartuntakertoimia puristusliitoksille. Suurena tartuntakerroin toimii samalla tavalla kuin kitkavoima, mutta koska irrotusvoiman aiheuttamaa puristusvoimaa ei voi mitata, niin tämä suure arvioidaan tai lasketaan sovitteen avulla. ”Tartuntakertoimen itseisarvoon vaikuttavia tekijöitä ovat, mm. materiaalit, materiaalien muodostamat parit, liitoksen pinnankarheus, liitospintojen käsittelytila ennen liittämistä (voideltu tai kuiva) sekä akseliin ja napaan kohdistuva kuormitus (elastinen tai plastinen)” (Blom ym. 2006, 106). (Blom ym. 2006, 106)

Taulukko 2. Tartuntakertoimia puristusliitokselle (Blom ym. 2006, 107).

Materiaali	Tartuntakerroin	
	Kuiva (v)	Voideltu (v)
Teräs	0,08	0,07
Valurauta	0,10	0,05
Pronssi	0,06	0,04

Taulukko 3. Tartuntakertoimia kutistusliitokselle (Blom ym. 2006, 107).

Materiaalipari, voitelu liittämismenetelmä	Tartuntakerroin v
Teräs-teräs-parit	
Normaali paineöljyliitos liitettynä mineraaliöljyllä	0,12
Paineöljyliitos, rasva poistettu liitospinnoilta, liitettynä glyseriinin avulla	0,18
Normaali kutistusliitos, napa kuumennettu enintään 300°C asti sähköuunissa	0,14
Kutistusliitos, rasva poistettu liitospinnoilta, kuumennettu enintään 300°C asti sähköuunissa	0,20
Teräs-valurauta-parit	
Normaali paineöljyliitos liitettynä mineraaliöljyllä	0,10
Paineöljyliitos, rasva poistettu liitospinnoilta	0,16
Teräs-alumiini-pari, kuiva	0,10...0,15
Teräs-messinki-pari, kuiva	0,17...0,25

3.1.4 Kartioliitoksen laskentakaava

Potkurien kartioliitoksissa käytetään edellä mainitun kartioliitosten toimintaperiaatteiden mukaista laskentamenetelmää, joka on samanlainen laskentakaava kuin muissakin puristus- ja kutistusliitoksissa. Kartioliitosten laskemiseen vaikuttaa materiaalit, kartiokulma, pinnanlaatu sekä potkurilaitteen teho, nopeus, momentti sekä onko laite suulakkeella vai ilman. Liitteessä (liite 1) on esitelty potkurin kartioliitoksen laskentakaava. Suulakkeen vaikutus liitokseen kohdistuviin voimiin on laskennallisesti merkittävän suuri kuten taulukosta (taulukko 4) voidaan päätellä riveiltä suulakepot., joka merkitsee suulakepotkuria, mihin kohdistuu huomattavasti pienempi voima kuin avopot., joka merkitsee suulakkeetonta potkuria. Samasta taulukosta nähdään myös napamateriaalien kimmokertoimet

sekä myötörajat ja muita liitoksen laskentaan vaikuttavia arvoja. (Rolls-Royce 2014c.)

Taulukko 4. Potkurin kartioliitoksen laskennan perusarvot (Rolls-Royce 2014c.).

LUOTTAMUKSELLINEN

3.2 Liitoksen sovittaminen

3.2.1 Napakartion tarkastaminen kartiotulkkia käyttäen

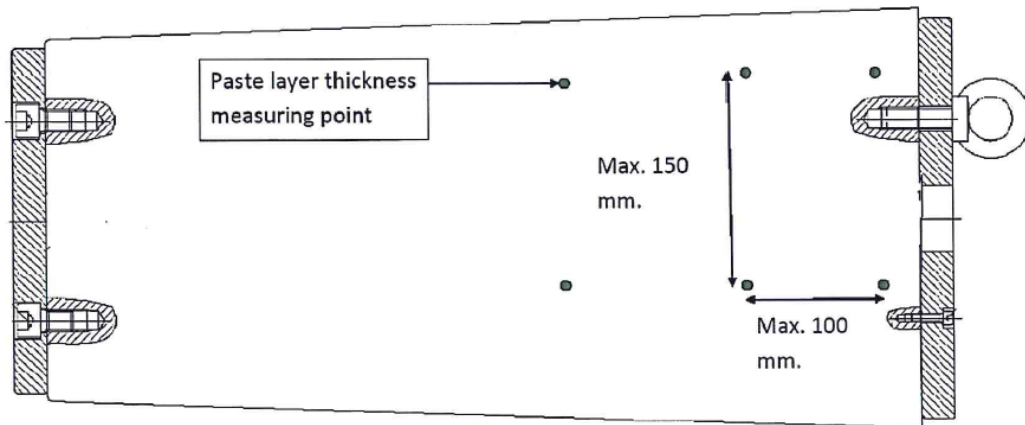
Napakartiota tarkastellessa kartiotulkillä on sovituksen toteutettava Rolls-Roycen työohjeen mukainen vähittäisvaatimus. Tämä vähittäisvaatimus perustuu navan pinnankarheuteen ja napaan kohdistuvaan momenttiin. Näiden tekijöiden mukaisesti muodostuvat ehdot kartioliitoksen tulkkauksessa toteutettaville vähittäisvaatimuksille. (Rolls-Royce 2014b.)

Ennen kartiotulkin sovittamista napakartioon on tarkastettava navan pinnankarheus, huokoisuus sekä mahdollinen pystyraita ja navan ja tulkin puhtaus, jotta epäpuhtaudet eivät vaikuta sovitukseen lopputulokseen (kuva 5). Pinnankarheus saa olla piirustuksen mukaisesti korkeintaan Ra 1,6, jotta pintapoikkeama olisi riittävän pieni vaikuttaakseen liitoksen pitävyyteen. Pinnankarheus mitataan ja merkataan sovituspöytäkirjaan. Huokoisuus tarkastetaan mahdollisten valuvirheiden osalta sekä pystyraita mahdollisen pyöreyyteen vaikuttavan muotovirheen osalta. (Rolls-Royce 2014b.)



Kuva 5. Napakartio ennen tulkkausta.

Kartiotulkin sovittaminen napakartioon tehdään levittämällä kartiotulkinpintaan pituusmitalla 100 mm:n ja 90°:een tai kehämitalla 150 mm:n välein sinistä väri-tahnaa, joka levitetään tasaisesti tulkin pintaan (kuva 6). Tahnakalvon paksuutta tarkastellaan siihen tarkoitettulla tulkilla tai mittarilla. Tahnakalvonpaksuus saa olla korkeintaan 4 μm , jolloin kalvonpaksuus ei pääse vaikuttamaan merkittävästi todelliseen kiinnitykseen. (Rolls-Royce 2014b.)



Kuva 6. Ohjekuva väritahnan levittämisestä kartiotulkkiin (Rolls-Royce 2014b.).

Kartiotulkin sovittaminen napakartioon tehdään seuraavan nelivaiheisen ohjeen mukaan ja saadut arvot ja tiedot merkitään mittapöytäkirjaan (taulukko 5):

- Tulkin sovittaminen napaan on tehtävä varovaisesti ja huolellisesti, jotta napakartio ja kartiotulkki eivät vaurioituisi sovituksessa.
- Tulkki asetetaan napaan sen omalla painolla ja mitataan navan- ja tulkin-tasopinnoista niiden välinen etäisyys toisistaan ja merkataan sovituspöytäkirjaan.
- Tulkki lyödään tiukasti kiinni napaan ja mitataan navan- ja tulkintasopin-tojen välinen ero uudestaan ja merkataan saatu mitta sovituspöytäkirjaan ja lasketaan lähtötilanteen sekä lopputilanteen välinen siirtymä sovituspöytäkirjaan. (Rolls-Royce 2014b.)

Taulukko 5. Napakartion tulkkauksen mittapöytäkirja (Rolls-Royce 2014b.).

LUOTTAMUKSELLINEN

Tämän sovitusvaiheen jälkeen irrotetaan tulkki navasta ja tutkitaan kuinka suurelta osalta napakartiota tulkki on ollut kosketuksessa. Kosketuspinta näkyy navassa tulkin jättämän sinisen väritahnan jättäminä jälkinä (kuvat 7 ja 8). Kosketuspintaa on ohjeistuksen mukaan oltava vähintään 80 %, jota arvioidaan silmä määräisesti.



Kuva 7. Kartiotulkki tulkkauksen jälkeen.



Kuva 8. Napakartio tulkkauksen jälkeen.

3.2.2 Potkurikokoonpano

Kokoonpanolinjalla tapahtuva potkurin asentaminen akselille tapahtuu eri tavalla kuin kartiotulkinsovittaminen potkurinapaan. Ensiksi akseli sekä napa puhdistetaan huolellisesti ja tehdään navan sovitus akselille samoin kuin tulkin sovitus. Tässä tarkastuksessa nähdään akselin sekä navan todellinen ero, jonka mukaan napa joudutaan usein hiomalla korjaamaan, jotta todellinen kiinnitys saavutettaisiin. Kun napaan on tehty mahdolliset korjaustyöt, napa ja akseli puhdistetaan uudestaan erittäin huolellisesti ennen lopullista navan asennusta akselille, jolloin napa kiristetään lopulliseen kireyteensä akselille. (Rolls-Royce 2013)

Kokoonpanopiirustuksen mukaan akselille on annettu maksimi sekä minimi siirtymät eri lämpötiloissa, jonka mukaan asennus tehdään. Liitettävien kartioiden puhdistuksen jälkeen akselin pinnalle levitetään ohut öljykalvo, jotta liitos saadaan painettua tarpeeksi lujasti kiinni. (Rolls-Royce 2013)

Potkurinapa painetaan akselin päälle tiukasti vaiheittain hydraulimutteria käyttäen. Samaan aikaan liitospintoihin levitetään pumppaamalla akselissa olevia öljykanavia pitkin öljyä, jotta napa liukuisi tiukasti paikoilleen. Navan liukumista akselin päälle mitataan asennuksen aikana mittakellolla, siitä asti kun hydraulimutterilla aletaan painaan napaa tiukasti kiinni akselin päälle. (Rolls-Royce 2013)

Asennuksesta tehdään erillinen asennuspöytäkirja, jossa merkataan hydraulimutterin ja väliöljyn paineet 0,5 mm:n välein. Siirtymän mittaaminen on erittäin tärkeä osa asennusta, jotta jokaisesta potkuriasennuksesta saadaan dokumentoitua tiedot arkistoon mahdollista uudelleen asennusta varten. Asennuksessa mitattavien paineiden arvot ovat asennusohjeiden mukaisia, jolla seurataan tiettyjen liitoksen siirtymää asennuksen aikana. (Rolls-Royce 2013)

Asennuksessa havaittavat laatupoikkeamista raportoidaan ja tehdään mahdolliset korjaustoimenpiteet erikseen. (Rolls-Royce 2013)

3.3 Geometrinen tuotemäärittely (GPS)

3.3.1 SFS-EN ISO 8015:2011

Geometrinen tuotemäärittely eli geometrical product specifications eli lyhennettynä GPS, on Eurooppalainen tuotemäärittelyn standardi SFS-EN ISO 8015:2011, joka on luotu korvaamaan vanha SFS-ISO 8015:1987 -standardi. Tämä kyseinen standardi soveltuu koneenosien sekä tuotteiden määrittelyyn, koska standardi käsittelee siihen soveltuvaa joukkoa erilaisia peruseriaatteita, jotka liittyvät piirustuksiin, teknisiin dokumentointeihin sekä GPS-matriisijärjestelmään. Vanha standardi viittasi näihin peruseriaatteisiin epätarkasti eikä niitä ole esitelty riittävän yksiselitteisesti, jotta tuotteen geometrinen määrittely olisi mahdollisimman yksinkertaista ja helppoa. (SFS-EN ISO 8015:2011, 8, 10, 12)

”Tässä standardissa termi ”piirustus” on tulkittava sen laajimmassa mahdollisessa merkityksessään käsittäen koko työkappaleen määrittävän dokumentaation.” (SFS-EN ISO 8015:2011, 10)

Piirustusta tulkittaessa voidaan olettaa, että ”toiminnalliset rajat perustuvat perusteellisiin tutkimuksiin” (SFS-EN ISO 8015:2011, 12), joko teoreettisiin eli laskennallisiin tai kokeellisesti suoritettuihin tai näiden yhdistelmään. Tällöin toiminnalliset rajat tunnetaan ilman epävarmuustekijöitä, jolloin piirustuksen määritelmät ovat toiminnallisesti paikkansa pitäviä. Toiminnallisten rajojen mukaisesti voidaan olettaa piirustuksia tulkittaessa, että ”toleranssirajat ovat täysin samat kuin toiminnalliset rajat” (SFS-EN ISO 8015:2011, 12). Työkappaleen toiminnallisuutta tulkittaessa oletetaan, että työkappale toimii 100 %:sti, kun kappale on valmistettu toleranssirajojen sisäpuolelle. Kappaleen poiketessaan toleranssirajoista on kappaleen toiminnallisuuden taso tällöin 0 %, mistä johtuen toleranssi-alueet saattavat muuttua kohteesta riippuen valmistuksen osalta merkittävästi. (SFS-EN ISO 8015:2011, 8, 10, 12)

3.3.2 SFS-EN ISO 3040:2012

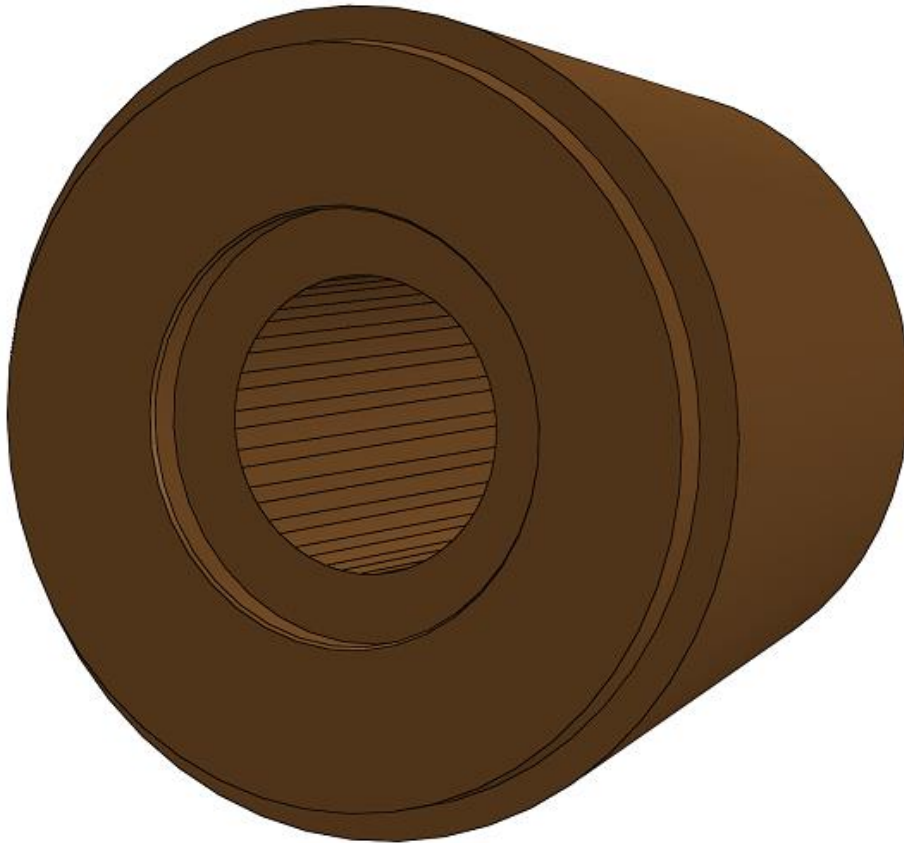
SFS-EN ISO 3040:2012 on kartiomitoituksen standardi, joka on osa geometrista tuotemäärittelyn standardia SFS-EN ISO 8015:2011. Kartiomitoituksen standardia käytetään kartioiden mitoitukseen noudattaen samoja mitoituksen sääntöjä kuin geometrisen tuotemäärittelyn standardi. Tämä kartiostandardi antaa oikeanlaiset työkalut kartioiden mitoitukseen kartioissa esiintyvien virheiden rajaamiseksi. (SFS-EN ISO 3040:2012)

4 KEHITYSTYÖN TOTEUTUS

4.1 Pystyraidan tutkiminen FEM-analyysillä

Kartioliitoksen ongelmakohtia määriteltäessä asiasta keskusteltiin RR:n ongelmaan perehtyneen insinööri Juha Malisen kanssa. Malinen kuvasi kartioliitokseen ongelmien tyyppejä, kuten pinnankarheutta, kulmavirhettä, kartiopinnan muotovirhettä sekä pystyraitaa ja niiden vaikutuksia liitoksen kokoonpanoon ja liitoksen pitävyyteen. Erityisesti pystyraitaa päätettiin tutkia FEM-analyysillä.

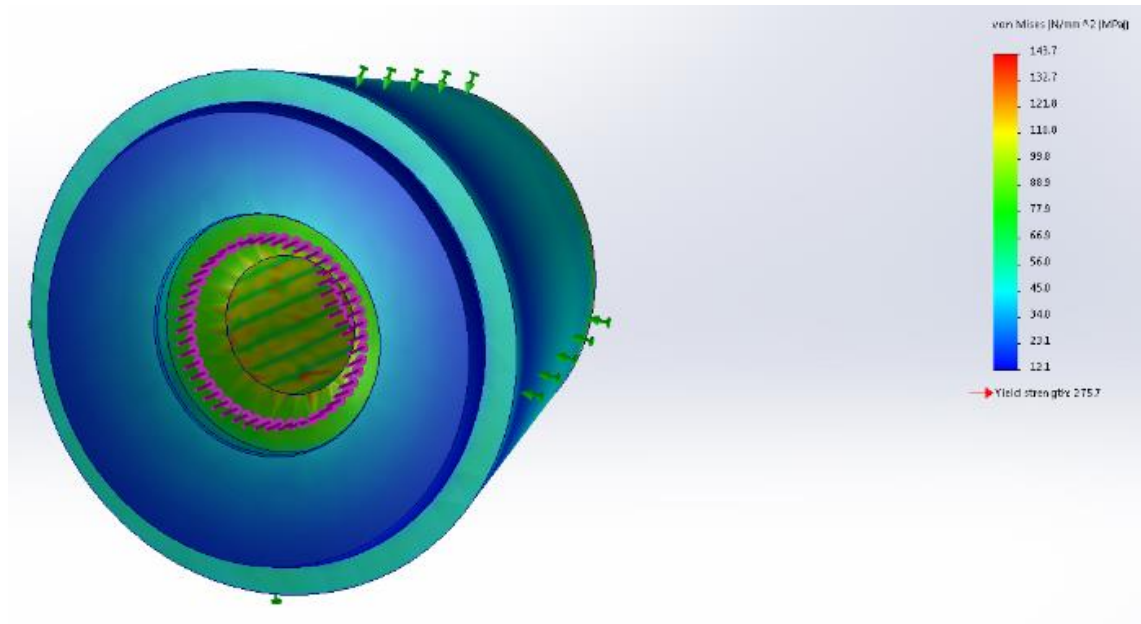
Pystyraidan vaikutusta liitokseen ryhdyttiin tutkimaan tekemällä tietystä napakartiosta 3D-malli (kuva 9), jonka sisäkartio mallinnettiin piparkakun muotoiseksi. Kartioon tehty piparkakunmuoto on tehty 5°:een välein oleviksi nystyröiksi, jotka ovat noin 0,01 mm eri halkaisijalla kuin kartion peruspinta. FEM-analyysissä käytettävän voiman suunta määriteltiin kuvan mukaan (kuva 9) kartion aksiaalisuuntaiseksi voimaksi. Kartiokulman ansiosta aksiaalinen voima kääntyy tangentiaalivoimaksi, josta voidaan päätellä, että kyseessä on puristava voima. Käsiteltävä materiaali on alumiinipronssi, joten analyysiä varten materiaaliksi valittiin tämä kyseinen materiaali, jonka myötöraja on 275 MPa, joka eroaa Rolls-Roycen määrittelemästä myötörajasta hieman, kuten liitteen (liite 1) laskentakaaviosta voidaan päätellä. Analyysissä tarkastellaan raidoituksen aiheuttamia jännityspiikkejä, joten myötörajien ero ei tässä tapauksessa vaikuta tulokseen.



Kuva 9. Napakartion 3D-malli, jonka kartioreikä on piparkakun muotoinen.

FEM-analyysillä (kuva 10, liite 2) tutkittiin pystyraidoituksen merkitystä kartiolii-
toksessa. Tässä navan ulkokehä asetettiin jäykästi kiinnitetyksi osaksi sekä na-
paan asetettiin aksiaalisuuntaiseksi voimaksi 1000 kN voima, jotta saadaan riit-
tävän selvästi esille raidoituksen merkitys jännityspiikkien osalta. Kuten FEM-
analyysistä on nähtävissä, niin raidan pohjalla jännitystä on noin 90 MPa ja rai-
dan harjalla jännitystä on noin 110 MPa eli jännityseroa on noin 20 MPa. Karti-
on pienemmässä päässä jännitys nousee noin 140 MPa:iin, mutta tämä johtuu
napakartion päättymisestä sekä voiman työntämisestä kartion reunukseen asti,
jolloin voidaan olettaa, että kartion materiaali venyy pois kartiosta ja aiheuttaa
tavanomaista suuremman jännityksen. Tällainen jännityspiikki saattaa esiintyä
kartiosta ainoastaan asennuksessa. Analyysistä voidaan päätellä, että napa
kestää hyvin tällaisen pystyraidoituksen, mutta huomioiden navassa olevat
muut muoto- ja kulmavirheet, jotka saattavat aiheuttaa huomattavasti suurem-

pia jännityspiikkejä navassa. Tästä johtuen kartioliitokselle asetettu kiinnityksen vähittäisvaatimuksen on toteuduttava napakartion kiinnityksessä sekä kartiolii-tos on mitoitettava tarkasti, jotta tämä kyseinen liitoksen vähittäisvaatimus saa-vutetaan.



Kuva 10. FEM-analyysin kuvaus, miten pystyraidoilla vaikuttavat jännitysten ja-kautumiseen navassa.

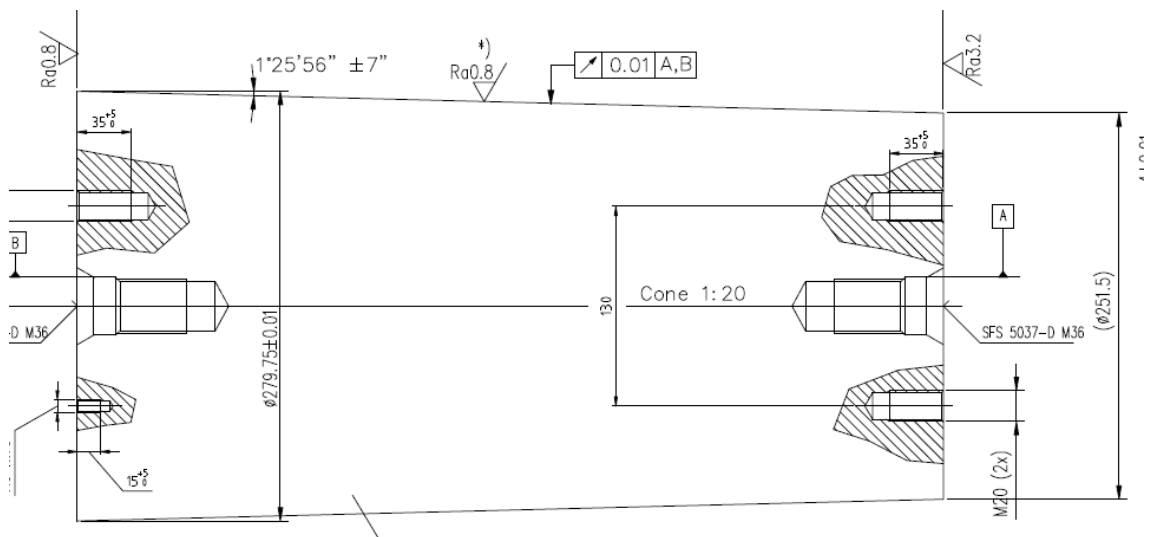
4.2 GPS-standardin käyttö kartioliitoksen mitoituksessa

4.2.1 Mitoituksen perusvaatimukset liitoksen kannalta

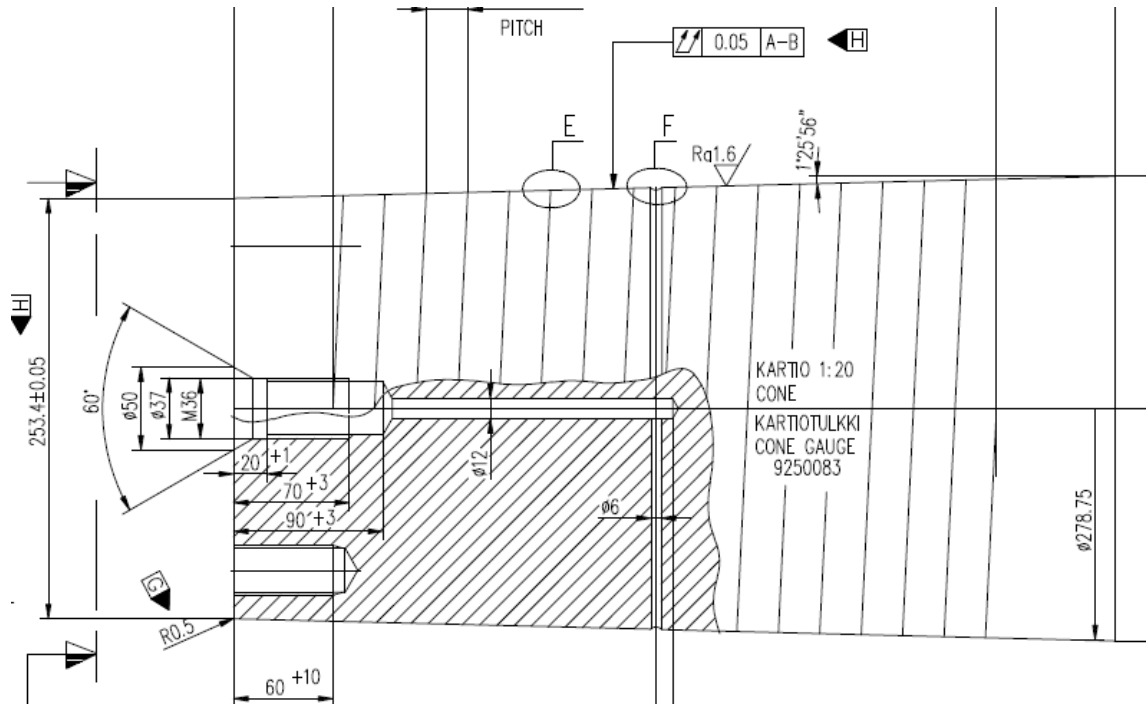
Kartioliitoksen perusvaatimusten täyttämiseksi konepiirustuskuvien mitoitusten on myös oltava kartioliitoksen perusvaatimusten mukaiset, jotta saavutetaan kappaleessa 3.2 ”Liitoksen sovittaminen” esitellyn sovitushjeen edellyttämät kriteerit. Aiemmat piirustusten mitoitukset eivät täyttäneet kyseisen ohjeen vaa-timia kriteereitä. Tästä johtuen navan, akselin ja tulkin kartioiden mitoitus päivi-tettiin nykyaikaiseen mitoitukseen.

4.2.2 Vanhojen piirustusten puutteiden analyysi liitoksen asennuksen kannalta

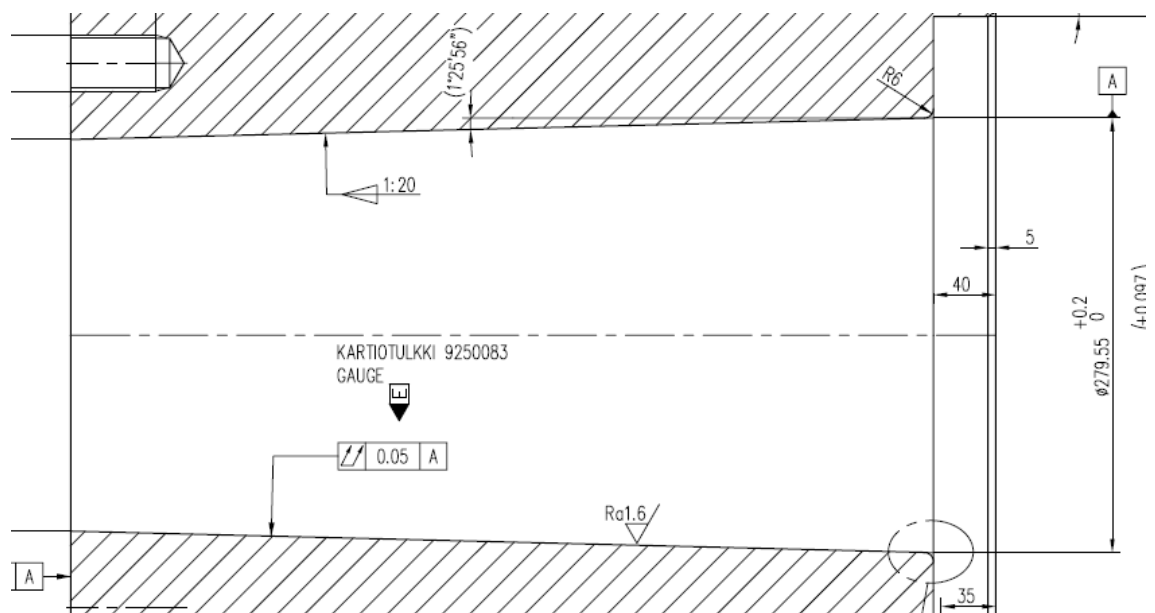
Vanhoissa piirustuksissa navan, akselin sekä tulkin mitoitus poikkesivat toisistaan hyvinkin paljon. Esimerkiksi kartiopinnan muotovirhettä riittävästi rajoittavaa toleranssia ei ole ollut merkitty mihinkään näiden yhteen liitettävien osien eikä tulkin piirustuksissa, mikä antaa mahdollisuuden liian suuriin muotovirheisiin kuten kuvista (kuvat 11, 12 ja 13) voi nähdä. Tällöin kun napa on valmistettu tulkin virheiden mukaisesti, niin virheet saattavat olla täysin erilaiset kuin akselilla, mikä tekee sovituksista erittäin hankalan ja työlään. Siksi tämä muotovirhettä rajoittava geometrinen toleranssi tullee merkitsemään jokaiseen akseli-, napa- ja tulkipiirustukseen, jolloin pystytään eliminoimaan tämän hyvinkin merkittävän virheen vaikutus navan sovituksessa sekä kokoonpanotyössä. Tämä geometrinen määrittely on tehtävä riittävän tiukasti, jolloin voidaan saavuttaa 80 %:n tartunta kartioliitoksessa. Tämän muototoleranssin tiukkuuteen vaikuttaa myös kartiokulmantoleranssi, joka antaa muotovirheelle mahdollisuuden laajeta kulmavirheen myötä.



Kuva 11. Vanha kartiotulkin piirustus (Rolls-Royce 2009).



Kuva 12. Vanha akselikartion piirustus (Rolls-Royce 1987a.).



Kuva 13. Vanha potkurinapakartion piirustus (Rolls-Royce 1987b.).

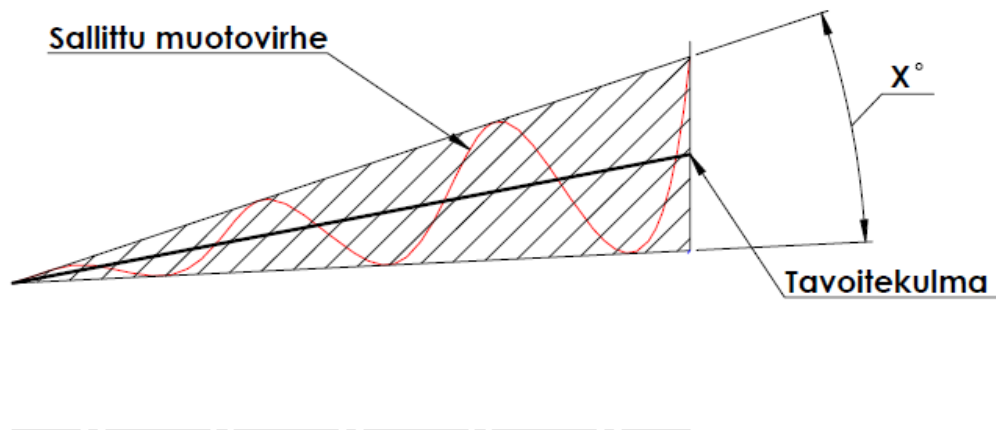
Kartiokulmantoleranssi on liitoksentartuntapinnan osalta kaikkein tärkein sekä kartioliitoksen kannalta kriittisin kohta. Esimerkiksi 0,2°:n kulmavirhe johtaa hyvinkin suureen halkaisijaeroon pitkällä kartionpituudella. Yllä olevista kuvista

(kuva 12 ja kuva 13) voidaan nähdä, että akselin ja kartion kulmamitoista toleranssi puuttuu kokonaan sekä tulkin kartiokulman toleranssi on asteissa hyvinkin suuri toleranssialue, joka vaikuttaa tartuntapinta-alaan merkittävän paljon. Kuvasta 11. voidaan nähdä, että kartiotulkissa oleva kartiokulman $1^{\circ}25'56''$ toleranssialue on $\pm 7''$ joka on asteina $0,04^{\circ}$, mikä pitkällä kartiomitalla aiheuttaa jo $0,08$ mm:n halkaisijaeron, joka on liian suuri, jotta 80 %:n kiinnitys voitaisiin saavuttaa liitoksessa. Tästä johtuen saavuttaakseen liitokseen vähintään 80 %:n kiinnityksen, on navan- ja akselinkartioihin asetettava toleranssi sekä tulkin toleranssia on tiukennettava riittävästi tämän liitoksen vähittäisvaatimusten mukaiselle kriteerille. Tällöin pystyttäisiin välttämään kulmavirheen aiheuttamat ongelma liitoksen sovituksessa sekä kokoonpanossa.

Hyvä esimerkki virheellisestä geometrinen toleranssien määrittämisestä on napakartion piirustuksessa (kuva 14), jossa kartiopinta on määritetty peruselementiksi, joka määrittää geometrialle nollakohdan. Samalle kartiolle on määritetty myös $0,05$ mm:n kokonaisheitto, joka ei voi koskaan mennä väärin koska sama pinta on määritetty nollassi, jolloin virheen mahdollisuus on aina nolla. Sekä kartiokulma on merkattu sulkeisiin, jolloin kartiokulman virhe on sallittu hyvinkin laajalla alueella. Tällöin ei ole mitään merkitystä sillä miten kartio on koneistettu, sillä pinnankarheuden toteuduttua, kartio on aina piirustukseen nähden koneistettu oikein.

Kuvasta (kuva 14) voidaan nähdä, miten vanha mitoitus sallii virheitä. Kuvan mukaan tavoitekulma kulkee keskellä aluetta, mutta kulmavirheen sallima alue on huomattavan suuri, joka laajenee aina kartion halkaisijan laajetessa. Sallittu muotovirhe kulkee kartion pinnalla sekä sen ulkopuolella, jolloin muotovirheen syvimmat kohdat ovat kasvavan kulmavirheen molemmilla äärirajoilla. Tästä johtuen vanha mitoitus sallii huomattavan suuret virheet, jotka eivät toteuta tulkkauksen vähittäisvaatimuksia. Tällaisten virheiden poistaminen vaatii täysin uudenlaisen mitoituksen sekä geometrinentoleranssien laatimisen tulkkauksen vähittäisvaatimusten toteuttamiseksi. Jotta virheiden poistaminen ja tulkkauksen vähittäisvaatimusten toteuttaminen olisi mahdollista, tulisi piirustuksissa jatkossa hyödyntää GPS-standardin parametreja oikeanlaisen mitoituksen rakentami-

seksi kartioliitoksen tulkkauksen ja kokoonpanon vaatimien kriteerien mukaisiksi.



Kuva 14. Vanhan kartiomitoituksen hyväksymä virhe.

4.2.3 GPS-standardin soveltaminen kartioliitokseen

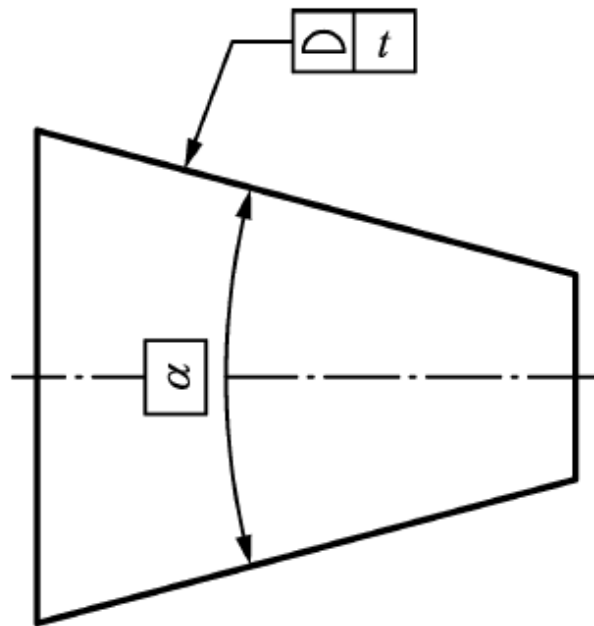
Ratkaisuna ongelmaan otettiin kartioliitoksen mitoittamiseen käyttöön uusi tuotemäärittelystandardi eli GPS-standardi. GPS-standardilla pystytään määrittelemään mitoitukselle riittävät parametrit toteuttamaan kartioliitoksen vähittäisvaatimukset. Päivitykset piirustuksien mitoituksiin tehtiin tämän standardin mukaisesti. Kappaleessa 4.3 ”Geometrinen tuotemäärittely (GPS)” on kuvattu Eurooppalainen tuotemäärittelyn standardi SFS-EN ISO 8015:2011, joka soveltuu koneenosien sekä tuotteiden määrittelyyn. GPS-standardissa SFS-EN ISO 8015:2011 on viittaus muihinkin geometrisen tuotemäärittelyn standardeihin, joista tässä hyödynnetään SFS-EN ISO 3040:2012 -standardia, joka on suunnattu nimenomaan kartioiden mitoittamiseen.

Kartioliitosta alettiin suunnitella kokonaisuutena eli miten geometria ja mitoitus toteutettaisiin liitoksessa täysin samanlaisena akselikartiossa ja napakartiossa, jotta näiden liitettävyyden käytännössä olisi mahdollista, jos molemmat kartiot ovat

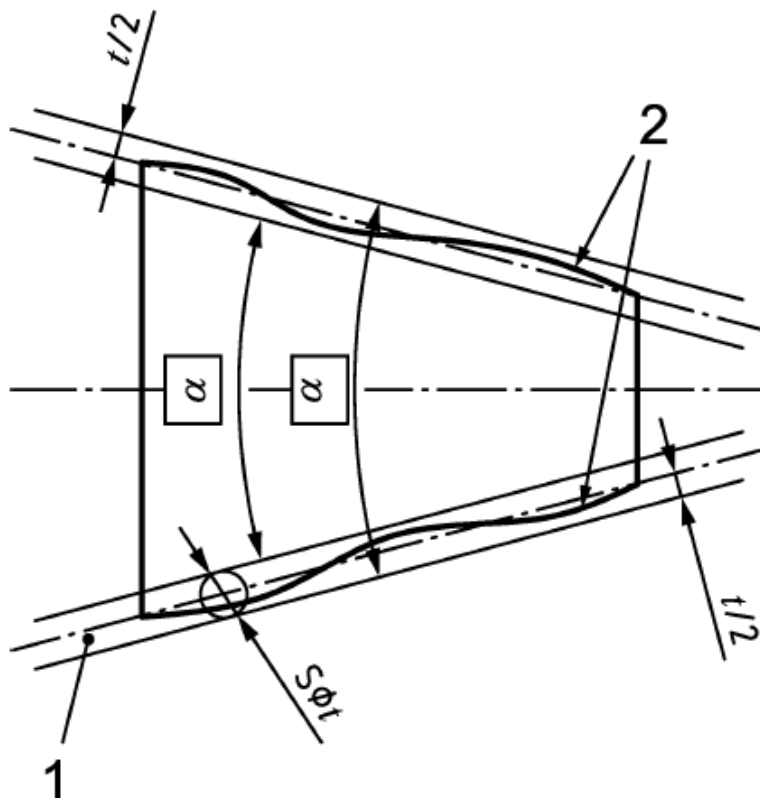
valmistettu vaatimusten mukaisesti. Kartiotulkin mitoitus on suoritettava tarkempana kuin akselin tai navan, koska tulkillla tarkastellaan navan tartuntapintaa, jotta voidaan tarkasti todeta, että toteuttaako napa vaatimukset riittävän tarkasti tartunnan vähittäisvaatimusten mukaan. Kartiomitoitus määritellään tästä lähtien kartioille suunnatun GPS-standardin SFS-EN ISO 3040:2012 mukaan, joka on kartioiden mitoittamiseen suunnattu tuotemäärittelystandardi. Tämä standardi käsittää kaikki liitoskartioiden mitoitusmahdollisuudet sekä poistaa kuvan 14. kaltaisten virheiden syntymisen mitoituksessa.

Kartiokulma ja muotovirhe

Kartiokulman ja muotovirheen osalta ratkaisu oli kohtalaisen yksinkertainen. Kulmavirheen mahdollisuus rajataan asettamalla kartiokulmalle teoreettisen tosimitan määritelmä neliöimällä kulmamitta piirustuksesta. Tällöin kartiokulma on aina vaatimuksen mukainen eikä poikkea tai virhe laajene kartion halkaisijan laajetessa. Neliöimällä kartiokulma määritetään kartiokulma absoluuttisesti oikeaksi mitaksi, jonka ainoa poikkeava tekijä on olemassa vain samaan pintaan määritetyssä geometrisessä toleranssissa. Tässä käytettävä geometrinen toleranssi on pinnanmuototoleranssi, jonka käyttöä ja toleranssialuetta kuvataan hyvinkin esimerkillisesti kuvissa (kuvat 15 ja 16). Kuvassa 15. nähdään miten geometria on määritetty kartion pintaan ja kartiokulma on määritetty teoreettiseksi tosimitaksi, jolloin kartiossa sallittu virhe on nähtävissä kuvan 16. tulkinassa.

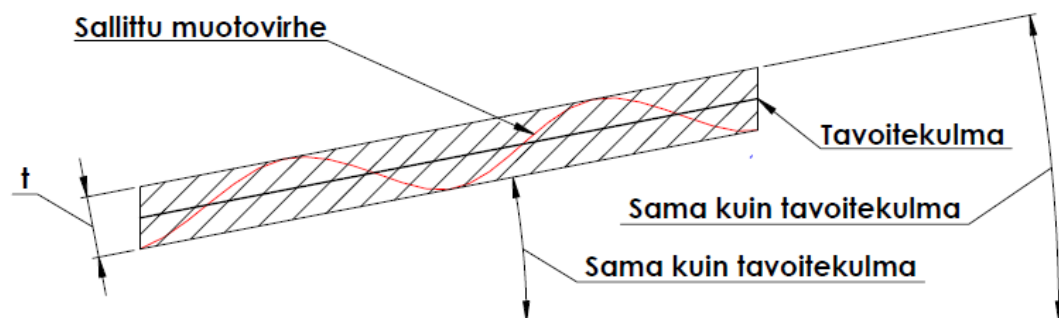


Kuva 15. Kartion toleranssin määrittäminen (SFS-EN ISO 3040, 18).



Kuva 16. Miten kartion mitoitus esiintyy käytännössä kuvan 15. määrittelyssä (SFS-EN ISO 3040, 18).

Näitä parametreja hyödyntämällä pysytään rajoittamaan kartioliitoksen virheet huomattavasti pienemmälle alueelle, sekä luomaan liitoksen sovittamisen ja kokoonpanon kannalta kriteerien vähittäisvaatimusten mukainen mitoitus kartioille. Kuvassa (kuva 17) on esitettyä GPS-standardin mukaisesti tehdyn kartiomitoituksen mukainen alue, missä mahdollinen virhe saa esiintyä kriteerin vähittäisvaatimuksen mukaan. Tämä mitoitus sitoo kartiokulman ja muotovirheen samalle alueelle mihin tavoite on määritetty. Toisin kuin vanha mitoitus, joka salli muotovirheen kasvavan kulmavirheen ääri rajoille, tämä uusi mitoitus sitoo muotovirheen sen määrittämän alueen sisälle, jolloin virheen kokoa pystytään hallitsemaan määrittämällä pinnanmuodolle riittävä tarkkuus. Teoreettisella tosimitalla määritetty kartiokulma pysyy suurimmillaan ja pienimmillään aina samana eli kartiokulmassa ei ole virheelle mahdollisuutta tavoitemittaan nähden. Toisin sanoen ainoa mahdollinen virheen salliva tekijä on pinnanmuodon määrittämä toleranssialue. Kuva 17. pyörähtää keskilinjalta akselinsa ympäri samalla tavalla kuin on esitetty kuvassa 16. Kuvassa 17. mitta t kuvastaa muototoleranssin sallimaa aluetta, jossa liitoksen virhe sallitaan toisin kuin aikaisemmassa mitoituksessa sekä kartiokulma on aina sama halkaisijastaan tai muodostaan riippumatta.



Kuva 17. GPS-standardin kartiomitoituksen hyväksymä virhe.

Napakartion mitoitus

Kuvassa (kuva18) on esitetty GPS-standardin mukaisesti määritetty napakartion mitoitus. Kuten navan kuvasta voidaan havaita, peruselementti *A* on siirretty Ø410 mm ohjauksen mittaviivan kohdalle, jotta kartiopinnanmuotoa määrittävälle geometrialle saadaan määrittävä tekijä. Saman halkaisijan sisemmälle tasolle määritetään toinen peruselementti *B*, jotta napakartio on kohtisuorassa navassa olevaan ohjauksen nähden. Näin napakartiosta saadaan mahdollisimman suora keskilinjaan ja myös ohjaukseen tulevan tiivistepesän kanssa. Kartiopinnalle on asetettu pinnanmuodon geometrinen toleranssi, jolla määritetään muotovirheille raja-arvo. Jotta muodonvirheen raja-arvo saadaan sidottua kartion kulmavirheeseen oikein, on kartiokulma määritetty teoreettisella tosimitalalla, joka määrittää kartiokulman virheettömäksi. Tällöin kulmavirheen ja muotovirheen on yhdessä oltava pinnanmuodolle määritetyn toleranssin sisällä. Tämä mitoituksen määrittely tekee napakartiosta erittäin tarkan sekä mitoitukseltaan hyvinkin helpon ja yksinkertaisen tulkita.

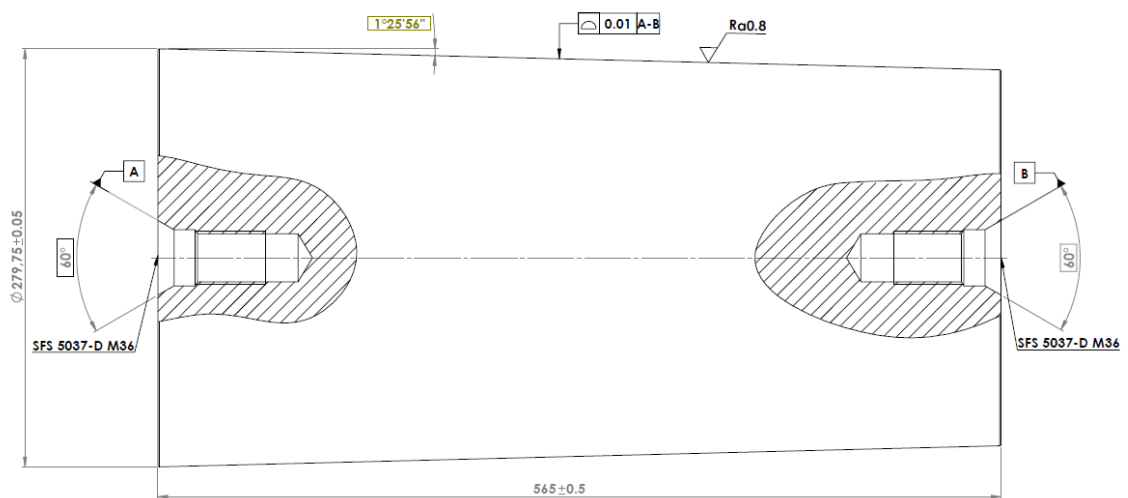


Kuva 18. Napakartion mitoitus GPS-standardia käyttäen.

Kartiotulkin ja akselin kartioiden mitoitus

Kartiotulkin ja akselin kartioiden mitoitus on toleranssialueeltaan täysin samanlainen kuin napakartion (kuva 19). Tulkin ja akselin mitoituksessa on käytetty kahta peruselementtiä määrittämään aksiaalilinja suoraan. Tulkin mitoituksessa peruselementit A ja B ovat määritetty standardoitujen keskiöreikien kartiolle, jotka on määritetty teoreettisiksi tosimitoiksi, jotta ne ovat täysin samanlaiset ja käyttävät täysin samaa keskilinjaa keskenään. Tämäkin peruselementtien määrittäminen piirustukseen on tehtävä asettamalla peruselementin merkintä kartioiden mittaviivan nuolien kohdalle, jotta peruselementin määritelmä käyttää sa-

maa keskilinjaa. Kuten napakartion piirustuksessa kartiokulma on määritetty teoreettiseksi tosimitaksi, mutta poikkeuksena tulkin piirustuksessa navan ja akselin piirustuksiin on, että pinnanmuototoleranssi on huomattavasti tarkempi. Kyseessä on tarkastustyökalu, jolla tutkitaan napakartion muoto- ja kulmavirheitä on myös pinnankarheus tarkempi, sillä tulkki on karkaistava pinnalta, jotta se kestää käytön aiheuttamaa kulutusta useita vuosia. Karkaistua pintaa on työstettävä hiomakoneella, jotta pinnasta saataisiin mahdollisimman tarkka ja tästä johtuen pinnankarheus on määriteltävä/työstettävä mahdollisimman hienoksi.

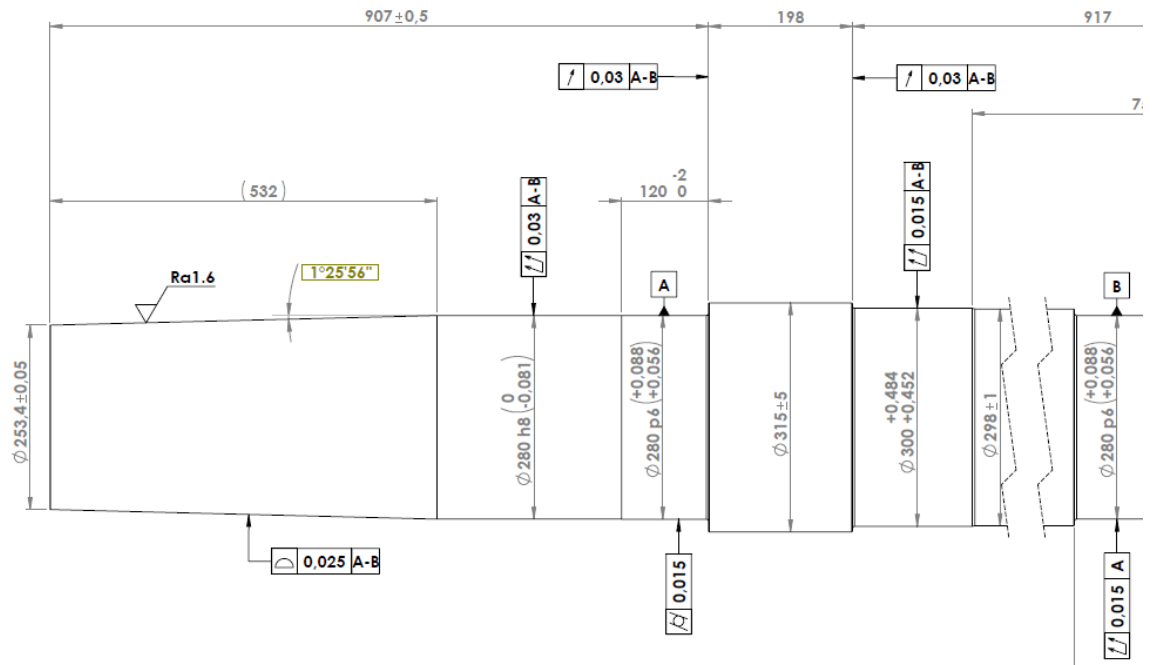


Kuva 19. Kartiotulkin mitoitus GPS-standardia käyttäen.

Akselin piirustuksen peruselementtien määrittäminen

Akselin piirustuksessa peruselementtien määrittäminen ei vaatinut muutostyötä ollenkaan, koska alkuperäisessä piirustuksessa peruselementit oli määritetty akselin kriittisimpien kohtien eli ahdistusliitoksella asennettavien kaulalaakerien olakkeiden mittaviivojen nuolenpäiden kohdalle (kuva 20). Akselin geometria oli kokonaisuudessaan määritetty oikein tämän GPS-standardin mukaan. Akselipiirustukseen tehtävät muutokset oli kartiolle asetetun kokonaisuuden muuttaminen pinnanmuodon toleranssiksi ja tiukentamalla toleranssialue samalle tasolle

kuin napakartion muototoleranssi sekä kartiokulman sulkeminen laatikkoon eli määrittämällä kartiokulma teoreettiseksi toimitaksi.



Kuva 20. Akselikartion mitoitus GPS-standardia käyttäen.

5 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin potkurin kartioliitoksen asennukseen vaikuttavia ongelmia ja ratkaistiin näitä ongelmia mahdollisimman yksinkertaisilla ratkaisuil-la. Ratkaisuna ongelmaan otettiin käyttöön nykyaikainen GPS-tuotemäärittelyn standardin kartioliitoksen piirustuksiin.

Koska kartioliitoksen asennuksessa potkurinnavassa on ilmennyt useita erilaisia kulma-, muoto- ja pinnankarheusvirheiden aiheuttamia ongelmia, ei potkurin asennuksessa akselilleen ole aiemmin pystytty määrittämään asennustyöhön käytettävää aikaa vakiona. Ongelmista johtuen asennuksessa on usein jouduttu tekemään ylimääräistä korjaustyötä, jotta liitoksesta on saatu riittävän pitävä. Koska kokonaisasennusaika on kriittinen tekijä potkurin asennustyössä, tulisi kartioliitosten olla mahdollisimman virheettömiä, jotta asennus sujuisi mahdollisimman nopeasti. Liitosten virheiden analysoitiin johtuneen kartioliitosten vanhoista virheellisistä konepiirustuskuvista. Siksi nämä virheelliset konepiirustuskuvat oli mitoitettava uudelleen. Uudelleenmitoitus on tehty uuden GPS-tuotemäärittelystandardin mukaisesti niin, että liitokset noudattavat määritettyä vähittäisvaatimusta. Näin piirustusten mukaisesti valmistetut akselit, navat ja tulkit sopivat keskenään yhteen ilman korjaustyötä ja asennukseen käytettävä aika pystytään myöhemmin vakioimaan. Ylimääräisen korjaustyön välttäminen säästää luonnollisesti aikaa ja rahaa.

Konepiirustusten päivittämisellä ratkaistiin nämä potkurin kartioliitoksen asennukseen vaikuttavat ongelmat suunnittelun tasolla, mutta tuotannon tasolla nämä ongelmat eivät välttämättä vielä ratkea kokonaan. Konepiirustuksiin tehdyillä muutoksilla pystytään kuitenkin rajaamaan valmistusmenetelmien vaihtoehtoja ja tiukentamaan kriittisiä mitoituksia kartioliitoksen osien valmistukselle. Pääasiassa ongelmat esiintyvät napakartioiden valmistuksessa ja siinä tullaankin myöhemmin kokeilemaan nykyisestä poikkeavia, toisenlaisia valmistusmenetelmiä, jotta piirustuksissa olevat mitoitukset voidaan toteuttaa.

Koska GPS-standardin käyttö oli minulle täysin uutta, tarvitsin ja sain työssäni ohjeistusta ja opastusta standardin soveltamiseen ohjaavalta opettajaltani Pekka Törqnvistiltä. Uuden standardin, standardin käytön periaatteiden ja sovellustapojen opiskelu kartioliitokseen sekä muihinkin tuotemäärittelyyn liittyviin tehtäviin liittyen oli mielekäs oppimiskokemus, josta on varmasti tulevaisuudessa hyötyä paitsi minulle, myös opinnäytetyöni kohdeyritykselle Rolls-Royce Oy Ab:lle.

Pidän opinnäytetyötäni onnistuneena insinööriyönä ja uskon, että työtäni voi käyttää hyvänä esimerkkinä mitoituksen oikeasta määrittämisestä ja mitoituksen merkityksestä konepiirustuskuvissa. Lisäksi toivon, että työni mahdollistaa kartioliitosten nopeamman asennustyön Rolls-Royce Oy Ab:n tuotannossa ja antaa yritykselle positiivisen kuvan nykyaikaisen GPS-tuotemäärittelyn standardin käyttöönotolle.

LÄHTEET

Blom, S.; Lahtinen, P. Nuutio, E. Pekkola, K. Pyy, S. Rautiainen, H. Sampo, A. Seppänen, P. & Suosara, E. 2006. Koneenelimet ja Mekanismit. 5-6., painos Helsinki: Edita.

SFS-EN ISO 8015:2011. 2011. Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Käsitteet, Periaatteet ja Säännöt. Bryssel: CEN.

SFS-EN ISO 3040:2012. 2012. Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Mitoittaminen ja tolerointi, Kartiot. Bryssel: CEN.

Rolls-Royce 2014a. Company profile 3/2014. Rolls-Royce Oy Ab Suomessa. Rauma: Rolls-Royce Oy Ab, Marine. Yritysesittely.

Rolls-Royce 2014b. Malinen, J. 2014. Blue fitting work instruction for bronze propeller and taper gauge pin. Rauma: Rolls-Royce Oy Ab, Marine. Yrityksen työ-/dokumentointiohje.

Rolls-Royce 2014c. "Propeller Hub Shrink Fit" Excel-laskentakaavio. (LIITE 1.) Rauma: Rolls-Royce Oy Ab, Marine. Yrityksen kartioliitosten laskentakaavio/-ohje.

Rolls-Royce 2013. Tuotannonjohtajat 2013. Kartioliitoksen sovitusohje, Rauma: Rolls-Royce Oy Ab, Marine. Yrityksen työohje.

Rolls-Royce 2009. MAHA 2009. Kartiotulkki 9250083. Konepiirustuskuva. Rauma: Rolls-Royce Oy Ab, Marine. Yrityksen konepiirustus.

Rolls-Royce 1987a. AS 1987. Potkuriakseli 5150104. Konepiirustuskuva. Rauma: Rolls-Royce Oy Ab, Marine. Yrityksen konepiirustus.

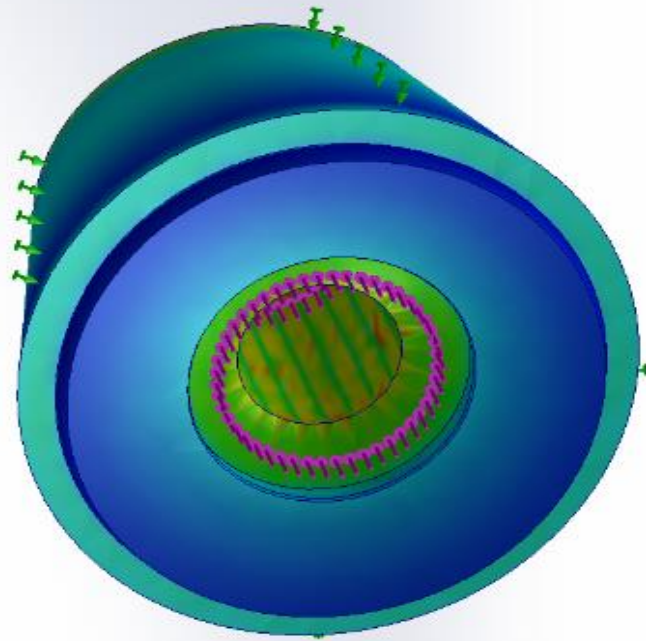
Rolls-Royce 1987b. AS 1987. Potkurin napa 5150196. Konepiirustuskuva. Rauma: Rolls-Royce Oy Ab, Marine. Yrityksen konepiirustus.

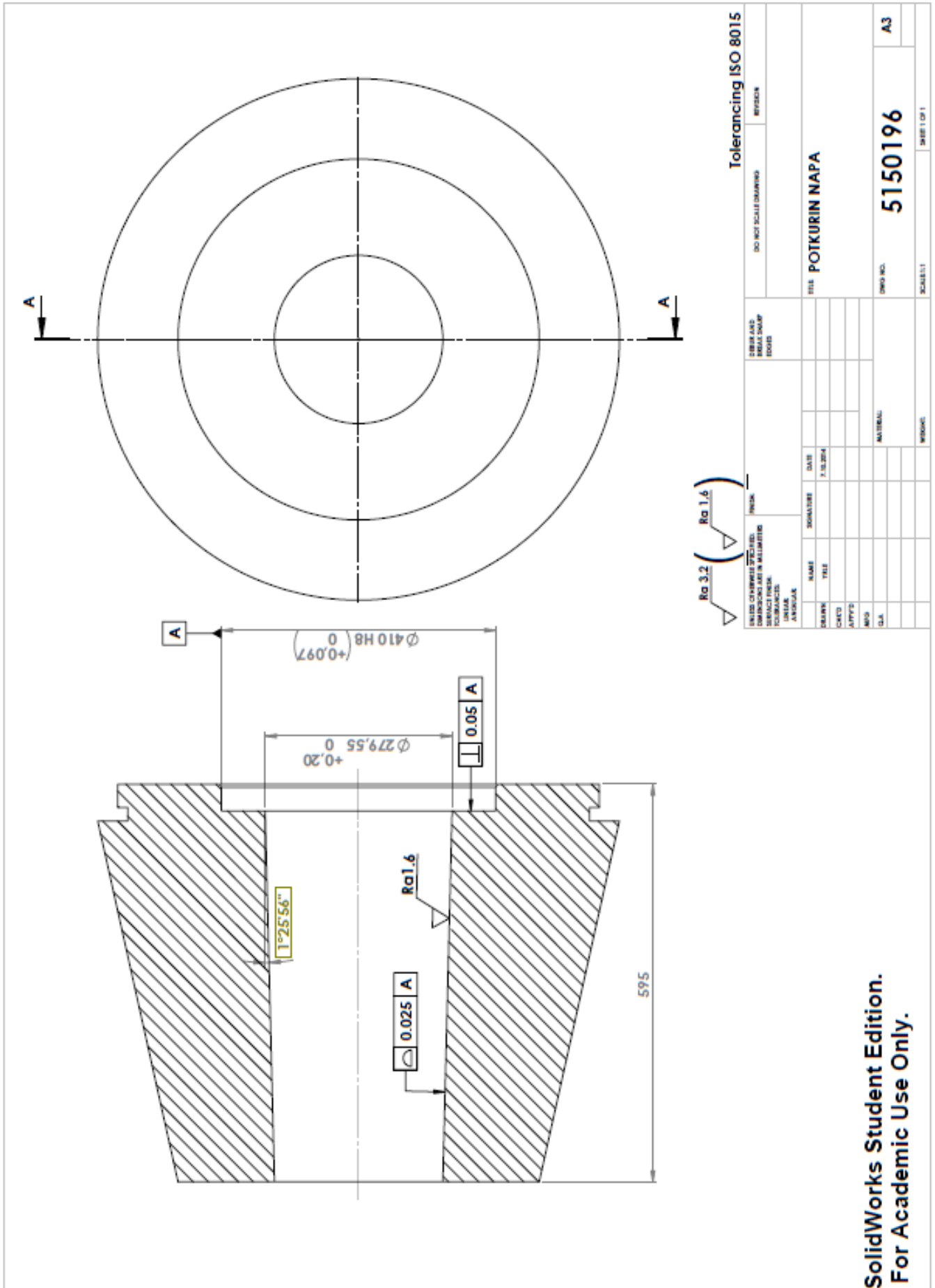
Potkurin kartioliitoksen laskentakaava

LUOTTAMUKSELLINEN

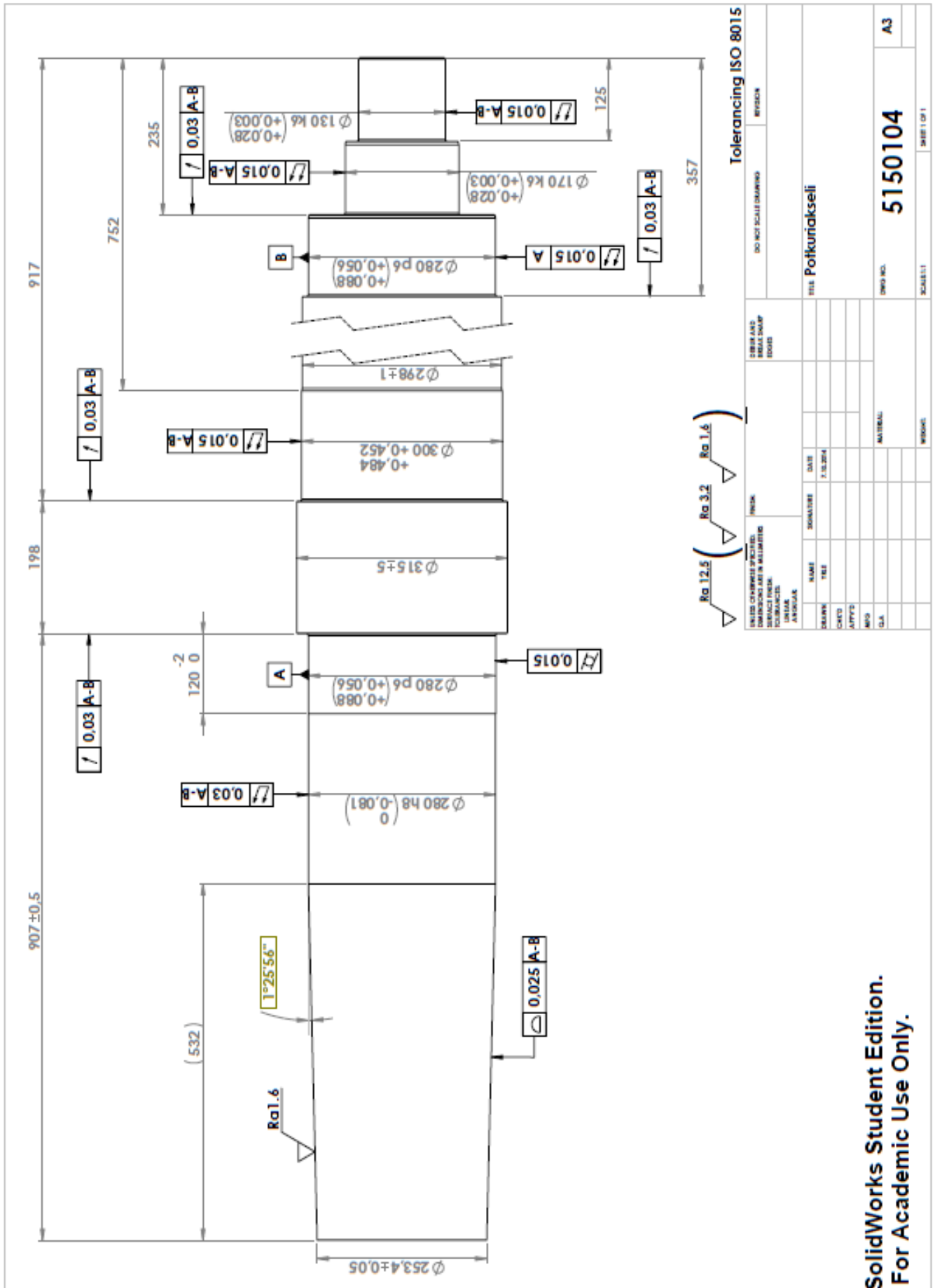
LUOTTAMUKSELLINEN

Model name: Slips_1515161_Splitform_01bome
Study name: Slips1515161pre01_Study(Default)
Plot type: Static total stress Stress
Deformation scale: 142.4





**SolidWorks Student Edition.
For Academic Use Only.**



**SolidWorks Student Edition.
For Academic Use Only.**

