

RUUVILIITOSTEN VOITELUAINEIDEN KITKAKERTOIMIEN SELVITTÄMINEN

Marko Laurikainen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2011

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä LAURIKAINEN, Marko	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 04.04.2011
	Sivumäärä 64	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus () saakka	Verkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi RUUVILIITOSTEN VOITELUAINEIDEN KITKAKERTOIMIEN SELVITYS		
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) MATILAINEN, Jorma, yliopettaja		
Toimeksiantaja(t) Metso Oyj		
Tiivistelmä <p>Metso Paper Oyj:n Rautpohjan telatuotannossa haluttiin selvittää löytyisikö käytössä olevalle ruuviliitosten kiinnileikkautumista estävälle voiteluaineelle korvaajaa. Käytössä oleva voiteluaine haluttiin korvata uudella aineella, jonka saatavuus, käyttöturvallisuus sekä käytettävyys olisivat paremmat.</p> <p>Käyttöönoton kannalta tärkeintä oli selvittää voiteluaineen aiheuttama kitka ruuviliitoksissa. Tuntematta voiteluaineen aiheuttamaa kitkaa on mahdotonta luoda luotettavaa ruuviliitosta, sillä kitka vaikuttaa huomattavasti liitoksessa saavutettavaan kireyteen.</p> <p>Työssä mahdollisten korvaavien voiteluaineiden kitkakertoimet selvitettiin mittaamalla niillä voidelluissa ruuviliitoksessa saavutettava esikiristysvoima sekä ruuvin venymä. Rautpohjassa oli aiemmin tehty kaksi samankaltaista testiä, näiden testien tuloksia käytettiin apuna tässä työssä.</p> <p>Kitkakertoimien selvittämisen jälkeen, valittiin sopivimmalta vaikuttava korvaajaehdokas. Valitun ja käytössä olevan voiteluaineen ominaisuuksille ja käytettävyydelle suoritettiin vertailu. Vertailun ja saatujen tulosten perusteella tehtiin päätös voiteluaineen korvaamisesta.</p> <p>Lopputuloksena luotiin vielä ehdotelma uudesta kiristysmomenttitaulukosta käytettäessä uutta voiteluainetta. Näiden tietojen perusteella pitäisi pystyä luomaan luotettava ruuviliitos valitulla voiteluaineella.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Voiteluaine, ruuviliitos, kitkakerroin		
Muut tiedot		



Author LAURIKAINEN, Marko	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 04.04.2011
	Pages 64	Language Finnish
	Confidential () Until	Permission for web publication (X)
Title STUDYING THE FRICTION COEFFICIENTS OF THE SCREW CONNECTION LUBRICANTS		
Degree Programme Mechanical and Production Engineering		
Tutor MATILAINEN, Jorma		
Assigned by Metso Oyj		
Abstract <p>In Metso Paper Oyj Rautpohja's cylinder production line they wanted to find out potential substitutes for the lubricant which hinder screw connections to seize. The objective was to substitute the current lubricant for a new substance, whose availability, safety and usability would be better.</p> <p>The most important thing of the implementation was to find out the friction caused by the lubricant in screw joints. Without knowing the lubricant friction it is impossible to create a reliable screw connection, because the friction substantially affects the tightness achieved in the connections.</p> <p>The friction coefficients of the possible replacement lubricants were worked out by measuring the achieved pre-tension-force and elongation of the screw. Previously in Rautpohja two similar tests had been carried out and the results of these tests were used in this thesis work.</p> <p>When the friction coefficients were in the offing/ were found out, the most appropriate lubricant was selected. After that the selected and old lubricant properties and the availability were compared. Comparison and the other results helped to make the decision to replace the lubricant.</p> <p>In addition, a new suggestion was made for the tightening torque table when the new lubricant is used. With this information the cylinder production line should be able to create a reliable screw connection with the selected lubricant.</p>		
Keywords Lubricant, screw union, friction coefficient		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

1	OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖKOHDAT	4
1.1	Tavoite.....	4
1.2	Metso Oyj.....	5
1.2.1	Metso -konserni.....	5
1.2.2	Rautpohjan toimipiste.....	7
2	RUUVILIITOKSET.....	9
2.1	Ruuvit	9
2.2	Ruuviliitos.....	10
2.3	Ruuviliitosten kiristys	11
2.4	Ruuviliitosten jännitykset kiristyksessä	14
2.5	Ruuviliitoksen asettuminen	17
2.6	Ruuvien pintakäsittely ja korroosio.....	18
2.7	Voiteluaineet.....	20
3	ESIKIRISTYSVOIMA- JA VENYMÄMITTAUKSET	21
3.1	Lähtötilanne.....	21
3.2	Testissä käytetyt ruuvit ja materiaalit.....	22
3.2.1	Ruuvit	22
3.2.2	Liitospinnat	23
3.2.3	Suomugrafiittivalurauta	24
3.2.4	Pallografiittivalurauta	25
3.3	Valitut voiteluaineet	26
3.4	Testissä käytetyt laitteet ja niiden kalibrointi	28
3.4.1	Käytetyt välineet.....	28

3.4.2	Kalibrointijärjestelmä	28
3.4.3	Välineiden kalibrointi	29
3.5	Testitilanne	32
3.5.1	Tilanne tuotannossa.....	32
3.5.2	Testilaitte	32
3.5.3	Testisuunnitelma	33
3.6	Mittaukset ja tulokset	34
3.6.1	Venymät ja esikivistysvoimat.....	35
3.6.2	Voiteluaineiden vertailu	37
3.6.3	Liitospintojen tasoittuminen	40
3.7	Esikivistysvoiman asettuminen	42
3.8	Laskelmat ja tarkastelu	45
3.8.1	Laskenta.....	45
3.8.2	Mahdollisten virheiden vaikutus	47
4	VOITELUAINEIDEN SUORITUSARVOT	48
4.1	VDI 2230:n mukaiset kitkakertoimet	48
4.2	Tulosten tarkastelu	49
4.2.1	Todentaminen	49
4.2.2	Hirange-voiteluaine.....	49
4.2.3	CU-800-voiteluaine	50
4.2.4	HSP 1400 -voiteluaine	50
4.2.5	Yleiset kitkakertoimet	51
4.3	Voiteluaineen valinta	53
4.3.1	Vertailu	53
4.3.2	Kivistysmomentit.....	55
4.4	Kehitysehdotukset.....	55
5	POHDINTA	56
LÄHTEET	58
LIITTEET	60

Liite 1. Hirangella voideltaessa saadut venymät ja esikiristysvoimat.	60
Liite 2. CU-800:lla voideltaessa saadut venymät ja esikiristysvoimat. 1(2).....	61
Liite 2. CU-800:lla voideltaessa saadut venymät ja esikiristysvoimat. 2(2).....	62
Liite 3. CU-800:lla ja HSP 1400:lla voideltaessa saadut venymät ja esikiristysvoimat.	64

1 OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖKOHDAT

1.1 Tavoite

Metso Paper Oy:n Rautpohjan toimipisteen paperikoneen telatuotannossa kiinnitetään eri materiaalipareista koostuvia ruuviliitoksia. Ruuviliitoksien kiinnileikkautumisen estämiseksi liitoksissa käytetään kiinnileikkautumista estävää voiteluainetta. Opinnäytetyössä selvitettiin käytössä olevan sekä toisen valmistajan tarjoamien kiinnileikkautumista estävien voiteluaineiden kitkakertoimia eri liitosmateriaaleilla. Valmistajien tuotteita vertailtiin keskenään, ja selvitettiin olisiko käytettävän voiteluaineen vaihto mahdollista uuden toimittajan tuotteeseen.

Voiteluaineen sekä sen toimittajan vaihtamisen tarve syntyi, koska käytössä oleva voiteluaine sisältää syöpäriskiä lisäävää ainetta. Turvallisuuden lisäksi Rautpohjassa haluttaisiin löytää sellainen voiteluaine, jonka saatavuus olisi taattu ympäri maailman. Voiteluaineelta vaaditaan myös hyviä ominaisuuksia käytettävyyden sekä luotettavuuden suhteen.

Voiteluaineen aiheuttamalla kitkalla on suuri merkitys liitoksessa saavutettavaan esikiristysvoimaan eli liitoksen kireyteen, joten voiteluaineen aiheuttaman kitkan tunteminen eri materiaaleilla on välttämätöntä halutun esikiristysvoiman saavuttamiseksi. Haluttu esikiristysvoima vaatii taas oikeaa kiristysmomenttia, joka voidaan lopulta määrittää, kun tiedetään, kuinka paljon eri tekijät vastustavat liitoksen kiristymistä.

Rautpohjassa on tehty aiemmin kaksi ruuviliitosten voiteluaineiden kitkaker-toimia koskevaa tutkimusta, joissa on selvitetty voiteluaineiden kitkakertoimia eri ruuviliitoksissa. Kitkakertoimien perusteella on määritetty ruuviliitoksissa käytettävät kiristysmomentit. Kaikissa testeissä on selvitetty voiteluaineen kitkakerrointa, tässä opinnäytetyössä käytetty menetelmä kuitenkin poikkeaa hieman aiemmista testimenetelmistä. Aiemmista testeistä saatuja tuloksia tullaan käyttämään vertailupohjana sekä apuna opinnäytetyössä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli siis ensiksi todentaa tulosten yhtenäisyys ja jäljitettävyyden käytössä olevaan voiteluaineeseen. Tämän jälkeen selvitettiin mahdollisten uusien voiteluaineiden kitkakertoimet sekä tarkasteltiin niiden käyttäytymistä ruuviliitoksissa. Tämän opinnäytetyön jälkeen tulisi olla tiedossa uusien voiteluaineiden kitkakertoimet kullekin materiaaliiliitosparille. Kitkaker toimien avulla voitiin selvittää lisäksi vaadittavaan esikiristykseen johtava kiristysmomentti käytettäessä näitä voiteluaineita. Työssä saavutettavilla tuloksilla tulisi voida tehdä päätös voiteluaineen vaihdosta. Uusia kiristysmomenttiehdotuksia käytettäessä tulisi pystyä tekemään luotettava ruuviliitos jatkossakin.

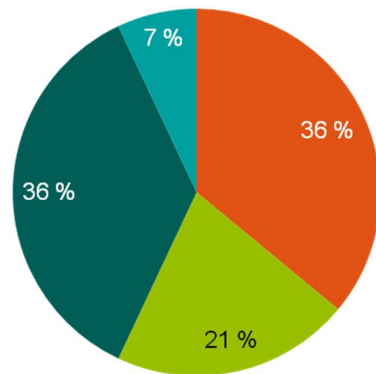
1.2 Metso Oyj

1.2.1 Metso -konserni

Metso Oyj on globaali teknologiakonserni, jonka erityisosaamista ovat kestävät teknologia- ja palveluratkaisut kaivos-, maarakennus-, voimantuotanto-, automaatio-, kierrätys- sekä massa- ja paperiteollisuudelle. Metso työllistää noin 28 500 henkilöä ja sillä on asiakkaita yli 100 maassa. Työntekijöitä työskentelee konsernin yli 300 toimintayksikössä yli 50:ssä eri maassa. (Yleiskalvosarja. 2010.)

Liiketoiminta on jaettu kolmeen segmenttiin: Kaivos- ja maarakennusteknologia, Energia- ja ympäristöteknologia sekä Paperi- ja kuituteknologia. Näistä jokainen käsittää suunnittelua, tuotantoa, hankintaa, palveluliiketoimintaa, myyntiä sekä muita toimintoja maailmanlaajuisesti. Kuvioissa 1 ja 2 on esitetty henkilöstön sekä liikevaihdon jakautuminen segmenteittäin. (Yleiskalvosarja. 2010.)

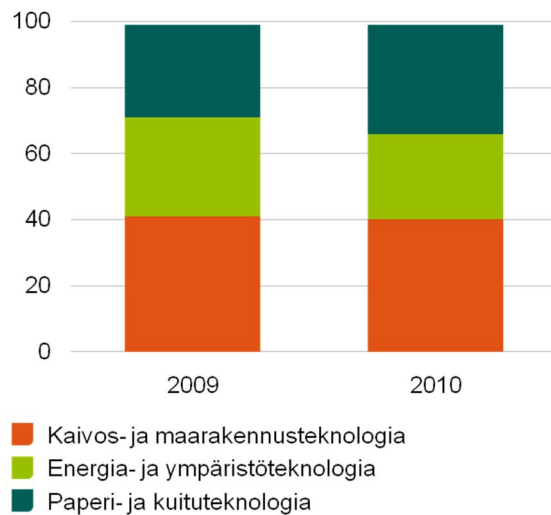
Henkilöstö segmenteittäin
Noin 28 500 työntekijää



- Kaivos- ja maarakennusteknologia
- Energia- ja ympäristötekniologia
- Paperi- ja kuituteknologia
- Muut

KUVIO 1. Metso Oyj:n henkilöstön jakautuminen segmenteittäin vuonna 2010 (Yleiskalvosarja. 2010)

Liikevaihto segmenteittäin
2010 liikevaihto 5,6 miljardia euroa



KUVIO 2. Metso Oyj:n liikevaihdon jakautuminen segmenteittäin vuonna 2009 ja 2010 (Yleiskalvosarja. 2010)

1.2.2 Rautpohjan toimipiste

Metson Jyväskylän paperikonetehtas aloitti toimintansa vuonna 1938 Rautpohjassa Valtion Tykkitehtaana. Ensimmäinen paperikone valmistettiin tontilla vuonna 1953. (Rautpohjan perehdyttämisopas. 2010, 1 - 2.)

Toiminta Rautpohjassa on kasvanut ja muuttunut vuosien saatossa. Nykypäivänä 50 hehtaarin kokoisella tehdasalueella sijaitsevat paperi- ja kartonkikonetehtas, teknologiakeskus, paperikoneiden huoltokeskus sekä Metso Foundries Oy:n rautavalimo. Metson toimitilojen lisäksi alueella toimivat voimansiirtoteknologiaan erikoistunut Moventas ja Rautpohjan Konepaja Oy. (Rautpohjan perehdyttämisopas. 2010, 1 - 2.)

Rautpohjassa valmistetaan paperi- ja kartonkikoneita sekä tehdään koneiden uusintoja ympärimaailmaa. Rautpohja tarjoaa myös koneiden varaosa- ja kunnossapitopalveluita. (Rautpohjan perehdyttämisopas. 2010, 1 - 2.)

Tuotanto paperi- ja kartonkikonetehtaassa jaetaan seuraavasti:

Määränpään tuotanto

- perälaatikon valmistus
- osavalmistus
- raskas koneistus
- viira- ja puristinosien esikokoonpano
- sellunkuivauskoneiden määränpään ratkaisut. (Yleiskalvosarja. 2010.)

Telatuotanto

- Sym-telat
- imutelat
- valurautatelat
- kuivatussylinterit
- Vac-telat
- Symbolt-telat. (Yleiskalvosarja. 2010.)

Kuviossa 3 on nähtävillä osa Rautpohjassa valmistetusta paperikoneesta.



KUVIO 3. Rautpohjassa valmistetaan paperi- ja kartonkikoneita. (Rautpohjan esittely. 2010.)

Metso Paper Oy:n Jyväskylän Rautpohjan toimipisteessä henkilöstöä vuonna 2009 oli 1700 henkilöä. Tässä on mukana Metso Foundries Oy sekä keskusjohto. Insinöörejä henkilöstöstä oli noin 400 henkilöä ja diplomi-insinöörejä noin 200. Paperi- ja kartonkikonetuotannossa työntekijöitä on noin 400. (Rautpohjan perehdyttämisopas. 2010, 2 - 5.)

2 RUUVILIITOKSET

2.1 Ruuvit

Ruuvi on lukumääräisesti eniten käytetty koneenos. Ruuvit voidaan jakaa kahteen pääryhmään käyttötapsansa mukaan: kiinnitysruuveihin ja liikeruuveihin. Lisäksi ruuvit jaetaan metrisiin ja tuumaisiin mitoituksen mukaan. Metrisiä ja tuumaisia ruuveja on lisäksi eroteltu vielä kierreprofiilien mukaan. Metriset ruuvit nimetään kierteen halkaisijan mukaan. Esimerkiksi 24 millimetriä paksuruuvi on M24. Tässä työssä keskitytään käsittelemään metrisen ISO-kierteisen kiinnitysruuvien ominaisuuksia, koska kiristystestit tehdään käyttämällä tätä ruuvityyppiä.

Kiinnitysruuvien yleisin kierremuoto on terävä kierre, sen profiili muodostuu tasakylkisestä kolmiosta, jonka kärki on ty pistetty. Terävä kierre on suosituin seuraavien ominaisuuksien vuoksi:

- Se on helppo valmistaa sekä lastuamalla että kylmämuokkaamalla.
- Radiaali- ja akselivälystä voidaan hallita siirtämällä profiilia ruuvien säteen suunnassa.
- Kierteen säteensuuntaisten voimien aiheuttamat muodonmuutokset edistävät kierteiden välistä voimantasausta.
- Kiinnitysruuvien terävä kylkikulma aiheuttaa suuren kitkan, joka parantaa kiinnipysymistä.

Eniten käytetty kierreprofiili on metrinen ISO-profiili, jonka profiili on ty pistetty tasasivuinen kolmio. ISO-profiili on kansainvälisesti laajasti käytetty kierremuoto. Nykypäivänä ruuvit valmistetaan pääasiassa joko lastuamalla kierteet tai muovaamalla ne. Muovaus on yleisin valmistustapa varsinkin standardiruuveilla. M30:een asti erityisesti lujat ruuvit kylmämuokataan, ja siitä suuremmat taas valmistetaan pääasiassa kuumamuokkaamalla.




Eniten käytettyjä ruuvimateriaaleja ovat hiiliteräs ja niukkaseosteiset teräkset. Näistä teräksistä valmistettujen ruuvien lujuusluokat on myös standardoitu

(SFS-EN ISO 898-1), lujuusluokan ilmaiseva symboli koostuu kahdesta pisteellä toisistaan erotusta luvusta, esim. 8.8:

- Ensimmäinen luku on 1/100 kertaa nimellisen vetolujuuden arvo (R_m) ja sen yksikkö on N/mm².
- Toinen luku on 10 kertaa nimellisen myötölujuuden ja murtolujuuden suhde.

Näiden lukujen kymmenellä kerrottu tulo on nimellinen myötöraja, jonka yksikkö on N/mm². (Airila, Karjalainen, Mantovaara, Nurmi, Ranta & Verho, A. 1985a, 157–162, 187.) Taulukosta 1 nähdään eri lujuusluokkien ominaisuuksia sekä kuinka lujuusluokka on merkattu kantaan.

TAULUKKO 1. Ruuvien lujuusluokkien ominaisuuksia (Blom, S., Lahtinen, P., Nuutio, E., Pekkola, K., Pyy, S., Rautiainen, H., Sampo, A., Seppänen, P. & Suosara, E. 1997, 43)

Lujuusluokka	8.8	10.9	12.9
Vetonurtolujuus R_n [N/mm ²]	800	1000	1200
Vetonytötolujuus $R_{p0.2}$ [N/mm ²]	640	900	1080
Murtovenynä A_5 [%] min.	12	9	8
Pintakovuus HV (100 N) min..max a) $\leq M 16$, b) $> M 16$	a) 250..320 b) 255..335	320..380	380..435
Lujuusluokan ja valmistajan tunnuksen merkintä kantaan			

2.2 Ruuviliitos

Ruuviliitos on koneenrakennuksen yleisin irrotettava liitos. Ruuviliitosten jako määritellään yksittäisruuviliitoksiin ja moniruuviliitoksiin. Tässä työssä keskitytään enemmän yksittäisruuviliitoksen ominaisuuksiin ja vaikuttaviin voimiin, sillä kiristystestitilanteessa on kyse yksittäisruuviliitoksesta, vaikkakin valtaosa

Rautpohjassa kiristettävistä ruuviliitoksista onkin moniruuviliitoksia. (Airila ym. 1985a, 157,174.)

Ruuviliitoksilla on seuraavia etuja:

- Se on helppo asentaa ja purkaa.
- Oikein käytettynä liitos on luotettava.
- Sopii monenlaisiin olosuhteisiin.
- Standardiruuvit ovat halpoja liitoselemiä. (Airila ym. 1985a, 157,174.)

Liitoksilla on seuraavia haittoja:

- Ruuveissa olevat monet epäjatkuuskohdat, koska niihin kohdistuu suurehkoja jännityshuippuja.
- Liitosten kiinnipysyminen ja väsymislujuus riippuvat paljon kiristysmomentista, jota on vaikea hallita. (Airila ym. 1985a, 157,174.)

Ruuviliitosten osia on standardoitu paljon ja uusia tyyppejä kehitetään jatkuvasti. Liitosten luotettavuuden lisääminen, uudet materiaalit ja koko ajan lisääntyvä kokoonpanon automatisointi ovat syynä jatkuvan kehityksen tarpeeseen. (Airila ym. 1985a, 157,174.)

Suomessa käytössä olevat yleisimmät ruuviliitoksiin liittyvät standardit ovat

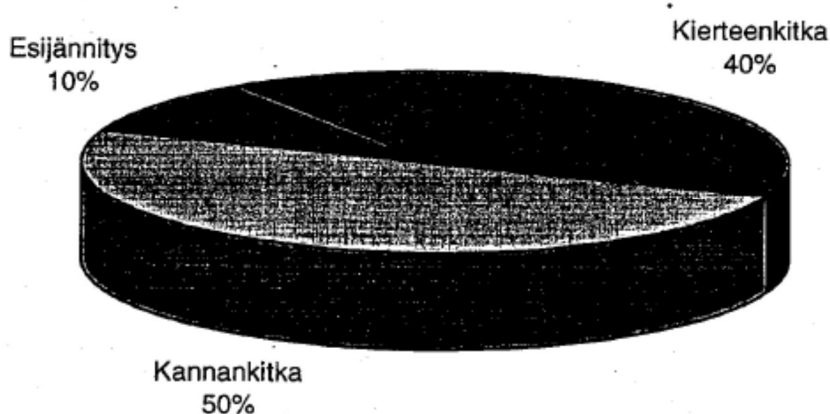
- SFS 2017 Ruuvit, mutterit ja niiden tarvikkeet
- SFS-ISO 965/1 Toleranssit
- SFS-ISO 272 Avainvälit ja kannan lujuusominaisuudet.

SFS-käsikirja 121-1 sisältää näiden lisäksi kaikki loput ruuviliitoksen eri osiin liittyvät standardit. (Airila ym. 1985a, 157,174.)

2.3 Ruuviliitosten kiristys

Tärkeintä ruuviliitoksen luotettavuuden kannalta on tietää ja saavuttaa oikea esikiristysvoima eli voima, jonka ruuvi tai ruuvit aiheuttavat liitettävien osien välille. Sen saavuttamiseksi on kuitenkin pystyttävä määrittämään sitä vastustavat tekijät. Oikean esikiristysvoiman saavuttaminen olisikin helppoa, jos vai-

kuttavat tekijät olisivat vakioita. Näin ei kuitenkaan ole, ja vaikuttavia tekijöitä on useita. Kitka voidaan nimetä vaikuttavimmaksi tekijäksi. Kuviossa 4 nähdään esikiristysmomentin jakautuminen kiristyksessä. (Airila ym.1985a, 249.)



KUVIO 4. Esikiristysmomentin jakautuminen kiristyksessä (Järvelä, J. 1997,17)

Esikiristysvoimaan vaikuttavaa kitkaa on vaikea hallita ja lähes mahdotonta ennustaa. Kitkaan vaikuttavia seikkoja on paljon, mutta seuraavassa on listattu pääseikat:

- liitettävien osien kovuus
- liitoksen kaikkien osien pinnanlaatu
- käytettävät materiaalit
- mahdollisen pinnoitteen paksuus, kunto ja tyyppi
- voiteluaine, sen tyyppi, määrä, kunto, levitystapa sekä lämpötila
- nopeus, jolla pultti kiristetään
- kierteiden välinen kunto
- liitettävien osien reiän puhtaus
- liitettävien osien painekertoimet
- se, onko kierre valmistettu lastuamalla vai valssaamalla. (Bickford, 1995, 221.)

Kun kiristyksessä vallitsevat kitkat pystytään hallitsemaan ja tuntemaan mahdollisimman hyvin, voidaan todennäköisimmin saavuttaa haluttu esikiristysvoima ja tällöin saavutetaan myös luotettava ruuviliitos. (Airila ym.1985a, 266.)

Liian alhainen esikiristysvoima aiheuttaa

- liitospintojen irtoamisen aksiaalkuormituksella
- ruuvien jännitysamplitudin kasvun
- ruuvien väsymisen
- mutterin löystymisen tärinässä
- liitoksen liukumisen leikkauskuormilla. (Airila ym.1985a, 266.)

Vastaavasti taas, liian suuri esikiristysvoima voi johtaa

- Ruuvien löystymiseen plastisten venymien vaikutuksesta, kun ulkoinen vetokuormitus kohdistuu liitokseen.
- Ruuvien staattiseen ylikuormittumiseen, jos ruuvien kohdistuu ulkoinen kuormitus.
- Ruuvien murtumiseen jo kiristyksessä, jos esikiristys on selvästi liian suuri. (Airila ym.1985a, 266.)

Kun tiedetään kierteessä ja ruuvien kannan alla vaikuttavat kitkat voidaan saavutettava esikiristysvoima (F_M) laskea seuraavasti:

$$F_M = \frac{M_A \cdot 2}{1,155 \cdot \mu_G \cdot d_2 + \mu_k \cdot D_{km} + \frac{P}{\pi}} \quad \text{Kaava (1)}$$

missä,

μ_G on kierteen kitkakerroin

μ_k on kannan kitkakerroin

M_A on kiristysmomentti

P on kierteen nousu

d_2 on kierteen kylkihalkaisija

D_{km} on kantopinnan keskihalkaisija

$$D_{km} = \frac{d_k + D_B}{2}$$

d_k = Ruuvin kannan halkaisija

D_B = Vapaareiän halkaisija. (Airila ym.1985a, 266, 272-274.)

Oikea ja tarkka esikiristysvoima tekee myös liitoksesta kevyemmän ja halvemmän. Toisaalta mitä tarkempia menetelmät sen saavuttamiseksi ovat sitä kalliimmaksikin ne tulevat. Tämän johdosta on monesti syytä tarkastella myös taloudelliselta kannalta kuinka tarkka esikiristysvoima vaaditaan ja valita kiristysmenetelmä sen mukaisesti. (Airila ym.1985a, 266, 272-274.)

2.4 Ruuviliitosten jännitykset kiristyksessä

Ruuviliitos voidaan kiristää kahdella eritavalla:

- kiertämällä mutteria vääntömomentin avulla ruuvien suhteen
- venyttämällä ruuvia niin paljon, että saavutetaan vaadittu esikiristys.

(Airila ym.1985a, 267.)

Kiertämällä mutteria vääntömomentin avulla ruuvien suhteen ruuviin kohdistuu vääntöleikkausjännitystä sekä vetojännitystä. Venyttämällä ruuvia halutun esikiristysvoiman saavuttamiseksi ruuviin kohdistuu vain puhdas vetokuormitus. Vääntöleikkausjännitys johtuu nousukulmasta ja kierteen kitkasta. Testi tilanteessa ruuvia siis kuormittaa vetojännitys ja vääntöjännitys.

Kiristyksestä aiheutuvan vetojännityksen vuoksi ruuvi siis venyy, ruuvien venymä voidaan laskea. (Airila ym.1985a, 267.) Airilan teoksessa esitetty laskenta tapa poikkeaa hieman Metsolla käytetyn VDI2230:n mukaisesta tavasta. Seuraavaksi esitellään ruuvien venymän (Δl_{sv}) laskenta VDI2230:n mukaisesti:

$$\Delta l_{sv} = F_M \cdot \delta_s$$

Kaava (2)

missä,

F_M on esikiristysvoima

$$\delta_s = \delta_k + \delta_1 + \delta_3 + \delta_{gm}$$

$$\delta_k = \frac{0,4 \cdot d}{(E_s \cdot A_n)}$$

d on nimellishalkaisija

E_s on ruuvimateriaalin kimmokerroin

$$A_n = \frac{\pi \cdot l_1^2}{4}$$

$$\delta_1 = \frac{l_1}{(E_s \cdot A_n)}$$

l_1 on mitta: kanta - kierteen alku

$$\delta_3 = \frac{l_3}{(E_s \cdot Ad_3)}$$

Ad_3 on minimipoikkileikkausala

$$Ad_3 = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4}$$

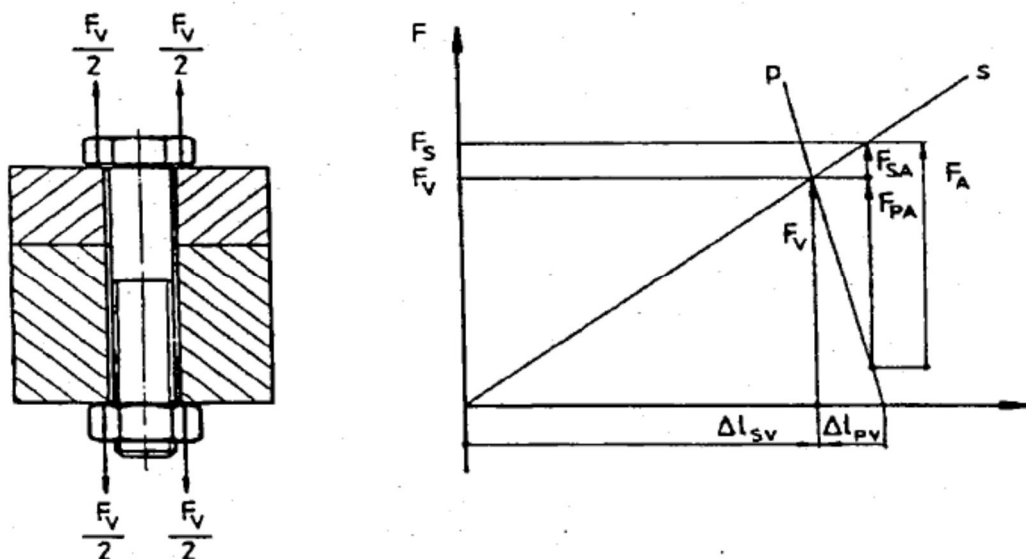
l_3 on mitta: kierteen alku - liitososa

$$\delta_{gm} = \frac{0,5 \cdot d}{(E_s \cdot Ad_3)} + \frac{0,4 \cdot d}{(E_s \cdot A_n)}$$

(Ruuvinlaskenta VDI2230:n mukaan. n.d.)

Koneenrakennuksessa liitosta voi kuormittaa myös liitettävien kappaleiden mahdollisesti aiheuttama leikkausvoima. Leikkausvoima pyritään kuitenkin minimoimaan aina rakentamalla liitos niin että leikkausvoima siirtyy kappaleesta toiseen ruuvin aksiaalivoiman aiheuttaman kitkavoiman avulla. Kun ulkoista leikkausvoimaa ei liitoksessa ole, on tällaisen staattisen ruuviliitoksen kantokyvyn kannalta tärkein ruuvin ominaisuus sen vetolujuus. (Airila ym. 1985a, 225.) Seuraavassa kuviossa näkyy vetojännityksen kohdistuminen yksinkertaisessa ruuviliitoksessa, sekä liitoksen voima-venymä-piirros. Voima-venymä-piirroksessa nähdään esikiristysvoiman (F_M) ja ruuvivenymän (Δl_{sv}) vaikutus ruuvin voima-venymä-käyrään (s) sekä alustan voima-venymä-

käyrään (p). Kuviossa 5 esitetty voima-venymä-piirros esittää lineaarisesti käyttäytyvää symmetristä ruuviliitosta.



KUVIO 5. Vetojännityksen kohdistuminen ruuviliitoksessa sekä liitoksen voima-venymä-piirros (Airila ym. 1985a, 225)

Staattisessa vetokuormituksessa oleva liitos voi vaurioitua seuraavilla tavoilla:

- vetojännityksen ylitettyä murtolujuus, ruuvi murtuu
- kierre leikkautuu irti ruuvista
- mutterin kierre leikkautuu irti mutterista. (Airila ym.1985a, 199–225.)

Jos kummankaan kierre ei leikkaudu irti ja näin ollen siirtävät aksiaalivoiman ruuvista mutteriin, murtuu ruuvi poikki, ellei kanta irtoa ennen tätä varresta. Kannan irtoaminen on yleensä mahdollista vain sellaisilla ruuveilla, joiden kannan sisäpuolella on upotettu kiristystyökalun kiinnityspinta. Kiristettäessä ruuvia vääntömomentin avulla kohdistuu siihen kierteenkitkan aiheuttama leikkauksjännitys, joka alentaa ruuvin aksiaalista vetomurtokuormaa 15 – 20 %. Väännettäessä mutteri laajenee enemmän kuin pelkästään vedettäessä, tästä seuraa, että leikkauksmurtokuorma pienenee 10 – 15 %. (Airila ym.1985a, 199–225.)

Jos liitosta kuitenkin kuormittaa myös ulkoinen leikkausvoima, puhutaan väsyttävän aksiaalikuormituksen alaisesta liitoksesta. Silloin on tärkeää, että staattisen vetolujuuden lisäksi ruuvin dynaaminen vetolujuus on riittävän suuri. (Airila ym.1985a, 199–225.)

Ruuvien väsymislujuuteen vaikuttavat pääkohdat:

- ruuvi- ja mutterimateriaali
- valmistus- ja kiristystapa
- ruuvin ja mutterin konstruktiivinen muotoilu
- pinnanlaatu
- liitettävien osien konstruktio
- kuormitustapa ja ympäristö. (Airila ym.1985a, 199–225.)

Ruuvien lujuusominaisuuksia voidaan tarkastella tarkemmin taulukosta 1 sivulla 10.

2.5 Ruuviliitoksen asettuminen

Kun ruuviliitos kiristetään tietyllä momentilla, saavutetaan liitoksessa jokin esikiristysvoima. Luotettava ruuviliitos edellyttää ainakin näiden kahden tiedon hallintaa. Tulee kuitenkin tietää, että ruuviliitos asettuu vielä hieman kiristyksen jälkeen. Asettuminen tarkoittaa, että ruuviliitosten osissa tapahtuu plastista muodonmuutosta ja virumista. Myös pintojen tasoittuminen lisää liitoksen asettumista. Käytännössä tämä tarkoittaa siis sitä, että kiristyksellä saavutetaan jokin tietty esikiristysvoima mutta ruuviliitoksen asettumisen johdosta esikiristysvoima laskee hieman saavutetusta huipusta. Asettumisen määrää voidaan pienentää tai sen vaikutusta vähentää eri tavoin. Tärkeä asia on, että ruuvin pienimmän poikkileikkauksen vetojännitystä ei saa päästää yli sen myötörajan kuormituksenkaan aikana. Toinen vaikuttava asia on, että ruuvin ja mutterin alustojen pintapaine ei saa ylittää niiden materiaalien rajapintapainetta. Mitä joustavampi ruuvi siis on ja mitä paremmin liitos on mitoitettu, sitä vähemmän ruuviliitoksessa saavutettu esikiristysvoima asettuu. (Airila ym.1985a, 277–283.)

Esikiristuksen asettuminen saadaan selville testissä paineanturilla samoin kuin esikiristysvoimakkin, siis asettuminen voidaan havaita suoraan painekäyrän laskuna. Anturin antamaa tulosta verrataan testissä VDI:n laskennalliseen arvoon. VDI:n mukaisesti esikiristysvoiman asettuminen (F_z) saadaan selville seuraavalla tavalla:

$$F_z = F_k \cdot \left(\frac{1}{\delta_s + \delta_p} \right) \quad \text{Kaava (3)}$$

missä,

$$F_k = 3,29 \cdot \left(\frac{l_k}{d} \right)^{0,34 \cdot 0,001}$$

δ_s katso kaava (2)

δ_p on liitososien puristuma

$$\delta_p = \frac{l_k}{(aers \cdot E_p)}$$

aers on kerroin joka määräytyy ruuvin kannanhalkaisijan suhteesta reiän reunaetäisyyteen

(Ruuvinlaskenta VDI2230:n mukaan. n.d.)

2.6 Ruuvien pintakäsittely ja korroosio

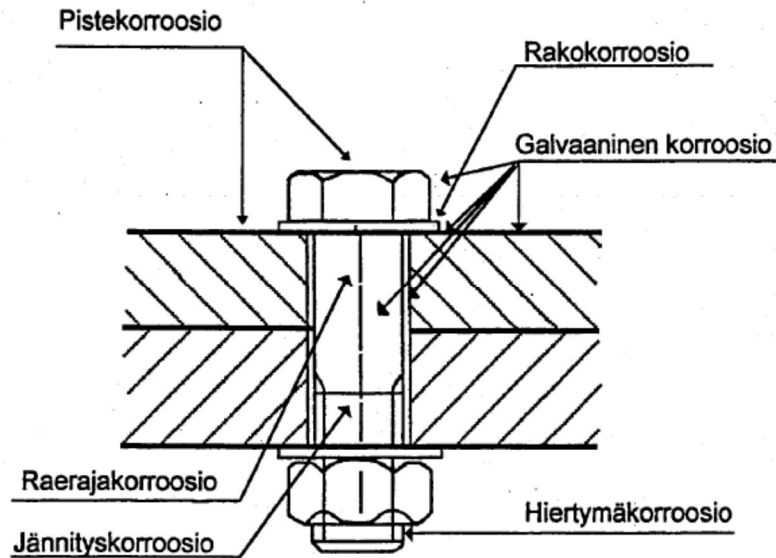
Ruuvien pintakäsittely valitaan käyttökohteen ja tarvittavien vaatimusten mukaan. Ruuvien pintakäsittelyllä voidaan vaikuttaa niiden seuraaviin ominaisuuksiin:

- ulkonäkö
- korroosionkestävyys
- luotettavuus
- väsymislujuus
- kierteen kitka. (Airila ym.1985a, 191–198.)

Pintakäsittelymenetelmiä on monia, yleisimmät ja ruuvien korroosion kestävyttä lisäävät menetelmät ovat

- sähkösinkitys
- sähkösinkitys ja passivointi
- kuumasinkitys
- kromaus
- niklaus. (Airila ym.1985a, 191–198.)

Suosituimmat ruuvien valmistusmateriaalit ovat hiiliteräs ja niukkaseosteiset teräkset. Yleensä näistä materiaaleista tehdyt ruuvit päällystetään ruuvin käyttökohteen vaatimuksia parhaiten vastaavalla menetelmällä. Aina päällystetyn teräsruvvin ominaisuudet eivät kuitenkaan riitä vastaamaan ympäristön aiheuttamia vaatimuksia, silloin on käytettävä kalliimpia vaihtoehtoja. Yleisimmät tällaisissa tilanteissa ovat ruostumattomasta tai haponkestävästä teräksestä valmistetut ruuvit. Näiden korroosionkestävyys on erittäin hyvä, mutta olosuhteiden on pysyttävä hapettavina koko ajan kestävyuden säilymiseksi. Haponkestävien ja ruostumattomasta teräksestä valmistettujen ruuvien korroosionkestävyys perustuu siihen, että hapettavien olosuhteiden avulla niiden pinnalle syntyy ohut oksidikerros, joka estää korroosion siirtymisen pinnanläpi. Nämä materiaalit ovat kuitenkin huomattavasti kalliimpia, joten ruuvimateriaaleja valittaessa on syytä tietää tarkalleen vaadittavat ominaisuudet. On turha maksaa ylimääräistä, jos käyttöympäristö ei vaadi kalliin materiaalin ominaisuuksia. Kuviossa 6 on nähtävissä ruuviliitoksessa mahdollisesti ilmeneviä korroosio-
muotoja. (Airila ym.1985a, 191–198.)



KUVIO 6. Ruuviliitoksessa mahdollisesti ilmeneviä eri korroosimuotoja (Järvelä, 1997,30)

Ruuvien tulisi olla yhtä korroosion kestävä kuin muu konstruktio, jonka liittämiseen ruuvia käytetään. Konstruktion kaikkien osien tulisi olla ympäristöään korroosion kestävämpää. Ruuvimateriaali ei saisi olla ympäristöään epäjalompi, sillä näin ollessa ruuvi toimii uhrautuvana anodina ja saattaa menettää kantokykynsä korroosion vuoksi nopeastikin. Tilastojen mukaan 80 % ruuvivaurioista johtuu korroosiosta, tämän vuoksi ruuvien valinnassa tulisi käyttää erityistä huomiota ruuvien korroosion kestävyteen. Ruuvien korroosionkestävyyden lisäämiseen on kaksi pääkeinoa: pintakäsittely tai ruuvimateriaalin parantaminen. (Airila ym.1985a, 191–198.)

2.7 Voiteluaineet

Ruuviliitoksessa voiteluaineen pääasiallinen tehtävä on liitoksen kiinnileikkautumisen estäminen. Voiteluaineella pyritään myös luomaan liitoksessa vallitseva kitka oikeanlaiseksi ja hallituksi. Voitelulla pyritään estämään myös liitososien kuluminen. (Kivioja, Kivivuori & Salonen, 2004, 131.) Hyvä voiteluaine ei silti aina takaa tehokasta voitelua, sillä voiteluun vaikuttaa myös kosketukseen joutuvien materiaalien ominaisuudet, kosketuksen muoto, pintojen

karheus, liikkeen nopeus, kuorma ja lämpötila. Lisäksi monet eri ympäristökijät vaikuttavat voitelun toimintaan. (Airila ym.1985b, 237.)

Kierrelitoksen voiteluaineelta vaaditaan seuraavia ominaisuuksia:

- Sen tulisi estää eri materiaaliparien ja ympäristön vaikutuksen korroosion syntymiseen.
- Voiteluaineen tulisi estää ruuviliitoksen kiinnileikkautuminen, pitkiäkin aikoja.
- Sillä tulisi olla hallittavissa oleva kitkakerroin, kitkakertoimen tulisi myös olla sellainen, että esikiristys säilyy riittävänä.
- Sen tulisi olla ympäristö- ja käyttäjäystävällinen, eikä se saisi olla myrkyllinen käyttäjälle.
- Voiteluaineen saatavuuden tulisi olla helppoa kaikkialla maailmassa.
- Käytössä sen tulisi olla helposti puhdistettavissa. (Järvelä, 1997,33.)

3 ESIKIRISTYSVOIMA- JA VENYMÄMITTAUKSET

3.1 Lähtötilanne

Tehtävänä oli siis selvittää valituille voiteluaineille kitkakertoimet eri liitosmateriaaleilla, sekä tutkia voiteluaineiden käytettävyyttä. Näiden tietojen sekä käytössä olevan ja uusien ehdokkaiden vertailun perusteella tuli tehdä päätös voidaanko voiteluaine vaihtaa.

Rautpohjassa on aiemminkin testattu ja selvitetty käytettävien kierrevoiteluaineiden kitkakertoimia eri ruuveille ja ruuviliitoksille. Aiemmin esille nousseessa Järvelän vuonna 1997 tehdyssä diplomityössä perehdytään pääasiassa haponkestäviin ruuveihin. Vuonna 2001 Rautpohjassa tehdyssä toisessa testissä määritettiin myös käytössä olleiden kierrevoiteluaineiden kitkakertoimia, tässä testissä käytettiin teräsruuveja. Työssäni käytettiin vain Järvelän työtä lähtee-

nä, toisen testin toteutustapa sekä voiteluaineet poikkesivat niin paljon tässä työssä käytetyistä, että testin tuloksia päätettiin olla käyttämättä apuna.

Kierrevoiteluaineiden kitkakertoimien määrittäminen nousi jälleen esille, koska Rautpohjassa pyritään nyt siirtymään tilanteeseen, jossa yksi toimittaja toimittaisi kaikki käytettävät kemikaalit. Würthin kemikaaleja käytetään laajasti tehtaissa muissa toiminnoissa, ja se on myös maailmanlaajuinen kemikaalien toimittaja, joten Würthin kierrevoiteluaineen käyttö takaisi aineen helpon saatavuuden myös ulkomailla sijaitsevilla työmailla. Ruuviliitosten kiinnileikkautumisen estämisessä käytetään siis kuitenkin vielä vanhan toimittajan kierrevoiteluainetta. Ruuviliitoksen voiteluainetta ei voida vaihtaa tietämättä uuden aineen ominaisuuksia ja vaikutusta ruuviliitoksen luotettavuuteen.

Rautpohjan laatuosastolla on kehitetty laite, jolla saadaan selville ruuviliitokseen kohdistuva esikiristysvoima paine-anturin avulla. Tätä laitetta päätettiin käyttää Würthin kierrevoiteluaineiden ominaisuuksien selvittämiseksi. Aiemmissa testeissä oli mitattu liitoksessa vallitseva esikiristysvoima voimaantureilla. Paine-anturin avulla voitiin nyt myös tarkastella ruuviliitoksen asettumista esikiristysshuipun jälkeen.

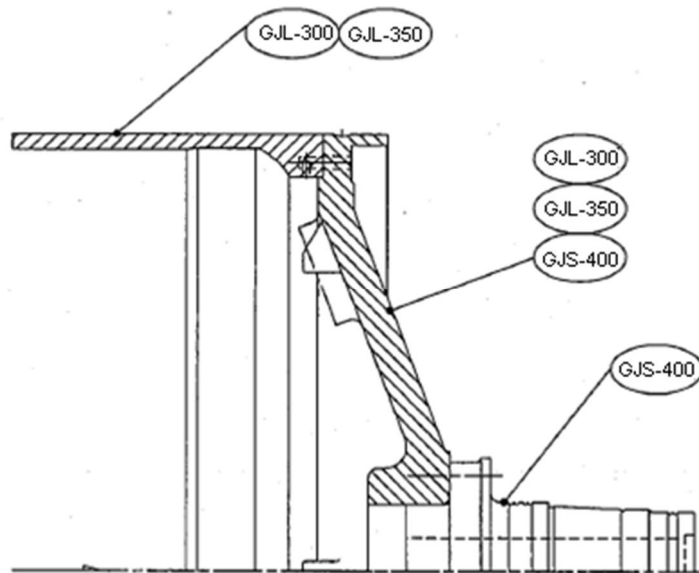
3.2 Testissä käytetyt ruuvit ja materiaalit

3.2.1 Ruuvit

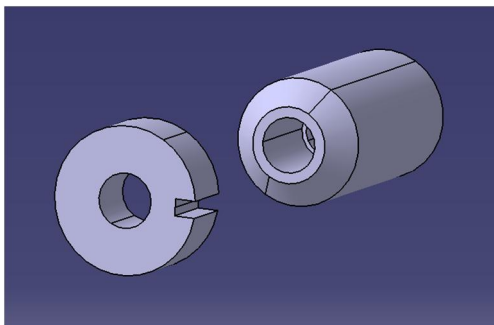
Testissä käytettiin M24 8.8-ruuveja, joiden pituus oli 215 mm. Ruuvien kierteet oli valmistettu lastuamalla. Normaalisti Rautpohjassa käytetään muovaamalla valmistettuja ruuveja. Tulee siis huomioida, että lastuamalla valmistetun kierteen pinta on tasaisempi kuin muovatuksi, sillä voi olla vaikutusta aiheutuvaan kitkaan.

3.2.2 Liitospinnat

Testissä vastakierteen ja ruuvin kannan alle tulevien kappaleiden materiaalit valittiin samoiksi kuin kuivatussylinterien vaippojen, päätyjen sekä akselien materiaalit ovat. Vaipat, päädyt ja akselit valmistetaan mallista riippuen suomugrafiittivaluraudasta GJL tai pallografiittivaluraudasta GJS. Molemmilla valuraidoilla on monia eri materiaalilaatuja. Testissä käytetyt materiaalit olivat GJL-350 sekä GJS-400. Kuviossa 7 on esitelty kuivatussylinterin eri osien materiaalit ja materiaalivaihtoehdot. Kuviossa 8 nähdään taas testissä käytetyt liitospintoina toimivat kappaleet.



KUVIO 7. Kuivatussylinterin eri osien materiaalit (Järvelä, J. 1997,54, muokattu)



KUVIO 8. Liitospintoina toimivat kappaleet

3.2.3 Suomugrafiittivalurauta

GJL eli suomugrafiittivalurauta on tonnimääräisesti käytetyin valurauta. Tämän myös harmaaksi valuraudaksi kutsutun rauta-hiiliseoksen osuus on kuitenkin pienentynyt muiden valurautojen, kuten GJS:n ja ADI:n, suosion kasvun vuoksi. GJL:n rakenteessa hiili esiintyy suomumaisina grafiittierkautumina metallisessa perusmassassa. Se on vaimennuskyvyltään GJS:ää parempaa, mutta taas lujuudeltaan heikompaa. Suomugrafiittivaluraudan valuominaisuudet ovat erinomaiset, ja se on halpa ja helposti työstettävä materiaali. Edullisuus ja helppo valettavuus ovat pääsyyt GJL:n suosioon varsinkin staattisen rasituksen kohteissa. (Kivioja ym. 2004, 193–194.) Testeissä käytetyn GJL-350 ominaisuudet standardin SFS-EN 1561:n mukaisesti ovat taulukossa 2.

TAULUKKO 2. GJL-350-valuraudan ominaisuuksia (SFS-EN 1561, 1998, 20)

Laatu	Murtolujuus [N/mm ²]	0,1% venymisraja [N/mm ²]	Murtovenymä [%]
EN-GJL-350	350...450	228...285	0,8...0,3

Suomugrafiittivaluraudat ovat tavallisesti koostumukseltaan melko lähellä eutektista seosta, ne eivät siis ole täysin puhtaita rauta-hiiliseoksia. Suomugrafiittivaluraudat sisältävät myös muita ainesosia kuten piitä. (Raaka-aine käsikirja 2, valuraudat ja valuteräkset. 2001, 60.) Taulukosta 3 nähdään GJL-350-valuraudan hiili-, pii- ja hiilikvalenttipitoisuuksia.

TAULUKKO 3. GJL-350-valuraudan hiili-, pii- ja hiilikvalenttipitoisuuksia (Raaka-aine käsikirja 2, valuraudat ja valuteräkset. 2001,60, muokattu)

Lujuusluokka	Hiili C %	Pii Si %	Hiilikvivalentti CE %
350 Mpa	2,9	1,4	3,4

3.2.4 Pallografiittivalurauta

Toisena materiaalina vastapainnoissa käytetään GJS-valurautaa eli pallografiittivalurautaa. GJS syntyy, kun erkaantuvan grafiitin muotoa muutetaan erikoiskäsittelyllä pallomaiseksi sulan valuraudan ollessa jähmettymisvaiheessa. Pallomainen grafiitin muoto parantaa raudan lujuusarvoja valuominaisuuksien silti heikentymättä. GJS on suosittu materiaali staattisen ja dynaamisen kuormituksen sovelluksissa. Tämä johtuu materiaalin tyydyttävästä iskusitkeydestä ja venymästä sekä korkeasta myötörajusta ja murtolujuudesta. GJS:n lujuusominaisuuksia voidaan erikoistilanteissa parantaa normaaleista lämpökäsittelmällä. Lujuudestaan huolimatta GJS:llä on hyvä työstettävyys, myös sen kulumkestävyys ja korroosion kestävyys ovat syynä sen kasvavaan suosioon verrattuna GJL:ään. (Kivioja ym. 2004, 195–196.) Testeissä käytettiin GJS-400–18-valurautaa, jonka ominaisuudet standardin SFS-EN 1563+A1+A2:n mukaan on esitelty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. GJS-400–18-valuraudan ominaisuuksia (SFS-EN 1563+A1+A2, 2006, 38)

Laatu	Murtolujuus [N/mm ²]	0,1% venymisraja [N/mm ²]	Murtovenymä [%]
EN-GJS-400–18	400	240	18

Yleensä pallografiittivaluraudat ovat eutektisia tai hieman ylieutektisia seoksia. Pallografiittivaluraudat sisältävät rauta–hiiliseoksen lisäksi piitä, mangaania, rikkiä ja fosforia. Näiden määrään vaikuttaa valetun materiaalin seinämän paksuus. (Raaka-aine käsikirja 2, valuraudat ja valuteräkset. 2001, 101.) Taulukko 5 kertoo testeissä käytettävän pallografiittivaluraudan kemiallisesta koostumuksesta.

TAULUKKO 5. GJS-400-valuraudan hiili-, pii- ja mangaanipitoisuuksia (MET 2001, 103, muokattu)

Lujuusluokka ja seinämänpaksuus	Hiili C %	Pii Si %	Mangaani Mn maks.
400 Mpa/ 25-50mm	3,5...3,6	2,2...2,4	0,30

3.3 Valitut voiteluaineet

Testattavat voiteluaineet valittiin valmistajan suosituksesta. Päätettiin testata vain Würthin tuotevalikoimasta löytyviä voiteluaineita, sillä oli toiveena löytää sopiva aine tältä valmistajalta. Lisäksi Järvelän diplomityössä vuonna 1997 testattiin muiden valmistajien tuotteita, joten niiden ominaisuuksista oli jo hie-
man tietoa. Würthin voiteluaineiden lisäksi testi suoritettiin tällä hetkellä käy-
tössä olevalla Hirange-voiteluaineella. Testattavat kierrevoiteluaineet olivat seuraavat:

Hirange kierrepasta

- joka on synteettinen
- estää kierteissä kiinnileikkautumista
- suojaa ruosteelta ja korroosiolta
- olomuoto on tahnamainen
- on väriltään harmaa. (Hi Range kiinnileikkautumisen estoaine. 2008.)

Kuviossa 9 ruuvinkierre sekä kannan alusmateriaali on voideltu Hirangella.



KUVIO 9. Kierre ja kannan alle tuleva materiaali voideltu Hirangella

Würth CU-800 kuparipasta

- estää kierteissä kiinnileikkautumista
- sen lämmönkesto on +1200 °C
- on olomuodoltaan tahnamainen
- suojaa ruostumiselta
- sen leimahduspiste on >220°C
- viskositeetti on > 7mm²/s (40°C)
- väriltään se on kuparin värinen. (Kiinnileikkautumisen estoaineet. 2004.)

Kuviossa 10 osat on voideltu Würthin CU-800 kuparipastalla.



KUVIO 10. Kierre ja kannan alle tuleva materiaali voideltu CU-800:lla

Würth HSP 1400 voiteluspray,

- on erinomaisesti voiteleva, notkea ja tarraava metalliton pasta
- vähentää liukumisen vaatimaa voimaa
- pienentää huomattavasti kitkaa
- sen lämmönkesto on -40°C...+1400°C
- olomuodoltaan se on aerosoli
- suojaa korroosiolta
- ei sotke
- leimahduspiste on < 0°C
- väriltään valkoinen. (Kiinnileikkautumisen estoaineet. 2004.)

Kuviossa 11 nähdään karkaistu aluslaatta, joka on voideltu HSP 1400 voitelusprayllä.



KUVIO 11. Aluslaatta voideltu HSP1400:lla

3.4 Testissä käytetyt laitteet ja niiden kalibrointi

3.4.1 Käytetyt välineet

Testitilanteessa ruuviliitos kiristettiin käsin momenttivääntimellä. Vääntimen varren on oltava tarpeeksi pitkä, jolloin kiristäminen ei vaadi vääntäjältä kohtuuttoman suurta voimaa, ja näin kiristysten hallinta on helpompaa. Hallitulla kiristyksellä saadaan minimoitua vääntäjästä mahdollisesti aiheutuvat erot kiristysmomenttiin eri kiristyksillä. Kiristyksen aiheuttama paine testilaitteeseen saatiin selville paine-anturilla, joka mittaa ja piirtää dataa vallitsevasta paineesta tietokoneelle. Käytettyjen ruuvien vapaapituus mitattiin ennen kiristyksiä sekä jokaisen kiristyksen välissä pituudenmittauslaitteella. Ruuvien venymä saatiin selville mitattaessa ruuviliitoksen ollessa kireällä. Mittaus tehtiin mikrometrillä.

3.4.2 Kalibrointijärjestelmä

Rautpohjassa on käytössä standardoitu ISO-9001:n mukainen kalibrointijärjestelmä, jonka piiriin kaikki mittalaitteet kuuluvat. Järjestelmä sisältää myös

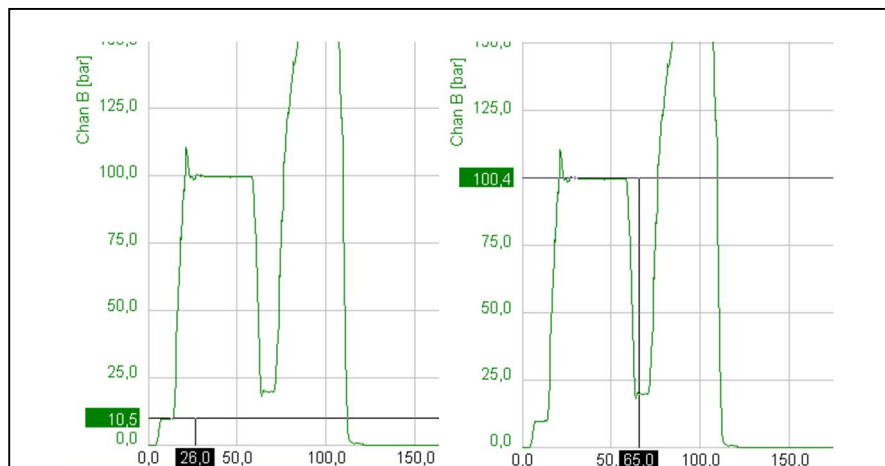
kaikkien siihen kuuluvien mittalaitteiden kalibrointiohjeet. Testissä käytetyt mittalaitteet tarkastettiin ennen testien aloittamista ohjeiden mukaisesti. Järjestelmän määrittämistä kalibrointiväleistä ei siis välitetty vaan varmistettiin laitteen luotettavuus edellisestä kalibrointiajankohdasta huolimatta.

3.4.3 Välineiden kalibrointi

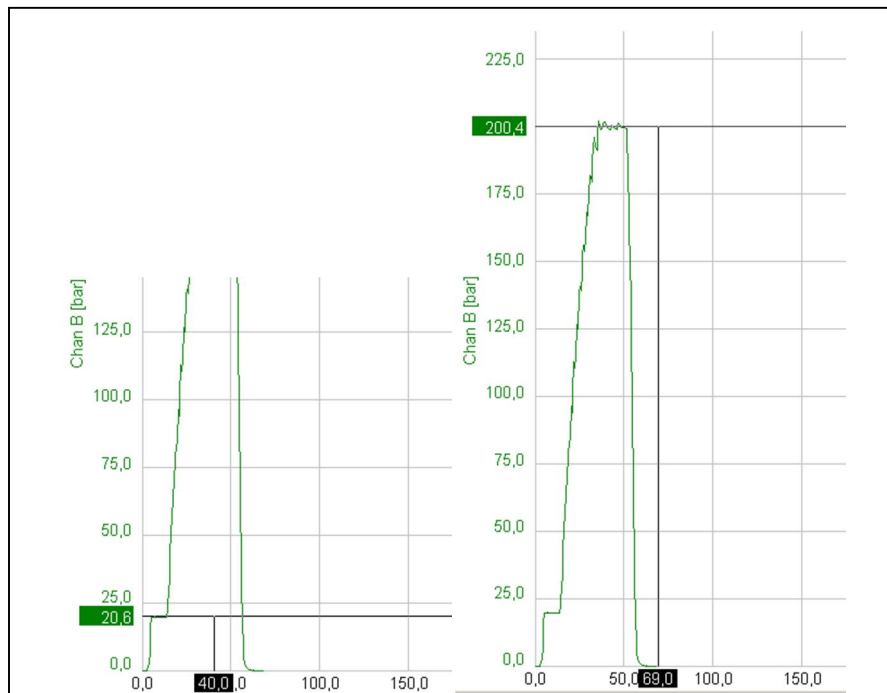
Kaikki välineet kalibroidiin Rautpohjan kalibrointihuoneessa, kukin väline oman kalibrointiohjeensa mukaisesti.

Paineanturi Hydac electronic HMG 0-250 bar tarkastettiin lisäämällä painetta testipenkkiin, jonka sylinterin aiheuttamaa painetta paineanturi mittaa. Painetta lisättiin painemittarien tarkastuslaitteella BUDENBERG U789000060. Periaatteessa siis paineanturi tarkastettiin kalibrointiohjeen KAL047 mukaisesti.

Tarkastuksessa painetta välitettiin testipenkkiin 10,20,100 ja 200 bar:a. Kuvioissa 12 ja 13 nähdään paineanturin näyttämät eri paineistuskertoilla (vihreä laatikko).



KUVIO 12. Paineanturin näyttämät kun testipenkkiä paineistettiin 10:llä ja 100 bar:lla



KUVIO 13. Paineanturin näyttämät kun testipenkkiä paineistettiin 20:llä ja 200 bar:lla

Paineanturi on määritelty kestävänsä 250 bar:n paine. 200 bar:n kohdalla testipenkissä oli havaittavissa pientä vuotoa. Testien tuloksien perusteella voitiin todeta, että paineanturin näyttämä tulos oli luotettava. Testien aikana mahdollisia painehäviöitä tarkkailtiin, mutta minkäänlaisia vuotoja tai muita painehäviöihin viittaavaa ei havaittu, joten voitiin olettaa paineanturin näyttämän pysyneen luotettavana testin ajan.

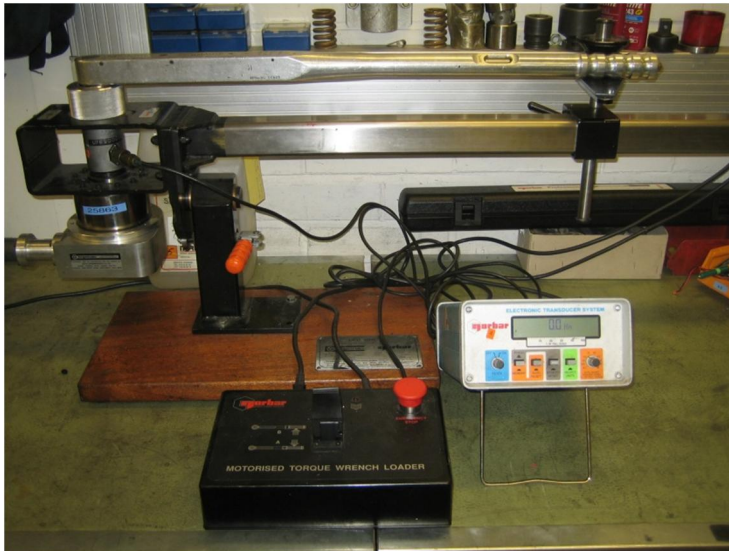
Pituudenmittauslaite, jossa on digitaalinen mittakello U705002419, jonka mittakello tarkastettiin mittakellon tarkastuslaitteella ohjeen KAL033 mukaan. Itse pituudenmittauslaite tarkastettiin mittapaloilla mittakellon ollessa siinä kiinni. Mittapalat tarkistettiin laserinterferometrillä U789000001.

Momenttiväännin Rahsol U622100762 kalibroitiin kalibrointi ohjeen KAL048 mukaan. Momenttiavaimen vääntöalue on 140 - 760 Nm. Ohjeesta poiketen vääntimen näyttämä tarkastettiin monta kertaa testissä käytetyllä momentilla 575 Nm. Taulukossa 6 on esitetty tällä momentilla saavutetut tulokset.

TAULUKKO 6. Momenttiavaimen tarkastus käytetyllä momentilla

Tarkastuskerta	Saavutettu momentti [Nm]
1	571
2	574
3	572
4	574

Ohjeen mukaan tarkastuslaitteen näyttämä ja vääntimeen säädetty momentti saavat poiketa toisistaan $\pm 5\%$. Voitiin siis todeta vääntimellä saavutetun momentin olleen ohjeen mukainen, saavutetun momentin mahdollinen suurin poikkeama -4 Nm tulee mahdollisesti ottaa huomioon tarkasteltaessa testissä saatuja tuloksia. Momenttiavaimen tarkastuslaitteisto nähdään kuviossa 14.



KUVIO 14. Momenttiväännin kalibroitiin ohjeiden mukaisilla välineillä

Mikrometri Mitutoyo U700002309, kalibroitiin kalibrointiohjeen KALO30 mukaisesti. Mikrometrin mittausalue on 200-300mm.

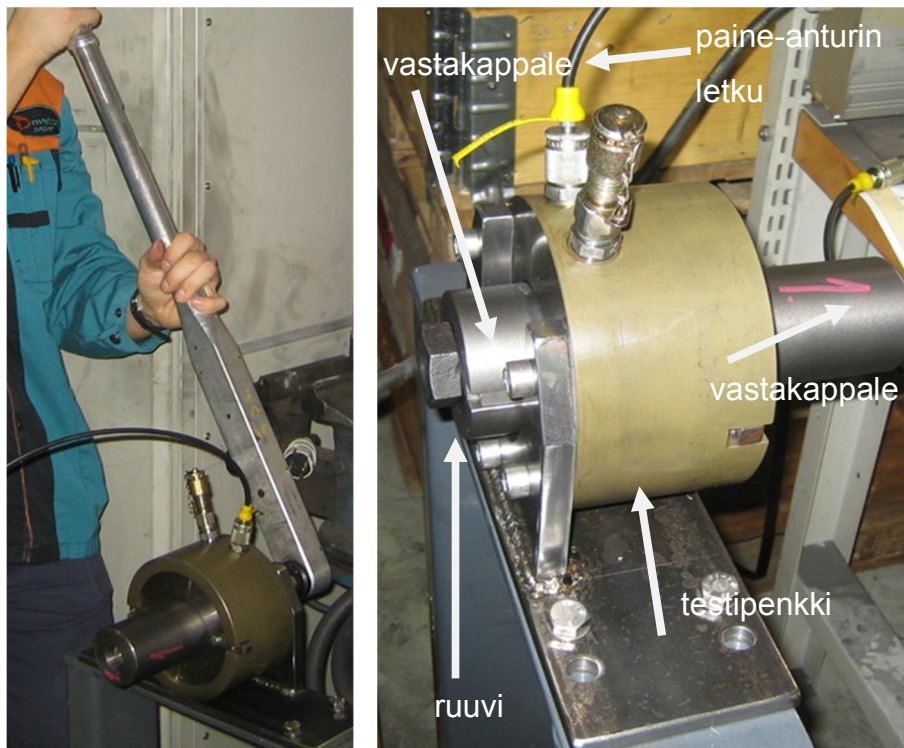
3.5 Testitilanne

3.5.1 Tilanne tuotannossa

Tuotannossa kuivatussylinterien osat kiinnitetään yleisesti vain kerran tai korkeintaan kahdesti. Tuotannossa siis ruuviliitokset kiristetään ns. käyttämättömillä pinoilla. Tämän vuoksi testissä käytettiin jokaiselle ruuville uusia vastamateriaali kappaleita. Testissä saaduissa tuloksissa pääpaino oli ruuvien ensimmäisten kiritysten arvoilla.

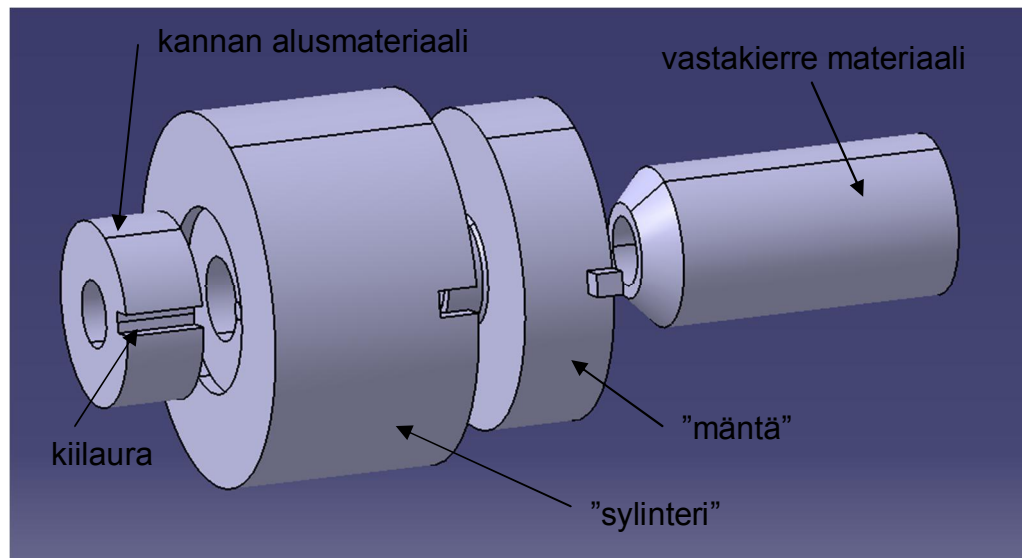
3.5.2 Testilaitte

Testilaitteessa ruuvi kiristetään laitteen läpi. Testilaitte koostuu kahdesta osasta, toinen kappale liikkuu toisen sisällä ruuvia kiristettäessä. Ikään kuin mäntä liikkuisi sylinterin sisällä. Liike on kuitenkin erittäin pientä. Osien välissä on tiivistetty tila, joka on täytetty öljyllä. Paineanturi mittaa ruuvin kiristykseen aiheuttamaa painetta osien välissä. Laitte sekä kiristystilanne nähdään kuviossa 15.



KUVIO 15. Ruuviliitoksen kiristystilanne sekä testilaitteen osien esittely

Kiristettävä ruuvi kulkee siis kannanalusmateriaalipalan ja testilaitteen läpi. Vastakierrekappale toimii mutterina liitokselle. Kannanaluspalan pyöriminen ruuvien mukana kiristettäessä on estetty kiilalla. Vastakierre asettuu tukevasti testilaitetta vasten kartion avulla. Testilaitteen eri osat on esitelty kuviossa 16.



KUVIO 16. Testilaitteen eri osia

3.5.3 Testisuunnitelma

Ensimmäisenä testattiin käytössä olevalla voiteluaineella ja selvitettiin kitkaker-
toimet eri materiaalipareilla. Tuloksia verrattiin aiemmissa testeissä saatuihin,
jos tulokset täsmäsivät, voitiin todeta tämän testin ja aiempien yhtäläisyys.
Seuraavaksi testattiin muut voiteluaineet eri materiaaliparien kanssa. Kaikki
tulokset kirjattiin muistiin, testien aikana tarkkailtiin myös mahdollisia ongelmia
tai poikkeamia.

Hirange-voiteluaine

Testatut materiaaliparit voideltaessa Hirangella olivat

- GJL -kierre – GJL –alusta
- GJS -kierre – GJS –alusta
- GJL -kierre – GJS –alusta.

Jokaisella materiaaliparilla kiristettiin kaksi ruuvia, kumpikin ruuvi kymmenen kertaa. Ruuvien kannat ja kierre rasvattiin jokaisen kiristyksen välissä uudelleen Hirangella.

CU-800-voiteluaine

Materiaaliparit olivat

- GJL -kierre – GJL -alusta
- GJS -kierre – GJS -alusta
- GJL -kierre – GJS -alusta
- GJL – kierre – karkaistu aluslaatta
- GJS – kierre – karkaistu aluslaatta.

Jokaisella materiaaliparilla kiristettiin kaksi ruuvia, kumpikin ruuvi kymmenen kertaa. Ruuvien kannat ja kierre rasvattiin jokaisen kiristyksen välissä uudelleen CU-800:lla.

CU-800- ja HSP 1400-voiteluaineet

Materiaaliparit olivat

- GJL -kierre – karkaistu aluslaatta
- GJS -kierre – karkaistu aluslaatta.

Kierre voideltiin CU-800:lla ja ruuvien kannan alle laitettiin HSP 1400-voiteluainetta. Jokaisella materiaaliparilla kiristettiin kaksi ruuvia, kumpikin ruuvi kymmenen kertaa. Ruuvien kannat ja kierre voideltiin jokaisen kiristyksen välissä uudelleen.

3.6 Mittaukset ja tulokset

Tulokset on esitelty taulukossa 7 ja kuvioissa 18 – 24. Kaikissa kuvioissa tulokset on esitetty ruuvien tulosten keskiarvoilla, eli jokaisella materiaali ja voiteluaine-parilla kahden tai kolmen ruuvien tulosten keskiarvoilla. Raportin tekstissä on esitetty vain osa mittaustuloksista hahmottamisen helpottamiseksi. Loput tulokset ovat liitteissä 1 – 4.

3.6.1 Venymät ja esikiristysvoimat

Jokaisen kiristyksen aikana saavutettu esikiristysvoiman huippu kirjattiin muistiin. Liitoksen ollessa kiristyksen alaisena mitattiin ruuvin pituus ja verrattiin mittaa ruuvin vapaapituuteen eli saatiin selville esikiristyksen aiheuttama ruuvin venymä. Taulukossa 7 on esitelty jokaisella materiaali-voiteluaineyhdistelmällä saavutetut esikiristysvoiman huiput sekä ruuvien venymät. Arvot ovat jokaisen tilanteen kaikkien tulosten keskiarvoja.

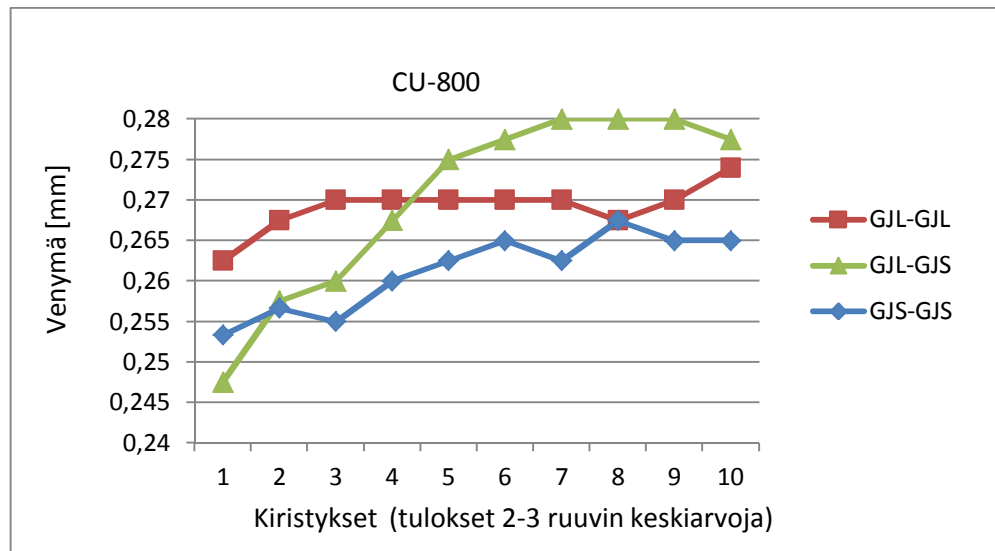
TAULUKKO 7. Ruuviliitoksen venymät ja saavutetut esikiristysvoimat eri materiaali-voiteluaineyhdistelmillä

Voiteluaine	Materiaalipari	GJL-GJL	GJS-GJS	GJL-GJS	Kark. alusl.- GJL	Kark. alusl.- GJS
Hirange	Venymä [mm]	0,24	0,25	0,236		
	Esikiristysvoima [kN]	128,1	136,3	132,2		
CU-800	Venymä [mm]	0,27	0,26	0,27	0,24	0,24
	Esikiristysvoima [kN]	136,1	135,8	138,4	129,2	128,5
CU-800 &	Venymä [mm]				0,25	
HSP 1400	Esikiristysvoima [kN]				136,5	

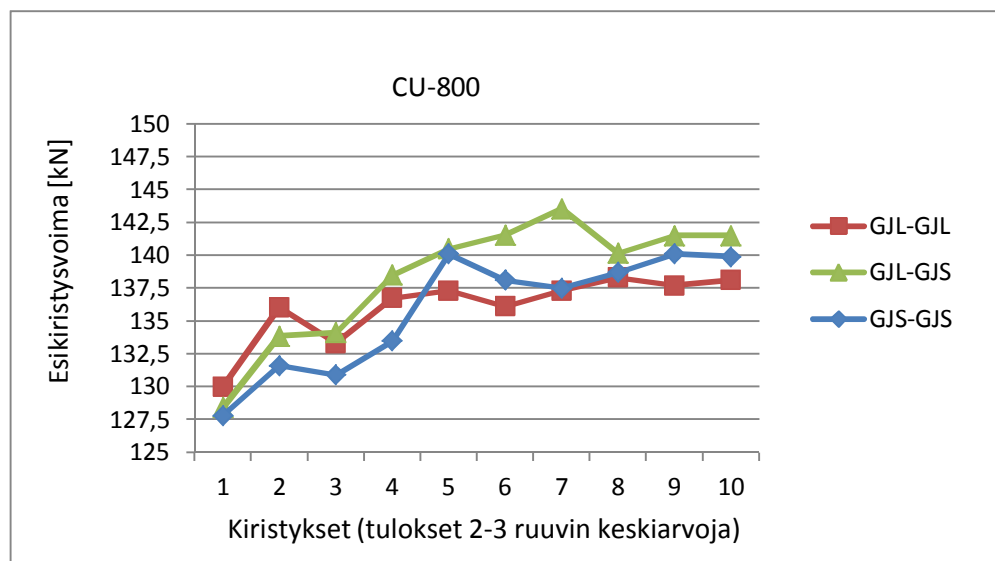
Vertaamalla samalla voiteluaineella saatuja tuloksia eri materiaalipareille voidaan nähdä materiaalin ominaisuuksien vaikutus saavutettavaan esikiristysvoimaan. Jo pelkkien venymien ja esikiristysvoimien perusteella voidaan tehdä joitakin havaintoja.

Hirangella voideltaessa voidaan todeta GJS:n olevan liukkaampi materiaali kuin GJL. Voideltaessa Würthin CU-800:lla päästään paljon tasaisempiin tuloksiin eri materiaali-voiteluaineyhdistelmien välillä verrattuna Hirangella saavutettuihin tuloksiin. Tulee kuitenkin huomioida, että taulukon arvot ovat keskiarvoja ja liitospinnat tasoittuvat kiristysten myötä. Näin niiden vaikuttava kitka muuttuu. Tuloksista on nähtävissä, kuinka voiteluaineet toimivat eri tavoin kiristysten edetessä. Keskiarvotulokset voivat näyttää siis samoilta, mutta tarkastellessa yksittäisiä kiristysten tuloksia voivat voiteluaineille saadut tulokset poiketa paljonkin toisistaan. Ensimmäisellä ja viimeisellä kiristyksellä saavutet-

tavien tulosten ero oli kaikilla voiteluaineilla suuri, joten taulukossa 6 olevia keskiarvotuloksia ei käytetä kitkakertoimia määrittäessä. Kuvioista 17 ja 18 nähdään kiristysten myötä lisääntyvän pintojen tasoittumisen vaikutus venymiin ja esikiristysvoimiin kiristyskertojen mukana.

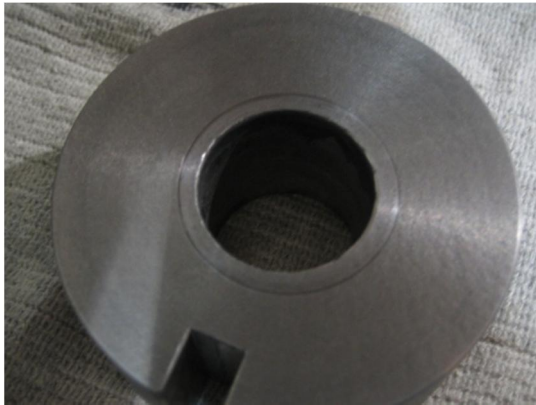


KUVIO 17. CU-800:lla voideltujen ruuvien venymät kasvavat melko selvästi kaikilla materiaalipareilla.



KUVIO 18. CU-800:lla voideltujen liitosten esikiristysvoimat kasvavat myös pintojen tasoittumisen mukana.

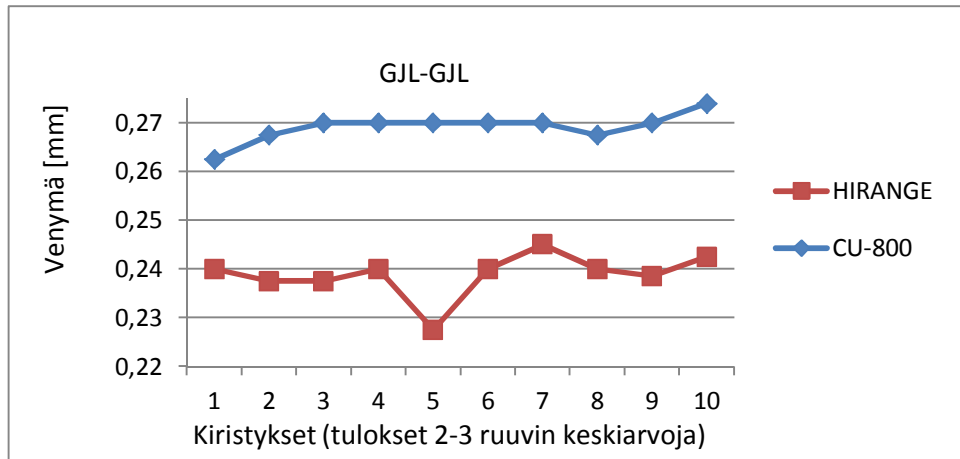
Aluslaattaa käytettäessä ruuvien kanta ei pääse painautumaan alla olevaan materiaaliin, ja näin esikiristystä vastustavat puhtaasti vain kannan ja kierteen kitkat. Ilman aluslaattaa olevissa liitoksissa ruuvien kanta painautui alla olevaan materiaaliin selkeästi. Testitilanteessa ei ollut mahdollista mitata kannan painauma, se olisi kuitenkin antanut lisätarkkuutta tuloksiin. Painaumia tarkkailtiin kuitenkin silmämääräisesti, eli seurattiin, että kanta leikkautuu tasaisesti vastamateriaaliin. Painauma näkyy selkeästi vastamateriaalissa kuviossa 19.



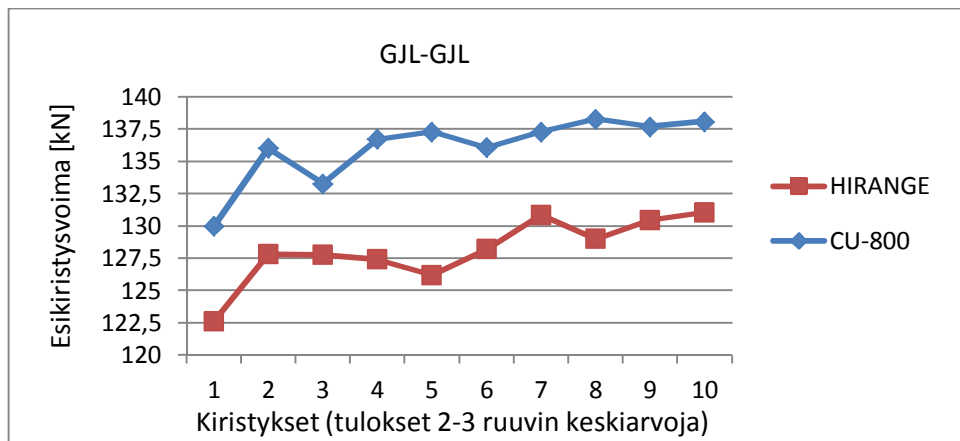
KUVIO 19. Ruuvien kannan painautuminen vastamateriaaliin 10 kiristykseen jälkeen

3.6.2 Voiteluaineiden vertailu

Verrattaessa samalla materiaaliparilla Hirange- ja CU-800-voiteluaineiden vaikutuksia ruuvien venymään sekä liitoksessa saavutettavaan esikiristysvoimaan, huomataan, kuinka suuri vaikutus voiteluaineen ominaisuuksilla on. Pelkästä ruuvien venymästä ja liitoksessa aiheutuvasta esikiristysvoimasta voidaan jo havaita CU-800:n aiheuttavan liitoksen selvästi pienemmän kitkan, varsinkin kun liitosmateriaaleina ovat GJL-GJL. Tämä voidaan havaita myös kuvioista 20 ja 21.

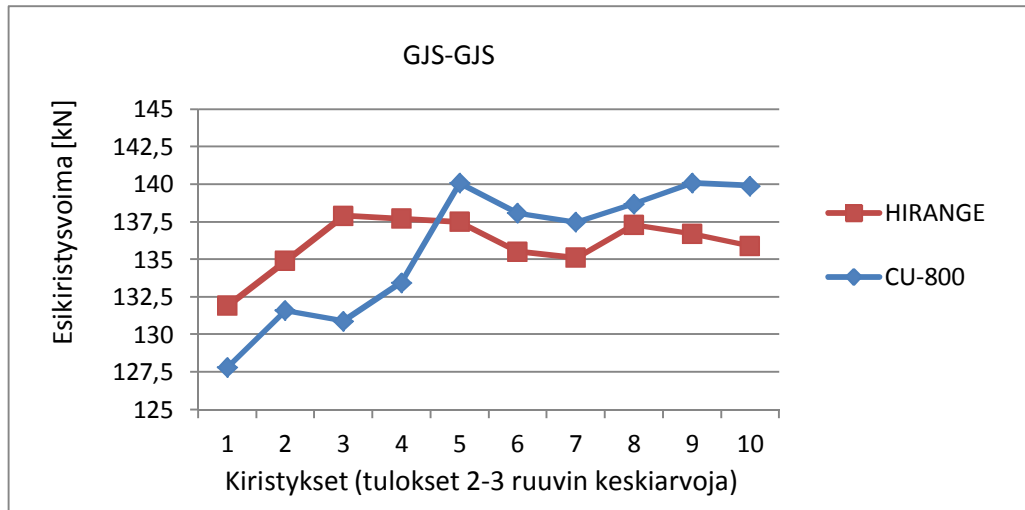


KUVIO 20. Hirangella ja CU-800:lla voideltujen liitosten venymät



KUVIO 21. Hirangella ja CU-800:lla voideltujen GJL-GJL liitosten esikiristysvoimat

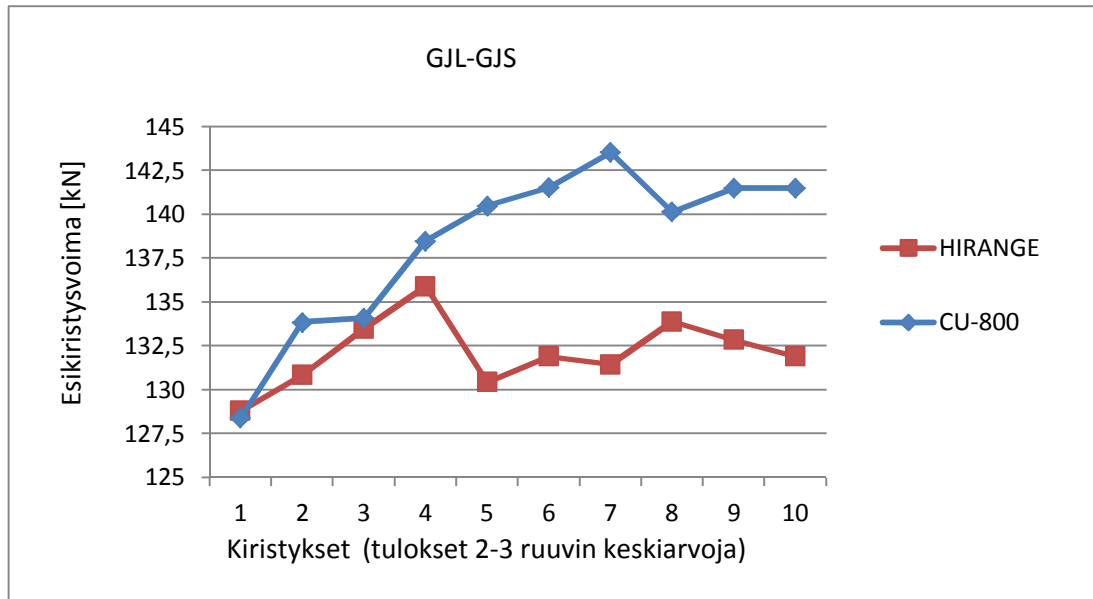
GJS-GJS materiaaliparissa voiteluaineiden erot eivät tule niin selvästi esille, CU-800 vastustaa keskimäärin vähemmän kirstystä kuin Hirange. Kuviosta 22 nähdään kuinka ensimmäisten kirstysten aikana CU-800:lla ei saavuteta yhtä suurta esikiristysvoimaa kuin Hirangella. Pintojen kuluessa tilanne kuitenkin tasoittuu ja lopussa CU-800:lla voideltu liitos saavuttaa suuremman esikiristysvoiman.



KUVIO 22. Hirangella ja CU-800:lla voideltujen GJS-GJS liitosten esikiristysvoimat

GJS-GJS materiaaliparin tuloksia tarkastellessa huomataan selvästi mikä väärinvalinta saadaan tuloksiin jos tarkastellaan ruuvin kaikkien kiristysten keskiarvoja tai vain kahden ensimmäisen kiristysten keskiarvoja. Kuviossa 22 nähdään selvästi CU-800:lla voideltaessa saavutettavan pienempi esikiristysvoima ensimmäisillä kiristyksillä, mutta verrattaessa kaikkien kiristysten keskiarvoja saavutetaan voiteluaineilla melkein sama esikiristysvoima.

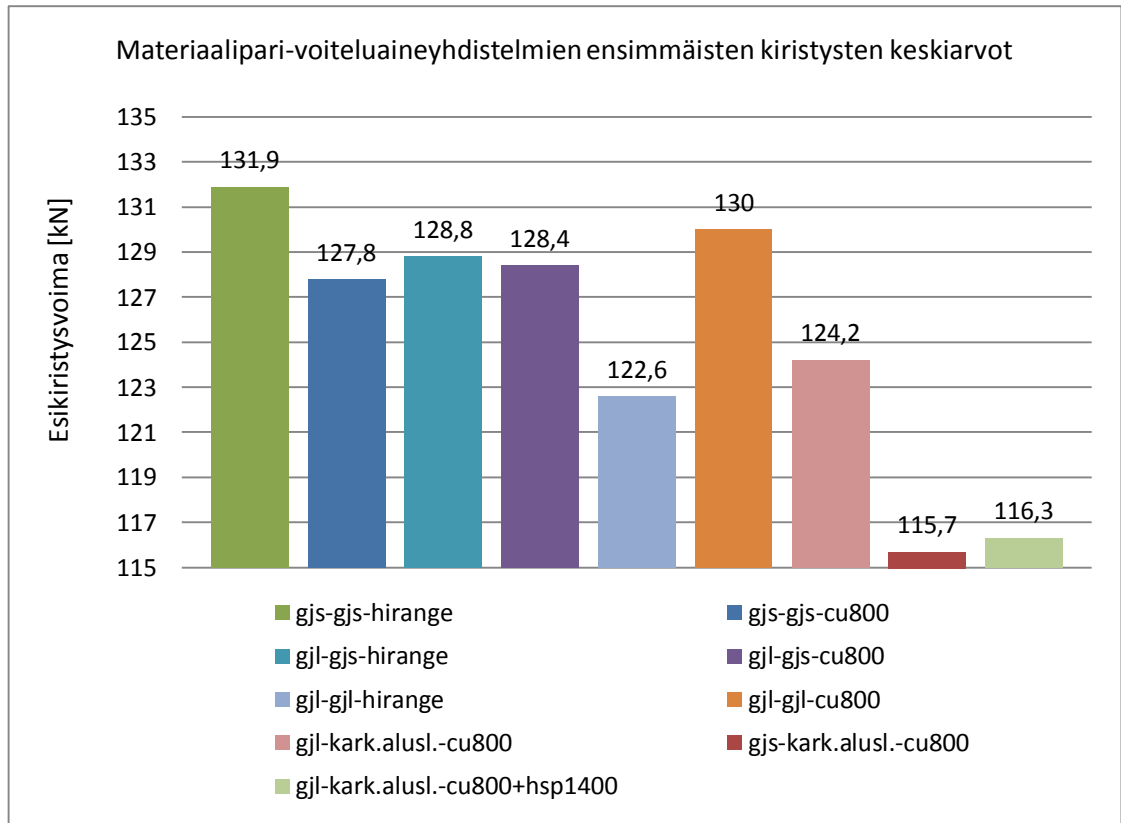
Kuviossa 23 vastakierremateriaalin ollessa GJL -valuraudasta ja kannan alla GJS, huomataan taas, voiteluaineiden käyttäytymisen erilaisuus eri materiaaleja vasten. Varsinkin pintojen hieman tasoituttua voiteluaineet käyttäytyvät hyvin erilailla. Sillä, kun GJS-GJS materiaaliparilla voiteluaineet aiheuttivat melko samansuuruisia esikiristysvoimia, niin tarkastellessa GJL-GJS parilla saavutettuja esikiristysvoimia voidaan havaita vastamateriaalin vaikutus voiteluaineen käyttäytymiseen.



KUVIO 23. Hirangella ja CU-800:lla voideltujen GJL-GJS liitosten esikiristysvoimien melko suuri ero kiristysten lopussa

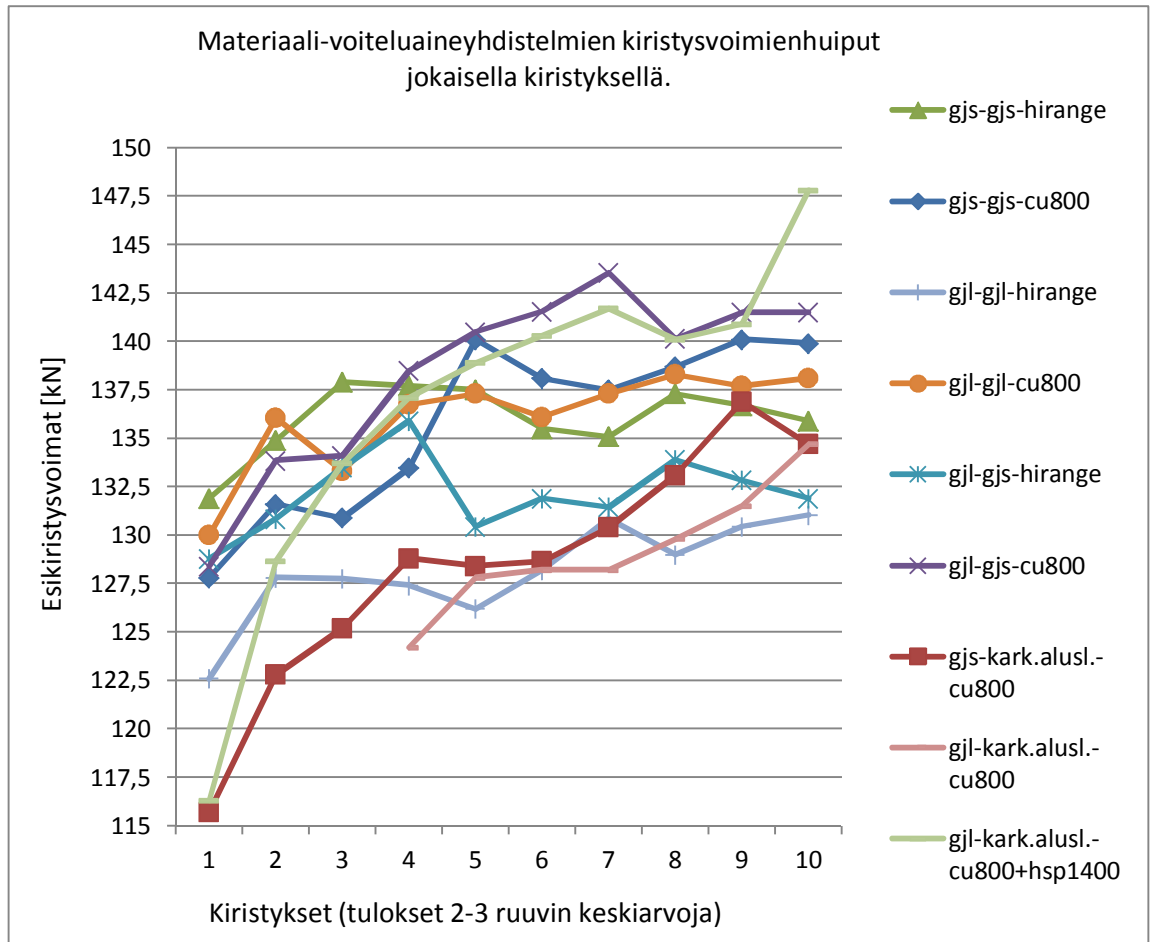
3.6.3 Liitospintojen tasoittuminen

Aiemmin todettiin jo pintojen tasoittumisen vaikutus saavutettaviin arvoihin, tämän vuoksi voidaankin kitkakertoimia laskettaessa pitää luotettavina arvoina vain kunkin parin ensimmäisiä kiristyksiä. Ensimmäisillä kiristyksillä saavutettujen esikiristysvoimien huiput eri materiaali-voiteluaineyhdistelmillä nähdään kuviossa 24.



KUVIO 24. Ensimmäisten kiristysten esikiristysvoimien keskiarvot eri materiaali-voiteluaineyhdistelmillä

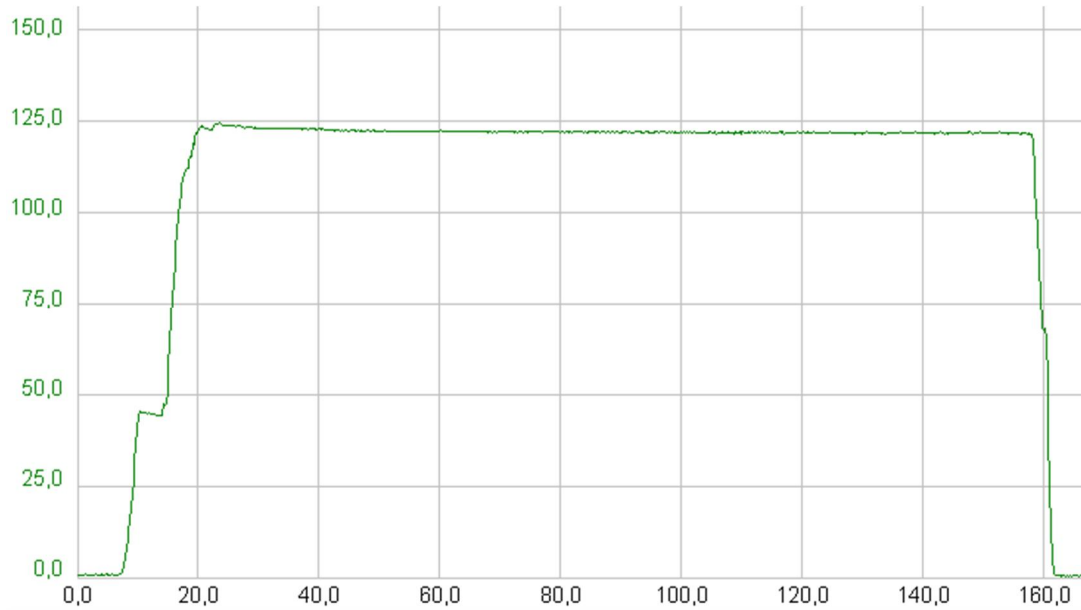
Pintojen tasoittumista tapahtuu kaikilla materiaali-voiteluaineyhdistelmillä. Kuvio 25 nähdään kaikkien materiaali-voiteluaineyhdistelmien saavutetut esikiristysvoimanhuiput jokaisessa kiristyksessä. Kuvio 25 näkee myös kuinka kitka liitososissa pienenee kiristysten kertojen mukana melko tasaisesti.



KUVIO 25. Kaikkien materiaali-voiteluaineyhdistelmien saavutetut esikiristysvoimat jokaisessa kiristyksessä

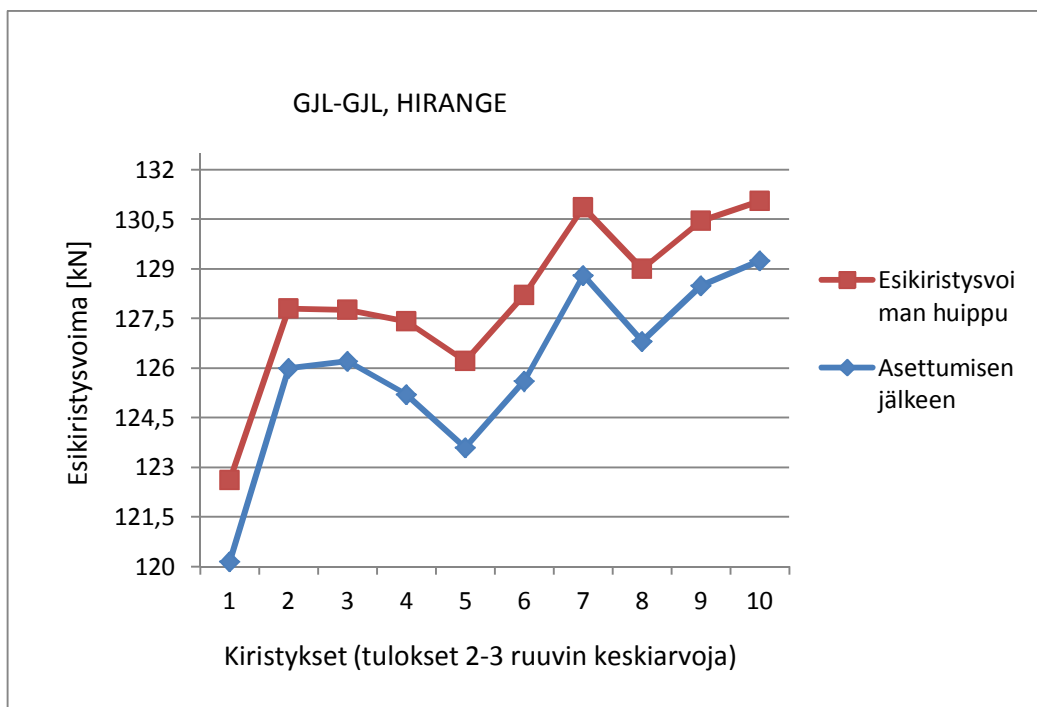
3.7 Esikiristysvoiman asettuminen

Testilaitteen avulla pystyttiin havaitsemaan selkeästi liitoksessa tapahtuva esikiristysvoiman lasku saavutetun huipun jälkeen eli liitoksen asettuminen. Testeissä kiristysten asettuminen oli melko tasaista materiaaliparista tai voiteluaineesta riippumatta. Kuviossa 26 näkyy paine-anturin painekäyrä, josta voidaan havaita liitoksessa tapahtuva asettuminen selkeästi. Materiaali-voiteluaineyhdistelmä on GJL-GJL ja Hirange, kyseessä on ruuviin ensimmäinen kiristys.



KUVIO 26. Paineanturin painekäyrä kiristyksestä liitoksen aukaisuun

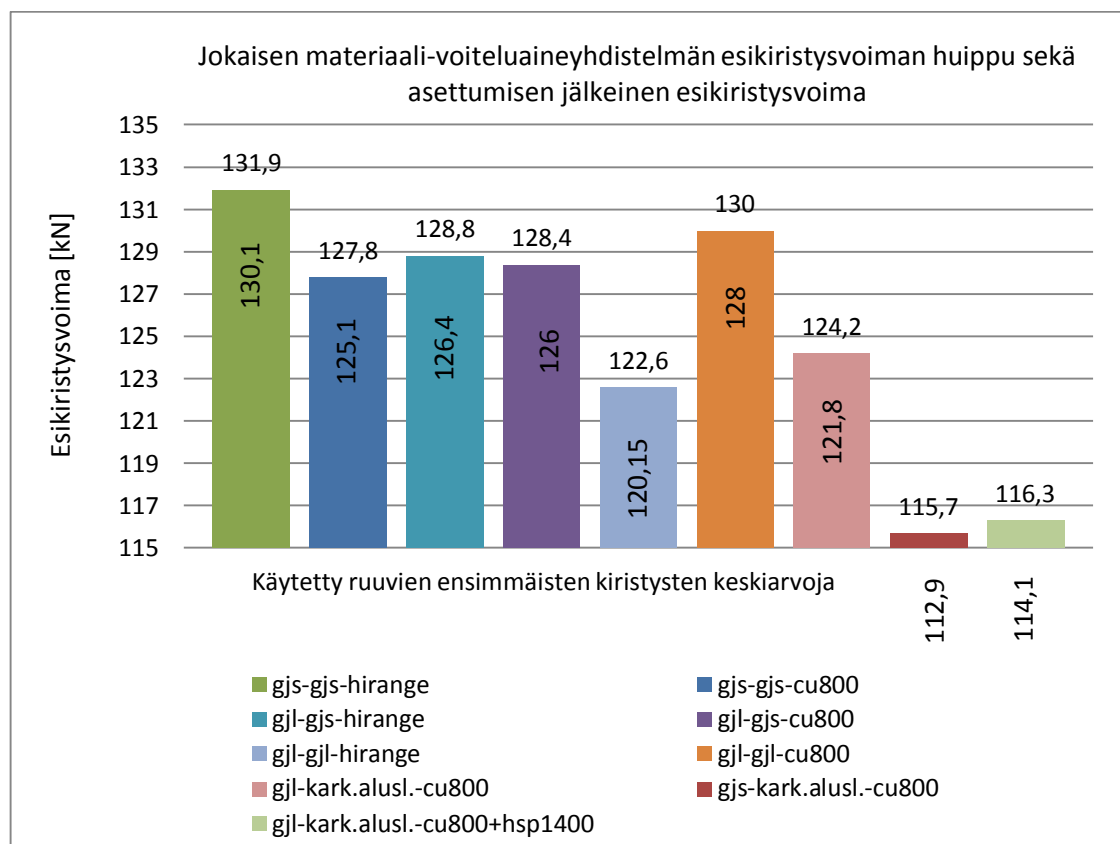
Pintojen tasoittumisen ei havaittu vaikuttavan asettumiseen, sillä esikiristysvoiman lasku pysyi melko tasaisena kiristysten mukana. Kuviosta 27 voidaan nähdä asettumisen pysyvän samalla alueella pintojen tasoittumisesta huolimatta.



KUVIO 27. Esikiristysvoiman asettuminen eri kiristyskerroilla

Asettumisen määrään ei myös havaittu vaikuttavan käytetty voiteluaine tai materiaalipari, sillä kaikilla materiaali-voiteluaineyhdistelmillä esikiristysvoiman lasku saavutetusta huipusta oli noin 2-3 kN.

Tulee kuitenkin huomioida, että liitosta ei pidetty esikiristyksessä kuin korkeintaan minuutti, joten ei voida varmasti sanoa kuinka paljon liitos oikeasti asettuisi pitkänajan kuluessa. Havaittiin kuitenkin että asettuminen oli selkeää ensimmäisen 20 sekunnin aikana, tämän jälkeen käytetyn paineanturin tarkkuus ei enää havainnut asettumista liitoksessa. Voidaankin siis pitää saatuja arvoja melko luotettavina ja uskoa, että liitos ei tämän ajan jälkeen enää vaikuttavasti asetu. Kuvio 28 kertoo asettumisen pysyvän melko samana kaikilla materiaali-voiteluaineyhdistelmillä. Asettumisen jälkeinen esikiristysvoima näkyy palkkien sisällä.



KUVIO 28. Esikiristysvoiman asettuminen eri materiaali-voiteluaineyhdistelmillä

3.8 Laskelmat ja tarkastelu

3.8.1 Laskenta

Kitkakertoimien määrittämiseen käytettiin Rautpohjassa käytettävää Excel - pohjaista ruuvin laskentaohjelmaa, jonka kaavat perustuvat VDI2230:een. Laskuriin syötetään ruuvin tiedot, kuormitustiedot, liitoksen geometria ja materiaalien tiedot. Laskuri laskee näiden tietojen ja apusuureiden avulla liitoksessa vallitsevat voimat sekä liitoksen venymät aiemmin esiteltyjen laskukaavojen mukaisesti. Testitulosten perusteella voiteluaineille määriteltiin oikeat kitkakertoimet. Kitkakertoimet selvitettiin testaamalla eri kertoimia ja vertaamalla laskurin antamia voimia ja venymiä testeissä saatuihin. Laskennallisen venymän ja esikristysvoiman täsmätessä saatujen tulosten kanssa voitiin olettaa määritettyjen kitkakertoimien olevan oikeat. Kitkakertoimen suora laskeminen on erittäin vaikeaa, varsinkin erikseen kannalle ja kierteelle, siksi on helpompi laskea muut liitoksen laskettavissa olevat voimat käyttämällä joitain tunnettuja kitkakertoimia.

Testissä pystyttiin todentamaan ruuvin venymä, käytettävä kiristysmomentti sekä liitoksessa vallitseva esikristysvoima. Laskuri laskee ruuvin venymän sekä liitoksessa vallitsevan esikristysvoiman liitoksen mitoituksen, kitkakertoimien sekä kiristysmomentin kautta. Laskuriin tuli määrittää seuraavat tiedot:

Ruuvin tiedot:

d on nimellishalkaisija

P on nousu

d_2 on kylkihalkaisija

d_3 on sydänhalkaisija

d_k on ruuvin kannan halkaisija

A_s on ruuvin jännityspoikkipinta – ala

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2$$

(Ruuvinlaskenta VDI2230:n mukaan. n.d.)

Kitkakertoimet ja kiristysmomentti:

Oikeita kitkakertoimia ei tiedetä vielä tässä vaiheessa, joten arvoksi voitiin määrittää 1. Käytettäväksi kiristysmomentiksi asetettiin 575 Nm. Suurin sallittu kiristysmomentti on 680 Nm.

Kuormitustiedot: (Valitaan taulukoista)

F_{Kerf} on vaadittu minimipuristusvoima

St_a on ruuvin ulkoinen staattinen vetovoima

Dyn on dynaaminen lisävetovoima

F_A on ruuvin ulkoinen maksimi vetovoima

F_A on $St_a + Dyn$

Liitoksen geometria:

D_B on vapaareiän halkaisija

D_A on reiän ulkopuolisen materiaalin leveys/halkaisija

$\frac{D_A}{2}$ on reiän reunaetäisyys

l_1 on mitta: kanta-kierteen alku

l_3 on mitta: kierteen alku-liitososa

l_k on ruuvin vapaapituus

l_k on $l_1 + l_3$

Materiaalitiedot: (Valitaan taulukoista)

$R_{p0,2}$ on ruuvimateriaalin nimellinen myötölujuus

p_G on rajapintapaine kannan alla

E_s on ruuvimateriaalin kimmokerroin

E_p on liitososien kimmokerroin.

(Ruuvinlaskenta VDI2230:n mukaan. n.d.)

Liitososien kimmokerroin on helppo määrittää kun liitososat ovat samasta materiaalista eli vastakierrekappale ja ruuvin kannan alle tuleva kappale. Liitososien materiaalien ollessa eri tulisi kimmokerroin laskea, mutta kimmokerroin vaikuttaa VDI laskennassa vain esikiristysvoiman asettumisen arvoon, testatuilla materiaalipareilla arvon suurin muutos oli 2 %, joten tulosten laskennassa käytettiin vastakierremateriaalin kimmokerrointa kaikissa tilanteissa. Epäselvissä tilanteissa kimmokertoimen vaikutus poistettiin laskemalla yhteinen tarkempi kimmokerroin.

3.8.2 Mahdollisten virheiden vaikutus

Testissä virhealtein vaihe oli ruuvin kiristäminen, koska ruuvi kiristettiin käsin. Kiristämistä tarkasteltiin tarkemmin ja pyrittiin havaitsemaan mahdolliset poikkeamat ja niiden suuruudet sekä verrattiin niiden vaikutusta kitkakertoimiin.

Kalibroitaessa momenttiväännintä määritettiin sille suurin mahdollinen virhenäyttämä. Tarkastuksen perusteella vääntimelle saatiin suurimmaksi poikkeamaksi käytetystä momentista (575 Nm) -4 Nm. Poikkeaman vaikutus kitkakertoimeen oli -0,001. Lisäksi vääntötilanteessa vääntäjästä johtuvan virheen arvioitiin olevan maksimissaan 2 Nm. Mahdollinen suurin poikea, -6 Nm, vaikuttaa kitkakertoimeen -0,0015 yksikköä. Virheiden vaikutus kitkakertoimeen on niin pieni, ettei mahdollisia poikkeamia tarvitse ottaa huomioon lopputuloksissa.

4 VOITELUAINEIDEN SUORITUSARVOT

4.1 VDI 2230:n mukaiset kitkakertoimet

Kitkakertoimia määritettäessä käytettiin kunkin materiaali-voiteluaineyhdistelmän ruuvien ensimmäisten kahden kiristyksen venymien ja esikiristysvoimien keskiarvoja. Ruuvien ensimmäisten kiristysten arvot esitelty tarkasti liitteessä 4. VDI:n mukainen laskuri laskee teoreettisen esikiristysvoiman huipun, lisäksi se laskee asettumisesta johtuvan esikiristysvoiman laskun. Pystyttiin siis vertaamaan teoreettisen ja mitatun huipun sekä asettumisesta johtuvan teoreettisen sekä mitatun esikiristysvoimanlaskun yhtäläisyyksiä. Laskennallisten ja mitattujen tulosten täsmätessä voitiin tuloksia pitää luotettavina.

Ensimmäisenä selvitettiin kitkakertoimet materiaaliparilla GJL-GJL käytettäessä Hirangea. Saatuja kitkakertoimia verrattiin aiemmissa testeissä saatuihin kitkakertoimiin, jolloin voitiin osoittaa testien paikkansa pitävyys sekä jäljitettävyys aiemmin saatujen tulosten kanssa. Vuonna 2001 Rautpohjassa tehdyssä testissä Hirangelle saatiin kitkakertoimeksi VDI2230:n mukaisella laskennalla 0,145 materiaaliparille GJL-GJL. Tässä työssä VDI2230:n mukaisesti lasketut kitkakertoimet on esitelty taulukossa 8.

TAULUKKO 8. VDI2230:n mukaisen laskennan avulla saadut kitkakertoimet ruuvien ensimmäisten kiristysten keskiarvoista eri materiaali-voiteluaineyhdistelmille

Käytetty voiteluaine ja materiaalipari	Kitkakerroin	
	Kierre	Kanta
HIRANGE - GJL-GJL	0,146	0,146
HIRANGE - GJS-GJS	0,135	0,135
HIRANGE - GJL-GJS	0,146	0,135
CU-800 - GJL-GJL	0,136	0,136
CU-800 - GJS-GJS	0,14	0,14
CU-800 - GJL-GJS	0,136	0,14
CU-800 - GJL-Kark. Aluslaatta	0,136	0,16
CU-800 - GJS-Kark. Aluslaatta	0,14	0,165
CU-800 & HSP 1400 - GJL-Kark. Aluslaatta	0,136	0,175

4.2 Tulosten tarkastelu

4.2.1 Todentaminen

Hirangella voidellulle ruuville saatiin materiaaliparilla GJL-GJL kitkakertoimiksi kannan alle ja kierteelle 0,146. Tämä täsmää aiemmassa testissä saatuun ja käytössä olevaan kitkakertoimeen. Voidaan siis todeta testien yhtenäisyys.

4.2.2 Hirange-voiteluaine

Materiaaliparilla GJS-GJS Hirangelle saatiin kitkakertoimeksi kannan alle ja kierteelle 0,135, mikä kertoo pallografiittivaluraudan olevan liukkaampi materiaali kuin suomugrafiitti. Sitten verrattiin laskennallisia ja mitattuja tuloksia materiaaliparilla GJL-GJS. Eli laskuriin asetettiin suomugrafiitille saatu kitkaker-

roin kierteelle ja pallografiitille saatu kannan kitkakerroin. Venymä ja esikirsitysvoima täsmäsivät, joten voitiin todeta kitkakertoimien oikeellisuus. Näin voitiin siis todeta Hirangelle saatujen kitkakertoimien oikeellisuus kaikilla materiaalipareilla.

4.2.3 CU-800-voiteluaine

GJL-GJL materiaaliparilla saatuja kitkakertoimia verrattaessa Hirangen ja CU-800:n välillä voidaan todeta CU-800:n aiheuttavan huomattavasti vähemmän kitkaa. GJL-GJL materiaaliparia vasten selvitettyä kitkakerrointa voidaan pitää luotettavana. Huomiota herättävää CU-800:lla voideltaessa on poikkeavuus somu- ja pallografiittivalurautaparien kitkoissa verrattuna Hirangella voideltuihin. GJL:n kanssa Hirangella saatiin suuremmat kitkakertoimet kuin GJS:llä, kun taas CU-800:lla materiaalien vaikutus kitkakertoimiin oli päinvastainen. GJS-GJS materiaaliparilla saadut kitkakertoimet CU-800 voiteluaineelle vaativat lisää tutkimista. CU-800 reagoiminen erilailla eri materiaaleja vasten kuin Hirange, vaikuttaa oudolta jo senkin takia, että pallografiittivaluraudan tulisi olla liukkaampi kuin suomugrafiittivaluraudan. Asian luotettavampi todentaminen vaatii suuremman tulosjoukon ruuvien ensimmäisiä kiristyksiä.

Karkaistua aluslaattaa käytettäessä kannan kitkakertoimia ei saatu täysin täsmäämään kun oletettiin kierteen kitkakertoimien pysyvän samana. Suurta eroa ei kitkakertoimiin silti tullut. Esikirsitysvoiman suuri kasvu kiristysten myötä johtuu luultavasti aluslaatan sekä ruuvien kannan kiillottumisesta, joka pienentää huomattavasti kitkaa. Aluslaatan käyttöä voidaan pitää siis pienenä riskinä liitoksissa, joita joudutaan avaamaan ja kiristämään useasti.

4.2.4 HSP 1400 -voiteluaine

Würthin HSP 1400 kiinnileikkautumisenesto spray poisti vähemmän kannan kitkaa kuin CU-800 tahna. Suihkuttamalla ainetta aluslaattaan saatiin luotua hyvin ohut kalvo verrattuna siveltimellä levitettyyn CU-800:seen, ohut kalvo tuntui kiristystilanteessa epäluotettavammalta kuin siveltimellä levitetyn CU-800:n kalvo.

4.2.5 Yleiset kitkakertoimet

Ruuviliitosten laskennassa käytetään useasti taulukkokirjojen antamia ohjeellisia kitkakertoimia. Päätettiin tutkia kuinka tarkkoja taulukoiden antamat kitkakertoimet ovat ja kuinka paljon suurimmalla mahdollisella poikkeamalla voi olla vaikutusta liitoksessa saavutettavaan esikivistysvoimaan.

Verrattiin testitilanteen kaltaisen ruuviliitoksen yleisiä kitkakertoimia testeissä saatuihin. Testattavan ruuviliitoksen osat olivat: musta, lastuamalla valmistettu ruuvi, joka öljyttiin. Kierre taas oli GLJ (taulukossa GRS). Taulukko antaa näillä tiedoilla kierteen kitkakertoimeksi 0,10 – 0,18. Testissä kierteen kitkakertoimeksi saatiin 0,135 – 0,146. Kannan ja alustan väliseksi kitkakertoimeksi taulukko antaa saman 0,10 – 0,18. Testeissä kannankitkakertoimeksi saatiin 0,135 – 0,146.

Kyseisillä kitkakertoimilla mitoitettaessa saavutettaisiin liitoksiin seuraavanlaiset esikivistysvoimat kiristysmomentin ollessa 575:

- Kitkakertoimella 0,10 saavutettaisiin noin 174 kN:n esikivistysvoima
- Kitkakertoimella 0,18 saavutettaisiin taas 104 kN:n esikivistysvoima
- Testeissä saadulla 0,146 vastaavasti 125 kN:n esikivistysvoima.

Tuloksista nähdään, että taulukoiden arvoilla voidaan laskea rajusti pieleen jos arvioidaan liitoksessa vallitseva kitka täysin väärin.

Voidaan todeta taulukoiden kitkakertoimien olevan suuntaa antavia, mutta vaativissa ruuviliitoksissa taulukoiden arvoilla laskettaessa ei liitosta voida pitää täysin luotettavana. Pienikin virhepoikkeama kitkakertoimissa aiheuttaa melko suuren eron laskettaessa kiristysmomenttia. Väärä kiristysmomentti johtaa helposti liian suureen tai liian pieneen saavutettavaan esikivistysvoimaan liitoksessa. Väärä esikivistysvoima aiheuttaa mahdollisesti ruuvin murtumisen tai liitoksen aukeamisen. Taulukoiden kitkakertoimilla voidaan tehdä siis suuriakin virheitä saavutettavan esikivistysvoiman suhteen. Yleiset taulukoidut kitkakertoimet on esitelty kuvioissa 29 ja 30.

Kierteen kitkakerroin μ_G			Ruuvi (nuorrutusteräs)								
			Musta tai fosfatoitu				Sähkösinkitty		Sähkökadmioitu		Liimattu
			Valssattu		Lastuttu	Zn 6		Cd 6			
			Kuiva	Öljytty		MoS ₂	Öljytty	Kuiva	Öljytty	Kuiva	Öljytty
Mutterikierte (kuiva, lastuttu pinta)	Nuorru- tusteräs	Paljas	0,12... 0,18	0,10... 0,16	0,08... 0,12	0,10... 0,16		0,10... 0,18		0,08... 0,14	0,16... 0,25
		Sähkö- sink. Zn	0,10... 0,16				0,12... 0,20	0,10... 0,18			0,14... 0,25
		Sähkö- kadm. Cd	0,08... 0,14						0,12... 0,16	0,12... 0,16	
	GRS	Paljas		0,10... 0,18		0,10... 0,18		0,10... 0,18		0,08... 0,16	
	AlMg	Paljas		0,08... 0,20							

KUVIO 29. Yleiset kierteen kitkakertoimet (Airila ym.1985a, 268)

Kannan ja alustan välinen kitkakerroin μ_K			Nuorrutusteräksinen ruuvi									
			Musta tai fosfatoitu				Sähkösinkitty		Sähkökadmioitu			
			Puristettu		Sorvattu		Hiottu	Puristettu				
			Kuiva	Öljytty	MoS ₂	Öljytty		MoS ₂	Öljytty	Kuiva	Öljytty	Kuiva
Kuiva vastapinta	Teräs	Hiottu		0,16 0,22		0,10... 0,18		0,16... 0,22	0,10... 0,18		0,18... 0,16	
		Paljas		0,12... 0,18	0,10... 0,18	0,08... 0,12	0,10... 0,18	0,08... 0,12		0,10...0,18	0,08... 0,16	0,08... 0,14
		Sähkö- sinkitty	Las- tuttu	0,10...0,16			0,10... 0,16		0,10... 0,18	0,16... 0,20	0,10... 0,18	
	Sähkö- kadmioitu		0,08...0,16								0,12... 0,20	0,12... 0,14
	GRS	Hiottu		0,10... 0,18					0,10...0,18		0,08 0,16	
	AlMg	Paljas	Las- tuttu		0,14... 0,20		0,10... 0,18		0,14... 0,22	0,10... 0,18	0,10... 0,16	0,08... 0,16
			0,08...0,20									

KUVIO 30. Yleiset kannan ja alustan väliset kitkakertoimet (Airila ym.1985a, 269)

4.3 Voiteluaineen valinta

4.3.1 Vertailu

Vertailukohteiksi valittiin Hirange ja Würthin CU-800. HSP 1400 hylättiin, sillä sprayllä saavutetun kalvon koettiin olevan liian ohut. Pienikin kosketus voideltuun alueeseen poisti kosketuskohdasta voiteluaineen kokonaan. Lisäksi käytössä havaittiin spray-kaasun ärsyttävän käyttäjän hengitystä, joten aine vaati luultavasti myös hengityssuojaimen käyttöä.

Hirangelle ja Würthin CU-800:lle tehtiin vertailu niiden perusteiden mukaisesti, jotka johtivat impulssiin vaihtaa käytössä olevaa voiteluainetta. Vertailu tehtiin seuraavalla pisteytyksellä:

- 5 =kiitettävä
- 4 =hyvä
- 3 =kohtalainen
- 2 =välttävä
- 1 =huono

Voiteluaineiden saamat pisteet eri vertailukohteissa nähdään taulukossa 9.

TAULUKKO 9. Hirangen ja CU-800:n ominaisuuksien ja käytettävyyden vertailu

	Siisteys	Levitettävyyys	Toistuvuus	Kitkakerroin	Saatavuus	Käyttöturvallisuus
Hirange	2	4	3,5	3	3	2
CU-800	3	4	3	4	5	4

Vertailtavat ominaisuudet olivat seuraavat:

- **Siisteys**, kuinka siistiä voiteluaineen käyttö on asennettaessa ja kuinka näkyvää se on rakenteissa.
- **Levitettävyyys**, kuinka helppoa voiteluainetta on levittää kierteeseen ja ruuvien kantaan.

- **Toistuvuus**, kuinka tasaista ruuvin venymän ja liitoksen esikiristysvoiman vaihtelut ensimmäisten neljän kiristyskerran aikana olivat.
- **Kitkakerroin**, mikä oli kitkakertoimien tasaisuus erimateriaaliparien välillä.
- **Saatavuus**, kuinka hyvä toimittajan maailmanlaajuisuus sekä yhteistyön määrä Metson kanssa on.
- **Käyttöturvallisuus**, arvioitiin käytössä havaittujen turvallisuushaittojen perusteella, sekä voiteluaineiden käyttöturvallisuustiedotteiden ilmoittamien haittojen mukaan tuotteen käyttöturvallisuutta. (Kiinnileikkautumisen estoaineet. 2007.)

Vertailussa Hirange sai 17,5 pistettä ja CU-800 23 pistettä. Vertailua laajennettiin antamalla vertailukohdille painokertoimet niiden tärkeyden mukaan, jotka ovat taulukossa 10.

TAULUKKO 10. Vertailukohdille annetut painokertoimet niiden tärkeyden mukaan

	Painokerroin 1-3
Siisteys	1
Levitettävyys	1
Toistuvuus	2
Kitkakerroin	3
Saatavuus	1
Käyttöturvallisuus	1

Painokertoimilla laskettaessa voiteluaineet saavuttivat seuraavanlaiset pisteet:

Hirange: $2 \cdot 1 + 4 \cdot 1 + 3,5 \cdot 2 + 3 \cdot 3 + 3 \cdot 1 + 2 \cdot 1 = 27$

CU-800: $3 \cdot 1 + 4 \cdot 1 + 3 \cdot 2 + 4 \cdot 3 + 5 \cdot 1 + 4 \cdot 1 = 34$

Vertailussa Würthin CU-800 sai siis enemmän pisteitä kuin Hirange, pisteissä ei kuitenkaan ollut suurta eroa. Vertailussa ei otettu huomioon materiaaliparilla

GJS-GJS epäluotettavaksi jäänyttä kitkakerrointa CU-800-voiteluaineelle, kitkakertoimen todentaminen vaatisi lisätutkimuksia. Pisteytyksen perusteella voidaankin todeta, että käytettävän kierrevoiteluaineen vaihto Hirangesta CU-800:een voitaisiin tehdä. Ominaisuuksiltaan CU-800 vastaa Hirangea, ja on jopa hieman parempikin. Käyttöturvallisuudeltaan sekä saatavuudeltaan CU-800 on selvästi parempi.

4.3.2 Kiristysmomentit

Würthin CU-800 rasvan pienempi kitkakerroin aiheuttaa liitokseen suuremman esikiristysvoiman verrattaessa Hirangeen. Käytettävää vääntömomenttia tulee siis pienentää GJL-GJL materiaaliparilla. Kitkakertoimien vaikutus voiteluainneiden välillä kiristysmomenttiin on 6,85 %. CU-800:sta käytettäessä tulisi vääntömomentti muuttaa 575 Nm:stä 535 Nm:iin. Taulukossa 11 on ehdotelmasta uudesta vääntömomentista.

TAULUKKO 11. Ehdotus GJL-GJL ruuviliitoksen uudeksi vääntömomentiksi käytettäessä CU-800 voiteluainetta

Voiteluaine	Kitkakerroin	Koko ja materiaali	Vääntömomentti [Nm]
Hirange	0,146	M24 8.8	680
CU-800	0,136	M24 8.8	633

4.4 Kehitysehdotukset

Tässäkään testissä ei pystytä saamaan täysin oikeita kitkakertoimia kierteelle tai kannalle. Testissä saatu kitkakerroin on liitoksen yhteinen kitkakerroin. Liitoksen materiaaleista ja rakenteesta johtuen kierteen ja kannan kitkat harvoin ovat täysin samat. Myöskään ruuvin kannan painauma ei mitattu tässä testissä. VDI:n mukainen laskuri kuitenkin laskee liitoksen tietojen perusteella teoreettisen painauman, joten myös mitatun ja teoreettisen painauman vertaaminen antaisi lisää tarkkuutta kitkakertoimien selvittämiseen.

Varsinkin testimenetelmä, jossa kitkat saataisiin eroteltua, lisäisi tarkkuutta ruuviliitoksen kiristämisen hallintaan. Silloin voitaisiin alkaa puhua täysin oikeista kitkakertoimista. Se, onko niin tarkkojen kitkakertoimien tietäminen konepajateollisuudessa tarpeellista, on keskustelua vaativa seikka.

CU-800-voiteluaineen kitkakertoimen todentaminen materiaaliparilla GJS-GJS vaatii laajemman ruuvijoukkion. Tuloksen poikkeaminen materiaalien liukkauden mukaisesta järjestyksestä luo epävarmuutta. Erikoinen käyttäytyminen voidaan todentaa suuremmalla tulosjoukkiolla ruuvien ensimmäisiä kiristyksiä.

5 POHDINTA

Opinnäytetyössä tutkittiin kierrevoiteluaineiden vaikutusta saavutettavaan esikiristysvoimaan sekä ruuvien venymään. Näiden tietojen pohjalta tarkasteltiin taas, kuinka paljon voiteluaine vastustaa liitoksen kiristymistä.

Työssä selvitettiin kitkakertoimet voiteluaineille eri materiaalipareilla esikiristysvoiman ja ruuvien venymän avulla. Kitkakertoimia selvittäessä käytettiin Rautpohjassa käytössä olevaa VDI2230:n mukaista ruuvilaskentaohjelmaa. Työssä selvitettiin käytössä olevan Hirange-voiteluaineen kitkakertoimet eri materiaaleille ja verrattiin niitä aiemmassa testissä saatuihin arvoihin. Näin todettiin uuden testilaitteen luotettavuus. Laitteen osoittauduttua luotettavaksi selvitettiin muiden testattavien voiteluaineiden kitkakertoimet kaikilla materiaalipareilla. Testien aikana ei ilmennyt suuria ongelmia. Laitteet pysyivät ehjinä, joten yhtäläisyys tulosten välillä säilytettiin. Välillä havaittiin pieniä virhetekijöitä ruuvien kiristyksessä, mikä johtui vääntäjän väsymisestä. Selvät virhetuloksiin johtaneet väännöt uusittiin tai tulokset poistettiin.

Testien perusteella valittiin yksi alustava vaihtoehto käytettävän voiteluaineen korvaajaksi. Voiteluaineiden ominaisuuksia ja käytettävyyttä vertailtiin, jotta saatiin selvyys, onko uusi voiteluaine käytössä olevan veroinen.

Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin melkein kokonaan. Työssä löydettiin kitkakertoimet kaikille voiteluaineille ja tarkasteluiden jälkeen tulokset voitiin todeta luotettaviksi lukuun ottamatta CU-800:n kitkakerrointa GJS-valurautaa vasten. Tämä kitkakerroin vaatii lisätarkastelua laajemmalla ruuvijoukkiolla. Vertailun perusteella voidaan todeta, että käytettävä kierrevoiteluaine voidaan vaihtaa Hirangesta Würthin tarjoamaan CU-800-voiteluaineeseen. Lisäksi tehtiin ehdotelma uudesta kiristysmomentista käytettäessä CU-800-voiteluainetta materiaaliparista GJL-GJL koostuvissa liitoksissa.

Työssä saadut kitkakertoimet ja luotu kiristysmomenttiehdotelma ovat tarkkuudeltaan tehtaalla käytössä olevien mukaisia ja varmasti konepajateollisuuden riittäviä. Tulosten luotettavuutta lisäisi, jos olisi käytetty useampi ruuvi josta materiaali-voiteluaineyhdistelmää kohden. Näin ruuvien ensimmäisten kiristysten tuloksia olisi saatu enemmän. Tarkempia tuloksia haluttaessa tulisi kehittää testimenetelmä, jossa ruuvien venymän ja liitoksen esikiristysvoiman lisäksi mitattaisiin myös kannan painauma. Tarkempiin kitkakertoimiin päästäisiin, kun pystyttäisiin mitattavien kohtien kautta laskemaan kitkakertoimet erikseen kierteelle ja kannalle.

LÄHTEET

Airila, M., Karjalainen, J., Mantovaara, U., Nurmi, L., Ranta, A. & Verho, A. 1985a. Koneenosien suunnittelu 2, Liitokset. Porvoo: WSOY.

Airila, M., Karjalainen, J., Mantovaara, U., Nurmi, L., Ranta, A. & Verho, A. 1985b. Koneenosien suunnittelu 4, Erytisyalueet. Porvoo: WSOY.

Bickford, J. 1995. An introduction to the design and behavior of bolted joints. the third edition. Ohio: Taylor & Francis Group.

Blom, S., Lahtinen, P., Nuutio, E., Pekkola, K., Pyy, S., Rautiainen, H., Sampo, A., Seppänen, P. & Suosara, E. 1997. Koneenelimet ja mekanismit. 2.painos. Helsinki: Opetushallitus.

Hi Range kiinnileikkautumisen estoaine. 2008. Käyttöturvallisuustiedote. Viitattu 25.3.2011. <http://www.nchsuomi.fi/>, käyttöturvatieotteet, Hi Range.

Järvelä, J. 1997. Ruuviliitoksen esikiristysvoiman määrittäminen. Diplomityö, Oulun yliopisto, teknillinen tiedekunta.

Kiinnileikkautumisen estoaineet. 2004. Tuote-seloste. Würth Oy.

Kiinnileikkautumisen estoaineet. 2007. Käyttöturvallisuustiedote. Würth Oy.

Kivioja, S., Kivivuori, S. & Salonen, P. 2004. Tribologia – kitka, kuluminen ja voitelu. 4.korjattu painos. Helsinki: Otatieta.

Raaka-aine käsikirja 2, valuraudat ja valuteräkset. 2001. Metalliteollisuuden Keskusliitto. 2. uudistettu painos. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus.

Rautpohjan esittely. 2010. Viitattu 15.2.2011. <http://intra.metsopaper.com/fi>, tietoa meistä, esitysaineistot, Rautpohjan esittely.

Ruuvilaskenta VDI2230:n mukaan. n.d. Excel-pohjainen ruuvilaskentaohjelma, Metson tietokanta, sisäinen ohje.

Rautpohjan perehdyttämisopas. 2010. Metso Paper Oy.

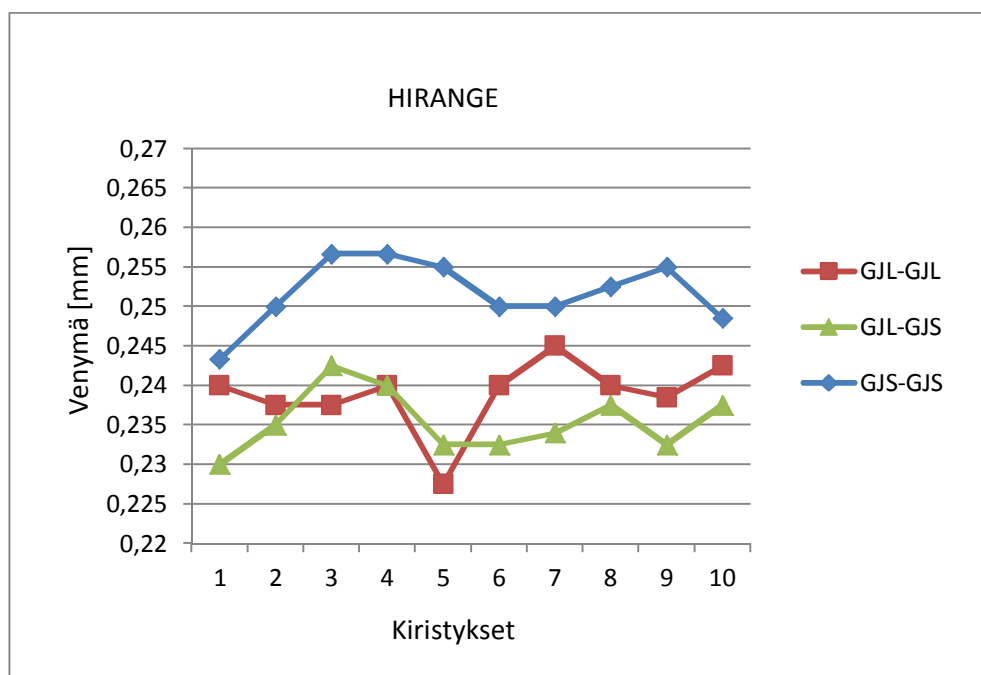
SFS-EN 1561.1998. Valut. Suomugrafiittivaluraudat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 5.3.2011. <http://www.jamk.fi/kirjasto>, Nelliportaali, SFS Online.

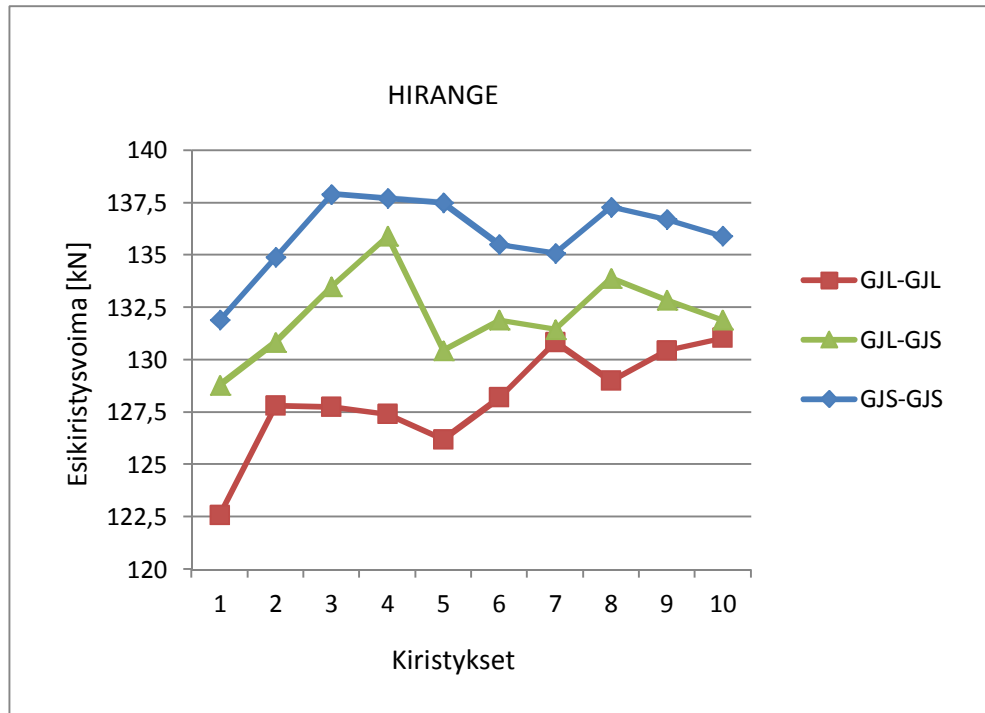
SFS-EN 1563+A1+A2. 2006. Valut. Pallografiittivaluraudat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 5.3.2011. <http://www.jamk.fi/kirjasto>, Nelliportaali, SFS Online.

Yleiskalvosarja. 2010. Viitattu 15.2.2011. <http://intra.metsopaper.com/fi>, tietoa meistä, esitysaineistot, Metson yleisesitykset, yleiskalvosarja.

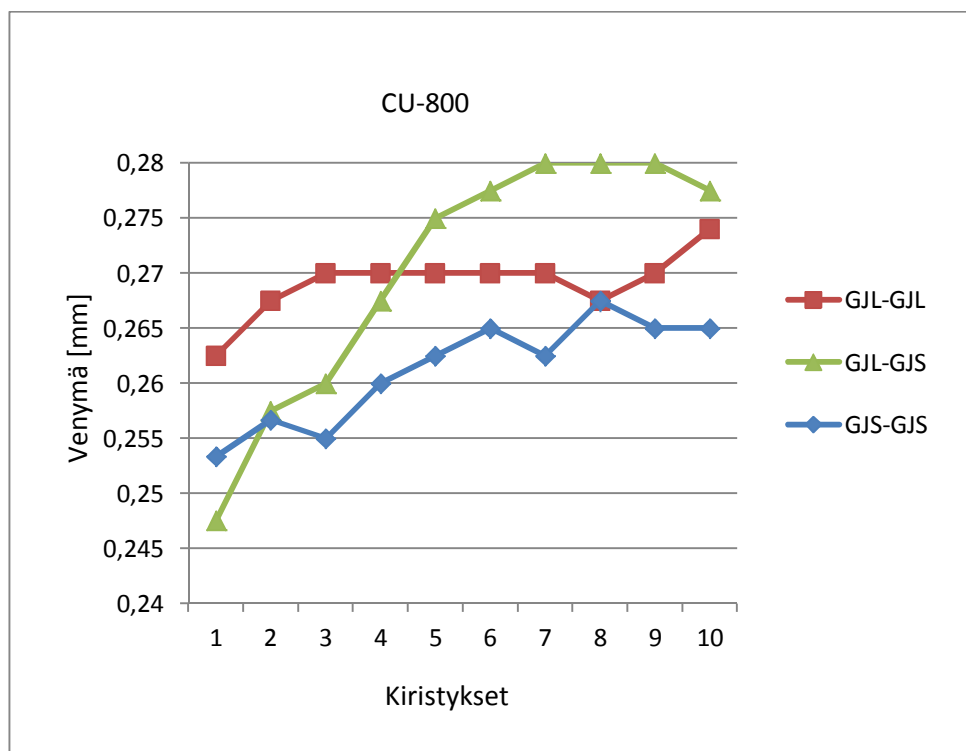
LIITTEET

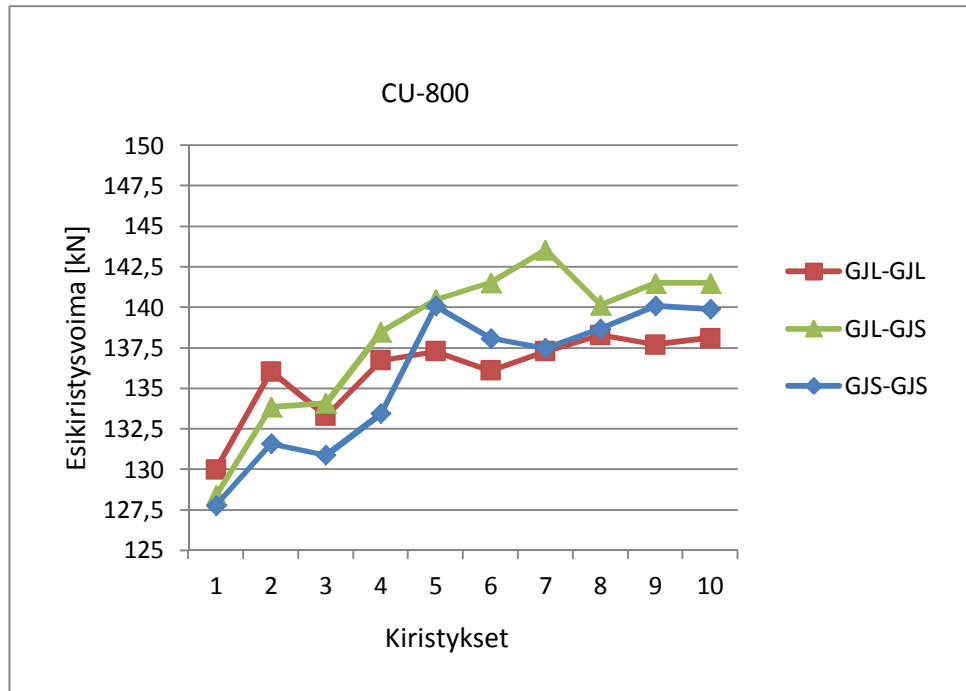
Liite 1. Hirangella voideltaessa saadut venymät ja esikristysvoimat.



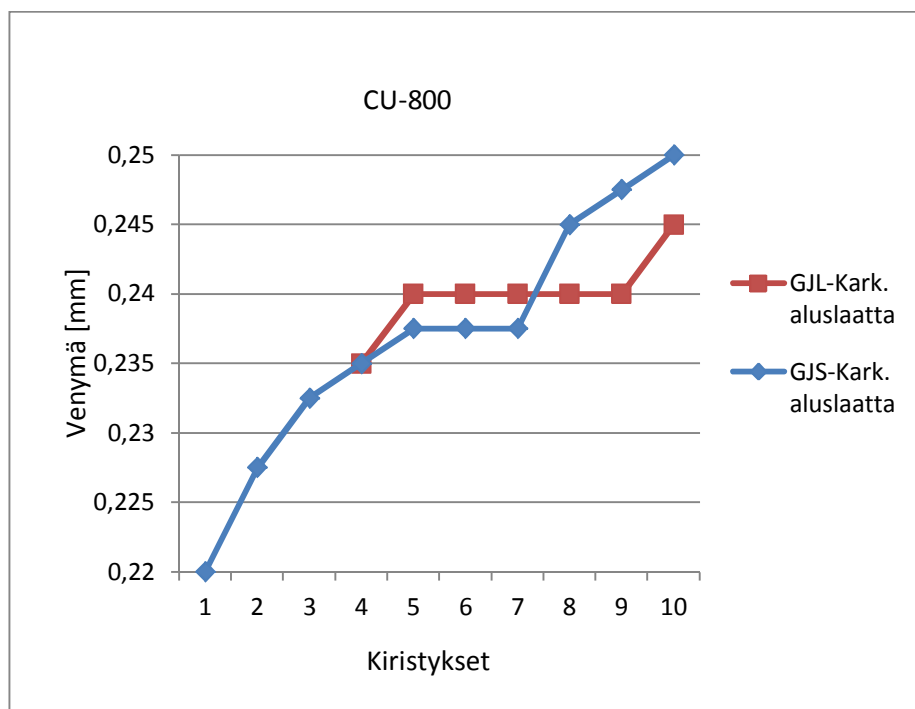


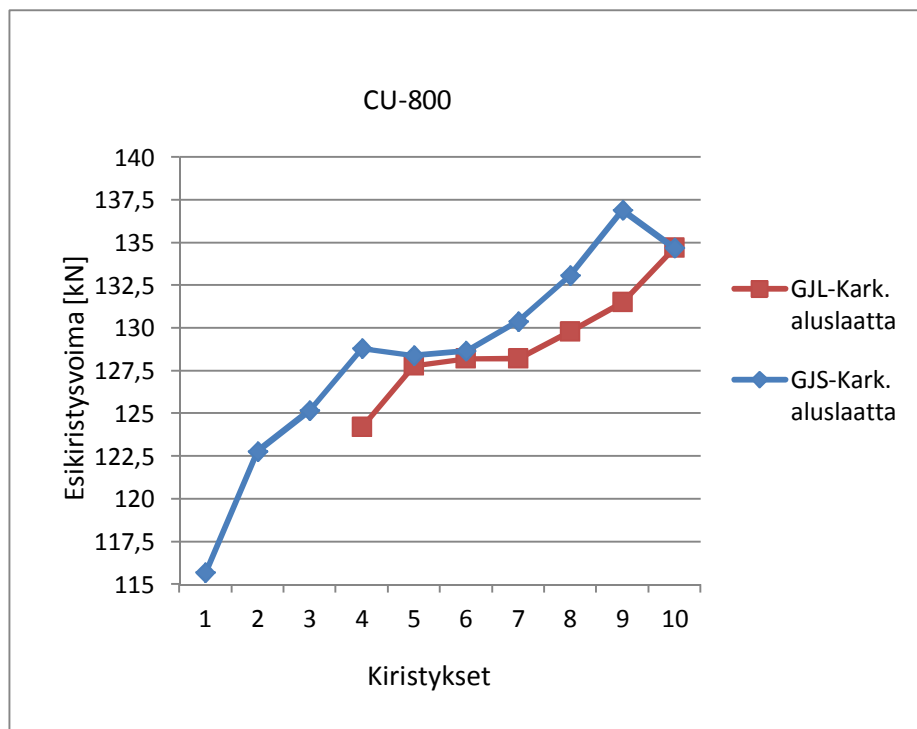
Liite 2. CU-800:lla voideltaessa saadut venymät ja esikiristysvoimat. 1(2)



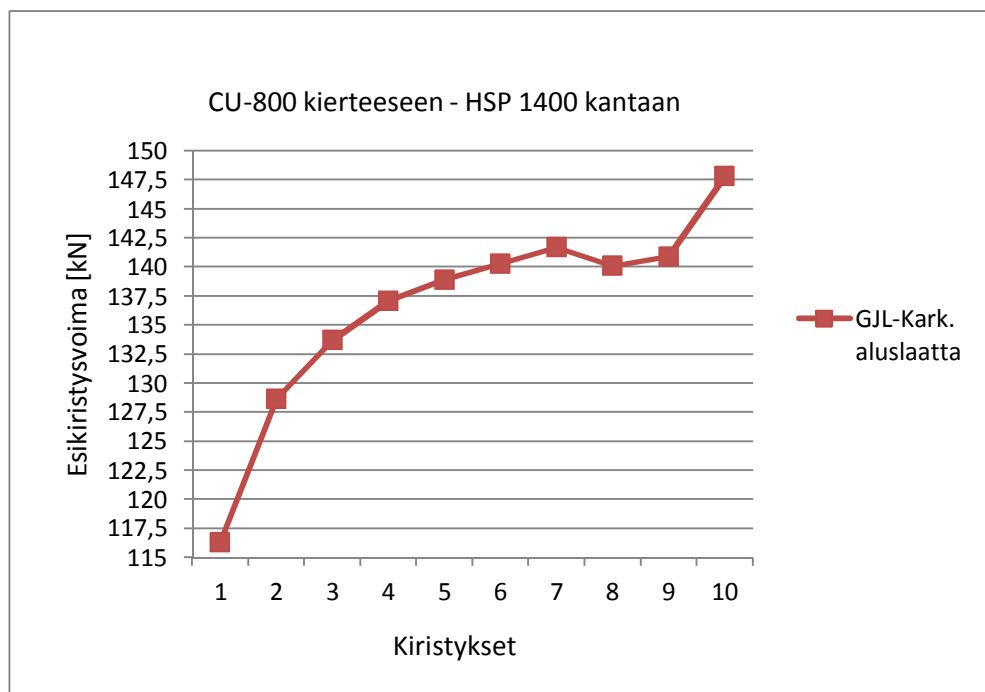
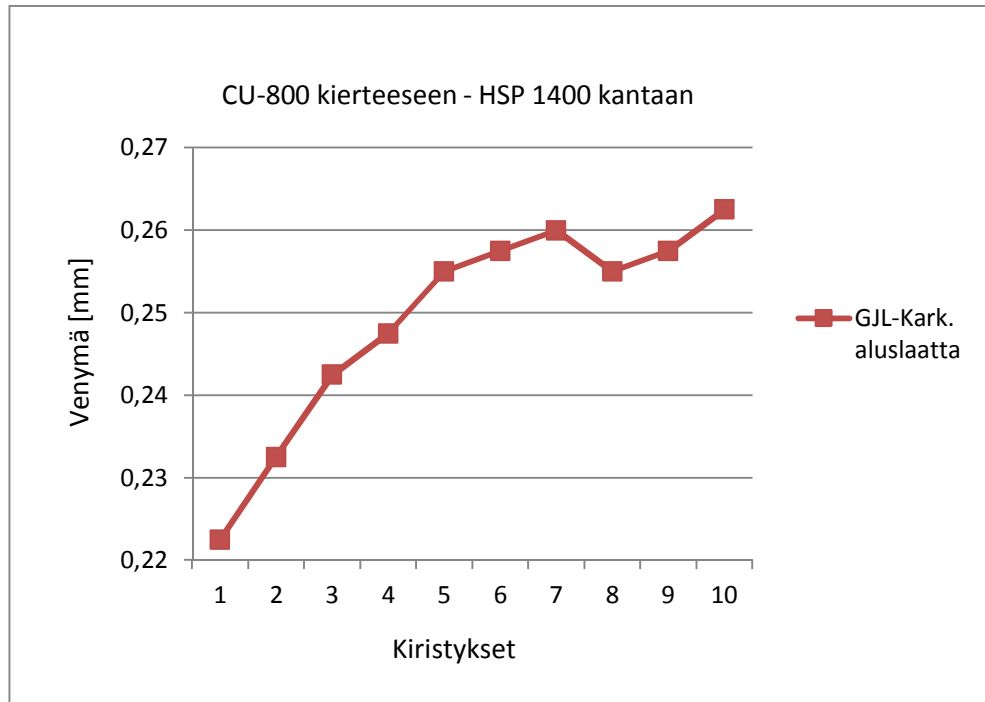


Liite 2. CU-800:lla voideltaessa saadut venymät ja esikiristysvoimat. 2(2)





Liite 3. CU-800:lla ja HSP 1400:lla voideltaessa saadut venymät ja esikiristysvoimat.



Liite 4. Hirangella ja CU-800:lla voideltujen liitosten kaikkien ruuvien kahden ensimmäisen kiristuksen venymät ja esikiristysvoimat.

	Kiristys	1	2
		Venymä	Venymä
Materiaalit ja voiteluaine	Pultti nro.	Esikiristysvoima	Esikiristysvoima
GJL-GJL - Hirange	1	0,24 120,6	0,24 125
GJL-GJL - Hirange	2	0,24 124,6	0,235 130,6
GJL-GJL - CU-800	7	0,26 131	0,27 137
GJL-GJL - CU-800	8	0,265 129	0,265 135,1
GJS-GJS - Hirange	3	0,245 131,5	0,25 134,7
GJS-GJS - Hirange	4	0,235 132,3	0,24 135,1
GJS-GJS - Hirange	19	0,25 135,5	0,26 136,3
GJS-GJS - CU-800	9	0,245 130,2	0,245 134,3
GJS-GJS - CU-800	10	0,255 126,6	0,255 133,1
GJS-GJS - CU-800	20	0,26 126,6	0,26 127,4
GJL-GJS - Hirange	5	0,22 126,6	0,23 132,7
GJL-GJS - Hirange	6	0,24 131	0,24 129
GJL-GJS - CU-800	11	0,24 127,4	0,25 131,5
GJL-GJS - CU-800	12	0,255 129,4	0,265 131