

9,8-LITRAISEN RIVIMOOTTORI
KAMPIAKSELIN ETUPÄÄN NAPA-
KAPPALEEN LIITOSMAHDOLLI-
SUUKSIEN SELVITTÄMINEN

Tomi Salonen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2013
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotekehitys, tuotantotalous
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotekehitys ja tuotantotalous

TOMI SALONEN: 9,8-litraisen rivimoottorin kampiakselin etupään napakappaleen liitosmahdollisuuksien selvittäminen

Opinnäytetyö 95 sivua, joista liitteitä 38 sivua
Toukokuu 2013

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli AGCO Power Oy. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää AGCO Power Oy:lle soveltuuko jokin muu liitosmahdollisuus paremmin heidän käyttökohteeseensa, kuin tällä hetkellä käytössä oleva kaksoiskartioliitos. Opinnäytetyössä keskitytään erityisesti akselin ja napakappaleen välisiin liitosratkaisuihin. Liitosten suunnittelusta kerrotaan yleisesti, jonka jälkeen käydään lävitse liitosten jaottelu. Pääosin liitokset ovat muotosulkeisia tai kitkasulkeisia. Napakappaleliitosten lisäksi työssä käydään lävitse akseleita koskevaa teoriaa ja näiden molempien kannalta tärkeät toleranssit ja pinnankarheet.

Työ on hyvin teoriapainotteinen ja se on rajattu tarkasti toimeksiannon mukaan. Työssä suoritetaan käyttökohdetta ajatellen liitosratkaisujen vertailu painoarvotaulukolla, jonka jälkeen karsitaan liitoksista ne mitkä eivät tähän käyttökohteeseen sovellu. Lopuksi on laskettu soveltuuko jäljelle jääneet liitokset kyseiseen kohteeseen. Työn teoriaa ja painoarvotaulukon kriteereitä varten on tehty haastatteluja. Opinnäytetyötä varten on tehty salassapitosopimus, jossa on sovittu että liitemateriaali on salainen. Opinnäytetyön tuloksien perusteella on tarkoitus tehdä päätös kannattaako tämän hetkinen liitos korvata toisella liitostyypillä.

Työssä tutkittiin nykytilanne tarkasti ja selvitettiin työn kannalta olennaiset tavoitteet. Tietoa kerättiin kirjoista, yhtiön järjestelmistä ja arkistoista, Internetistä, sekä työn eri vaiheissa haastatteleamalla AGCO Powerin henkilöstöä ja Tampereen ammattikorkeakoulun opettajia. Tärkeimmiksi kriteereiksi liitosratkaisulle valittiin momentinsiirtokyky, tilantarve, asennettavuus ja purettavuus.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering
Research & development and Production Economics

TOMI SALONEN: Evaluation of Solutions for a Joint Connection between the Crankshaft it's Hub in a 9.8 Liter Straight Engine

Bachelor's thesis 95 pages, appendices 38 pages
May 2013

This thesis was commissioned by AGCO Power Corp. Its purpose was to examine whether any other connection would be more suitable for the commissioner's application than the currently used double-cone joint. In particular, this thesis focused on different solutions between the crankshaft and its hub. This thesis gives a general description of joint design and its classifications. The joint connections are mostly based on various keyways or friction. Besides the hub and crankshaft connections, the thesis deals with the theory of the shaft and the important issues related to tolerances and surface roughness.

The work is very theoretical and it is strictly limited to the commissioner's assignment. Keeping the final application in mind, the comparison of different solutions was based on weight tables in the use of which the unfeasible solutions were excluded. Thereafter, it was calculated whether the remaining solutions are applicable to the commissioner's application. Interviews have been held for the theoretical part, and the criteria used in weight values. For the thesis, a nondisclosure agreement was made where it is agreed upon that the annex material is confidential. Based on the thesis results decision has been made whether it is worth replacing the current joint by other connection types.

In this thesis, the current situation was elaborated, and the relevant objectives of the work were evaluated. Information was gathered from books, the company's systems and archives, the Internet, as well as by interviewing AGCO Power's staff and teachers from Tampere University of Applied Sciences in different stages of the work. The torque transmission capabilities, space requirement, as well as the ease of installation and disassembly were selected as the most important criteria for the solution.

Key words: hub for crankshaft, joint, shaft

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
1.1	Työn aihe ja tausta	5
1.2	Työn tavoite	5
2	AGCO POWER.....	6
3	LIITOSTEN SUUNNITTELU.....	7
4	LIITOSTEN JAOTTELU.....	9
5	AKSELIN JA NAVAN VÄLISET MUOTOSULKEISET LIITOKSET	12
5.1	Lieriötapit.....	12
5.1.1	Muotosulkeiset kiilat.....	13
5.1.2	Profiiliakselit	15
5.2	Lukitus ja varmistusosat	16
5.2.1	Sokat.....	17
5.2.2	Uratapit.....	18
5.2.3	Teljet ja varmistusrenkaat	19
5.2.4	Muotosulkeiset kutistuskiinnitysosat	20
6	KITKASULKEISET LIITOKSET	21
6.1	Kiristysliitos.....	21
6.2	Kartioliitos	22
6.2.1	Kartioholkki	23
6.2.2	Kartiorenkaat.....	24
6.3	Kutistus- ja puristusliitos	24
6.3.1	Kutistusliitos	25
6.3.2	Puristusliitos.....	27
6.3.3	ETP-holkki	27
6.4	Kitkasulkeiset kiilat	29
6.4.1	Akselikiilat	30
6.4.2	Kitkasulkeiset poikittaiskiilat.....	31
6.4.3	Asettelukiilat	31
6.5	Jousimaiset kitkaliitokset.....	32
6.5.1	Soviterenkaat.....	32
6.5.2	Tähtirengas.....	32
7	AKSELI.....	34
7.1	Akseliin kohdistuvat voimat	35
7.2	Akseliteräkset.....	36
7.3	Hitsauksen vaikutus akseliin.....	38
7.4	Akselin lujittamismahdollisuudet	38
8	TOLERANSSIT JA PINNANKARHEUS.....	40
9	LIITOSMAHDOLLISUUKSIEN VERTAILU JA KARSINTA PAINOARVOTAULUKOLLA	46
9.1	Karsinta perusteluin	46
9.2	Karsinta painoarvotaulukolla.....	47
10	KARSINNASTA JÄLJELLE JÄÄNEIDEN LIITOSTEN LASKEMINEN.....	50
11	YHTEENVETO	51
	LÄHTEET	54
	LIITTEET	57
	Liite 1. Painoarvotaulukot (17kpl)	57
	Liite 2. Tulosten laskenta	57
	Liite 3.Kartioliitoksen laskut, kaksoiskartioliitoksen laskut, profiiliakselin laskut ja kartioholkin laskut.....	57

1 JOHDANTO

1.1 Työn aihe ja tausta

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli AGCO Power Oy. Aiheena oli 9,8-litraisen rivi-moottorin kampiakselin etupään napakappaleen liitosmahdollisuuksien selvittäminen. Tällä hetkellä käytössä on kaksoiskartioliitos, joka ei ole helppo purettava ja asennettava erityisesti kenttäolosuhteissa. Tämän tilalle olisi tarkoitus löytää parempi liitosvaihtoehto, jonka voisi tarvittaessa irrottaa ja asentaa kentälläkin.

1.2 Työn tavoite

Tavoitteena on koota kattava, selkeä ja luotettava tiedonlähde, minkä pohjalta pystyy karsimaan ne vaihtoehdot, jotka eivät sovellu käyttökohteeseen. Tämän tiedonkeruusuuden jälkeen suoritetaan itse karsinta vertailemalla liitoksien hyviä ja huonoja puolia. Liitokset, jotka eivät täytä valintakriteereitä karsitaan heti alussa pois. Jäljelle jääneet vaihtoehtojen ominaisuudet lasketaan. Laskelmien pohjalta tehdään lopullinen vertailu soveltuvuudesta käyttökohteeseen.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään erityisesti akselin ja napakappaleen välisiin liitosratkaisuihin. Liitoksista kerrotaan oleellinen teoria. Vertaillaan eri liitosten hyviä ja huonoja puolia, minkä jälkeen karsitaan käyttökohteeseen soveltumattomat liitokset pois. Ratkaisun tulisi tukea akselin päätä niin kuin tämänhetkenkin tekee. Asennettavuuden ja purettavuuden tulisi sujua hyvin. Liitoksen tulisi olla myös halpa ja helppo valmistaa. Liitoksen tulee myös kestää suuria vääntömomenteja viemättä liikaa tilaa asennuskohteessa.

2 AGCO POWER

AGCO Power Oy on Nokialla Linnavuorella toimiva dieselmoottoritehdas, joka tunnetaan myös aiemmalta nimeltään Sisu Dieselinä. Moottorivalmistuksella Linnavuorella on 60-vuotiset perinteet. Valmistettavien moottoreiden teholuokat ovat 60 - 500 hv. Lisäksi AGCO Power Oy:llä valmistetaan vaihteistoja ja vaihteistokomponentteja sekä varavoimakoneita. (AGCO Power.)

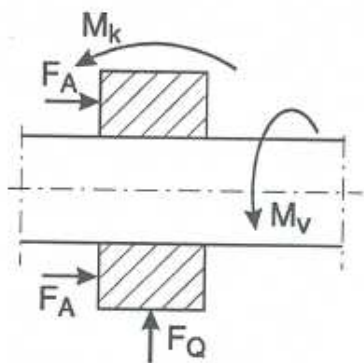
AGCO Power valmistaa maailman laajuisesti vuodessa n. 73000 moottoria ja henkilöstömäärä on yhteensä n.900(Koskinen). AGCO Powerin valmistamia dieselmoottoreita käytetään mm. maataloustraktoreissa, puimureissa, metsäkoneissa, kaivureissa, materiaalinkäsittelykoneissa, merimoottoreina, aggregaateissa ym. työkoneissa ympäri maailmaa.(AGCO Power.)

AGCO Power Oy on osa isoa amerikkalaista AGCO-konsernia. AGCO Corporation on maailman kolmanneksi suurin maatalouskoneiden kehittäjä ja valmistaja. AGCO:n tuotteita myydään yli 140 maassa ympäri maailmaa. AGCO:n tuotemerkkejä ovat mm. MasseyFerguson, Fendt, Valtra, Challenger, Gleaner ja Hesston.Tekninen monipuolisuus, vahvat tuotemerkit ja maailmanlaajuinen kattava jakeluverkosto ovat olleet avainasemassa AGCO:n kasvustrategiassa. (AGCO Power.)

AGCO Powerilla on hyvät mahdollisuudet kasvaa voimakkaasti yhtiön sisällä. Dieselmoottorituotantoon tehdyt investoinnit perustuvatkin paljolti AGCO Powerin moottoreiden osuuden lisäämiseen yhtiön omissa tuotteissa. (AGCO Power.)

3 LIITOSTEN SUUNNITTELU

Liitosta suunniteltaessa tehtävänä on yleensä liitostyyppin ja koon valinta sekä liitoksen kestävyuden tarkistus (Blom, Lahtinen, Nuutio, Pekkola, Pyy, Rautiainen, Sampo, Sepänen & Suosara 1995, 89). Usein liitoksen tulisi olla myös helposti asennettavissa ja purettavissa. Napaliitoksia käytetään kiinnittämään akseliin esim. kytkimiä, hihnapyöriä, hammaspyöriä sekä vauhtipyöriä. Napaliitokseen kohdistuvat kuormitukset esiintyvät eri käyttökohteissa joko yksinään, pareittain, tai kaikki yhdessä. Kuvassa 1 esitetään napaliitokseen kohdistuvat kuormitukset. (Kivioja 2003, 48.)



KUVA 1. Napaliitoksen kuormitukset: vääntömomentti M_v , kaatomomentti M_k , aksiaalivoima F_A sekä säteisvoima F_Q (Kivioja 2003, 49).

Liitoksiin kohdistuu useita toiminnallisia vaatimuksia. Useimmiten esiin tulevia vaatimuksia ovat staattinen lujuus, väsymislujuus, joustavuus tai jäykkyys, tiiviys, kemiallinen kestävyys, lämpökuormien kesto, kokoonpanon helppous, varmuus käytön aikaista avautumista vastaan, halpuus ja luotettavuus. Vaikka vaatimukset painottuvat hyvin erilaisilla, yleisin tapaus lienee se, jossa yli puolet edellä luetelluista vaatimuksista on jossain määrin samanaikaisesti voimassa. (Airila, Karjalainen, Mantovaara, Nurmi, Ranta & Ver 1985, 11.)

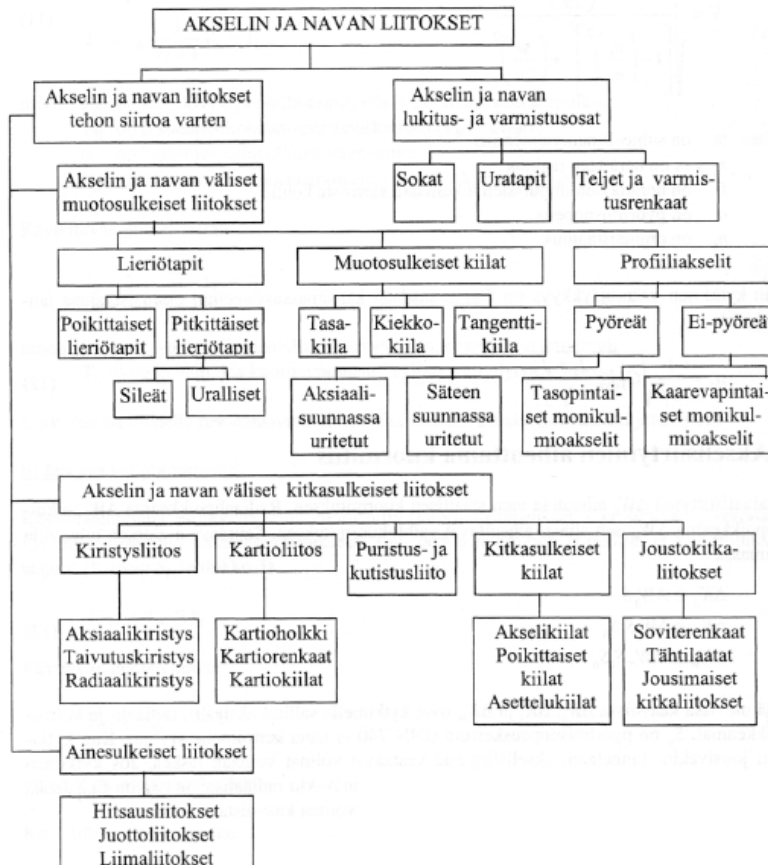
Liitos on hyvä suunnitella niin, että jännitys jakauma on mahdollisimman tasainen. Tämä on erityisen tärkeää väsyttävän kuormituksen alaisissa liitoksissa. Tasaisen jännitys jakauman aikaansaamisen kannalta toisiinsa liittyvien osien vastinpisteiden siirtymät ovat samansuuntaiset ja mahdollisimman samansuuruiset. Korroosion huomioon ottaminen on tärkeää liitoksen suunnittelussa. Tavallisimmat liitosten korroosiomuodot ovat galvaaninen ja rakokorroosio. Galvaaninen korroosio syntyy, kun kaksi erilaista

metallia koskettaa toisiaan. Epäjalompi osa syöpyy nopeammin jalompaan liitettynä kuin yksin samassa ympäristössä. Epäjalompi osa suojaa jalompaa osaa syöpymiseltä, tätä sanotaan katodiseksi suojaukseksi. Tämän vuoksi on tärkeätä, että liitettävät osat ovat lähellä toisiaan galvaanisessa jännitesarjassa. Pienten osien kuten ruuvit, niitit, mutterit, sokat ym. tulisi aina olla vähintään yhtä jaloja kuin ympäristö. Jos pieni liitososa on epäjalompi kuin suuripinta-alainen liitettävä osa, pieni liitososa syöpyy hyvin nopeasti ja seuraukset voivat olla tuhoisiakin. Korroosiota voidaan torjua myös siten, että elektrolyytin pääsy liitokseen estetään tai niin, että liitososien väliin pannaan sähköeristys, joka estää galvaanisen virran. (Airila ym. 1985, 14.)

Liitokset ovat kokonaisen koneen luotettavuuden ja turvallisuuden kannalta hyvin tärkeitä. Sen vuoksi liitosten suunnittelussa on syytä yksityiskohtaisesti selvittää eri valmistusvaiheiden ja käyttötilanteiden vaikutus liitoksen luotettavuuteen. Erityisesti huomiota kannattaa kiinnittää asennukseen, liitoksen löystymiseen, lämpötilaerojen aiheuttamiin jännityksiin, vuotoihin, korroosioon ja väsymiseen. Suunnittelijan on kiinnitettävä huomiota liitoksen ympäristöön riittävän laajalle, sillä usein liitoksen eri osien tasainen kuormittuminen on mahdollista vain, kun liitettävät osat on muotoiltu liitoksen kannalta oikein. (Airila ym. 1985, 15.)

4 LIITOSTEN JAOTTELU

Akselin ja navan liitosten päätoimintona on tehon ja/ tai vääntömomentin siirto. Sivutoimintona on päätoiminnon varmistus. Näiden jaottelua toimintojen mukaan (kuvio 1). (Airila, Ekman, Hautala, Kivioja, Kleimola, Martikka, Miettinen, Niemi, Ranta, Rinkinen, Salonen, Verho, Vilenius & Välimaa 2010, 374.)



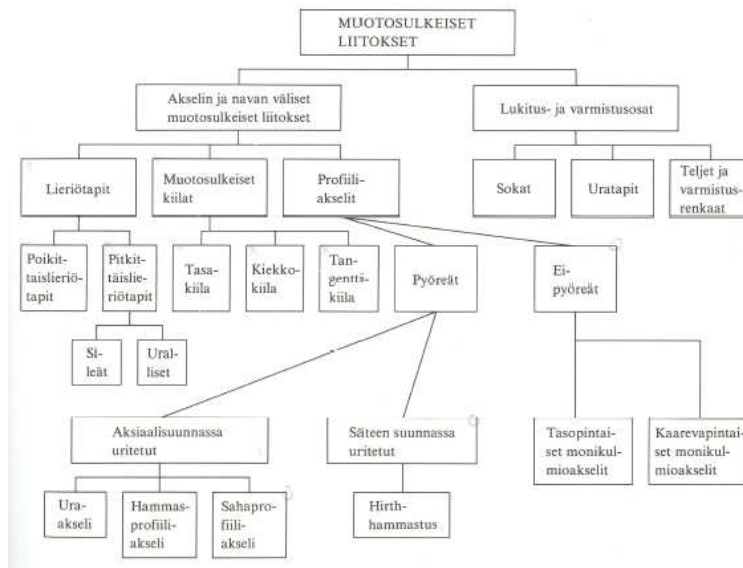
KUVIO 1. Akselin ja navan liitosten ja niiden varmistuksen luokittelu (Airila ym. 2010, 374).

Liitoksen päätehtävän kannalta liitokset voidaan jakaa kolmeen ryhmään. Voimaliitoksiin, jotka osallistuvat liitettäviin osiin kohdistuvien pääkuormien kantamiseen (esim. auton pyörän kiinnitysruuvit). Kiinnitysliitoksiin, jotka eivät osallistu pääkuormien kantamiseen (esim. auton tyypimerkintöjen kiinnitys). Joustaviin liitoksiin, jotka sallivat liitettävien kappaleiden välillä liikettä ilman, että voiman vaihtelut kasvavat liian suuriksi (esim. auton jouset). (Airila ym. 1985, 11.)

Voimaliitosten kohdalla korostuu lujuusvaatimus, kun taas kiinnityслиitoksessa taloudellisuus ja riittävä muodonmuutoskyky ovat usein olennaisinta. Joustavissa liitoksissa painopiste on yleensä kimmoisen energian varastointikyvyssä, väsymislujuudessa ja joustavuudessa. (Airila ym. 1985, 11.)

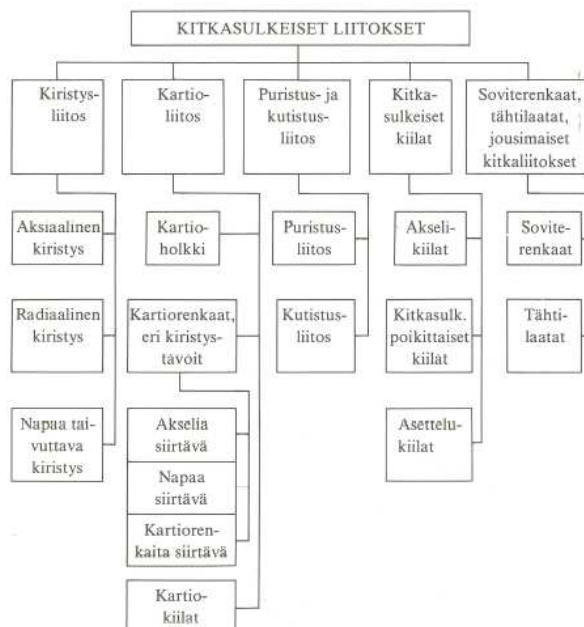
Osien toisiinsa liittämisen kannalta liitokset voidaan jakaa ainesulkeisiin liitoksiin, muotosulkeisiin liitoksiin ja voimasulkeisiin liitoksiin. Voimasulkeiset liitokset tunnetaan myös kitkaliitoksen nimellä. Ainesulkeisessa liitoksessa voima siirtyy kappaleesta toiseen liitosaineen kautta. Tällaisia liitoksia ovat liima-, juotto- ja hitsausliitokset. Muotosulkeisessa liitoksessa liitettyjen kappaleiden välillä voima siirtyy toisiaan koskettavien pintojen normaalijännityksen avulla. Tällaisia liitoksia ovat mm. sokat, suuntaiskiilat ja nivelien tappiliitokset. Voimasulkeisissa liitoksissa voima välittyy liitospinnassa kitkan avulla. Kitkavoima aikaansaadaan esijännittämällä liitettävät kappaleet toisiaan vastaan. Tällaisia liitoksia ovat mm. esijännitetty ruuviliitos ja akselin ja navan välinen kutistusliitos. Näiden liitostyyppien lisäksi on monia liitoksia, joissa voima siirtyy usealla tavalla osien väillä. Esimerkiksi kuumaniitattu liitos on sekä muoto- että voimasulkeinen, sillä voima siirtyy siinä sekä niittireikien normaalijännityksen että niitin jäähtymisen aiheuttaman esijännityksen tuottaman kitkavoiman kautta. (Airila ym. 1985, 12.)

Akselin ja navan liitoksissa käytetään useimmiten muotosulkeisia tai kitkasulkeisia liitoksia. Muotosulkeisissa liitoksissa saadaan liitos aikaan muoto-osilla, joihin kohdistuvat sulkemisen aiheuttavat kitkasta riippumattomat normaali- tai leikkausvoimat. Vaihutosuuntaisessa kuormituksessa on haittana vällys. Se voidaan poistaa esikuormituksella. Muotosulkeisien liitosten luokittelu (kuvio 2). (Airila ym. 1985, 289; Airila, Jantunen, Kivioja, Laihotie, Nurmi, Pora & Ranta 1987, 95.)



KUVIO 2. Muotosulkeisten liitosten luokittelu (Airila ym. 1985, 289; Airila ym. 1987, 95).

Kitkasulkeisissa liitoksissa saatetaan liitettävät osat keskinäiseen puristukseen, jolloin kosketuspinnolle syntyvät kitkavoimat estävät niiden välisen liukumisliikkeen ja normaalivoimat estävät irtautumisen. Kitkasulkeisten liitosten luokittelu (kuvio 3). (Airila ym. 1985, 328; Airila ym. 1987, 105.)



KUVIO 3. Kitkasulkeisten liitosten luokittelu (Airila ym. 1985, 328; Airila ym. 1987, 105; Airila ym. 2010, 391).

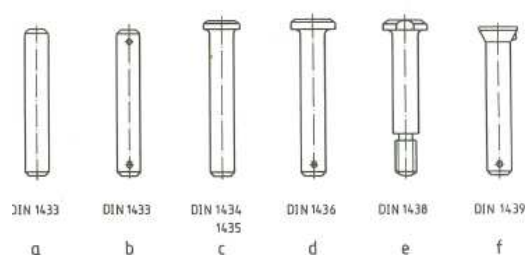
5 AKSELIN JA NAVAN VÄLISET MUOTOSULKEISET LIITOKSET

Akselin ja navan välisiä muotosulkeisia liitoksia ovat lieriötapit, kiilat, profiiliakselit tai muotoillut akselit (Airila ym. 1985, 294).

Muotosulkeisissa liitoksissa akselin ja navan välillä ei ole ainakaan suurta säteen suuntaista puristusta. Momentinsiirto tapahtuu liitoselementin kehän suuntaisen pintapaineen ja leikkausjännityksen avulla. (Blom, Lahtinen, Nuutio, Pekkola, Pyy, Rautiainen, Sampo, Seppänen & Suosara 2001, 93.)

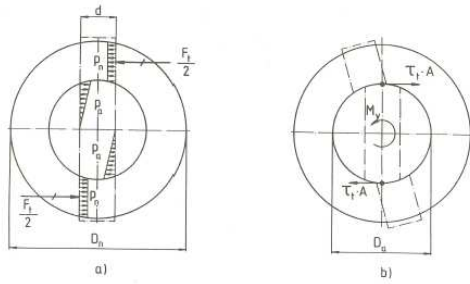
5.1 Lieriötapit

Lieriötappeja sijoitetaan akselin ja navan liitoksiin poikittain akselia vastaan ja pitkittäin kiilatapeiksi. Kuvassa 2 on muutamia DIN-standardin mukaisia lieriötappeja. (Airila ym. 1985, 294; Airila ym. 1987, 97.)



KUVA 2. Lieriötappeja akselin ja navan välisiin liitoksiin (Airila ym. 1985, 294; Airila ym. 1987, 97).

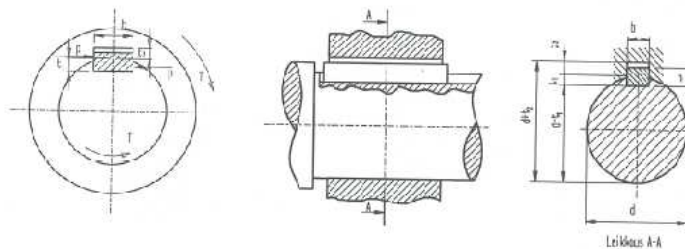
Poikittaislieriötappi akselin ja navan välille näkyy kuvassa 3. Kun akseli välittää vääntömomenttia tapin kautta napaan, eri osia kuormittavat epätasaiset painejakaumat. Kimmoisalla alueella napa, akseli ja tappi välittävät saman vääntömomentin. (Airila ym. 1985, 294; Airila ym. 2010, 380.)



KUVA 3. Poikittaislieriötappi akselin ja navan välisessä liitoksessa, jota kuormittaa vääntömomentti. Kohdassa a on esitetty pintapainejakaumat kimmoisella jännitysalueella ja kohdassa b tapin poikkileikkautuminen ylikuormituksessa. (Airila ym. 1985, 295; Airila ym. 2010, 380.)

5.1.1 Muotosulkeiset kiilat

Muotosulkeisia kiiloja ovat tasakiila, kiekkokiila ja tangenttikiila. Näistä yleisin muotosulkeinen kiila on tasakiila. Tasakiila on kiinni akselin kiilaurassa sivusuunnassa yleensä puristussovitteella, joka estää sen liukumisen. Myös napaosan urassa on yleensä puristusliitos, ellei liitosta ole tarkoitettu akselin suunnassa siirrettäväksi. Tasakiilan toiminta momentin välittämiseksi on esitetty kuvassa 4. (Blom ym. 2001, 95.)

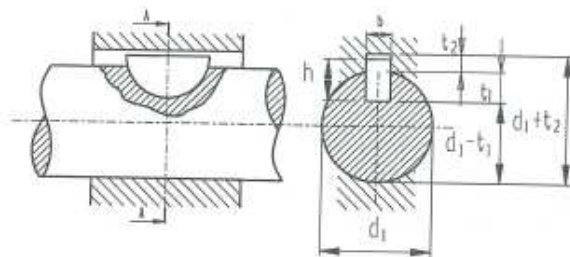


KUVA 4. Tasakiilan toiminta on momentinsiirrossa kuvassa vasemmalla, keskellä ja oikealla tasakiila esitettyinä SFS 2636 standardin mukaan (Airila ym. 1985, 302; Blom ym. 2001, 95).

Tasakiilassa vääntömomentin siirto tapahtuu kiilan sivupintojen välityksellä pintapaineen avulla (Airila ym. 1987, 98). Momentinsiirtokyvyn kannalta merkittäviä suureita ovat pintapaine kiilassa, navassa ja akselissa sekä leikkausjännitys kiilassa. Vaikka tasakiilaliitos olisi välyksetön, aiheuttaa kuormitusvoiman suunnan vaihtelu mikroskooppista liikettä, joka johtaa vähittäiseen kitkakulumiseen ja liitoksen löystymiseen. Tämän välttämiseksi on valittava puristussovite akselin ja navan välille, suoritettava pintakar-

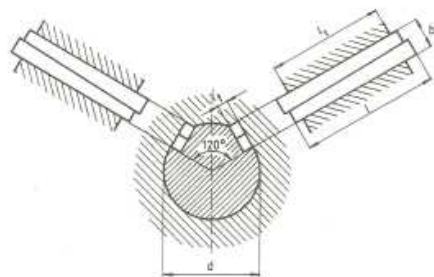
kaisu tai luovuttava tasakiilan käytöstä. Tasakiilaliitos ei siis ole välttämättä sovelias, kun vääntömomentin suunta vaihtelee tai käytetään hihnavälitystä tai vinohampaista hammasvälitystä. Aksiaalivoima ja kaatomomentti aiheuttavat mikroskooppista aksiaaliliikettä, jos aksiaalilukitus ei ole luja. (Blom ym. 2001, 97.)

Kiekkokiilassa vääntömomentin siirto tapahtuu kiilan sivupintojen avulla kuten tasakiilalla. Tämä liitos heikentää akselia enemmän kuin muut kiilat. (Kivioja 2003, 50). Standardin SFS 4018 mukainen kiekkokiila näkyy kuvassa 5. Sitä sanotaan myös Woodruff-kiilaksi ja se toimii muotosulkeisena kiilana. Jos navan kiilauran yläpinta tehdään kaltevaksi, se toimii myös kitkasulkeisella tavalla. Kiilaura on helppo valmistaa kiekkojyrsimellä, mutta aiheuttaa akseliin suuren lovivaikutuksen. (Airila ym. 1985, 304; Airila ym. 1987,99; Blom ym. 2001, 99.)



KUVA 5. Kiekkokiila standardin SFS 4018 mukaan (Blom ym. 2001, 99).

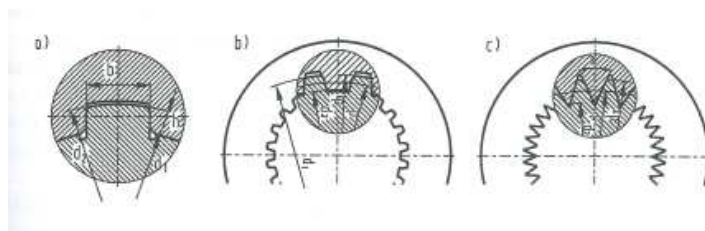
Kuvassa 6 on esitetty tangenttikiila standardin SFS 4005 mukaan. Siinä on kaksi 120° :n kulmaan asetettua kiilaparia. Kiilaparin kiilojen välinen kaltevuus on 1:60...1:100. Tangenttikiilaa käytetään vaihtosuuntaisessa kuormituksessa. Asennettaessa syntyy esipuristus ja kitkajännitys, jotka estävät kiilaa löystymästä. Kuormittaessa liitosta oletetaan, että vain toinen kiila siirtää vääntömomenttia toisen löytyessä. (Airila ym. 1985, 305; Airila ym. 1987, 99; Blom ym. 2001, 100.)



KUVA 6. Tangenttikiilaliitos (Blom ym.2001, 100).

5.1.2 Profiiliakselit

Pyöreitä profiiliakseleita on sekä aksiaali- että säteensuunnassa uritettuja. Profiiliakselit soveltuvat suurten vääntömomenttien siirtoon. Hampaat voivat olla tasopintaisia, evolventtikylkisiä tai kolmiomaisia (sahaprofiili). Tasopintaisilla hampailla varustettu profiiliakseli soveltuu tapauksiin, joissa navan tulee liikkua aksiaalisuunnassa. (Airila ym. 1987,99; Kivioja 2003, 51.) Nuorrutetuista tai muista lujista teräksistä tehdyt akselit siirtävät usein enemmän vääntömomenttia kuin kiila. Jos kiilaliitoksen rajoitettu momentinsiirtokyky muodostuu ongelmaksi voimansiirrossa, voidaan joskus käyttää kahta kiilaa. Vaativissa rakenteissa saadaan parempi ratkaisu uritettua profiiliakselia käyttämällä. Uritettu profiiliakseli on periaatteessa sarja akselille koneistettuja rinnakkaisia kiiloja. Uritettuja profiiliakseleita on esitetty kuvassa 7. Tällä tavalla saadaan kiilaliitosten rajoittama momentinsiirtokyky kohotettua samalle tasolle akselin momentinsiirtokyvyn kanssa. Uritetuista profiiliakseleista on mm. standardit DIN 5462, 5463 ja 5464 jotka ovat suoraampaisia. Evolventtihampaisille profiiliakseleille mm. standardit SFS 5125 ja DIN 5480, joista DIN 5480 on yleisimmin käytetty. (Blom ym. 2001, 100.)

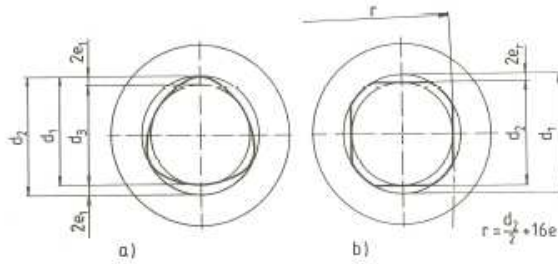


KUVA7. Profiiliakselin hammasmuotoja a) suoraampainen b) evolventtihampaat c) sahaprofiili eli lovihampainen (Blom ym. 2001, 101).

Säteensuunnassa uritettuja profiiliakseleita käytetään akselinliitoksissa, joissa on vain rajoitetusti tilaa aksiaalisuunnassa. Niiden poikkileikkaus on yleensä putkimainen, jossa säteensuuntainen uritus tai hammastus kiilamaisiin hampain. Käyttöä rajoittaa aksiaalisen puristusvoiman tarve. Hampaat kuormittaa pintapaine hampaiden kyljessä sekä työssä taivutus-, puristus- ja leikkausjännitys. (Airila ym. 1985, 309-310).

Ei pyöreitä profiiliakseleita ovat tasopintaiset monikulmioakselit ja kaarevapintaiset monikulmioakselit. Tasopintaisilla monikulmioakseleilla ovat momenttia siirtävät voimat kohtisuorassa sivuja vastaan. Tämä merkitsee pieniä vipuvarsia ja vastaavasti suuria pintapaineita. Kaarevapintaisen monikulmioakselin kaksi yleisintä DIN- standardin mukaista mallia on esitetty kuvassa 8. Näiden etuna suorapintaisiin monikulmioakseleihin

nähdessä on tarkka ja yksinkertainen valmistustapa profiilisorvissa. Käytössä niiden etuna on hyvä keskittäminen. Profiilia P3 käytetään mm. polttomoottorien kampiakselien päissä. (Airila ym. 1985, 315, 317; Airila ym. 1987, 100.)



KUVA 8. a) P3G akseli puristustiukkaan liitokseen, DIN 32711, b) P4C akseli liuku- ja puristustiukkaan liitokseen, DIN 32712 (Airila ym. 1985, 318).

5.2 Lukitus ja varmistusosat

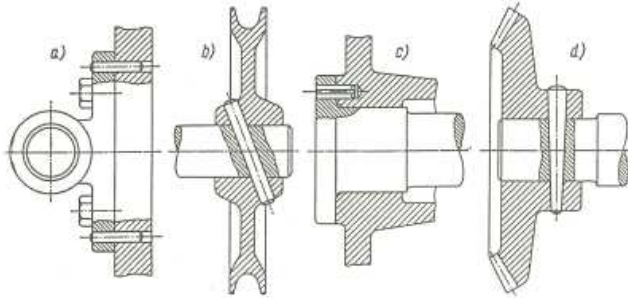
Lukitus- ja varmistusosia käytetään kahden koneenosan keskinäisen asennon tai kitkaliitoksen säilymistä varmistamiseen. Lukitus- ja varmistusosien luokittelu (kuvio 4). (Airila ym. 1985, 320.)



KUVIO 4. Lukitus- ja varmistusosien luokittelu (Airila ym. 1985, 320).

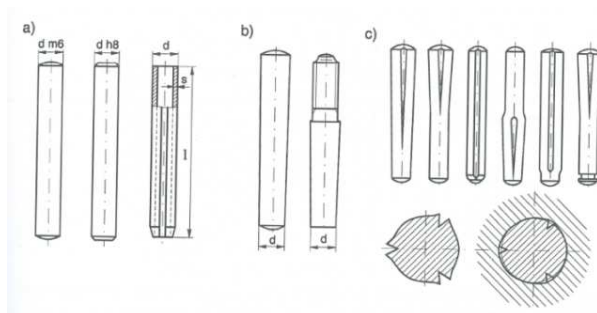
5.2.1 Sokat

Sokat ovat lieriömäisiä tai kartiomaisia kiinnitysosia. Niitä käytetään osien keskinäisen asennon varmistamisessa sekä napaliitoksissa kitkaliitoksen säilymisen varmistamiseen. Kuvassa 9 on esitetty sokkien käyttökohteita.



KUVA 9. Kohta a) lieriösokan käyttö keskinäisen asennon varmistuksessa, b) lieriösokan käyttö kitkaliitoksen pysyvyyden varmistamisessa, c) jousisokka varmistamassa liitosta, d) kartiosokka kierteettä akselin ja navan liitoksessa (Airila ym. 1985, 322; Airila ym. 1987, 102).

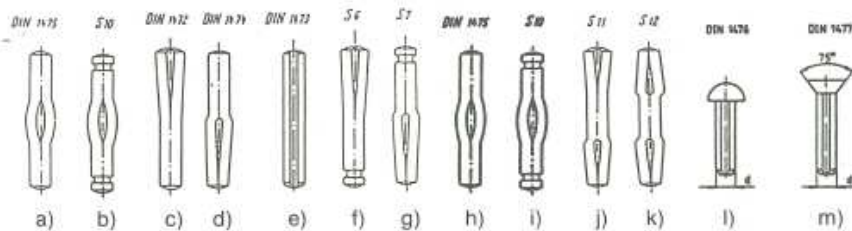
Lieriö- tai kartiosokkien sovittaminen paikoilleen on hidasta ja kallista. Sovitustyön välttämiseksi on kehitetty uratappi, jossa on valssattuja tai puristettuja pitkittäisuria. Urat tekevät tapin joustavaksi, joten se voidaan irrottaa ja asentaa useita kertoja. Kuvassa 10 on esimerkkejä sokka- ja uratyypeistä. (Airila ym. 1987, 100; Kivioja 2003, 51.)



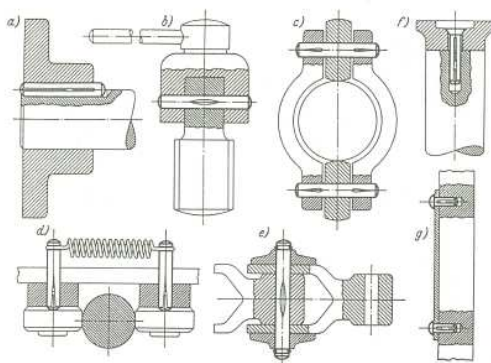
KUVA10. Kohdassa a on lieriösokkia, kohdassa b kartiosokkia, kohdassa c uratappeja, c kohdan alla on kaksi esimerkkiä sokan käytöstä napaliitoksessa (Kivioja 2003,51).

5.2.2 Uratapit

Lieriö- ja kartiosokkien sovittaminen paikoilleen on hidasta ja kallista. Sovitustyön välttämiseksi on kehitetty uratappi. Niissä on valssattuja tai puristettuja pitkittäisuria. Uratappi tekevät tapin joustavaksi, minkä ansiosta reikää ei tarvitse kalvia ja tappi voidaan irrottaa ja kiinnittää useita kertoja. Uratappien standardimuotoja on esitetty kuvassa 11. Kuvassa 11 on esitetty myös uranauvoja, jotka ovat kannalla varustettuja uratappeja. Uratappien ja -naulojen käyttötapoja on esitetty kuvassa 12. (Airila ym. 1985, 322; Airila ym. 1987, 101.)



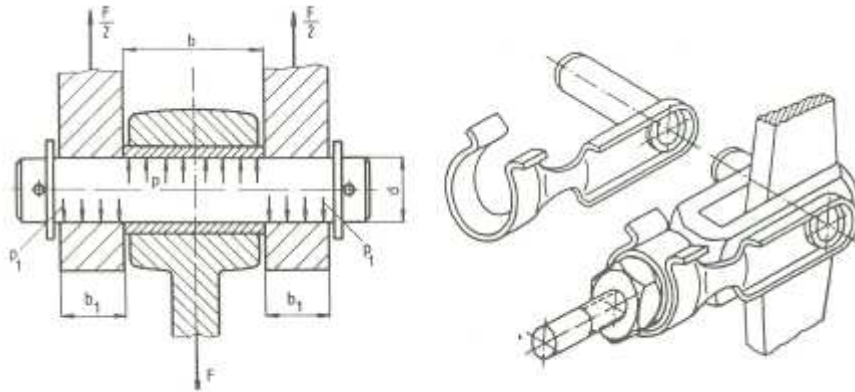
KUVA 11. Uratappien standardimuotoja DIN-normien mukaan. a) Uratappi, b) uratappi ulosvetopäällä, c) ja d) uratappi osittaisilla pitkittäisurilla, e) uratappi kokopitkällä pitkittäisuralla, f) ja g) kartiokas uratappi osittaisilla pitkittäisurilla ja ulosvetokaulalla, h) ja i) uratappeja keskiosan pitkittäisuralla, j) ja k) lieriö-kartiouratappeja, joissa on molemmissa päissä pitkittäisura, l) ja m) uranauvoja. (Airila ym. 1985, 322; Airila ym. 1987, 101.)



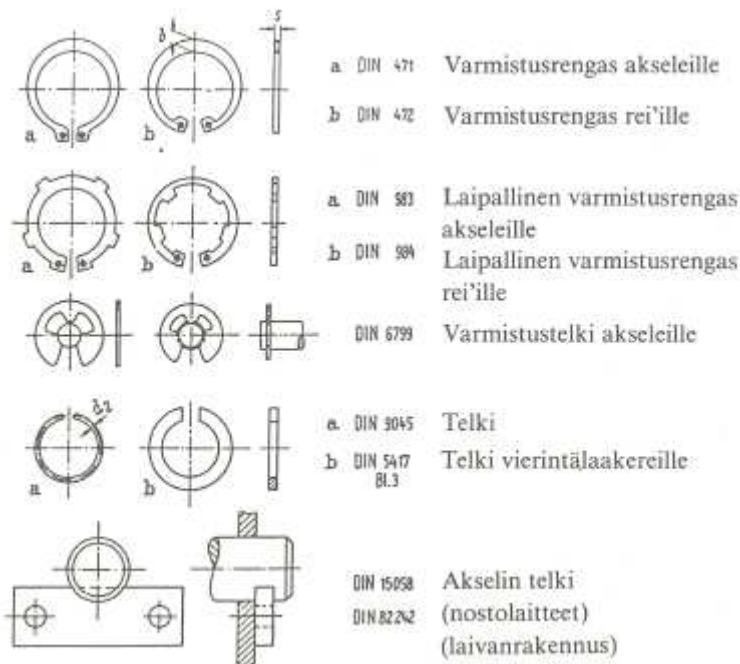
KUVA 12. Uratappien ja -naulojen käyttötapoja a) uratapin käyttö pitkittäiskiilana, b) uratapin käyttö poikittaiskiilana akselin ja navan liitoksessa, c) uratapin käyttö ohjainrullien akseleina, d) uratappien käyttö ohjainrullien akseleina kytkettynä toisiinsa kierrejousella ulokeosien kauloista, e) uratappien käyttö akselin, haarukan ja vetotangon liitoksessa molemmin päin varmistusrenkain, f) uranauvojen käyttö levyn kiinnityksessä alustaan (Airila ym. 1985, 323; Airila ym. 1987, 103).

5.2.3 Teljet ja varmistusrenkaat

Telkiä ja varmistusrenkaita käytetään nivellaitteissa lieriötappien kanssa estämään ei-toivottuja aksiaalisia liikkeitä kuva 13. Kuvassa 14 on esitetty työkaluilla asennettavia varmistuselimiä DIN-standardien mukaan. (Airila ym.1985, 323.)



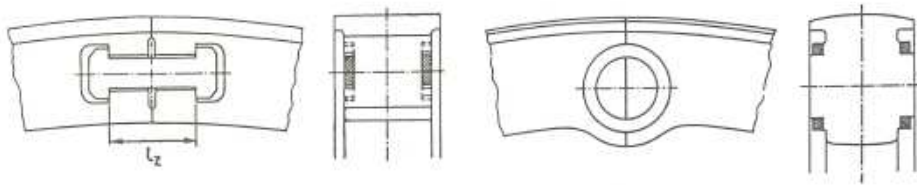
KUVA 13. Vasemmalla akselin liikkeen estäminen varmistusrenkaalla ja uratapilla, oikealla telkijousen käyttö (Airila ym. 1985, 324).



KUVA 14. Varmistuselimiä DIN-standardien mukaan (Airila ym. 1985, 324; Airila ym. 1987; 103).

5.2.4 Muotosulkeiset kutistuskiinnitysosat

Muotosulkeisissa kutistuskiinnitysosissa on kuvassa 15 vasemmalla esitetty kutistustanko ja kuvassa 15 oikealla esitetty kutistusrenkas. Näitä käytetään mm. suurten osista koottujen vauhtipyörän osien liittämiseen. Kutistusrenkaita käytetään myös varolevykytkimissä suojaamassa ylikuormitusmomentilta. (Airila ym. 1985, 326).



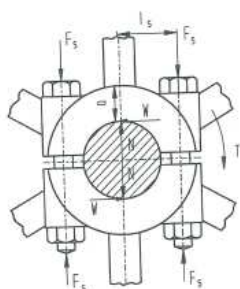
KUVA 15. Muotosulkeinen kutistustankoliitin ja muotosulkeinen kutistusrenkasliitin (Airila ym. 1985, 326).

6 KITKASULKEISET LIITOKSET

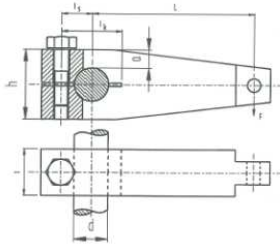
Kitkasulkeisissa liitoksissa liitoselementin tehtävänä on aikaansaada ja varmistaa navan ja akselin välille niin suuri säteen suuntainen pintapaine, että momentinsiirto tapahtuu kitkavoiman avulla. (Blom ym. 2001, 93.) Kitkakertoimet vaikuttavat kitkavoimien suuruuksiin. Tämä taas riippuu ainepareista ja niiden laadusta, pinnan karheudesta ja pintakerroksista. Kitkakertoimia on lepo- ja liikekitkakertoimet, näistä suurempi on lepokitkakerroin, joten varmuussyistä käytetään laskennassa liikekitkakerointa. (Airila ym. 1985, 329.)

6.1 Kiristysliitos

Kiristysliitos voidaan tehdä käyttämällä joustavaa tai halkaistua napaa tai erillistä kiristuselementtiä navan ja akselin välissä. Tämän liitosmuodon etuna on se, että liitos voidaan helposti siirtää tarvittaessa ja että se voidaan tehdä suoraan vedetylle akselille ilman koneistamista. Kiristysliitokset voidaan jakaa aksiaalisesti kiristettäviin liitoksiin ja radiaalisesti kiristettäviin liitoksiin. Halkaistu napa ja lovettu napa ovat radiaalisesti kiristettyjä liitoksia. Kuvassa 16 on halkaistun navan kiristysliitos, joka on radiaalisesti kiristetty akselin ja navan liitos. Kuvassa 17 on esitetty lovetun navan kiristysliitos, joka on myös radiaalisesti kiristetty akselin ja lovetun navan liitos. (Blom ym. 2001, 113-114.)

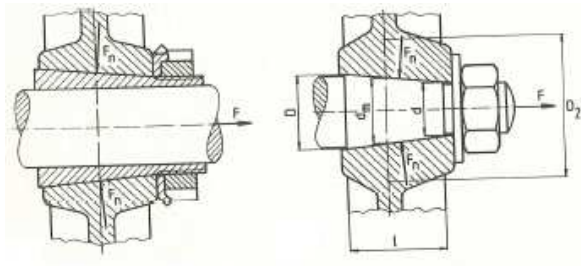


KUVA16. Halkaistun navan kiristysliitos (Blom ym.2001, 114).



KUVA 17. Lovetun navan kiristysliitos (Blom ym.2001, 114).

Aksiaalisesti kiristetyissä liitoksissa kiristys voidaan suorittaa käyttäen akselia ruuvina tai navassa olevia ruuveja. Kuvassa 18 on vasemmalla navan päälle työntävällä tavalla kiristetty liitos. Lieriömäisen akselin päällä on kartiorengas, jonka päälle napa työnnetään. Kuvassa 18 näkyy oikealla akselia vetävällä tavalla kiristetty liitos. Akselin kartiokkaassa päässä on ruuvi-mutteri-liitos akselin vetämiseksi navan vastinkartion sisälle. Kiristäviä osia ovat ruuvit. Vääntömomentin siirtäminen tapahtuu kitkan avulla. Kiristysliitosta käytetään akselin ja navan välillä silloin, kun siirrettävä vääntömomentti on pieni ja lähes staattinen (Airila ym. 1985, 329-330; Airila ym. 1987, 106).

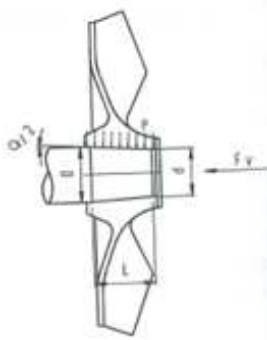


KUVA18. Vasemmalla on napaa työntämällä kiristetty liitos ja oikealla akselia vetämällä kiristetty liitos (Airila ym. 1987, 106).

6.2 Kartioliitos

Kartioliitoksia käytetään työkalujen, hammaspyörien ja hihnavetolaitteiden kiinnittämiseen akseleille. Ne voivat olla erillisiä, tarvittaessa ylikuormitussuojaa antavina liitoselininä tai yhdessä kiilaliitoksen kanssa sen pitävyyttä tehostavina akselin ja navan välisinä liitoksina. Kuvassa 19 on esitetty kitkakartioliitoksen toimintaperiaate. Akselin suuntainen esikiristysvoima saa aikaan pintapaineen liitospinnoissa ja momentin välitys tapahtuu kitkavoimien avulla. Kitkakartioliitos soveltuu usein avattaviin kohteisiin, joskin tarkkojen kartiopintojen tekeminen on kalliimpaa kuin lieriöpintojen tekeminen.

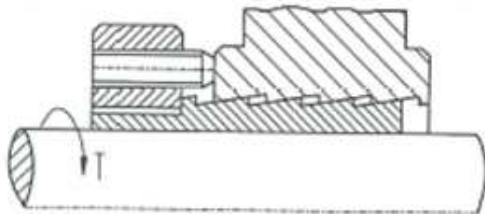
Kartiokkaiden akselinpäiden yleinen kartiokulma on $5,724^\circ$, joka vastaa kartiota 1:10. (Blom ym. 2001, 112.)



KUVA19. Kitkakartioliitoksen toimintaperiaate (Blom ym. 2001, 112).

6.2.1 Kartioholkki

Kiristysliitos voidaan tehdä akselin ja navan väliin sijoitettavalla kiristysholkilla. Ne mitoitetaan ja valitaan valmistajien antamien laskentaohjeiden mukaisesti. Kuvassa 20 on esitetty kartioholkki. (Blom ym.2001, 117).

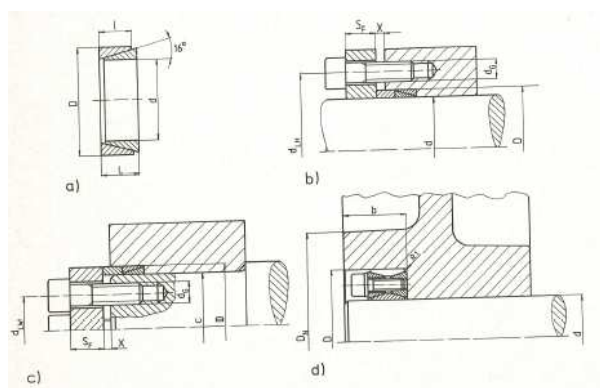


KUVA 20. Kartioholkki (Blom ym. 2001, 117).

Kiilaliitoksen sovitinpintojen muuttaminen lieriöstä jyrkähköksi kartioksi antaa mahdollisuuden navan aksiaalisella pakottamisella sovitinpaineen säätöön. Hihnapyörien napaliitoksissa tarvitaan vähäistä radiaalista tiukkuutta. Täten monet hihnapyörien valmistajat ovat kehittäneet omia asennusholkkejaan, jotka liittyvät hihnapyörään kartiopinnalla ja akseliin lieriöpinnalla, sekä kiilauralla. Kartiopinnan saumaan on sijoitettu ahtamisruuvit, jotka samalla varmistavat vääntömomentin siirtymisen kartiopinnan yli muotosulkeisesti. Holkit ovat halkaistuja, joten niiden muodonmuutokseen ei kulu tarpeettomasti voimaa. Tunnetuin tämän tyyppin holkki on Fennerin Taper Lock. (Koneensuunnittelu 2 2013,233.)

6.2.2 Kartiorenkaat

Kartiorenkaat ovat voimasulkeisia akselin ja navan liitoksia. Ne ovat lyhyitä kartiorengaspareja, joissa ei ole kiristysvälineitä mukana. Ne on rakennettava muun rakenteen yhteyteen. Rengasparin sisä- ja ulkopinta ovat lieriöitä, joten ne sopivat suoraan akselin ja navan lieriömäisten pintojen väliin. Renkaita voi olla yhdestä neljään paria samassa liitoksessa. Kartiorenkaat voidaan jakaa kiristystavan mukaan kolmeen luokkaan (kuva 21) sen perusteella siirretäänkö akselia, napaa vai kartiorenkaita. Kartiorengasliitoksen etuina on että kohtuullisella ruuvivoimalla saadaan lujempia napaliitoksia, kuin millään muulla mekaanisella liitoskomponentilla. Asennustarkkuus on erinomainen sopivilla vastinpinnoilla ja purettavuus on helppoa. (Airila ym. 1985, 341; Airila ym. 1987, 108.)



KUVA 21. Kuvassa on kohdassa a) kartiorengaspari, kohdassa b) napaa siirtävä kiristys, kohdassa c) akselia siirtävä kiristys ja kohdassa d) kartiorenkaita siirtävä kiristys (Airila ym. 1987, 108).

Kartiorenkaiden valmistajien antamat mitoitus- ja rakennusohjeet usein puutteellisia ja se on johtanut vaikeuksiin liitoksen purkamisessa (Koneensuunnittelu 2 2013,238.).

6.3 Kutistus- ja puristusliitos

Kutistus- ja puristusliitokset ovat lieriömäisistä liitospinnoista muodostuvia kitkasulkeisia navan ja akselin välisiä liitoksia. Liittäessä syntyy akselin ja navan välille muodonmuutoksista aiheutuva jännitystila. Liitoksessa vaikuttaa säteensuuntainen puristusjännitys. Tämän pintapaineeksi nimetyn puristusjännityksen vaikutuksesta voi kitkasulkeinen liitos välittää tangentiali- tai aksiaalivoimia. (Blom ym. 2001, 104.)

Puristus- ja kutistusliitoksissa kuormankantokyky on verrannollinen liitospinnan aineparien väliseen kitkakertoimeen ja liitospaineeseen. Näiden liitosten etuna on hyvä kestävyys vaihtokuormituksessa pienen lovivaikutuksen ansiosta sekä hyvä keskittäminen. Liitos vaatii kuitenkin tarkkoja toleransseja. Ennen asennusta akselin halkaisija on suurempi kuin navan reiän halkaisija. (Kivioja 2003, 52.)

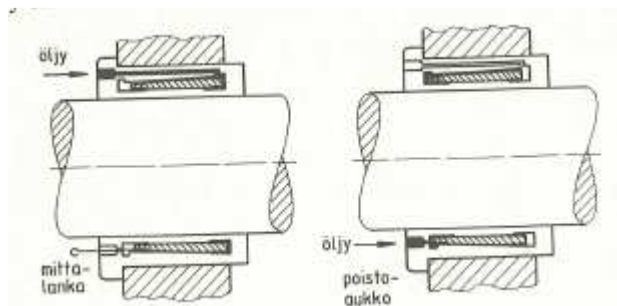
Puristus- ja kutistusliitosta suunniteltaessa käytetään hyväksi tartuntakerrointa. Tartuntakertoimella tarkoitetaan lasketun normaalin eli säteen suuntaisen puristusvoiman suhdetta irrotusvoimaan. Se on kitkavoiman kaltainen suure, mutta irrotusvoiman aiheuttamaa puristusvoimaa ei voi mitata, vaan se on soviteen avulla laskettu tai oletettu suure. Tartuntakertoimet ovat akseli-napa-liitoksissa erilaiset tangentiaali- ja aksiaalisuunnassa. Tartuntakertoimien itseisarvoon vaikuttavat mm. materiaalit ja niiden muodostamat parit, liitospintojen pinnankarheus, liitospintojen käsittely (voideltu, voitelematon) ennen kuin ne on liitetty yhteen, akseliin ja napaan kohdistuva kuormitus (elastinen, plastinen). Taulukoista saa tartuntakertoimia tavanomaisille rakennusmateriaaleille puristus- ja kutistusliitosta varten. (Blom ym. 2001, 106.)

6.3.1 Kutistusliitos

Kutistusliitoksen asennus tapahtuu lämmittämällä napaa, jolloin se laajenee tai akselia jäähdyttämällä, jolloin akseli kutistuu. (Kivioja 2003, 52). Kutistusliitoksen pääosia ovat akseli ja napa. Liitoksen päätoimintona on vääntömomentin siirtäminen akselin ja navan välillä. Useimmiten akseli tehdään suuremmaksi halkaisijaltaan kuin navan reiän halkaisija. Kutistusliitoksessa navan lämmitys voidaan tehdä esim. kuumalevyillä 100 °C, öljykuumenuksella 370 °C, kiertoilmaunissa 700 °C tai induktiokuumentamisella. Akselia voidaan kutistaa jäähdyttämällä sitä esimerkiksi hiilihappojäällä, jolla päästään -78 °C lämpötilaan tai nestemäisellä typellä, jolla päästään -196 °C lämpötilaan.

Kutistusliitos voidaan tehdä myös pumppaamalla paineöljyä suoraan akselin ja navan väliin. Näin saadaan ne erilleen liittämisen tai irrottamisen ajaksi. Lievästi kartiokkailta (1:30) liitospinnoilla voidaan paineöljyä käyttää vain irrottamiseen. Erikoisratkaisuilla onnistuu sekä liittäminen että irrottaminen. Pumppaamalla paineöljyä navan ja akselin välissä olevaan palkeeseen voidaan ne saada erilleen ja liitos voidaan sekä muodostaa

että purkaa. Kuvassa 22 näkyy kutistusliitos, joka voidaan tehdä ja purkaa syöttämällä paineöljyä palkeeseen, jonka sisällä on kartiomainen rengasmäntä.



KUVA 22. Vasemmalla on esitetty liitoksen teko ja oikealla on esitetty liitoksen irrotus (Airila ym. 1987, 110).

Kiinnitysvaiheessa pumpataan öljyä kiinnitysaukkoon käsipumpulla. Sisällä oleva kartiomainen rengasmäntä liikkuu aksiaalisuunnassa, kun paineöljy työntää sitä aksiaalises-ti samalla laajentaen paljetta ja napaa tehden tilaa männälle säteensuunnassa. Haluttu liitospaine voidaan mitata poistoaukossa olevan mittakepin liikematkasta. Liitoksen irrottamiseksi pumpataan irrotusaukkoon öljyä, jolloin kartiomäntä liikkuu vapaaksi. Käytössä liitos ei luista, koska se perustuu metalli-metalli kosketukseen. Liitos sopii halkaisijaltaan 50-500mm suuruisille akseleille. Kokeiden mukaan akseli jonka halkaisija on 100mm ja napa jonka ulkohalkaisija on 145mm muodostavat liitoksen jonka vääntömomentin siirtokyky on 21kNm, asennusaika oli 5min ja irrotusaika 3min.

Kutistusliitosten huonona puolena ovat ylikuormitustilanteet, jolloin kutistusliitokset luistavat ja vaurioituvat, lisäksi luistomomentin arvoissa on paljon hajontaa. Näitä haittoja on pienennetty ylikuormitussuojalla varustetuilla kytkimillä. Kun liitos alkaa luistaa asetetulla vakiona pysyneellä ylikuormitustmomentilla, katkaisuhahlo avaa heti paineöljytilan ja kytkin muuttuu kiinteästä liitoksesta vaurioitumatta liukulaakerin tavoin toimivaksi liitokseksi. (Airila ym. 1985, 348-351; Airila ym. 1987, 109-110).

Kutistusliitos on napaliitoksista halvin, mikäli asennus voidaan suorittaa järkevästi. Kutistusliitos rakennetaan yleensä pysyväksi, se on silti purettavissa koneistamalla, kuumentamalla liitosta asetyleeniliekillä tai induktiokuumentamisella. Induktiokuumentamisesta käytettäessä kuumennustyökalu on rakennettava kohteen mukaan ja tämä menetelmä soveltuu erinomaisesti tapauksiin, joissa joudutaan purkamaan suuri määrä samanlaisia osia. Kuumentamisessa on aina vaarana, että liituskappaleiden kumitiivisteet voivat

kärsiä kuumuudesta. Lujuudeltaan kutistusliitos vastaa kiilaliitosta, mutta on monipuolisemmin kuormitettavissa. Se soveltuu sekä staattisiin että dynaamisiin vääntö- ja kaatokuormituksiin, se soveltuu myös radiaaliseen ja aksiaaliseen kuormitukseen. Kutistusliitos on sitä lujempi, mitä tiukempi se on. Suuri pintapaine aiheuttaa aktivoituvien kohtien tiheämmän ja tasaisemman jakautumisen. Näin laskennallinen kitkakerroin kasvaa ja väsymislajuuden määrittely tarkentuu, liukuma pienentyy. Purettavuus vaikeutuu ja joissain tapauksissa asennettavuus vaikeutuu myös. Mitä kireämpi napaliitos on, sitä suuremman epäjatkuvuuskohdan se muodostaa akselille. Tämä on otettava huomioon riittävän korkealla olakkeella ja suurella olakepyöristyksellä. Sijoittamalla napaliitos olakkeen avulla suuremmalle halkaisijalle päästään jo noin 10 %:n liitoshalkaisijan kasvulla täysin liikkumattomaan napaliitokseen. Jos napaliitoksen kohdalla akselia ei ole kasvatettu, kutistuspuheen kiristyminen heikentää akselin väsymislajuutta. Paineen pienentäminen puolestaan lisää kitkaväsymisen vaaraa akselissa ja voi aiheuttaa jopa liitoksen irtoamisen. (Koneensuunnittelu 2 2013,218, 222.)

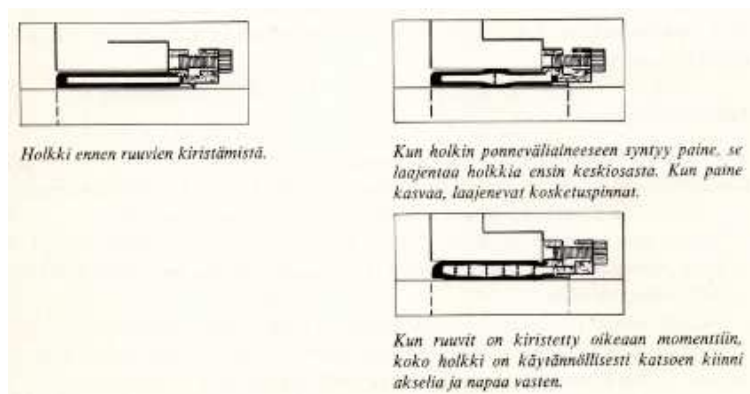
6.3.2 Puristusliitos

Puristusliitos tehdään työntämällä akseli navan sisään, jolloin akseli puristuu ja napa venyy. Etuna on yksinkertainen tekotapa. Haittana on liitospintojen tasoittuminen liitosta asennettaessa, jolloin vääntömomentin siirtokyky on alle puoletkin vastaavan kutistusliitoksen momentin siirtokyvystä. (Airila ym. 1987, 112; Kivioja 2003, 52). Navan ja akselin jännityksiä ei voi suurentaa puristusliitosta tehtäessä rajattomasti, vaan riittävän suuren pintapaineen seurauksena venyneet tai kokoon puristuneet osat joutuvat plastisen muodonmuutoksen alueelle. Etenkin suuret muodonmuutokset ovat vaarallisia. (Blom ym. 2001, 108.)

6.3.3 ETP-holkki

ETP-kiinnitysholkki on paineöljyllä toteutettua kutistusliitosta muistuttava akselin ja navan kiinnitystapa. Holkin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 23. Holkki kiristetään sen päissä olevilla kiristysruuveilla, männillä tai ulkoisella pumpulla. Holkin sisältämä ponneaine puristuu ulkoseinämiä vasten, kun kiristysruuvit painavat männän sisään. Samalla holkki laajenee akselia ja napaa vasten kiinnittäen koneenosat. Kaksiseinämi-

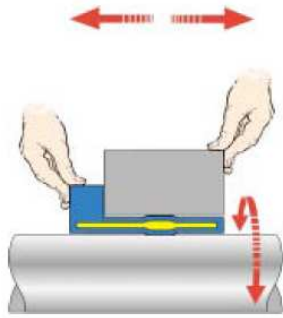
nen holkki laajenee tasaisesti ja mahdollistaa yhdenmukaisen pintapaineen napaa ja akselia vasten. Holkki pysyy paikallaan ilman uria ja kiiloja. Holkin vaatimat toleranssit ovat navassa H7 ja akselissa k6-h8. (Airila ym.1987, 110; ETP-kiinnitysholkitesite1021237.)



KUVA 23. ETP-holkin toimintaperiaate (Airila ym. 1987, 110).

ETP- hydraulinen periaate antaa monia etuja, kuten kompakti rakenne, nopea asennus, helppo paikoitus, hyvä keskittämistarkkuus, kosketuspintojen vahingoittumattomuus ja helppo irrotus. Näistä eduista kerrotaan seuraavaksi lisää.(ETP-kiinnitysholkitesite1021237.)

Aloittaessa asennusta/paineistamista, kaksiseinämäisen holkin keskiosa koskettaa ensiksi napaa ja akselia. Tässä vaiheessa on mahdollista liikuttaa ETP-kiinnitysholkkia akselin ympäri ja sitä pitkin kuva 24. Napa on helppo paikoittaa tarkasti ja synkronoida se muiden kone-elementtien kanssa. Paineistusta jatkettaessa kaksiseinämäinen holkki liikkuu vain radiaalisuunnassa napaa ja akselia vasten. Asennetun holkin paikka ei muutu, siksi asennuksessa säästetään aikaa ja siitä tulee tarkka. (ETP-kiinnitysholkitesite1021237.)

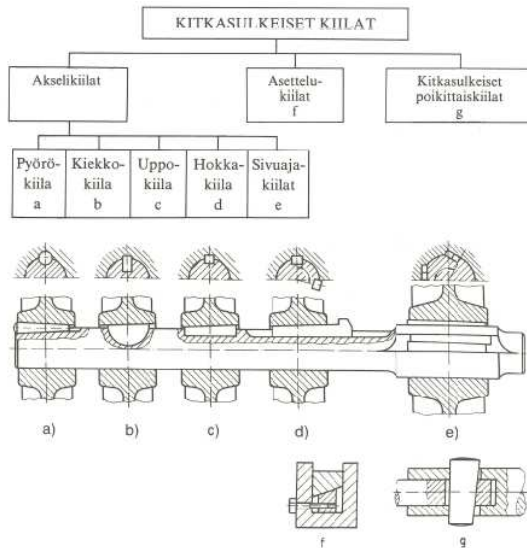


KUVA 24. ETP-kiinnitysholkki paineistuksen alkuvaiheessa (ETP-kiinnitysholkitesite1021237).

Osassa ETP-kiinnitysholkeista on paineruuvi tai letkuliitántä radiaalisuunnassa akseliin nähden. Tällöin ei tarvitse varata tilaa akselin pituussuunnassa asennustyökaluille. Etuina on, että joku toinen kone-elementti voidaan asentaa ETP-kiinnitysholkin laippaa vasten, jolloin rakenteesta tulee kompakti, joka puolestaan vähentää hitausmassaa. Asennettaessa menee vähän aikaa, sillä ruuvien kiristys ei vaadi suurta momenttia ja niitä on yhdestä, muutamaan kappaleeseen riippuen holkista. Liitoksesta tulee kiristuksen jälkeen kuormitusvalmis ja ruuveja ei tarvitse jälkikiristää. Kosketuspinta napaan ja akseliin on pitkä, joten pintapaine pysyy kohtuullisella tasolla. Matala ja tasainen pintapaine estää kosketuspintojen vahingoittumisen, tämän ansiosta voidaan käyttää myös alumiinisia napoja. Pintapaine on yhtä suuri ympäri navan ja akselin, sekä pituussuunnassa. Hydraulinen toimintaperiaate ja tarkka koneistus tekevät keskittämistarkkuudesta ja tasapainosta erittäin hyvän, jolloin säteisheitto ja tasoheitto ovat erittäin pieniä. Tämän ansiosta epätasapaino on minimaalista. Irrotus on myös nopeaa. Ruuveja löystyttäessä hydraulinen paine laskee ja lopulta häviää, elastisesti jännitetty kaksiseinämainen holkki palautuu alkuperäisiin mittoihinsa ja on valmis irrotettavaksi. Uudelleen asentaminen onnistuu samalla tavalla, kuin alkuperäinen asentaminenkin. (ETP-kiinnitysholkitesite1021237.)

6.4 Kitkasulkeiset kiilat

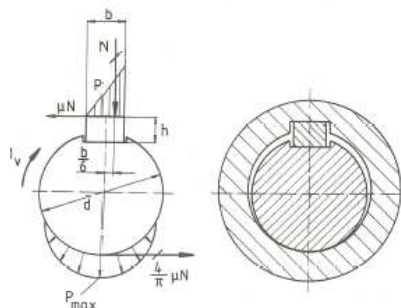
Kitkasulkeisten kiilojen käyttö on paikallaan silloin, kun halutaan välttää muihin rakenteisiin äkillisten kuormitusiskujen kautta aiheutuvia suurempia vaurioita (Blom ym.2001, 102–103). Kitkasulkeisia kiiloja sanotaan myös todellisiksi kiiloiksi. Niiden luokittelu on esitetty kuvassa 25. (Airila ym. 1985, 364; Airila ym. 1987, 112.)



KUVA 25. Kitkasulkeisten kiilojen luokittelu (Airila ym. 1985, 365).

6.4.1 Akselikiilat

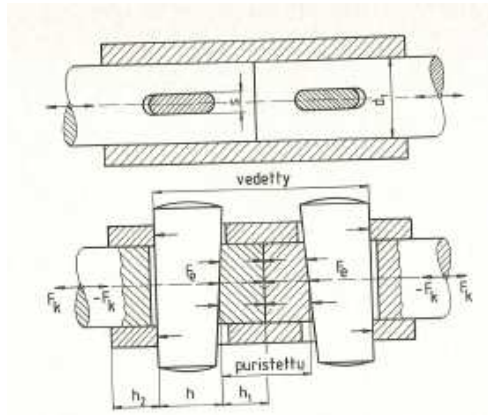
Akselikiila puristaa yläpinnaltaan napaa ja alapinnaltaan akselia, joihin kumpaankin on tehty niin leveä kiilaura, että kiila voi olla vapaana kummaltakin sivultaan. Vääntömomentti siirtyy likimain tangentinsuuntaisten kitkavoimien avulla, jotka vaikuttavat kiilan selän ja navan sekä vastakkaisella puolella akselin ja navan välillä. Akselikiilan toimintatapa on esitetty kuvassa 26. Jos akseli kiertyy hieman navassa, muuttuu pintapaineen tasainen jakaantuminen epätasaiseksi pintapaineeksi, jolloin pieni osa momentista siirtyy puristusvoimien aikaansaaman momentin kautta. Vääntömomentin oletetaan kuitenkin siirtyvän yksinomaan kitkan välityksellä, jolloin kiilan mahdollista leikkautumista ei oteta huomioon. (Airila ym.1985, 365; Blom ym. 2001, 102-103.)



KUVA26. Akselikiila (Airila ym. 1985, 365).

6.4.2 Kitkasulkeiset poikittaiskiilat

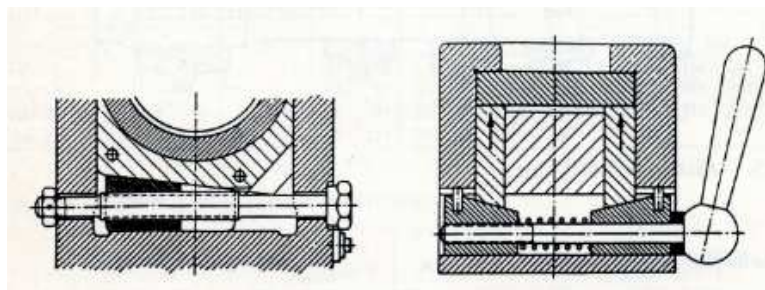
Poikittaiskiiloja käytetään esimerkiksi vetotankojen liitoksissa, kuva 27 (Airila ym. 366; Airila ym. 1987, 113).



KUVA27. Kitkasulkeinen poikittaiskiila akseliliitoksessa (Airila ym. 1985, 366; Airila ym. 1987, 114).

6.4.3 Asettelukiilat

Asettelukiiloja käytetään kahden kappaleen portaattomaan siirtoon pienillä siirroksilla ja suurillakin voimilla. Kuvassa 28 näkyy vasemmalla asettelukiilan käyttö laakerikuorman siirtämiseksi ja oikealla kuvassa 28 kiinnitystyökaluna. (Airila ym. 1985, 367; Airila ym. 1987,113.)



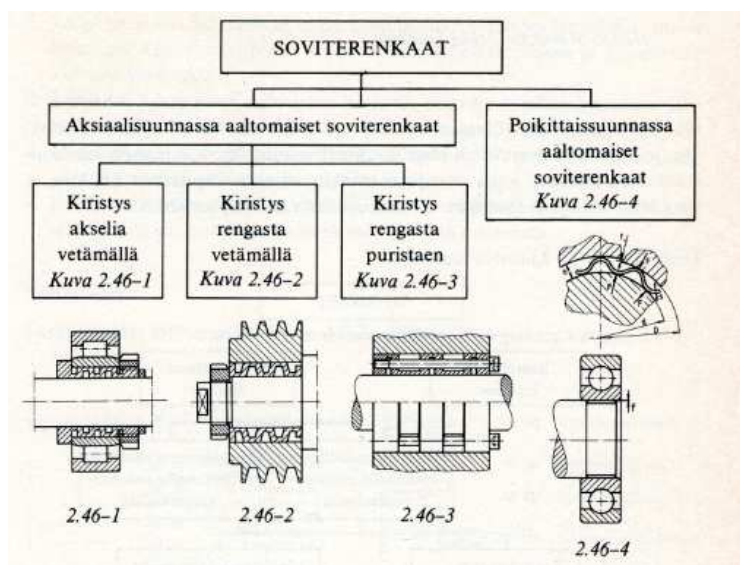
KUVA 28. Asettelukiilan käyttö, vasemmalla kuvassa laakerikuorman siirtoon ja oikealla kiinnitystyökaluna (Airila ym. 1985, 367; Airila ym. 1987, 114).

6.5 Jousimaiset kitkaliitokset

Kitkaliitoksen aikaansaamiseksi tarvittava normaalivoima voidaan kehittää myös jousimaisilla välisosilla. Jousimaisia välisosia ovat soviterenkaat ja tähtirenkaat. (Airila ym. 1985, 368; Airila ym. 1987, 114.)

6.5.1 Soviterenkaat

Soviterenkaat jaetaan asennussuunnan mukaan aksiaalisuunnassa aaltomaisiin renkaisiin ja poikittaissuunnassa aaltomaisiin soviterenkaisiin. Jaottelu on esitetty kuvassa 29. Aksiaalisuunnassa aaltomaiset soviterenkaat mitoitetaan siten, että ne ovat tarkoin samankeskisiä lieriöpinnoiltaan ja kuormittamattomassa tilassa akseliin nähden toleranssissa $h7$ ja reikään nähden alueessa $H7$, joten asennus on helppoa. Puristettaessa tai vedettäessä rengasta ulkosäde kasvaa ja sisäsäde pienentyy. (Airila ym. 1985, 369; Airila ym. 1987, 114.)

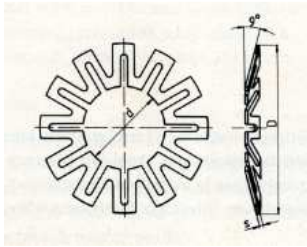


KUVA29. Soviterenkaiden luokittelu (Airila ym. 1985, 369; Airila ym. 1987, 115).

6.5.2 Tähtirengas

Tähtirenkaat ovat ohutseinäisen laakean kartion muotoisia, jousiteräksestä valmistettuja jousimaisia liitoskappaleita. Niissä on säteittäisiä lovia vuorotellen sisä- ja ulkoreunoilla, nämä näkyvät kuvassa 30. Tähtirenkaaseen vaikuttava puristava aksiaalivoima kehittää noin viisinkertaisen radiaalivoiman. Tällöin saadaan kitkasulkeinen välyksetön akse-

lilitos. Näitä käytetään työkappaleiden kiinnitykseen sorveissa. Tähtirenkaita voidaan asentaa paketeissa. (Airila ym. 1985, 370; Airila ym. 1987, 115.)



KUVA 30. Tähtirenkaan rakenne (Airila ym. 1985, 371; Airila ym. 1987, 115).

7 AKSELI

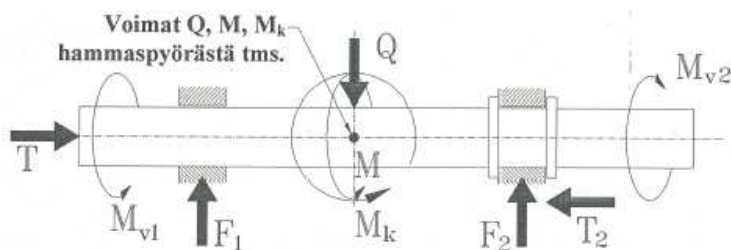
Levyrakenteet, ruuvit ja rungot ovat useimmiten staattisia koneenrakenteita. Ne välittävät monenlaisia ja -suuntaisia voimia. Liittävät itseensä muita osia, mutta ne eivät yleensä liiku, ainakaan tarkoituksellisesti. Mikäli ne tehdään liikkuviksi, tarvitaan jonkinlainen ohjausjärjestelmä sekä voiman niiden liikuttamiseen. Ohjausjärjestelmä voi määrittää liikeradan, aseman ja ajankohdan suhteessa muiden osien toimintaan ja kokonaistoimintoihin. (Tuomaala 1995, 149; Koneensuunnittelu 2 2013,177.)

Akselit muodostavan oman, muista poikkeavan ryhmän koneenrakennuksessa. Akseli on puhtaasti pyörivän liikkeen kone-elin, jota käytetään liikkeen lisäksi vääntö- ja taivutusmomentin välittämiseen. Pyörimisliike on koneenrakennuksen yleisin liikemuoto ja sille on hyvät perusteet. Pyörimisliike liike voi olla jatkuvaa ja silti kappaleen sijainti säilyy. Liikkeen ohjaus on mahdollisimman yksinkertainen. Kiihtyvyys suuntautuu pyörimiskeskistöä kohti, joten keskittämällä materiaali symmetrisesti keskiakselin suhteen liike ei aiheuta massavoimia akselin ulkopuolelle. Jos akseli valmistetaan sorvaamalla, tuottaa valmistusmenetelmä automaattisesti massavoimien suhteen tasapainoisen tuloksen. Hyvä tasapainoisuus ja helppo liikkeen ohjaus antaa mahdollisuuden käyttää suuriakin pyörimisnopeuksia. Kohtuullisella vääntömomentilla voidaan siirtää erittäin suuria tehoja. Tehonsiirto on lähes häviötöntä, sillä akselin pintanopeuksien ollessa pieni myös ilmanvastus jää vähäiseksi ja vierintälaakerointi ei vaadi suuria kitkatehoja. (Tuomaala 1995, 149,198; Koneensuunnittelu 2 2013,177.)

Akseli on koneenrakennuksessa dynaaminen perusosa, joka tekee työtä. Monet muutkin liiketarpeet kuin pyöriminen, johdetaan askelin pyörimisliikkeestä. Tällöin nämä osat kiinnitetään napaliitoksilla akseliin, joka tarjoaa niille sekä liikkeen, voima että ohjauksen. Akselille on tyypillistä muihin kone-eliimiin verrattuna suuret muodonmuutokset, väsyttävä kuormitus ja herkkyys värähtelyille. Käytettäessä suuria akselipituuksia ja tukivälejä akselista tulee sekä väännön että taivutuksen suhteen joustava, mikä johtaa värähtelyherkkyyteen. Tämä joustavuus on aivan eri luokkaa kuin muilla kone-elimillä varsinaisia jousia lukuun ottamatta. Jos akselin vääntö- ja/tai taivutusmomentti vaihtelevat käynnin aikana, akselin joustavuus myös napaliitoksessa aiheuttaa ongelmia, jotka kuuluvat koneenrakennuksen vaikeimpiin. (Tuomaala 1995, 149,198; Koneensuunnittelu 2 2013,177.)

7.1 Akseliin kohdistuvat voimat

Useimmat akselit on laakeroitu kahdesta pisteestä, jolloin niiden asema on määritelty tarkasti. Laakereista toisen tulee kyetä ohjaamaan akselia myös aksiaalisuunnassa, sillä vain poikkeustapauksissa aksiaalinen ohjaus voi tulla muualta, esim. akselille kiinnitetyn työkappaleen kautta. Kuvassa 31 vasen laakeri niin sanottu vapaalaakeri ja ohjaa ainoastaan radiaalisesti. Oikealla oleva laakeri on niin sanottu ohjaavalaakeri, joka ohjaa radiaalisesti ja aksiaalisesti. Aksiaaliohjauksessa suunnat voidaan jakaa molemmille laakereille, mutta silloin tarvitaan riittävää tarkkuutta. Jos kumpikin laakeri olisi tyypiltään ohjaava, tarvitaan ainakin toisen runkokiinnitykseltä joustavuutta. Laakerivoimat muodostuvat reaktiona akselia kuormittavista voimista. (Tuomaala 1995, 150; Koneensuunnittelu 2 2013,178.)

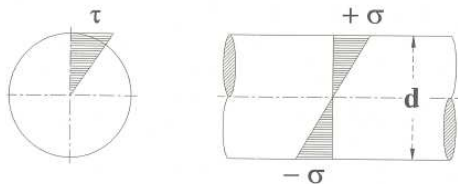


KUVA 31. Peruskuormitus akselille (Tuomaala 1995, 150; Koneensuunnittelu 2 2013,178).

Akselin kuormitusvoimat tulevat usein siihen liitettyjen osien kautta sekä voimana että painona. Harvoin liitännäisosaa voidaan kuormittaa niin, että kuormituksen resultantti kulkisi suoraan akselin keskiön kautta. Niinpä liittämisen kautta kohdistuu akseliin radiaalivoima Q , aksiaalivoima T , vääntömomentti M_v ja kaatomomentti M_k . Liitännäisosia voi olla useita, jolloin kokonaiskuormitus voi olla monimutkainen. Kuvaan 31 on merkitty muista voimista vain laakerivälän ulkopuolelta tuleva aksiaalivoima T , joka voisi olla peräisin myös akselivälillä olevasta liitännäisestä. (Tuomaala 1995, 150; Koneensuunnittelu 2 2013,178–179.)

Akselin lujuuteen vaikuttava kuormitus on lähes kaikissa tapauksissa joko taivutusta tai vääntöä, tai näitä molempia. Vääntö on yleensä kokonaan tai melkein staattista, taivutus taas lähes aina dynaamista. Useimmissa tapauksissa akselin voi mitoittaa väsyttävän taivutusmomentin mukaan ja väännön osuuden vai kuitata suuruusluokkatarkastelulla. Kumpikin kuormitusmuoto aiheuttaa akseliin jännityksen, joka kasvaa lineaarisesti ak-

selin keskiöstä mitaten etäisyyden suhteessa (kuva 32). Suurin jännitys muodostuu kummankin osalta akselin pintaan. Niinpä materiaalin laatu akselin pinnassa on ensiarvoisin tärkeä ja sitä korostaa vielä se, että murtumaan johtavat säröt alkavat useimmiten juuri kappaleen pinnasta. (Tuomaala 1995, 171; Koneensuunnittelu 2 2013,182.)



KUVA 32. Vääntöjännityksen τ ja taivutusjännityksen σ jakautuminen akselin poikki-leikkauksessa (Tuomaala 1995, 171; Koneensuunnittelu 2 2013,182).

7.2 Akseliteräkset

Akseliteräkistä yleisin on Fe 52 (S355). Sen lujuus on melko hyvä ja sitkeys erinomainen. Fe 52 (S355) on helposti koneistettavissa ja sorvauksen jälki on hyvä. Valmistusprosessista johtuen se on hyvin hienokiteinen ja tasalaatuinen pyörötangon pinnasta keskiöön saakka. Lisäksi sen hitsattavuus on hyvä. (Tuomaala 1995, 177; Koneensuunnittelu 2 2013,189.)

Akseleita valmistettaessa aihiona on yleisimmin valssattu pyörötanko. Valssauksen tuloksena pyörötankoon muodostuu kerrosominaisuuksia puun tapaan, eli aineen poikittaislujuus ja -sitkeys ovat pitkittäissuunnan arvoja paljon pienempiä. Taivutuskuormituksessa tästä ei ole haittaa, mutta kiilaliitosten yhteydessä murtuma saattaa lähteä kiilauran pohjasta kerrosten suuntaan kuoriutumalla. (Tuomaala 1995, 177; Koneensuunnittelu 2 2013,189.)

Fe 52 (S355) ei juurikaan ole havaittavissa kerroksellisuutta. Akseleita joudutaan sorvaamaan vaihteleviin halkaisijoihin, johtuen akselille liitettävien komponenttien liitos-halkaisijoista, kiinnitys- ja ohjaustarpeista. Tällöin aineelta vaaditaan hyviä lujuusominaisuuksia myös pinnasta etäällä olevissa kerroksissa. Fe 52 (S355) on tasaluujuutensa ansiosta erinomainen lähtöaine kun akseli muotoillaan koneistamalla pyörötangosta. (Tuomaala 1995, 177; Koneensuunnittelu 2 2013,189.)

Akseliteräksiä tarjotaan myös kylmävedettynä, jolloin lujuus on hieman suurempi. Näiden terästen mittatarkkuus ja suoruus on hyvä, joten ne kelpaavat sellaisenaan pitkiksi akseleiksi esim. sahateollisuuteen. Akselin sorvaus poistaa lujan pinnan ja näin hyöty on menetetty. Akselin päähän sijoitettu kiilaura kuorii kovassa rasituksessa pinnan pois uran pohjanurkasta alkaen. Lisäksi akseli taipuu kohdalta mihin kiilaura on jyrstetty. (Tuomaala 1995, 177; Koneensuunnittelu 2 2013,190.)

Joissakin tapauksissa lujuusvaatimukset ovat niin suuret, että on käytettävä nuorrutusteräksiä. Tällöin on muistettava, että akselin hankauskuormitus tiukkasovitteisissa napaliitoksissa toimii samalla tavoin kuin reunasärö hitsatuissa rakenteissa ja väsymismurtuma alkaa jo varsin pienillä jännitysvaihteluiden arvoilla. Lujempi teräs ei näitä arvoja juuri kohota. Suurin hyöty lujista teräksistä saadaan, kun liitokset toteutetaan esim. uraliitoksina tai niitä ei ole lainkaan. Tyypillisiä esimerkkejä ovat vaihteiden ensiöakselit joihin hammastus on jyrstetty suoraan, sekä ura-akselit ja kampiakselit. Varsinkin vaihteiden akseleissa hiiletys voidaan ulottaa myös akselin osuudelle. (Tuomaala 1995, 178; Koneensuunnittelu 2 2013,190.)

Nuorrutus on tyypillinen ”läpikarkaisu”, jolla aikaansaadaan hyvä myötölujuuden, väsymislujuuden ja sitkeyden yhdistelmä. Nuorrutuksella pyritään usein saamaan samat ominaisuudet kappaleen sisään ja pintakerrokseen. Tyypillisiä nuorrutettuja kappaleita ovat esim. paksuhkot akselit, kiertokanget ja vivut. Nuorrutusteräksissä on hiiltä 0.25...1 %. Useimmat nuorrutusteräkset ovat seostettuja. Tavallisimmat seosaineet ovat mangaani, kromi ja molybdeeni. Niiden tarkoitus on lisätä karkaisusyvyyttä. Täten yleisesti ottaen paksummat kappaleet ovat myös runsaammin seostettua terästä. Molybdeenin tärkeänä tehtävänä on myös estää päästöaurautta. (Laitinen, Niinimäki, Tiilikka & Tuomikoski 1990, 119.)

Tavallisimpia nuorrutusteräksiä pyöröaihioina ovat varsin syvään karkenevat kromimolybdeeniteräkset. Ne nuorrutetaan normin mukaan siten, että ne ovat vielä koneistettavissa. Laatusuosituksena voidaan pitää seuraavia laatuja pyöröaihion halkaisijan mukaan. Halkaisijalle 25...40mm 23 CrMo 4, halkaisijalle 45...100mm 42 CrMo 4 ja halkaisijalle 110...180mm 34 CrNiMo 6. (Tuomaala 1995, 178.) Nämä teräkset eivät ole herkkiä pintahalkeamille. (Tuomaala 1995, 178; Koneensuunnittelu 2 2013,190.)

Akselin lujuudelle on tärkeää pinnan lähellä olevan materiaalin lujuus. Jos akseli muotoillaan hiontaa vaille valmiiksi ja nuorrutetaan, edellä mainitut teräkset eivät suinkaan ole parhaimmillaan. Parempi tulos varsinkin alle 50mm halkaisijaltaan oleville akseleille saadaan käyttämällä matalaan karkenevia hiiliteräksiä Ck 45 tai Ck 60. Kun karkeneva kerros on suhteellisen matala, siihen muodostuu suurempi puristusjännitys, ja väsymislujuus paranee. Tyypillinen esimerkki on moottorin kampiakseli, joka usein laatua Ck 45. Tietoja yleisten akseliterästen väsymislujuuksista (taulukko 1). (Tuomaala 1995, 178; Koneensuunnittelu 2 2013,190.)

TAULUKKO 1. Yleisten akseliterästen väsymislajuudet [N/mm^2] (Tuomaala 1995, 178; Koneensuunnittelu 2 2013,191).

Teräs	Murtolujuus	taivutus	veto-puristus	vääntö
Fe 52	min. 520	300	240	160
Ck 45	700...750	340	260	200
25 CrMo 4	750...850	400	320	250
42 CrMo 4	1000...1100	520	410	310
34 CrNiMo 6	1000...1200	500	360	300

7.3 Hitsauksen vaikutus akseliin

Akseli ja hitsaus eivät oikein sovi yhteen, sillä akseli on aina väsymiskuormitettu, sen muodonmuutokset ovat suuret ja se valmistetaan usein tavanomaista lujemmasta teräksestä. Hitsaus aiheuttaa siihen samanlaiset väsymisongelmat kuin muissakin hitsattavissa rakenteissa. Silti osia liitetään akseleihin hitsaamalla. Mikäli hitsi sijoittuu pienen jännityksen alueelle, kuten akselin päähän, siitä ei välttämättä tule ongelmia. Hitsausta käytetään joskus sillä se on yksinkertainen tapa toteuttaa liitos. (Tuomaala 1995, 178; Koneensuunnittelu 2 2013,191.)

7.4 Akselin lujittamismahdollisuudet

Paras keino saada aikaan luja akseli on muotoilla se oikein. Pahoja jännityshuippuja on syytä välttää. Dimensiot rajautuvat useissa tapauksissa akseliin liittyvien osien mukaan, eikä kunnolliselle mitoitukselle tai muotoilulle jää riittävästi liikkumavaraa. Akselin

lujuus määräytyy eniten rasitetun kohdan mukaan. Siksi juuri olakkeiden ja napaliitosten muotoiluun ja lujittamiseen tulee kiinnittää päähuomio. Pyöristyssäteiden suurentaminen olakkeessa pienentää nopeasti jännityshuippua. Olakkeella on kuitenkin usein aksiaalinen ohjaustehtävä, jota varten tarvitaan riittävän suoraa otsapintaa. (Tuomaala 1995, 181–182; Koneensuunnittelu 2 2013,195.)

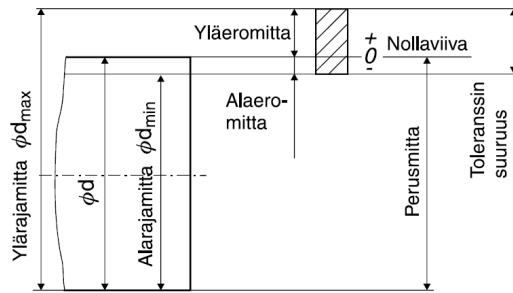
Halpa ja hyvä keino lisätä väsymislujuutta on olakkeen pohjan muokkaus rullaamalla. Tämä lisää väsymislujuutta 30...68 %. Rullauksen teho riippuu jännitysgradientista. Rullaus on tehokkainta pienillä akseliläpimitoilla. Jostain syystä rullausta käytetään varsin vähän. (Tuomaala 1995, 182; Koneensuunnittelu 2 2013,195.)

Hiiletyskarkaisu on tunnetusti hyvä menetelmä lujien akseleiden valmistukseen. Se antaa samalla kolhuja ja kulutusta kestävä pinnan. Hiiletysvyvyys on valittava jännitysgradientin mukaan. Akseleissa lujuus lisääntyy kohtuullisesti 2 mm hiiletysvyvyyteen asti, kun taas hammaspyörissä optimi on noin 0,2 mm riippuen hampaan koosta. Hiilettyksessä akseli on vaikea saada pysymään suorana. Akselia ei voi hiilettyksen jälkeen koneistaa, joten tärkeimmät liittymäkohdat on hiottava. (Tuomaala 1995, 182; Koneensuunnittelu 2 2013,195.)

Nitraus on hyvä käsittely, sillä se ei aiheuta juurikaan mittamuutoksia. Nitratu pinta on niin ohut, ettei siinä ole edes hiomavaraa. Silti se tehoaa nimenomaan suurten jännityshuippujen, etenkin olakkeiden kohdalla lisäten väsymislujuutta parhaimmillaan jopa kolminkertaiseksi. (Tuomaala 1995, 182; Koneensuunnittelu 2 2013,195.)

8 TOLERANSSIT JA PINNANKARHEUS

Tyydyttävän toiminnan takaamiseksi riittää työkappaleen valmistaminen, siten että sen mitta on kahden sallitun rajan eli toleranssin sisällä. Toleranssi kertoo valmistuksessa sallittavan mittavaihtelun. Seuraavassa kerrotaan yleisistä toleranssikäsitteistä. Tosimitta on mittaamalla todettu elementin mitta. Ylärajamitta on suurin sallittu mitta. Alarajamitta on pienin sallittu mitta. Eromitat (ylä- ja alarajamitta) ilmoittavat, kuinka paljon tosimitta saa poiketa perusmitasta. Perusmitta tai nimellismitta on mitta, josta rajamitat lasketaan eromittoja käyttäen. ISO-järjestelmässä perusmitta määrää toleranssialueen sijainnin nollaviivaan nähden (kuva 33). Mittatoleranssi on ylä- ja alarajamitan erotus. Toleranssialue on sijainniltaan määrätty toleranssin suuruus. Toleranssialueen määräävät toleranssin suuruus ja asema nollaviivaan nähden. Toleranssialueen asema nollaviivaan nähden merkitään rei'ille isoilla kirjaimilla ja akseleille pienillä kirjaimilla. Perustoleranssiaste on ISO-järjestelmässä toleranssien ryhmä (esim. IT7), joka vastaa samaa tarkkuutta eri perusmitoilla, näitä merkintöjä varten on omat taulukkonsa. Maksimimateriaalin raja (MML) on rajamitoista se, joka vastaa elementin maksimimateriaalin mitta (esim. akselin ylärajamitta, reiän alarajamitta), aikaisempi nimitys oli menoraja. Minimimateriaalin raja (LML) on kahdesta rajamitasta se, joka vastaa elementin minimimateriaalin mitta (esim. akselin alarajamitta, reiän ylärajamitta), aikaisempi nimitys oli hylkyraja. Sovite on kahden toisiinsa liitettävän elementin (esim. akseli ja reikä) mittojen erosta ennen asennusta riippuva ominaisuus. Ahdistussovitteessa on aina ahdistus reiän ja akselin asentamisen jälkeen eli reiän maksimimitta on pienempi kuin akselin minimimitta. Välysovitteessa on aina vällys reiän ja akselin asentamisen jälkeen eli reiän minimimitta on suurempi kuin akselin maksimimitta. Välisovitteessa voi olla joko vällys tai ahdistus riippuen reiän ja akselin tosimitoista. (Lapinleimu 1973, 103;Kivioja 2006, 3.)



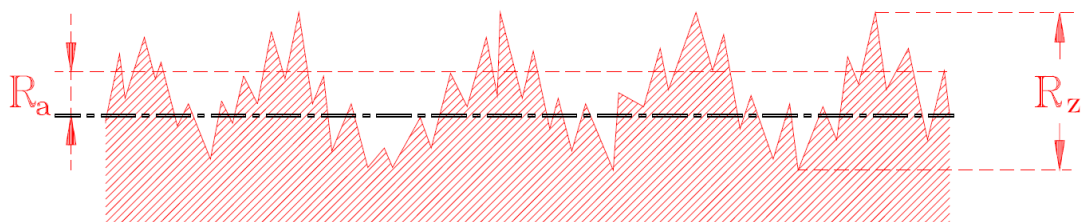
Merkintä piirustuksiin

- ISO-tunnuksin: $\phi 30f7 \begin{pmatrix} -0,020 \\ -0,041 \end{pmatrix}$
- eromittoin: $\phi 32 \begin{pmatrix} +0,1 \\ -0,2 \end{pmatrix}$
- rajamittoin: $\begin{matrix} \phi 32,1 \\ \phi 31,8 \end{matrix}$
- pelkällä nimellismittalla, johon sovelletaan yleistoleransseja

KUVA 33. Akseliin liittyviä toleranssikäsitteitä ja toleranssien merkintätapoja (Kivioja 2006, 3).

Koneenosan pinta välittää osan toiminnan muihin osiin. Pinnan käyttäytyminen riippuu erilaisista kuormitustilanteista mm. muoto- ja mittapoikkeamista, pinnankarheudesta, aaltomaisuudesta sekä fysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista. Geometrian osalta pinna toimintakelpoisuus riippuu muotovirheiden pinnankarheuden yhteysvaikutuksesta. (Kivioja 2006, 19.)

Hankauskuormitusten haittojen torjunnassa ja napaliitoksissa muutenkin joudutaan tiettyjen pintapaineiden saavuttamiseksi käyttämään sovitteita. Muodostuvan pintapaineen määrää sovitteet ja yhtyeenpuristuvien pintojen laatu. Pinna laatu saisi olla mahdollisimman tasainen ja tarkka, mutta tämä maksaa ja tärkeissäkin sovitteissa siitä joudutaan tinkimään. Koneistetun pinnan laatua merkitään R_a -lukemana, joka määritellään sähköisesti mittaamalla tai silmämääräisesti vertailupalojen avulla. R_a -arvo (profiilin keski-
poikkeama) on eräänlainen tehollinen arvo profiilinsyvyydestä R_z , nämä on esitetty kuvassa 34. Valittaessa sopivaa pinnankarheutta tulee ottaa huomioon mm. akselin halkaisija (taulukko 2), käyttökohde (taulukko 3) ja valmistusmenetelmä (taulukko 4). (Tuomaala 1995, 197; Koneensuunnittelu 2 2013,213.) Karheiden pintojen kosketuksesta kuorma siirtyy osata toiseen pinnankarheuden huippujen välityksellä (Kivioja 2006, 19).



KUVA34. Koneistetun pinnan karheus, jossa pinnan laatu R_a ja profiilinsyvyys R_z (Tuomaala 1995, 197; Koneensuunnittelu 2 2013,213).

Karheiden pintojen puristuessa toisiaan vasten epätasaisuudet työntyvät osaksi lomittain, eikä pintapaine kohoa niin suureksi, mitä mitattu halkaisijaero (=ahdistus) edellyttäisi. Tämä ilmiö voidaan ottaa huomioon vähentämällä ahdistuksesta δ tasoittumissyvyys R_p . Geometrisesti laskien $R_p = 0,5 \cdot R_z = 2,5 \cdot R_a$. Tällöin kaikki tila pintojen välillä olisi kadonnut. Kukin sovitteen neljästä pinnasta aiheuttaa siis vastaavan ahdistuksen pienenemisen, eli yhteensä n. $10 \cdot R_a$. (Tuomaala 1995, 197; Koneensuunnittelu 2 2013,214.)

Tyhjä tila katoaa vasta silloin, kun pintapaine vastaa myötörajaa. Pienemmillä pintapaineilla kutistusmenetelmää käytettäessä ahdistuksen vähentäminen täydessä määrässä on turhan kova vaatimus. Mikäli asennus tehdään aksiaalisesti puristamalla, vähennys on aina tehtävä täysimääräisenä. (Tuomaala 1995, 198; Koneensuunnittelu 2 2013,214.)

Toinen epätarkkuutta aiheuttava tekijä on pintaprofiilin muoto. Edellä annettu mitoitussuhje ahdistuksen vähennykselle on pätevä kun pinta on esim. hiottu ja tällöin profiili on muodoltaan täysin satunnainen. Sorvauksellakin saavutetaan helposti pinnan laatu $R_a = 1,5 \mu\text{m}$, joten se riittää (taulukko 4) mukaan lähes kaikkiin keskimittaisiin napaliitoksiin. Sorvatun pinnan profiili ei kuitenkaan ole täysin satunnainen, vaan siinä on erotettavissa johdonmukainen terän jälki. Jos halkaisijat mitataan sorvatusta pinnasta, ahdistuksen vähennys $10 \cdot R_a$ ei riitä. Sorvattu pintaprofiili voidaan korjata sopivaksi silittämällä sitä sorvissa. Silittäminen aiheuttaa helposti muotovirheitä, eikä liitospintojen aktivoituminen dynaamisessa kuormituksessa jakaudu tasaisesti. Tämä voi laskea väsymislujuuutta merkittävästi. Silityksen tulisi olla mahdollisimman tasainen ja lievä ja sillä tulisi poistaa vain terävimmät huiput. Halkaisijan sijoittuminen toleranssialueelle mitataan silityksen jälkeen. (Tuomaala 1995, 198; Koneensuunnittelu 2 2013,214.)

TAULUKKO 2. Pinnanlaadun R_a -arvot (Tuomaala 1995, 197; Koneensuunnittelu 2 2013,214).

Halkaisija-alue (mm)	Toleranssiasteet				
	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9
10...50	0,8	0,8	1,6	1,6	3,2
50...180	0,8	1,6	1,6	3,2	3,2
180...400	1,6	1,6	3,2	3,2	6,3
400...800	-	3,2	3,2	6,3	6,3

TAULUKKO 3. Pinnankarheus käyttökohteen mukaan xxxx = suositeltava pinnalaatu
 ----- = Pinnanlaatu harkittavissa (Koneensuunnittelu 2 2013,216-217).

KÄYTTÖKOHDE	Keskipoikkeama R _a (µm)									
	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50
LIUKUPINNAT										
Liukulaakerien akselipinnat										
- suuri kuormitus ja/tai suuri kehänopeus, öljyvoitelu		-----	XXXX	XXXX						
- normaali kuormitus			-----	XXXX	XXXX					
- pieni kuormitus tai hidas ja tilap. käyttö, rasvavoitelu				-----	XXXX	XXXX				
Liukulaakeriholkkien toimivat pinnat										
- suuri kuormitus ja/tai suuri kehänopeus, öljyvoitelu				-----	XXXX	XXXX				
- normaali kuormitus					-----	XXXX	XXXX			
- pieni kuormitus tai hidas ja tilap. käyttö, rasvavoitelu						-----	XXXX	XXXX		
Johde ja ohjuspinnat, jatkuva liike										
- pieni kuormitus tai hetkellinen käyttö						-----	XXXX	XXXX		
Sylinterien toimintapinnat, hydraulikka ja pneu.										
			-----	XXXX	XXXX					
Liikerauvit										
Hammaspöörin hampaiden kyljet										
- suuri kuormitus ja/tai suuri kehänopeus					-----	XXXX	XXXX			
- pieni kuormitus tai pieni kehänopeus						-----	XXXX	XXXX		
KITKAPINNAT										
Liukukytkimispinnat										
Jarrupinnat					XXXX	XXXX	-----			
Käilahnapöörin pinnat					XXXX	XXXX	-----			
Hihnapöörin kehät					-----	XXXX	XXXX	-----		
Työntö- ja pakotus-sovitepinnat					-----	XXXX	XXXX	-----		
Puristus- ja kutistusliitosten vastinpinnat					-----	XXXX	XXXX	-----		
Käälälukittujen liitosten vastinpinnat					XXXX	XXXX	XXXX	-----		
Ruuviliitosten vastinpinnat, kuormitus staattinen kuormitus dynaaminen					XXXX	XXXX	XXXX	-----		
VASTI- JA TUKIPINNAT										
Ketjupyörien hampaat										
Uritusten ja hammaskytkimien vastinpinnat						XXXX	XXXX	-----		
Liukumattomat ohjau- ja keskityspinnat						XXXX	XXXX	XXXX	-----	
Peruslaatat, koneen rungot							XXXX	XXXX	XXXX	-----
Akseloitujen rullien vierintäradat						-----	XXXX	XXXX		
LIUKUMATTOMAT TIIVISTEPINNAT										
Metallipinnat ilman tiivistettä										
Vastipinnat metallitiivisteille					XXXX	XXXX	-----			
O-reukaiden vastinpinnat						XXXX	XXXX			
Putkilaippojen tiivistepinnat ym. p < 40 bar p > 40 bar							XXXX	XXXX	-----	
Tiivisterenkaiden pesien pinnat ja tiivisteurat						-----	XXXX	XXXX		
TIIVISTEITÄ HANKAAVAT PINNAT										
Huultitiivisteiden pyörivät liukupinnat v < 10 m/s v > 10 m/s										
hidas tai ajoittainen käyttö			XXXX	XXXX	-----					
-----			XXXX	XXXX		XXXX	XXXX			
O-reukaiden ja vast.liukupinnat, liike ja naarmu			-----	XXXX	XXXX					
Nauha- ja sarjatiivist. vastinpinnat, jatkuva käyttö hidas tai ajoittainen käyttö				-----	XXXX	XXXX				
PINTAKÄSITELTÄVÄT PINNAT										
Kumitettavat pinnat, dynaaminen rasitus, telat										
Sinkittävät pinnat							XXXX	XXXX	-----	
Kovakromattavat pinnat				XXXX	XXXX	-----				
Metalliruiskutettavat pinnat							XXXX	XXXX		
Elektrolyttisesti källotettavat pinnat		XXXX	XXXX	XXXX						
Nitraitavat pinnat			XXXX	XXXX	XXXX					


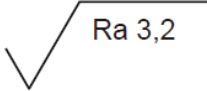

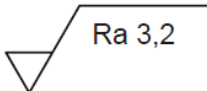


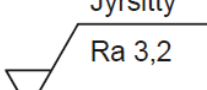
TAULUKKO 4. Pinnankarheus valmistustavan mukaan xxx = laatu saavutetaan helposti ----- = laatu on mahdollinen (Koneensuunnittelu 2 2013,215).

VALMISTUSTAPA		KESKIPOIKKEAMA R_a (μm)									
		0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50
SORVAUS	Karkeasorvaus								xxx	xxx	xxx
	Keskikarkea sorvaus						----	xxx	xxx		
	Hienosorvaus				----	xxx	xxx	xxx			
HÖYLÄYS	Karkeahöyläys								----	xxx	xxx
	Keskikarkea höyläys								----	xxx	xxx
	Hienohöyläys						----	xxx	xxx	xxx	
AVARRUS	Karkea avarrus								----	xxx	xxx
	Keskikarkea avarrus								----	xxx	xxx
	Hieno avarrus					----	xxx	xxx	xxx		
PORAUS ja KALVINTA	Poraus								----	xxx	xxx
	Poraus + kalvinta				xxx	xxx	xxx	----			
JYRSINTÄ lieriöjyrsimellä	Karkeajyrsintä								----	xxx	xxx
	Keskikarkea jyrsintä							xxx	xxx	xxx	
	Hienojyrsintä					xxx	xxx				
JYRSINTÄ otsajyrsimellä	Karkeajyrsintä									xxx	xxx
	Keskikarkea jyrsintä							xxx	xxx	xxx	
	Hienojyrsintä					xxx	xxx	----			
HIONTA	Hionta					xxx	xxx	----			
	Hieno hionta			xxx	xxx	xxx					
	Erittäin hieno hionta		xxx	xxx	----						
NAUHA- HIONTA	Hionta					xxx	xxx	xxx			
	Hieno hionta				xxx	xxx					
	Erittäin hieno hionta			xxx	xxx						
KIILLOTUS ja HIERTÄMINEN	Normaali			xxx	xxx						
	Hieno		xxx	xxx							
	Erittäin hieno	xxx	xxx								

Laadukkaan pinnan aikaansaaminen maksaa, mutta kustannukset ovat pääasiassa sidotut käytettävään työstömenetelmään. Jokaisella työstömenetelmällä on pinnanlaadun suhteen omat käyttöalueensa (taulukko 4). Pintojen käyttötarkoitus vaatii oman laatunsa (taulukko 3) (Koneensuunnittelu 2 2013,217.)

Piirtämisessä käytetään pintamerkkejä standardin SFS-EN ISO 1302 mukaan esittämään pinnan laatuvaatimuksia (kuva 35). Pintamerkki liitetään pintaa esittävälle muotoviivalle tai sen jatkeelle. Pintamerkki merkitään vain kerran niille pinnoille, joille se on merkittävä. Jos kappaleen useimmilla pinnoilla on sama laatuvaatimus, käytetään yleispintamerkkiä, ja vain yleispintamerkistä poikkeavat vaatimukset merkitään kyseisiin pin-

toihin. Pinnankarheuden keskiarvoisen R_a tavanomaisia lukuarvoja ovat 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 3,2; 6,3; 12,5; 25; 50 μm . (Kivioja 2006, 22.)

	perusmerkki	
	lastuamalla työstettävä pinta	
	aineen poistoa ei sallita, tai pinta jätetään sellaiseksi kuin se on edellisen työvaiheen jäljiltä	
	lisävaatimuksia voidaan ilmoittaa viiteviivalla	

KUVA 35. Pintamerkit SFS-EN ISO 1302 (Kivioja 2006, 22).

9 LIITOSMAHDOLLISUUKSIEN VERTAILU JA KARSINTA PAINOARVO-TAULUKOLLA

9.1 Karsinta perusteluin

Ennen painoarvotaulukon luontia karsittiin pois sellaiset liitokset, jotka eivät ominaisuuksiensa vuoksi sovellu kyseiseen kohteeseen. Kutistusliitos todettiin puristusliitosta paremmaksi vaihtoehdoksi. Puristusliitos tehdään työntämällä akseli navan sisään, jolloin akseli puristuu ja napa venyy. Etuna on yksinkertainen tekotapa. Haittana on liitospintojen tasoittuminen liitosta asennettaessa, jolloin vääntömomentin siirtokyky on alle puoletkin vastaavan kutistusliitoksen momentin siirtokyvystä. Navan ja akselin jännityksiä ei voi suurentaa puristusliitosta tehtäessä rajattomasti, vaan riittävän suuren pintapaineen seurauksena venyneet tai kokoonpuristuneet osat joutuvat plastisen muodonmuutoksen alueelle. Etenkin suuret muodonmuutokset ovat vaarallisia.

Kiilaliitokset ja lieriötapit eivät sovellu tähän käyttökohteeseen, sillä ne heikentävät kampiakselin päätä sekä napakappaletta ja tuovat epätasapainoa. Kyseisessä kohteessa, voitaisiin jopa kasvattaa kampiakselin päätä hieman jos siihen nähtäisiin erityinen syy, mutta heikentää sitä ei missään nimessä haluta.

Ainesulkeiset liitokset karsiutuvat pois sillä niistä lujin vaihtoehto, hitsaus ei sovellu kyseiseen liitokseen. Akseli ja hitsaus eivät oikein sovi yhteen, sillä akseli on aina väsymiskuormitettu, sen muodonmuutokset ovat suuret ja se valmistetaan usein tavanomaista lujemmasta teräksestä. Hitsaus aiheuttaa siihen samanlaiset väsymisongelmat kuin muissakin hitsattavissa rakenteissa. Hitsausliitos ei ole hyvä liitosvaihtoehto purettavuudenkaan kannalta.

Kiristysliitos hylätään, koska sitä käytetään akselin ja navan välillä silloin, kun siirrettävä vääntömomentti on pieni ja lähes staattinen. Lisäksi kiristysliitos vie melko paljon tilaa ja esim. halkaistussa navassa ulkokehä ei välttämättä ole enää keskeinen, pyöreä eikä muodossaan. Eli sen ympärille tulevat osat tulisi koneistaa jälkikäteen. Tällöinen ratkaisu ei ole taloudellista sarjatuotannossa.

Jousimaisista liitoksista on löytynyt melko vähän tietoa, en usko niiden soveltuvan käyttökohteeseen kovin hyvin. Niitä käytetään lähinnä sorveissa.

9.2 Karsinta painoarvotaulukolla

Vertailtaviin liitosvaihtoehtoihin selvisi profiiliakseli, kutistusliitos, kartioholkki, ETP-holkki ja kartiorenkaat. Tarkemmin määriteltynä profiiliakseli on P3G-akseli DIN 32711, kyseistä akselia käytetään mm. kuorma-autojen kampiakselin liitoksissa. Kutistusliitosta tehtäessä kampiakselin päätä jäähdytettäisiin ja napakappaletta kuumennettaisiin vain sen verran, että tiiviste ei kärsi kuumennuksesta. Kutistusliitos olisi purettavissa palkeella. Kartioholkki on SKF kehittämä SH-kartioholkki. ETP-holkki olisi kiristettävä ruuveilla ja aukaistaessa ruuvit löysättäisiin. Kartiorenkaat olisivat hyvin lähellä tämän hetkistä rakennetta, mutta niitä ei olisi halkaistu. Kartiorenkaat muodostaisivat yhden kartiorengasparin.

Painoarvotaulukkoon arvioitaviksi toiminnoiksi otettiin asennettavuus, purettavuus, halpa ja helppo valmistaminen, liitoksen koko, liitoksen uudelleen käyttäminen ja tiivistuksen toteutuksen helppous. Näille jokaiselle toiminnolle määriteltiin painoarvo prosentteina niin että näiden kaikkien toimintojen yhteispisteiksi prosentteina tulee 100 %. Tämä vähentää vääristymää painoarvotaulukossa, sillä jos haastateltava henkilö ei tiedä jostain toiminnosta, niin hän voi antaa sille 0 %. Jolloin hän painottaa muita toimintoja. Se ei vääristä tilannetta, vaan parantaa sitä, sillä hän antaa oman tietämyksensä tulla vahvasti esille ja asia mistä ei ole tietoa karsiutuu pois.

Jokaisen liitosvaihtoehdon kohdalla arvioidaan jokainen toiminto antamalla sille yhdestä viiteen pistettä. Yksi piste tarkoitti, että liitos soveltuisi kyseisen toiminnon kohdalla erittäin huonosti. Viisi pistettä tarkoitti, että liitos soveltuisi erittäin hyvin kyseisen toiminnon kohdalla. Esim. purettavuuden kohdalla kutistusliitos saa yhden pisteen, koska siinä napakappale joudutaan hajottamaan tai vaihtoehtoisesti kuumentamaan, jolloin tiivisteet ja muut osat voivat kärsiä. Purettavuudesta täydet viisi pistettä sai ETP-holkki, sillä sen saa auki kiristysruuveilla, männillä tai ulkoisella pumpulla, eikä itse holkki tai muut osat vaurioidu. Lisäksi ETP-holkki, olisi tämän jälkeen uudelleen käytettävissä.

Kun toiminnoille on annettu painoarvot ja liitokset on pisteytetty toimintojen mukaan, taulukosta saadaan määrättyjen kaavojen avulla painotetut pisteet. Laskemalla yhteen painotetut pisteet saadaan esille paras liitosvaihtoehto. Painoarvotaulukon rakenteen ja opinnäytetyön tekijän näkemyksen painoarvojen ja pisteiden suhteen (taulukko 5).

TAULUKKO 5. Painoarvotaulukko kyseiseen opinnäytetyöhön.

PAINO- ARVO- TAULUK- KO	pai- noar- vo %	Pro- fiili- ak- seli	Ku- tis- tus- lii- tos	Kar- tio- holk- ki	ET P- hol- kki	Kar- tio- ren- kaat	pai- note- tut pis- teet	pai- note- tut pis- teet	pai- note- tut pis- teet	pai- note- tut pis- teet	
		pai- note- tut pis- teet	pai- note- tut pis- teet	pai- note- tut pis- teet	pai- note- tut pis- teet	pai- note- tut pis- teet					
Asennetta- vuus	30 %	4	1,2	3	0,9	4	1,2	4	1,2	3	0,9
Purettavuus	20 %	4	0,8	1	0,2	3	0,6	5	1	2	0,4
Halpa ja helppo val- mistaminen	20 %	2	0,4	4	0,8	4	0,8	4	0,8	3	0,6
Liitoksen koko	10 %	5	0,5	4	0,4	3	0,3	4	0,4	4	0,4
Liitoksen uudelleen käyttäminen	10 %	4	0,4	1	0,1	4	0,4	5	0,5	2	0,2
Tiivistyksen toteutuksen helppous	10 %	4	0,4	3	0,3	4	0,4	4	0,4	4	0,4
Yhteispis- teet	100 %		3,7		2,7		3,7		4,3		2,9
Sija			2		4		2		1		3

Todellinen karsinta tehtiin tässä opinnäytetyössä painoarvotaulukolla niin, että haasteltiin suunnittelupäälliköitä, suunnitteluinsinööriä, huoltopäällikköä, työnjohtajaa, työohjeidentekijää, linjavastaavaa ja moottoriasentajia. Heille annettiin painoarvotaulukko paperilla täytettäväksi semmoisena, että siitä puuttuu painoarvot prosentteina, pisteet, painotetut pisteet ja sija. Haastateltavat henkilöt määrittävät painoarvon prosentteina toiminnoille niin että niistä tulee yhteensä 100 %. Sitten he määrittivät arvosteltavat toiminnot jokaisen liitoksen kohdalla nollasta viiteen sen mukaan, kuinka hyvin se heidän mielestä käy kyseiseen kohtaan. Nolla meinaa, että liitostyyppi ei sovellu lainkaan kyseisen toiminnon kohdalla. Yksi meinaa että liitostyyppi soveltuu huonosti kyseisen toiminnon kohdalla ja viisi meinaa sitä että liitostyyppi soveltuu erinomaisesti kyseisen toiminnon kannalta. Tämän jälkeen kaikkien haastateltavien henkilöiden papereille täyttämät painoarvotaulukot kirjattiin Microsoft Exceliin laadittuun painoarvotaulukkoon ja tämä laski painotetut pisteet ja niistä yhteispisteet, tämän jälkeen merkittiin sijat ylös. Nämä painoarvotaulukot tallennettiin jokainen erikseen.

Jokaisesta erikseen tehdystä painoarvotaulukosta sijoitettiin liitosvaihtoehtojen yhteispisteet tulosten laskenta taulukkoon, kyseisten liitosvaihtoehtojen kohdalle. Tämän jälkeen jokaisen liitosvaihtoehdon kohdalla laskettiin painoarvotaulukoista sijoitetut yhteispisteet yhteen ja jaettiin haastateltavien henkilöiden määrällä. Näin saatiin yhteispisteiden keskiarvo. Liitosvaihtoehdon on saatava pisteidensä keskiarvoksi vähintään kolme, että se pääsee jatkoon. Jatkoon päässeistä liitoksista tehdään laskelmat. Haastatelussa teetetyt painoarvotaulukot ja tulosten laskenta ovat liitteinä, mitkä ovat salaista tietoa.

10 KARSINNASTA JÄLJELLE JÄÄNEIDEN LIITOSTEN LASKEMINEN

Laskenta osiossa tarkastellaan liitoksien momentinsiirtokykyä ja pintapainetta. Ensimmäisenä tulee laskea kartioliitoksen ominaisuudet ja tästä johdetaan itse kaksoiskartioliitoksen ominaisuudet. Jatkoon päässeistä liitoksista lasketaan myös momentinsiirtokyky ja pintapaine. Laskettuja arvoja vertaillaan nykyiseen liitosmuotoon. Laskut ovat työn liitteinä, jotka ovat salaista tietoa.

11 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli 9,8-litraisen rivimoottorin kampiakselin etupään napakappaleen liitosmahdollisuuksien selvittäminen. Tavoitteena oli koota kattava, selkeä ja luotettava tiedonlähde, minkä pohjalta pystyy karsimaan ne vaihtoehdot, jotka eivät sovellu käyttökohteeseen. Liitoksien suhteen pääpaino oli akselin ja napakappaleen välisissä liitosratkaisuissa ja niistä kerrotaan oleellinen teoria. Työssä tuli laskea myös tämänhetkisen kaksoiskartioliitoksen ominaisuuksia, sekä samat ominaisuudet jos kohteessa olisikin käytössä yksi kartio. Karsinnan suorittamisen jälkeen työssä laskettiin karsinnasta jäljelle jääneiden liitosten ominaisuudet ja vertailtiin niitä tämänhetkiseen. Työn tavoitteet oli selkeät ja työn rajaus selveni paremmin työn edetessä.

Kiinnostuin aiheesta välittömästi sen saatuni, aloitin opinnäytetyön työstämisen heti hakemalla materiaalia työhön ja perehtymällä siihen. Työhön ryhtyminen oli aluksi haasteellista, sillä kokemuksia yhtä kattavien esiselvitysten tekemiseen ei ollut. Aluksi aiheeseen ei meinannut löytyä paljoakaan tietoa. Työn edetessä tietoa oli löytynyt todella paljon ja kävin kaiken mitä löysin lävitse, niin että tein koko ajan samalla muistiinpanoja ja vertailua toisiin lähteisiin. Näin itse työssä esiintyvistä teoriasta on saatu mahdollisimman todenmukainen. Huomasin myös, että kyseiseen aiheeseen on paljon materiaalia mikä on luultavasti käännetty suoraan esim. saksalaisista teoksista. Sillä niin sanasta sanaan joissain teoksissa asiat on esitetty.

Ilmapiiri AGCO Powerilla oli kauttaaltaan hyvä, viihdyin työpaikalla ja sain myös hyvin tukea henkilökunnalta tarvittaessa. Tein työtäni pääosin itsenäisesti, joten arvioin työhön tarvittavan työmäärän ja pyrin noudattamaan suunniteltua aikataulua työn edetessä parhaani mukaan. Pysyin aikataulussa melko hyvin, pari viimeistä viikkoa veivät kuitenkin huomattavasti enemmän aikaa, kuin olin ennakoanut. Tein työtä säännöllisesti noin neljän kuukauden ajan.

Työssä vertailtiin eri liitosten hyviä ja huonoja puolia. Liitoksen täytyi kestää suuria vääntömomentteja viemättä liikaa tilaa asennuskohteessa. Ratkaisun piti tukea akselin päätä. Asennettavuuden ja purettavuuden on oltava helppoa. Liitoksen on oltava myös halpa ja helppo valmistaa. Tiivistyksen toteutuksen oli oltava helppo. Liitoksen uudelleenkäyttämisen mahdollisuus otettiin myös huomioon.

Työssä tehty liitosten karsinta aloitettiin karsimalla käyttökohteeseen soveltumattomat liitokset pois perustelujen kera. Tämän jälkeen jäljelle jäi viisi liitosvaihtoehtoa. Nämä liitosvaihtoehdot olivat profiiliakseli P3G (DIN 32711), SH-kartiioholkki, kartiorengaspari, ETP-holkki ja kutistusliitos, jossa kampiakselin päätä jäähdytettäisiin ja napakappaletta kuumennettaisiin. Näistä viidestä liitoksesta ja eri toiminnoista tehtiin painoarvotaulukko. Painoarvotaulukoilla kerättiin tietoa haastattelemalla seitsemäätoista työntekijää. Haastateltavina henkilöinä oli suunnittelupäälliköitä, suunnitteluinsinööri, huoltopäällikkö, työnjohtaja, työhjeidentekijä, linjavastaava ja moottoriasentajia. Näin saatiin hyvin kokonaisvaltainen pohja tulosten laskentaan. Tulosten laskennan jälkeen liitosvaihtoehdoista jäi kaksi jäljelle. Nämä liitosvaihtoehdot olivat profiiliakseli P3G (DIN 32711) ja SH-kartiioholkki.

Jäljelle jääneiden liitosvaihtoehtojen (profiiliakseli P3G ja SH-kartiioholkki) ominaisuudet laskettiin. Vertailua varten laskettiin myös tämänhetkisen kaksoiskartioliitoksen ominaisuudet, sekä ominaisuudet jos liitos olisikin toteutettu yhdellä kartiolla. Laskennassa otettiin huomioon kaavojen luotettavuus, hakemalla tietoa useista kirjoista, standardeista, Internetistä, haastattelemalla AGCO Powerin henkilökuntaa. Lisäksi esim. vääntömomentin laskemiseen löytyi eri vaihtoehtoja. Kun oli mahdollisuus laskea jokin kohta useammalla kuin yhdellä tavalla se tehtiin, jotta voitiin vertailla itse laskentatapaa ja mikä itse tulokseen vaikuttaa oleellisesti. Liitosten ominaisuuksia laskettaessa kävi ilmi, että kartioliitos ja kaksoiskartioliitos ovat hyvin herkkiä kitkakertoimen vaihtelulle. Laskettaessa kaksoiskartioliitosta eri kitkakertoimilla, huomasi että vääntömomentin siirtokyky vaihtelee todella paljon, johtuen juuri kitkakertoimista. Tämän vuoksi niitä kokoonpantaessa on oltava hyvin tarkkana, että pinnanlaadut ovat toleranssien sisällä, samoin työvälineiden kuten pulttipyssyn on oltava kalibroitu tarkasti, jottei asennettaessa tule liikaa kiristysmomenttia. Itse pulttien on oltava myös juuri oikeanlaiset, kitkakertoimen vuoksi. Kartiopinnat tulee pestä puhtaaksi ja öljyä laitetaan vain kierteeseen.

Opinnäytetyön tekeminen sujui hyvin, eikä suurempia ongelmia ollut. Suurimpia haasteita toi kaksoiskartioliitoksen laskeminen, sillä siihen ei löytynyt materiaalia. Kaksoiskartioliitoksen laskentaan tietoa saatiin haastattelemalla AGCO Powerin henkilökuntaa. Tuloksena saatiin tiivis teoriapaketti mistä näkee selkeästi eri liitoksien periaatteet, sekä asioita mitä on hyvä ottaa huomioon liitosta suunniteltaessa. Lisäksi henkilölle, joka ei ole aiemmin tehnyt painoarvotaulukoita on tästä työstä hyötyä, sillä tästä työstä oppii

sen tekemisen. Työssä aikaansaatuja laskuja voidaan käyttää hyödyksi, myös muissa projekteissa. Tämän hetkisellemme liitokselle löytyi varteenotettavat vaihtoehdot. Tavoitteet saavutettiin sekä toimeksiantajan että omasta näkökulmasta katsottuna, joten opinnäyte-työtäni voidaan pitää onnistuneena.

LÄHTEET

Kirjat:

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

Airila, M., Jantunen, E., Kivioja, S., Laihotie, E., Nurmi, L., Pora, M. & Ranta, A. 1987. Koneenosat. Porvoo: WSOY

Airila, M., Ekman, K., Hautala, P., Kivioja, S., Kleimola, M., Martikka, H., Miettinen, J., Niemi, E., Ranta, A., Rinkinen, J., Salonen, P., Verho, A., Vilenius, M. & Välimaa, V. 2010. Koneen osien suunnittelu. 4.-5. painos. Helsinki: WSOYpro Oy

Blom, S., Lahtinen, P., Nuutio, E., Pekkola, K., Pyy, S., Rautiainen, H., Sampo, A., Seppänen, P. & Suosara, E. 1995. Koneenelimet ja mekanismit. Helsinki: Painatuskeskus Oy

Blom, S., Lahtinen, P., Nuutio, E., Pekkola, K., Pyy, S., Rautiainen, H., Sampo, A., Seppänen, P. & Suosara, E. 2001. Koneenelimet ja mekanismit. 5. painos. Helsinki: Edita Oyj

Kivioja, S. 2003. Konetekniikka. 6. painos. Helsinki: Hakapaino Oy

Kivioja, S. 2006. Toleranssit ja pinnankarheus. 3. painos. Espoo: Tuotekehitysklubi

Laitinen, E., Niinimäki, M., Tiilikka, P. & Tuomikoski, J. 1990. Konetekniikan materiaalioppi. 2. painos. Helsinki: VAPK-kustannus

Lapinleimu, I. 1973. Tekniikan käsikirja 8. Jyväskylä: K. J. Gummerus Osakeyhtiön kirjapaino

Nestorides, E.J. 1958. A Handbook on torsional vibration. Lontoo: The syndics of the cambridge university press (käytettylaskennassa).

Tuomaala, J. 1995. Luova koneensuunnittelu. Jyväskylä: Gummeruksen kirjapaino Oy

Internet:

AGCO Power. Luettu 5.3.2013

<http://www.agcopower.com/suomi/>

ETP-kiinnitysholkitesite1021237. SKS Mekaniikka. ETP-kiinnitysholkit. Luettu 22.2.2013

[http://www.sks.fi/tuotteet/ETP_muita_kiinnitysholkkeja/\\$file/ETP%20kiinnitysholkit%20esite1021237.pdf](http://www.sks.fi/tuotteet/ETP_muita_kiinnitysholkkeja/$file/ETP%20kiinnitysholkit%20esite1021237.pdf)

Koneensuunnittelu 2. Oulun yliopiston arkisto. Akselit. Luettu 13.3.2013.

http://me oulu.fi/files/tx_opetus/26/1223542991_Akselit.pdf

Koneensuunnittelu 2.Oulun yliopiston arkisto. Napaliitokset. Luettu 12.2.2013.

http://me oulu.fi/files/tx_opetus/26/1223548842_Napaliitokset.pdf

Nuorrutusteräs 42CrMo4. STEN teräksellä tulokseen.Luettu 22.4.2013.

<http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=42crmo4%2Bqt%20my%C3%B6t%C3%B6raja&source=web&cd=1&ved=0CDAQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.sten.fi%2Fdocument.php%2F1%2F106%2F42crmo4%2F509502025d4e7eb36dee98c7096ab63c&ei=2393UeSZEYratAbql4FA&usg=AFQjCNGnbmGZkpaHssFUzPWIP1z8-LMoxA&bvm=bv.45580626,d.Yms&cad=rja>

TechnischeInfermationen.PolygonaPräzisionsmechanik AG. Buechstrasse 17,CH 8645 Jona SG.Luettu 2.5.2013 (käytetty laskennassa).

<http://www.polygona.ch/Download/Technische%20Infermationen.pdf>

Übersicht - Welle - NabeVerbindungen. Luettu 4.3.2013 (käytetty laskennassa).

http://diglib.ethz.ch/system/temporary/get_wnv.o_.de.php

Haastattelut:

Hämäläinen Ismo. Suunnittelupäällikkö 2013. Haastattelu 1.3.2013. Haastattelija Salonen, T. Ei litteroitu. AGCO Power Oy.

Järvinen Petri. Moottoriasentaja 2013. Haastattelu 25.4.2013. Haastattelija Salonen, T. Ei litteroitu. AGCO Power Oy.

Kangas Matti. Työnjohtaja 2013. Haastattelut 25.4.2013 ja 26.4.2013. Haastattelija Salonen, T. Ei litteroitu. AGCO Power Oy.

Kitinoja Tatu. Moottoriasentaja 2013. Haastattelu 25.4.2013. Haastattelija Salonen, T. Ei litteroitu. AGCO Power Oy.

Koskinen Sami.Suunnittelupäällikkö 2013. Haastattelut 18.1.2013, 1.3.2013, 25.4.2013, 26.4.2013 ja 2.5.2013. Haastattelija Salonen, T. Ei litteroitu. AGCO Power Oy.

Mäkinen Ilari. Moottoriasentaja 2013. Haastattelu 25.4.2013. Haastattelija Salonen, T. Ei litteroitu. AGCO Power Oy.

Nousiainen Jonne. Linjavastaava 2013. Haastattelu 25.4.2013. Haastattelija Salonen, T. Ei litteroitu. AGCO Power Oy.

Oino Mika. Moottoriasentaja 2013. Haastattelu 25.4.2013. Haastattelija Salonen, T. Ei litteroitu. AGCO Power Oy.

Paulaniemi Markus. Moottoriasentaja 2013. Haastattelu 25.4.2013. Haastattelija Salonen, T. Ei litteroitu. AGCO Power Oy.

Puntila Esa. Huoltopäällikkö 2013. Haastattelu 25.4.2013. Haastattelija Salonen, T. Ei litteroitu. AGCO Power Oy.

Salonen Timo. Suunnitteluinsinööri 2013. Haastattelu 23.4.2013. Haastattelija Salonen, T. Ei litteroitu. AGCO Power Oy.

Sarkola Tero. Moottoriasentaja 2013. Haastattelu 25.4.2013. Haastattelija Salonen, T. Ei litteroitu. AGCO Power Oy.

Seppälä Timo. Työohjeidentekijä 2013. Haastattelu 25.4.2013. Haastattelija Salonen, T. Ei litteroitu. AGCO Power Oy.

Tampio Tero. Moottoriasentaja 2013. Haastattelu 25.4.2013. Haastattelija Salonen, T. Ei litteroitu. AGCO Power Oy.

Tolonen Marko. Moottoriasentaja 2013. Haastattelu 25.4.2013. Haastattelija Salonen, T. Ei litteroitu. AGCO Power Oy.

Vähä-Maso Heikki. Suunnitteluinsinööri 2013. Haastattelut 25.4.2013 ja 26.4.2013. Haastattelija Salonen, T. Ei litteroitu. AGCO Power Oy.

Välimäki Mikko. Moottoriasentaja 2013. Haastattelu 25.4.2013. Haastattelija Salonen, T. Ei litteroitu. AGCO Power Oy.

LIITTEET

Liite 1. Painoarvotaulukot (17kpl)

Liite 2. Tulosten laskenta

Liite 3. Kartioliitoksen laskut, kaksoiskartioliitoksen laskut, profiiliakselin laskut ja kartioholkin laskut