

Markus Aarniluoma

LAAKERIASENNUKSIEN PERUSSÄÄNNÖT JA NIIDEN  
TAUSTAT

Merenkulkualan koulutusohjelma

Insinööri

2012

## LAAKERIASENNUKSIEN PERUSSÄÄNNÖT JA NIIDEN TAUSTAT

Aarniluoma, Markus  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Merenkulkualan koulutusohjelma  
Toukokuu 2012  
Ohjaaja: Rantala, Pauli  
Sivumäärä: 102  
Liitteitä: 0

Asiasanat: tekniikka, kone-elimet, laakerit

---

Opinnäytetyön tavoitteena on selventää laakeriasennuksiin liittyvien sääntöjen taustoja. Tavoitteena on, että asennustehtäviä suorittava tai valvova henkilö ei pelkästään muista laakeriasennusten perussääntöjä vaan tietää, miksi näitä sääntöjä kannattaa noudattaa.

Opinnäytetyöstä saa hyötyä eniten teknisen taustan omaava henkilö, jolla on jo käytännönläheistä kokemusta laakereista. Opinnäytetyö ei korvaa käytännönläheistä asennusopasta eikä varsinkaan käytännön asennuskokemusta. Sen sijaan tarkoituksena on pystyä perussääntöjen muistamisen avulla välttämään pahimmat asennukseen liittyvät sudenkuopat.

Laakeriasennuksen tason kertoo vasta aika. Puhtaus on asennuksessa ja sitä myötä laakerin käyttöiässä erittäin oleellisessa osassa.

## BASIC RULES AND BACKGROUNDS OF BEARING INSTALLATIONS

Aarniluoma, Markus

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Marine Engineering

May 2012

Supervisor: Rantala, Pauli

Number of pages: 102

Appendices: 0

Keywords: technology, machine elements, bearings

---

The purpose of this thesis was to clarify the backgrounds of rules affecting bearing installations. The objective is that the person mounting or the person supervising the mounting of bearing installations would not only recall the basic rules of bearing installations but also comprehend why it is advantageous to obey these rules.

This thesis is most useful to a person who bears a technical background and has some practical experience in bearings. This thesis does not substitute for a hands-on installation guide and especially not for practical installation experience. Instead, the aim is to avoid mishaps in installation processes by keeping in mind the rules, which are applicable in that particular procedure.

The quality of bearing installation will only come about after years of operation. Cleanliness is essential in an installation process and consequently in the life span of a bearing.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Tämän opinnäytetyön tavoite.....	6
1.2	Opinnäytetyön laatimisessa käytetyt menetelmät.....	6
2	LAAKEROINNIN PERUSTEET .....	7
2.1	Pyöräminen ja ympyräliike.....	7
2.2	Akseli .....	7
2.3	Säteittäinen ja aksiaalinen.....	9
2.4	Puristus ja kutistusliitos .....	10
2.5	Sintraus .....	15
2.6	Laakeri .....	16
2.7	Kitka .....	17
2.8	Voitelu .....	24
2.8.1	Öljyt .....	30
2.8.2	Rasvat .....	33
3	LAAKERIT .....	36
3.1	Liukulaakerit.....	36
3.1.1	Säteisliukulaakerit.....	38
3.1.2	Aksiaalisliukulaakerit.....	40
3.1.3	Liukulaakereiden sovitteet .....	40
3.1.4	Liukulaakerimateriaalit ja niiden aiheuttamat rajoitteet .....	41
3.1.5	Liukulaakerien voitelutoteutukset.....	42
3.2	Vierintälaakerit .....	44
3.2.1	Säteisvierintälaakerit .....	50
3.2.2	Aksiaalisvierintälaakerit.....	54
3.2.3	Vierintälaakerin välykset, sovitteet ja ohjaavuus.....	55
3.2.4	Vierintälaakerimateriaalit ja niiden aiheuttamat rajoitteet.....	61
3.2.5	Vierintälaakerien voitelutoteutukset .....	62
3.3	Tiivistimet.....	65
4	AIKAISEMMAN LAAKERIN IRROTTAMINEN .....	70
4.1	Yleistä laakerien irrottamisesta.....	70
4.2	Liukulaakerin irrottaminen .....	72
4.3	Vierintälaakerin irrottaminen.....	73
5	AKSELIN TARKASTUS .....	78

6	LIUKULAAKERIN ASENTAMINEN .....	80
6.1	Ahtaminen.....	80
6.2	Jäähdyttäminen .....	81
6.3	Avarrus .....	81
6.4	Asennuksen yhteydessä tapahtuva voitelu.....	82
7	VIERINTÄLAAKERIN ASENTAMINEN.....	82
7.1	Yleistä vierintälaakerien asentamisesta .....	82
7.2	Lieriömäiselle pinnalle asentaminen .....	86
7.3	Lämmittäminen.....	88
7.4	Kartiomaiselle pinnalle asentaminen .....	89
7.4.1	Kiristysholkille asentaminen.....	94
7.4.2	Vetoholkille asentaminen.....	96
7.5	Lukitseminen .....	97
7.6	Koeajo .....	99
8	YHTEENVETO, JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	100
	LÄHTEET.....	101

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tämän opinnäytetyön tavoite

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on auttaa laakeria asentavaa tai asennuksesta vastaavaa henkilöä muistamaan laakeriasennukseen liittyviä peruseriaatteita. Työ painottuu selvittämään laakerien asentamiseen liittyvien sääntöjen taustoja. Näin ollen laakeriasennuksen perussäännöt jäävät toivottavasti lukijalle helpommin mieleen, kun hän kykenee ymmärtämään, miksi ne on laadittu. Itse asennustapahtuman opettelussa selvästi parhaimman tuloksen saa, jos pystyy asentamaan laakereita valvonnan alaisena. Näin virheistä ja virheliikkeistä saa heti palautteen, joka osaltaan auttaa muistamaan välttämään samoja toimintatapoja tulevaisuudessa. Tämän eikä käytännössä minkään tekstioppaan tarkoitus ole opettaa varsinaista käytännön asennustehtävää, vaan antaa ohjeita ja periaatteita asennustehtäviä varten.

## 1.2 Opinnäytetyön laatimisessa käytetyt menetelmät

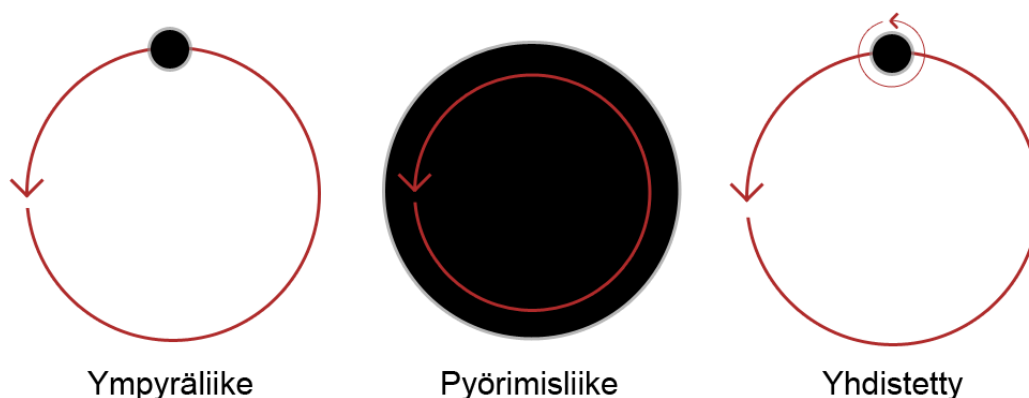
Opinnäytetyön laatimisessa käytetyistä menetelmistä pääosassa oli aiheeseen liittyvän kirjallisen tiedon kokoaminen. On lähteitä, jotka on tarkoitettu esimerkiksi laakerointien suunnittelijoille, uusien laakerien tilaajille tai laakerien asentajille. Jokaisella tasolla voi muodostua sääntöjä, joita on asennusvaiheessa noudatettava. Tässä opinnäytetyössä on koetettu koota eri lähteistä kaikki asennusvaiheessa noudatettavien perussääntöjen taustat. Osa tiedoista on suoraan laakerivalmistajalta saatuja. Jotkut käytännönläheiset huomiot perustuvat omakohtaiseen työkokemukseen.

## 2 LAAKEROINNIN PERUSTEET

### 2.1 Pyöriminen ja ympyräliike

On hyvä erottaa pyörimisen ja ympyräliikkeen ero. Pyörimistä on, kun kappale pyörii itsensä ympäri, toisin sanoen kappaleelle voidaan määrittää lävistävä linja (akseli), jonka ympäri kappale pyörii. Esimerkkinä hyrrä, joka pyörii pystysuoran akselinsa ympäri. Ympyräliikettä taas on, kun kappale liikkuu ympyräradalla. Tällöin kappaleeseen vaikuttaa jokin voima, joka pitää kappaleen ympyräradalla. Voima suuntautuu ympyräradan keskipistettä kohti. Esimerkkinä ympyräliikkeessä olevasta kappaleesta on maailmanpyörän korit (Lehto, Havukainen, Leskinen & Luoma 2006, 52).

Käytännössä kappale on usein sekä pyörimis- että ympyräliikkeessä. Esimerkiksi maapallo pyörii oman akselinsa ympäri, mutta on myös ympyräliikkeessä kiertäen Aurinkoa. Täten kaikki maapallolla olevat kappaleetkin ovat ympyräliikkeessä. Yleensä ja tässä opinnäytetyössä liikettä kuitenkin verrataan vain ympäristössä oleviin kappaleisiin. Seuraava kuva (Kuva 1) esittää ympyräliikkeen, pyörimisliikkeen ja näiden yhdistelmän.



Kuva 1. Musta kappale ympyräliikkeessä, pyörimisliikkeessä sekä molempien yhdistelmässä.

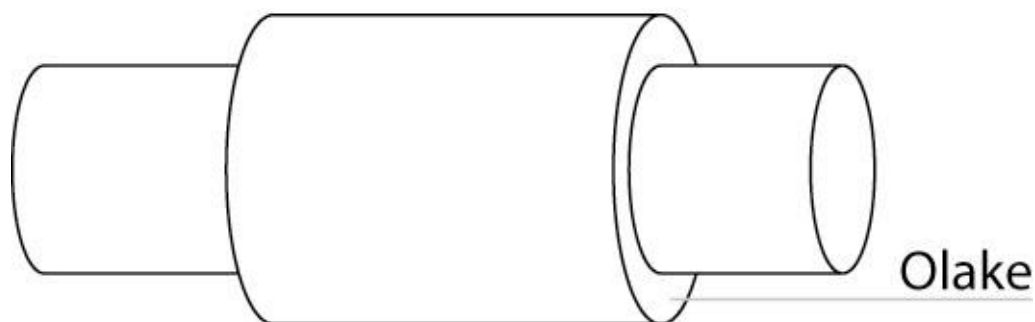
### 2.2 Akseli

Akselin määritelmä erään sanaston mukaan:

*”Akselilla voidaan tarkoittaa varsinaista pyöreän tangon muotoista kappaletta, joka itse pyörii tai kannattelee pyörivää osaa, tai sitten pyörivän kappaleen teoreettista keskilinjaa” (TM 1998, 11).*

Akselin määritelmä vaihtelee lähteestä riippuen, esimerkiksi edestakaista liikettä tekevä tankokin voidaan lukea akseliksi. Koska akseli voi siirtää pyörivää liikettä koneenosien välillä tai olla liikkumaton tai pyörivä tuki, voidaan akselit jaotella vääntöakseleihin ja kannatusakseleihin. Esimerkkinä vääntöakselista potkuriakseli, joka välittää moottorista saatavan pyörimisliikkeen potkurin pyörimisliikkeeksi. Tällöin akseli pyörii ja on vääntövoimien alaisena. Esimerkkinä kannatusakselista on käsipainon akseli. Painoa nostettaessa akseli kantaa levypainojen painon. Akseliin vaikuttaa taiputusvoima. (Ansaharju 2009, 132.)

Koska vääntöakseli siirtää pyörivää liikettä, akselia pitää olla mahdollista pyörittää. Akseliin voidaan esimerkiksi liittää hammaspyörä tai kiilahihnapyörä jonka avulla pyörimisliike siirretään akseliin ja akselilta pois. Jo akselia suunniteltaessa pitää tietää millä tavalla edellä mainitut osat tullaan akseliin kiinnittämään. Ratkaisuja ovat esimerkiksi lämpölaajenemista hyödyntävä kutistusliitos, kiristäminen ruuvien avulla tai vaikkapa tekemällä akselista läpileikkaukseltaan neliön muotoinen ja koneistamalla vastakappaleeseen, esimerkiksi hammaspyörään, neliö reikä. Jotta osat olisi helppo asentaa akselille aksiaalisesti oikeaan kohtaan, voi akselissa olla olakkeita (Kuva 2).

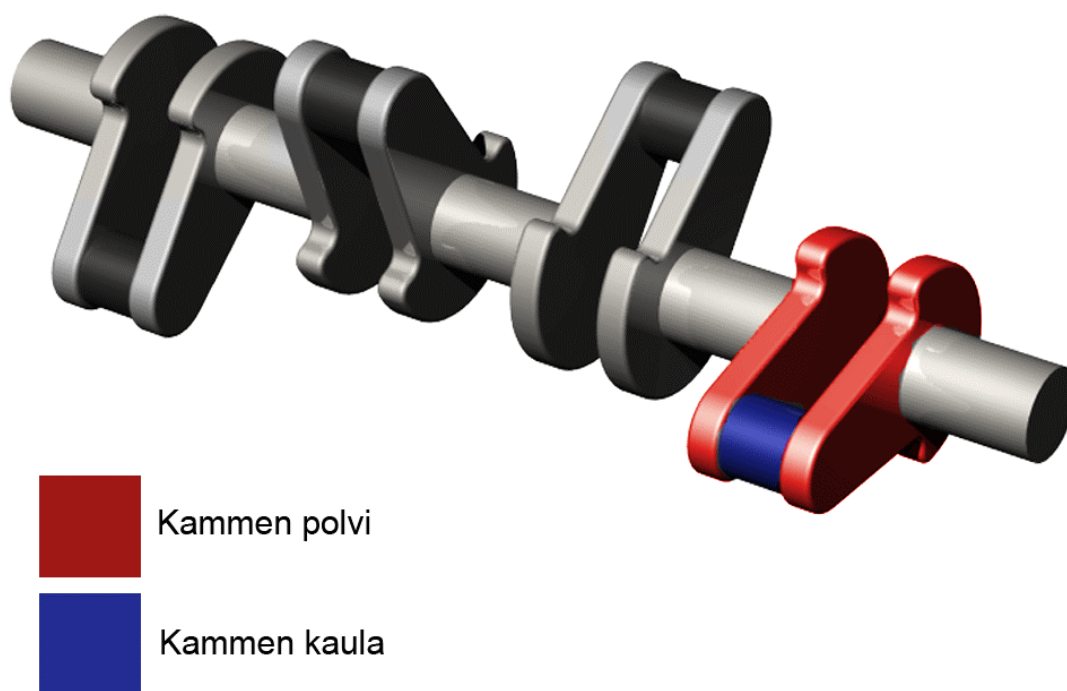


Kuva 2. Akselissa oleva olake.

Akselissa voi olla tehon siirtämistä varten kampi tai kampia. Tällöin voidaan puhua kampiakselista. Käytännönläheinen esimerkki kampiakselista on kaivo jossa on köysi



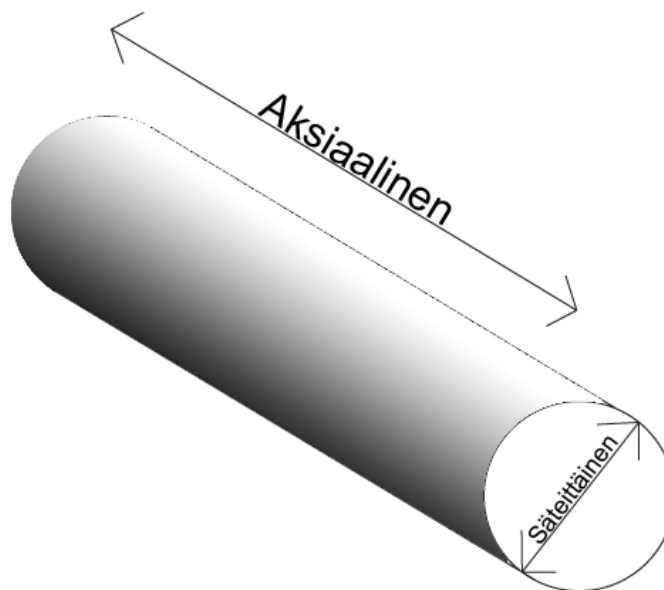
kiinnitettyinä akseliin ja akselissa kampi pyörittämisen helpottamista varten. Kampi on myös yleinen tapa siirtää edestakainen liike pyörimisliikkeeksi. Kammen eri osat on nimetty erikseen: kammien polvi, joka on usein muotoiltu vastapainoksi (TM 1998, 68), sekä kammien kaula, johon tässä esimerkissä olisi laakeroitu kierokanki. Seuraava kuva (Kuva 3) selvittää asiaa.



Kuva 3. Kampiakseli. Kammen osat eriteltyinä (Piirtänyt Boroski, CC-BY-SA-3.0, Wikipedia Commons).

### 2.3 Säteittäinen ja aksiaalinen

Opinnäytetyössä tullaan käyttämään paljon käsitteitä ”säteittäinen” ja ”aksiaalinen”. Säteittäisellä tarkoitetaan säteen suuntaista. Aksiaalisella puolestaan tarkoitetaan akselin suuntaista. Asia on esitetty seuraavassa kuvassa (Kuva 4).



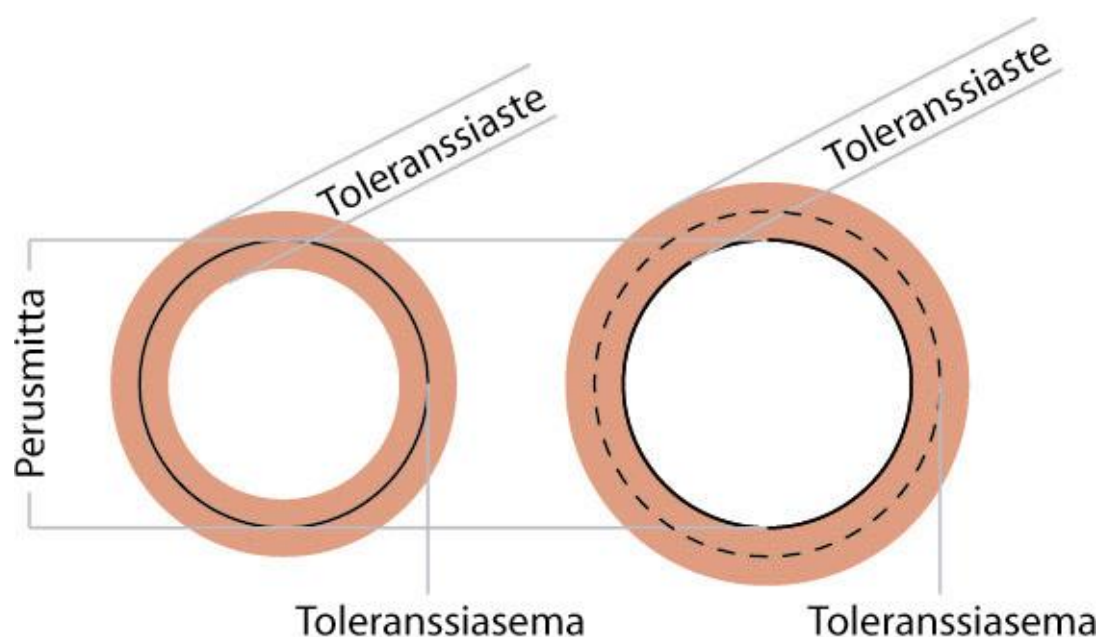
Kuva 4. Esimerkiksi ”*aksiaalinen liike*” tarkoittaa akselin pituussuuntaista liikettä. ”*Säteittäinen liike*” taas tarkoittaa akselin poikittaissuuntaista liikettä katsottuna akselin päästä.

#### 2.4 Puristus ja kutistusliitos

Koneenosia voidaan liittää toisiinsa monilla tavoilla. Voidaan esimerkiksi käyttää ruuveja, liimoja, nittejä ja niin edelleen. Laakeriasennuksissa käytetään usein kitkaliitoksia, toisin sanoen osat pysyvät paikallaan niiden välisen kitkan ansiosta. Toki muissakin liitostyypeissä kitka on olennaisessa osassa, mutta kitkaliitoksissa ei tarvita muita osia tai aineita kitkan luomiseksi liitettävien kappaleiden lisäksi.

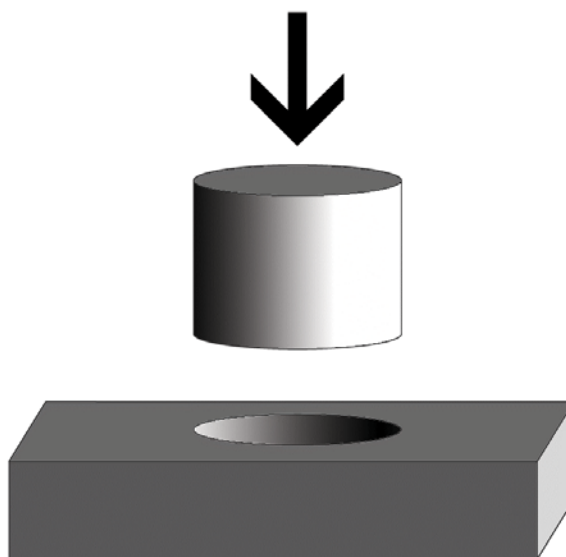
Puristus- ja kutistusliitoksessa kappaleiden välisen tartuntavoiman määrittää kappaleiden välinen *ahdistus* (Pyy ym. 1995, 102). Ahdistuksen määrä kasvaa, kun liitettävän akselin halkaisija suurenee ja vastinkappaleen reiän halkaisija pienenee. Koska ei reikiä eikä akseleita voida koneistaa täysin tarkasti nimellismittaansa, antaa laitteen suunnittelija kappaleiden mittoihin *toleranssit*. Toleransseilla voidaan määrittää kuinka paljon nimellismittaa suurempi tai pienempi todellinen mitta saa olla. Esimerkiksi mitta  $(200^{+0,2}_{-0,1})$  mm tarkoittaa, että todellinen mitta saa olla suurimmillaan 200,2 mm ja pienimmillään 199,9 mm nimellismitan ollessa 200 mm. On huomattava, että esimerkiksi kitkaliitosten takia mitta voi olla annettu myös esimerkiksi arvona  $(200^{-0,1}_{-0,3})$  mm. Tällöin nimellismittaa ei edes tavoitella, vaan todellinen mitta tulee olla välillä 199,7...199,9 mm. Käytännössä koneen

suunnittelijan on helpompaa ja nopeampaa sopia jokin koodi tietylle toleranssialueelle, ja näin on tehtykin. Akselin ja pesän mitat voidaan helposti ilmaista esimerkiksi ISO-toleranssijärjestelmän avulla termillä ” $\varnothing$  200 h6” akselille ja ” $\varnothing$  200 H7” pesän reiälle. Toisinaan tiedot yhdistetään, tuloksena ” $\varnothing$  200 h6/H7”. Koodi koostuu kirjaimesta ja numerosta. Iso kirjain viittaa reiän toleranssiin ja pieni kirjain akselin toleranssiin. Kirjain kertoo *toleranssiaseman*. Toleranssiasema määrittää, sallitaanko heittoa esimerkiksi nimellishalkaisijan yli tai alle, vai kenties hieman molempia. Kuten aiemmin oli mainittu, ahdistusliitoksissa ei välttämättä edes tavoitella nimellismittaa, joten toleranssiasema voidaan myös määrittellä nimellishalkaisijan ulkopuolelle. Käytännössä toleranssiasema vastaa ympyrän säteen mitta, jonka keskikohta on nimellishalkaisijan kanssa sama. Tämän ympyrän kehän leveys taas viittaa siihen, millä alueella todellinen mitta saa olla. Ympyrän kehän leveyden arvoa määrittää koodissa oleva numero, *toleranssiaste* (Kuva 5). (Keinänen & Kärkkäinen 1995, 98-101.)



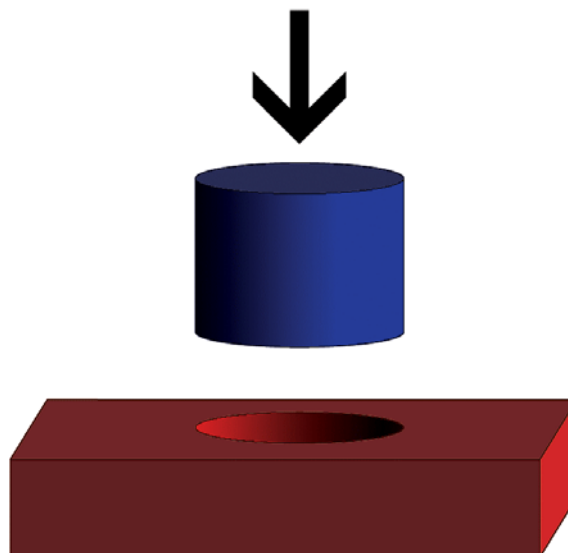
Kuva 5. Halkaisijan nimellis-, eli perusmitta ja toleranssiaste on sama, mutta toleranssiasema vaihtelee.

Puristusliitos tehdään pakottamalla asennettava osa paikoilleen. Voidaan käyttää esimerkiksi puristinta (prässiä) tai vasaraa ja asennusholkkia. Seuraava kuva (Kuva 6) esittää periaatteen. Puristusliitoksessa asennettavien osien ahdistus on pienempi kuin kutistusliitoksessa. Osien vastinpinnat voidaan voidella (Ansaharju 2009, 132.)



Kuva 6. Puristusliitos. Suora ympyrälieriö painetaan alustaan.

Kutistusliitos on muuten samanlainen kuin puristusliitos, mutta siinä käytetään hyväksi lämpölaajenemista ja vastaavasti jäähtymisen aiheuttamaa kutistumista. Oikein mitoitettuna kutistusliitoksen tekemiseen ei tulisi tarvita voimankäyttöä. Olennaista on kappaleiden välinen lämpötilaero. Teoriassa on kolme mahdollisuutta saavuttaa tarvittava lämpötila- ja kokoero kappaleiden välille: lämmittää vain toista kappaletta, jäädyttää vain toista kappaletta tai jäädyttää toista sekä lämmittää toista kappaletta. Käytännössä kappaleiden materiaalit rajoittavat maksimi- ja minimilämpötiloja. Kappaleiden liittämisen jälkeen lämpötila- ja kokoerot tasaantuvat joka aiheuttaa kappaleiden välisen ahdistuksen. Seuraava kuva (Kuva 7) esittää asennustilanteen jossa sekä jäähdytetään että lämmitetään kappaletta.



Kuva 7. Kutistusliitos. Suoraa ympyrälieriötä on jäähdetty ja alustaa lämmitetty.

On huomioitavaa että lämpötila- ja kokoero säilyy kappaleiden välillä vain hetken – asennusnopeus on tärkeää. Myös erittäin olennaista on ottaa huomioon kappaleiden materiaali. Eri metalleilla on erilaiset lämpölaajenemiskertoimet. Jos esimerkiksi toinen liitettävistä kappaleista on messinkiä ja toinen terästä, lämpölaajenee messinki näistä kahdesta enemmän. Seuraavana on kaava, joka kertoo kuinka paljon kappale laajenee lämmitessään:

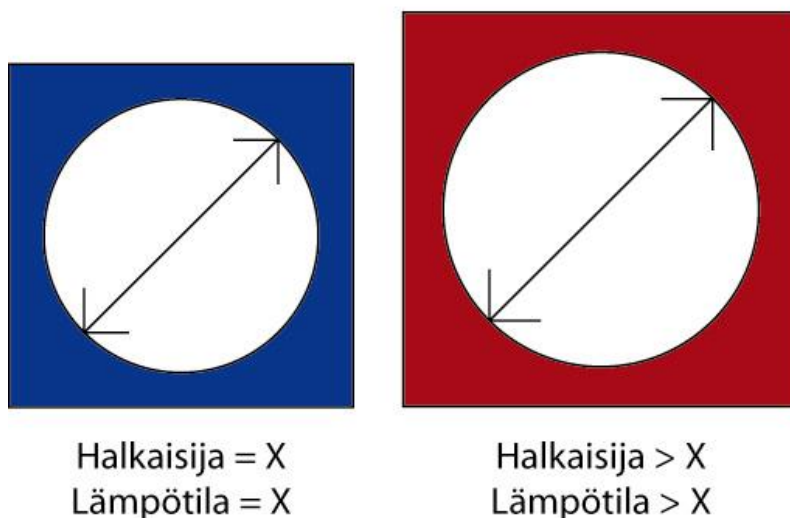
$$l = l_0(1 + \alpha\Delta t)$$

jossa  $l$  on kappaleen pituus lämmittämisen tai jäädyttämisen jälkeen,  $l_0$  kappaleen alkuperäinen pituus,  $\alpha$  materiaalin pituuden lämpötilakerroin ja  $t$  lämpötilaero ennen ja jälkeen lämmönsiirtymisen. Lämpölaajenemisen mittasuhteiden käsittämiseksi seuraavassa (Taulukko 1) on esitetty yhden metrin mittaisen tangon pituus sen jälkeen kun sen lämpötilaa on nostettu kuudellakymmenellä celsiusasteella. Yleisissä lämpötilaolosuhteissa kappaleen alkuperäisellä lämpötilalla ei ole merkitystä, vaan sillä, mikä on lämpötilaero ennen ja jälkeen lämmönsiirtymisen.

Taulukko 1. Alkutilassaan metrin mittaisen kappaleen pituus kun sitä on lämmitetty 60 celsiusastetta. Pituusero on millimetriluokkaa.

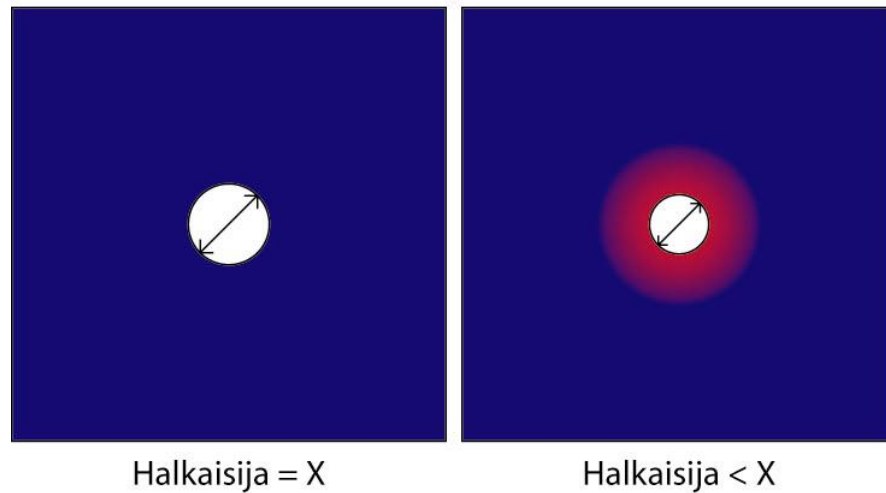
Materiaali	Pituuden lämpötilakerroin	Pituus lämmitettynä
Messinki	$21 \times 10^{-6}/K$	1,00126 m
Teräs	$12 \times 10^{-6}/K$	1,00072 m
Alumiini	$23,2 \times 10^{-6}/K$	1,001392 m

Kappaleessa olevan reiän halkaisija kasvaa kappaleen laajetessa (Kuva 8).



Kuva 8. Metallin lämmitessä ja laajentuessa tasaisesti siinä olevan reiän halkaisija kasvaa.

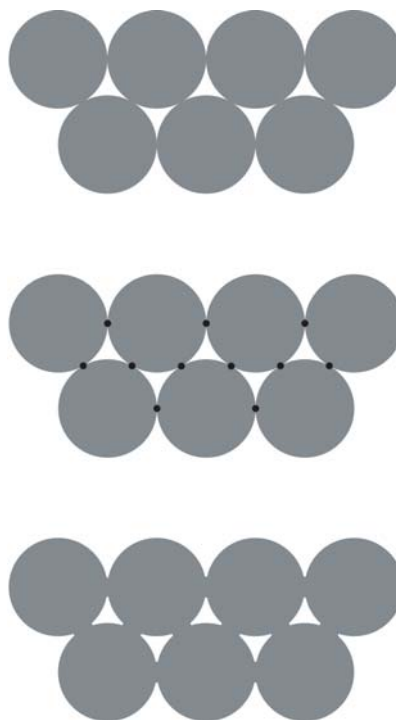
Edellä oleva pätee vain, jos kappaleen lämpötila on jakautunut tasaisesti. Koska metallit johtavat hyvin lämpöä, näin yleensä ottaen onkin. Joissakin poikkeustapauksissa on kuitenkin otettava huomioon että kappaleessa olevan reiän halkaisija voi hetkellisesti myös pienentyä ympäröivän materiaalin lämpölaajenemisen johdosta (Kuva 9) (Virta, sähköposti 19.2.2012). Tällainen tilanne on otettava huomioon, kun irrotetaan esimerkiksi kutistusliitoksella liitettyä isoa vauhtipyörää akselilta. Vauhtipyörää tulisi lämmittää tasaisesti, ei ainakaan pelkästään navan läheltä (Pakkala 1978, 23).



Kuva 9. Jos laajan kappaleen reiän ympäristöä lämmitetään nopeasti voi reiän halkaisija hetkellisesti pienentyä.

## 2.5 Sintraus

Sintrauksessa raaka-aineesta tehdään jauhetta, joka lämmitetään ja puristetaan kiinteäksi kappaleeksi. Lämpötila ei kuitenkaan ylitä materiaalin sulamislämpötilaa; rakeet eivät sula kiinni toisiinsa vaan pysyvät yhdessä diffuusion avulla. Sintrauksen avulla voidaan saada aikaan hyvin huokoinen materiaali. Seuraavassa kuvassa (Kuva 10) sintrausprosessi hyvin pelkistettynä. (Tikkamäki, henkilökohtainen tiedonanto 8.12.2011.)



Kuva 10. Sintrausprosessi. Ylimmässä kohdassa raaka-aine raejauheena. Keskimmäisessä kohdassa rakeet kiinnittyvät toisiinsa lämpötilan ja paineen vaikutuksesta. Alimmassa kohdassa valmis kappale.

## 2.6 Laakeri

Aloitetaan laakerin määrittämisellä:

*”Pyörivän akselin tai muun liikkuvan kappaleen tuki, jonka tarkoituksena on kitkan pienentäminen ja usein myös päittäis- ja säteisvoimien kantaminen” (TM 1998, 93)*

Laakerin tarve on luultavasti ilmennyt paljon ennen kuin käsite ”laakeri” on keksitty. Tarve on helppo käsittää: pyörä pyörii paljon helpommin, jos akselin ja sitä tukevan rakenteen välinen kitka on mahdollisimman pieni. Voidaan ottaa esimerkiksi vaikkapa vesikaivo. Kaivossa on akseli, johon on kiinnitetty köyttä. Akselissa puolestaan on kampi. Akseli on tuettu lautoihin, joihin on porattu reikä. Varmasti pian on huomattu, että kampea on helpompi pyörittää, jos puussa olevaan poraukseen laitetaan rasvaa voitelemaan akselia.

Edellä oleva esimerkki aiheuttaa pienen pulman: järjestelmässä on akseli ja sitä tukeva elin: lauta. Lisäksi laudan ja akselin välissä on rasvaa. Mutta mikä niistä on laakeri? Laakerin määritelmän mukaan laakeri on akselia tukeva elin, joka tässä



tapauksessa viittaisi lautaan. Mutta olisi hieman outoa kutsua koko lautaa laakeriksi – vallankaan, kun kaikki laudat eivät ole laakereita. Samaan päätelmään ajaututaan rasvan kanssa. Koska asiaan ei ole valmista vastausta edes Kotimaisten kielten tutkimuskeskuksessa (Heinonen, sähköposti 11.11.2011), seuraavat koskevat vain tätä opinnäytetyötä: käytetään sanaa ”laakeri” silloin, kun kysymyksessä on jokin käsin kosketeltava osa, muissa tapauksissa kierretään asia sanonnalla ”(jokin) on laakeroitu (johonkin)”. Jälkimmäinen tapa ei kuitenkaan poissulje mahdollisuutta, että laakeroinnissa olisi osallisena käsinkosketeltava laakeri.

Ensimmäiset laakerit ovat olleet liukulaakereita. Laakerointeja on luultavasti voideltu öljyllä tai rasvalla melko varhaisessa vaiheessa. On myös olemassa puulajikkeita, jotka ovat luonnostaan öljyisiä. Esimerkkinä tällaisesta on *Lignum vitae*- puulajike, joka on kovaa ja itsessään öljyistä. Sittemmin liukulaakerimateriaaleissa on siirrytty metalleihin ja muoveihin. Vierintälaakerointi on tuorempi keksintö, mutta esimerkiksi jo Leonardo da Vinci (1452-1519) suunnitteli vierintälaakereita, mutta puu materiaalivalintana jätti toivomisen varaa. Metallitekniikan kehittyessä 1800-luvulla pystyttiin jo valmistamaan vierintälaakereita sellaisina kuin me ne tunnemme. (Bearing briefs 2006, 1.)

## 2.7 Kitka

Laakerin tärkein tehtävä on liikkuvan tai pyörivän kappaleen tukeminen. Käytännössä yhtä tärkeää on laakerin kyky minimoida liikkuvan tai pyörivän osan ja paikallaan pysyvän osan välinen kitka.

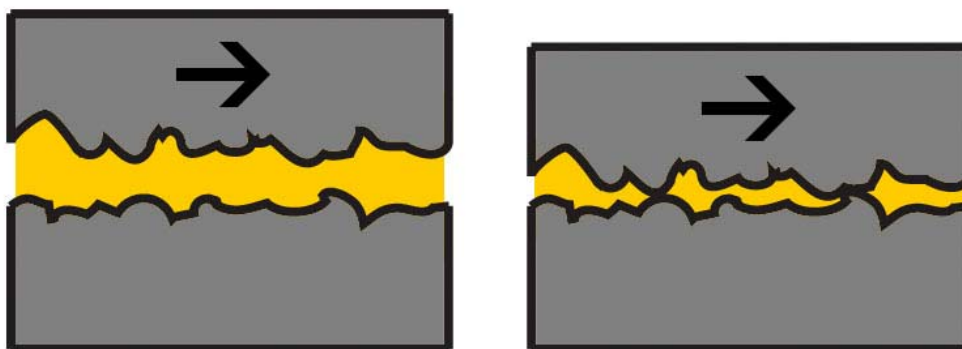
Kitkalla tarkoitetaan kahden toisiaan koskevan kappaleen taipumusta vastustaa niiden välistä liikettä (Microsoft 2007). Kitka voidaan jaotella erilaisiin luokkiin. Seuraavassa käytämme jaottelua sisäiseen ja ulkoiseen kitkaan, joista jälkimmäisellä on alaluokat vierimis- ja liukumiskitka.

Sisäinen kitka tarkoittaa aineen molekyylien välistä kitkaa. Se pitää aineen koossa. Nesteiden ja kaasujen sisäistä kitkaa kutsutaan viskositeetiksi (Microsoft 2007). Käytännössä kitkasta puhuttaessa tarkoitetaan usein ulkoista kitkaa. Se voidaan jakaa

vierimis- ja liukumiskitkaan. Pääsääntöisesti vierimiskitka on pienempi kuin liukumiskitka. Kitkan voittamiseen kuluva energia muuttuu useimmiten lämmöksi.

Liukumiskitka aiheutuu toisiaan vasten liukuvien kappaleiden pintojen epätasaisuudesta. Kappaleet hankaavat toisiaan vasten jonka seurauksena tapahtuu pieniä muodonmuutoksia jotka sitovat energiaa. Osa energiasta muuntuu lämmöksi. Liukumiskitkaa voidaan tehokkaasti pienentää tasoittamalla liukuvia pintoja ja/tai saattaa voiteluainetta pintojen väliin jolloin kappaleiden epätasaisuudet eivät hankaa toisiaan vasten. Jos kappale saatetaan liikkeeseen levosta, tulee ensin voittaa liukukitkavoimaa yleisesti ottaen hieman suurempi lepokitkavoima. Pintojen välillä vaikuttaa lepokitka silloin kun pinnat eivät vielä luista toisiaan vasten.

Koska laakerilla on tehtävänä myös tukea liikkuvaa tai pyörivää osaa, onkin haasteellista saada voiteluainekalvo pysymään voideltavien pintojen välissä. Aiheutuva paine koettaa puristaa öljyn pois pintojen välistä. Jos voiteluainekalvo pystyy pitämään kappaleet täysin irti toisistaan, puhutaan *hydrodynaamisesta voitelusta*. Jos taas pintojen epätasaisuudet aika ajoin hankaavat toisiaan vasten öljyn läsnäolosta huolimatta, puhutaan *rajavoitelusta*. Vastaavasti kitka tarkentuu termein *nestekitka* silloin, kun hydrodynaaminen voitelu on saavutettu ja *sekakitka* rajavoitelun tapauksessa. Jos pintojen välissä ei ole voitelukalvoa lainkaan, voidaan puhua *kuivakitkasta*. Seuraava kuva (Kuva 11) esittää tilanteet. (SKF 1994, 206; Ansaharju 2009, 140.)



Kuva 11. Vasemmalla hydrodynaaminen voitelu: voiteluainekalvo erottaa toisiaan vasten liikkuvat kappaleet. Oikealla tilanne rajavoitelusta: öljykalvo ei pysty pitämään kappaleita erillään. Pintakosketuksia esiintyy.

Voiteluainekalvon paksuuteen vaikuttavat muun muassa voiteluaineen jähmeys (viskositeetti), kuinka paljon voiteluainetta tuodaan pintojen väliin, pintapaine sekä pintojen välinen liikenopeus (pyörimisnopeus).

Liukukitkan määrä voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$F_{\mu} = \mu N$$

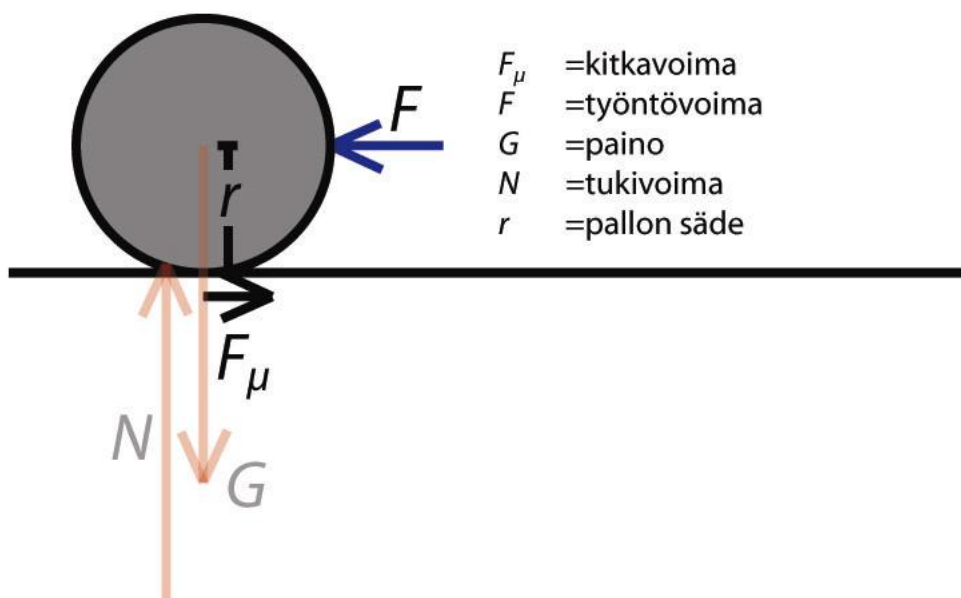
jossa  $F_{\mu}$  liukukitkavoima,  $\mu$  kitkakerroin ja  $N$  normaalivoima. Liikekitkan yksikkö on newton, kitkakertoimella ei ole yksikköä ja normaalivoima on myös newtonarvo. Liukukitkan suuruus riippuu siis kappaleiden välisestä kitkakertoimesta sekä normaalivoimasta. Normaalivoima tarkoittaa kappaletta tukevaa voimaa. Koska normaalivoiman itseisarvo on sama kuin levossa olevan kappaleen paino, voimme seuraavissa esimerkeissä ajatella normaalivoiman olevan kappaleen massan ja maan vetovoiman aiheuttaman kiihtyvyyden tulo toisin sanoen olevan yhtä kuin kappaleen paino.

Kaavan käyttö esimerkinomaisesti: jos teräksisellä alustalla on 10 kg:n massainen teräskappale ja tiedämme teräs-teräs kitkakertoimen olevan 0,12 (MAOL 2000, 82) saamme kaavan  $F_{\mu} = 0,12 \cdot (10\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2) = 11,772\text{N}$ . Tulos tarkoittaa että kappaletta liikuttaessa kitkavoiman suuruus on noin kaksitoista newtonia. Toisin sanoen jos kappaletta työnnetään noin kahdentoista newtonin voimalla, se ei kiihdy. Kappale voi kuitenkin olla liikkeessä, sen nopeus vain ei kasva, vaikka sen liikuttamisen eteen tehdään työtä. Työhön käytettävä energia muuntuu kitkan vuoksi lämmöksi. (On huomioitava että kappaleen saattamiseen liikkeeseen on voitettava ensin liukukitkavoimaa hieman suurempi lähtökitkavoima.) Onkin helppo ymmärtää, että kitkakerroin halutaan mahdollisimman pieneksi. Seuraavassa taulukossa (Taulukko 2) on laskettu edellisen esimerkin teräskappaleeseen vaikuttavan kitkavoiman suuruus, kun kappaleiden väliin saatetaan öljykerros sekä kun sama kappale on jään pinnalla.

Taulukko 2. Teräskappaleeseen, jonka massa on 10 kg, vaikuttava kitkavoima laskettuna eri pinoilla. Kitkakertoimella on suuri vaikutus.

Ainepari	Liukukitkakerroin	Kitkavoima
Teräs-teräs (kuiva)	0,12	11,772 N
Teräs-teräs (voideltu)	0,05	4,905 N
Teräs-jää	0,014	1,3734 N

Edellä tarkasteltiin esimerkkiä, jossa kappale liikuu pintaa pitkin. Toisin kuin liukumisessa, vierimisessä kappaleet eivät liu'u toisiaan vasten. Jo käytännöstäkin tiedetään, että pyörittäminen on monesti energiatehokkain tapa siirtää pallomaista tai sylinterimäistä kappaletta. Vierimisessä pintojen välinen kitkakerroin vaikuttaa huomattavasti eri tavalla kuin liukumisessa. Ensinnäkin kitka on edellytys siihen, että paikallaan oleva kappale saadaan työntämällä pyörivään liikkeeseen. Tämä johtuu siitä, että esimerkiksi palloa työntäessä aiheutetaan palloon momentti, jonka voima on kitkavoima ja varsi pallon säde. Seuraava kuva (Kuva 12) esittää tilanteen.



Kuva 12. Palloa työnnetään vasemmalle voimalla  $F$ . Kitka  $F_\mu$  estää liukumisen aiheuttaen palloa pyörittävän vääntömomentin. Pallo on kiihtyvässä liikkeessä vasemmalle.

Koska pallon pyörimisen aiheuttama voima on kitkavoima, tulee pintojen välillä olla kitkaa. Jos kitkaa ei ole tarpeeksi, pallo liikuu osittain. Kitkaa on liikaa ainoastaan

silloin, kun kitkakerroin on yli yhden, eli kappaleet ikään kuin liimautuvat toisiinsa. On siis huomattava ero liukumisessa tapahtuvan kitkan välillä, jonka tekemä työ muuntuu lämmöksi, ja vierimisessä vaikuttavan kitkan välillä, koska jälkimmäinen muuntuu vain osittain lämmöksi ja osittain kappaleen pyörimisenergiaksi. Lämmöksi muuntuvaa osaa vierimisessä esiintyvistä kitkasta kutsutaan vierimisvastukseksi.

Vierimisvastusta esiintyy pintojen muodonmuutosten takia (Suvanto 2003, 282). Mitä joustamattomampia pinnat ovat, sitä pienempiä vierimisvastuksia esiintyy. Raideliikenteen vierimisvastukset ovat merkittävästi pienempiä kuin tieliikenteen. Hieman yksinkertaistaen vierimisvastus muodostuu siitä, että pyörän vieressä pehmeässä alustassa pyörän pitää upottuaan ikään kuin ”nousta ylämäkeen”. Tämä pintojen taipuminen voi olla silminnähtävää tai mikroskooppista. Myös vierivä kappale voi joustaa. Näin ollen laakerien vierintäelimet ja vierintäradat pyritään tekemään mahdollisimman koviksi. Vierintäradalla oleva öljy lisää vierintävastusta, mutta on tärkeää muista syistä joihin palaamme. Vierimisvastus voidaan laskea samalla kaavalla kuin liukukitka, mutta lepo- tai liikekitkakertoimen sijalla tulee käyttää vierimisvastuskerrointa.

$$F_v = fN$$

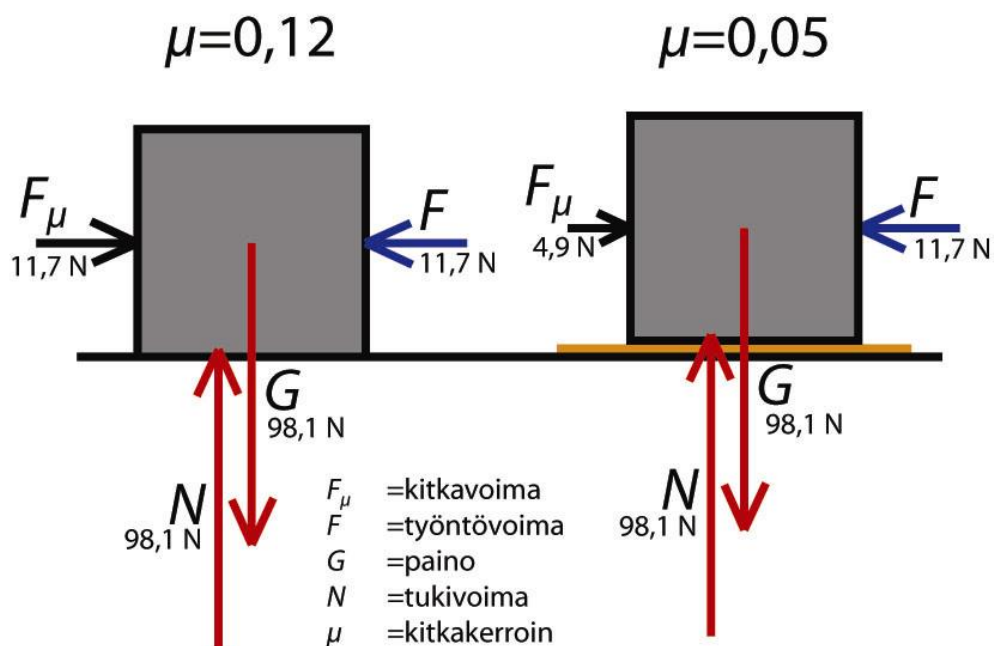
Kaavassa  $F_v$  vierimisvastusvoima,  $f$  vierimisvastuskerroin ja  $N$  normaalivoima. Vierimisvastusvoima on aina pyörivän kappaleen etenemissuuntaa vastaan (Lehto ym. 2006, 104)

Kerrataan kappaleiden välisiä liukukitka- ja vierimisvastuskertoimia ja niiden aiheuttamia kitkavoimia. Seuraava taulukko (Taulukko 3) on täydennetty kattamaan 10 kg:n massaisen teräspallon vierimisen teräsalustalla. Oletetaan, että vierimisvastuskerroin on sama kuin raideliikenteessä.

Taulukko 3. Liukukitkakertoimia ja vierimiskitkakertoimia sekä niiden aiheuttamia kitkavoimia 10 kg:n massaiseen kappaleeseen. Huomaa että vierimisessä kitkavoima on huomattavasti pienempi kuin liukumisessa.

Ainepari	Liukukitkakerroin	Kitkavoima
Teräs-teräs (kuiva)	0,12	11,772 N
Teräs-teräs (voideltu)	0,05	4,905 N
Teräs-jää	0,014	1,3734 N
	Vierimisvastuskerroin	
Teräs-teräs	0,002	0,1962 N

Kerrataan sama kuvallisin esimerkein. Seuraavat kuvat (Kuva 13 ja Kuva 14) esittävät tilanteet. Kuvassa on jouduttu selvyuden vuoksi piirtämään voimat N ja G vaikuttamaan eri kohtiin, vaikka todellisuudessa ne ovat likimain samalla linjalla. Kuvassa vasemmalla teräskappaletta työnnetään teräsalustalla vasemmalle noin 11,7 newtonin voimalla. Koska kitkavoima on sama, kappale on joko tasaisessa liikkeessä vasemmalle tai paikallaan, mutta se ei ole kiihtyvässä liikkeessä. Samassa kuvassa oikealla on esitetty tilanne, jossa sama työntövoima vaikuttaa kappaleeseen, mutta alustan ja kappaleen välinen pinta on öljytty. Tämä pienentää kitkakerrointa ja liukukitkavoimaa. Kappale onkin tällöin kiihtyvässä liikkeessä vasemmalle.

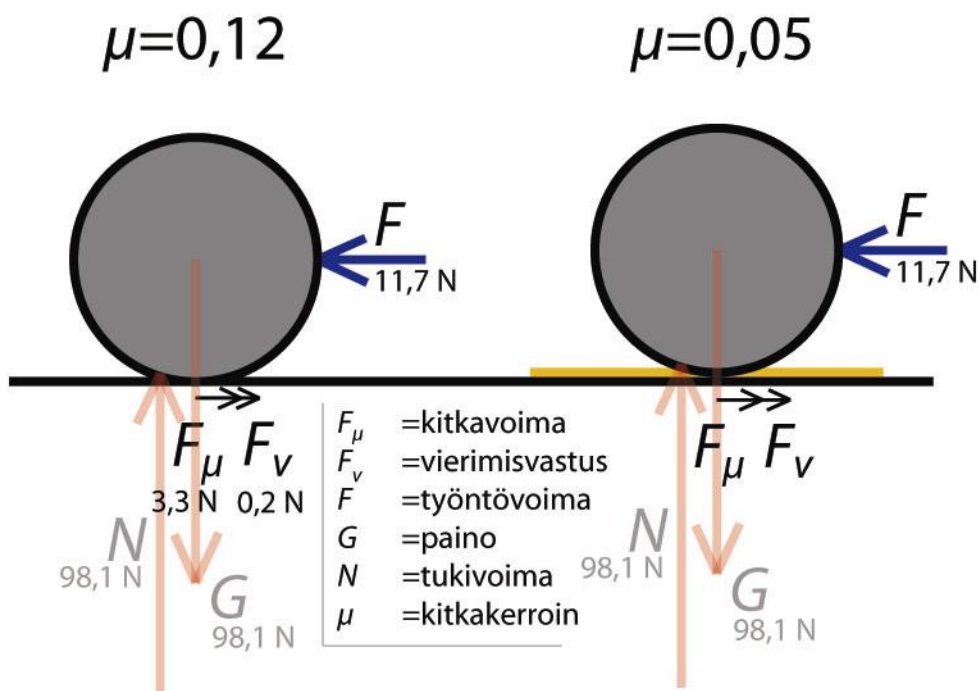


Kuva 13. Samanlaisia kappaleita työnnetään samanlaisella voimalla  $F$ , mutta vain toinen kappaleista on kiihtyvässä liikkeessä. Oikeanpuoleinen kappale on kiihtyvässä liikkeessä vasemmalle, koska sen voimaa  $F$  vastustava kitkavoima  $F_{\mu}$  on pienempi johtuen öljykalvon aiheuttamasta pienemmästä liukukitkakertoimesta.

Teräspallon tapauksessa lämmöksi muuntuva kitka  $F_v$  on huomattavasti pienempi kuin liukukitkan tapauksessa. Kitka  $F_{\mu}$  sen sijaan on samaa suuruusluokkaa öljytyn teräskuution liukukitkan kanssa, mutta on muistettava että kitka  $F_{\mu}$  ei muutu lämmöksi vaan kappaleen pyörimisenergiaksi. Se kuinka paljon työtä tarvitsee tehdä saadakseen kappale pyörimisliikkeeseen riippuu sen hitausmomentista. Hitausmomentti taas riippuu kappaleen massasta, muodosta sekä säteestä. Loput voimasta, eli  $F_{\text{loput}} = 11,7\text{ N} - (0,2\text{ N} + 3,3\text{ N}) = 8,2\text{ N}$  aikaansaavat kappaleen kiihtyvyyden, esimerkin tapauksessa kappaletta kiihdytetään siis vasemmalle noin 8,2 newtonin voimalla.

Jos vierimistapauksessa pintojen väliin saatetaan öljyä, on erittäin hankala laskemalla osoittaa, kuinka se vaikuttaa vierimisvastuskertoimen ja tätä kautta vierimisvastuksen arvoon. Tieliikenteessä ns. vesiliirto-tilanteessa kumirenkaan ja asfaltin väliin jäävä puolen millimetrin paksuinen vesipatja saattaa nostaa vierintävastusta noin 50 % (Nokian renkaiden [www-sivut](http://www.nokiantires.com) 2012). Näin ollen voidaan varovaisesti olettaa että

vierintävastus kasvaa hieman vierivän kappaleen ja tason välisen öljyn takia, mutta vaikka kasvaisikin 50 % on se paljon pienempi kuin liukukitkan aiheuttama vastus. Öljykalvon paksuudella on suuri merkitys, liika ja/tai liian paksu öljy voi estää vierimisen kokonaan. Tällöin kitka on liukumiskitkaa.



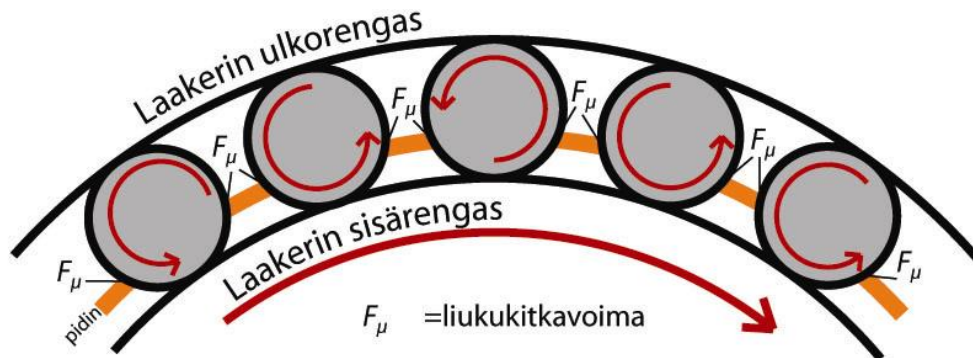
Kuva 14. Samanlaisia kappaleita työnnetään samanlaisella voimalla  $F$  vasemmalle. Kitkavoiman osatekijä  $F_\mu$  aiheuttaa kappaletta pyörittävän momentin. Osatekijä  $F_v$  sen sijaan on vierimisvastus. Oikeanpuoleisessa esimerkissä vierimisvastus voi olla jopa hieman suurempi; liukukitkan ja liukukitkakertoimen pienentämisellä ei saavuteta vierimisessä etua.

## 2.8 Voitelu

Yleensä laakeroinnit ovat tavalla tai toisella voideltuja. Yleisimmät voiteluaineet ovat rasva, öljy ja vesi. Öljyillä ja rasvoilla on ruosteen muodostumista estävä vaikutus. Helposti pumpattavilla aineilla, siis öljyllä ja vedellä, taas saadaan mahdollisuus järjestää voiteluaineen kierrätys. Tästä on se etu, että voiteluaine voi kitkan pienentämisen lisäksi toimia myös jäähdytysnesteenä. Voiteluaineiden olennaisin tehtävä on kuitenkin juuri liukukitkan pienentäminen. Riippumatta laakerityypistä koitetaan toisiaan vasten liikkuvien pintojen väliin saada voiteluainekalvo. Tämä kalvo pienentää liukukitkaa liukulaakerissa akselin ja



laakerin välillä ja vierintälaakerissa vierintäelimien ja niitä erillään pitävän *pitimen* välillä. Seuraavassa kuvassa (Kuva 15) on esitetty pitimellä varustettu vierintälaakeri.

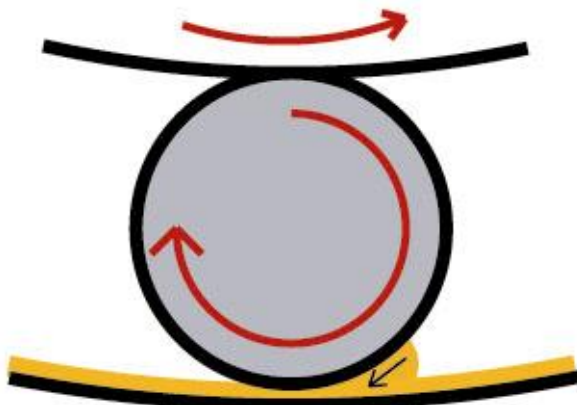


Kuva 15. Rullalaakeri, jossa vierintäelimet, rullat, pidetään irti toisistaan ja akselin kanssa linjassa pitimen (merkitty keltaisella) avulla.

Myös vierintälaakeroinnissa vaikuttaa liukukitkavoimia, tässä tapauksessa rullien ja pitimen välillä. Pitimestä luopuminen ei ratkaise ongelmaa, koska tällöin vierintäelimet hankaavat toisiaan vasten – huomaa pintojen vastakkaiset ratanopeudet. Pitimen merkityksellisin tarkoitus onkin pitää vierintäelimet samalla etäisyydellä toisistaan sekä linjassa akselin kanssa. Joissakin kohteissa voidaan käyttää neulalaakerointia ilman pidintä, mutta tällöin on vaarana että neulat pääsevät taittumaan vinoon hankaloittaen niiden pyörimistä (Pakkala 1978, 105).

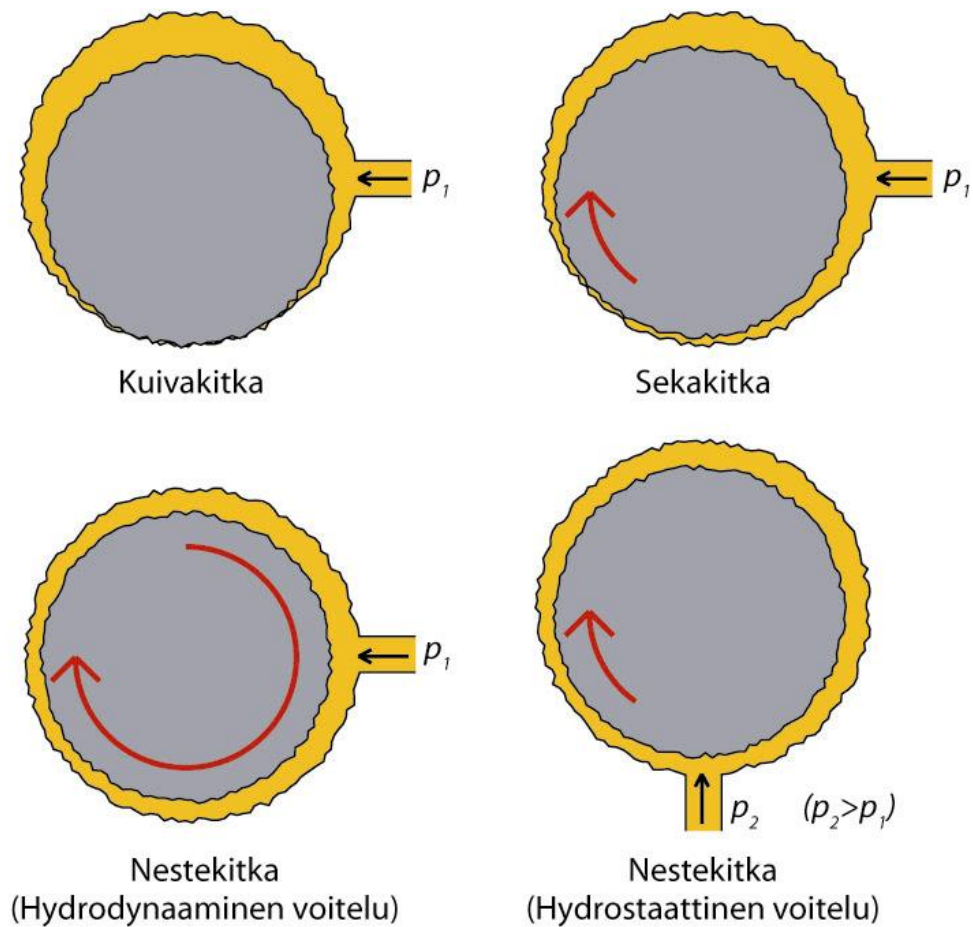
Voiteluainekalvo vierintäelimen ja laakerin ulko- ja sisärenkaan välissä lisää aavistuksen vierimisvastusta, mutta voiteluainekalvon muodostuminen tähän väliin on tärkeää ns. *mikrohitsautumisen* estämiseksi (Hagman, sähköposti 21.12.2011). Tällaista hitsautumista voi tapahtua tilanteessa jossa on suuria metalli-metalli pintapaineita. Toisiaan koskettavat metallipinnat hitsautuvat tällöin toisiinsa kiinni hetkiseksi luonnollisesti hankaloittaen vierimistä. Oikein hoidetun voitelun tarkoituksena onkin taata aina vierintäelimien kosketuspinnalle voiteluainekalvo. Voiteluainekalvon muodostumisen edellytyksenä on vierintäelimien riittävä nopeus, voiteluaineen käyttötilanteeseen sopiva viskositeetti sekä voiteluaineen pysyminen vierintäradoilla. Voiteluainekalvo muodostuu vierintäelimien ja laakerin sisä- ja

ulkorenkaan väliin aivan kuten auton rengas vesiliirtoon joutuessaan (Kuva 16) (SKF 1994, 206).



Kuva 16. Vierintäelimen pinnan pieni karheus ottaa voiteluainetta mukaansa puristaen sitä vierintäelimen ja laakerin ulkorenkaan väliin. Muodostunut paine kannattelee vierintäelintä.

Liukulaakereissa vaikuttaa liukukitka laajemmin ja voisi sanoa, että voitelun toiminta on vielä tärkeämpää kuin vierintälaakeroinnissa. Koska kitkavoima muuntaa nopeasti liike-energiaa lämmöksi, on liukulaakereissa suuri kiinnileikkautumisen vaara voitelun pettäessä. Kitkan yhteydessä käsiteltiin rajavoitelua ja hydrodynaamista voitelua. Seuraavassa kuvassa (Kuva 17) on esitetty miten voiteluainekalvo voidaan muodostaa liukulaakerin ja akselin väliin.

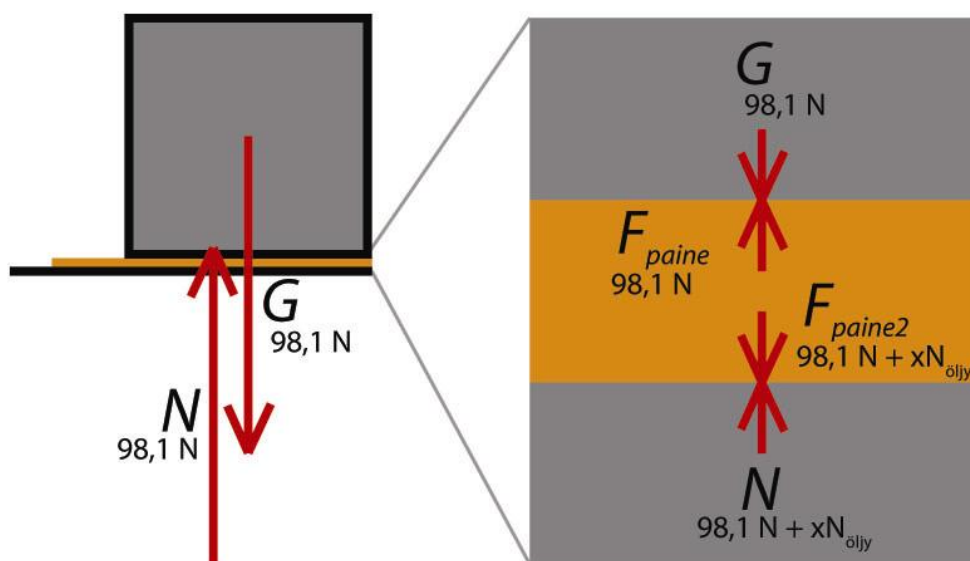


Kuva 17. Liukulaakerissa vaikuttavan kitkan eri tyyppejä.

Usein tavoitellaan hydrodynaamista voitelua, koska tällöin pyörimistä vastustava kitkavoima on pienin. Tällöin ainut vaikuttava kitka on nesteen sisäistä kitkaa, jota siis kutsutaan nesteen viskositeetiksi. Kitkaa muodostuu, koska voiteluainekalvo ikään kuin tarrautuu sekä akselin pinnan epätasaisuuksiin että laakerin pinnan vastaaviin. Näin ollen akselia lähinnä olevat voiteluainemolekyylit pyörivät samaa vauhtia kuin akseli, kun taas laakeria lähinnä olevat molekyylit eivät ole liikkeessä. Mitä pienempi voiteluaineen sisäinen kitka on, sitä vähemmän se vastustaa akselin pyörimistä. Halutaan siis notkeaa voiteluainetta, jotta akseli pääsee pyörimään helposti.

Voiteluaineen juoksevuutta ei kuitenkaan voida lisätä rajattomasti: ongelmaksi muodostuu voiteluainekalvon kantokyky. Laakerin tarkoitushan oli kantaa akselilta

tulevat voimat. Tarkastellaan esimerkkiä, jossa voima suuntautuu alaspäin koostuen akselin painosta. Jotta akseli olisi tuettu, laakerin on kyettävä antamaan samansuuruinen mutta vastakkaisuuntainen tukivoima. Mutta hydrodynaamisessa voitelussahan laakeri ei koske akselia lainkaan. Akselia kannatteleva voima muodostuu voiteluainekalvon paineesta, joka painaa akselia tukivoiman suuruisella voimalla ylöspäin. Paine myös painaa käytännössä samansuuruisella voimalla laakeria alaspäin. Tilannetta on selvennetty teräskuutio-esimerkin avulla seuraavassa kuvassa (Kuva 18).



- $G$  =kappaleen paino  
 $N$  =pinnan tukivoima  
 $F_{paine}$  =paineen aiheuttama ylöspäin suuntautuva voima  
 $F_{paine2}$  =paineen aiheuttama alaspäin suuntautuva voima  
 $xN_{öljy}$  =Öljyn painon aiheuttama voima

Kuva 18. Jos neste tai kaasu ei pääse karkaamaan pintojen välistä, se siirtää kantavan voiman itsensä kautta paineen avulla.

(Kuvassa (Kuva 18) on esitetty hetkellinen tilanne, jossa 10 kg:n massainen teräskuutio on öljykalvon päällä. Teräskuutio aiheuttaa painollaan alaspäin suuntautuvan voiman. Öljykalvo vastaa samansuuruisella mutta vastakkaisuuntaisella voimalla. Voima muodostuu paineesta. Paineen aiheuttama voima lasketaan kaavalla  $F = p \times A$ , jossa  $p$  on paine pascaleina ja  $A$  pinta-ala jolle paine vaikuttaa. Joissain sovelluksissa on tärkeää huomata, että pinnan tukivoima  $N$

ottaa vastaan sekä teräskuution painon että öljyn painon. Näin ollen se on öljyn painon verran suurempi, ja vastaavasti öljyn aiheuttama alaspäin suuntautuva voima on oltava samansuuruinen. Paine on siis hivenen isompi öljykalvon alapuolella johtuen tästä ns. *hydrostaattisesta paineesta*. Se koostuu nesteiden painon aiheuttamasta paineesta. Laakeroinneissa öljykalvot ovat niin kevyitä ettei hydrostaattista painetta tarvitse ottaa huomioon.)

Aiemman kuvan (Kuva 18) esimerkissä on yksi pulma: koska paine vaikuttaa nesteessä aina tasaisesti, eikä sivuilla ole mitään joka estäisi öljyn virtaamisen pois kuution alta, tilanne kestää vain hetken. Sama ongelma on liukulaakeroinnissa: voiteluainetta poistuu liukulaakerista pois akselin pintaa myöten. Isoimmat muuttujat, jotka vaikuttavat voiteluainekalvon paksuuteen, ovat voiteluaineen viskositeetti, pintojen välinen liikenopeus, kuormituksen suuruus, laakerin koko, laakerivälkykset ja tuoreen voiteluaineen tuonti (Pyy ym. 1995, 169).

Koska voiteluainekalvon paine kannattelee akselia, on paineen sekä kalvon riittävän paksuuden ylläpito olennaista. Käytännössä voiteluaineen saattaminen kuormituspintojen väliin voidaan tehdä kahdella tavalla: ns. hydrostaattisella menetelmällä, jossa yksinkertaisesti voiteluaineen paine nostetaan ulkoisella pumpulla niin suureksi, että se jaksaa kannatella akselia ja siihen vaikuttavia voimia. Tällöin voiteluaine johdetaan laakeriin poikkeuksellisesti kuorman puolelta. Tapaa voidaan käyttää silloin, kun kysymyksessä ovat erittäin suuret säteen suuntaiset voimat ja/tai akselin pyörimisnopeus on pieni. Toinen ja paljon yleisempi tapa on antaa akselin itse muodostaa laakerivälkykseen pieni ns. *voiteluainekiila*, joka pakottaa voiteluaineen akselin ja laakerin väliin. Tällöin voiteluaineen tuonti – laakerin voitelu-urat – on ehdottomasti sijaittava laakerin kuormittamattomalle puolelle.

Voiteluaineet aiheuttavat laakerin toiminnalle joitakin rajoitteita, pääasiassa niiden ominaisuudellaan muuttaa viskositeettiaan lämpötilan muuttuessa sekä pyrkimyksellään hapettua korkeissa (noin yli 60 celsiusasteen) lämpötiloissa. Seuraavassa perehdytäänkin voiteluaineisiin.

### 2.8.1 Öljyt

Karkeasti sanottuna öljyjä voidaan tuottaa kolmella eri tavalla: tislaamalla raakaöljystä, rakentamalla kemiallisella prosessilla tai puristamalla rypsin siemeniä. Raakaöljyä tislaamalla saadaan mineraaliperusöljyä. Eteenikaasua kemiallisesti prosessoimalla saadaan synteettistä perusöljyä (Neste 2006, 7) ja esimerkiksi rypsin siemeniä puristamalla kasvisöljyä.

Raakaöljystä saadaan monia öljy- ja kaasulajeja, joista suosituimmaksi ovat nousseet polttoaineena käytettävät. Nykyaikaisilla jalostusprosesseilla voidaan hieman vaikuttaa siihen, missä suhteessa raakaöljymateriaalista saadaan eri öljyjä. Koska polttoaineet ovat kysytyimpiä, niitä koetetaan saada raakaöljystä eniten. Nykyisin poratusta raakaöljystä noin 10% tuotetaan perusmineraaliöljyksi (Microsoft 2007). Mineraalipohjaiset öljyt ja rasvat ovat suosituimpia vierintälaakerien voitelussa koska niiden kustannus/laatu-suhde on parempi kuin synteettisillä öljyillä (Hagman, sähköposti 28.2.2012).

Synteettiset öljyt ikään kuin rakennetaan kemiallisesti. Raaka-aineena tosin käytetään vielä yleisimmin raakaöljyä (Saastamoinen, sähköposti 19.2.2012). Synteettisten öljyjen etuna on, että ne saadaan täysin tasalaatuisiksi. Mineraaliöljyihin jää tislauksen ja puhdistuksenkin jälkeen hieman ei-toivottuja ainesosia. Synteettiset öljyt ovatkin korvaamassa mineraaliöljyjä monissa sovelluksissa. Synteettisten öljyjen *viskositeetti-indeksi*, eli arvo, joka kuvaa, kuinka hyvin öljy säilyttää viskositeettinsa lämpötilan muuttuessa, on keskiarvoisesti mineraaliöljyjä korkeampi.

Kasvisöljyjen käyttäminen voiteluaineena lisääntyy jatkuvasti. Käytännössä niitä voidaan käyttää monissa sovelluksissa, joissa nykyisin käytetään mineraaliöljyjä. Huomioon otettavana asiana voidaan mainita, että ilman hapettumisenestolisäaineita kasvisöljyt hapettuvat huomattavasti nopeammin kuin mineraaliöljyt. (Pyy ym. 1995, 160.)

Viskositeetti on johdos latinan sanasta *viscosus*, joka tarkoittaa tahmeaa. Näin ollen on helppo muistaa: korkean viskositeetin omaava neste on jähmeää, matalan viskositeetin neste juoksevaa. Toinen muistisääntö liittyy lämpötilan vaikutuksesta

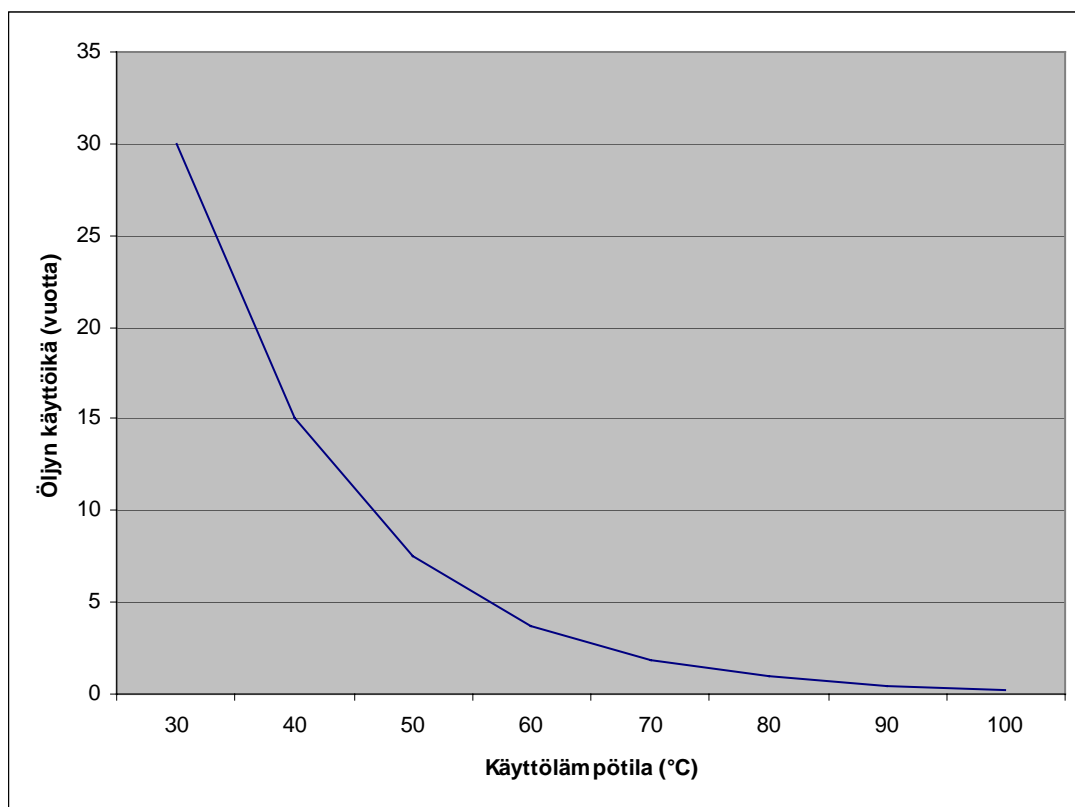
viskositeettiin: pöydälle jätetty voi sulaa. Vaikka tässä on kyseessä olomuodon muutos, muistisääntönä se toimii myös voiteluaineille: miltei aina voiteluaineen viskositeetti pienenee lämpötilan kasvaessa. Kuinka paljon viskositeetti muuttuu suhteessa lämpötilaan, on määritetty viskositeetti-indeksillä: mitä korkeampi luku, sitä vähemmän voiteluaineen viskositeetti on riippuvainen lämpötilasta. Yleensä ottaen viskositeetin muutos on haitta laakeroinneissa. Koska kitkaa ilmenee aina laakeroinnissa, pyörimisnopeuden kasvaessa lämpöäkin muodostuu lisää. Lämmön nousu taas alentaa viskositeettia ja voi aiheuttaa sen, ettei riittävää voiteluöljykalvoa muodostu voideltavien pintojen väliin. Näin ollen käytettävän öljyn viskositeetti määrittää tietyn laakerin suositeltavaa kuormitusta ja pyörimisnopeutta ja vastaavasti toisinpäin.

Voiteluaineen viskositeetti yleensä kasvaa lämpötilan laskiessa. Jos lämpötilaa lasketaan edelleen, saavutetaan öljyn ns. *jähmepiste*, jolloin se ei enää virtaa omalla painollaan. Se muuttuu kiinteäksi. Tämä johtuu mineraaliöljyissä olevasta vahasta, joka kiteytyy lämpötilan laskiessa. Lopulta kideverkosto estää öljyn virtauksen kokonaan tehden sen kiinteäksi. On muistettava, että johtuen täyssynteettisten öljyjen valmistustavasta niissä ei ole vahaa lainkaan. Näin ollen niiden kylmäkestävyys on parempi kuin mineraaliöljyillä. Sen takia ne soveltuvat hyvin äärioloihin. (Neste 2006, 10.)

Moottoriöljyihin lisätään monia lisäaineita. Niitä ovat mm. puhdistavat ja jakauttavat lisäaineet, vaahdonestolisäaineet, syöpymisenestoaineet, emäksisyyttä antavat lisäaineet, jähmepisteen alentajat, viskositeetti-indeksin parantaja-lisäaineet, hapettumisenestolisäaineet ja kulumisenestolisäaineet (Neste 2006, 11). Näistä viimeiset neljä ovat olennaisia laakeroinnin kannalta. Käsitellään kahta viimeistä hieman tarkemmin.

Öljyvoidelluissa laakereissa öljyä pilaavat lähinnä kolme tekijää: likaantuminen, hapettuminen ja veden sekoittuminen öljyyn. Öljy on siis aika ajoin vaihdettava. Miten usein, riippuu siitä, miten hyvin näitä tekijöitä vastaan on suojauduttu. Laakerin ja täten myös öljyn likaantumista voidaan tehokkaasti estää *tiivistimillä*. Ne estävät mekaanisesti lian tunkeutumista laakeriin. Vettä voi sekoittua öljyyn, jos sitä pääsee tiivistimien läpi laakeriin tai jos laakeripesä on lämmönvaihteluiden alaisena

aiheuttaen vesihöyryn kondensoitumista. Kolmantena öljyn kestävyteen vaikuttavana tekijänä on öljyn hapettuminen. Hapettuminen on kemiallinen reaktio, jossa on osallisena happi ja hiilivetyketjut. Öljyn hapettuminen aiheuttaa seuraavaa: öljyn viskositeetti kohoaa, öljykerroksen pohjalle muodostuu lietettä sekä metallipinnoille muodostuu lakkamaisia kerroksia (Neste 2006, 30). Öljyn hapettumiseen vaikuttaa huomattavasti lämpötila. Seuraavassa viivakaaviossa (Kuvio 1) on kuviteltu tilanne jossa laakerin voiteluainetta pilaa ainoastaan hapettuminen. Kyseinen esimerkki koskettaa mineraaliöljyä, mutta käytännössä kaikki öljyt ja rasvat hapettuvat nopeammin lämpimässä. Jos öljyn käyttölämpötila on noin 100 celsiusastetta, mineraaliöljy säilyy kelvollisena noin kolme kuukautta. Yli 100 celsiusasteen lämpötiloissa kannattaakin siirtyä käyttämään synteettisiä öljyjä. Niiden hapettumisenkestokyky on parempi (SKF 1994, 238). Öljyihin lisättävillä hapettumisenestoaineilla koitetaan estää öljyn hapettuminen (Neste 2006, 11).

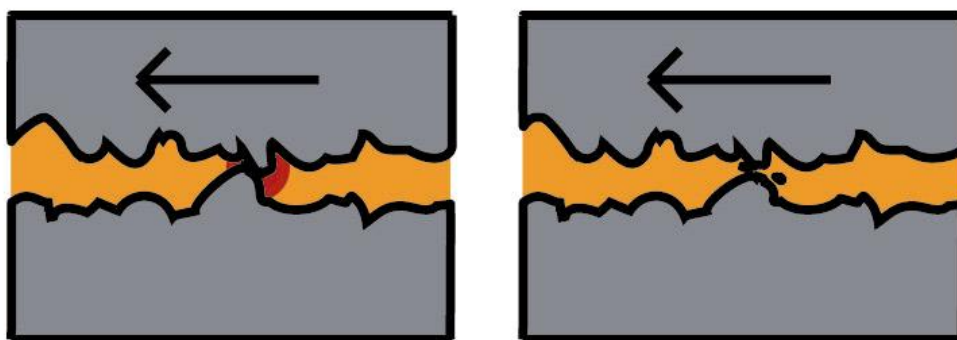


Kuvio 1. Voiteluaineen hapettuminen lisääntyy huomattavasti lämpötilan kasvaessa.

Joihinkin öljyihin on lisätty kulumisenestolisäaineita. Niitä on kahta alalajia: EP- (extreme pressure) ja AW-lisäaineita (antiwear). Niiden tarkoituksena on vähentää kulumista kuiva- ja sekakitkaolosuhteissa, siis kun voideltavien pintojen väliin ei ole



muodostunut täydellistä voiteluainekalvoa. AW-lisäaineet tarttuvat metallipintoihin muodostaen niiden pinnalle kalvon, jonka kitkakerroin on metallien välistä alhaisempi. EP-lisäaineiden toiminta on hieman monimutkaisempi. Niiden kemiallista toimintaa ei vielä tarkkaan tunneta (SKF 1994, 237), mutta toimintaperiaate on tämä: EP-lisäaineet aktivoituvat kuumassa, esimerkiksi sekakitkatapauksessa metalli-metalli kosketusalueilla/kosketusalueessa. Tällöin ne reagoivat metallin kanssa tehden siitä haurasta. Rasituksen jatkuessa tämä haurastunut kohta leikkaantuu helposti irti, tehden pinnoista tasaisempia (Kuva 19). (SKF 2005, 234-235.)



Kuva 19. Korkeassa lämpötilassa, esimerkiksi kitkatilanteessa, EP-lisäaineet haurastuttavat metallia. Metallia leikkaantuu helposti.

EP-lisäaineista onkin huomattava niiden metallia haurastuttava vaikutus. Ne saattavat haurastuttaa metallia jopa laakerin normaalissa käyttölämpötilassa. Koska vierintälaakereissa kuiva- ja sekakitka vaikuttaa vain poikkeustapauksissa, EP-lisäaineita suositellaan käytettäväksi niiden kanssa vain, jos tähän on erityinen tarve (erittäin hitaat pyörimisnopeudet ja suuret kuormat). Koska EP-lisäaineet aktivoituvat lämpimässä, niitä ei tule käyttää yli 100 celsiusasteen laakerilämpötiloissa laisinkaan. Myös AW-lisäaineet saattavat haurastuttaa laakerien materiaalia, joten niitäkin on käytettävä harkiten. (SKF 2005, 234-235.)

### 2.8.2 Rasvat

Rasvat koostuvat noin 90-prosenttisesti perusöljystä. Perusöljy voi olla joko synteettistä tai mineraaliöljyä. Rasvalle tunnusomainen kiinteys saavutetaan

lisäämällä perusöljyyn sakeutusainetta. Loput ainetilavuudesta ovat lisäaineita kuten voiteluöljyssäkin. Rasva muodostaa kantavan voiteluainekalvon pintojen väliin samalla tavalla kuin öljykin, koska rasvan sakeutusaine päästää öljyn tihkumaan rasvasta lämmitessään. Laakerihan luonnollisesti lämpenee pyöriessään. Öljy tihkuu rasvasta myös mekaanisen työstön – esimerkiksi vaivaamisen – seurauksena, mutta tämä ominaisuus on laakereissa lähinnä haitallinen. Tämäkin näkökohta täytyy ottaa huomioon, jos laakeri on alttiina erittäin voimakkaalle värinälle. Voi olla että öljy irtaantuu sakeutusaineesta kokonaan vuotaen pois laakeripesästä. Rasvan on oikein toimiessaan tarkoitus olla ikään kuin säiliö öljylle. Rasvavoitelun etuna onkin voiteluaineen pysyvyys voideltavassa kohteessa, erityisesti silloin kun akseli on kalteva tai pystysuora. Koska rasva pysyy kohteessaan, on kulutuskin hyvissä olosuhteissa vähäistä. Rasvavoitelu on näin ollen edullista. Rasva muodostaa myös luonnostaan tiivistimen: rasvakauluksen, joka osaltaan auttaa laakeria pysymään puhtaana. (Pakkala 1978, 90; SKF 1994, 210.)

Rasvan kiinteyden määräävät sakeutusaineen määrä ja tyyppi sekä perusöljyn viskositeetti. (Neste 2006, 36). Sakeutusaine määrää pitkälti rasvan ominaisuudet ja sitä kautta käyttökohteet. Seuraavassa kuvassa (Kuva 20) lajiteltuna joitakin öljy- ja sakeutusaineyhdistelmiä.



Kuva 20. Rasvan koostumus.

Käydään läpi mitä eroja käytettävä sakeutusaine saa aikaan rasvaan. Yhdeksässä tapauksessa kymmenestä sakeutusaineena käytetään jotakin kolmesta metallisaippuusta: kalsiumia, natriumia tai litiumia. Kalsiumsaippuarasvat kestävät hyvin suolavettä, siksi niitä käytetään muun muassa merisovelluksissa. Niiden lämmönkesto on huono, noin 60 celsiusastetta. Natriumsaippuarasvat taas kestävät lämpöä paremmin, mutta käyttäytyvät huonosti veteen sekoittuneena. Litiumsaippuarasvoilla on käytännössä kaikki edellisten hyvät puolet ilman huonoja. Ne ovatkin paras valinta vierintälaakeroinneille. (SKF 1994, 212.)

Erikoistapauksissa sakeutusaineena käytetään jotakin muuta ainetta. Esimerkiksi synteettisen perusöljyn kanssa voidaan käyttää teflonia sakeutusaineena. Joissakin tapauksissa sakeutusaine on polyureaa. Laakeriasennusten kanssa on muistettava, että nämä aineet eivät ole yhteensopivia SKF:n tehtaalla laakereiden suojaksi laitetun suoja-aineen kanssa. Tällöin asennettava laakeri on puhdistettava kokonaan, mitä yleensä ei suositella, koska suoja-aineet suojaavat laakeria myös asennusvaiheessa. Huomioi kuitenkin että joka tapauksessa vierintälaakerin ulkorenaan ulkoreuna ja sisärenkaan sisäreuna, toisin sanoen kontaktipinnat, pyyhitään puhtaiksi. (SKF 1994, 135; SKF 2005, 236.)

Nyrkkisääntö rasvojen sekoittamiselle on, että samanlaisista perusöljyistä ja samalla sakeutusaineella valmistettuja rasvoja voidaan sekoittaa keskenään. Esimerkiksi mineraaliöljy-kalsiumsaippua- ja mineraaliöljy-kalsiumsaippua-rasvoja voidaan sekoittaa, vaikka ne olisivatkin eri valmistajien tuotteita. Perusöljyn ollessa sama yleensä myös kalsium- ja litiumsaippuoista koostuvat rasvat ovat keskenään yhteensopivia. Mutta litiumsaippuarasvoja ei tulisi koskaan sekoittaa natriumsaippuan kanssa. Tällöin rasvasta tulee pehmeämpää kuin kumpikaan lähtöaineiden rasvoista. (SKF 1994, 215.)

Veden ja öljypohjaisten tuotteiden lisäksi on olemassa myös ns. kiinteitä voiteluaineita, esimerkiksi teflon (PTFE), grafiitti ja molybdeenisulfidi. Jälkimmäinen voidaan tuntea paremmin tuotenimellä Molykote. Näitä kiinteitä voiteluaineita voidaan käyttää erikoistilanteissa sellaisenaan tai yleisimmin

sekoitettuna joihinkin rasvoihin lisäaineina. Rasvojen muut lisäaineet ovat pitkälti samoja kuin perusöljyihin sekoitettavat. (Pakkala 1978, 87.)

### 3 LAAKERIT

Laakereita on monenlaisia. Seuraavassa on tarkoituksena esittää laakerien päätyypit käyttötarkoituksen mukaan. On lukuisia tapoja, millä esimerkiksi säteisvierintälaakerointi voidaan toteuttaa. Näin ollen on painotettu niitä eroja, jotka vaikuttavat mihin käyttökohteeseen tiettyä laakeria voidaan käyttää.

#### 3.1 Liukulaakerit



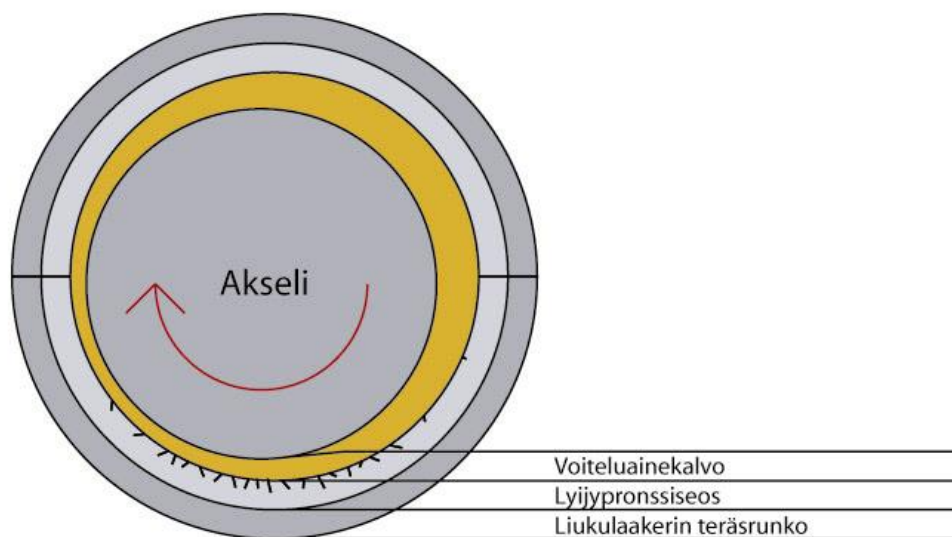
Kuva 21. Esimerkki liukulaakerista (Piirtänyt Silberwolf, CC-BY-SA-2.5, Wikipedia Commons)

Liukulaakerit voivat olla hyvinkin yksinkertaisia. Esimerkiksi nailonista tehty rengasmaisen kappale voi jo itsessään olla liukulaakeri. Aiemmassa kuvassa (Kuva 21) on esitetty messinkinen laakeriholkki. Kuten on tullut selväksi, liukulaakeroinnissa siirtyy usein enemmän energiaa lämmöksi kuin vierintälaakeroinnissa. Vaikka monissa kohteissa, joissa ennen käytettiin liukulaakerointia, onkin siirrytty vierintälaakerointiin, on liukulaakereilla silti ominaisuuksia, joiden vuoksi niitä käytetään laajalti vieläkin. Olennaisin lienee hinta: liukulaakerointi on monesti halvempi toteuttaa kuin vierintälaakerointi (Pyy ym. 1995, 170). Myös kohde, johon liukulaakeri aiotaan asentaa, asettaa luultavasti

joitain rajoituksia laakeroinnille. Voikin olla, että liukulaakerien edut – pieni säteittäinen tilantarve, hiljainen käynti ja jaettavuus – voivat olla korvaamattomia monissa kohteissa (Pakkala 1978, 87). Esimerkiksi kampiakselin laakeroinnissa saavutetaan huomattava etu, kun liukulaakeri voidaan asentaa sinne halkaistuna ns. *laakeriliuskoina*.

Liukulaakereilla on myös koneen kestävyyyteen liittyviä hyviä puolia: ne kestävät hyvin iskumaisia rasituksia, soveltuvat hyvin korkeille pyörimisnopeuksille ja toimivat voiteluainekalvon läsnä ollessa myös akselista johtuvien iskujen vaimentimina. Tietysti on myös huonoja puolia: liukulaakerit vaativat jatkuvan voitelun pyöriessään, ne vievät suuren aksiaalisen tilan ja niiden kitka on pyörimisen alussa suuri. (Pakkala 1978, 87). Viimeinen kohta tulee ilmi silloin, kun konetta aletaan käyttää tauon jälkeen – usein koneen öljypumppu alkaa siirtää öljyä vasta kun kone käy, niinpä aluksi laakeri toimii kuivana tai rajavoitelun alueella.

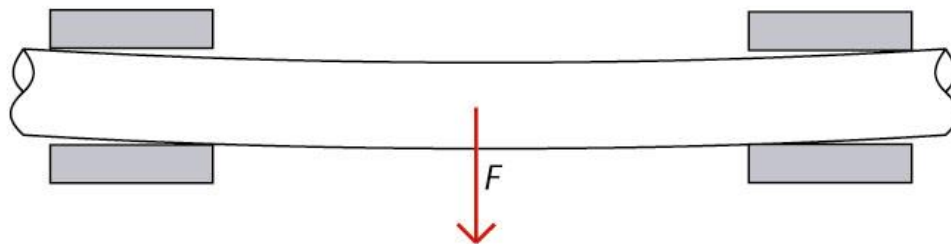
Aiemmin pohdittiin, mikä laakerin määritelmä oikein on. Koska liukulaakeri voi tuntua hyvinkin yksinkertaiselta ja jopa ylimääräiseltä osalta, mihin niitä tarvitaan? Miksi ei vain tehdä porauksia koneen runkoon johon akseli asetetaan? Itse asiassa näin voidaankin tehdä joissakin ei-vaativissa laakeroinneissa. Ongelmaksi kuitenkin tulee vastinpintojen kuluminen. Koska laakerointi loppujen lopuksi on kuluva osa, on helpompaa ja halvempaa vaihtaa liukulaakeri kuin alkaa koneistaa akselia ja/tai koneen runkoa. Tavoitteena onkin, että laakeri on valmistettu akselia pehmeämmästä aineesta, jotta akselin kulumisen sijaan kuluu laakeri. Laakeroitavien pintojen väliin tulee kulumisesta sekä voiteluaineen likaisuuden myötä myös vääjäämättä epäpuhtauksia. Onkin edullista, että laakerimateriaali on niin pehmeää, jolloin että epäpuhtaudet uppoavat sen sisään. Näin ne eivät naarmuta akselia sen pyöriessä. Esimerkiksi nailon täyttää laakerimateriaalin vaatimuksen olla pehmeää; se onkin käytetty laakerimateriaali kevyissä kohteissa. Mutta pehmeys asettaa tietysti myös rajoitteita: pehmeä materiaali ei kestä akselin aiheuttamaa korkeaa pintapainetta muovautumatta. Ratkaisuksi onkin kehitetty monikerroksinen laakeri. Siinä voi olla esimerkiksi teräsrunkoon valettu lyijypronssiseos. Teräsrunko tuo rakenteelle jäykkyyttä ja lyijypronssiseos pehmeänä ja pienikitkaisena huolehtii helposta luistosta. Yksinkertaistettu kuva tällaisesta monikerroksisesta liuskalaakerista seuraavana (Kuva 22). (Pakkala 1978, 93-95; Bosch 1993, 269.)



Kuva 22. Epäpuhtaudet uppoavat laakerin pehmeään, esimerkiksi lyijypronssiseen, ainesosaan. Näin akseli ei naarmuunnu epäpuhtauksista.

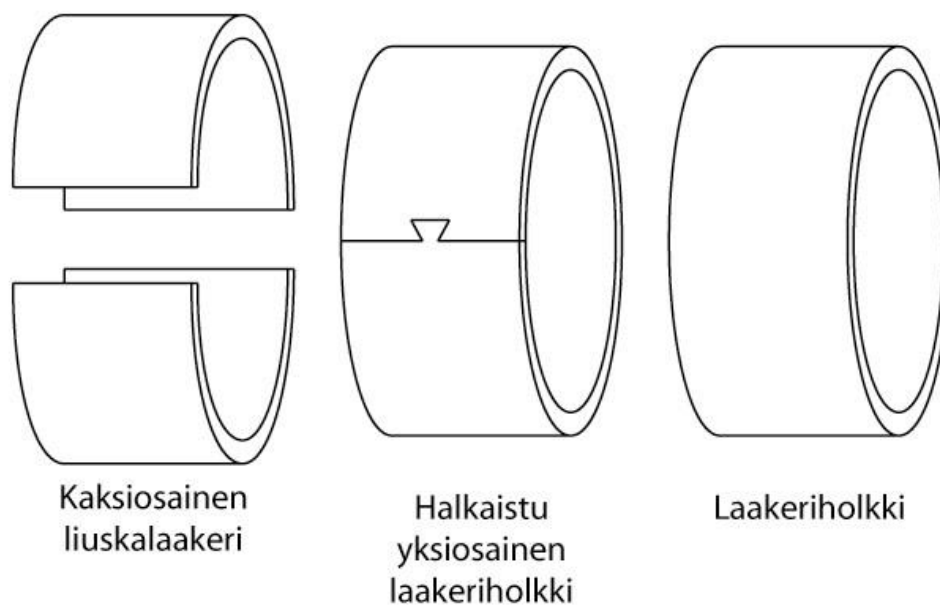
### 3.1.1 Säteisliukulaakerit

Säteisliukulaakerit ovat liukulaakereita, jotka ottavat vastaan akselin säteen suuntaista kuormitusta. Ne vievät akselin suuntaisesti tilaa yleensä noin 1...1,5 kertaa akselin halkaisijan (Pekkala 1978, 96). Koska akseli usein taipuu kannattelemansa painon takia, on huomioitava, että voimat eivät vaikuta laakerissa tasaisesti. Mitä pidempi liukulaakeri, sitä vähemmän se myötäilee taipunutta akselia. Näin ollen laakeri voi olla aksiaalissuunnassa liian pitkä. Oikein mitoitettuna laakerilla on mahdollisuus muovautua pienehköön akselin kulmavirheeseen, tämänkään takia liukulaakerimateriaali ei saa olla liian kovaa. Seuraava kuva (Kuva 23) esittää kulmavirheen muodostumisen liioitellusti.



Kuva 23. Akselin oma paino tai sen kannattelemat osat aiheuttavat akselia taivuttavan voiman. Akseli ei rasita tällöin laakereita tasaisesti.

Säteisliukulaakereita tehdään lähinnä kaksiosaisina liuskalaakereina, yksiosaisina halkaistuina laakeriholkkeina sekä laakeriholkkeina (Kuva 24). Kaksiosaiset ovat ikään kuin halkaistuja holkkeja. Ne ovat yleensä teräsrunkoisia monikerroslaakereita. Monikerroslaakereita voidaan tehdä myös laakeriliuskasta, joka taivutetaan holkiksi. Se pysyy kasassa esimerkiksi lohenpyrstöliitoksella. Laakeriholkit puolestaan valmistetaan sintraamalla tai valu-aihiota koneistamalla. Näin ollen niissä ei ole saumoja. (Pakkala 1978, 94; Pyy ym. 1995, 177; Ansaharju 2009, 137-138.)



Kuva 24. Erilaisia säteisliukulaakereiden toteutustapoja.

Säteisliukulaakereiden suositeltavaan laakerivälkykseen vaikuttavat mm. laakerin materiaali, käyttölämpötila, pintapaine, liukunopeus ja voitelutapa. Jos halutaan jonkinlainen suuntaa antava arvo metallisten liukulaakereiden välkyksille, voidaan käyttää kaavaa  $s = 0,001 \times d + 0,02 \dots 0,05 \text{ mm}$ , jossa  $s$  vällys millimetreinä ja  $d$  akselin halkaisija millimetreinä. Liian pieni vällys aiheuttaa tarpeetonta kitkaa ja toisaalta saman aiheuttaa myös liian suuri vällys koska hydrodynaamisen voitelun vaatima voiteluainekiila ei pääse muodostumaan laakeriin. (Pakkala 1978, 96; Pyy ym. 1995, 173.)

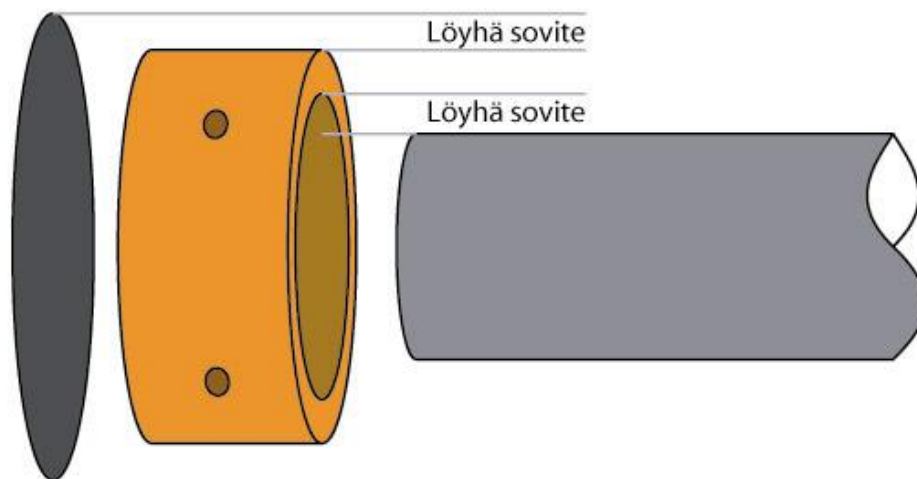
### 3.1.2 Aksiaaliliukulaakerit

Aksiaaliliukulaakerit eivät juuri poikkea säteisliukulaakereista kuin muotonsa osalta. Ne ottavat vastaan aksiaalissuuntaisia voimia. Ne voivat olla rengasmaisia yksiosaisia tai kaksiosaisia ikään kuin halkaistuja renkaita. Esimerkiksi kampiakselin yhteydessä käytetään aksiaaliliukulaakeria, joka ottaa vastaan varsinkin kytkintä painettaessa aiheutuvan aksiaalisen voiman.

### 3.1.3 Liukulaakereiden sovitteet

Liukulaakeriholkit kiinnitetään yleensä laakeripesäänsä puristusliitoksella (Pyy ym. 1995, 173). Koska laakeri ei tällöin pääse pyörimään pesäänsä nähden, puhutaan niin sanotusta *tiukasta sovitteesta*. Yleensä tämä on tarkoituksenmukaista, varsinkin kun kyseessä on monikerroslaakeri, nehän ovat tarkoitettu kuluvan vain kulutus- eli tässä tapauksessa sisäpinnaltaan. Kaksiosaiset liuskalaakeritkin ovat pesässään tiukalla sovitteella, mutta kiristävä voima saadaan jaettavan laakeripesän kiristämisestä ruuveilla. Yksiosainen tasa-aineinen laakeriholkki sen sijaan voidaan asentaa ns. *löyhällä sovitteella*, jossa se saa pyöriä sekä akseliin että runkoon nähden. Voiteluainetta johdetaan molempien pintojen väliin. Esimerkkinä tällaisesta järjestelystä on turboahtimen akselin tuenta. Seuraava kuva (Kuva 25) esittää tällaisen pronssisen laakeriholkin.





Kuva 25. Laakeripesä, pronssinen laakeriholkki ja akseli. Holkissa useita öljykanavia.

### 3.1.4 Liukulaakerimateriaalit ja niiden aiheuttamat rajoitteet

Liukulaakerimateriaalilta vaaditaan monia ominaisuuksia ja kaiken lisäksi osa niistä on vastakkaisia. Vaadittavia ominaisuuksia luettelomaisesti: mukautuvuus, kyky muodostaa voiteluainekalvo, epäpuhtauksien upotuskyky, kulutuskestävyys, kestävyys kiinnileikkautumista vastaan, kyky toimia hetkellisesti myös kuivana, toteutusajokyky, mekaaninen kuormitettavuus ja väsymislujuus (Bosch 1993, 269). Koska materiaalin pitäisi samaan aikaan olla mukautuvaa – pehmeää – ja toisaalta lujaa ja mekaanista kuormitusta kestävä – kovaa – ei täydellistä liukulaakerimateriaalia ainakaan vielä ole keksitty. Monikerroslaakerit ovat luultavasti paras yritys yhdistää näitä ominaisuuksia. Eri kohteet kuitenkin painottavat eri ominaisuuksia siinä määrin, että liukulaakereita valmistetaan monista eri materiaaleista.

Metalliset liukulaakerit tehdään usein valkometalleista, kupari- tai alumiiniseoksista. Valkometallit koostuvat kuparista, antimonia, tinasta ja lyijystä. Valkometalleja käytetään paljon monikerroslaakereiden kulutuspintana. Tavanomaisesti valkometallit valetaan valurautaiseen tai teräksiseen laakerinkuoreen. Metallisten liukulaakereiden korkein sallittu käyttölämpötila vaihtelee välillä 150-260 °C. Voiteluaineet vaikuttavat osaltaan sallittuun käyttölämpötilaan. Koska

liukulaakereissa esiintyy aina kitkaa, oli se sitten neste-, raja- tai kuivakitkaa, vaikuttaa laakerin lämpötilaan paljon se, kuinka nopeasti lämpöä saadaan johdettua pois laakerista. Lämpöhän haluaa aina tasaantua ja siirtyy kuumasta kylmempään. Jos laakerin pesä on käytössä liukulaakeria viileämpi, kuten miltei aina on, on avuksi, jos laakerimateriaali siirtää hyvin lämpöä. Metalliset laakerit ovat verrattain hyviä siirtämään lämpöä. Kiertoöljyvoitelussa lämpöä siirtyy tosin myös laakerista viileään öljyyn. (Pakkala 1978, 93; Pyy ym. 1995, 184.)

Muovisia liukulaakereita käytetään esimerkiksi elintarviketeollisuudessa. Ne voivat olla kosketuksissa pumpattavan aineen kanssa. esimerkiksi maidon, vaikka puhtaus olisi tärkeää. Muovilaakerit voivat toimia voitelutta tai ilman. Kuumuudenkestävyys on otettava huomioon. Muovisekoitteita on monenlaisia, joten myös niiden kuumuudenkestävyyksissä on eroja. Suurimmat sallitut käyttölämpötilat ovat noin 120-250 °C. Joidenkin muovien, esimerkiksi nailonin, lämpölaajenemiskertoimet ovat suuria. Nailonin lämpölaajenemiskerroin on kymmenkertainen teräkseen verrattuna. Muovit ovat verrattain huonoja lämmönjohtajia, tämä otettava huomioon vaikka sallitut käyttölämpötilat ovat näennäisesti korkeita. (Pakkala 1978, 95; Pyy ym. 1995, 178- 184.)

Kumi soveltuu laakerimateriaalina vain voideltuihin kohteisiin, koska sen kitkakerroin on kuivana suuri. Vesi toimii hyvin kumin voitelussa, siksi kumilaakereita käytetään mm. potkureiden laakeroinneissa. Kumi ei ole mekaanisesti kovaa, joten kumilaakerit ovat aksiaalisesti normaalimitoitusta huomattavasti pidemmät. Laakerin pituuden ja kumin huonon lämmönjohtavuuden takia on kumilaakerissa urat jotta voiteluaine pääsee tehokkaasti jäähdyttämään kumia. (Pakkala 1978, 95.)

### 3.1.5 Liukulaakerien voitelutoteutukset

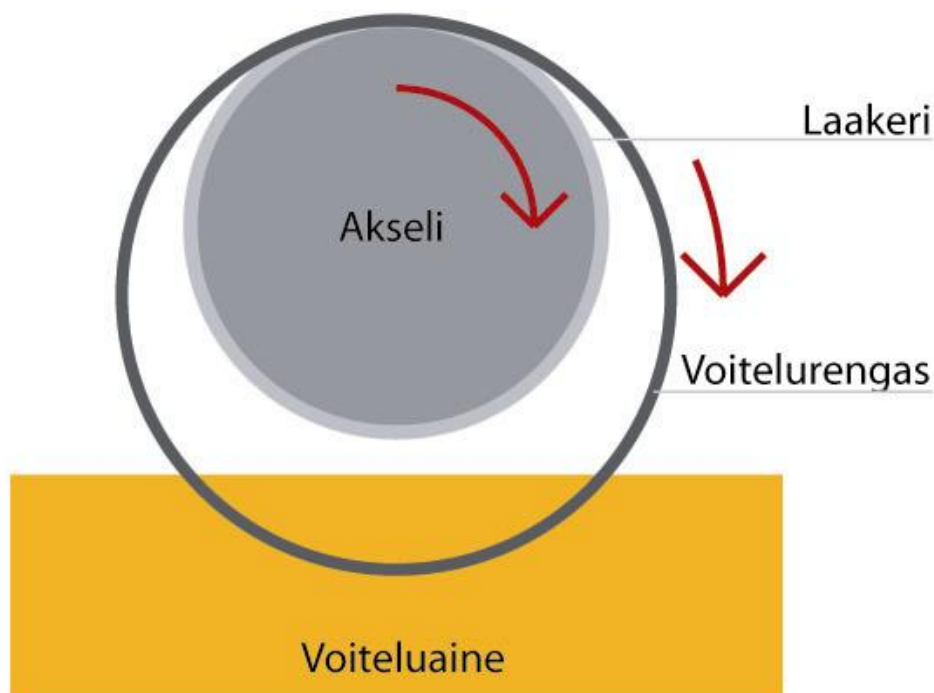
Aiemmin on käsitelty, miten voitelu pienentää kitkaa liukulaakereissa (kohta 2.8). Nyt käsitellään sitä, miten voiteluaine saadaan johdettua tai pysymään laakerissa. Kaikista huoltovapain liukulaakeri on tehty sellaisesta materiaalista, joka ei tarvitse voitelua. Ne harvoin kuitenkaan ovat yhtä pienikitkaisia kuin voidellut liukulaakerit.

Yksinkertaisin voitelujärjestely voidaan saavuttaa ns. *itsevoitelevilla laakereilla*. Ne valmistetaan sintraamalla. Sintrauksessa (kohta 2.5) raaka-aine on jauhemaisessa muodossa, joka puristetaan kokoon. Näin saadaan kiinteä, mutta huokoinen materiaali. Yleensä materiaalina käytetään erilaisia pronssiseoksia. Huokoisella materiaalilla saavutetaan se etu, että voiteluainetta, yleisimmin öljyä, voidaan imeyttää huokosiin. Tavoitteena on, että laakerimateriaali on sen verran kimmoisaa, että akselin rasittaessa sitä öljyä puristuu ulos painautuneesta kohdasta, ikään kuin vesi pesusienestä. Öljyllä tulee olla ja onkin isompi lämpölaajenemiskerroin kuin sintratulla laakerilla. Näin ollen lämmitessään laakerista puristuu enemmän öljyä ulos. Jäähtyessään öljy palautuu laakerimateriaalin huokosiin. Laakeri ei siis tarvitse öljyn lisäystä määrä-ajoin, mutta on huomattava että akselin korkeilla pyörimisnopeuksilla öljyä voi päästä huokosista ulos liiaksi ja roiskua pois laakerista. Öljyn tilalla huokokset voidaan täyttää esimerkiksi grafiitilla, molybdeenisulfidilla tai muilla kiinteillä voiteluaineilla. Sintratusta materiaalissa on onteloita noin 30% tilavuudesta. (Pakkala 1978, 94; Pyy ym. 1995, 177.)

Rasvavoitelussa rasvan sakeutusaine muodostaa rasvaan kuitujen verkoston, joka pitää voiteluaineen, öljyn, kiinteässä muodossa (SKF 1994, 210). Näin ollen rasvavoideltu laakeri on melko huoltovapaa. Mutta aika ajoin rasvaa on lisättävä joko sen hapettumisen tai likaantumisen takia. Yleensä rasvavoidellussa liukulaakerissa on rasvanippa, josta tuoretta rasvaa puristetaan laakeriin rasvapuristimella. Myös muunlaisia tapoja on mutta niille kaikille on yhteistä se, että rasva korkean viskositeettinsa takia pitää puristaa mekaanisesti laakeriin. Vanha rasva puristuu samalla ulos laakerista, useimmiten akselin pintaa pitkin. (Ansaharju 2009, 141.)

Öllyvoidelluissa liukulaakereissa voidaan käyttää kiertovoitelua ja pitääkin jos laakerin lämpötila on jatkuvasti korkea (noin yli 60°), koska tällöin voiteluainetta pitää käytännössä jo hapettumisvaaran takia alkaa jäädyttää. Kiertovoitelu tarkoittaa järjestelyä, jossa öljyä kierrätetään öljypumpun avulla laakerointiin ja takaisin öljysäiliöön. Yleensä öljy johdetaan öljynjäädyttimen ja öljynsuodattimien läpi. Polttomoottorien voitelu on kiertovoitelua. Aina ei ole kuitenkaan voida tai kannata tehdä voiteluaineputkistovetoja laakereille. Tällöin voidaan käyttää ns. *rengasvoitelua* (Kuva 26). Siinä akseli pyörittää rengasta, jonka alaosa on upotettuna

voiteluaineeseen. Rengas kuljettaa mukanaan voiteluainetta laakerille. Laakerin yläosasta voiteluaine leviää liukulaakeriin tehtyjä voitelu-uria pitkin kuten kiertovoitelussakin. Öljy sijaitsee laakerinpesän kaukalossa. Sen lämpötila riippuu laakeripesän lämpötilasta. (Pakkala 1978, 92; Ansaharju 2009, 141.)

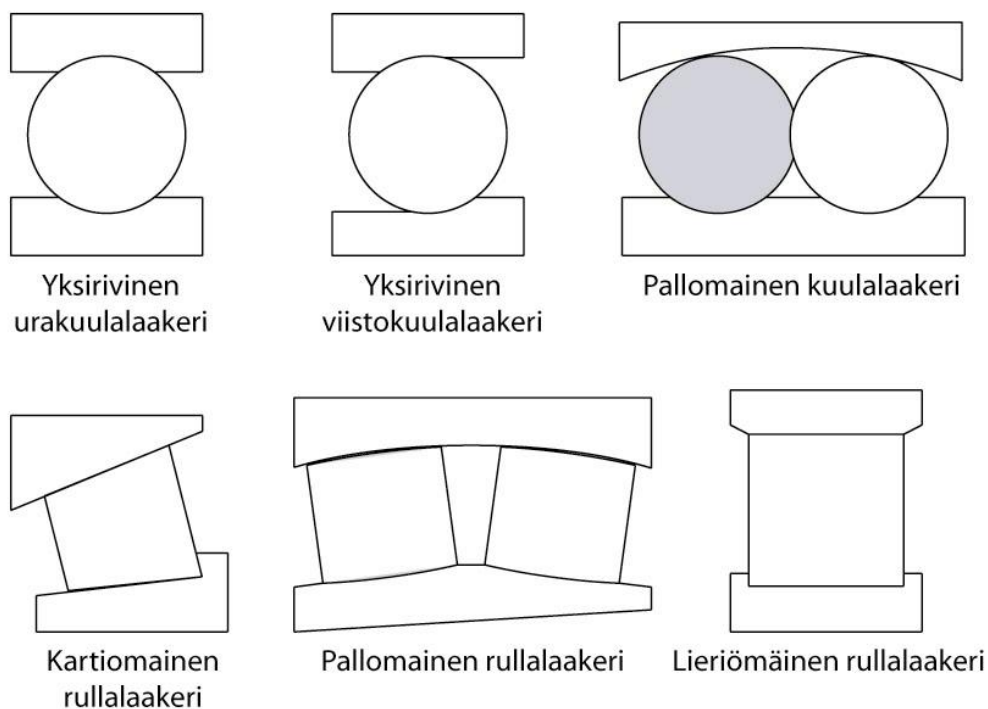


Kuva 26. Rengasvoitelu. Akseli ja voitelurengas pyörivät. Laakeri ei pyöri, mutta sen yläosaan on tehty leikkaus jotta voitelurengas voi koskettaa pyörivää akselia.

### 3.2 Vierintälaakerit

Selvitetään vierintälaakereiden edut verrattuna liukulaakereihin. Kuten aikaisemmin tuli jo ilmi on vierintälaakereiden suurin etu vähäinen kitka. Vierintälaakerit ovatkin korvanneet monissa kohteissa liukulaakerit. Kitkan pienuuden lisäksi vierintälaakereiden huomattavia etuja ovat niiden pieni aksiaalinen tilantarve, niiden vähäinen voiteluainekulutus sekä niiden kyky toimia hetkellisesti ilman voitelua. Haittoja puolestaan ovat suurehko säteittäinen tilantarve, äänekkyyys sekä se ettei niitä voida käytännössä asentaa puolikkaina. (Pakkala 1978, 99.)

Seuraavassa kuvassa (Kuva 27) esitetty yleisimpiä vierintälaakereiden rakenteita.

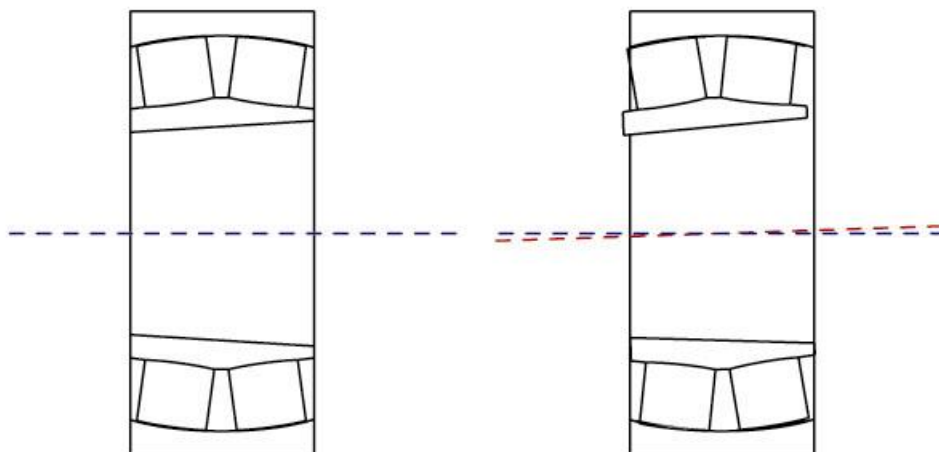


Kuva 27. Vierintälaakereita.

Tietyn vierintälaakerin nimessä on yleensä ilmoitettu vierintäelimen muoto, esimerkiksi *kuula* tai *rulla*. Tätä ennen on yleensä ilmoitettu, jos laakerin ulkorengas on tehty kaarevaksi käsitteellä *pallomainen*. Kuula on aina pyöreä, mutta rulla voi olla *lieriömäinen*, *tynnyrimäinen* tai *kartiomainen*. Tynnyrimäisiä rullia käytetään pallomaisissa rullalaakereissa. Kartiomaista taas *kartiomaisessa rullalaakerissa*. Jossain määrin kartiomaista rullalaakeri vastaa kuulalaakereissa *viistokuulalaakeri*. Vierintäelimiä voi olla useassa rivissä. Tällöin voidaan puhua esimerkiksi *kaksirivisestä rullalaakerista*. Näitä termejä yhdistelemällä saadaankin esitettyä mitä moninaisimpia vierintälaakeritoteutuksia. Tässä käydään läpi vain merkittävimmät vierintälaakerityypit.

Toisin kuin liukulaakereissa, vierintälaakerimateriaalin on tarkoitus olla mahdollisimman kovaa. Tämä vaatimus johtuu vierintävastuksesta, joka lisääntyy, mitä joustavampaa materiaali on. Koska vastus halutaan pieneksi on vierintäradat ja vierintäelimet usein kovaa karkaistua terästä. Liukulaakeriltahan vaadittiin kykyä muotoutua akselin pieneen kulmavirheeseen ja toki vierintälaakerointitoteutuksissakin tällaista kulmavirhettä voi esiintyä. Näitä tilanteita

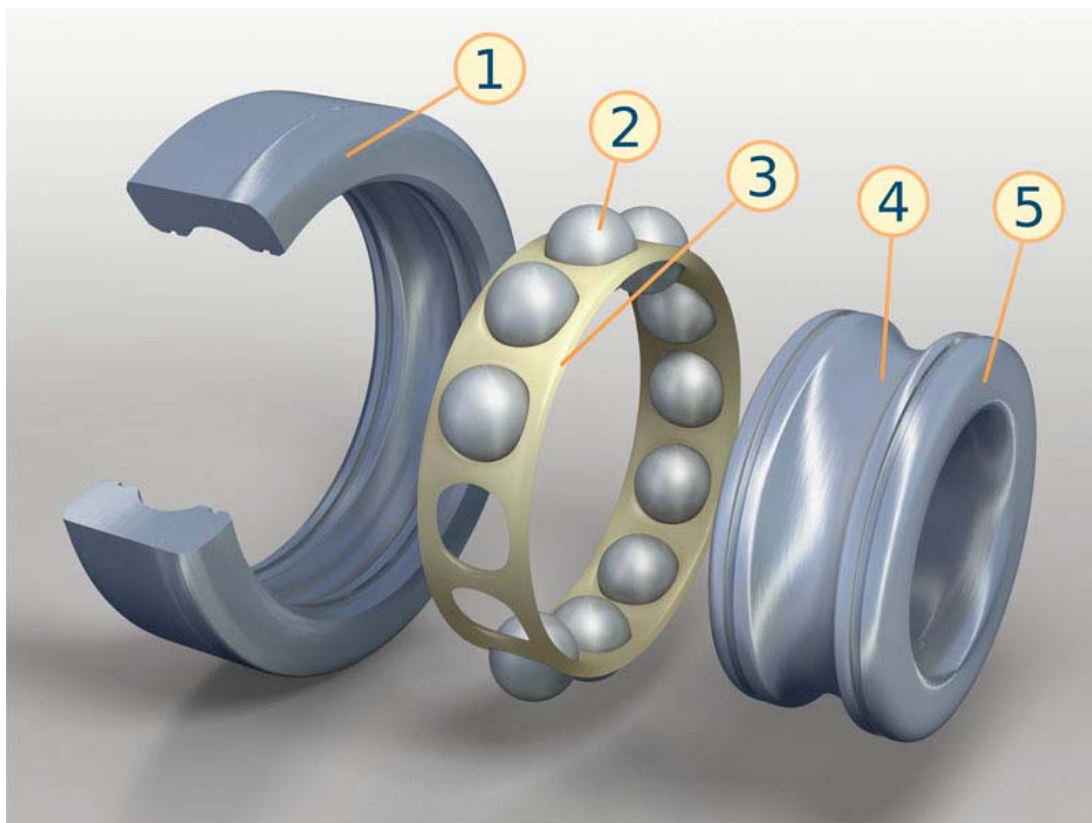
varten on pallomaiset vierintälaakerit. Niiden ulkorenkkaan vierintäpinta on tehty kaarevaksi. Tämä mahdollistaa pienen akselin kulmavirheen verrattuna laakerin ulkorenkkaan kuviteltuun akselilinjaan. Tällaisia laakereita voidaan kutsua myös *itseasettuviksi* (Kuva 28).



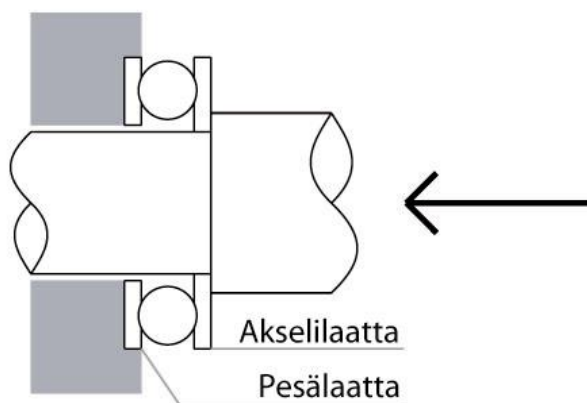
Kuva 28. Vierintälaakerin pallomainen ulkokehä sallii akselin pienen, noin muutaman asteen, kulmavirheen. Tällaista laakeria kutsutaan itseasettuvaksi.

Vaikkei vierintälaakereissa ole tarkoituksena, että laakeri uhrautuisi kulumaan akselin puolesta, eivät nekeään kestä ikuisesti. Jos voitelukalvon muodostuminen on puutteellista, voi vierintäelimien ja pintojen välillä tapahtua jo aikaisemmin käsiteltyä mikrohitsautumista joka aiheuttaa kulumista. Myös vääjäämättä laakerissa alkaa tapahtua vierintäväsymistä. Se on kovin riippuvainen rasituksesta, toisin sanoen painosta tai muusta voimasta jota laakeri joutuu kannattelemaan. Myös epäpuhtaudet laakerissa aiheuttavat kulumista. Laakerin kestoiän kannalta onkin erittäin tärkeää huolehtia voiteluaineen ja asennustapahtuman puhtaudesta. Lopuksi on tosin muistettava, että suurin osa vierintälaakereista kestävä kauemmin kuin laitteet joihin ne on asennettuna. (SKF 1994, 18; Pyy ym. 1995, 120-121.)

Miltei kaikissa säteisvierintälaakereissa on ulko- ja sisärenkas, vierintäelimet ja pidin. Esimerkkinä urakuulalaakeri (Kuva 29). Aksiaalisvierintälaakereissa asia on samoin sillä erotuksella, että renkaiden nimitykset ovat ulko- ja pesälaatta. Edempänä oleva kuva (Kuva 30) selittää asian.



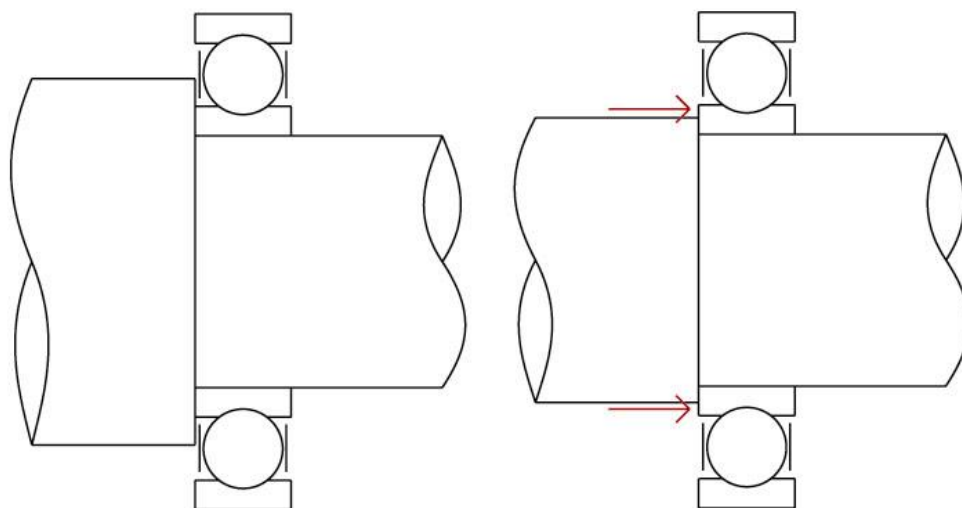
Kuva 29. Urakuulalaakerin osat. 1. Ulkorengas, 2. Vierintäelin, 3. Pidin, 4. Kuulien juoksurata, 5. Sisärengas (Piirtänyt Niabot, CC-BY-SA-3.0, Wikipedia Commons).



Kuva 30. Aksiaalilaakerissa on akseliin liitetty akselilaatta ja runkoon liitetty pesälaatta.

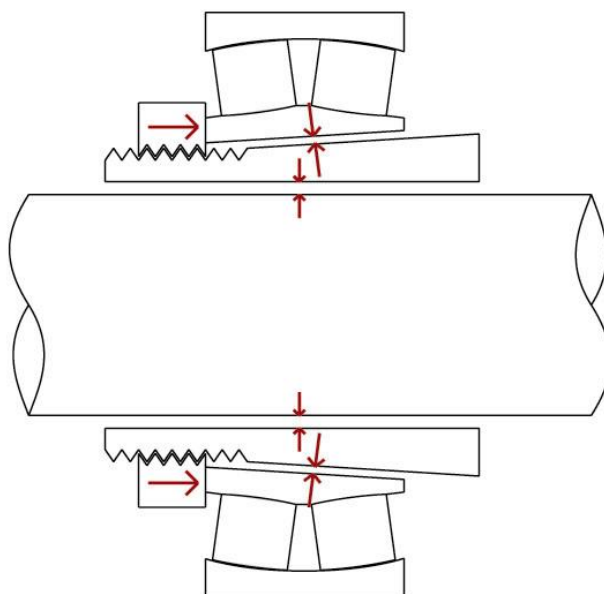
Vierintälaakerit tulee kohdistaa oikealle kohdalle akseliin. Akselissa voi olla olake, väliholkki tai kartio auttamassa kohdistamista. Laakeri on helpompi saada pois jos olakekorkeus ei ylitä laakerin sisärenkaan korkeutta. Seuraavassa kuvassa (Kuva 31) on erikorkuisia olakkeita. Väliholkki voi olla tuettuna akselin olakkeeseen tai se voi olla kiinnitetty kutistusliitoksella akselille tiettyyn mitoitettuun kohtaan (Pakkala

1978, 112). Veto- ja kiristysholkit helpottavat isompien laakereiden asentamista ja irrottamista. Lisäksi ne tuovat sen edun, että akselin pinta ei tarvitse olla niin tarkkaan koneistettu (SKF 1994, 110) eikä siinä välttämättä tarvitse olla olakkeita laisinkaan jos käytetään kiristysholkkeja (Ansaharju 2009, 158). Tällöin kiristysholkit pitää asettaa oikeaan kohtaan akselilla piirustuksista saatavien mittojen avulla tai akselille mahdollisesti tehtyjen merkkien avulla. Kiristysholkkia käytettäessä laakerin sisärengas on tehty kartiomaiseksi. Vastaavasti kiristysholkin istukkapintakin on kartiomainen. Kiristysholkissa on kapeassa päässä kierre, jonka avulla akselimutteria kiristämällä saadaan laakeria ahdettua kiristysholkkia ”ylöspäin”. Samalla kiristysholkki kiristyy akselille. Vetoholkissa puolestaan on kierteet vain sen aikaansaaman liitoksen purkamista varten, vetoholkkia käytettäessä akselilla tulee olla kierre tai jokin muu ratkaisu vetoholkin ahtamista varten. Periaate on pitkälti sama kuin kiristysholkin kanssa sillä erolla, että vetoholkin kanssa akselilla täytyy olla jokin olake, jota vastaan laakeria painetaan. Menetelmiä käytettäessä laakerin sisäinen välys pienenee, koska sisärengasta pakotetaan suurentumaan. Edempänä olevat kuvat (Kuva 32 ja 33) selventävät menetelmiä.

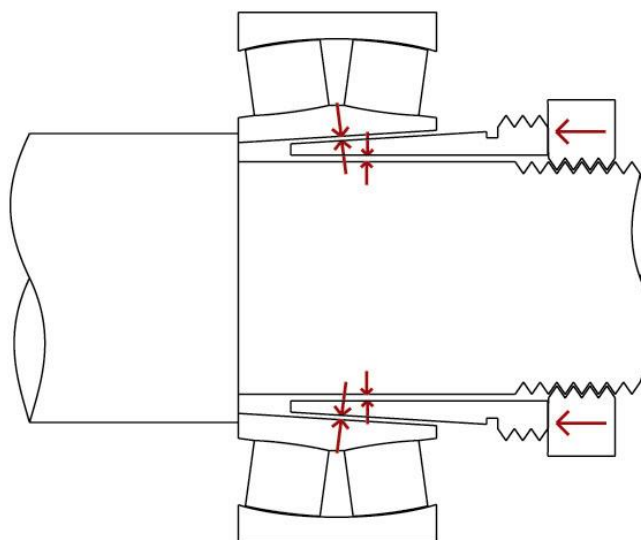


Kuva 31. Laakerivalmistajilla on suositellut olakekorkeudet eri laakereille. Laakeri voi helposti vahingoittua jos sitä joudutaan irrottamaan ulkorenkaasta.





Kuva 32. Kiristysholkin toimintaperiaate.



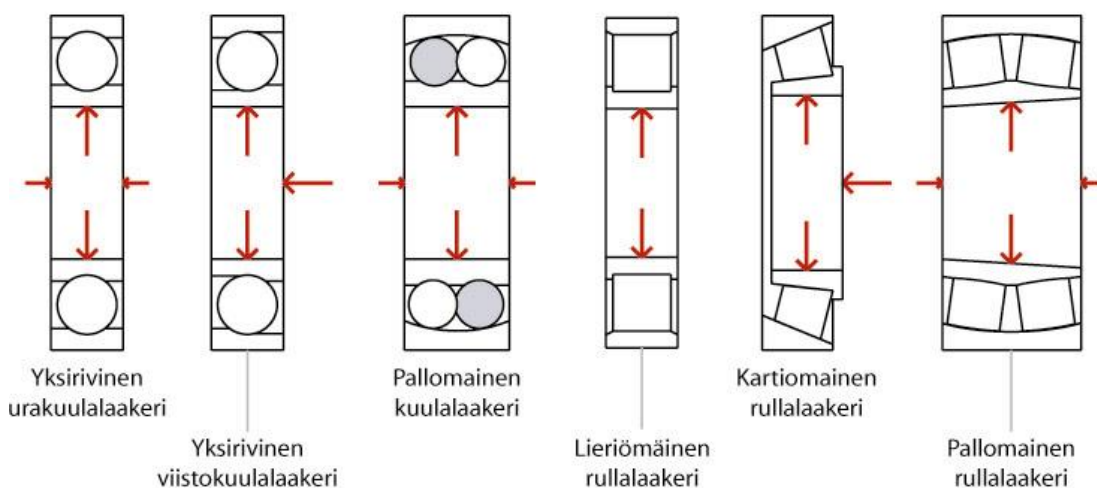
Kuva 33. Vetoholkin toimintaperiaate.

Toisin kuin liukulaakereissa, vierintälaakereissa ei ole tarkkaa rajaa, mitkä laakerit ovat säteisliukulaakereita ja mitkä aksiaalisliukulaakereita. Esimerkiksi yksirivinen urakuulalaakeri pystyy suhteellisen syvään uurrettujen vierintäratojen vuoksi ottamaan vastaan myös akselin suuntaisia voimia – jopa molempiin suuntiin. Asia on helppo käsittää katsomalla tällaisen kuulalaakerin halkileikkausta: kuulat eivät pääse

poistumaan uriltaan. Valmistusvaiheessa sisärengasta on hieman puristettu kun viimeiset kuulat on laitettu sisään (Hagman, sähköposti 28.3.2012).

### 3.2.1 Säteisvierintälaakerit

Vierintälaakereissa on monia vaihtoehtoja. Monet niistä ovat kuitenkin johdettuja tai yhdistelmiä seuraavista laakereista. Seuraavassa kuvassa (Kuva 34) käsiteltävät vierintälaakerit.



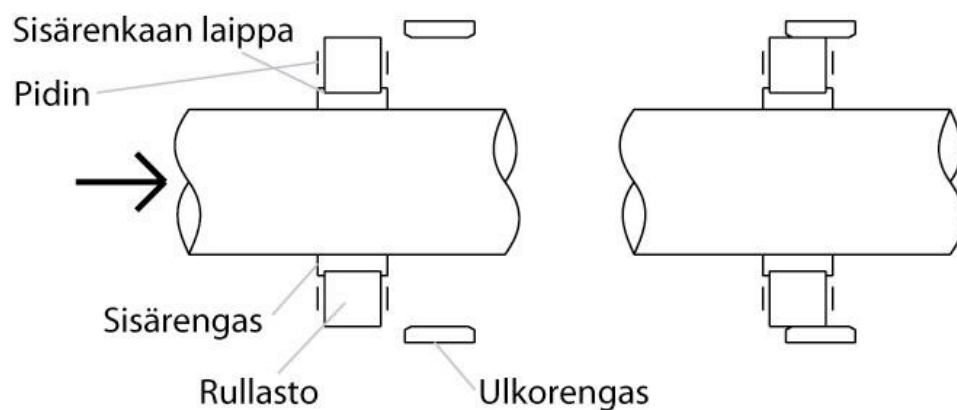
Kuva 34. Vierintälaakereita ja niiden kuormitettavuussuuntia.

Yksirivinen urakuulalaakeri on eniten käytetty kuulalaakeri. Niitä käytetään lähinnä melko pieniin kuormiin. Hyviä puolia onkin melkoisesti, ne ovat verrattain halpoja, hiljaisia, pienen pyörimisvastuksen omaavia, pysyvät koossa omillaan ja ovat tiivistimillä varustettuina kestovoideltuja. Syvien vierintäurien ansiosta urakuulalaakeri pystyy kantamaan myös aksiaalissuuntaisia voimia. Syvillä urilla on myös haittapuolensa, laakerin sisärengas ei pääse kääntymään suhteessa ulkorenkaaseen. Urakuulalaakeri salliikin vain  $0,06-0,25^\circ$  kulmavirheen. Ne ovat todellakin usein tiivistimillä varustettuja jo tehtaalta tullessaan. Tämä tarkoittaa, että laakerin sisä- ja ulkorengaan väliin on asennettu kuminen tiiviste, jonka tarkoitus on pitää voiteluaine, rasva, laakerin sisällä sekä estää lian pääsy laakeriin. (Pakkala 1978, 101; Pyy ym. 1995, 128-129.)

Yksirivinen viistokuulalaakeri pystyy kantamaan suuriakin säteittäisiä ja yhteen suuntaan vaikuttavia aksiaalisvoimia. Tämän vuoksi akselilla täytyy olla asennettuna jokin toinen laakeri, joka ottaa vastaan toiseen suuntaan vaikuttavan kuormituksen. Voidaan toki käyttää toista viistokuulalaakeria joka on asennettu toisinpäin. Laakerityyppi ei ole itseasettuva. (Ansaharju 2009, 144.)

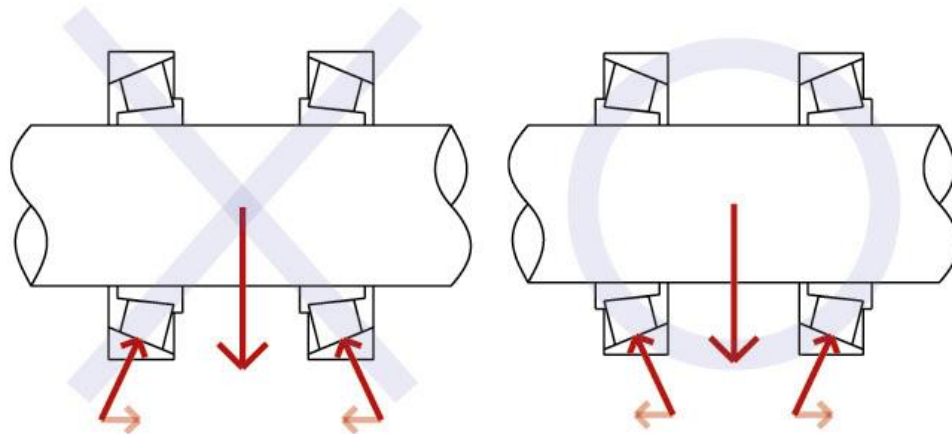
Pallomaisessa kuulalaakerissa on ulkorengas kaareva. Suurin etu onkin laakerin itseasettuvuus. Niitä käytetään, jos epäillään, että akseli taipuu kuormituksessa hiemankin. Suurin sallittu kulmavirhe on 1,5-3,0°. Pallomaiset kuulalaakerit on usein valmistettu kartioreiällä, ja ne asennetaan kiristysholkin kanssa. Niitä saa myös lieriöreikäisinä. (Pakkala 1978, 102; SKF 1994, 110; Ansaharju 2009, 144.)

Keskimäärin rullalaakerit sopivat kuulalaakereita paremmin raskaisiin kuormituksiin. Lieriömäisessä rullalaakerissa laakerin sisä- ja ulkokehä ovat suorina, kuten rullatkin. Toisin kuin kuulalaakerien pistemäisessä kuormituksessa, lieriömäisessä rullalaakerissa kuormitus on viivamainen. Tästä johtuu laakerin kyky kantaa isoja kuormituksia kokoonsa nähden. Lieriömäisessä rullalaakerissa sisä- ja ulkorengas ovat toistaan irralliset osat. Toisessa näistä on pitimen avulla kiinni rullat. Joko ulko- tai sisärenkaassa ovat laipat, jotka antavat rullille aksiaalisen ohjauksen. Koska rullat voivat siten liikkua aksiaalisesti toiseen laakerinrenkaaseen nähden täysin vapaasti, ei lieriömäinen rullalaakeri pysty ottamaan vastaan laisinkaan aksiaaliskuormia (Kuva 35). Kulmavirhettä sallitaan erittäin vähän, suurimmillaan noin 0,07°. (Pakkala 1978, 104; Pyy ym. 1995, 134.)



Kuva 35. Lieriömäisessä rullalaakerissa ulko- ja sisärenkas ovat erilliset. Tämä helpottaa asennusta.

Kartiomaisessa rullalaakerissa rullat ovat katkaistun ympyräkartion muotoisia. Rakenteen ansiosta laakeri voi ottaa vastaan säteiskuormituksen lisäksi myös yhteen suuntaan vaikuttavia aksiaaliskuormituksia. Toiseen suuntaan akseli on purkautuva, toisin sanoen sisä- ja ulkorengas ovat erilliset ja voidaan asentaa erikseen. Koska kartiorullalaakerissa säteiskuormituksen vastaan ottama tukipinta on kalteva, aiheuttaa kartiorullalaakeri akseliin yhteen suuntaan vaikuttavan aksiaalissuuntaisen voiman. Yleensä tämä ratkaistaan asentamalla kartiorullalaakereita kaksi kappaletta eri päin. Näin akseliin vaikuttavat aksiaalisvoimat kumoutuvat (Kuva 36). Laakerit voidaan asentaa niin sanottuun X- tai O-asentoon. Kartiorullalaakeri sallii kulmavirhettä vain vähän, suurimmillaan noin  $0,05^\circ$ . (Pyy ym. 1995, 141; Ansaharju 2009, 145.)



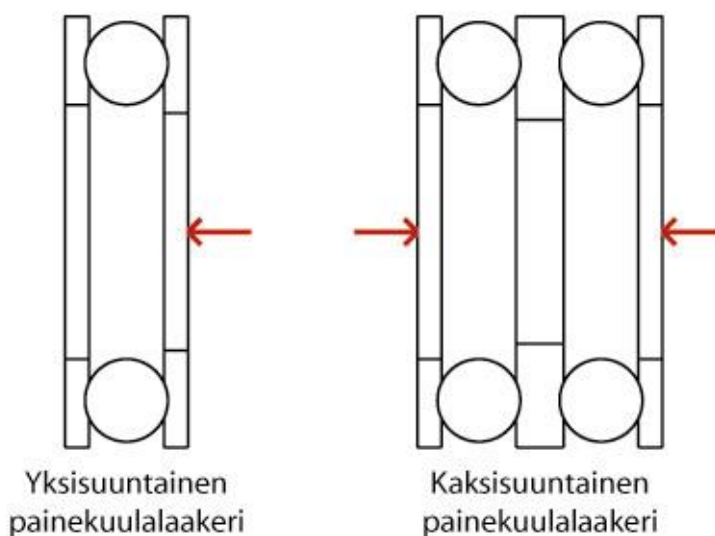
Kuva 36. Kartiorullalaakeri aiheuttaa säteittäisesti rasitettuna akselin suuntaisen voiman. Se voidaan helposti kumota toisella, vastakkaisuuntaisesti asennetulla, laakerilla. Huomaa X- ja O-asento.

Pallomaiset rullalaakerit sallivat kulmavirheen siinä missä pallomaiset kuulalaakeritkin, mutta ne pystyvät kantamaan isompia kuormia. Ne ovat usein kalliita ja painavia. Pallomaisissa rullalaakereissa rullat eivät ole lieriön muotoisia vaan tynnyrimäisiä. Näin ne pystyvät tukeutumaan laajalti laakerin ulko- ja sisärenkaaseen, jotka on tehty kaareviksi. Pallomaisia rullalaakereita tehdään sekä lieriö-, että kartioreikäisinä. Useimmiten ne kuitenkin valmistetaan kartioreikäisinä ja asennetaan joko kartiomaiselle akselille, veto- tai kiristysholkille. Laakerityyppi sallii kulmavirhettä suurin piirtein saman verran kuin pallomainen kuulalaakerikin, noin  $1,5\text{-}3^\circ$ . (SKF 1994, 110; Pyy ym. 1995, 136; Ansaharju 2009, 145.)

Neulalaakerit ovat käytännössä kuin lieriömäisiä rullalaakereita, joiden rullilla on pieni säde. Tällaista laakerointi tarvitaan, jos halutaan, että laakerointi on erittäin kevyt tai että se veisi mahdollisimman vähän säteittäistä tilaa. Jos laakeroinnin tilantarve ja paino halutaan erittäin alhaiseksi, voidaan laakerointi toteutetaan ilman vierintälaakerin sisä- ja ulkorengasta käyttäen akselia sisärenkaana ja runkoa ulkorengkaana. Tällöin näiden pintojen tulisi olla karkaistuja. Neulalaakeriin kuuluvat tällöin vain pidin ja neulat, jolloin laakeria kutsutaan *neulakehikoksi*. Jos laakerointi ei ole vaativa, voidaan käyttää pelkästään neuloja ilman kehikkoa. Tällöin neuloja on oltava riittävästi, jottei niille jää ylimääräistä tilaa taittua vinoon. (Pakkala 1978, 105-106.)

### 3.2.2 Aksiaalisvierintälaakerit

Aksiaalisvierintälaakerit ottavat vastaan pääasiassa akselin suuntaisia voimia. On huomioitava, että ne vaativat aina niiden kuormitussuuntaa vastaavan vähimmäisaksiaaliskuorman (Pakkala 1978, 114). Muuten vierintäelimet saattavat alkaa luistamaan pyörimisen sijaan. Tämä puolestaan kuluttaa vierintäpintoja. Seuraavassa kuvassa (Kuva 37) muutama puhtaasti aksiaaliskuormia vastaanottava laakeri.



Kuva 37. Aksiaalisvierintälaakereita.

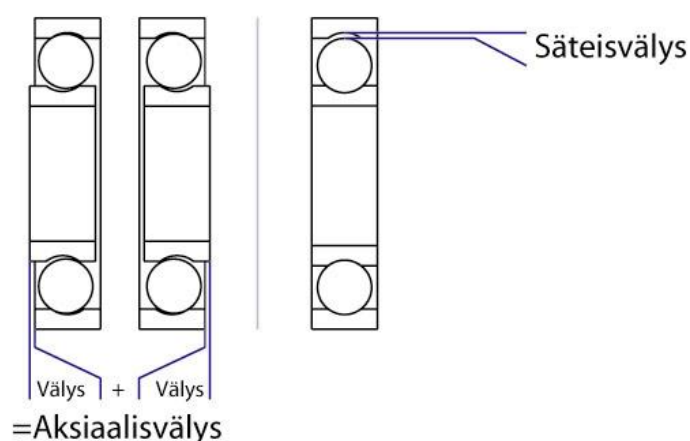
Yksisuuntainen painekuulalaakeri kantaa nimensä mukaisesti aksiaaliskuormaa vain yhteen suuntaan eikä ole sovelias säteiskuormitukselle. Toisen laatan, akselilaatan, sisäreiän halkaisija on pienempi kuin toisen, pesälaatan. Näin ollen akselilaatta pyörii akselin mukana ja pesälaatta pysyy kiinteästi laakeripesässä. Pesälaatan reiän pitää olla luonnollisesti suurempi kuin akselilaatan reiän, jottei pyörivä akseli hankaisi kiinteää pesälaattaa vasten. Laatat ovat toisistaan ja kuulista irralliset. Yksisuuntainen painekuulalaakeri ei salli kulmavirhettä. Laattojen pitää olla yhdensuuntaiset, jotta kaikilla kuulilla olisi kuormaa. Näin kuulat eivät pääse liukumaan. (Pakkala 1978, 104; SKF 2005, 838.)

Kaksisuuntainen painekuulalaakeri on käytännössä kuin kaksi yksisuuntaista painekuulalaakeria. Siinä akselilaatta on keskellä ja kaksi pesäläätää reunoilla. Laakeria voidaan kuormittaa molempiin suuntiin.

On joitain laakereita, jotka ottavat hyvin vastaan sekä säteis- että aksiaaliskuormituksia mutta ovat usein luokiteltu aksiaalilaakereiksi. Tällaisia ovat esimerkiksi *pallomainen painerullalaakeri*, joka on kuin kartiorullalaakeri mutta täysin kartiomaisten rullien sijaan siinä on ns. *epäsymmetriset tynnyrirullat* (Ansaharju 2009, 143). Tällaiset rullat muistuttavat ulkonäöltään hieman luotia. Painerullalaakerin laattojen vierintäradat ovat kaarevat, joten se sallii hieman kulmavirhettä. *Viistopainekuulalaakeri* puolestaan on kuin kaksi viistokuulalaakeria yhdessä. Näin se voi ottaa vastaan aksiaaliskuormituksia molempiin suuntiin sekä säteiskuormitustakin.

### 3.2.3 Vierintälaakerin välykset, sovitteet ja ohjaavuus

Kuten liukulaakereilla, tulee vierintälaakereillakin useimmiten olla jokin välys. Välyksellä tarkoitetaan sitä matkaa jonka vierintälaakerin sisärenkas voi liikkua ulkorenkaaseen nähden. Välys voidaan jakaa akselin suuntaisen liikkeen sallivaan aksiaalivälykseen ja säteen suuntaisen liikkeen sallivaan säteisvälykseen (Kuva 38). Yleensä toisen suurentuessa suurentuu myös toinen.



Kuva 38. Vierintälaakereilta voidaan määrittää sekä aksiaalivälykset että säteisvälykset.

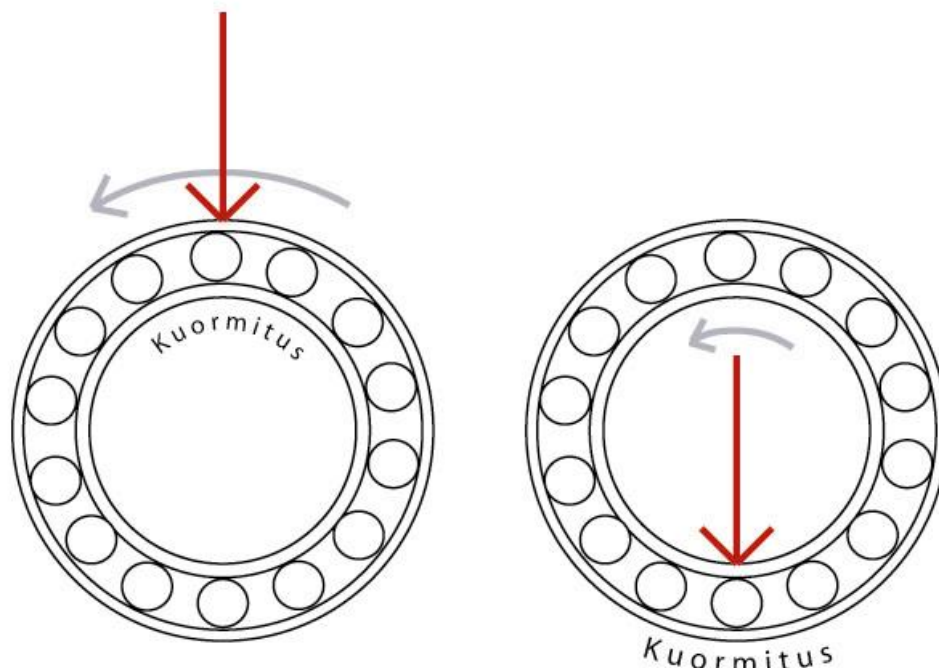
Urakuulalaakereissa välystä ei tulisi olla käytön aikana (SKF 2005, 137). Muilla laakerityypeillä välystä sen sijaan kuuluu olla. Arvot ovat laakerikohtaisia. On huomattava että irrallisen laakerin välys on eri kuin asennetun ja käytössä olevan laakerin. Tämä johtuu laakerin sisärenkaan lämpölaajenemisesta sekä laakerin sovitteista.

Välyksistä voidaan yleissääntönä sanoa seuraavaa: liian pieni välys vierintälaakerissa aiheuttaa turhaan korkeita pintapaineita, jotka puolestaan väsyttävät materiaalia. Liian suuri välys puolestaan aiheuttaa iskukuormia laakerin sisällä ja/tai vierintäelimien kyvyttömyyttä pysyä radoillaan, mikä taas aiheuttaa sen, että pidin kuluu tarpeettomasti, laakeri hakkaa itsensä rikki ja/tai laakeri on hyvin äänekäs. (Hagman, sähköposti 28.3.2012.)

Liukulaakerit on asennettu usein tiukalla sovitteella laakeripesiinsä. Näin ne eivät pääse pyörimään pesään nähden. Vierintälaakereiden ulkorenkaatkaan eivät saisi pyöriä pesään nähden eikä toisaalta sisärenkaat akseliin nähden. Löyhäsovitteinen laakeri on kuitenkin helpompi asentaa, joten usein laakerin toinen rengas onkin kiinni vastinkappaleessaan löyhällä sovitteella. Löyhän sovitteen käytön sallii se, että monissa laakerointikohteissa vierintälaakeri kannattelee painoa, joka aiheuttaa suunnaltaan vakion kuorman. Yleensä tämä voima siis suuntautuu alaspäin. Jos esimerkiksi laakeroinnin tarkoituksena on lähinnä kannatella pyörivän akselin painoa, kohdistuu laakerin sisärenkaaseen, joka pyörii akselin mukana, pyörivä kuormitus. Tällöin on vaarana että sisärengas alkaa *ryömiä* akseliin nähden, toisin sanoen ei pysy sen pyörimisen mukana (Pyy ym. 1995, 146). Tämä on haitallista. Sen sijaan ulkorenkaan kuormitus ei ole pyörivä, eikä siihen vaikuta vääntävää voimaa. Ulkorengas voidaan tällöin kiinnittää löyhällä sovitteella. Esimerkiksi auton renkaassa asia on päinvastoin, ulkorengas pyörii auton renkaan mukana tukiakselin ollessa paikallaan. Tällöin pyörivä kuormitus vaikuttaakin ulkorenkaaseen, sisärenkaan ottaessa jatkuvasti kuormaa vastaan vain alaosallaan. Tällöin siis ainakin ulkorenkaan tulee olla asennettu tiukalla sovitteella. Tilanteessa, jossa kuormituksen suunta ei ole vakio, esimerkiksi tärinälle alttiissa ympäristössä, suositellaan vierintälaakeri asennettavan käyttäen tiukkaa sovitetta kummassakin renkaassa. Seuraava kuva (Kuva 39) havainnollistaa erilaisia kuormitustilanteita. Missään tapauksessa ei ole kuitenkaan suotavaa, että löyhäkään sovite alkaisi pyöriä



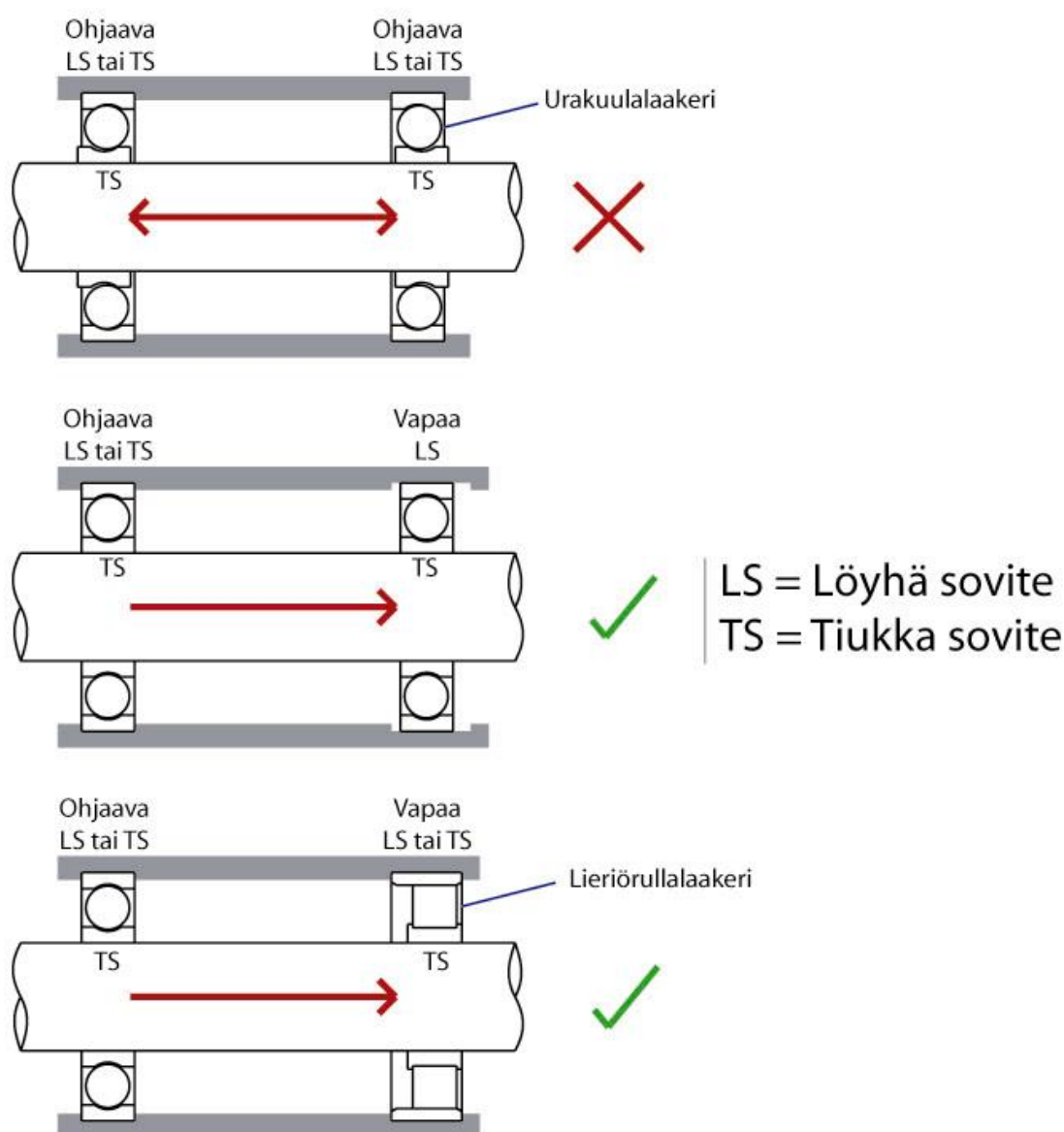
pesässään (Hagman, sähköposti 21.12.2011). Tällöin on harkittava tiukempaa sovitetta tai laakeria joka on varustettu kiilauralla. (SKF 1994, 27.)



Kuva 39. Vasemmalla olevan laakerin sisärenkas kuormittuu vain yläosastaan. Oikean puoleisen laakerin ulkorengas puolestaan vain alaosastaan.

Koska vierintälaakerit toimitetaan standardikokoina, voidaan sovitteen tiukkuuteen vaikuttaa lähinnä akselin ja laakerinpesän mitoilla (Ansaharju 2009, 151). Kartioreikäiset vierintälaakerit tosin sallivat akselin ja laakerin välisen sovitteen tiukkuuden säätämisen asennuksen aikana. Lieriöreikäisten vierintälaakereiden sovitteiden tiukkuuden on siis määrännyt laitteen suunnittelija, eikä ne muutu, jos uusi laakeri on mitoiltaan sama eivätkä akseli ja laakeripesä ole päässeet kulumaan. Käytännössä sovitteen tulee olla sitä tiukempi, mitä suurempi kuorma laakerin tulee kantaa. Muita sovitteen tiukkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat akseli- ja laakeripesämateriaali, akselin mahdollinen ontous sekä lämpötilaolot. Laakerin sisärenkas on taipuvainen lämpenemään ja lämpölaajenemaan laakeroinnin kitkan vuoksi enemmän kuin akseli, jolloin voi olla mahdollista että viileän akselin ja lämpimän sisärenkaan välinen liitoskohta löystyy. Tilanne pienentää myös laakerin sisäistä välystä, koska laakeripesä ja täten laakerin ulkorengas on usein laakerin sisärenkasta viileämpi (SKF 1994, 28). Laakerin sisäinen välys pienenee aina tiukkaa sovitetta käytettäessä (SKF 2005, 166). Sovite saakin tiukkuutensa juuri laakerirenkaan muodonmuutoksesta.

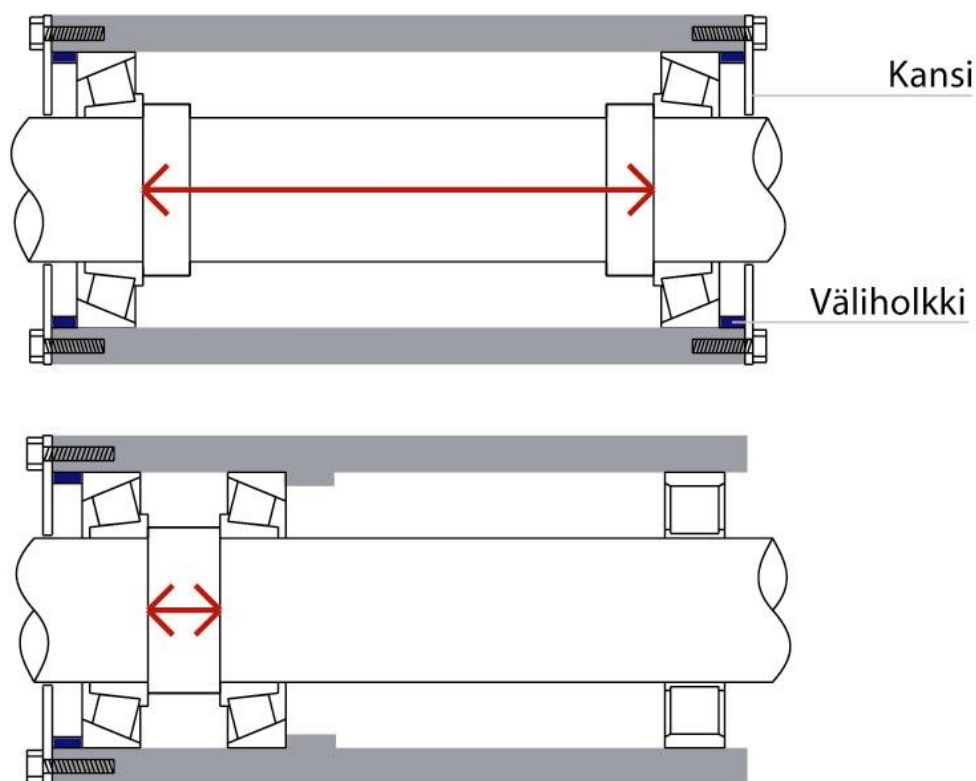
Jos laakeri ei saa päästä pyörimään pesässään, miksi löyhiä liitoksia ylipäänsä tehdään? Syitä ovat jo edellä mainittu asennuksen helpottuminen sekä pitkissä akseleissa erittäin tärkeä akselin lämpölaajenemisen huomioon ottaminen. Koneen käydessä usein sen akselin lämpeneminen ja lämpölaajeneminen on suurempaa kuin koneen rungon. Jos akselilla on tällöin kaksi tai useampia laakereita asennettuina tiukalla sovitteella, sekä akselille että laakeripesään alkaa laakeriin vaikuttamaan aksiaalinen voima, joka pienentää sen välystä (Kuva 40).



Kuva 40. Akselissa vain yhden laakerin tulee olla ohjaava. Esimerkissä laakerin sisärenkaat on asennettu tiukalla sovitteella kuten yleensä on asian laita.

Esimerkin tapainen ongelmatilanne voi ilmetä, jos käytetään kahta urakuulalaakeria samalla akselilla. Urakuulalaakeri on aksiaalisesti ohjaava eikä sillä ole suurta sisäistä välystä. Näin ollen akselin pidentyessä kuulalaakeriin alkaa vaikuttaa aksiaalinen voima, joka alkaa painaa kuulia vierintäelimien urien reunoja vasten, joka aiheuttaa turhaa kulumista ja kitkaa. Asia voidaan ratkaista asentamalla toinen laakeri tiukalla sovitteella sekä akselille että laakeripesään ja toinen löyhällä sovitteella omaan laakeripesäänsä. Tällöin löyhällä sovitteella asennetulle laakerirenkaalle on annettava tilaa aksiaaliselle siirtymiselle. Laakeri, jonka molemmat renkaat on asennettu tiukalla sovitteella, on ns. *ohjaava laakeri*, koska se määrää akselin paikan suhteessa ympäröivään runkoon. Laakeri, jonka ulkokehä on asennettu löyhällä sovitteella, on ns. *vapaa laakeri*, joka ei siis voi ottaa vastaan aksiaaliskuormia. Esimerkissä molempien laakereiden sisärenkaat ovat asennettu tiukalla sovitteella. Yleensä ottaen samassa laakerissa ei voi olla löyhä sovite sekä ulko- että sisärenkaassa. Sovitteen tiukkuus viittaa vain siihen, millä voimalla laakerin rengas painaa sovittepintaansa vasten säteittäisesti. Voi siis olla mahdollista, että ohjaavan laakerin toinen rengas on kiinnitetty löyhällä sovitteella, jos nimenomaisen renkaan aksiaalinen siirtyminen on muulla tavoin, esimerkiksi lukkorenkain, estetty.

Kuten vierintälaakereita käsittelevässä kohdassa tuli jo ilmi, jotkin säteisvierintälaakerit voivat ottaa vastaan aksiaaliskuormia vain toiseen suuntaan. Näistä esimerkkinä kartiorullalaakeri tai yksirivinen viistokuulalaakeri. Kartiorullalaakerit asennetaan aina pareittain vastakkaisiin suuntiin jotta niiden aiheuttamat aksiaalisvoimat kumoutuvat. Näin ollen ne ovat pareittain asennettuina ohjaavia laakereita. Samalla tavalla saadaan kahdesta vastakkaissuuntaisesti asennetusta yksirivisestä viistokuulalaakerikokonaisuudesta ohjaava. On huomattava, että jos tehdään kahdesta laakerista ohjaava kokonaisuus edellä mainitulla tavalla, on akselin lämpölaajeneminen silti otettava huomioon. Asialle ei voi tehdä oikein muuta kuin käytettävä mahdollisimman lyhyttä etäisyyttä laakerien välillä (Pakkala 1978, 104). Seuraavassa kuvassa (Kuva 41) havainnollistetaan lämpölaajenemisen muodostumisen ero.



Kuva 41. Akselin lämmitessä se pitenee. Mitä isompi on laakerien väli sitä isompi akselin lämpölaajenemisen aiheuttama aksiaalinen voima niihin vaikuttaa.

Kuvassa (Kuva 30) yksinkertaistettu esimerkki X-asentoon asennettavan ohjaavan laakeroinnin toteuttamisesta. Ylemmässä kuvassa välimatka on pitkä ja akselin lämmitessä myös sen aiheuttama aksiaalinen voima on suuri. Näin ollen laakerit rasittuvat turhaan. Laakerivälitys pienenee tarpeettoman pieneksi. Alemmassa kuvassa X-asennon laakerit on asennettu lähekkäin, ja vaikka akseli tässäkin tapauksessa lämpölaajenemisellaan pienentää laakerien välystä, välyksen pienentymä on pienempi kuin ylemmässä kuvassa. Laakereiden sisäinen välykset säädetään tässä esimerkissä kannen ja väliholkin avulla. Asentamalla paksumpi tai ohuempi väliholkki voidaan laakerin ulkorenkkaan aksiaalista asemaa ja täten sisäistä välystä muuttaa. Välyksen säätämiseen on useita toteutustapoja, usein kannessa on väliholkin kaltainen muotoilu jo itsessään ja kannen syvyyttä säädellään asettamalla kannen ja rungon väliin erilaisia välilevyjä.

Eri sovitenimityksistä huolimatta on muistettava, että tiukkakaan sovite ei ole riittävä tae siitä, ettei laakerin renkaat pääse liikkumaan aksiaalisesti (SKF 1994, 33).

Tiukkasovitteisenkin laakerirenkaan aksiaalisen liikkumisen estäminen on varmistettava esimerkiksi kannella, joka painaa laakerin ulkorengasta rungossa olevaa vastinpintaa vasten tai sisärenkaan ollessa kyseessä vaikkapa akselimutterilla, joka painaa laakerin sisärenngasta esimerkiksi olaketta vasten. Akselimutterin aukikiertyminen on miltei aina estetty sakarallisella varmistuslaatalla. Seger-rengasta käytetään myös, varsinkin pienemmissä laakeroinneissa.

#### 3.2.4 Vierintälaakerimateriaalit ja niiden aiheuttamat rajoitteet

Vierintävastuksen minimoimisen takia vierintälaakerien vierintäelimien juoksuradat tulee tehdä mahdollisimman koviksi. Tarkoituksena on, että vierintäelimen alla tapahtuisi mahdollisimman vähän joustoa, joka aiheuttaisi sen että vierintäelin ikään kuin vierisi koko ajan ”ylämäkeen”, kuten ajettaessa pyörällä hiekassa. Metallissakin tapahtuu tällaista joustoa, vaikkakin paljon pienemmässä mittakaavassa.

Vierintälaakerien sisä- ja ulkorengaat tehdään teräksestä. Terästä voidaan kätevästi koventaa karkaisemalla. Teräs voidaan läpikarkaista, pintakarkaista tai induktiokarkaista. Lämpikarkaisussa kappale karkaistuu kokonaan. Tällöin käytetään yleisimmin terästä, jossa on noin 1 % hiiltä ja 1,5 % kromia. Pintakarkaisussa puolestaan karkaistaan vain haluttu osa kappaleen pinnasta, jolloin kappaleen sisälle jää karkaisematonta, hieman joustavampaa terästä. Pintakarkaisuun sopii hyvin teräs jossa on kromia ja nikkeliä tai mangaania ja kromia. Hiilipitoisuus on noin 0,15 %. Induktiokarkaisussa voidaan vielä tarkemmin määrittää karkaistava kohta. (SKF 2005, 138.)

Karkaisuprosesseista johtuen pääsääntönä on, että vierintälaakerin maksimikäyttölämpötila on 120 celsiusastetta. Rajoitus koskee myös asentamisessa mahdollisesti tapahtuvaa lämmittämistä. Koska vierintälaakereita käytetään monissa kohteissa, myös kuumiin olosuhteisiin on omat laakerinsa. Tällaista laakeria saa toki asennettaessakin lämmittää sen sallittuun käyttölämpötilaan asti (Hagman, sähköposti 21.12.2011.)

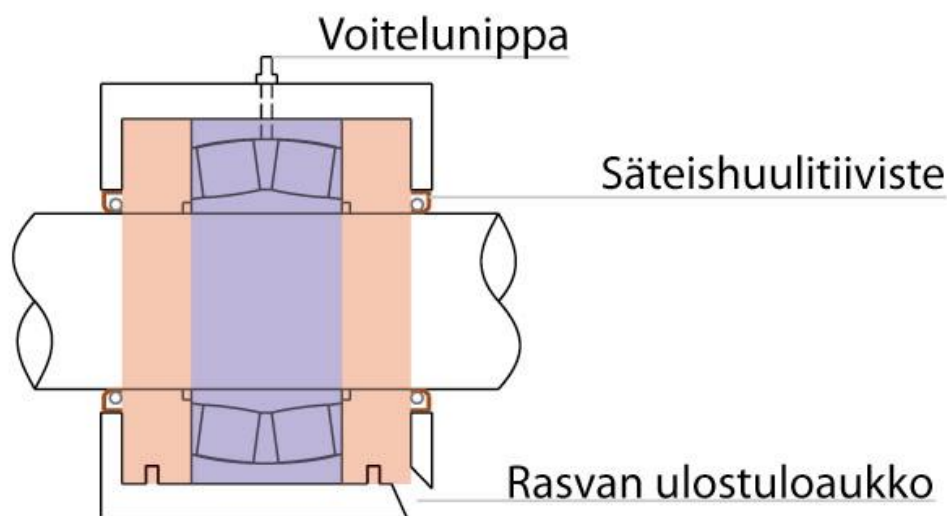
Vierintälaakerin pitimet on pääsääntöisesti tehty joko teräksestä, messingistä tai muovista. Muistettavia asioita näihin liittyen on messingin taipumus säröytyä joutuessaan kosketukseen ammoniakkin kanssa. Jäähdytyslaitteistoissa ei näin ollen tulisi käyttää messinkipitimiä vierintälaakereita. Muovit eivät sovellu yli 120- eikä alle -40 celsiusasteen lämpötiloihin. (SKF 1994, 280.)

Vierintälaakerimateriaalien lisäksi myös voiteluaineen tulee kestää käyttöolosuhteet. Kuten voiteluaineiden kohdalla todettiin, voiteluaineet alkavat hapettua lämpötilan kasvaessa. Itse asiassa vierintälaakerin maksimipyörimisnopeuden määrittääkin materiaalien ja voiteluaineen lämmönkesto (SKF 2005, 108). Vierintälaakerin materiaalin lämmönkeston taas määrää edellä mainittu karkaisuprosessi (SKF 2005, 71).

### 3.2.5 Vierintälaakerien voitelutoteutukset

Jo aiemmin käsiteltiin, miten voiteluainekalvo muodostuu vierintälaakerissa (kohta 2.8). Nyt käsitellään sitä, miten voiteluaine saadaan pysymään vierintälaakerissa. Seuraava ei koske kestovoideltuja eli sisään rakennetuilla tiivistimillä varustettuja vierintälaakereita.

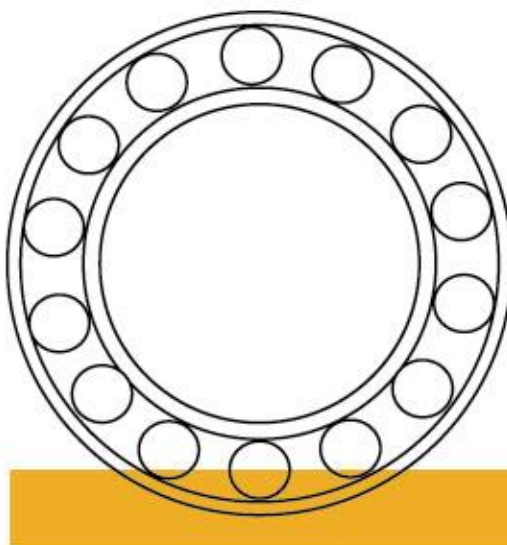
90 % vierintälaakereista on rasvavoideltuja (SKF 1994, 204). Rasvavoitelussa yksinkertaistettuna rasva pitää sisällään öljyn, jota se lämpenemisen seurauksena päästää vapaaksi. Yleensä rasvavoideltu vierintälaakeri sijaitsee laakeripesässä, jonka tilavuus on noin kolminkertainen laakerin viemään tilavuuteen verrattuna. Hieman riippuen pyörimisnopeudesta tämä tila täytetään rasvalla. Mitä isompi akselin pyörimisnopeus, sitä vähemmän rasvaa laitetaan. Tämä johtuu siitä, että suurilla pyörimisnopeuksilla rasva aiheuttaa niin paljon vastusta, että laakeri lämpenee tarpeettomasti. Yleissäännön mukaan laakeri täytetään asennuksen yhteydessä rasvalla kokonaan ja laakeripesästä noin puolet (Ansaharju 2009, 132). Seuraava kuva (Kuva 42) havainnollistaa tilanteen.



Kuva 42. Pallomaisen rullalaakerin rasvavoitelu.

Kuvan sinertävä osa kuvaa osuutta, joka täytetään kokonaan rasvalla. Vierintäelimien, tässä tapauksessa rullien, kaikki väliköt koitetaan saada niin täyteen rasvaa kuin mahdollista. Punaisella merkitty laakeripesän alue tulisi täyttää noin puoliksi rasvalla tilanteessa, jossa laakeri ja akseli ovat jo asennettuina laakeripesään. Riippuen lämpö- ja likaisuusolosuhteista rasvaa ei tarvitse lisätä laakeriin kuin kerran pari vuodessa (Pakkala 1978, 105). Varsinaisesti rasvan määrää ei ole tarkoitus lisätä, vaan tarkoituksena on korvata vanha rasva uudemmallalla. Tämä käy helposti laakeripesän voitelunipan ja rasvapuristimen avulla. On suositeltavaa pyörittää akselia rasvaa lisättäessä (Hagman, sähköposti 28.3.2012). Mitä likaisemmat ja kuumemmat ovat olosuhteet, sitä useammin rasvaa tulisi korvata. Ajan myötä laakeripesä täyttyy kokonaan rasvalla, ellei rasvalle anneta mahdollisuutta päästä pois laakeripesästä. Yksinkertaisin ratkaisu on kuvan (Kuva 31) esittämä aukko tai reikä laakeripesässä, josta rasva pääsee työntymään pois. Tällainen aukko on muistettava tulpata jos koneistojen puhdistamiseen käytetään painepesuria. On myös muita tapoja, joilla rasvan poistuminen on sallittu laakeripesästä. Esimerkkinä tällaisesta on ns. *rasvanpoistovenkki*. Se on akselin mukana pyörivä rengasmainen kappale, joka pyöriessään heittää ylimääräisen rasvan ulos samankaltaisesta aukosta kuin edellä mainitussa järjestelyssä.

Jos laakeroinnissa päädytään käyttämään öljyvoitelua esimerkiksi rasvalle liiallisen lämmön takia, voidaan käyttää esimerkiksi seuraavia voitelutapoja: *öljykylpyä, rengasvoitelua, kiertoöljyvoitelua* tai *ruiskuvoitelua*. Öljykylpyvoitelu vastaa pitkälti liukulaakereiden samanlaista toteutusta. Vierintäelimet kastautuvat öljyssä pyöriessään laakeripesän ala-osassa vieden öljyä vierintäradalle. Öljyn pinnan tulee olla laakerin ja akselin ollessa levossa hieman alimman vierintäelimen puolivälin alle (Kuva 43) (SKF 1994, 246).



Kuva 43. Vierintälaakerin öljykylpyvoitelun oikea öljyn pinnan taso.

Rengasvoitelukin toimii liukulaakereiden rengasvoitelutoteutuksia vastaavasti. Siinä vierintälaakerin yhteydessä on rengas, jonka halkaisija on akselin halkaisijaa suurempi. Renkaan alaosa on uponneena öljyyn. Se lepää akselin päällä hiljalleen pyörien ja täten toimittaen öljyä ylöspäin, josta se on johdettu valumaan vierintälaakerin kautta takaisin laakeripesän öljypohjaan. (SKF 2005, 249.)

Kiertoöljyvoitelun käyttäminen on suositeltavaa silloin kuin muilla tavoin, esimerkiksi rasvavoitelua käyttämällä, voiteluainetta pitäisi vaihtaa epäkäytännöllisen usein. Usein tämä johtuu laakeroinnin korkeasta lämpötilasta, joka hapettaisi rasvan tai öljyn. Kiertoöljyvoitelussa öljy imetään öljysäiliöstä öljypumpulla, jonka jälkeen se johdatetaan laakerointiin josta se palaa öljysäiliöön. Etuina järjestelyssä on se, että tällöin voiteluaine voidaan kierrättää



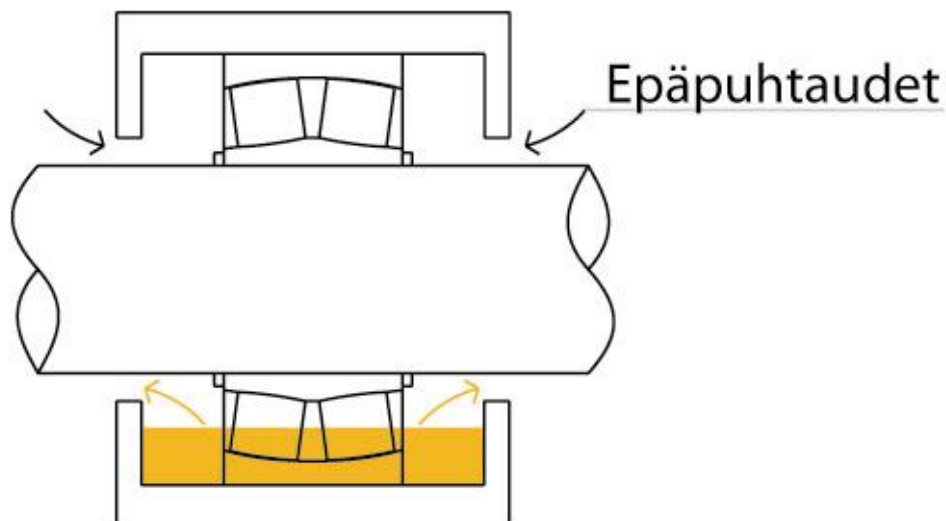
öljynjäähdyttimen ja suodattimen läpi. Näin ollen voiteluaine pysyy viileänä ja puhtaana joka sallii öljylle pidemmät käyttöajat. (SKF 1994, 246.)

Hieman kiertoöljyvoitelua teknisempi järjestely on ruiskuvoitelu, joka on muuten kiertoöljyvoitelua vastaava mutta öljy sumutetaan korkealla paineella laakeripesässä olevasta suuttimesta. Menetelmää käytetään laitteissa jossa on korkeat kierrosluvut jotta öljy saadaan varmasti toivottuun paikkaan – vierintäelimien juoksuradoille. (SKF 1994, 246.)

### 3.3 Tiivistimet

Puhtaudella on erittäin iso vaikutus laakerien kestoikään. Onkin jollain tavalla estettävä epäpuhtauksien pääsy laakeriin. Tähän tarkoitukseen sopivat tiivistimet. Tiivistäminen voidaan jakaa kahteen osaan: toisiinsa nähden paikallaan olevien pintojen tiivistäminen, esimerkiksi moottorin sylinterinkannen ja valetun moottorilohkon välinen tiivistys, ja toisiinsa nähden liikkuvien pintojen tiivistäminen. Laakerointien yhteydessä suuremmassa osassa on jälkimmäiset tiivisteet, koska akseli pyörii laakeripesään nähden. Juuri tämän välin tiivistäminen onkin laakeroineissa olennaista.

Huolimatta siitä, onko laakerointi vierintä- vai liukulaakerointia koitetaan laakerit saada laitteen käyttöympäristöä puhtaampaan tilaan. Puhtaampi tila saattaa olla pieni ja tarkkarajainen kuten laakeriyksikön laakeripesä tai suuri ja monet tiivistykset vaativa kuten vaihteistorakenne. Koska laakerointi on usein voideltu, saavutetaan tiivistämisellä myös se etu, ettei voiteluainetta pääse turhaan roiskumaan laakeripesästä tai laitteesta ulos (Kuva 44).



Kuva 44. Ilman tiivistintä epäpuhtaudet pääsevät laakeriin ja laakerin voiteluaine ei pysy laakerissa.

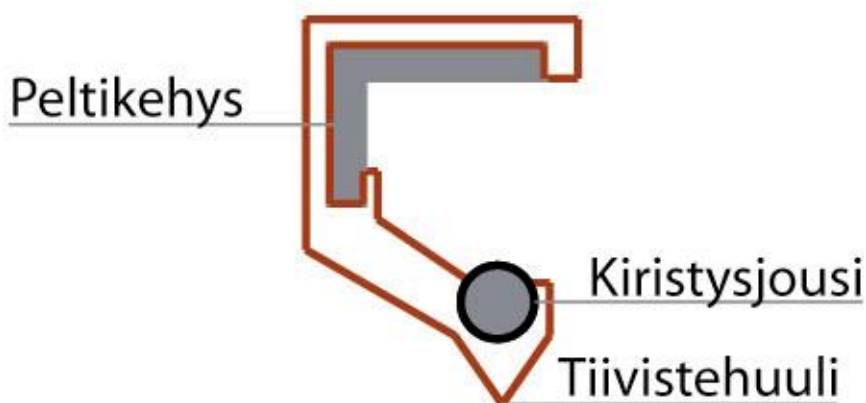
Kuvasta nähdään mitä pitäisi tehdä: saada laakeripesän ja akselin välinen välys mahdollisimman pieneksi. Puhtaassa käyttöympäristössä ja rasvavoitelun kanssa ongelman todellakin voi ratkaista yksinkertaisesti tämän välyksen pienentämällä (SKF 2005, 223). Vaativimmissa olosuhteissa ja varsinkin öljyn kanssa pitää kuitenkin käyttää varsinaisia tiivistimiä. Aiempi kuva (Kuva 42) esittää toteutuksen säteishuulitiivistimin. Tiivistimet voidaan jakaa kahteen ryhmään: *hankaaviin* ja *hankaamattomiin tiivistisiin*. Käsitellään ensiksi hankaavia tiivistimiä.

Hankaavat tiivistimet nimensä mukaisesti perustuvat siihen, että niissä liikkumaton ja pyörivä pinta ovat kosketuksissa ja hankaavat toisiaan vasten. Tämä aiheuttaa sen, että tiivistimet kuluvat käytössä. Yleisimmät tyypit ovat *huopatiivistin*, *säteishuulitiivistin* ja *v-tiivistin*. Huomaa että kaikki hankaavat tiivistimet tiivistävät sitä paremmin, mitä tasaisemmat vastinpinnat ovat. Jos esimerkiksi tiivistin on laakeripesässä kiinni ja painaa akselia vasten, tulisi akselin juoksupinnan olla mahdollisimman tasainen. Tämä ensinnäkin vähentää tiivistimen kulumista ja lisäksi parantaa tiivistystä. Jos akselin kulunutta juoksupintaa ei voida kiillottaa, kannattaa harkita mahdollisuutta asentaa tiivistin hieman eri kohdalle laakeripesään jolloin akselissa mahdollisesti olisi tiivistimen kohdalla tasaisempi kohta. Jos akselissa on sorvauksessa aiheutuneita spiraalimaisia uria, ne voivat alkaa toimia tietyllä pyörimissuunnalla tiivistimen kohdalla ikään kuin ruuvipumppuna aiheuttaen voiteluaineen turhaa kulutusta. Jos akselin pyörimissuunta ei muutu, ilmiötä voidaan

käyttää myös hyväksi tekemällä akseliin tahallaan urat jotka imevät voiteluainetta takaisin laakeriin. (SKF 2005, 223).

Huopatiivistin on yksinkertainen ja täten halpa tiivistin. Se on käytännössä huovasta leikatu rengas joka asetetaan tiivistämään akselin ja laakeripesän välinen tila. Ennen asentamista huoparengas kastetaan 80 celsiusasteisessa öljyseoksessa, jossa on kaksi kolmasosaa öljyä ja yksi kolmasosa talia. Näin se saadaan kestämään kulutusta. Huoparenkaalle on usein tehty laakeripesään ura johon se asetetaan. Huoparengas ei siis pyöri. Käytännössä huoparengasta ei useinkaan asenneta paikalleen renkaana vaan se halkaistaan, jotta sen saa asennettua laakeripesässä olevaan uraansa helpommin. Muussa tapauksessa huoparengas joudutaan pujottamaan akselin ympärille. Hyväkuntoinen huoparengas voidaan asentaa toistamiseen tekemällä sille öljy-talikylypy uudestaan. (Ansaharju 2009, 170.)

Säteishuulitiivistimet ovat nykyisin melko hyvin standardisoituja. Eri valmistajilta saattaa löytyä vaihtokelpoisia tiivistimiä. Säteishuulitiivistintoteutuksia on monenlaisia, mutta yleensä ne koostuvat renkaan muotoisesta peltisestä runko-osasta, joka tuo rakenteelle jäykkyyttä, ja sen yhteydessä olevasta kumiosasta. Kumiosassa on huuli, joka painaa akselia vasten. Huulen painetta lisää jousi, joka kiristää huulta säteittäisesti sisäänpäin (Kuva 45).



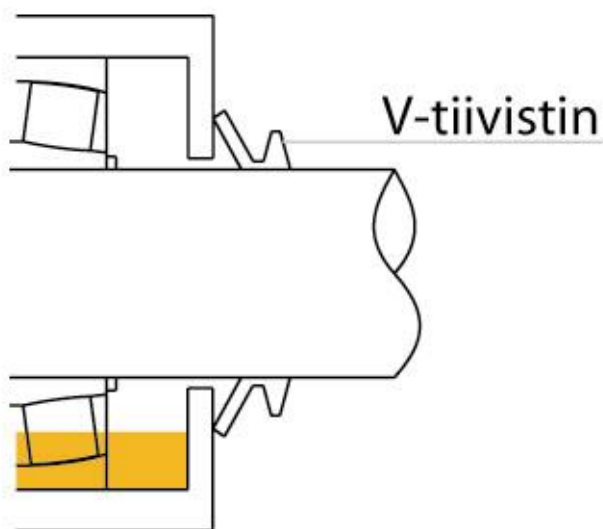
Kuva 45. Säteishuulitiivistimen rakenne.

Säteishuulitiivistin tiivistää paremmin toiseen suuntaan. Kuvan (Kuva 34) esimerkissä tiivistin estää paremmin aineen kulkua oikealta vasemmalle. Koska laakeroinneissa on usein epäpuhtauksia tiivistimen toisella puolella ja voiteluainetta

toisella, onkin päätettävä, kumman läpivirtausta halutaan estää enemmän. Öljyvoitelun kanssa asennetaan käytännössä aina huuli öljytilaan päin, eli etusijalle asetetaan öljyn poisvuotamisen estäminen. Öljyn tai minkä tahansa voiteluaineen paine lisäksi parantaa tällöin tiivistystä (Hagman, sähköposti 29.3.2011).

Tiivistimien asentamisessa yleensäkin on huolellisuus tärkeää, mutta varsinkin säteishuulitiivistimien kanssa on huomioitava, ettei tiivistimeen tule viiltoja tai naarmuja. On erittäin turhauttavaa huomata koekäytön aikana tiivistimien vuotaminen. Niiden vaihtaminen voi olla huomattavakin urakka. Esimerkiksi akselissa olevat olakkeet, kiilojen urat tms. ovat huomioitava asennuksen aikana. Teräviin uriin voi laittaa esimerkiksi teippiä tiivistimen liu'uttamisen ajaksi. Olakkeiden kanssa voi käyttää kartionmallisia holkkeja, jotka ohjaavat tiivistimen olakkeelle. Säteishuulitiivistin asennetaan laakeripesään sopivan asennusholkin avulla esimerkiksi vasaran tai prässin avulla. Asennusholkki tulisi tukeutua tiivistimen metallirunkoon.

On myös tiivistimiä, jotka pyörivät akselin mukana. Esimerkki tällaisesta on V-tiivistin. Se on kokonaan kumista valmistettu. V-tiivistin tiivistää aksiaalisesti. Käytännössä tarkoittaa sitä että se painaa tiivistettävää pintaa akselin suuntaisesti (Kuva 46).

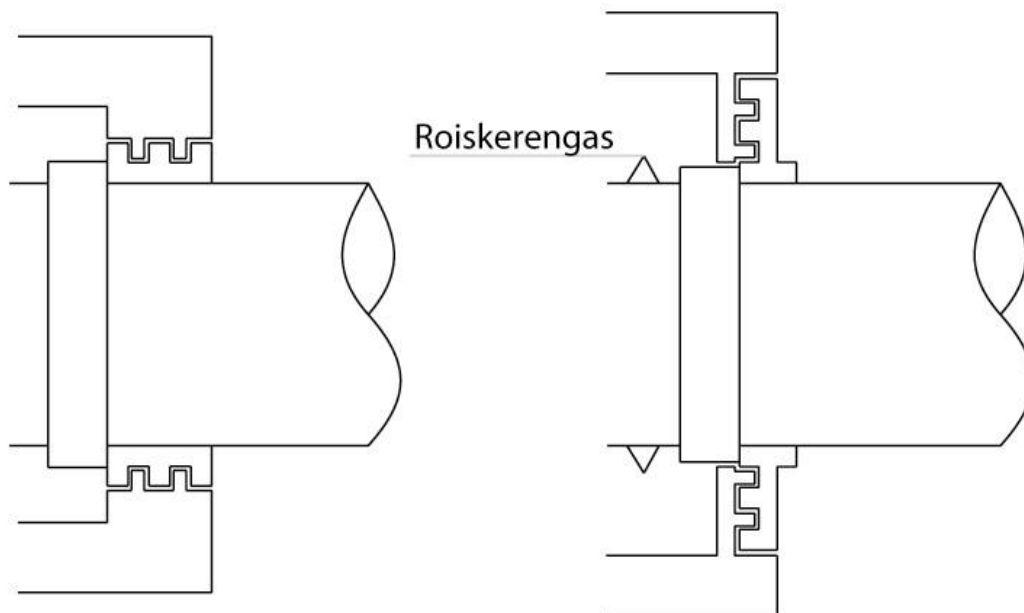


Kuva 46. V-tiivistin.

V-tiivistin istuu tiukasti akselilla. Asentamisessa kannattaakin pyörittää akselia ja samalla työntää vaikkapa talttameisselin varrella tiivistintä eteenpäin akselilla. Näin saadaan tiivistin siirtymään tasaisesti eteenpäin ilman sen turhaa venymistä. Tiivistin työnnetään niin lähelle laakeripesää että sen huuli painautuu laakeripesän pintaa vasten.

Vierintälaakereissa voi myös olla tiiviste myös itsessään. Monet yksiriviset urakuulalaakerit ovat suojattu sisä- ja ulkorenkkaan väliin asennetulla muovisella tiivistimellä. Tällaisia laakereita voidaan kutsua myös *kestovoidelluiksi*. Ne pitävät erittäin hyvin lian loitolla (SKF 2005, 64). Kestovoideltuja laakereita ei perussäännön mukaan lämmitetä asennuksessa, vaan ne tulisi asentaa esimerkiksi prässin avulla. Tämä voidaan helposti muistaa, koska luultavasti jo luonnostaan pelätään tiivistimen muovin sulamista korkeissa lämpötiloissa. Tiivistemuovi voi todellakin alkaa vaurioitua, jos sitä lämmitetään yli 80 celsiusasteen (SKF 2005, 264). Mutta helposti unohtuva seikka on laakerin sisällä olevan rasvan hapettuminen ja pilaantuminen korkeassa lämpötilassa. Onkin tärkeää muistaa, että jos kestovoideltua laakeria joudutaan syystä tai toisesta lämmittämään, niin se tehdään nopeasti, jotta rasva joutuu kärsimään korkeasta lämpötilasta mahdollisimman vähän. Yleensä sisärenkas asennetaan tiukalla sovitteella. Tällöin saadaan etu, jos käytetään ns. induktiolämmitintä. Sen avulla voidaan lämmitystä kohdentaa enemmän sisärenkaaseen ja lisäksi se on nopein tapa lämmittää laakeria. Näin rasvan lämpeneminen voidaan minimoida. Missään tapauksessa ei kestovoideltua laakeria tulisi lämmittää yli 100 celsiusasteen (Hagman, sähköposti 21.12.2011).

Hankaavien tiivistimien sijaan tai lisäksi voidaan käyttää myös hankaamattomia tiivisteitä. Ne perustuvat akselin ja laakeripesän pieneen rakoon, mutta sokkelomaisen rakenteen ansiosta rakojen määrä moninkertaistuu. Niitä käytetään pääasiallisina tiivistiminä lähinnä rasvavoideltujen laakerien kanssa. Öljyvoideltujen laakerien kanssa ne ovat usein säteishuulitiivisteiden lisänä, suojaamaan säteishuulitiivistettä suurimmilta epäpuhtauksilta. Sokkelotiivistimet eivät itsessään aiheuta kitkaa mutta tiivistys paranee jos rasvaa puristetaan sokkeloihin estämään lian pääsyn laakeriin. Tämä aiheuttaa hieman kitkaa rasvan sisäisen kitkan muodossa. Sokkelotiivistimen raot voidaan toteuttaa joko aksiaalisesti tai säteittäisesti (Kuva 47).



Kuva 47. Sokkelotiivistimiä.

Koska akselin säteen kasvaessa ulkokehän ratanopeus kasvaa, voi ilmiötä käyttää hyväksi asentamalla akseliin *roiskerenkaan*. Jos voiteluaine esimerkiksi valuu akselia pitkin, roiskerenkaan kohdalla sen ratanopeus kasvaa suuremmaksi ja keskipakovoima sinkoaa osan öljystä takaisen laakeripesään. Pyörivien tiivistimien, esimerkiksi V-tiivistimen ja kumisen roiskerenkaan kanssa, on huomioitava se, että keskipakovoima vaikuttaa myös tiivistimeen. Korkeilla kierrosluvuilla tiivistimen puristuma ei välttämättä riitä pitämään tiivistintä tiukasti akselilla. Myöskään V-tiivistimen (Kuva 46) huuli ei korkeilla, yli 15 m/s kehänopeuksilla, pysy enää taipuneena laakeripesää vasten vaan suoristuu keskipakovoiman takia (SKF 2005, 226).

## 4 AIKAISEMMAN LAAKERIN IRROTTAMINEN

### 4.1 Yleistä laakerien irrottamisesta

Ennen kuin uudet laakerit asennetaan, on vanhat otettava pois. Tämän työn aihealue ei kata uusien laakerien hankkimismenetelmiä. Sen verran aiheesta kuitenkin

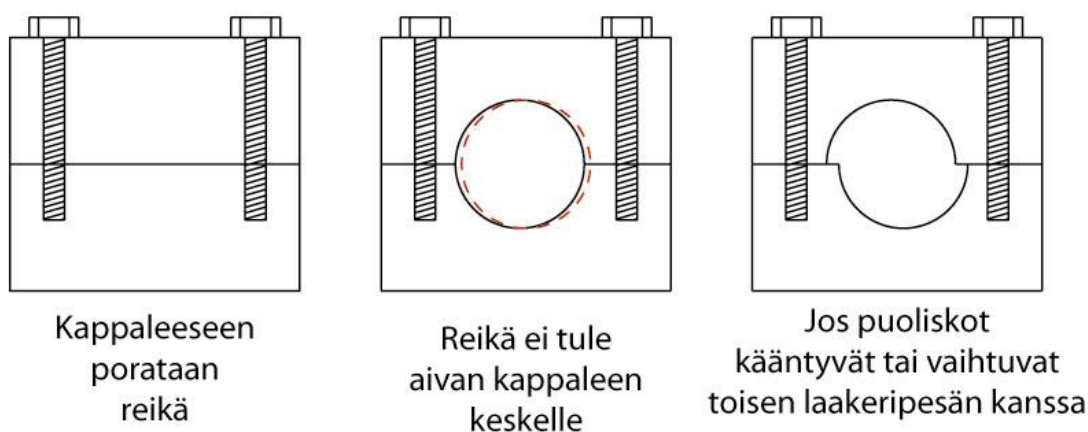
ilmoitettakoon, että liukulaakerit eivät ole yleisesti standardoituja osia, vaan uudet laakerit hankitaan laitteen valmistajan ohjeiden ja varaosanumeroiden mukaan. Vierintälaakerit sen sijaan ovat pitkälti standardoituja ja eri valmistajat ovatkin tilaajan kilpailuttamisen kohteena. Ehkä osittain tämän takia vierintälaakerivalmistajien asiakaspalvelu on tasokasta, ja heiltä kannattaakin kysellä, jos on epäselvyyksiä, mikä laakeri kohteeseen on tilattava. Laakerissa on numeroista ja kirjaimista koostuva koodi, josta laakerivalmistaja tietää, minkälainen laakeri on kyseessä. Varmistusmielessä tai jos koodi on pyyhkiytynyt pois, kannattaa silti ottaa mahdollisuuksien mukaan selvää ainakin vaihdettavan laakerin tyypistä, sisäreiän halkaisijasta, ulkorenkään ulkoreunan halkaisijasta, voitelurei'istä sekä leveydestä. Käytännössä säästetään aikaa paljonkin, jos uusien laakerien tilaus voidaan suorittaa jo ennen kun konetta on purettu niin paljon, että laakerit ovat esillä. Tällöin tilaus joudutaan suorittamaan koneen valmistajan ohjeiden mukaan tai mahdollisen aikaisemman laakerivaihdon yhteydessä saaduilla tiedoilla.

Puhtaus on erittäin oleellinen asia laakerien asennuksessa. Laakerit tulevat todennäköisesti toimimaan huonostikin tehdyn asennustapahtuman jälkeen, mutta asennushuolellisuus ja puhtaus näkyvät laakerien pitkänä kestoikänä. Koska monissa laakereissa on jonkinlainen voitelu, myös voiteluaineen hyvä suodatus ja/tai säännöllisesti tehty vaihto pidentävät laakerin kestoikää.

Purkuvaiheen helppouteen vaikuttaakin paljon se, puretaanko laite kokonaan vai osittain. Jos laite puretaan kokonaan, se voidaan pestä osina, jolloin purkuvaiheen puhtaus ei ole niin tärkeää. Sen sijaan jos laakeri vaihdetaan ilman mahdollisuutta päästä pesemään laitetta, on puhtaudella suuri rooli jo laitteen purkuvaiheessa. Onkin jopa todennäköistä, että tällaisessa tilanteessa konetta purkaessa ja laakeria irrotettaessa tulee muodostumaan metallilastuja. Luultavammin ne jäävät laakeripesän tai koneen rungon öljypohjaan, mutta huonossa tapauksessa kulkeutuvat sieltä esimerkiksi öljykanaviin hankaloittamaan virtausta tai öljykierron mukana uuteen laakeriin.

## 4.2 Liukulaakerin irrottaminen

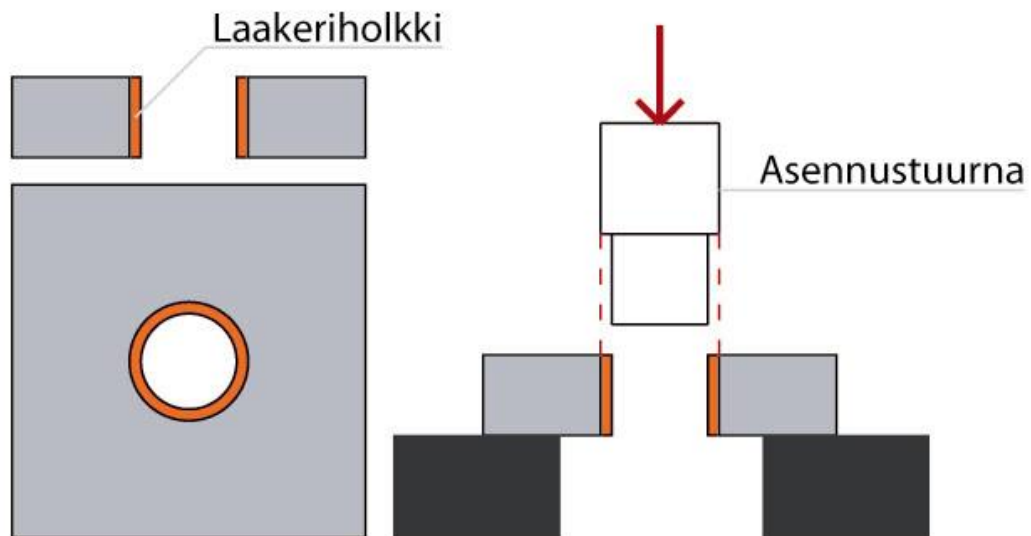
Liukulaakeri kannattaa ja käytännössä vaihdetaan aina, jos se syystä tai toisesta joudutaan irrottamaan. Näin ollen itse laakeria ei tarvitse poistettaessa säästellä. Laakeripesän vaippapinnalle sen sijaan ei saisi tulla naarmuja tai muodonmuutoksia. Kaksiosaisten laakeripesien ja liuskalaakereiden irrottaminen on helppoa. Esimerkkinä tällaisesta on kierokangen alapään laakerointi. Helppoudessa piilee vaara: kaksiosaisten laakeripesien kanssa on muistettava purkutilanteessa merkitä laakeripesien ylä- ja alapuoliskot toisiinsa sekä niiden keskinäinen sijainti. Tämä johtuu siitä, että laakeripesän puoliskot ovat valmistettu poraamalla niihin reikä kun laakeripesän puoliskot ovat olleet vielä kiinni toisissaan. Näin saadaan ylä- ja alapuoliskon reikä täysin samankeskiseksi. Myönnettäköön että monesti tällaisiin laakeripesiin on jo valmistettaessa tehty merkinnät sekoittumisen estämiseksi. Seuraava kuva (Kuva 48) havainnollistaa ongelman.



Kuva 48. Jos laakeripesän puolikkaat sekoittuvat ei vaippapinta enää välttämättä ole pyöreä.

Hieman vaativampaa on kutistusliitoksella tehtyjen laakeriholkkien irrotus. Tämä kannattaa tehdä prässin avulla. On kiinnitettävä huomiota siihen, että prässin aiheuttama voiman vaikutussuunta on samankeskinen holkin akselilinjan kanssa. Asennustuurnan tai -holkin käyttö on miltei välttämättömyys (Kuva 49).





Kuva 49. Liukulaakeriholkin irrotus. Nuolen osoittama voima voi tulla prässistä, vasarasta tms.

Edellinen tilanne esitti periaatteellista ja melko ihanteellista tilannetta. Todellisuudessa joudutaan tilannekohtaisesti soveltamaan eri tekniikoita, mutta yleensä ottaen erilaiset asennustuurnat ja holkit näyttelevät irrotuksessa olennaista osaa. Hankalimmissa paikoissa voidaan myös joutua käyttämään kierretankoa mutterien ja mittaan tehtyjen holkkien avulla ja näin ikään kuin vetää laakeriholkki laakeripesästä.

#### 4.3 Vierintälaakerin irrottaminen

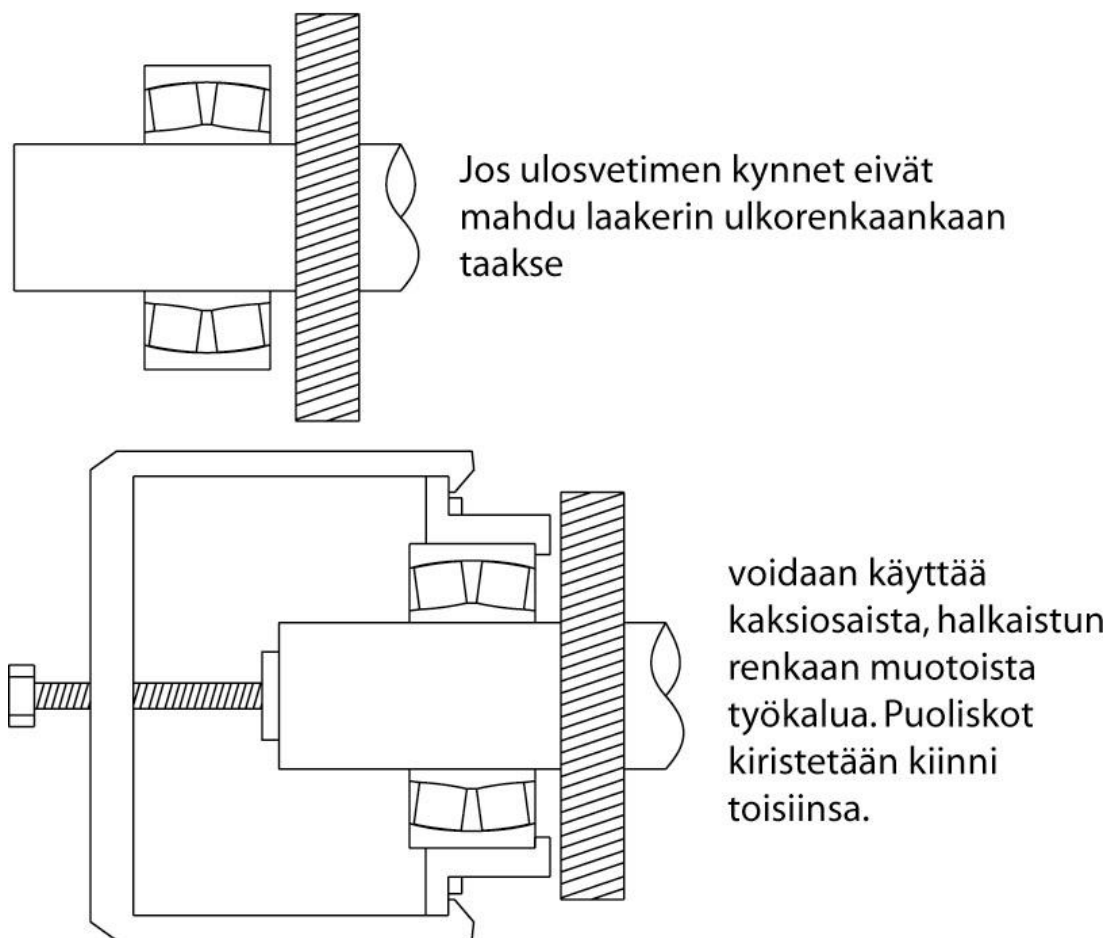
Vierintälaakerin irrottamisessa on iso ero sillä, vaihdetaanko laakeri uuteen vai onko mahdollista, että sama laakeri puhdistetaan ja asennetaan uudestaan takaisin. Koska koneen purkamisessa on oma vaivansa, yleensä vierintälaakerit vaihdetaan uusiin niiden kunnosta huolimatta. Tällainen lähestymistapa antaa laakerin irrotuksessa joitain vapauksia koska irrotettavan laakerin kunto saa kärsiä.

Tärkeä peruseriaate vierintälaakerin aksiaalisessa siirtämisessä on se, ettei asennusvoimaa saisi johtaa vierintäelimien läpi. Tarkoittaa esimerkiksi sitä ettei saisi irrottaa akselilla olevaa urakuulalaakeria vetämällä sitä ulkorenkaasta. Näin tehtäessä voima siirtyy ulkorenkaasta kuulien kautta sisärenkaaseen, ja tilanne saattaa aiheuttaa sen, että sisä- ja ulkorenaan vierintäradoille voi muodostua kuulien

kohdalle kuopat. Tämä on irrotuksessa otettava huomioon sen takia, että jos laakeria ei haluta vahingoittaa irrotuksessa, olisi se syytä irrottaa sillä tavoin että irrotusvoima ei vaikuta vierintäelimien läpi, toisin sanoen voima olisi pystyttävä kohdistamaan tiukkasovitteiseen laakerirenkaaseen. Jos irrotettava laakeri asennetaan uudelleen kohteeseen tulisi se asentaa mahdollisimman samankaltaisesti: samat sivut samoin päin jne. (SKF 1994, 100.)

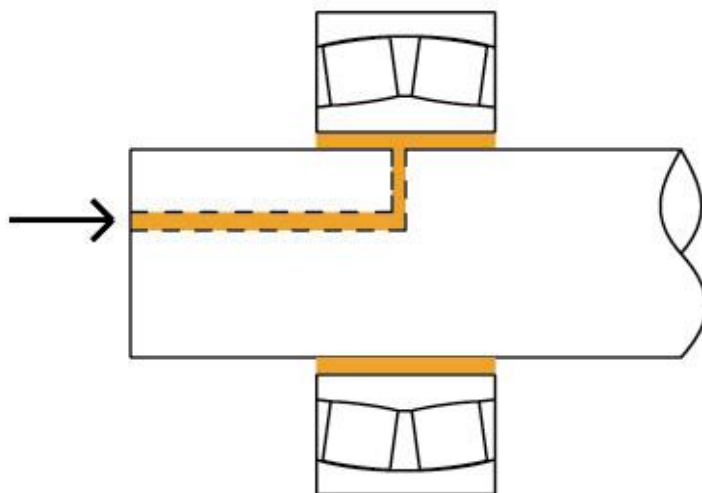
Vierintälaakerin irrotuksessa ulosvedin ja erilaiset tunkit ovat miltei pakollisia. Kannattaa huomioida akselin päässä mahdollisesti olevat kierteelliset poraukset, akselissa olevat kierteet yms. Näiden hyväksikäyttö esimerkiksi hydraulisen mutterin avulla voi helpottaa irrotusta huomattavasti. Pienet vierintälaakerit voidaan irrottaa kätevästi prässin avulla. Usein tilanne on sellainen, että akselin vierintälaakerit ovat löyhällä sovitteella laakeripesässä, muodostui se sitten laitteen rungosta tai laakeriyksiköstä. Tällöin ulkorenkaiden ja akselin irrottaminen on melko vaivatonta. Kannattaa ottaa huomioon alumiinin huomattavasti terästä suurempi lämpölaajenemiskerroin: alumiinirunkoa lämmitettäessä liitos löystyy entisestään. Tiukkasovitteisen sisärenkaan irrotus akselilta voi sen sijaan olla vaativampaa. Yleensä ongelmana on se, että laakeri on ahdettu akseliolaketta vasten, joka voi haitata ulosvetimen kynsien saamista sisärenkaaseen. Tällöin on harkittava tarvitseeko laakeria saada vaurioitta ulos. Jos ei, niin laakeria voidaan vetää ulkorenkaastakin ulos. Jos halutaan minimoida laakerille aiheutuvat vahingot, laakerin ulkorengasta olisi pyöritettävä irrotuksen aikana. Näin ollen vierintäelimien juoksurataan mahdollisesti aiheuttama rasite tasoittuisi tasaisesti koko vierintäradalle. Akselin kulumisen estämiseksi se kannattaa voidella öljyllä jotta ulosvedettävä laakeri liukuu helpommin.

On myös mahdollista, ettei ulosvetimen kynsiä saada hyvin edes laakerin ulkorenkaan taakse. Silloin pitää käyttää tai tehdä tarkoitukseen sopivia levyjä tai holkkeja, jotta ulosvetimen voima saataisiin laakerin taakse. Seuraava kuva (Kuva 50) esimerkinomaisena ratkaisuna.



Kuva 50. Ulosvetimen kynsillä ei aina saada otetta laakerin takaa.

Jotkut akselit on varustettu öljykanavilla laakerin irrotusta varten. Tällöin irrotuksessa ja asennuksessa voidaan öljyinjektorilla – käsikäyttöisellä öljypumpulla – painaa öljyä laakerin ja akselin väliin (Kuva 51). Akselin vaippapinnalla on usein urat, joita pitkin öljy ja öljynpaine pääsevät vaikuttamaan tasaisesti koko laakerin vaippapintaan. Paine pitää saada niin korkeaksi, että öljyn paine painaa laakerin sisäkehän halkaisijaa hieman isommaksi. Näin lieriöreikäisen laakerin voi saada käsivoiminkin akselilta. Lieriöpintaisen laakerin poisotossa kannattaa kuitenkin huomioida se, että tällöin tulisi käyttää paksumpaa öljyä mitä kartioreikäisten laakerin kanssa. Tämä johtuu siitä, että vedettäessä laakeria öljynjakouran ohi uutta öljyä ei saada enää painettua pintojen väliin. Näin ollen öljyn tulisi olla niin paksua, noin  $1000 \text{ mm}^2$ , ettei se heti poistuisi pintojen välistä (SKF 1994, 96). Kartioreikäiset laakerit voivat irrota akselilta ilman ulkoista voimaa pelkän öljynpaineen avulla. Pitää laittaa esimerkiksi akselimutteri laakerin eteen, ettei se pääse sinkoutumaan akselilta pois.

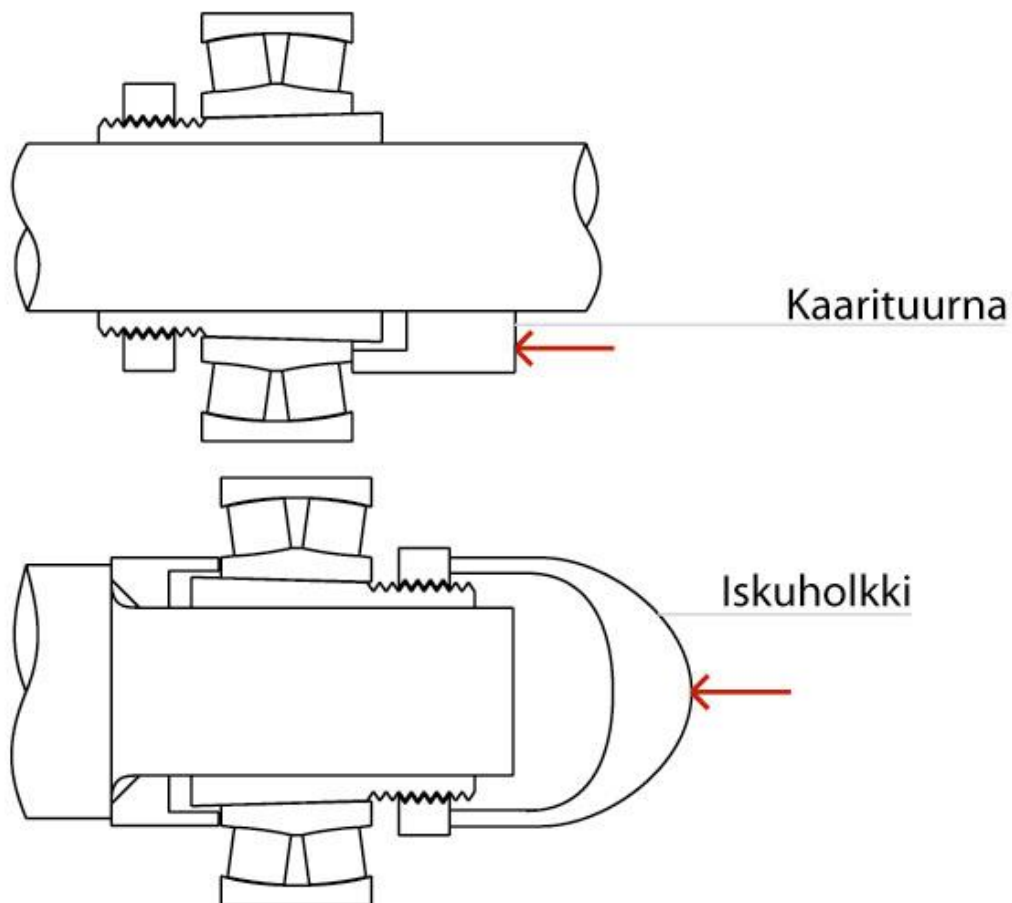


Kuva 51. Jos akseliin on tehty öljykanavat, ne helpottavat laakerien irrotusta. Öljykalvo laakerin ja akselin välillä pienentää kitkaa huomattavasti.

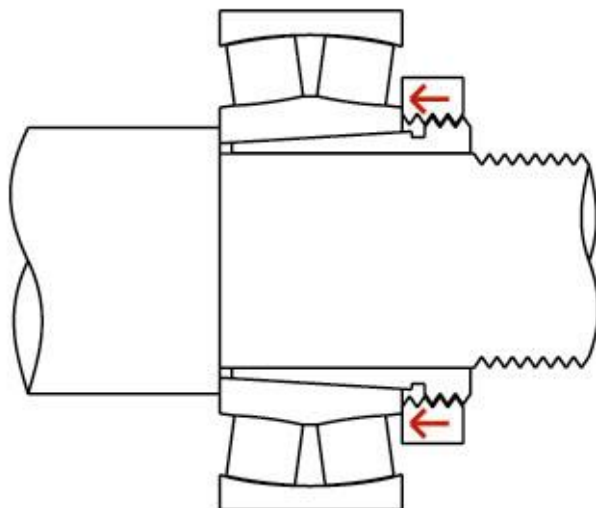
Vierintälaakerin irrotuksen yhteydessä on harvemmin hyödyllistä lämmittää laakeria (Pakkala 1978, 114). Kokeilunhalu varmasti syntyy laakerin sisärenkaan lämmittämiseen, jotta sen saisi helpommin pois akselilta, mutta käytännössä ilman erikoistyökaluja lämpö johtuu laakerin sisärenkaasta niin nopeasti akseliin, ettei tarvittavaa lämpötila- ja lämpölaajenemiseroa synny. Menetelmää kyllä käytetään esimerkiksi lieriömäisten rullalaakerien kanssa. Kyseinen laakerihan on purettava, joten ulkorenkaan ja rullaston, olettaen että rullasto on ohjauksessa ulkorenkaan kanssa, saa vetämällä irti sisärenkaasta. Akselille jäänyt sisärenkas voidaan koettaa irrottaa lämmittämällä alumiininen rengasmaisen työkalu 280 celsiusasteeseen ja sivelemällä hapettumisen kestävää öljyä irrotettavan sisärenkaan pinnalle (SKF 1994, 107). Työkalu puristetaan sisärenkaan ympärille, jolloin se nopeasti lämmitessään lämpölaajenee enemmän kuin akseli. Tekniikkaa onkin hankala soveltaa, jos nimenomaista työkalua ei ole saatavilla, mutta joka tapauksessa laakerinrenkaan nopea lämmittäminen on oleellisin tekijä lämpötilaeron avulla irrotettaessa.

Kiristys- ja vetoholkeille kiinnitetyillä laakereilla on kartiomainen sisäreikä. Joskus holkeissa on paineöljykanavat. Vetoholkille asennetut laakerit ahdetaan aina akseliolaketta vasten (Ansaharju 2009, 158). Kiristysholkit voivat sen sijaan olla missä tahansa akselilla, joten kiristysholkin sijainti tulisi merkitä ennen irrotusta (SKF 1994, 110). Kiristysholkkien kanssa hyödyllisemmät työkalut ovat vasara,

erilaiset holkit, kaarituurnat sekä hydraulinen mutteri. Vetoholkeille asennetut laakerit on helppo irrottaa, koska niissä on kierteet lukitusmutteria varten, ja sitä kiristämällä vetoholkki työntyy laakerista ulos. Holkin kierteisiin sekä lukitusmutterin laakeria vastaan hankaavalle pinnalle laitetaan voiteluainetta. Ylempi kuva (Kuva 52) esittää kiristysholkille ja alempi kuva (Kuva 53) vetoholkille asennetun laakerin irrotuksen.



Kuva 52. Kohdista kiristysholkin purkamisessa voima nuolen osoittamaan suuntaan esimerkiksi vasaralla.



Kuva 53. Veto- ja kiristysbolksissa on railo, jota avaamalla esimerkiksi ruuvimeisselillä saadaan holkin halkaisija suurenemaan sen verran että se on helpompi liu'uttaa akselilta pois.

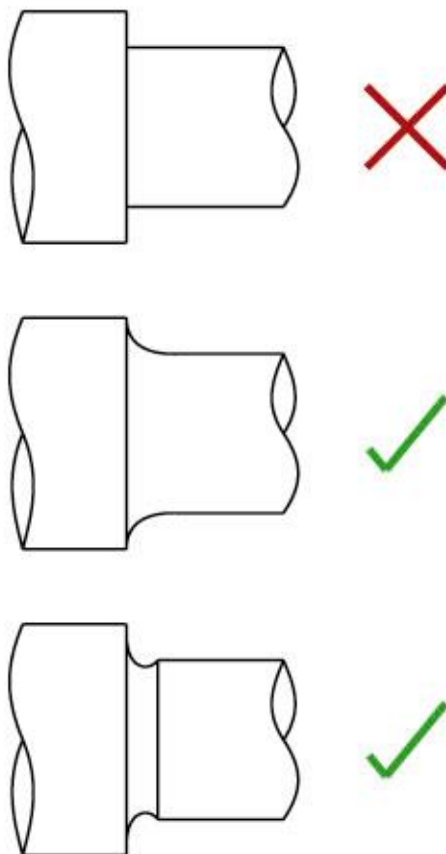
Veto- ja kiristysbolksissa on railo, jota avaamalla esimerkiksi ruuvimeisselillä saadaan holkin halkaisija suurenemaan sen verran että se on helpompi liu'uttaa akselilta pois.

## 5 AKSELIN TARKASTUS

Akselista tulisi tarkistaa (laakeriasennusten suhteen) laakereiden vaippapintojen halkaisijat ja kunto. Vaippapinnalla tarkoitetaan sitä osaa akselista, jota vastaan liukulaakeri tukee tai vierintälaakerin sisärengas asennetaan. Liukulaakereiden kanssa akselin halkaisija tulee tietää tarkastikin, koska yhdessä laakeripesään asennetun liukulaakerin sisähalkaisijan kanssa näillä tiedoilla voidaan tarkistaa laakerin säteisvälys.

Akselin pinnankarheudella on suuri merkitys liukulaakerin kestoikään (Pyy ym. 1995, 172). Mitä tasaisemmaksi akselin vaippapinta on saatu, sitä vähemmän liukulaakeri kuluu. Lisäksi koko akselin lujuus kasvaa huomattavasti jos akselin pinta on kiillotettu (Pakkala 1978, 82). Tämä johtuu siitä, että mikä tahansa jyrkkä kulma – myös naarmun aiheuttama – akselin pinnalla aiheuttaa kyseiseen kohtaan jännityshuippuja. Nämä pienet jännitykset voivatkin ajan saatossa alkaa väsyttämään

materiaalia yhä enemmän ja enemmän aiheuttaen lopulta isonkin murtuman akseliin. Samasta syystä myös akselin olakkeet tulisivat olla aina pyöristettyjä, kuten seuraava kuva (Kuva 54) esittää.



Kuva 54. Akseliolakkeet tulisivat olla pyöristettyjä jotta teräviä kulmia ja siten jännityshuippuja ei ilmenisi.

Kaikista loivin pyöristys olisi paras, mutta koska akseliolakkeita käytetään pitkälti akseleille asennettävien elimien – esimerkiksi hammaspyörien ja vierintälaakereiden – aksiaaliseen kohdistukseen, on keksitty tapoja jolla pyöristys on mahdollinen ja silti asennettava osa voidaan asentaa kiinni olaketta vasten. Esimerkkinä tällaisesta on kuvan (Kuva 54) alin esimerkki. Voidaan myös käyttää väliholkkeja kuten aiemmassa kuvassa (Kuva 52) kiristysholkin kanssa on tehty. Näin olakkeen ja laakerin välinen mitta pysyy tarkasti samanlaisena. Tämän työn kuvissa ei ole aina piirretty akselin olakepyöristystä, vaikka käytännössä ne ovat välttämättömyys.

Myös vierintälaakereidenkin renkaiden reunat on pyöristetty, joten ne on mahdollista joissain tapauksissa asentaa suoraan pyöristettyä olaketta vasten.

Kuten liukulaakerin kanssa, myös tiivistimet kestävät ja tiivistävät sitä paremmin mitä tasaisempi niiden juoksupinta akselilla tai laakeripesässä on.

Akselin kolhut tulisi tasoittaa jo akselin kestävyysdenkin takia, mutta ota erityisesti huomioon se osuus millä lieriöpintainen vierintälaakeri ahdetaan akselille. Varsinkaan kutistusliitoksien kanssa ei olisi suotavaa että laakerin eteneminen asentamisvaiheessa keskeytyy akselilla olevaan kolhiumaan.

## 6 LIUKULAAKERIN ASENTAMINEN

Liukulaakereiden asentamisen kanssa menetelmiä ei ole moniakaan. Yleensä liukulaakerit ovat puristus-, kutistus- tai kiristysliitoksella kiinni laakeripesässään. Puhtaus on laakeriasennuksissa aina tärkeää.

### 6.1 Ahtaminen

Luultavasti yleisin liukulaakeriliitos on puristusliitos. Tässä tapauksessa liukulaakeriholkki painetaan kyseiselle laakerille tehdyn asennustuurnan avulla laakeripesään. Menetelmä on sama kuin laakerin irrotuksessa, huomioon ottaen tietysti liukulaakeriholkin mahdolliset laipat. Suositeltavin menetelmä on käyttää prässiä. Laakeripesässä ei saa olla kolhuja. Jos laakeripesä on jaettava, kuten esimerkiksi kampiakselin runkolaakerointi, laakerin kiristäminen tapahtuu laakerikannen pulttien avulla. Ne kiristetään tasaisesti ja useassa vaiheessa suositeltuun loppumomenttiin.

Akselin ja liukulaakerin suositeltava välys tulee laskea laakeripesään asennetun liukulaakerin sisähalkaisijan ja akselin vaippapinnan halkaisijan erotuksena. Ahdettu liukulaakeri nimittäin puristuu kasaan laakeripesässään ja todellinen sisähalkaisija



saadaan vasta asennetun laakerin avulla. Jaettavan laakeripesän tapauksessa momenttiin kiristäminen tulee siis tehdä kahdesti: ensin ilman akselia ja vasta sitten lopullinen asennus.

On katsottava, mikä pinta laakerissa kantaa eniten käytössä. Sillä pinnalla ei tulisi olla öljyuria. Tulee myös tarkistaa että liukulaakerissa oleva voiteluöljyreikä tulee sellaiseen paikkaan laakeripesässä, jossa vaikuttaa voiteluöljynpaine.

## 6.2 Jäähdyttäminen

Joskus laakeriholkit ovat kiinnitetty laakeripesiinsä kutistusliitoksella. Tässä tapauksessa laakeriholkkia jäähdytetään esimerkiksi nestemäisessä työssä ja sen jälkeen painetaan laakeripesäänsä. Tällöinkin voidaan tarvita hieman voimaa, joten sopiva asennustuurna ja vasara kannattaa pitää lähettyvillä. Mittaan sorvattu asennustuurna on joka tapauksessa miltei välttämättömyys, sen avulla laakeriholkin akselilinja on helpompi saada yhdensuuntaiseksi laakeripesän akselilinjan kanssa. Asennustuurnakin tulisi jäähdyttää. Muutoin laakeriholkki jo tuunaan asetettaessa lämpenee ja asennus hankaloituu.

Ongelmia muodostuu usein lämmön nopeasta johtumisesta laakeripesästä asennettavaan holkkiin. Tällöin holkki voi helposti jäädä kiinni puolitiehen. Asiaan ei oikein ole muuta ratkaisua kuin koettaa minimoida asennusaika ja maksimoida laakerin ja pesän lämpötilaero, tarvittaessa lämmittämällä myös laakeripesää.

## 6.3 Avarrus

Jos asennetun laakerin sisähalkaisija on liian pieni, toisin sanoen, jos ei saada riittävää välystä akselin ja laakerin väliin, pitää laakeri kalvaa. Kalviminen muistuttaa poraamista, mutta kalvinterien terärakenne on hieman erilainen. Jos samalla akselilla on useita liukulaakereita, olisi syytä pystyä aarporaamaan kaikki laakerit kerralla. Näin eri laakereiden reiät olisivat varmasti samansuuntaisia akselin kanssa. On muistettava puhdistaa kalvamisesta aiheutuneet metallilastut pois

laakerista ja huomioida, että niitä on voinut päästä öljykanaviin ellei tätä ole ennen kalvamista pystytty estämään.

#### 6.4 Asennuksen yhteydessä tapahtuva voitelu

Liukulaakerit on voideltava ennen asennusta. Laakerin liukupinnoille laitetaan mieluiten samankaltaista voiteluainetta kuin mitä laakerin voiteluun käytettäisiin koneen käydessä. Sintratut laakerit imevät voiteluainetta huokosiinsa. Tällaiset laakerit tulisi lämmittää 80 asteisessa öljyssä, jotta ne laajenisivat ja siten täyttyisivät mahdollisimman hyvin öljyllä (Ansaharju 2009, 137).

## 7 VIERINTÄLAAKERIN ASENTAMINEN

### 7.1 Yleistä vierintälaakerien asentamisesta

Suurin osa vierintälaakereista kestää kauemmin kuin laitteet mihin ne on asennettu. Vaurioituneista laakereista noin yksi kolmasosa vaurioituu vierintälaakerin materiaalin väsymisestä, joka aiheutuu vierintäelimien laakerirenkaiden juoksuratoihin aiheuttamista leikkausjännityksistä. Leikkausjännitykset kasvavat laakerin kuormituksen kasvaessa, toisin sanoen mitä isompi on laakerin akselia tukeva voima. Toinen kolmasosa johtuu huonosta voitelusta, laakeriin ei ole päässyt muodostumaan voiteluainekalvoa aiheuttaen mikrohitsautumista ja kulumista. Viimeinen kolmasosa taas muodostuu asennusvirheistä ja laakeriin päässeistä epäpuhtauksista. (SKF 1994, 18; Pyy ym. 1995, 120.)

Asennuksen aikana puhtaudesta huolehtiminen on siis erittäin tärkeää. Laakeri kannattaa säilyttää alkuperäispakkauksessaan asennushetkeen asti. Laakeriin on laitettu tehtaalla suoja-ainetta, mutta sitä ei tarvitse pestä pois laakerista. Vain laakerin sisärenkaan sisäreikä ja ulkorenkaan ulkoreuna pyyhitään ennen asennusta. On tosin muutamia poikkeuksia jolloin laakeri tulisi puhdistaa kokonaan ennen

asennusta esimerkiksi öljyssä. Tällaisia tilanteita on, kun laakeri voidellaan käytön aikana rasvalla jossa on sakeutusaineena polyureaa tai teflonia (kohta 2.8.2). Usein edellisen kaltaiset rasvat ovat synteettisiä ja niitä käytetään vain erikoistilanteissa erittäin kuumissa ja kylmissä olosuhteissa. Jotkut isot laakerit upotetaan valmistettaessa suojevahaan, joka jättää laakeriin niin paksun kerroksen että se kannattaa pestä pois (SKF 1994. 134).

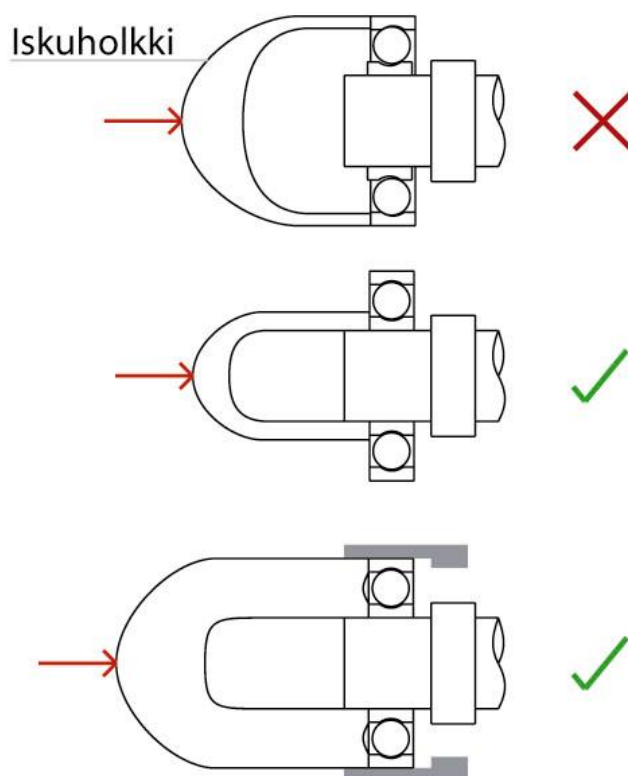
Viimeistään tässä vaiheessa pitää tarkistaa, että akselin pinta on kolhuton jotta laakerin voi ahtaa paikalleen. Mahdolliset kolhut poistetaan esimerkiksi hienolla viilalla. On parempi, jos pinnan epätasaisuus on kovera kuin kupera. Näin varmistetaan, että laakerilla on mahdollisuus siirtyä paikalleen ilman ylimääräistä voimaa. Koveralta näyttävän kolhiuman reunoilla on luultavasti myös kraatterinomainen kupera reuna. Vaativissa asennuksissa olisi myös mitattava akselin ja laakeripesän tarkka halkaisija ja mahdolliset muotovirheet. Toleranssirajat saat laakerivalmistajalta.

Vierintälaakerit voidaan asentaa paikalleen tiukalla tai löyhällä sovitteella. Löyhä sovite tarkoittaa käytännössä sitä, että sovitteen saa asennettua käsivoimin. Tiukkaa sovitetta käytetään sen sijaan siinä laakerirenkaassa, johon vaikuttaa pyörivä kuormitus. Yleensä laakeripesä on paikoillaan ja akseli pyörii, tällöin laakerin sisärenkaaseen vaikuttaa pyörivä kuormitus joten se asennetaan tiukalla sovitteella. Tiukka sovite saadaan aikaan puristus- tai kutistusliitoksella. Eronahan oli, että puristusliitoksessa laakeri painetaan voimalla akselille kun taas kutistusliitoksessa laakeri lämmitetään ja asetetaan kohdalleen. Käytännössä kutistusliitoksessakin voi joutua käyttämään voimaa. Kutistusliitoksessa kappaleiden välinen ahdistus on suurempi kuin puristusliitoksessa (Pakkala 1978, 23). Puristusliitoksen aikaan saamista voidaan helpottaa johtamalla öljyä liitoskohtien väliin, jolloin voidaan puhua myös paineöljyliitoksesta (Pakkala 1978, 23).

Ennen laakerin asennusta pitää varmistaa että akselilla on kaikki tarvittavat elimet laakerin ja seuraavan olakkeen tai laipan välillä. Esimerkiksi tiivistimet voivat olla tällaisia osia jotka tulee asettaa akselille ennen laakeria.

Akselin tai laakeripesän laakeria vastaan tulevat pinnat voidaan öljytä kevyesti laakerin ahtamisen helpottamiseksi (SKF 2005, 261). Liitosta ei haittaa, vaikka vastinpintojen väliin jää öljyä (Hagman, sähköposti 21.12.2011). Poikkeuksen sääntöön muodostavat kiristys- ja vetoholkit. Tällaisia holkkeja käytettäessä akselia ei voidella, vaikka tällöin holkin siirtäminen oikeaan kohtaan akselilla saattaa olla vaivalloista. On nimittäin vaarana että holkki alkaa pyöriä akseliin nähden (Hagman, sähköposti 28.2.2012).

Vierintälaakereiden asennuksen tärkeimpiä sääntöjä on se, ettei asennusvoima saisi vaikuttaa vierintäelimien läpi. Toisin sanoen asennuksen ahtamisvoima tulisi vaikuttaa siihen laakerinrenkaaseen, joka on asennettu tiukalla sovitteella. Yleensä laakerin sisärenkas tulee kiinnittää tiukalla sovitteella akseliin. Tällöin ahdettaessa laakeria akselille tulee ahtamisvoima vaikuttaa laakerin sisärenkaaseen. Yleensä on helpointa asentaa ensin laakerirengas, joka tulee vastinpinnalleen tiukalla sovitteella. Jos laakeria akselille asennettaessa painetaan ulkorenkaasta vaikuttaa voima vierintäelimien kautta laakerin sisärenkaaseen, ja vierintäelimet voivat painaa kuopat laakerin juoksurataan (Kuva 55).

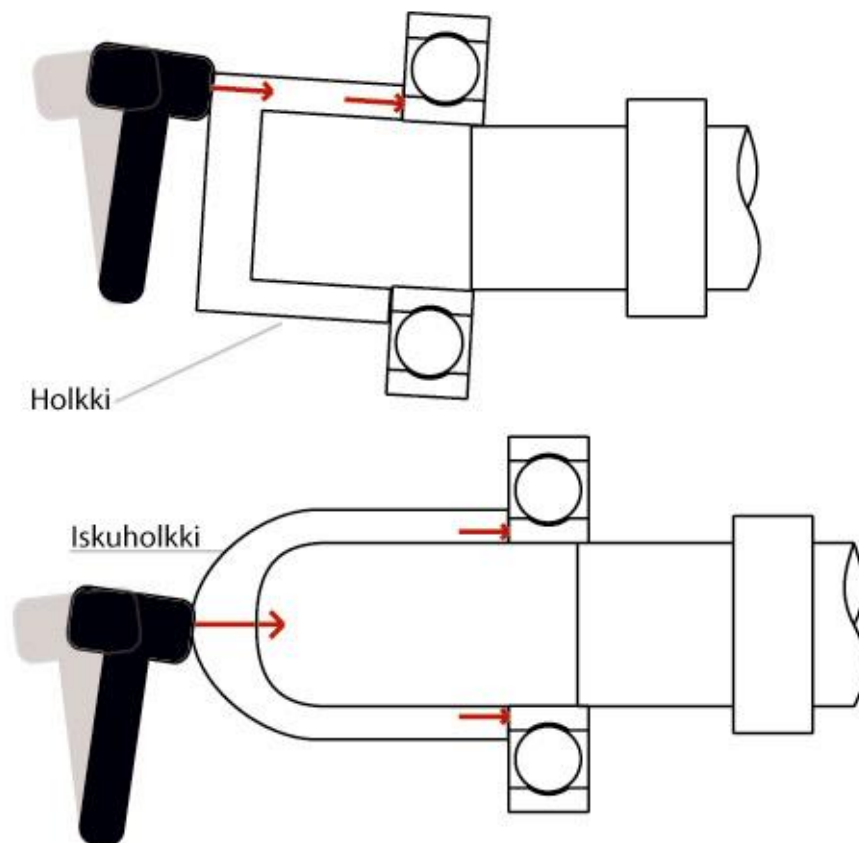


Kuva 55. Asennusvoima tulee kohdistaa siihen vierintälaakerin renkaaseen joka asennetaan tiukalla sovitteella. Jos vaaditaan tiukka sovitte sekä akseliin että laakeripesään, ajetaan molempia laakerirenkaita samaan aikaan.

Jos asennuksessa joudutaan käyttämään vasaraa ja holkkia, tulee mieluiten käyttää tavallista vasaraa (SKF 1994, 138). Syynä on se, että kuparivasarasta lentää helposti pieniä lastuja. Tämä on pidettävä mielessä kun asennetaan laakereita – esimerkiksi alumiinisen asennustuurnan kanssa on sama riski. Vasaralla ei saa koskaan lyödä suoraan laakeriin: laakeri voi lohjeta.

Varmasti yksi yleisimpiä ongelmia laakereiden asennuksessa on se, ettei asennettavan laakerin kuviteltu akselilinja ole samansuuntainen vastakappaleen kanssa, ts. laakeria painetaan akselille tai laakeripesään vinoon. Tähän ei oikein auta kuin huolellisuus ja kokemus. Varsinkin kutistusliitosten kanssa laakerin ja akselin tai laakeripesän akselin kulma-ero saattaa hidastuttaa asennusta aiheuttaen kappaleiden lämpötilaeron tasoittumisen. Mitä tahansa apuvälinettä ahtamisessa käytetään - prässiä, tunkkia, holkkeja tms. – pitäisi asennusvoima saada vaikuttamaan mahdollisimman tasaisesti laakerirenkaan eri kohtiin. Näin laakeri

ohjautuu mahdollisimman tasaisesti vastinpinnalleen. Seuraavassa kuvassa (Kuva 56) esitetty miten muotoillun iskuholkin käytöllä parannetaan ahtamisvoiman tasaisesti jakautumista verrattuna tasapäiseen holkkiin.



Kuva 56. Asennusvoima tulisi vaikuttaa akselilinjan suuntaisesti sekä tasaisesti laakeriin.

## 7.2 Lieriömäiselle pinnalle asentaminen

Pienet laakerit, tässä tapauksessa tarkoittaen vierintälaakereita, joiden reiän halkaisija on alle 70 millimetriä, voidaan asentaa paikalleen kylminä ahtamalla. Tällöin laakeri vain painetaan paikoilleen voimalla. Voidaan käyttää esimerkiksi prässiä, tunkkia tai vasaraa. Tällöin kysymyksessä on puristusliitos.

On muistettava kohdistaa voima oikeaan laakerirenkaaseen.

Perussäännön mukaan kestovoideltuja laakereita ei tulisi lämmittää. Vaikka saattaa tuntua hyvältä idealta lämmittää laakeria ikään kuin varmistaakseen laakerin

saaminen paikalleen, kannattaa muistaa että varsinkin laakerin normaalin käyttölämpötilan (noin 60 celsiusasteen) ylitys alkaa nopeasti hapettamaan laakerin sisällä olevaa rasvaa.

Ahtamisen onnistumiseen vaikuttavat huomattavasti taustatyöt: akselin pinnanlaatu sekä hyvä asennusholkki ja asennusjärjestely. Hyvä asennusholkki tarkoittaa, että asennusholkki on sopivan kokoinen ja päätypinnat ovat yhdensuuntaiset, jotta holkki ei esimerkiksi prässissä taitu vinoon. Asennusjärjestelyssä on tärkeää saada voima vaikuttamaan samansuuntaisesti ja samankeskeisesti holkin ja laakerin akselilinjan kanssa. Tunkki voi helposti vaakasuorassa tapahtuvissa asennuksissa jäädä vinoon sen oman painonsa vuoksi.

Lieriömäiselle pinnalle asennettaessa laitteen suunnittelija on määrännyt miten tiukalla sovitteella laakerit istuvat akselilla tai laakeripesässä. Tähän vaikuttavat laakerin sisärenkaan kohdalla reiän halkaisija ja akselin halkaisija ja vastaavasti ulkorenkään kohdalla laakeripesän reiän halkaisija ja laakerin ulkorenkään ulkohalkaisija. Tiukka sovite myös vähentää laakerin sisäistä välystä. Ota huomioon purkautuvien lieriömäisten rullalaakerien kohdalla se, että laakerinvalmistaja on valinnut parhaiten sopivat sisä- ja ulkorenkaat toisiinsa ja näin ollen ristiin käytettäessä sisäinen vällys ei välttämättä ole täysin optimaalinen (Pyy ym. 1995, 132). Vaikka yleensä ottaen asentaja ei pystykään vaikuttamaan sovitteen tiukkuuteen tai laakerin sisäiseen vällykseen, on tarkistusmielessä ja varsinkin vaativammissa kohteissa mitattava tai kokeiltava laakerin vällys. Ei-vaativissa kohteissa riittää, kun tarkistetaan, että laakeri pyörii hyvin ja että heiluttaessa tuntuu pieni aksiaalivällys. Vaativimmissa kohteissa mitataan akselin aksiaalivällys mittakellolla. Tällöin akselia painetaan ja pyöritetään ensin toiseen suuntaan, sitten toiseen. On erittäin oleellista muistaa pyörittää akselia mittauksen aikana: vasta tällöin vierintäelimet todella painautuvat juoksuratojensa pinnoille. Kartiomaisten rullalaakereiden ja viistokuulalaakereiden kohdalla laakerin sisäinen vällys määräytyy laakerirenkaiden aksiaalisen paikan suhteen.

### 7.3 Lämmittäminen

Koska laakerikoon kasvaessa myös ahtamiseen tarvittava voima kasvaa, pitää isommat laakerit asentaa lämpiminä paikalleen. Perussääntönä laakereita ei tulisi lämmittää yli 125 celsiusasteen. Rajan aiheuttaa vierintälaakerin karkaisumenetelmät. Varsinkin vierintäelimet ja niiden juoksuradat tulee olla koviksi karkaistuja. Ei voida myöskään ajatella että laakerin ulkokuorta saisi lämmittää yli tuon rajan, koska metalli voi epätasaisen lämpölaajenemisen vuoksi menettää muotonsa (SKF 1994, 140). Avotulta ei saa käyttää lämmittämiseen koska tällöin voidaan paikallisesti ylittää edellä mainittu lämpötilaraja, vaikkei laakerin kokonaislämpötila vielä korkea olisikaan. Kutistusliitos on usein mitoitettu siten, että laakerin tulisi mennä helposti akselille kun laakerin ja akselin lämpötilaero on 80-90 celsiusastetta. Jos laakeripesän ja laakerin ulkorenkkaan välinen sovite on tiukka, mikä ei ole yleistä, on tällöinkin liitoksen ahdistus usein pienempi kuin laakerin sisärenkaan ja akselin välinen. Laakeripesän ja laakerin lämpötilaeroksi riittääkin usein 20-50 celsiusastetta tiukankin soviteen aikaansaamiseksi (SKF 1994, 140).

Suositteluvia ja yleisiä vierintälaakereiden lämmityslaitteita on neljä: *lämpölevy, induktiolämmitin, lämpökaappi ja öljyastia*.

Lämpölevy muistuttaa sähköliettä. Muistettavaa on että laakereita tulisi kääntää jotta ne lämpiäisivät tasaisesti (SKF 2005, 264).

Induktiolämmitin kehittää ympärilleen suuntaa vaihtavan sähkömagneettisen kentän. Vaihteleva sähkömagneettinen kenttä aiheuttaa lämmittimessä olevaan laakeriin pyörrevirtoja. Nämä virrat lämmittävät laakeria sen sähköisen resistanssin takia. Laakeri siis lämpenee suoraan sisältäkin, eikä lämmön tarvitse johtua ulkopinnasta sisäosiin. Induktiolämmitin onkin nopea tapa lämmittää laakeria.

Lämpökaappi on käytännössä uuni. Etuna on suuri koko. Laakereita voidaan helposti lämmittää samanaikaisesti useita.

Öljyastiassa lämmitetään öljyä johon laakeri upotetaan. On huomioitava ettei laakeri saisi koskea suoraan lämmittimen vastuksiin. Öljyn on myös oltava puhdasta. On



muistettava turvallisuusnäkökohdat: öljyn leimahduspisteen oltava yli 250 celsiusastetta (Ansaharju 2009, 156).

Laakeripesät, jotka monesti voivat olla porauksia koneen rungossa, voidaan lämmittää esimerkiksi pesukoneessa, uunissa tai lämpöpuhaltimella.

On muistettava puhtauden tärkeys vierintälaakereiden kanssa! Kun laakeri nostetaan lämmittimestä, käytetään luultavasti kintaita. Tässä vaiheessa usein unohtuu tarkistaa myös kintaiden puhtaus. Kintaan liat tarttuvat hyvin öljyiseen laakeriin. Asennuksessa laakeri vain yksinkertaisesti painetaan paikoilleen, miltei kaikissa tapauksissa lieriöreikäinen laakeri painetaan akselin olaketta tai väliholkkia vasten. Laakeria painetaan hetki vastinpintaa vasten. Laakeri jäähtyy todella nopeasti, melkein sekunneissa, paikalleen.

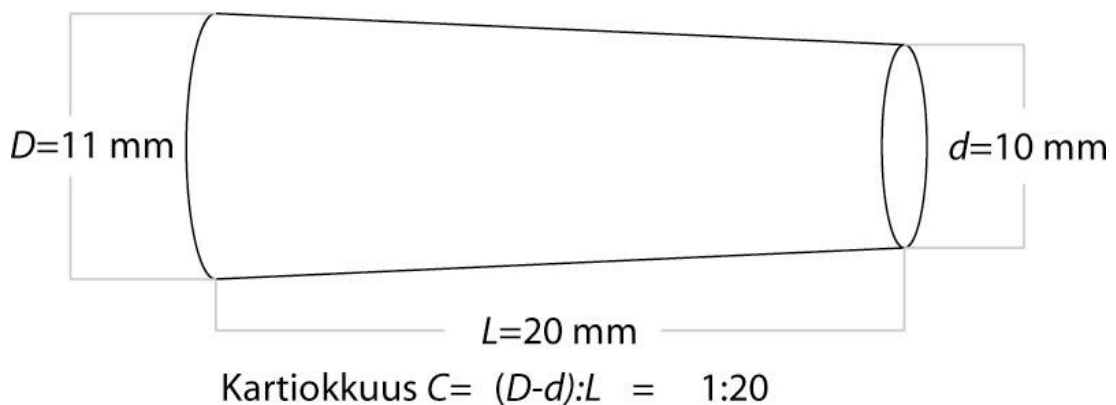
#### 7.4 Kartiomaiselle pinnalle asentaminen

Isoin ero vierintälaakerin asentamisessa kartiomaiselle pinnalle on se, ettei tällöin sovitteen tiukkuutta eikä laakerin sisäistä välystä ole ennalta määrätty akselin ja laakeripesän mitoilla. Laitteen valmistaja ja laakerivalmistaja ovat kyllä antaneet ohjeet tavoitelluille soviteille, mutta asentajan käsissä on se, kuinka lähelle näitä arvoja päästään.

Kartioliitos perustuu siihen, että laakerin sisärengasta ikään kuin väkisin venytetään isommaksi ajamalla sitä ”ylöspäin” kartiota. Tämä aiheuttaa liitoksen ahdistuksen.

Kartioistukka koneistetaan tiettyyn *kartiokkuuteen*. Kartiokkuus voidaan ilmoittaa kartiokulman avulla tai yleisemmin murtolukuna. Tyypillisiä arvoja on 1:12 tai 1:30. Luvut tarkoittavat seuraavaa: ensimmäinen luku, osoittaja, kertoo kartion päiden välisten halkaisijoiden erotuksen millimetreissä sekä jälkimmäinen luku, nimittäjä, on näiden halkaisijoiden välinen aksiaalinen etäisyys millimetreinä (Pere 2009, 29-17). Seuraava kuva (Kuva 57) selventää asiaa. Todellisissa sovelluksissa kartiokkuus saa pieniä arvoja, toisin sanoen kartiomaisen pinnan erottaminen lieriömäisestä saattaa olla äkkiseltään hankalaa. Samasta syystä myös tämän työn kuvissa

kartiomaisten pintojen kartiokkuus on liioiteltu. Kartiomaisella reiällä varustettu vierintälaakeri merkataan lisämerkillä K (Ansaharju 2009, 154).



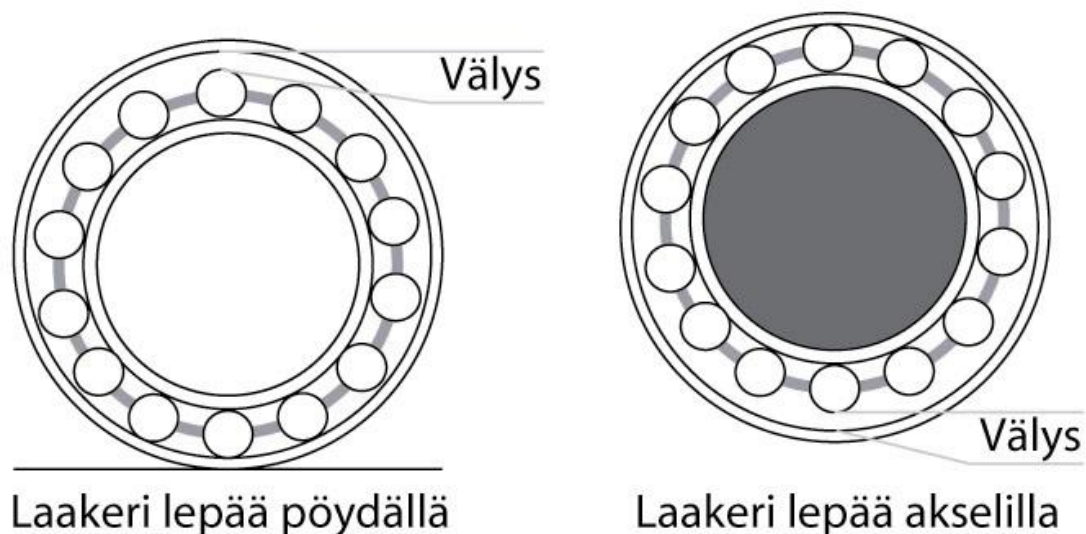
Kuva 57. Kartiokkuuden ilmoittamisen periaate.

Jos laakeri asennetaan kartiomaiselle istukalle, on laakerin reiän kartiokkuus oltava vastaavanlainen. Akseli on valmistettu johonkin tiettyyn kartiokkuuteen, joka selviää mittapiirroksista tai mittaamalla. Kartiopinta tulisi olla virheetön. Sen voi tarkistaa esimerkiksi rengastulkilla ja mittavärillä (SKF 1994, 147). Paras kiinnitys saavutetaan, kun kartiopinta on mahdollisimman sileä ja vapaa epäpuhtauksista. Kartioliitoksen tavoitteena on saavuttaa laakerin sisärenkaan ja vastinpinnan väliin riittävän tiukka sovite. Mikä on riittävän tiukka, riippuu mm. laakerin tyylistä ja koosta sekä akselin materiaalista. Tämän tiedon asentaja saa joka tapauksessa joko laakerivalmistajalta tai laitteen valmistajalta. Sovitteen tiukkuus määritellään sillä, miten paljon laakerin sisärenkas laajenee ahdettaessa akselille. Sisärenkaan laajentuman voi mitata suoraan sisärenkaasta, mutta tämä on käytännössä vaikeaa ja vaatii erityistyökälun. Onkin kehitelty myös muita menetelmiä, joilla sisärenkaan laajentuma voidaan selvittää välillisesti: mittaamalla sisärenkaan aksiaalinen siirtymä, mittaamalla laakerin sisäisen välyksen pientymä tai mittaamalla akselimutterin kiristyskulma.

Jos asennusvaiheessa tiedetään akselin tai holkin kartiomaisuus, voidaan geometrian ja valmiiden taulukoiden avulla päätellä kuinka paljon laakerin sisärenkas laajenee kun sitä ahdetaan kartiomaiselle pinnalle jokin tietty matka. Tällöin asennusvaiheessa mitataankin laakerin aksiaalista siirtymistä. Laitteen valmistaja on esimerkiksi saattanut antaa ahtamisohjeeksi 2-3 mm, joka tarkoittaa että laakerin ja

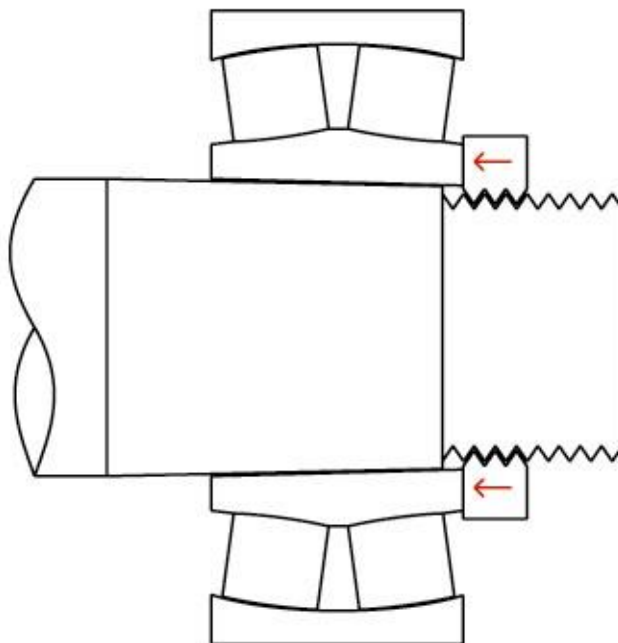
akselin ollessa samanlämpöisiä laakeria ahdetaan kartiolla eteenpäin 2-3 mm siitä pisteestä, kun laakerin sisärengas koskettaa koko vaippapinnallaan vastinpintaa (SKF 1994, 157). Valitettavasti on käytännössä hieman hankalaa todeta, milloin pinnoilla on täydellinen kosketus. Yleensä aloitusmittana pidetään arvoa, joka saadaan, kun laakeri painetaan käsivoimin kartiota vasten. On asentajan päätettävissä, millä tavoin hän haluaa mitata aksiaalissiirtymän. Tapaan vaikuttaa se, onko akselilla olakkeita tms. Rakotulkki ja mittakello ovat käyttökelpoisia mittavälineitä. Akselin mahdollinen jousto on otettava huomioon, jos saatavilla on vain siirtymäarvoja laakerivalmistajan taulukosta. Esimerkiksi onnto akseli voi joustaa laakeria siihen ahdettaessa sen verran ettei aksiaalissiirtymän avulla todennettu sovitteen tiukkuus olekaan riittävä. Tämän takia noudata ensisijaisesti laitteen valmistajan antamia mittoja, joissa akselin mahdollinen onttous ja materiaali on luonnollisesti jo otettu huomioon.

Laakerin sisärenkaan laajentuma saadaan myös selville mittaamalla laakerin sisäisen välyksen pienentymä. Tällöin rakotulkin pitää mahtua vierintäelimien ja ulkorenkaan väliin, joka rajoittaa mittaustavan käytön lähinnä pallomaisiin rullalaakereihin. Mittaus suoritetaan seuraavasti: mitataan ensin laakerin kuormittamattomalta puolelta vierintäelimen ja ulkorenkaan välinen välyys. Tämän jälkeen laakeria aletaan ahtaa akselille, ja aika ajoin mitataan tällöin kuormittamattomalta puolelta vastaava välyys (Kuva 58). Välyksen pienentymän avulla voidaan päätellä milloin laakerin sovitteen tiukkuus on hyväksyttävä. Mittaustapaa käytettäessä laakerin tai laitteen valmistaja antaa säteisvälyksen pienentymän arvon esimerkiksi seuraavasti: min 0,110 mm ja max 0,150 mm. Tällöin laakerin ja vastinpinnan kartiokkuuden arvolla ei ole väliä. Onton tai muuten pehmeän akselin mahdollinen jousto sen sijaan tulee ottaa huomioon kuten aiemminkin.



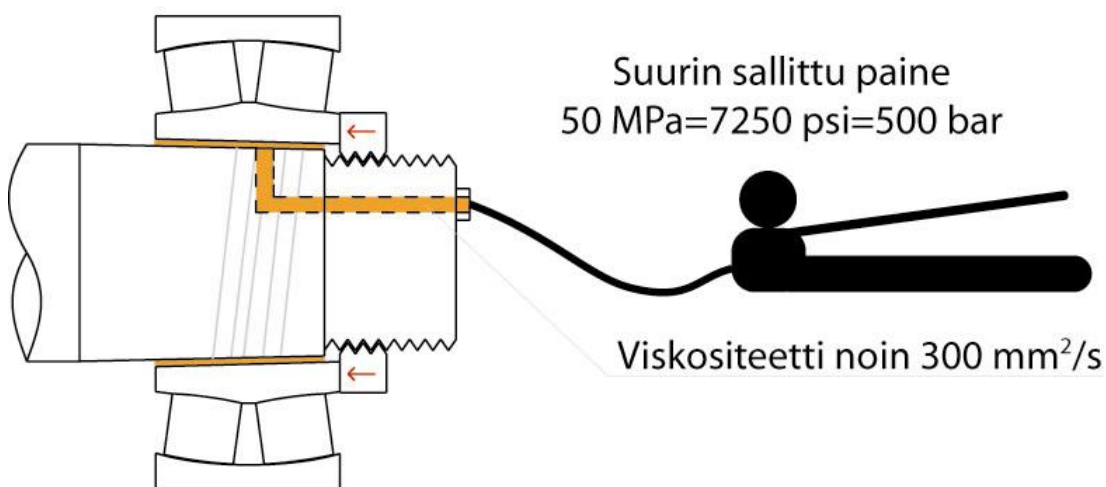
Kuva 58. On muistettava että laakerin oma paino vaikuttaa siihen kummalta puolelta väläksen voi helpoiten mitata. Ensin mitataan alkuvällys. Ahtamisen aikana vällystä mitataan aika-ajoin. Näiden erotus on säteisväläksen pienentymä.

Itse ahtaminen tapahtuu esimerkiksi vasaran ja holkin avulla, akselimutterin ja haka-avaimen avulla tai hydraulisen mutterin avulla. Akselimutteria käytettäessä ahtamiseen se kierretään akselin kierteille ja kiertämällä akselimutteria saadaan akselille asetettua laakeria ajettua kartiopintaa ylöspäin (Kuva 59). Ahtamisvaiheessa varmistinlaatta jätetään pois laakerin ja akselimutterin välistä, koska se saattaa murtua (SKF 1994, 150). Varmistinlaatan paikalleen laittamista varten akselimutteri onkin irrotettava ja kiristettävä taas varmistinlaatan kanssa. Akselimutterin sivupinnat voidellaan jotta mutteri pyörisi tasaisesti. Kuten lieriöreikäistenkin laakerien kanssa, myös kartioreikäisten laakerien asennukseen tarvittava voima kasvaa laakerin koon kasvaessa. Helpotukseksi on keksitty ns. *paineöljymenetelmä*.



Kuva 59. Laakerin ahtaminen kartiomaiselle akselille akselimutterin avulla.

Paineöljymenetelmää voidaan käyttää, jos akseliin on porattu tätä varten öljykanavat. Kanavat on porattu sillä tavoin, että niiden kautta voidaan johtaa öljy laakerin sisärenkaan ja akselin väliin. Tällöin pumpataan öljyinjektorilla öljy erittäin korkeaan paineeseen, kuitenkin maksimissaan 50 megapascaliin. Öljyn korkea paine aiheuttaa sen, että laakeri ei koske enää suoraan akselia vaan väliin muodostuu öljykalvo. Näin laakeria on huomattavasti helpompi ahtaa kartiopintaa ylöspäin. Käytettävän öljyn viskositeetin tulisi olla noin  $300 \text{ mm}^2/\text{s}$ . Asennusjärjestelyä havainnollistaa seuraava kuva (Kuva 60). (SKF 1994, 96.)



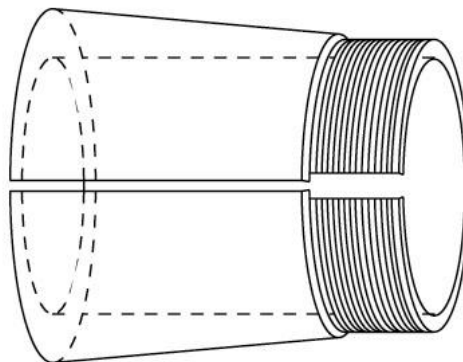
Kuva 60. Laakerin ahtaminen akselille paineöljymenetelmää ja akselimutteria hyväksikäyttäen.

Paineöljymenetelmän etuna on kitkan pienentäminen laakerin sisärenkaan ja akselin välillä. Muuten laakeri ahdetaan paikalleen samoin kuin ilman öljyä. On siis tilannekohtaisesti päätettävä, ahdetaanko laakeri esimerkiksi akseli- tai hydraulisella mutterilla tai jollakin muulla tavalla. Yleensä akselin kartiopinnalle on tehty urat, joita pitkin öljy pääsee vaikuttamaan koko laakerin vaippapinnalle. Kun laakeri on saatu ahdettua paikoilleen sopivaan tiukkuuteen, paine vapautetaan öljyinjektorissa olevalla venttiilillä ja tämän jälkeen odotetaan joitakin kymmeniä minutteja, että öljy puristuu pintojen välistä pois. Öljyä tulee jäämään silti hiukan pintojen väliin, tämä ei ole haitallista.

Kartiomaisella reiällä varustettuja laakereita lämmitetään vain, jos ei muulla tavoin saada aikaan riittävää voimaa (SKF 1994, 152). Muuten lämmitysohjeet ovat samankaltaiset kuin lieriöreikäistenkin laakerien kanssa, mutta tällöin on erittäin tärkeää mittaamaan tehtyjen väliholkkien tai -palojen avulla estää ettei laakeria ajeta liian ylös kartiolla. Lämmin laakeri nimittäin voi olla niin paljon laajentunut, että se saadaan kartiolle liian ylös ilman sen suurempaa voimaa. Tällöin laakerin sisäinen vällys voi jäädä liian pieneksi.

#### 7.4.1 Kiristysholkille asentaminen

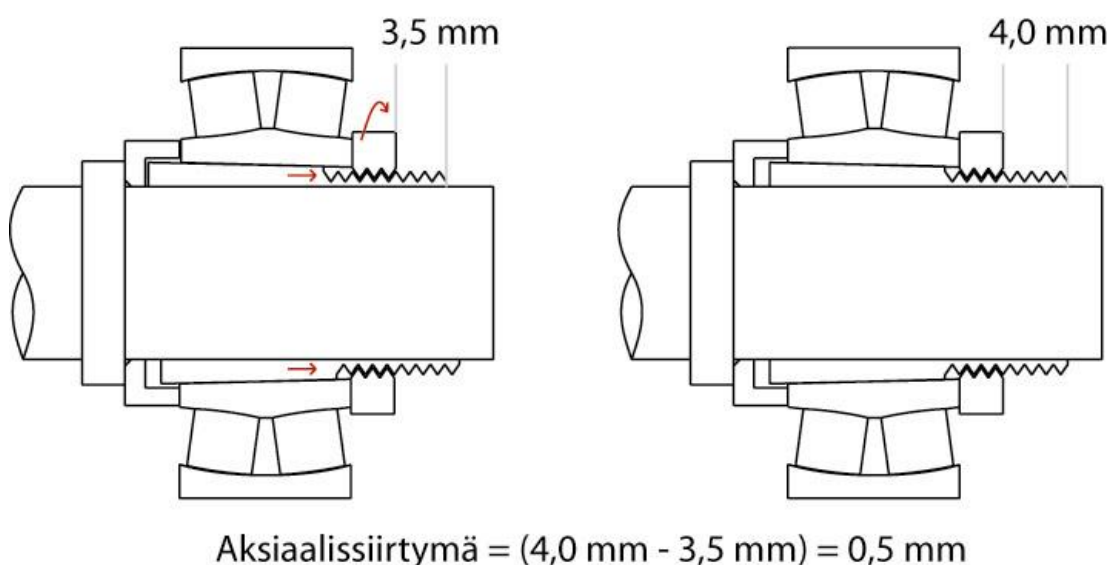
Kiristysholkkia (Kuva 61) käytetään, jotta akselin pinnanlaadulla ei olisi niin suuria vaatimuksia. Kiristysholkkia käytettäessä laakeri usein tukeutuu välirenkaaseen, joka puolestaan tukeutuu akselin olakkeeseen (Kuva 62). Tällöin laakeri tulee itsestään oikealle kohdalle. Sen sijaan jos akselilla ei ole olakkeita, on kiristysholkin oikea paikka määritettävä joko piirustuksia tai purkamisvaiheessa merkattua kohtaa hyväksi käyttäen. Kiristysholkki toimii laakerin suhteen kuten kartiomainen akseli ja tässäkin tapauksessa laakerin säteisvälystä suoraan tai aksiaalisen siirtymän kautta havainnoitaessa voidaan saavuttaa haluttu sisärenkaan sovitteen tiukkuus. Kiristysholkki ei ole yhtenäinen rengasmainen kappale, vaan siinä on rako. Tätä rakoja vääntämällä, esimerkiksi ruuvitaltalla, voidaan kiristysholkkia siirtää helpommin akselilla. Akselia ei saa voidella.



Kuva 61. Kiristysholkki.

Jos laakeri saa paikkansa akselilla olaketta vasten ja käytetään kiristysholkkia, on olakkeen ja laakerin väliin tultava välirenkas. Välirenkaan tarkoituksena on sallia kiristysholkin liikkuminen laakerin alla asennus- ja purkuvaiheessa. Välirenkaan ja olakkeen avulla saadaan laakeri akselilla tarkalleen suunnittelijan haluamaan kohtaan.

Se miten tiukan soviteen kyseinen laakeri tarvitsee sisärenkaan ja kiristysholkin väliin, selviää laitteen valmistajan ohjeista tai laakerinvalmistajan yleisohjeista. Ohje on annettu esimerkiksi laakerin säteisvälyksen pientymän arvona, aksiaalissiirtymän arvona ja/tai kiristyskulman arvona. Seuraavana esitetty yksi tapa (Kuva 62) miten ja mistä aksiaalissiirtymä voidaan mitata esimerkiksi työntömitalla.



Kuva 62. Aksiaalissiirtymän mittaaminen kiristysholkin kanssa. Huomaa että itse laakeri ei siirry aksiaalisesti, vain kiristysholkki.

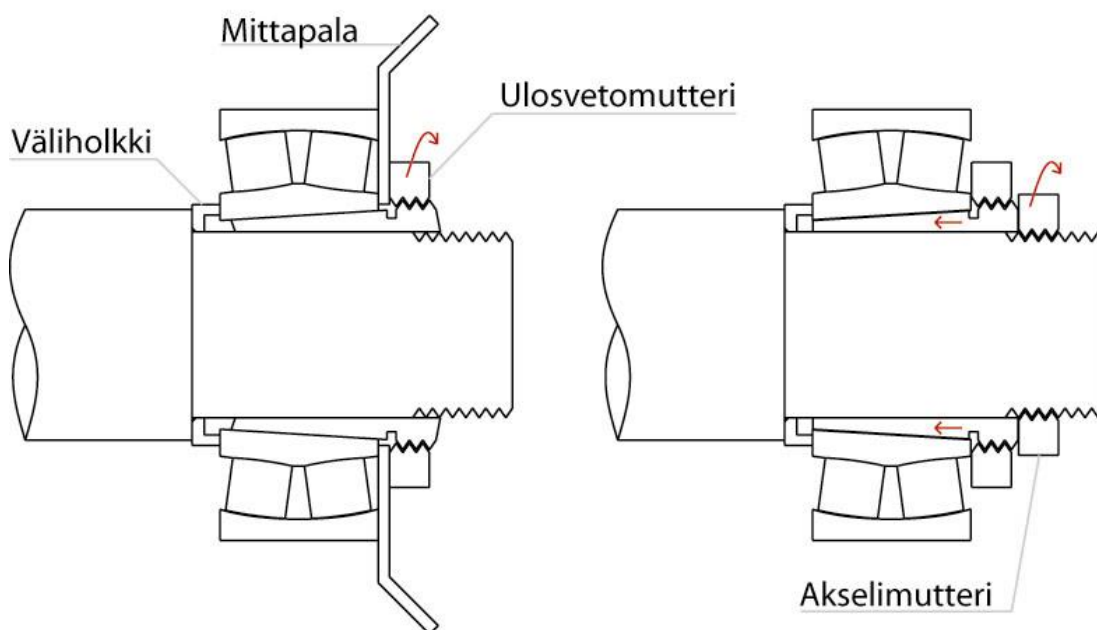
Vaikka akselin ja kiristysholkin välinen pinta tulisi olla vapaa öljystä, tulisi kiristysholkin ja laakerin sisärenkaan välinen pinta voidella kevyesti öljyllä (SKF 1994, 158). Myös kiristysholkin kanssa voidaan käyttää apuna hydraulista mutteria, paineöljymenetelmää tai lämmitystä.

#### 7.4.2 Vetoholkille asentaminen

Vetoholkki eroaa kiristysholkista siinä, että se painetaan laakerin alle kiilamainen pää edellä. Laakerin tulee näin ollen olla tuettuna akselin olakkeeseen tai välirenkaaseen jotta se ei liikkuisi vetoholkin mukana. Vetoholkin ominaisuuksiin kuuluu myös kierre, joka helpottaa vetoholkin ulosvetämistä laakerin alta sopivan irrotusmutterin avulla. Akselia ei tulisi voidella vetoholkin paikalleen saamisen helpottamiseksi (Hagman, sähköposti 28.3.2012).

Kuten kiristysholkinkin kanssa, asentaja saa laakerin aksiaalissiirtymän arvot laitteen korjauskäsikirjasta tai laakerivalmistajalta. Aksiaalissiirtymä lasketaan siitä pisteestä, kun laakerin sisärenkas on täysin kosketuksissa vetoholkin kanssa. Oikean aksiaalissiirtymän saavuttamiseen on asentajalla monia vaihtoehtoja. Seuraavassa esitetty yksi tapa (Kuva 63). Valmistetaan aksiaalissiirtymää vastaavat mittapalat, esimerkiksi oikean paksuiset peltilevyt käyvät. Asetetaan ulosvetomutteri vetoholkkiin ja työnnetään vetoholkki laakeria vasten. Asetetaan aksiaalissiirtymän arvoon valmistetut mittapalat ulosvetomutterin ja laakerin väliin. Kiristetään ulosvetomutteria hieman, jottei mutterin, mittapalojen ja laakerin väliin jää välystä. Vetoholkki ei kuitenkaan saisi alkaa luistaa laakerin alta. Vedetään mittapalat pois avaamatta ulosvetomutteria. Nyt laakerin ja ulosvetomutterin välissä on vällys jonka tulisi vastata ennalta määritettyä aksiaalissiirtymää. Nyt jäljellä on enää ulosvetoholkin ahtaminen laakerin alle kunnes ulosvetomutteri osuu laakeriin ja tämän jälkeen ulosvetomutterin irrottaminen (Hagman, sähköposti 28.3.2012).





Kuva 63. Vetoholkin aksiaalisiirtymän määrittäminen.

Kuten kiristysholkin kanssa, myös ulosvetoholkin kanssa voidaan käyttää apuna hydraulimutteria ja paineöljymenetelmää. Erikoistapauksissa laakeria voidaan lämmittää. Paineöljymenetelmässä tulee akselimutterin ja vetoholkin välissä käyttää väliholkkia, koska muuten vetoholkin paineöljyliittimille ei jää tilaa.

## 7.5 Lukitseminen

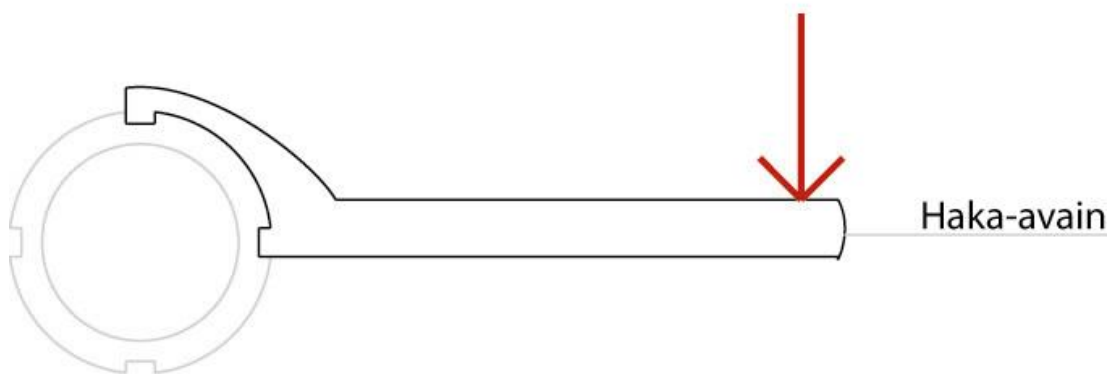
Yleensä vierintälaakerit lukitaan jottei ne pääse siirtymään paikaltaan. Tämä on usein varmistustoimenpide: laakerirengas joka on asennettu tiukalla sovitteella pitäisi pysyä paikallaan jo sovitteensa avulla. Silti tällaisetkin laakerirenkaat on usein lukittu paikalleen akselimutterin ja varmistuslaatan avulla. Akselissa tulee olla kierteet ja ura johon varmistinlaatan sakara sopii (Kuva 64).



Kuva 64. Akselissa tulee olla ura varmistinlaatan sakaraa vasten.

Varmistinlaatan toiminta perustuu siihen että akselissa on ura johon varmistinlaatan sisäpuolen sakara sopii. Näin ollen varmistinlaatta ei pääse pyörimään akseliin nähden. Kun akselimutteri kiristetään akselin kierteille, on varmistinlaatta asetettu laakerin tai holkin ja akselimutterin väliin. Kun akselimutteria on kiristetty (tässä vaiheessa ei kuitenkaan tulisi enää ahtaa laakeria ylemmäs kartiota, jos kyseessä on kartioreikäinen laakeri) lyödään varmistinlaatan sopivalla kohdalla oleva sakara akselimutterin sopivimpaan uraan. Näin akselimutterikaan ei pääse pyörimään akseliin nähden, joten laakeri pysyy aksiaalisesti paikallaan, vaikkei sen sovite jostain syystä liikettä pystyisi estämään.

Asennuksessa tulisi muistaa seuraavat seikat: laakeria ahdettaessa ei saisi pitää varmistinlaattaa akselimutterin ja laakerin välissä. Se voi tällöin murtua. Jos jostain syystä varmistinlaattaa kuitenkin on pidettävä jo ahtamisvaiheessa paikallaan, tulee akselin kierteet ja varmistinlaatan akselimutteria vastaan oleva sivu voideltava esimerkiksi molybdeenisulfidilla (SKF 1994, 150). Jos puolestaan mikään varmistinlaatan sakara ei akselimutterin kiristämisen jälkeen sovi akselimutterin loven kohdalle, tulee akselimutteria kiristää lisää kunnes sopiva kohta löytyy (SKF 1994, 183). Akselimutteria ei siis tällöin löysätä. Jos laakeria ahdetaan akselimutterin avulla paikalleen, käytä asianmukaista haka-avainta (Kuva 65). Jos akselimutteria lyödään tuurnan ja vasaran avulla lukitusmutteri voi vaurioitua ja lisäksi on vaarana, että tuurnasta tai akselimutterista irtoaa lastuja laakeriin (SKF 1994, 182).



Kuva 65. Haka-avain on hyvä työkalu akselimutterin kiristämiseen.

## 7.6 Koeajo

Rasvavoideltuihin vierintälaakereihin lisätään rasva yleensä vasta asennuksen jälkeen. Tämä johtuu siitä että esimerkiksi laakerivälilyksen mittaaminen on rasvalla täytetystä laakerista vaikeaa sekä laakerin mahdollinen lämmittäminen asennusvaiheessa pilaisi rasvan joka tapauksessa (SKF 1994, 218). Nyrkkisääntönä rasvavoidelluille laakereille: laakeri täytetään täysin rasvalla sekä laakeripesästä 30-50 % (Hagman, sähköposti 28.2.2012). Öljyvoidelluissa sovelluksissa alkuvoiteluksi riittää laakerissa jo valmiiksi oleva öljy. Jos laakeri on syytä tai toisesta pesty, se tulisi öljytä tai rasvata heti pesun jälkeen ruostumisen estämiseksi (SKF 1994, 117). Laakeri tulisi siis aina olla alkuvoideltu ennen koneen käyttämistä (Hagman, sähköposti 28.3.2012).

Laakerin koeajo tulisi aloittaa pienillä pyörimisnopeuksilla ja osittaisella kuormituksella. Pyörimisnopeutta tulisi nostaa vähitellen. Pahin mahdollinen yhdistelmä ovat olematon kuormitus ja nopea pyörimisnopeuden kasvattaminen, koska tällöin on vaarana että vierintäelimet liukuvat pyörimisen sijaan (SKF 2005, 267). Koeajon aikana seurataan lähinnä laakerista tulevaa ääntä ja laakerin lämpötilaa. Rasvavoidelluissa laakereissa lämpötila kohoaa aluksi nopeasti, koska rasva on vasta jakautumassa tasaisesti laakeripesään. Muutaman tunnin käytön jälkeen lämpötilan tulisi tasaantua. Riippuen hieman sovelluksista lämpötila ei saisi ylittää 60 celsiusastetta. Laakerista tuleva ääni tulisi olla tasaista, pehmeää surinaa. Laakerinvalmistajilta saa myös laakerin ääntä ja värähtelyjä analysoivia

mittalaitteita. Koeajon aikana ja sen jälkeen kiinnitetään huomiota tiivistimien tiivistyskykyyn. (Ansaharju 2009, 132.)

Jos laakerin lämpötila on jatkuvasti yli suositellun käyttölämpötilan, voi syynä olla jokin seuraavista: riittämätön tai liiallinen voitelu, voiteluaineen epäpuhtaudet, ylikuormitus, laakerin vaurioituminen, riittämätön vällys, muodonmuutos tai tiivistimen korkea kitka. (SKF 1994, 45.)

## 8 YHTEENVETO, JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön laajuus auttaa osaltaan ymmärtämään, miksi asennustyöstä vastaavan henkilön on helpompaa laatia laakeriasennuksessa noudatettavat ohjeet niiden taustoja selvittämättä. Tästäkin opinnäytetyöstä on jouduttu rajaamaan paljon asioita työn ulkopuolelle. Tekniikan alalla käytännössä kaikki tutkittavat ilmiöt selittyvät lopulta fysiikan ja kemian avulla. Varsinkin näiden aihealueiden käsittelyä on jouduttu keventämään, mikä osaltaan rajaa työn lukijakunnan teknisten alojen piiriin.

Työn kuvittaminen on ollut antoisaa ja on monesti saanut miettimään uudestaan piirrettävän rakenteen toimintaperiaatetta, vaikka se olisi ensin tuntunut täysin selvältä. Loppujen lopuksi kuvia olisi saanut olla vielä roimasti enemmän, sanoin selittämällä asiat voi helposti tulkita monella tavalla.

Opinnäytetyön valmistumisen kannalta merkittävimmissä roolissa on ollut työnantajani, joka erittäin joustavalla menettelyllään antoi taloudellisen ja ajankäytöllisen mahdollisuuden opinnäytetyön tekemiseen. Asentajien tietotaito ja kokemus ovat auttaneet erottamaan, mitkä toimintatavat ovat asennustehtävissä käytännössä tärkeitä ja vaivannäön arvoisia ja mitkä puolestaan ovat enemmän tai vähemmän ajanhukkaa. Kiitokset koko Patrian merimoottorihuollolle. Erityiset kiitokset seuraaville henkilöille: Kari Vellonen (Patria), Seppo Tamminen (Patria) ja Sebastian Hagman (SKF).

## LÄHTEET

Ansaharju, T. 2009. Koneenasennus ja kunnossapito. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.

Bearing briefs. 2006. Illinois: Bearing Specialists Association. Viitattu 10.4.2012. [http://www.bsahome.org/tools/pdfs/history\\_of\\_bearings\\_web.pdf](http://www.bsahome.org/tools/pdfs/history_of_bearings_web.pdf)

BOSCH. 1993. Autoteknillinen taskukirja. Jyväskylä: Gummerus.

Hagman, S. SKF. Fw: Lopputyökysymyksiä erä 4. Vastaanottaja markus.aarniluoma(at)student.samk.fi Lähetetty 28.3.2012 klo 0:06. Viitattu 29.3.2012.

Hagman, S. SKF. Fw: REF: Kysymyksiä laakereista lopputyötä varten. Vastaanottaja markus.aarniluoma(at)student.samk.fi Lähetetty 21.12.2011 klo 14:26. Viitattu 26.2.2012.

Hagman, S. SKF. Fw: Viimeisetkin kysymykset. Vastaanottaja markus.aarniluoma(at)student.samk.fi Lähetetty 28.2.2012 klo 23:20. Viitattu 29.2.2012.

Heinonen, T. Kotimaisten kielten tutkimuskeskus. Re: Laakereista. Vastaanottaja: markus.aarniluoma(at)student.samk.fi Lähetetty: 11.11.2011 klo 16:45. Viitattu 30.11.2011.

Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 1995. Valmistustekniikan perusteet. Porvoo: WSOY.

Lehto, H., Havukainen, R., Leskinen, J. & Luoma T. 2006. Fysiikka 5: Pyöriminen ja gravitaatio. Helsinki: Tammi.

MAOL taulukot. 2000. Helsinki: Otava.

Microsoft. 2006. "Friction", Microsoft® Encarta® 2007 [DVD].

Neste. 2006. Ajoneuvojen voiteluaineet-opas. Viitattu 10.4.2012.

Nokian renkaiden www-sivut. Viitattu 15.1.2012. [www.nokianrenkaat.fi](http://www.nokianrenkaat.fi)

Pakkala, A. 1978. Kone-elimet. Porvoo: WSOY.

Pere, A. 2009. Koneenpiirustus 1 & 2. Espoo: Kirpe Oy.

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

Saastamoinen, A. Neste Oil. Voitelukysymyksiä. Vastaanottaja markus.aarniluoma(at)student.samk.fi Lähetetty 6.2.2012 klo 10:17. Viitattu 30.3.2012.

SKF. 1994. Laakerien kunnossapito. Viitattu 10.4.2012.

SKF. 2005. General catalogue. Viitattu 10.4.2012.

Suvanto, K. 2003. Tekniikan fysiikka 1. Helsinki: Edita.

Tikkamäki, S. Insinööri, Patria. Nokia. Henkilökohtainen tiedonanto 8.12.2011.

TM. 1998. Autosanasto. Helsinki: Yhdistyneet kuvalehdet Oy. Viitattu 10.4.2012.

Wikipedia Commons.

Virta, J. VTT. RE: Lämpölaajenemisesta. Vastaanottaja markus.aarniluoma(at)student.samk.fi Lähetetty 19.1.2012 klo 9:23. Viitattu 15.3.2012.