

Vierintälaakereiden voitelu

FAG

Vierintälaakerit

FAG Sales Europe - Finland

Julkaisu no. WL 81 115/4 Flb



Vierintälaakereiden voitelu

Julkaisu no WL 81 115/4 FI

FAG Sales Europe - Finland
Kutojantie 11
02630 ESPOO
Puh. 09-4134 2100
Fax 0207 36 6205

Sisällys

1	Voiteluaine vierintälaakerissa	3	5	Puutteellisen voitelun aiheuttamat vauriot	52
1.1	Voitelun tehtävä vierintälaakerissa	3	5.1	Epäpuhtaudet voiteluaineessa	52
1.1.1	Erilaiset voiteluolosuhteet vierintälaakerissa	3	5.1.1	Vieraat kiintoaineet	54
1.1.2	Voitelukalvo öljyvoitelussa	4	5.1.2	Toimenpiteet vieraiden aineiden määrän vähentämiseksi	54
1.1.3	Voitelukalvon ja puhtauden vaikutus saavutettavaan elinikään	6	5.1.3	Öljyn suodatus	54
1.1.4	Voitelukalvo rasvavoitelussa	12	5.1.4	Nestemäiset epäpuhtaudet	55
1.1.5	Voiteluainekerrokset kuivavoitelussa	13	5.2	Likaisen laakerin puhdistus	55
1.2	Kitkamomentin laskenta	14	5.3	Vaurioiden ehkäisy ja tunnistaminen valvonnan avulla	56
1.3	Käyntilämpötilan korkeus	18			
2	Voitelutavat	19	6	Sanasto ja selvitys voiteluteknisistä käsitteistä	57
2.1	Rasvavoitelu	19			
2.2	Öljyvoitelu	19			
2.3	Kiintoainevoitelu	19			
2.4	Voitelutavan valinta	19			
2.5	Esimerkkejä erilaisista voitelumenetelmistä	21			
2.5.1	Keskusvoitelujärjestelmä	21			
2.5.2	Kiertoöljyvoitelujärjestelmä	22			
2.5.3	Öljysumujärjestelmä	22			
2.5.4	Öljy-ilma-voitelujärjestelmä	22			
2.5.5	Öljyn ja rasvan ruiskutusvoitelu	24			
3	Voiteluaineen valinta	24			
3.1	Sopivan rasvan valinta	27			
3.1.1	Pyörintänopeuden ja kuormituksen rasitukset	27			
3.1.2	Pyörintäominaisuuksien vaatimukset	28			
3.1.3	Erityiset käyntiolosuhteet ja ympäristön vaikutukset	28			
3.2	Sopivan öljyn valinta	30			
3.2.1	Suosittelava öljyn viskositeetti	30			
3.2.2	Öljyn valinta käyntiolosuhteiden mukaan	31			
3.2.3	Öljyn valinta öljyn ominaisuuksien mukaan	31			
3.3	Kiintovoiteluaineen valinta	33			
3.4	Biologisesti nopeastihajoavat voiteluaineet	33			
4	Laakereiden voiteluhuolto	34			
4.1	Laakereiden rasva	34			
4.1.1	Laitteet	34			
4.1.2	Ensitäyttö ja uudelleentäyttö	34			
4.1.3	Rasvan käyttöikä	35			
4.1.4	Voiteluväli	35			
4.1.5	Jälkivoitelu, jälkivoitelutiheys	36			
4.1.6	Esimerkkejä rasvavoitelusta	40			
4.2	Laakereiden öljyhuolto	43			
4.2.1	Laitteet	43			
4.2.2	Öljykylpyvoitelu	43			
4.2.3	Kiertoöljyvoitelu keskisuurilla ja suuremmilla öljymäärillä	44			
4.2.4	Minimimäärävoitelu	47			
4.2.5	Esimerkkejä öljyvoitelusta	49			
4.3	Laakerin kiintovoiteluainehuolto	53			

1 Voiteluaine vierintälaakerissa

1.1 Voitelun tehtävä vierintälaakerissa

Voitelun tehtävänä vierintälaakereissa – samoin kuin liukulaakereissa – on estää tai vähentää vierintä- ja liukupintojen metallista kosketusta ja siten pitää kitka ja kulumisen mahdollisimman pieninä.

Öljy, joka kiinnittyy toisiaan vasten vieriviin pintoihin, kulkeutuu vierintälaakerin kosketuskohtiin. Öljy erottaa kosketuspinnat toisistaan ja estää metallisen kosketuksen. ("fysikaalinen voitelu").

Vierintälaakereiden kosketuskohdissa esiintyy vierinnän lisäksi myös liukumaa, tosin huomattavasti vähemmän kuin liukulaakereissa. Tämän liukuman aiheuttaa toisiaan vasten vierivien osien palautuva muodonmuutos ja rullien kaarevat muodot.

Siellä, missä vierintälaakerissa esiintyy puhdasta liukumaa, siis rullien ja pitiimen tai rullan päädyn ja olakkeen välillä, ovat paineet aina paljon pienemmät kuin vierintäkohdissa. Liukuman merkitys vierintälaakereissa on häviävän pieni. Myös epäedullisissa voiteluolosuhteissa ovat tehonhäviö ja kulumisen erittäin pienet. Siten on mahdollista voidella vierintälaakereita rasvoilla, joilla on erilainen jäykkyys ja öljyillä, joilla on erilainen viskositeetti. Siten voidaan hallita laaja pyöritänopeusalue ja laaja kuormitusalue.

Joskus voitelukalvo ei muodostu täysin kantavaksi, niin että vähintään osilla aluetta voitelukalvo ei erota pintoja toisistaan. Myös tällaisissa tapauksissa vähän kuluva käynti on mahdollinen, jos paikallisen korkean lämpötilan synnyttämä kemiallinen reaktio voiteluaineen lisäaineiden ja vierintäelinten tai laakerirenkaiden ulkopintojen välillä estetään. Tällöin syntyvät tribomekaaniset reaktioerokset muodostavat voitelukykyisiä tuotteita, jolloin puhutaan "kemiallisesta voitelusta".

Voitelua ei tueta ainoastaan lisäaineiden tällaisilla reaktioilla, vaan myös

öljyyn tai rasvaan lisätyillä kiintovoiteluaineilla, rasvoissa myös sakeuttimilla. Erikoistapauksissa on mahdollista voidella vierintälaakeri yksinomaan kiintoaineilla.

Voiteluaineen lisätehtäviä vierintälaakerissa ovat ruosteenesto, lämmön poisvienti laakerista (öljyvoitelu), kulumishiukkasten ja epäpuhtauksien huuhtelu laakerista (kiertoöljyvoitelu + öljyn suodatus), tiivistysvaikutuksen tehostus laakeritiivisteissä (rasvakaulus, öljy-ilma-voitelu).

1.1.1 Erilaiset voiteluolosuhteet vierintälaakerissa

Kitka- ja kulumisolosuhteet sekä vierintälaakerin saavuttama elinikä riippuvat voiteluolosuhteista. Vierintälaakerissa erotetaan pääasiassa seuraavat voiteluolosuhteet:

- Täysvoitelu: Toisiaan vasten vaikuttavien tasojen ulkopinnat on erotettu kokonaan tai lähes täydellisesti toisistaan (kuva 1a). Siinä vallitsee melkein puhdas neste-kitka. Tämä voiteluolosuhde, jota kutsutaan myös nestevoiteluksi, tulisi jatkuvassa käynnissä aina tavoitella.
- Osavoitelu: Liian ohuesta voitelukalvosta johtuen esiintyy osalla aluetta kiintoainekosketusta (kuva 1b), ns. sekakitkaa.
- Rajavoitelu: Jos voiteluaine sisältää sopivia lisäaineita, niin korkeissa paineissa ja lämpötiloissa muodostuu kiintoainekosketuksissa reaktioita lisäaineiden ja metallisen ulkopinnan välillä. Tällöin syntyy voitelukykyisiä reaktiotuotteita, jotka voivat muodostaa ohuen rajakerroksen (kuva 1c).

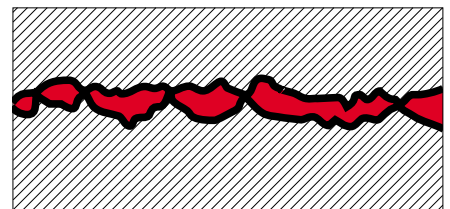
Täysvoitelu, osavoitelu ja rajavoitelu esiintyvät sekä öljyvoitelun että rasva-voitelun yhteydessä. Rasva-voitelussa voiteluolosuhteet määrää pääasiassa perusöljyn

viskositeetti. Lisäksi rasvan sakeuttimella on myös voiteluvaikutus.

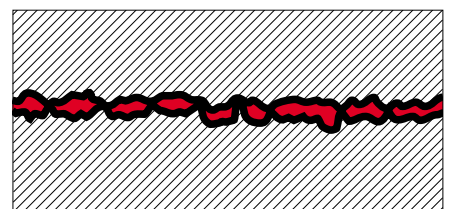
1: Erilaisia voiteluolosuhteita



a) Täysvoitelu
Kantava öljykalvo erottaa pinnat täydellisesti toisistaan.



b) Osavoitelu
Sekä kantavaöljykalvo että rajakalvo ovat merkittäviä



c) Rajavoitelu
Olosuhteet riippuvat ensisijaisesti rajakalvon ominaisuuksista

■ Rajakalvo

■ Voiteluainekerros

Voiteluaine vierintälaakerissa

Voitelun tehtävä vierintälaakerissa

– Kuivavoitelu: Kiintovoiteluaineet (esim. grafiitti ja molybdeenidisulfidi), jotka muodostavat ohuen kerroksen toimintapinnoille, voivat estää metallisen kosketuksen. Sellainen kerros kestää tosin vain alhaisilla kehänopeuksilla ja pienillä paineilla pitempiä aikoja. Myös öljyyn tai rasvaan sekoitettuna kiintovoiteluaineet parantavat voitelua kiintoainekosketusten yhteydessä.

1.1.2 Voitelukalvo öljyvoitelussa

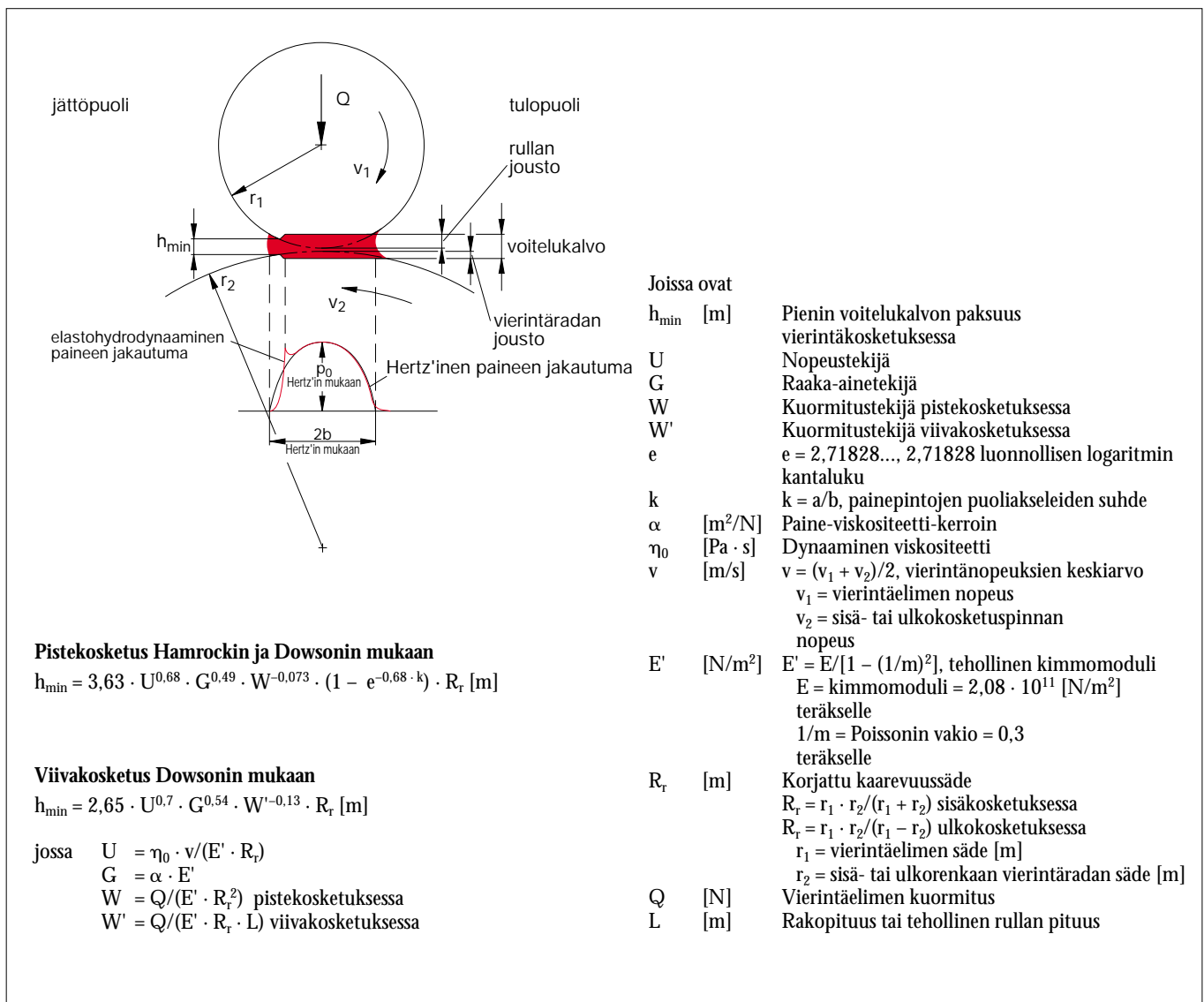
Voiteluolosuhteiden arvioinnissa lähdetään voitelukalvon muodostumisesta kuormaasiirtävien vierintä- tai liukupintojen välille. Vierintäpintojen välinen voitelukalvo lasketaan elastohydrodynaamisen voiteluteorian (EHD-voitelu) avulla.

Voiteluolosuhteet liukukosketuksessa, esim. kartiorullalaakereiden rullan

päädyn ja olakkeen välillä, sitävastoin ilmoitetaan riittävän tarkasti hydrodynaamisen voitelu-teorian avulla, sillä liukukosketuksessa esiintyvät paineet ovat pienempiä kuin vierintäkosketuksessa.

EHD-voitelun pienin voitelukalvon paksuus h_{min} pistekosketuksessa ja viivakosketuksessa lasketaan kuvassa 2 annetuilla yhtälöillä.

2: Elastohydrodynaaminen voitelukalvo. Voitelukalvon paksuus piste- ja viivakosketuksessa



Pistekuormituksessa on huomioitava öljyn sivuillevirtaaminen raosta. Yhtälö osoittaa vierintänopeuden v , dynaamisen viskositeetin η_0 ja paine-viskositeetti-kerroimen α suuren vaikutuksen h_{\min} :iin. Pienempi vaikutus on kuormituksella Q . Tämä perustuu siihen, että kuormituksen kasvaessa viskositeetti nousee ja palautuvasta joustosta johtuen kosketuspinta suurenee.

Lasketun voitelukalvopaksuuden perusteella voidaan tarkastaa, muodostuuko annettujen olosuhteiden vallitessa riittävän vahva voiteluainekalvo. Yleisesti tulisi voitelukalvon vähimmäispaksuuden olla yhdestä kymmenesosasta muutamaa mikrometrin kymmenesosaan. Suotuisissa olosuhteissa saavutetaan useita mikrometrejä.

Voiteluöljyn viskositeetti muuttuu

paineen mukaan vierintäkosketuksessa seuraavasti:

$$\eta = \eta_0 \cdot e^{\alpha p}$$

η dynaaminen viskositeetti paineessa p [Pa · s]

η_0 dynaaminen viskositeetti normaalipaineessa [Pa · s]

e (= 2,71828) luonnollisen logaritmin kantaluku

α paine-viskositeetti-kerroin [m^2/N]

p paine [N/m^2]

Riippuvuus paineesta on huomioitava laskettaessa voitelutilanteita mineeraaliöljypohjaisille voiteluaineille EHD-teorian mukaan. Eräiden voiteluaineiden paine-viskositeetti-muutoksen osoittaa käyrästä kuvassa 3. Alue a-b mineraaliöljyille on a_{23} -käyrästä perusta, kuva 7 (sivu 7). Myös paineenkestolisäaineistetut

mineraaliöljyt näyttävät α -arvon tällä alueella

Painekertoimen huomattavan vaikutuksen yhteydessä viskositeettisuhteeseen, esim diestereillä, fluorihilivedyillä tai silikoniljyillä, on viskositeettisuhteessa K huomioitava korjauskertoimet B_1 ja B_2 seuraavasti:

$$\alpha_{B_{1,2}} = \alpha \cdot B_1 \cdot B_2$$

α Viskositeettisuhte mineraaliöljyillä

B_1 Paine-viskositeettisuhteen korjaus-kerroin

$$= \alpha_{\text{synteettinen öljy}} / \alpha_{\text{mineraaliöljy}}$$

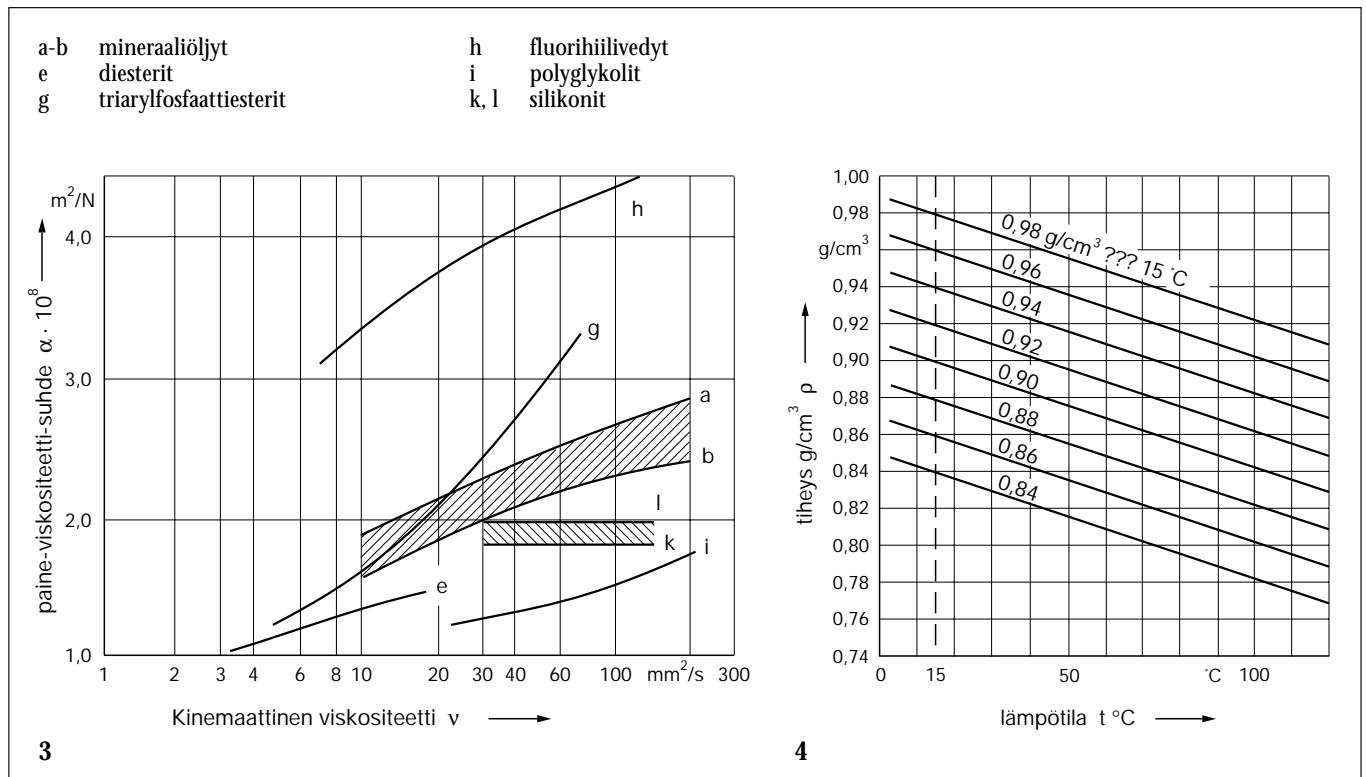
B_2 Erilaisten tiheyksien korjauskerroin

$$= \rho_{\text{synteettinen öljy}} / \rho_{\text{mineraaliöljy}}$$

Kuvan 4 käyrästä näyttää mineraaliöljyjen tiheyden ρ muutoksen lämpötilan mukaan. Synteettisten öljyjen muutos voidaan olettaa, jos tunnetaan tiheys ρ 15 °C:ssa.

3: Paine kerroin α kinemaattisen viskositeetin ν funktiona, voimassa painealueella 0 – 2000 bar

4: Mineraaliöljyjen tiheyden ρ riippuvuus lämpötilasta t



Voiteluaine vierintälaakerissa

Voitelun tehtävä vierintälaakerissa

1.1.3 Voitelukalvon ja puhtauden vaikutus saavutettavaan elinikään

Jo 60-luvulta lähtien ovat kokeet ja käytäntö yhä selvemmin osoittaneet, että vierintäelinten ja vierintäradan välisessä kosketuksessa, jossa on täysin erottava öljykalvo ilman epäpuhtauksia, kohtuullisesti kuormitettujen laakereiden elinikä on huomattavasti pitempi kuin perinteisen käyttöikäkaavan $L = (C/P)^p$ ilmoittama. 1981 osoitti FAG ensimmäisenä laakerivalmistajana toteen vierintälaakereiden kestonlujuuden. Tästä tiedoudesta lähtien kansainväliset normisuositukset ja käytännön kokemukset kehittivät tarkemman menetelmän saavutettavan eliniän laskemiseksi.

Kestolujuuden edellytykset ovat :

- voitelukalvon täysin erottama vierintä-kosketus ($\alpha \geq 4$)
- voiteluraon korkein puhtausaste vastaten $V = 0,3$
- kuormitustunnusluku $f_{s^*} \geq 8$.
 $f_{s^*} = C_0/P_{0^*}$
 C_0 staattinen kantoluku [kN] katso FAG:n vakio-ohjelma
 P_{0^*} yhdistetty laakerikuormitus [kN], saadaan kaavasta
 $P_{0^*} = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a$ [kN] jonka kertoimet X_0 ja Y_0 saadaan FAG:n vakio-ohjelmasta ja
 F_r dynaaminen säteiskuorma [kN]
 F_a dynaaminen aksiaalikuorma [kN]

Saavutettava elinikä FAG:n mukaan

$$L_{na} = a_1 \cdot a_{23} \cdot L \text{ [} 10^6 \text{ kierrosta]}$$

$$\text{tai}$$

$$L_{hna} = a_1 \cdot a_{23} \cdot L_h \text{ [h]}$$

Kerroin a_1 on 1 yleisellä 10 % vaurioidennäköisyydellä.

Kerroin a_{23} (Tulos perusarvosta a_{23II} ja puhtauskertoimesta s , katso alla) huomioi raaka-aineen ja käyttöolosuhteiden, siis myös voitelun ja voiteluraon puhtauden, vaikutuksen saavutettavaan elinikään.

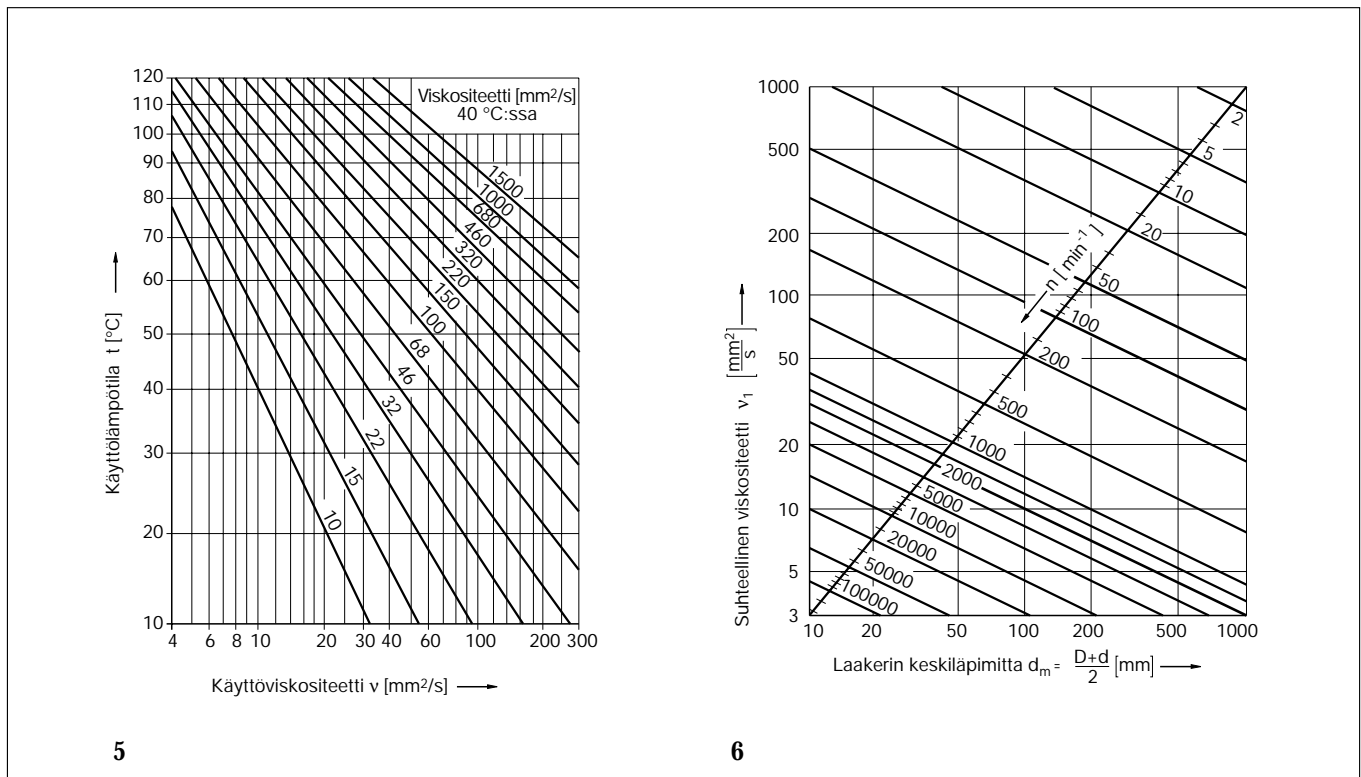
Nimellisen eliniän L (DIN ISO 281) perustana on viskositeettisuuhde $\alpha = 1$

Viskositeettisuuhdetta $\alpha = \nu/\nu_1$ käytetään voitelukalvon muodostumisen mittana perusarvon a_{23II} määrittämisessä (käyrästä, kuva 7).

Siinä ν on voiteluöljyn tai käytettävän rasvan perusöljyn viskositeetti käyntilämpötilassa (käyrästä, kuva 5) ja ν_1 laakerikoosta (keskihalkaisijasta d_m) ja pyörintänopeudesta n riippuva **suhteellinen viskositeetti** (käyrästä, kuva 6).

5: Mineraaliöljyjen viskositeetti-lämpötila-käyrästä

6: Suhteellisen viskositeetin ν_1 riippuvuus laakerikoosta ja pyörintänopeudesta; D = laakerin ulkoläpimitta, d = sisäläpimitta



Saavutettavan eliniän L_{na} kaavasta ja käyrästä, kuva 7, käy ilmi, kuinka suhteellisesta viskositeetista eroava käyttöviskositeetti vaikuttaa saavutettavaan eliniän. Viskositeettisuhteella $\kappa > 2 \dots 4$ muodostuu kosketuspintojen väliin täysin kantava voitelukalvo. Mitä kauempana näiden arvojen alapuolella k on, sitä suurempi on sekakitkan osuus ja sitä tärkeämpi on voiteluaineen lisäaineistus. Käytettävän öljyn tai käytettävän rasvan perusöljyn **käyttöviskositeetti** ν , siis tämän kinemaattinen viskositeetti käyntilämpötilassa, annetaan öljy- tai rasvalistojen tiedotteissa. Jos viskositeetti tunnetaan vain 40 °C :ssa, voidaan mineraaliöljyille, joilla on keskimääräinen vis-

kositeetti-lämpötila-suhde, ilmoittaa viskositeetti käyntilämpötilassa käyrästä, kuva 5.

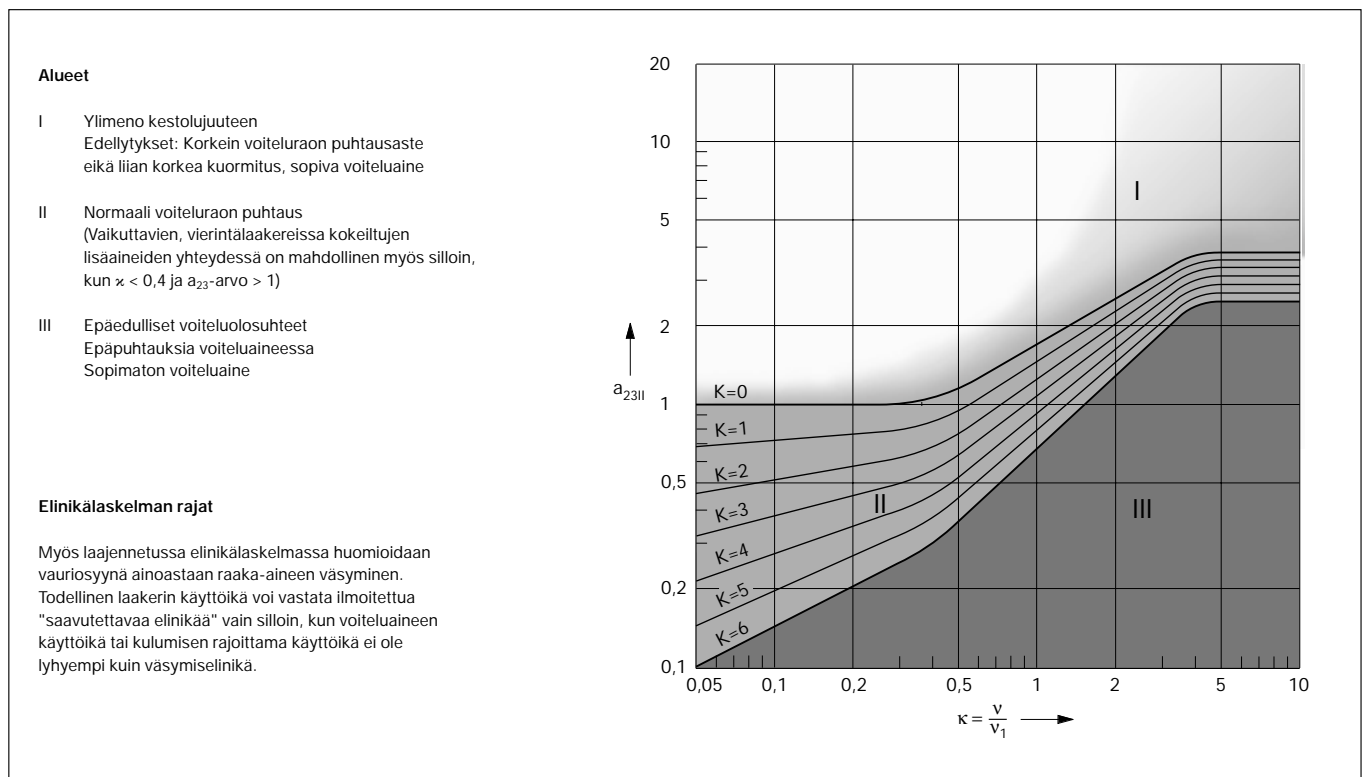
Käyntilämpötila, ilmoitettaessa ν :aa, riippuu syntyvästä kitkalämmöstä, vertaa kappale 1.2. Ellei käytettävissä ole mitään lämpötilamittausarvoja vertauskelpoisista käyntikohteista, voidaan käyntilämpötila arvioida lämpötasapainolaskelman avulla, katso kappale 1.3.

Mittaamalla käyntilämpötilaksi saadaan vain pyörimättömän renkaan lämpötila eikä rasitetun kosketusalueen ulkopinnan todellinen lämpötila. Liikeradoltaan edullisten laakereiden (kuulalaakerit,

lieriörullalaakerit) yhteydessä voidaan viskositeetti määrittää lähiarvona pyörimättömän renkaan lämpötilan mukaan. Ulkopuolisen lämmön vaikutuksessa määritetään viskositeetti laakerirenkaiden lämpötilojen keskiarvon mukaan.

Korkeasti kuormitetuissa laakereissa ja laakereissa, joissa on paljon liukumia (esim. täysrullaiset lieriörullalaakerit, palloiset rullalaakerit ja aksiaalisesti kuormitetut lieriörullalaakerit), on kosketuskohtien lämpötila jopa 20 K korkeampi kuin mitattavissa oleva käyntilämpötila. Tämä voidaan suunnitella tasoittaa, kun käytetään vain puolta käyrästä luetuttavan käyttöviskositeetin ν :n arvoa kaavassa $\kappa = \nu/\nu_1$.

7: Perusarvo a_{23II} tekijän a_{23} ilmoittamiseksi



Voiteluaine vierintälaakerissa

Voitelun tehtävä vierintälaakerissa

Perusarvon a_{23II} ilmoittamiseksi käyrästä, kuva 7, tarvitaan **määrittysuure** $K = K_1 + K_2$.

Arvo K_1 voidaan ottaa käyrästä, kuva 8, laakerityypin ja kuormitustunnuksen f_{s^*} avulla.

K_2 riippuu viskositeettitekijästä k ja tunnusluvusta f_{s^*} . Käyrästä 8:n arvot sopivat lisäaineistamattomille voiteluaineille ja voiteluaineille, joiden lisäaineiden

erityisominaisuuksia ei ole kokeiltu vierintälaakereissa.

Kun $K = 0 \dots 6$ sijaitsee a_{23II} jollakin alue II:n käyrästä kuva 7:n käyrästä.

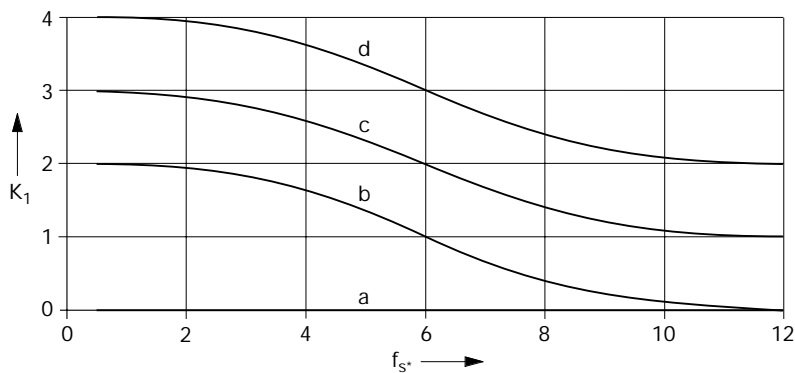
Kun $K > 6$, voidaan odottaa vain yhtä a_{23} -kertoimen arvoa alueella III. Tässä tapauksessa on olosuhteita parannettava pienemmän K -arvon ja siten II-alueen saavuttamiseksi.

Huomautuksia lisäaineistukseen:

Jos kosketuspinnat eivät ole täysin voitelukalvon erottamat, tulisi voiteluaineen sisältää ruosteensuojausta ja vanhenemisen kestoa lisäävien vaikutusaineiden lisäksi myös kulumista vähentäviä ja kuormituksen kestoa lisääviä lisäaineita. Tämä varsinkin silloin, kun $\kappa \leq 0,4$, koska silloin vaikuttavin tekijä on kulumisen.

8: Määrittysuure K_1 :n riippuvuus tunnusluvusta f_{s^*} ja laakerityypistä

9: Määrittysuure K_2 :n riippuvuus tunnusluvusta f_{s^*} lisäaineistamattomien voiteluaineiden ja voiteluaineiden, joiden lisäaineiden vaikutusta ei ole kokeiltu vierintälaakereissa.



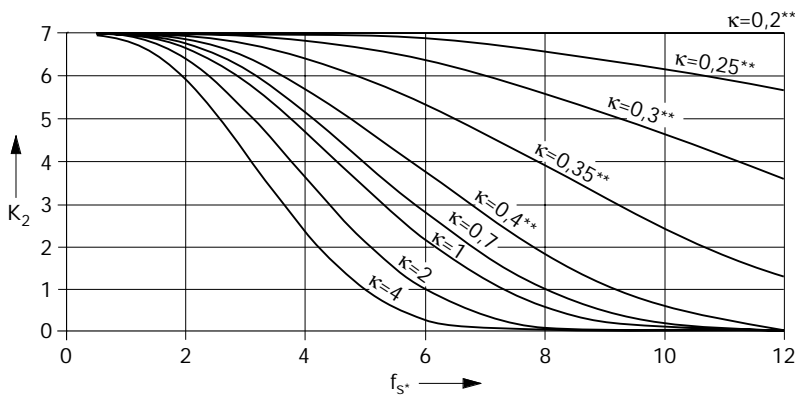
- a kuulalaakerit
- b kartiorullalaakerit
- lieriörullalaakerit
- c pallomaiset rullalaakerit
- pallomaiset aksiaalirullalaakerit ³⁾
- aksaali-lieriörullalaakerit ^{1), 3)}
- d täysrullaiset lieriörullalaakerit ^{1), 2)}

1) Saavutettavissa vain voiteluaineen hienosuodatuksen yhteydessä, vastaavasti $V < 1$, muuten valitaan $K_1 \geq 6$.

2) Huomioitava v:tä määrittäessä: Kitka on vähintään kaksi kertaa niin korkea kuin pitimellisissä laakereissa. Tämä johtaa korkeampaan laakerilämpötilaan.

3) Minimikuormitus huomioitava.

8



K_2 tulee heti 0:ksi voiteluaineilla, joiden lisäaineistuksen ominaisuudet tunnetaan.

** Kun $\kappa \leq 0,4$, on kulumisen vaikuttavin tekijä laakerissa, ellei sitä estetä sopivalla lisäaineistuksella.

9

Voiteluaineen lisäaineet reagoivat laakerin metallisen ulkopinnan kanssa ja muodostavat eroittavan reaktiokerroksen, joka toimii täydellä teholla puuttuvan öljykalvoerotuksen korvaajana. Yleisesti tulisi kuitenkin tavoitella riittävän kantavan öljykalvon antamaa erotusta.

Puhtauskerroin s

Puhtauskerroin s määrittää likaisuuden vaikutuksen käyttöikään. S :n määrittämiseksi tarvitaan epäpuhtaustunnusluku V .

"Normaalipuhtaudella" ($V = 1$) on aina $s = 1$, t.s. $a_{23II} = a_{23}$.

"Kohonneen puhtauden" ($V = 0,5$) ja "korkeimman puhtauden" ($V = 0,3$)

yhteydessä saadaan, f_{s^*} -arvosta lähtien ja viskositeettisuhteesta k riippuen kuva 10 käyrästä oikean kentän (a) kautta puhtauskerroin $s > = 1$.

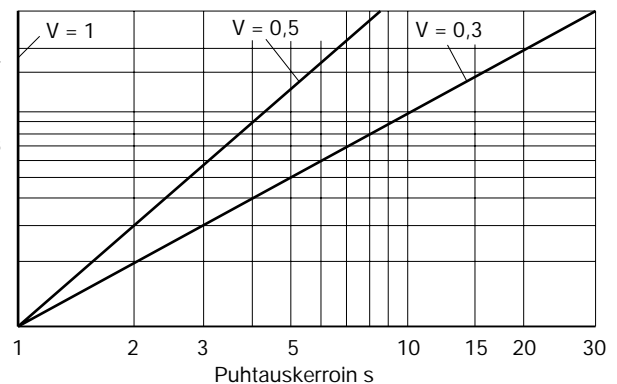
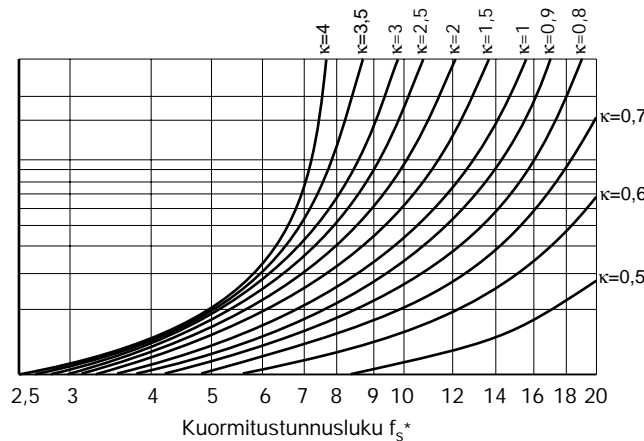
Kun $\kappa \leq 0,4$, on aina $s = 1$.

Kun $V = 2$ (kohtuullisesti likaantunut voiteluaine) ja $V = 3$ (voimakkaasti likaantunut voiteluaine) saadaan s kuva 10 käyrästä alueelta b.

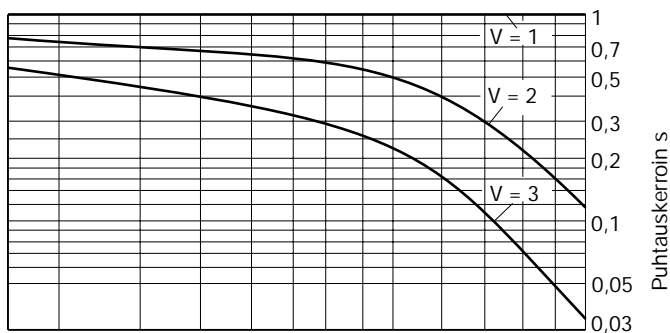
10: Käyrästä puhtauskerroimen s määrittämiseksi

a Käyrästä kohonnutta ($V = 0,5$) ja korkeinta ($V = 0,3$) puhtautta varten

b Käyrästä kohtuullisesti likaantunutta ($V = 2$) ja voimakkaasti likaantunutta ($V = 3$) voiteluainetta varten.



a



b

Puhtauskerroin $s > 1$ on saavutettavissa täysrullaisilla laakereilla vain silloin, kun korkeaviskositeettinen voiteluaine ja korkein puhtaus (ISO 4406 mukainen öljynpuhtaus vähintään 11/7) estävät rullien välisen kosketuksen aiheuttaman kulumisen.

Voiteluaine vierintälaakerissa

Voitelun tehtävä vierintälaakerissa

Epäpuhtaustunnusluku V

Epäpuhtaustunnusluku V riippuu laakerin poikkileikkauksesta, vierintäkosketuksen kosketustavasta ja öljyn puhtausasteesta, taulukko kuva 11.

Jos vierintälaakerin eniten kuormitella kosketusalueella vierintäelin vieii tiettyä kokoa suuremman kovan sirun yli, niin painuma (ja sitä ympäröivät purseet) vierintäpinnoilla aiheuttavat raaka-aineen ennenaikaisen väsymisen. Mitä pienempi kosketuspinta on, sitä vaarallisempi on tietyn kokoisen sirun vaikutus. Pienet laakerit reagoivat siis samaan likaantumisasteeseen herkemmin kuin suuret ja laakerit, joissa on pistekosketus (kuulalaakerit) herkemmin kuin ne, joissa on viivakosketus (rullalaakerit).

ISO 4406:n mukainen vaadittava öljyn puhtausaste on objektiivinen mitattava suure jonkin voiteluaineen likaantumisen asteesta. Sen määrittämiseen käytetään standardisoituja partikkeleiden laskentamenetelmiä.

Niissä kaikkien partikkeleiden $>5 \mu\text{m}$ lukumäärää ja kaikkien partikkelien $>15 \mu\text{m}$ lukumäärää verrataan tiettyyn öljyn ISO-puhtausasteeseen. Niinpä ISO 4406:n mukainen öljyn puhtausaste 15/12 tarkoittaa, että kussakin 100 ml:n nestenäytteenä on löydettävissä 16.000 – 32.000 partikkelia $> 5 \mu\text{m}$ ja 2.000 ja 4.000 välillä partikkeleita $> 15 \mu\text{m}$. Ero asteesta seuraavaan tarkoittaa partikkelimäärän kaksinkertaistumista tai puolittumista.

Vaaditun öljyn puhtausasteen saavuttamiseksi tulee käytössä olla tietty suoda-

tus-aste β_x (vertaa kappale 5.1.3). Sellaisen suodattimen käyttö ei kuitenkaan voi automaattisesti taata öljyn puhtausastetta.

Epäpuhtaustunnuslukujen porrastus

Tavallinen puhtaus ($V = 1$) välttää useimmissa käyttötilanteissa, joissa:

- hyvä, ympäristön vaatima tiivistys
- puhtaus asennuksessa
- öljyn puhtaus vastaa $V = 1$
- noudatetaan suositettua öljyn vaihtoväliä

Korkeimman puhtauden ($V = 0,3$) saavuttavat käytännössä

- Laakerit, joissa on FAG:n rasvatäyttö ja tiiviste- tai suojalevyt pölyä vastaan. Väsymättömissä olosuhteissa elinikä rajoittaa useimmiten rasvan käyttöikä.
- Käyttäjän rasvaamat laakerit, kun hän varmistaa, että toimitustilanteessa annettu puhtaus säilyy koko käytön ajan. Hän asentaa laakerin puhtaimmissa olosuhteissa puhtaaseen pesään, voitelee puhtaalla rasvalla ja varmistaa, että käytössä laakeriin ei pääse yhtään likaa (sopivat FAG:n Arcanol vierintälaakerirasvat, vertaa sivu 57).
- Laakerit, joissa on kiertoöljyvoitelu. Kun ennen puhtaasti asennetun laakerin käyttöönottoa öljynkiertojärjestelmä huuhdellaan (täytetään uudella hienoimmin huuhdellulla öljyllä) ja

taataan koko käytönajan $V = 0,3$:a vastaava öljyn puhtausaste

Voimakkaasti likaantunutta voiteluainetta ($V = 3$) tulisi välttää olosuhteita parantamalla. Mahdollisia voimakkaan likaantumisen syitä voivat olla:

- Valupesä on huonosti, tai ei lainkaan puhdistettu (muottihiekkajäämiä, työstöpartikkeleita).
- Toisiaan hankaavien osien hiontapölyä kerääntyä koneen öljykiertoon.
- Riittämättömästä tiivistyksestä johtuen vieraita kiintoaineita pääsee ulkoa laakeriin.
- Sisään tunkeutunut vesi, myös kondenssivesi, aiheuttaa seisontakorroosiota taihuonontaa voiteluaineen ominaisuuksia.

Väliarvoja $V = 0,5$ (kohonnut puhtausaste) ja $V = 2$ (kohtuullisesti likaantunut voiteluaine) tulee käyttäjien hyödyntää vain silloin, kun heillä on riittävästi kokemusta puhtauden tarkkaan arviointiin.

Lisäksi partikkelit aiheuttavat **hioutumista**. FAG on määrittänyt toisiinsa vaikuttavien laakeriosien lämpökäsittelyn siten, että laakerit, joissa on hieman liukumaa (esim. säteiskuulalaakerit ja -lieriörullalaakerit), kun $V = 0,3$, vielä hyvin pitkien käyttöaikojen jälkeen tuskin osoittavat hioutumista.

Aksiaali-lieriörullalaakerit, täysrullaiset lieriörullalaakerit ja muut laakerit, joissa on suuri liukumaosuus, reagoivat voimakkaammin pieniin, koviin epäpuhtauksiin.

11: Epäpuhtaustunnusluvun V ohjearvoja

(D - d)/2 mm	V	Pistekosketus tarvittava öljyn puhtausaste ISO 4406 mukaan	suodatusasteen ohjearvoja ISO 4572 mukaan	Viivakosketus tarvittava öljyn puhtausaste ISO 4406 mukaan	suodatusasteen ohjearvoja ISO 4572 mukaan
≤ 12,5	0,3	11/8	$\beta_3 \geq 200$	12/9	$\beta_3 \geq 200$
	0,5	12/9	$\beta_3 \geq 200$	13/10	$\beta_3 \geq 75$
	1	14/11	$\beta_6 \geq 75$	15/12	$\beta_6 \geq 75$
	2	15/12	$\beta_6 \geq 75$	16/13	$\beta_{12} \geq 75$
	3	16/13	$\beta_{12} \geq 75$	17/14	$\beta_{25} \geq 75$
> 12,5 ... 20	0,3	12/9	$\beta_3 \geq 200$	13/10	$\beta_3 \geq 75$
	0,5	13/10	$\beta_3 \geq 75$	14/11	$\beta_6 \geq 75$
	1	15/12	$\beta_6 \geq 75$	16/13	$\beta_{12} \geq 75$
	2	16/13	$\beta_{12} \geq 75$	17/14	$\beta_{25} \geq 75$
	3	18/14	$\beta_{25} \geq 75$	19/15	$\beta_{25} \geq 75$
> 20 ... 35	0,3	13/10	$\beta_3 \geq 75$	14/11	$\beta_6 \geq 75$
	0,5	14/11	$\beta_6 \geq 75$	15/12	$\beta_6 \geq 75$
	1	16/13	$\beta_{12} \geq 75$	17/14	$\beta_{12} \geq 75$
	2	17/14	$\beta_{25} \geq 75$	18/15	$\beta_{25} \geq 75$
	3	19/15	$\beta_{25} \geq 75$	20/16	$\beta_{25} \geq 75$
> 35	0,3	14/11	$\beta_6 \geq 75$	14/11	$\beta_6 \geq 75$
	0,5	15/12	$\beta_6 \geq 75$	15/12	$\beta_{12} \geq 75$
	1	17/14	$\beta_{12} \geq 75$	18/14	$\beta_{25} \geq 75$
	2	18/15	$\beta_{25} \geq 75$	19/16	$\beta_{25} \geq 75$
	3	20/16	$\beta_{25} \geq 75$	21/17	$\beta_{25} \geq 75$

Öljyn puhtausluokka käyttöikä lyhentävien partikkeleiden ylivierinnan todennäköisyyden mittana laakerissa voidaan määrittää kokeellisesti tai suodatinvalmistajien ja erityisten instituuttien toimesta. Sopiva näytteenotto (katso esim. DIN 51750) on huomioitava. Myös jatkuvatoimisia mittalaitteita on nykyisin käytettävissä. Puhtausaste saavutetaan, kun kiertävä öljymäärä menee kertaalleen suodattimen läpi muutamassa minuutissa. Ennen laakeroinnin käyttöönottoa on hyvän puhtauden varmistamiseksi suoritettava huuhtelu.

Suodatusaste $\beta_3 \geq 200$ (ISO 4572) tarkoittaa esim., että ns. Multi-Pass-testissä 200:sta partikkelista $\geq 3 \mu\text{m}$ vain yksi ainoa läpäisee suodattimen. Karkeampia suodattimia kuin $\beta_{25} \geq 75$ ei pitäisi myöskään käyttää öljykierrossa oleville muille laitteille aiheutuvien haittojen takia.

12: Öljyn puhtausaste ISO 4406 mukaan (yhteenveto)

Partikkeleiden lukumäärä 100 ml:ssa				Tunnus		
yli 2 μm		yli 5 μm		yli 15 μm		
yli	saakka	yli	saakka	yli	saakka	>2 μm / $>5 \mu\text{m}$ / $>15 \mu\text{m}$
2000000	4000000	500000	1000000	64000	130000	22/20/17
1000000	2000000	250000	500000	32000	64000	21/19/16
500000	1000000	130000	250000	16000	32000	20/18/15
250000	500000	64000	130000	8000	16000	19/17/14
130000	250000	32000	64000	4000	8000	18/16/13
64000	130000	16000	32000	2000	4000	17/15/12
32000	64000	8000	16000	1000	2000	16/14/11
16000	32000	4000	8000	500	1000	15/13/10
8000	16000	2000	4000	250	500	14/12/9
4000	8000	1000	2000	130	250	13/11/8
2000	4000	500	1000	64	130	12/10/7
1000	2000	250	500	32	64	11/9/6

Voiteluaine vierintälaakerissa

Voitelun tehtävä vierintälaakerissa

1.1.4 Voitelukalvo rasvavoitelussa

Voitelurasvoilla laakerin voitelun suorittaa pääasiassa perusöljy, jota saostin erittää pieniä määriä ajan myötä. EHD-teorian lainalaisuudet ovat voimassa myös rasvavoitelulle. Ilmoitettaessa viskositeettisuhdetta $\kappa = \nu/\nu_1$ sijoitetaan kaavaan perusöljyn käyttöviskositeetti. Ennen kaikkea alhaisilla κ -arvoilla auttavat saostin ja lisäaineet pääsemään tehokkaaseen voiteluun.

Jos rasvan hyvä sopivuus kyseiseen käyttökohteeseen tunnetaan – esim. FAG:n Arcanol vierintälaakerirasvat (katso sivu 57) – ja varmistetaan hyvä puhtaus sekä riittävä jälkivoitelu, voidaan käyttää samoja K_2 -arvoja kuin sopivasti lisäaineistetuille öljyille. Elleivät nämä olosuhteet vallitse, tulee a_{23II} -arvon määrityksessä valita varmuuden vuoksi alue II:n alaraja. Tämä on tärkeää, varsinkin, jos voiteluväliä ei pidetä. Oikean rasvan valinta on erityisen tärkeää laakereille, joilla on suuri liukumaosuus, sekä suurille ja korkeasti kuormitetuille laakereille. Korkeilla kuormituksilla ovat saostimen voiteluominaisuudet ja lisäaineistus hyvin merkittäviä.

Rasvavoitelussa vain hyvin pieni määrä voiteluainetta ottaa aktiivisesti osaa voitelutapahtumaan. Tavallisen jäykkyyden rasva työntyy suurelta osin pois laakerista tiivistinten kautta. Rasva, joka jää vierintäpintoille ja laakerin sivuille, antaa jatkuvasti tarvittavan pienen määrän öljyä toimintapintojen voiteluun. Vierintäkosketuspintojen välissä vaikuttava voiteluainemäärä riittää normaalilla rasituksella pitemmäksi aikaa voiteluun.

Öljyn luovutus riippuu rasvalaadusta, perusöljyn viskositeetista, öljyä luovutta-

van pinnan suuruudesta, lämpötilasta sekä rasvan mekaanisesta rasituksesta.

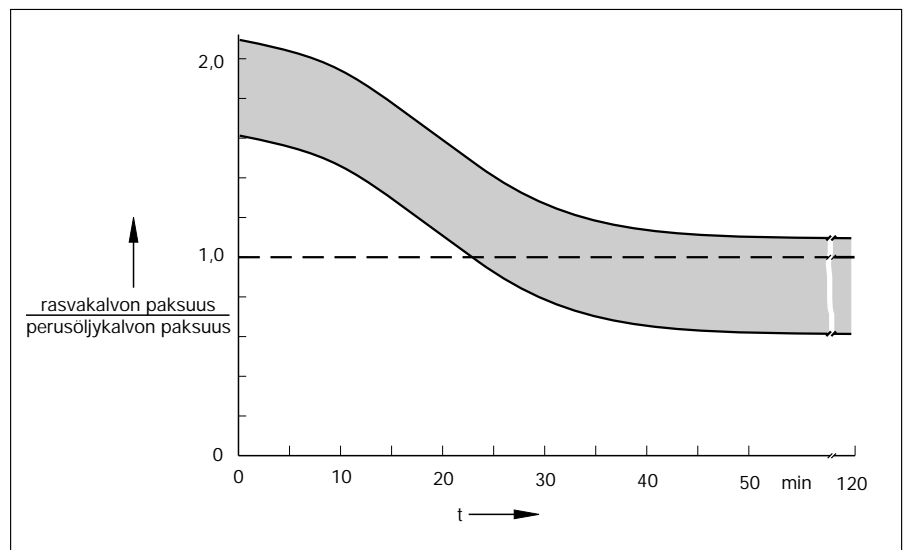
Rasvan saostimen vaikutus tulee tunnetuksi mitattaessa kalvon paksuutta käyntiajan jatkuessa. Käynnistettäessä laakeria sijoittuu kosketuspinoille voitelukalvo, joka saostintyyppistä riippuen on paksumpi kuin perusöljyn antama. Rasvan muuttuminen ja syrjäytyminen vaikuttavat rajusti voitelukalvon ohenemiseen, kuva 13.

Huolimatta mahdollisesti ohentuneesta voitelukalvosta, on voiteluvaikutus riittävä koko voiteluvälille. Rasvassa olevat saostin ja vaikutusaineet tukevat ratkaisevasti voitelua, joten odotettavissa ei ole

eliniän lyhenemistä. Edullista pitkän voiteluvälin saavuttamisessa on, jos rasva luovuttaa öljyä juuri niin paljon kuin laakerin voitelulle on tarpeen. Siten öljyn luovutus kestää pitkän aikaa. Rasvalla, jonka perusöljyn viskositeetti on korkea, on alentunut öljynluovutuskyky. Näiden yhteydessä voidaan hyvä voitelutaso saavuttaa vain laakerin ja pesän korkealla täyttöasteella tai tiheällä jälkivoitelulla.

Saostimen voiteluvaikutus esiintyy vierintälaakereiden toiminnan yhteydessä lähinnä sekakitka-alueella.

13: Rasvakalvon paksuuden suhde perusöljykalvon paksuuteen käyntiajan muuttuessa



1.1.5 Voiteluainekerrokset kuivavoitelussa

Kuivavoitelun vaikutustatapa on lähinnä pinnankarkeuden tasoitus, jolloin ulkopinnan vaikuttava karkeusvyvyys pienenee. Liuku- ja vierintätapahtuman aikana, kiinto voiteluaineen kuormituksen ja raaka-aineen mukaan, muotoutuu metallinen pintakerros tai se syntyy kemiallisesta reaktiosta ulkopinnan kanssa.

Liuskekerrosrakenteisen kiintoainevoitelun yhteydessä suuntautuvat paineena-laiset kiintoainelamellit liukuman vaikutuksesta ulkopintojen suuntaisesti. Liukutapahtuma siirtyy siten pois metallis-

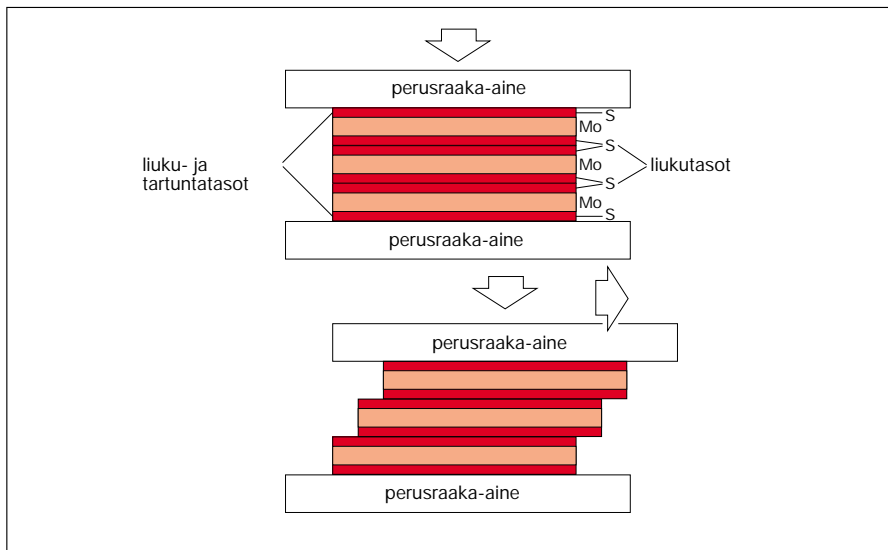
ta ulkopinnoista, kuva 14., Puristuvat kiintovoiteluaineet jakavat paineen tasaisesti suuremmalle alalle. Kiintovoiteluaineita ilman liuskekerrosrakennetta ovat fosfaatit, oksidit, hydroksidit ja sulfidit. Myös kevytmetallikerrokset lasketaan kuivavoiteluaineisiin. Vähäisestä leikkauslujuudesta johtuen toimivat ne kaikin edullisimmin kitkanestossa. Kuivavoitelulla saavutetaan yleisesti huomattavasti lyhyempiä käyntiaikoja kuin öljy- tai rasvavoitelulla. Vierintä- ja liukutapahtumat rasittavat kiintovoiteluainekerrosta ja siirtävät sitä pois. Öljyn tai rasvan mukanaolo vähentää kiintovoiteluainekerroksen käyttöikää riippuen pintojen esikäsit-

telystä ja kiintovoiteluaineen tyyppistä. Lakkapinta mahdollisesti pehmentää ja muuttaa sitä, samalla lakkapinnan välinen kitka nousee. Useita voiteluaineita tarjotaan kiintovoiteluaineilla, etupäässä MoS_2 :lla lisäaineistettuna. Yleinen on 0,5 – 3 painoprosentin lisäys MoS_2 hyytelömäisessä muodossa öljyihin ja 1 – 10 painoprosenttia rasvoihin. Korkeaviskoosisten öljyjen yhteydessä on suurempi väkevöinti molybdeenidisulfidilla välttämätön, jotta voitelu paranisi merkittävästi. Hiukkasista < 1µm muodostuva saostuma on erittäin pysyvä, hiukkaset eivät erkane.

Öljyssä tai rasvassa olevat kiintovoiteluaineet osallistuvat voiteluun vain kosketuspintojen puutteellisen erotuksen yhteydessä (osavoitelu). Kuormitus siirretään edullisemmin kosketuspinoilla, ts. pienemmällä kitkalla ja vähäisemmällä kulumisella. Kiintovoiteluainelisäys öljyssä voi olla myös käyntiinajovaiheen aikana eduksi, jos karheudesta johtuen osalle kosketuspintoja ei ole muodostunut kantavaa voitelukalvoa.

Nopeasti pyörivillä laakereilla vaikuttavat kiintovoiteluainelisäykset mahdollisesti häiritsevästi, koska ne kohottavat laakerikitkaa ja lämpötilaa.

14: Liuskekerrosrakenteisen kiintoainevoitelun vaikutustapa, esimerkiksi molybdeenidisulfidin



Voiteluaine vierintälaakerissa

Kitkamomentin laskenta

1.2 Kitkamomentin laskenta

Vierintälaakerin kitkamomentti M , siis vierintä- liuku- ja voiteluainekitkan summa, on vastus ja siis vastakkainen laakerin toiminnalle. Kitkamomentin M suuruus riippuu kuormituksesta, pyörintänopeudesta ja voiteluaineen viskositeetista (kuva 15). Siinä erotetaan kuormituksesta riippumaton osa M_0 ja kuormituksesta riippuva osa M_1 kitkamomenttia. Musta kolmio pistekatkoviivasta vasemmalle osoittaa, että matalilla pyörintänopeuksilla ja korkeilla kuormituksilla voi M_0 :n ja M_1 :n lisäksi esiintyä huomattava sekakitkaosuus R_M , koska tällä alueella kantava voitelukalvo ei ole vielä erottanut vierintäkosketuspintoja toisistaan. Pistekatkoviivan oikeanpuoleinen alue osoittaa, että kantavan voitelukalvon yhteydessä, joka vallitsee tavallisissa käyntiolosuhteissa, kokonaiskitkamomentti koostuu vain M_0 :sta ja M_1 :stä.

$$M = M_0 + M_1 \text{ [Nmm]}$$

M [N mm] laakerin kokonaiskitkamomentti
 M_0 [N mm] kitkamomentin kuormituksesta riippumaton osuus
 M_1 [N mm] kitkamomentin kuormituksesta riippuva osuus

Sekakitkaa voi esiintyä vierintäradalla, olakkeissa ja pitimessä; se voi nousta epäedullisissa käyntiolosuhteissa hyvin suureksi, mutta on vaikeasti määritettävissä.

Säteiskuulalaakereilla ja pitimellisillä, pelkästään säteittäin kuormitetuilla lieriörullalaakereilla on sekakitkan osuus kuva 15 mukaan merkitykseltömän pieni. Aksiaalisesti kuormitettujen lieriörullalaakereiden kitkamomentti ilmoitetaan kappale 1.2:n lopussa annettavalla kaavalla.

Laakerit, joissa on **suuri liukumaosuus** (täysrullaiset lieriörullalaakerit, kartiorullalaakerit, pallomaiset rullalaakerit, aksiaalilaakerit) toimivat sisäänajovaiheen jälkeen sekakitka-alueen ulkopuolella, jos seuraavat olosuhteet täyttyvät:

$$n \cdot \nu / (P/C)^{0.5} \geq 9000$$

n [min^{-1}] pyörintänopeus
 ν [mm^2/s] öljyn tai rasvan perusöljyn käyttöviskositeetti
 P [kN] yhdistetty dynaaminen kuormitus
 C [kN] dynaaminen kantoluku

Kuormituksesta riippumaton kitkamomenttiosuus M_0 riippuu voiteluaineen käyttöviskositeetista ν ja laakerin pyörintänopeudesta n . Käyttöviskositeettiin puolestaan vaikuttaa laakerilämpötilan kautta laakerikitka.

Lisäksi M_0 :aan vaikuttavat laakerin keskiläpimitta d_m ja erityisesti vierintä-

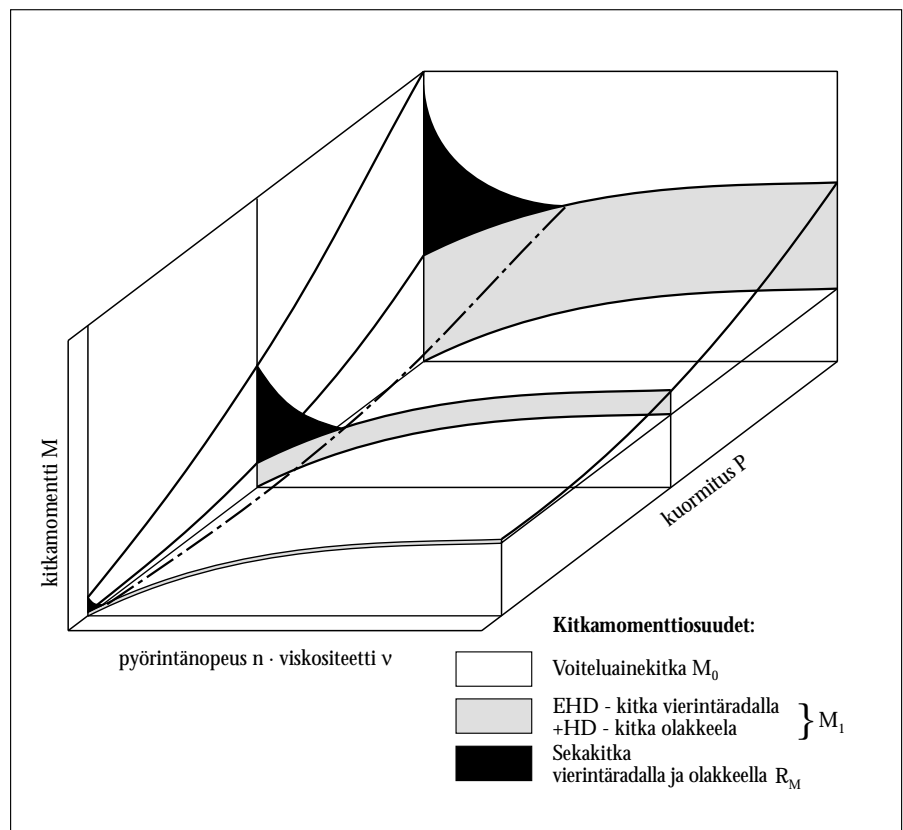
kosketuksen leveys – tyyppi tyypiltä eri voimakkuuksilla. Kitkamomentin kuormituksesta riippumaton osuus ilmoitetaan kokeilutulosten perusteella riittävällä tarkkuudella seuraavasti:

$$M_0 = f_0 \cdot 10^{-7} \cdot (\nu \cdot n)^{2/3} \cdot d_m^3 \text{ [N mm]}$$

jossa

M_0 [N mm] kitkamomentin kuormituksesta riippumaton osuus kerroin joka huomioi laakerityypin ja voitelutavan

15: Vierintälaakerin kitkamomentti, joka riippuu pyörintänopeudesta, voiteluaineen viskositeetista ja kuormituksesta. Kuulalaakereilla (paitsi aksiaalikuulalaakereilla) ja vain säteittäin kuormitetuilla lieriörullalaakereilla sekakitkakolmio on (vasemmalla) merkitykseltömän pieni, siis $R_M \approx 0$



ν [mm²/s] öljyn tai rasvan perusöljyn käyttöviskositeetti (kuva 5, sivu 6)
 n [min⁻¹] laakerin pyörintänopeus
 d_m [mm] (D+d)/2 laakerin keskiläpimitta

Kerroin f_0 annetaan kuvan 16 taulukossa öljyvoitelulle, jossa pyörimättömän laakerin öljypinta ulottuu alimman vierintäelimen puoliväliin. Kerroin f_0 kasvaa samalla d_m :llä kuin kuulakoko tai rullapituus kasvavat, siis epäsuorasti myös laakeripoikkileikkauksen mukana. Taulukossa

annetaan siis leveille sarjoille isompia f_0 -arvoja kuin kapeille sarjoille. Jos säteislaakerit pyörivät pystysuoralla akselilla säteittäin kuormitettuna, on käytettävä kuva 16 taulukon arvoja kaksinkertaisina, samoin suurten jäähdytysöljyvirtaamien tai liian suurten rasvantäyttöasteiden (ts. enemmän rasvaa, kuin sivuun voi siirtyä) yhteydessä.

Tuoreella rasvalla voidelluilla laakereilla on käynnistysvaiheessa sama f_0 -arvo kuin öljykylpyvoitelulla. Rasvan sijoittumisen jälkeen on käytettävä puolta

kuva 16 taulukon arvoista. Se on silloin yhtä alhaalla kuin öljyn minimimäärävoitelussa.

Voideltaessa käyttötapaukseen oikein valitulla rasvalla käy kitkamomentti M_0 selville perusöljyn sisäisestä kitkavastuksesta.

Tarkkoja M_0 -arvoja erilaisimmille rasvoille voidaan ilmoittaa käytännönläheisillä tutkimuksilla. Haluttaessa FAG suosittelee näitä kokeita sitävastan kehitetyllä kitkamomenttimittauslaitteella R27.

16: Kerroin f_0 M_0 :n laskemiseksi öljykylpyvoitelulla riippuen laakerityypistä ja -sarjasta ; rasvavoitelulla rasvan siirtymisen jälkeen ja öljyn minimimäärävoitelulla käytetään 50 % näistä arvoista.

Laakerityyppi Sarja	Kerroin f_0 Öljykylpyvoitelulla	Laakerityyppi Sarja	Kerroin f_0 Öljykylpyvoitelulla
Urakuulalaakeri	1,5...2	Neulalaakeri NA48, NA49	5...5,5
Pallomainen kuulalaakeri		Kartiorullalaakeri	
12	1,5	302, 303, 313	3
13	2	329, 320, 322, 323	4,5
22	2,5	330, 331, 332	6
23	3		
Viistokuulalaakeri, yksirivinen		Pallomainen rullalaakeri	
72	2	213, 222	3,5...4
73	3	223, 230, 239	4,5
		231, 232	5,5...6
Viistokuulalaakeri, kaksirivinen		240, 241	6,5...7
32	3,5	Aksiaali-urakuulalaakeri	
33	6	511, 512, 513, 514	1,5
Nelipistelaakeri	4	522, 523, 524	2
		Aksiaali-lieriörullalaakeri	
Lieriörullalaakeri		811	3
2, 3, 4, 10	2	812	4
22	3		
23	4	Pallomainen aksiaalirullalaakeri	
30	2,5	292E	2,5
täysrullainen		293E	3
NCF29V	6	294E	3,3
NCF30V	7		
NNC49V	11		
NJ23VH	12		
NNF50V	13		

Voiteluaine vierintälaakerissa

Kitkamomentin laskenta

Kuormituksesta riippuva kitkamomentti M_1 muodostuu vierintäkitkasta sekä olakkeiden ja pitimien ohjauspintojen liukukitkasta. M_1 :n laskenta (katso seuraavat yhtälöt) kertoimen f_1 avulla (taulukko, kuva 17) edellyttää erottavaa voitelukalvoa vierintäkosketuspinoilla ($\nu = \nu_1/\nu_2 \geq 1$). Näiden olosuhteiden vallitessa ei M_1 muutu juuri lainkaan kierrosluvun muuttuessa, mutta voimakkaasti kosketuspintojen suuruuden mukaan sekä vierintäelinten/vierintäradan voitelun ja laakerin kuormituksen mukaan. Muita vaikuttavia tekijöitä ovat tässä myös laakerityyppi ja laakerin koko.

Kuormituksesta riippuva kitkamomentti M_1 saadaan kaavasta

$$M_1 = f_1 \cdot P_1 \cdot d_m \quad [\text{N mm}]$$

jossa
 M_1 [N mm] kitkamomentin kuormituksesta riippuva osuus
 f_1 kerroin, joka huomioi kuormituksen suuruuden katso taulukko, kuva 17
 P_1 [N] M_1 :n mitoituskuormitus, katso taulukko, kuva 17
 d_m [mm] $(D + d)/2$ laakerin keskiläpimitta

Kerroin f_1 muuttuu kuulalaakereilla ja pallomaisilla rullalaakereilla kosketuspinnan kaarevuussuhteen takia suhteen $(P_{0^*}/C_0)^s$ mukaan; lieriö- ja kartiorullalaakereilla f_1 pysyy vakiona. Siinä merkitsee P_0 yhdistettyä kuormitusta (dynaamisilla voimilla) ja C_0 staattista kantolukua. Eksponentin s suuruus riippuu kuulalaakereilla ns. porauskitkan osuudesta; kuulalaakereilla, joilla on pieni porauskitka, on $s = 0,5$; kuulalaakereilla, joilla on suuri porauskitka, esim. viistokuulalaakereilla joiden kosketuskulma $\alpha_0 = 40^\circ$ on $s = 0,33$, vertaa taulukko, kuva 17.

17: Kertoimet kuormituksesta riippuvan kitkamomentin M_1 laskemiseksi

Laakerityyppi, sarja	f_1 *)	P_1 1)
Urakuulalaakeri	$(0,0005\dots 0,0009) \cdot (P_{0^*}/C_0)^{0,5}$	F_r tai $3,3 F_a - 0,1 F_r$ 2)
Pallomainen kuulalaakeri	$0,0003 (P_{0^*}/C_0)^{0,4}$	F_r tai $1,37 F_a/e - 0,1 F_r$ 2)
Viistokuulalaakeri yksirivinen, $\alpha = 15^\circ$	$0,0008 (P_{0^*}/C_0)^{0,5}$	F_r tai $3,3 F_a - 0,1 F_r$ 2)
yksirivinen, $\alpha = 25^\circ$	$0,0009 (P_{0^*}/C_0)^{0,5}$	F_r tai $1,9 F_a - 0,1 F_r$ 2)
yksirivinen, $\alpha = 40^\circ$	$0,001 (P_{0^*}/C_0)^{0,33}$	F_r tai $1,0 F_a - 0,1 F_r$ 2)
kaksirivinen tai yksiriviset pareittain	$0,001 (P_{0^*}/C_0)^{0,33}$	F_r tai $1,4 F_a - 0,1 F_r$ 2)
Nelipistelaakeri	$0,001 (P_{0^*}/C_0)^{0,33}$	$1,5 F_a + 3,6 F_r$
Lieriörullalaakeri, jossa on pidin	$0,0002\dots 0,0004$	F_r 3)
Lieriörullalaakeri, täysrullainen	$0,00055$	F_r 3)
Neulalaakeri	$0,0005$	F_r
Kartiorullalaakeri, yksirivinen	$0,0004$	$2 Y F_a$ tai F_r 2)
Kartiorullalaakeri, kaksirivinen tai kaksi yksirivistä X- tai O-asennossa	$0,0004$	$1,21 F_a/e$ tai F_r 2)
Pallomainen rullalaakeri sarjat 213, 222	$0,0005 (P_{0^*}/C_0)^{0,33}$	$1,6 F_a/e$, jos $F_a/F_r > e$ $F_r \{1 + 0,6 [F_a/(e \cdot F_r)]^3\}$, jos $F_a/F_r \leq e$
sarjat 223	$0,0008 (P_{0^*}/C_0)^{0,33}$	
sarjat 231, 240	$0,0012 (P_{0^*}/C_0)^{0,5}$	
sarjat 230, 239	$0,00075 (P_{0^*}/C_0)^{0,5}$	
sarjat 232	$0,0016 (P_{0^*}/C_0)^{0,5}$	
sarjat 241	$0,0022 (P_{0^*}/C_0)^{0,5}$	
Aksiaalirakuulalaakeri	$0,0012 (F_a/C_0)^{0,33}$	F_a
Aksiaalilieriörullalaakeri	$0,0015$	F_a
Pallomainen aksiaalirullalaakeri	$0,00023\dots 0,00033$	F_a (kun $F_r \leq 0,55 F_a$)

*) Suurempi arvo leveille laakereille

1) Jos $P_1 < F_r$, valitaan $P_1 = F_r$

2) Valitaan aina suurempi arvo

3) Vain säteiskuormitus. Aksiaalisesti kuormitettuihin laskettava M_a : $M = M_0 + M_1 + M_a$; M_a katso lieriörullalaakereilla on kitkamomentin M_1 lisäksi kuva 18.

Käytetyt tunnuksat:

P_{0^*} [N] Yhdistetty kuormitus, lasketaan dynaamisella säteiskuormalla F_r ja dynaamisella aksiaalikuormalla F_a , mutta staattisilla kertoimilla X_0 ja Y_0 (katso FAG:n luettelo WL 41520, laajennettu elinikäseläminen)

C_0 [N] Staattinen kantoluku (katso FAG:n luettelo WL 41520)

F_a [N] Dynaamisen laakerikuormituksen aksiaalikomponentti

F_r [N] Dynaamisen laakerikuormituksen säteiskomponentti

Y, e Kertoimet (katso FAG:n luettelo WL 41520)

Mitä suurempia laakerit ovat, sitä pienempiä ovat vierintäelimet suhteessa laakerin keskiläpimittaan d_m . Vierintäelinten ja vierintäradan välinen porauskitka kasvaa siis suhteessa d_m :än nähden. Suurlaakerialueella voidaan varsinkin kaapeiden laakeripoikkileikkausten yhteydessä saada kaavan avulla korkeampia kitkamomentin M_1 arvoja kuin käytännössä esiintyy.

Kuormituksesta riippuvan kitkamomentin M_1 laskemiseksi ilmoitettu kuormitus P_1 huomioi, että M_1 muuttuu kuormituskulman $\beta = \arctan(F_a/F_r)$ mukana. Yksinkertaisemman laskutavan vuoksi ilmoitetaan käyttöarvona aksiaali-kerroin Y , joka myös riippuu suhteesta F_a/F_r ja kosketuskulmasta α .

Ilmoitettaessa kitkamomenttia **lierö-rullalaakereille, jotka ovat myös aksiaalisesti kuormitettuja**, on aksiaalikuormasta johtuva kitkamomentti M_a lisättävä M_0 :aan ja M_1 :een seuraavasti:

$$M = M_0 + M_1 + M_a \quad [\text{Nmm}]$$

ja

$$M_a = f_a \cdot 0,06 \cdot F_a \cdot d_m \quad [\text{Nmm}]$$

f_a kerroin, joka riippuu aksiaali-kuormasta F_a ja voiteluosuhteista (kuva 18)

Annetulla kaavalla voidaan määrittää yhden laakeroinnin kitkamomentti riittävällä tarkkuudella. Käytännössä ovat erot mahdollisia, jos tavoiteltu täysvoitelu ei toteudu vaan sekakitkaa esiintyy. Edullisinta voiteluosuhteita ei käytännössä aina saavuteta.

Vierintälaakerin irtautumismomentti voi konetta käynnistettäessä olla huomattavasti laketun arvon yläpuolella, ennen kaikkea kylmällä, ja jos laakerissa on hankaava tiivistys.

Laakerin, jossa on sisäänrakennettu hankaava tiivistys, laskettua kitkamomenttia on huomattavasti suurennettava. Pienissä, rasvavoidelluissa laakereissa voi kerroin olla jopa 8 (esim. 6201.2RSR vakiorasvalla rasvan sijoittumisen jälkeen), tai suuremmilla laakereilla kerroin on 3 (esim. 6216.2RSR vakiorasvalla rasvan sijoittumisen jälkeen).

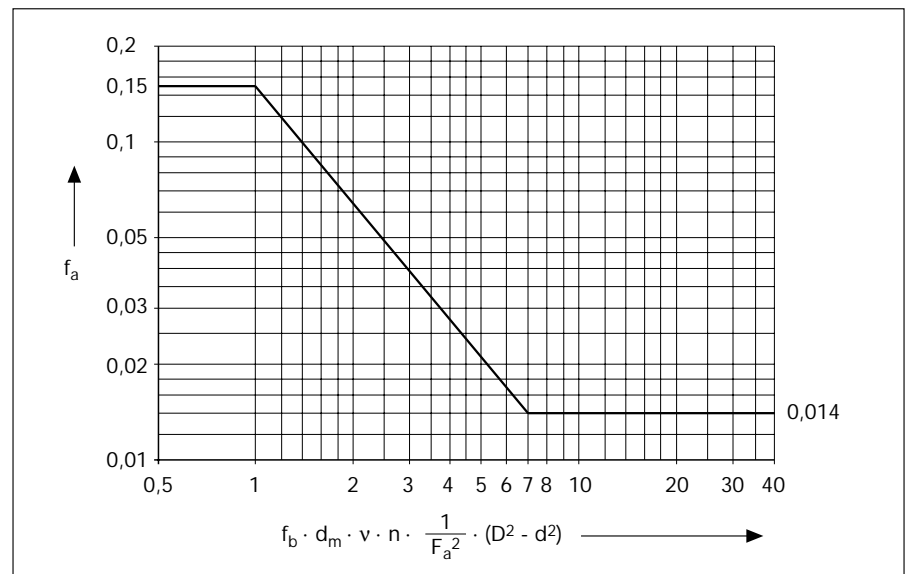
Tiivistimen kitkamomentti riippuu myös rasvan jäykkyysluokasta ja laakerin pyörintänopeudesta.

FAG:n mittalaite R27 soveltuu myös tiivistinten kitkamomenttien tarkkoihin mittauksiin.

18: Kerroin f_a aksiaalikuormituksesta riippuvan kitkamomentin M_a ilmoittamiseksi aksiaalisesti kuormitetuilla lieriörullalaakereilla

Laskemisessa tarvitaan seuraavat tekijät:

$f_b =$	0,0048 pitimellisille laakereille
	0,0061 täysrullaisille laakereille (ilman pidintä)
d_m [mm]	laakerin keskiläpimitta = 0,5 · (D + d)
v [mm ² /s]	öljyn tai rasvan perusöljyn käyttöviskositeetti
n [min ⁻¹]	sisärenkaan pyörintänopeus
F_a [N]	aksaalikuorma
D [mm]	laakerin ulkoläpimitta
d [mm]	laakerin sisäläpimitta



Voiteluaine vierintälaakerissa

Käyntilämpötilan korkeus

1.3 Käyntilämpötilan korkeus

Laakeroinnin käyntilämpötila nousee käynnistyksen jälkeen ja pysyy vakiona, jos lämmön syntyminen ja poistuminen asettuvat keskenään tasapainoon (tasapainolämpötila).

Tasapainolämpötila t voidaan laskea laakerin synnyttämän lämpövirran Q_R [W] ja ympäristöön siirtyvän lämpövirran Q_L [W] yhtälöstä. Laakerin lämpötila t riippuu voimakkaasti laakerin, liitännäosien ja ympäristön välisistä lämmönsiirtymisolosuhteista. Yhtälöt esitetään seuraavassa. Jos siinä tarvittavat arvot K_t ja q_{LB} tunnetaan (mahdollisesti kokemusperäisesti), voidaan niiden avulla lämpötasapainon perusteella määrätä laakerin käyntilämpötila t .

Laakerikitkan **synnyttämä lämpövirta** Q_R lasketaan kitkamomentista M [N mm] (kappale 1.2) ja pyörintänopeudesta n [min⁻¹].

$$Q_R = 1,047 \cdot 10^{-4} \cdot n \cdot M \quad [W]$$

Ympäristöön **siirtyvä lämpövirta** Q_L lasketaan laakerilämpötilan t ja ympäristölämpötilan t_E välisestä lämpötilaerosta [K] lämpöä siirtävien pintojen suuruudesta ($2 d_m \cdot \pi \cdot B$) ja tavallisille käyntiolosuhteille tavallisesta lämpövirtatiheydestä q_{LB} (kuva 19) sekä jäähtymiskertoimesta K_t . Tavallisten pystylaakeripesien lämmönpoisjohtumisolosuhteissa $K_t = 1$, paremmin tai huonommin johtavissa tapauksissa katso seuraavaa.

$$Q_L = q_{LB} \cdot [(t - t_E)/50] \cdot K_t \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot d_m \cdot \pi \cdot B \quad [W]$$

q_{LB} [kW/m²] kuormitus-lämpövirtatiheys, käyrästä, kuva 19

d_m [mm] $(D+d)/2$
 B [mm] laakerin leveys

K_t jäähtymiskerroin
 = 0,5 huonompi lämmön (pois)johtuminen (lämmin ympäristö, ulkoista lämmön kehitystä)
 = 1 tavallinen lämmön johtuminen (vapaasti seisova laakeripesä)
 = 2,5 erittäin hyvä lämmön poisjohtuminen (ajoviima)

Kiertoöljyvoitelussa kuljettaa myös öljy lämpöä pois. Pois kuljetettava lämpövirta $Q_{öl}$ saadaan tulolämpötilasta t_E ja paluulämpötilasta t_A , öljyn tiheydestä ρ ja ominaislämpöenergiamäärästä c ja aikayksikössä läpivirranneesta öljymäärästä m [cm³/min]. Tiheys on tavallisesti 0,86 ... 0,93 kg/dm³, kun samalla ominaislämpöenergiamäärä c – öljytyypistä riippuen – välillä 1,7 ja 2,4 kJ/(kg · K).

$$Q_{öl} = m \cdot \rho \cdot c \cdot (t_A - t_E)/60 \quad [W]$$

Tavallisilla mineraaliöljyillä, joilla $\rho = 0,89$ kg/dm³ ja

$c = 2$ kJ/(kg · K) yksinkertaistuu yhtälö

$$Q_{öl} = 30 \cdot V_{öl} \cdot (t_A - t_E) \quad [W]$$

jossa

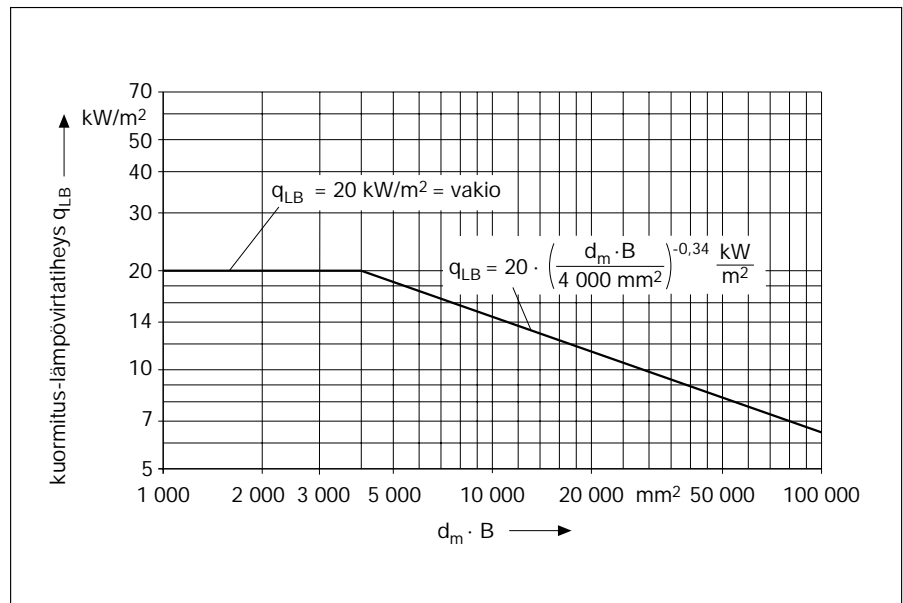
$V_{öl}$ läpivirtaava öljymäärä [l/min]

Laakerilämpötila t saadaan yhtälöstä

$$Q_R = Q_L + Q_{öl} \quad [W]$$

Tällaisen lämpötilalaskelman tulos on usein liian epätarkka, koska laskennassa käytettyjä tekijöitä, varsinkin q_{LB} ja K_t ei yleensä tunneta tarkasti. Käyttökelpoinen lähtötilanne saadaan vasta, kun tasapainolämpötila haetaan käyntikokeesta ja siitä määritetään jäähtymiskerroin K_t . Näin voidaan sitten keskenään verrattavia asennus- ja käyntiolosuhteita varten määrittää erityyppisten laakereiden tasapainolämpötilat erilaisilla kuormituksilla ja pyörintänopeuksilla riittävän tarkasti.

19: Laakerille ominaiset kuormitus-lämpövirtatiheydet olosuhteissa: pyrimätön rengas 70 °C, ympäristön lämpötila 20 °C, kuormitus 4 ... 6 % C₀-sta



2 Voitelutavat

Konetta suunniteltaessa tulisi asennettavan vierintälaakerin voitelutapa määrittellä mahdollisimman aikaisin. Siinä voidaan käyttää rasva- tai öljyvoitelua, erikoistapauksissa myös kiintoainevoitelua. Yleiskuvan tavallisista voitelutavoista antaa kuvan 20 taulukko (sivu 20).

2.1 Rasvavoitelu

Rasvavoitelua käytetään noin 90 %:ssa kaikista vierintälaakeroinneista. Rasvavoitelun olennaiset edut ovat:

- erittäin pieni tilantarve
- rasvan antama hyvä tiivistyksen tuki
- pitkä käyttöikä ja samalla huoltoa sekä voitelulaitetta tarvitsematon voitelu
- soveltuvuus korkeille kierrostunnuksille $n \cdot d_m = 1,8 \cdot 10^6 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$ saakka (n pyörintänopeus, d_m laakerin keskiläpimitta)
- pidempi alastulojakso voitelun loputtua kun rasvan käyttöikä ylittyy toimittaessa keskimääräisillä kierrostunnuksilla
- alhainen kitkamomentti

Tavallisissa käynti- ja ympäristöolosuhteissa on elinikäinen kestovoitelu usein mahdollinen.

Lasketuin määräjain tapahtuva jälkivoitelu on valittava silloin, kun esiintyy korkeita rasituksia (pyörintänopeus, lämpötila, kuormitus). Näissä tapauksissa rasvalle on tehtävä tulo- ja poistokanavat sekä vanhan rasvan keräystila, lyhyillä jälkivoiteluväleillä mahdollisesti myös rasvapumppu ja rasvamäärän säätäjä.

2.2 Öljyvoitelu

Öljyllä tapahtuvaa voitelua käytetään, jos viereisissä koneenosissa on jo öljyvoitelu tai jos voiteluaineella on kuljetettava pois lämpöä. Lämmön poiskuljettaminen voi olla tarpeellinen, jos esiintyy esim. korkeita pyörintänopeuksia ja/tai korkeita

kuormituksia tai jos laakerointiin tulee ulkopuolista lämpöä.

Pienien määrien öljyvoitelussa (minimimäärävoitelu) käytetään tippavoitelua, öljysumuvoitelua tai öljy-ilma-voitelua, jolloin öljymäärä voidaan annostella tarkasti.

Tässä on se etu, että vältetään kahlauskitka ja pidetään laakerikitka alhaisena.

Käytettäessä ilmaa kuljetusaineena voidaan saavuttaa suunnattu tulo ja tiivistystä tukeva virtaus.

Ruiskutusvoitelu suurilla öljymäärillä mahdollistaa hyvin nopeasti pyörivien laakereiden kaikille kosketuspinoille suunnatun voitelun ja hyvän jäähtytymisen.

2.3 Kiintoainevoitelu

Kiintoainevoitelu on on elinikäinen kestovoitelu, jos voiteluaine on sidottu kiinteästi kosketuspintaan, esim. **liukulakka**, ja jos käyntiolosuhteet johtavat vain kohtuulliseen kerroksen poiskulumiseen. Jos kiintovoiteluaineena käytetään **pastaa** tai **pulveria**, on jälkivoitelu mahdollinen. Liiallinen voiteluaine aiheuttaa tosin vierintävastusta.

Kulkeutumavoitelussa ottavat vierintäelimet pieniä määriä voiteluainetta mukaansa ja kuljettavat ne kosketuspinoille. Kiintovoiteluaine pyörii silloin kiinteänä massana vierintäelinisarjan mukana, tai on erikoistapauksissa sijoitettu pysyvänä seososana laakeripitimen raaka-aineeseen. Tämä voitelu on erittäin toimiva ja mahdollistaa suhteellisen pitkän käyntiajan. Se hoitaa jatkuvan jälkivoitelun kunnes kiintovoiteluaineisuus on käytetty loppuun.

2.4 Voitelutavan valinta

Voitelutapaa valitessa on huomioitava seuraavat näkökohdat:

- Vierintälaakerin käyntiolosuhteet
- Vaatimukset laakerin käynti-, melu-, kitka- ja lämpötilaolosuhteille

- Käyntivarmuuden vaatimukset, siis varmuus ennen aikaista vauriota vastaan, jonka aiheuttaa kuluminen, väsyminen, korroosio tai ympäristöstä sisääntunkeutunut aine (esim. vesi, hiekka)
- Kustannukset, jotka syntyvät voitelumenetelmän käyttönostosta ja käynnin aikaisesta huollosta.

Korkean käyntivarmuuden tärkeitä edellytyksiä ovat häiriötön voiteluaineen syöttö laakeriin ja jatkuva voiteluaineen läsnäolo kaikilla kosketuspinoilla. Voiteluaineen läsnäolo ei ole kaikilla voitelutavoilla yhtä varmaa. Valvottu jatkuva öljyn syöttö on eräs varma tapa. Öljykylpyvoiteluissa laakeroinneissa täytyy öljytaso tarkistaa säännöllisesti, mikäli käyntivarmuudelle asetetaan korkeita vaatimuksia.

Rasvavoidellut laakerit ovat riittävän käyntivarmoja, jos niiden jälkivoiteluväliä, tai elinikäisessä kestovoitelussa rasvan käyttöikä, ei ylitetä. Voitelutavoissa, joissa rasvamäärää täydennetään lyhyin välein, riippuu käyttövarmuus syöttölaitteen lutettavuudesta. Suojatuilla laakereilla, ts. vierintälaakereilla, joissa on tiivistysrenkaat molemmilla sivuilla (esim. Clean Bearings öljyvoidelluissa vaihteistoissa), jää käyntivarmuus rasvan käytön päätyttyä hoidettavaksi öljyvoitelulla.

Yksityiskohtaiset ohjeet tavallisten voitelutapojen valintaan annetaan kuva 20:n taulukossa.

Voitelutavat

Voitelutavan valinta

20: Voitelutavat

Voiteluaine	Voitelutapa	Voitelutavan laitteita	Suunnittelu-näkökohtia	Saavutettava kierrostunnukselu $n \cdot d_m$ [$\text{min}^{-1} \cdot \text{mm}$] ¹⁾	Sopivat laakerityypit Käyttörajoitukset
Kiinto-voiteluaine	Elinikäinen kestovoitelu Jälkivoitelu	- -	- -	≈ 1500	Etupäässä urakuulalaakereille
Rasva	Elinikäinen kestovoitelu Jälkivoitelu	- Rasvaprässi Rasvapumppu	- Syöttöporaukset, mahd. rasvamäärän säätäjä, vanhanrasvan koontatila	$\approx 0,5 \cdot 10^6$ $\approx 1,8 \cdot 10^6$ sopiville erikoisrasvoille ja laakereille, voiteluväli kuvan 33 (s 36) taulukon mukaan	Kaikki laakerityypit, paitsi pallomaiset aksiaalirullalaakerit, kuitenkin riippuen kierrosluvusta ja rasva-typistä. Erikoisrasvalla pieni kitka ja melutaso
	Ruiskutusvoitelu	Käyttövoitelu-laitteisto ²⁾	Syöttöputket tai -poraus vanhanrasvan koontatila		
Öljy (suuret öljymäärät)	Öljykylpyvoitelu	Mittatikku, Näyttöputki, Tasonmittaus	Pesässä riittävä öljytila, Ylivuotoporaus, Mittalaiteliitäntä	$\approx 0,5 \cdot 10^6$	Kaikki laakerityypit. Meluvaimennus riippuu öljyn viskositeetistä, korkeampi laakerikitka öljyssäkahlaushäviöstä, Hyvä jäähdytysvaikutus, Hiontahiukkasten poiskuljetus kierto- ja ruiskutusvoitelussa.
	Kiertoöljyvoitelu, jossa syöttö laakeriin, tai laakeriin sijoitettu syöttöyksikkö syöttölaitteisto aakerin om		Öljynsyöttöreiät, laakeripesässä riittävä tilavuus. Viskositeetin ja pyörintäpeuden mukainen syöttölaitteisto. Laakerin syöttövaikutus otettava huomioon.	Ilmoitettava aina erikseen	
	Kiertoöljyvoitelu	Kiertovoitelu-laitteisto ²⁾	Riittävän suuret öljyn ulo- ja poistoreiät	$\approx 1 \cdot 10^6$	
	Öljyn ruiskutusvoitelu	Kiertovoitelu-laitteisto, jossa ruiskusuuttimet ⁵⁾	Öljyn tulo suunnatuilla suihkuilla, poistossa riittävän suuret reiät	kokeiltu $4 \cdot 10^6$ saakka	
Öljy (minimi määrä)	Öljypulssivoitelu Öljytippavoitelu	Käyttövoitelu-laitteisto ²⁾ , tippavoitelija, öljyn ruiskutuslaitteisto	Poistoreiät	$\approx 2 \cdot 10^6$ Riippuu laakerityypistä, öljyn viskositeetistä ja määrästä, rakenteesta	Kaikki laakerityypit. Meluvaimennus riippuu öljyn viskositeetistä, kitka öljymäärästä ja öljyn viskositeetistä
	Öljysumuvoitelu	Öljysumulaitos ³⁾ ehkä öljyerotin	Mahdollisesti imulaitteisto		
	Öljy-ilma-voitelu	Öljy-ilma-voitelu-laitos ⁴⁾	Mahdollisesti imulaitteisto		

1) Riippuu laakerityypistä ja asennusolosuhteista.

2) Keskusvoiteluyksikkö koostuu pumpusta, säiliöstä, suodattimesta, putkistosta, venttiileistä ja annostelijasta. Kiertovoitelussa myös öljyn paluuputkisto, mahdollisesti jäähdytin (katso kuva 21,22). Käyttövoitelulaitteisto jossa aikaohjatut annosteluventtiilit, pienet virtausmäärät ($5 \dots 10 \text{ mm}^3/\text{isku}$).

3) Öljysumulaitteisto koostuu säiliöstä, mikrosumuöljyjästä, putkistosta, paluutiivistysuuttimesta, ohjauksesta, paineilmalaitteistosta (katso kuva 23).

4) Öljy-ilma-voitelulaitteisto koostuu pumpusta, säiliöstä, putkistosta, tilavuusvirtaisesta öljy-ilma-annostelijasta, suuttimista, ohjauksesta, paineilmalaitteistosta (katso kuva 24)

5) Suuttimien selvitys (katso kuva 51, sivu 45).

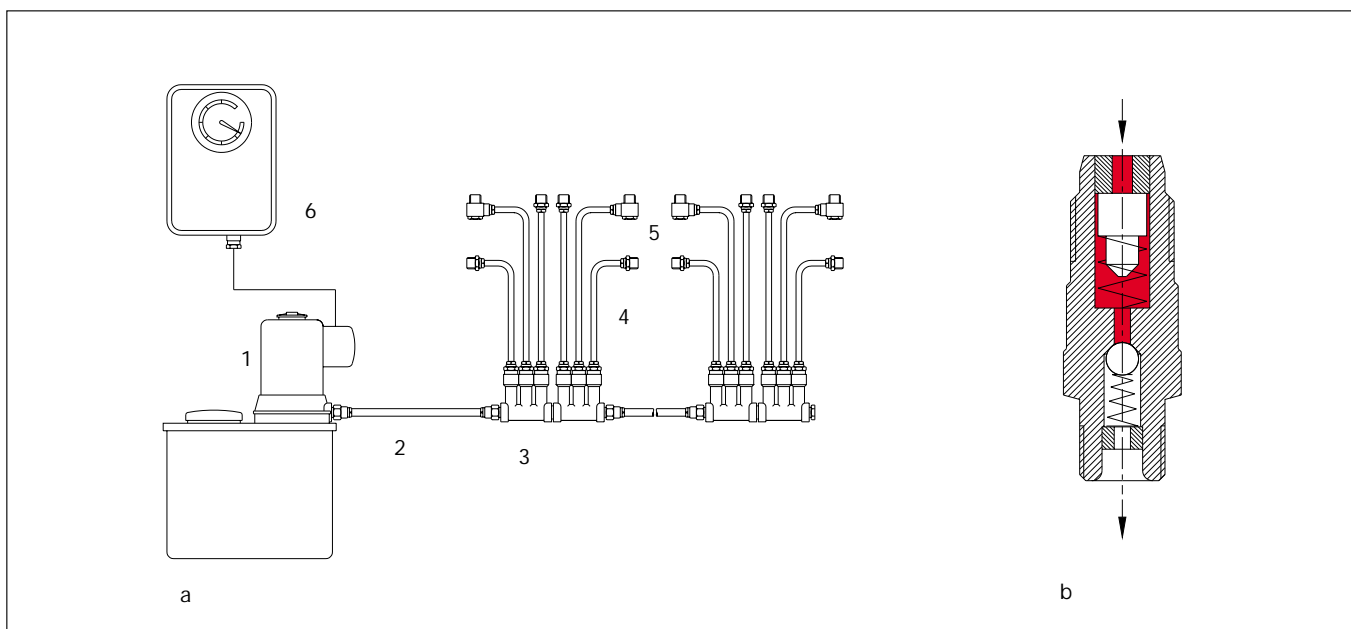
2.5 Esimerkkejä erilaisista voitelumenelmistä

2.5.1 Keskusvoitelujärjestelmä

Kuva 21: Se voidaan sijoittaa käyttövoitelun tai kiertovoitelun yhteyteen. Aikaohjattu pumppu syöttää öljyä tai juoksevaa rasvaa annosteluventtiiliin. Tällaisella venttiilillä voidaan syötettävä määrä säätää välillä 5 ... 500 mm³/isku. Määrittämällä jaksoaika ja venttiilin

eteenpäin syöttämän määrän valinnalla tulee mahdolliseksi myös vain yhtä pumpppua käyttämällä huolehtia useampien laakerointien erilaiset voiteluainetarpeet erilaisilla määrillä öljyä tai juoksevaa rasvaa. Jäykkyysluokkien 2 ja 3 rasvat soveltuvat niinkutsuttuihin kaksiputkilaitteisiin, etenemälaitteisiin ja moniputkilaitteisiin. Moniputkilaitteissa jokainen pumppuliitäntä syöttää yhteen ainoaan voitelukohteeseen rasvaa tai öljyä.

- 21a: Keskusvoitelujärjestelmän rakenne (yksiputkijärjestelmä). 1 = pumppu, 2 = pääputki, 3 = annostusventtiili
4 = voitelukohdeputki, 5 = voitelukohde, 6 = ohjausyksikkö
- 21b: Esimerkki annosteluventtiilistä



Voitelutavat

Esimerkkejä

2.5.2 Kiertoöljyvoitelujärjestelmä

Kuva 22: Suurten määrien kiertoöljyvoitelussa voi öljyn jako tapahtua myös rajoitinventtiilillä ainakin siellä, missä laakereihin johdettu öljymäärä voi hie-man vaihdella. Rajoitinventtiilin kautta voidaan johtaa useita litroja öljyä minuutissa (jäähdytysvoitelu). Öljykierrossa ovat kulloistenkin tarpeiden ja käyttövarmuuden vaatimusten mukaisesti: paineenrajoitusventtiili, jäähdytin, suodatin, painemittari, lämpömittari, öljypinnan tarkistus ja säiliön lämmitys. Laakeriin pääsevä määrä riippuu öljyn viskositeetista ja siten myös öljyn lämpötilasta.

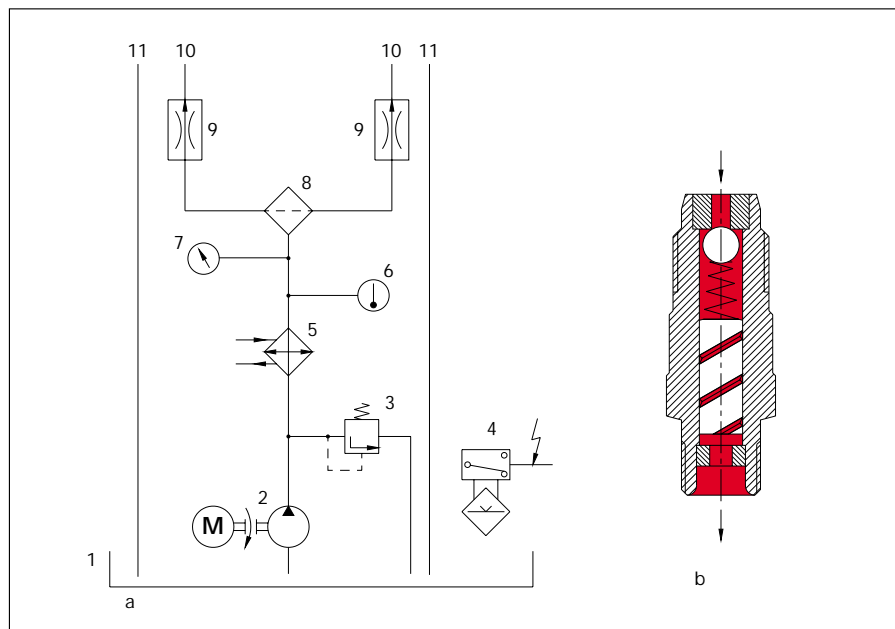
2.5.3 Öljysumujärjestelmä

Kuva 23: Paineilmasuodattimessa puhdistettu ilma virtaa venturiputken kautta ja imee öljyä imuputken kautta säiliöstä. Imetty öljy otetaan mukaan osittain öljysumuna. Suuremmat pisarat, jotka eivät sumuttuneet, putoavat ilmavirrasta ja virtaavat takaisin säiliöön. Sumussa öljypisaroiden koko on 0,5 ... 2µm. Öljysumu on helppo kuljettaa putkistoissa, mutta se kostuttaa huonosti. Siksi juuri ennen voideltavaa laakeria sumupisarat tiivistetään takaisin tiivistys- tai sumunpalautussuuttimessa, niin että erottunut öljy siirtyy isoina pisaroina ilmavirrasta laakeriin.

Koska takaisintivistys ei aina toteudu täysin, on otettava huomioon, että ulosvirtaavan ilman mukana voi ympäristöön päästä myös öljyä. Öljysumu on ympäristöä kuormittavaa. Öljysumuvoitelussa käytetään öljyä viskositeetti luokkaan ISO VG 460 asti. Sitkeämpiä öljyjä on lämmitettävä niin, että niiden viskositeetti on alle 300 mm²/s.

22a: Kaavio kiertoöljyvoitelusta (esimerkki). 1 = säiliö, 2 = öljypumppuyksikkö, 3 = paineenrajoitusventtiili, 4 = sähköinen öljytason tarkistus, 5 = jäähdytin, 6 = lämpömittari, 7 = painemittari, 8 = suodatin, 9 = jakaja (virtauksen säätöventtiili, rajoitin), 10 = voitelukohde, 11 = öljyn paluuputkisto.

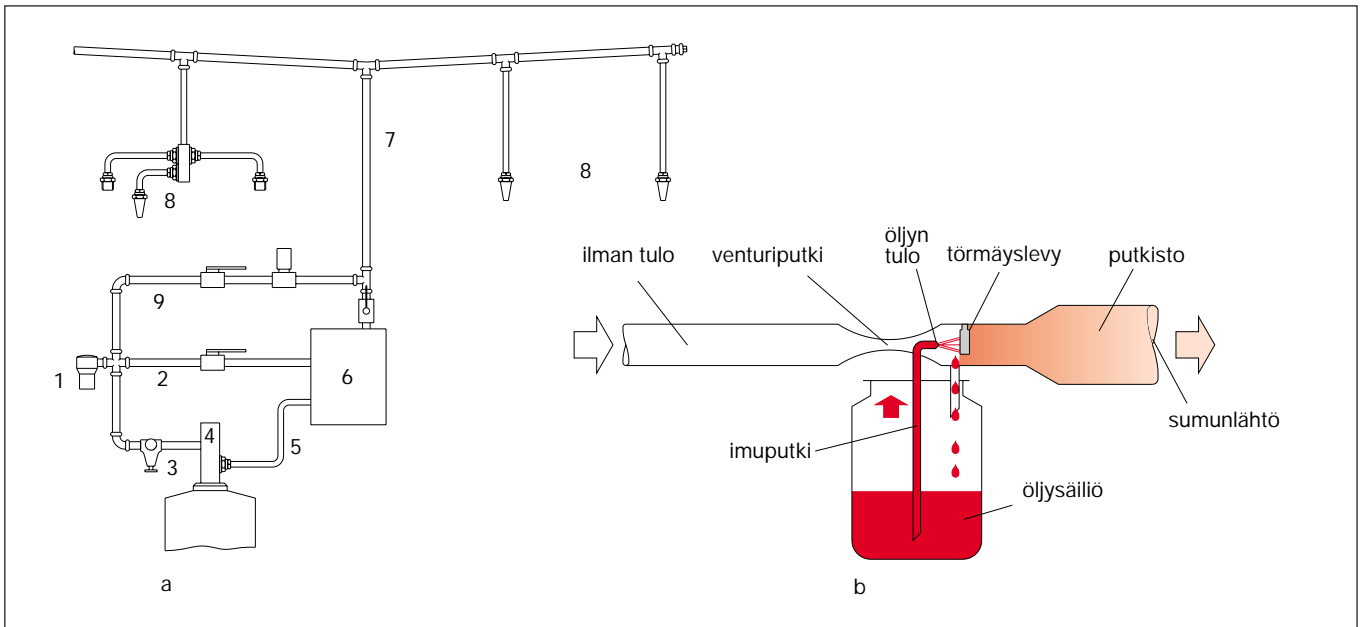
22b: Esimerkki rajoittimesta



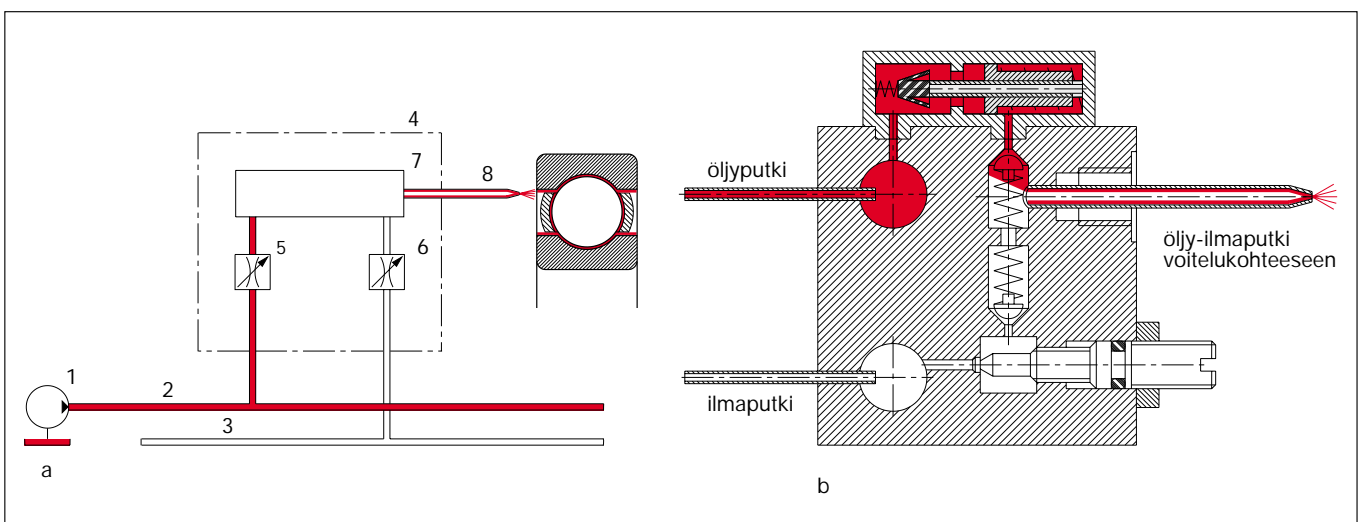
2.5.4 Öljy-ilma-voitelujärjestelmä

Kuva 24: Öljyn ilmaansekoitussyksikössä, kuva 24b, säätöventtiili ruiskuttaa öljyä jaksottain jatkuvaan ilmavirtaan. Ohjaus- ja valvontayksikkö ohjaa öljypumpun jaksottaista käyntiä. Ilmavirta kuljetetaan ruiskutettavan öljymäärän putken seinämää pitkin varmasti laakeriin. Öljy-ilmavirran johtamiseen suositellaan läpinäkyvää muoviputkea, jotta öljyvirtaa voidaan seurata. Putken sisämitan tulee olla 2 – 4 mm ja pituus vähintään 400 mm, tasaisen öljynsyötön varmistamiseksi. Öljysumun muodostuminen vältetään laajasti. Näissä voidaan käyttää aina ISO VG 1500 öljyjä (viskositeetti huoneenlämmössä n. 7000 mm²/s). Öljy-ilma-voitelulla on öljysumuvoiteluun verrattuna se etu, että suuremmat öljypisarat tarttuvat paremmin laakeripintoihin, niin että ilman ulosvirtauksen yhteydessä ympäristöön leviää vain vähän öljyä.

- 23a: Öljysumujärjestelmän rakenne. 1 = ilmasuodatin, 2 = ilman syöttö, 3 = paineen säätäjä, 4 = pumppu, 5 öljyputki, 6 = öljyn sumutusyksikkö, 7 = öljysumuputket, 8 = sumun tiivistysuutin (voitelukohte), 9 = ilman paluuputki
23b: Kaavio öljyn sumutusyksiköstä (venturiputki)



- 24a: Periaate öljy-ilma-voitelusta (Woernerin mukaan). 1 = aikaohjattu öljypumppu, 2 = öljyputki, 3 = ilmaputki, 4 = öljyn ja ilman sekoitusyksikkö, 5 = öljyn annostelu, 6 = ilman annostelu, 7 = sekoituskammio, 8 = öljy-ilmaputki.
24b: Öljyn ja ilman sekoitusyksikkö



Voitelutavat · Voiteluaineen valinta

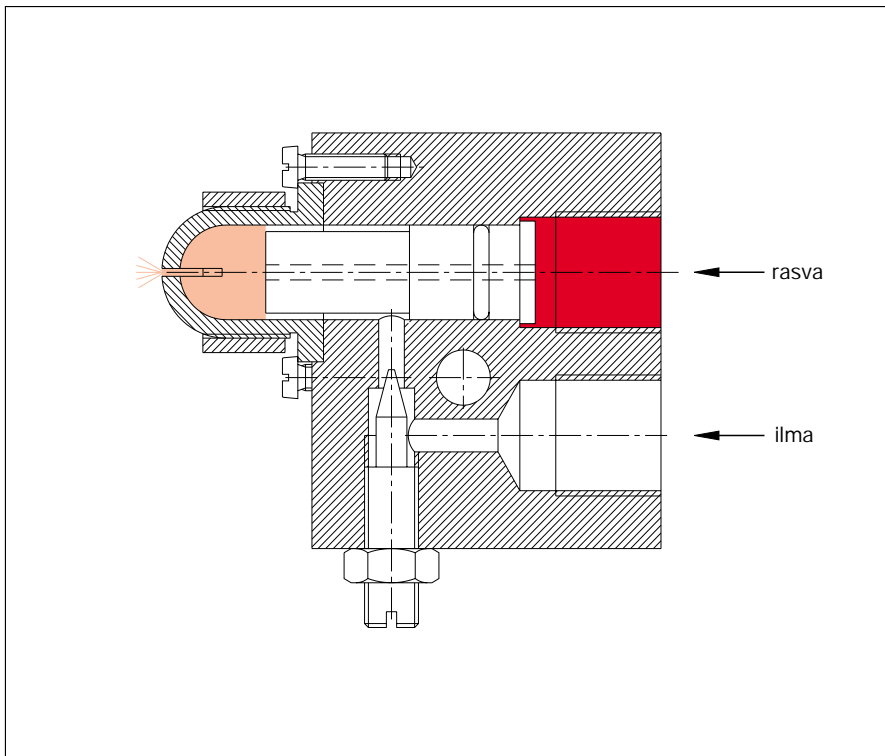
Esimerkkejä

2.5.5 Öljyn ja rasvan ruiskutusvoitelu

Tässä tarvittavan laitteiston rakenne on sama kuin öljy-ilma-voitelussa. Ohjausyksikkö avaa ruiskutusilman magneettiventtiilin. Ilmanpaine vaikuttaa edelleen pneumaattiseen voiteluaineen sulkuventtiiliin ja säätää ruiskutuspulssin pituutta. Voiteluaine syötetään ruiskutuspään pneumaattisella keskusvoite-

lupuristimella. Ilma ottaa mukaansa ruiskutuspään syötetyn voiteluaineen. Syntyvä ruiskautuskuvio riippuu aukon muodosta ja koosta. Tarvittava ilmanpaine on 1 – 2 baaria. Hieno ruiskutus saavutetaan 4 – 5 baarilla. Menetelmässä voidaan käyttää rasvoja joiden jäykkyysluokka on 000 – 3 ja öljyjä ISO VG 1500 (viskositeetti huoneenlämmössä n. 7000 mm²/s asti).

25: Rasvan ruiskutuspää



3 Voiteluaineen valinta

Useimmissä käytännössä esiintulevissa käyttöolosuhteissa eivät vierintalaakerit aseta voitelulle mitään erityisen korkeita vaatimuksia. Monet laakerit toimivat jopa sekakitka-alueella. Mikäli vierintalaakereiden toimintakyky ja ominaisuudet halutaan täysin hyödyntää on huomioitava seuraavat ohjeet.

Vierintalaakerivalmistajien suosittelemat rasvat, öljyt tai kiintovoiteluaineet täyttävät vierintalaakerivoiteluaineiden seuraavat nimetyt vaatimukset. Ne mahdollistavat oikein valittuna laajalla pyörintänopeus- ja kuormitusalueella luotettavan voitelun.

Vierintalaakerirasvat on vakioitu DIN 51825 mukaan. Niiden tulee esim. ylimällä käyttölämpötilarajalla saavuttaa FAG:n vierintalaakerirasvan testauslaitteissa FE9 (DIN 51821) tietty käyntiaika F₅₀.

Sekakitka-alueen voiteluaineet korkeilla kuormituksilla tai alhaisella käyttöviskositeetilla korkeissa lämpötiloissa arvioidaan niiden kitka- ja kulumiskestokyvyn perusteella. Tässä voidaan välttää kuluminen vain, jos kosketusalueella on erottava rajapinta. Se muodostuu esim. lisäaineiden reagoissa metallisen ulkopinnan kanssa vierintäkosketuksessa korkean paineen alaisena lisäaineiden edellyttämässä lämpötilassa. Näiden voiteluaineiden testaukseen käytetään FAG:n FE8-testauslaitetta (E DIN51819).

Erittäin voimakkaasti lisäaineistettuja mineraaliöljyjä, esim. hypoidiöljyjä, ja synteettisiä öljyjä käytettäessä on huomioitava niiden yhteensopivuus tiivistinraaka-aineen ja laakeriraaka-aineen (erityisesti pidinmateriaalin) kanssa.

26: Rasvan valinta erilaisten arvosteluperusteiden mukaan

Rasvan valinnan perusteita	Valittavan rasvan ominaisuuksia (katso myös kappale 3.1)
Käyntiedellytykset Kierrostunnusluku $n \cdot dm$ Kuormitussuhde P / C	Rasvan valinta käyrästä, kuva 28 mukaan (sivu 27). Korkeilla kierrostunnusluvuilla $n \cdot dm$: jäykkyysluokka 2 – 3 Korkeilla kuormitussuhteilla P / C : jäykkyysluokka 1 – 2
Vierintäominaisuuksien vaatimukset Pieni kitka, myös käynnistettäessä	Jäykkyysluokan 1 – 2 rasva, jonka synteettisellä perusöljyllä matala viskositeetti
Pieni ja tasainen kitka tasapainotilassa, mutta korkeampi käynnistyskitka sallitaan	Jäykkyysluokan 3 – 4 rasva, täyttöaste n. 30 % laakerin vapaasta tilasta tai Jäykkyysluokan 2 – 3 rasva, täyttöaste < 20 % laakerin vapaasta tilasta
Hiljainen käyntiääni	Äänetön jäykkyysluokan 2 rasva (korkea puhtausaste)
Sijaintiosuhteet Laakerin akseli vinossa tai pystysuorassa	Tartuntakykyinen jäykkyysluokan 3 – 4 rasva
Ulkorengas pyörii, sisärengas paikallaan tai laakeriin kohdistuu keskipakovoima	Jäykkyysluokan 2 – 4 rasva, jossa suuri saostinosuus täyttöaste riippuu pyörintänopeudesta
Huolto Tiheä jälkivoitelu	Pehmeä jäykkyysluokan 1 – 2 rasva
Satunnainen jälkivoitelu, elinikäinen kestovoitelu	Jäykkyyden säilyttävä jäykkyysluokan 2 – 3 rasva, ylin sallittu lämpötila huomattavasti korkeampi kuin käyntilämpötila
Ympäristöolosuhteet Korkea lämpötila, elinikäinen kestovoitelu	Lämpöä kestävä rasva jossa synteettinen perusöljy ja lämpöäkestävä (mahdollisesti synteettinen) saostin
Korkea lämpötila, jälkivoitelu	Rasva, joka ei muodosta jäänteitä korkeissa lämpötiloissa, pitkä käyttöikä korkeissa lämpötiloissa
Alhainen lämpötila	Rasva, jossa matalaviskositeettinen synteettinen perusöljy ja sopiva saostin jäykkyysluokka 1 – 2
Pölyinen ympäristö	Kova jäykkyysluokan 3 rasva
Kondenssivettä	Vettäsitova rasva, kuten esim. natronsaippuarasva
Roiskevettä	Vettähylyvä rasva, esim. kalsiumsaippuarasva, jäykkyydenluokka 3
Syövyttävät aineet (hapot, emäkset jne)	Erikoisrasva, kysyttävä FAG:ltä tai voiteluainevalmistajilta
Radioaktiivinen säteily	Energia-annoksiin $2 \cdot 10^4 \text{ J / kg}$ saakka, DIN 51 825 mukaiset vierintälaakerirasvat Energia-annoksiin $2 \cdot 10^7 \text{ J / kg}$ saakka, selvitettävä FAG:n kanssa
Tärinärasitusta	Paineenkestolisäaineistettu (EP) Litiumsaippuarasva jäykkyysluokka 2, tiheä jälkivoitelu. Voimakkaan tärinärasituksen yhteydessä jäykkyysluokan 3 Litiumsaippuarasva
Alipaine	10^{-5} mbar saakka, riippuen lämpötilasta ja perusöljystä, DIN 51 825 mukainen vierintälaakerirasva, selvitettävä FAG:n kanssa

Voiteluaineen valinta

Rasva

27: Voitelurasvojen ominaisuuksia

Rasvatyyppi			Ominaisuudet						
Saostin laji	Perusöljy saippua		Lämpötila-alue °C	Tippapiste °C	Vedenkesto-kyky	Paineenkesto-kyky	Hinta-suhde*	Sopivuus vierintä-laakereille	Erityishuomioita
tavallinen	alumiini kalsium	mineraali-öljy	-20...70	120	++	+	2,5...3	+	Turpoaa veden kanssa
			-30...50	80...100	+++	+	0,8	+	Hyvä tiivistysvaikutus vettä vastaan
			-35...130 -30...100	170...200 150...190	+++ -	+	1 0,9	+++ ++	Monikäyttorasva Sitoo vettä
	litium	PAO	-60...150	170...200	+++	++	4...10	+++	Matalille ja korkeille lämpötiloille, suurille pyörintänopeuksille
	litium	esteri	-60...130	190	++	+	5...6	+++	Matalille lämpötiloille, suurille pyörintänopeuksille
yhdis- telmä	alumiini kalsium	mineraali-öljy	-30...160	260	+++	+	2,5...4	+++	Monikäyttorasva
			-30...140 -30...140	220 240	++ ++	++ ++	4...5 0,9...1,2	+++ +++	Monikäyttorasva, höyryä kestävä Monikäyttorasva, heikkenee kovettumiseen asti
			-30...150 -30...130	240 220	++ +	++ +	2 3,5	++ +++	Monikäyttorasva Monikäyttorasva korkeille lämpötiloille
	alumiini kalsium	PAO	-60...160	260	+++	++	10...15	+	Laajalle lämpötila-alueelle, hyvä kuljetettavuus
			-60...160	220	+++	+++	15...20	+++	Matalille ja korkeille lämpötiloille, suurille pyörintänopeuksille
			-60...160	240	+++	+++	15...20	+++	Matalille ja korkeille lämpötiloille, suurille pyörintänopeuksille
			-40...180	240	++	+++	15	+++	Laajalle lämpötila-alueelle
	barium kalsium	esteri	-40...130 -40...130	200 200	++ +++	++ ++	7 7	+++ +++	Matalille lämpötiloille ja suurille pyörintänopeuksille
			-40...180	240	++	+	10	+++	kohtuullinen kuormitus
			-40...180	240	++	-	20	++	Erittäin laajalle lämpötila-alueelle, P / C < 0,03
bentoniitti	mineraali-öljy PAO	-20...150	ei ole	+++	+	2...6	++	Korkeille lämpötiloille pienillä pyörintänopeuksilla	
		-50...180	ei ole	+++	+	12...15	++	Laajalle lämpötila-alueelle	
urea	mineraali-öljy PAO	-25...160	250	+++	++	3	+++	Korkeille lämpötiloille keskimääräisillä pyörintänopeuksilla	
		-30...200	250	+++	+++	10	+++	Korkeiden lämpötilojen rasva jolla hyvät pitkäaika-ominaisuudet	
	silikoni-öljy fluori-silikoni-öljy	-40...200	250	+++	-	20	++	Korkeille ja matalille lämpötiloille, alhainen kuormitettavuus	
		-40...200	250	+++	+	100	+++	Korkeille ja matalille lämpötiloille, kohtuullinen kuormitettavuus	
PTFE tai FEP	alkoxy-fluori-öljy fluori-silikoni-öljy	-50...250	ei ole	+++	++	100...150	+++	Molemmat rasvat hyvin korkeille ja matalille lämpötiloille	
		-40...200	ei ole	+++	++	80...100	+++	Erittäin hyvä kemikaalien ja liuottimien kestävyys	

* Verrattuna litiumsaippuurasvaan, jossa mineraaliöljy
 +++ erittäin hyvä
 ++ hyvä
 + kohtuullinen
 - huono

3.1 Sopivan rasvan valinta

Voitelurasvoja jaotellaan ennen kaikkea niiden pääaineosien saostimen ja perusöljyn mukaan. Saostimena käytetään useimmiten tavallista metallisaippuaa, mutta myös yhdistelmäsaippuista kuten bentoniitti, urea, PTFE tai FEP. Perusöljyksi sijoitetaan mineraaliöljy tai synteettinen öljy. Perusöljyn viskositeetti yhdessä saostimen kanssa määräävät voitelurasvan jäykkyyden ja voitelukalvon muodostumisen.

Voiteluöljyn lisäksi voitelurasva sisältää vaikutusaineita (lisäaineita) rasvan kemiallisten tai fysikaalisten ominaisuuksien parantamiseksi, kuten esim. hapettumisenestokyky, korroosion suojaus tai kulumisen suojaus korkeilla kuormituksilla (paineenkesto = EP-lisäaineistus).

Yleiskatsauksen tärkeimmistä vierintälaakerivoiteluun soveltuvista rasvatyypeistä antaa kuva 27:n taulukko. Taulukossa olevat tiedot ovat keskiarvoja. Useimpia siinä esitettyjä rasvoja valmistetaan erilaisissa jäykkyyksiluokissa. Rasva-

valmistajat ilmoittavat tarkkoja tietoja. Taulukon perusteella on mahdollista tehdä ensimmäinen suuntautuminen. Alustavia ohjeita rasvan valintaan antavat seuraava esitys ja kuvan 26 taulukko (sivu 25).

3.1.1 Pyörintänopeuden ja kuormituksen asettamat vaatimukset

Pyörintänopeuden ja kuormituksen vaikutus rasvan valintaan esitetään kuvan 28 käyrästä. Arvioinnissa tarvitaan:

C	[kN]	dynaaminen kantoluku
P	[kN]	laakerin yhdistetty dynaaminen kuormitus (laskenta FAG:n vakio-ohjelmassa)
n	[min ⁻¹]	pyörintänopeus
d _m	[mm]	laakerin keskiläpimitta (D + d)/2
k _a	[mm]	kerroin laakerityypin liukukitka-osuuden huomioimiseksi

Kuvan 28 käyrästä on jaettu kolmeen vaatimusalueeseen. Säteittäisessä kuormi-

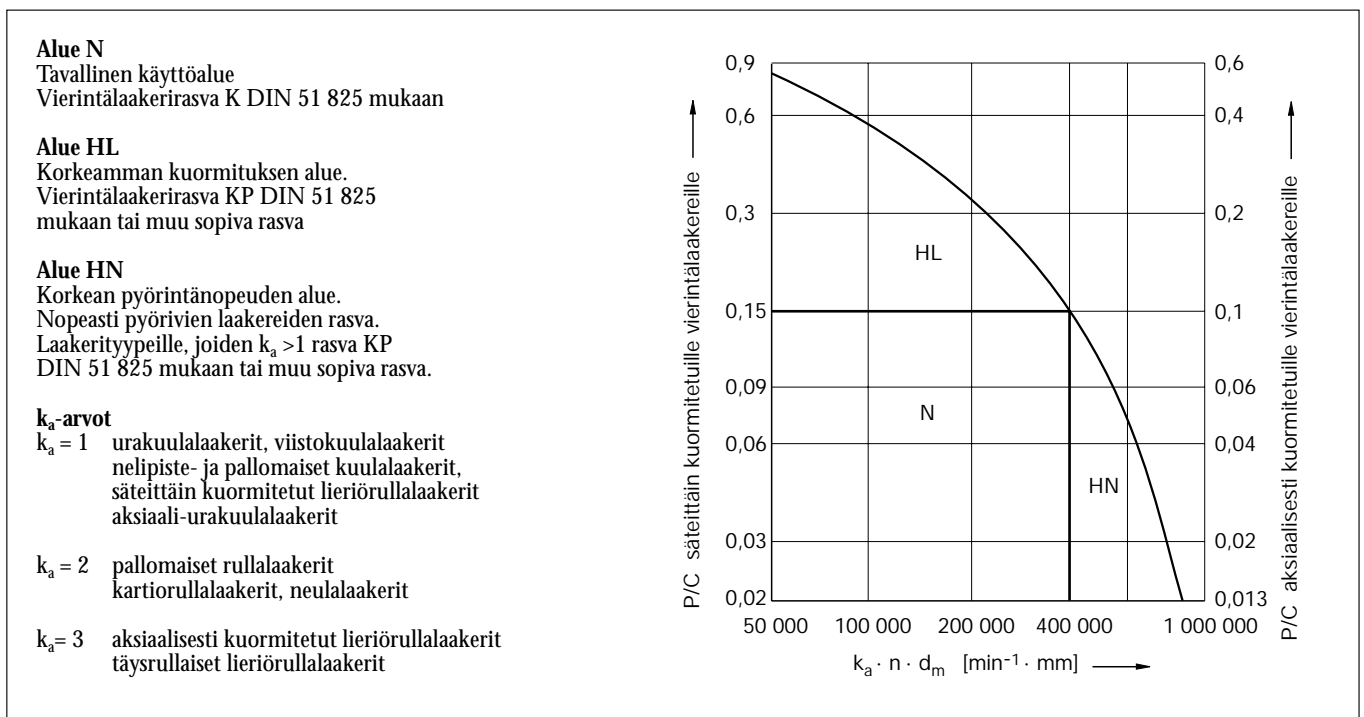
tuksessa käytetään vasenta pystysteikkoa ja aksiaalikuormituksessa oikean puoleista.

Tapauksissa, jotka sijaitsevat **alueella N**, voidaan voiteluun käyttää lähes kaikkia DIN 51 825 mukaisia vierintälaakerirasvoja. Ulkopuolelle jäävät vain rasvat, joilla on äärimmäinen perusöljyn viskositeetti tai jäykkyys sekä eräät erikoisrasvat, esim. silikonirasvat, joita tulisi käyttää vain kuormituksen P / C = 0,03 saakka.

Jos vaatimukset sijaitsevat N-alueen oikeanpuoleisessa ylänurkassa, esiintyy silloin samanaikaisesti korkea kuormitus ja korkea pyörintänopeus. Tällöin voi korkeamman käyntilämpötilan takia olla lämpöä kestävä rasva tarpeellinen. Rasvan ylemmän käyttölämpötilarajan tulee olla huomattavasti korkeammalla kuin käyntilämpötilan.

Alueella HL sijaitsevat korkeasti kuormitetut laakeroinnit. Täällä tulee valita rasvat joilla on korkea perusöljyn viskositeetti, paineenkeston (EP) lisäaineistus ja mahdollisesti kiintovoiteluainelisäys.

28: Rasvan valinta kuormitussuhteen P / C ja laakerityypin mukaisen kierroslukutunnuksen k_a · n · d_m perusteella



Voiteluaineen valinta

Rasva

Korkeasti kuormitetuilla ja hitaasti pyörivillä laakereilla nämä lisäaineet vaikuttavat siten, että osittain puuuttuvan hydrodynaamisen voitelun (osavoitelun) kohdalla esiintyy "kemiallista voitelua" ja kuiva-ainevoitelua.

HN-alueella rasitukselle on tunnusomaista suuri pyörintänopeus ja alhainen kuormitus. Suurilla pyörintänopeuksilla on ennen kaikkea rasvan aiheuttaman kitkan oltava alhainen ja rasvan on kiinnityttävä hyvin. Nämä edellytykset saavutetaan rasvoilla joissa on matalaviskoosinen esteri-perusöljy. Periaatteessa ovat rasval valmistajien antamat rasvojen sallittujen kierrostunnuslukujen ohjearvot sitä korkeampia, mitä alhaisempi on perusöljyn viskositeetti.

3.1.2 Pyörintäominaisuuksien vaatimukset

Alhainen, tasainen kitka on laakeroinneissa tärkeä, kun säätöliikkeiden tulee tapahtua nykimättömästi esim. teleskooppien laakeroinneissa. Sellaisissa tapauksissa käytetään paineenkestolisäaineistettua litiumsaippuarasvaa, jossa on korkeaviskoosinen perusöljy ja MoS₂-lisäys. Kitkan on oltava pieni myös silloin, kun käyttöteho määrätty suurelta osin laakerin tehohäviöistä, esim. pienissä heikkotehoisissa sähkömoottoreissa. Jos sellainen laakerointi käynnistyy kylmissä olosuhteissa, soveltuu erittäin hyvin jäykkyyden 2 rasva, jossa on matalaviskoosinen synteettinen perusöljy.

Normaalilämpötilassa pieni kitka voidaan saavuttaa – lukuunottamatta lyhyttä rasvan tasoittumisaikaa – valitsemalla jähmeämpi jäykkyyden 3 – 4 rasva. Sellaista rasvaa vievät pyörivät laakerin osat vain vähän mukanaan, jos ylimääräinen rasva voi asettua laakeripesän vapaaseen tilaan.

Äänettömien laakereiden voitelurasva ei saa sisältää mitään kiinteitä aineosia. Näiden rasvojen tulee olla siksi mahdollisimman hyvin suodatettuja ja homogeenisoituja. Korkea perusöljyn viskositeetti

vaikuttaa melua vaimentavasti erityisesti ylemmällä taajuusalueella.

Äänettömien urakuulalaakereiden vakiorasvana käytetään usein tavallisissa lämpötiloissa suodatettua jäykkyyden 2 litiumsaippuarasvaa, jonka perusöljyn viskositeetti on noin 60 mm²/s 40 °C:ssa. FAG:n laakerit, joissa on vakiona suoja- tai tiivistinlevyt, ovat täytetyt erittäin äänettömällä rasvoilla.

3.1.3 Erityiset käyntiolosuhteet ja ympäristön vaatimukset

Korkea lämpötila esiintyy korkeilla kuormituksilla ja/tai suurilla kehänopeuksilla ja jos laakerointiin tulee ulkoista lämpöä. Silloin on käytettävä korkean lämpötilan rasvoja. Tällöin on huomioitava rasvan "lämpötilaraja" (katso 4.1.3), sillä sen ylittäminen lyhentää rasvan käyttöikä huomattavasti. Litiumsaippuarasvoilla se on noin 70 °C, lämpökestävillä rasvoilla, joissa on mineraaliöljy ja lämpöä kestävä saostin, rasvatyyppistä riippuen 80 – 110 °C. Korkean lämpötilan rasvoilla, joissa on synteettinen perusöljy, on korkeissa lämpötiloissa vähän höyrystymishäviöitä ja hyvä vanhenemisenkestokyky. Rasvat, joissa on korkeaviskoosinen alkoxyfluoriöljy perusöljynä, soveltuvat urakuulalaakereissa hyvin vielä kierrostunnusluvuille $n \cdot d_m = 140\,000 \text{ min}^{-1}$ myös jopa 250 °C:n lämpötilassa. Kohtuullisissa lämpötilassa voivat korkean lämpötilan rasvat olla epäedullisempia kuin vakiorasvat.

Tilapäisesti voidellaan korkeissa lämpötilassa laakereita myös vähemmän lämpökestävillä rasvoilla, jolloin tiheä jälkivoitelu on välttämätön. Tällöin on valittava rasva, joka laakerissaoloaikana ei kiinnity. Kiinnittyminen vaikeuttaa rasvan vaihtumista ja voi johtaa laakerin jumiutumiseen.

Matalissa lämpötiloissa voidaan matalien lämpötilojen rasvoilla saavuttaa alhaisempi käynnistyskitka kuin vakiorasvoilla. Matalien lämpötilojen rasvat ovat voitelurasvoja, joissa on matalaviskoosinen perusöljy ja usein litiumsaippua saostimena. Monikäyttörasvat ovat matalassa

lämpötilassa käytettäessä hyvin jäykkiä ja aiheuttavat siksi korkean käynnistyskitkan. Jos kuormitus on samalla alhainen voi laakerissa esiintyä silloin liukumaa, joka aiheuttaa kulumista vierintäelimissä ja vierintäradalla. Öljynluovutus ja siten voiteluvaikutus on vakiorasvoilla sekä korkean kuormituksen että korkean lämpötilan rasvoilla matalissa lämpötiloissa merkittävästi alentunut. Alempi käyttölämpötilaraja määritetään siirrettävyyden mukaan vastaten DIN 51 825:a. Tämä raja ei tarkoita, että näissä lämpötiloissa voitelu riittäisi. Tietystä minimipyörintänopeudesta lähtien vaikuttavat matala lämpötila yhdessä riittävän kuormituksen kanssa, mutta usein ei haitallisesti. Lyhyen käyntiajan jälkeen nousee myös monikäyttörasvoilla lämpötila tavallisiin arvoihin. Kun rasva on jakautunut, putoaa kitka tavallisiin arvoihin.

Yleensä kriittisiä ovat kuitenkin laakeroinnit, jotka joutuvat toimimaan äärimmäisen jäädytysvaikutuksen alaisena, erityisesti, jos ne pyörivät vain ajoittain tai hyvin hitaasti.

Laakeriin voi muodostua **kondenssivettä** ja se johtaa ruostumiseen, jos laite toimii kosteassa ympäristössä, esim. ulkona, ja laakerointi jäähtyy pitempien käyntitaukojen aikana. Kondenssivettä muodostuu erityisesti silloin, jos laakerissa tai pesässä on paljon vapaata tilaa. Edullisia ovat silloin natron- ja litiumsaippuarasvat. Natronsaippuarasvat imevät suuria määriä vettä, mutta tietyissä olosuhteissa niistä tulee niin pehmeitä, että ne valuvat pois laakeritilasta. Litiumsaippuarasvat eivät emulkoitu veden kanssa ja tarvoavat sopivasti lisäaineistetuna hyvän korroosiosuojan.

Roisveden yhteydessä suositellaan vettähyllivää rasvaa, esim. jäykkyyden 3 kalsiumsaippuarasvaa. Koska kalsiumsaippuarasva ei sido vettä, sisältää se ruosteeneston lisäaineistuksen.

Tiettyjen aineiden (kiehuva vesi, höyry, emäkset, hapot, alifaattiset ja klooratut hiilivedyt) vaikutusta kestävästi tietyt erikoisrasvat. Jos sellaisia olosuhteita esiintyy, ottaa yhteyttä FAG:n neuvontaan.

Tiivistyksen tuentaa rasva auttaa osaltaan pitämällä epäpuhtaudet laakerin ulkopuolella. Jäykkä rasva (jäykkyysluokka 3 tai korkeampi) muodostaa akselin läpimeneen suojaavan kauluksen, pysyy hyvin sokkelon tiivistysraossa ja peittää epäpuhtaudet. Hankaavan tiivistyksen yhteydessä täytyy rasvan voidella myös tiivistinhuulen ja akselin liukupinnat. Rasvan yhteensopivuus tiivistinmateriaalin kanssa on tarkastettava.

Radioaktiivisen säteilyn aiheuttama kriittinen kuormitus voi esimerkiksi ydinvoimaloissa vaikuttaa laakerointiin ja siten myös rasvaan. Määräväänä on kokonaisenergia-annos, siis joko pienitehoinen pitkävaikutteinen säteily tai lyhytaikainen korkea säteilyannos. Näissä ei säteilyannos tosin saa ylittää arvoa $10 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{h})$. Säteilyrasituksen seurauksena on muutoksia jäykkyydessä ja tippapisteessä, höyrystymishäviöitä ja kaasumuodostus. Säteilyn rasittaman rasvan käyttöikä saadaan kaavasta $t = S / R$, elleivät muut rasitusoletukset johda lyhyempään käyttöikään. Tässä kaavassa

on t käyttöikä tunteina, S rasvalle sallittu energia-annos ja R energia-annoserä $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{h})$. Tavalliset rasvat kestävät gammasäteilyä energia-arvoja: $S = 2 \cdot 10^4 \text{ J}/\text{kg}$, ja erityisen säteilyäkestävät erikoisrasvat vielä energia-arvoja $S = 2 \cdot 10^7 \text{ J}/\text{kg}$ (katso myös hakemiston kohta säteily). Ydinvoimalaitoksen ensiökierrossa ovat tietyt aineet (esim. molybdeenidisulfiidi, rikki, halogeenit) voimakkaiden muutosten alaisina. Siksi on huomioitava, että ensiökiertoon sijoitetut rasvat eivät sisällä sellaisia aineita.

Tärinä tuo useilla rasvoilla mukanaan rasvan uudelleensijoittumisen aiheuttaman toistuvan, tilapäisen rasvatäydennyksen kosketuspinoille; ne voivat erottaa rasvan öljyn ja saostimen toisistaan. Suosittelemme valitsemaan rasvan kuvan 26 taulukon mukaan ja jälkivoitelemaan tiheään, esim. viikottain. Edullisia kokemuksia on myös tärinää kestävästä jäykkyysluokan 3 monikäyttöraasvoista, esim. tärymoottoreissa.

Alipaineessa toimivissa laakeroinneissa höyrystyy rasvan perusöljy ajan myötä

alipaineen suuruudesta ja lämpötilasta riippuen. Suoja- ja tiivistinlevyt pitävät rasvan laakerissa ja vähentävät höyrystymishäviöitä. Rasvan valinta tapahtuu kuvan 26 taulukon mukaan.

Vinoon ja pystysuoraan sijoitettujen akselien yhteydessä on vaara, että rasva painovoiman takia poistuu laakerista. Tällöin tulisi käyttää kuvan 26 taulukon (sivu 25) mukaisia tarttuvia jäykkyysluokan 3 – 4 rasvoja, jotka padotuslevy pitää laakerissa.

Toistuvan **sysäskuormituksen** tai erittäin korkean kuormituksen yhteydessä ovat eduksi jäykkyysluokan 1 – 2 rasvat, joilla on korkea perusöljyn viskositeetti (ISO VG 460 – ISO VG 1500). Nämä rasvat muodostavat paksun hydrodynaamisen voitelukalvon, joka vaimentaa hyvin iskuja ja estää paremmin kulumista kuin paineenkestolisäaineistuksella saavutettu kemiallisesti vaikuttava voitelu. Rasvojen, joilla on korkea perusöljyn viskositeetti, haittana on niiden vähäisestä öljynluovutuksesta johtuen tarve varmistaa voiteluaineen tehokas läsnäolo

29: Voiteluaineen lisäaineiden vaikutus

Lisäaine	Lisäaineen vaikutus
Hapettumisen estäjät	Estävät vanhenemisjätteiden ennenaikaisen synnyn
Korroosionestoaineet	Estävät metallipintojen ruostumisen
Detergentit	Irronitaa vanhenemisjäänteet
Hajoittajat	Liettyneet, liukenemattomat yhdisteet pidetään mukana
	Metallihiukkaset eivät saostu. Myös vesi pidetään pysyvänä emulsiona mukana
	Vähentävät kitkaa ja kulumista toimittaessa sekakitka-alueella
	Vähentävät kitkaa ja kulumista, kiinnileikkaantumisen vähenee
	Metalliosien ruostuminen estyy seisontajaksojen aikana
	Katalyyttinen vaikutus metalleihin, joiden hapettumisprosessi vältetään
	Jähmepiste alenee
	Viskositeetin alenemisen vähentäminen lämpötilan noustessa
	Vaahdon muodostuminen vähenee
Voitelua parantavat polaariset lisäaineet	
Paineenkesto (EP)- ja kulumisenestolisäaineet	
Ruosteensuoja-aineet	
Metallipassivoijat	
Jähmettymispisteen parantajat	
Viskositeetti-indeksin parantajat	
Vaahdonestäjät	

Voiteluaineen valinta

Rasva · Öljy

korkealla täyttöasteella tai tiheällä jälki-voitelulla.

Rasvan valinta **elinikäiseen kesto-voiteluun** tai tiheään **jälkivoiteluun** kuvan 26 taulukon mukaan (sivu 25). Kuvien 26 ja 27 taulukoissa olevien vaatimusten perusteella voidaan määrittää voitelurasvan tarvittavat ominaisuudet ja sen jälkeen valita sopiva FAG:n rasva tai jokin rasva rasvavalmistajien listoilta. Epävarmoissa tilanteissa voitte aina kysyä FAG:n tekni-
sestä neuvonnasta.

3.2 Sopivan öljyn valinta

Vierintälaakereiden voiteluun sopivat periaatteessa mineraaliöljyt ja synteettiset

öljyt. Mineraaliöljypohjaisia voiteluöljyjä käytetään nykyisin eniten. Näiden mineraaliöljyjen on täytettävä DIN 51 501 mukaiset vaatimukset. Erikoisöljyjä, usein synteettisiä öljyjä käytetään, kun on kyseessä äärimmäiset käyttöolosuhteet tai astetaan erityisiä vaatimuksia öljyn kestävyydelle vaikeutuissa olosuhteissa (lämpötila, säteily jne.). Nimekkäät öljynvalmistajat opastavat omilla menestyksellä FE8-testeillään. Öljyjen tärkeitä kemiallis-fysikaalisia ominaisuuksia ja tietoja niiden sopivuudesta annetaan kuvan 30 taulukossa. Lisäaineiden vaikutuksen näyttää kuvan 29 taulukko. Lisäaineilla on tärkeä merkitys laakerin toimintaan sekakitka-alueella.

3.2.1 Sopiva öljyn viskositeetti

Saavutettava elinikä ja kulumissuoja ovat sitä paremmat, mitä paremmin voitelukalvo kosketuspinnat toisistaan erottaa. Koska voitelukalvon paksuus riippuu öljyn viskositeetistä, tulisi mahdollisuuksien mukaan valita öljy, jolla on korkea käyttöviskositeetti ν . Erittäin pitkä elinikä voidaan saavuttaa, jos viskositeettisuhde $\kappa = \nu/\nu_1 = 3 \dots 4$, käyrästöt kuvissa 5 – 7. Korkeaviskoosiset öljyt eivät kuitenkaan tuo pelkkiä etuja. Viskositeetin kohotessa kasvaa myös voiteluainekitka; matalissa, mutta myös tavallisissa lämpötiloissa voi esiintyä ongelmia öljyn syötössä ja poistossa (patoutuma).

30: Erilaiden öljyjen tunnuslukuja

Öljytyyppi	Mineraali- öljy	Polyalfa- olefiinit	Polyglykolit (veteen liuke- nemattomat)	Esterit	Silikoni- öljyt	Alkoxy- fluori- öljyt
Viskositeetti 40 °C:ssa [mm ² /s]	2...4500	15...1500	20...2000	7...4000	4...100 000	20...650
Käytettävissä öljykylpyvoitelussa lämpötilaan saakka [°C]	100	150	100...150	150	150...200	150...220
Käytettävissä kiertoöljyvoitelussa lämpötilaan saakka [°C]	150	200	150...200	200	250	240
Jähmepiste [°C]	-20 ²⁾	-40 ²⁾	-40	-60 ²⁾	-60 ²⁾	-30 ²⁾
Leimahduspiste [°C]	220	230...260 ²⁾	200...260	220...260	300 ²⁾	-
Höyrystymishäviö	kohtalainen	alhainen	kohtalainen, jopa korkea	alhainen	alhainen ²⁾	erittäin alhainen ²⁾
Veden kestävyys	hyvä	hyvä	hyvä ²⁾ , huonosti erotettavissa, koska sama tiheys	kohtalainen tai hyvä ²⁾	hyvä	hyvä
Viskositeetti-lämpötilasuhteen pysyvyys	kohtalainen	kohtalainen tai hyvä	hyvä	hyvä	oikein hyvä	kohtalainen tai hyvä
Soveltuvuus korkeisiin lämpötiloihin (n. 150°C)	kohtalainen	hyvä	tai hyvä ²⁾	hyvä ²⁾	oikein hyvä	tai hyvä
Soveltuvuus korkealle kuormalleoikein	oikein hyvä ¹⁾	oikein hyvä ¹⁾	oikein hyvä ¹⁾	hyvä	huono ²⁾	hyvä
Yhteensopivuus elasomeerien kanssa	hyvä	hyvä ²⁾	kohtalainen värien yhteydessä kokeiltava	kohtalainen tai huono	oikein hyvä	hyvä
Hintasuhde	1	6	4...10	4...10	40...100	200...800

¹⁾ paineenkesto (EP) lisäaineistuksen kanssa

²⁾ öljytyypistä riippuen

Öljy on valittava niin, että saavutetaan mahdollisimman pitkä väsymiselinikä, mutta varmistetaan myös pysyvästi laakerin riittävä öljynsaanti. Yksittäisissä tapauksissa ei käyttöviskositeetti voi saavuttaa toivottua tasoa, koska

- öljynvalinta määritetään muiden koneenosien mukaan ja nämä vaativat ohutta öljyä,
- kiertovoitelu vaatii riittävän juoksevaa öljyä, jotta epäpuhtaudet ja lämpö voidaan kuljettaa pois laakerista,
- ajoittain esiintyy korkeampia lämpötiloja tai erittäin alhaisia pyörintänopeuksia ja silloin käyttöviskositeetti, joka sitkeimmillä käyttökelpoisilla öljyillä voidaan saavuttaa, jää vielä tavoitellun viskositeetin alapuolelle.

Sellaisissa tapauksissa voidaan käyttää myös öljyä, jonka viskositeetti on alhaisempi kuin suositeltava. Tällöin on öljyn kuitenkin sisällettävä vaikuttavia paineenkeston (EP)lisäaineita ja niiden sopivuus on osoitettava FAG:n FE8 – koestuslaitteella tehdyllä kokeella. Muussa tapauksessa on kulloisestakin tosiarvosta poiketessa odotettavissa lyhentynyt väsymiselinikä ja kulumisen ilmaantumista kuormituspinnoille, kuten "saavutettavan eliniän" laskelmat osoittavat. Erittäin voimakkaasti lisäaineistettujen mineraaliöljyjen yhteydessä on tarkastettava sopivuus tiivistin- ja pidinraaka-aineen kanssa.

3.2.2 Öljyn valinta käyntiolosuhteiden mukaan

- Tavalliset käyntiolosuhteet: Tavallisissa käyntiolosuhteissa (ilmakehänpaine, lämpötila enintään 100°C öljykylvyssä ja 150°C kiertoöljyvoitelussa, kuormitussuhde $P/C < 0,1$, kierros-luku enintään sallittu) voidaan käyttää lisäaineistamattomia öljyjä, mutta suositellaan inhibiittien (ruosteen- ja vanhenemisenesto, kirjaintunnus L DIN 51502 mukaan) lisäystä. Jos ilmoitettua viskositeettisuositusta ei voida saavuttaa, ovat sopi-

vastipaineenkesto (EP) ja kulumissuojaus-lisäaineistetut öljyt mahdollisia käyttää.

- Korkea kierrostunnukselu: Jos esiintyy korkeita kierrostunnukselukuja ($k_a \cdot n \cdot d_m > 500\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$), on hapettumista kestävä öljy, jossa on hyvät vaahtoamisenesto-ominaisuudet ja edullinen viskositeetti-lämpötila (V-T) suhde käyttökelpoinen, koska lämpötilan noustessa viskositeetti aleneevähemmän. Sopivia synteettisiä öljyjä, joissa on hyvä viskositeetti-lämpötilasuhde, ovat esterit, polyalfaolefiinit ja polyglykolit. Käynnistysvaiheessa, kun lämpötila on useimmiten alhainen, vältetään korkea kahlauskitka ja siten myös lämpeneminen; korkeammassa tasapainolämpötiloissa jää käytettäväksi riittävä viskositeetti voitelun varmistamiseen.
- Korkea kuormitus: Jos laakereiden kuormitus on korkea ($P/C > 0,1$) tai jos käyttöviskositeetti ν on pienempi kuin suhteellinen viskositeetti ν_1 , on käytettävä kulumissuojajä-lisäaineistettuja öljyjä (paineenkesto (EP) lisäaineistettu öljy, kirjaintunnus P DIN 51502 mukaan). Paineenkesto (EP) lisäaineistus vähentää paikoittain esiintyvän metallisen kosketuksen haitallista vaikutusta. Paineenkesto-(EP)-lisäaineiden soveltuvuus on erilainen ja usein voimakkaasti lämpötilasta riippuva. Vaikuttavuus voidaan arvioida vain vierintälaakerissa kokeilemalla (FAG:n koelaitte FE8).
- Korkea lämpötila Korkeiden käyntilämpötilojen öljyillä on käyttölämpötilarajan lisäksi viskositeetti-lämpötilasuhteen kestävyydellä tärkeä merkitys. Valinta on suoritettava öljyn ominaisuuksien perusteella, katso kappale 3.2.3

3.2.3 Öljyn valinta öljyn ominaisuuksien mukaan

Mineraaliöljyt ovat kestäviä vain noin 150 °C lämpötilaan asti. Kulloisestakin lämpötilasta ja kuuma-alueella viipymissä-

jasta riippuen muodostuu vanhenemistuotteita, jotka vähentävät voiteluvaikutusta ja muodostavat laakeriin tai laakerin läheisyyteen kiinteitä jätteitä (öljyhiiltä). Jos vettä pääsee järjestelmään, ovat mineraaliöljyt vain rajallisesti hyviä käytettäväksi, myös silloin kun ne sisältävät vedenkestävyyttä parantavia lisäaineita. Ne tosin vähentävät ruosteaurioita, mutta pysyvän emulsion muodossa mukana oleva vesi voi lyhentää käyttöikää ja johtaa kohonneeseen vastuksen muodostumiseen. Sallittu vesimäärä voi olla joidenkin promillien ja muutaman prosentin välillä riippuen öljyn rakenteesta ja lisäaineistuksesta.

Estereillä (diesterit ja steriilisti estetyt esterit) on laaja käyttölämpötila-alue (-60 ... +200 °C), hyvin säilyvä viskositeetti-lämpötila (VT) suhde ja vähäinen haihtuvuus, joten ne soveltuvat hyvin kohteisiin, joissa on korkea kierrostunnukselu ja korkea lämpötila. Esterit ovat useinmiten sekoitettavissa mineraaliöljyjen kanssa ja voivat lisäaineiden kanssa laajentaa käyttöaluetta. Veden tunkeutumiseen esterit reagoivat erilailla tyypistä riippuen. Muutamat lajit saostuvat ja hajoavat lähtöaineiksi, pääasiassa silloin, kun ne sisältävät emäksisiä lisäaineita.

Polyalkyyli glykoleilla on hyvin säilyvä viskositeetti-lämpötila (VT) suhde ja alhainen jähmepiste. Ne soveltuvat siksi käytettäväksi korkeissa ja matalissa lämpötiloissa (-50 ... +200 °C). Niiden korkea hapettumisenkestokyky mahdollistaa kuumissa käyntikohteissa nostaa öljynvaihtoväliä 2 – 5-kertaiseksi verrattuna mineraaliöljyjen yleiseen vaihtoväliin. Useimmat voiteluaineena käytetyt polyalkyyli glykolit eivät ole vesiliukoisia ja niillä on huono vedenkestokyky. Periaatteessa polyalkyyli glykolit eivät ole sekoitettavissa mineraaliöljyjen kanssa. On huomioitava, että niiden paine-viskositeetti-kerroin on pienempi kuin muiden öljyjen. Polyalkyyli glykolit voivat tietyissä olosuhteissa vahingoittaa tiivistimiä ja pesien maalausta sekä esim. alumiinipitimiä.

Voiteluaineen valinta

Öljy

Polyalfaolefiinit ovat synteettisesti valmistettuja hiilivety-yhdisteitä, joita voidaan käyttää laajalla lämpötila-alueella (-40 ... +200 °C). Niiden hyvä hapettumisenkestokyky johtaa siihen, että verrattuna saman viskoosin mineraaliöljyihin samoissa olosuhteissa saavutetaan moninkertainen toiminta-aika. Polyalfaolefiinit ovat kaikissa olosuhteissa sekoitettavissa mineraaliöljyjen kanssa. Niillä on hyvä viskositeetti-lämpötilasuhteen säilymiskyky.

Silikonioiljy (fenyli-metyli-siloxane) voidaan käyttää äärimmäisissä lämpötiloissa (-60 ... +250 °C), sillä niillä on hyvä viskositeetti-lämpötilasuhteen kestävyys, vähäinen haihtuvuus ja ne kestävät hyvin lämpöä. Niiden kuormitettavuus (P/C ≤ 0,03) ja kulumisensuojauskyky ovat vähäiset.

Alkoxyfluoriöljyt ovat hapettumista ja vettä kestäviä, mutta kalliita. Paine-viskositeetti-kerroin ja tiheys ovat korkeammat kuin saman viskositeetin mineraaliöljyillä. Niiden käyttölämpötila-alue on -30 ... +240 °C.

Vaikeasti syttyvät hydraulikkaneest sijoittuvat erikoiskohteisiin. Niitä on käytetty varmuusteknisistä syistä jo vuosisia päivittäiskäytössä kaivosteollisuudessa, laivoissa, lentokoneissa ja palovaarallisessa teollisuudessa. Syitä niiden lisääntyneeseen käyttöön ovat:

- parempi toimivuus kuin mineraaliöljyillä
- hinta
- käytettävyyttä
- paloturvallisuus

Vaikeasti syttyvien hydraulikkaneesten on täytettävä määräysten mukaiset

vaatimukset koskien vaikeaa syttyvyyttä, työhygieniää ja ekologista vaarattomuutta. Erilaiset nesteryhmittä on määritetty 7. Luxemburgin pöytäkirjassa, katso kuvan 31 taulukko.

Käyttöesimerkkejä:

Nestetyyppiä HFA – E ja HFA – S, joissa on jopa 99 tilavuus-% vettä käytetään pääasiassa kemian laitoksissa, hydraulisissa puristimissa ja hydraulisissa tukirakenteissa.

Tyyppin HFC nesteitä, joissa on vettä enintään 45 tilavuus-%, käytetään eniten työkonneissa, esim. hydraulisissa lastaimissa, poravarastoissa ja painokoneissa.

Synteettisiä HFD-nesteitä käytetään köysiratakoneissa, ketjukuormaajissa, hydrostaattisissa kytkimissä, pumpeissa sekä painokoneissa.

31: Vaikeasti sytyvien hydraulikkaneesten jako 7. Luxemburgin pöytäkirjan mukaan ja lisätietoja

Nesteryhmä	Yhteenveto nesteestä	ISO VG luokka	Yleinen käyttölämpötila-alue °C	Vaikeasti syttyvyys	Tiheys 15:ssä °C g/cm ³	Standardit ja ohjeet	Saavutettava a ₂₃ -kerroin
HFA-E	Öljyä-vedessä-emulsio, jonka emulsioöljypitoisuus maks. 20 til.-% yleinen pitoisuus 1 ... 5 til.-%	ei vahvistusta	+5 ... +55	oikein hyvä	ca. 1	DIN 24 320	< 0,05
HFA-S	Veteen liennut nesteväkevyyden yleinen sisältö ≤ 10 til.-%						
HFB	Öljyä-vedessä-emulsio, jossa n. 40 til.-% vettä	32, 46, 68, 100	+5 ... +60	hyvä	0,92 ... 1,05		-
HFB-LT*							
HFC	Vetinen polymeeriseos (polyglykooli) jossa vähintään 35 til.-% vettä	15, 22, 32, 46, 68, 100	-20 ... +60	oikein hyvä	1,04 ... 1,09		< 0,2
HFD	Vedetön neste	15, 22, 32, 46, 68, 100	-20 ... +150	hyvä	1,10 ... 1,45	VDMA 24317	
HFD-R	Fosforihappoesteri						< 0,8
HFD-S	Kloorattu hiilivety						< 0,5
HFD-T	Sekoitus fosforihappoestereistä ja klooratuista hiilivedyistä						< 1
HFD-U	Muut yhdisteet						≤ 1 (esim. synteettiset esterit)

* Lisätunnus LT HFB-nesteissä merkitsee hyvää emulsion kestävyttä alhaisissa lämpötiloissa ja siten parempaa sopivuutta pitkäaikaiseen laakerikäyttöön.

3.3 Kiintovoiteluaineen valinta

Kiintovoiteluaineilla voidellaan vain erikoiskohteissa, kuten keraamisissa laakereissa tai, kun rasva- tai öljyvoitelu ei ole mahdollinen. Sellaisia käyttökohteita ovat esimerkiksi:

- Laakeroinnit alipaineessa, jossa öljy höyrystyy nopeasti
- Laakeroinnit erittäin korkeissa lämpötiloissa, esim. polttouunin vaunut keraamisessa teollisuudessa
- Laakeroinnit, joissa ulkoisista voimista johtuen öljy tai rasva eivät kestä kauan laakerissa, esim. puhaltimien säätöpyörän laakerointi (keskipakousvoima)
- Laakeroinnit ydin- ja avaruusalustekniikan alueella korkean radioaktiivisen säteilyn alaisina

Käytetyimmät kiintovoiteluaineet ovat grafiitti ja molybdeenidisulfidi (MoS_2). Niitä käytetään pulverina, öljyyn sekoitettuna tahnana tai keinoaineisiin yhdistettynä liukulakkana. Kiintovoiteluaineisiin luetaan myös polytetrafluorietyleenin (PTFE) ja pehmytmetallikalvot (esim. kupari ja kulta). Niitä käytetään tosin hyvin harvoin.

Ulkopinta useinmiten fosfatoidaan, jotta saadaan parempi pulverikalvon tarttuvuus. Kestävämpi kerros saadaan myös liukulakkoja käytettäessä fosfatoimalla ulkopinta. Tosin liukulakkakalvo on käytökelpoinen vain vähäisillä kuormituksilla. Erittäin kestäviä ovat metallikalvot, jotka kerrostetaan elektrolyttisesti tai katodipulveroinnilla erittäin suuressa alipaineessa. Jälkikäsitteily molybdeenidisulfidilla on edullinen. Voitelu kiintovoiteluaineella pienentää laakerivälystä 4 kertaa kosketuspinnan kiintovoiteluainekerroksen paksuus. Siksi on käytettävä vierintälaakereita, joissa on vaastaavasti suurempi laakerivällys. Kiintovoiteluaineiden lämmön- ja kemiallinen kestävyys ovat rajalliset.

Hitaasti pyörivät vierintälaakerit ($n \cdot d_m < 1500 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$) voidaan voidella molybdeenidisulfidi- tai grafiittitahnalla. Tahnan sisältämä öljy höyrystyy noin 200°C :ssa lähes kokonaan. Jos kierrostunnusluku $n \cdot d_m$ on yli $1500 \text{ min}^{-1} \cdot$

mm, voidellaan vierintälaakerit useimmiten tahnan asemasta pulverilla tai liukulakalla. Pulverikalvo sijoittuu kiintovoiteluaineen raapimisesta johtuen ensin ulkopinnan mikroskooppisen pieniin kuoppiin.

Grafiittia voidaan käyttää jopa 450°C käyntilämpötilaan saakka, koska se on laajalla lämpötila-alueella hapettumista-kestävä. Säteilyä grafiitti ei juurikaan kestä.

Molybdeenidisulfidi on käyttökelpoinen 400°C :een saakka. Se säilyttää hyvät liukuominaisuutensa myös matalissa lämpötiloissa. Veden läsnäolo johtaa elektrolyyttiseen syöpmiseen. Happojen- ja emästenkestävyys molybdeenidisulfidilla on vain vähäinen.

Liukulakoilla on huomioitava niiden yhteensopivuus ympäröivien aineiden kanssa. Liukulakkojen orgaaniset sidokset heikkenevät korkeissa lämpötiloissa, jo näiden alapuolella liukulakkojen pitävyys kärsii. Epäorgaaniset lakat sisältävät sidosaineina epäorgaanisia suojoja. Nämä lakat kestävät hyvin korkeaa lämpökuormaa eivätkä kaasunnu suuressa alipaineessa. Kaikkien lakkojen vain kohtuullinen korroosionsuojaus on epäorgaanisilla lakoilla hieman huonompi kuin orgaanisilla.

Tahnat muovautuvat ja kiinnittyvät hyvin, kun pöly on poistettu laakerista. Pölyisessä ympäristössä kestävät liukulakkalvot siten paremmin.

Erityistapauksissa voidaan vierintälaakeri varustaa myös "itsevoitelevalla" pitimellä, jolloin pitimeen on sijoitettu kiintovoiteluainetta tai siinä on täytös kiintovoiteluaineen ja sidosaineen sekoitusta. Vierintäelimet kuljettavat voiteluaineen vierintäpinnoille.

3.4 Biologisesti nopeasti hajoava voiteluaine

Vierintälaakereiden voiteluun ovat voiteluainevalmistajat tarjonneet jo joitakin vuosia käytettäväksi rasvoja ja öljyjä,

jotka ovat osittain kasviöljy-(eniten rapsiöljy)peräisiä, tavallisesti kuitenkin synteettiselle pohjalle (esteriöljyt) valmistettu. Biologinen hajoavuus tarkastetaan CEC-L33-A93 mukaisesti samoin DIN 51 828:an tukeutuen. Usein vaaditaan näiden lisäksi vähäinen vedenhöyrystymisluokka (WGK), usein myös terveydellinen vaarattomuus. Tällä on usein estetty mahdollisuus toimivaan lisäaineistukseen.

Kasviöljypohjaiset biologisesti hajoavat voiteluaineet soveltuvat vain rajoitetulle lämpötila-alueelle.

Esteripohjaiset synteettiset voiteluaineet sitävästoin liikkuvat korkeammalla tehotasolla ja soveltuvat siten suunnilleen niiden aikaisemmille tasoille. Biologisen hajoavuutensa ansiosta suositetaan niiden käyttöä hukkavoitelussa, siis siellä, missä käytetty voiteluaine voi päätyä suoraan ympäristöön. Periaatteessa laadussa on odotettavissa yhtä suuri hajonta kuin aikaisemmissakin voiteluaineissa.

Laakereiden voiteluainehuolto

Rasva

Voiteluainemäärä, joka vierintälaakerissa tarvitaan, on tavattoman pieni. Käytännössä se laakeroinnin käyttövarmuuden takia usein ylimitoitetaan. Liika voiteluaine laakerissa voi kuitenkin vahingoittaa. Jos ylimääräinen voiteluaine ei voi syrjäytyä, aiheuttaa loiskutus- tai vatkaustyö lämpötiloja, joissa voiteluaine voi vaurioitua tai jopa tuhoutua.

Yleisesti riittävä huolto varmistetaan

- valitsemalla oikea voiteluainemäärä ja jako laakeriin
- huomioimalla voiteluaineen käyttöikä tai määritettävä voiteluainetäydennys tai voiteluaineen vaihto
- valitsemalla laakerisijan oikea rakenne
- voitelutavalla ja siinä tarvittavilla laitteilla kuvan 20 tulukko (sivu 20)

4.1 Laakereiden rasvahuolto

4.1.1 Laitteet

Rasvavoitelussa ei usein tarvita lainkaan tai vain vähän laitteita laakereiden riittävään voiteluun. Laakeriasennuksessa laakerit rasvataan useimmiten käsin, ellei käytetä laakerivalmistajan rasvaamia laakereita. Joskus rasvauksessa käytetään myös injektioiruiskua tai rasvapuristinta.

Jälkirasvauksen laitteet annetaan kappaleessa 4.1.5.

4.1.2 Ensitäyttö ja uudelleentäyttö

Laakereiden rasvauksessa on huomioitava seuraavat ohjeet:

- Laakeri on täytettävä rasvalla siten, että kaikki toimintapinnat saavat varmasti rasvaa.
- Laakerin viereinen pesätila täytetään rasvalla vain sen verran, että laakerista syrjäytyvä rasva löytää vielä riittävästi tilaa. Tällä vältetään, että liika rasvamäärä laakerissa ei pyöri mukana. Jos laakeriin yhdistyy suurempi ja täyttämätön pesätila, silloin laakerista poistuva rasva vetäytyy kauas laakerin

välittömästä läheisyydestä ja laakerin voitelua tukeva vaikutus menetetään. Sellaisissa tapauksissa tulisi laakeri varustaa suoja- tai tiivistinlevyillä tai huolehtia säätölevyllä, että riittävä määrä rasvaa pysyy laakerin sisällä. Suositeltava rasvatäyttö on n. 30 % vapaasta laakerin sisätilasta.

- Hyvin nopeasti pyörivät laakerit, esim. karalaakerit, täytetään vain osittain (20 – 30% vapaasta tilasta), rasvan sijoittumisen helpottamiseksi ja nopeuttamiseksi laakerin käynnistyessä.
- Hitaasti pyörivät laakerit ($n \cdot d_m < 50\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$) ja niiden pesät täytetään kokonaan rasvalla. Silloin esiintyvä vatkauksenvastus on merkityksellinen.

Molemmiin puolisilla tiivistinlevyillä (2RSR tai 2RS) tai suojalevyillä (2ZR tai 2Z) tiivistetyt urakuulalaakerit toimitetaan rasvalla täytettyinä (katso selvitys kuvassa 39, sivulla 40). Sijoitettu rasvamäärä

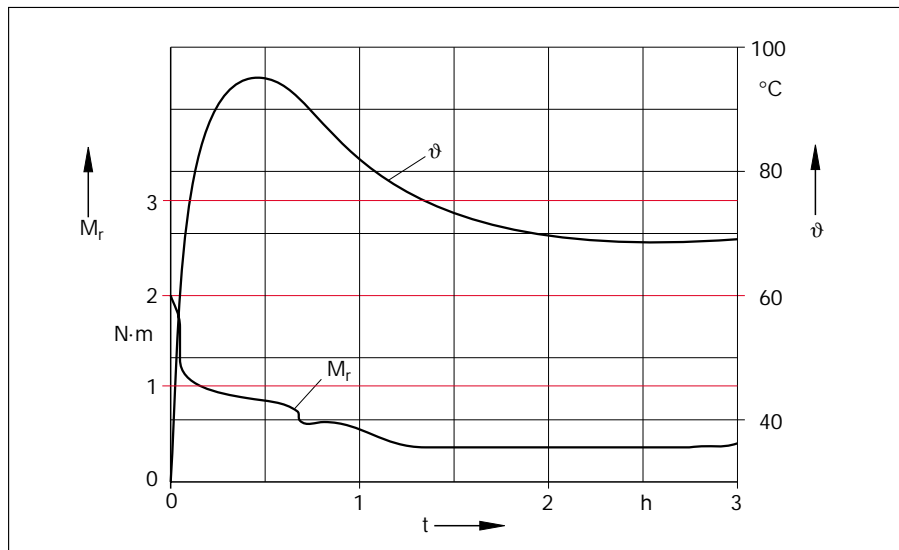
täyttää noin 30 % vapaasta laakeritilasta. Tämä täyttömäärä pysyy hyvin laakerissa myös korkeilla kierrostunnuksilla ($n \cdot d_m > 400\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$). Vielä nopeammin pyörivillä laakereilla on täyttöaste noin 20 % vapaasta laakeritilasta. Tiivistettyjen laakereiden korkeampi täyttöaste johtaa enemmän tai vähemmän jatkuvaan rasvahukkaan niin kauan kunnes normaali täyttöaste saavutetaan.

Laakerit, joiden ulkorengas pyörii, voivat pitää suuremmilla kehänopeuksilla täyttöasteena vain n. 15 % vapaasta laakeritilasta.

Oikealla täyttöasteella saavutetaan edulliset vastusolosuhteet ja vähäinen rasvameneekki.

Korkeammilla kierrostunnuksilla esiintyy useimmiten käynnistysvaiheessa, satunnaisesti myös useampia tunteja, kohonnutta laakerilämpöä, kuva 32.

32: Juuri rasvatun urakuulalaakerin kitkamomentti M_r ja lämpötila ϑ



Lämpötila on sitä korkeampi, ja kohonneen lämpötilan kesto sitä pitempi, mitä enemmän laakeri ja sen viereiset tilat on täytetty rasvalla ja mitä enemmän vaapaata rasvan poistumista on vaikeutettu. Avun tuo niinsanottu jaksottainen rasvan sisäänajo, johon kuuluu jäähtymisen vaatima tietty seisonta-aika, kuten esim. työstökoneiden karalaakeroinneissa tehdään.

Elinikäisen kestovoitelun edellytys on, että tiivistys tai padotuslevy pitävät sijoitetun rasvan laakerissa tai laakerin vieressä. Tämä laakerin vieressä oleva rasva pidetään voiteluväliä. Korkeammissa lämpötiloissa vararasva luovuttaa öljyä, joka ainakin osittain kulkeutuu laakerin voiteluun ja värinän avulla tuoretta rasvaa siirtyä tilapäisesti jälleen ympäristöstä laakeriin (jälkivoitelu).

Jos laakerissa on odotettavissa korkeita lämpötiloja, tulisi laakerin viereen sijoittaa vararasvaa, jossa on mahdollisimman suuri öljyä luovuttava pinta. Tämä voidaan toteuttaa esim. taivutetulla padotuslevyllä, kuva 40 (sivu 40). Vararasvan edullinen määrä on 3 – 5 kertaa normaali täyttöaste joko yhdellä puolella tai mielummin sama määrä molemmilla puolilla laakeria.

Jos ennen ja jälkeen laakerin on erilainen paine, voi ilmavirta viedä rasvan ja luovutetun perusöljyn pois laakerista ja tuoda laakeriin myös likaa. Sellaisissa tapauksissa on paineen tasaus välttämätön liitososiin tehdyillä kanavilla tai rei'illä.

4.1.3 Rasvan käyttöikä

Rasvan käyttöikä on aika laakerin käynnistymisestä vaurioon, joka johtuu voitelun loppumisesta. Siihen vaikuttavat:

- Rasvamäärä
- Rasvatyyppi (saostin, perusöljy, lisäaineistus)

- Laakerityyppi ja -koko
- Kuormituksen suuruus ja laatu
- Kierrostunnusluku
- Laakerin lämpötila
- Asennusolosuhteet

Rasvan käyttöikä ilmoitetaan laboratorio-kokeiden perusteella – esim. FAG:n vierintälaakereiden rasvantestauslaitteella FE9. Vain sellaisia kokeita voidaan käyttää pysyvästi hyväksi, sillä samojen koeolosuhteiden vallitessa (samat käyttöteki-jät, laadullisesti vastaavat laakerit, sama rasvapanos) rasvatyyppistä riippuen on rasvan vaurioajan hajonnaksi laskettava 1 : 10. Rasvan käyttöikäarvolle voidaan antaa, samoin kuin vierintälaakereiden väsymiseliniälle, vain tietty vaurioto-dennäköisyys. Tietyn rasvan käyttöikä F_{10} on voimassa 10 % vaurioto-dennäköisyydellä.

4.1.4 Voiteluväli

Voiteluväli määritetään vakiorasvan lyhimmän saavutettavan rasvan käyttöiän F_{10} mukaan, joka täyttää DIN 51 582 mukaiset minimivaatimukset. Viimeistään voiteluvälin päätyttyä on laakeri rasvattava uudelleen tai jälkivoiteltava, katso kappale 4.1.5.

Litiumsaiippuapohjaisille vakiorasvoille annetaan voiteluväli t_f kuvassa 33 yleisiä käytäntötilanteita varten edullisissa ympäristöolosuhteissa. Lähtötietoina ovat jäykkyyksiluokan 2 – 3 litiumsaiippuarasva ja käyntilämpötila enintään 70 °C (mitattu laakerin ulkorenkasta), joka on matalampi kuin rasvan lämpötilaraja, sekä suhdetta $P/C < 0,1$ vastaava kuormitus.

Korkeammilla kuormituksilla tai lämpötiloilla on voiteluväliä lyhennettävä.

70 °C:sta (lämpötilaraja) lähtien on litiumsaiippuarasvoilla joissa on mineraaliöljypohjainen perusöljy lyhennettävä voiteluväliä $f_3 \cdot t_f$. Natron- ja kalsiumsaiippuarasvoilla on lämpötilaraja 40 – 60 °C,

korkean lämpötilan rasvoilla 80 – 100 °C tai enemmän.

Kuvassa 33 esitetään voiteluväli riippuen kaavasta $k_f \cdot n \cdot d_m$. Yksittäisiä laakerityyppejä varten on voimassa erilaisia k_f -kertoimia. Jos annetaan vaihtelua, ovat suuremmat arvot raskaampia ja pinem-mät arvot kevyempiä sarjoja varten.

Verrattuna rasvan käyttöikäan ihanneolosuhteissa, on kuvassa 33 voiteluväliin edullisissa käytännön olosuhteissa huomioitu tietty varmuus. Vierintälaakereiden käyttäjät toimivat voiteluväliin mukaan, ellei rasvan käyttöikä F_{10} käytettävälle rasvalle tunneta. Jos rasvan koko tehokkuus halutaan hyödyntää, niin ihanteellisissa käyntiolosuhteissa voidaan lähteä kokeellisesti ilmoitetusta rasvan käyttöiästä F_{10} , tai käyttää kokemusperäisiä arvoja.

Epäedullisissa käyttö- ja ympäristöolo-suhteissa voiteluväli lyhenee. Lyhentynyt voiteluväli t_{fq} lasketaan kaavasta

$$t_{fq} = t_f \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5 \cdot f_6$$

Pienennyskerroimet $f_1 \dots f_6$ ovat kuvan 34 taulukossa (sivu 37).

Erittäin paljon väliä lyhentävästi vaikuttaa sokkelotiivistyksen yhteydessä laakerin läpi kulkeva ilmavirta. Läpivirtaava ilma vanhentaa voiteluainetta, vie mukanaan rasvaa tai öljyä laakerista ja kuljetttaa epäpuhtauksia sisälle laakeriin.

Rasva, jolla on korkea perusöljyn viskositeetti ($v_{40} \geq 400 \text{ mm}^2/\text{s}$) luovuttaa vain vähän öljyä, erityisesti matalissa lämpötiloissa. Sen käyttö vaatii lyhyttä voiteluväliä. Tiivistimen kautta sisääntunkevat epäpuhtaudet (myös vesi) lyhennävät rasvan käyttöikä.

Joukolle laakerointeja voidaan antaa käytännössä kokonaispienennyskerroin q , joka huomioi kaikki epäedulliset käyttö- ja ympäristöolosuhteet, kuvan 35 taulukko sivulla 37. Lyhentynyt voiteluväli t_{fq} saadaan kaavasta

$$t_{fq} = q \cdot t_f$$

Laakereiden voiteluainehuolto

Rasva

Jos esiintyy epätavallisia käyttö- ja ympäristöolosuhteita (korkeita tai matalia lämpötiloja, korkeaa kuormitusta, korkeaa kehänopeutta) ja voidellaan erikoisrasvalla, joka näissä käyntiolosuhteissa on osoittautunut toimivaksi, voidaan yleensä käyttää kuvan 33 käyrästä antamaa voiteluväliä.

Voiteluvälin lyhennyskertoimet f_1 , f_2 , f_5 ja f_6 ovat pääasiassa voimassa myös erikoisrasvoille. Kuormituksen ja lämpötilan huomioivat lyhennyskertoimet f_3 ja f_4 samoin näiden lämpötilarajat on kysyttävä voiteluainevalmistajalta – Arcanol-rasvoilla FAG:ltä.

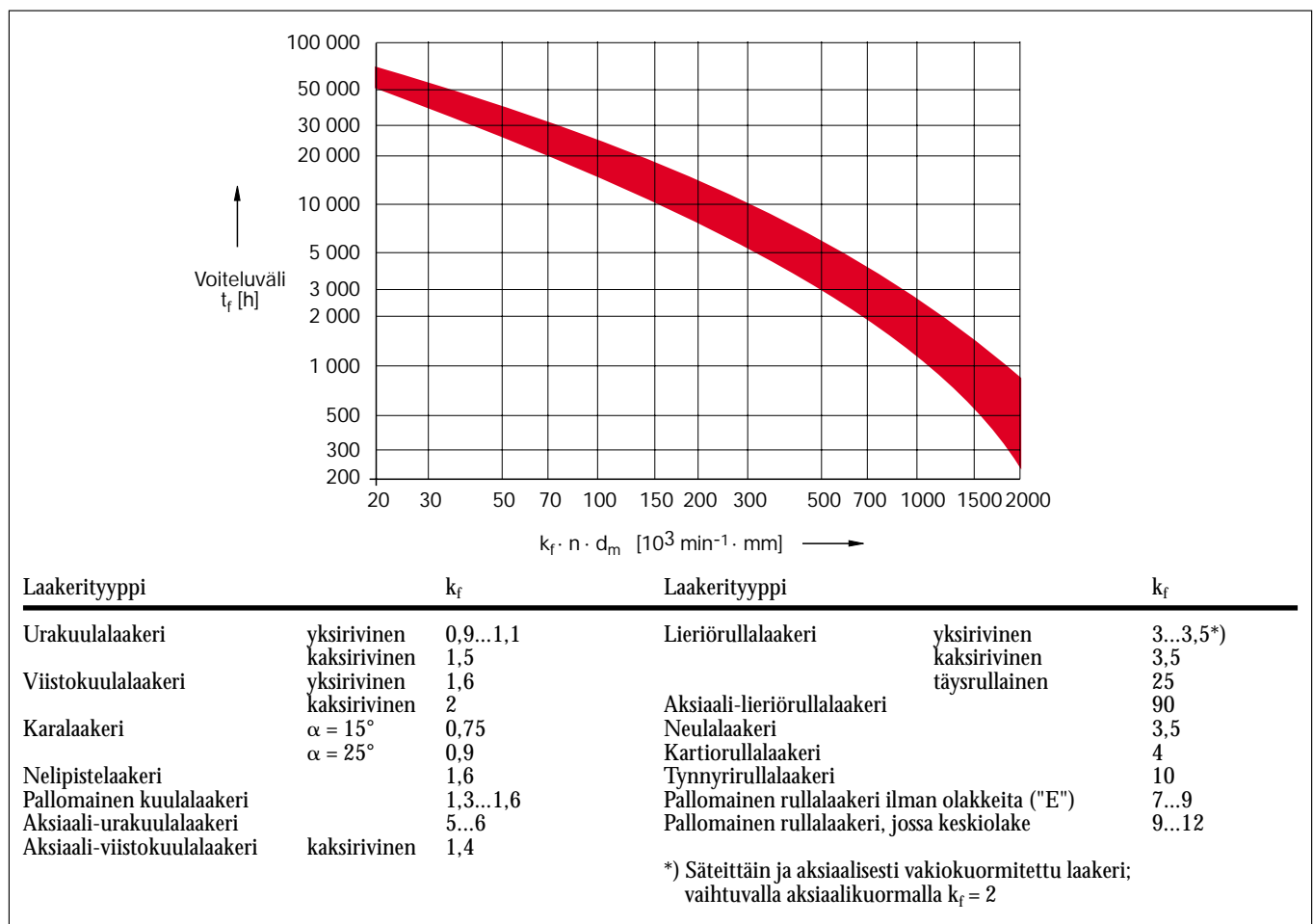
4.1.5 Jälkivoitelu, jälkivoitelutiheys

Jälkivoitelu tai rasvan vaihto on välttämätön, jos rasvan käyttöikä on lyhyempi kuin odotettavissa oleva laakerin elinikä.

Jälkivoitelu tapahtuu rasvapuristimella rasvanipan kautta. Tiheämmän jälkivoitelun yhteydessä ovat rasvapumppu ja tilavuusannostelijat välttämättömiä (keskusvoitelu, rasvan ruiskutusvoitelu, katso sivut 21 ja 24). On tärkeää, että uusi rasva voi syrjäyttää vanhan. Siten rasva pääsee vaihtumaan, mutta se ei saa johtaa ylivoiteluun.

Jos kuvissa 33 – 35 ilmoitettu voiteluväli huomattavasti ylitetään, on kustakin rasvatyypistä riippuen odotettavissa loppuvasta voitelusta johtuva kohonnut laakerin vaurioriski. Siksi on suunniteltava riittävän aikainen rasvan vaihto tai jälkivoitelu. Rasvanvaihtovälit tulisi määrittää siten, että ne eivät ole pitempiä kuin lyhennetty voiteluväli t_{fq} .

33: Voiteluväli edullisissa ympäristöolosuhteissa. Litiumsaippuapohjaisten vakiorasvojen rasvan käyttöikä F_{10} DIN 51 825 mukaan, 70:ssä °C:ssa, vauriotodennäköisyys 10 %



34: Epäedullisten käyttö- ja ympäristöolosuhteiden lyhennyskertoimet $f_1 \dots f_6$

Pölyn ja kosteuden vaikutus laakerin toimintapinnoilla

kohtalainen	$f_1 = 0,9 \dots 0,7$
voimakas	$f_1 = 0,7 \dots 0,4$
erittäin voimakas	$f_1 = 0,4 \dots 0,1$

Sysäyskuormituksen, tärinän ja värähtelyn vaikutus

kohtalainen	$f_2 = 0,9 \dots 0,7$
voimakas	$f_2 = 0,7 \dots 0,4$
erittäin voimakas	$f_2 = 0,4 \dots 0,1$

Korkeamman laakerilämpötilan vaikutus

kohtalainen (75 °C saakka)	$f_3 = 0,9 \dots 0,6$
voimakas (75 – 85 °C)	$f_3 = 0,6 \dots 0,3$
erittäin voimakas (85 – 120 °C)	$f_3 = 0,3 \dots 0,1$

Korkean kuormituksen vaikutus

P/C = 0,1...0,15	$f_4 = 1,0 \dots 0,7$
P/C = 0,15...0,25	$f_4 = 0,7 \dots 0,4$
P/C = 0,25...0,35	$f_4 = 0,4 \dots 0,1$

Laakerin läpi menevän ilmavirran vaikutus

vähäinen virtaus	$f_5 = 0,7 \dots 0,5$
voimakas virtaus	$f_5 = 0,5 \dots 0,1$

Keskipakovoiman vaikutus tai pystysuora akseli

tiivistyksessä riippuen	$f_6 = 0,7 \dots 0,5$
-------------------------	-----------------------

35: Kokonaislyhennyskerroin erilaisille

	Pöly Kosteus	Sysäys- kuormitus Tärinä Värähtely	Korkea läynti- lämpötila	Korkea kuormitus	Ilman virtaus	Kerroin q
Kiinteät sähkömoottorit	-	-	-	-	-	1
Siirtopylkan keskiökärki	-	-	-	-	-	1
Hiontakarat	-	-	-	-	-	1
Tasohiomakoneet	-	-	-	-	-	1
Sirkkelin akselit	•	-	-	-	-	0,8
Koripuristimien vauhtipyörät	•	-	-	-	-	0,8
Vasaramyllyt	•	-	-	-	-	0,8
Tehojarrut	-	-	•	-	-	0,7
Veturien pyöräsarjan laakeroinnit	•	•	-	-	-	0,7
Jäähdytetyt sähkömoottorit	-	-	-	-	•	0,6
Köysiradan vajerien taittopyörät	••	-	-	-	-	0,6
Henkilöauton etupyörät	•	•	-	-	-	0,6
Tekstiilikarat	-	•••	-	-	-	0,3
Leukamurskaimet	••	••	-	•	-	0,2
Tärymoottorit	•	•••	•	-	-	0,2
Imuvalssitelat	•••	-	-	-	-	0,2
Märkäpuristintelat	•••	-	-	-	-	0,2
Työvalssi (valsaamojen)	•••	-	•	-	-	0,2
Keskipakoerottimet	•	-	-	••	-	0,2
Lastaimen kauhapyörän laakerointi	•••	-	-	•	-	0,1
Kehäsaha	•	•••	-	-	-	<0,1
Täryvalssi	•	•••	•••	-	-	<0,1
Täryseula	•	•••	-	-	-	<0,1
Kaivurin kääntökäyttö	••	-	-	•••	-	<0,1
Rehupuristin	•	-	•	•••	-	<0,1
Hihnakuuljettimen rumpu	•••	-	-	•	-	<0,1

• = kohtalainen vaikutus •• = voimakas vaikutus ••• = erittäin voimakas vaikutus käyntialueille

Laakereiden voiteluainehuolto

Rasva

Jälkivoitelussa uusi rasva korvaa vanhan rasvan usein vain osittain, minkä vuoksi jälkivoitelutiheys on valittava vastaavasti lyhyemmäksi (yleinen jälkivoitelutiheys on $0,5 - 0,7 \cdot t_{iq}$). Mikä jälkivoitelumäärä on sellaisissa tapauksissa yleinen, voidaan ottaa kuvasta 36.

36: Rasvan jälkivoitelumäärät

Jälkivoitelumäärä m_1 viikottaisessa – vuosittaisessa jälkivoitelussa

$$m_1 = D \cdot B \cdot x \text{ [g]}$$

Jälkivoiteluväli	x
viikottain	0,002
kuukausittain	0,003
vuosittain	0,004

Jälkivoitelumäärät m_2 erittäin lyhyillä jälkivoiteluväleillä

$$m_2 = (0,5...20) \cdot V \text{ [kg/h]}$$

Jälkivoitelumäärä m_3 ennen uudelleen käyttöönottoa monivuotisen seisokin jälkeen

$$m_3 = D \cdot B \cdot 0,01 \text{ [g]}$$

$$V = \text{laakerin vapaa tila} \\ \approx \pi/4 \cdot B \cdot (D^2 - d^2) \cdot 10^{-9} - G/7800 \text{ [m}^3\text{]}$$

d = laakerin sisähalkaisija [mm]
D = laakerin ulkohalkaisija [mm]
B = laakerin leveys [mm]
G = laakerin paino [kg]

Rasvan täydennykseen on ryhdyttävä vain, jos jälkivoitelun yhteydessä vanha rasva ei voi poistua (pesässä ei vapaata tilaa, ei rasvan poistoreikiä, eikä rasvaventtiiliä). Syötettävää rasvamäärää tulisi silloin rajoittaa, jotta vältetään ylivoitelu.

Runas jälkivoitelu sijoittuu, jos pesässä on suuri vapaa tila, käytössä on rasvamäärän säädin, rasvanpoistoreikä tai rasvaventtiili tai alhainen pyörintänopeus $n \cdot d_m < 100\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$. Sellaisissa tapauksissa on rasvan vatkautumisesta johtuva lämpötilan nousu vähäinen. Runas jälkivoitelu parantaa vanhan rasvan vaihtumista uuteen ja tukee tiivistystä pölyä ja kosteutta vastaan. On edullista tehdä jälkivoitelu käyntilämpimään ja pyörivään laakeriin.

Rasvan vaihto on pitkällä jälkivoiteluväleillä suositeltavaa. Pitkällemenevä vanhan rasvan vaihtuminen uuteen rasvaan saavutetaan suuremman rasvamäärän avulla. Suurempi jälkivoitelumäärä on tarpeellinen ennen kaikkea silloin, jos korkeammasta lämpötilasta johtuen vanha rasva on vaurioitunut. Poistaakseen mahdollisimman paljon vanhaa rasvaa "huuhtelulla", tulisi jälkivoitelu tehdä määrällä, joka on jopa kolme kertaa niin suuri kuin kuvassa 36 annettu rasvamäärä. Kaikki rasvat eivät sovellu huuhteluvoiteluun. Voiteluainevalmistajat suosittelevat sopivia rasvoja. Tasainen rasvan syöttö koko laakerin kehälle helpottaa rasvan vaihtumista. Rakenteellisia esimerkkejä tästä esittävät kuvat 42 – 46. Edellytys pitkälle menevään vanhan rasvan vaihtumiseen uuteen rasvaan on, että vanha rasva voi vapaasti poistua tai käytössä on riittävän suuri tila vanhan rasvan vastaanottoon.

Erittäin lyhyt jälkivoitelutiheys (päivittäin tai lyhyempi) tarvitaan silloin, kun esiintyy äärimmäistä rasiutusta ($n \cdot d_m > 500\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$; $P/C > 0,3$; $t > 140 \text{ }^\circ\text{C}$ tai yhdistelmiä myös pienemistä arvoista). Sellaisissa tapauksissa on voitelupumpun käyttö puolustettavaa. Tällöin on huomioitava, että rasva laakerissa, pesässä ja syöttöputkissa, pysyy riittävän kulkevana. Erittäin korkeissa lämpötiloissa voi näissä kohdissa esiintyä kiinnittymistä, joka estää myöhempää jälkivoitelua. Tällaisen kiinnittymisen seurauksena voi olla myös annosteluventtiilin lukkiutuminen.

Tiivistyksen tuenta ulospursuavalla rasvalla saavutetaan, kun jälkivoitelullaan lyhyin väliajoin pieniä määriä. Jälkivoitelumäärä tunnissa voi olla tällöin 1/2 – monta kertaa niin suuri kuin vapaaseen laakerin sisätilaan sopiva rasvamäärä. Käytettäessä kuvassa 36 suositeltuja määriä m_2 erittäin lyhyillä jälkivoiteluväleillä saavutetaan rasvan ulostulonopeus tiivistinraossa raon leveydestä riippuen 2 cm/päivä tai enemmän.

Korkeissa lämpötiloissa on rasvavoitelu mahdollinen joko halvalla, vain vähän aikaa kestävällä rasvalla tai kalliimmalla

pitkään lämpökestävällä rasvalla. Vähän aikaa kestäville rasvoilla ovat jälkivoitelumäärät vastaavasti 1 – 2 % vapaasta laakeritilasta tunnissa osoittautuneet oikeiksi. Kestävillä ja erittäin kalliilla erikoisrasvoilla riittävät jopa huomattavasti vähäisemmät jälkivoitelumäärät. Sellaisilla pienillä määrillä on tosin rasvan syöttö suoraan laakeriin ehdottoman välttämätön. Pienet jälkivoitelumäärät ovat mahdollisia myös suurilla kehänopeuksilla. Ne nostavat kitkamomenttia ja lämpötilaa vain vähän. Pienet jälkivoitelumäärät kuormittavat ympäristöä vähemmän. Siitä aiheutuu tosin korkeammat kustannukset. Kohdistettu rasvan syöttö hyvin pienillä rasvamäärillä voidaan saavuttaa rasvan ruiskautusvoitelulla, kuva 25 (sivu 24)

Erialaisten rasvalaatuojen sekoittamista ei usein voida välttää jälkivoitelussa. Melko vaarattomana pidetään sellaisten rasvojen sekoittamista, joilla on sama saippuapohja. Öljyjen ja rasvojen periaatteellinen sekoitettavuus annetaan kuvien 37 ja 38 taulukoissa.

Sopimattomien rasvojen sekoituksessa voi tulla liian voimakkaita rakennemuutoksia, myös voimakas rasvaseoksen pehmeneminen on mahdollinen. Jos tietoisesti ryhdytään käyttämään toista rasvatyyppiä, niin jälkivoitelu tulee suorittaa suurella määrällä (rasvahuuhtelu), mikäli laakerisijan rakenne sen sallii. Mahdollinen seuraava jälkivoitelu tulisi tehdä lyhyemmän ajan kuluttua.

38: Oljyjen sekoitettavuus

Perusöljy	Mineraaliöljy	Esteriöljy	Polyglykoliöljy	Silikoniöljy (metyyli)	Silikoniöljy (fenoli)	polyfenoli-eteriöljy	Alkoxyfluoriöljy
Mineraaliöljy	+	+	-	-	+	+	-
Esteriöljy	+	+	+	-	+	+	-
Polyglykoliöljy	-	+	+	-	-	-	-
Silikoniöljy (metyyli)	-	-	-	+	+	-	-
Silikoniöljy (fenoli)	+	+	-	+	+	+	-
Polyfenoli-eteriöljy	+	+	-	-	+	+	-
Akoxyfluoriöljy	-	-	-	-	-	-	+

+ sekoitus sallitaan
- sekoitusta ei sallita

38: Voitelurasvojen sekoitettavuus

Poistuvan rasvan saostin	Jälkivoitelurasvan saostin								
	Li-saippua	Li-yhdistelmä	Na-saippua	Na-yhdistelmä	Ca-yhdistelmä	Ba-yhdistelmä	Al-yhdistelmä	Bentonit/Hectorit	Urea
Li-saippua	+	+	-	o	o	o	-	-	+
Li-yhdistelmä	a	+	-	o	o	o	o	-	o
Na-saippua	-	-	+	+	o	o	-	-	+
Na-yhdistelmä	-	o	a	+	o	o	o	-	o
Ca-yhdistelmä	a	o	-	o	+	+	o	-	o
Ba-yhdistelmä	a	o	-	o	+	+	o	-	o
Al-yhdistelmä	a	o	-	o	o	o	+	-	o
Bentonit/Hectorit	-	o	-	o	o	o	-	+	o
Urea	a	o	-	o	o	o	-	-	+

+ tavallisesti hyvin sopiva ; a sekoitettavissa; alkuperäinen jälkivoiteluväli edellyttää korkealaatuista ja suorituskykyistä jälkivoitelurasvaa
o usein sopiva, yksittäistapauksissa kokeiltava
- tavallisesti ei ole sopiva

Laakereiden voiteluainehuolto

Rasva

4.1.6 Esimerkkejä rasvavoitelusta

Kuva 39: Tiivistetty ja valmistuksessa rasvalla täytetty vierintälaakeri mahdollistaa yksinkertaisen rakenteen. Suojalevy tai tiivistinlevy kulloisenkin käyttötarkoituksen mukaan voidaan suunnitella ainoksi tiivisteeksi tai lisäksi käyttää toista esitiivistintä. Hankaavien (rakenteet RSR tai RS) tiivistinlevyjen tiivistinkitka kohottaa laakerin lämpötilaa. Suojalevyt (ZR tai Z) ja hankaamaton tiivistinlevy (RSD) jättävät raon sisärenkaaseen eivätkä vaikuta kitkaan. Molemmiin puoliin tiivistetyt urakuulalaakerit ovat tavallisesti rasvattu jäykkyyden luokan 2 tai 3 litiumsaippuarasvalla, joskin pienissä laakereissa käytetään pehmeämpää rasvaa. Sijoitettu rasvamäärä täyttää n. 30 % vapaasta laakeritilasta. Se on määritetty siten, että tavallisissa käyttö- ja ympäristöolosuhteissa saavutetaan korkea käyttöikä. Rasva jakautuu lyhyen käynnistysjakson aikana ja sijoittuu suurelta osin vapaan laakeritilan häiritsemättömiin osiin, siis levyjen sisäpinnolle. Sen jälkeen ei ole osoitettavissa mitään mainittavaa osallistumista pyörintään ja laakeri pyörii kevyesti.

Käynnistysvaiheen päätyttyä asettuu kitka vain noin 30 – 50 %:iin käynnistyskitkasta.

Kuva 40: Urakuulalaakeri on tiivistetty toiselta puolelta. Toiselle puolelle on sijoitettu padotuslevy ja rasvavarasto. Siten laakerilla on käytettävissä suuri rasvamäärä lähellä laakeria, mutta ei kuitenkaan itse laakerissa. Korkeassa lämpötilassa rasvavarasto antaa tehokkaasti ja kauan öljyä urakuulalaakeriin. Siten saavutetaan pitkä käyttöikä ilman että esiintyy lisääntyneitä voiteluainekitkaa. FAG suosittelee sopivia rasvoja kysyttäessä.

Kuva 41: Laakereissa, joilla on pumppausvaikutus tai akseli pystysuorassa, toimii padotuslevy siten, että rasva ei poistu tai ei ainakaan poistu niin nopeasti laakerista. Erityisesti laakerityypeissä, joissa on korkea liukumaosuus ja selväpiirteinen pumppausvaikutus (esim. kartiorullalaakerit), on korkeammilla kehänopeuksilla eteesijoitettu padotuslevy edullinen, joskaan ei aina riittävä. Seuraava toimenpide, jolla rasvaushuoltoa varmistetaan, on tiheä jälkivoitelu.

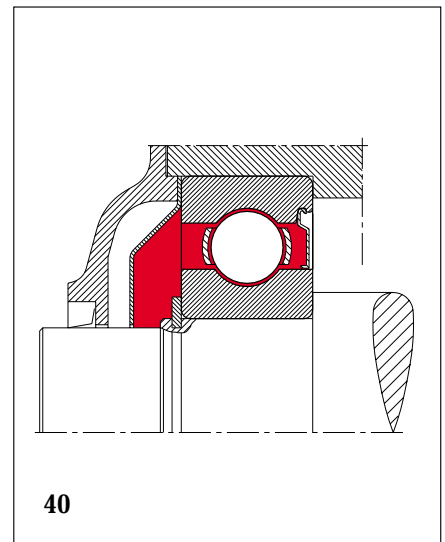
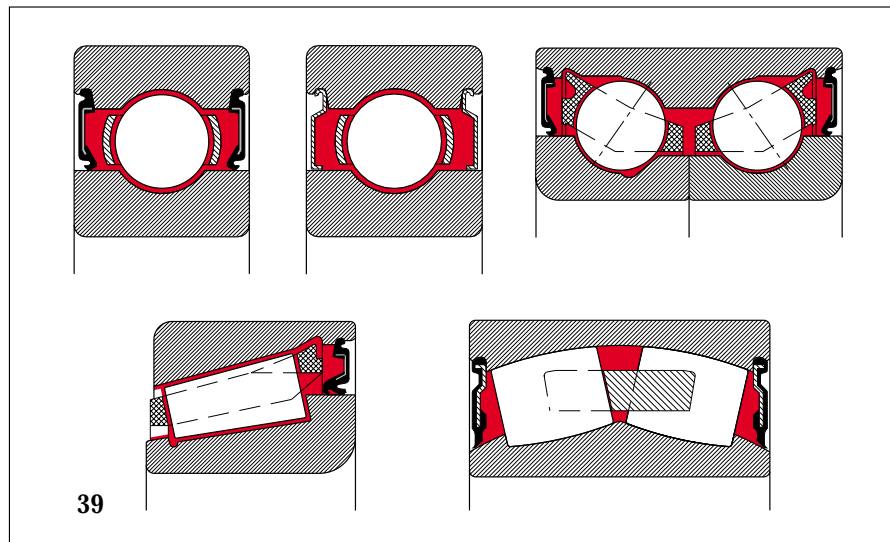
Kuva 42: Voitelu-uran ja useampien laakerin ulkorenkassa olevien voitelureikien kautta rasva puristetaan sisälle laakeriin. Lähelläolevan ja symmetrisen rasvan syötön avulla saavutetaan molempien rullarivien tasainen voitelu. Vanhan rasvan vastaanottoon on molemmilla puolilla riittävän suuri tila tai rasvanpoistoreikä.

Kuva 43: Pallomainen rullalaakeri jälkivoitelullaan sivusta. Vastakkaiselta puolelta rasvan pitää jälkivoitelussa poistua. Tällöin voi esiintyä rasvan patoutumista, jos jälkivoitelullaan usein suuria määriä ja poismenossa esiintyy vastusta. Avun tuo rasvanpoistoreikä tai rasvaventtiili. Käynnistysvaiheen aikana esiintyy rasvan liikkumisesta johtuen lämpötilan nousua (noin 20 – 30 K yli tasapainolämpötilan), joka voi kestää yhden tai useampia tunteja. Voimakas vaikutus lämpötilan kulkuun on rasvatyyppillä ja rasvan jäykkyydellä.

Kuva 44: Jos käytössä on rasvamäärän säädin, on olemassa suurilla jälkivoitelutiheyksillä, suurilla kehänopeuksilla ja käytettäessä hyvin kulkeutuvaa rasvaa

39: Tiivistettyjä ja vierintälaakerivalmistajan voitelemissa laakereita

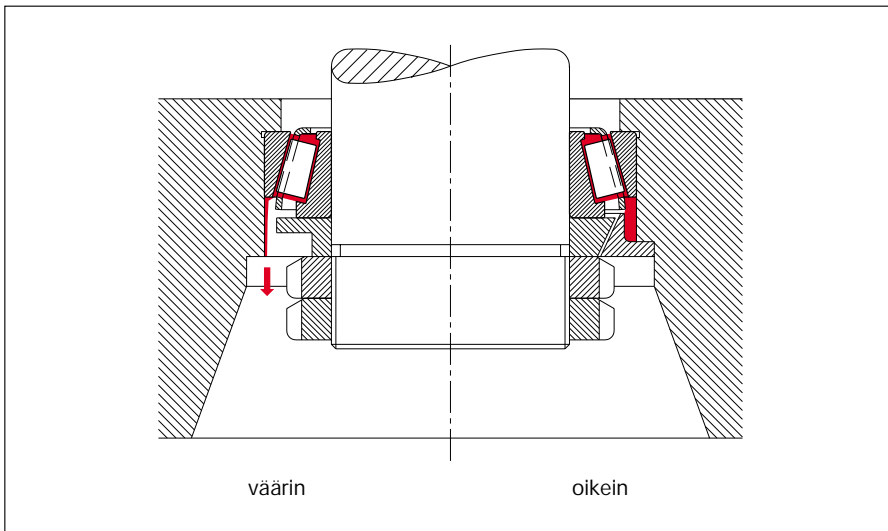
40: Kuppimaisella padotuslevyllä laakerin ja tiivisteiden välissä saadaan rasvavarasto



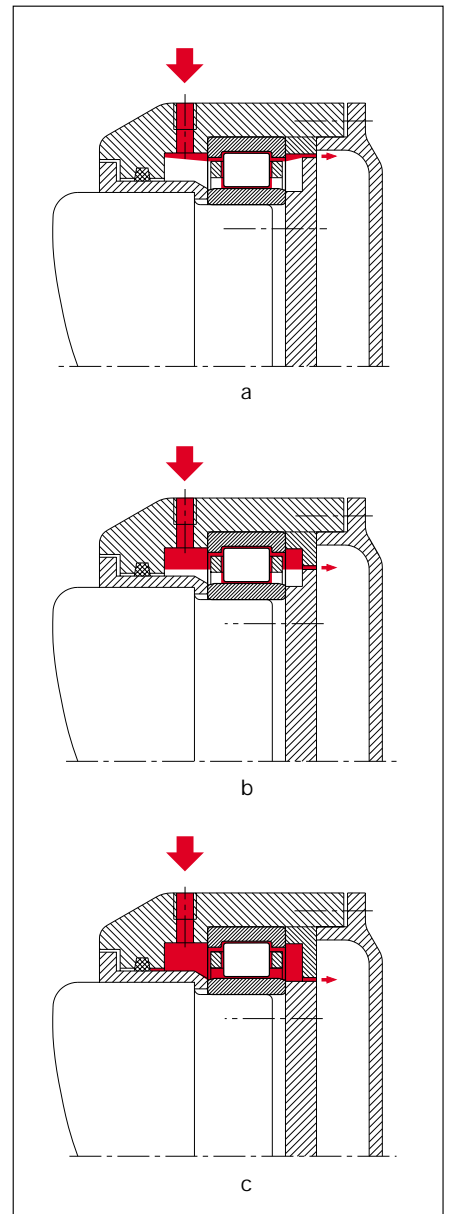
vaara, että vain vähän rasvaa jää säätölevyn puolelle laakeriin. Apu tähän saadaan, kun pyörivän säätöreunan ja kiinteiden ulkopuolisten osien välinen rako sijoitetaan lähemmäksi akselia. Tavallisessa rasvamäärän säätäjässä, jossa rako on ulkokehällä, kuva 44a, on voimakas

pumppausvaikutus. Kohtuullinen pumppausvaikutus saavutetaan, kun rako sijoitetaan suunnilleen keskelle laakeria, kuva 44b. Sisäreunalla oleva rako, kuva 44c, ei käytännössä aiheuta lainkaan pumppausvaikutusta; levy toimii kuin padotuslevy ja pitää rasvan laakerissa.

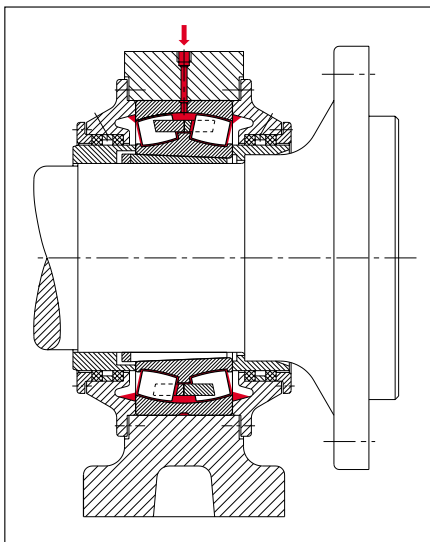
41: Padotuslevyn avulla pidetään rasva laakerissa ja laakerin läheisyydessä



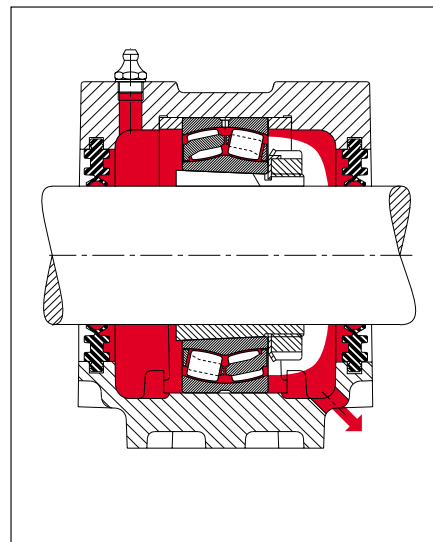
44: Säätölevyn pumppausvaikutus riippuu pyörivän levyn läpimitasta



42: Rasvan syöttö laakerin ulkorenaan kautta



43: Jälkivoitelu rasvalla. Ylivoitelu estetään poistoreiällä.

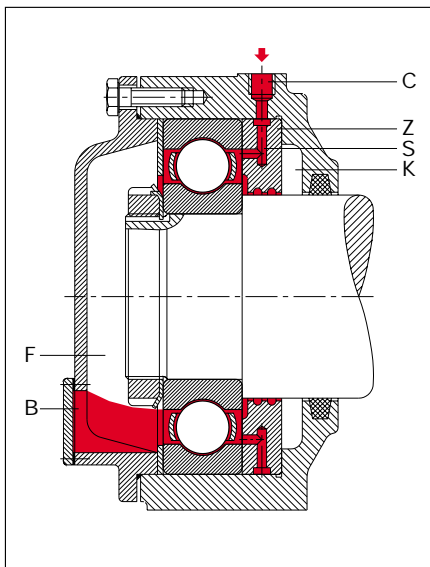


Laakereiden voiteluainehuolto

Rasva

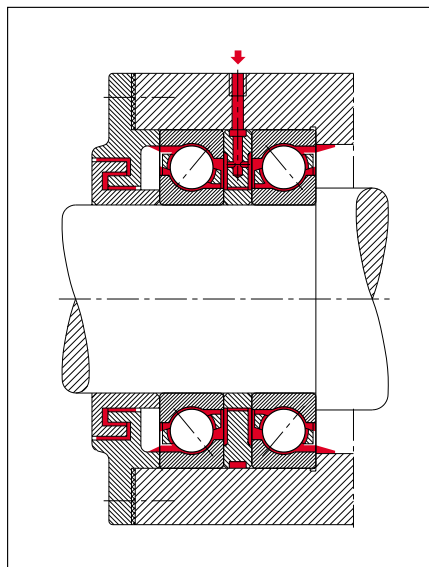
Kuva 45: Jälkivoitelussa rasva saapuu levyssä Z olevien porausten S kautta suoraan pitimen ja ulkorenkkaan väliseen rengasrakoon. Jälkivoitelun syrjäyttämä rasva kasaantuu tilaan F, josta se täytyy poistaa ajoittain aukon B kautta. Laakerin oikealla puolella oleva kammio K täytetään asennettaessa rasvalla; sen tehtävänä on parantaa tiivistystä. Jälkivoiteltaessa seistessä saavutetaan hyvä vanhan rasvan vaihtuvuus uuteen rasvaan, jos poraukset S on sijoitettu kehälle siten, että rasva tunkeutuu tasaisesti koko kehän pituudelta laakeriin. Porausten S, jotka sijaitsevat lähellä täyttöreikää C, täytyy siksi olla kauempana toisistaan kuin kauempana kehällä olevat reiät. Siten saavutetaan tasainen virtausvastus ja jälkivoiteltava rasva työntää vanhan rasvan tasaisesti laakerista. Suuret jälkivoitelumäärät parantavat vaihtuvuutta vanhasta uuteen rasvaan.

45: Suunnattu jälkivoitelu sivulta renkaan reikien kautta



Kuva 46: Viistokuulalaakeripari voidellaan laakereiden väliin sijoitetun levyn voitelureikien kautta tuoreella rasvalla. Rasvan patoutuminen vältetään siten, että rasva syötetään sisärenkaan pienemmän läpimitan kohdalle; keskipakovoima kuljettaa sen suuremman läpimitan kautta ulos laakerista. Tämä vaikutus esiintyy tietysti vain epäsymmetrisillä laakereilla, siis viistokuulalaakereilla ja kartiorullalaa-kereilla. Jos poikkileikkaukseltaan symmetrisen laakeripari voidellaan keskeltä, tulisi jokaisen yksittäisen laakerin viereen sijoittaa säätölevy tai poistoaukko. On tärkeää, että poistovastus on joka kohdassa suunnilleen yhtä suuri. Ellei tilanne ole tämä, silloin syntyy rasvanvirtaus ensisijaisesti pienemmän poistovastuksen puolelle. Vastakkaista puolta uhkaa puutteellinen voitelu.

46: Laakeriparin voitelu keskeltä ulos



Kuten esimerkit osoittavat, on suunnattu rasvansyöttö useimmiten tarkoituksenmukaista. Näitä laitteita käytetään ensisijassa kalliissa koneissa tai vaikeissa käyntitilanteissa, kuten korkea pyörintänopeus, kuormitus tai lämpötila. Näissä tapauksissa täytyy käytetyn rasvan vaihtuminen olla taattu ja ylivoitelu poissuljettu. Mainitut laitteet tavallisissa käyttötilanteissa eivät toisaalta ole välttämättömiä, kuten käyttövarmat laakeroinnit sivuttaisten rasvapatjojen kanssa osoittavat. Nämä rasvapatjat laakerin molemmilla sivuilla antavat vähän kerrassaan öljyä kosketuspintojen voiteluun ja tarjoavat laakerin sisäosille lisäsuojan epäpuhtauksia vastaan. Jälkivoitelussa ei tässä ole kuitenkaan varmaa, että uusi rasva saavuttaa kaikki kosketuspinnat. Koska sen mukana laakeriin voi lisäksi päästä epäpuhtauksia, on sellaisissa tapauksissa parempi luopua säännöllisestä jälkivoitelusta ja huolehtia pitkäaikaisvoitelusta. Koneen perushuollon yhteydessä laakerit voidaan purkaa, pestä ja täyttää uudella rasvalla.

4.2 Laakerin öljyhuolto

4.2.1 Laitteet

Ellei öljykylpyvoitelua ole suunniteltu, on öljy syötettävä laitteilla laakeriin. Laitteikäyttö riippuu valitusta voitelutavasta. Öljy syötetään pumpuilla, jos voidellaan suuremmilla tai pinemmillä määrillä, öljysumulaitteilla, öljy-ilma-laitteilla, sekä öljyn keskusvoitelulaitteilla voideltaessa pienillä ja erittäin pienillä määrillä. Öljyn annostelu tapahtuu annosteluelementtien, rajoitinten ja suihkujen avulla. Yksityiskohtaisia ohjeita käytetyimpiin voitelulaitoksiin sisältää kappale 2 "voitelutavat".

4.2.2 Öljykylpyvoitelu

Öljykylpyvoitelussa, jota kutsutaan myös kasteluvoiteluksi tai allasvoiteluksi, on laakeri osittain öljyssä. Öljytaso vaaka-suoran akselin yhteydessä on määritettävä siten, että koneen seistessä laakerin alimmat vierintäelimet ovat puolittain tai kokonaan uponneet öljyyn, kuva 47.

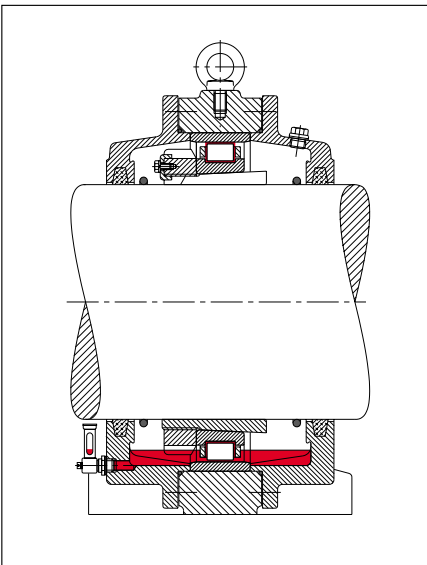
Laakerin pyöriessä ottavat osittain vierintäelimet ja pidin öljyä mukaansa ja jakavat sen koko kehälle. Laakerit, joiden poikkileikkaus on epäsymmetrinen, jotka pumpaavat öljyä, on varustettava öljyn paluukanavilla, jotta kierto tapahtuisi. Alinten vierintäelinten yläpuolinen öljytaso johtaa ennen kaikkea suurilla kehänopeuksilla roiskuntakitkan takia kohonneeseen laakerin lämpötilaan ja usein myös vaahdon muodostumiseen. Kierrostunnuksilla $n \cdot d_m < 150\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$ saa öljytaso olla myös korkeampi. Ellei voida välttää, että vierintälaakeri on kokonaan öljyssä, esim. vaaka-suoran akselin yhteydessä, on kitkamentti 2 – 3 kertaa niin korkea kuin tavallisella öljytasolla. Öljykylpyvoitelun raja on tavallisesti kierrostunnuksella $n \cdot d_m = 300\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$, tiheällä öljynvaihdoilla myös $500\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$. Arvosta $n \cdot d_m = 300\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$ lähtien on laakerin lämpötila usein yli 70°C . Öljykylpyvoitelussa tulisi öljytaso tarkistaa säännöllisesti.

Öljynvaihtoväli riippuu öljyn likaisuudesta ja vanhentumisesta. Vanhenemisen aiheuttaa hapen, metallijätteiden

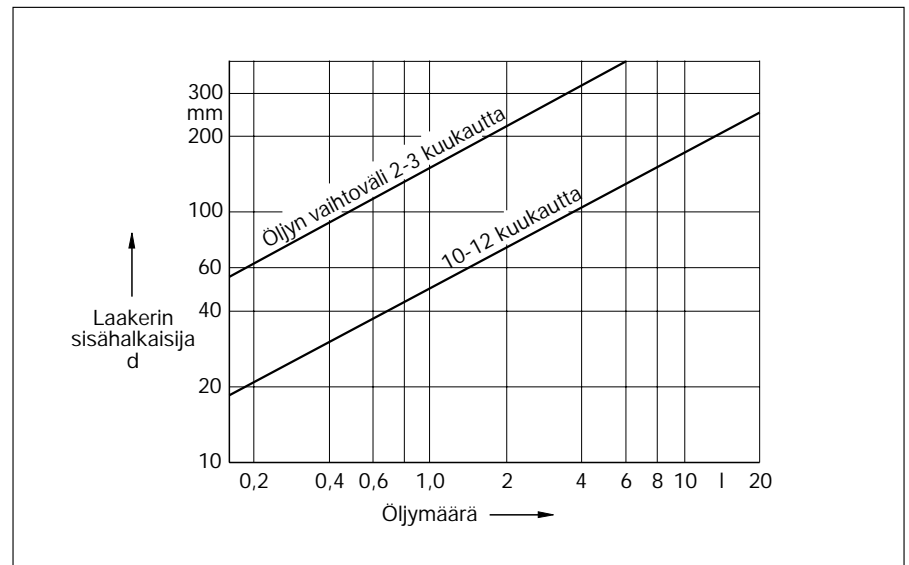
(katalysaattorien) ja korkean lämpötilan läsnäolo. Muutoksista neutralisaatioluvussa NZ ja saippuoitumisluvussa VZ voivat öljyn valmistajat ja kyseiset öljytyypit hyvin tuntevat käytännön ihmiset arvioida vanhenemisasteen.

Tavallisissa olosuhteissa tulisi noudattaa kuvan 48 käyrästä annettua öljyn vaihtoväliä. Tämän edellytyksenä on, että laakerin lämpötila ei ylitä 80°C ja vieraiden hiukkasten ja veden aiheuttama liikaantuminen pysyy pieninä. Kuten käyrästä näkyy, vaatii pesä, jonka öljytilavuus on pieni, tiheämmän öljynvaihdon. Sisäänajovaiheessa voi öljyn vaihto olla välttämätön kohonneen lämpötilan ja hiontahiukkasten aiheuttaman likaantumisen takia jo hyvin lyhyen ajan kuluttua. Tämä on voimassa erityisesti vierintälaakereilla, jotka voidellaan yhdessä hammaspyörien kanssa. Usein ennenaikainen öljynvaihto on tehtävä kiinteiden ja nestemäisten epäpuhtauksien kohonneiden pitoisuuksien takia. Kiinteiden epäpuhtauksien sallitut määrät riippuvat hiukkasten suuruudesta ja kovuudesta (katso kappale 5.1.1 "Vieraat sirut", sivu 54).

47: Öljytaso öljykylpyvoitelussa



48: Öljymäärän sekä öljyn vaihtovälin riippuvuus laakerin sisäläpimitasta



Laakereiden voiteluainehuolto

Öljy

Sallittu vesimäärä öljyssä riippuu öljytyypistä ja se on kysyttävä öljyn valmistajalta. Vapaa vesi johtaa ruostumiseen, kiihdyttää hydrolyysin kautta öljyn vanhenemista, muodostaa yhdessä paineenkesto (EP)-lisäaineiden kanssa syövyttäviä aineita ja haittaa kantavan voitelukalvon muodostumista. Jos vesi tunkeutuu laakeeriin tiivistimen kautta tai jos kondenssivettä muodostuu, on nopea veden erottaminen öljystä, esimerkiksi öljyn hyvän vedenerotuskyvyn avulla, tärkeää. Veden erottaminen öljyä käsiteltäessä separaattorissa tai höyrystäminen alipaineessa riittää. Polyglukoliöljyillä on veden erottaminen öljystä vaikeampaa, koska niiden tiheys on noin 1. Vesi ei siksi jää öljysäiliöön, mutta yli 90 °C lämpötila höyrystää veden.

Kriittisissä käyntikohteissa tulisi öljynvaihtoväli määrittää toistettujen öljytutki-

musten perusteella. On suositeltavaa, alussa 1 – 2 kuukauden välein, myöhemmin tulosten mukaan harvemmin, ilmoittaa neutralisaatioluku NZ, saippuoitumisluku VZ, kiinteiden vieraiden hiukasten määrä, vesimäärä ja öljyn viskositeetti. On huomioitavaa, että laakerin käyttöikä jo pienillä pysyvillä vesipitoisuuksilla putoaa rajusti. Karkean arvion vanhenemis- ja likaantumisasusteesta saa laittamalla tipan tuoretta ja käytettyä öljyä imupaperille. Suuri väriero merkitsee voimakasta vanhenemista tai likaantumista.

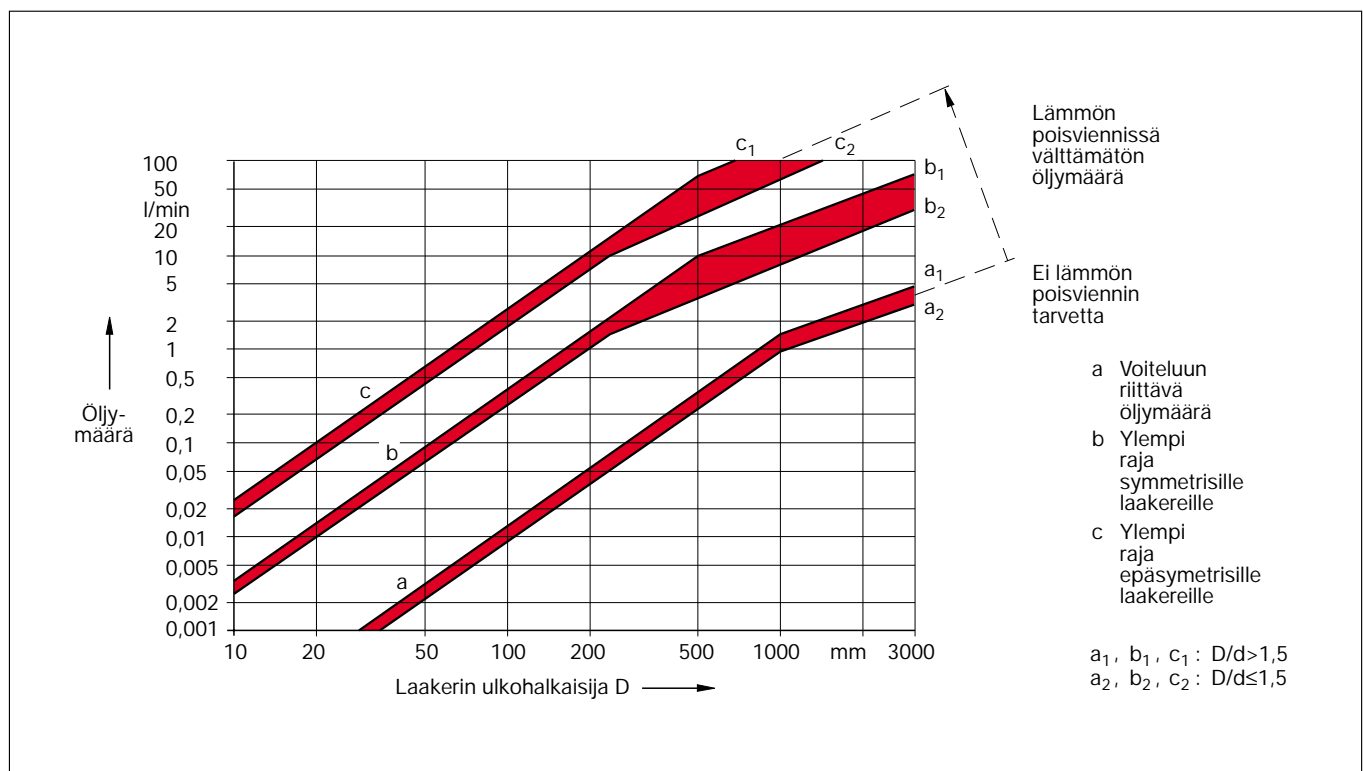
4.2.3 Kiertoöljyvoitelu keskisuurilla ja suuremmilla öljymäärillä

Kiertoöljyvoitelussa öljy johdetaan kiertämään laakerin läpi öljynkoontasäiliöön ja sitten uudelleen laakeeriin. Kierto-

öljyvoitelussa on ehdottoman välttämätöntä käyttää suodatinta poistamaan hiontahiukkaset ja epäpuhtaudet, katso myös kappale 5.1.3. Epäpuhtauksien kielteinen vaikutus saavutettavaan elinikään esitetään tarkemmin kappaleessa 1.1.3.

Kiertävän öljyn määrä sovitaan käytöolosuhteiden mukaan. Määrät, viskositeettisuhteella $\kappa = \nu/\nu_1 \dots 2,5$ ja kohtuullisella laakerin läpivirtausvastuksella, annetaan kuvan 49 käyrästä. Itse laakerin voiteluun tarvitaan hyvin pieni öljymäärä. Siihen verrattuna on kuvan 49 käyrästä annettu voiteluun riittävä määrä (linja a) hyvin suuri. Tätä öljymäärää suositellaan sen varmistamiseksi, että myös epäedullisissa öljyn laakeriinsyöttötilanteissa, esimerkiksi kun öljyä ei syötetä suoraan laakeeriin, kaikki kosketuspinnat saavat varmasti öljyä.

49: Öljymäärä kiertoöljyvoitelussa



Annetuilla minimimäärillä voidaan silloin, kun toivotaan pientä kitkaa. Tällä tavalla asetettu lämpötila on samalla korkeudella kuin öljykylpyvoitelussa.

Kun tarvitaan lämmön poiskuljetusta, ovat suuremmat öljymäärät välttämättömiä. Koska läpivirtaava öljy aiheuttaa jokaiseen laakeriin tietyn vastuksen, on öljymäärillä myös ylärajat. Epäsymmetrisillä laakereilla (viistokuulalaakerit, kartiorullalaakerit ja pallomaiset aksiaalirullalaakerit) on suurempi läpivirtausmäärä sallittu kuin symmetrisillä laakereilla. Epäsymmetrisillä laakereilla tehostaa niiden pumppausvaikutus öljyn läpivirtausta ja aiheuttaa siten vähemmän vastusta. Kuvan 49 käyrästä annettut rajat edellyttävät öljyn paineetonta syöttöä ja patoutumista laakerin syöttöpuolella enintään akselin alapuolelle. Mikä öljymäärä yksittäistapauksissa on syötettävä,

tydyttävän alhaisen lämpötilan säilyttämiseksi, riippuu lämmön tulo- ja poistolosuhteista. Oikea öljymäärä voidaan määrittää koneen käyttöönotossa mittamalla lämpötiloja ja säätämällä sitten virtaus sopivaksi.

Kohoavilla kehänopeuksilla aiheuttaa symmetrisen laakerin läpivirtaava öljy lisääntyvän vastuksen. Nopeasti pyörivissä vierintalaakereissa ruiskutetaan öljy suunnatusti pitimen ja laakerirenkaan väliseen rakoon, mikäli suurta virtausmäärää tarvitaan. Öljyn ruiskutuksessa esiintyy vain vähän roiskintahäviöitä.

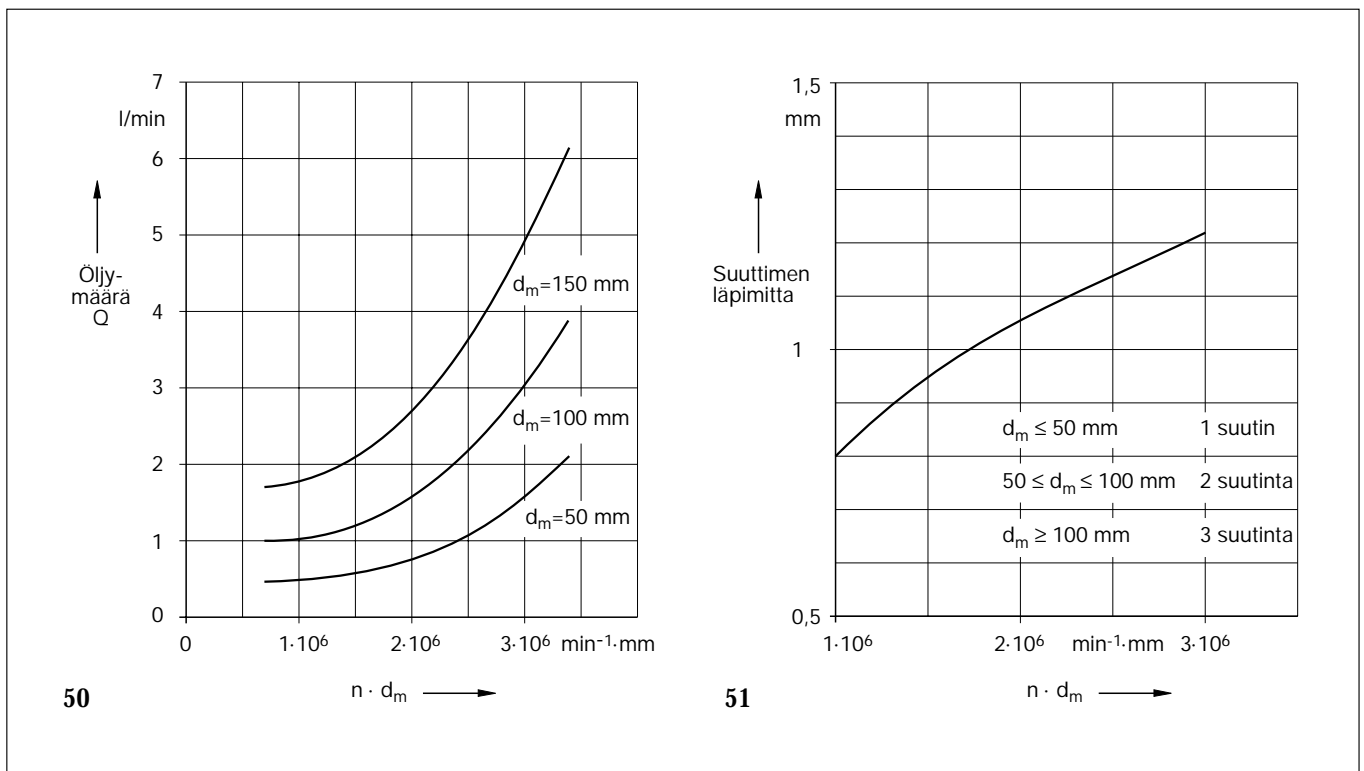
Öljyn ruiskutusvoitelussa tarvittavat öljymäärät annetaan kuvan 50 käyrästä riippuen kierrostunnuksluvusta ja laakerin koosta. Kuvan 51 käyrästä ilmenee, kuinka suihkut on sijoitettava. Öljyn patoutuminen laakeriin estetään siten,

että öljy ruiskutetaan laakeriin kohdassa, jossa vapaa läpimeno on mahdollinen. Riittävästi mitoitetut poistokanavat huolehtivat siitä, että laakerin vastaanottamaton ja laakerin läpimennyt öljy voivat poistua esteettömästi, kuvat 62 ja 63.

Suurten kehänopeuksien alueella, jossa ruiskutusvoitelu on yleinen, ovat osoittautuneet oikeiksi öljyt, jotka saavuttavat käyttöviskositeetin $\nu = 5 - 10 \text{ mm}^2/\text{s}$ ($\alpha = 1 \dots 4$). Kuvan 52 käyrästä näytetään painehäviöstä Δp riippuen öljymäärä Q ja suihkutusnopeus v kun suihkun pituus $L = 8,3 \text{ mm}$ käyttöviskositeeteilla $7,75$ ja $15,5 \text{ mm}^2/\text{s}$ erilaisille suihkun läpimitoille.

50: Öljymäärän ohjearvoja ruiskutusvoitelussa

51: Suihkusuutinten läpimitta ja lukumäärä ruiskutusvoitelussa



Laakereiden voiteluainehuolto

Öljy

Nämä tiedot täsmäävät kokeiden kanssa. Öljyn läpimenoannos nopeasti pyörivän laakerin läpi pienenee pyörintänopeuden kasvaessa. Se suurenee ruiskutusnopeuden kasvaessa, joskin 30 m/s on mielekäs yläraja.

Vierintälaakereiden on oltava **voideltu jo konetta käynnistettäessä**. Kiertoöljyvoitelussa tulee sen vuoksi käynnistää pumppu jo ennen laakerin käynnistymistä. Pumpun ennakkokäynti ei tosin ole tarpeellinen, jos rakenteellisilla ratkaisuilta on hoidettu, että kaikki öljy ei voi valua laakerista, vaan sinne jää tietty öljytasku. Lisäksi kiertoöljyvoitelussa suunniteltu öljytasku parantaa käyttövarmuutta, koska pumpun pysähtyttyä öljyhuolto tapahtuu vähintään jonkin aikaa öljytaskus-

ta. Matalissa lämpötiloissa voi öljyn kiertomäärä pienentyä alle voitelussa tarvittavan määrän (kuvan 49 käyrä a) kunnes säiliössä oleva öljy lämpenee. Tämä helpottaa kiertoöljylaitoksen selvitystä (pumppukäyttö, öljyn paluu).

Kun voidellaan suuremmilla öljymäärillä, on **paluukanavilla** huolehdittava siitä, että ei pääse syntymään öljyn patoutumista, joka ennen kaikkea korkeilla kehänopeuksilla johtaa huomattaviin tehohäviöihin. Paluukanavan tarvittava läpimitta riippuu öljyn viskositeetistä ja paluuputken viettokulmasta. Öljyille, joiden käyttöviskositeetti on enintään 500 mm²/s, voidaan paluupoikkipinta-alaskea suunnilleen kaavasta:

$$d_a = (15...25) \cdot \sqrt{m} \text{ [mm]}$$

Tarkempaa mitoitusta varten paluukanavien kaltevuusalueella 1 – 5 % käytetään kaavaa

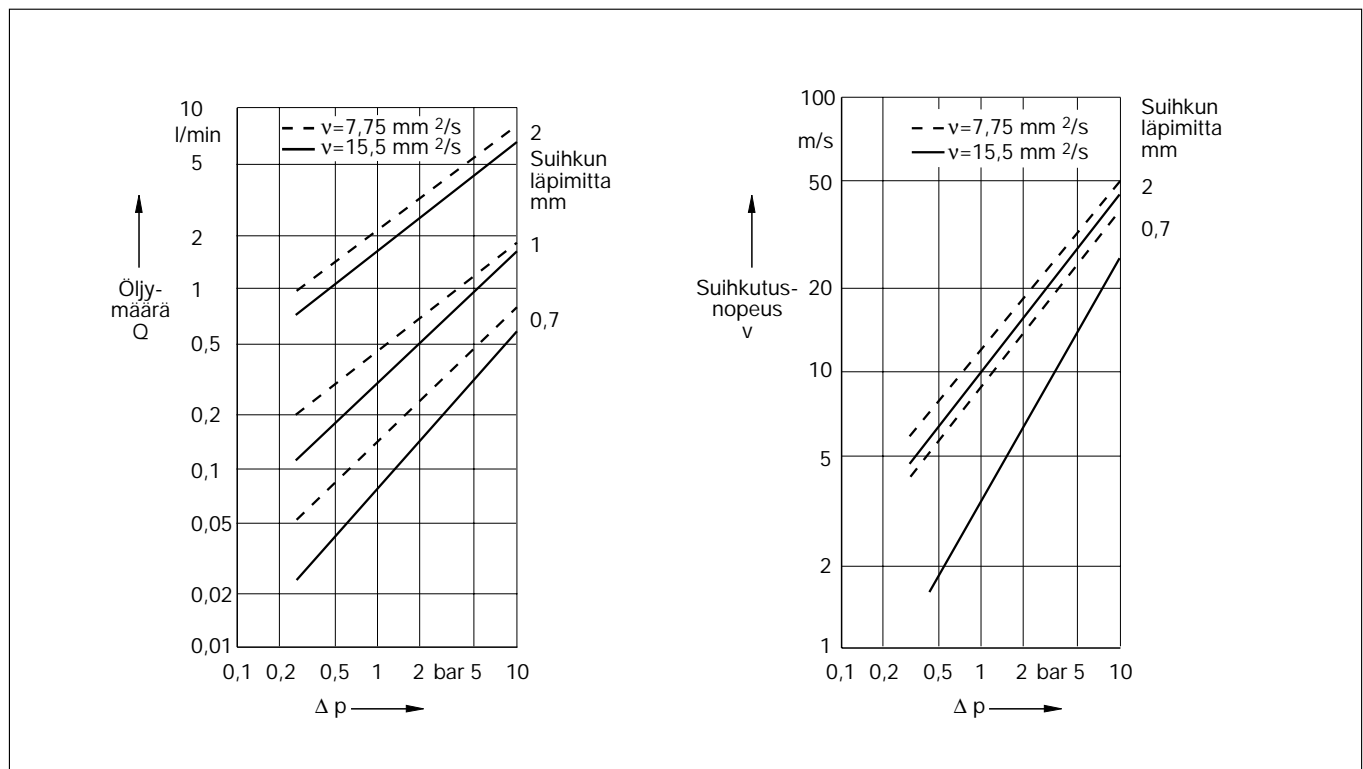
$$d_a = 11,7 \cdot \sqrt[4]{m \cdot \nu / G} \text{ [mm]}$$

Siinä d_a on paluuputken sisäläpimitta [mm]; m öljyn läpivirtausmäärä [l/min]; ν käyttöviskositeetti [mm²/s]; G kaltevuus [%].

Öljysäiliön täyttömäärä M riippuu läpivirtausmäärästä m . Yleensä täyttömäärä valitaan siten, että kiertomäärä tunnissa $z = 3 \dots 8$ kertaa täyttömäärä.

$$M = m \cdot 60 / z \text{ [l]}$$

52: Painehäviö ja sisäänruiskutusnopeus riippuen öljymäärästä, käyttöviskositeetistä ja suihkun läpimitasta



Pienillä kiertonopeuksilla epäpuhtaudet laskeutuvat öljysäiliön pohjalle ja öljy voi jäähtyä, joten se ei vanhene niin nopeasti.

4.2.4 Minimimäärävoitelu

Vierintälaakeriin syötettävä öljymäärä voi laskea vielä kuvan 49 käyrästä annettun alemman rajan alapuolelle, jos tavoitellaan mahdollisimman matalaa laakerin lämpötilaa ilman öljyjäähdytyksen käyttöä. Tämä edellyttää tosin, että laakerikitka ja lämmönjohtumisolosuhteet sen sallivat. Kuvien 53 ja 54 käyrästä esitetään esimerkkinä kaksirivinen lieriörullalaakeri ja kuinka minimimäärävoitelussa kitkamomentti ja laakerinlämpötila

muuttuvat läpivirtaavan öljyn määrästä riippuen. Erityisesti tässä esimerkissä on nähtävissä, kuinka kaksirivinen lieriörullalaakeri, jossa olakkeet ovat ulkorenkassa, reagoi voimakkaasti ylivoiteluun. Paremmiin tähän soveltuvia ovat kaksiriviset lieriörullalaakerit, joissa olakkeet ovat sisärenkassa (NN30..) tai sarjojen N10 tai N19 yksiriviset lieriörullalaakerit. Pienin kitka ja matalin lämpötila (täysvoitelun alku) saavutetaan jo 0,01 – 0,1 mm³/min öljymäärällä. Öljymäärän noustessa määrään 10⁴ mm³/min asti laakerin lämpötila kohoaa. Vasta vielä suuremmilla öljymäärillä on havaittavissa lämmön poiskuljetuksen alentavan laakerin lämpötilaa.

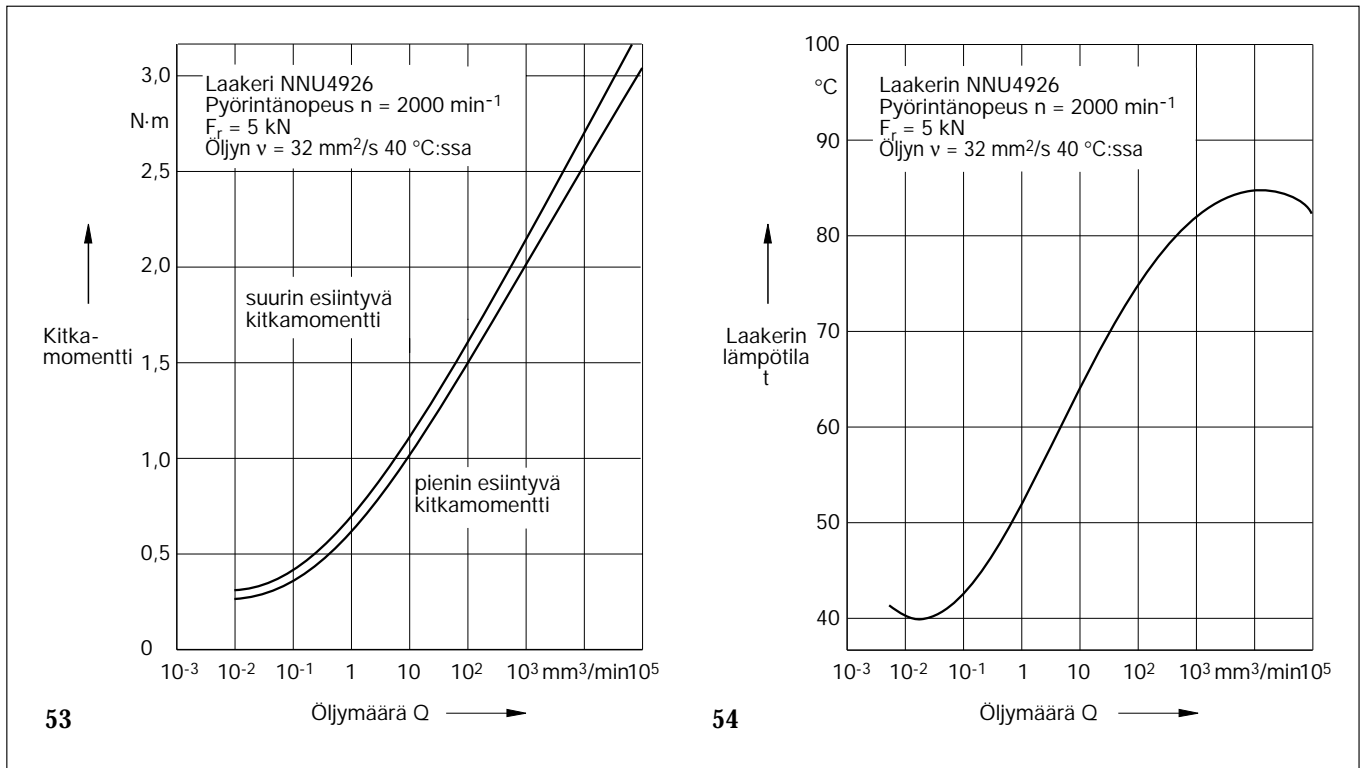
Voitelussa tarvittava riittävä öljymäärä riippuu voimakkaasti laakerityypistä.

Siten laakeri, jolla on pumppausvaikutus virtaussuunnassa, tarvitsee suhteellisen suuren öljymäärän. Kaksirivisen laakerin, jossa ei ole pumppausvaikutusta, öljyntarve on sitävastoin erittäin pieni silloin, kun öljy johdetaan rullarivien väliin. Pyörivät vierintäelinsarjat estävät öljyn poisvalumisen.

Edellytyksenä erittäin pienillä määrillä tapahtuvalle voitelulle on, että pienet öljymäärät saavuttavat riittävän hyvin kaikki laakerin kosketuspinnat, varsinkin voiteluteknisesti vaativat liukukosketuspinnat (olakkeet, pitimen ohjauspinnat). Työstökoneiden laakeroinneissa kuulalaakereilla ja lieriörullalaakereilla johdetaan öljy suoraan sisälle laakeriin, viistokuulaakereilla pumppausuunnassa.

53: Kitkamomentti minimimäärävoitelussa öljymäärästä riippuen

54: Laakerin lämpötila minimimäärävoitelussa öljymäärästä riippuen



Laakereiden voiteluainehuolto

Öljy

Kuvan 55 käyrästä näyttää öljymäärän minimimäärävoitelussa muutamille laakerityypeille riippuen laakerin koosta, kosketuskulmasta (pumppausvaikutus) ja kierrostunnuksluvusta. Laakereilla, joilla on pumppausvaikutus, tulisi öljymäärän nousta pyörintänopeuden mukana, koska pyörintänopeuden mukana kasvaa myös öljyn minimitarve ja pumppausvaikutus lisääntyy.

Laakereilla, joilla on olake-rullanpääkosketus (esim. kartiorullalaakereilla) on osoittautunut toimivaksi öljyn syöttö suoraan rullan päätyypintaan pumppausuunta vastaan.

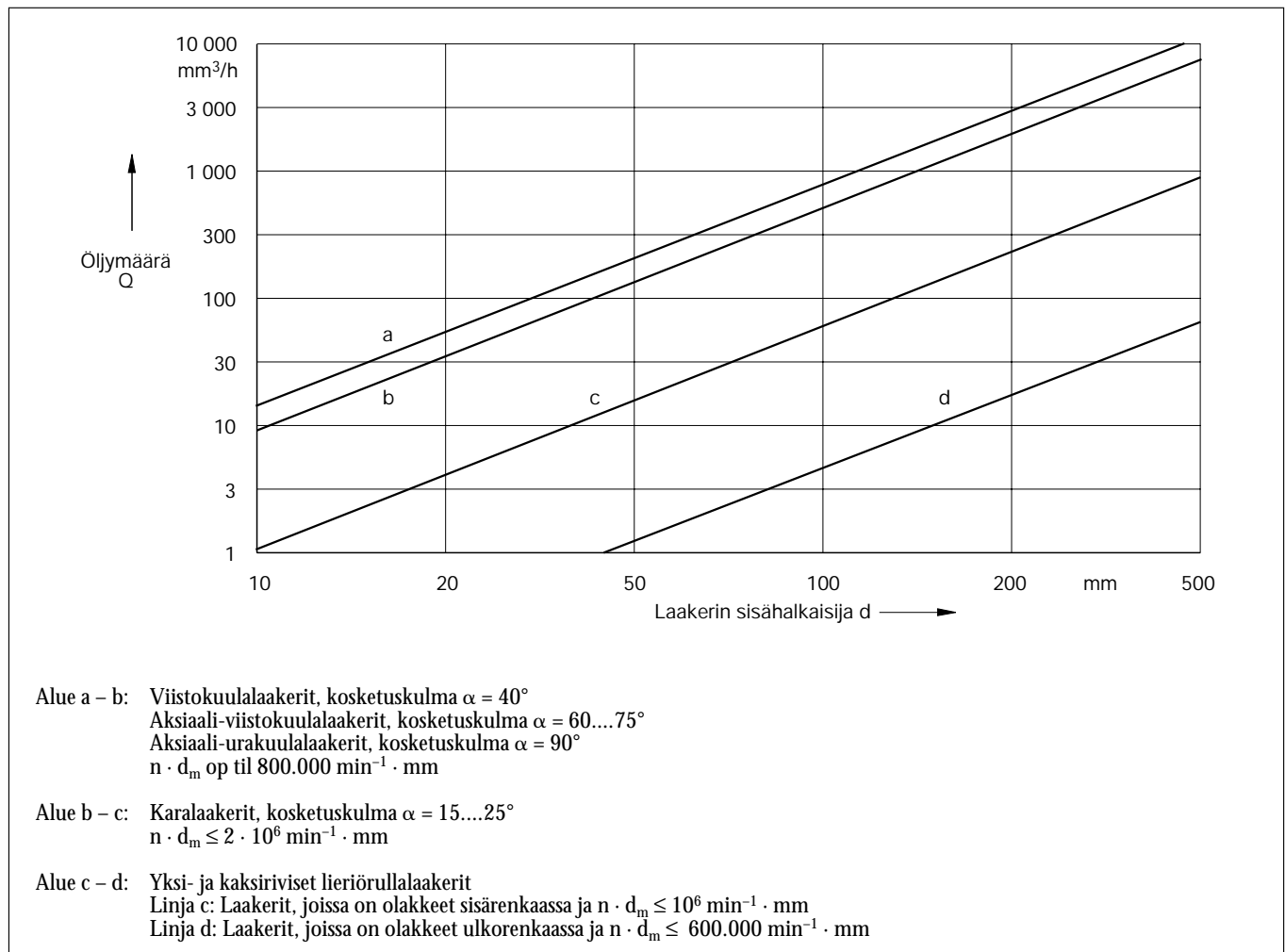
Äärimmäisen pienet öljymäärät edellyttävät varmaa öljy-ilmaseoksen syöttöpötimen ja sisärenkaan väliin sekä liitäntöosien suurta mittatarkkuuta. Öljyn viskositeetin tulee vastata äärimmäisen pienillä öljymäärillä viskositeettisuhdetta $\kappa = \nu/\nu_1 = 8 \dots 10$ ja sisältää sopivia paineenkeston (EP) lisäaineita.

Tasainen suurten öljymäärien syöttö tai jaksottainen jopa pienten määrien syöttö johtaa sitävastoin säteislieriö-rullalaakereilla, erityisesti suurilla kehänopeuksilla, voiteluainekitkan äkilliseen nousuun ja laakerirenkaiden epätasaiseen

lämpenemiseen. Tämän seurauksena voi pienivälyksillä laakereilla olla esim. työtökonelaakeroinneissa säteisjännityksen aiheuttama laakerivaurio.

Kuva 56 esittää esimerkin öljymäärän valinnasta minimimäärävoitelussa kaksiriviselle lieriörullalaakerille NNU4926. Öljyn minimitarpeen riippuvuutta kierrostunnuksluvusta esittää suora a. Suora b näyttää, kuinka suuri öljymäärä saa olla, jotta säteisjännitys vältetään. Edellytyksenä ovat tasainen öljyn syöttö (öljy- ilma-voitelu) ja keskimääräiset lämmön poisjohtumisolosuhteet.

55: Öljymäärät minimimäärävoitelussa



Suorien a ja b leikkauspiste ilmoittaa kierrostunnuksluvun, johon asti minimimäärävoitelu on vielä mahdollinen. Kaksirivisille säteis-lieriörullalaakereille ilmoittaa kuvan 55 käyrästä linja d sopivan öljymäärän. Koska pienin öljymäärä ja sallittu öljymäärä eivät riipu vain laakerista, vaan myös öljytyypistä, öljyn syötöstä ja lämpöpoistumisolosuhteista, ei yhtälöä tämän tunnusluvun ja siihen kuuluvan optimaalisen pienen öljymäärän ilmoittamiseen voida antaa.

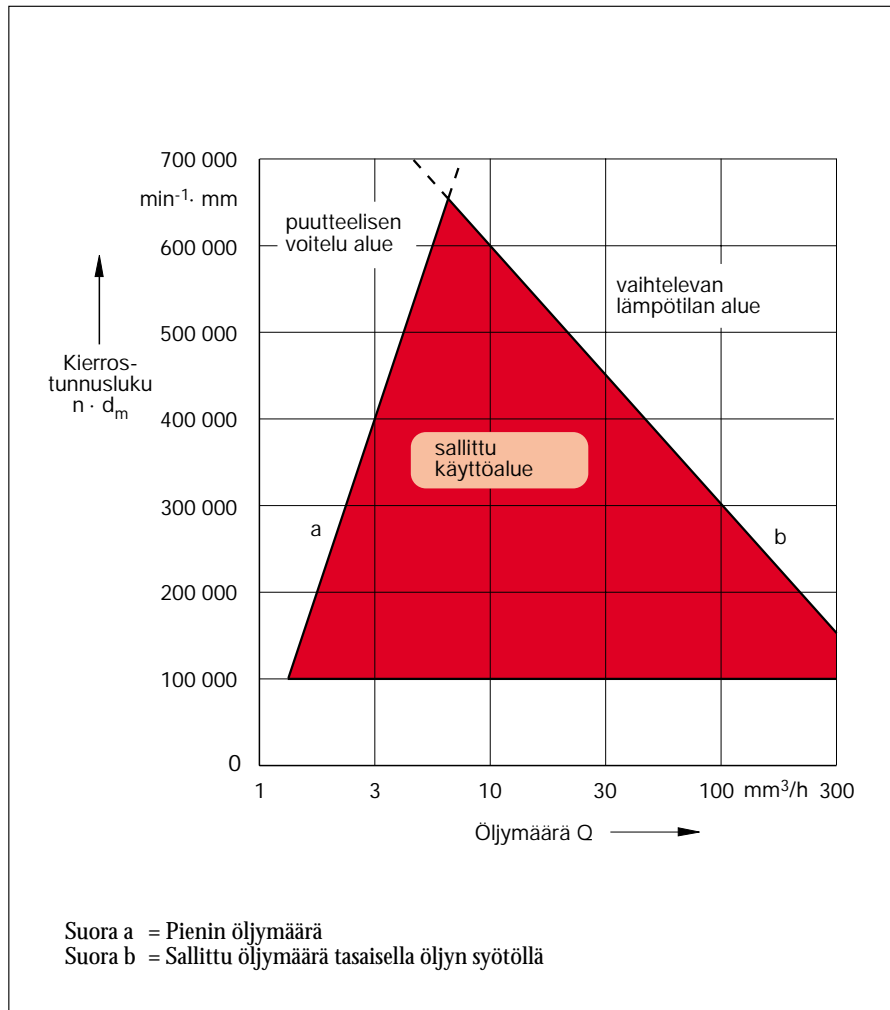
Öljyn viskositeetti on valittava vastaamaan viskositeettisuhdetta $\kappa = 2 - 3$.

Valsaamoiden laakeroinneissa käytetty öljy-ilma-voitelu toimii useimmiten yhdessä öljytaskun kanssa eikä se ole minimimäärävoitelua. Syötetty öljymäärä täyttää öljytaskua ja se tulisi asettaa suuremaksi kuin $1\,000\text{ mm}^3/\text{h}$.

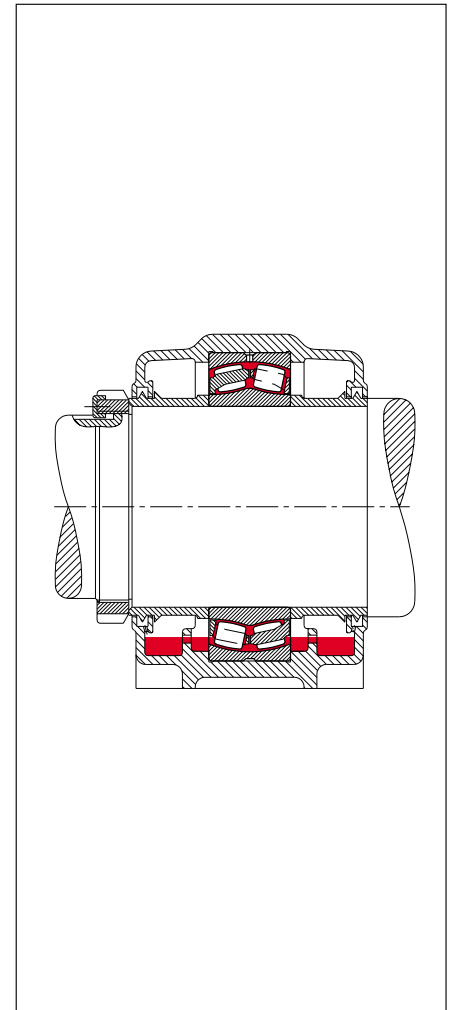
4.2.5 Esimerkkejä öljyvoitelusta

Kuva 57: Suurissa pesissä, joissa on vastaavasti suuri öljytila, tulisi öljytila jakaa padotusseinillä, joissa on läpimenoireiät. Tällä saavutetaan se etu, että ennen kaikkea suurilla pyörintänopeuksilla, koko öljymäärä ei joudu kosketukseen. Epäpuhtaudet asettuvat sivukammioihin eivätkä mene eteenpäin.

56: Öljymäärän valinta minimimäärävoitelussa kaksiriviselle lieriörullalaakerille NNU4926 (d = 130 mm, pieni säteisvälys)



57: Laakeripesä, jossa öljynpadontaseinät



Laakereiden voiteluainehuolto

Öljy

Kuva 58: Pallomainen rullalaakeri kylpee pienessä öljytaskussa. Öljyhukka ta-
soitetaan johtamalla öljyä pesän alaosassa
olevasta isommasta öljytilasta. Renkaan R
halkaisija on huomattavasti suurempi
kuin akselin ja se ui alempana olevassa
öljytilassa, johon laakeri ei ole suoraan
yhteydessä. Akselin pyöriessä pyörii
rengas R mukana ja kuljettaa öljyä
laakeriin. Ylimääräinen öljy valuu reikien
A kautta takaisin alempaan öljytilaan.
Öljynkuljetusrengas on käyttökelpoinen
vielä kierrostunnuksilukuun
 $n \cdot d_m = 400\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$ saakka.
Suuremmilla arvoilla kuljetusrengas
kuluu voimakkaasti.

Kuva 59: Kartiorullalaakereilla, kuten
kaikilla epäsymmetrisillä laakereilla, on
pumppausvaikutus. Tätä voimakkaasti
kehänopeudesta riippuvaa pumppausvai-
kutusta voidaan hyödyntää kiertoöljyvoi-
telussa. Poistoreiät on sijoitettava siten,
että laakerin viereen ei muodostu öljy-
patoutumia.

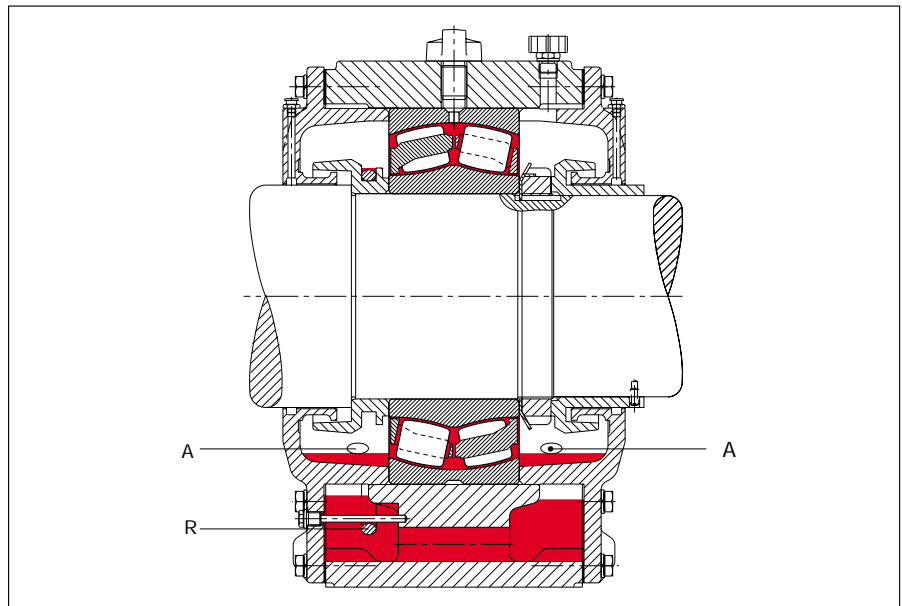
Kuva 60: Pystysuoraan sijoitetun
nopeasti pyörivän karan alapäähän muo-
toillaan kartio tai rakennetaan erillinen
karan mukana pyörivä kartio, jonka pie-
nempi pää kylpee öljyssä. Öljy nousee
raossa S ylös, tulee rengasuraan ja johde-
taan siitä laakerin yläpuolella olevaan an-
nostelulaitteeseen. Tällaisella järjestelyllä
voidaan saavuttaa suhteellisen suuria
syöttömääriä, kun syöttökorkeus ja öljyn
viskositeetti ovat pieniä.

Kuva 61: Vaihteistoissa riittää usein
hammaspyörien roiskuttama öljy vier-
intälaakereiden voiteluun. Mutta tällöin
on varmistettava, että kaikissa käyttö-
lanteissa roiskeöljy onnistuu pääsemään
laakeriin. Annetussa esimerkissä kootaan
roiskeöljy lieriörullalaakerin yläpuolella
olevaan taskuun ja johdetaan reiän kautta
laakeriin. Alemmassa osassa on lieriö-
rullalaakerin viereen sijoitettu pado-
tuslevy. Sillä varmistetaan, että laakerin
vieressä on aina minimiöljytasku ja laake-
ri saa voitelun jo käynnistyttilanteessa.

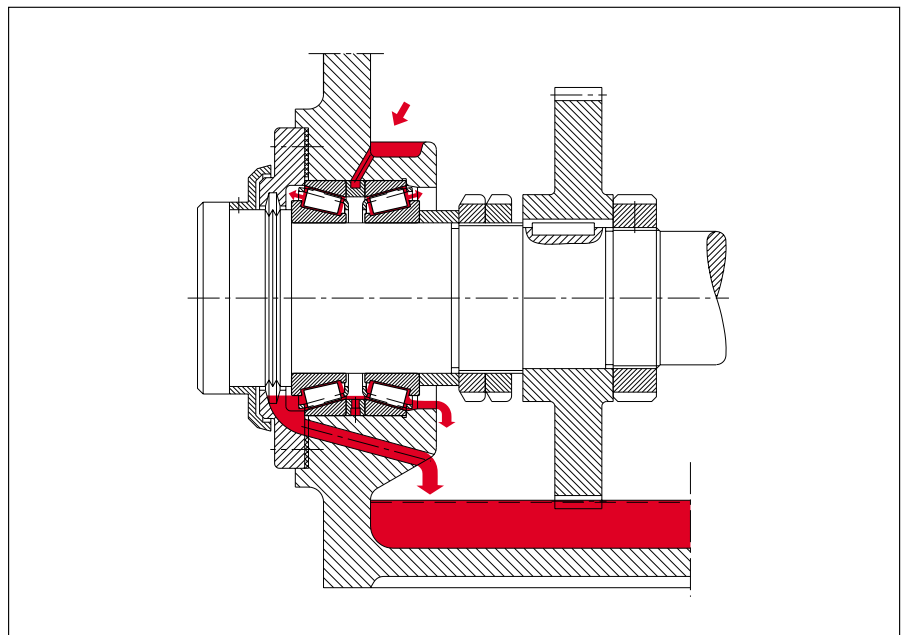
Kuvat 62 ja 63: Öljyn ruiskutusvoite-
lussa ruiskutetaan öljy pitimen ja sisären-
kaan väliin. Öljyn patoutuminen ennen

ja jälkeen laakerin estetään öljynpoisto-
kanavilla.

58: Öljyvoitelu öljyrenkaan avulla



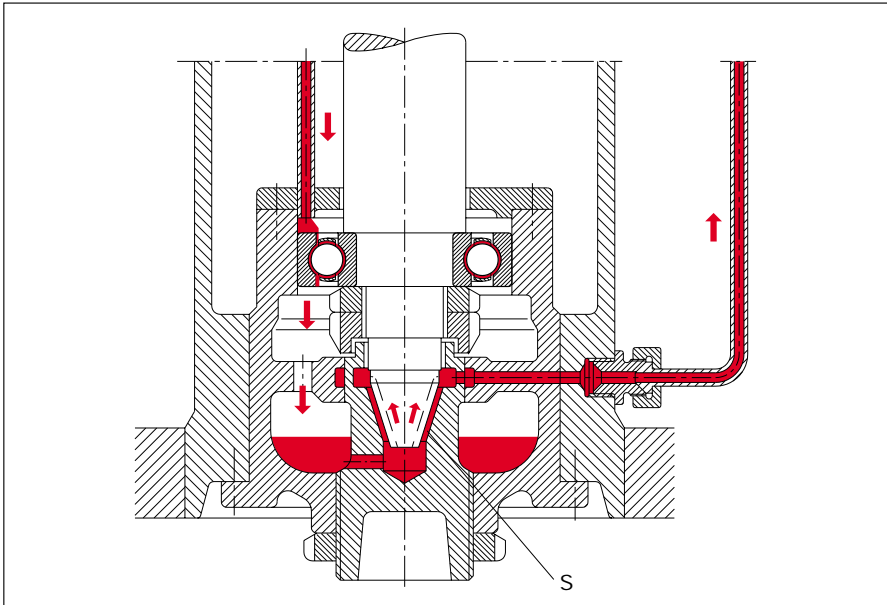
59: Öljynkierron tehostaminen laakerin pumppausvaikutuksen avulla



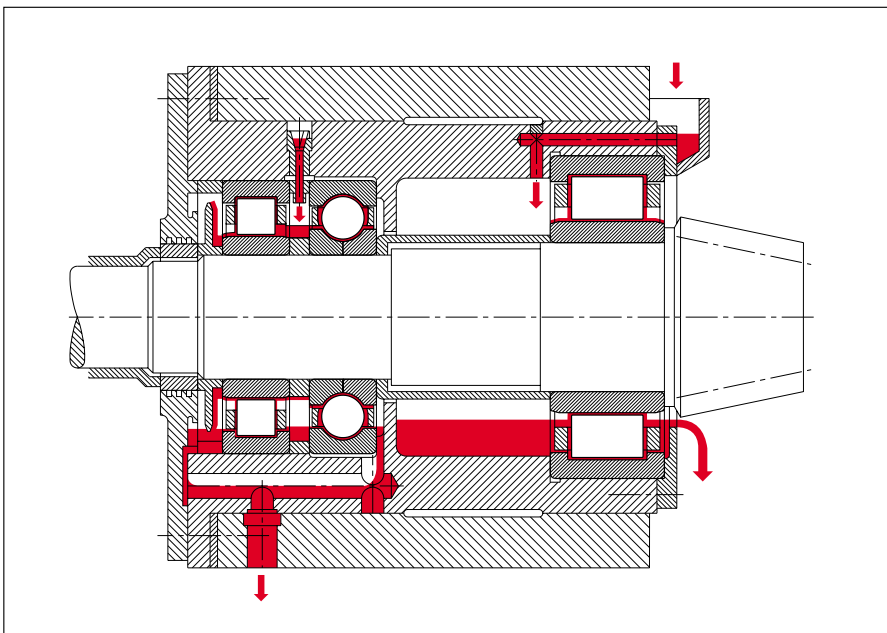
Jos laakerilla on pumppausvaikutus, tapahtuu öljyn ruiskutus pienemmän vierintäritäläpimitan puolelle. Erittäin nopeasti pyörivillä kartiorullalaakereilla

kohdistetaan lisäksi toinen öljysuihku rullien päätypintaan. Tällä estetään puutteellinen voitelu olakkeen ja rullien päätypinnan välissä.

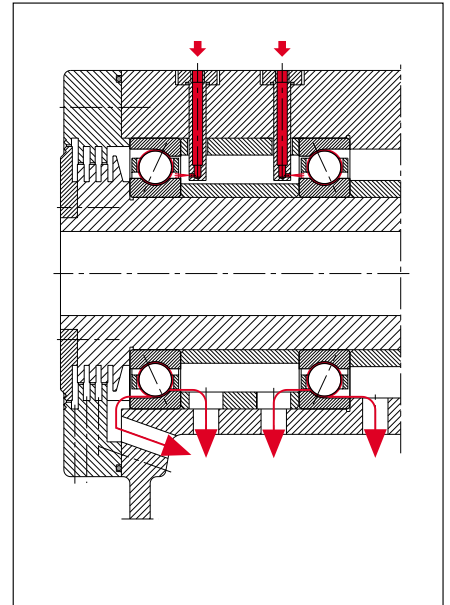
60: Öljyn kierrätys pumppauskartiolla



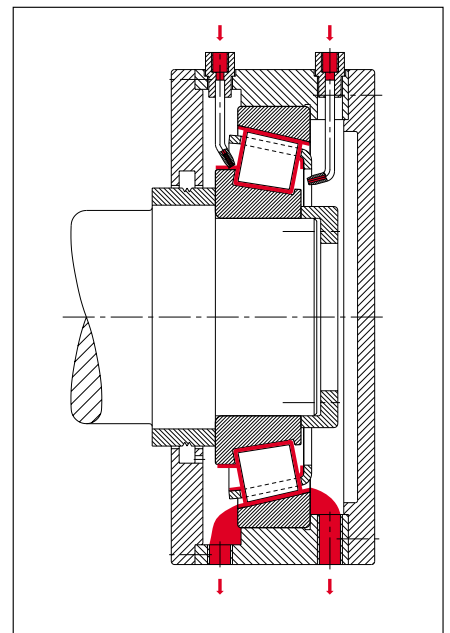
61: Röiskeöljy kootaan keräystaskuun ja johdetaan porauksen kautta öljyn syöttö lieriörullalaakerille.



62: Öljyn ruiskutusvoitelu suihkutussuuttimilla



63: Öljyn ruiskutusvoitelu: Molemminpuolinen nopeasti pyörivälle lieriörullalaakerille



4.3 Laakerin kiintovoiteluainehuolto

Kiintovoiteluaineena käytetään pääasiassa grafiittia ja molybdeenidisulfidia. Voitelu tapahtuu pulverikalvona tai lakkakalvona vierintäradalle tai tahnana. Pulverikalvon tekemiseen käytetään harjaa, nahkaa tai kangasta; liukulakkakalvo tehdään ruiskutuspuistolilla. Useilla liukulakoilla voidaan käyttökäytä parantaa polttamalla. Tahna levitetään pensselillä ulkopinnoille. Kiintovoiteluaineella voidellut vierintälaakerit fosfatoidaan useimmiten (mangaanifosfatoi, kiinnittymiskerros). Kiintovoiteluaineet tarttuvat

paremmin fosfaattikerrokseen. Ne suojaavat lisäksi korroosiolta ja tarjoavat tiettyssä määrin myös hätäkäyntiominaisuuksia. Korkeiden korroosionsuojavaatimusten yhteydessä päällystetään laakerit sinkkirautakerroksella. Pulverikerros ja lakkakalvo eivät salli tai sallivat vain rajallisesti rasvaisten laakereiden käytön. Ensiluokkaisen ja tasaisen kuivavoitelukalvon tekeminen on mahdollista vain laakerin valmistuksessa ennen kokoonpanoa. Tahna voidaan laittaa laakeriin ennen asennusta. Sillä voidaan myös jälkivoitelua tai uudelleenvoidella; tällöin tulee välttää ylivoitelua.

Erään toimivan voitelutavan tarjoaa **siirtovoitelu**. Täyttämällä laakerin sisätila kiintovoiteluaine massalla, joka pitimeen kinnittyneenä pyörii sen mukana ja vierintäelimet ottavat liukuessaan aina uutta voiteluainetta. Tämä pysyvä "jälkivoitelu" johtaa pitkään käyttöikään, paljon pitempään kuin kerran tehty liukulakkakerros tai tahnatäyttö. Vierintäelimiin pulverina hangattu kiintovoiteluaine poistuu tiivistinraosta. Jos tämä häiritsee, voidaan tiivistimen ja esitiivistimen väliin tehdä välitila, johon pöly kokoontuu.

5 Puutteellisen voitelun aiheuttamat vauriot

Yli 50 % kaikista vierintälaakerivaurioista on johdettavissa virheelliseen voiteluun. Useissa muissa vaurioissa, joiden aiheuttajiksi ei voida laskea suoraan voiteluhäiriötä, se on osallisena. Puutteellinen voitelu kosketuspinoilla johtaa loppuunkulumiseen, hioutumiin, alivoiteluun ja kulumisuriin.

Lisäksi voi esiintyä väsymisvaurioita (kuoriutumia). Tilapäisesti esiintyy myös laakerin kuumakäyntiä, jos puutteellisen voitelun tai ylivoitelun sekä epäedullisen lämmön poistumisen takia laakerirenkaat lämpenevät epätasaisesti ja siitä syntyy välyksen pienenemistä tai jopa esijännitystä.

Pääasialliset syyt taulukossa 64 esitettyihin vaurioihin ovat:

- Sopimaton voiteluaine (liian alhainen öljyn viskositeetti, puuttuva tai sopimaton lisäaineistus, lisäaineiden syövyttävä vaikutus)
- Voiteluaineen puute kosketusalueella
- Epäpuhtauksia voiteluaineessa (kiinteitä ja nestemäisiä)
- Muutos voiteluaineen ominaisuuksissa
- Ylivoitelu

Voiteluaineen puutteeseen ja ylivoiteluun auttavat rakenteellinen ja menetelmällinen käyttötilanteen mukaan määritetty voiteluhuolto. Sopimattoman voiteluaineen tai voiteluaineen ominaisuuksissa tapahtuneen muutoksen aiheuttamat vauriot voidaan välttää huomioimalla kaikki käyntiolosuhteet voiteluainetta

valitessa ja oikeanaikaisella voiteluaineen uusinnalla. Yksityiskohtaiset ohjeet näitä varten annetaan asiaa käsittelevissä kapaleissa. Epäpuhtauksien vaikutuksista voiteluaineessa ja niiden seurauksista kerrotaan eri yhteyksissä.

5.1 Epäpuhtaudet voiteluaineessa

Käytännössä on tuskin lainkaan voitelujärjestelmiä, jotka olisivat täysin vapaita epäpuhtauksista. Kuinka epäpuhtaudet vaikuttavat käyttöikään, on esitetty kapaleessa 1.1.3. Kaikki voiteluaineet sisältävät jo valmistuksesta lähtien tietyn määrän epäpuhtauksia.

Puutteellisen voitelun aiheuttamat vauriot

64: Puutteellisen voitelun aiheuttamat vauriot

Vauriokuvaus Puutteen ilmeneminen	Syy	Oireet
Melu	Voiteluaineen puute	Paikallinen kiintoainekosketus, ei yhtenäistä, kantavaa ja vaimentavaa voitelukalvoa.
	Sopimaton voiteluaine	Liian ohut voitelukalvo, koska öljyn tai rasvan perusöljyn viskositeetti on liian alhainen. Rasvan saostinrakenne voi olla epäedullinen. Hiukkaset synnyttävät melua.
	Epäpuhtaudet	Likahiukkaset rikkovat voitelukalvon ja synnyttävät melua.
Pitimen kuluminen	Voiteluaineen puute	Paikallinen kiintoainekosketus, ei yhtenäistä, kantavaa voitelukalvoa.
	Sopimaton voiteluaine	Liian alhainen öljyn tai perusöljyn viskositeetti ilman kulumisensuojan lisäaineita, ei rajakerroksen muodostumista.
Kulumista vierintäelimissä, vierintäradoilla, olakkeissa	Voiteluaineen puute	Paikallinen kiintoainekosketus, ei yhtenäistä, kantavaa voitelukalvoa. Voitelutekninen korrosio värähtelyvaikutuksen yhteydessä, liukumajälkiä.
	Sopimaton voiteluaine	Liian alhainen öljyn tai perusöljyn viskositeetti. Voiteluaine ilman kulumisensuojan lisäaineistusta tai ilman paineenkeston-(EP)lisäaineita (korkeilla kuormituksilla tai paljon liukumaa).
	Epäpuhtaudet	Kiinteitä, kovia hiukkasia tai nestemäisiä syövyttäviä aineita.
Väsyminen	Voiteluaineen puute	Paikottaista kiintoainekosketusta ja korkeita tangentiaalijännityksiä ulkopinnoissa. Hioutumia.
	Sopimaton voiteluaine	Liian alhainen öljyn tai perusöljyn viskositeetti. Voiteluaine sisältää aineita, joiden viskositeetti paineen alaisena kohoaa vain vähän, esimerkiksi vettä. Toimimaton lisäaineistus.
	Epäpuhtaudet	Kovat hiukkaset valssautuvat ja johtavat paikoittain korkeaan puristukseen. Syövyttävät aineet aiheuttavat pistesyöpymiä, joista väsyminen alkaa.
Korkea laakerin lämpötila, värjäytymiä laakerin osissa, syöpymiä (kuumakäyntiä)	Voiteluaineen puute	Paikallinen kiintoainekosketus, ei yhtenäistä, kantavaa voitelukalvoa.
	Sopimaton voiteluaine	Paikoittaisesta kiintoainekosketuksesta johtuva korkea kitka ja korkea lämpötila.
	Voiteluaineilyjäämä	Keskimääräisillä tai suurilla pyörintänopeuksilla korkea voiteluainekitka, erityisesti äkillisen voiteluainesyötön yhteydessä.
Vaurioitunut voiteluaine (värimuutoksia, kiinnittymiä, voiteluvaikutuksen menetystä)	Sopimaton voiteluaine	Käyntilämpötila korkeampi kuin voiteluaineen sallittu lämpötila (Jätemuodostumia).
	Liian pitkä käyttöaika	Liian pitkä jälkivoiteluväli tai voiteluaineen vaihtoväli.
	Epäpuhtauksia, Muutoksia voiteluaineessa	Ulkoa laakeritilaan tunkeutuneita tai laakerin hioutumisesta syntyneitä hiukkasia. Reaktioita voiteluaineen ja laakerimateriaalin välillä.

Puutteellisen voitelun aiheuttamat vauriot

DIN-standardissa määritetyt voiteluaineiden minimivaatimukset nimeävät mm. raja-arvot toimitustilanteessa sallitulle likaisuudelle. Usein epäpuhtauksia onnistuu pääsemään laakeriin myös ensiasennuksen yhteydessä riittämättömästi puhdistetuista koneenosista, öljyputkistoista jne. ja käynnin aikana riittämättömien tiivisteiden kautta, voitelujärjestelmän avoimien osien (öljysäiliöt, pumput) kautta. Myös huollossa voi epäpuhtauksia päästä laakeriin esim. likaisista voiteluniposta, rasvapuristimen likaisesta suukappaleesta tai käsin rasvatessa jne.

Arvioitaessa epäpuhtauksien haitallisia vaikutuksia ovat erittäin tärkeitä:

- Vieraiden aineiden laatu ja kovuus
- Vieraiden aineiden määrä voiteluaineessa
- Vieraiden aineiden hiukkaskoko

5.1.1 Vieraat kiintoaineet

Vieraat kiintoaineet johtavat käyntimeluun, kulumiseen ja ennenaikaiseen väsymiseen. Kovat sirut aiheuttavat vierintälaakereissa, erityisesti korkean liukumaosuuden alueilla, esim. kartiorullalaakereiden rullan päädyn/olakkeen kosketusalueella tai aksiaali-lieriörullalaakereiden vierintäradan reunan ja rullien kosketusalueella, raapivaa kulumista. Kuluminen riippuu sirujen kovuudesta. Se lisääntyy myös suunnilleen voiteluaineessa olevien sirujen määrän ja kappalekoon suhteessa. Kulumista aiheuttavat vielä äärimmäisen pienet sirukoot. Raapiva kuluminen vierintälaakereissa voidaan sallia tiettyyn mittaan asti. Sallittu koko riippuu kulloisestakin käyttötilanteista. Jos vierintäelimet vierivät suurten sirujen yli (suuruusluokka 0,1 mm), tulee vierintärataan painumia. Plastisesti muotoutuva materiaali tekee painuman reunoille pursaita, jotka seuraavien ylivierintöjen aikana palautuvat vain osittain. Reunapurseiden alueella jokainen myöhempi ylivierintä kohottaa rasiutusta ja seurauksena on lyhentynyt väsymiselinikä. Mitä kovempia ylivieritykset sirut ovat (esim. teräskut, hiontajäte, muotitihiekka, korundi)

ja mitä pienempiä ovat laakerit, sitä voimakkaammin käyttöikä lyhenee, katso kuva 65.

5.1.2 Toimenpiteet vieraiden aineiden määrän vähentämiseksi

Seuraavat toimenpiteet ovat käytettävissä:

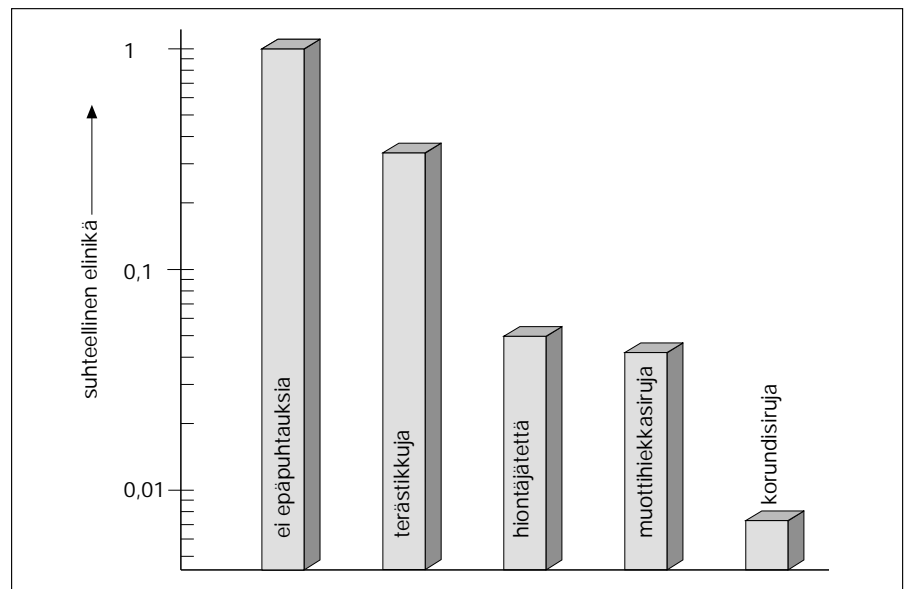
- Laakeria ympäröivien osien perusteellinen puhdistaminen
- Puhtaus asennuksessa, käyttöönotossa ja huollossa
- Öljyvoitelussa öljyn suodattaminen (katso kappale 1.1.3)
- Rasvavoitelussa riittävän lyhyt rasvan vaihtoväli

5.1.3 Öljyn suodatus

Nykyaikaisilla suodatinelementeillä suodatetaan jokaisella öljymäärän läpimenoa laaja partikkelikirjo. Siksi testausmenetelmät on standardisoitu. Ne sisältävät tämän erotuskirjon ja moneen kertaan tapahtuvan läpimennon (Multipass) laskennan. Pidätysaste β_x on suodattimen erotuskyvyn mitta tietyllä partikkelikolla. ISO 4572 mukaan mitoitettu β_x -arvo on kaikkien partikkelien $> x \mu\text{m}$ suhde ennen ja jälkeen suodatuksen, kuva 66. Esimerkiksi $\beta_{12} = 75$ tarkoittaa, että 75:estä likahiukkasesta, joiden koko on $12 \mu\text{m}$, vain yksi läpäisee suodattimen.

Kiinteiden epäpuhtauksien vaikutus saavutettavaan elinikään on esitetty tarkemmin kappaleessa 1.1.3.

65: Kiinteiden epäpuhtauksien vaikutus viestokuulalaakeri 7205B eliniän lyhenemisen esimerkkinä



5.1.4 Nestemäiset epäpuhtaudet

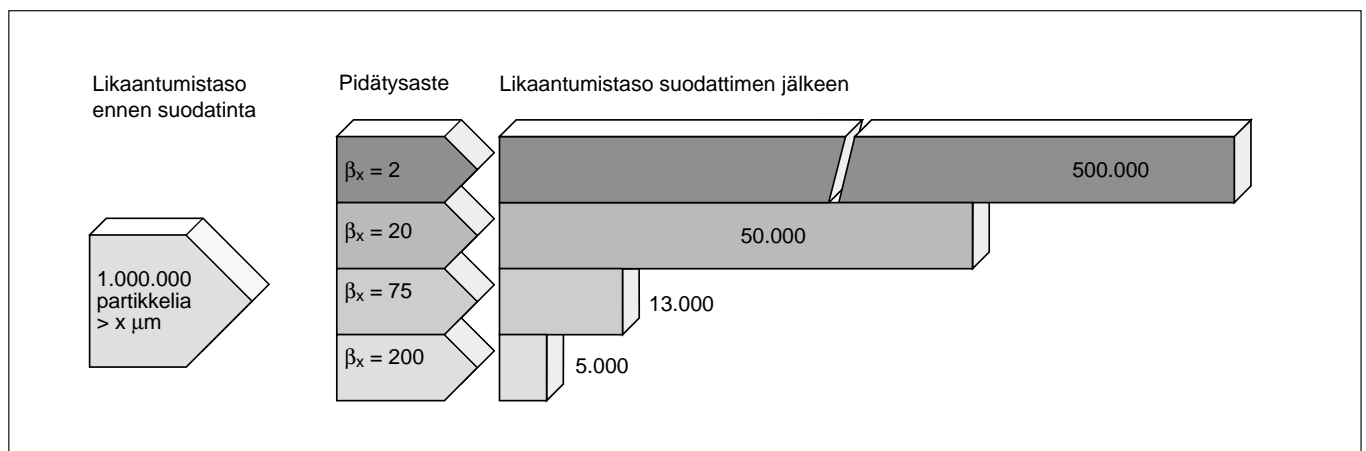
Nestemäisinä epäpuhtauksina voiteluaineessa esiintyvät pääasiassa vesi ja syövyttävät nesteet, kuten hapot, emäkset ja liuottimet. Vesi voi esiintyä öljyssä vapaana, hajonneena (dispersiona) tai liuenneena. Jos öljyssä on vapaata vettä, erottuu värimuutoksena (valkoisen harmaa), on olemassa korroosiovaara. Tätä vahvistaa hydrolyysin kautta voiteluaineeseen sitoutuneet suolat. Hajonneessa muodossa oleva vesi vesi-öljy-emulsiossa heikentää huomattavasti voiteluolosuhteita. Kokemusperäisesti voitelu vesipitoisella öljyllä alentaa väsymiseliniäkä huomattavasti. Se voi pienentyä muutamaa prosenttiin normaalista väsymiseliniästä.

Rasvassa vesi aiheuttaa rakennemuutoksia saostimen tyypistä riippuen. Samoin kuin vesi-öljy-emulsion yhteydessä lyhenee väsymiselinikä. Veden tunkeutuessa rasvan joukkoon on rasvan vaihtoväliä lyhennettävä kertynyttä vesimäärää vastaavasti. Syövyttävät aineet (hapot, emäkset), liuottimet ja vastaavat johtavat liian voimakkaisiin kemiallis-fysikaalisten ominaisuuksien muutoksiin ja pääasiassa voiteluaineen vanhenemiseen. Jos sellaisia epäpuhtauksia on odotettavissa, tulee huomioida voiteluainevalmistajien soveltuvuusohjeet. Laakerin kohdissa, joita voiteluaine ei suojaa, esiintyy epäpuhtauksien syövyttävyydestä riippuen korroosiota, joka lopulta johtaa ulkopinnan vaurioitumiseen.

5.2 Likaisen laakerin puhdistus

Vierintälaakereiden puhdistukseen voidaan käyttää pesubensiiniä, petroolia, spriitä, vedenpoistonesteitä, vesiliukoisia neutraaleja ja myös emäksisiä puhdistusaineita. Tällöin on huomioitava, että petrooli, pesubensiini, sprii ja vedenpoistonesteet ovat palovaarallisia ja emäksiset aineet syövyttäviä. Puhdistuksessa tulisi käyttää sivellintä, harjaa tai nukkaamatonta pyyhettä. Heti pesun jälkeen ja kun mahdollisimman tuore liuotin on haihtunut, on laakeri heti ruostesuojattava. Ruostesuojauksen yhteensopivuus käytettävän voiteluaineen kanssa on huomioitava. Jos laakerissa on kovetuneita öljy- tai rasvajäämiä, suositellaan mekaanista esipuhdistusta ja pitempiaikaista pehmittämistä vesipitoisella, voimakkaasti emäksisellä puhdistusaineella.

66: Suodattimen pidätysaste β_x



Puutteellisen voitelun aiheuttamat vauriot

5.3 Vaurioiden ehkäisy ja tunnistaminen valvonnan avulla

Puutteellisen voitelun aiheuttamia vaurioita voidaan välttää laakerointia valvomalla ja siinä:

- Valvomalla itse laakeria värinämittauksen, kulumismittauksen ja lämpötilamittauksen avulla.
- Valvomalla laakerin voitelua, jolloin tutkitaan voiteluainenäytteitä ja seurataan voiteluaineen syöttöä.

Lämpötilanmittaus on erittäin luotettava ja suhteellisen helppokäyttöinen tapa tunnistaa voitelun aiheuttamia vaurioita. Normaali lämpötilanne vallitsee, kun laakerointi on saavuttanut vakiokäytössä tasapainolämpötilan. Voiteluaineen puute näkyy äkillisenä lämpötilan nousuna. Epätasainen lämpötilan kulku ja pyrkimys kohoavaan maksimiarvoon tarkoittaa yleistä voitelutilanteen huononemista, esim. saavutettua rasvan käyttöikä.

Lämpötilan mittaus ei sovellu riittävän aikaiseen väsymisvaurion havaitsemiseen.

Sellaisten paikallisesti rajoitettujen vaurioiden yhteydessä on osoittautunut parhaimmaksi värinämittaus.

Jatkuvalla tai ajoittaisella voiteluainenäytteillä tunnistetaan kulumiseen liittyvät laakerivauriot.

Laakerivoitelun valvonta antaa lisäksi tärkeitä tietoja huoltoa varten. Kuvan 67 taulukossa esitetään käytetyt laakereiden valvonnan menetelmät ja niillä tunnistettavat vauriot. Kuvan 68 taulukossa on vastaavasti tietoja voitelun valvonnasta.

67: Laakereiden valvonta

Mitattava suure	Mittaustapa, mittalaite	Tunnistettava vaurio
Värinä Tärinä Ilmakaiku Runkokaiku	Korvin kuultava Taajuusanalyysi (värähtelyn syvyys, värähtelyn nopeus, värähtelyn kiihtyvyys) Iskusyysmittaus	Väsyminen Murtuma Hiushalkeama Urat
Kuluminen	Hankautumien valvonta mittaamalla vierintälaakerin osien keskinäistä sijaintia (induktiivisesti, määrällisesti, pyörrevirtamittaus) Radioydinmittaus Voiteluaineanalyysit	Vierintälaakerin osien kuluminen
Lämpötila	Lämpömittari Lämpöelementti Lämpövastus Lämpölaput (näyttöliuskat) Mittausarvojen vertaus	Kuumakäynti Kuivakäynti Kiinnileikkautumat

68: Voitelun valvonta

Valvottava suure	Menetelmä	Tunnistettava tai vältettävä vauriolaatu
Voiteluaine	Analyysi (veden määrä, kiinteät epäpuhtaudet, neutralisaatioluku, saippuoitumisluku)	Väsyminen Kuluminen Korroosio Käyttökelvoton voiteluaine
Voitelujärjestelmä	Öljyn paine Öljytaso Öljyn läpivirtausmäärä Öljyn lämpötila	Kuumakäynti Kuluminen

6 Selvitys voiteluteknisistä käsitteistä

Alumiinisaippuarasvat

Voitelurasva, jossa on alumiinisaippua ja mineraaliöljy. Sitä käytetään etupäässä vaihteistoissa hammaspyörien voiteluun.

Alumiiniyhdistesaippuarasvat

Niillä on hyvä vedenkestävyys ja paineenkeston (EP)lisäaineilla saatu korkea painekuormitettavuus. Niitä voidaan käyttää noin 160 °C:een saakka, kustakin perusöljystä riippuen.

Analyysitiedot

Voiteluaineiden analyysitietoihin lasketaan: tiheys, leimahduspiste, viskositeetti, jähmepiste, tippapiste, tunkeuma, neutralisaatioluku, saippuoitumisluku. Analyysitiedot ilmoittavat voiteluaineen fyysikaaliset ja kemialliset tiedot ja antavat tiettyissä rajoissa- tietoja niiden käytettävyydestä. ->Erittelyt

Arcanol

FAG:n vierintälaakerirasvat ovat kokeiltuja voitelurasvoja. Niiden käyttöalueen FAG ilmoitti kokeiltuaan nykyaikaisimmilla koementelmillä (koelaitteet FE8 ja FE9) mitä erilaisimmissa käyntiolosuhteissa ja kaikilla vierintälaakerityypeillä. Sivun 58 taulukossa esitellyillä kahdeksalla Arcanol-rasvalla voidaan kattaa lähes kaikki vierintälaakereiden voitelun vaatimukset.

Aromaattiset yhdisteet

Kyllästämättömät hiilivety-yhdisteet, joilla on rengasmainen molekyyliolos (bentsooli, toluoli, naftalini). Aromaattisilla yhdisteillä on huono viskositeettilämpötila-säilyvyys ja epäedullinen vaikutus voiteluaineen hapettumisenkestokykyn.

ASTM

Lyhennys sanoista American Society for Testing Materials. Instituutti, joka määrittää muun muassa amerikkalaiset mineraaliöljystandardit.

ATF, Automaattivaihteistoöljy

Lyhennys sanoista Automatic Transmission Fluid. Erikoisvoiteluaine, joka on

määritetty automaattivaihteistojen vaatimusten mukaan.

Baariumyhdistesaippuarasvat

Voitelurasva, jossa on baariunyhdistesaippua ja mineraaliöljy tai synteettinen öljy. Vettä hylkivä, hyvin vatkaukseen kestävä, voitelukalvolla korkea kuormitettavuus.

Bentoniitit

Mineraaleja (esim. alumiinisilikaatti), joita voidaan käyttää lämpökestävien voitelurasvojen valmistukseen, joilla on hyvät kylmäkäyntiominaisuudet.

Brighstock

Jäykkä, hajonnut voiteluöljyjäänne, voitettavissa alipainetislauksella. Voiteluöljyjen seosaine, parantaa voitelua.

Centipoise (cP)

Aikaisemmin käytetty dynaamisen viskositeetin yksikkö. 1 cP = 1 mPa

Centistoke (cSt)

Aikaisemmin käytetty kinemaattisen viskositeetin yksikkö. 1 cSt = 1 mm²/s

Dynaaminen viskositeetti

-> Viskositeetti

Emcor-menetelmä

Vierintälaakerirasvojen korrosio-ominaisuuksien tutkimus DIN 51 802 mukaan.

Emulkoijat

Aineita, jotka vaikuttavat öljyn umulkoituvuuteen.

Emulkoituvuus

Öljyn taipumus muodostaa emulsiota veden kanssa.

Emulsiio

Liukenemattomien aineiden muodostama seos, mineraaliöljyt useimmiten veden kanssa emulkaattoreiden vaikuttamana.

Erittelyt

Sotilaalliset ja yritysten laatimat ohjeet, joissa määritetään voiteluaineiden fyysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet sekä testausmenetelmät.

Erkaneminen

Voitelurasvan sisältämä öljy erkanee saostimesta. Mahdollisia syitä: rasvan riittämätön vatkautumisen ja/tai lämpötilan kesto.



FAG:n Arcanol vierintälaakerirasvat · Kemiallis-fysikaalisia arvoja · Käyttösuosituksia

Arcanol	Saostin Perusöljy	Perusöljyn viskositeetti 40 °C:ssa mm ² /s	Jäykkyyden NLGI-luokka DIN 51 818 mukaan	Käyttö-lämpötila °C	Tunnus-väri RAL	Tärkein ominaisuus Käyttöesimerkkejä
L12V	Kalsium-Polyurea SHC	130	2	-40...+160 vaalean ruskea	Erikoisrasva korkeisiin lämpötiloihin Kytkimet, sähkökoneet (moottorit, generaattorit)
L71V	Litiumsaippua Mineraaliöljy	ISO VG 100	3	-30...+140	4008 signaaliveioletti	Vakiorasva laakereille, joiden D > 62 mm Suuret sähkömoottorit, Kuorma-autojen pyöränlaakerit, Tuulettimet
L74V	Erikoissaippua Synteettinen öljy	ISO VG 22	2	-40...+120	6018 keltavihreä	Erikoisrasva suurille kierroksille ja matalille lämpötiloille Työstökoneet, Karalaakeroinnit Instrumenttien laakeroinnit
L78V	Litiumsaippua Mineraaliöljy	ISO VG 100	2	-30...+130	1018 sinkin keltainen	Vakiorasva laakereille, joiden D ≤ 62 mm Pienet sähkömoottorit, Maatalous- ja rakennuskoneet, Kotitalouskoneet
L79V	Synteettinen Synteettinen öljy	390	2	-30...+270	1024 keltamulta	Erikoisrasva korkeimpia lämpötiloja ja kemiallisesti syövyttäviä ympäristöjä varten Pakkausautomaattien kulkurullat, Kompessoreiden männäntapit, Uunivaunut kemiallisissa laitoksissa (turvallisuustiedotteet huomioitava)
L135V	Litiumsaippua jossa EP-lisäaineistus Mineraaliöljy	85	2	-40...+150	2000 keltaoranssi	Erikoisrasva korkeita kuormituksia, korkeita kierroslukuja ja korkeita lämpötiloja varten Valssilaitokset, Rakennuskoneet, Moottoriajoneuvot, Kiskokulkuneuvot, Kehruu- ja hiontakarat
L186V	Litiumsaippua jossa EP-lisäaineistus Mineraaliöljy	ISO VG 460	2	-20...+140	7005 hiiren harmaa	Erikoisrasva korkeimpia kuormituksia, keskimääräisiä kierroslukuja ja lämpötiloja varten Raskaasti kuormitetut kaivosteollisuuden koneet, Rakennuskoneet, Värähtelyn kuormittamat koneet
L223V	Litiumsaippua jossa EP-lisäaineistus Mineraaliöljy	ISO VG 1000	2	-10...+140	5005 signaalisininen	Erikoisrasva korkeimpia kuormituksia ja pieniä kierroslukuja varten Raskaasti kuormitetut kaivosteollisuuden koneet, Rakennuskoneet, Lähinnä iskukuormituksiin ja suuriin laakereihin

Eroittumiskyky

Öljyn kyky erottua öljy-vesi-seoksesta.

Esterit (synteettiset voiteluöljyt)

Happojen ja alkoholien välinen sidos veden erottamana. Estereitä korkeammat alkoholit, joissa on kaksiarvoinen rasvahappo, muodostavat niisanottuja diesteriöljyjä (synteettisiä voiteluöljyjä). Erittäin hyvin lämpöäkestäviä ovat esterioöljyt, jotka koostuvat useampiarvoisista alkoholeista ja erilaisista orgaanisista hapoista.

Geelirasva

Geelirasvat sisältävät epäorgaanisen-organisen saostimen, joka koostuu erittäin pienistä jakauteuneista kiinteistä hiukkamista; näiden hiukkasten huokoisella ulkopinnalla on kyky imeä öljyä. Geelirasvoilla on laaja käyttölämpötila-alue ja ne ovat vettäkestäviä. Varovainen on oltava suurilla pyörintänopeuksilla ja korkeilla -kuormituksilla.

Hapettuminen

-> Vanheneminen

Hapettumisen estäjät (antioksidantit)

Vaikutusaineita, jotka hidastavat huomattavasti voiteluöljyn vanhenemistä.

HD-öljyt

Heavy-Duty-öljyt ovat moottoriöljyjä, jotka vaikutusainelisäyksellä on sovitettu kestämaan erityisesti polttomoottoreiden raskaita vaatimuksia.

Hidastajat (Inhibiittorit)

Vaikuttaja-aineita, jotka hidastavat voiteluaineen tiettyjä reaktioita. Niitä käytetään esimerkiksi vanhenemis- ja korroosioreaktioita vastaan.

Homogenisointi

Päätösvaihe voitelurasvan valmistuksessa. Tasalaatuisen rakenteen ja saostimen hienoimman jakautumisen saavuttamiseksi laitetaan voitelurasva sitävarten kehityksessä koneessa voimakkaaseen leikkaukseen.

Hydrauliikanesteet

Painenesteitä hydrauliseen voimansiirtoon ja ohjaukseen. Vaikeasti syttyvät hydrauliikanesteet ->sivu 32.

Hydrauliöljyt

Mineraaliöljystä valmistettuja vanhenevista kestäviä, helposti juoksevia, vaahtamattomia, pitkälle puhdistettuja painenesteitä, joilla on alhainen jähmepiste, käytettäväksi hydrauliikkalaitteissa.

Hypoidiöljyt

Korkean paineen voiteluöljyjä, joissa on paineenkeston (EP)lisäaineistus hypoidivaihteistoja varten, pääasiassa moottori-ajoneuvojen akselikäyttöissä.

Höyrystymishäviö

Korkeammassa lämpötiloissa esiintyvä voiteluöljyn höyrystymisen aiheuttama häviö. Se voi aiheuttaa lisääntynyttä öljyntarvetta ja johtaa muutoksiin öljyn ominaisuuksissa.

Höyryturbiiniöljyt

Pitkälle puhdistettuja, vanhenemistä kestäviä öljyjä (voiteluöljy T), joita käytetään höyryturbiinien vaihteistojen ja laakereiden voiteluun. Öljyjä on saatavissa seostettuina (EP) ja seostamattomina: DIN 51 515T1.

Jakajat (Dispersantit)

Voiteluöljyissä olevia vaikuttaja-aineita, jotka pitävät lika-aineet leijumassa erittäin hienojakoisena, kunnes ne poistetaan suodattamalla tai öljynvaihdon yhteydessä.

Jakautumarasvaus

Menetelmä voiteluaineen levittämiseen. Vierintälaakeri upotetaan jaoituskylpyyn (jaoitusainetta ja rasvaa). Jaoitusaineen poistohöyrytyksen jälkeen jää laakerin pinnoille 1 – 100 µm paksu voiteluainekerros. Etuna pienin kitka, haittana lyhentynyt rasvan käyttöikä.

Juokseva rasva

Juoksevat rasvat ovat voitelurasvoja puolijuoksevasta tahmeaan jäykkyyteen.

Paineenkestokyvyn lisäämiseksi voivat juoksevat rasvat sisältää – useimmiten vaihteistojen voitelussa – korkean paineen lisäaineita tai kiintovoiteluaineita.

Juoksevuuspiste (Pourpoint)

Mineraaliöljyn juoksevuuspiste on lämpötila, jossa tiettyjen olosuhteiden vallitessa jäähdytetty näyte vielä juoksee.

Jähmepiste (Stockpunkt)

Mineraaliöljyn jähmepiste on lämpötila, jossa öljy – kun se on jäähdytetty määrättyissä olosuhteissa – lakkaa virtaamasta. Jähmepiste on 2 – 5 K alhaisempi kuin juoksevuuspiste. Öljyn kylmäominaisuudet välittömästi jähmepisteen yläpuolella voivat olla jo epäedullisia ja ne on siksi määritettävä viskositeettimittauksella.

Jälkivoitelutiheys

Aikajakso, jonka jälkeen laakeri jälkivoitelullaan. Jälkivoitelutiheys tulisi määrittää lyhyemmäksi kuin voiteluväli.

Jätekovettumat

Jätekovettumat koostuvat voiteluainejätteilistä, noki- ja likahiukkasista. Se saa alkunsa öljyn vanhenemisesta, mekaanisesta kulumisesta sekä voimakkaan lämmön ja liian pitkän öljynvaihtovälin vaikutuksesta. Ne asettuvat öljytaskuihin, laakeriin, suodattimeen ja voiteluainekanaviin. Jätekovettumat voivat vaarantaa käyttövarmuutta.

Jäykkyys

Mitta voitelurasvan muotoutumiselle. -> Tunkeuma

Kalkki- ja kalsiumsaippuarasvat

Kalkkisaippuarasvat tai kalsiumsaippuarasvat ovat täysin vettähylykiviä ja siksi erinomaisia tiivistinrasvoja vettä vastaan. Koska kalkkisaippua ei kuitenkaan tarjoa juuri suojaa korroosiota vastaan, on kalkkisaippuarasvojen sisältävä korroosiosuojan lisäaineita. Lisäaineistetut kalkkisaippuarasvat ovat osittautuneet toimiviksi tiivistinrasvoiksi myös voimakkaissa vesisuihkuissa. Tavallisten kalkkisaippuarasvojen käyttölämpötilarajat ovat noin -20 °C ... + 50 °C.

Karaöljyt

Ohyita voiteluöljyjä, joiden viskositeetti on noin 10 ... 90 mm²/s 40°C:ssa.

Kiinteät vieraat aineet

Kiinteiksi vieraiksi aineiksi nimitetään yleensä kaikkia n-hepta- tai DIN 51 813 -mukaisessa liuotaineseoksessa olevia liukenemattomia vieraita epäpuhtauksia. Määritykset vieraille kiinteille aineille voiteluöljyssä DIN 51 592 E, voitelurasvoille DIN 51 813 ja liuotaineseoksille DIN 51 813 mukaan.

Kiintovoiteluaine

Voiteluöljyyn tai voitelurasvaan seostettu tai suoraan käytetty aine, esimerkiksi grafiitti ja molybdeenidisulfidi.

Kinemaattinen viskositeetti

-> Viskositeetti

Korkean paineen voiteluaineet

-> Painetta kestävät (EP) voiteluaineet.

Korroosionsuojarasvat, Korroosionsuojaöljyt

Ne suojaavat syöpymisalttiita metallipintoja kosteuden ja ilman hapen hyökkäyksiltä.

Kulumisensuojauslisäaineet

Vaikuttaja-aineita, jotka sekakitka-alueella vähentävät kulumista. Näissä erotetaan – kevyesti vaikuttavat lisäaineet, kuten rasvahapot, rasvaöljyt, – korkean paineen lisäaineet, esimerkiksi rikki-, fosfori- ja sinkkiyhdisteet, – kiintovoiteluaineet, esimerkiksi grafiitti ja molybdeenidisulfidi.

Kupariliuskakoe

Menetelmä aktiivisen rikin laadulliseksi määrittämiseksi mineraaliöljyissä (DIN 51 759) ja voitelurasvoissa (DIN 51 811).

Kuumalaakerirasva

Toinen nimitys korkeiden lämpötilojen rasvoille. Litiumsaippuarasvoja voidaan käyttää jatkuvasti lämpötilaan 130 °C ja urearasvoja 200 °C saakka. Synteettiset erikoisrasvat ovat käyttökelpoisia enintään 270 °C.

Kylmäkoneöljyt

Niitä käytetään voiteluöljyinä kylmäkoneissa erillään jäähdytysaineen vaikutuksesta. Kylmäkoneöljyt on jaettu vastaaviin ryhmiin kuten jäähdytysaineet. Minimivaatimukset ovat DIN 51 503:ssa.

Kylmän kestävyys

-> Jähmepiste ja virtauspaine.

Käyttöviskositeetti

Öljyn kinemaattinen viskositeetti käyntilämpötilassa. Sen tunnus on v. Käyttöviskositeetti voidaan esittää viskositeetti-lämpötila-käyrästä avulla. Mineraaliöljyille, joilla on keskimääräinen viskositeetti-lämpötila-ominaisuus, voidaan käyttää kuvan 5 käyrästä.

Leimahduspiste

Leimahduspiste on alhaisin lämpötila, jossa tiettyjen testausolosuhteiden vallitessa kehittyy niin paljon öljyhöyryä, että öljy-ilma-seos ensimmäisen kerran leimahtaa sytytysliekissä.

Lietteen muodostuminen

Ilman ja veden vaikutuksesta voi mineraaliöljytuotteissa muodostua hapettumistuotteita ja polymeerejä. Erkautumat laskeutuvat lietteenä.

Lisäaineet

Lisäaineet tai vaikuttaja-aineet ovat voiteluaineeseen sekoitettuja aineita. -> Vaikuttaja-aineet.

Litiumsaippuarasvat

Litiumsaippuarasvoilla on suhteellisen hyvä vedenkestävyys ja laaja käyttölämpötila-alue. Ne sisältävät usein hapettumisen hidastajia, syöpymisen hidastajia ja paineenkeston (EP) lisäaineita. Hyvien ominaisuuksiensa takia käytetään litiumsaippuarasvoja laajalti vierintälaakereiden voiteluun. Tavallisten litiumsaippuarasvojen käyttölämpötilarajat ovat – 35 °C ja +130 °C.

Liutus

Liutus-puhdistus, liotinaineilla puhdistettu mineraaliöljy.

Mekaanis-dynaaminen voiteluainekoestus

Vierintälaakerirasvat testataan käyttöä lähellä olevissa olosuhteissa, siis käyttö- ja ympäristöolosuhteiden vallitessa. Testausosien ja voiteluaineen välisistä reaktioista kokeen aikana ja niiden kunnosta kokeen jälkeen johdetaan voiteluaineen arviointi. Kokeet mallitestaustaitteilla voivat antaa vain mahdollisia tuloksia. Siksi tänä päivänä pidetään parempina kokeita, joissa testauselementteinä käytetään vierintälaakereita.

Vierintälaakerirasvojen standarti DIN 51825 sisältää DIN 51 821 mukaisen FAG:n vierintälaakerirasvojen testauslaitteen FE9. Tällä laitteella testataan rasvojen käyttöikä testauselementteinä vierintälaakerit.

FAG:n testauslaitteella FE9 vierintälaakereille voidaan pyörintänopeus, kuormitus ja asennusolosuhteet valita. Lisäksi käyntilämpötilaa voidaan säädellä lämmityksellä. Voitelukykyä arvostellaan saavutetun käyntiajan sekä otetun käyttötehon perusteella.

FAG:n testauslaitteella FE8 (ehdotus DIN 51 819) voidaan lisäksi valita vapaasti vierintälaakerityyppi ja tietyissä rajoissa myös vierintälaakerin koko. Lisäksi ovat mahdollisia laakerin tehohäviön ja kulumisen mittaukset. Koska mittausarvojen hajonta on tosiasia, on mittaustulokset varmistettava tilastollisesti.

FAG:n testauslaite FE9

FAG:n testauslaite FE8

MIL-määrittely

USA:n puolustusvoimien määrittely toimitettaville käyttöaineille minimivaatimuksineen. Moottori- ja laitevalmistajat asettavat voiteluaineille osittain samat minimivaatimukset. Minimivaatimusten täyttö toimii laadun mitana.

Mineraaliöljy

Maaöljy tai sen juokseva johdannainen.

Monialueöljyt

Moottori- ja vaihteistoöljyjä, joilla on parannettu viskositeetti-lämpötila-ominaisuus.

Mukanapyörinä

Mukanapyörinällä tarkoitetaan rasvaan tarttuneita, mukanapyöriviä osia. Se muodostaa aina uudelleen rasvapaakkuja vierintäelimien ja vierintäradan väliin ja vatkauskitka kasvaa suureksi. Suurilla pyörinänopeuksilla on siksi valittava rasva, joka ei ole altis mukanapyörinälle. Mukanapyörinä riippuu saostimesta, tunkeumasta, lämpötilasta ja myös laakerityypistä. Erityisesti natronrasvat pyörivät helposti mukana.

Natronsaippuarasvat (natriumsaippuarasvat)

Natronsaippuarasvojen etuna on hyvä tarttuvuus. Ne muodostavat vierintälakereiden vierintä- ja liukupinnoille tasapaksun, joustavan voitelukalvon. Ne emulkoituvat veden kanssa eivätkä siis ole vedenkestäviä. Pienet kosteusmäärät eivät aiheuta haittoja, mutta suuremmat määrät tekevät rasvasta juoksevan ja se virtaa ulos laakeritilasta. Natriumrasvoilla on huonot kylmäominaisuudet. Käyttö-lämpötilarajat ovat $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Nelikuulalaite

Voiteluaineiden testauslaite (DIN 51 350). Neljästä pyramiidiksi sijoitetusta kuulasta pyörii ylin. Kuormitusta voidaan lisätä kuulien hitsautumiseen asti (hittausvoima). Kuormitus [N] toimii VKA-arvona. Kulumisarvoa varten mitataan tunnin koeajan jälkeen kolmen alemman kuulan kalotin läpimitta ja muutetaan koearvoksi. Soveltuu voiteluaineiden tunnustuskokeeksi.

Neutralisaatioluku NZ

Neutralisaatioluku NZ on mineraaliöljyjen vanhenemisen mitta. Se kertoo kuinka monta mg:a kaliumhydroksiidiä tarvitaan yhden gramman öljyä sisältämien vapaiden happojen neutralisointiin.

Seostetuilla öljyillä on NZ-arvo lisäainesta johtuen myös uutena nollan yläpuolella. NZ-arvon muutos uuteen verrattuna ei saisi ylittää arvoa 2.

Nimellisviskositeetti

-> Viskositeetti.

NLGI-Luokka

-> Tunkeuma

Nykäseston lisaine

Vaikuttaja-aine, joka voiteluaineeseen sekoitettuna estää liukunykäyksiä esim. työstökoneiden johteissa.

Painetta kestävät (EP) voiteluaineet

Extreme-Pressure-voiteluaineet. Öljyä tai rasvoja, jotka sisältävät paineen keston (EP) vaikuttaja-aineita kulumista vastaan.

Paineviskositeetti

-> Viskositeetti-paine-ominaisuus.

Palamispiste

Alhaisin lämpötila, tiettyyn paineeseen sovitettuna, jossa tasaisen kuumaksi lämmitetyn nesteeseen höyry liekillä sytytyksen jälkeen palaa edelleen vähintään viisi sekuntia: DIN ISO 2592.

Palautuminen (thixotropie)

Voitelurasvat sisältävät palauttajia (thixotroppeja), kun niiden rakenne mekaanisen rasituksen vaikutuksesta huononee ja levossa jälleen paranee. Myös erityisesti lisäaineistetut uudistusöljyt sisältävät palauttajia.

Perusöljy

Voitelurasvan sisältämää öljyä kutsutaan perusöljyksi. Sen osuus valitaan erisuuruiseksi saostimesta ja rasvan käyttötavasta riippuen. Perusöljyn määrän ja viskositeetin mukaan muuttuvat rasvan tunkeuma ja vastusominaisuudet.

Puhdistajat (detergents)

Vaikuttaja-aineita, joilla on ominaisuus liuottaa kovettumia ja puhdistaa voidelta via pintoja jätekovettumista.

Puhdistus/Jalostus

Voiteluöljyjen valmistuksessa tähdätään tisleiden puhdistuksilla tyydyttävään vanhenemisen kestävyYTEEN. Niissä erotetaan pysymättömät yhdisteet, jotka voivat olla sitoutuneet rikkiin, tyypen, happeen ja metallisuoloihin. On olemassa erilaisia puhdistusmenetelmiä, joista tärkeimpiä ovat rikkihappopuhdistus ja liuotinpuhdistus.

Rasvan käyttöikä

Rasvan käyttöikä on aika laakerin käynnistymisestä vaurioon, joka johtuu voitelun loppumisesta. Siihen vaikuttavat

- Rasvamäärä,
- Rasvatyyppi (saostin, perusöljy, lisäaineistus)
- Laakerityyppi ja -koko
- Kuormituksen suuruus ja laatu
- Kierrostunnusluku
- Laakerin lämpötila

Rasvan käyttöikäkäyrä, F₁₀

F₁₀-arvo on tietyn rasvan käyttöikä F₁₀ %:n vauriotodennäköisyydellä. Rasvan käyttöikä F₁₀ ilmoitetaan laboratorio-kokeiden perusteella, esimerkiksi FAG:n vierintälakereiden testauslaitteella FE9.

Rasvojen sekoitettavuus

-> Sivu 38

Rauhoittunut tunkeuma

25 °C:ssa mitattu tunkeuma voitelurasvanäytteelle, jota ei ole esikäsitelty rasvansekoittimessa.

SAE-luokitus

Englanninkielisissä maissa ja ajoneuvo-teollisuudessa merkitään voiteluöljyjen viskositeetit SAE-luokituksen (Society of Automotive Engineers) mukaan. Moottoreiden voiteluöljyjen muunnokset DIN 512 511 ja ajoneuvojen vaihteistoöljyt DIN 51 512.

Saippuoitumisluku VZ

Saippuoitumisluvulla VZ voidaan esittää käyttämättömien ja käytettyjen mineraaliöljyjen, myös lisäaineistettujen öljyjen muutosten tunnuslukuja. Se ilmoittaa, kuinka monta mg:aa kaliumhydroksidia tarvitaan yhden gramman öljyä sisältämien vapaiden ja sitoutuneiden happojen neutraloimiseen ja olemassa olevien esteiden saippuoimiseen.

Saostin

Saostin ja perusöljy ovat voitelurasvan ainesosat. Yleisimmät saostimet ovat metallisaippuat (Li-, Ca-, Na-12-hydroksidit jne.) sekä yhdisteet, kuten urea PTFE ja Ma-Al-kerrossilikaatit.

Saybolt-yleis-viskositeettimittari

USA:ssa käytetyin viskositeettimittari, jolla määritetään perinteiset SSU (Second Saybolt Universal) ja SUS (Saybolt Universal Seconds) viskositeetit.

Seostettu voiteluaine

Voiteluöljy tai -rasva, joka sisältää yhtä tai useampaa vaikuttaja-ainetta tiettyjen ominaisuuksien parantamiseksi.
-> Vaikuttaja-aineet.

Silikonioöljyt

Synteettisiä öljyjä, joita käytetään erityisissä käyntiolosuhteissa. Niillä on paremmat tunnusluvut kuin mineraaliöljyillä, mutta kuitenkin huonommat voiteluominaisuudet ja pienempi paineenkestokyky. Katso myös taulukko, kuva 30.

Sitkeys

-> Viskositeetti.

Suspensio

Kiinteiden hiukkasten hyytelömäinen liete nesteessä, esim. öljyynliukenemattomien vaikuttaja-aineiden liete voiteluaineissa.

Synteettiset voiteluaineet

Synteettisesti (keinotekoisesti) valmistettuja voiteluöljyjä, jotka omaavat seuraavia, osin käytön määrittämiä, ominaisuuksia: erittäin alhainen jähmepiste, hyvä viskositeetti-lämpötila-ominaisuus, alhainen höyrystymishäviö, pitkä käyttöikä, korkea hapettumisen kestävyys.

Tartuntaöljy

Sitkeästi liimautuva, useimmiten bitumidonnainen korkeaviskosinen voiteluaine irrallaan käytettäväksi.

Tiivisteet, tiivisteiden kestävyys

Tiivistinmateriaalit kestävät öljyjä ja rasvoja hyvin eri lailla. Monissa tapauksissa tiivistimet turpoavat, kutistuvat, haurastuvat tai jopa liukenevat. Tässä näyttelevät käyntilämpötila, voiteluaineen koostumus sekä vaikutusaika merkittävää osaa. Tiivistinten kestävydestä antavat valmistajat ja öljyfirmat tietoja.

Tiheys

Mineraaliöljytuotteiden tiheyden merkki on ρ , yksikkö g/cm^3 ja ilmoitetaan 15°C :ssa. Kivennäispohjaisten voiteluöljyjen tiheys on noin $0,9 \text{ g/cm}^3$. Tiheys riippuu öljyn kemiallisesta rakenteesta. Se muuttuu samaa alkuperää olevilla öljyillä viskositeetin sekä kasvavan puhdistusasteen mukaan. Tiheys yksin ei ole mikään arvosteluperuste.

Tippapiste

Lämpötila, jossa koeolosuhteissa lämmitetty näyte virtaa nipan reiän läpi ja putoaa koeputken pohjalle.
Rasvat: DIN ISO 2176

Tisleet

Hiilivetyseoksia, jotka on erotettu maaöljystä tislamalla.

Tuhkapitoisuus

Tuhkapitoisuudella ymmärretään voiteluaineen palamattomia jätteitä. Tuhka voi olla peräisin eri lähteistä: se voi olla lähtöisin öljyyn liuenneista vaikuttajaineista; myös grafiitti ja molybdeenidisulfidi sekä saippuat ja muut voitelurasvan saostimet voivat synnyttää tuhkaa. Tuoreessa saostamattomassa kivennäisöljyssä ei saa olla lainkaan tuhkaa. Käytetty öljy sisältää myös liukenemattomia metallisaippuuta, jotka muodostuvat käytössä, vieraita palamattomia epäpuhtausjäänteitä, esim. hioutumia laakerin osista ja tiivisteistä jne.. Tuhkapitoisuudesta voidaan päätellä myöskin lähestyvä laakerivaurio.

Tunkeuma

Tunkeuma on voitelurasvan jäykkyyden mitta. Se määritetään sijoittamalla rasvala täytettyyn astiaan standardin mukainen kartio ja antamalla sen vajota rasvaan, sekä mittaamalla kymmenesosan millimetrin tarkkuudella tunkeutumissyvyys (painumisaika 5 s). Yleensä ilmoitetaan niinsanottu vatkattu tunkeuma 25°C :ssa. Vatkattu tunkeuma on myös tunkeumamitta, tällöin rasva on vatkattava tarkoin määritetyissä olosuhteissa. Tunkeumaluokat ovat 000 ... 6 (DIN 51818).

Yleisten vierintälaakerirasvojen tunkeumat

Jäykkyydjako NLGI-luokkien mukaan (tunkeumaluokat)	Vatkattu tunkeuma [0,1 mm]
1	310–340
2	265–295
3	220–250
4	175–205

Tunnusluvut

Voiteluöljyn tunnusluvuiksi lasketaan yleensä leimahduspiste, tiheys, nimelliskoskositeetti, jähmepiste ja tietoja lääain-eista. Voitelurasvan tunnuslukuja ovat saostimen tyyppi, perusöljyn tyyppi ja viskositeetti, tippapiste, vatkattu tunkeuma ja tarvittaessa lisäaineet.

Turpoaminen

Turpoamiskoe kumille ja joustaville muo-veille voiteluaineen vaikutuksen alaisena: DIN 53 521

Vaahto

Vaahtoa ei toivota mineraaliöljyihin. Se edistää öljyn vanhenemista. Ylivaahtoa-mininen voi johtaa öljyhukkaan.

Vaihteistorasva

Vaihteistorasvat ovat usein natriumsaip-puoituja, pitkäkestoisia pehmeitä tai puo-lijuoksevia juoksevia rasvoja (NLGI 0 ja 00) vaihteita ja vaihdemoottoreita varten. Sellaiset rasvat toimitetaan osittain paineenkeston (EP)lisäaineistettuna.

Vaihteistovoiteluöljyt

Kaikentyyppiset voiteluöljyt vaihteistoja varten DIN 51 509, 51 517T1/T2/T3 (voiteluöljyt C, CL, CLP).

Vaikuttaja-aineet

Vaikuttaja-aineet tai lisäaineet ovat öljyjuoksevia aineita joita sekoitetaan mine-raaliöljyyn tai mineraaliöljytuotteisiin. Ne muuttavat tai parantavat kemiallisella tai fysikaalisella vaikutuksella voiteluai-neiden ominaisuuksia (hapettumisenke-stokykyä, paineen kestoä, vaahtoamista, viskositeetti-lämpötila-ominaisuutta, jäh-mepistettä, juoksevuutta jne.).

Vakiovoiteluöljy

Voiteluöljyt L – AN DIN 51 501 mu-kaan. Niitä käytetään, jos voiteluaineelle ei asteta mitään erityisiä vaatimuksia.

Vanheneminen

Vanheneminen on ei-toivottu kemialli-nen muutos kivennäispohjaisissa ja syn-teettisissä tuotteissa (esim voiteluaineet, polttoaineet) käytön ja varastoinnin aika-na. Reaktiot hapen kanssa (peroksidi- ja syövyttävien hiilivetyjen muodostumi-nen), lämpö, valo sekä metallien ja mui-den epäpuhtauksien katalyyttinen vaiku-tus kiihdyttävät hapettumista. Tällöin esiintyy happojen ja lietteen muodostu-mista; vanhenemisen suoja-aineet -> Hapettumisen estäjät (antioksidantit) hidastavat vanhenemista.

Vatkattu tunkeuma

Voitelurasvan tunkeuma, mitattu 25:ssä °C:ssa sen jälkeen kun näyte on käsitelty rasvan vatkaimesa (DIN 51 804T2 ja DIN ISO 2137).

Vedeneroituskyyky (WAV)

Öljyn kyky erottaa vettä. Koe tapahtuu DIN 51 589 mukaan.

Vedenkestävyys

Voitelurasvojen vedenkestävyys kokeil-laan DIN 51 807 mukaan (staattinen koe) ja se esittää vain yhden ominaisuus-tunnusluvun, joka ei anna käytännössä riittävää tietoa rasvan vedenkestävyydestä. Siinä kokeillaan, vaikuttaako ja millä lailla rauhoittunut tislattu vesi erilaisissa lämpötiloissa rasittamattomaan rasvaan.

Vertailuviskositeetti

Vertailuviskositeetti on määritettyyn voi-telutilanteeseen suhteutettu kinemaatti-nen viskositeetti. Se voidaan lukea keski-määräisen laakerihalkaisijan ja laakerin pyörintänopeuden avulla kuvan 6 käyrä-stöstä. Suhteellisen viskositeetin ν_1 ver-taaminen käyttöviskositeettiin ν mahdol-listaa voitelutilanteen arvioinnin.

Vesipitoisuus

Jos voiteluöljy sisältää vettä, rikkovat vesi-pisarasarat voitelukalvon ja siten voite-

lucky heikkenee. Vesi öljyissä kiihdyttää muutenkin vanhenemista ja johtaa ruos-tumiseen. Vesipitoisuus voidaan määrit-tää tislamalla tai laskeutumiskokeella koeputkessa sillä vesi laskeutuu suurem-masta ominaispainosta johtuen pohjalle. Emulkoituneella öljyllä täytyy näyte läm-mittää. Pieni vesipitoisuus osoitetaan riti-näkökokeella. Siinä öljyä lämmitetään koe-putkessa avolielillä. Jos vedestä on jälkiä, on kuultavissa ritisevä ääni.

Virtauspaine

Paine, joka tarvitaan puristamaan voitelu-rasvapötkö suuttimesta ulos. Sillä on yhteys jäykkyyteen ja juoksevuuteen. Määrittäminen DIN 51 805 mukaan (DIN 51 825 mukaan määritetään alempi käyttölämpötila).

Viskositeetti

Viskositeetti on voiteluöljyn perustavan laatuinen fysikaalinen ominaisuus, johon öljykalvon kantokyky laakerissa nesteki-tkan vallitessa perustuu. Se laskee lämpöti-lan noustessa ja kohoaa lämpötilan las-kiessa (katso viskositeetti-lämpötila-käy-rästö). Siksi täytyy jokaisen viskositeetti-arvon yhteydessä antaa myös lämpötila, johon se viittaa. Nimelliskoskositeetti on kinemaattinen viskositeetti 40 °C:ssa. Katso myös viskositeettiluokitus. Fysikaa-lisessa mielessä viskositeetti on vastus, jolla neste vierekkäiset kerrokset vastu-stavat niiden vastakkaisiin suuntiin tapah-tuvia siirtymiä. Viskositeetissä erotetaan dynaaminen viskositeetti ν ja kinemaatti-nen viskositeetti ν_1 . Kinemaattinen visko-siteetti on tässä tiheydellä kerrottu dynaa-minen viskositeetti. Se saadaan yhtälöstä $\eta = \rho \cdot \nu$. Tässä ρ on tiheys. SI-yksikköjen mukainen dynaamisen viskositeetin yksikkö on Pa (Pascal) tai mPa. Ne ovat korvanneet aikaisemmin käytetyt yksiköt Poisi (P) ja centtipoisi (cP). Muunnos 1 cP = 10^{-3} Pa. Kinemaattisen viskositeetin SI-yksikkö on m^2/s ja mm^2/s . Aikaisemmin käytettyä yksikköä centi-stoke (cSt) vastaa SI-yksikkö mm^2/s .

Viskositeetti-indeksi VI

Viskositeetti-indeksillä VI ilmoitetaan öljyn viskositeetti-lämpötila-ominaisuus lukuarvona.

Viskositeetti-indeksin parantajat

Vaikuttaja-aineita, jotka on liuotettu mineraaliöljyyn parantamaan viskositeetti-lämpötila-ominaisuutta. Korkeissa lämpötiloissa ne kohottavat viskositeettia ja matalissa lämpötiloissa ne parantavat juoksevuuksia.

Viskositeettiluokitus

Standardeissa ISO 3448 ja DIN 51 519 ovat nestemäiset teollisuusvoiteluaineet jaettu 18 viskositeettiluokkaan alueella 2 – 1500 mm²/s 40 °C:ssa (katso seuraava taulukko).

Viskositeettiluokat ISO:n mukaan

Viskositeettiluokka	Keskipisteviskositeetti 40 °C:ssa mm ² /s	Kinemaattisen viskositeetin rajat 40 °C:ssa	
		min.	maks.
mm ² /s			
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90,0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1000	1000	900	1100
ISO VG 1500	1500	1350	1650

Viskositeetti-lämpötila-ominaisuus

Ilmaisu viskositeetti-lämpötila-ominaisuus tarkoitetaan voiteluöljyillä viskositeetin muutosta lämpötilan muuttuessa. Silloin puhutaan edullisesta viskositeetti-lämpötila-ominaisuudesta, kun öljyn viskositeetti ei muutu voimakkaasti lämpötilan muuttuessa.

-> Viskositeetti-indeksi (VI).

Viskositeetti-paine-ominaisuus

Voiteluöljyn viskositeetin riippuvuus paineesta. Paineen noustessa kasvaa mineraaliöljyjen viskositeetti (katso kuva 3).

Voitelun lisäaineet

-> Vaikuttaja-aineet

Voitelurasvat

Voitelurasvat ovat pysyviä saostimen ja öljyn seoksia. Näissä erotetaan:

- Metallisaippuarasvat, joissa on yhdistetty metallisaippua saostimena ja voiteluöljy,
- Saippuattomat voitelurasvat, joissa on epäorgaaninen geelinmuodostaja tai orgaaninen saostin ja voiteluöljy,
- Synteettiset voitelurasvat, joissa on yhdistetty orgaaninen tai epäorgaaninen saostin ja synteettinen öljy.

-> Kuvan 27 taulukko.

Voitelurasvojen palautumiskyky

Voitelurasvojen palautumiskyky tekee mahdolliseksi ominaisuuksien uusiutumisen keskusvoitelulaitoksissa käytettäessä (DIN 51 816T2).

Voiteluväli

Voiteluväli vastaa vakiorasvojen lyhintä saavutettavaa rasvan käyttöikä F10 DIN 51 825 mukaan. Voiteluväli annetaan kierrostunnusluvusta $k_f \cdot n \cdot d_m$ riippuen 70 °C:ssa, katso kuvan 33 käyrä "voiteluvälikäyrä". Tämä arvo voidaan käyttää oletuksena, jos käytössä olevan rasvan käyttöikä ei tunneta. Jos halutaan käyttää rasvan koko tehoalue, on asetettava käytännönläheinen koepohjaisesti ilmoitettu rasvan käyttöikä F₁₀ tai toimittava kokemusperäisillä arvoilla. Tekijät, jotka lyhentävät voiteluväliä, huomioidaan pienennyskertoimilla.

Voiteluöljy B

Tumma, bitumipitoinen mineraaliöljy, jolla on hyvä tarttuvuus: DIN 51 513.

Voiteluöljy C, CL, CLP

Vaihteistoöljyjä kiertoöljyvoiteluun: DIN 51 517/T1/T2/T3.

Voiteluöljy CG

Liukukiskoöljy.

Voiteluöljy K

Kylmäkoneöljy: DIN 51 503.

Voiteluöljy N

Vakiovoiteluöljy: DIN 51 501.

Voiteluöljy T

Höyryturbiinien voitelu- ja säätö-öljy: DIN 51 515T1.

Voiteluöljy V

Kompressorioöljy: DIN 51 506.

Voiteluöljy Z

Höyrysilinteriöljy: DIN 51 510.

Yhdistelmärasvat

Yhdistelmärasvat sisältävät suurimolekkyilisistä rasvahapoista muodostuneiden metallisaippuoiden lisäksi myös pienimolekkyilisistä orgaanisista hapoista muodostuneita metallisuoloja. Nämä suolat muodostavat saippuan kanssa yhdessä yhdisteitä, joilla on edullisempia ominaisuuksia kuin yksinkertaisilla saippuarasvoilla, niin kauan kun muistetaan lämpötilarajat, vedenkestokyky, korroosion suojaus ja paineenkestokyky.

Öljyjen sekoitettavuus

Eri tyyppisiä ja eri valmistajien öljyjä ei tulisi harkitsemattomasti sekoittaa keskenään. Poikkeuksen muodostavat HD-moottoriöljyt; ne saadaan lähes aina sekoittaa keskenään. Jos tuoretta öljyä sekoitetaan käytettyyn, voi muodostua lietettä. Kaikissa tapauksissa, joissa voidaan epäillä lietteen muodostumista, suositellaan sekoittamaan koenäyte lasipikarissa.

Öljyn erottuminen

Voitelurasvat voivat pitkän varastoinnin aikana tai kohonneessa lämpötilassa erottaa öljyä. Öljyn eroittautuminen määritetään DIN 51 817 mukaan. Pitkäaikainen voitelu vaatii pitkäaikaista, vähäistä öljyn erottumista, jonka on kuitenkin oltava niin suurta, että kosketuspintojen voiteluhuolto on varmistettu.

Öljyn väri

Käytetty öljy tunnustetaan useimmiten sen väristä. Koska tuoreen öljyn väri voi olla jo enemmän tai vähemmän tumma, on sellaisessa määrityksessä oltava varovainen. Jos tumma väri on johdettavissa hapettumiseen, voidaan sitä verrata vain näytteeseen vastaavaa tuoretta öljyä. Myös pölyn ja noen tai hioutumien (jopa pienimmät määrät) muodostamat epäpuhtaudet ovat syitä tummaan väriin.

Vierintälaakereiden voitelu

Kaikki tiedot on huolellisesti esitetty ja tarkastettu.

Mahdollisista virheistä tai epätäydellisyyksistä emme voi vastata.

Pidätämme itsellämme oikeuden kehityksen edellyttämiin muutoksiin.

WL 81 115/4 FI/95/5/98

Painettu Saksassa · Weppert GmbH & Co KG, Schweinfurt