



# VOITELU

RubberEdu



Tampereen yliopisto  
Tampere University

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



Euroopan unioni  
Euroopan sosiaalirahasto

# VOITELUN TEHTÄVÄT

- Tehokkain tapa vähentää toistensa suhteen liikkuvien kosketuspintojen kitkaa ja kulumista on erottaa ne voiteluainekalvolla.
- Voiteluaineena voi periaatteessa olla mikä tahansa helposti leikkautuva materiaali kiinteässä, kaasumaisessa tai nestemäisessä muodossa.
- Pääsääntöisesti teollisuusvoiteluaineina käytetään
- kuitenkin öljyjä ja rasvoja.

# VOITELUN TEHTÄVÄT

- Tehokkaalla voitelulla saadaan aikaan merkittävää taloudellista hyötyä. Alhaisella kitkalla säästetään energiaa ja kohotetaan suoritustehokkuutta.
- Vähäinen kuluminen puolestaan mahdollistaa koneiden eliniän pidentämisen.
- Oikeaoppinen voitelu on myös perusedellytys konejärjestelmien hyvälle käyttövarmuudelle.

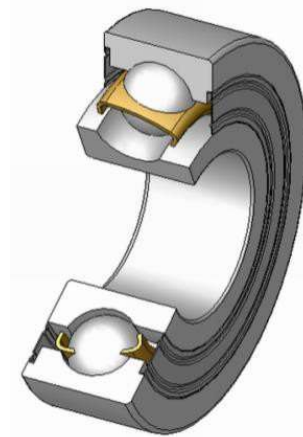
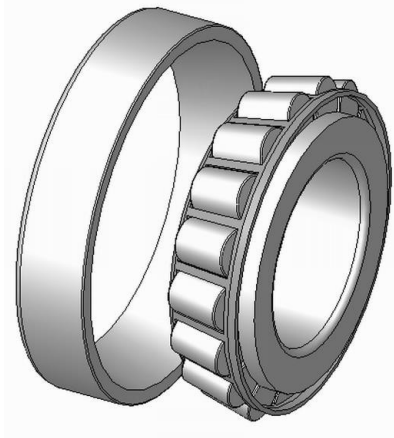


# VOITELUN TÄRKEIMPIÄ TEHTÄVIÄ:

- erottaa pinnat toisistaan
- pienentää kitkaa ja siitä aiheutuvaa tehohäviötä
- vähentää kulumista
- jäähdyttää kosketusta
- estää epäpuhtauksien tulo voideltavaan kohteeseen
- kuljettaa epäpuhtaudet ja kulumishiukkaset pois
- vaimentaa värähtelyä
- suojata osia korroosiolta

# PINTOJEN VÄLISET KOSKETUKSET

Pintojen väliset kosketustilanteet voidaan jakaa karkeasti kolmeen ryhmään:  
vierintäkosketus esim. vierintälaakereissa



# PINTOJEN VÄLISET KOSKETUKSET

- liukukosketus esim. liukulaakereissa



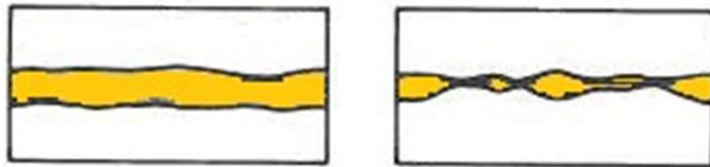
# PINTOJEN VÄLISET KOSKETUKSET

- näiden yhdistelmä esim. hammaspyörän hammaskosketus ryntövaiheessa



# VOITELUMEKANISMIT

- Toisiaan vastaan liukuvien kosketuspintojen kitkaa ja kulumista minimoidaan tyypillisesti voitelun avulla missä se vain on sallittua.
- Perinteisesti voitelumeکانismit voidaan jaotella
- nestevoiteluksi ja kosketusvoiteluksi.



# VOITELUMEKANISMIT

- Voitelun kannalta edullisin tilanne on nestevoitelu, jossa voitelukalvo erottaa pinnat kokonaan toisistaan, tuolloin kitka on lähes olematonta ja peräisin ainoastaan voiteluaineen sisäisestä kitkasta.

Nestevoitelu:



voiteluaine erottaa pinnat täysin toisistaan

# VOITELUMEKANISMIT

Kosketusvoitelussa pintojen välillä on jatkuvasti kosketuksia voiteluaineen rajoittaessa kosketuspinta-alaa. Kosketusvoiteluun voidaan lukea raja- ja sekavoitelu.

## Rajavoitelu:



pintojen kosketus  
- kuiva kitka



pintojen kosketus  
- polaarinen komponentti on kiinnittynyt pintaan

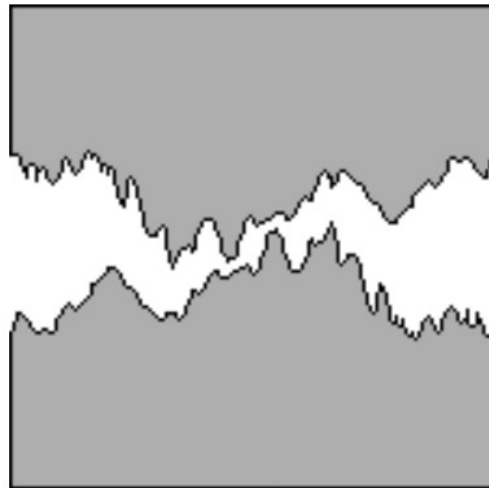
## Sekavoitelu:



osittain rajavoitelu/kuiva kitka ja osittain nestevoitelu

# VOITELUMEKANISMIT

Rajavoitelussa tapahtuu selvää vastinpintojen pinnankarheushuippujen kosketusta, jolloin varsinaista pinnat erottavaa voitelukalvoa ei vielä tai ei enää ole.





# VOITELUMEKANISMIT

Syitä jotka voivat johtaa rajavoitelu tilanteeseen:

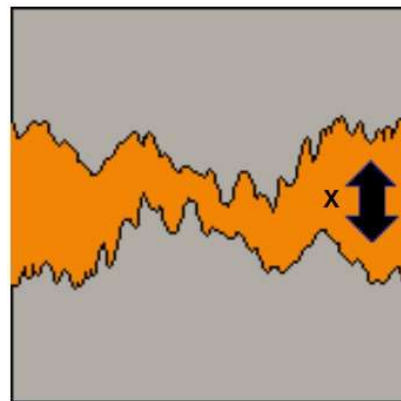
- voiteluaineen liian alhainen viskositeetti käyttölämpötilassa
- hidas pintojen välinen liikenopeus
- korkea kuormitus
- riittämätön voiteluainemäärä
- epäedulliset lämmönsiirto-ominaisuudet

# VOITELUMEKANISMIT

- Raja- ja sekavoitelualueella toimivat verrattain pienillä nopeuksilla pyörivät liuku- ja vierintälaakerit, hammaspyörät, hammaskytkimet ja murrosnivelet.
- Nämä sovellutukset toimivat useimmiten rasvavoideltuina, mikä asettaa rasvojen ja voiteluöljyjen lisäaineistukselle erityisiä vaatimuksia.
- Tällaisia voitelutilanteita esiintyy erityisesti käynnistyksen ja pysäytyksen yhteydessä myös öljyvoidellussa kosketuksessa.

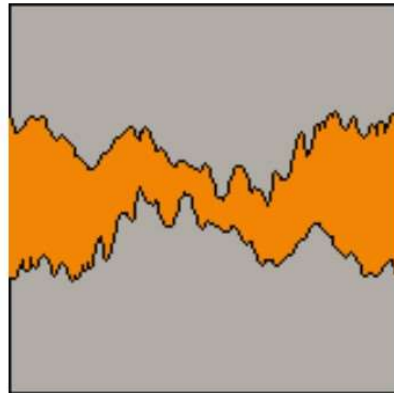
# VOITELUMEKANISMIT

- Voitelukalvonpaksuuden ja pintojen välisen nopeuden kasvaessa pinnankarheushuippujen kantama kuormitus vähenee ja voiteluaine pystyy paremmin pitämään ne erossa toisistaan (hydrodynaamisella nostovoimalla X).



# VOITELUMEKANISMIT

- Sekavoitelutilanne on raja- ja nestevoitelun yhdistelmä. Osan kuormituksesta kantaa pienikitkainen
- voiteluainekalvo ja loput kuormituksesta välittyy pinnankarheushuippujen kautta.





# VOITELUMEKANISMIT

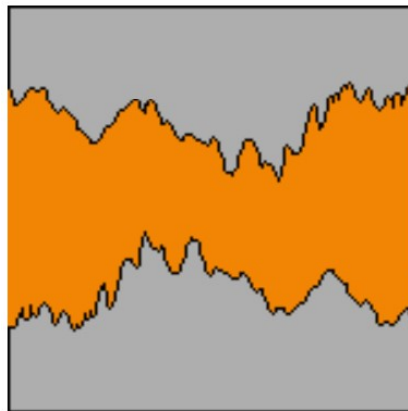
Tällä alueella kitkakerroin voi vaihdella huomattavasti pienenkin olosuhdemuutoksen johdosta, jolloin esimerkiksi kosketuksen lämpötilavaihtelut voivat olla merkittäviä.

Sekavoitelutilanne voi muuttua lämmönkehityksen kasvaessa rajavoitelutilanteeksi.

Seka- ja rajavoitelu tilanteessa esiintyvät metallikosketukset aiheuttavat paikallisia pintakerroksen hitsautumia. Tämä lisää kitkaa, lämpöä, kulumista ja pinnan väsymistä.

# VOITELUMEKANISMIT

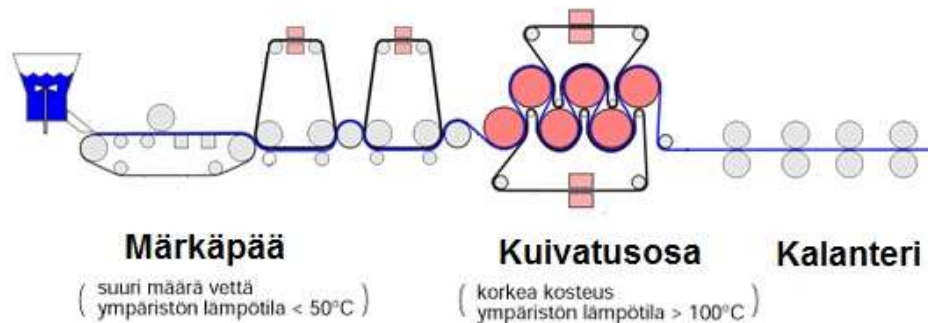
Puhtaassa nestevoitelussa voitelukalvo erottaa pinnat täysin toisistaan jolloin sen kitka on alhainen ja materiaalin kulumista tai ennenaikaista väsymistä ei juurikaan esiinny. Käytetyn materiaaliparin merkitys rajoittuu lähinnä paineensietokykyyn.



# VOITELUMEKANISMIT

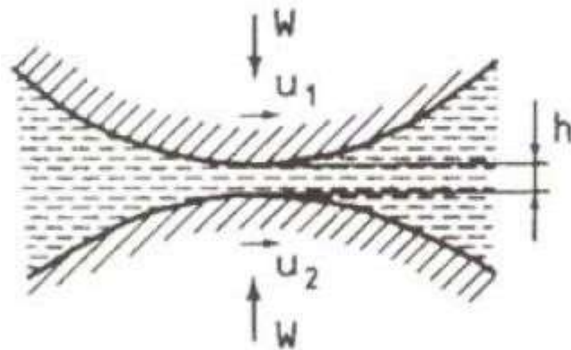
Nestevoitelu voi olla hydrodynaamista (hydrodynamic lubrication), elastohydrodynaamista (elasto-hydrodynamic lubrication) tai hydrostaattista voitelua.

Esimerkiksi paperikoneen märänpään telojen laakerit toimivat voiteluaineen viskositeetista riippuen seka- tai elastohydrodynaamisella voitelulla.



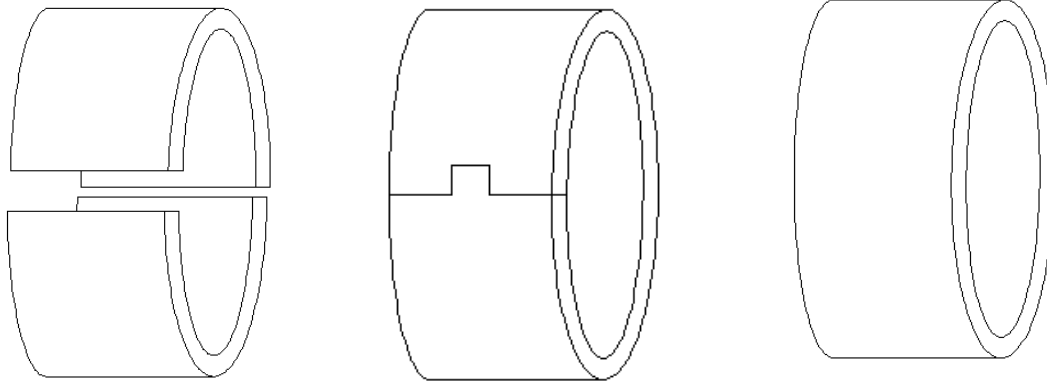
# HYDRODYNAAMINEN VOITELU

- Hydrodynaamisen voitelutilanteen edellytyksinä ovat vastakkain liukuvien pintojen nopeusero ja kiilamaisen rakenteen aikaansaama suppeneva voiteluainekalvo.
- Suppenevaan voiteluainekalvoon muodostuu ylipaine. Ylipaine tasaa kiilaan sisään- ja ulosvirtaavan voiteluaineen määrän ja kantaa pintojen väliin kohdistuvan
- kuormituksen.



# HYDRODYNAAMINEN VOITELU

Tyypillisiä hydrodynaamisesti voideltuja kohteita ovat radiaali- ja aksiaaliliukulaakerit esimerkiksi autonmoottoreissa, pumpuissa, sähkömoottoreissa ja generaattoreissa.





# HYDROSTAATTINEN VOITELU

Hydrostaattisesti voidellussa voitelussa kitkateho on pieni ja laakerointijärjestely on erittäin jäykkä. Haittapuolina ovat ulkopuolinen painelaitteisto ja sen kustannukset.

Hydrostaattisessa voitelussa voidaan käyttää öljyn lisäksi kaasuja ja erityisesti ilmaa, jolloin lämmönsiirtokyky voidaan saada suureksi. Tätä menetelmää käytetään lääketieteellisuuden instrumenteissa, työstökoneen karoissa ja luisteissa, sekä joissakin prosessilaitteissa.



# VOITELUMEKANISMIT

Kuivatusosalla kuivatussyylinterien laakerit toimivat sekavoitelulla tai jopa rajavoitelulla, laakerien läpimenevien höyryputkien eristyksestä sekä koneen ajonopeudesta riippuen.

Käynnistettäessä tai pysäytettäessä konetta sekä konetta ryömitettäessä laakerit toimivat yleensä epäedullisella rajavoitelualueella.

# VOITELUMEKANISMIT

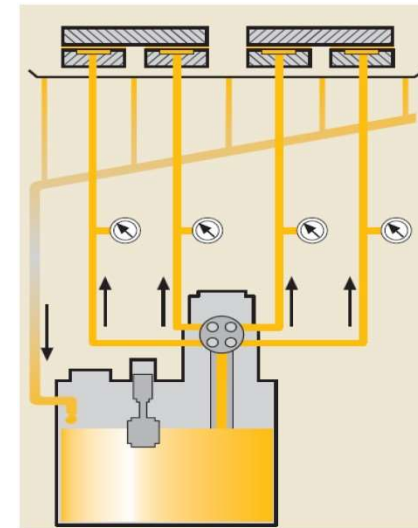
- Voiteluaineisiin lisätään erilaisia lisäaineita. Niiden tarkoitus on reagoida ja/tai kiinnittyä metallipintaan ja muodostaa liikepintojen välissä helposti leikkautuva rajakerros.
- Lisäaineet pienentävät kitkaa, estävät metallipintojen kosketuksen sekä auttavat alentamaan kulumista rajavoitelutilanteessa.

# HYDROSTAATTINEN VOITELU

Kun kantava voitelukalvo aikaansaadaan ulkoisen paineen avulla, puhutaan hydrostaattisesta voitelusta.

Voiteluaine pumpataan liukupintojen väliseen voitelutaskuun, jolloin voiteluaineen, yleensä öljyn, hydrostaattinen paine erottaa liukupinnat toisistaan.

Suosituin sovellus hydrostaattiseen voiteluun ovat laakerit.



Kuvan lähde: SKF

# ELASTOHYDRODYNAAMINEN VOITELU

- Vierintälaakereissa ja hammaspyörissä pinnat ovat eri suuntaan kaarevat ja pintojen välinen kosketusalue on yleensä kuormitukseen nähden pieni, jolloin pintapaineet ovat jopa 2000-3000 MPa (20 000–30 000 bar).
- Elastohydrodynaamiseen sovellukseen kuuluvan vierintälaakerin hyvä toimivuus perustuu sen oikeaan valintaan, asennukseen (epäpuhtaudet, välykset) ja siihen valittavaan käyttöolosuhteiden mukaisesti oikeaan voiteluaineeseen.

# VOITELUMEKANISMIT

- Hallitussa voitelussa keskitytään nopeasti syntyvien ja suojaavien pintakalvojen muodostamiseen lisäaineistuksen avulla.
- Materiaaliparin voiteluun voidaan vaikuttaa käyttämällä pinnoitteita, pintakäsittelyä ja kiinteitä voiteluaineita sekä voiteluaineen tehokkaalla tuonnilla voideltavaan kohteeseen.

# ELASTOHYDRODYNAAMINEN VOITELU

- Elastohydrodynaamisen voitelun sovellusalueita ovat mm. hammaspyörät ja vierintälaakerit, jotka välittävät suuria kuormituksia pienen kosketuspinta-alan kautta.
- Näin muodostuvat korkeat kosketuspaineet aiheuttavat kosketuksessa merkittävää elastista muodonmuutosta samalla kun voiteluaineen viskositeetti kasvaa paineen vaikutuksesta voimakkaasti.

